

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO  
MAESTRÍA DE RECURSOS HÍDRICOS**



**“DISPONIBILIDAD HÍDRICA SUPERFICIAL EN LA CUENCA  
DEL RÍO MAYO ACTUAL Y FUTURA CON FINES DE  
ASIGNACIÓN DE USO DE AGUA”**

**Presentada por:**

**JAIME PACO HUAMANCHUMO UCAÑAY**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE  
MAGISTER SCIENTIAE DE RECURSOS HÍDRICOS**

**Lima - Perú**

**2024**

# Tesis\_Final2

---

## INFORME DE ORIGINALIDAD

---

8%

INDICE DE SIMILITUD

8%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

1%

TRABAJOS DEL  
ESTUDIANTE

---

## FUENTES PRIMARIAS

---

1

[repositorio.ana.gob.pe](https://repositorio.ana.gob.pe)

Fuente de Internet

4%

2

[cdn.www.gob.pe](https://cdn.www.gob.pe)

Fuente de Internet

2%

3

[es.scribd.com](https://es.scribd.com)

Fuente de Internet

1%

4

[crhc.ana.gob.pe](https://crhc.ana.gob.pe)

Fuente de Internet

1%

---

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 1%

Excluir bibliografía

Apagado

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO  
MAESTRÍA DE RECURSOS HÍDRICOS**

**“DISPONIBILIDAD HÍDRICA SUPERFICIAL EN LA CUENCA  
DEL RÍO MAYO ACTUAL Y FUTURA CON FINES DE  
ASIGNACIÓN DE USO DE AGUA”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE  
MAGISTER SCIENTIAE**

**Presentada por:**

**JAIME PACO HUAMANCHUMO UCAÑAY**

**Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:**

**Mg.Sc. Cayo Ramos Taipe  
PRESIDENTE**

**Ph.D. Eusebio Ingol Blanco  
ASESOR**

**M.Sc. Eduardo Chávarri Velarde  
MIEMBRO**

**Dr. Abel Mejía Marcacuzco  
MIEMBRO**

## **DEDICATORIA**

A mis padres María y en el cielo a Emilio, cuyas enseñanzas, marcaron el horizonte a seguir.

A mi esposa Carmen del Pilar, mis hijos Jhiro Aldhair, Jaime Aarón y Jaime Hugo, así como a mis herman@s por su apoyo y comprensión.

A mis sobrin@s, para incentivarlos y motivarlos a que con perseverancia, es posible lograr la meta trazada.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al asesor de tesis Dr. Eusebio Ingol Blanco, por su orientación y aportes.

Al Jurado: Dr. Eduardo A Chavarri Velarde; M.Sc. Cayo L. Ramos Taipe y al Dr. Jesús Abel Mejía Marcacuzco por su mejor disposición y sugerencias.

Al Ing. Valentín Orcón Zamora e Ing. Irving Castro Valdiviezo, por su apoyo permanente.

A la Autoridad Nacional del Agua – ANA, especialmente a los profesionales de la Autoridad Administrativa del Agua Huallaga y de las Administraciones Locales de Agua de Tarapoto y Alto Mayo, por aportar con información y su experiencia.

Gracias a todos mis familiares, amigos y colegas que me alentaron y son parte de esta meta cumplida.

## ÍNDICE GENERAL

<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
1.1 Formulación del Problema .....	3
1.2 Justificación de la Investigación .....	3
1.3 Objetivos .....	4
1.3.1 Objetivo General.....	4
1.3.2 Objetivos Específicos .....	4
1.4 Alcances .....	4
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	6
2.1 Antecedentes .....	6
2.2 Formulación de la hipótesis .....	7
2.2.1 Hipótesis general.....	7
2.2.2 Hipótesis específicas.....	7
2.3 Definiciones y normas en materia de recursos hídricos.....	8
2.3.1 Delimitación de las cuencas hidrográficas.....	8
2.3.2 Planificación, tipología de uso y derechos de uso de agua.....	8
2.3.3 El Plan de Aprovechamiento de las Disponibilidades Hídricas (PADH).....	9
2.3.4 Comités de subcuenca en la Amazonía.....	10
2.4 Evaluación de recursos hídricos.....	10
2.5 Escenarios planteados .....	11
2.5.1 Escenarios de cambio climático.....	11
2.5.2 Escenario de aprovechamiento de disponibilidad hídrica.....	11
2.5.3 Escenarios de asignación de uso de agua.....	12

2.6 Modelos globales y regionales .....	12
2.7 Modelamiento hidrológico .....	13
2.7.1 Cuenca hidrográfica y Unidad Hidrográfica.....	13
2.7.2 Modelos Hidrológicos.....	13
2.7.3 La función de distribución y la distribución exponencial.....	14
2.7.4 Modelo de balance hídrico.....	15
2.7.5 Modelo de simulación hidrológica y planificación del agua .....	16
2.8 Los recursos hídricos y el cambio climático .....	18
2.9 Acreditación de Disponibilidad Hídrica .....	19
2.10 Caudales Ecológicos .....	19
2.11 Métricas utilizadas para la evaluación de diferentes modelos climáticos	20
2.11.1 Diagrama de Taylor .....	20
2.11.2 Coeficiente de correlación de Pearson.....	21
2.11.3 Raíz del error cuadrático medio (RMSE) .....	21
2.11.4 Desviación estándar .....	21
2.12 Calidad de la información.....	21
2.12.1 Inconsistencia y escasez de información hidrometeorológica .....	21
2.12.2 Sistema de información geográfica SIG en la Hidrología .....	22
2.13 Descripción general de la cuenca Mayo .....	23
2.13.1 Área de estudio .....	23
2.13.2 Ubicación geográfica .....	23
2.13.3 Demarcación hidrográfica.....	23
2.13.4 Demarcación política .....	24
2.13.5 Demarcación administrativa .....	25
2.13.6 Fisiografía .....	25
2.13.7 Geomorfología .....	26
2.13.8 Cobertura vegetal.....	27

2.13.9 Tipo de suelos y uso actual de la tierra .....	29
2.13.10 La clasificación altitudinal de la Cuenca Mayo .....	30
2.13.11 Unidades hidrográficas del río Mayo .....	31
2.13.12 Sistema hidrológico de la cuenca Mayo .....	33
2.13.13 Sistema hidráulico de la cuenca Mayo .....	34
2.13.14 Operación y mantenimiento de la infraestructura hidráulica.....	35
2.13.15 Sectores y subsectores hidráulicos .....	37
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	<b>39</b>
3.1 Fases de la investigación.....	39
3.1.1 Fase preliminar .....	39
3.1.2 Fase de campo.....	39
3.1.3 Fase de análisis y evaluación de la información.....	40
3.1.4 Información y red hidrométrica .....	51
3.2 Usos y demanda hídrica multisectorial – situación actual .....	53
3.2.1 Demanda de agua para uso primario.....	53
3.2.2 Demanda hídrica para uso poblacional .....	53
3.2.3 Demanda hídrica para uso agrícola.....	55
3.2.4 Demanda hídrica para uso pecuario .....	56
3.2.5 Demanda hídrica para uso industrial .....	57
3.2.6 Demanda hídrica para uso minero .....	57
3.2.7 Demanda hídrica para uso acuícola .....	57
3.2.8 Demanda hídrica para uso hidroenergético .....	58
3.3 Usos y demanda hídrica multisectorial – situación futura .....	59
3.3.1 Demanda poblacional .....	59
3.3.2 Demanda Agrícola .....	60
3.3.3 Demanda industrial .....	60
3.3.4 Demanda por caudal ecológico.....	61



3.4 Metodología del modelamiento hidrológico .....	62
3.5 Modelo hidrológico.....	62
3.5.1 Esquema topológico.....	62
3.5.2 Evaluación del WEAP para desarrollar el modelo hidrológico.....	64
3.5.3 Esquema conceptual del modelo.....	64
3.5.4 Información requerida y formatos utilizados usando la herramienta WEAP ...	65
3.5.5 Criterios aplicados previo al modelamiento .....	65
3.5.6 Calibración del modelo .....	74
3.5.7 Validación del modelo .....	75
3.5.8 Estadísticos de eficiencia .....	76
3.6 Metodología para la obtención de series con Cambio Climático.....	78
3.6.1 Descarga de datos .....	78
3.6.2 Elección de los modelos del NEX-GDDP aplicados al estudio.....	79
3.6.3 Elección de escenarios de cambio climático.....	80
3.6.4 Escalamiento y corrección de datos.....	81
3.6.5 Criterios y cálculo del ensamble.....	83
3.7 Metodología del Modelo de Gestión - Balance Hídrico .....	85
3.7.1 Metodología numérica .....	85
3.7.2 Tratamiento de los datos .....	87
3.7.3 Diagnóstico cuantitativo mediante modelos: Balances mensuales desagregados	90
3.7.4 Formulación de escenarios futuros para la gestión hídrica en la Cuenca Mayo	90
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>94</b>
4.1 Resultados .....	94
4.1.1 Temperatura media por subcuencas.....	94
4.1.2 Precipitación media por subcuencas .....	97
4.1.3 Humedad relativa .....	101
4.1.4 Caudales medios mensuales.....	101

4.1.5 Calibración y validación del modelo hidrológico.....	102
4.1.6 Demandas de agua en la cuenca Mayo .....	105
4.1.7 Escenarios y modelos de cambio climático .....	106
4.1.8 Modelo hidrológico – oferta hídrica .....	110
4.1.9 Modelo de gestión – Balance hídrico .....	137
4.1.10 Balances hídricos aplicados para los diferentes escenarios .....	173
4.2 Discusión.....	178
<b>V. CONCLUSIONES</b> .....	<b>184</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES</b> .....	<b>187</b>
<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>188</b>
<b>XIII. ANEXOS</b> .....	<b>195</b>

## ÍNDICE TABLAS

Tabla 1. Regiones, provincias y distritos de la cuenca Mayo.....	24
Tabla 2. Tipos de cobertura vegetal en el ámbito de la Cuenca Mayo.....	28
Tabla 3. Codificación y área de las Unidades hidrográficas del río Mayo.....	31
Tabla 4. Estimación de la cantidad y calidad de información hidrológica.....	40
Tabla 5. Brecha de formalización del uso de agua 2018.....	41
Tabla 6. Estaciones con información termométrica utilizadas en la cuenca Mayo.....	43
Tabla 7. Humedad relativa mensual (%) de la estación climatológica Moyobamba .....	46
Tabla 8. Variación media mensual de la velocidad del viento en la cuenca Mayo (m/s)....	46
Tabla 9. Estaciones pluviométricas consideradas en el estudio .....	47
Tabla 10. Restricciones de la información hidrométrica - cuenca Mayo .....	52
Tabla 11. Caudales medios mensuales Estación Shanao.....	52
Tabla 12. Demanda de agua para uso poblacional para la situación actual – Cuenca Mayo .. .....	54
Tabla 13. Demanda de agua para uso agrícola actual – Cuenca Mayo .....	56
Tabla 14. Demanda de agua para uso pecuario actual en la cuenca Mayo.....	56
Tabla 15. Demanda de agua para uso industrial actual en la cuenca Mayo .....	57
Tabla 16. Demanda de agua para uso acuícola actual en la Cuenca Mayo .....	58
Tabla 17. Demanda de agua para uso energético en la cuenca Mayo .....	58
Tabla 18. Demanda de agua para uso poblacional para la Cuenca Mayo producto de acreditaciones .....	59
Tabla 19. Demanda de agua para uso poblacional para la situación futura – Cuenca Mayo .. .....	60
Tabla 20. Demanda de agua para uso agrícola para la situación futura – Cuenca Mayo ....	60
Tabla 21. Demanda de agua para uso industrial para la Cuenca Mayo producto de acreditaciones .....	61
Tabla 22. Demanda de agua para uso industrial para la situación futura – Cuenca Mayo..	61

Tabla 23. Modelo de codificación de ríos, cuenca y nodos para el WEAP .....	67
Tabla 24. Codificación y área de cobertura de las subunidades o subcuencas de modelamiento .....	71
Tabla 25. Estación hidrométrica Shanao, ubicada en la cuenca del río Mayo .....	74
Tabla 26. Caudales (m <sup>3</sup> /s) medios mensuales registrados por la Estación Hidrométrica Shanao 2000-2018.....	75
Tabla 27. Valores límite para Nash-Sutcliffe .....	77
Tabla 28. Lista de 15 modelos climáticos seleccionados de la CMIP5, utilizados para el análisis de cambio climático - Cuenca Mayo .....	79
Tabla 29. Escenarios climáticos del Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC).....	80
Tabla 30. Estaciones meteorológicas consideradas en el análisis de escalonamiento y corrección de datos .....	82
Tabla 31. Consideraciones aplicadas a los componentes del modelo de gestión.....	91
Tabla 32. Temperatura media mensual por estación meteorológica periodo 1965-2018....	95
Tabla 33. Temperatura media mensual por subcuenca (°C) periodo 1965-2018 .....	96
Tabla 34. Estadísticos de los datos observados vs datos corregidos y completados de las estaciones pluviométricas consideradas para el periodo 1968-2018.....	98
Tabla 35. Precipitación (mm) media multianual por estación pluviométrica periodo 1965-2018 .....	99
Tabla 36. Precipitación (mm) media areal por unidad hidrográfica periodo 1965-2018 ..	100
Tabla 37. Caudales medios mensuales Estación Shanao.....	102
Tabla 38. Índices de eficiencia obtenidos para el modelo.....	104
Tabla 39. Resultados de la demanda hídrica multisectorial de la cuenca Mayo – situación actual .....	105
Tabla 40. Resultados de la demanda hídrica multisectorial de la cuenca Mayo – situación futura .....	106
Tabla 41. Caudales medios mensuales parciales generados en la cuenca Mayo y en las subcuencas (m <sup>3</sup> /s) para el periodo 1965-2018.....	112

Tabla 42. Caudales medios mensuales acumulados generados en la cuenca Mayo y en las subcuencas (m <sup>3</sup> /s) para el periodo 1965-2018 .....	114
Tabla 43. Aportaciones medias mensuales propias generadas en la cuenca Mayo y en las subcuencas (hm <sup>3</sup> ) para el periodo 1965-2018.....	116
Tabla 44. Aportaciones medias mensuales acumuladas generadas en la cuenca Mayo y en las subcuencas (hm <sup>3</sup> ) para el periodo 1965-2018 .....	118
Tabla 45. Caudales medios mensuales acumulados con cambio climático RCP 4.5 generados en la cuenca Mayo y en las subcuencas (m <sup>3</sup> /s) para el periodo 1965-2080.....	123
Tabla 46. Aportaciones medias mensuales acumuladas con cambio climático RCP 4.5 generadas en la cuenca Mayo y en las subcuencas (hm <sup>3</sup> ) para el periodo 1965-2080 .....	124
Tabla 47. Caudales medios mensuales acumulados con cambio climático RCP 8.5 generados en la cuenca Mayo y en las subcuencas (m <sup>3</sup> /s) para el periodo 1965-2080.....	128
Tabla 48. Aportaciones medias mensuales acumuladas con cambio climático RCP 8.5 generadas en la cuenca Mayo y en las subcuencas (hm <sup>3</sup> ) para el periodo 1965-2080. ....	129
Tabla 49. Variación de la oferta hídrica de la cuenca Mayo por efectos del cambio climático .....	134
Tabla 50. Caudales ecológicos al 95 por ciento de persistencia en las subcuencas de la cuenca Mayo (m <sup>3</sup> /s) considerados para la situación actual y futura .....	136
Tabla 51. Balance medio anual (hm <sup>3</sup> ) de las Unidades Hidrográficas Nivel 6 de la Cuenca Mayo: Situación Actual.....	139
Tabla 52. Confiabilidad de suministro de las demandas de la Cuenca Mayo: Situación Actual .....	139
Tabla 53. Balance medio anual (hm <sup>3</sup> ) de las Unidades Hidrográficas Nivel 6 de la Cuenca Mayo: Situación Futura al 2050 sin Cambio Climático .....	157
Tabla 54. Confiabilidad de suministro de las demandas de la Cuenca Mayo: Situación Futura al 2050 sin Cambio Climático .....	157
Tabla 55. Balance medio anual (hm <sup>3</sup> ) de las Unidades Hidrográficas Nivel 6 de la Cuenca Mayo: Situación Futura al 2050 con Cambio Climático RCP 4.5.....	166
Tabla 56. Balance medio anual (hm <sup>3</sup> ) de las Unidades Hidrográficas Nivel 6 de la Cuenca Mayo: Situación Futura al 2050 con Cambio Climático RCP 8.5.....	166

Tabla 57. Confiabilidad de suministro de las demandas de la Cuenca Mayo: Situación Futura al 2050 con Cambio Climático RCP 4.5 .....	167
Tabla 58. Confiabilidad de suministro de las demandas de la Cuenca Mayo: Situación Futura al 2050 con Cambio Climático RCP 8.5 .....	167
Tabla 59. Balance medio anual (hm <sup>3</sup> ) de las Unidades Hidrográficas Nivel 6 de la Cuenca Mayo: Situación Futura al 2080 con Cambio Climático RCP 4.5.....	170
Tabla 60. Balance medio anual (hm <sup>3</sup> ) de las Unidades Hidrográficas Nivel 6 de la Cuenca Mayo: Situación Futura al 2080 con Cambio Climático RCP 8.5.....	170
Tabla 61. Confiabilidad de suministro de las demandas de la Cuenca Mayo: Situación Futura al 2080 con Cambio Climático RCP 4.5 .....	171
Tabla 62. Confiabilidad de suministro de las demandas de la Cuenca Mayo: Situación Futura al 2080 con Cambio Climático RCP 8.5 .....	171
Tabla 63. Balances medios anuales (hm <sup>3</sup> ) aplicados en cada uno de los escenarios .....	174
Tabla 64. Confiabilidad de suministro de las demandas de la Cuenca Mayo para todos los escenarios aplicados .....	175

## ÍNDICE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de las Unidades Hidrográficas - Río Mayo.....	5
Figura 2. Red hidrográfica de la cuenca Mayo.....	24
Figura 3. Mapa de ubicación política administrativa de la cuenca Mayo .....	25
Figura 4. Mapa Fisiográfico de la cuenca del río Mayo.....	26
Figura 5. Mapa Geomorfológico de la cuenca del río Mayo.....	27
Figura 6. Mapa de cobertura vegetal de la cuenca del Río Mayo .....	28
Figura 7. Mapa de Capacidad de Uso del Suelo de la cuenca Mayo.....	30
Figura 8. Mapa de clasificación altitudinal del ámbito de la Cuenca Mayo .....	31
Figura 9. Codificación y área de las Unidades hidrográficas del río Mayo .....	32
Figura 10. Red hidrográfica de la cuenca Mayo.....	34
Figura 11. Esquema del sistema hidráulico Alto Mayo.....	37
Figura 12. Sectores Hidráulicos ubicados en la cuenca Mayo .....	38
Figura 13. Ubicación de las estaciones climatológicas consideradas.....	42
Figura 14. Variación mensual de los caudales medios mensuales - Estación Shanao .....	53
Figura 15. Esquema topológico de la cuenca del río Mayo.....	63
Figura 16. Esquema del método de la humedad del suelo.....	68
Figura 17. Esquema semidistribuido o subcuencas definidas en la cuenca del río Mayo .....	69
Figura 18. Subcuencas definidas para el modelamiento hidrológico .....	70
Figura 19. Topología configurada en el modelo WEAP .....	71
Figura 20. Caudales diarios registrados por la Estación Hidrométrica Shanao .	75
Figura 21. Esquema en WEAP del Modelamiento hidrológico - Cuenca Mayo.....	78
Figura 22. Flujograma de la metodología aplicada para la descarga y escalamiento de escenarios de cambio climático. ....	83
Figura 23. Relación temperatura media – altitud .....	94

Figura 24. Temperatura media mensual por subcuenca .....	97
Figura 25. Emulador DOSBox 0.74-2 para correr la completación de datos faltantes con HEC-4 .....	97
Figura 26. Datos completados de estación Chachapoyas periodo 1968-2018 .....	98
Figura 27. Mapa de isoyetas de la subcuenca del rio Mayo periodo 1965-2018 ...	101
Figura 28. Variación mensual de la humedad relativa de la estación Climatológica Moyobamba.....	101
Figura 29. Variación mensual de los caudales medios mensuales - Estación Shanao .....	102
Figura 30. Caudales simulados y observados de la estación Shanao - Periodo de calibración (2000 – 2006).....	103
Figura 31. Caudales simulados y observados de la estación Shanao - Periodo de validación (2007 – 2015).....	103
Figura 32. Distribución de la demanda hídrica consuntiva en la cuenca Mayo .....	105
Figura 33. Comparativo (Diagrama de Taylor) de los modelos de precipitación: RCP 4.5 (Izquierda) RCP 8.5 (Derecha).....	107
Figura 34. Comparativo (Diagrama de Taylor) de los modelos de temperatura: RCP 4.5 (Izquierda) RCP 8.5 (Derecha).....	108
Figura 35. Comparativo de los promedios mensuales del ensamble de precipitación RCP 4.5 (izquierda) y 8.5 (derecha) para los periodos 1965-2006; 2021-2050 y 2051-2080 con respecto al periodo histórico 1965-2006.....	109
Figura 36. Comparativo de los promedios anuales del ensamble de temperatura RCP 4.5 (izquierda) y 8.5 (derecha) para los periodos 1965-2006; 2021-2050 y 2051-2080 con respecto al periodo histórico 1965-2006.....	110
Figura 37. Oferta natural anual (hm <sup>3</sup> ) de la cuenca Mayo para el periodo 1965-2018. ....	120
Figura 38. Oferta natural mensual (hm <sup>3</sup> ) de la cuenca Mayo para el periodo 1965-2018. ....	121
Figura 39. Diagrama de cajas de caudales mensuales promedio de la cuenca Mayo .....	131



Figura 40. Series de tiempo de la mediana de los caudales mensuales promedio de la cuenca Mayo.....	132
Figura 41. Porcentaje de cambio de los caudales mensuales promedio de la cuenca Mayo.....	133
Figura 42. Funciones de distribución acumuladas de caudales promedio mensuales de la cuenca Mayo.....	135
Figura 43. Demanda anual servida y déficit: cuenca completa .....	140
Figura 44. Comparativo Oferta natural – Demanda mensual servida y déficit: Cuenca Mayo.....	140
Figura 45. Demanda anual servida y déficit: UH Alto Mayo (498449).....	142
Figura 46. Comparativo Oferta natural – Demanda mensual servida y déficit: UH Alto Mayo (498449).....	142
Figura 47. Demanda anual servida y déficit: subcuencas Naranjillo y Yuracyacu	143
Figura 48. Comparativo Oferta natural – Demanda mensual servida y déficit: subcuencas Naranjillo y Yuracyacu .....	144
Figura 49. Demanda anual servida y déficit: UH Cuenca Tonchima 498448.....	145
Figura 50. Comparativo Oferta natural – Demanda mensual servida y déficit: UH Cuenca Tonchima 498448 .....	146
Figura 51. Demanda anual servida y déficit: UH Intercuenca Mayo 498447 .....	147
Figura 52. Comparativo Oferta natural – Demanda mensual servida y déficit: UH Intercuenca Mayo 498447 .....	147
Figura 53. Demanda anual servida y déficit: UH Cuenca Huascayacu 498446.....	148
Figura 54. Comparativo Oferta natural – Demanda mensual servida y déficit: UH Intercuenca Mayo 498447 .....	148
Figura 55. Demanda anual servida y déficit: UH Intercuenca Mayo 498445 .....	149
Figura 56. Comparativo Oferta natural – Demanda mensual servida y déficit: UH Intercuenca Mayo 498445 .....	150
Figura 57. Demanda anual servida y déficit: UH Cuenca Indoche 498444 .....	151

Figura 58. Comparativo Oferta natural – Demanda mensual servida y déficit: UH Cuenca Indoche 498444 .....	151
Figura 59. Demanda anual servida y déficit: UH Intercuenca Mayo 498443 .....	152
Figura 60. Comparativo Oferta natural – Demanda mensual servida y déficit: UH Intercuenca Mayo 498443 .....	152
Figura 61. Demanda anual servida y déficit: UH Cuenca Cumbaza 498442.....	153
Figura 62. Comparativo Oferta natural – Demanda mensual servida y déficit: UH Cuenca Cumbaza 498442 .....	154
Figura 63. Demanda anual servida y déficit: UH Intercuenca Mayo 498441 .....	155
Figura 64. Comparativo Oferta natural – Demanda mensual servida y déficit: UH Intercuenca Mayo 498441 .....	155
Figura 65. Demanda anual servida y déficit en situación futura sin cambio climático: cuenca completa .....	158
Figura 66. Comparativo Oferta natural – Demanda mensual servida y déficit en situación futura sin cambio climático: Cuenca Mayo .....	158
Figura 67. Demanda anual servida y déficit en situación futura sin cambio climático: UH Alto Mayo (498449) .....	160
Figura 68. Comparativo Oferta natural – Demanda mensual servida y déficit en situación futura sin cambio climático: UH Alto Mayo (498449).....	160
Figura 69. Demanda anual servida y déficit en situación futura sin cambio climático: subcuenca Naranjillo .....	161
Figura 70. Comparativo Oferta natural – Demanda mensual servida y déficit en situación futura sin cambio climático: subcuenca Naranjillo.....	162
Figura 71. Demanda anual servida y déficit en situación futura sin cambio climático: UH Cuenca Cumbaza 498442 .....	163
Figura 72. Comparativo Oferta natural – Demanda mensual servida y déficit en situación futura sin cambio climático: UH Cuenca Cumbaza 498442.....	164
Figura 73. Demanda anual servida y déficit en situación futura 2050 con cambio climático (RCP 4.5 y RCP 8.5): cuenca completa.....	168

Figura 74. Comparativo Oferta natural – Demanda mensual servida y déficit en situación futura 2050 con cambio climático (RCP 4.5 y RCP 8.5): Cuenca Mayo	168
Figura 75. Demanda anual servida y déficit en situación futura 2080 con cambio climático (RCP 4.5 y RCP 8.5): cuenca completa.....	172
Figura 76. Comparativo Oferta natural – Demanda mensual servida y déficit en situación futura 2080 con cambio climático (RCP 4.5 y RCP 8.5): Cuenca Mayo	172
Figura 77. Déficit identificados en los escenarios de Balance Hídrico aplicados	176
Figura 78. Déficit Total por tipo de uso de los escenarios de Balance Hídrico aplicados.....	177

## ÍNDICE ANEXOS<sup>1</sup>

- Anexo 1. Precipitación media mensual por subcuencas (mm) periodo 1965-2018
- Anexo 2. Temperatura media mensual por subcuencas (°C) periodo 1965-2018
- Anexo 3. Caudales registrados en la estación Shanao
- Anexo 4. Calibración y validación del modelo hidrológico
- Anexo 5. Caudales medios mensuales parciales por subcuencas (m<sup>3</sup>/s) para el periodo 1965-2018
- Anexo 6. Caudales medios mensuales acumulados por subcuencas (m<sup>3</sup>/s) para el periodo 1965-2018
- Anexo 7. Caudales medios mensuales parciales con cambio climático RCP 4.5 por subcuencas (m<sup>3</sup>/s) para el periodo 1965-2080
- Anexo 8. Caudales medios mensuales acumulados con cambio climático RCP 4.5 por subcuencas (m<sup>3</sup>/s) para el periodo 1965-2080
- Anexo 9. Caudales medios mensuales parciales con cambio climático RCP 8.5 por subcuencas (m<sup>3</sup>/s) para el periodo 1965-2080
- Anexo 10. Caudales medios mensuales acumulados con cambio climático RCP 8.5 por subcuencas (m<sup>3</sup>/s) para el periodo 1965-2080
- Anexo 11. Derechos de uso de agua (m<sup>3</sup>)
- Anexo 12. Acreditaciones de disponibilidad hídrica en la cuenca Mayo (hm<sup>3</sup>)
- Anexo 13. Demandas hídricas no formalizadas en la cuenca Mayo (hm<sup>3</sup>)
- Anexo 14. Demanda modelo de gestión WEAP (hm<sup>3</sup>)
- Anexo 15. Confiabilidad de las demandas en la cuenca Mayo situación actual
- Anexo 16. Confiabilidad de las demandas en la cuenca Mayo situación futura sin cambio climático

---

<sup>1</sup> Huamanchumo, J. (2024), Disponibilidad Hídrica Superficial en la Cuenca del Rio Mayo Actual y Futura con fines de Asignación de Uso de Agua

## RESUMEN

El objetivo de la investigación fue conocer la disponibilidad hídrica superficial en la cuenca del río Mayo actual y futura con fines de asignación de uso de agua. Para lograrlo, se utilizó el programa Water Evaluation And Planning System - WEAP calibrado y validado con información de la estación Shanao, para el análisis hidrológico y de balance hídrico de la Cuenca. La calibración y validación del Modelo WEAP, arroja valores de estadísticos eficiencia aplicados: R2 (0,71; 0,82) Nash-Sutcliffe (0,70; 0,75) e índice PBIAS (0,85; 0,99), lo cual refleja la correcta simulación de la oferta hídrica sobre todo en época de estiaje. Se concluyó que en la Cuenca Mayo posee una oferta hídrica media anual de 367 m<sup>3</sup>/s; sin embargo, en situación futura con cambio climático la oferta hídrica se incrementaría hasta un 32% para el caso escenario RCP 8.5 2051-2080. Los balances hídricos para la situación actual y futura sin cambio climático identificaron pequeños déficits en algunas subcuencas de las unidades hidrográficas Alto Mayo y Cuenca Cumbaza. Los balances hídricos para la situación futura con cambio climático, identificaron pequeños déficits para el uso agrícola en la unidad hidrográfica Alto Mayo y Cuenca Cumbaza, para lo cual se plantea medidas para gestionar mejor la oferta y sobre todo la demanda.

**Palabras clave:** Cuenca, balance hídrico, disponibilidad hídrica, escenarios de cambio climático, Programa WEAP.

## **ABSTRACT**

The objective of the research was to know the surface water availability in the current and future Mayo River basin to assign water use. To achieve this, the calibrated and validated Water Evaluation and Planning System- WEAP program was used with information from the Shanao station, for the hydrological and water balance analysis of the Basin. The calibration and validation of the WEAP Model yields values of applied efficiency statistics: R2 (0.71; 0.82), Nash-Sutcliffe (0.70; 0.75) and PBIAS index (0.85; 0.99), which reflects the correct simulation of water supply, especially during the dry season. It was concluded that the Mayo Basin has an average annual water supply of 367 m<sup>3</sup>/s; However, in the future climate change, the water supply would increase to 32% for the RCP 8.5 2051-2080 scenario. The water balances for the current and future situation without climate change identified small deficits in some sub-basins of the Alto Mayo and Cuenca Cumbaza hydrographic units. The water balances for the future situation with climate change identified small deficits for agricultural use in the Alto Mayo hydrographic unit and Cuenca Cumbaza, for which measures are proposed to manage supply and demand better.

**Key words:** Watershed, water balance, water availability, climate change scenarios, WEAP program.

## I. INTRODUCCIÓN

En América Latina y el Caribe se estima que hay un 32% de los recursos hídricos renovables mundiales, es decir hay abundancia de agua, pero distribuidos de manera heterogénea espacial y temporal (FAO, 2021), situación que dificulta a los países estar alineados al marco de sustentabilidad ambiental de la ODS 6 (CEPAL, 2021). A ello se suma el aumento de las temperaturas, que según el Cuarto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático señala que contribuirá a un aumento de tormentas severas, inundaciones, sequías y las tensiones ambientales (IPCC 2017), poniendo en riesgo la seguridad hídrica, seguridad alimentaria y daños a los ecosistemas (Organización Meteorológica Mundial, 2021), así como riesgos para el turismo, hidroenergía, agricultura y demandas multisectoriales (Chevallier et al., 2010), generando y ampliando los conflictos (USAID, 2012).

En ese contexto, el Perú, también posee una gran cantidad de recursos hídricos y su distribución espacial y temporal es muy irregular (ANA, 2016), siendo que en la vertiente del Atlántico existe el 97.7 por ciento de agua con sólo el 26 por ciento de población, mientras que en la vertiente del Pacífico se localiza el 1.7 por ciento de recursos hídricos disponibles para atender a casi el 70 por ciento de la población (ANA, 2016), complicándose aún por desconocer la disponibilidad actual y futura con efecto del potencial cambio climático, este último constituyéndose en una gran amenaza principalmente a la agricultura y los recursos hídricos (Arana-Ruedas & Moggiano, 2022).

Si bien se han realizado una serie de estudios a nivel mundial, Perú y local; algunos se han realizado con pocos datos ya que estos suelen ser escasos (Andres et al., 2015), otros han utilizado el WEAP y modelos climáticos, aplicados a diversos escenarios de emisión de Rutas de Concentración Representativas (RCP) (Van Soesbergen & Mulligan, 2016), con enfoques que garantizan tomar decisiones oportunas para satisfacer las demandas multisectoriales en condiciones del cambio climático (Mena et al., 2021).

En el caso del río Mayo, que es un tributario del río Huallaga y está ubicado en la vertiente del Atlántico, aporta en 9.2 por ciento del total de la oferta hídrica y su demanda total es del 10.7 por ciento de la oferta (ANA, 2016); pero lo que llama la atención es que existiendo un superávit de casi 90 por ciento existe escasez de agua en algunas subcuencas (Comité de Subcuenca Mayo, 2017) y se afirma que la información fuente no constituye la demanda real actual (ANA, 2018), se desconoce la oferta hídrica, la demanda y la disponibilidad hídrica real (Huamán, 2016), observando distorsión en los últimos años en el comportamiento de las lluvias por influencia del cambio climático e incrementando los conflictos sobre todo en época de estiaje. (ANA, 2016).

Ante la necesidad de llenar esos vacíos, se han realizado algunos estudios de carácter hidrológico, hidrogeológico, de cambio climático y últimamente un estudio hidrológico como parte del Plan de Gestión de la Subcuenca Mayo; sin embargo, para fines de gestión, asignación de agua y utilidad en los Planes de Aprovechamiento de Disponibilidades Hídricas (PADH), no es suficiente y aplicable.

Siendo el río Mayo muy importante por sus recursos hídricos y sus actividades económicas (ANA, 2016) y dado que no se puede gestionar si no se cuenta con información confiable, se planteó realizar el estudio “Disponibilidad hídrica superficial en la cuenca del río Mayo actual y futura con fines de asignación de uso de agua”, con el objetivo de evaluar la disponibilidad hídrica superficial en la cuenca del río Mayo, bajo escenarios actual y futuro, con fines de asignación de uso de agua, para lo cual fue necesario evaluar, sistematizar y completar información primaria, desarrollar distintas condiciones de los escenarios actual y futuro con efectos potenciales del cambio climático, estimar la oferta hídrica utilizando el WEAP calibrado y validado (Touseef, et al., 2021) con información de la estación Shanao, evaluar el balance hídrico por subcuencas y unidades hidrográficas menores en situación actual y situación futura (horizonte 2050 y 2080) aplicando modelos climáticos e identificar



las zonas críticas con escasez del recurso hídrico, a partir del cual plantear medidas de solución, para una adecuada toma de decisiones.

## 1.1 Formulación del Problema

En la cuenca del río Mayo se viene asignando agua, pero se desconoce realmente la oferta hídrica, demanda y disponibilidad hídrica; debido a que la información hidrometeorológica es parcial y se encuentra dispersa en diversas instituciones. Se han realizado algunos estudios, uno de ellos señala que se ha otorgado el 10.7 por ciento de la disponibilidad hídrica existente (ANA, 2016); pero se afirma que la información fuente no constituye la demanda real actual (ANA, 2018).

Además, los estudios realizados casi siempre analizan la cuenca, dando como resultado significativos superávits, pero los problemas de escasez de recurso hídrico no se suscitan en toda la cuenca, sino a nivel de Subcuencas o Unidades hidrográficas menores (Huamán, 2016). Y dado que cada vez aumenta los problemas sobre todo en época de estiaje y se percibe una distorsión en el comportamiento de las lluvias, se prevé que existe influencia del cambio climático (Proyecto Segunda Comunicación Nacional de Cambio Climático, 2009), con riesgos de futuros conflictos en la asignación del agua (Huamán, 2016).

Al no contar con información hidrometeorológica consistente y desconocer la demanda y disponibilidad hídrica real, sobre todo en las subcuencas y unidades hidrográficas menores, es que se planteó realizar el estudio “Disponibilidad hídrica superficial en la cuenca del río Mayo actual y futura con fines de asignación de uso de agua”, cuyos resultados ayudaría a identificar las zonas críticas de la cuenca Mayo y plantear medidas para satisfacer las demandas multisectoriales.

## 1.2 Justificación de la Investigación

La cuenca del río Mayo tiene 17 afluentes principales y es el segundo río más importante dentro de la cuenca del río Huallaga, dado sus recursos hídricos de carácter permanente durante todo el año y sus actividades económicas (ANA, 2016). Bajo la premisa real que no es posible gestionar los recursos hídricos si no se cuenta con información confiable que incorpore la influencia potencial del cambio climático, se planteó realizar la evaluación de la disponibilidad hídrica actual y futura, con información estructurada en WEAP para estimar los balances hídricos en Subcuencas y las unidades hidrográficas menores e

identificar las zonas críticas con escasez del recurso hídrico, cuya base de datos sistematizada de manera semidistribuida y con efecto potencial de cambio climático, permita proponer medidas para evitar conflictos futuros y cubrir las demandas multisectoriales, aporte que muy bien pueden ser considerados en la planificación, ejecución y evaluación de los Planes de Aprovechamiento de Disponibilidades Hídricas (PADH).

## 1.3 Objetivos

### 1.3.1 Objetivo General

Evaluar la disponibilidad hídrica superficial en la cuenca del río Mayo, bajo escenarios actual y futuro, con fines de asignación de uso de agua, mediante la herramienta WEAP (Water Evaluation And Planning).

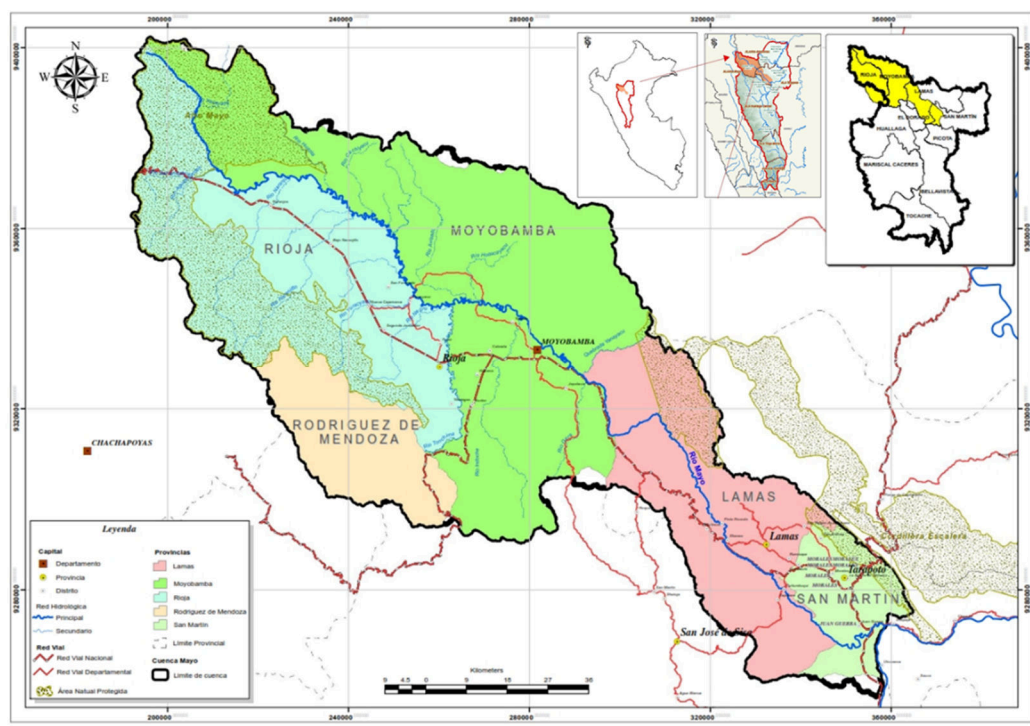
### 1.3.2 Objetivos Específicos

- Evaluar, sistematizar y completar información primaria relacionada a variable hidrometeorológicas, demandas, suelos, cobertura, entre otros en la cuenca del río Mayo.
- Desarrollar distintas condiciones de los escenarios actual y futuro para el análisis de asignación de los recursos hídricos. Incluye los efectos potenciales del cambio climático.
- Estimar la oferta hídrica en la Cuenca Mayo, mediante el modelamiento hidrológico con el software WEAP.
- Evaluar el balance hídrico en la cuenca Mayo, en situación actual y situación futura (horizonte 2050 y 2080), mediante el modelamiento de gestión con el software WEAP.
- Evaluar los resultados obtenidos e identificar las zonas críticas de la cuenca Mayo y plantear medidas que permitan cubrir las demandas multisectoriales en la cuenca.

## 1.4 Alcances

El presente estudio de investigación evalúa la disponibilidad hídrica superficial en la cuenca del río Mayo (Figura 1), con énfasis a nivel de subcuencas y unidades hidrográficas menores, a través del análisis de los diferentes escenarios de planificación, incidencia del cambio climático en el recurso hídrico, tanto para la situación actual como futura. A partir de los balances hídricos, se espera identificar los lugares y cuantificar los volúmenes de déficits, a

partir del cual los planificadores puedan incorporar criterios de ajuste en los Planes de Aprovechamiento de Disponibilidades Hídricas (PADH), los tomadores de decisión en la asignación del uso de agua apliquen medidas restrictivas en sus actos resolutivos y efectuar recomendaciones para gestionar mejor la oferta y sobre todo la demanda de agua, que permita actualmente y a futuro, cubrir las demandas multisectoriales de la cuenca Mayo. Sin embargo, se espera que conforme transcurra el tiempo, contando con mayor información hidrometeorológica proveniente de las 09 estaciones hidrometeorológicas instaladas recientemente por la ANA – PGIRH y un estudio de demandas futuras, se cuente con el modelo WEAP más preciso, que garantice y agilice la obtención de las disponibilidades hídrica y toma de decisiones.



**Figura 1. Ubicación de las Unidades Hidrográficas - Río Mayo**

FUENTE: ANA, 2016.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Antecedentes

Existen estudios puntuales, elaborados por los administrados, en algunos tramos de ríos que son tributarios del río Mayo, para justificar la disponibilidad hídrica en fuente de agua ante la Autoridad Nacional del Agua (ANA) y con ello gestionar su licencia, permiso de agua, etc.

Ligados al tema de investigación y que han brindado importante información se tiene el Resumen Técnico de (SENAMHI, 2009), “Escenarios Climáticos del río Mayo para el año 2030”, el que concluye que la temperatura máxima y mínima en el Bajo Mayo, se incrementa a razón de  $0.43^{\circ}\text{C}/\text{década}$  y  $+0.22^{\circ}\text{C}/\text{década}$ , mientras que, en el Alto Mayo, está disminuyendo a razón de  $-0.25^{\circ}\text{C}/\text{década}$ , y  $+0.48^{\circ}\text{C}/\text{década}$ , respectivamente. Agrega que las proyecciones climáticas al 2030, producirá un incremento de la temperatura máxima de  $+1.2^{\circ}\text{C}$  y en la mínima de  $+0.7^{\circ}\text{C}$ ; sin embargo, dicho estudio amerita ser actualizado y proyectado a un futuro de largo plazo.

También, se realizó el estudio “Evaluación de recursos hídricos de doce (12) cuencas hidrográficas del Perú” (INCLAM-TYPSA, 2015), el cual incluye a la cuenca del río Huallaga y en él, la Cuenca Mayo, elaborado con información limitada y resultados a nivel de cuenca que no concuerda con el objetivo de la asignación de uso de agua. Por ello, la Autoridad Administrativa del Agua Huallaga, realizó a través de un servicio de consultoría el “Estudio de mejora y actualización del modelo hidrológico y de gestión en el ámbito del ALA Alto Mayo, AAA Huallaga” (Huamán, 2016), con el objetivo de mejorar y complementar el estudio anterior, pero dado el corto tiempo y carencia de información, no se logró resultados específicos sobre todo de precisar la oferta hídrica, demanda multisectorial y balances hídricos por cada Unidad Hidrográfica y subcuencas, que permita conocer los déficits existentes.

Además, el estudio hidrológico sobre un karst tropical andino – amazónico (Grandjouan et al., 2017) denominado “Las resurgencias del Alto Mayo (San Martín, Perú), precisa que existe el aporte de las aguas subterráneas de las zonas kársticas al caudal total del río Mayo, a causa de la existencia del macizo kárstico y su red de drenaje subterráneo de donde emerge ciertos caudales, que van de 35 m<sup>3</sup>/s a 18 m<sup>3</sup>/s, aunque el propio estudio refiere que algunos valores como el rendimiento específico y el escurrimiento son incoherentes, recomendando explorar la red kárstica del macizo y su geología con mayor detalle.

Es desde el 2018, que la ANA, viene interviniendo en la subcuenca del río Mayo, a través del Proyecto de Gestión Integrada de Recursos Hídricos de la ANA (PGIRH - ANA), quienes han elaborado el Plan de Gestión de Recursos Hídricos en la Cuenca del Río Mayo 2021 y el Estudio Hidrológico de la Cuenca del río Mayo, los cuales presentan entre otros, información de la cuenca, oferta hídrica, demandas multisectoriales e identifica zonas con problemas de déficit, pero su metodología y criterios aplicados son distintos a la asignación de uso de agua.

## 2.2 Formulación de la hipótesis

### 2.2.1 Hipótesis general

El desarrollo y análisis de la disponibilidad de agua por unidades hidrográficas menores y escenarios de gestión usando la herramienta computacional Water Evaluation and Planning System (WEAP), puede ayudar en la planificación actual y futura, facilitando la asignación del uso de agua y por ende la toma de decisiones en la cuenca del río Mayo.

### 2.2.2 Hipótesis específicas

- La inconsistencia y escasez de información hidrometeorológica en los puntos de interés de la cuenca del río Mayo, puede ser completada y sistematizada, utilizando el método precipitación - escorrentía y herramientas informáticas de modelamiento hidrológico disponibles.
- El cambio espacial y temporal de las precipitaciones en la cuenca del río Mayo, viene distorsionando la oferta de agua en las unidades hidrográficas menores, por lo que asignar el uso de agua, exige estimar en cada una de ellas su disponibilidad hídrica superficial.
- La herramienta que más se adapta para efectuar el Modelamiento Hidrológico y Modelamiento de gestión (Balance Hídrico) de la cuenca del río Mayo es WEAP, porque permite estimar el balance de la oferta y la demanda, distribuir el agua entre

diferentes tipos de usos, teniendo en consideración aspectos contemplados en la normativa hídrica del Perú y desde la óptica humana y la ecosistémica; y efectuar el análisis en diferentes escenarios.

- El incremento de la población, la proyección de nuevos proyectos y la presencia del cambio climático, genera déficit o superávit en las unidades hidrográficas menores de la cuenca del río Mayo; por lo que para la toma de decisiones se necesita conocer sus Balances Hídricos actual y futuro.

## 2.3 Definiciones y normas en materia de recursos hídricos

### 2.3.1 Delimitación de las cuencas hidrográficas

La ANA ha efectuado la codificación y delimitación de unidades hidrográficas a través del método Pfafstetter; que, dado sus características ventajosas, es reconocido como estándar internacional. (ANA, 2008). Así, se aprobó la delimitación de la cuenca del río Huallaga, en la que incluye a la cuenca del río Mayo (ANA, 2017). El sistema Pfafstetter trabaja dentro de una unidad de drenaje mayor, emplea nueve dígitos (1 al 9) para codificar las nuevas unidades de drenaje: cuatro cuencas con dígitos pares y cinco intercuencas con dígitos impares; va siguiendo una dirección que va desde “aguas abajo” hacia “aguas arriba” del río principal (Ruiz & Torres, 2008).

### 2.3.2 Planificación, tipología de uso y derechos de uso de agua

Planificación de la gestión del agua. - Tiene como objetivo el 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 (ANA, 2019).

Tipologías de usos.- El uso del recurso hídrico se clasifica en tres tipos básicos: a) Usos Primarios, que no requiere autorización administrativa y se ejerce por la sola disposición de la Ley, en la que el agua es de utilización directa en las fuentes naturales y cauces públicos, con el fin de satisfacer las necesidades humanas primarias, tales como la preparación de alimentos, consumo directo y aseo personal; así como su uso en ceremonias culturales, religiosas y rituales, b) Usos Poblacionales, cuya agua se capta de una fuente o red pública, debidamente tratada, con el fin de satisfacer las necesidades humanas básicas como preparación de alimentos y hábitos de aseo personal, el cual se ejerce mediante derechos de uso de agua otorgados por la Autoridad Nacional del Agua y c) Usos Productivos, cuya utilización del recurso hídrico se emplea en procesos de producción o previos a los mismos

y se ejerce mediante derechos de uso de agua otorgados por la Autoridad Nacional del Agua e incluye a los usos agrarios (pecuario y agrícola), acuícola, pesquero, energético, industrial, medicinal, minero, recreativo, turístico y de transporte.

Derecho de uso de agua.- Toda persona natural o jurídica, pública o privada, para usar el agua requiere contar con un derecho de uso de agua otorgado por la Autoridad Administrativa del Agua, salvo que se trate de uso primario.

Clases de derechos de uso de agua.- Son tres (03): 1. Licencia de uso, 2. Permiso de uso y 3. Autorización de uso de agua. Además, existen tres clases de Uso de Agua; Uso Primario, Poblacional y Productivo. (ANA, 2019). Las Licencias, otorgadas según lo que establece el procedimiento para obtener licencia de uso de agua en el marco de la formalización de uso de agua, los criterios técnicos para la evaluación de las solicitudes y los formatos requeridos; para todas las personas naturales o jurídicas que vienen haciendo uso del agua de manera pública, pacífica y continua (ANA, 2021).

Caudal ecológico. - Es el volumen de agua que se debe mantener en las fuentes naturales de agua para la protección o conservación de los ecosistemas involucrados, la estética del paisaje u otros aspectos de interés científico o cultura, pudiendo variar a lo largo del año, en cuanto a su cantidad. Las metodologías para su determinación son establecidas por la Autoridad Nacional del Agua en coordinación con el Ministerio del Ambiente, con la participación de las autoridades sectoriales competentes (ANA, 2019).

### 2.3.3 El Plan de Aprovechamiento de las Disponibilidades Hídricas (PADH)

Es un instrumento de planificación anual del uso multisectorial de los recursos hídricos, que se elabora teniendo en cuenta el comportamiento hidrológico, climatológico, socio-ambiental y las características de la infraestructura hidráulica; con la finalidad de atender las demandas de agua de los titulares de derecho de uso de agua, caudal ecológico, la seguridad de la presa y evitar el riesgo de las poblaciones, actividades económicas e infraestructura pública y privada (ANA, 2018).

#### 2.3.4 Comités de subcuenca en la Amazonía

Estos, se organizan en Amazonía de ser necesario, en torno a los ríos menores o grandes quebradas, conforme a la zonificación que realice la Autoridad Nacional del Agua, facultados para administrar los usos del agua, otorgando prioridad al consumo humano y garantizando su protección según los principios y mandatos de la Ley (ANA, 2019). Así, se crea el Comité de subcuenca Mayo (ANA, 2017), en base a los “Lineamientos Generales para la Creación de Comités de Subcuenca en la Amazonía (ANA, 2017).

#### 2.4 Evaluación de recursos hídricos

La población mundial que actualmente sufre una grave escasez de agua de un promedio anual del 30 por ciento y un rango mensual de disponibilidad hídrica que va de 22 por ciento – 35 por ciento (Michelle TH van Vliet, 2021).

Se prevé que en el año 2025 la escasez de agua será cada vez más aguda si las políticas para mejorar la gestión del agua, no es contrarrestada con medidas de conservación, las organizaciones de usuarios no asumen los costos reales de la gestión del agua y las entidades públicas dedicadas a la gestión del agua están pobremente financiadas (Rosegrant, et al., 2002).

Para contrarrestar ciertas carencias, dado las iniciativas del Estado para otorgar los derechos de uso de agua, la ANA definió un Programa de Formalización de Derechos de Uso de Agua (ANA, 2012), con la finalidad de ordenar la gestión de la oferta y demanda del agua con el uso equitativo del recurso, regularizando los derechos de aprovechamiento y otorgando dotaciones básicas en función de los recursos disponibles y su uso eficiente.



## 2.5 Escenarios planteados

### 2.5.1 Escenarios de cambio climático

El Perú, en los últimos años ha experimentado el impacto de eventos climáticos recurrentes y con mayor intensidad, como el Niño, olas de frío, sequías e inundaciones que afectan y ponen en riesgo la demanda hídrica de los diferentes sectores (agrícola, energético, poblacional, etc.) (Ordoñez et al., 2011) (SENAMHI, 2014). Y para entender e interpretarlo mejor, se requiere del desarrollo de escenarios que contemplen los posibles cambios de elementos climáticos importantes como la temperatura y la precipitación, con lo cual se estima la disponibilidad hídrica futura (Dourojeanni, 2016). Es a partir de esas proyecciones que se puede implementar procesos de adaptación para reducir los riesgos y aprovechar las oportunidades (BID, 2018).

La Organización Meteorológica Mundial (OMM), señala que los gases de efecto invernadero y el calor acumulado en el planeta, no tiene precedentes y tendrá repercusiones en las generaciones actuales y futuras. Así, en estos últimos siete años, se presentan como los más cálidos jamás registrados y el aumento del nivel del mar alcanza un nuevo nivel máximo, poniendo en riesgo la seguridad alimentaria, daños a los ecosistemas y se refleja en la distorsión de las lluvias, calor, inundaciones, sequías, etc con pérdidas humanas y económicas (OMM, 2021). Pero para comprender mejor el potencial impacto del cambio climático, se emplean escenarios a escala de cuenca creados a partir de las predicciones de modelos globales, que permiten simular y predecir a corto, mediano y largo plazo, diferentes componentes del ciclo hidrológico (Orozco et al., 2018).

### 2.5.2 Escenario de aprovechamiento de disponibilidad hídrica

El presente estudio contempla cuatro escenarios de análisis de la disponibilidad hídrica; un escenario basado en la situación actual de la cuenca y tres escenarios futuros, de estos últimos, uno de ellos se planteó bajo hipótesis de oferta constante y dos escenarios futuros considerando variaciones en la oferta hídrica por efectos del cambio el cambio climático.

Además, la formulación de escenarios futuros e hipótesis para el aprovechamiento del recurso hídrico se realizó a partir de la premisa que sólo es aplicable, si se trabaja en el Modelo de Gestión con valores cuantificables, tal como son lo referente a oferta y demanda. Dichos escenarios estarán centrados en la variación volumétrica de la oferta de la cuenca y

el aumento de las demandas a futuro; así bajo hipótesis sobre la oferta, demanda futura, y normas de explotación; se prevé el efecto potencial del Cambio climático, la incorporación de demandas comprometidas en las acreditaciones de la disponibilidad hídrica superficial, aplicación de caudales ecológicos y considerar el uso poblacional como prioridad, respectivamente.

### 2.5.3 Escenarios de asignación de uso de agua

Los escenarios de asignación de uso de agua referidos a evaluar los volúmenes de asignación de agua en la cuenca del río Mayo, tomando en cuenta los derechos de uso de agua, los cuales están disgregados por tipo de uso de agua, para conocer las demandas multisectoriales requeridas y sobre todo la demanda por uso poblacional que de acuerdo a Ley de Recursos Hídricos tiene primera prioridad; información con el cual permite efectuar ajustes sobre todo cuando la cuenca es susceptible a cambios en las condiciones climáticas y a la disponibilidad de agua.

## 2.6 Modelos globales y regionales

El Modelo Global del Clima (GCM, por sus siglas en inglés) se basa en los procesos físicos fundamentales de la atmósfera, el océano, la criósfera y la superficie de la tierra (Bonilla-Ovallos & Mesa, 2017). El Proyecto Inter-Comparación de Modelos Acoplados-fase 5 (CMIP5) integra 18 modelos globales con gran robustez en las predicciones y las variables climatológicas. Como la precipitación y la temperatura, pueden presentar errores en el modelo, deben ser corregidos para ajustarse con mayor aproximación al futuro (Orozco et al., 2018).

Existen modelos de cambio climático, incluso algunas desarrolladas por la NASA y datos de temperatura observada de múltiples fuentes, cuyos resultados tuvieron coincidencia con las observaciones, reflejando mayor confianza los modelos en la actualidad, dado que están proyectando el calentamiento global, con lo que se puede comprender mejor el clima de la Tierra en el pasado, el cambio actual y su tendencia futura (Pierce et al., 2009). Y para su uso a nivel local o regional, se desarrolla con metodologías de corrección del sesgo, que incluyen principalmente métodos lineales y no lineales. En el caso del método lineal, los factores climáticos se ajustan en función de las diferencias entre las medias observadas y las medias del modelo (MINAM et al., 2018). El procedimiento de corrección del sesgo identifica los sesgos entre los datos históricos observados y simulados, para luego,

parametrizar el algoritmo de transformación y ajustar la serie simulada. También se cuenta con la técnica de downscaling (o de regionalización o de reducción de escala) (Bremnes et al., 2012), que permite proyectar de forma más detallada, la información disponible a gran escala sobre la escala regional y su reducción de escala proporciona un valor agregado para el estudio del cambio climático y sus posibles impactos (Fowler & Wilby, 2007).

## 2.7 Modelamiento hidrológico

### 2.7.1 Cuenca hidrográfica y Unidad Hidrográfica

La Cuenca hidrográfica es el área que capta las aguas pluviales, y las drena por un sistema hidrográfico común. Es delimitada por la línea de las cumbres, también llamada divisoria de aguas.

Y las Unidades hidrográficas son los espacios geográficos limitados por líneas divisorias de aguas, cuya organización está estructurada jerárquicamente por niveles, en el que la superficie de drenaje es el único criterio de decisión organizativa.

### 2.7.2 Modelos Hidrológicos

El clima define la hidrología de una región y los procesos meteorológicos que lo determinan son esenciales para el conocimiento del balance hídrico en una cuenca hidrográfica (García-Marín et al., 2014). Los principales factores que intervienen en la escorrentía son los agroclimáticos, como la cantidad, intensidad duración y distribución de las lluvias; la interceptación de la cubierta vegetal, densidad y especies presentes, época del año, radiación solar, humedad atmosférica y del suelo; entre otros. Así mismo, están los factores fisiográficos, tales como la extensión, forma y pendiente media de la cuenca; geología, tipo de suelo y permeabilidad; cultivos presentes; red hidrológica y capacidad de evacuación de ésta, cuya complejidad se facilita con el uso de herramientas informáticas y modelos hidrológicos.

Una de las formas de poder comprender de manera fácil, los procesos e interrelaciones, pero sobre todo la “respuesta predictiva” del ciclo hidrológico, es utilizando los modelos hidrológicos, a partir de los cuales se entiende a la cuenca en el tiempo y en el espacio, siempre que lo construyamos, apliquemos y se cuente con la información de entrada particulares como clima, geografía, geología, etc. (Cabrera D. , 2011).

Los modelos hidrológicos se pueden clasificar en modelos distribuidos y modelos agregados, según la discretización de la cuenca. Los modelos agregados consideran una distribución espacial uniforme de lluvia en la cuenca, utilizando la precipitación media como variable, y supone que los parámetros de los diferentes submodelos, que simulan los diferentes procesos hidrológicos, son globales y permanecen constantes para toda la cuenca. En cambio, los modelos distribuidos consideran la variación espacial en todos sus parámetros y variables en cada punto de la cuenca los modelos distribuidos permiten una descripción más detallada tanto de la superficie del terreno como de la zona subterránea, simulando los procesos de transmisión del agua entre las diversas capas del terreno (Berenguer, 1994). Ambos modelos son herramientas muy útiles para evaluar el estado de los recursos hídricos y la predicción de inundaciones y sequías, así como para entender las implicaciones ambientales de la degradación de tierras y el manejo de recursos (Mendoza et al., 2002).

Los modelos agregados siempre han sido más utilizados que los distribuidos dado las limitaciones computacionales y disponibilidad de datos; sin embargo, el avance tecnológico posibilita que la modelización distribuida sea mucho más factible (Zubieta, 2013).

### 2.7.3 La función de distribución y la distribución exponencial

Llamada también función de distribución acumulada es una función matemática que indica la probabilidad acumulada de una distribución.

Existen varios tipos de distribución, tales como la Distribución uniforme, Distribución Bernoulli, Distribución Exponencial, Distribución Binomial, Distribución Poisson, Distribución Gaussiana, Distribución Chi cuadrado y Distribución Exponencial.

El modelo probabilístico que más se adapta a nuestro requerimiento de reflejar los caudales, es la distribución exponencial, cuyo coeficiente de determinación ( $R^2$ ) y el test de bondad de ajuste de Kolmogorov Smirnov (K-S) son los que mejor lo representan a las series de caudales.

La distribución Exponencial, se encuentra dentro de la familia de distribuciones gamma (Tipo III) discutido por Karl Pearson en 1895; es una de las distribuciones de probabilidad que se utiliza para modelar tiempos de espera para la ocurrencia de un cierto evento. Tienen la propiedad de falta de memoria, lo que significa que la ocurrencia de un evento anterior no afecta a la probabilidad de que suceda ese evento en el futuro.

La función de densidad depende de un parámetro  $\alpha$  (tasa de fallo o número de fallos por unidad de tiempo) es de la forma:

$$f(x) = \alpha e^{-\alpha x} \quad F(x) = \begin{cases} 1 - e^{-\alpha x} & \dots \dots \dots \text{si } 0 < x \\ 0 & \dots \dots \dots \text{en otro caso} \end{cases}$$

La media de esta distribución es  $1/\alpha$  y la desviación típica también es  $1/\alpha$

La distribución exponencial de 2 parámetros se define por sus parámetros de escala y valor umbral. El parámetro de valor umbral,  $\theta$ , si es positivo, desplaza la distribución una distancia  $\theta$  a la derecha.

La función exponencial es siempre estrictamente creciente o decreciente, según el valor de  $a$ : Si  $0 < a < 1$  la función es estrictamente decreciente. Si  $a > 1$  la función es estrictamente creciente.

#### 2.7.4 Modelo de balance hídrico

La unidad básica de trabajo en hidrología es una cuenca, siendo importante el conocimiento cualitativo y cuantitativo del ciclo hidrológico, cómo va cambiando su estado y los recorridos entre las distintas formas de almacenamiento, a partir de un proceso o sistema tan complejo cuyos componentes son la precipitación, evaporación, escorrentía, fusión de la nieve, etc.

Sabiendo que los procesos hidrológicos no siguen el comportamiento de leyes físicas exactas, si aplicamos el concepto de sistema, se puede abordar el problema construyendo un modelo que relacione entradas y salidas en vez de reproducir exactamente los detalles del sistema, aunque el conocimiento del sistema físico ayudará en el desarrollo de un buen modelo y a determinar su precisión.

El cálculo se puede hacer en cualquier escala temporal (horas a años) y cualquier escala espacial (parcelas a cuencas grandes) y el balance hídrico de la cuenca puede ser realizado de forma agregada considerando toda la cuenca como una unidad o distribuida calculando el balance hídrico al nivel de subunidades de la cuenca, cuya ecuación de equilibrio hídrico para cuencas en condiciones naturales es:

$$P - ETR - Q - \Delta\theta = \mu$$

Donde  $P$  es la precipitación,  $ETR$  es la evapotranspiración real,  $Q$  es escurrimiento (descarga de cuenca),  $\Delta\theta$  es el cambio en el almacenamiento de agua de los diferentes depósitos y  $\mu$  es la discrepancia del balance hídrico.

Los modelos se clasifican en materiales y formales. Los modelos materiales son aquellos que reproducen físicamente la realidad en representaciones a escala reducida, son caros y de aplicabilidad limitada. En cambio, los modelos formales, también llamados matemáticos, están disponibles con facilidad, son flexibles y no necesitan una gran cantidad de recursos, entre los cuales tenemos cuatro tipos: determinísticos, probabilísticos (estocásticos), conceptuales y paramétricos.

Tanto los modelos estocásticos como los determinísticos pueden clasificarse en términos conceptuales o empíricos, dependiendo de si el modelo se basa o no en leyes físicas. Otra clasificación es en función de la discretización espacial, así tenemos los modelos agregados que simulan un sistema hidrológico en el que tratan las superficies de la cuenca como un todo y como modelos distribuidos si consideran los datos y los parámetros de manera más precisa y en menores espacios del sistema hidrológico (Segura, 2017).

#### 2.7.5 Modelo de simulación hidrológica y planificación del agua

Un modelo de simulación de aguas es una representación matemática de la hidrología, ya sea superficial o subterránea de un sector, en donde se idealiza y simplifican las condiciones hidrológicas e hidrogeológicas que permitan la descripción de las condiciones y procesos más importantes de una cuenca. El modelo de simulación sirve para mejorar el conocimiento que se tiene del recurso dentro de la cuenca o para predecir diferentes impactos hidrológicos, a partir de diferentes escenarios de evaluación, actuales y futuros (Zagona, 1998).

Permiten simular el proceso de planificación de los recursos hídricos de la cuenca, considerando las infraestructuras hidráulicas existentes en la cuenca y las reglas de operación aplicadas en dicho proceso de planificación. Entre algunos de estos modelos, tenemos:

- RIVERWARE.- Permite modelar cualquier cuenca fluvial, administrar la entrada de datos y salida de manera eficiente para operaciones casi en tiempo real. Permite construir, ejecutar y analizar los resultados del modelo con relativa rapidez, facilidad y sin requisitos de capacitación excesiva, incorporando una evaluación de políticas

operativas, la optimización del sistema, la contabilidad del agua, la administración de derechos de agua y la planificación de recursos a largo plazo (Zagona, 1998).

- MODSIM.- Se utiliza entre otros, para las operaciones de un sistema hidráulico desarrollado como soporte de decisiones y utilizado para la simulación hidrológica de sistemas de redes de cauces de una cuenca. Tiene la capacidad de incorporar simultáneamente la complejidad física, hidrológica y los aspectos institucionales y administrativos del manejo de una cuenca, incluyendo los derechos de agua. Se caracteriza porque se ajusta al tamaño y complejidad de la administración de un sistema de red de cauces de una cuenca. Puede incorporar derechos de agua, restricciones legales y administrativas, considera la interdependencia de los recursos hídricos superficiales y subterráneos, puede relacionarse con el modelo MODFLOW (Fernandez, 2017).
- SWAT.- Puede efectuar un modelado integral de grandes cuencas, permite conocer la dinámica hídrica de las cuencas bajo diversos escenarios actuales y futuros, permitiendo una visión holística de la cuenca. Puede caracterizar los procesos físicos que controlan la transformación de la precipitación en escorrentía, a la vez que modela la erosión del suelo y el transporte de sedimentos, así como la movilización de nutrientes y la dispersión de contaminantes, en el conjunto de la cuenca. También permite evaluar el impacto de las actividades humanas y/o del cambio climático sobre la cantidad y régimen de la producción de agua y sedimentos a nivel de cuenca hidrográfica, de subcuenca o de Unidades Hidrológicas de Respuesta (Fernandez, 2017).

WEAP.- En una subcuenca, hay alteraciones hidrológicas producto de factores naturales y antropológicos, cuya evaluación es posible utilizando modelos como el WEAP, para simular procesos hidrológicos naturales, efectos inducidos por el hombre y estrategias de gestión de los recursos hídricos. (Abera Abdi & Ayenew, 2021). Permite implementar las demandas y suministros de agua, y observar el balance del recurso, a partir de un rango de datos, ya sea desde poca información si el problema es simple, hasta una gran cantidad de datos si es complejo. Facilita la planificación de recursos hídricos balanceando la oferta de agua con la demanda de agua. A diferencia de otros modelos, incluye rutinas diseñadas para distribuir el agua

entre diferentes tipos de usuarios desde una perspectiva humana y ecosistémica. Para ello, debe efectuarse una recolección de datos de acuerdo con el tipo de estudio definido, se construye el esquema, se realiza la entrada de datos y las corridas iniciales del modelo para observar su comportamiento preliminar y para eliminar posibles inconsistencias y errores; seguidamente efectuar la Calibración, es decir la caracterización de la oferta y demanda actual del agua, las cargas de contaminantes, los recursos y las fuentes para el sistema Finalmente efectuar la validación y el uso del modelo, pudiendo generar diversos escenarios, con una serie de supuestos alternativos (SEI, 2009).

Este software fue utilizado en estudios de recursos hídricos (ANA, 2016) y su uso en planificación para la asignación de los recursos hídricos se facilita ya que puede integrar el agua superficial, subterránea y la calidad del agua, además simular el cambio climático, la GIRH y diferentes escenarios

Es posible utilizarlo en cambio climático, para determinar el impacto que se genera en su disponibilidad, aplicando la simulación y el análisis de diversas asignaciones y escenarios de agua y simulaciones con modelos climáticos globales – GCM (Argungu Abdullahi, et al., 2014) (Argungu Abdullahi S. , 2015).

## 2.8 Los recursos hídricos y el cambio climático

Gestionar la disponibilidad de agua, implica la gestión de las precipitaciones, la humedad y el almacenamiento, la infiltración y la transmisión del agua, de modo que se llevan a cabo mejoras en la localización, temporización y cantidad de agua disponible para las necesidades humanas (UNESCO, 2018).

Las tendencias del clima a lo largo del siglo XX en la región muestran en los últimos 50 años, variaciones espaciales, un ascenso de las temperaturas de 0.12°C por década.

En tal sentido, los impactos del incremento de la temperatura, afectarán la disponibilidad del agua, la producción, la calidad de los alimentos y la incidencia de las enfermedades transmitidas por vectores en América Latina (Timaná, 2014).

Producto del aumento de las emisiones de gases está subiendo la temperatura del planeta, lo que genera el derretimiento de glaciares, el aumento de las precipitaciones y de la frecuencia de eventos meteorológicos extremos, y modificaciones en las estaciones del clima. Por otro



lado, el aumento de las temperaturas termina por reducir la producción de los cultivos, el exceso de lluvias aumenta las probabilidades de fracaso de las cosechas y aunque algunos cultivos en ciertas regiones del mundo puedan beneficiarse, en general se espera que los impactos del cambio climático sean negativos para la agricultura, amenazando la seguridad alimentaria mundial (Nelson, et al., 2009).

Según las proyecciones, se prevé que continuará el incremento de las temperaturas y alcanzará a fines del siglo, valores de entre 1,6° C y 4,0° C en América Central y entre 1.7° C y 6.7° C en América del Sur (Bremnes, et al., 2012).

El Cambio Climático, comprende el aumento o disminución de las precipitaciones y el aumento o disminución de las temperaturas, lo cual impacta en la disponibilidad de los recursos hídricos superficiales y subterráneas, en diversos lugares del mundo (Tabari, 2020). Y dado la variabilidad climática e incertidumbre en la climatología, efectuar planificación hidrológica es muy incierta, y requiere como imput los gases invernadero.

## 2.9 Acreditación de Disponibilidad Hídrica

De acuerdo al Glosario de Términos de la ANA (Resolución Jefatural N° 151-2020-ANA) del 01/10.2020), la disponibilidad hídrica lo define como la cantidad de agua de una fuente que aún no ha sido otorgada para uso alguno; es así que las denominadas acreditaciones de disponibilidad hídrica, se otorga al administrado mediante una resolución directoral de la Autoridad Administrativa del Agua, para que profundice sus estudios y demuestre que lo puede aprovechar sin afectar al recurso hídrico y/o a otros administrados. En el presente estudio, estas acreditaciones de disponibilidad hídrica, se han considerado como demandas futuras, porque certifica la existencia de recursos hídricos en cantidad, calidad u oportunidad apropiadas para un determinado proyecto en un punto de interés y bajo el supuesto que existe mucha probabilidad que en el futuro luego de cumplir con otras exigencias de la ANA, se convierta en un derecho otorgado y como tal, una demanda sectorial o multisectorial real.

## 2.10 Caudales Ecológicos

El caudal ambiental o caudal ecológico, permite mantener un adecuado hábitat, temperatura, oxígeno disuelto, entre otros; para los organismos acuáticos, agua bebible para animales terrestres y humedad de suelos para plantas.

Para tal fin, la Autoridad Nacional del Agua emite la Resolución Jefatural N° 118-2019-ANA que indica los lineamientos generales para determinar los caudales ecológicos. En esta resolución se indica que el caudal ecológico deberá determinarse en función de los objetivos ambientales que se deseen alcanzar en el tramo, subtramos o área del cuerpo natural del agua, que busca conciliar las necesidades de agua del ecosistema y de los usuarios de agua.

## 2.11 Métricas utilizadas para la evaluación de diferentes modelos climáticos

### 2.11.1 Diagrama de Taylor

Los diagramas de Taylor, son diagramas matemáticos que permiten de manera gráfica identificar de manera fácil que representaciones o modelos (Taylor, 1994), permiten cuantificar el grado de correspondencia entre el comportamiento modelado y observado en términos de tres estadísticos: el coeficiente de correlación de Pearson, la raíz del error cuadrático medio (RMSE) y la desviación estándar. El diagrama de Taylor se presenta como un cuarto de circunferencia en que se solapan líneas rectas y curvas para representar los tres estadísticos referidos. Generalmente, se marca con un punto el cruce de información de las observaciones o mediciones a representar ( $RMSE=0$ ;  $correlación=1$ ), con la distancia al centro de la circunferencia como representación del valor de la desviación estándar (Rivera, et al., 2022).

### 2.11.2 Coeficiente de correlación de Pearson

Es una prueba que mide la relación estadística entre dos variables continuas. Así, si la asociación entre los elementos no es lineal, entonces el coeficiente no se encuentra adecuadamente representado. Sus valores van de +1 a -1. Un valor de 0 indica que no hay asociación entre las dos variables. Un valor menor que 0 indica una asociación negativa; es decir, a medida que aumenta el valor de una variable, el valor de la otra disminuye. Aplicar la correlación de Pearson requiere entre otros que las variables deben estar distribuida de forma aproximada., haya asociación lineal, no debe haber valores atípicos en los datos, etc.

### 2.11.3 Raíz del error cuadrático medio (RMSE)

Mide la cantidad de error que hay entre dos conjuntos de datos, es decir, compara un valor predicho y un valor observado o conocido.

La Fórmula del error cuadrático medio (RMSE) es:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}}$$

Donde:

P<sub>i</sub> son los valores observados;

O<sub>i</sub> son los valores esperados;

∑ es una letra griega llamada sigma que representa la «sumatoria»; y

n es el tamaño de la muestra (el número de observaciones).

### 2.11.4 Desviación estándar

Es un índice numérico de la dispersión de un conjunto de datos o población, que mientras mayor es la desviación estándar, mayor es la dispersión de la población. La desviación estándar mide el grado de dispersión o variabilidad y es un promedio de las desviaciones individuales de cada observación con respecto a la media de una distribución.

## 2.12 Calidad de la información

### 2.12.1 Inconsistencia y escasez de información hidrometeorológica

Una de las principales dificultades que encuentra el profesional en el Perú, cuando pretende desarrollar estudios hidrológicos, es la escasez e inconsistencia de información hidrometeorológica en el punto de interés (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, 2014) y de disponer es incompleta y se encuentra influenciada por errores

sistemáticos, trayendo como consecuencia que no se pueda estimar los parámetros requeridos con la mayor seguridad posible (Aliaga, 1983).

Los recursos hídricos superficiales en el Pacífico, Titicaca y Atlántico son diferentes, y su monitoreo a nivel nacional es difícil a causa de la baja densidad de estaciones hidrológicas y los registros cortos de caudales de sus ríos (Llauca & Montesinos, Modelamiento hidrológico mensual a nivel nacional, para el monitoreo de sequías en el Perú. En W. Lavado-Casimiro (Ed.), Estudios Hidrológicos del SENAMHI: Resúmenes Ejecutivos - 2020., 2020). Además, el cálculo para la determinación de la oferta es dificultoso, debido a que existe insuficiente información hidrometeorológica por falta de estaciones de medición, recomendándose que los recursos hídricos deben ser evaluados a nivel de las 08 subcuencas principales (Autoridad Nacional del Agua, 2016). Y ante la poca densidad espacial de las estaciones hidrométricas, una alternativa es el uso de la precipitación y evapotranspiración del conjunto de datos meteorológicos de alta resolución PISCO, desarrollado por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), que permite comprender el balance de aguas superficiales en subcuencas con escasez de datos (Llauca, et al., 2022). Y en esta era de la informática, los datos hidrológicos son básicos para los procesos físicos, modelos de simulación y pronósticos, sin embargo, están sujetos a múltiples fuentes de incertidumbre que va entre el 10 y el 40 por ciento, que pueden generar sesgos y errores, sino provienen de una fuente confiable o no se toma en cuenta adecuadamente (McMillan, et al, 2018).

#### 2.12.2 Sistema de información geográfica SIG en la Hidrología

Son una herramienta básica de trabajo, los que permiten almacenar, gestionar y analizar la información espacial de forma precisa; además ayuda en la planificación y gestión de los recursos hídricos, ya que con la generación de Modelos Digitales del Terreno, se puede realizar la delimitación y caracterización de cuencas, analizar la distribución espacial de los recursos hídricos, etc. con lo cual facilita la toma de decisiones en proyectos de desarrollo socioeconómico y ambiental.

## 2.13 Descripción general de la cuenca Mayo

### 2.13.1 Área de estudio

La cuenca Mayo se encuentra ubicada en la vertiente del Atlántico, geográficamente se encuentra ubicada en la zona nororiental andino del Perú. El ámbito de la cuenca del río Mayo, abarcar una superficie es de 9,774.25 Km<sup>2</sup>. Para mayor detalle ver Figura 2.

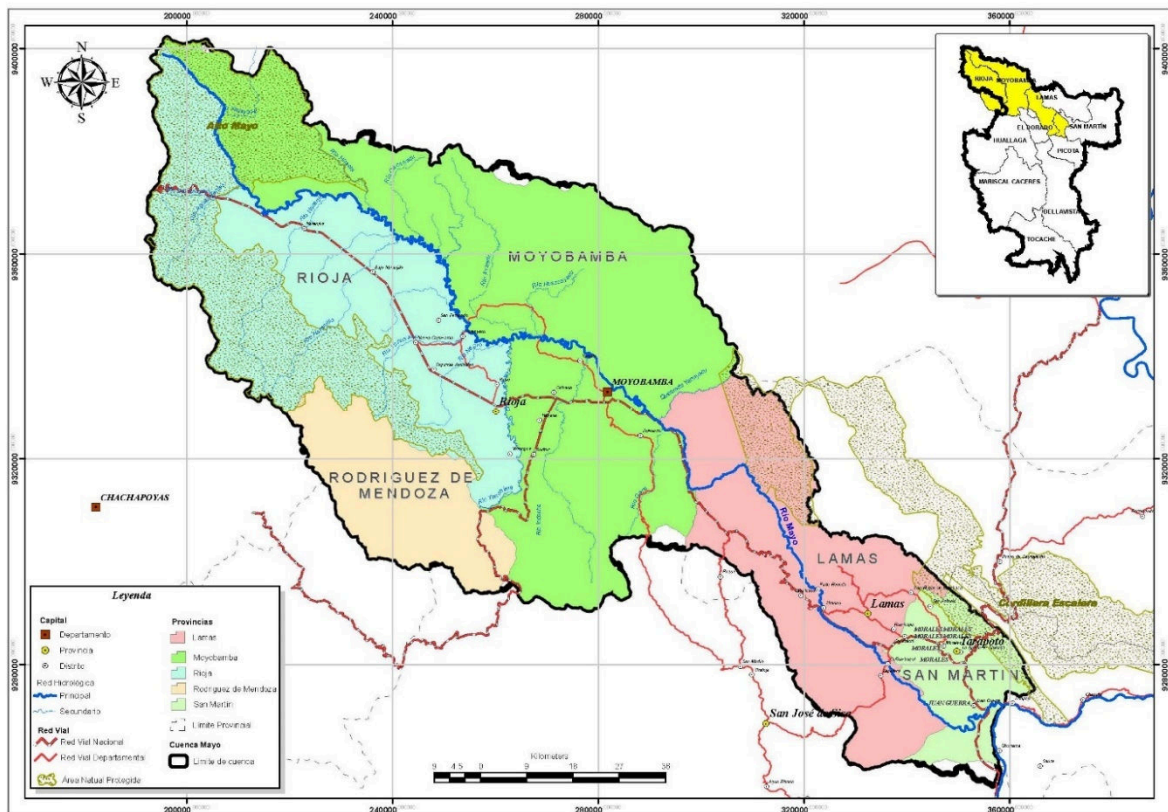
### 2.13.2 Ubicación geográfica

Sus coordenadas geográficas están comprendidas entre los paralelos 8°49' y 9°19' de Latitud Sur y los Meridianos 77°50' y 78°41' de Longitud Oeste.

### 2.13.3 Demarcación hidrográfica

El río Mayo tiene sus orígenes en la unidad hidrográfica menor Alto Mayo, siendo sus principales tributarios los ríos: Naranjos, Naranjillo, Cachiyacu, Tioyacu, Soritor, Yuracyacu, Negro, Avisado, Tonchima, Indoche, Huascayacu; Gera, Cumbaza, Shilcayo y Mamonaquihua, para posteriormente desembocar en el río Huallaga.

Hidrográficamente la cuenca del río Mayo limita por el norte con las Cuencas Potro y Carhuapanas; por el este con la Intercuenca Medio Bajo Huallaga y la Cuenca Parapapura; por el sur con las Cuencas Huayabamba, Intercuenca Medio Alto Huallaga e Intercuenca Medio Huallaga; y finalmente por el oeste con la Cuenca Utcubamba y las Intercuencas Alto Marañón I, Alto Marañón II e Intercuenca 49879. Para mayor detalle ver Figura 2.



**Figura 2. Red hidrográfica de la cuenca Mayo**

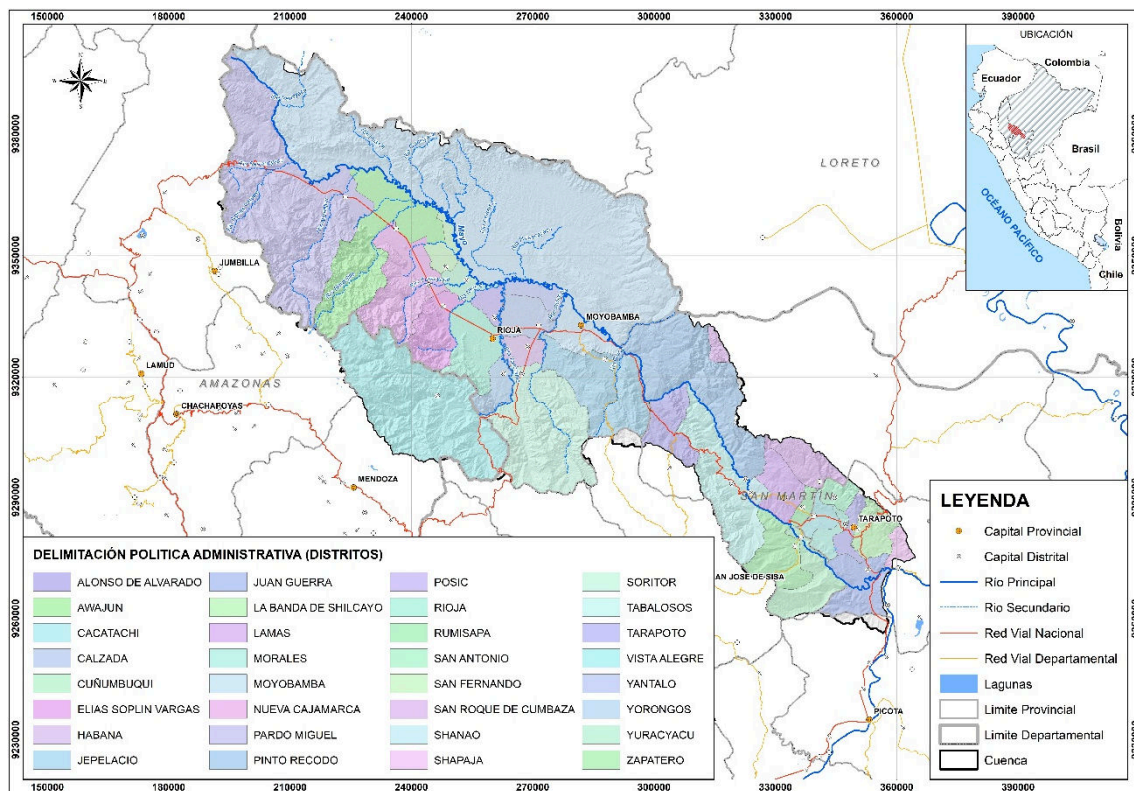
### 2.13.4 Demarcación política

Políticamente la cuenca del río Mayo se ubica en la vertiente del atlántico y norte del Perú, en territorio de las provincias de Rodríguez de Mendoza (Amazonas), Rioja, Moyobamba, Lamas y San Martín (San Martín), tal como se indica en la siguiente tabla.

**Tabla 1. Regiones, provincias y distritos de la cuenca Mayo**

Región	Provincia(s)	Distrito(s)
Amazonas	Rodríguez de Mendoza	Vista Alegre
San Martín	Rioja	Pardo Miguel, Awajún, San Fernando, Nueva Cajamarca, Elias Soplín Vargas, Rioja, Posic, Yorongos, Yuracyacu
	Moyobamba	Moyobamba, Yantaló, Calzada, Habana, Soritor, Jepelacio
	Lamas	Alonso de Alvarado, Pinto Recodo, Tabalosos, Shanao, San Roque de Cumbaza, Lamas, Rumisapa, Zapatero, Cuñumbuqui
	San Martín	San Antonio, Cacatachi, Morales, Tarapoto, La Banda de Shilcayo, Juan Guerra, Shapaja

Y sus límites departamentales son: Por el Norte y Oeste con Amazonas, por el Sur y Este con Loreto.



**Figura 3. Mapa de ubicación política administrativa de la cuenca Mayo**

### 2.13.5 Demarcación administrativa

La cuenca del río Mayo, se encuentra en la jurisdicción de la Autoridad Administrativa del Agua Huallaga, en los ámbitos de la Administración Local del Agua Alto Mayo (parte alta y media de la cuenca) y la Administración Local del Agua Tarapoto (parte baja de la cuenca).

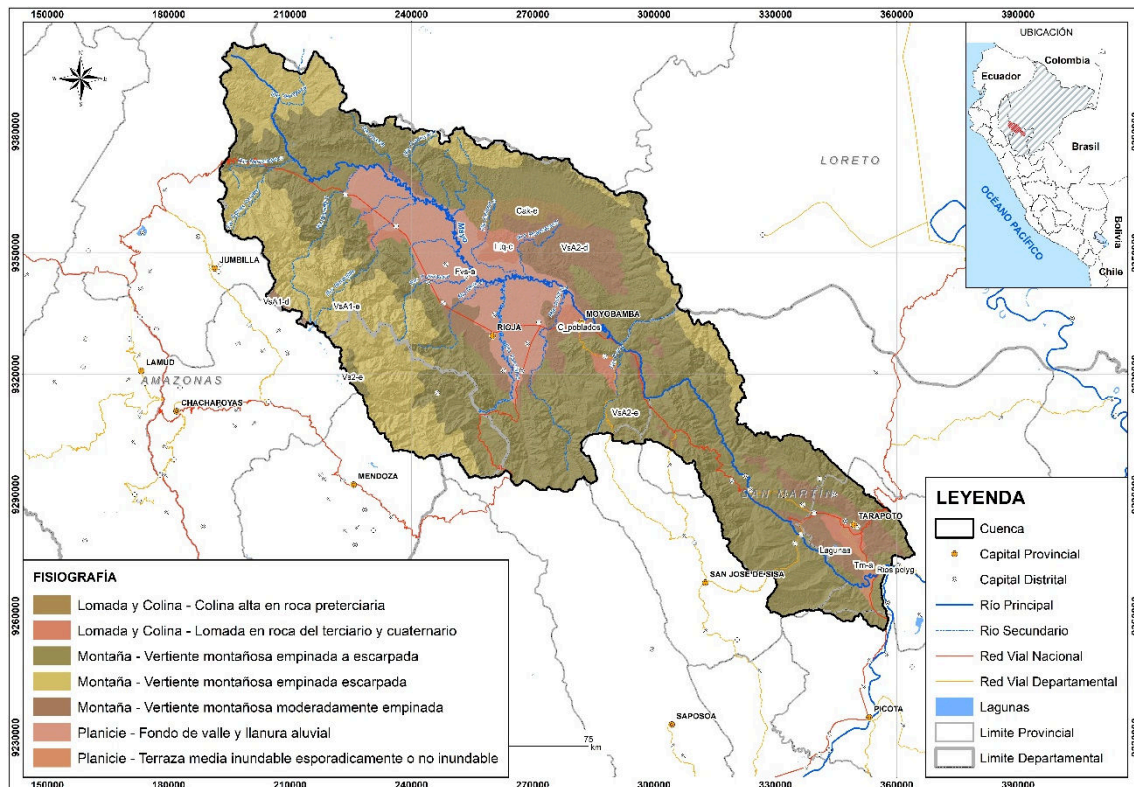
### 2.13.6 Fisiografía

Desde su nacimiento hasta el distrito de Jepelacio, es alargada con un ancho promedio de 90 km y una pendiente media de 1.16 por mil río abajo. Desde el caserío Las Delicias del Gera, la cuenca cambia su forma debido a una zona de convergencia y constricción, para luego paulatinamente recorrer aproximadamente 90 km de divergencia hasta su desembocadura.

La Cartografía ZEE de San Martín señala que la fisiografía por unidad hidrográfica es:

- Intercuenca Bajo Mayo.- Colinas altas de ligera a moderadamente disectadas.
- Cumbaza.- Presentan cimas redondeadas y laderas largas con pendientes dominantes entre 15 y 35 por ciento.

- Intercuenca Mayo.-Presentan cimas redondeadas y laderas largas con pendientes dominantes entre 15 y 35 por ciento.
- Huascayacu .- Relieve de montañas altas, con laderas moderadamente empinadas y otras extremadamente empinadas y colinas bajas fuertemente disectadas
- IC Mayo 498447 (Avisado).- Colinas bajas fuertemente disectadas y terraza media de drenaje imperfecto a pobre
- Alto Mayo .- Montañas altas de laderas empinadas y laderas extremadas



**Figura 4. Mapa Fisiográfico de la cuenca del río Mayo**

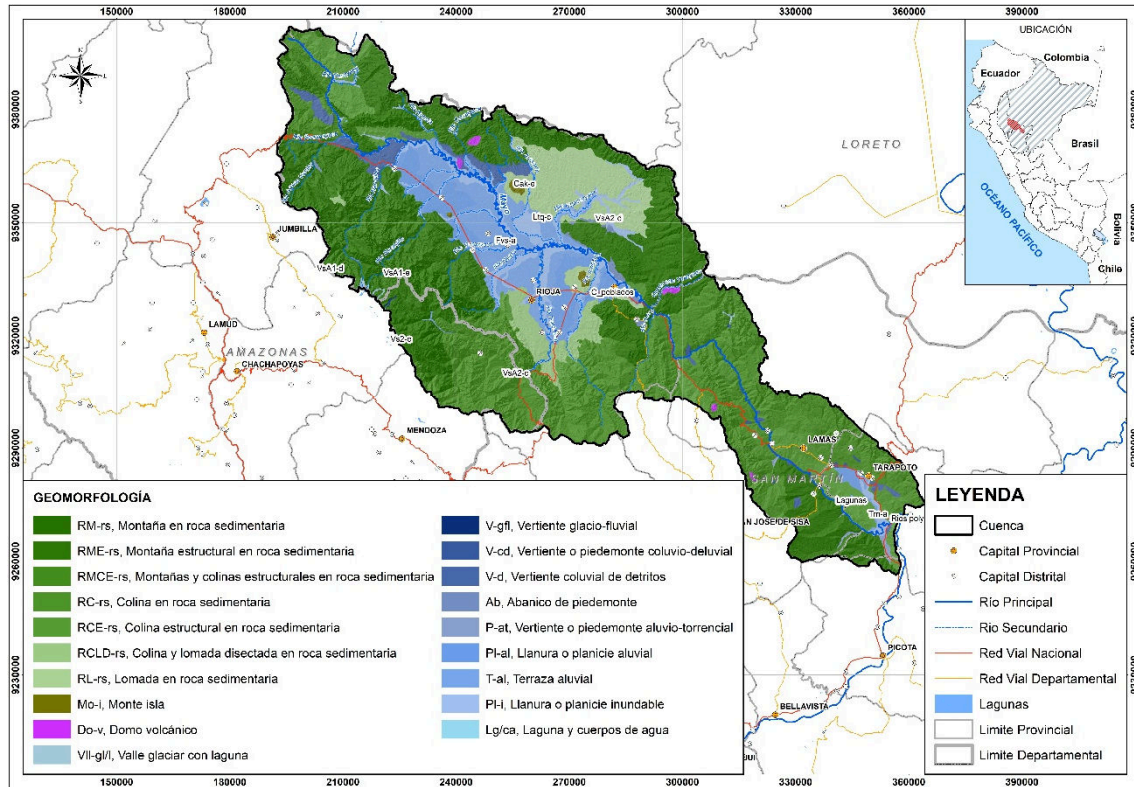
FUENTE: ANA, 2014.

### 2.13.7 Geomorfología

La Cuenca Mayo es de forma alargada, ancha en la zona alta y angosta en la zona media y baja, con una alta capacidad de drenaje natural debido a que posee una densa red de ríos y/o tributarios principales y secundarios que colectan las aguas pluviales y facilitan el drenaje y escorrentía superficial. El río Mayo recorre a razón de 1,16 m/100 m una longitud promedio de 300 km, desde el cerro Cahuapanas hasta su desembocadura, a la altura del caserío Shapaja, adoptando una morfología tipo meándrica a lo largo de su recorrido, característico de un río de la cuenca del Amazonas.



En la cuenca del río Mayo, las unidades geomorfológicas predominantes son: Montañas y colinas estructurales en roca sedimentaria RMCE-rs (29.8 por ciento); Montaña en roca sedimentaria RM-rs (19.6 por ciento); y Montaña estructural en roca sedimentaria RME-rs (17.2 por ciento), para mayor detalle de la geomorfología de la cuenca ver Figura 5.



**Figura 5. Mapa Geomorfológico de la cuenca del río Mayo**

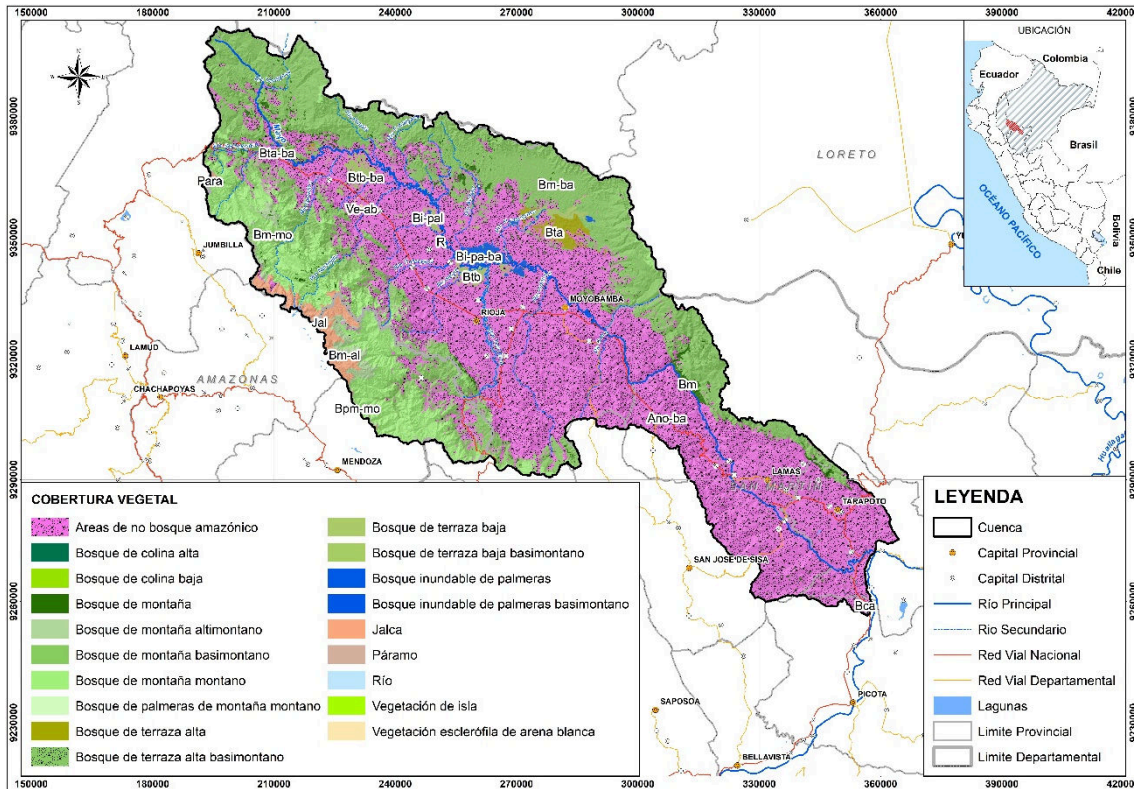
FUENTE: INGEMMET, 2023.

### 2.13.8 Cobertura vegetal

La cuenca Mayo se ubica sobre unidades geomorfológicas y fisiográficas de formación montañosa, de fuertes pendientes que van desde los 4 por ciento hasta más del 75 por ciento y donde existen 17 comunidades de bosques y habitan más de 3 mil especies vegetales de tipo arbustivas, epifitas y latifoliadas. Las comunidades de bosque premontano y de neblina son las que cubren una importante área intangible, especialmente en la zona alta. (Proyecto Segunda Comunicación Nacional de Cambio Climático, 2009).

La cuenca Mayo se caracteriza por tener una cobertura vegetal conformada mayoritariamente por: Áreas de no bosque amazónico (Ano-ba) que representan más de la mitad de la extensión de la cuenca (54.4 por ciento); Bosque de montaña basimontano Bm-

ba (27.9 por ciento) y por Bosque de montaña montano Bm-mo (10 por ciento). En la Figura 6 se presenta la distribución espacial de la cobertura vegetal de la Cuenca Mayo.



**Figura 6. Mapa de cobertura vegetal de la cuenca del Río Mayo**

FUENTE: INGEMMET, 2023.

Los tipos y el porcentaje de cobertura vegetal, es la que se indica a continuación:

**Tabla 2. Tipos de cobertura vegetal en el ámbito de la Cuenca Mayo**

Símbolo	Descripción	Área (km <sup>2</sup> )	%
Ano-ba	Áreas de no bosque amazónico	5,314.54	54.4%
Bca	Bosque de colina alta	1.04	0.0%
Bcb	Bosque de colina baja	0.20	0.0%
Bi-pa-ba	Bosque inundable de palmeras basimontano	49.18	0.5%
Bi-pal	Bosque inundable de palmeras	8.05	0.1%
Bm	Bosque de montaña	159.77	1.6%
Bm-al	Bosque de montaña altimontano	108.23	1.1%
Bm-ba	Bosque de montaña basimontano	2,727.93	27.9%
Bm-mo	Bosque de montaña montano	977.45	10.0%
Bpm-mo	Bosque de palmeras de montaña montano	0.21	0.0%
Bta	Bosque de terraza alta	78.12	0.8%
Bta-ba	Bosque de terraza alta basimontano	3.73	0.0%
Btb	Bosque de terraza baja	95.68	1.0%
Btb-ba	Bosque de terraza baja basimontano	31.38	0.3%

«continuación»

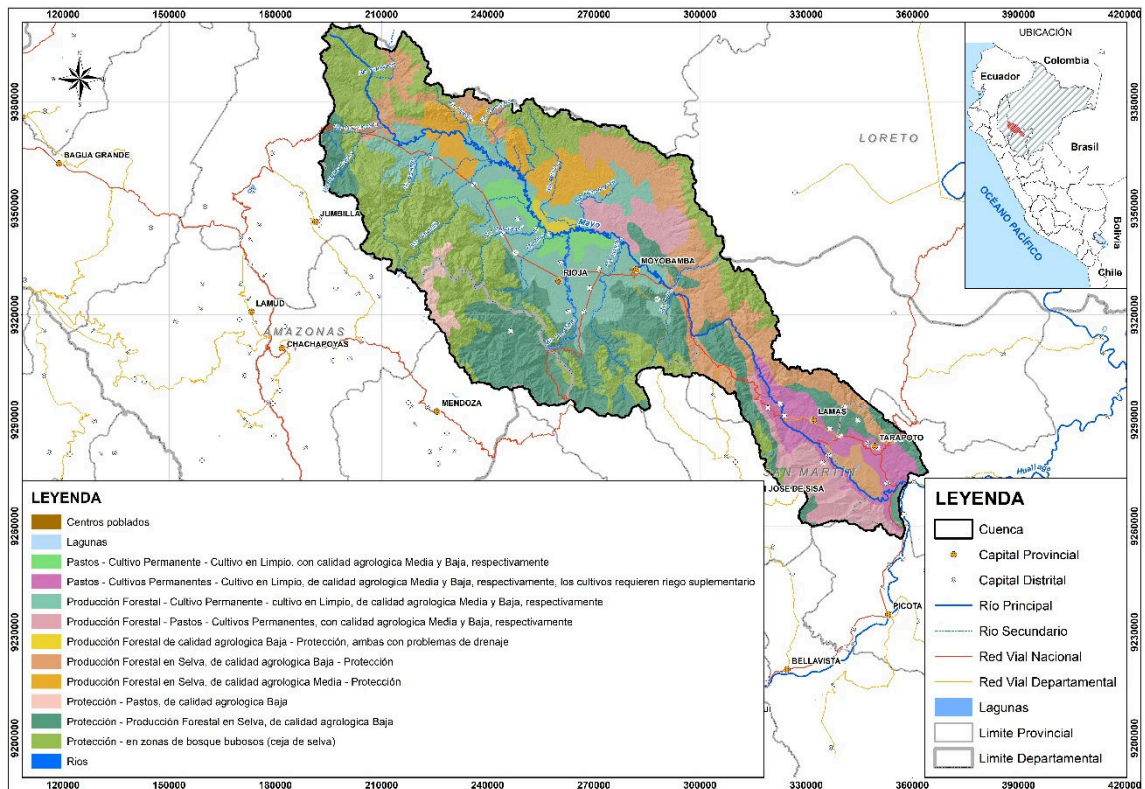
<b>Símbolo</b>	<b>Descripción</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>%</b>
Is	Vegetación de isla	0.14	0.0%
Jal	Jalca	166.58	1.7%
Para	Páramo	0.00	0.0%
R	Río	49.95	0.5%
Ve-ab	Vegetación esclerófila de arena blanca	2.17	0.0%
	<b>Total</b>	<b>9,774.25</b>	<b>100.0%</b>

FUENTE: Evaluación de Recursos Hídricos en la cuenca Mayo, 2015.

#### 2.13.9 Tipo de suelos y uso actual de la tierra

Los suelos de la Cuenca Mayo se caracterizan por su génesis en tres tipos: el primero por ser de origen aluvial reciente y se ubican adyacentes a los principales ríos tributarios y quebradas que continuamente son rejuvenecidos con el aporte de sedimentos y tienen condiciones adecuadas para el desarrollo agrícola. El segundo es de origen aluvial antiguo, formado por procesos de erosión fluvial y de textura fina con aptitud agropecuaria; el tercero es de origen residual con limitadas condiciones para el uso agropecuario.

Según su capacidad de uso mayor, el uso predominante es el de Tierras de protección, el cual constituye casi 50 por ciento de la extensión de la cuenca; seguido de tierras para producción forestal con calidad agrologica media y baja (30 por ciento del área de la cuenca). En la Figura 7 se presenta mayor detalle de la capacidad de uso de los suelos en la cuenca Mayo.

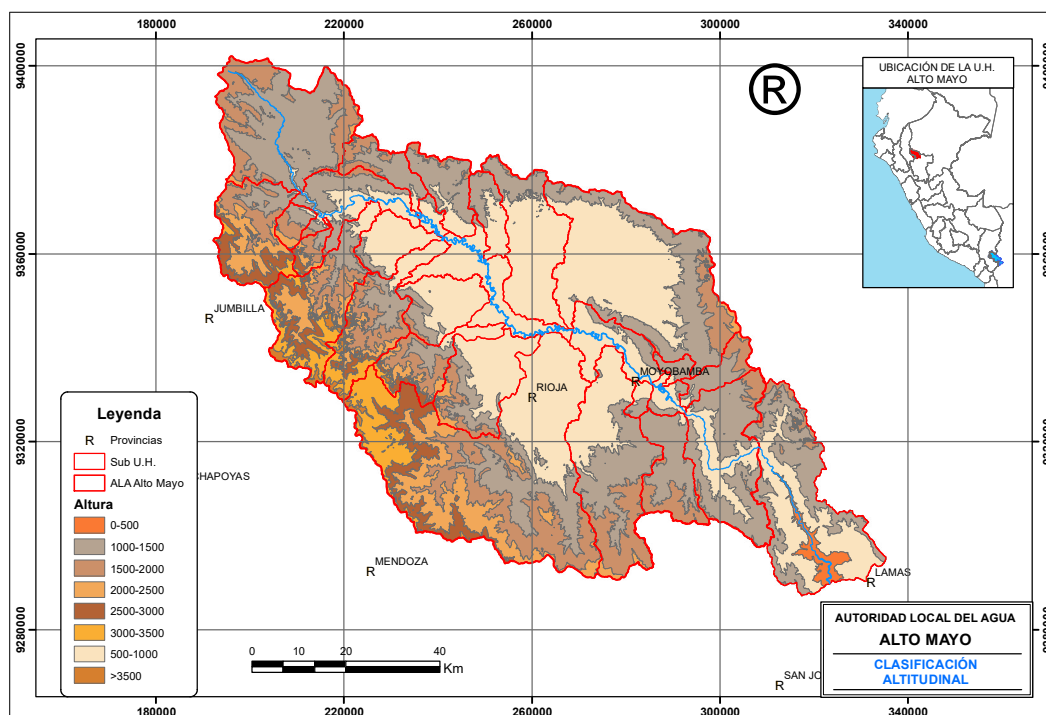


**Figura 7. Mapa de Capacidad de Uso del Suelo de la cuenca Mayo**

FUENTE: ANA, 2014.

### 2.13.10 La clasificación altitudinal de la Cuenca Mayo

Realizado cada 500 m de altitud, agrupándose en ocho grupos altitudinales (0-500, 500-1000, 1000-1500, 1500-2000, 2000-2500, 2500-3000, 3000-3500, >3500), en base a los modelos de elevación digital DEM y el ARCGIS, apreciándose que las zonas más altas, están ubicadas en la parte oeste de la cuenca. El detalle de la clasificación altitudinal se presenta en la Figura 8.



**Figura 8. Mapa de clasificación altitudinal del ámbito de la Cuenca Mayo**

FUENTE: MINAM, 2013.

### 2.13.11 Unidades hidrográficas del río Mayo

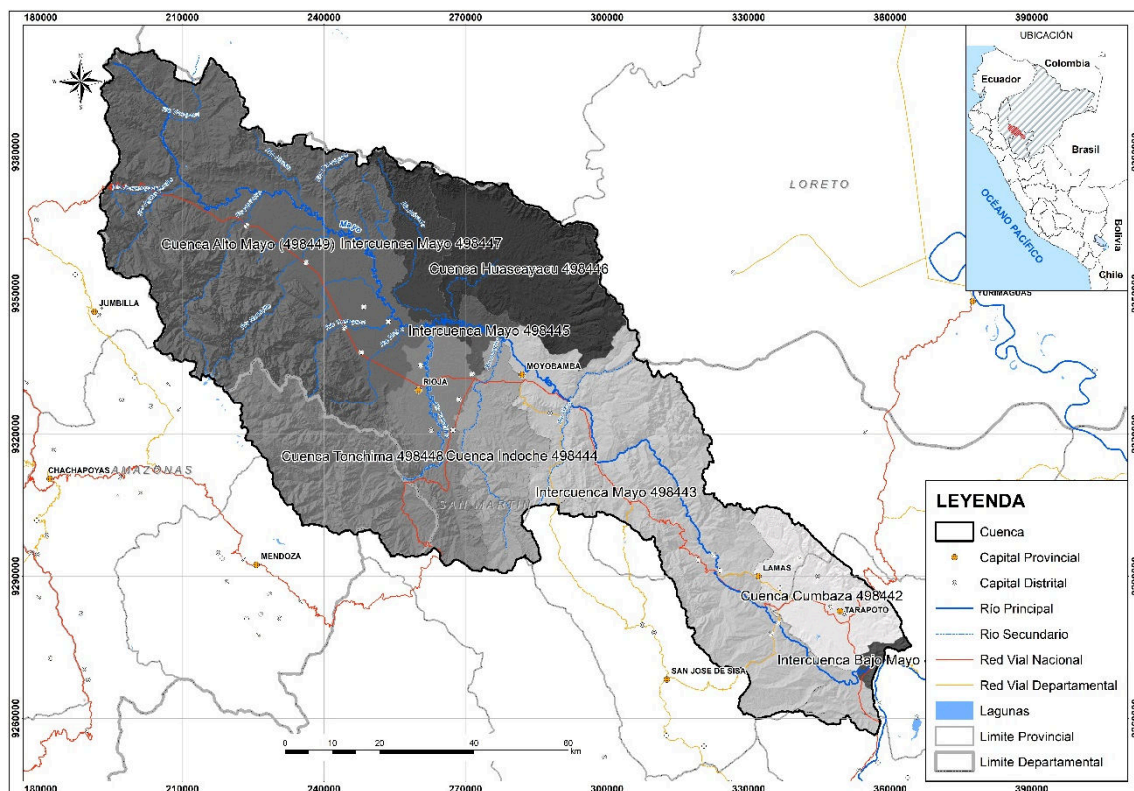
La cuenca Mayo abarca nueve (09) unidades hidrográficas definidas y codificadas por la Autoridad Nacional del Agua, las cuales se muestran a continuación:

**Tabla 3. Codificación y área de las Unidades hidrográficas del río Mayo**

Código UH	Nombre	Área (km <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)
498441	Intercuenca Bajo Mayo 498441	41.19	0.4%
498442	Cuenca Cumbaza 498442	573.64	5.9%
498443	Intercuenca Mayo 498443	2,261.18	23.1%
498444	Cuenca Indoche 498444	563.16	5.8%
498445	Intercuenca Mayo 498445	97.75	1.0%
498446	Cuenca Huascayacu 498446	966.71	9.9%
498447	Intercuenca Mayo 498447	361.46	3.7%
498448	Cuenca Tonchima 498448	1,492.63	15.3%
498449	Cuenca Alto Mayo (498449)	3,416.53	35.0%
TOTAL CUENCA MAYO		9,774.25	100.0%

FUENTE: ANA, 2016.

Según clasificación Pfafstetter el río Mayo es de nivel 06 y tiene 09 Unidades Hidrográficas de nivel 07, para mayor detalle ver Figura 9.



**Figura 9. Codificación y área de las Unidades hidrográficas del río Mayo**

Las características por cada unidad hidrográfica nivel 7 de la cuenca del río Mayo son:

**Intercuenca Bajo Mayo.**- Constituida por el segmento final del río Mayo (desembocadura al río Huallaga) como eje principal, siendo su afluente principal la Quebrada Shatuyacu, ubicado por la margen izquierda.

**Cuenca Cumbaza.** - Constituida por el río Cumbaza, siendo sus afluentes principales por la margen izquierda el río Shilcayo, quebradas Ahuashiyacu y Pucayacu, y por la margen derecha, la quebrada Shupishiña. El río Cumbaza tiene su origen en las montañas del Cerro Escalera, a más de 1 700 m de altitud. Se origina por la unión de las quebradas Shuchshuyacu y Cumbacillo. Tiene 27 tributarios.

**Intercuenca Mayo.**- Tiene al río Mayo, como eje principal y sus principales afluentes las Quebradas Yanayacu, Mamonaquihua, Shitariyacu, Chumbaquihui, Juanjuicillo, Fisaquihui, Quebrada Rumiayacu, Galindona, Ishpingo, Lejía, Plantanayacu, Casillayacu, Poloponta, río Yanayacu, río Gera.

**Cuenca Indoche.**- El río Indoche, nace en las vertientes orientales de la Cordillera Oriental. Tiene un recorrido general Sur a Norte hasta su desembocadura en la margen derecha del río Mayo cerca del caserío Yantaló. Tiene una longitud de 82 Km.

Intercuenca Mayo. Ubicada en la margen derecha del río Mayo, nace en el Morro de Calzada, recorre 12 km y desemboca en el río Mayo.

Cuenca Huascayacu.- Constituida por el río Huascayacu, que desemboca en el río Mayo, el cual nace en las vertientes occidentales de la Cordillera Sub-Andina. Tiene un una longitud 63 km y recorrido de Norte a Sur, hasta su desembocadura en la margen izquierda del río Mayo, cerca al Sector “La Boca de Huascayacu”, donde también converge el río Avisado.

Intercuenca Mayo Río Avisado.- Nace en las vertientes occidentales de la Cordillera Sub-Andina, su recorrido es de Norte a Sur, hasta su desembocadura en la margen izquierda del río Mayo cerca donde también converge el río Huascayacu.

Cuenca Tónchima.- Su nacimiento se encuentra en un complejo de lagunas de origen tectónico de la Cordillera Oriental. Nace con el nombre de quebrada Tingo Ramos, luego adquiere el nombre de río Salas, en estos sectores su recorrido general es de Nor Oeste a Sur Este hasta su unión con el río Ochque para formar el río Tónchima.

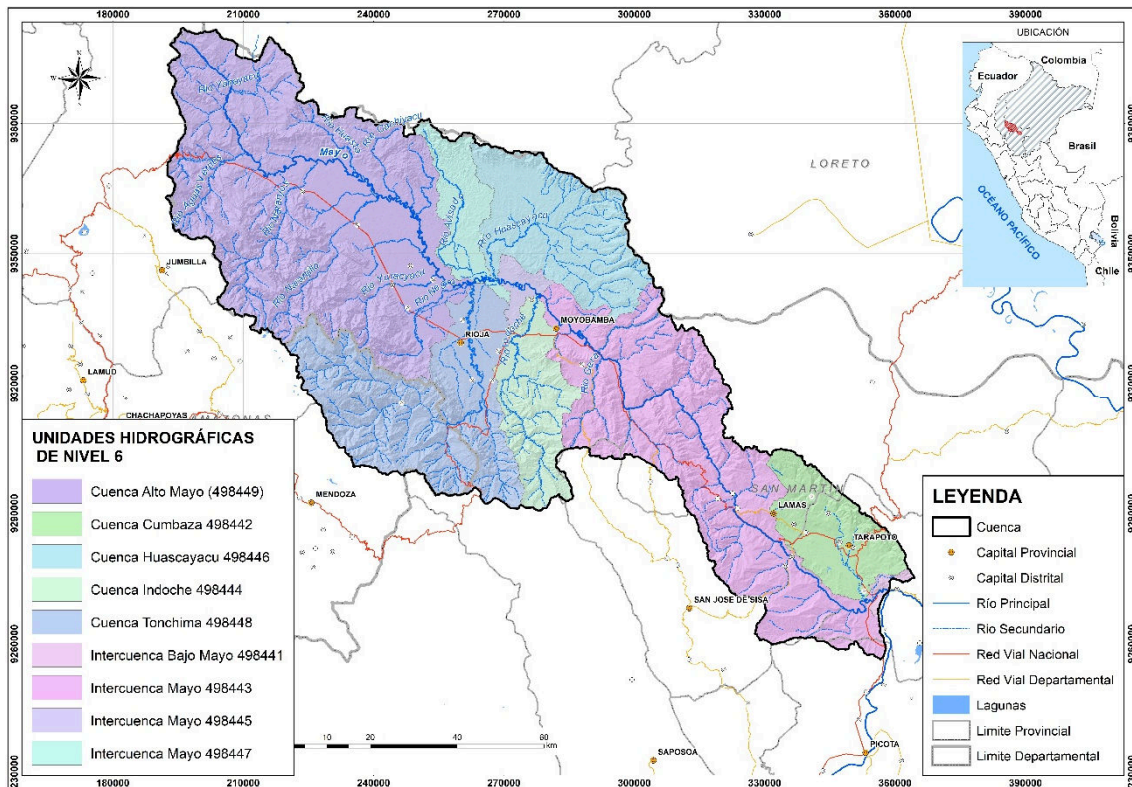
Cuenca Alto Mayo .- El río Mayo es el principal colector de aguas hacia el cual confluyen y drenan sus aguas de los diferentes afluentes que tienen su origen en la parte alta. El río Mayo nace en la parte alta del cerro Cahuapanas en los límites con el departamento de Amazonas, tiene un recorrido aproximado de 364,746 km y su nacimiento se origina en la parte norte del departamento de San Martín.

#### 2.13.12 Sistema hidrológico de la cuenca Mayo

En la parte alta, tiene un total de 15 ríos, 27 quebradas y 01 reservorio de almacenamiento de agua no operativo y en la parte baja 02 ríos y 06 quebradas.

En la parte alta, las principales fuentes de agua son los ríos Tioyacu, Cachiyacu, Huasta, Avisado y Huascayacu en la Margen Izquierda, y los ríos Serranoyacu, Naranjos, Naranjillo, Soritor, Yuracyacu, Tioyacu, Negro, Uquihua, Tonchima, Indoché y Gera en la Margen Derecha, además de quebradas pequeñas que no se ha cuantificado.

En la parte baja, sus principales fuentes son los ríos Cumbaza y Shilcayo, además de las quebradas Cupishiña, Mishquiyacu, Ahuashiyacu, Pucayacu, Borjillo, Cocopa, Achual y Ventura Raca (ANA, 2016). Para mayor detalle ver Figura 10.



**Figura 10. Red hidrográfica de la cuenca Mayo**

FUENTE: ANA, 2014.

### 2.13.13 Sistema hidráulico de la cuenca Mayo

El sistema hidráulico es el conjunto de estructuras u obras necesarias para almacenar, captar, conducir, distribuir y aplicar el agua de riego en las parcelas, una determinada área o unidad productiva, llevar a las industrias, etc., para satisfacer sus necesidades de agua; que ante la carencia de agua que afronta la humanidad, toma mayor relevancia la construcción de sistemas de riego regulado.

Los sistemas de riego regulados son aquellos que dentro de sus componentes estructurales cuentan con una estructura especial denominada reservorio de almacenamiento de agua, que se abastecen de agua durante la época de máximas avenidas y la utilizan en época de escasez o estiaje; estos sistemas se construyen en cuencas cuyos cursos de agua son generalmente de régimen regular.

Por otro lado, los sistemas de riego no regulados, su abastecimiento de agua la hacen de manera directa de la fuente de alimentación, la misma que puede ser un río, quebrada, laguna o aguas de deshielo. Está sujeto a la estacionalidad hidrológica de la fuente, es decir a épocas



de abundancia y de escasez de agua y la disponibilidad de agua en la fuente es menor que la demanda, trayendo como consecuencia que los cultivos no alcancen un nivel óptimo de producción (Carrera, 2011).

La cuenca del río Mayo, cuenta con un sistema de riego no regulado; cuyo sistema hidráulico en la parte alta está constituido por 72 estructuras y 72 canales de conducción, con un caudal medio de 12.21 m<sup>3</sup>/s para 24,074 ha. Cuenta con 197 canales laterales secundarios (L1), con caudales que fluctúan de 0.03 m<sup>3</sup>/s a 1.20 m<sup>3</sup>/s. De 372,35 km de canal de derivación, solo están revestidos el 13.48 por ciento. Existen 05 principales drenes identificados e inventariados, cuya capacidad de conducción fluctúan de 1.0 m<sup>3</sup>/s a 9.0 m<sup>3</sup>/s, en un total de 13.60 km (drenes principales y secundarios). Y tiene un total de 22 obras de defensa ribereña construidas principalmente en las áreas adyacentes a las bocatomas de captación de agua. Mientras que la parte baja está constituida por 24 estructuras y 24 canales de conducción, un caudal medio que varía entre 0.10 a 3.5 m<sup>3</sup>/s para 3,560.18 ha. Cuenta con 39 canales laterales nivel - L1 cuyos caudales fluctúan entre 0.035 m<sup>3</sup>/s a 0.25 m<sup>3</sup>/s. De un total de 97.95 km de canal de derivación, solo están revestidos el 24.23 por ciento. Y existe un total de 09 obras de defensa ribereña.

#### 2.13.14 Operación y mantenimiento de la infraestructura hidráulica

La infraestructura hidráulica de la cuenca Mayo, se encuentra descuidada, debido a una débil organización y cultura de agua, los recursos económicos captados por tarifa de agua son mínimos, las organizaciones de usuarios no cuentan con personal capacitado, ocasionando que la Operación y Mantenimiento sea casi nulo (Comité de Subcuenca Mayo, 2017).

Está conformado por el Sistema Alto Mayo (ALA Alto Mayo) y parte del Sistema Bajo Mayo (ALA Tarapoto).

##### **Sistema Alto Mayo**

La captación y conducción de agua se realiza a través de 72 estructuras y 72 canales de conducción de agua, los cuales permiten otorgar un caudal medio de 12.21 m<sup>3</sup>/s para suministrar el recurso hídrico a un área bajo riego de 24,074 ha.

Existe un sistema de almacenamiento (reservorio) no operativo, cuyo volumen es de 5,138 m<sup>3</sup> y otro denominado Molino, ubicado en el Sub Sector Hidráulico Yuracyacu, localidad de Patria Nueva, distrito de Yuracyacu, que abastece a los usuarios del comité de usuarios Molino.

Para la distribución del agua, se cuenta con 197 canales laterales secundarios (L1), a través de los cuales se entrega el agua a los usuarios a través de los comités de usuarios y comisiones de usuarios, cuyos canales secundarios conducen caudales que fluctúan entre 0.03 m<sup>3</sup>/s a 1.20 m<sup>3</sup>/s, en su mayoría cuentan con estructura de regulación de agua.

De un total de 372.35 km de canal de derivación, solo están revestidos 50.19 km (13.48 por ciento); mientras que de un total de 332.95 km de canales de orden L1 solo 10.36 km se encuentran revestidos.

En este ámbito se encuentra la Junta de Usuarios Alto Mayo, conformado por 10 subsectores hidráulicos, donde sólo un Subsector hidráulico cuenta con sistema de drenaje, cuya capacidad de conducción fluctúa de 1.0 m<sup>3</sup>/s a 9.0 m<sup>3</sup>/s.

### **Sistema Bajo Mayo**

La captación y conducción de agua se realiza a través de 24 estructuras y 24 canales de conducción de agua, los cuales conducen un caudal medio que varía entre 0.10 a 3.5 m<sup>3</sup>/s para atender un área bajo riego de 3,560.18 ha.

Para la distribución del agua, se cuenta con 39 canales laterales nivel L1 a través de los cuales se entrega el agua a cargo de los comités de usuarios y comisiones de usuarios, los caudales de los canales secundarios de distribución fluctúan entre 0.035 m<sup>3</sup>/s a 0.25 m<sup>3</sup>/s, que en su mayoría cuentan con estructura de regulación de agua.

De un total de 97.95 km de canal de derivación, solo están revestidos 23,173 km (24.23 por ciento); mientras que de un total de 54,109 km de canales L1 solo 15,022 km se encuentran revestidos.

Aquí se ubica 03 de los 04 subsectores hidráulicos de la Junta de Usuarios Bajo Mayo Misquiyacu.

En la cuenca Mayo, no existe ninguna presa de almacenamiento de agua relevante.

Existen 05 Centrales Hidroeléctricas (M.D. de Pardo y Miguel, Gera I, Vásquez Peralta Domingo, Menor Rivera Miguel y Gera II) y diversos proyectos de futuras minicentrales hidroeléctricas.

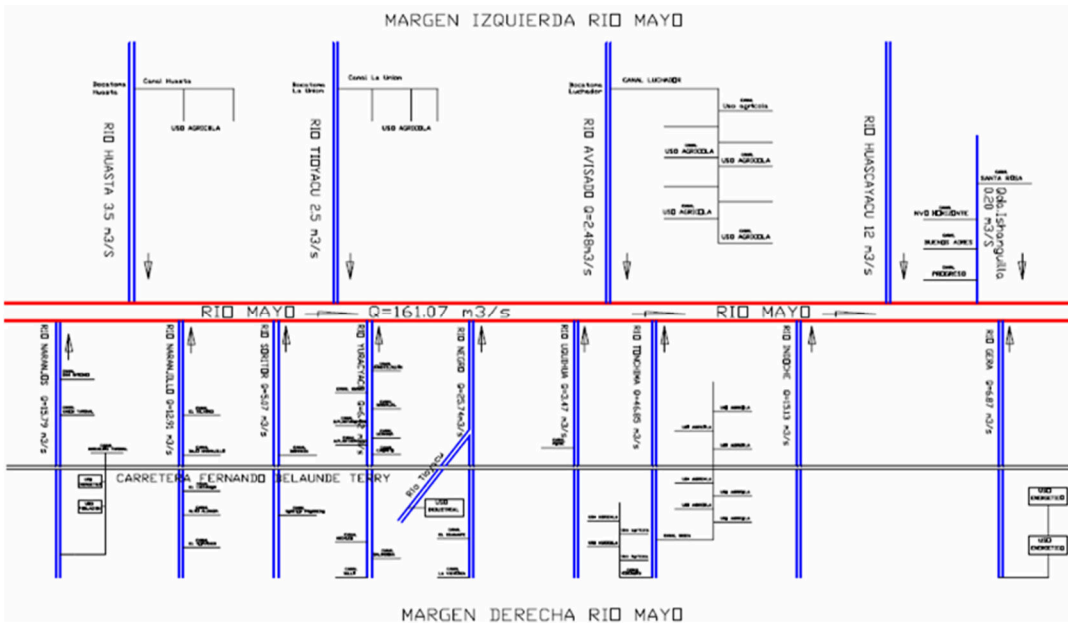


Figura 11. Esquema del sistema hidráulico Alto Mayo

FUENTE: ANA, 2014.

### 2.13.15 Sectores y subsectores hidráulicos

En el ámbito de la cuenca del río Mayo, comprende al sector hidráulico menor Alto Mayo y parcialmente al Sector hidráulico menor Bajo Mayo Mishqiyacu. Como referencia se presenta los límites y ubicación de los sectores hidráulicos ubicados en la cuenca Mayo.

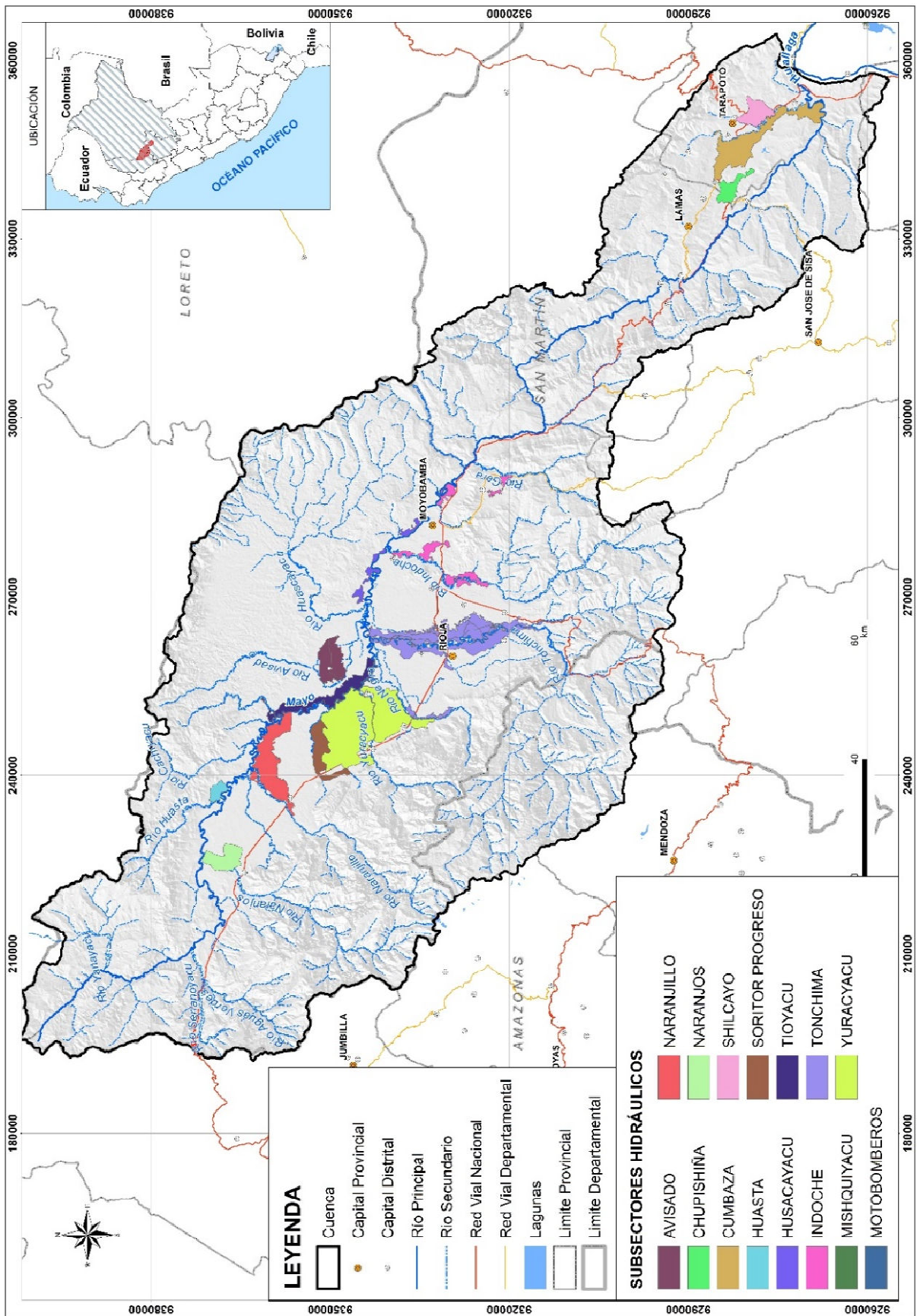


Figura 12. Sectores Hidráulicos ubicados en la cuenca Mayo

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1 Fases de la investigación**

##### **3.1.1 Fase preliminar**

La investigación comprendió 03 Fases: Preliminar, Campo, Análisis y Evaluación, las mismas que a continuación se detallan:

Esta fase comprendió:

- La identificación del problema y a partir de él, se generó diálogos e indagaciones de las causas y necesidades.
- Se recopiló información específica y primaria, proveniente de instituciones públicas y privadas tales como la ANA (AAA Huallaga, ALA de Alto Mayo y de Tarapoto), SENAMHI, Juntas de Usuarios (JU), Proyectos Especiales, etc, referido a información hidrometeorológica, evaluación de recursos hídricos superficiales, estudios hidrológicos, inventarios de fuentes de aguas superficiales, resultados de la calidad del agua, caudales, las demandas por usos, entre otros, con lo cual se definió los objetivos y la secuencia lógica de las actividades a implementar en campo y gabinete.
- Coordinación con profesionales de la ANA, JU, SENAMHI, etc., para auscultar y profundizar la problemática respecto a la carencia de información hidrometeorológica, procesos informáticos, necesidades de información, para agilizar la asignación de uso de agua, así como información de la existencia de estudios anteriores.

##### **3.1.2 Fase de campo**

Se elaboró un cronograma de actividades, el cual orientó el recorrido por algunos puntos estratégicos de la Cuenca del río Mayo, llevando consigo GPS, cámara fotográfica y planos de las unidades hidrográficas y de los subsectores hidráulicos, con el objetivo de conocer algunas fuentes de agua, tener una idea concreta de la cuenca, evaluar las interrelaciones de las unidades hidrográficas y los subsectores hidráulicos, observar la operación y mantenimiento de la infraestructura hidráulica, identificar parte de la red hidrológica y red de monitoreo, entre otros.

### 3.1.3 Fase de análisis y evaluación de la información

#### a) Estudios hidrológicos de la cuenca del río Mayo y sus restricciones

En el año 2015, la ANA realizó el estudio “Evaluación de Recursos Hídricos en la cuenca Huallaga, TYPESA, que incluyó al río Huallaga y dentro de él, a la cuenca del río Mayo. Para complementar la información, la AAA Huallaga, por consultoría realizó en el año 2016 el “Estudio de mejora y actualización del modelo hidrológico y de gestión en el ámbito del ALA Alto Mayo”. En ambos estudios en referencia, existe información básica y secundaria muy valiosa, pero la información fue insuficiente, no incluyó todas las demandas multisectoriales ni las acreditaciones otorgadas; además que los resultados obtenidos fueron a nivel de cuenca y no por Unidades hidrográficas menores, que es muy necesaria para otorgar derechos de uso de agua.

#### b) Cantidad y calidad de la información hidrológica

En la Cuenca Mayo, según lo evaluado no hay suficientes estructuras de medición y control, los inventarios de fuentes de agua y de infraestructura hidráulica requieren actualizarlos, las bocatomas y los canales en su mayoría son rústicos, la cual se traduce en el cuadro a continuación:

**Tabla 4. Estimación de la cantidad y calidad de información hidrológica**

<b>Indicador</b>	<b>Grado de implementación (%)</b>
Red hidrológica existentes (08 existentes y 09 instaladas por PGIRH)	21
Bocatomas permanentes	61
Canales de derivación revestidos	17
Canales de distribución revestidos	5.8

FUENTE: Línea Base del Plan de Gestión de Recursos Hídricos en la Cuenca del Río Mayo, 2022.

Según la tabla anterior, existe información parcial a nivel de cuenca, siendo mucho más escasa a nivel de cada unidad hidrográfica.

#### c) Brecha de formalización del uso de agua 2020

Según información de la AAA Huallaga (Resolución Jefatural N° 058-2018-ANA), estiman que todavía existe una brecha por formalizar, según se aprecia a continuación:

**Tabla 5. Brecha de formalización del uso de agua 2018**

AAA	ALA	Región	Poblacional			Agrario			
			Nº Resoluciones	Nº CC.PP.	Nº Habitantes	Nº Resoluciones	Nº Usuarios	Nº Predios	Área Bajo Riego (ha)
Huallaga	Alto Mayo	San Martín	75	75	23,280	15	410	388	1,400.00
	Tarapoto		60	60	6,000	-	-	-	-
	Huallaga Central		200	200	20,000	120	120	120	4,800.00
	Tingo María	Huánuco	150	150	830	80	7,000	7,000	6,100.00
	Alto Huallaga	Pasco Huanuco	530	500	47,000	250	7,500	11,250	3,750.00
	<b>Total</b>		1,015	985	97,110	465	15,030	18,758	16,050.00
	SUB TOTAL CUENCA MAYO			135	29,280	15	410	388	1,400

### 3.1.3.1 Análisis y tratamiento de Información Climatológica

La cuenca Mayo, en comparación a otras subcuencas de la cuenca del río Huallaga, posee una regular cobertura de estaciones pluviométricas, sin embargo, presenta una baja densidad de estaciones climáticas, con periodos de datos cortos y/o incompletos.

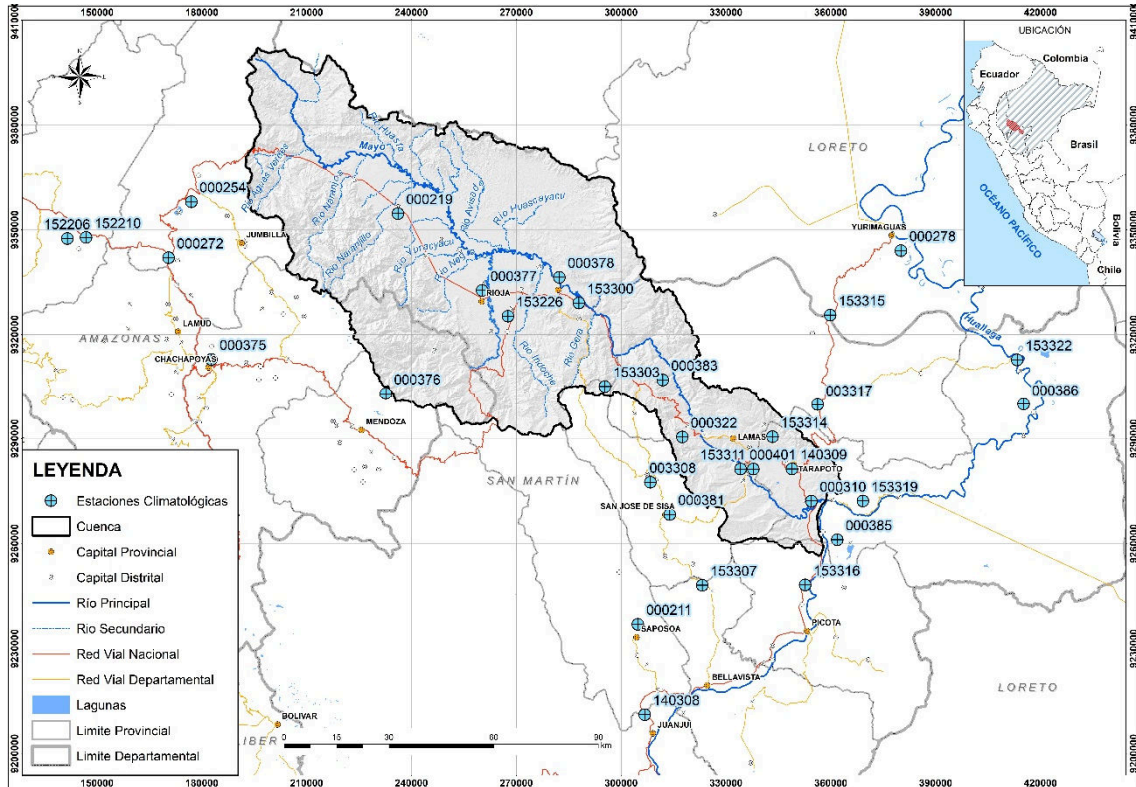
Los parámetros climatológicos como la temperatura media, humedad relativa, velocidad del viento y precipitación son los de mayor importancia para los objetivos del presente trabajo, por lo que parte de dicha información fue obtenida de los siguientes estudios y fuentes:

- Escenarios climáticos del Río Mayo para el año 2030. (SENAMHI, 2009)..
- Evaluación de recursos hídricos en la cuenca Huallaga. (ANA, 2015).
- Estudio de mejora y actualización del modelo hidrológico y de gestión en el ámbito del ALA Alto Mayo, AAA Huallaga. (ANA, 2016).
- Estudio “Resurgimiento de aguas kársticas en el Alto Mayo”. Sociedad Geológica del Perú, 2017.
- Registros de información proveniente de SENAMHI, actualizados hasta diciembre del 2018.
- Información del MIDARH de la ANA – AAA Huallaga, de la demanda de agua a junio 2019.
- Plan de Gestión de subcuenca Mayo y estudio Hidrológico de la Cuenca Mayo. ANA - PGIRH 2021.

La información climatológica antes mencionada fue analizada, actualizada, consistenciada y completada, permitiendo la transformación de la precipitación en escorrentía, la cual fue posteriormente calibrada y validada con caudales medidos en la estación hidrométrica Shanao.

Asimismo, otros parámetros referentes al tipo de cobertura del suelo, propiedades del suelo como contenedor de agua, fueron obtenidos de capas SIG para cada unidad hidrográfica modelada.

La ubicación de las estaciones climatológicas se aprecia en la siguiente figura:



**Figura 13. Ubicación de las estaciones climatológicas consideradas**

FUENTE: ANA, 2014.

El análisis y tratamiento de la información de las estaciones climatológicas consideradas, se presenta a continuación:

### 3.1.3.1.1 Red de estaciones climatológicas con información de temperatura

La información de temperatura fue obtenida de 26 estaciones climatológicas, ubicados dentro y en lugares aledaños a la Cuenca Mayo.



**Tabla 6. Estaciones con información termométrica utilizadas en la cuenca Mayo**

N°	Código	Cat.	Estación	Dpto	Provincia	Distrito	Fuente	Longitud	Latitud	Altitud (msnm)	Periodo de Registro	Años incompleto
1	003308	CO	Alao	San Martin	El Dorado	San Martin	SENAMHI	76° 44' 00.0"	06° 32' 00.0"	420	2000-2018	2000, 2012, 2016 y 2017
2	000375	CO	Chachapoyas	Amazonas	Chachapoyas	Chachapoyas	SENAMHI	77° 52' 01.8"	06° 12' 30.0"	2,490	1942-2018	1971, 1975-1993, 2001, 2002, 2008, 2009 y 2014
3	153319	PLU	Chazuta	San Martin	San Martin	Chazuta	SENAMHI	76° 11' 00.0"	06° 35' 00.0"	200	1963-2018	1965-2013, 2016 y 2017
4	000310	MAP	El Porvenir	San Martin	San Martin	Juan guerra	SENAMHI	76° 19' 00.0"	06° 35' 00.0"	230	1964-2018	1970, 1973, 1977, 1983, 1984, 1988-1991, 1995, 2005 y 2016
5	152206	CO	Jamalca	Amazonas	Utcubamba	Jamalca	SENAMHI	78° 14' 14.1"	05° 53' 37.3"	1,185	1963-2018	1965-2003 y 2007
6	000272	CO	Jazan	Amazonas	Bongara	Jazan	SENAMHI	77° 58' 33.5"	05° 56' 41.8"	1,385	1993-2018	1965-2003, 2011 y 2018
7	140308	S	Juanjui	San Martin	Mariscal Caceres	Juanjui	SENAMHI	76° 45' 00.0"	07° 08' 00.0"	270	1950-1994	1979, 1982-1991
8	000383	CO	Lamas	San Martin	Lamas	Lamas	SENAMHI	76° 42' 00.0"	06° 16' 00.0"	920	1963-2018	1967, 1970, 1974-1975, 1984-1989, 2007, 2013-2017
9	000378	CO	Moyobamba	San Martin	Moyobamba	Moyobamba	SENAMHI	76° 58' 00.0"	06° 00' 00.0"	860	1946-2018	1969, 1972-1973, 1980-1981, 1984, 2008 y 2014
10	000219	CO	Naranjillo	San Martin	Rioja	Nueva Cajamarca	SENAMHI	77° 23' 00.0"	05° 50' 00.0"	1,090	1997-2018	1997, 2001, 2007 y 2015-2017
11	000386	CO	Navarro	San Martin	San Martin	Chipurana	SENAMHI	75° 46' 00.0"	06° 20' 00.0"	190	1964-2018	1965-1967, 1969, 1975, 1969, 1975-1976, 1983, 1993, 2016-2017
12	153322	PLU	Pelejo	San Martin	San Martin	El Porvenir	SENAMHI	75° 47' 00.0"	06° 13' 00.0"	187	1963-2018	1965-2009, 2013 y 2016-2017
13	000254	CO	Pomacochas	Amazonas	Bongara	Florida	SENAMHI	77° 55' 00.0"	05° 48' 00.0"	2,220	1963-1975	1965-1968, 1970, 1975
14	003317	CO	Pongo de Caynarachi	San Martin	Lamas	Caynarachi	SENAMHI	76° 18' 00.0"	06° 20' 00.0"	350	2000-2018	2005, 2008 y 2016
15	000377	CO	Rioja	San Martin	Rioja	Rioja	SENAMHI	77° 10' 00.0"	06° 02' 00.0"	880	1959-2018	1966, 1970, 1974, 1979-1986, 2012-2013, 2016-2017
16	000376	CO	Rodriguez de Mendoza	Amazonas	Rodriguez de Mendoza	San Nicolas	SENAMHI	77° 25' 00.0"	06° 18' 00.0"	1,642	1963-1972	1965-1970 y 1972
17	153314	CO	San Antonio	San Martin	San Martin	San Antonio	SENAMHI	76° 25' 00.0"	06° 25' 00.0"	430	1963-2018	1965-2004, 2016-2017
18	153307	PLU	San Pablo	San Martin	Bellavista	San Pablo	SENAMHI	76° 36' 00.0"	06° 48' 00.0"	270	1967-2018	196-2003, 2016-2017
19	000278	CP	San Ramon	Loreto	Alto Amazonas	Yurimaguas	SENAMHI	76° 05' 00.0"	05° 56' 00.0"	184	1969-2018	1969, 1971-1976, 1982-1989, 1991, 2005, 2007-2009 y 2014
20	000211	CO	Saposa	San Martin	Huallaga	Saposa	SENAMHI	76° 46' 00.0"	06° 54' 00.0"	320	1998-2018	1998, 2007-2008, 2016-2018
21	000385	CO	Sauce	San Martin	San Martin	Sauce	SENAMHI	76° 15' 00.0"	06° 41' 00.0"	620	1964-2018	1965-1966, 1968-1970, 1976, 1984-1986, 1988, 1991, 1997, 2010, 2013 y 2018

«continuación»

N°	Código	Cat.	Estación	Dpto	Provincia	Distrito	Fuente	Longitud	Latitud	Altitud (msnm)	Periodo de Registro	Años incompleto
22	000381	CO	Sisa	San Martin	El Dorado	San jose de Sisa	SENAMHI	76° 41' 00.0"	06° 37' 00.0"	265	1964-1988	1965-1966, 1968-1969, 1972-1974, 1976-1977, 1980, 1983-1984 y 1987-1988
23	153226	CO	Soritor	San Martin	Moyobamba	Soritor	SENAMHI	77° 06' 00.0"	06° 06' 00.0"	870	2003-2018	2003, 2010, 2015-2016 y 2017
24	000322	CO	Tabalosos	San Martin	Lamas	Tabalosos	SENAMHI	76° 39' 00.0"	06° 25' 00.0"	560	1997-2018	1997, 2000, 2012-2013, 2016-2018
25	000401	CO	Tarapoto	San Martin	San Martin	Tarapoto	SENAMHI	76° 28' 00.0"	06° 30' 00.0"	282	1998-2018	1998 y 2016-2018
26	140309	S	Tarapoto	San Martin	San Martin	Tarapoto	SENAMHI	76° 22' 00.0"	06° 30' 00.0"	255	1950-1996	1965, 1975, 1979, 1996

### 3.1.3.1.2 Análisis de la información de la temperatura

El análisis de la información de la temperatura comprende el proceso de 1) Análisis visual gráfico, 2) Análisis de consistencia y 3) Análisis estadístico. Luego de ello, efectuar la corrección y su respectiva completación de datos, hasta finalmente obtener la Temperatura media mensual por subcuencas.

Con las series seleccionadas y el análisis visual gráfico, permitió identificar los quiebres, detectar posibles saltos y tendencias. Dado la gran cantidad de estaciones a nivel de la cuenca Mayo se conformó 3 grupos de análisis. Cada uno de los cuales fue comparada con una estación de referencia. Las estaciones de referencia seleccionadas fueron el Porvenir, Lamas y Moyobamba, con 52, 49 y 53 años completos de información, respectivamente.

Verificada la uniformidad y en el caso de la existencia de vacíos en la información se efectuó el relleno de los datos faltantes a través del Método de Correlación Ortogonal, utilizando el Programa “MOSS IV”, el cual permitió estimar la correlación, en cada mes del año.

#### 3.1.3.1.2.1 Temperatura media por estación meteorológica

La temperatura media por estación meteorológica fue calculada luego del proceso de consistencia y completado de datos para cada una de las estaciones en análisis.

#### 3.1.3.1.2.2 Temperatura media areal

El análisis de la cuenca del río Mayo, por su complejidad y necesidad de reflejar una mejor correspondencia entre la precipitación y la esorrentía se subdividió en 33 unidades hidrográficas, donde se estimó la temperatura media para cada unidad hidrográfica utilizando el método de Thiessen. Los cálculos se han realizado con la información cartográfica digital de la cuenca. El método consistió en colocar en un mapa de la cuenca, las estaciones climáticas con información de temperatura, luego formar triángulos con las estaciones más próximas entre ellas y posteriormente trazar las mediatrices perpendiculares a cada uno de los lados de los triángulos formados, definiéndose unos polígonos alrededor de cada estación termométrica.

La temperatura promedio sobre la cuenca se determinó con la siguiente ecuación:

$$T = \sum \frac{A_i}{A} T_i \quad \dots\dots\dots(\text{Ec. 1})$$

Donde:

T: Temperatura media (mm).

Ai: Área del polígono de cada una de las estaciones dentro de la unidad hidrográfica (km<sup>2</sup>).

A: Área total de la cuenca (km<sup>2</sup>).

Pi: Temperatura media anual registrada en la estación (mm).

Ai/A: Coeficiente de Thiessen.

#### 3.1.3.1.2.3 Isoterma media.

Para su obtención utilizó el método de Kriging para generar la Isoterma más adecuada a la topografía de la cuenca.

#### 3.1.3.1.3 Humedad relativa

La humedad relativa fluctúa entre 75 y 91 por ciento a lo largo del año, sus valores máximos se presentan durante los meses de diciembre a marzo y los mínimos durante los meses de julio a septiembre. Como ejemplo, los datos históricos de humedad relativa de la estación climática “Moyobamba”, ubicada en la Unidad Hidrográfica del ámbito de la ALA Alto Mayo, sus mayores valores promedio mensuales se presentan en los meses de marzo y diciembre con valores de 84.8 y 84.4 por ciento y los menores valores en los meses de julio a agosto con valores de 82.1 a 81.8 por ciento.

**Tabla 7. Humedad relativa mensual (%) de la estación climatológica Moyobamba**

ESTACIÓN	ALTITUD (msnm)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM
MOYOBAMBA	842	83.9	84.2	84.8	84.2	83.4	83	82	81.8	82	82.5	82.7	84	83.29

FUENTE: ANA 2018

#### 3.1.3.1.4 Velocidad del viento

La velocidad del viento se mantiene más o menos estable a lo largo del año. Ver Tabla 8

**Tabla 8. Variación media mensual de la velocidad del viento en la cuenca Mayo (m/s)**

Subcuenca	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Mayo	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00

#### 3.1.3.1.5 Evapotranspiración potencial

La Evapotranspiración potencial registrado a lo largo del año, fluctúa entre 143 mm en el mes de diciembre y 52 mm en el mes de junio, información obtenida con tanque evaporímetro dado su carencia, calculado con datos meteorológicos, aplicando el Método de la FAO

(Penman – Monteith) y utilizando datos de Radiación, T, Humedad atmosférica, Velocidad del viento. (ANA, 2015).

### 3.1.3.2 Análisis y tratamiento de la pluviometría

Para el análisis de la información pluviométrica, se utilizó los registros mensuales de estaciones operadas por SENAMHI, según siguiente detalle:

**Tabla 9. Estaciones pluviométricas consideradas en el estudio**

N°	Código	Cat.	Estación	Dpto	Provincia	Distrito	Fuente	Longitud	Latitud	Altitud (msnm)
1	003308	CO	Alao	San Martin	El Dorado	San Martin	SENAMHI	76° 44' 00.0"	06° 32' 00.0"	420
2	000375	CO	Chachapoyas	Amazonas	Chachapoyas	Chachapoyas	SENAMHI	77° 52' 01.8"	06° 12' 30.0"	2,490
3	153319	PLU	Chazuta	San Martin	San Martin	Chazuta	SENAMHI	76° 11' 00.0"	06° 35' 00.0"	200
4	153311	PLU	Cuñumbuque	San Martin	Lamas	Cuñumbuqui	SENAMHI	76° 30' 00.0"	06° 30' 00.0"	240
5	000310	MAP	El Porvenir	San Martin	San Martin	Juan guerra	SENAMHI	76° 19' 00.0"	06° 35' 00.0"	230
6	152206	CO	Jamalca	Amazonas	Utcubamba	Jamalca	SENAMHI	78° 14' 14.1"	05° 53' 37.3"	1,185
7	000272	CO	Jazan	Amazonas	Bongara	Jazan	SENAMHI	77° 58' 33.5"	05° 56' 41.8"	1,385
8	153300	PLU	Jepelacio	San Martin	Moyobamba	Jepelacio	SENAMHI	76° 55' 00.0"	06° 04' 00.0"	1,000
9	000383	CO	Lamas	San Martin	Lamas	Lamas	SENAMHI	76° 42' 00.0"	06° 16' 00.0"	920
10	152210	PLU	Magunchal	Amazonas	Utcubamba	Jamalca	SENAMHI	78° 11' 19.9"	05° 53' 27.8"	632
11	000378	CO	Moyobamba	San Martin	Moyobamba	Moyobamba	SENAMHI	76° 58' 00.0"	06° 00' 00.0"	860
12	000219	CO	Naranjillo	San Martin	Rioja	Nueva Cajamarca	SENAMHI	77° 23' 00.0"	05° 50' 00.0"	1,090
13	000386	CO	Navarro	San Martin	San Martin	Chipurana	SENAMHI	75° 46' 00.0"	06° 20' 00.0"	190
14	153303	PLU	Pacayzapa	San Martin	Lamas	Alonso de Alvarado	SENAMHI	76° 51' 00.0"	06° 17' 00.0"	830
15	153322	PLU	Pelejo	San Martin	San Martin	El Porvenir	SENAMHI	75° 47' 00.0"	06° 13' 00.0"	187
16	153316	PLU	Pilluana	San Martin	Picota	Pilluana	SENAMHI	76° 20' 00.0"	06° 48' 00.0"	210
17	000377	CO	Rioja	San Martin	Rioja	Rioja	SENAMHI	77° 10' 00.0"	06° 02' 00.0"	880
18	153314	CO	San Antonio	San Martin	San Martin	San Antonio	SENAMHI	76° 25' 00.0"	06° 25' 00.0"	430
19	153307	PLU	San Pablo	San Martin	Bellavista	San Pablo	SENAMHI	76° 36' 00.0"	06° 48' 00.0"	270
20	000278	CP	San Ramon	Loreto	Alto Amazonas	Yurimaguas	SENAMHI	76° 05' 00.0"	05° 56' 00.0"	184
21	000385	CO	Sauce	San Martin	San Martin	Sauce	SENAMHI	76° 15' 00.0"	06° 41' 00.0"	620
22	153315	PLU	Shanusí	Loreto	Alto Amazonas	Yurimaguas	SENAMHI	76° 16' 00.0"	06° 06' 00.0"	280
23	000322	CO	Tabalosos	San Martin	Lamas	Tabalosos	SENAMHI	76° 39' 00.0"	06° 25' 00.0"	560
24	000401	CO	Tarapoto	San Martin	San Martin	Tarapoto	SENAMHI	76° 28' 00.0"	06° 30' 00.0"	282

Para contar con información confiable que permita analizar la variación espacial y temporal de las lluvias en el ámbito de la cuenca del río Mayo, previamente los datos de 54 años continuos (1965 - 2018) se analizó su calidad, utilizando un análisis gráfico de la información mensualizada en cada estación, para detectar posibles saltos y tendencias, procediendo después al análisis de doble masa, verificando la existencia de quiebres que indiquen periodos con información no homogénea, efectuando seguidamente un análisis estadístico, para comprobar si las series temporales presentan o no, saltos en las medias y desviaciones estándar, realizando la corrección de la información identificada como no homogénea, cuyo detalle se indica a continuación.

#### 3.1.3.2.1 Análisis gráfico

Consistió en la evaluación de los histogramas históricos de las estaciones, donde se aprecian las diferentes longitudes de cada una de las series, observándose regularidades y algunos saltos, permitiendo identificar los periodos dudosos, procediendo a verificarlo mediante el

análisis de doble masa y el análisis estadístico comparativo con los periodos más confiables de cada serie.

#### 3.1.3.2.2 Análisis de doble masa

Se realizó la comparación del comportamiento de cada serie pluviométrica con el resto de las series, una serie frente al promedio de las demás, a fin de detectar posibles errores que puedan haberse producido durante la toma de la información, adoptando como criterio de evaluación que la información mostrada en el gráfico debe tener una pendiente constante con el mínimo de quiebres.

Dado que la cuenca tiene condiciones geográficas y altitudinales muy variadas, que afectan a la mayor o menor variación espacial de la precipitación, y al no existir red de estaciones pluviométricas en cantidad y calidad requerida, se optó por efectuar la agrupación de las estaciones tomando en consideración la proximidad entre ellas, el rango altitudinal y el periodo de registro similar, habiendo definido los grupos siguientes:

- Grupo 1 : Estaciones El Porvenir, Chazuta, Pillunana, San Pablo, Sauce, Tarapoto, periodo 1965-2018.
- Grupo 2 : Estaciones Cuñumbuque, Alao, Lamas, San Antonio y Tabalosos, periodo 1965-2018.
- Grupo 3 : Estaciones Jepelacio, Moyobamba, Naranjillo, Pacaysapa y Rioja, periodo 1981-2018.
- Grupo 4 : Estaciones Jamalca, Chachapoyas, Jazan y Machungal, periodo 1995-2018.
- Grupo 5 : Estaciones Shanushi, Navarro, Pelejo y San Ramon, periodo 1981-2018.
- Grupo 6 : Estaciones El Porvenir, Cuñumbuque, y Jamalca, periodo 1965-2018.

#### 3.1.3.2.3 Análisis estadístico

Identificados los periodos dudosos de la información, se procedió a verificar la significancia de dichos saltos, aplicando las pruebas "t" de Student, para la comprobación de variaciones en la media y "F" de Fischer, para la evaluación de las variancias. Los estadísticos  $t_c$  y  $F_c$  (calculados) fueron obtenidos con las expresiones siguientes:

$$t_c = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{S_d} \quad (\text{Ec. 2})$$

$$s_{\bar{a}} = S_p \left[ \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (\text{Ec. 3})$$

$$s_p = \left[ \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (\text{Ec. 4})$$

$$F_c = \frac{S_1^2(x)}{S_2^2(x)}, \text{ si } S_1^2(x) > S_2^2(x) \quad (\text{Ec. 5})$$

$$F_c = \frac{S_2^2(x)}{S_1^2(x)}, \text{ si } S_2^2(x) > S_1^2(x) \quad (\text{Ec. 6})$$

Donde:

$x_1, x_2$ : Media de los periodos 1 y 2 respectivamente.

$S_1(x), S_2(x)$ : Desviación estándar de los periodos 1 y 2 respectivamente.

$n_1, n_2$  = tamaño de las submuestras.

### 3.1.3.2.3.1 Corrección de datos

La corrección de los periodos identificados como inconsistentes, que permite conservar los parámetros del periodo más confiable, se hicieron con la expresión siguiente:

$$X'_{(t)} = \frac{x_t - \bar{x}_1}{s_1(x)} x s_2(x) + \bar{x}_2 \quad \text{ó} \quad X'_{(t)} = \frac{x_t - \bar{x}_2}{s_2(x)} x s_1(x) + \bar{x}_1 \quad (\text{Ec. 7})$$

Donde:

$x'$ : Valor corregido.

$x_t$ : Valor a ser corregido.

La corrección en el valor anual implica cambios proporcionales de los valores mensuales.

### 3.1.3.2.3.2 Completación y extensión de la información

Verificada la consistencia de las series históricas y efectuada la corrección en los casos que correspondía, se procedió a realizar la completación y extensión de la información se utilizando el software HEC-4.

El programa HEC-4 (US Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center, 1971) analiza datos mensuales en varias estaciones relacionadas para determinar sus características

estadísticas y así generar series de datos sintéticos. De esta forma reconstruirá las series de datos faltantes.

Las técnicas de análisis que se utilizan para la completación son: media, desviación estándar, coeficiente de sesgo, regresión lineal, correlación cruzada entre dos o más estaciones y la autocorrelación.

El método opera sobre una base regional y, por lo tanto, se apoya en todas las estaciones cercanas, hasta un máximo de 10, empleando regresión lineal múltiple. Para preservar el grado de correlación que existe entre los valores, cuenta con un componente aleatorio que es sumado a cada valor estimado. El análisis de regresión múltiple asume que la distribución de las variables es la Normal (Gauss); empleándose sus logaritmos, ya que se ha observado que éstos siguen también una distribución normal.

El procedimiento para la completación y extensión de la información es la siguiente:

A. Se tiene la serie:

$$Y_1, Y_2, Y_3 \dots \dots, Y_n \quad (\text{Ec. 8})$$

$$X_1, X_2, X_3 \dots \dots, X_n, X_{n+1}, \dots \dots, X_{n1+n2} \quad (\text{Ec. 9})$$

Donde:

$Y_n$ : Serie de riesgo corto.

$X_n$ : Serie de riesgo largo.

$N_1$ : Tamaño de periodo largo.

$N_1$ : Tamaño de periodo no común.

$N = N_1 + N_2$ : Tamaño del registro largo.

B. Se tiene la ecuación de regresión lineal simple

$$Y_t = a + bX_t \quad (\text{Ec. 10})$$

Donde:

$Y_t$ : Variable hidrológica dependiente.

$X_t$ : Variable hidrológica independiente.

$a$  y  $b$ : Parámetros del modelo de R.L.S.

#### 3.1.3.2.4 Precipitación media de las estaciones



Culminadas las fases previas se tiene la precipitación media multianual, para cada una de las estaciones en análisis, que posteriormente fueron base para la determinación de la precipitación media areal.

### 3.1.3.2.5 Precipitación media areal

El análisis de la cuenca del río Mayo, por su complejidad y necesidad de reflejar una mejor correspondencia entre la precipitación y la esorrentía se subdividió en 33 unidades hidrográficas, donde se estimó la precipitación media para cada unidad hidrográfica utilizando el método de Thiessen. Los cálculos se han realizado con la información cartográfica digital de la cuenca. El método consistió en colocar en un mapa de la cuenca, las estaciones pluviométricas, luego formar triángulos con las estaciones más próximas entre ellas y posteriormente trazar las mediatrices perpendiculares a cada uno de los lados de los triángulos formados, definiéndose unos polígonos alrededor de cada estación pluviométrica.

La precipitación promedio sobre la cuenca se determinó con la siguiente ecuación:

$$P = \sum \frac{A_i}{A} P_i \dots\dots\dots(\text{Ec. 11})$$

Donde:

P: Precipitación media (mm).

A<sub>i</sub>: Área del polígono de cada una de las estaciones dentro de la unidad hidrográfica (km<sup>2</sup>)

A: Área total de la cuenca (km<sup>2</sup>).

P<sub>i</sub>: Precipitación total anual registrada en la estación (mm).

A<sub>i</sub>/A: Coeficiente de Thiessen.

### 3.1.3.2.6 Isoyeta media

Para su obtención utilizó el método de Kriging para generar la Isoyeta más adecuada a la topografía de la cuenca.

## 3.1.4 Información y red hidrométrica

### 3.1.4.1 Restricciones de la información hidrométrica.

Existe una carencia de información hidrométrica, debido a la poca cantidad de puntos de medición, sumado a su mal ubicación, no calibrados y sin mantenimiento. Las organizaciones de usuarios o instituciones responsables de la medición no cuentan con personal que efectúe la toma de registros con la frecuencia requerida. Las restricciones de información hidrométrica basado en datos y estimado se ven reflejados a continuación:

**Tabla 10. Restricciones de la información hidrométrica - cuenca Mayo**

<b>Indicador</b>	<b>Implementación (%)</b>
Implementación de la Red Hidrológica (17 de 80 estaciones)	21
Implementación de la Red de estructuras de medición y control de la demanda	5
Actualización del inventario de infraestructura hidráulica	80
Inversión en el mantenimiento de la infraestructura hidráulica	10

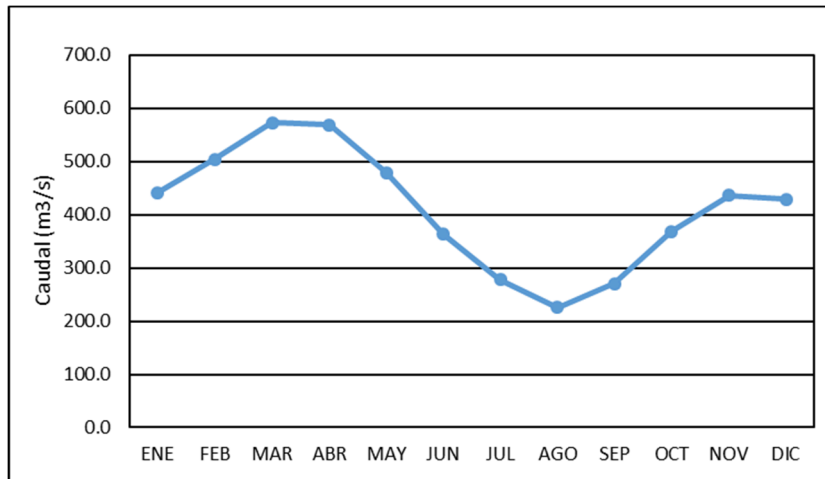
Sin embargo, se prevé que en el transcurso de los próximos meses incrementará, dado que existe un equipo de especialistas en el proyecto de Gestión Integrada de Recursos Hídricos, que viene laborando en el Comité de Subcuenca Mayo (PGIRH Mayo), en cuyas metas contempla mejoras y ampliación de estaciones de la red hidrométrica existente.

#### 3.1.4.1.1 Caudales medios mensuales

Fueron obtenidos los registros hidrométricos de la estación Shanao, periodo 2000-2018, los promedios multianuales se muestran a continuación y el registro histórico se presenta en anexos.

**Tabla 11. Caudales medios mensuales Estación Shanao**

<b>ESTACIÓN</b>	<b>ENE</b>	<b>FEB</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAY</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SEP</b>	<b>OCT</b>	<b>NOV</b>	<b>DIC</b>	<b>PROM</b>
E.H. SHANAO	442	504	573	569	479	363	278	225	271	368	436	429	411.59



**Figura 14. Variación mensual de los caudales medios mensuales - Estación Shanao**

### 3.2 Usos y demanda hídrica multisectorial – situación actual

Para efectos de la presente investigación, cuando se hace manejo del término “*uso*” está vinculado a aspectos cualitativos de la utilización del recurso hídrico, es decir, a la tipología de las necesidades hídricas, pudiendo ser éstas: uso primario, uso poblacional, uso agrícola, etc.

Para el caso del término “*demanda*” está relacionado a aspectos cuantitativos, es decir, el dimensionamiento de la necesidad de recurso hídrico en términos de volumen o caudal para un determinado uso.

#### 3.2.1 Demanda de agua para uso primario

El uso primario es libre y gratuito; se limita a la utilización manual de las aguas superficiales y subterráneas que afloran naturalmente, mientras se encuentren en sus fuentes naturales o artificiales, con el fin exclusivo de satisfacer las necesidades humanas primarias como tal no existe estos derechos; no requiere de licencia, permiso o autorización para usar el agua.

#### 3.2.2 Demanda hídrica para uso poblacional

La demanda de uso poblacional se debería haber obtenido de información proveniente de instituciones como el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, la ANA, las EPS (Empresa Prestadora de Servicios) ubicadas en el ámbito, EMAPA San Martín S.A, SEDAPAR S.R.L y EPS Moyobamba S.R. Ltda, las mismas que no cuentan con información actualizada y sigue aún dispersa en manos de diversas instituciones u organismos locales que realizaban tareas de captación, conducción y distribución a la población. Incluso haber

proyectado la población con el índice de crecimiento del último Censo Nacional 2017, pero no es aplicable por que la información está sistematizada por ámbito político y no por subcuencas.

Considerando que para el trabajo se requiere información poblacional a nivel de cuenca Mayo pero sobre todo a nivel de 33 subcuencas, se optó por definir las demandas poblacionales en cada una de éstas, en base a los derechos otorgados, los cuales están basados en las dotaciones establecidas para los Centros Poblados urbanos (población mayor de 2000 habitantes) con una dotación de 220 l/hab/día, y en los Centros Poblados rurales (población menor a 2000 habitantes) con una dotación de 65 l/hab/día.

La demanda de agua poblacional en la cuenca está comprendida por la demanda formal e informal:

- La demanda poblacional formal fue obtenida del Módulo para el Registro de Derechos de Uso de Agua – MIDARH de la Autoridad Nacional del Agua.
- Para el caso de la demanda no formalizada, fue estimada por el personal de las ALA Tarapoto y Alto Mayo en base a una evaluación en campo, considerando aquellas personas que vienen haciendo uso de agua, pero no están formalizados.

El resumen de la demanda poblacional actual se observa en la siguiente tabla:

**Tabla 12. Demanda de agua para uso poblacional para la situación actual – Cuenca Mayo**

ALA	Derechos de uso		Demanda no formalizada (hm <sup>3</sup> año)	Demanda total (hm <sup>3</sup> año)
	Nº Derechos	Demanda otorgada (hm <sup>3</sup> /año)		
Alto Mayo	83	13.34	0.23	13.57
Tarapoto	70	16.10	0.15	16.25
<b>Total</b>	<b>153</b>	<b>29.45</b>	<b>0.38</b>	<b>29.82</b>

FUENTE: ANA, 2019.

Según el cuadro anterior, existen 153 derechos de uso de agua otorgados a junio del 2019, que comprometen un volumen de agua total de 29.45 hm<sup>3</sup>, emitidas por la Autoridad Administrativa del Agua Huallaga, los que de oficio se inscriben en el Registro Administrativo de Derechos de Uso del Agua (RADA). A ello, se adicionó la demanda de agua no formalizada que asciende a una brecha de poblacional de 10, 300 personas lo que representa un volumen total estimado de 0.38 hm<sup>3</sup>. Para mayor detalle de los derechos y su correspondiente volumen otorgado, así como el detalle de las demandas no formalizadas se presentan en el Anexo 11. Derechos de uso de agua (m3), Anexo 12. Acreditaciones de

disponibilidad hídrica en la cuenca Mayo (hm<sup>3</sup>) y Anexo 13 Demandas hídricas no formalizadas en la cuenca Mayo (hm<sup>3</sup>), respectivamente.

### 3.2.3 Demanda hídrica para uso agrícola

La demanda hídrica para uso agrícola, considera al área agrícola instalada y las variables climáticas, tales como la precipitación, humedad relativa, velocidad del viento y horas sol, en cada subcuenca definida. Para facilitar la sistematización de la información, se cuenta con la herramienta informática Cropwat 8, que fue desarrollada por la División de Desarrollo de Tierras y Aguas de la FAO, para el cálculo de las necesidades hídricas de los cultivos. Calcula los turnos, caudales y tiempos de riego con base en las necesidades de agua del cultivo, determinadas por el tipo de suelo, clima y cultivo. Para ello, se requiere información de la evapotranspiración (ET) el cual resulta de la combinación entre la evaporación y la transpiración de las plantas; y la evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>) que constituye la pérdida de agua en condiciones de superficie de referencia optimas, el cual depende de factores climáticos como la temperatura, humedad relativa, velocidad de viento, insolación y radiación extraterrestre; la misma que es calculada mediante la ecuación de FAO Penman Monteith.

La evapotranspiración de referencia ET<sub>o</sub> (mm/día) fue calculada por subsectores hidráulicos en el estudio hidrológico del PGIRH subcuenca Mayo; utilizando una precipitación del 75% de persistencia para obtener la precipitación efectiva por el método de la USDA; el cual representa la lluvia que se infiltra en el suelo, sin llegar a perderse por escorrentía o por infiltración profunda, y permanece a disposición de las raíces de las plantas sin ahogarlas. Considerando que el otorgamiento de derechos de uso de agua, se realiza en base a un Estudio de asignación de agua en bloques para la formalización de derechos de uso de agua, el cual entre otros, toma en cuenta el cálculo de la evaporación, evapotranspiración potencial y real, uso del CROPTWAT versión 8.0, define los requerimientos hídricos netos y brutos, realiza el balance hídrico previo a la asignación del uso de agua, se optó por calcular la demanda de agua agrícola a partir del volumen de agua asignado por tipo de uso mediante resolución directoral, obtenida del aplicativo MIDARH de la ANA.

A la información de demanda agrícola formalizada, se adicionó el área agrícola no formalizada obtenida con participación del personal del ALA Alto Mayo y Tarapoto, en cada

unidad hidrográfica y con ello a nivel de toda la cuenca Mayo. En el área no formalizada se tomó en cuenta la ubicación de áreas, módulos de riego promedio y número de campañas, principalmente en cultivos predominantes y más representativos.

El resumen de la demanda agrícola actual se observa en la siguiente tabla:

**Tabla 13. Demanda de agua para uso agrícola actual – Cuenca Mayo**

ALA	Derechos de uso		Demanda no formalizada (hm <sup>3</sup> año)	Demanda total (hm <sup>3</sup> año)
	Nº Derechos	Demanda otorgada (hm <sup>3</sup> /año)		
Alto Mayo	52	1,125.75	196.25	1,322.00
Tarapoto	644	121.73	71.29	193.02
<b>Total</b>	<b>696</b>	<b>1,247.48</b>	<b>267.54</b>	<b>1,515.02</b>

FUENTE: ANA, 2019.

La Tabla 13 nos indica la existencia un total de 696 derechos de uso agrícola de fuente superficial, los cuales otorgan un volumen 1,247.48 hm<sup>3</sup>, para un área bajo riego de 30,859 ha. Adicionalmente se tiene un volumen de 193.02 hm<sup>3</sup> proveniente de demanda agrícola no formalizada en la cuenca Mayo.

Para mayor detalle de los derechos y su correspondiente volumen otorgado, así como el detalle de las demandas no formalizadas se presentan en el Anexo 11. Derechos de uso de agua (m<sup>3</sup>), Anexo 12. Acreditaciones de disponibilidad hídrica en la cuenca Mayo (hm<sup>3</sup>) y Anexo 13 Demandas hídricas no formalizadas en la cuenca Mayo (hm<sup>3</sup>), respectivamente.

### 3.2.4 Demanda hídrica para uso pecuario

Según el MIDARH, los derechos de uso de agua para uso pecuario, otorgados en la Cuenca Mayo se presenta a continuación:

**Tabla 14. Demanda de agua para uso pecuario actual en la cuenca Mayo**

ALA	Licencias		Permisos		Demanda total (hm <sup>3</sup> año)
	Nº Derechos	Demanda otorgada (hm <sup>3</sup> /año)	Nº Derechos	Demanda otorgada (hm <sup>3</sup> /año)	
Alto Mayo	1	0.016	-	-	0.016
Tarapoto	4	0.037	-	-	0.037
<b>Total</b>	<b>5</b>	<b>0.053</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0.053</b>

FUENTE: ANA, 2019.

Según cuadro, se ha identificado 5 derechos de agua para uso pecuario correspondientes en su totalidad a licencias de uso y que comprometen un volumen de agua de 0.053 hm<sup>3</sup>/año.

Para mayor detalle de los derechos y su correspondiente volumen otorgado, así como el detalle de las demandas no formalizadas se presentan en el Anexo 11. Derechos de uso de

agua (m3), Anexo 12. Acreditaciones de disponibilidad hídrica en la cuenca Mayo (hm3) y Anexo 13 Demandas hídricas no formalizadas en la cuenca Mayo (hm3), respectivamente.

### 3.2.5 Demanda hídrica para uso industrial

La demanda de agua industrial es requerida por las empresas de cementos, granjas, empresas agroindustriales, entre otros, según reporte del MIDARH.

Según el MIDARH, los derechos de uso de agua para uso industrial, otorgados en la Cuenca Mayo se presenta a continuación:

**Tabla 15. Demanda de agua para uso industrial actual en la cuenca Mayo**

ALA	Licencias		Permisos		Demanda total (hm <sup>3</sup> /año)
	Nº Derechos	Demanda otorgada (hm <sup>3</sup> /año)	Nº Derechos	Demanda otorgada (hm <sup>3</sup> /año)	
Alto Mayo	4	0.88	-	-	0.88
Tarapoto	9	0.21	-	-	0.21
<b>Total</b>	<b>13</b>	<b>1.09</b>	-	-	<b>1.09</b>

FUENTE: ANA, 2019.

Según cuadro, se ha identificado 13 derechos de agua para uso industrial correspondientes correspondiente en su totalidad a licencias de uso y que comprometen un volumen de agua de 1.09 hm<sup>3</sup>/año.

Para mayor detalle de los derechos y su correspondiente volumen otorgado, así como el detalle de las demandas no formalizadas se presentan en el Anexo 11. Derechos de uso de agua (m3), Anexo 12. Acreditaciones de disponibilidad hídrica en la cuenca Mayo (hm3) y Anexo 13 Demandas hídricas no formalizadas en la cuenca Mayo (hm3), respectivamente.

### 3.2.6 Demanda hídrica para uso minero

En la cuenca del río Mayo no existe demanda hídrica minera.

### 3.2.7 Demanda hídrica para uso acuícola

La demanda de agua para uso acuícola es la otorgada bajo la condición que se cuente con un sistema de captación, conducción, almacenamiento y retorno a la fuente natural, información que fue obtenida de los registros del reporte del MIDARH.

La información de los derechos de agua para uso acuícola, según el MIDARH, se presenta en el cuadro:

**Tabla 16. Demanda de agua para uso acuícola actual en la Cuenca Mayo**

ALA	Licencias		Permisos		Demanda total (hm <sup>3</sup> /año)
	Nº Derechos	Demanda otorgada (hm <sup>3</sup> /año)	Nº Derechos	Demanda otorgada (hm <sup>3</sup> /año)	
Alto Mayo	44	6.39	-	-	6.39
Tarapoto	11	0.69	-	-	0.69
<b>Total</b>	<b>55</b>	<b>7.08</b>	-	-	<b>7.08</b>

FUENTE: ANA, 2019.

Según cuadro, se ha identificado 55 derechos de agua para uso acuícola correspondiente en su totalidad a licencias de uso y que comprometen un volumen de agua de 7.08 hm<sup>3</sup>/año.

Para mayor detalle de los derechos y su correspondiente volumen otorgado, así como el detalle de las demandas no formalizadas se presentan en el Anexo 11. Derechos de uso de agua (m3), Anexo 12. Acreditaciones de disponibilidad hídrica en la cuenca Mayo (hm3) y Anexo 13 Demandas hídricas no formalizadas en la cuenca Mayo (hm3), respectivamente.

### 3.2.8 Demanda hídrica para uso hidroenergético

La demanda de agua para uso hidroenergético, comprende el agua que fue otorgada en las licencias de uso energético, para la minicentral privada, ubicada en el río Aguas Claras, que actualmente está desactivada por estar en zona sísmica; el Gera, ubicada en el río del mismo nombre, la cual sólo funciona cuando hay emergencia y brinda energía al Alto Mayo; la mini Central hidroeléctrica de la Asociación del Centro Poblado Alonso de Alvarado Roque, ubicada en el río Huarcamayo, la cual atiende al sector del mismo nombre y a Pinshapampa. Además de las autorizaciones otorgadas para la ejecución de estudios y obras de las nuevas centrales hidroeléctricas, tales como Agua Clara ubicada en el río Blanco, Mayo I y Mayo II ubicadas en el río Mayo y Naranjos ubicada en el río Naranjos.

Según el MIDARH, en la Cuenca del Mayo, se han otorgado derechos, tal como se aprecia en la Tabla 17

**Tabla 17. Demanda de agua para uso energético en la cuenca Mayo**

ALA	Licencias		Permisos		Demanda total (hm <sup>3</sup> /año)
	Nº Derechos	Demanda otorgada (hm <sup>3</sup> /año)	Nº Derechos	Demanda otorgada (hm <sup>3</sup> /año)	
Alto Mayo	-	-	-	-	-
Tarapoto	2	0.193	-	-	0.193
<b>Total</b>	<b>2</b>	<b>0.193</b>	-	-	<b>0.193</b>

FUENTE: ANA, 2019.



Según la Tabla 17, se han identificado 2 derechos de agua para uso energético, con un volumen de agua total 0.193 hm<sup>3</sup>/año.

Para mayor detalle de los derechos y su correspondiente volumen otorgado, así como el detalle de las demandas no formalizadas se presentan en el Anexo 11. Derechos de uso de agua (m3), Anexo 12. Acreditaciones de disponibilidad hídrica en la cuenca Mayo (hm3) y Anexo 13 Demandas hídricas no formalizadas en la cuenca Mayo (hm3), respectivamente.

### 3.3 Usos y demanda hídrica multisectorial – situación futura

Para la determinación de la demanda hídrica futura, se ha considerado la información de los derechos de uso de agua actual otorgados y obtenida del MIDARH de la ANA. más las acreditaciones de disponibilidad hídrica que constituyen las futuras demandas hídricas a considerar y que similarmente son otorgadas por la misma entidad.

#### 3.3.1 Demanda poblacional

La demanda hídrica futura para el uso poblacional está comprendida por la demanda poblacional actual más la demanda futura para el mismo uso constituida por las acreditaciones de disponibilidad hídrica poblacional. Los volúmenes otorgados por dichas acreditaciones consideran las proyecciones de incremento poblacional en la cuenca Mayo. Se ha identificado un total de 70 acreditaciones otorgadas, cuyo detalle de las mismas se presenta en la siguiente tabla.

**Tabla 18. Demanda de agua para uso poblacional para la Cuenca Mayo producto de acreditaciones**

ALA	Acreditaciones de la disponibilidad hídrica superficial	
	Nº	Demanda otorgada (hm <sup>3</sup> /año)
Alto Mayo	41	9.65
Tarapoto	29	14.39
<b>Total</b>	<b>70</b>	<b>24.05</b>

FUENTE: ANA, 2019.

Para mayor detalle de las acreditaciones para el uso poblacional y su correspondiente volumen otorgado se presentan en el Anexo 12. Acreditaciones de disponibilidad hídrica en la cuenca Mayo (hm3). Finalmente, La demanda hídrica futura para el uso poblacional se detalla en la Tabla 19:

**Tabla 19. Demanda de agua para uso poblacional para la situación futura – Cuenca Mayo**

ALA	Demanda Actual (hm <sup>3</sup> /año)	Acreditaciones (hm <sup>3</sup> /año)	Demanda Futura (hm <sup>3</sup> /año)
Alto Mayo	13.57	9.65	23.22
Tarapoto	16.25	14.39	30.64
<b>Total</b>	<b>29.82</b>	<b>24.05</b>	<b>53.87</b>

FUENTE: ANA, 2019.

### 3.3.2 Demanda Agrícola

La demanda agrícola futura, está comprendida por la demanda actual agrícola y la demanda futura agrícola (acreditaciones de disponibilidad hídrica agrícola). Los volúmenes otorgados por dichas acreditaciones consideran las futuras áreas irrigables en la cuenca Mayo.

La demanda hídrica futura para el uso agrícola corresponde a un total de 8 acreditaciones otorgadas. El detalle de las acreditaciones emitidas se presenta en la siguiente tabla.

Demanda de agua para uso agrícola para la Cuenca Mayo producto de acreditaciones

ALA	Acreditaciones de la disponibilidad hídrica superficial	
	Nº	Demanda otorgada (hm <sup>3</sup> /año)
Alto Mayo	7	2.77
Tarapoto	1	0.25
<b>Total</b>	<b>8</b>	<b>3.02</b>

FUENTE: ANA, 2019.

Para mayor detalle de las acreditaciones para el uso agrícola y su correspondiente volumen otorgado se presentan en el Anexo 12. Acreditaciones de disponibilidad hídrica en la cuenca Mayo (hm<sup>3</sup>).

Finalmente, la demanda hídrica futura para el uso agrícola se detalla en la Tabla 20:

**Tabla 20. Demanda de agua para uso agrícola para la situación futura – Cuenca Mayo**

ALA	Demanda Actual (hm <sup>3</sup> /año)	Acreditaciones (hm <sup>3</sup> /año)	Demanda Futura (hm <sup>3</sup> /año)
Alto Mayo	1,322.00	2.77	1,324.77
Tarapoto	193.02	0.25	193.27
<b>Total</b>	<b>1,515.02</b>	<b>3.02</b>	<b>1,518.05</b>

FUENTE: ANA, 2019.

### 3.3.3 Demanda industrial

La demanda industrial futura, está comprendida por la demanda actual industrial y la demanda futura industrial (acreditaciones de disponibilidad hídrica industrial). Los

volúmenes otorgados por dichas acreditaciones consideran los futuros proyectos vinculados al sector industria.

La demanda hídrica futura para el uso industrial corresponde a un total de 2 acreditaciones otorgadas. El detalle de las acreditaciones emitidas se presenta en la siguiente tabla.

**Tabla 21. Demanda de agua para uso industrial para la Cuenca Mayo producto de acreditaciones**

ALA	Acreditaciones de la disponibilidad hídrica superficial	
	Nº	Demanda otorgada (hm <sup>3</sup> /año)
Alto Mayo	-	-
Tarapoto	2	0.002
<b>Total</b>	<b>2</b>	<b>0.002</b>

FUENTE: Elaboración propia en base a reporte MIDARH (ANA, 2019).

Para mayor detalle de las acreditaciones para el uso industrial y su correspondiente volumen otorgado se presentan en el Anexo 12. Acreditaciones de disponibilidad hídrica en la cuenca Mayo (hm<sup>3</sup>). Finalmente, la demanda hídrica futura para el uso industrial se detalla en la Tabla 22:

**Tabla 22. Demanda de agua para uso industrial para la situación futura – Cuenca Mayo**

ALA	Demanda Actual (hm <sup>3</sup> /año)	Acreditaciones (hm <sup>3</sup> /año)	Demanda Futura (hm <sup>3</sup> /año)
Alto Mayo	0.88	-	0.88
Tarapoto	0.21	0.002	0.21
<b>Total</b>	<b>1.09</b>	<b>0.002</b>	<b>1.09</b>

FUENTE: ANA, 2019.

Cabe indicar que se conoce de una serie de ideas para implementar industrias en el ámbito de la cuenca, sin embargo, no hay estudios o propuestas concretas que permita extraer información de demandas de agua o adoptar algunos criterios para su cuantificación, recomendando se pueda cuantificar y actualizar a futuro.

### 3.3.4 Demanda por caudal ecológico

Se ha estimado los caudales ecológicos calculados bajo la metodología del 95 por ciento de persistencia, cuyo detalle de los valores obtenidos se presentan en el ítem 4.1.8.3.

### 3.4 Metodología del modelamiento hidrológico

### 3.5 Modelo hidrológico

#### 3.5.1 Esquema topológico

Es el esquema que representa de forma sintética la gestión del agua en dicho ámbito, con sus infraestructuras mayores y las demandas principales.

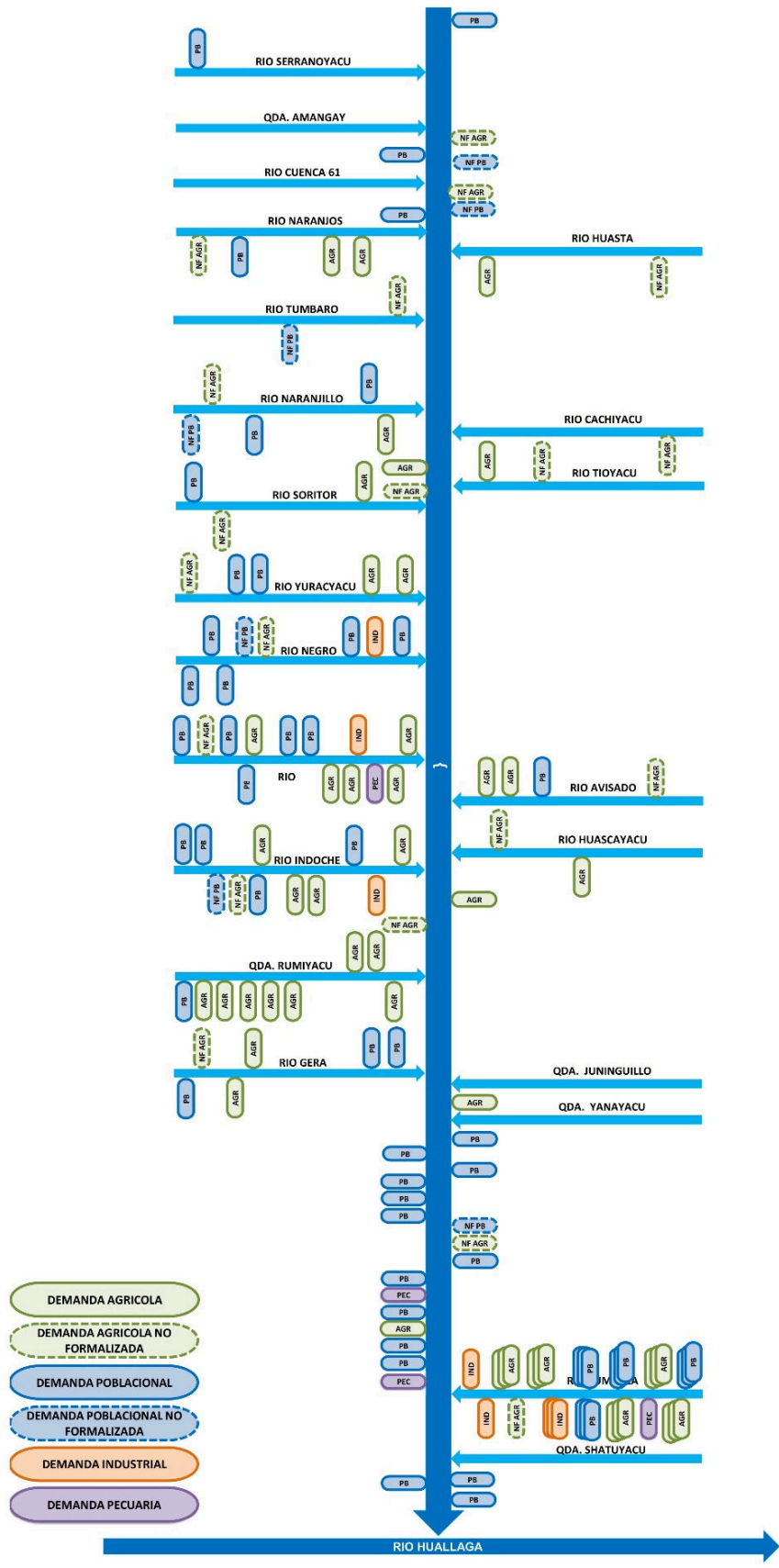


Figura 15. Esquema topológico de la cuenca del río Mayo.

### 3.5.2 Evaluación del WEAP para desarrollar el modelo hidrológico

Existen diferentes herramientas analíticas para apoyar la toma de decisiones en la gestión del agua, tales como el ModSim, OASIS, el WEAP, etc, pero se optó por el WEAP, por las razones siguientes:

- Permite dar respuesta a partir de información de variables climáticas en cada subcuenca (precipitación, temperatura, humedad relativa, velocidad del viento), condiciones de la cuenca, demanda, la regulación del sistema, etc.
- Utiliza y tiene rutinas para distribuir el agua de manera multisectorial, bajo la perspectiva humana y ecosistémica Y dado la variabilidad en la disponibilidad o acción del hombre, la distribución del agua compleja, se facilita su evaluación bajo diferentes escenarios, condiciones o incertidumbres.
- Incorpora diferentes políticas de manejo, analiza las demandas sectoriales, asigna según prioridad y aunque este es un estudio de agua superficial, a futuro se puede complementar con el agua subterránea y su relación con la operación de reservorios, generación de hidroeléctrica, acoplamiento con otros modelos tales como el MODFLOW y el QUAL2K.

El estudio contempló utilizar el módulo hidrológico del programa WEAP, para calcular la serie mensual de aportaciones u oferta de cada una de las subcuencas definidas para la cuenca Mayo, además de calcular los balances hídricos mensuales en cada una de ellas (subcuencas), considerando que es una herramienta de fácil manejo, que permite analizar, simular diferentes escenarios hidrológicos comparando oferta y demanda a nivel de unidades hidrográficas menores.

### 3.5.3 Esquema conceptual del modelo

Por la complejidad de las interacciones entre la oferta y la demanda y para facilitar la estimación de balances hídricos en unidades hidrográficas de distinto nivel, se construyó un modelo conceptual de la cuenca, donde se simula la generación de caudales a nivel de subcuencas de modelo, así como se introduce la demanda multisectorial del sistema.

El WEAP relaciona directamente a las unidades hidrológicas “catchments” con una mayor o menor resolución (cuencas, sub cuencas, unidades hidrográficas nivel 1, 2, 3, 4, 5, 6), que permite cubrir el área total de la cuenca en análisis. La información meteorológica de cada unidad (series mensuales de precipitación, temperatura, humedad relativa y velocidad del viento) es introducida en el modelo, además de la información de la cobertura y parámetros

físicos del suelo, generando caudales por transformación de la precipitación en escorrentía, que posteriormente son calibrados utilizando la información hidrométrica existente.

Para la representación de las condiciones reales de la cuenca, fue necesaria la inclusión de todos los elementos físicos tales como reservorios de agua (represas, lagunas, acuíferos), canales de trasvase o derivación, centrales hidroeléctricas y otros que sean de importancia en la cuenca, pero para el caso particular, los modelos de gestión fueron sencillos debido a la escasez de reservorios y trasvases con lo que se evitó realizar la simulación de regímenes complicados de explotación.

La demanda existente en cada unidad de análisis es agrupada, para el caso agrario en bloques de riego o comisiones de usuarios y para el no agrario considerando el tipo de uso. Para una optimización del análisis se agrupó todas aquellas demandas que hagan uso de los recursos en una misma subcuenca y que pertenezcan a un mismo tipo de uso.

Como resultado final se obtuvo balances específicos en cada “nodo” del modelo (afluentes y efluentes), pudiendo extraer balances a nivel de toda la cuenca y por cada una de las 33 subcuencas del río Mayo.

#### 3.5.4 Información requerida y formatos utilizados usando la herramienta WEAP

La recopilación de datos y los formatos utilizados para aplicar el WEAP, gran parte de la información se obtuvo de estudios anteriores, actualizada a diciembre del 2019. Esto se realizó con el objetivo de dar soporte a la aplicación inicial del modelo WEAP y posteriormente mejorar la precisión del modelo.

#### 3.5.5 Criterios aplicados previo al modelamiento

Como acciones previas al modelamiento, se optó por considerar los criterios siguientes:

##### 3.5.5.1 De la cantidad de registros y su agrupación

Al existir gran cantidad de registros, muchos de ellos a nivel de usuario, se realizó una agrupación para su representación mediante "nodos de demanda" en el WEAP; donde para el caso agrario se agrupa en juntas, comisiones y comités identificados por el prefijo "AG" (para el caso de la demanda agraria del ámbito de Tarapoto se agrupó la demanda por fuente), para el caso del uso poblacional se agrupó por distritos y se identificó mediante el prefijo

"PB", para el industrial "IND", para el pecuario "PEC", en el caso de la demanda acuícola, turístico, recreacional, transporte y energético, se consideró que no son demandas consuntivas, por lo que no se contabilizó en el WEAP.

#### 3.5.5.2 Demandas no formalizadas

Estimado con información proporcionada por la ALA Alto Mayo y la ALA Tarapoto, incorporando las demandas reales de quienes hacen uso del agua pero no están formalizados, con lo que se ha elaborado una tabla de demandas estimadas no formalizadas (agraria y poblacional), la misma que se ha distribuido mensualmente, lo que se muestra en el Anexo 13. Demandas hídricas no formalizadas en la cuenca Mayo (hm3).

Su ubicación espacial fue tomada de las coordenadas registradas en el resumen de derechos del MIDARH y solo en el caso de las demandas no formalizadas, se colocaron en el centroide de cada unidad hidrográfica definida en el shape "Prop\_Subc\_Mayo".

#### 3.5.5.3 Restricción de la reducción de nivel

El WEAP permite bajar las UH a niveles menores que de nivel 7, pudiendo apreciar en mayor detalle los déficit y superávit de agua; sin embargo, aun cuando las UH de Cumbaza y Yuracyacu, tienen mayores problemas, no se optó por bajar a menor nivel, para no complicar su manejo; por lo que en caso de requerir mayores detalles para el análisis, es posible verificar a nivel de los "NODOS", que representan a los puntos de captación (bocatomas) y o entrega de agua, además el modelo permite efectuar consultas dinámicas, obteniendo resultados conforme a las necesidades de información que se tenga.

#### 3.5.5.4 De la forma de identificación

Se colocó el prefijo "R" (R4 y R7), en los lugares que no se identificó el nombre del río por constituir el río Mayo en si, tal es el caso de las subcuencas intermedias que aparecen achuradas en la Figura 17, lo cual se distingue al colocar el prefijo de "R5, R12, etc" seguido de "Mayo intermedio". En algunos casos el río pasa por una subcuenca que tiene dos o más nombres que corresponden a la parte alta o baja, sin embargo, solo se consideró un nombre del tramo más bajo para mantener correlación con el nombre de la subcuenca a la hora de interpretar el balance, ej.: Rio Delta y Huasta en Unidad Hidrográfica denominada Huasta, tal como se aprecia en la Tabla 23.

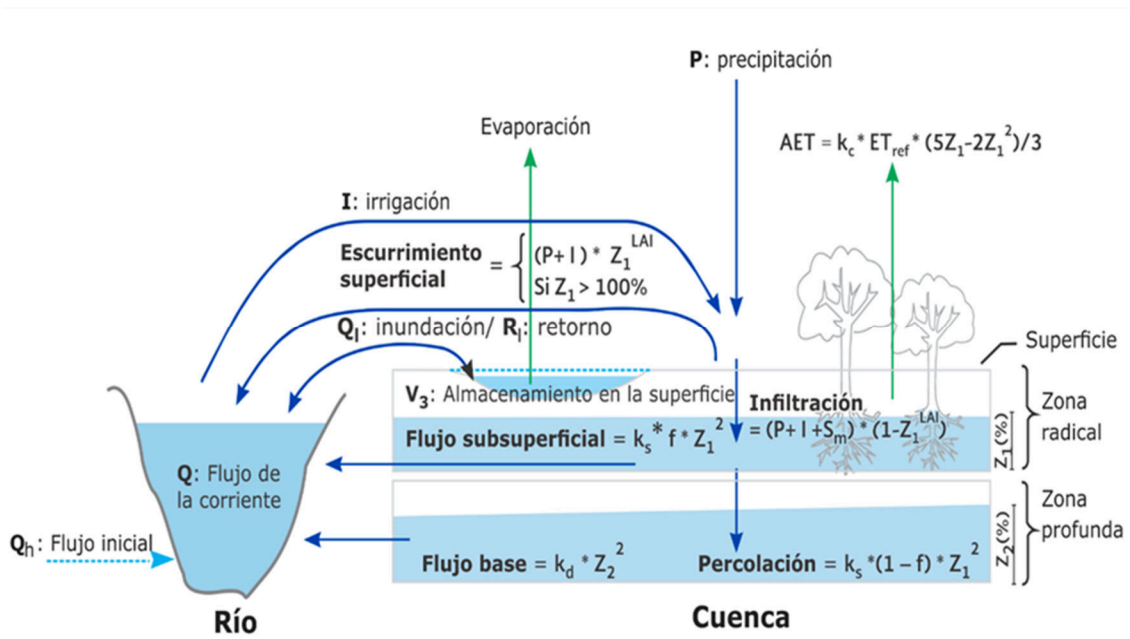


**Tabla 23. Modelo de codificación de ríos, cuenca y nodos para el WEAP**

COD_CUENCA	RIO	CODIGO_WEAP	NODO_WEAP
C1	RIO HUASTA	142	PB_NF_C1
C2	RIO SERRANOYACU	95	PB_ACR_NUEVA CAJAMARCA
		116	AG_NF_C2
C3	QDA AMANGAY	-	-
C4	CUENCA 61	-	-
C5	INTERCUENCA	8	PB_PARDO MIGUEL
		117	AG_NF_C5
		143	PB_NF_C5
C6	RIO NARANJOS	31	AG_CTU EL DIAMANTE
		34	AG_CTU YARINAL
		97	PB_ACR_PARDO MIGUEL
		118	AG_NF_C6
C7	CUENCA_31	20	AG_CR HUASTA
		119	AG_NF_C7
C8	INTERCUENCA	-	-
C9	RIO TUMBARO	120	AG_NF_C9
		144	PB_NF_C9

### 3.5.5.5 Formulación y propuesta del modelo (precipitación - escorrentía) para determinar la oferta hídrica

Es común no contar con registros adecuados de escurrimiento en el sitio de interés y en general, los registros de precipitación son más abundantes que los de escurrimiento (Aparicio, 1992). Una herramienta de apoyo en su obtención, es el WEAP, el cual cuenta con 05 métodos para la simulación de la hidrología de la cuenca, sin embargo para este fin se optó por el Método Precipitación –Escorrentía (humedad de suelo), que es más integral porque relaciona el clima con el suelo y contempla la ley de conservación de la masa; representa la cuenca con dos capas de suelo, además del potencial para la acumulación de nieve. En la capa superior simula la evapotranspiración, la escorrentía, el interflujo poco profundo y cambios en la humedad del suelo. En la capa inferior del suelo se simula el enrutamiento del caudal base al río y cambio en la humedad de suelo. Siendo así, para fines de estudio, de balance hídrico, se seleccionó el método de la humedad del suelo (Askar, 2014).



**Figura 16. Esquema del método de la humedad del suelo**

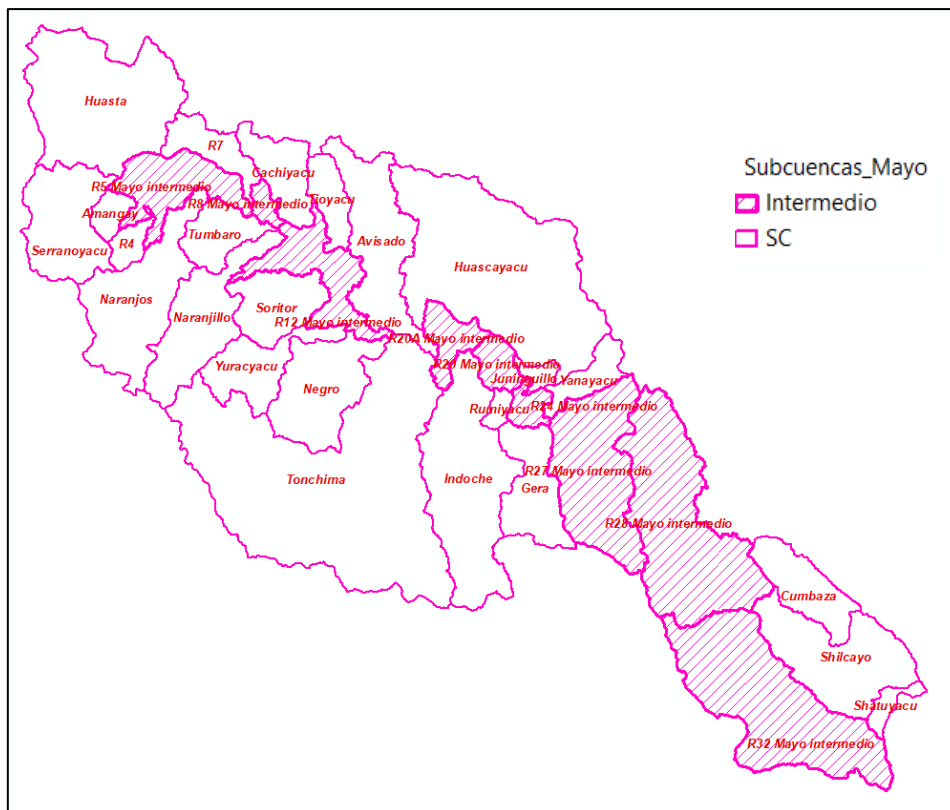
FUENTE: Angarita y otros, 2018.

El modelo Precipitación - Escorrentía, permite obtener el volumen de escurrimiento, que es lo que caracteriza el potencial superficial de una cuenca, en vista que es posible ingresar datos climáticos y estimar la escorrentía sobre los cauces, para cuya estimación se utiliza el método Rainfall Runoff Method (soil moisture Method), el cual trata de representar la captación, las dos capas de suelo y el potencial de acumulación de nieve. Es en la zona radicular (capa superior) donde se calcula la evapotranspiración, ya que simula la lluvia y el riego, la escorrentía superficial y subsuperficial y los cambios en la humedad del suelo. Y en la capa de suelo profunda, tanto el caudal base y los cambios de humedad del suelo son simulados; para lo cual se requiere parámetros de suelo más detallados y una caracterización del clima (Abera Abdi, et al., 2021).

Cobra relevancia lo del flujo subsuperficial, que es la proporción de la precipitación que no pasa al nivel freático y se produce por debajo de la superficie del terreno, contribuyendo al interflujo, al flujo base o a la percolación profunda, descargándose desde la zona no saturada por medio de un drenaje lateral durante e inmediatamente después de la lluvia, a los cauces fluviales o a los lagos, manteniendo el equilibrio hídrico, el transporte de nutrientes y sedimentos (Gonzales, et al., 2003).

### 3.5.5.6 Criterios para definir las unidades hidrológicas o subcuencas de modelamiento

El espacio geográfico modelado corresponde a la cuenca del río Mayo, Estos catchments constituyen las unidades hidrológicas sobre los cuales WEAP aplica las rutinas para estimar evapotranspiración, infiltración, escorrentía superficial, flujo horizontal entre capas, y flujo base y en el modelo hidrológico WEAP describe su comportamiento de manera semidistribuida, en subunidades o subcuencas que representan el área colectora de la precipitación en cada zona “catchment”, donde se genera una escorrentía superficial que se va sumando a lo largo de los cauces, tal como se muestra en la Figura 17.



**Figura 17. Esquema semidistribuido o subcuencas definidas en la cuenca del río Mayo**

Para definir las subcuencas se tomó en cuenta criterios como:

- Que sean ámbitos o puntos de interés hidrológico donde se desea conocer exactamente el valor del caudal en un momento determinado para la calibración o la simulación de escenarios futuros.
- Que haya confluencia de ríos o puntos de aforo de caudales importantes.
- Ámbitos donde existen problemas actuales y se estima conflictos futuros, por déficit hídrico.

- No se consideró Reservorios existentes, por cuanto estos actualmente no existen, tampoco reservorios proyectados.
- La delimitación inicial partió de las 09 Unidades hidrográficas de nivel 6, hasta subdividir las en 33 subcuencas, de acuerdo con sus capas de elevación que permite obtener áreas de captación espacialmente uniformes respecto a sus características topográficas y climatológicas. Ver Figura 18y Figura 19.

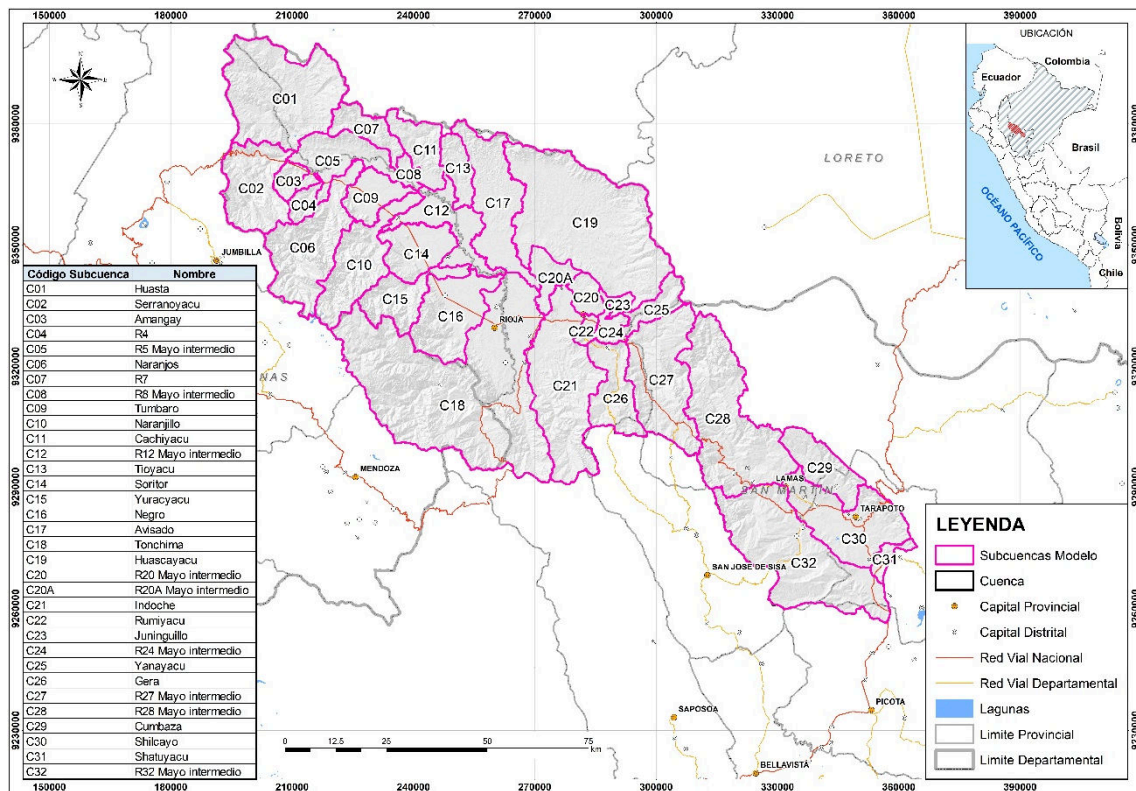
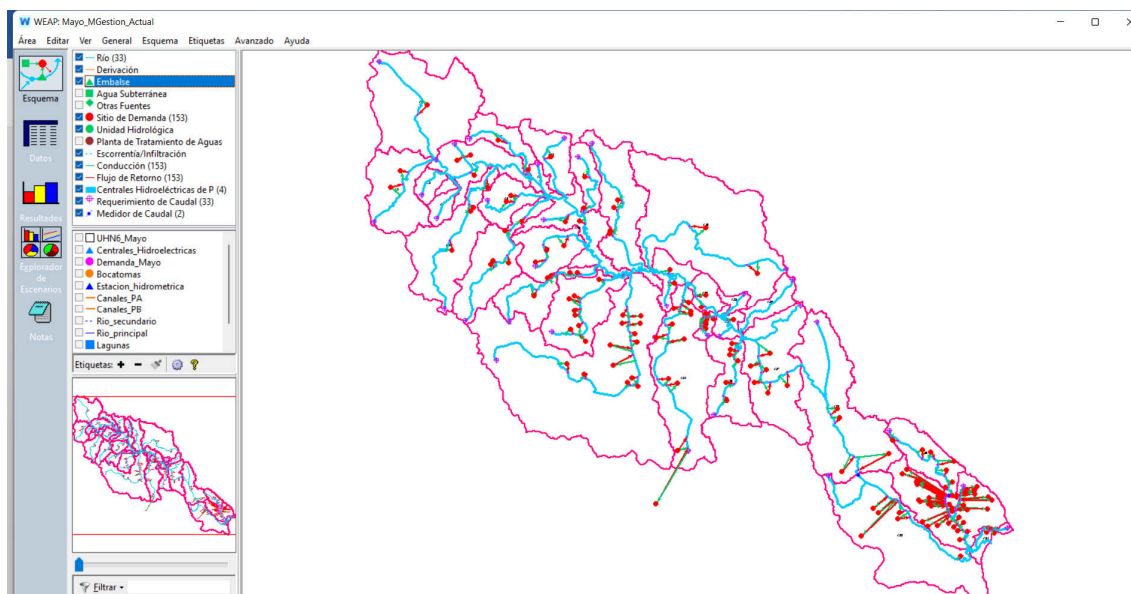


Figura 18. Subcuencas definidas para el modelamiento hidrológico



**Figura 19. Topología configurada en el modelo WEAP**

Los nombres de las UH fueron dadas en función al nombre que tienen en el shape de ríos en correspondencia con el modelo WEAP.

**Tabla 24. Codificación y área de cobertura de las subunidades o subcuencas de modelamiento**

Nº	CODIGO SUBCUENCA	RIO	ÁREA (KM2)	ESTE	NORTE	Nombre
1	C15	RIO YURACYACU	190.03	237337.98	9337062.83	Yuracyacu
2	C12	INTERCUENCA	227.96	248854.14	9354635.49	R12 Mayo intermedio
3	C31	SHATUYACU	41.19	357328.21	9272555.37	Shatuyacu
4	C27	RIO ALTO MAYO MEDIO	444.45	301866.78	9317068.65	R27 Mayo intermedio
5	C30	RIO MAYO	387.39	347263.44	9281763.20	Shilcayo
6	C26	RIO GERA	214.37	289461.28	9313905.09	Gera
7	C23	QDA JUNINGUILLO	30.97	290459.81	9335628.12	Juninguillo
8	C28	RIO ALTO MAYO MEDIO	654.86	317795.07	9307236.79	R28 Mayo intermedio
9	C25	QUEBRADA YANAYACU	94.32	300087.73	9335191.03	Yanayacu
10	C32	MAYO BAJO	672.66	334731.58	9273342.36	R32 Mayo intermedio
11	C29	RIO CUMBAZA	186.25	341166.40	9295004.48	Cumbaza
12	C24	INTERCUENCA	51.93	288783.91	9329520.16	R24 Mayo intermedio
13	C22	QUEBRADA RUMIYACU	28.29	282955.77	9328959.13	Rumiyacu
14	C20	INTERCUENCA	69.33	282845.52	9337525.30	R20 Mayo intermedio
15	C18	RIO TONCHIMA	1492.63	250982.45	9315532.01	Tonchima
16	C10	RIO NARANJILLO	310.28	226367.81	9345515.61	Naranjillo
17	C19	RIO HUASCAYACU	966.71	282807.28	9355434.05	Huascayacu
18	C16	RIO NEGRO	308.76	249282.79	9332776.08	Negro
19	C17	RIO AVISADO	361.46	260093.63	9360838.95	Avisado
20	C20A	INTERCUENCA	97.75	273575.60	9342318.91	R20A Mayo intermedio
21	C21	RIO INDOCHE	563.16	277121.35	9314703.85	Indoche
22	C9	RIO TUMBARO	135.94	229863.74	9362230.94	Tumbaro

«continuación»

Nº	CODIGO SUBCUENCA	RIO	ÁREA (KM2)	ESTE	NORTE	Nombre
23	C14	RIO SORITOR	192.44	240770.80	9349024.34	Soritor
24	C6	RIO NARANJOS	397.57	214616.84	9349792.20	Naranjos
25	C7	CUENCA_31	120.39	228346.43	9378547.75	R7
26	C11	RIO CACHIYACU	155.08	241723.72	9373938.11	Cachiyacu
27	C5	INTERCUENCA	229.60	221195.73	9371255.28	R5 Mayo intermedio
28	C8	INTERCUENCA	34.00	238596.31	9367897.37	R8 Mayo intermedio
29	C13	RIO TIOYACU	101.18	250970.94	9368845.55	Tioyacu
30	C4	CUENCA_61	51.31	212893.28	9360479.66	R4
31	C3	QDA AMANGAY	51.33	209228.02	9366224.36	Amangay
32	C2	RIO SERRANOYACU	300.67	200761.98	9364468.94	Serranoyacu
33	C1	RIO HUASTA	610.00	207202.73	9387596.14	Huasta

La cuenca del río Mayo se dividió en 33 subcuencas o Unidades hidrográficas, a las que se ingresaron los datos climáticos de temperatura media mensual y precipitación acumulada mensual en el periodo de estudio de 1965 – 2018 y los elementos que forman parte del esquema del modelo para el proceso de distribución de agua son los siguientes:

- Río (River): lo constituyen el cauce principal del río Mayo y los afluentes principales de la margen izquierda y margen derecha.
- Reservorios (Reservoir): En el esquema del modelo de gestión de recursos del sistema Mayo no se han incluido reservorios, por no existir.
- Captaciones (Catchment): Representan el área colectora de la precipitación, la cual genera una escorrentía superficial que adiciona un caudal determinado hacia los ríos.
- Estaciones Hidrométricas (Streamflow gauge): Utilizados para la calibración del modelo hidrológico. Se utilizó la estación hidrométrica 221802- Shanao (río Mayo) para el proceso de calibración por considerarse que mantiene el registro más largo de información hidrométrica disponible, siendo además la única estación que mide los caudales a la entrega del río Mayo a la unidad hidrográfica mayor, a excepción del río Cumbaza.
- Acuíferos (Groundwater): Representan la masa de agua subterránea que discurre por el fondo de valle aluvial, formado por los depósitos de sedimentos fluviales, situado en desembocadura, de gran potencia y forma típica de abanico. No se ha incluido ningún acuífero en vista que éste es un estudio de agua superficial.

- Centrales Hidroeléctricas (River Hydro): En el esquema del modelo de gestión de recursos del sistema del río Mayo se han incluido Centrales Hidroeléctricas, las mismas que no afectan al balance hidrológico a nivel de la cuenca y subcuencas.
- Trasvases (Diversion): En el esquema del modelo de gestión de recursos del sistema Mayo no se han incluido Transvases, en vista que no existen.

#### 3.5.5.7 Esquema hidráulico e ingreso de datos

El esquema hidráulico, está definido por fuentes hídricas y las obras hidráulicas ubicadas en la cuenca, a partir del cual se reproduce el comportamiento del sistema y la distribución de agua según prioridad de la demanda y la disponibilidad de las ofertas.

Con el software de sistema de información geográfica, se procesó los datos, tales como ríos, quebradas y puntos de interés en la cuenca donde existe estaciones de aforo, reservorios, puntos de captación de agua, puntos de retorno de agua, canales de derivación, entre otros componentes.

El área de la cuenca Mayo se subdividió en 33 subcuencas que representa en WEAP el denominado “Catchment” que es la unidad básica de modelación, representando su área distribuida en porcentajes de cobertura vegetal, para lo cual previamente se procesó en el GIS y exportó al WEAP como capa shape.

Para realizar la modelación, se requirió la precipitación, temperatura, humedad, viento, punto de derretimiento, punto de congelamiento, latitud, y cantidad inicial de nieve (aunque no es el caso del Mayo), que son ingresados al modelo desde una hoja de cálculo en formato csv.

El modelo requiere disponer de series completas y homogéneas, para el mismo periodo de años de aportaciones naturales mensualizadas (oferta de agua) en todos los puntos donde haya una entrada significativa de caudales disponibles para el servicio de las demandas de aguas abajo, de allí que no es posible usar directamente las series registradas en las estaciones de aforo o reservorios, en vista que no están en régimen natural y al no tener periodos de registro coincidentes en el tiempo y suficientemente largos, utilizando el software de WEAP se realizó el estudio hidrológico para determinar las series mensuales de aportaciones naturales en todas las subcuencas o unidades hidrográficas representadas en el modelo para el periodo de 54 años comprendido entre enero de 1965 a junio de 2018.

Los datos de todas las demandas localizadas (poblacional, agrícola, industrial, minero o hidroeléctrico) en las subcuencas modeladas, fueron agrupadas en nudos, excepto aquellas que, por su independencia o distribución espacial aislada, fueron representadas según coordenadas del punto de aprovechamiento.

Para el análisis de oferta de agua se incorporó la información de la infraestructura física de control y aprovechamiento existente al interior de la cuenca, además de obtener la caracterización de cobertura vegetal necesaria, que incluye el estimado de las áreas y la distribución de cobertura vegetal dentro de cada zona de captación.

### 3.5.6 Calibración del modelo

La calibración del modelo permite generar escenarios a corto, mediano y largo plazo; tan necesario en la planificación de los recursos hídricos

La Calibración consistió en efectuar la comparación de los caudales aforados con los caudales simulados; ajustando los parámetros del método humedad del suelo. Y para evaluar la relación del modelo con el sistema físico real, en el método humedad del suelo del modelo, se iteró los parámetros hasta que los caudales simulados se aproximen a los caudales aforados y se utilizó las métricas de BIAS y NASH. Para ello se requiere contar con registros de caudales con suficiente información; obtenida de la estación hidrométrica del Cumbaza, la cual fue descartada por ser un tributario del río Mayo, tener un comportamiento hidrológico muy atípico; optando por considerar la Estación Shanao, por contar con registros correctos y reales (Estudio de aguas kársticas), estar ubicada en el cauce principal del río Mayo, registra el 87 por ciento del agua y tiene información confiable de 16 años continuos, tan necesarios para obtener una buena capacidad de predicción del modelo.

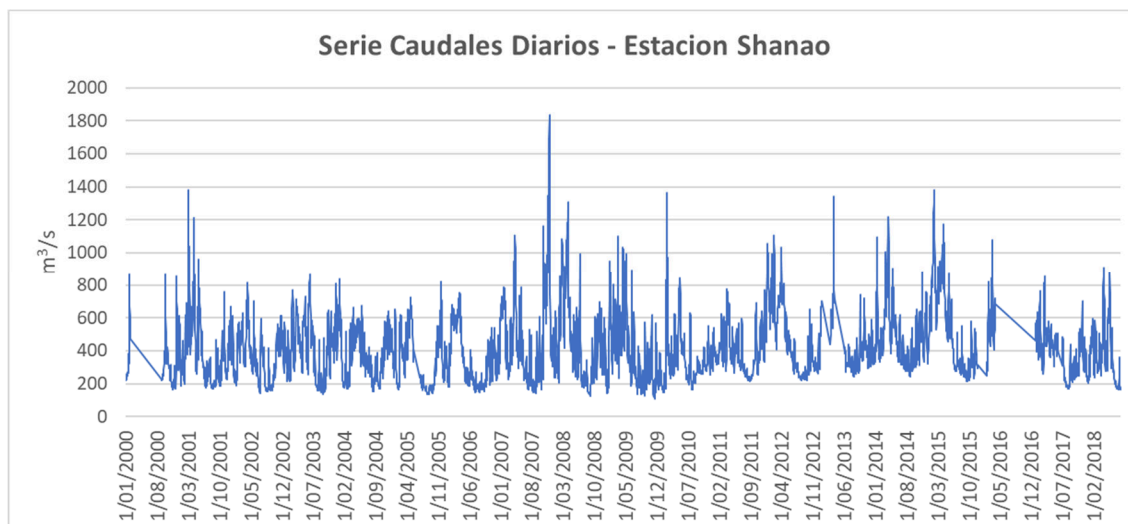
a Tabla 25 muestra información de la ubicación de la Estación hidrométrica Shanao, ubicada en la cuenca del río Mayo.

**Tabla 25. Estación hidrométrica Shanao, ubicada en la cuenca del río Mayo**

Estación	Cat.	Dpto	Provincia	Distrito	Fuente	Longitud	Latitud	Altitud (msnm)
Shanao	HLM	San Martín	Lamas	Tabalosos	SENAMHI	76°35'57.12"	06°24'44.71"	340

Y en la Figura 20 se muestra los caudales diarios registrados por la Estación Hidrométrica Shanao.





**Figura 20. Caudales diarios registrados por la Estación Hidrométrica Shanao**

Para el proceso de calibración se tomó la información del periodo 2000 - 2006. Fue efectuada para ajustar la respuesta del modelo a los caudales reales en un punto de la cuenca, esto a través de la combinación de diversos parámetros insertos en el modelo WEAP. Se corrió el modelo de forma manual y consiste en variar iterativamente gran cantidad de veces los parámetros del modelo hasta alcanzar valores óptimos para los criterios de eficiencia.

### 3.5.7 Validación del modelo

La Validación, verifica si el modelo tiene un adecuado desempeño, para predecir los caudales (Wheater & Gupta, 2004). Va acompañado de la calibración, para conocer cómo se comporta en un periodo distinto al de la calibración.

A continuación, en la siguiente tabla se presenta los registros de Caudales medios mensuales registrados por la Estación Hidrométrica Shanao.

**Tabla 26. Caudales (m³/s) medios mensuales registrados por la Estación Hidrométrica Shanao 2000-2018**

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
430.92	507.16	572.89	573.23	480.36	364.12	279.32	226.04	264.51	368.66	436.26	429.19

En la práctica la validación verifica si el modelo calibrado tiene un desempeño adecuado en referencia a la predicción de caudales.

Es necesario contar con un registro lo suficientemente extenso; sin embargo, se trabajó con información del periodo 2000 – 2015, por carecer de información.

Cabe indicar que, para la oferta de agua, se realizó un análisis temporal en el periodo de calibración y el de validación, tratando que las variables cobertura y textura correspondan o se aproximen a dicho periodo.

### 3.5.8 Estadísticos de eficiencia

El mayor o menor ajuste del modelo, además del ajuste visual, se midió utilizando los índices de Coeficiente de Determinación, Eficiencia de Nash-Sutcliffe y el PBIAS, a través de las fórmulas siguientes:

#### 3.5.8.1 Coeficiente de determinación ( $R^2$ )

El coeficiente de determinación, denominado  $R^2$  o correlación al cuadrado, es un estadístico usado en el contexto de un modelo estadístico cuyo principal propósito es predecir futuros resultados o probar una hipótesis. Refleja la bondad del ajuste de un modelo a la variable que pretender explicar. Su resultado oscila entre 0 y 1. Cuanto más cerca de 1 se sitúe su valor, mayor será el ajuste del modelo a la variable que estamos intentando explicar. De forma inversa, cuanto más cerca de cero, menos ajustado estará el modelo y, por tanto, menos fiable será.

$$R^2 = \frac{\left(\frac{\sum x_i y_i}{n} - \bar{x} \bar{y}\right)^2}{\left(\frac{\sum x_i^2}{n} - \bar{x}^2\right) \left(\frac{\sum y_i^2}{n} - \bar{y}^2\right)} \quad (\text{Ec. 12})$$

#### 3.5.8.2 Eficiencia de Nash Sutcliffe

El índice de eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE) es un medidor estadístico de la magnitud de la varianza residual en comparación con la varianza observada, definido por Nash y Sutcliff (1970), en la medida que el valor es más cercano a la unidad representa una mayor correspondencia entre los datos observados y simulados.

Para la evaluación de la Eficiencia de Nash Sutcliffe se utilizó la siguiente formula, tal como se aprecia en la ecuación 12:

$$E_f = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{o,i} - Q_{s,i})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{o,i} - \bar{Q}_o)^2} \quad (\text{Ec. 13})$$

$Q_{o,i}$ : Caudal observado.

$Q_{s,i}$ : Caudal simulado.

Los límites para la valoración de resultados y toma de decisiones se ven a continuación:

**Tabla 27. Valores límite para Nash-Sutcliffe**

Rango	Calificación
< 0,2	Insuficiente
0,2 – 0,4	Satisfactorio
0,4 – 0,6	Bueno
0,6 -0,8	Muy bueno
> 0,8	Excelente
1	Perfecto

FUENTE: (Cabrera C. , 2011)

### 3.5.8.3 Sesgo porcentual (PBIAS)

El sesgo (PBIAS), definido por Gupta et al. (1999) representa la desviación relativa a la media expresado en porciento, el valor óptimo es cero, un sesgo positivo indica subestimación y un sesgo negativo indica sobrestimación.

Para la evaluación del Sesgo Porcentual se utilizó la siguiente formula, tal como se aprecia en la ecuación 13:

$$PBIAS = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i^{obs} - Q_i^{sim}) \times 100}{\sum_{i=1}^n (Q_i^{obs})} \quad (\text{Ec. 14})$$

$Q_{o,i}$ : Caudal observado.

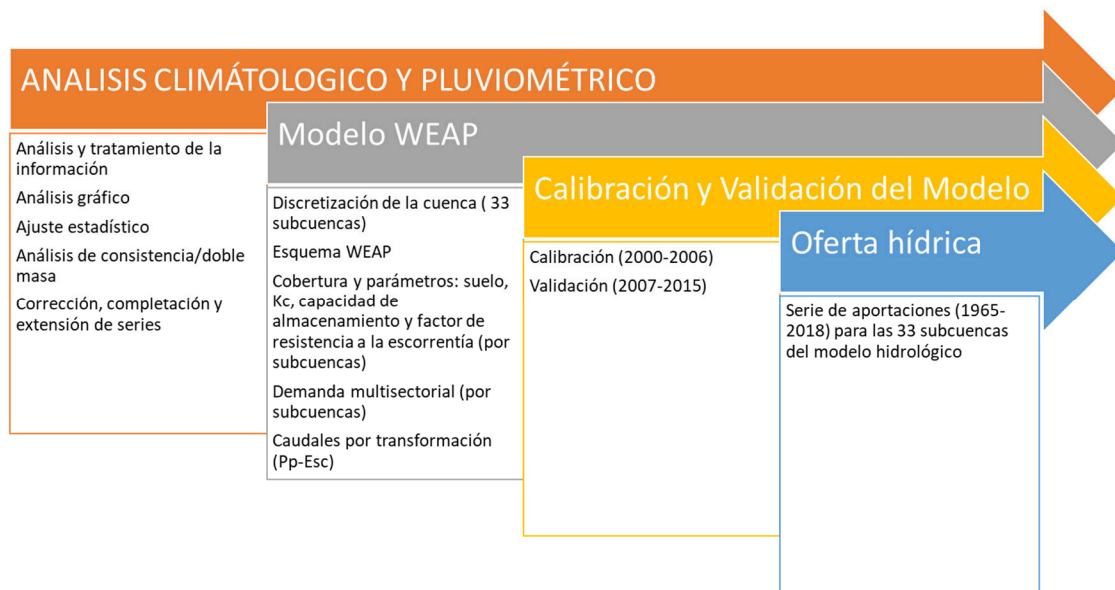
$Q_{s,i}$ : Caudal simulado.

$\overline{Q_o}$ : Caudal observado promedio.

$\overline{Q_s}$ : Caudal simulado promedio.

### 3.5.8.4 Esquema del Modelamiento hidrológico efectuado en la Cuenca Mayo

En síntesis, se ha efectuado el tratamiento de datos y análisis estadístico de la información climatológica y pluviométrica de 32 estaciones y 54 años. Con ayuda de herramientas SIG y WEAP se ha discretizado la cuenca, utilizándose un periodo de calibración 2000-2006 y un periodo de validación 2007-2015 con información de la estación Shanao e ingresado información requerida (parámetros, demanda, caudales, etc), obteniendo balances hídricos en cada nodo, cuenca y subcuenca, lo cual se puede observar en la Figura 21.



**Figura 21. Esquema en WEAP del Modelamiento hidrológico - Cuenca Mayo**

### 3.6 Metodología para la obtención de series con Cambio Climático

Las series con cambio climático fueron obtenidas de la plataforma Google Earth Engine, de donde se descargó variables de Temperatura y Precipitación de 21 modelos climáticos, los cuales se optó por elegir a 15 modelos por tener la mejor resolución acorde al ámbito de estudio, de los cuales se obtuvo información de escenarios climáticos RCP 4.5 y 8.5 y trabajándose con ambos escenarios.

A partir de la información procesada en los 15 modelos climáticos y a fin de definir con cuales trabajar, se utilizó el Diagrama de Taylor, cuya correspondencia entre el comportamiento modelado de los diferentes modelos aplicados con respecto a los valores observados, permitió definir con cuales trabajar para efectuar el ensamble o serie promediada, obteniendo las series mensuales de precipitación y temperatura con cambio climático, que son el input para el modelo hidrológico; detalles que se presentan a continuación:

#### 3.6.1 Descarga de datos

La descarga de los datos de escenarios de cambio climático se obtuvo de NEX-GDDP: NASA (Earth Exchange Global Daily Downscaled Climate Projections) disponible en la plataforma Google Earth Engine (GEE) de acceso libre. El conjunto de datos NEX-GDDP de la NASA se compone de escenarios climáticos reducidos para el mundo que se derivan

de las ejecuciones del Modelo de Circulación General (GCM) realizadas en el Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados Fase 5 (CMIP5) y a través de dos de los cuatro escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero conocidos como Vías de Concentración Representativas (RCP). Las trayectorias CMIP5 GCM se desarrollaron en apoyo del Quinto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC AR5).

El conjunto de datos NEX-GDDP incluye proyecciones reducidas para RCP 4.5 y RCP 8.5 de los 21 modelos y escenarios para los cuales se produjeron y distribuyeron escenarios diarios bajo CMIP5. Cada una de las proyecciones climáticas incluye la temperatura máxima diaria, la temperatura mínima y la precipitación para los períodos de 1950 a 2100.

Se optó por el conjunto de datos NEX-GDDP debido a que permiten analizar los posibles patrones climáticos globales futuros a escala espacial de cuencas hidrográficas individuales. Cada una de las proyecciones climáticas incluye la temperatura máxima, la temperatura mínima y la precipitación promediadas mensualmente para los períodos de 1950 a 2005 (ejecución retrospectiva) y de 2006 a 2099 (ejecución prospectiva).

### 3.6.2 Elección de los modelos del NEX-GDDP aplicados al estudio

De los 21 modelos se eligieron 15 modelos del conjunto de datos NEX-GDDP, debido a que estos presentaban mejor resolución espacial con respecto al área de estudio. Las características principales de resolución e institución de los 15 modelos seleccionados para el análisis, se presenta en el cuadro adjunto:

**Tabla 28. Lista de 15 modelos climáticos seleccionados de la CMIP5, utilizados para el análisis de cambio climático - Cuenca Mayo**

SL. No.	Nombre del modelo	Resolución espacial	Institución
1	ACCESO1.0	1.25°x 1.875°	Simulador del Sistema Terrestre y del Clima de la Comunidad Australiana, Organización de Investigación Científica
2	BCC-CSM1.1	2.8125° x 2.8125°	Centro Climático de Beijing (BCC), Administración Meteorológica de China, China
3	CanESM2	2.8832.88	Centro Canadiense de Modelado y Análisis del Clima (CCCMA), Canadá
4	CCSM4	18 318	Centro Nacional de Investigación Atmosférica (NCAR), EE. UU.
5	CESM1(BGC)	0.94° x 1.25°	Colaboradores del Modelo del Sistema Terrestre Comunitario, (NSF-DOE-NCAR), EE. UU.
6	CNRM-CM5	1.4831.48	Centre National de Recherches Météorologiques/Centre Européen de Recherche et Formation Avancée en

«continuación»

SL. No.	Nombre del modelo	Resolución espacial	Institución
7	CSIRO-Mk3.6.0	1.8831.88	Organización de Investigación Científica e Industrial de la Commonwealth en colaboración con el Centro de Excelencia para
8	GFDL-ESM2G	28 328	Laboratorio de Dinámica de Fluidos Geofísicos de la NOAA (NOAA-GFDL), EE. UU.
9	GFDL-ESM2M	28 328	Laboratorio de Dinámica de Fluidos Geofísicos de la NOAA (NOAA-GFDL), EE. UU.
10	IPSL-CM5A-LR	28 348	Institut Pierre-Simon Laplace (IPSL), Francia
11	MIROC5	1.4831.48	Universidad de Tokio, Instituto Nacional de Estudios Ambientales y Agencia Japonesa de Ciencias y
12	MIROC-ESM	38 338	Tecnologías Marinas y Terrestres (MIROC), Japón
13	MIROC-ESM-CHEM	2.8125° x 2.8125°	Tecnologías Marinas y Terrestres (MIROC), Japón
14	MPI-ESM-MR	1.8831.88	Instituto Max Planck de Meteorología (MPI-M), Alemania
15	MPI-ESM-LR	1.8°X1.8°	Instituto Max Planck de Meteorología (MPI-M), Alemania

FUENTE: NASA, 2022.

### 3.6.3 Elección de escenarios de cambio climático

Existen 04 escenarios RCP (vías representativas de concentraciones de gases invernaderos, en inglés “Representative Concentration Pathways”), llamados escenarios climáticos del Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), quienes desarrollan modelos acoplados Atmósfera-Océano (AOGCM), que son forzados principalmente por concentraciones de gases atmosféricos - antropogénicos y naturales, los cuales oscilan entre 2.6 y 8.5 W/m<sup>2</sup>, cuyas características se muestran en el Cuadro adjunto:

**Tabla 29. Escenarios climáticos del Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC)**

RCP	FR (W/m2)	Tendencia del FR	CO2 en 2100	Aumento de Temperatura global, estimada al 2100
2.6	2.6	Decreciente en 2100	421 ppm	0.7 - 1.4 °C
4.5	4.5	Estable en 2100	538 ppm	1.5 - 2.5 °C
6.0	6.0	Creciente	670 ppm	2.6 - 3.3 °C
8.5	8.5	Creciente	936 ppm	3.4 - 5.5 °C

FUENTE: IPCC, 2013.

Según el Cuadro anterior, se tiene:

- **RCP8.5:** Representa emisiones y concentraciones relativamente altas, cuyos supuestos son alto crecimiento demográfico, bajo crecimiento de PBI con tasas

modestas de cambios tecnológicos y de eficiencia energética; lo que exige importantes demandas energéticas, así como mayores emisiones de gases de efecto invernadero. También es llamado “business as usual” que significa “todo sigue como hasta ahora”, porque no se implementan políticas de cambio climático.

- **RCP6:** Representa emisiones y concentraciones de gases de efecto invernadero y cambio de uso de suelo en un forzamiento radiactivo (FR) de 6 W/m<sup>2</sup> al año 2100, lo que requiere disminuciones significativas a partir del año 2060, cuyo RCP podría llegar de 3 W/m<sup>2</sup> a 2.6 W/m<sup>2</sup> en 2100, por lo que debe implementarse políticas que limiten las emisiones, para evitar llegar a mayores valores de FR al año 2100. Su máximo se proyecta al 2080.
- **RCP4.5:** Escenario de estabilización, que no excede el RCP de 4.5 W/m<sup>2</sup> al año al 2100, que produce y limita un calentamiento global de aproximado 2 °C. Su máximo se proyecta al 2040.
- **RCP2.6:** Escenario que proyecta que el calentamiento global está por debajo de los 2 °C a fin del año 2100, pero deberá efectuarse reducciones netas en emisiones bastante drásticas. Por eso este escenario se considera utópico.

En ese sentido, para fines del presente estudio, de los 04 escenarios RCP, se trabajó sólo con los escenarios climáticos RCP 4.5 y RCP 8.5, debido a que el conjunto de datos NEX-GDDP incluye proyecciones reducidas para estos escenarios climáticos (RCP 4.5 y RCP 8.5) los cuales permiten realizar estudios de los impactos del cambio climático a escala local y regional y para mejorar la comprensión pública de los posibles patrones climáticos globales futuros a la escala espacial de cuencas hidrográficas individuales.

#### 3.6.4 Escalamiento y corrección de datos

Los datos de escenarios de cambio climático fueron reducidos a nivel mensual en la plataforma GEE, tomando en cuenta la data histórica (1965-2005) y futura (2006-2100). De igual manera se obtuvo los datos observados locales (1965-2005) de precipitación y temperatura media en las estaciones meteorológicas de SENAMHI:

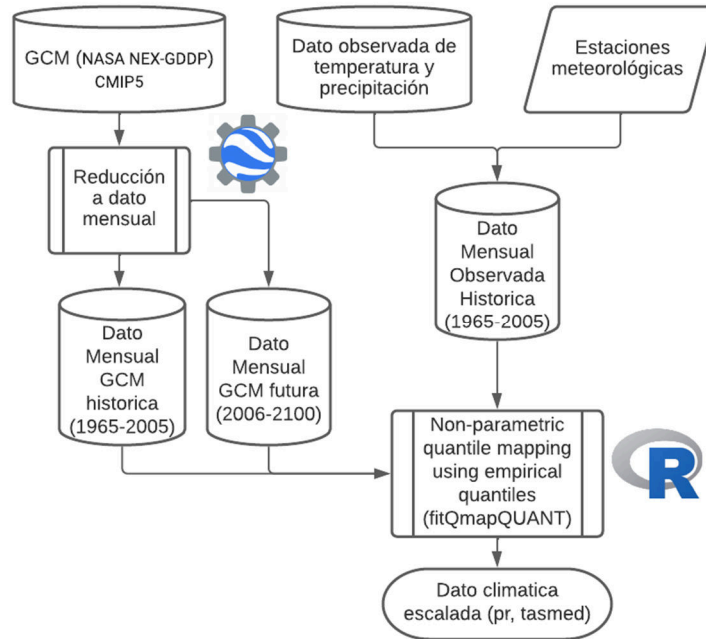
A continuación, se detalla las estaciones con datos observados (1965-2005) de precipitación y temperatura media, considerados para el análisis de escalonamiento y corrección de datos:

**Tabla 30. Estaciones meteorológicas consideradas en el análisis de escalonamiento y corrección de datos**

<b>ESTACIÓN</b>	<b>CODIGO</b>	<b>Temperatura</b>	<b>Precipitación</b>
San Ramon	278	No considerada	Considerada
Shanusi	153315	No considerada	Considerada
Pelejo	153322	No considerada	Considerada
Navarro	386	No considerada	Considerada
Chazuta	153319	No considerada	Considerada
Moyobamba	378	Considerada	Considerada
Naranjillo	219	Considerada	Considerada
Rioja	377	Considerada	Considerada
Jepelacio	153300	No considerada	Considerada
Pacaysapa	153303	No considerada	Considerada
Tabalosos	322	Considerada	Considerada
San Antonio	153314	Considerada	Considerada
Lamas	383	Considerada	Considerada
Tarapoto	401	Considerada	Considerada
Cunumbuque	153311	No considerada	Considerada
El Porvenir	310	Considerada	Considerada
Pomacochas	254	Considerada	No considerada
Pongo De Caynarachi	3317	Considerada	No considerada
Sauce	385	Considerada	Considerada
Pilluana	153316	No considerada	Considerada
Alao	3308	Considerada	Considerada
San Pablo	153307	Considerada	Considerada
Jamalca	152206	No considerada	Considerada
Magunchal	152210	No considerada	Considerada
Sisa	381	Considerada	No considerada
Soritor	153226	Considerada	No considerada
Jazan	272	Considerada	Considerada

Para la reducción de escala espacial y corrección de sesgo inherentes de los modelos GCM, se realizó la corrección por sesgo basado en la metodología disponible en Rstudio (Boé et al. 2007). Mediante la utilización de R software libre para computación estadística y gráficos, se aplicó la función de fitQmapQUANT, la cual estima los valores de la función de distribución acumulativa empírica de series temporales observadas y modeladas para cuantiles espaciados regularmente (Boé et al. 2007, Gudmundsson et al. 2012), tal como se muestra en Figura 22.





**Figura 22. Flujograma de la metodología aplicada para la descarga y escalamiento de escenarios de cambio climático.**

El *qmap* construye funciones de distribución acumulativa (CDF) del modelo y las observaciones utilizando una función de transferencia, que a su vez traduce los resultados del modelo sin procesar en resultados corregidos. Por lo tanto, la CDF del modelo corregido se transforma para que coincida con la de los conjuntos de datos observados. Matemáticamente, el mapeo de cuantiles se construye utilizando la Ecuación (15):

$$y = F_{obs}^{-1}(F_{RCM}(x)) \dots \dots \dots (Ec. 15)$$

Dónde *y* es el valor de lluvia corregido, mientras que *x* es el valor de la precipitación a corregir. Por otro lado  $F_{obs}^{-1}$  es la inversa de la CDF de la observación y  $F_{RCM}$  es la CDF del RCM utilizado. La probabilidad de detectar *x* (mm/mes) o menos en el modelo se transfiere luego al cuantil de la CDF observada, con una coincidencia muy similar a la probabilidad observada. El *qmap* se realizó utilizando el paquete *qmap* disponible en el software R (Bremnes, Haugen, & Engen-Skaugen, 2012).

### 3.6.5 Criterios y cálculo del ensamble

#### 3.6.5.1 Evaluación comparativa de diferentes modelos

Se realizó un análisis comparativo de los 15 modelos de cambio climático, para ello se recurrió a la aplicación de los Diagramas de Taylor, los cuales gráficamente nos permiten

evaluar la correspondencia entre el comportamiento modelado de los diferentes modelos aplicados con respecto a los valores observados, en términos de tres estadísticos: el coeficiente de correlación de Pearson, la raíz del error cuadrático medio (RMSE) y la desviación estándar.

#### 3.6.5.2 Cálculo del ensamble

Una vez analizado el grado de correspondencia de los modelos aplicados, se realizará un ensamble o serie promediada de la precipitación y temperatura con los valores resultados de los modelos con mejor correspondencia a los datos observados.

## 3.7 Metodología del Modelo de Gestión - Balance Hídrico

### 3.7.1 Metodología numérica

El modelo de gestión necesita cuatro tipos de datos para analizar el funcionamiento de un sistema de recursos hídricos y ejecutar el respectivo balance hídrico, siendo estos datos:

- Oferta de agua: constituida por series mensuales de las aportaciones hipotéticas en régimen natural en las subcuencas necesarias.
- Demandas hídricas multisectoriales: la cual considera todos los tipos de uso de agua en la cuenca, incluidos los caudales ecológicos, siendo necesario contar con la información de sus modulaciones mensuales.
- Infraestructura hidráulica de relevancia en la gestión hídrica a nivel de toda la cuenca
- Régimen de explotación del sistema.

Con los datos necesarios para el modelo de gestión, este procede a ejecutar un conjunto de balances hídricos en cada nudo y tramos de río considerado y cuyo nivel de análisis se realiza a nivel mensual en cada una de las subcuencas definidas en el modelo de gestión.

El modelo de gestión ejecuta una “contabilidad del agua”, es decir, los recursos entrantes en un mes (oferta de agua); más las reservas almacenadas; menos la evaporación y el desembalse equivalen al volumen embalsado a final de mes.

El modelo se ha resuelto numéricamente mediante el software WEAP del Stockholm Environment Institute (2013), utilizado como soporte tanto para el modelo hidrológico como para el de gestión utilizado en la realización de estos balances hídricos.

El programa WEAP es capaz de simular todos los problemas de un sistema hidráulico real. Se trata conceptualmente de un programa para la simulación de la explotación mensual de un sistema de recursos hidráulicos. Por tanto, dado un conjunto de nodos que representan elementos del sistema físico (reservorios, acuíferos, demandas, etc.) y arcos (ríos, canales, tuberías, flujos de retorno, etc.) que representan esquemáticamente el sistema real, asigna mensualmente los recursos disponibles a las demandas deseadas, respetando los condicionantes físicos impuestos por la infraestructura y los legales u operativos derivados del régimen de explotación deseado.

Con el modelo se obtienen las series mensuales de volúmenes embalsados en reservorios, caudales circulantes por ríos y canales, demandas servidas y déficits de demanda para cada

mes de la serie simulada. Su análisis permite juzgar si en una hipótesis determinada la alternativa simulada es correcta, comprobando si el nivel de servicio de las demandas y, en general, el funcionamiento del sistema analizado es adecuado.

Hay que resaltar que el uso de series históricas de aportaciones para definir los recursos naturales disponibles, como se hace habitualmente, supone la aceptación implícita de la hipótesis estadística de estacionariedad, es decir, que las características hidrológicas de la cuenca no van a cambiar en el futuro. En el momento actual esta hipótesis se encuentra en entredicho ante la presencia del cambio climático, por lo que, es conveniente analizar un escenario que considere las variaciones previsibles de la oferta.

Con este planteamiento, la respuesta que ofrece el modelo con cada serie de aportaciones es la demanda servida en cada punto para una determinada hipótesis de demanda, infraestructura y régimen de explotación, si se presentaran secuencias de años secos y húmedos similares a las que se dieron en el pasado. Por lo tanto, no pretende predecir lo que ocurrirá en un cierto número de años a partir del momento actual, sino analizar determinada situación considerada como estática (caso de demanda e infraestructura invariables) bajo diversas situaciones hidrológicas representativas. De este modo se puede estimar la frecuencia y magnitud de los déficits de servicio previsibles y valorar si son aceptables.

El análisis de resultados se realiza a través de los instrumentos siguientes:

- Tablas de confiabilidad de las demandas de la cuenca y sus subsistemas de gestión, separadas por tipo de uso: poblacional, agrícola, industrial, etc.
- Confiabilidad del servicio de las demandas en el tiempo:
  - Demandas agrícolas:
    - Confiabilidad anual: se considera fallo si el déficit anual es superior al 20 por ciento. La confiabilidad es aceptable si es superior al 75 por ciento

$$\text{Confiabilidad}_{\text{anual agrícola}} = \frac{\text{Suma años con fallo anual}_{D_{ft}<20\%}}{\text{Total de años de demanda}}$$

Donde:

$fallo\ anual_{D_{ft}<20\%}$ : Se considera un fallo anual de la demanda agrícola:

$$\frac{\text{Demanda anual agrícola servida}}{\text{Demanda anual agrícola requerida}} > 20\%$$

- Confiabilidad mensual: umbral de fallo si el déficit mensual es superior al 20 por ciento. La confiabilidad es aceptable si es superior al 90 por ciento.

$$\text{Confiabilidad}_{\text{mensual agrícola}} = \frac{\text{Suma meses con fallo mensual}_{D_{ft}<20\%}}{\text{Total de meses de demanda}}$$

Donde:

*fallo mensual*<sub>D<sub>ft</sub><20%</sub>: Se considera un fallo mensual de la demanda agrícola:

$$\frac{\text{Demanda mensual agrícola servida}}{\text{Demanda mensual agrícola requerida}} > 20\%$$

- Demandas poblacionales e industriales: la confiabilidad se valora con criterio mensual, con umbral del 10 por ciento para considerar mes fallado. El límite de aceptabilidad de la confiabilidad es del 100 por ciento.

$$\text{Confiabilidad}_{\text{mensual pob e ind}} = \frac{\text{Suma meses con fallo mensual}_{D_{ft}<10\%}}{\text{Total de meses de demanda}}$$

Donde:

*fallo mensual*<sub>D<sub>ft</sub><10%</sub>: Se considera un fallo mensual de la demanda poblacional e industrial:

$$\frac{\text{Demanda mensual pob/ind servida}}{\text{Demanda mensual pob/ind requerida}} > 10\%$$

- Confiabilidad Volumétrica: El nivel exigible para las demandas agrícolas, del 90 por ciento y para las poblacionales e industriales es del 95 por ciento.

$$\text{Confiabilidad}_{\text{volumétrica}} = \frac{\text{Volumen total anual servido}}{\text{Volumen total anual requerido}}$$

- Balances medios anuales de la cuenca y sus subsistemas de gestión.
- Gráficos que representan adecuadamente los resultados de las simulaciones mensuales: se han seleccionado los más ilustrativos entre las distintas posibilidades de gráficos mensuales, anuales, medios mensuales u otros de demandas, reservorios, caudales de ríos, etc.

### 3.7.2 Tratamiento de los datos

#### 3.7.2.1 Oferta de agua

El modelo de gestión necesita de series de aportaciones naturales completas y homogéneas (para el mismo periodo de años) a nivel mensual en todos los puntos del modelo donde haya

una entrada significativa de caudales disponibles para el servicio de las demandas de aguas abajo.

Debido al requerimiento tan específico de oferta de agua, resulta inviable usar directamente las series registradas en las estaciones de aforo o reservorios por varios motivos:

- Generalmente no están en régimen natural: las estaciones de aforo miden el caudal real circulante tras las derivaciones, retornos y almacenamientos realizados aguas arriba.
- Aunque estuvieran en régimen natural por tratarse de cuencas muy poco explotadas, no suelen tener periodos de registro coincidentes en el tiempo y suficientemente largos.
- Hay subcuencas que requieren datos de oferta, pero no disponen de estaciones de aforo.

Los presentes modelos de gestión para la situación actual y futura utilizan las series de aportaciones resultantes del modelo hidrológico elaborado en el propio software de WEAP.

#### 3.7.2.2 Demanda de agua

Los datos de demanda hídrica manejados en el modelo para la situación actual y escenarios futuros, fuentes de información y los criterios de estimación de las demandas de agua actuales y futuras se pueden encontrar detallados en los ítems 3.2 y 3.3.

Los modelos de gestión tanto para la situación actual y futura, incluye todas las demandas localizadas en las subcuencas modeladas, pero no de forma individual sino, generalmente, agrupadas en nodos de forma que se simule correctamente la disponibilidad de agua en ese punto. No tiene sentido representar cada demanda por separado porque se complicaría el manejo del modelo sin conseguir por ello un mejor balance. Pero hay que precisar en qué se han agregado demandas sólo hasta donde se garantiza la correcta simulación del sistema real. Por ejemplo, no se pueden agrupar las demandas situadas aguas arriba de un reservorio con las situadas aguas abajo o las que usan la oferta de un río con las situadas en otro. Por supuesto, en cada nudo sólo se agrupan demandas de determinado tipo - poblacional, agrícola u otras (industrial, minero, acuícola, etc.), para permitir la correcta simulación de la diferente prioridad que tienen los distintos usos.

La demanda mensual deseada en cada nudo se supone constante a lo largo de los 54 años simulados.

El modelo no pretende y no puede hacer una predicción del estado de los sistemas en los próximos años (escenarios futuros) sino hacer una especie de estudio estadístico para analizar si con la infraestructura, demanda actual y considerando futuras demandas, los sistemas serían capaces de servir las demandas bajo situaciones hidrológicas similares a las que se dieron entre los años 1965 y 2018 reflejadas en las series de oferta naturalizada de agua que incluyen ciclos secos y húmedos parecidos a los que podrían esperarse en el futuro.

### 3.7.2.3 Infraestructura

El modelo necesita simular la infraestructura de almacenamiento de relevancia a la gestión del recurso hídrico a nivel de toda la cuenca Mayo, que permite guardar el agua de los meses o años húmedos para usarla en los secos y la de transporte de agua que la lleva desde donde existe oferta a donde se necesita.

La infraestructura de almacenamiento está compuesta por los reservorios, las lagunas reguladas y los acuíferos y, la de transporte, por los ríos de la red de drenaje y los canales y conducciones de trasvase o captación.

En principio, los datos que requiere el modelo de gestión son sencillos, así para el almacenamiento basta conocer su capacidad máxima y su embalse muerto y, para los canales su capacidad máxima.

### 3.7.2.4 Régimen de explotación

Los modelos de gestión para la situación actual y escenarios futuros asumen el hecho de que el artículo 35 de la Ley de Recursos Hídricos del Perú de marzo de 2009 exige prioridad para las demandas poblacionales sobre los usos productivos; y considerando de que en la realidad nadie impedirá a los agricultores captar el agua que necesiten sin respetar la prioridad de las demandas de aguas abajo, asigna prioridad mayor a las demandas poblacionales. Dado el gran volumen relativo de las demandas agrícolas frente a las poblacionales en las subcuencas del río Mayo, el error inducido por esta hipótesis—legal pero no realista— no tiene ninguna influencia sobre los resultados del modelo.

### 3.7.3 Diagnóstico cuantitativo mediante modelos: Balances mensuales desagregados

El modelo de gestión tiene el objetivo de realizar el diagnóstico de la situación actual y análisis de escenarios futuros del sistema mediante la simulación del funcionamiento de la cuenca aplicando determinadas condiciones de demanda, infraestructura y régimen de explotación, si se presentaran secuencias de años secos y húmedos similares a las que se dieron en el pasado, reflejadas en la serie histórica de oferta naturalizada.

Aunque se haga referencia de una serie histórica 1965 - 2018, el modelo de gestión no reproduce el funcionamiento de la cuenca en ese periodo, sino ejecuta una especie de muestreo estadístico o encuesta sobre el comportamiento de la cuenca bajo la aplicación de condiciones aplicadas para los escenarios futuros.

Los objetivos básicos perseguidos con el modelo de gestión son tres:

- Inicial: analizar la coherencia de los datos, puesto que integran toda la información disponible relativa a la gestión de la cuenca y, por tanto, tienen capacidad para sacar a la luz las contradicciones latentes y ayudar a su revisión. A este respecto se debe observar que la fase más complicada y laboriosa es el montaje de un modelo, puesto que hay que asegurarse de que se maneja la mejor información disponible en el momento de su realización, siendo necesario consultar la documentación recibida y coordinar con los técnicos que realizan los estudios sectoriales del proyecto.
- Final: realizar el diagnóstico cuantitativo de la situación actual de la cuenca en cuanto a su capacidad de servir las demandas deseadas.
- Objetivo para el futuro: planteamiento y análisis cuantitativos de escenarios futuros para la cuenca.

### 3.7.4 Formulación de escenarios futuros para la gestión hídrica en la Cuenca Mayo

La formulación de escenarios futuros para el aprovechamiento del recurso hídrico se realizó a partir de la premisa que sólo es aplicable, si se trabaja con valores cuantificables, tal como son lo referente a oferta y demanda.

La aplicación de escenarios futuros en el modelo de gestión nos permitirá saber cómo reacciona la cuenca ante un cambio, y por lo tanto, nos indicará los aspectos más sensibles y donde se deberían reforzar las actuaciones o medidas.



### 3.7.4.1 Consideraciones aplicadas para la formulación de escenarios futuros

Las consideraciones aplicadas para la formulación de escenarios futuros en la cuenca Mayo estarán centradas en la variación volumétrica de la oferta de la cuenca y el aumento de las demandas a futuro.

De esta manera para el modelo de gestión para la situación futura se aplican las siguientes consideraciones para generar los escenarios futuros.

**Tabla 31. Consideraciones aplicadas a los componentes del modelo de gestión**

Consideraciones aplicadas	Componentes del modelo
A la oferta	Cambio climático
A la demanda futura	Acreditación de la disponibilidad hídrica superficial
A las normas de explotación	Aplicación de caudales ecológicos Uso poblacional es prioridad

#### 3.7.4.1.1 Consideraciones aplicadas a la oferta de agua – Cambio Climático

Para análisis del presente estudio, de los 04 escenarios RCP, se trabajó sólo con los escenarios climáticos RCP 4.5 y RCP 8.5, debido a que el conjunto de datos sobre proyecciones como el de NEX-GDDP sólo incluye estos escenarios climáticos (RCP 4.5 y RCP 8.5).

Considerando los escenarios mencionados, se obtuvo series de precipitación y temperatura influenciadas por el cambio climático, las cuales serán input para el modelo hidrológico y la consecuente obtención de las series de caudales o aportaciones con cambio climático.

#### 3.7.4.1.2 Consideraciones aplicadas a la demanda de agua futura

Las demandas hídricas son el componente más importante para considerar, debido a que es muy dependiente de la actividad antrópica (aumento de la población, cambios en las pautas de consumo, ampliación de la frontera agrícola, ejecución de nuevas infraestructuras, etc.).

La demanda hídrica futura está constituida por las acreditaciones de la disponibilidad hídrica superficial otorgadas en el ámbito de la cuenca Mayo. El valor volumétrico de las demandas a considerar, se encuentran expuestas en el ítem 3.3.

### 3.7.4.1.3 Consideraciones aplicadas a las normas de explotación

De manera general, y puesto que en muchas subcuencas no existen grandes infraestructuras de regulación ni de control, en todas las alternativas se considera la opción más realista en cuanto las prioridades de uso. Las prioridades serán:

- **Caudal ecológico.** Este caudal se considera en el modelo como una restricción de uso o reserva de agua inutilizable.
- **Demandas poblacionales** tienen prioridad frente a las demás (en atención a lo dispuesto en el artículo 35° de la Ley de Recursos Hídricos, Ley 29338).

Respecto al caudal ecológico, al no contar con estudios de este tipo para tramos del río Mayo, se ha considerado la aplicación de la metodología del 95 por ciento de persistencia respecto al promedio mensual, que fue indicado en la anterior resolución jefatural de la Autoridad Nacional del Agua.

En la Alternativa donde considera el caudal ecológico, se aplicó en cada una de las 33 subcuencas del modelo de gestión y sus valores se presentan en el ítem 4.1.8.3.

### 3.7.4.2 Escenarios para la situación futura en la cuenca Mayo

Teniendo en cuenta las hipótesis detalladas en el ítem 3.7.4.1 se ha considerado tres escenarios de evaluación para la situación futura en la cuenca Mayo:

- **Situación Futura 2050 sin Cambio climático:** este escenario tiene en consideración:
  - **Oferta:** situación actual.
  - **Demanda hídrica futura:** constituida por las acreditaciones de la disponibilidad hídrica superficial otorgadas en el ámbito de la cuenca Mayo. El valor volumétrico de las demandas a considerar, se encuentran expuestas en el ítem 3.3.
  - **Normas de explotación:** tiene en consideración la aplicación de los caudales ecológicos para cada una de las 33 subcuencas definidas para el modelo de gestión y cuyo detalle se presentan en la Tabla 50. Además, considera que las demandas poblacionales tienen prioridad frente a las demás (en atención a lo dispuesto en el artículo 35° de la Ley de Recursos Hídricos, Ley 29338).
- **Situación Futura 2050 con Cambio climático:** este escenario tiene en consideración:

- **Oferta:** tiene en consideración la oferta calculada con cambio climático al 2050 y cuyo detalle se presenta en el ítem 4.1.8.2.1 y 4.1.8.2.2.
  - **Demanda hídrica futura:** constituida por las acreditaciones de la disponibilidad hídrica superficial otorgadas en el ámbito de la cuenca Mayo. El valor volumétrico de las demandas a considerar, se encuentran expuestas en el ítem 3.3.
  - **Normas de explotación:** tiene en consideración la aplicación de los caudales ecológicos para cada una de las 33 subcuencas definidas para el modelo de gestión y cuyo detalle se presentan en la Tabla 50. Además, considera que las demandas poblacionales tienen prioridad frente a las demás (en atención a lo dispuesto en el artículo 35° de la Ley de Recursos Hídricos, Ley 29338).
- **Situación Futura 2080 con Cambio climático:** este escenario tiene en consideración:
    - **Oferta:** tiene en consideración la oferta calculada con cambio climático al 2080 y cuyo detalle se presenta en el ítem 4.1.8.2.1 y 4.1.8.2.2..
    - **Demanda hídrica futura:** constituida por las acreditaciones de la disponibilidad hídrica superficial otorgadas en el ámbito de la cuenca Mayo. El valor volumétrico de las demandas a considerar, se encuentran expuestas en el ítem 3.3.
    - **Normas de explotación:** tiene en consideración la aplicación de los caudales ecológicos para cada una de las 33 subcuencas definidas para el modelo de gestión y cuyo detalle se presentan en la Tabla 50. Además, considera que las demandas poblacionales tienen prioridad frente a las demás (en atención a lo dispuesto en el artículo 35° de la Ley de Recursos Hídricos, Ley 29338).

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

INDICO QUE EL TITULO ES RESULTADOS Y DISCUSIÓN  
POR ESO COLOQUE ASI:

### 4.1 Resultados

#### 4.1.1 Temperatura media por subcuencas

##### 4.1.1.1 Análisis de la información de la temperatura promedio anual

Para todas las estaciones con temperatura promedio anual, se visualiza que existe una relación inversa, es decir a mayor altura menor temperatura, así por ejemplo se aprecia que disminuye 2°C por c/1000 m.

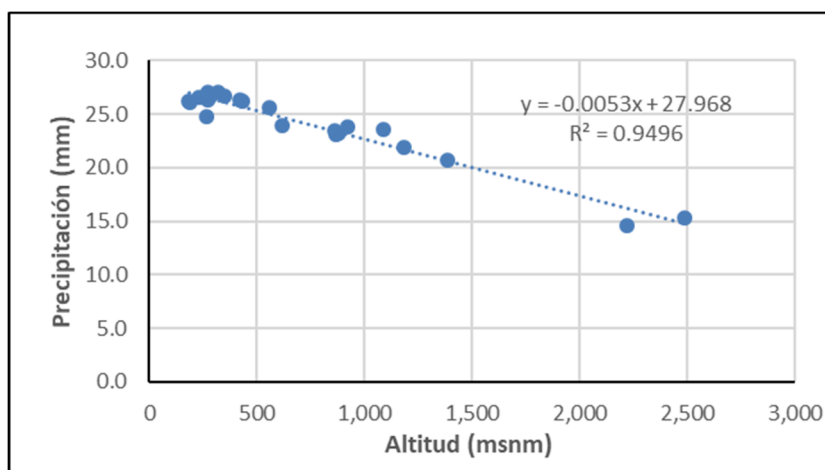


Figura 23. Relación temperatura media – altitud

#### 4.1.1.2 Temperatura media por estación meteorológica

La temperatura media por estación meteorológica fue calculada luego del proceso de consistencia y completado de datos para cada una de las estaciones en análisis.

**Tabla 32. Temperatura media mensual por estación meteorológica periodo 1965-2018**

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media
Alao	26.7	26.6	26.5	26.3	26.1	25.5	25.2	25.9	26.2	26.8	27.1	27.0	26.3
Chachapoyas	15.3	15.4	15.4	15.6	15.6	15.0	14.2	14.6	14.8	15.6	16.0	15.6	15.3
El Porvenir	27.2	26.9	26.7	26.5	26.3	25.8	25.5	26.1	26.7	27.1	27.1	27.2	26.6
Jamalca	21.7	21.7	21.7	21.9	21.8	21.3	21.1	21.7	22.5	22.9	22.8	22.0	21.9
Jazan	21.3	21.1	21.1	20.7	20.7	19.5	19.3	19.7	20.1	21.1	21.6	21.8	20.7
Juanjui	26.9	26.7	26.4	26.2	26.2	25.6	25.2	25.6	26.3	26.6	26.8	27.0	26.3
Lamas	24.3	24.0	23.7	23.6	23.6	23.2	23.1	23.7	23.9	24.1	24.3	24.3	23.8
Moyobamba	23.3	23.3	23.4	23.6	23.5	23.1	22.8	23.1	23.5	23.9	24.1	23.6	23.4
Naranjillo	23.4	23.4	23.6	23.9	23.7	23.3	22.9	23.3	23.6	24.1	24.3	23.9	23.6
Navarro	26.3	26.2	26.1	26.1	26.1	25.6	25.5	25.8	26.3	26.5	26.4	26.3	26.1
Pomacochas	14.3	14.8	14.6	15.6	14.9	14.4	14.1	14.0	15.0	14.4	14.4	14.4	14.6
Pongo de Caynarachi	26.8	26.5	26.5	26.6	26.5	26.1	25.5	26.5	27.1	27.3	27.1	27.0	26.6
Rioja	23.1	23.1	23.2	23.4	23.4	22.8	22.3	22.6	23.2	23.6	23.8	23.4	23.2
San Antonio	26.8	25.9	25.8	25.9	25.8	25.6	25.4	26.2	26.4	26.5	27.0	27.5	26.2
San Pablo	27.7	27.2	27.0	26.9	26.8	26.4	26.1	26.6	27.0	27.2	27.6	27.2	27.0
San Ramon	26.4	26.3	26.2	26.3	26.1	25.5	25.2	25.9	26.4	26.6	26.5	26.4	26.2
Saposoa	27.6	27.3	27.0	26.9	26.8	26.2	26.0	26.5	26.9	27.7	27.8	27.5	27.0
Sauce	24.6	24.2	24.0	23.9	23.8	23.2	23.0	23.3	23.7	24.2	24.6	24.8	23.9
Sisa	25.8	25.7	25.5	24.8	24.9	24.2	23.9	24.2	24.7	23.7	25.1	25.3	24.8
Soritor	23.0	22.9	23.1	23.3	23.3	22.7	22.4	22.8	22.5	23.5	23.9	23.0	23.0
Tabalosos	26.0	25.9	25.6	25.4	25.3	24.9	24.7	25.1	25.7	26.0	26.3	26.3	25.6
Tarapoto	27.3	26.4	26.8	26.1	26.3	25.7	25.7	26.4	26.9	27.5	27.5	27.6	26.7
Tarapoto	27.4	26.9	26.6	26.5	26.3	25.3	25.6	26.0	26.6	26.9	27.1	27.4	26.5

Según cuadro anterior, la temperatura media mensual fluctúa de 14.6 a 27 ° C, siendo mayor en la parte baja de la cuenca del río Mayo, disminuyendo conforme aumenta la altura.

#### 4.1.1.3 Temperatura media por subcuencas

La temperatura media areal por subcuencas, fue calculados utilizando el método de kriging, a través del software Hydraccess, resultados que posteriormente fueron ingresados en el modelo de manera mensual, según tabla siguiente y tablas del Anexo 2.

**Tabla 33. Temperatura media mensual por subcuena (°C) periodo 1965-2018**

Subcuena	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media
SC1	18.3	18.5	18.5	19.2	18.8	18.3	18.0	18.0	18.7	18.6	18.7	18.6	18.5
SC2	15.0	15.5	15.2	16.2	15.6	15.0	14.8	14.7	15.6	15.2	15.1	15.2	15.3
SC3	22.0	22.1	22.3	22.7	22.4	22.0	21.6	21.9	22.3	22.6	22.8	22.4	22.3
SC4	23.4	23.4	23.6	23.9	23.7	23.3	22.9	23.3	23.6	24.1	24.3	23.9	23.6
SC5	23.4	23.4	23.6	23.9	23.7	23.3	22.9	23.3	23.6	24.1	24.3	23.9	23.6
SC6	22.9	22.9	23.1	23.4	23.2	22.8	22.4	22.7	23.1	23.5	23.7	23.3	23.1
SC7	23.4	23.4	23.6	23.9	23.7	23.3	22.9	23.3	23.6	24.1	24.3	23.9	23.6
SC8	23.4	23.4	23.6	23.9	23.7	23.3	22.9	23.3	23.6	24.1	24.3	23.9	23.6
SC9	23.4	23.4	23.6	23.9	23.7	23.3	22.9	23.3	23.6	24.1	24.3	23.9	23.6
SC10	23.4	23.4	23.6	23.9	23.7	23.3	22.9	23.3	23.6	24.1	24.3	23.9	23.6
SC11	23.4	23.4	23.6	23.9	23.7	23.3	22.9	23.3	23.6	24.1	24.3	23.9	23.6
SC12	23.3	23.3	23.5	23.8	23.6	23.2	22.8	23.1	23.5	24.0	24.2	23.7	23.5
SC13	23.4	23.4	23.6	23.9	23.7	23.3	22.9	23.3	23.6	24.1	24.3	23.9	23.6
SC14	23.4	23.4	23.6	23.9	23.7	23.3	22.9	23.3	23.6	24.1	24.3	23.9	23.6
SC15	23.4	23.3	23.5	23.8	23.7	23.2	22.8	23.1	23.5	24.0	24.2	23.8	23.5
SC16	23.1	23.1	23.2	23.4	23.4	22.8	22.4	22.6	23.2	23.7	23.8	23.4	23.2
SC17	23.3	23.3	23.5	23.8	23.6	23.2	22.7	23.0	23.5	23.9	24.2	23.7	23.5
SC18	23.1	23.0	23.2	23.4	23.4	22.8	22.4	22.7	22.9	23.6	23.9	23.3	23.1
SC19	23.3	23.2	23.4	23.6	23.5	23.1	22.8	23.1	23.5	23.9	24.1	23.6	23.4
SC20	23.3	23.2	23.4	23.6	23.5	23.1	22.8	23.1	23.4	23.8	24.0	23.6	23.4
SC20A	23.3	23.2	23.4	23.6	23.5	23.1	22.8	23.1	23.4	23.8	24.0	23.6	23.4
SC21	23.2	23.1	23.3	23.5	23.4	22.9	22.6	23.0	22.8	23.7	24.0	23.3	23.2
SC22	23.3	23.3	23.4	23.6	23.5	23.1	22.8	23.1	23.5	23.9	24.1	23.6	23.4
SC23	23.3	23.3	23.4	23.6	23.5	23.1	22.8	23.1	23.5	23.9	24.1	23.6	23.4
SC24	23.3	23.3	23.4	23.6	23.5	23.1	22.8	23.1	23.5	23.9	24.1	23.6	23.4
SC25	23.3	23.3	23.4	23.6	23.5	23.1	22.8	23.1	23.5	23.9	24.1	23.6	23.4
SC26	23.7	23.5	23.5	23.6	23.5	23.1	22.9	23.3	23.6	23.9	24.1	23.8	23.6
SC27	24.0	23.8	23.7	23.6	23.6	23.2	23.0	23.5	23.8	24.0	24.2	24.2	23.7
SC28	25.0	24.7	24.5	24.3	24.3	23.9	23.7	24.3	24.6	24.8	25.1	25.1	24.5
SC29	26.8	25.9	25.9	25.9	25.8	25.6	25.4	26.2	26.4	26.6	27.1	27.5	26.3
SC30	27.0	26.5	26.4	26.1	26.0	25.4	25.3	25.9	26.4	26.8	27.0	27.1	26.3
SC31	27.0	26.5	26.4	26.1	26.0	25.4	25.3	25.9	26.4	26.8	27.0	27.1	26.3
SC32	27.0	26.5	26.4	26.1	26.0	25.4	25.3	25.9	26.4	26.8	27.0	27.1	26.3

En la Tabla 33 se evidencia que los valores más altos de temperatura media anual se registran en las subcuencas 29 y 30 (cuena baja del río mayo), caso contrario las temperaturas medias anuales más bajas se localizan en las subcuencas 1 y 2 (cabecera de cuena).

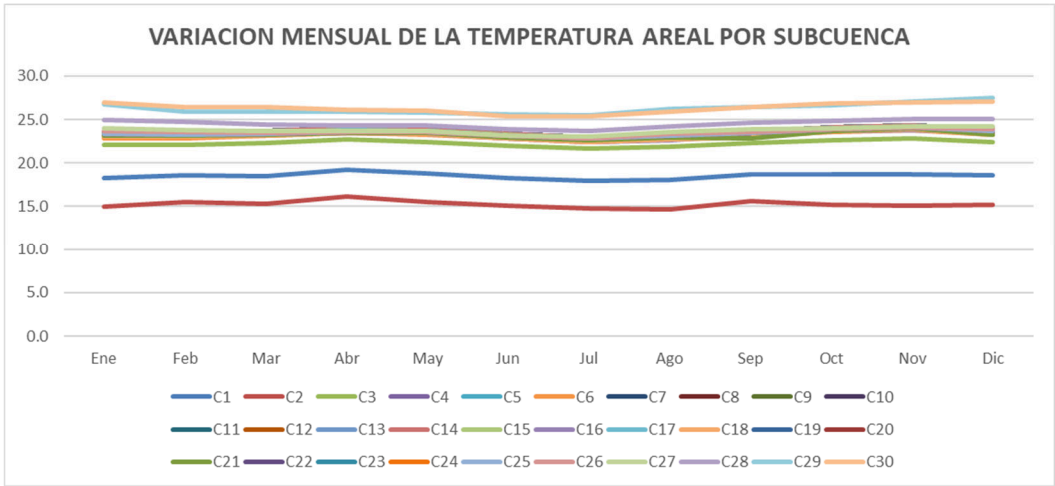


Figura 24. Temperatura media mensual por subcuenca

4.1.2 Precipitación media por subcuencas

4.1.2.1 Completación de información meteorológica faltante (pluviometría)

Se completó datos con el modelo HEC-4, por el método de correlación múltiple comparando datos de las 24 estaciones utilizadas. Se tiene un 24.5 por ciento de datos faltantes, siendo 3017 datos vacíos de un total de 12317 observaciones.

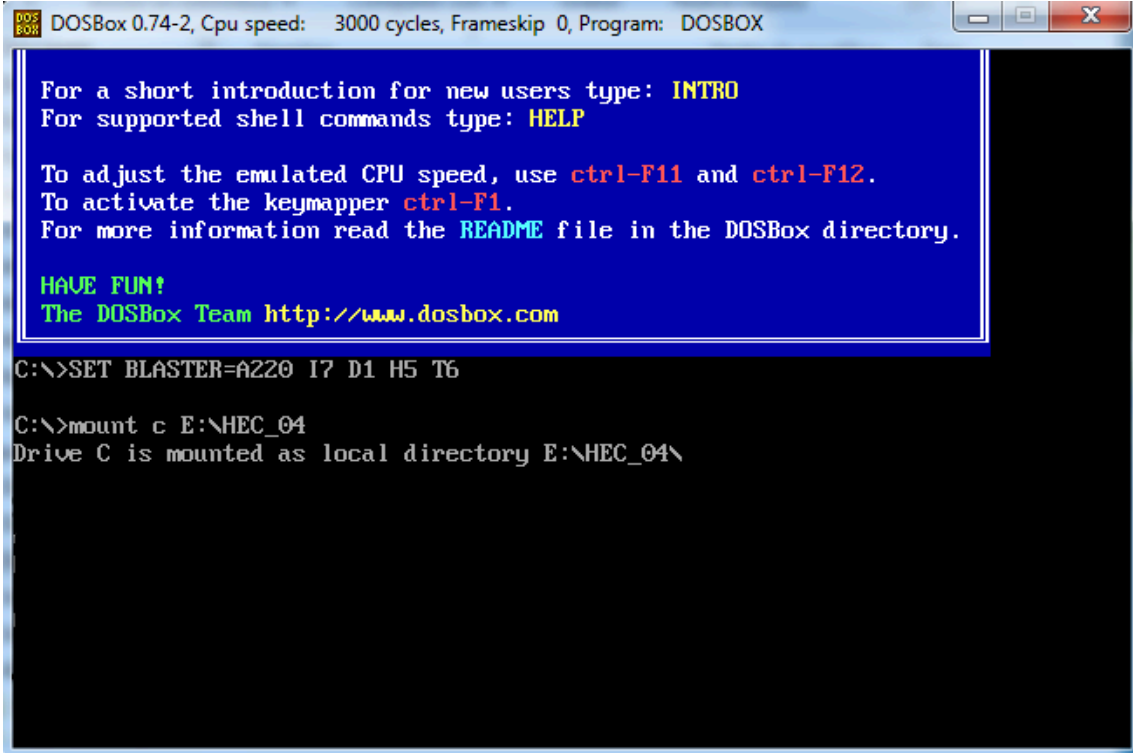
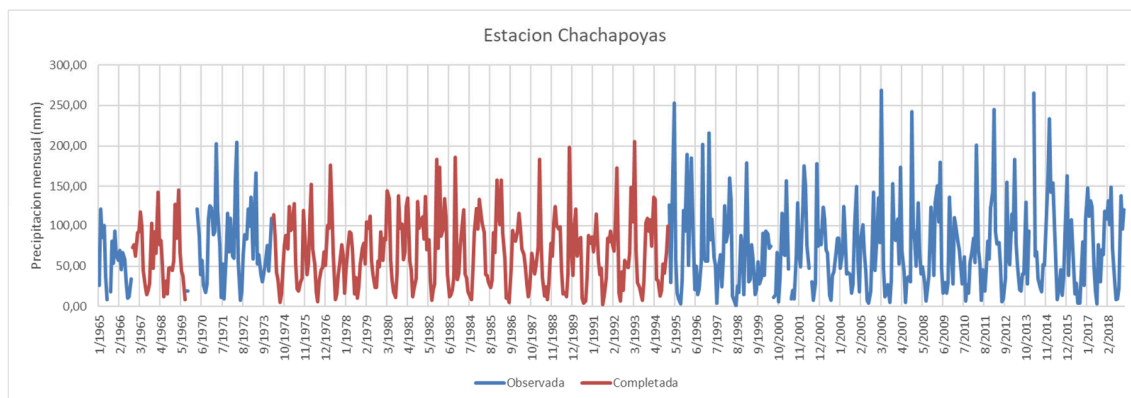


Figura 25. Emulador DOSBox 0.74-2 para correr la completación de datos faltantes con HEC-4



**Figura 26. Datos completados de estación Chachapoyas periodo 1968-2018**

A continuación, se presentan los estadísticos de los datos observados vs los datos corregidos y completados de las estaciones pluviométricas consideradas para el periodo 1965-2018.

**Tabla 34. Estadísticos de los datos observados vs datos corregidos y completados de las estaciones pluviométricas consideradas para el periodo 1968-2018.**

Estación	Estadísticos de los Datos Observados				Estadísticos de los Datos Completados			
	Media	Desv. Sta	Max.	Min.	Media	Desv. Sta	Max.	Min.
Alao	1,436.43	269.88	2,093.10	513.20	1,452.24	220.31	2,093.10	922.50
Chachapoyas	940.58	235.87	1,672.85	612.80	833.35	127.15	1,070.30	594.70
Chazuta	1,451.30	316.14	2,082.00	807.00	1,542.42	224.86	1,993.29	909.00
Cuñumbuque	1,064.46	164.86	1,526.30	808.00	1,059.78	163.19	1,526.30	808.00
El Porvenir	1,089.49	147.94	1,433.84	742.10	1,077.42	139.39	1,433.84	742.10
Jamalca	1,067.70	510.00	2,955.40	507.72	1,071.00	485.07	2,955.40	507.72
Jazan	1,006.94	174.90	1,364.10	776.77	902.95	121.73	1,211.68	650.11
Jepelacio	1,277.90	341.52	1,882.82	446.30	1,261.40	298.18	1,882.82	446.30
Lamas	1,405.08	315.30	2,590.90	749.00	1,388.91	319.19	2,590.90	701.01
Magunchal	783.79	198.52	1,205.50	350.50	824.73	171.72	1,264.41	373.20
Moyobamba	1,301.23	241.16	1,674.00	679.10	1,367.52	163.57	1,674.00	973.20
Naranjillo	1,478.97	315.76	2,109.00	834.70	1,493.49	294.30	2,109.00	834.70
Navarro	1,857.55	651.63	2,961.30	425.72	2,121.32	349.78	3,038.77	1,543.40
Pacayzapa	1,471.01	376.52	2,104.60	715.09	1,471.21	310.60	2,104.60	715.09
Pelejo	2,225.87	276.45	2,667.60	1,590.68	2,052.82	345.20	2,667.60	1,251.60
Pilluana	968.00	138.26	1,257.50	502.80	959.42	138.47	1,257.50	502.80
Rioja	1,560.35	194.81	1,997.20	1,239.10	1,581.59	286.19	3,032.53	1,116.52
San Antonio	1,946.19	239.31	2,460.90	1,515.91	1,942.14	229.81	2,460.90	1,515.91
San Pablo	1,261.48	267.70	1,856.10	740.80	1,257.78	252.95	1,856.10	740.80
San Ramon	2,295.41	320.55	3,148.65	1,556.40	2,233.27	299.77	3,148.65	1,556.40
Sauce	1,470.44	315.34	2,140.03	558.63	1,446.35	342.32	2,140.03	558.63
Shanusi	2,649.36	585.66	4,906.83	2,024.70	2,605.61	499.11	4,906.83	2,024.70
Tabalosos	1,355.14	257.82	2,046.40	791.50	1,368.33	286.97	2,310.59	791.50
Tarapoto	1,379.94	181.93	1,591.00	971.30	1,350.96	158.87	1,736.95	971.30



#### 4.1.2.2 Precipitación media de las estaciones

Culminadas las fases previas se tiene la precipitación media multianual, para cada una de las estaciones en análisis, que posteriormente fueron base para la determinación de la precipitación media areal.

**Tabla 35. Precipitación (mm) media multianual por estación pluviométrica periodo 1965-2018**

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Alao	85.5	114.7	173.5	179.5	127.5	89.4	76.0	80.1	127.2	157.3	132.8	108.6	1452.2
Chachapoyas	90.8	102.8	129.1	96.2	50.2	25.2	19.5	20.5	41.4	96.7	75.4	85.4	833.4
Chazuta	142.8	165.9	197.3	163.1	106.1	81.0	68.4	76.2	98.4	148.0	159.8	135.5	1542.4
Cuñumbuque	78.9	95.8	137.0	125.3	84.1	72.2	53.8	67.8	87.0	87.5	92.1	78.3	1059.8
El Porvenir	86.5	105.6	129.3	126.7	80.7	69.6	56.3	62.2	82.6	101.9	96.2	79.6	1077.4
Jamalca	108.7	120.5	172.5	119.8	85.0	49.6	28.9	24.6	50.8	92.5	102.2	115.8	1071.0
Jazan	60.1	67.9	121.5	115.7	87.0	66.5	47.6	41.9	71.1	89.0	64.2	70.6	903.0
Jepelacio	129.5	128.4	173.9	113.7	86.3	61.8	48.8	57.9	98.3	128.7	118.7	115.3	1261.4
Lamas	107.7	131.8	170.4	147.2	122.7	89.0	83.3	68.8	110.4	136.2	119.1	102.3	1388.9
Magunchal	85.2	114.4	119.5	89.7	53.0	26.2	15.6	12.9	38.3	77.7	95.4	96.9	824.7
Moyobamba	132.4	147.6	177.0	128.5	91.2	65.7	56.6	67.9	95.5	135.7	130.6	138.9	1367.5
Naranjillo	139.1	156.1	177.6	155.1	108.0	79.8	67.1	76.3	101.4	147.6	149.8	135.7	1493.5
Navarro	187.2	222.4	269.9	215.3	150.7	114.1	92.6	94.8	157.7	196.5	213.8	206.3	2121.3
Pacayzapa	106.9	131.0	174.7	186.2	138.0	104.8	88.8	69.9	117.2	132.5	111.8	109.3	1471.2
Pelejo	181.6	206.5	260.5	230.2	154.0	96.0	88.1	78.7	122.6	192.6	229.5	212.6	2052.8
Pilluana	68.7	82.4	118.9	123.0	75.5	61.7	48.2	58.0	73.6	90.6	94.9	63.9	959.4
Rioja	128.7	168.5	200.0	158.1	124.4	69.1	70.1	72.1	111.4	166.4	165.4	147.6	1581.6
San Antonio	165.9	186.7	235.9	199.0	164.2	121.0	111.9	110.2	151.9	183.0	155.1	157.4	1942.1
San Pablo	92.5	111.5	149.2	132.7	84.9	77.6	69.6	79.9	102.7	129.7	123.1	104.2	1257.8
San Ramon	202.7	219.3	301.2	224.3	174.0	121.1	101.5	97.8	141.5	193.9	239.5	216.7	2233.3
Sauce	93.6	123.6	163.0	171.3	131.5	110.3	97.2	97.8	129.9	132.8	105.0	90.3	1446.4
Shanusi	232.7	277.3	337.3	275.6	199.3	144.2	126.9	122.6	162.5	219.9	275.2	232.0	2605.6
Tabalosos	98.3	123.8	157.6	154.4	111.8	90.3	79.7	79.4	115.2	132.5	125.8	99.7	1368.3
Tarapoto	115.8	143.6	164.4	165.3	108.6	85.8	74.5	60.9	89.6	105.7	120.0	116.7	1351.0

El régimen pluviométrico de la subcuenca Mayo es bimodal, donde el mayor incremento se da en marzo y octubre y la menos precipitación entre junio – agosto.

#### 4.1.2.3 Precipitación media areal por subcuencas

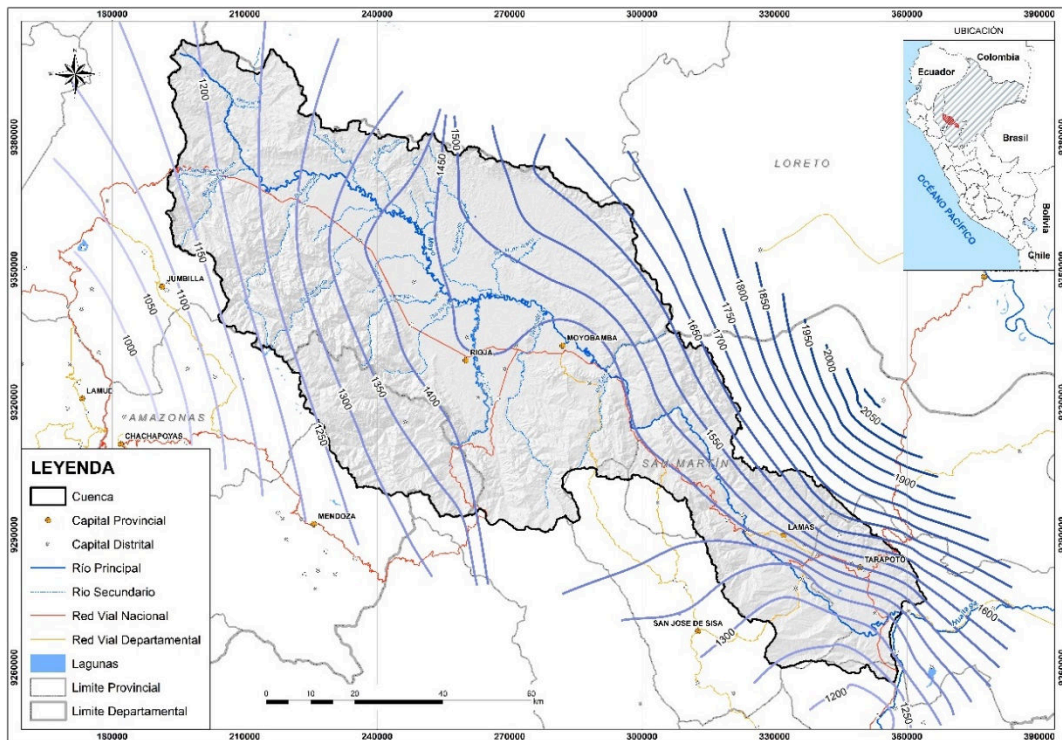
A continuación, se presentan los datos de precipitación media obtenidas para cada una de las 33 subcuencas, utilizando el método de Thiessen.

**Tabla 36. Precipitación (mm) media areal por unidad hidrográfica periodo 1965-2018**

Subcuenca	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
C1	135.5	152.1	175.0	153.3	107.1	79.2	66.2	74.8	100.0	145.0	145.9	132.7	1466.7
C2	102.9	115.7	151.9	137.0	98.4	73.7	58.2	60.6	87.6	120.8	110.6	105.9	1223.2
C3	139.1	156.1	177.6	155.1	108.0	79.8	67.1	76.3	101.4	147.6	149.8	135.7	1493.5
C4	139.1	156.1	177.6	155.1	108.0	79.8	67.1	76.3	101.4	147.6	149.8	135.7	1493.5
C5	139.1	156.1	177.6	155.1	108.0	79.8	67.1	76.3	101.4	147.6	149.8	135.7	1493.5
C6	138.6	155.6	177.2	154.7	107.7	79.4	66.8	75.9	101.0	147.2	149.2	135.3	1488.6
C7	139.1	156.1	177.6	155.1	108.0	79.8	67.1	76.3	101.4	147.6	149.8	135.7	1493.5
C8	139.1	156.1	177.6	155.1	108.0	79.8	67.1	76.3	101.4	147.6	149.8	135.7	1493.5
C9	139.1	156.1	177.6	155.1	108.0	79.8	67.1	76.3	101.4	147.6	149.8	135.7	1493.5
C10	139.1	156.1	177.6	155.1	108.0	79.8	67.1	76.3	101.4	147.6	149.8	135.7	1493.5
C11	139.1	156.1	177.6	155.1	108.0	79.8	67.1	76.3	101.4	147.6	149.8	135.7	1493.5
C12	137.2	158.3	181.7	155.6	111.0	77.8	67.7	75.6	103.2	151.0	152.6	137.8	1509.5
C13	139.1	156.1	177.6	155.1	108.0	79.8	67.1	76.3	101.4	147.6	149.8	135.7	1493.5
C14	139.1	156.1	177.6	155.1	108.0	79.8	67.1	76.3	101.4	147.6	149.8	135.7	1493.5
C15	136.8	158.8	182.6	155.7	111.7	77.4	67.8	75.4	103.6	151.8	153.2	138.3	1513.0
C16	128.9	168.2	199.5	158.0	124.0	69.3	70.0	72.2	111.2	166.0	165.0	147.3	1579.7
C17	134.9	160.8	186.4	155.8	114.1	75.3	68.1	74.5	105.2	154.8	155.6	140.4	1525.8
C18	127.6	163.9	195.7	160.4	124.2	73.3	71.5	72.3	111.1	161.6	159.0	143.0	1563.4
C19	132.4	147.8	177.9	130.3	93.2	66.4	57.3	68.0	96.6	137.2	132.4	137.7	1377.3
C20	132.3	147.0	176.9	128.1	91.1	65.6	56.3	67.6	95.6	135.5	130.3	138.1	1364.3
C20A	132.2	148.8	178.4	130.2	93.1	65.9	57.3	68.2	96.4	137.5	132.6	139.4	1379.9
C21	120.5	137.5	177.9	151.7	113.3	81.3	69.4	66.3	107.3	136.0	123.4	120.6	1405.1
C22	130.0	131.1	174.3	115.8	87.0	62.3	49.9	59.3	97.9	129.7	120.4	118.6	1276.4
C23	130.3	133.6	174.7	117.7	87.6	62.8	50.9	60.6	97.6	130.6	121.9	121.6	1290.0
C24	129.5	128.4	173.9	113.7	86.3	61.8	48.8	57.9	98.3	128.7	118.7	115.3	1261.4
C25	129.5	128.4	173.9	113.7	86.3	61.8	48.8	57.9	98.3	128.7	118.7	115.3	1261.4
C26	115.0	130.1	174.4	160.5	119.7	89.6	74.7	65.7	110.5	131.2	114.2	111.4	1396.9
C27	116.1	130.2	173.1	145.7	112.9	83.0	71.3	64.8	107.7	132.1	116.7	109.5	1363.1
C28	107.0	130.9	168.5	150.7	119.8	90.1	82.4	73.7	113.1	136.2	122.4	103.5	1398.3
C29	165.9	186.7	235.9	199.0	164.2	121.0	111.9	110.2	151.9	183.0	155.1	157.4	1942.1
C30	114.2	135.8	166.5	155.1	109.6	87.1	75.1	74.8	102.7	123.3	117.5	109.2	1370.9
C31	93.9	113.5	138.2	131.5	84.1	71.1	57.9	64.0	84.7	108.0	104.6	87.0	1138.4
C32	89.5	110.6	144.6	139.2	94.3	78.7	64.2	69.6	94.2	105.0	104.3	88.9	1183.0

#### 4.1.2.4 Isoyetas medias

A continuación, se presenta figura de la isoyeta media anual de la cuenca Mayo mediante el método de Kriging por generar una Isoyeta más adecuada a la topografía de la cuenca.

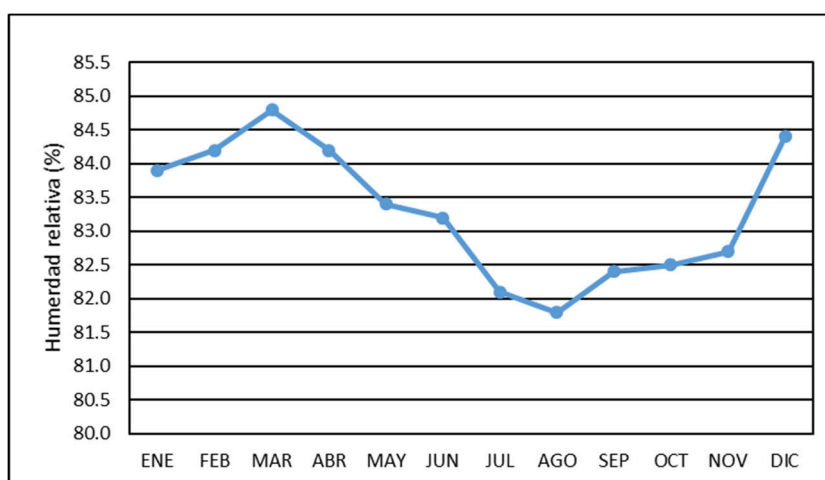


**Figura 27. Mapa de isoyetas de la subcuenca del rio Mayo periodo 1965-2018**

En la Figura 27 se evidencia claramente que los mayores valores de precipitación se dan en la zona media y baja de la cuenca Mayo.

#### 4.1.3 Humedad relativa

A continuación, se presenta gráficamente la distribución mensual de la humedad relativa de la estación Climatológica Moyobamba.



**Figura 28. Variación mensual de la humedad relativa de la estación Climatológica Moyobamba**

FUENTE: Elaboración propia.

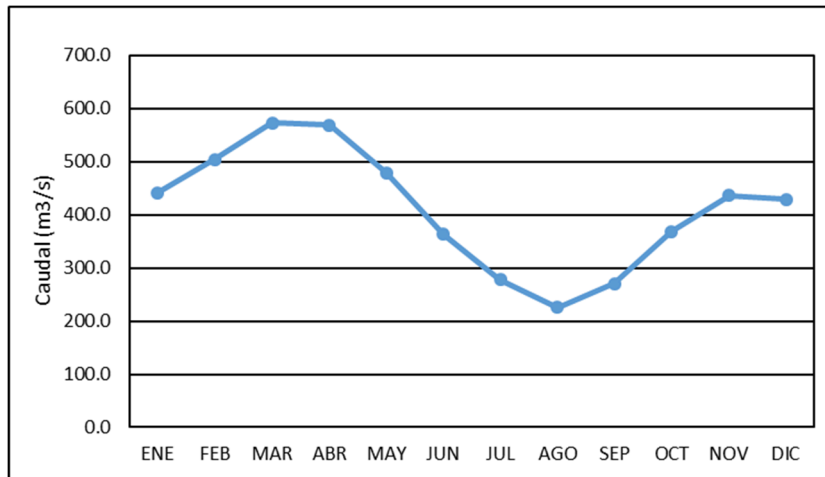
#### 4.1.4 Caudales medios mensuales

A continuación, se presenta los caudales medios mensuales registrados en la estación hidrométrica Shanao.

**Tabla 37. Caudales medios mensuales Estación Shanao**

ESTACIÓN	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM
E.H. SHANAO	442	504	573	569	479	363	278	225	271	368	436	429	411.59

FUENTE: Elaboración propia.

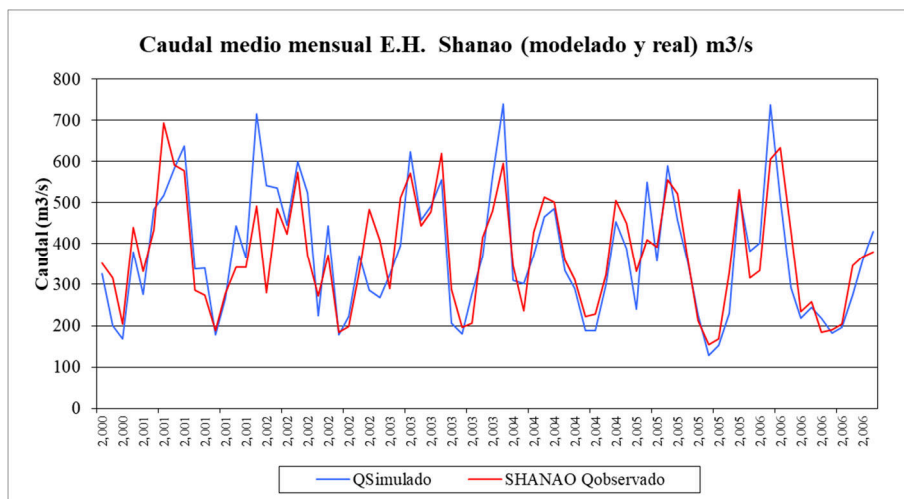


**Figura 29. Variación mensual de los caudales medios mensuales - Estación Shanao**

#### 4.1.5 Calibración y validación del modelo hidrológico

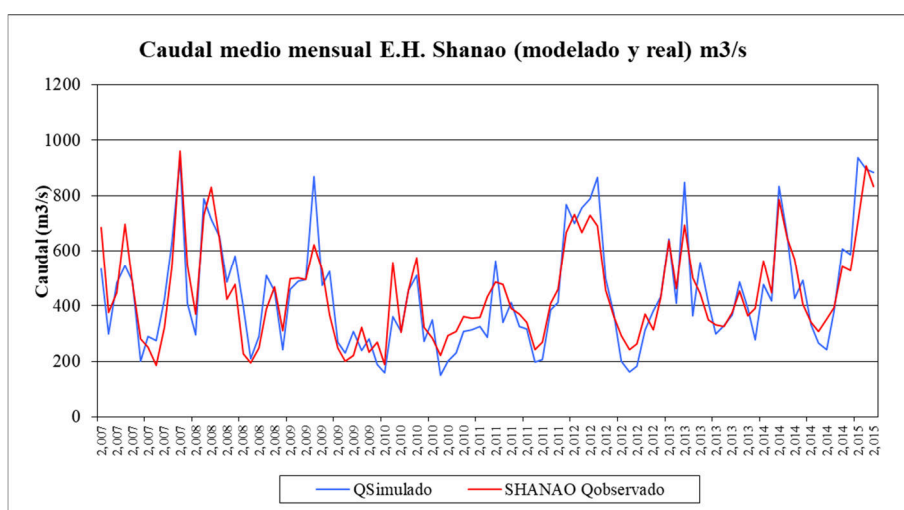
La calibración y validación es muy importante, porque permite generar escenarios a corto, mediano y largo plazo; tan necesario en la planificación de los recursos hídricos.

Para la calibración, se efectuó el ajuste de los parámetros del método humedad del suelo y aplicó las métricas de BIAS y NASH, a través del ajuste visual para el periodo 2000-2006, dando como resultados los gráficos mostrados a continuación:



**Figura 30. Caudales simulados y observados de la estación Shanao - Periodo de calibración (2000 – 2006)**

Para la validación del modelo, se verificó si el modelo tenía un adecuado desempeño, para predecir los caudales, realizado con diferentes años de registros, correspondiente al periodo 2007-2015, dando como resultado el gráfico mostrado a continuación:



**Figura 31. Caudales simulados y observados de la estación Shanao - Periodo de validación (2007 – 2015)**

En la Figura 30 y Figura 31, se aprecia gráficamente el histórico de caudales obtenidos por el modelo y los registrados por la estación hidrométrica Shanao. En el método Humedad del suelo, al iterar los parámetros se logra que los caudales simulados se aproximan a los caudales aforados en los periodos presentados, tanto para el periodo de calibración o el periodo de validación. Para definirla si es adecuada, se empleó el coeficiente de determinación ( $R^2$ ), confiabilidad NASH-Sutcliffe ( $E_f$ ) y PBIAS, respectivamente.

En la Tabla 38 se presenta los resultados de los índices de eficiencia para la calibración y validación.

**Tabla 38. Índices de eficiencia obtenidos para el modelo**

Periodo	Índices de eficiencia		
	R <sup>2</sup>	Ef	PBIAS
Calibración 2000 - 2006	0.71	0.70	0.85
Validación 2007 - 2015	0.82	0.75	0.99

Como se observa la Tabla 38:

- Los valores de coeficiente de determinación (R<sup>2</sup>) obtenidos son 0.71 y 0.82 para el periodo de calibración y validación respectivamente. Estos resultados son bastantes aceptables reflejando la bondad del ajuste del modelo e indica que los caudales simulados se aproximan a los datos observados en la estación de referencia.
- Los valores de coeficiente Nash-Sutcliffe (Ef) obtenidos son de 0.70 y 0.75 para el periodo de calibración y validación respectivamente. Estos resultados son bastantes aceptables (muy bueno) y nos indica que el modelo simula correctamente la variabilidad de los resultados observados en la estación de referencia y sobre todo con mayor detalle en el periodo de validación donde el valor obtenido es más alto.
- Con respecto al índice PBIAS, se obtuvo valores de 0.85 y 0.99 para el periodo de calibración y validación respectivamente. Estos resultados son bastantes aceptables (muy bueno) y nos indica que existe una mínima diferencia entre los datos simulados por el modelo hidrológico y los datos observados por la estación de referencia, sobre todo en el periodo de validación donde el valor de PBIAS es más alto.

El detalle de los cálculos realizados para la calibración y validación del modelo se presentan en el Anexo 4. Calibración y validación del modelo hidrológico.

#### 4.1.6 Demandas de agua en la cuenca Mayo

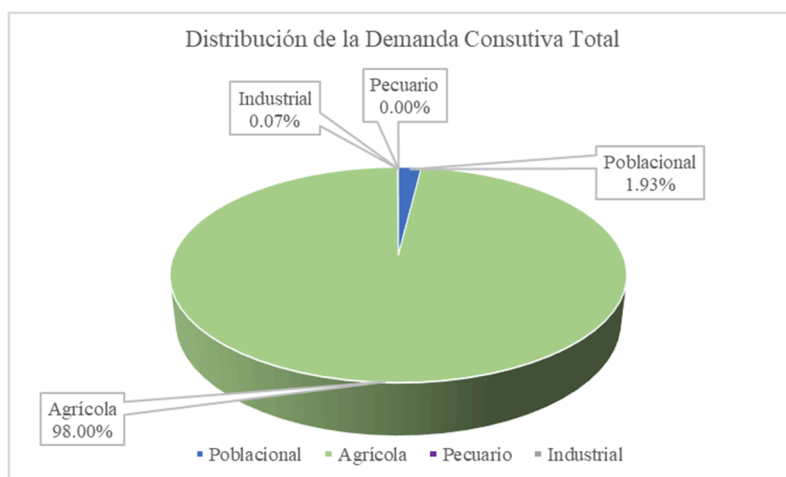
##### 4.1.6.1 Resultados de las demandas de agua multisectorial Actual - Cuenca Mayo

A continuación, se presenta el compendio de las demandas multisectoriales existentes en la cuenca Mayo:

**Tabla 39. Resultados de la demanda hídrica multisectorial de la cuenca Mayo – situación actual**

Uso		Demanda Formalizada		Demanda No Formalizada (hm <sup>3</sup> /año)	Demanda Total (hm <sup>3</sup> /año)
		N° Derechos de uso	Demanda (hm <sup>3</sup> /año)		
Consuntivo	Poblacional	153	29.45	0.38	29.82
	Agrícola	696	1,247.48	267.54	1,515.02
	Pecuario	5	0.053	-	0.053
	Industrial	13	1.09	-	1.09
	Minero			-	
<b>Total Uso Consuntivo</b>		<b>867</b>	<b>1,278.07</b>	<b>267.92</b>	<b>1,545.99</b>
No consuntivo	Acuícola	55	7.08	-	7.08
	Energético	2	0.193	-	0.193
<b>Total Uso No consuntivo</b>		<b>57</b>	<b>7.27</b>	<b>0.00</b>	<b>7.27</b>
<b>Total</b>		<b>924</b>	<b>1,285.35</b>	<b>267.92</b>	<b>1,553.26</b>

En la cuenca Mayo existen un total de 924 derechos de uso de agua, los cuales otorgan un volumen total de agua de 1,553.26 hm<sup>3</sup>, que corresponde 1,545.99 hm<sup>3</sup> de uso consuntivo y 7.27 hm<sup>3</sup> de uso no consuntivo, lo cual gráficamente se aprecia en la siguiente figura.



**Figura 32. Distribución de la demanda hídrica consuntiva en la cuenca Mayo**

En la Figura 32 se aprecia la forma como está distribuido los derechos de uso de agua según el tipo de usos consuntivos, apreciando que después del uso agrícola el cual representa el 98

por ciento de la demanda consuntiva; los usos poblacional e industrial representan el 1.93 por ciento y 0.07 por ciento respectivamente.

#### 4.1.6.2 Resultados de la demanda de agua Futura en la Cuenca Mayo

A continuación, se presenta el compendio de las demandas multisectoriales para la situación futura en la cuenca Mayo:

**Tabla 40. Resultados de la demanda hídrica multisectorial de la cuenca Mayo – situación futura**

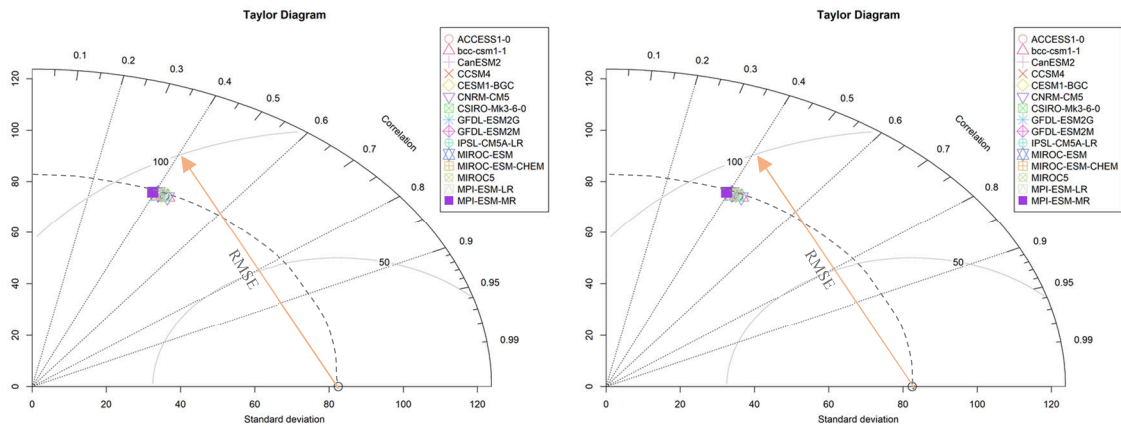
Uso		Demanda Total Actual (hm <sup>3</sup> /año)	Acreditaciones (hm <sup>3</sup> /año)	Demanda Total Futura (hm <sup>3</sup> /año)
Consuntivo	Poblacional	29.82	24.05	53.87
	Agrícola	1,515.02	3.02	1,518.05
	Pecuario	0.053	-	0.053
	Industrial	1.09	0.002	1.09
	Minero	-	-	-
<b>Total Uso Consuntivo</b>		<b>1,545.99</b>	<b>27.07</b>	<b>1573.06</b>
No consuntivo	Acuícola	7.08	-	7.08
	Energético	0.193	-	0.193
<b>Total Uso No consuntivo</b>		<b>7.27</b>	<b>-</b>	<b>7.27</b>
<b>Total</b>		<b>1,553.26</b>	<b>27.07</b>	<b>1580.33</b>

#### 4.1.7 Escenarios y modelos de cambio climático

##### 4.1.7.1 Evaluación comparativa (Diagrama de Taylor) de los diferentes modelos de cambio climático aplicados.

En la Figura 33 y Figura 34 se presentan los Diagramas de Taylor aplicados.



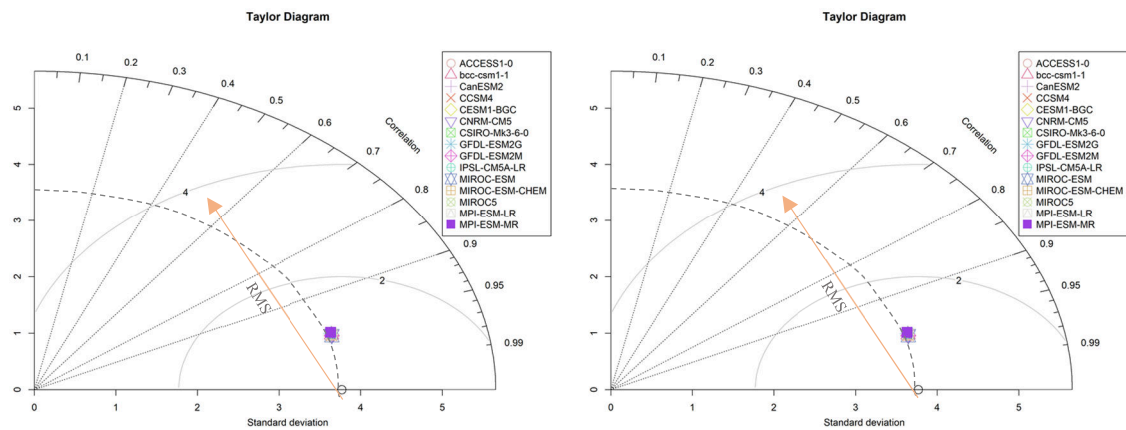


**Figura 33. Comparativo (Diagrama de Taylor) de los modelos de precipitación: RCP 4.5 (Izquierda) RCP 8.5 (Derecha)**

Para la variable precipitación en el escenario RCP 4.5 (Diagrama Izquierda), se observa una correlación moderada en los 15 modelos de cambio climático aplicados con respecto a los datos observados, siendo el rango de correlación entre 0.4-0.45; sin embargo, todos los modelos simulan muy bien la amplitud de las variaciones (desviación estándar) de los datos observados, esta afirmación se evidencia visualmente en la concentración de los puntos (modelos) próximos al radio generado por el valor de desviación estándar de los datos observados (80 mm).

Como consecuencia de los valores de correlación y desviación estándar muy próximos entre todos los modelos de cambio climático aplicados, se obtiene similares valores de RMSE próximos a 90 mm.

Se puede ultimar que todos los modelos aplicados muestran el mismo grado de representación de la precipitación en el escenario RCP 4.5 (Diagrama Izquierda), similares resultados son obtenidos para el escenario RCP 8.5 (Diagrama Derecha).



**Figura 34. Comparativo (Diagrama de Taylor) de los modelos de temperatura: RCP 4.5 (Izquierda) RCP 8.5 (Derecha)**

Para la variable temperatura en el escenario RCP 4.5 (Diagrama Izquierda), se observa una correlación fuerte en los 15 modelos de cambio climático aplicados con respecto a los datos observados, siendo el rango de correlación entre 0.96-0.97; además, todos los modelos simulan muy bien la amplitud de las variaciones (desviación estándar) de los datos observados, esta afirmación se evidencia visualmente en la concentración de los puntos (modelos) próximos al radio generado por el valor de desviación estándar de los datos observados (3.8 °C).

Como consecuencia de los valores de correlación y desviación estándar muy próximos entre todos los modelos de cambio climático aplicados, se obtiene similares valores de RMSE próximos a 1°C.

Se puede ultimar que todos los modelos aplicados muestran un alto grado de representación de la temperatura en el escenario RCP 4.5 (Diagrama Izquierda), similares resultados son obtenidos para el escenario RCP 8.5 (Diagrama Derecha).

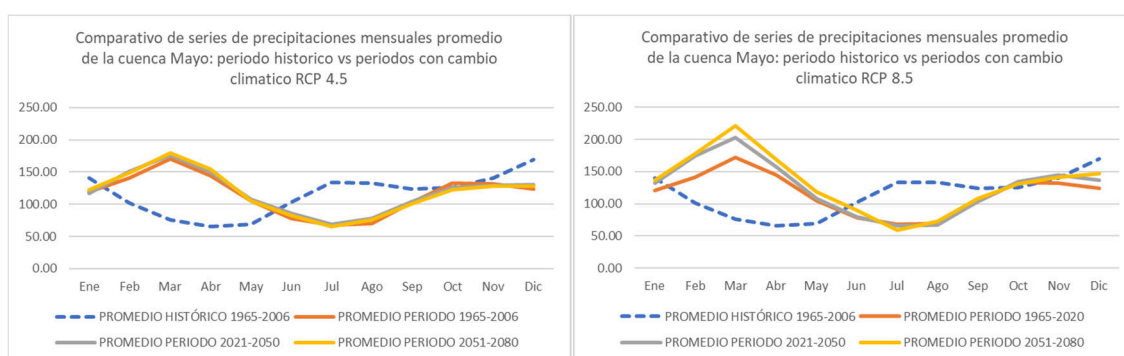
4.1.7.2 Ensamble (series promedio) de precipitación y temperatura con cambio climático  
 Considerando los resultados obtenidos de los Diagramas de Taylor (Figura 33 y Figura 34), donde no se evidencia una diferenciación significativa en el grado de correspondencia de los 15 modelos aplicados, el ensamble o resultado promediado se obtuvo considerando el promedio de todas de las series de precipitación y temperatura para cada uno de los 15 modelos aplicados.

El ensamble aplicado nos da como resultado:

- Serie ensamblada de precipitación para cada una de las 33 subcuencas en el escenario RCP 4.5 periodo 1965-2080.

- Serie ensamblada de temperatura para cada una de las 33 subcuencas en el escenario RCP 4.5 periodo 1965-2080.
- Serie ensamblada de precipitación para cada una de las 33 subcuencas en el escenario RCP 8.5 periodo 1965-2080.
- Serie ensamblada de temperatura para cada una de las 33 subcuencas en el escenario RCP 8.5 periodo 1965-2080.

A continuación, se presenta el comparativo de los promedios mensuales de los ensambles de precipitación y temperatura (Figura 35 y Figura 36 respectivamente) con cambio climático en los periodos 1965-2006, 2021-2050 y 2051-2080, con respecto al histórico correspondiente al periodo 1965-2006.

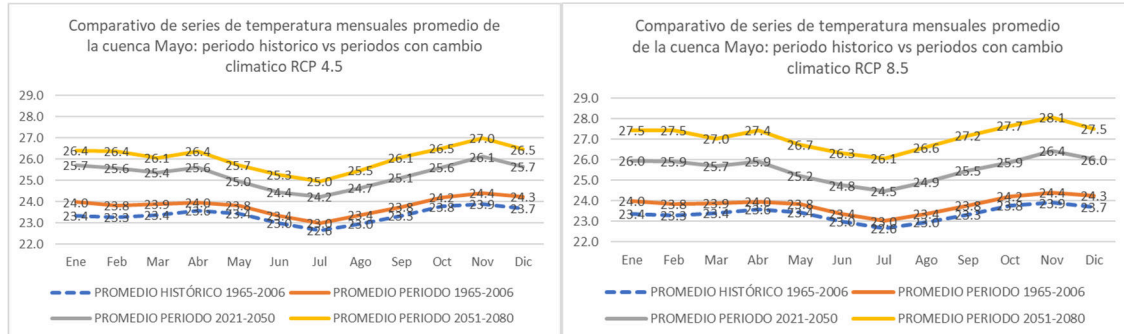


**Figura 35. Comparativo de los promedios mensuales del ensamble de precipitación RCP 4.5 (izquierda) y 8.5 (derecha) para los periodos 1965-2006; 2021-2050 y 2051-2080 con respecto al periodo histórico 1965-2006.**

En la Figura 35 se observa que la precipitación con cambio climático respecto a la precipitación histórica, presenta un incremento considerable en los meses de enero - mayo y octubre – diciembre; y un descenso de la precipitación en los meses de junio – setiembre; para los tres periodos evaluados. Cabe indicar que por efecto de cambio climático y según los resultados, el incremento de la oferta hídrica, se produciría en la época de abundancia y el descenso en los meses de estiaje, que es la época cuando se presentan actualmente los déficits hídricos, por lo que es importante tomar interés de las implicancias con respecto a la disponibilidad hídrica, rendimiento de los cultivos, conflictos sociales, etc.

En la Figura 35 (lado izquierdo) se observa que la precipitación con cambio climático respecto a la precipitación histórica, presentan la misma tendencia pero un mayor incremento que para el RCP 4.5, siendo este incremento mucho mayor para el periodo 2051-2080, con valores de hasta 191 por ciento en el mes de marzo. Similar que para el RCP 4.5, por efecto de cambio climático y según los resultados, los mayores incrementos de la oferta hídrica, se

produciría en la época de abundancia y los menores incrementos en los meses de estiaje, situación que no genera un gran impacto de reducir los déficit en época de estiaje en la cuenca Mayo.



**Figura 36. Comparativo de los promedios anuales del ensamble de temperatura RCP 4.5 (izquierda) y 8.5 (derecha) para los periodos 1965-2006; 2021-2050 y 2051-2080 con respecto al periodo histórico 1965-2006.**

La Figura 36 se observa que la temperatura con cambio climático respecto a la temperatura histórica, muestra en el RCP 4.5 y RCP 8.5, una tendencia clara al incremento durante los meses de enero - mayo y octubre – diciembre; y un descenso de la temperatura en los meses de junio – setiembre; para los tres periodos evaluados; lo cual guarda una relación directa con la precipitación, es decir a mayor temperatura se presenta una mayor precipitación. Tener en cuenta que el incremento de temperatura tiene un efecto grave en los ecosistemas, la salud humana y la agricultura y producirá una mayor precipitación, por lo que se deberá adoptar medidas de prevención por eventos extremos; y las bajas temperaturas producirán menos precipitación en época de estiaje, debiéndose implementar obras hidráulicas de almacenamiento de oferta hídrica de superávit (época de abundancia), para ser utilizadas en época de estiaje, principalmente en subcuencas con déficit hídrico. Según los resultados, se observa que los mayores incrementos de temperatura se presentan en el escenario RCP 8.5 (derecha) con un aumento de la temperatura media mensual de hasta el 16 por ciento para el periodo 2051-2080.

Finalmente, las series ensambladas resultantes fueron introducidas en el WEAP para ejecutar las correspondientes simulaciones del modelo hidrológico y modelo de gestión con cambio climático para los horizontes futuros al 2050 y 2080.

#### 4.1.8 Modelo hidrológico – oferta hídrica

#### 4.1.8.1 Oferta hídrica actual por subcuencas

Los resultados de la oferta hídrica actual de cada una de las 33 subcuencas se presentan en la Tabla 41 a la Tabla 44 y cuyo detalle se presenta en el Anexo 5. Caudales medios mensuales parciales por subcuencas ( $m^3/s$ ) para el periodo 1965-2018 y Anexo 6. Caudales medios mensuales acumulados por subcuencas ( $m^3/s$ ) para el periodo 1965-2018.

**Tabla 41. Caudales medios mensuales parciales generados en la cuenca Mayo y en las subcuencas (m<sup>3</sup>/s) para el periodo 1965-2018**

Subcuenca	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media
<b>CUENCA MAYO</b>	<b>368.8</b>	<b>481.8</b>	<b>500.7</b>	<b>491.2</b>	<b>421.6</b>	<b>353.6</b>	<b>255.2</b>	<b>200.2</b>	<b>251.2</b>	<b>325.2</b>	<b>400.2</b>	<b>351.4</b>	<b>366.8</b>
SC01-Huasta	27.7	34.8	34.4	34.5	28.0	24.0	16.6	13.4	16.0	22.3	29.3	25.1	25.5
SC02-Serranoyacu	9.3	11.7	13.0	14.1	12.0	10.8	7.2	5.6	6.7	8.5	9.9	8.9	9.8
SC03-Amangay	2.3	2.9	2.9	2.9	2.3	2.0	1.4	1.1	1.3	1.8	2.4	2.1	2.1
SC04-R4	2.3	2.9	2.8	2.8	2.3	2.0	1.4	1.1	1.3	1.8	2.4	2.0	2.1
SC05-Mayo intermedio	10.4	13.1	12.8	12.7	10.4	8.9	6.2	5.0	5.9	8.2	10.9	9.3	9.5
SC06-Naranjos	17.6	21.9	21.3	21.7	18.1	15.6	10.2	7.7	9.1	13.0	18.4	15.3	15.8
SC07-R7	5.4	6.8	6.6	6.6	5.4	4.7	3.2	2.5	3.0	4.2	5.7	4.8	4.9
SC08-Mayo intermedio	1.6	2.0	2.0	1.9	1.5	1.3	0.9	0.8	0.9	1.3	1.7	1.4	1.4
SC09-Tumbaro	6.4	8.1	8.0	7.8	6.2	5.3	3.8	3.2	3.9	5.3	6.8	5.8	5.9
SC10-Naranjillo	14.0	17.6	17.2	17.2	14.0	12.0	8.3	6.6	7.9	11.1	14.7	12.5	12.7
SC11-Cachiyacu	6.9	8.7	8.5	8.5	7.0	6.0	4.1	3.3	3.9	5.4	7.3	6.2	6.3
SC12-Mayo intermedio	11.0	14.3	14.4	13.8	11.1	9.1	6.7	5.7	7.1	9.7	12.1	10.4	10.5
SC13-Tioyacu	4.5	5.7	5.6	5.6	4.5	3.9	2.7	2.2	2.6	3.6	4.8	4.1	4.2
SC14-Soritor	8.9	11.3	11.1	10.9	8.8	7.5	5.3	4.4	5.3	7.3	9.4	8.1	8.2
SC15-R15	8.4	10.9	10.8	10.6	8.8	7.3	5.1	4.1	5.0	7.0	9.2	7.8	7.9
SC16-Negro	23.4	29.5	30.5	28.7	26.3	21.3	18.8	16.9	20.0	23.5	27.2	24.6	24.2
SC17-Avisado	16.3	21.8	22.0	21.0	17.4	13.7	10.1	8.3	10.6	14.6	18.5	15.8	15.8
SC18-Tonchima	62.5	89.4	93.9	90.0	78.6	57.0	42.9	32.5	46.0	61.5	77.8	66.1	66.5
SC19-Huascayacu	39.5	50.9	52.5	44.5	35.9	30.6	21.3	18.4	22.0	29.5	36.4	37.2	34.9
SC20A-Mayo intermedio	4.1	5.4	5.5	4.7	3.7	3.1	2.2	2.0	2.4	3.2	3.9	4.0	3.7
SC20-Mayo intermedio	2.9	3.7	3.8	3.2	2.6	2.2	1.5	1.3	1.6	2.1	2.6	2.7	2.5
SC21-Indoche	20.4	26.2	29.3	30.0	26.0	22.3	15.5	11.2	14.9	18.4	20.6	19.0	21.2
SC22-R22	1.1	1.2	1.4	1.1	0.9	0.8	0.5	0.4	0.6	0.8	1.0	0.9	0.9
SC23-R23	1.2	1.4	1.6	1.2	1.1	0.9	0.6	0.5	0.6	0.9	1.1	1.0	1.0

«continuación»

<b>Subcuenca</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>	<b>Media</b>
SC24-Mayo intermedio	1.9	2.2	2.6	2.0	1.7	1.5	1.0	0.8	1.1	1.5	1.8	1.7	1.7
SC25-Yanayacu	3.4	3.9	4.6	3.6	3.1	2.7	1.8	1.4	1.9	2.5	3.2	2.9	2.9
SC26-Gera	7.1	9.0	10.5	11.8	10.3	9.2	6.3	4.2	5.8	6.9	7.3	6.5	7.9
SC27-Mayo intermedio	14.4	18.2	21.2	21.7	19.9	17.5	12.2	8.3	11.1	13.4	14.8	13.0	15.5
SC28-Mayo intermedio	19.7	27.0	29.7	32.5	31.3	27.8	20.6	14.2	18.7	21.4	23.4	18.8	23.8
SC29-Cumbaza	3.4	4.5	4.8	5.0	5.2	4.8	3.7	2.8	3.1	3.3	3.5	3.0	3.9
SC30-Silcayo/Mayo intermedio	5.7	7.7	8.1	9.3	8.3	8.2	6.2	4.8	5.3	5.5	6.0	5.1	6.7
SC31-Shatuyacu	0.4	0.6	0.6	0.7	0.6	0.6	0.5	0.4	0.4	0.4	0.5	0.4	0.5
SC32-Mayo intermedio	4.9	6.4	6.7	8.3	8.1	8.8	6.6	5.1	5.4	5.1	5.6	4.7	6.3

**Tabla 42. Caudales medios mensuales acumulados generados en la cuenca Mayo y en las subcuencas (m<sup>3</sup>/s) para el periodo 1965-2018**

Subcuenca	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media
<b>CUENCA MAYO</b>	<b>368.8</b>	<b>481.8</b>	<b>500.7</b>	<b>491.2</b>	<b>421.6</b>	<b>353.6</b>	<b>255.2</b>	<b>200.2</b>	<b>251.2</b>	<b>325.2</b>	<b>400.2</b>	<b>351.4</b>	<b>366.8</b>
SC01-Huasta	27.7	34.8	34.4	34.5	28.0	24.0	16.6	13.4	16.0	22.3	29.3	25.1	25.5
SC02-Serranoyacu	9.3	11.7	13.0	14.1	12.0	10.8	7.2	5.6	6.7	8.5	9.9	8.9	9.8
SC03-Amangay	2.3	2.9	2.9	2.9	2.3	2.0	1.4	1.1	1.3	1.8	2.4	2.1	2.1
SC04-R4	2.3	2.9	2.8	2.8	2.3	2.0	1.4	1.1	1.3	1.8	2.4	2.0	2.1
SC05-Mayo intermedio	52.0	65.4	65.9	67.0	55.0	47.8	32.7	26.2	31.1	42.6	55.0	47.4	49.0
SC06-Naranjos	17.6	21.9	21.3	21.7	18.1	15.6	10.2	7.7	9.1	13.0	18.4	15.3	15.8
SC07-R7	5.4	6.8	6.6	6.6	5.4	4.7	3.2	2.5	3.0	4.2	5.7	4.8	4.9
SC08-Mayo intermedio	76.5	96.1	95.8	97.3	80.1	69.4	46.9	37.2	44.1	61.1	80.8	68.9	71.2
SC09-Tumbaro	6.4	8.1	8.0	7.8	6.2	5.3	3.8	3.2	3.9	5.3	6.8	5.8	5.9
SC10-Naranjillo	14.0	17.6	17.2	17.2	14.0	12.0	8.3	6.6	7.9	11.1	14.7	12.5	12.7
SC11-Cachiyacu	6.9	8.7	8.5	8.5	7.0	6.0	4.1	3.3	3.9	5.4	7.3	6.2	6.3
SC12-Mayo intermedio	114.8	144.8	143.8	144.6	118.4	101.8	69.8	56.0	66.7	92.7	121.6	103.9	106.6
SC13-Tioyacu	4.5	5.7	5.6	5.6	4.5	3.9	2.7	2.2	2.6	3.6	4.8	4.1	4.2
SC14-Soritor	8.9	11.3	11.1	10.9	8.8	7.5	5.3	4.4	5.3	7.3	9.4	8.1	8.2
SC15-R15	8.4	10.9	10.8	10.6	8.8	7.3	5.1	4.1	5.0	7.0	9.2	7.8	7.9
SC16-Negro	23.4	29.5	30.5	28.7	26.3	21.3	18.8	16.9	20.0	23.5	27.2	24.6	24.2
SC17-Avisado	16.3	21.8	22.0	21.0	17.4	13.7	10.1	8.3	10.6	14.6	18.5	15.8	15.8
SC18-Tonchima	62.5	89.4	93.9	90.0	78.6	57.0	42.9	32.5	46.0	61.5	77.8	66.1	66.5
SC19-Huascayacu	39.5	50.9	52.5	44.5	35.9	30.6	21.3	18.4	22.0	29.5	36.4	37.2	34.9
SC20A-Mayo intermedio	282.4	369.7	375.8	360.6	302.5	246.3	178.3	144.8	180.6	243.0	308.9	271.6	272.0
SC20-Mayo intermedio	305.7	399.6	409.0	393.8	331.1	270.8	195.3	157.3	197.1	263.5	332.1	293.3	295.7
SC21-Indoche	20.4	26.2	29.3	30.0	26.0	22.3	15.5	11.2	14.9	18.4	20.6	19.0	21.2
SC22-R22	1.1	1.2	1.4	1.1	0.9	0.8	0.5	0.4	0.6	0.8	1.0	0.9	0.9
SC23-R23	1.2	1.4	1.6	1.2	1.1	0.9	0.6	0.5	0.6	0.9	1.1	1.0	1.0



«continuación»

Subcuenca	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media
SC24-Mayo intermedio	309.9	404.5	414.6	398.2	334.8	274.1	197.4	159.0	199.5	266.7	335.9	296.9	299.3
SC25-Yanayacu	3.4	3.9	4.6	3.6	3.1	2.7	1.8	1.4	1.9	2.5	3.2	2.9	2.9
SC26-Gera	7.1	9.0	10.5	11.8	10.3	9.2	6.3	4.2	5.8	6.9	7.3	6.5	7.9
SC27-Mayo intermedio	334.7	435.6	450.9	435.3	368.1	303.5	217.7	173.0	218.3	289.5	361.2	319.3	325.6
SC28-Mayo intermedio	354.4	462.7	480.6	467.9	399.4	331.3	238.2	187.2	237.0	310.8	384.6	338.1	349.3
SC29-Cumbaza	3.4	4.5	4.8	5.0	5.2	4.8	3.7	2.8	3.1	3.3	3.5	3.0	3.9
SC30-Silcayo/Mayo intermedio	9.1	12.2	12.9	14.3	13.5	12.9	9.9	7.5	8.4	8.8	9.5	8.1	10.6
SC31-Shatuyacu	368.8	481.8	500.7	491.2	421.6	353.6	255.2	200.2	251.2	325.2	400.2	351.4	366.8
SC32-Mayo intermedio	359.3	469.1	487.2	476.2	407.5	340.1	244.9	192.3	242.4	315.9	390.2	342.8	355.7

**Tabla 43. Aportaciones medias mensuales propias generadas en la cuenca Mayo y en las subcuencas (hm<sup>3</sup>) para el periodo 1965-2018**

Subcuenca	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
<b>CUENCA MAYO</b>	<b>987.9</b>	<b>1,165.6</b>	<b>1,341.1</b>	<b>1,273.1</b>	<b>1,129.1</b>	<b>916.6</b>	<b>683.5</b>	<b>536.3</b>	<b>651.1</b>	<b>870.9</b>	<b>1,037.3</b>	<b>941.1</b>	<b>11,533.6</b>
SC01-Huasta	74.2	84.2	92.2	89.3	75.0	62.3	44.4	35.9	41.4	59.7	75.9	67.1	801.7
SC02-Serranoyacu	25.0	28.2	34.8	36.6	32.2	27.9	19.4	15.0	17.3	22.8	25.8	24.0	309.0
SC03-Amangay	6.2	7.1	7.6	7.4	6.2	5.2	3.7	2.9	3.4	4.9	6.3	5.6	66.5
SC04-R4	6.1	7.0	7.5	7.3	6.2	5.2	3.6	2.9	3.3	4.8	6.2	5.5	65.6
SC05-Mayo intermedio	27.8	31.7	34.3	33.0	27.8	23.2	16.5	13.3	15.2	22.0	28.3	24.9	298.1
SC06-Naranjos	47.0	53.0	57.0	56.3	48.5	40.5	27.2	20.7	23.5	34.8	47.8	40.9	497.3
SC07-R7	14.4	16.4	17.7	17.1	14.5	12.1	8.5	6.8	7.7	11.2	14.7	12.8	154.0
SC08-Mayo intermedio	4.2	4.8	5.2	5.0	4.1	3.4	2.5	2.1	2.4	3.4	4.3	3.8	45.4
SC09-Tumbaro	17.1	19.5	21.3	20.2	16.6	13.7	10.1	8.6	10.0	14.3	17.5	15.6	184.7
SC10-Naranjillo	37.4	42.6	46.1	44.5	37.4	31.2	22.2	17.8	20.4	29.6	38.1	33.5	400.7
SC11-Cachiyacu	18.5	21.1	22.8	22.1	18.7	15.6	11.0	8.7	10.0	14.5	18.9	16.5	198.6
SC12-Mayo intermedio	29.6	34.7	38.5	35.8	29.8	23.6	18.0	15.4	18.3	26.1	31.4	28.0	329.1
SC13-Tioyacu	12.2	13.9	15.1	14.5	12.1	10.1	7.2	5.9	6.7	9.7	12.4	10.9	130.7
SC14-Soritor	23.9	27.3	29.7	28.3	23.5	19.4	14.2	11.9	13.7	19.6	24.4	21.7	257.7
SC15-R15	22.4	26.4	29.0	27.5	23.7	18.8	13.7	10.9	12.9	18.7	23.9	20.9	248.8
SC16-Negro	62.7	71.3	81.6	74.5	70.4	55.3	50.4	45.4	51.8	63.0	70.6	65.9	763.0
SC17-Avisado	43.6	52.7	59.0	54.4	46.6	35.4	27.1	22.1	27.4	39.1	47.9	42.5	497.8
SC18-Tonchima	167.4	216.3	251.4	233.3	210.6	147.8	114.8	87.0	119.3	164.8	201.7	177.1	2,091.5
SC19-Huascayacu	105.8	123.1	140.7	115.3	96.1	79.4	57.2	49.2	57.1	79.1	94.5	99.6	1,097.0
SC20A-Mayo intermedio	11.1	13.0	14.8	12.1	10.0	8.1	6.0	5.3	6.2	8.5	10.0	10.6	115.6
SC20-Mayo intermedio	7.7	8.9	10.2	8.3	6.8	5.7	4.1	3.6	4.1	5.7	6.8	7.3	79.3
SC21-Indoche	54.7	63.4	78.6	77.8	69.7	57.8	41.5	29.9	38.7	49.3	53.4	50.9	665.7
SC22-R22	2.8	3.0	3.8	2.9	2.5	2.1	1.5	1.2	1.5	2.1	2.5	2.5	28.5
SC23-R23	3.1	3.4	4.2	3.2	2.8	2.4	1.6	1.3	1.7	2.3	2.7	2.7	31.6

«continuación»

<b>Subcuenca</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>	<b>Total</b>
SC24-Mayo intermedio	5.2	5.4	7.1	5.3	4.6	3.8	2.7	2.2	2.9	4.0	4.7	4.5	52.4
SC25-Yanayacu	9.1	9.6	12.4	9.4	8.3	6.9	4.7	3.8	4.9	6.8	8.2	7.9	91.9
SC26-Gera	19.0	21.7	28.0	30.6	27.6	23.8	16.9	11.4	15.2	18.4	19.0	17.4	249.1
SC27-Mayo intermedio	38.5	44.1	56.7	56.3	53.3	45.5	32.5	22.2	28.8	35.8	38.5	34.8	487.1
SC28-Mayo intermedio	52.7	65.4	79.5	84.3	83.9	72.1	55.1	38.1	48.5	57.3	60.6	50.2	747.6
SC29-Cumbaza	9.1	10.8	12.8	13.0	13.8	12.4	9.8	7.5	8.0	8.9	9.0	8.0	123.2
SC30-Silcayo/Mayo intermedio	15.2	18.6	21.7	24.1	22.3	21.2	16.6	12.8	13.8	14.7	15.6	13.8	210.3
SC31-Shatuyacu	1.1	1.4	1.6	1.8	1.6	1.6	1.2	1.0	1.0	1.1	1.2	1.0	15.5
SC32-Mayo intermedio	13.2	15.5	17.9	21.5	21.7	22.8	17.7	13.8	13.9	13.7	14.5	12.7	198.9

**Tabla 44. Aportaciones medias mensuales acumuladas generadas en la cuenca Mayo y en las subcuencas (hm<sup>3</sup>) para el periodo 1965-2018**

Subcuenca	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
<b>CUENCA MAYO</b>	<b>987.9</b>	<b>1,165.6</b>	<b>1,341.1</b>	<b>1,273.1</b>	<b>1,129.1</b>	<b>916.6</b>	<b>683.5</b>	<b>536.3</b>	<b>651.1</b>	<b>870.9</b>	<b>1,037.3</b>	<b>941.1</b>	<b>11,533.6</b>
SC01-Huasta	74.2	84.2	92.2	89.3	75.0	62.3	44.4	35.9	41.4	59.7	75.9	67.1	801.7
SC02-Serranoyacu	25.0	28.2	34.8	36.6	32.2	27.9	19.4	15.0	17.3	22.8	25.8	24.0	309.0
SC03-Amangay	6.2	7.1	7.6	7.4	6.2	5.2	3.7	2.9	3.4	4.9	6.3	5.6	66.5
SC04-R4	6.1	7.0	7.5	7.3	6.2	5.2	3.6	2.9	3.3	4.8	6.2	5.5	65.6
SC05-Mayo intermedio	139.3	158.2	176.5	173.7	147.4	123.8	87.5	70.1	80.6	114.2	142.6	127.0	1,540.9
SC06-Naranjos	47.0	53.0	57.0	56.3	48.5	40.5	27.2	20.7	23.5	34.8	47.8	40.9	497.3
SC07-R7	14.4	16.4	17.7	17.1	14.5	12.1	8.5	6.8	7.7	11.2	14.7	12.8	154.0
SC08-Mayo intermedio	204.9	232.4	256.5	252.1	214.6	179.9	125.7	99.6	114.3	163.7	209.3	184.6	2,237.5
SC09-Tumbaro	17.1	19.5	21.3	20.2	16.6	13.7	10.1	8.6	10.0	14.3	17.5	15.6	184.7
SC10-Naranjillo	37.4	42.6	46.1	44.5	37.4	31.2	22.2	17.8	20.4	29.6	38.1	33.5	400.7
SC11-Cachiyacu	18.5	21.1	22.8	22.1	18.7	15.6	11.0	8.7	10.0	14.5	18.9	16.5	198.6
SC12-Mayo intermedio	307.5	350.4	385.3	374.7	317.1	264.0	187.0	150.1	173.0	248.2	315.2	278.2	3,350.6
SC13-Tioyacu	12.2	13.9	15.1	14.5	12.1	10.1	7.2	5.9	6.7	9.7	12.4	10.9	130.7
SC14-Soritor	23.9	27.3	29.7	28.3	23.5	19.4	14.2	11.9	13.7	19.6	24.4	21.7	257.7
SC15-R15	22.4	26.4	29.0	27.5	23.7	18.8	13.7	10.9	12.9	18.7	23.9	20.9	248.8
SC16-Negro	62.7	71.3	81.6	74.5	70.4	55.3	50.4	45.4	51.8	63.0	70.6	65.9	763.0
SC17-Avisado	43.6	52.7	59.0	54.4	46.6	35.4	27.1	22.1	27.4	39.1	47.9	42.5	497.8
SC18-Tonchima	167.4	216.3	251.4	233.3	210.6	147.8	114.8	87.0	119.3	164.8	201.7	177.1	2,091.5
SC19-Huascayacu	105.8	123.1	140.7	115.3	96.1	79.4	57.2	49.2	57.1	79.1	94.5	99.6	1,097.0
SC20A-Mayo intermedio	756.5	894.4	1,006.5	934.6	810.1	638.4	477.5	387.7	468.0	650.8	800.6	727.4	8,552.6
SC20-Mayo intermedio	818.8	966.7	1,095.3	1,020.7	886.7	702.0	523.1	421.2	510.9	705.8	860.8	785.5	9,297.6
SC21-Indoche	54.7	63.4	78.6	77.8	69.7	57.8	41.5	29.9	38.7	49.3	53.4	50.9	665.7
SC22-R22	2.8	3.0	3.8	2.9	2.5	2.1	1.5	1.2	1.5	2.1	2.5	2.5	28.5
SC23-R23	3.1	3.4	4.2	3.2	2.8	2.4	1.6	1.3	1.7	2.3	2.7	2.7	31.6

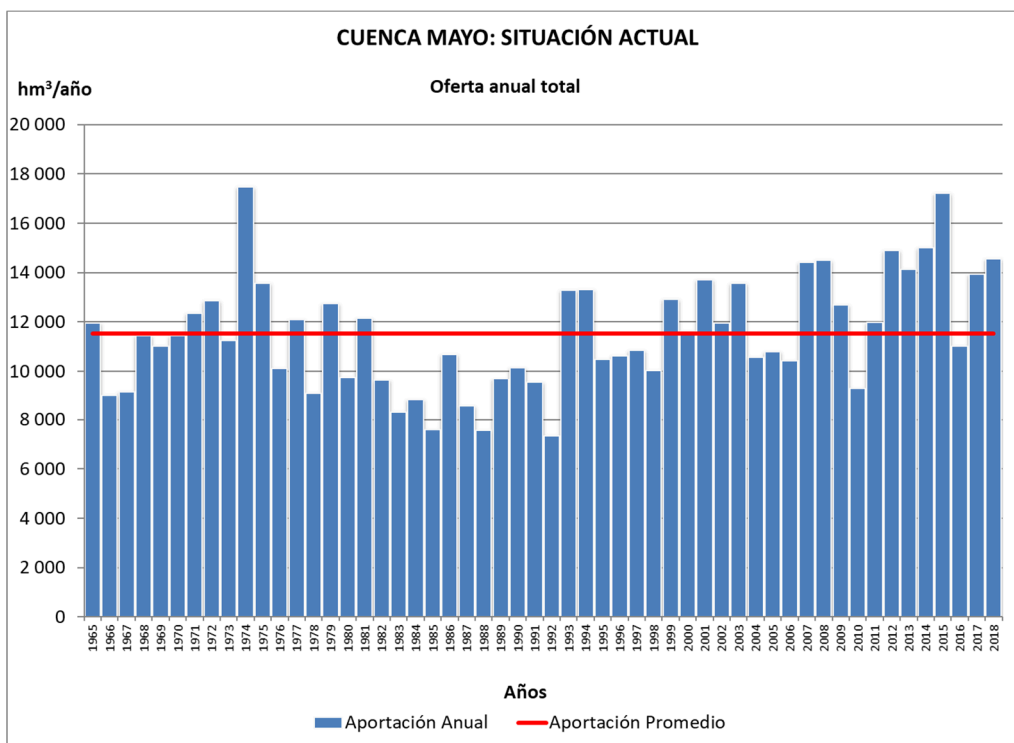
«continuación»

Subcuenca	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
SC24-Mayo intermedio	829.9	978.5	1,110.5	1,032.1	896.7	710.3	528.8	425.9	517.0	714.2	870.7	795.2	9,410.0
SC25-Yanayacu	9.1	9.6	12.4	9.4	8.3	6.9	4.7	3.8	4.9	6.8	8.2	7.9	91.9
SC26-Gera	19.0	21.7	28.0	30.6	27.6	23.8	16.9	11.4	15.2	18.4	19.0	17.4	249.1
SC27-Mayo intermedio	896.6	1,053.9	1,207.6	1,128.4	985.9	786.6	583.0	463.3	565.9	775.3	936.3	855.3	10,238.1
SC28-Mayo intermedio	949.2	1,119.3	1,287.1	1,212.7	1,069.8	858.7	638.1	501.4	614.4	832.5	996.9	905.6	10,985.7
SC29-Cumbaza	9.1	10.8	12.8	13.0	13.8	12.4	9.8	7.5	8.0	8.9	9.0	8.0	123.2
SC30-Silcayo/Mayo intermedio	24.3	29.4	34.6	37.1	36.1	33.5	26.5	20.2	21.8	23.6	24.6	21.8	333.6
SC31-Shatuyacu	987.9	1,165.6	1,341.1	1,273.1	1,129.1	916.6	683.5	536.3	651.1	870.9	1,037.3	941.1	11,533.6
SC32-Mayo intermedio	962.5	1,134.8	1,305.0	1,234.2	1,091.5	881.5	655.9	515.1	628.3	846.2	1,011.4	918.2	11,184.6

Con respecto a la oferta propio de cada subcuenca o parcial, en la Tabla 41 y Tabla 43 se puede observar que las subcuencas de mayor oferta hídrica corresponden a las subcuencas SC18-Tonchima y SC19-Huascayacu con valores de  $66.5 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $2,091.5 \text{ hm}^3/\text{año}$ ) y  $34.9 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $1,097 \text{ hm}^3/\text{año}$ ) respectivamente.

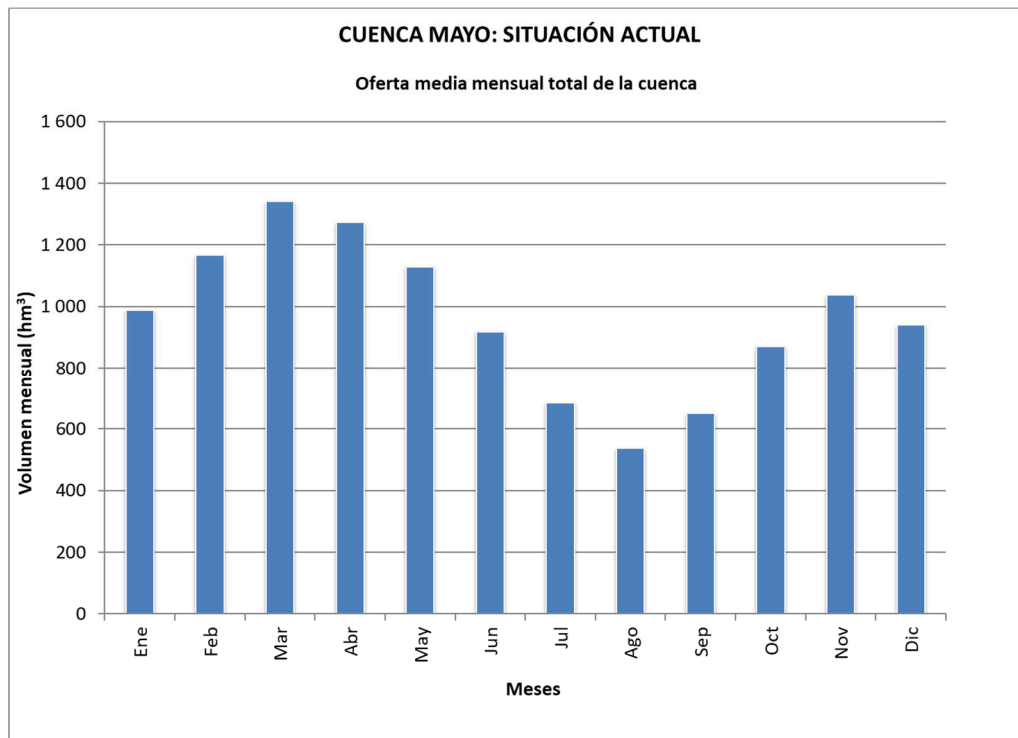
Con respecto a la oferta acumulada, en la Tabla 42 se observa que la cuenca Mayo posee un **caudal medio mensual de  $366.8 \text{ m}^3/\text{s}$** , cuyo valor volumétrico de **aportación anual es de  $11,533.6 \text{ hm}^3/\text{año}$**  (ver Tabla 44).

De la Tabla 44, se obtiene la siguiente figura que muestra las aportaciones anuales de la cuenca Mayo para el periodo 1965-2018, donde claramente se puede visualizar la variabilidad de años secos y años húmedos; es decir los años en que la precipitación o el caudal es significativamente inferior o superior a lo normal; y además se visualiza el valor promedio de oferta natural anual (línea roja) en la cuenca Mayo.



**Figura 37. Oferta natural anual ( $\text{hm}^3$ ) de la cuenca Mayo para el periodo 1965-2018.**

En la siguiente figura se detalla los valores de aportaciones promedio anuales de la cuenca Mayo para el periodo 1965-2018.



**Figura 38. Oferta natural mensual (hm<sup>3</sup>) de la cuenca Mayo para el periodo 1965-2018.**

En la Figura 38 Distribución media mensual de aportaciones en la cuenca Mayo y de los niveles de precipitación en la cuenca se puede determinar que este río presenta régimen hidrológico bimodal. Con base a los datos históricos 1965 - 2018 el río Mayo presenta dos periodos de creciente. El primer periodo es más pronunciado y ocurre en los meses de febrero, marzo, abril y mayo, con el pico en el mes de marzo donde el agua alcanza el nivel promedio de 1350 hm<sup>3</sup>; el segundo pico de creciente se presenta en el mes de noviembre donde la precipitación alcanza los 1040 hm<sup>3</sup>. El periodo de vaciante ocurre entre los meses de julio, agosto y setiembre, con el nivel más bajo en el mes de agosto donde el promedio es de 540 hm<sup>3</sup>. Cabe indicar que un régimen hidrológico bimodal presenta dos estaciones secas y dos estaciones de lluvias al año, lo que puede influir en la agricultura, la disponibilidad de agua potable, la generación de energía hidroeléctrica y la biodiversidad, siendo necesario planificar en función a las estaciones de lluvia y secas para maximizar su producción.

#### 4.1.8.2 Oferta hídrica futura por subcuencas

##### 4.1.8.2.1 Oferta hídrica futura con escenario de cambio climático RCP 4.5 por subcuencas

Los resultados de la oferta hídrica futura con cambio climático RCP 4.5 de cada una de las 33 subcuencas se presentan en la Tabla 45 y Tabla 46 y cuyo detalle se presenta en el Anexo 7. Caudales medios mensuales parciales con cambio climático RCP 4.5 por subcuencas ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) para el periodo 1965-2080 y Anexo 8. Caudales medios mensuales acumulados con cambio climático RCP 4.5 por subcuencas ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) para el periodo 1965-2080.



**Tabla 45. Caudales medios mensuales acumulados con cambio climático RCP 4.5 generados en la cuenca Mayo y en las subcuencas (m<sup>3</sup>/s) para el periodo 1965-2080**

Subcuenca	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media	Desviación Estándar	Mediana	Max	Min	Cuartil 75%	Cuartil 25%	Coefficiente Varianza
<b>CUENCA MAYO</b>	<b>360.4</b>	<b>494.7</b>	<b>519.4</b>	<b>524.3</b>	<b>437.5</b>	<b>392.9</b>	<b>276.9</b>	<b>224.6</b>	<b>271.8</b>	<b>313.3</b>	<b>383.4</b>	<b>358.7</b>	<b>379.8</b>	<b>99.4</b>	<b>124.1</b>	<b>524.3</b>	<b>224.6</b>	<b>480.4</b>	<b>286.0</b>	<b>0.3</b>
SC01-Huasta	22.4	31.4	33.9	35.6	29.2	26.5	17.7	13.9	16.4	19.2	23.9	22.4	24.4	7.1	23.2	35.6	13.9	30.8	18.1	0.3
SC02-Serranoyacu	11.3	15.8	17.0	17.8	14.5	13.1	8.9	7.0	8.3	9.8	12.1	11.3	12.3	3.5	16.7	17.8	7.0	15.5	9.1	0.3
SC03-Amangay	1.9	2.6	2.9	3.0	2.5	2.2	1.5	1.2	1.4	1.6	2.0	1.9	2.0	0.6	5.0	3.0	1.2	2.6	1.5	0.3
SC04-R4	1.9	2.7	2.8	3.0	2.4	2.2	1.5	1.2	1.4	1.6	2.0	1.9	2.1	0.6	2.0	3.0	1.2	2.6	1.5	0.3
SC05-Mayo intermedio	46.5	64.9	69.6	72.8	59.4	53.8	36.1	28.6	33.9	39.7	49.5	46.2	50.1	14.4	15.8	72.8	28.6	63.5	37.0	0.3
SC06-Naranjos	15.2	21.0	21.7	22.9	18.9	17.1	11.0	8.4	9.9	11.7	15.7	14.4	15.6	4.8	25.8	22.9	8.4	20.4	11.1	0.3
SC07-R7	4.6	6.3	6.7	7.0	5.7	5.1	3.5	2.7	3.3	3.8	4.8	4.5	4.8	1.4	7.7	7.0	2.7	6.2	3.5	0.3
SC08-Mayo intermedio	67.8	94.2	100.0	104.6	85.5	77.4	51.5	40.7	48.1	56.4	71.4	66.5	72.0	20.9	23.8	104.6	40.7	92.0	52.7	0.3
SC09-Tumbaro	6.0	8.1	8.0	7.9	6.2	5.5	3.9	3.4	4.2	4.8	6.2	5.7	5.8	1.6	24.4	8.1	3.4	7.5	4.4	0.3
SC10-Naranjillo	12.8	17.4	17.4	17.7	14.2	12.8	8.7	7.2	8.7	10.1	13.1	12.1	12.7	3.6	8.1	17.7	7.2	16.6	9.1	0.3
SC11-Cachiyacu	6.1	8.4	8.6	8.9	7.2	6.5	4.4	3.5	4.2	4.9	6.3	5.8	6.2	1.8	8.7	8.9	3.5	8.1	4.5	0.3
SC12-Mayo intermedio	103.2	142.5	148.5	153.3	124.3	112.0	75.5	61.0	72.9	85.3	108.4	100.6	107.3	30.5	34.9	153.3	61.0	138.0	78.0	0.3
SC13-Tioyacu	4.0	5.5	5.7	5.8	4.7	4.2	2.9	2.4	2.8	3.3	4.2	3.9	4.1	1.2	33.4	5.8	2.4	5.3	3.0	0.3
SC14-Soritor	8.5	11.4	11.2	11.1	8.8	7.8	5.5	4.8	5.8	6.7	8.7	8.0	8.2	2.3	5.6	11.4	4.8	10.6	6.0	0.3
SC15-R15	7.7	10.7	10.9	11.0	8.9	7.8	5.4	4.4	5.4	6.4	8.4	7.7	7.9	2.2	7.9	11.0	4.4	10.3	5.7	0.3
SC16-Negro	23.8	30.1	30.5	29.0	25.9	22.4	19.2	17.4	20.5	22.9	27.3	25.6	24.6	4.3	14.2	30.5	17.4	28.6	21.0	0.2
SC17-Avisado	14.7	20.8	21.9	21.6	17.5	15.1	10.7	8.8	11.2	13.3	16.5	15.4	15.6	4.3	20.6	21.9	8.8	20.0	11.7	0.3
SC18-Tonchima	61.3	87.5	91.7	89.2	74.0	61.8	43.7	34.7	45.4	54.9	71.2	65.4	65.1	18.6	28.3	91.7	34.7	84.1	47.8	0.3
SC19-Huascayacu	38.2	51.8	54.6	51.9	41.4	36.9	25.7	21.7	25.9	31.2	38.6	37.6	38.0	10.8	48.6	54.6	21.7	49.2	27.2	0.3
SC20A-Mayo intermedio	265.7	366.2	381.1	378.2	309.6	271.7	191.1	157.4	192.8	227.4	287.6	268.3	274.7	74.8	106.0	381.1	157.4	352.0	201.5	0.3
SC20-Mayo intermedio	290.4	398.6	415.6	410.9	336.5	295.5	207.6	170.9	209.5	247.0	311.2	291.5	298.8	81.6	289.0	415.6	170.9	383.1	218.9	0.3

«continuación»

Subcuenca	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media	Desviación Estándar	Mediana	Max	Min	Cuartil 75%	Cuartil 25%	Coefficiente Varianza
SC21-Indoche	21.7	28.5	30.5	29.2	24.2	21.5	14.7	12.0	14.8	17.3	20.8	20.3	21.3	6.0	100.7	30.5	12.0	27.4	15.5	0.3
SC22-R22	1.1	1.4	1.5	1.3	1.0	0.9	0.6	0.5	0.7	0.8	1.0	1.0	1.0	0.3	6.7	1.5	0.5	1.2	0.7	0.3
SC23-R23	1.3	1.6	1.7	1.5	1.2	1.0	0.7	0.6	0.7	0.9	1.1	1.1	1.1	0.4	1.0	1.7	0.6	1.4	0.8	0.3
SC24-Mayo intermedio	294.9	404.2	421.5	415.8	340.5	299.1	210.0	173.1	212.1	250.1	315.0	295.3	302.6	82.7	87.4	421.5	173.1	388.3	221.6	0.3
SC25-Yanayacu	3.6	4.6	4.9	4.4	3.6	3.3	2.2	1.8	2.2	2.6	3.3	3.2	3.3	1.0	89.0	4.9	1.8	4.2	2.3	0.3
SC26-Gera	7.3	9.3	10.3	10.8	9.5	8.6	5.9	4.4	5.6	6.1	6.6	6.5	7.6	2.1	4.8	10.8	4.4	9.5	5.9	0.3
SC27-Mayo intermedio	320.2	437.4	458.1	454.8	374.6	330.2	231.1	188.8	231.6	271.7	338.7	318.6	329.6	89.7	99.8	458.1	188.8	421.7	241.6	0.3
SC28-Mayo intermedio	340.2	466.6	489.7	490.2	406.2	359.9	251.9	204.5	250.7	292.6	361.7	339.1	354.4	95.4	338.9	490.2	204.5	451.5	262.1	0.3
SC29-Cumbaza	8.4	11.9	12.6	14.0	12.9	13.2	10.0	8.0	8.6	8.6	8.8	8.1	10.4	2.3	109.3	14.0	8.0	12.8	8.5	0.2
SC30-Silcayo/Mayo intermedio	14.1	19.9	21.1	23.7	21.4	22.0	16.7	13.3	14.3	14.2	14.8	13.6	17.4	3.9	13.5	23.7	13.3	21.4	14.1	0.2
SC31-Shatuyacu	360.4	494.7	519.4	524.3	437.5	392.9	276.9	224.6	271.8	313.3	383.4	358.7	379.8	99.4	124.1	524.3	224.6	480.4	286.0	0.3
SC32-Mayo intermedio	345.9	474.3	497.7	499.9	415.5	370.3	259.7	210.9	257.1	298.7	368.2	344.8	361.9	96.2	364.3	499.9	210.9	459.6	269.5	0.3

**Tabla 46. Aportaciones medias mensuales acumuladas con cambio climático RCP 4.5 generadas en la cuenca Mayo y en las subcuencas (hm<sup>3</sup>) para el periodo 1965-2080**

Subcuenca	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total	Media	Desviación Estándar	Mediana	Max	Min	Cuartil 75%	Cuartil 25%	Coefficiente Varianza
<b>CUENCA MAYO</b>	<b>965.2</b>	<b>1196.8</b>	<b>1391.1</b>	<b>1358.9</b>	<b>1171.8</b>	<b>1018.5</b>	<b>741.7</b>	<b>601.6</b>	<b>704.6</b>	<b>839.1</b>	<b>993.9</b>	<b>960.8</b>	<b>11943.9</b>	<b>995.3</b>	<b>250.7</b>	<b>331.5</b>	<b>1391.1</b>	<b>601.6</b>	<b>1190.6</b>	<b>766.1</b>	<b>0.3</b>
SC01-Huasta	60.0	76.0	90.9	92.3	78.1	68.6	47.4	37.2	42.5	51.5	62.0	59.9	766.4	63.9	17.9	61.0	92.3	37.2	77.6	48.4	0.3
SC02-Serranoyacu	30.3	38.2	45.6	46.3	38.9	34.0	23.7	18.8	21.6	26.2	31.4	30.4	385.6	32.1	8.9	44.1	46.3	18.8	38.7	24.4	0.3
SC03-Amangay	5.1	6.4	7.6	7.8	6.6	5.8	4.0	3.1	3.6	4.3	5.2	5.0	64.4	5.4	1.5	13.3	7.8	3.1	6.5	4.1	0.3
SC04-R4	5.2	6.5	7.6	7.7	6.5	5.7	3.9	3.1	3.6	4.3	5.3	5.1	64.6	5.4	1.5	5.2	7.7	3.1	6.5	4.0	0.3

«continuación»

Subcuenca	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total	Media	Desviación Estándar	Mediana	Max	Min	Cuartil 75%	Cuartil 25%	Coefficiente Varianza
SC05-Mayo intermedio	124.5	157.0	186.5	188.7	159.0	139.4	96.8	76.7	87.9	106.4	128.2	123.9	1575.1	131.3	36.4	42.2	188.7	76.7	158.5	99.2	0.3
SC06-Naranjos	40.8	50.7	58.0	59.3	50.7	44.4	29.3	22.6	25.6	31.4	40.6	38.5	491.9	41.0	12.2	68.0	59.3	22.6	50.7	29.8	0.3
SC07-R7	12.2	15.4	17.9	18.1	15.2	13.3	9.3	7.4	8.4	10.2	12.5	12.0	151.8	12.7	3.5	20.3	18.1	7.4	15.3	9.5	0.3
SC08-Mayo intermedio	181.5	227.9	267.7	271.2	229.0	200.7	138.0	108.9	124.6	151.1	185.2	178.1	2263.9	188.7	53.1	63.5	271.2	108.9	228.7	141.3	0.3
SC09-Tumbaro	16.1	19.6	21.4	20.6	16.6	14.4	10.5	9.2	10.9	13.0	16.0	15.3	183.6	15.3	4.0	65.2	21.4	9.2	18.9	11.4	0.3
SC10-Naranjillo	34.2	42.0	46.7	45.9	38.1	33.3	23.4	19.4	22.5	27.0	33.9	32.3	398.6	33.2	9.0	21.0	46.7	19.4	41.0	24.3	0.3
SC11-Cachiyacu	16.3	20.2	23.1	23.1	19.4	17.0	11.8	9.5	10.9	13.2	16.3	15.7	196.3	16.4	4.5	22.8	23.1	9.5	20.0	12.1	0.3
SC12-Mayo intermedio	276.3	344.8	397.9	397.3	332.8	290.2	202.3	163.3	189.0	228.4	281.0	269.5	3372.7	281.1	77.1	93.2	397.9	163.3	341.8	208.8	0.3
SC13-Tioyacu	10.6	13.3	15.2	15.1	12.6	11.0	7.7	6.3	7.3	8.8	10.8	10.3	129.1	10.8	2.9	89.3	15.2	6.3	13.1	8.0	0.3
SC14-Soritor	22.7	27.7	30.1	28.9	23.5	20.3	14.7	12.8	15.1	18.0	22.5	21.4	257.7	21.5	5.6	14.9	30.1	12.8	26.6	15.8	0.3
SC15-R15	20.8	26.0	29.3	28.4	23.9	20.3	14.4	11.7	14.1	17.1	21.7	20.6	248.2	20.7	5.6	21.1	29.3	11.7	25.5	15.1	0.3
SC16-Negro	63.8	72.9	81.8	75.1	69.5	58.1	51.4	46.5	53.1	61.4	70.8	68.5	772.9	64.4	10.6	37.9	81.8	46.5	72.4	54.4	0.2
SC17-Avisado	39.5	50.3	58.7	56.0	46.8	39.1	28.7	23.7	29.0	35.6	42.8	41.1	491.3	40.9	10.8	52.3	58.7	23.7	49.4	30.7	0.3
SC18-Tonchima	164.1	211.6	245.6	231.3	198.1	160.3	116.9	93.0	117.7	147.1	184.7	175.1	2045.6	170.5	47.1	75.9	245.6	93.0	208.2	125.1	0.3
SC19-Huascayacu	102.3	125.4	146.3	134.6	110.9	95.7	68.9	58.2	67.1	83.5	100.0	100.7	1193.6	99.5	27.3	121.6	146.3	58.2	121.8	72.6	0.3
SC20A-Mayo intermedio	711.6	885.9	1020.7	980.2	829.1	704.2	512.0	421.6	499.7	609.1	745.5	718.7	8638.1	719.8	188.7	283.9	1020.7	421.6	871.7	536.2	0.3
SC20-Mayo intermedio	777.7	964.4	1113.2	1065.0	901.3	766.0	556.0	457.9	542.9	661.6	806.6	780.6	9393.3	782.8	205.8	755.7	1113.2	457.9	948.6	582.4	0.3
SC21-Indoche	58.2	69.0	81.8	75.7	64.8	55.6	39.5	32.0	38.4	46.4	53.8	54.3	669.6	55.8	15.3	269.8	81.8	32.0	68.0	41.2	0.3
SC22-R22	3.1	3.4	4.0	3.3	2.7	2.3	1.6	1.4	1.7	2.1	2.5	2.6	30.9	2.6	0.8	18.0	4.0	1.4	3.2	1.8	0.3
SC23-R23	3.4	3.9	4.5	3.8	3.1	2.7	1.9	1.7	1.9	2.4	2.9	3.1	35.3	2.9	0.9	2.7	4.5	1.7	3.7	2.0	0.3
SC24-Mayo intermedio	789.8	977.9	1129.0	1077.8	912.0	775.2	562.5	463.5	549.6	669.9	816.5	791.0	9514.8	792.9	208.7	234.0	1129.0	463.5	961.4	589.4	0.3
SC25-Yanayacu	9.7	11.2	13.2	11.5	9.7	8.5	5.9	4.9	5.7	7.0	8.4	8.6	104.3	8.7	2.5	238.4	13.2	4.9	10.8	6.2	0.3
SC26-Gera	19.4	22.6	27.7	28.1	25.4	22.4	15.7	11.8	14.4	16.3	17.0	17.5	238.5	19.9	5.3	12.5	28.1	11.8	24.7	15.9	0.3
SC27-Mayo intermedio	857.6	1058.1	1226.8	1179.0	1003.4	855.8	619.1	505.7	600.3	727.6	877.8	853.4	10364.7	863.7	226.6	266.9	1226.8	505.7	1044.5	646.2	0.3
SC28-Mayo intermedio	911.2	1128.8	1311.6	1270.6	1087.9	932.7	674.7	547.7	649.8	783.7	937.6	908.1	11144.3	928.7	240.9	893.0	1311.6	547.7	1118.5	702.0	0.3

«continuación»

Subcuenca	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total	Media	Desviación Estándar	Mediana	Max	Min	Cuartil 75%	Cuartil 25%	Coefficiente Varianza
SC29-Cumbaza	22.5	28.7	33.7	36.4	34.5	34.1	26.9	21.4	22.2	23.0	22.9	21.8	328.2	27.4	5.8	292.0	36.4	21.4	34.0	22.3	0.2
SC30-Silcayo/Mayo intermedio	37.7	48.1	56.5	61.4	57.4	57.0	44.8	35.8	37.0	38.1	38.4	36.4	548.7	45.7	9.9	36.1	61.4	35.8	56.9	37.2	0.2
SC31-Shatuyacu	965.2	1196.8	1391.1	1358.9	1171.8	1018.5	741.7	601.6	704.6	839.1	993.9	960.8	11943.9	995.3	250.7	331.5	1391.1	601.6	1190.6	766.1	0.3
SC32-Mayo intermedio	926.4	1147.4	1333.1	1295.8	1112.8	959.8	695.7	564.7	666.5	800.0	954.4	923.4	11380.0	948.3	242.9	960.3	1333.1	564.7	1138.8	721.7	0.3

#### 4.1.8.2.2 Oferta hídrica futura con escenario de cambio climático RCP 8.5 por subcuencas

Los resultados de la oferta hídrica futura con cambio climático RCP 8.5 de cada una de las 33 subcuencas se presentan en la Tabla 47 y Tabla 48 y cuyo detalle se presenta en el Anexo 9. Caudales medios mensuales parciales con cambio climático RCP 8.5 por subcuencas ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) para el periodo 1965-2080 y Anexo 10. Caudales medios mensuales acumulados con cambio climático RCP 8.5 por subcuencas ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) para el periodo 1965-2080.

**Tabla 47. Caudales medios mensuales acumulados con cambio climático RCP 8.5 generados en la cuenca Mayo y en las subcuencas (m<sup>3</sup>/s) para el periodo 1965-2080**

Subcuenca	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media	Desviación Estándar	Mediana	Max	Min	Cuartil 75%	Cuartil 25%	Coefficiente Varianza
<b>CUENCA MAYO</b>	<b>396.3</b>	<b>574.9</b>	<b>611.8</b>	<b>569.8</b>	<b>462.1</b>	<b>399.6</b>	<b>271.8</b>	<b>215.8</b>	<b>270.6</b>	<b>324.8</b>	<b>413.3</b>	<b>385.5</b>	<b>408.0</b>	<b>128.1</b>	<b>121.3</b>	<b>611.8</b>	<b>215.8</b>	<b>542.9</b>	<b>285.0</b>	<b>0.3</b>
SC01-Huasta	25.1	36.8	40.0	38.8	30.8	26.8	17.3	13.2	16.2	19.8	25.9	24.2	26.2	8.9	25.5	40.0	13.2	35.3	17.9	0.3
SC02-Serranoyacu	12.7	18.4	20.0	19.4	15.3	13.3	8.7	6.7	8.2	10.1	13.1	12.3	13.2	4.4	17.9	20.0	6.7	17.6	9.0	0.3
SC03-Amangay	2.1	3.1	3.4	3.3	2.6	2.2	1.5	1.1	1.4	1.7	2.2	2.0	2.2	0.8	5.0	3.4	1.1	3.0	1.5	0.3
SC04-R4	2.1	3.1	3.4	3.2	2.6	2.2	1.4	1.1	1.4	1.7	2.2	2.0	2.2	0.7	2.2	3.4	1.1	3.0	1.5	0.3
SC05-Mayo intermedio	51.8	75.8	81.9	79.2	62.6	54.4	35.3	27.2	33.5	41.0	53.4	49.9	53.8	18.2	15.3	81.9	27.2	72.5	36.7	0.3
SC06-Naranjos	16.8	24.4	25.6	24.8	19.8	17.2	10.7	8.0	9.7	12.0	16.9	15.4	16.8	6.0	26.4	25.6	8.0	23.2	11.0	0.4
SC07-R7	5.1	7.4	7.9	7.6	6.0	5.2	3.4	2.6	3.2	3.9	5.2	4.8	5.2	1.8	7.9	7.9	2.6	7.0	3.5	0.3
SC08-Mayo intermedio	75.3	109.8	117.7	113.7	89.9	78.2	50.3	38.6	47.4	58.1	77.0	71.5	77.3	26.5	23.2	117.7	38.6	104.9	52.3	0.3
SC09-Tumbaro	6.4	9.2	9.3	8.5	6.4	5.6	3.8	3.3	4.2	5.0	6.5	5.9	6.2	2.0	23.9	9.3	3.3	8.0	4.4	0.3
SC10-Naranjillo	13.8	19.9	20.4	19.1	14.8	12.9	8.5	6.9	8.6	10.3	13.9	12.7	13.5	4.5	8.5	20.4	6.9	18.0	9.0	0.3
SC11-Cachiyacu	6.7	9.7	10.1	9.6	7.6	6.6	4.3	3.4	4.2	5.0	6.8	6.2	6.7	2.3	9.1	10.1	3.4	9.1	4.5	0.3
SC12-Mayo intermedio	113.5	165.0	174.2	165.9	130.3	113.0	73.8	58.1	72.0	87.7	116.4	107.4	114.8	38.7	34.1	174.2	58.1	156.3	77.2	0.3
SC13-Tioyacu	4.4	6.3	6.7	6.3	4.9	4.3	2.8	2.3	2.8	3.4	4.5	4.1	4.4	1.5	32.4	6.7	2.3	6.0	3.0	0.3
SC14-Soritor	9.1	13.0	13.0	11.9	9.1	7.9	5.4	4.6	5.8	6.9	9.2	8.3	8.7	2.8	6.0	13.0	4.6	11.2	6.0	0.3
SC15-R15	8.4	12.3	12.8	11.8	9.3	7.9	5.3	4.2	5.4	6.6	9.0	8.2	8.4	2.8	8.4	12.8	4.2	11.2	5.7	0.3
SC16-Negro	24.8	33.0	33.7	30.3	26.6	22.6	19.0	17.1	20.6	23.5	29.0	26.8	25.6	5.3	14.9	33.7	17.1	30.0	21.1	0.2
SC17-Avisado	16.1	24.0	25.5	23.3	18.3	15.3	10.5	8.5	11.2	13.8	17.8	16.5	16.7	5.4	21.6	25.5	8.5	22.1	11.8	0.3
SC18-Tonchima	66.9	101.2	106.7	96.3	77.6	62.7	42.6	33.2	45.4	57.2	77.6	70.6	69.8	23.5	29.4	106.7	33.2	91.6	48.3	0.3
SC19-Huascayacu	41.6	59.8	64.0	56.3	43.9	37.5	25.2	20.8	25.7	32.3	41.3	40.2	40.7	13.8	50.8	64.0	20.8	53.2	27.3	0.3
SC20A-Mayo intermedio	289.4	421.2	443.5	407.6	324.5	274.7	187.0	150.8	191.5	234.8	309.4	286.6	293.4	94.9	107.4	443.5	150.8	386.9	202.4	0.3
SC20-Mayo intermedio	316.6	459.1	484.7	443.2	353.2	299.0	203.2	163.9	208.1	255.4	334.9	311.7	319.4	103.7	304.2	484.7	163.9	420.7	219.9	0.3
SC21-Indoche	24.0	33.4	36.5	31.8	25.7	21.9	14.5	11.5	14.8	18.2	22.6	22.1	23.1	7.8	100.2	36.5	11.5	30.3	15.6	0.3
SC22-R22	1.2	1.7	1.8	1.4	1.1	0.9	0.6	0.5	0.7	0.8	1.1	1.1	1.1	0.4	6.6	1.8	0.5	1.3	0.7	0.4

«continuación»

Subcuenca	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media	Desviación Estándar	Mediana	Max	Min	Cuartil 75%	Cuartil 25%	Coefficiente Varianza
SC23-R23	1.4	1.9	2.0	1.6	1.2	1.1	0.7	0.6	0.7	0.9	1.2	1.2	1.2	0.4	1.1	2.0	0.6	1.5	0.8	0.4
SC24-Mayo intermedio	321.6	465.5	491.7	448.6	357.5	302.6	205.5	165.9	210.7	258.7	339.1	315.9	323.6	105.2	84.0	491.7	165.9	425.8	222.7	0.3
SC25-Yanayacu	4.0	5.4	5.9	4.9	3.9	3.3	2.2	1.8	2.2	2.7	3.5	3.5	3.6	1.3	85.9	5.9	1.8	4.6	2.3	0.4
SC26-Gera	8.2	11.2	12.7	11.9	10.1	8.8	5.8	4.3	5.6	6.5	7.2	7.2	8.3	2.7	5.5	12.7	4.3	10.9	5.9	0.3
SC27-Mayo intermedio	350.1	505.2	536.6	491.4	393.7	334.3	226.2	181.1	230.2	281.4	364.8	341.4	353.0	114.5	96.9	536.6	181.1	467.0	243.0	0.3
SC28-Mayo intermedio	373.6	541.5	575.5	530.7	427.4	364.6	246.5	196.1	249.2	303.2	389.8	364.0	380.2	122.3	364.3	575.5	196.1	504.9	262.7	0.3
SC29-Cumbaza	9.3	13.8	15.1	15.8	14.1	13.8	10.1	7.8	8.6	8.9	9.5	8.8	11.3	2.9	106.0	15.8	7.8	14.0	8.8	0.3
SC30-Silcayo/Mayo intermedio	15.7	23.2	25.3	26.7	23.4	23.0	16.7	12.9	14.4	14.7	15.9	14.8	18.9	5.0	14.5	26.7	12.9	23.4	14.7	0.3
SC31-Shatuyacu	396.3	574.9	611.8	569.8	462.1	399.6	271.8	215.8	270.6	324.8	413.3	385.5	408.0	128.1	121.3	611.8	215.8	542.9	285.0	0.3
SC32-Mayo intermedio	380.2	551.1	585.8	542.3	438.1	375.9	254.6	202.5	255.8	309.6	396.8	370.3	388.6	123.8	390.9	585.8	202.5	516.3	269.3	0.3

**Tabla 48. Aportaciones medias mensuales acumuladas con cambio climático RCP 8.5 generadas en la cuenca Mayo y en las subcuencas (hm<sup>3</sup>) para el periodo 1965-2080.**

Subcuenca	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total	Media	Desviación Estándar	Mediana	Max	Min	Cuartil 75%	Cuartil 25%	Coefficiente Varianza
<b>CUENCA MAYO</b>	<b>1061.5</b>	<b>1390.9</b>	<b>1638.6</b>	<b>1477.0</b>	<b>1237.8</b>	<b>1035.6</b>	<b>728.0</b>	<b>578.0</b>	<b>701.3</b>	<b>869.8</b>	<b>1071.2</b>	<b>1032.4</b>	<b>12822.2</b>	<b>1068.5</b>	<b>324.4</b>	<b>323.6</b>	<b>1638.6</b>	<b>578.0</b>	<b>1352.6</b>	<b>763.4</b>	<b>0.3</b>
SC01-Huasta	67.2	89.0	107.1	100.6	82.4	69.3	46.3	35.3	42.0	53.1	67.0	64.9	824.2	68.7	22.7	67.1	107.1	35.3	87.4	48.0	0.3
SC02-Serranoyacu	33.9	44.6	53.6	50.3	41.0	34.4	23.2	17.9	21.4	27.1	33.9	32.9	414.1	34.5	11.3	45.5	53.6	17.9	43.7	24.2	0.3
SC03-Amangay	5.6	7.5	9.0	8.5	6.9	5.8	3.9	3.0	3.5	4.5	5.6	5.4	69.3	5.8	1.9	13.4	9.0	3.0	7.3	4.0	0.3
SC04-R4	5.7	7.6	9.0	8.4	6.8	5.8	3.9	3.0	3.5	4.5	5.7	5.5	69.2	5.8	1.9	5.7	9.0	3.0	7.4	4.0	0.3
SC05-Mayo intermedio	138.8	183.4	219.4	205.2	167.6	140.9	94.6	72.8	86.8	109.7	138.4	133.7	1691.3	140.9	46.3	40.9	219.4	72.8	179.4	98.4	0.3
SC06-Naranjos	45.1	59.0	68.6	64.3	53.0	44.6	28.6	21.5	25.1	32.2	43.7	41.2	526.8	43.9	15.3	70.7	68.6	21.5	57.5	29.5	0.3
SC07-R7	13.6	17.9	21.1	19.6	16.0	13.5	9.0	7.0	8.3	10.5	13.4	12.9	162.7	13.6	4.5	21.3	21.1	7.0	17.4	9.4	0.3
SC08-Mayo intermedio	201.7	265.7	315.2	294.6	240.9	202.7	134.8	103.4	122.8	155.6	199.7	191.6	2428.6	202.4	67.2	62.2	315.2	103.4	259.5	140.0	0.3

«continuación»

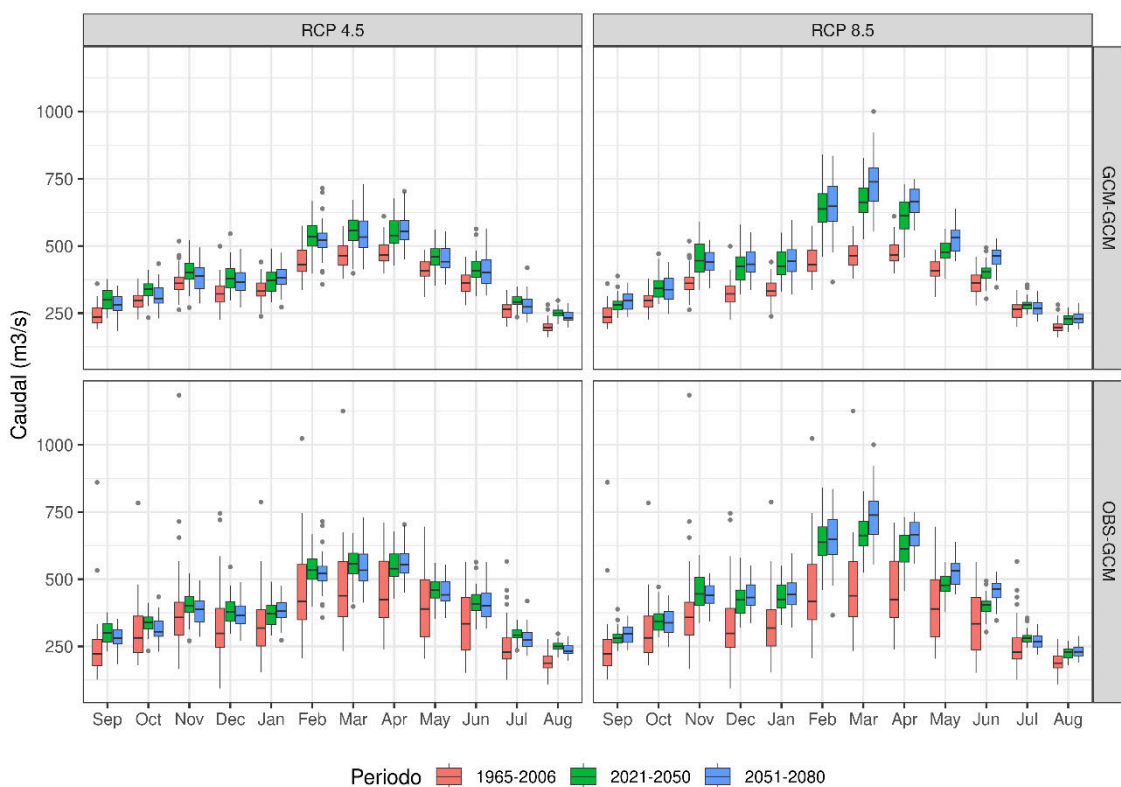
Subcuenca	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total	Media	Desviación Estándar	Mediana	Max	Min	Cuartil 75%	Cuartil 25%	Coefficiente Varianza
SC09-Tumbaro	17.3	22.2	24.9	22.0	17.2	14.5	10.2	8.9	10.8	13.3	16.9	15.8	194.0	16.2	5.0	64.1	24.9	8.9	20.8	11.4	0.3
SC10-Naranjillo	37.0	48.1	54.6	49.4	39.7	33.5	22.8	18.5	22.2	27.7	36.1	34.0	423.6	35.3	11.4	22.2	54.6	18.5	46.0	24.0	0.3
SC11-Cachiyacu	17.8	23.4	27.1	25.0	20.3	17.1	11.5	9.0	10.8	13.5	17.5	16.7	209.7	17.5	5.7	23.1	27.1	9.0	22.6	12.0	0.3
SC12-Mayo intermedio	304.1	399.1	466.7	430.0	349.0	292.9	197.6	155.5	186.6	234.9	301.8	287.6	3605.8	300.5	98.0	91.3	466.7	155.5	386.6	206.9	0.3
SC13-Tioyacu	11.7	15.3	17.8	16.3	13.2	11.1	7.6	6.0	7.3	9.1	11.5	11.0	137.8	11.5	3.7	86.7	17.8	6.0	14.8	7.9	0.3
SC14-Soritor	24.3	31.3	34.9	30.9	24.4	20.4	14.3	12.3	14.9	18.4	23.9	22.3	272.4	22.7	7.1	15.1	34.9	12.3	29.3	15.8	0.3
SC15-R15	22.6	29.9	34.2	30.6	25.0	20.5	14.1	11.2	13.9	17.7	23.3	21.8	264.7	22.1	7.1	22.4	34.2	11.2	28.6	15.0	0.3
SC16-Negro	66.4	79.9	90.1	78.5	71.3	58.5	50.8	45.8	53.4	63.0	75.0	71.7	804.6	67.0	13.2	40.0	90.1	45.8	77.6	54.7	0.2
SC17-Avisado	43.2	58.1	68.3	60.4	49.1	39.6	28.1	22.6	29.0	36.8	46.2	44.2	525.7	43.8	13.8	55.7	68.3	22.6	55.8	31.0	0.3
SC18-Tonchima	179.3	244.7	285.7	249.5	207.9	162.4	114.2	89.0	117.6	153.1	201.2	189.2	2193.8	182.8	59.5	78.6	285.7	89.0	235.5	126.5	0.3
SC19-Huascayacu	111.5	144.7	171.5	145.8	117.6	97.2	67.5	55.7	66.5	86.4	107.0	107.7	1279.3	106.6	35.1	131.2	171.5	55.7	137.9	72.2	0.3
SC20A-Mayo intermedio	775.2	1018.9	1187.8	1056.6	869.3	711.9	500.9	404.0	496.4	629.0	801.9	767.7	9219.7	768.3	240.1	287.8	1187.8	404.0	981.5	532.9	0.3
SC20-Mayo intermedio	848.1	1110.5	1298.1	1148.8	945.9	774.9	544.1	439.0	539.4	684.0	868.1	834.8	10035.8	836.3	262.4	788.6	1298.1	439.0	1069.4	579.1	0.3
SC21-Indoche	64.4	80.8	97.8	82.4	68.8	56.7	38.7	30.8	38.3	48.7	58.4	59.1	724.9	60.4	19.9	268.4	97.8	30.8	77.8	41.2	0.3
SC22-R22	3.3	4.0	4.8	3.6	2.9	2.4	1.6	1.4	1.7	2.2	2.7	2.9	33.5	2.8	1.0	17.8	4.8	1.4	3.5	1.8	0.4
SC23-R23	3.7	4.5	5.4	4.1	3.3	2.8	1.9	1.6	1.9	2.5	3.1	3.3	38.1	3.2	1.1	2.9	5.4	1.6	4.0	2.0	0.4
SC24-Mayo intermedio	861.3	1126.3	1317.0	1162.8	957.4	784.4	550.5	444.5	546.1	692.8	878.9	846.0	10167.9	847.3	266.3	224.9	1317.0	444.5	1084.0	586.1	0.3
SC25-Yanayacu	10.8	13.1	15.8	12.6	10.4	8.6	5.8	4.7	5.6	7.4	9.2	9.3	113.3	9.4	3.3	230.1	15.8	4.7	12.1	6.2	0.4
SC26-Gera	22.0	27.0	34.1	30.9	27.0	22.9	15.4	11.4	14.4	17.3	18.6	19.3	260.3	21.7	6.9	13.8	34.1	11.4	27.0	15.9	0.3
SC27-Mayo intermedio	937.8	1222.2	1437.1	1273.8	1054.4	866.6	605.9	485.1	596.7	753.7	945.6	914.5	11093.5	924.5	290.1	259.6	1437.1	485.1	1180.2	642.8	0.3
SC28-Mayo intermedio	1000.8	1310.0	1541.5	1375.6	1144.9	944.9	660.2	525.2	645.9	812.2	1010.2	975.0	11946.4	995.5	309.9	945.3	1541.5	525.2	1268.7	698.2	0.3
SC29-Cumbaza	25.0	33.4	40.4	41.0	37.7	35.6	26.9	20.8	22.3	23.7	24.6	23.6	355.2	29.6	7.5	283.1	41.0	20.8	37.2	23.6	0.3
SC30-Silcayo/Mayo intermedio	42.0	56.2	67.8	69.3	62.7	59.6	44.8	34.7	37.2	39.4	41.3	39.5	594.4	49.5	12.7	38.5	69.3	34.7	61.9	39.4	0.3
SC31-Shatuyacu	1061.5	1390.9	1638.6	1477.0	1237.8	1035.6	728.0	578.0	701.3	869.8	1071.2	1032.4	12822.2	1068.5	324.4	323.6	1638.6	578.0	1352.6	763.4	0.3
SC32-Mayo intermedio	1018.3	1333.2	1569.0	1405.7	1173.4	974.3	681.8	542.3	663.0	829.3	1028.6	991.8	12210.7	1017.6	313.5	1030.5	1569.0	542.3	1293.2	718.7	0.3



#### 4.1.8.2.3 Comparativo de oferta futura con respecto a la serie histórica

Se presenta un análisis comparativo entre los resultados de la oferta futura con respecto a la oferta histórica (valores observados) y resultados de los modelos climáticos para el periodo correspondiente al 1965-2006, para dicho análisis se ha considerado dos periodos de oferta futura: un periodo futuro cercano (2021-2050) y futuro lejano (2051-2080).

A continuación, se presenta la comparación de los caudales mensuales, resultantes del promedio de cada periodo, para lo cual se ha optado la utilización de diagramas de cajas o boxplots.



**Figura 39. Diagrama de cajas de caudales mensuales promedio de la cuenca Mayo**

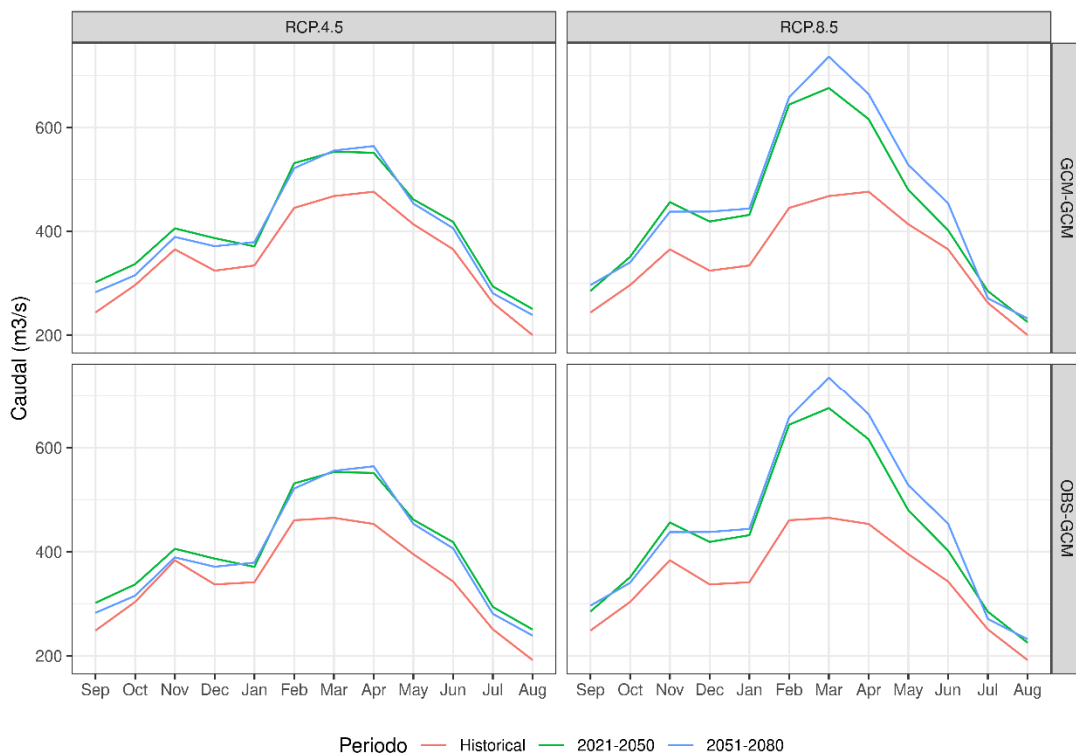
Correspondientes a 3 periodos: i) Histórico (1965-2006), ii) Futuro cercano (2021-2050) y iii) Futuro lejano (2051-2080)

Nota: Estos periodos futuros están bajo dos escenarios de cambio climático RCP 4.5 y RCP 8.5. Los resultados se agruparon en función a la fuente de los datos: históricos observados - futuros GCM (OBS-GCM), e históricos GCM - futuros GCM (GCM-GCM).

En la parte superior de la Figura 39 muestra el comparativo de los caudales medios mensuales obtenidos de los modelos de cambio climático GCM para los periodos analizados:

1965-2006; 2021-2050 y 2051-2080. En la parte inferior de la misma figura se muestra dicho comparativo pero vinculando los valores observados en el periodo 1965-2006 con respecto a los resultados obtenidos de los modelos de cambio climático para los periodos 2021-2050 y 2051-2080. En todos los comparativos presentados se evidencia claramente los incrementos de los caudales medios mensuales para los 2021-2050 y 2051-2080, siendo más pronunciado el incremento para el periodo 2051-2080 del escenario RCP 8.5.

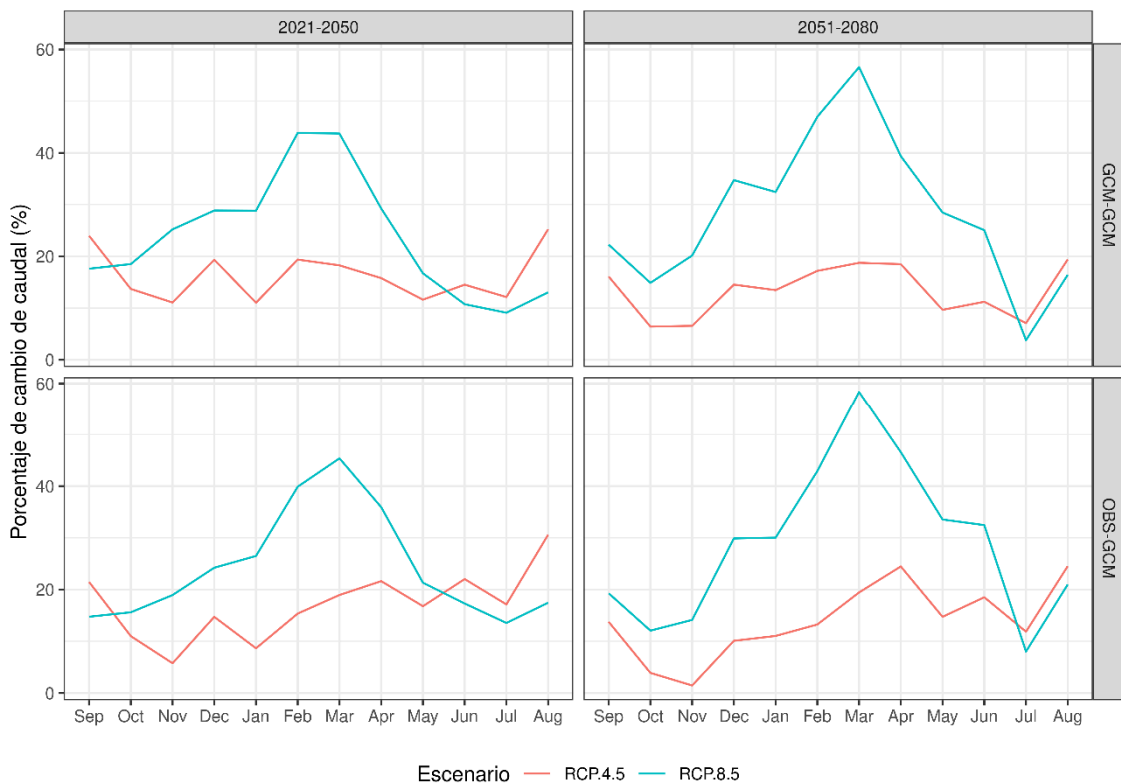
Se observa que durante todos los meses hay una clara señal hacia el incremento considerando las proyecciones de los dos horizontes, bajo los dos escenarios RCP 4.5 y 8.5. Este incremento es mayor durante los meses de marzo y abril, alcanzando los 550 m<sup>3</sup>/s bajo el escenario RCP 4.5 y los 750 m<sup>3</sup>/s bajo el escenario RCP 8.5. El aumento de los caudales tiene una mayor diferencia en el periodo 2051-2080 (50 m<sup>3</sup>/s), frente al 2021-2050 (15 m<sup>3</sup>/s). En la Figura 40 se muestra el comparativo de los caudales mensuales promedio de la cuenca Mayo correspondientes a 3 periodos analizados para los dos escenarios de cambio climático RCP 4.5 y RCP 8.5 y en la Figura 41 muestra el cambio porcentualmente de los caudales mensuales promedio de la cuenca Mayo, con respecto al periodo histórico y resultados de los modelos climáticos para el periodo 1965-2006.



**Figura 40. Series de tiempo de la mediana de los caudales mensuales promedio de la cuenca Mayo** Correspondientes a 3 periodos: i) Histórico (1965-2006), ii) Futuro cercano (2021-2050) y iii) Futuro lejano (2051-2080).

Nota: Estos períodos futuros están bajo dos escenarios de cambio climático RCP 4.5 y RCP 8.5. Los resultados se agruparon en función a la fuente de los datos: históricos observados - futuros GCM (OBS-GCM), e históricos GCM - futuros GCM (GCM-GCM).

La evaluación del cambio porcentual, parte de la comparación de los incrementos y disminuciones de caudales mensuales promedio en la cuenca Mayo. Se ha realizado a partir de los caudales mensuales obtenidos para el periodo presente (1965-2006) y los periodos futuros (2021- 2050 y 2051-2080) de los GCM seleccionados. Por ello, se han desarrollado diagramas de caja para identificar el impacto del cambio climático en la cuenca de estudio (Figura 39). En el cambio porcentual en los caudales, se observan incrementos durante todos los meses, en el rango de 2 por ciento a 22 por ciento durante noviembre y abril, respectivamente, bajo el escenario RCP 4.5. Por otro lado, el escenario RCP 8.5, muestra mayores incrementos en el mes de marzo con cambios de 45 por ciento a 58 por ciento para los periodos 2021-2050 y 2051-2080, respectivamente.



**Figura 41. Porcentaje de cambio de los caudales mensuales promedio de la cuenca Mayo**

Comparando el periodo Histórico (1965-2006) con los periodos Futuro cercano (2021-2050) y Futuro lejano (2051-2080).

Nota: Estos periodos futuros corresponden a dos escenarios de cambio climático RCP 4.5 y RCP 8.5. Los resultados se agruparon en función a la fuente de los datos: históricos observados - futuros GCM (OBS-GCM), e históricos GCM - futuros GCM (GCM-GCM).

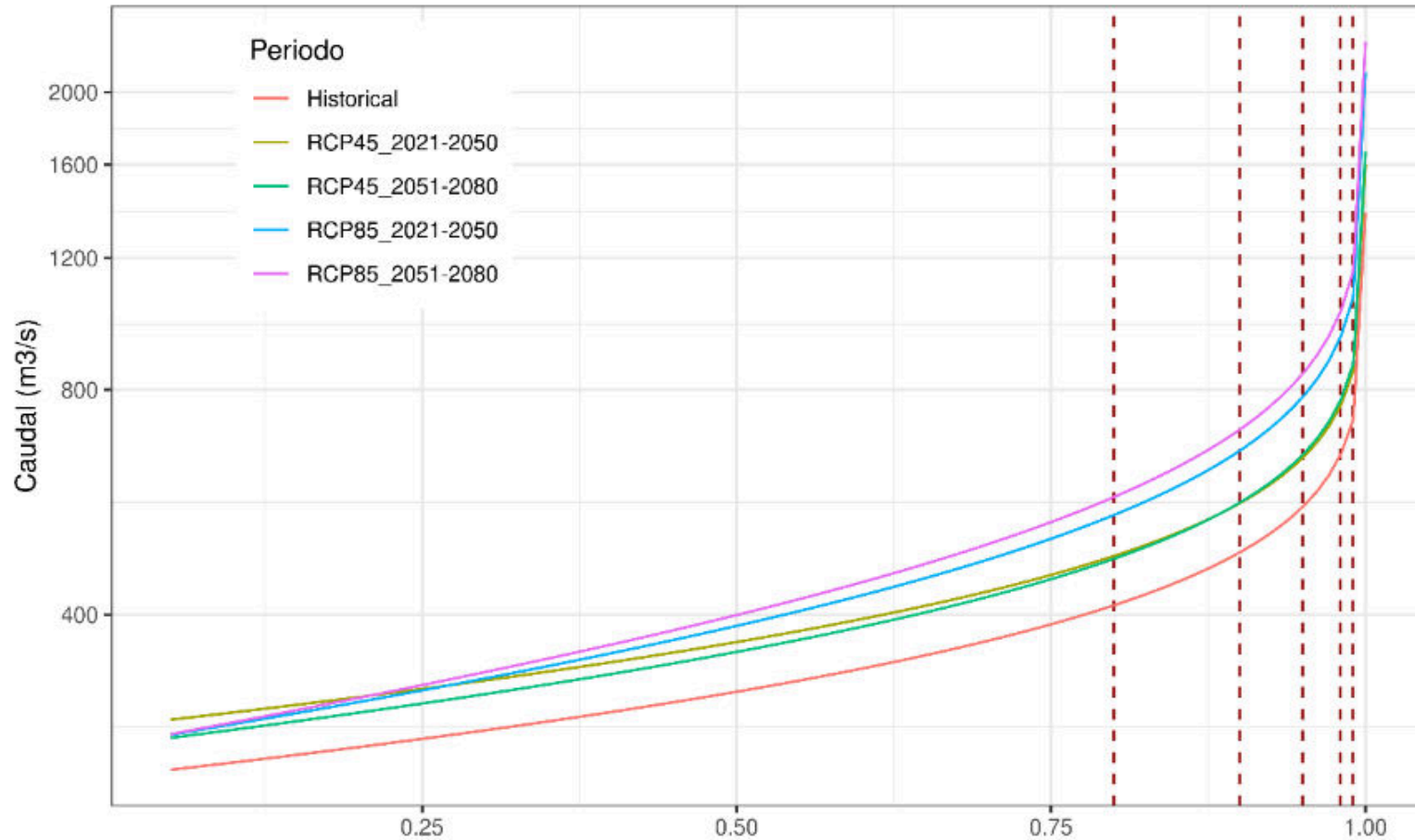
En base a los resultados de la oferta hídrica futura con cambio climático para los dos periodos analizados (2021-2050 y 2051-2080) se presenta las variaciones con respecto a la oferta hídrica histórica correspondiente al periodo 1965-2006.

**Tabla 49. Variación de la oferta hídrica de la cuenca Mayo por efectos del cambio climático**

Hipótesis de oferta Futura	Caudal media anual (m <sup>3</sup> /s)	Variación
Oferta Histórica (1965-2006)	347.73	-
Oferta futura cercana RCP 4.5 (2021-2050)	405.07	16%
Oferta futura lejana RCP 4.5 (2051-2080)	396.38	14%
Oferta futura cercana RCP 8.5 (2021-2050)	439.16	26%
Oferta futura lejana RCP 8.5 (2051-2080)	458.24	32%

Según la Tabla 49, la oferta hídrica por efecto del cambio climático se incrementará y será mayor a medida que se prolonga el tiempo y aumenta el RCP. Tal es así que para el periodo 2021-2050, incrementará 16 por ciento y 26 por ciento para el RCP 4.5 y RCP 8.5, respectivamente. El incremento será mucho mayor para el periodo 2051-2080, aumentando 14 por ciento (RCP 4.5) y 32 por ciento (RCP 8.5), respectivamente. Es decir, habrá incremento de la oferta hídrica en cualquier escenario futuro con cambio climático que contribuye a la reducción de los déficits, sin embargo, otro aspecto a evaluar es el posible impacto por inundaciones, que podrían afectar la disponibilidad hídrica y calidad de los recursos hídricos y como consecuencia la posible disminución de la producción y productividad de los cultivos que constituyen una amenaza a la seguridad alimentaria del ámbito de la cuenca Mayo.

Finalizando la presente sección, se incluye distribución acumuladas de caudales promedio mensuales de la cuenca Mayo, correspondientes a 3 periodos analizados en el análisis comparativo (Ver Figura 42).



**Figura 42. Funciones de distribución acumuladas de caudales promedio mensuales de la cuenca Mayo**

Correspondientes a 3 periodos: i) Histórico (1965-2006), ii) Futuro cercano (2021-2050) y iii) Futuro lejano (2051-2080).

Nota: Estos periodos futuros están bajo dos escenarios de cambio climático RCP 4.5 y RCP 8.5. Las líneas rojas indican el tiempo de retorno de los años 5, 10, 20, 50 y 100 (de izquierda a derecha).

La Figura 42, muestra un comparativo de las distribuciones acumuladas de los caudales promedio mensuales analizados para tres periodos, todas ellas se ajustan a una distribución exponencial.

Para el periodo actual (línea color rojo), la probabilidad de que ocurra un caudal medio igual o menor a 600 m<sup>3</sup>/s es de 90 por ciento, en contraposición la probabilidad de que exceda dicho valor es el 10 por ciento. Para el caso del periodo 2051-2080 RCP 8.5 (línea color morado), la probabilidad de que ocurra un caudal medio igual o menor al mencionado es de 79 por ciento, mientras que la probabilidad de ocurrencia de caudales medios superiores al mencionado es de 21 por ciento.

Considerando el ejemplo dado, se prevé que se duplique la probabilidad de ocurrencia de dicho valor (600 m<sup>3</sup>/s) para el escenario 2051-2080 RCP 8.5 con respecto a la situación actual.

#### 4.1.8.3 Caudal ecológico al 95 por ciento de persistencia

Los resultados del Caudal ecológico calculado al 95 por ciento de persistencia para cada una de las 33 subcuencas de la cuenca Mayo se presentan en la Tabla 50.

**Tabla 50. Caudales ecológicos al 95 por ciento de persistencia en las subcuencas de la cuenca Mayo (m<sup>3</sup>/s) considerados para la situación actual y futura**

Subcuenca	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media
SC01-Huasta	8.1	10.9	9.7	13.2	11.9	9.7	7.5	6.7	7.8	8.9	7.6	8.5	9.2
SC02-Serranoyacu	3.4	5.2	5.2	6.6	5.6	5.9	4.2	3.6	3.9	4.4	4.4	4.2	4.7
SC03-Amangay	0.6	0.9	0.8	1.0	1.0	0.8	0.6	0.5	0.6	0.7	0.6	0.7	0.7
SC04-R4	0.6	0.8	0.7	1.0	0.9	0.8	0.6	0.5	0.6	0.7	0.6	0.6	0.7
SC05-Mayo intermedio	17.0	21.8	19.9	26.3	23.4	20.9	15.5	14.1	15.8	18.2	15.6	17.2	18.8
SC06-Naranjos	4.4	6.1	5.2	7.3	7.1	6.2	4.6	3.8	4.1	4.7	4.2	4.6	5.2
SC07-R7	1.4	2.0	1.7	2.3	2.2	1.8	1.4	1.2	1.4	1.6	1.4	1.5	1.7
SC08-Mayo intermedio	23.3	30.2	27.2	36.9	33.7	29.4	22.1	19.5	21.8	24.9	21.5	23.8	26.2
SC09-Tumbaro	1.9	2.6	2.3	3.0	2.6	1.9	1.6	1.6	1.7	2.0	1.8	2.0	2.1
SC10-Naranjillo	3.8	5.3	4.6	6.2	5.7	4.6	3.6	3.0	3.6	3.8	3.6	4.0	4.3
SC11-Cachiyacu	1.8	2.6	2.2	3.0	2.8	2.3	1.8	1.6	1.8	2.0	1.8	2.0	2.1
SC12-Mayo intermedio	34.7	45.8	41.6	55.9	50.1	41.7	31.7	28.7	32.9	37.9	32.5	35.9	39.1
SC13-Tioyacu	1.2	1.7	1.5	2.0	1.9	1.5	1.2	1.0	1.2	1.4	1.2	1.3	1.4
SC14-Soritor	2.6	3.5	3.1	4.1	3.7	2.8	2.2	2.1	2.3	2.8	2.5	2.7	2.9
SC15-R15	3.1	3.9	3.9	4.7	4.0	3.0	2.2	2.1	2.4	2.8	2.9	2.7	3.1
SC16-Negro	15.4	18.8	19.4	18.3	17.4	14.9	13.6	13.8	13.4	14.2	17.8	15.5	16.0
SC17-Avisado	7.4	9.0	10.6	11.1	8.0	6.1	4.4	4.8	5.2	5.9	6.9	7.4	7.2
SC18-Tonchima	26.6	36.7	44.5	40.8	36.8	26.4	18.7	19.2	16.9	22.1	35.2	27.0	29.3
SC19-Huascayacu	16.5	18.9	23.0	20.0	16.1	11.9	11.3	10.4	10.8	15.4	16.5	12.9	15.3

«continuación»

Subcuenca	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media
SC20A-Mayo intermedio	133.0	166.8	201.6	190.1	147.5	122.4	88.0	93.6	100.6	121.2	154.5	127.4	137.2
SC20-Mayo intermedio	142.6	178.4	222.2	205.2	162.5	135.4	97.2	102.7	112.3	136.2	170.9	136.8	150.2
SC21-Indoche	6.5	9.9	12.4	11.9	11.9	10.4	8.3	6.4	5.8	7.0	8.9	6.1	8.8
SC22-R22	0.3	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3
SC23-R23	0.4	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.3	0.3	0.3
SC24-Mayo intermedio	144.5	180.2	224.4	207.3	163.9	136.7	98.9	103.4	114.4	138.6	172.6	138.5	151.9
SC25-Yanayacu	0.5	0.9	0.6	0.6	0.7	0.8	0.6	0.5	0.5	0.4	0.5	0.4	0.6
SC26-Gera	1.8	2.5	2.1	3.4	4.1	3.9	3.0	2.3	2.0	1.6	1.9	1.7	2.5
SC27-Mayo intermedio	151.7	188.2	241.8	229.8	178.7	150.8	110.8	111.4	122.9	158.3	182.5	149.5	164.7
SC28-Mayo intermedio	157.2	205.8	262.6	270.9	198.4	179.5	120.4	126.1	130.8	177.0	194.0	158.4	181.8
SC29-Cumbaza	1.6	1.6	2.4	2.1	2.2	2.4	1.9	1.5	1.6	1.6	1.5	1.7	1.8
SC30-Silcayo/Mayo intermedio	4.6	4.9	6.7	6.7	7.1	6.7	5.2	4.6	4.5	5.0	4.6	4.5	5.4
SC31-Shatuyacu	166.6	225.3	277.4	287.8	226.0	192.2	131.3	134.3	142.6	189.2	206.7	168.4	195.6
SC32-Mayo intermedio	160.2	213.1	268.9	277.8	207.2	184.7	124.7	130.0	135.7	181.7	198.1	161.4	187.0

#### 4.1.9 Modelo de gestión – Balance hídrico

##### 4.1.9.1 Balance hídrico situación actual - Cuenca Mayo

Los resultados de los Balances Hídricos en situación actual se presentan en las Tabla 51 y Tabla 52, cuya información corresponde al balance medio anual correspondiente al periodo analizado desde 1965-2018.

La Tabla 51, resume el balance hídrico a nivel unidades hidrográficas de la cuenca del río Mayo, la cual posee una oferta natural de 11,533.63 hm<sup>3</sup>, una demanda multisectorial de 1,536.62 hm<sup>3</sup>, de los cuales hay un déficit de 7.23 hm<sup>3</sup> y retorno proveniente de las demandas servidas por un volumen total de 774.59 hm<sup>3</sup>.

De la Tabla 52 se concluye lo siguiente:

- Los resultados del balance hídrico para la situación actual dan como resultado un déficit medio anual de 7.23 hm<sup>3</sup> asociados a los usos agrícolas y otros usos existentes en la cuenca.
- Todas las demandas poblacionales de la cuenca Mayo se sirven con confiabilidad máxima del 100 por ciento, es decir, no existe déficit en el suministro para este tipo de demandas.
- Para el caso de las demandas agrícolas, a nivel de toda la cuenca Mayo existe un déficit medio anual de 7.22 hm<sup>3</sup>, el cual se encuentra localizado en las Unidades Hidrográficas: Cuenca Alto Mayo (498449) y Cuenca Cumbaza 498442, con valores 5.85 y 1.37 hm<sup>3</sup> respectivamente.

- Todas las demandas agrícolas poseen una confiabilidad de suministro por encima del umbral permitido (para uso agrícola no menor al 80 por ciento), inclusive en aquellas unidades hidrográficas donde se identificó déficit (Alto Mayo y Cumbaza) las confiabilidades no bajan del 98.7 por ciento.
- Para el caso de las demandas para otros usos, a nivel de toda la cuenca Mayo existe un déficit medio anual de  $0.01 \text{ hm}^3$ , el cual se encuentra localizado en la unidad hidrográfica Cuenca Cumbaza 498442.

La siguiente Figura 43 representa los volúmenes de demanda total anual servida y de déficit (color rojo) para el periodo 1965-2018, donde se evidencia claramente déficits identificados durante el periodo de análisis.



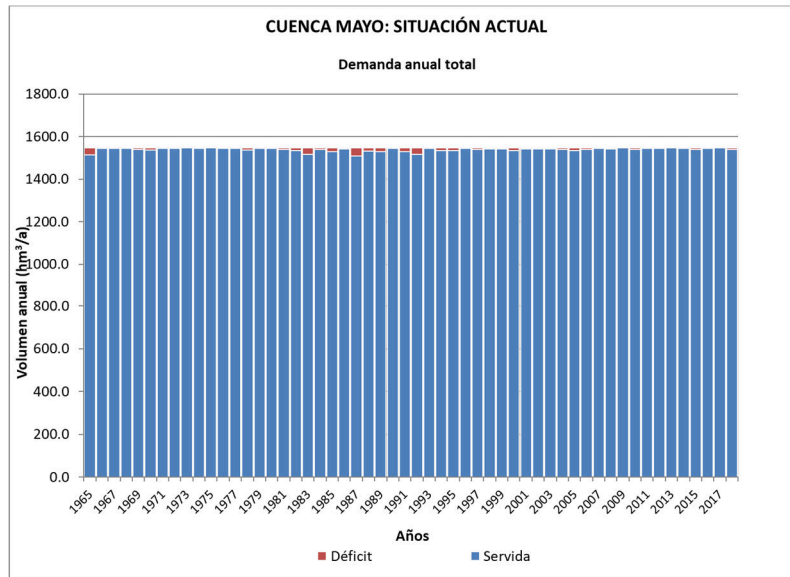
**Tabla 51. Balance medio anual (hm<sup>3</sup>) de las Unidades Hidrográficas Nivel 6 de la Cuenca Mayo: Situación Actual**

Unidad Hidrográfica Nivel 6	Oferta natural	Entrada de aguas arriba	Demanda Poblacional		Demanda agrícola		Demanda Otros Usos		Retornos	Salida a aguas abajo
			Servida	Déficit	Servida	Déficit	Servida	Déficit		
Cuenca Alto Mayo (498449)	4,750.76	0.00	6.004	0.000	444.327	5.855	0.867	0.000	226.37	4,525.93
Cuenca Tonchima 498448	2,091.47	0.00	6.932	0.000	156.686	0.000	0.024	0.000	83.20	2,011.02
Intercuenca Mayo 498447	497.76	0.00	0.037	0.000	97.010	0.000	0.000	0.000	48.53	449.24
Cuenca Huascayacu 498446	1,096.98	0.00	0.000	0.000	13.973	0.000	0.000	0.000	6.99	1,089.99
Intercuenca Mayo 498445	115.61	8,076.18	0.000	0.000	8.399	0.000	0.000	0.000	4.20	8,187.59
Cuenca Indoche 498444	665.73	0.00	0.421	0.000	19.996	0.000	0.007	0.000	10.29	655.60
Intercuenca Mayo 498443	1,966.25	8,843.19	3.354	0.000	646.876	0.000	0.001	0.000	325.60	10,484.80
Cuenca Cumbaza 498442	333.55	0.00	12.952	0.000	120.535	1.366	0.094	0.007	69.33	269.31
Intercuenca Bajo Mayo 498441	15.52	10,754.11	0.126	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.09	10,769.59
<b>CUENCA TOTAL</b>	<b>11,533.63</b>	<b>-</b>	<b>29.825</b>	<b>0.000</b>	<b>1,507.802</b>	<b>7.221</b>	<b>0.993</b>	<b>0.007</b>	<b>774.59</b>	<b>-</b>

**Tabla 52. Confiabilidad de suministro de las demandas de la Cuenca Mayo: Situación Actual**

Unidad Hidrográfica Nivel 6	Demanda Poblacional						Demanda Agrícola						Demanda Otros Usos					
	Demanda (hm <sup>3</sup> /año)			Confiabilidad			Demanda (hm <sup>3</sup> /año)			Confiabilidad			Demanda (hm <sup>3</sup> /año)			Confiabilidad		
	Total	Servida	Déficit	Anual	Mensual	Volum.	Total	Servida	Déficit	Anual	Mensual	Volum.	Total	Servida	Déficit	Anual	Mensual	Volum.
Cuenca Alto Mayo (498449)	6.00	6.00	0.00	100.0%	100.0%	100.0%	450.18	444.33	5.85	100.0%	98.8%	98.7%	0.87	0.87	0.00	100.0%	100.0%	100.0%
Cuenca Tonchima 498448	6.93	6.93	0.00	100.0%	100.0%	100.0%	156.69	156.69	0.00	100.0%	100.0%	100.0%	0.02	0.02	0.00	100.0%	100.0%	100.0%
Intercuenca Mayo 498447	0.04	0.04	0.00	100.0%	100.0%	100.0%	97.01	97.01	0.00	100.0%	100.0%	100.0%	0.00	0.00	0.00	-	-	-
Cuenca Huascayacu 498446	0.00	0.00	0.00	-	-	-	13.97	13.97	0.00	100.0%	100.0%	100.0%	0.00	0.00	0.00	-	-	-
Intercuenca Mayo 498445	0.00	0.00	0.00	-	-	-	8.40	8.40	0.00	100.0%	100.0%	100.0%	0.00	0.00	0.00	-	-	-
Cuenca Indoche 498444	0.42	0.42	0.00	100.0%	100.0%	100.0%	20.00	20.00	0.00	100.0%	100.0%	100.0%	0.01	0.01	0.00	100.0%	100.0%	100.0%
Intercuenca Mayo 498443	3.35	3.35	0.00	100.0%	100.0%	100.0%	646.88	646.88	0.00	100.0%	100.0%	100.0%	0.00	0.00	0.00	100.0%	100.0%	100.0%
Cuenca Cumbaza 498442	12.95	12.95	0.00	100.0%	100.0%	100.0%	121.90	120.53	1.37	100.0%	99.2%	98.9%	0.10	0.09	0.01	74.1%	88.1%	92.9%
Intercuenca Bajo Mayo 498441	0.13	0.13	0.00	100.0%	100.0%	100.0%	0.00	0.00	0.00	-	-	-	0.00	0.00	0.00	-	-	-
<b>CUENCA TOTAL</b>	<b>29.82</b>	<b>29.82</b>	<b>0.00</b>	<b>100.0%</b>	<b>100.0%</b>	<b>100.0%</b>	<b>1515.02</b>	<b>1507.80</b>	<b>7.22</b>	<b>100.0%</b>	<b>100.0%</b>	<b>99.5%</b>	<b>1.00</b>	<b>0.99</b>	<b>0.01</b>	<b>100.0%</b>	<b>100.0%</b>	<b>99.3%</b>

Nota: Confiabilidad, es el grado de satisfacción de la demanda con la disponibilidad del sistema.

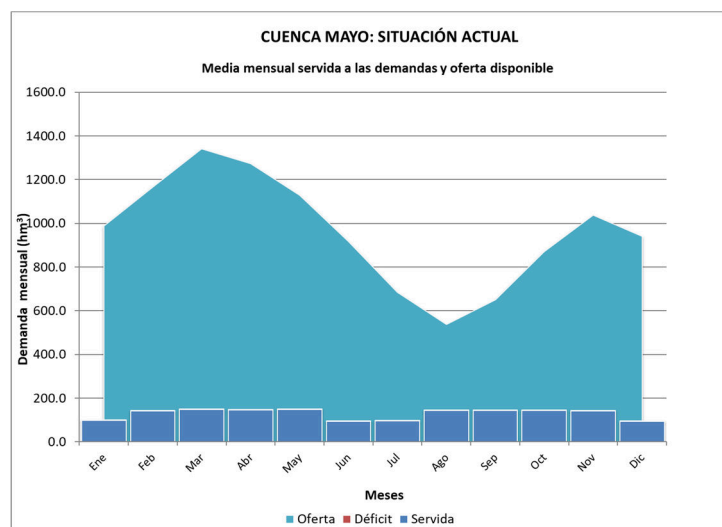


**Figura 43. Demanda anual servida y déficit: cuenca completa**

Para la situación actual, la oferta promedio anual en la cuenca Mayo es 11,533.63 hm<sup>3</sup>/año, siendo la demanda servida y déficit medio anual de 1,538.62 hm<sup>3</sup>/año y 7.23 hm<sup>3</sup>/año, respectivamente.

La Figura 44 compara la oferta media mensual con la demanda servida y el déficit. Se observa que las demandas servidas son pequeñas con respecto a la oferta disponible y en el caso de los déficits son inapreciables en la figura, debido a la magnitud de la oferta con respecto a la demanda.

Se evidencia claramente dos intervalos temporales de mayor demanda: los meses de febrero a mayo y de agosto a noviembre.



**Figura 44. Comparativo Oferta natural – Demanda mensual servida y déficit: Cuenca Mayo**

En la Figura 44, se observa que a nivel de toda la cuenca Mayo, las demandas no superan el 28 por ciento de la oferta media mensual disponible en época de estiaje (julio-septiembre), pero se conoce que en ciertas épocas y lugares existe déficit, lo cual conlleva a realizar un análisis más localizado a nivel de unidades hidrográficas de nivel 6, que permita identificar la problemática específica de cada una de ellas, cuyo detalle será presentado en el siguiente ítem.

#### 4.1.9.2 Balance hídrico situación actual – Unidades hidrográficas

##### 4.1.9.2.1 UH Cuenca Alto Mayo (498449)

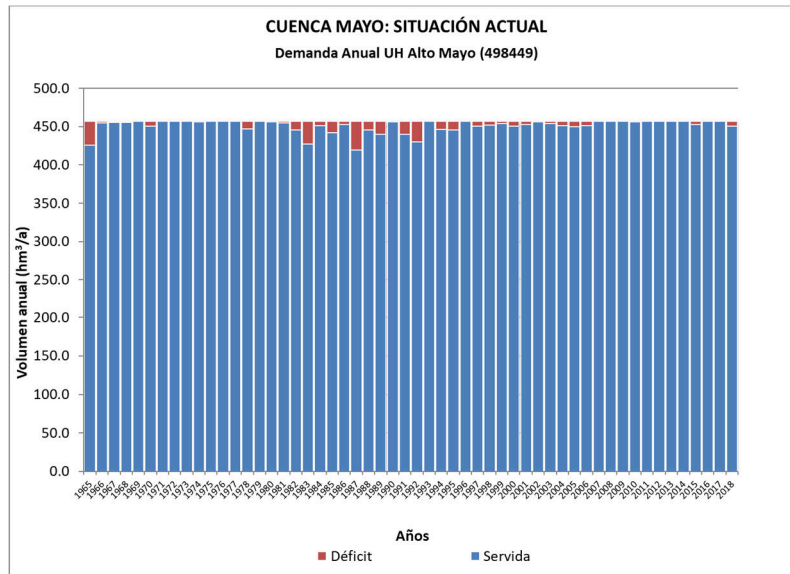
Esta UH posee una demanda media  $457.05 \text{ hm}^3/\text{año}$  y una oferta natural media de  $4,750.76 \text{ hm}^3/\text{año}$ , siendo UH con mayor oferta en la cuenca Mayo.

Presenta los mayores déficits en toda la cuenca Mayo, con un valor medio de  $5.85 \text{ hm}^3/\text{año}$  que en su totalidad corresponde a demandas no atendidas para el uso agrícola.

Con respecto a las confiabilidades:

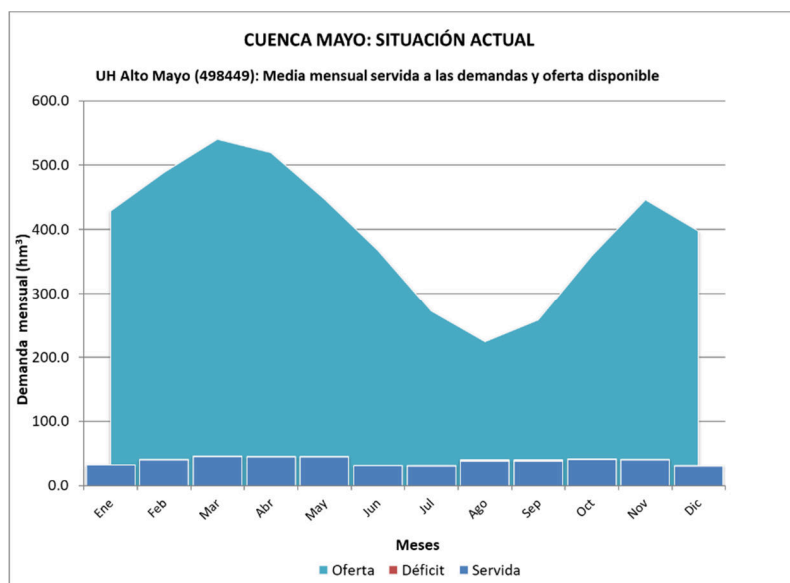
- Para el caso del uso población, considerando que tiene prioridad de atención conforme a lo estipulado en la Ley de Recursos Hídricos, posee confiabilidades máximas del 100 por ciento tanto anual, mensual y volumétrica.
- En el caso del uso agrícola, los valores de confiabilidad anual, mensual y volumétrica son de: 100.0 por ciento, 98.8 por ciento y 98.7 por ciento respectivamente y se encuentran dentro del umbral permitido para este tipo de uso (confiabilidades de suministro mayores a 80 por ciento para el uso agrícola).
- Para los otros usos, las confiabilidades: anual, mensual y volumétrica presentan valores máximos del 100 por ciento.

En la siguiente figura se muestra el detalle de los años servidos y de déficits (color rojo), evidenciándose déficits en todos los años del periodo estudiado.



**Figura 45. Demanda anual servida y déficit: UH Alto Mayo (498449)**

La siguiente Figura 46 compara la oferta media mensual con la demanda servida y el déficit.



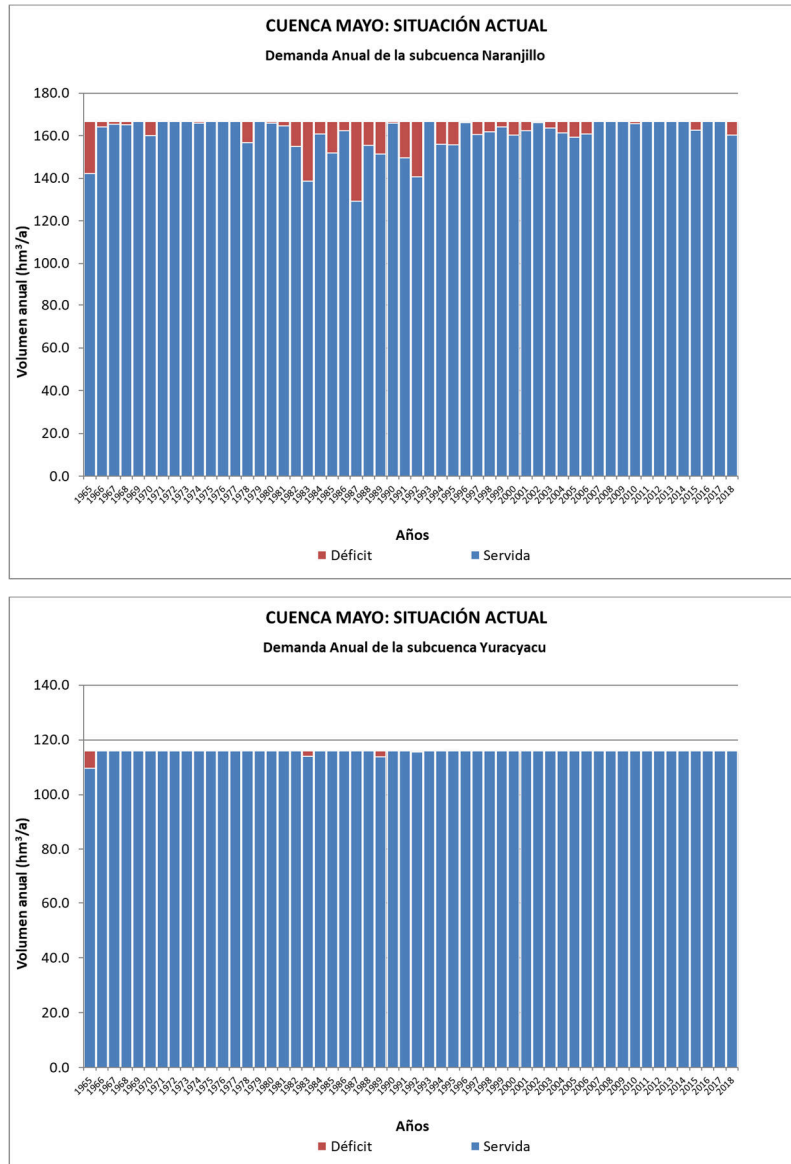
**Figura 46. Comparativo Oferta natural – Demanda mensual servida y déficit: UH Alto Mayo (498449)**

Debido a la magnitud de la oferta con respecto a la demanda, hace imposible visualizar los déficits mensuales en la figura mostrada, sin embargo, estos déficits se dan en mayor magnitud en los meses de agosto y septiembre con valores de 1.74 y 1.46 hm<sup>3</sup>.

Considerando que esta unidad hidrográfica es grande en cuanto a extensión con respecto al resto de unidades hidrográficas de toda la cuenca Mayo, conlleva a la necesidad de hacer un análisis más desagregado de los déficits identificados.

Observando los déficits encontrados en esta unidad hidrográfica, se comprobó que todos se concentraban entorno a las subcuencas de los ríos Naranjillo y Yuracyacu. Como resultado se identificó valores medios de déficit de 5.64 y 0.21 hm<sup>3</sup>/año respectivamente.

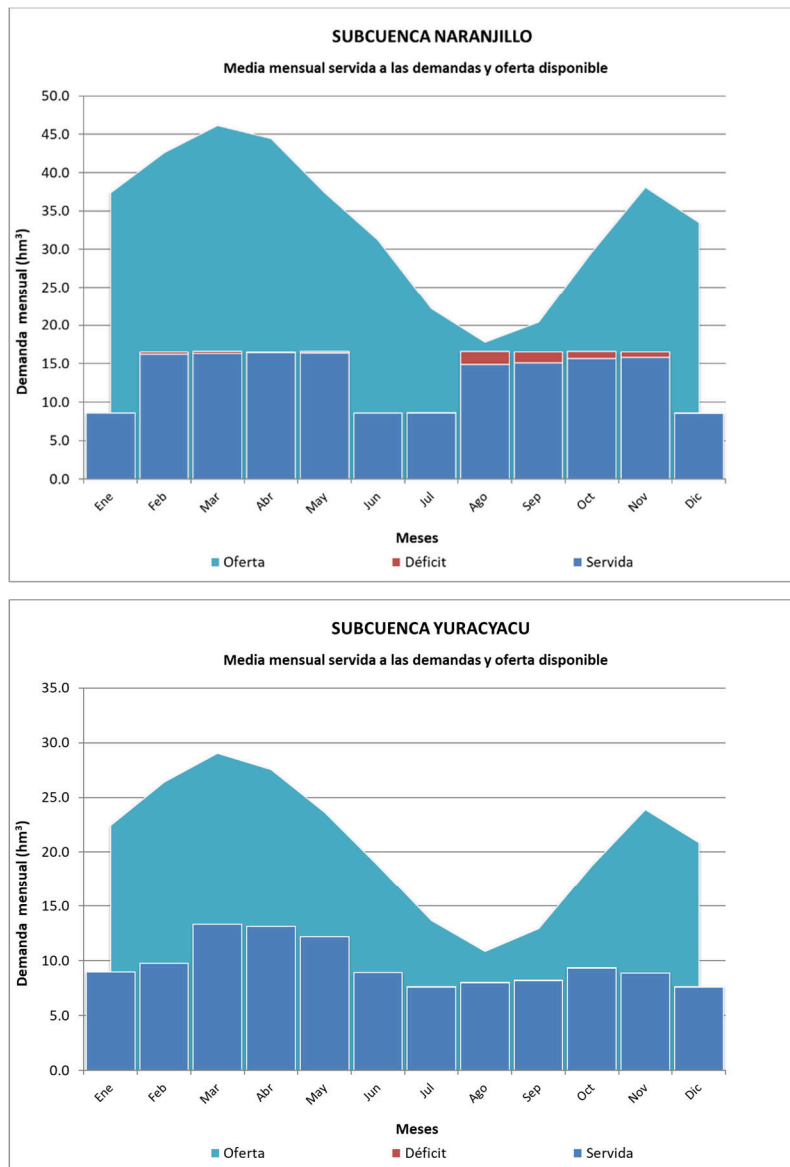
En la siguiente Figura 47 se muestra el detalle de los años servidos y de déficits en las subcuencas de los ríos Naranjillo y Yuracyacu.



**Figura 47. Demanda anual servida y déficit: subcuencas Naranjillo y Yuracyacu**

De la Figura 47, en la subcuenca Naranjillo se evidencia claramente el gran número de años de déficit y la magnitud de estos; caso contrario sucede para la subcuenca Yuracyacu donde los déficits son puntuales en algunos años del periodo estudiado.

La Figura 48 compara la oferta media mensual con la demanda servida y el déficit en las subcuencas del río Naranjillo y Yuracyacu.



**Figura 48. Comparativo Oferta natural – Demanda mensual servida y déficit: subcuencas Naranjillo y Yuracyacu**

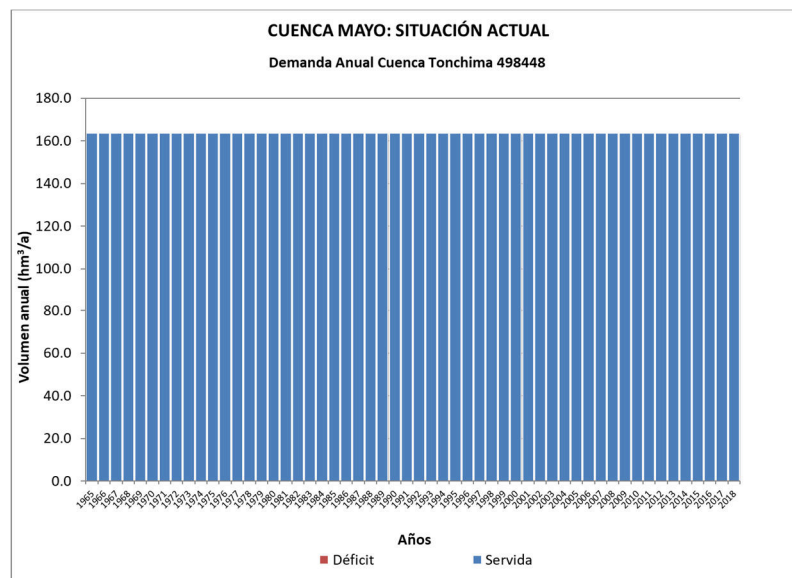
De la Figura 48 se aprecia claramente el déficit mensual en la subcuenca Naranjillo, siendo los más resaltables en el periodo de agosto a noviembre y otros déficits de menor magnitud en los meses de febrero a marzo. Para el caso de la subcuenca Yuracyacu, considerando que posee un déficit medio anual  $0.21 \text{ hm}^3/\text{año}$ , el valor disgregado a nivel mensual es tan diminuto que es inapreciable en la figura.

#### 4.1.9.2.2 UH Cuenca Tonchima 498448

Posee una demanda media anual de 163.64 hm<sup>3</sup> y una oferta natural media anual de 2,091.47 hm<sup>3</sup>, constituyendo la segunda unidad hidrográfica con la oferta disponible más alta en la cuenca Mayo.

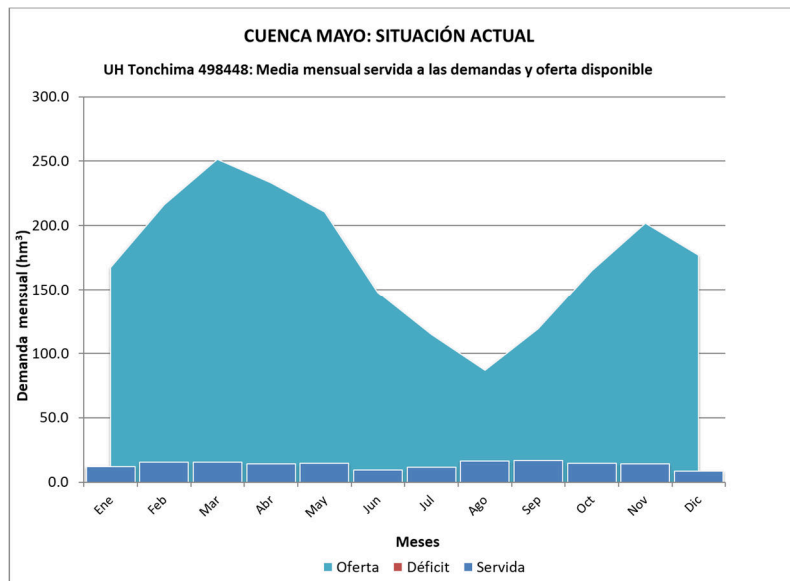
Como se detalló en la Tabla 52, esta unidad hidrográfica no evidencia déficits en ninguno de sus tipos de uso y posee confiabilidades máximas del 100 por ciento para todos ellos.

En la Figura 49 se muestra el detalle de los años servidos y de déficits, evidenciándose la inexistencia de fallos o déficits en todo el periodo estudiado.



**Figura 49. Demanda anual servida y déficit: UH Cuenca Tonchima 498448**

La Figura 50 compara la oferta media mensual con la demanda servida y el déficit.



**Figura 50. Comparativo Oferta natural – Demanda mensual servida y déficit: UH Cuenca Tonchima 498448**

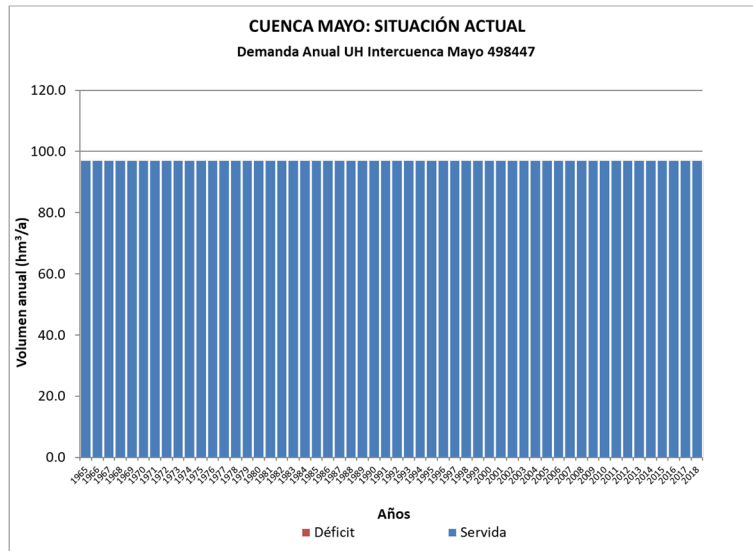
De la figura anterior se aprecia que la demanda es insignificante respecto a la gran oferta de agua, no existiendo déficit en el año.

#### 4.1.9.2.3 UH Intercuenca Mayo 498447

Posee una demanda media anual de 97.05 hm<sup>3</sup> y una oferta natural media anual de 497.76 hm<sup>3</sup>. Como se detalló en la Tabla 52, esta unidad hidrográfica no evidencia déficits en ninguno de sus tipos de uso y posee confiabilidades máximas del 100 por ciento para todos ellos.

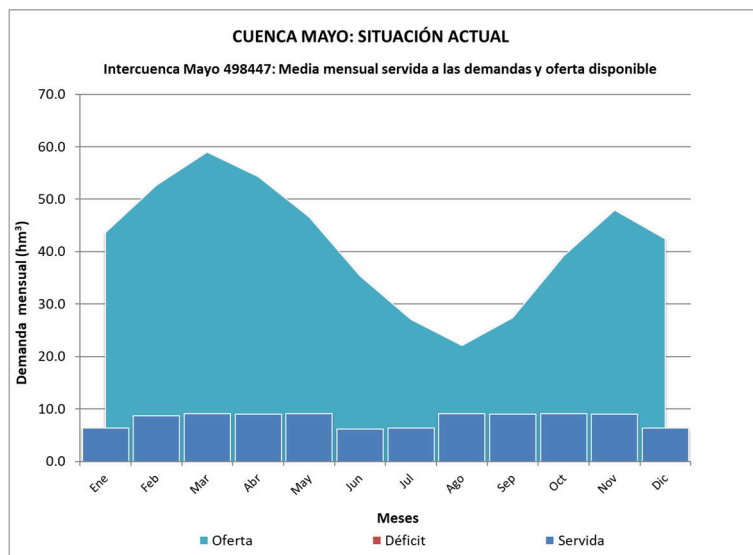
La siguiente Figura 51 muestra el detalle de los años servidos y de déficits, evidenciándose la inexistencia de fallos o déficits en todo el periodo estudiado.





**Figura 51. Demanda anual servida y déficit: UH Intercuenca Mayo 498447**

La siguiente figura compara la oferta media mensual con la demanda servida y el déficit.



**Figura 52. Comparativo Oferta natural – Demanda mensual servida y déficit: UH Intercuenca Mayo 498447**

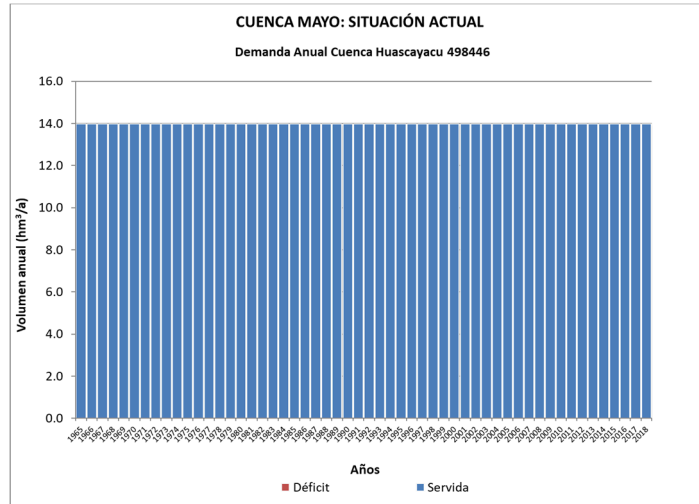
De la figura anterior se aprecia que la demanda es mínima respecto a la gran oferta de agua, no existiendo déficit hídrico en el año.

#### 4.1.9.2.4 UH Cuenca Huascayacu 498446

Posee una demanda media anual de 13.97 hm<sup>3</sup> y una oferta natural media anual de 1,096.98 hm<sup>3</sup>. Como se detalló en la Tabla 52, esta unidad hidrográfica no evidencia déficits en

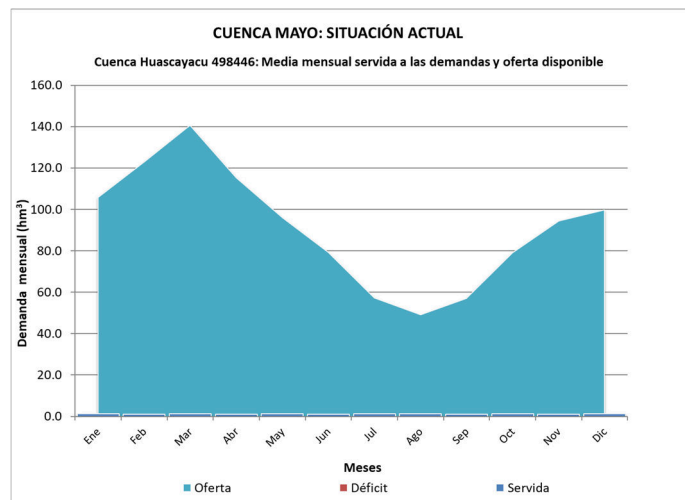
ninguno de sus tipos de uso y posee confiabilidades máximas del 100 por ciento para todos ellos.

En la siguiente figura se muestra el detalle de los años servidos y de déficits, evidenciándose la inexistencia de fallos o déficits en todo el periodo estudiado.



**Figura 53. Demanda anual servida y déficit: UH Cuenca Huascayacu 498446**

La Figura 543 compara la oferta media mensual con la demanda servida y el déficit.



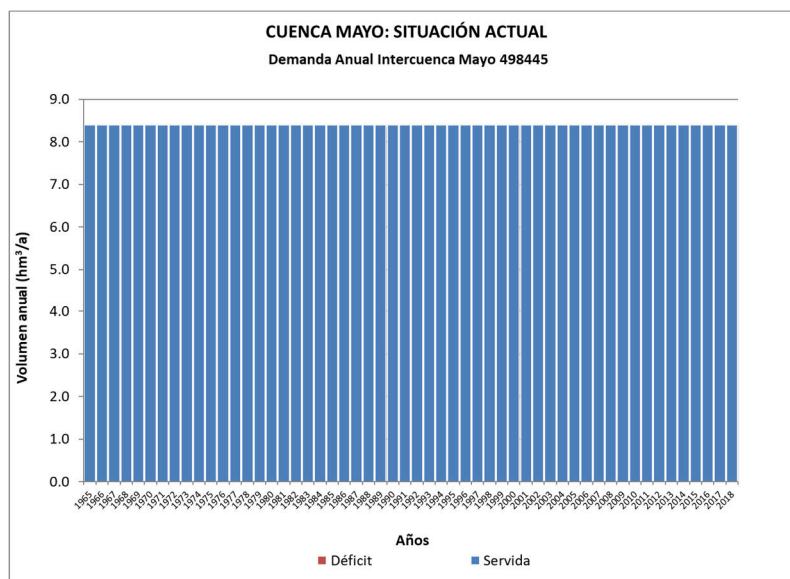
**Figura 54. Comparativo Oferta natural – Demanda mensual servida y déficit: UH Intercuenca Mayo 498447**

La Figura 54 se observa que las demandas servidas son inapreciables con respecto a la oferta disponible.

#### 4.1.9.2.5 UH Intercuenca Mayo 498445

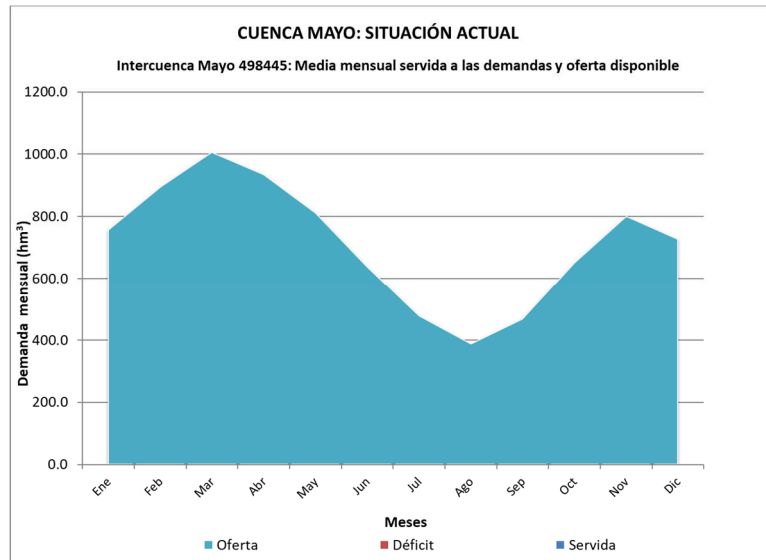
Posee una demanda media anual de 8.40 hm<sup>3</sup> y una oferta natural media anual de 8,552.57 hm<sup>3</sup> correspondiente 115.61 hm<sup>3</sup> de oferta propia y 8,436.96 hm<sup>3</sup> provenientes de las unidades hidrográficas: Cuenca Alto Mayo (498449), Cuenca Tonchima 498448; Intercuenca Mayo 498447 y Cuenca Huascayacu 498446. Como se detalló en la Tabla 52, esta unidad hidrográfica no evidencia déficits en ninguno de sus tipos de uso y posee confiabilidades máximas del 100 por ciento para todos ellos.

La Figura 55 se muestra el detalle de los años servidos y de déficits, evidenciándose la inexistencia de fallos o déficits en todo el periodo estudiado.



**Figura 55. Demanda anual servida y déficit: UH Intercuenca Mayo 498445**

La Figura 565 compara la oferta media mensual con la demanda servida y el déficit. Se observa que las demandas servidas son inapreciables con respecto a la oferta disponible.



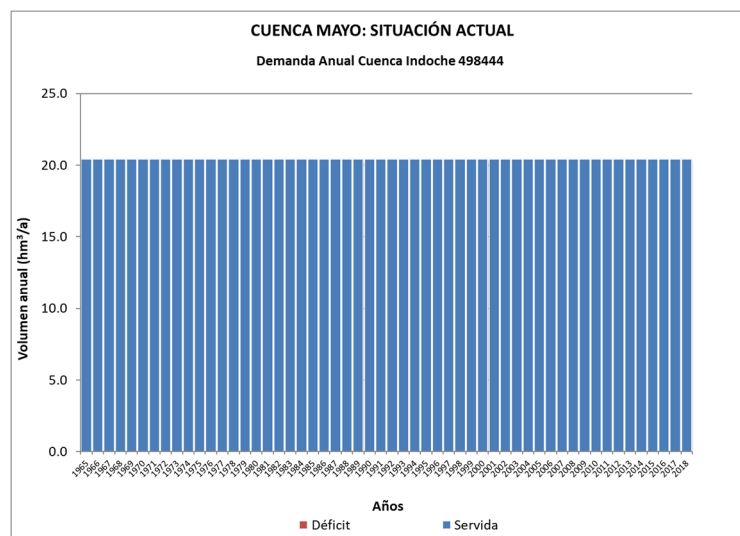
**Figura 56. Comparativo Oferta natural – Demanda mensual servida y déficit: UH Intercuenca Mayo 498445**

En la Figura 56 se observa que las demandas servidas son inapreciables con respecto a la oferta disponible.

#### 4.1.9.2.6 UH Cuenca Indoche 498444

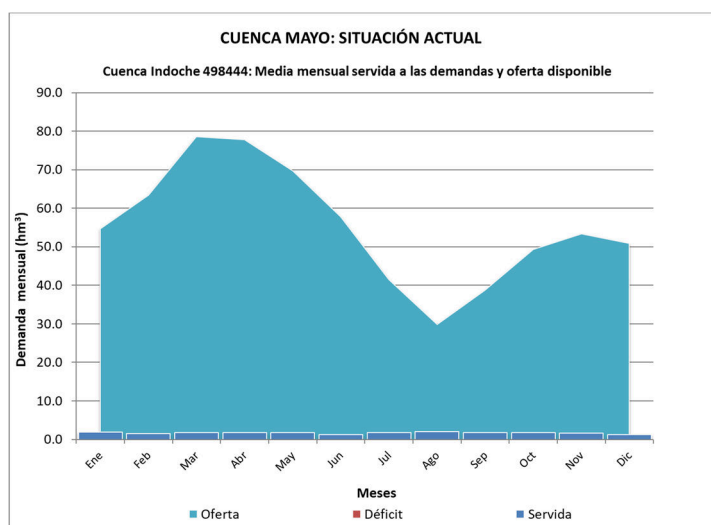
Posee una demanda media anual de 20.42 hm<sup>3</sup> y una oferta natural media anual de 665.73 hm<sup>3</sup>. Esta unidad hidrográfica no evidencia déficits en ninguno de sus tipos de uso y posee confiabilidades máximas del 100 por ciento para todos ellos.

En la Figura 57 se muestra el detalle de los años servidos y de déficits, evidenciándose la inexistencia de fallos o déficits en todo el periodo estudiado.



**Figura 57. Demanda anual servida y déficit: UH Cuenca Indoche 498444**

La siguiente figura compara la oferta media mensual con la demanda servida y el déficit.



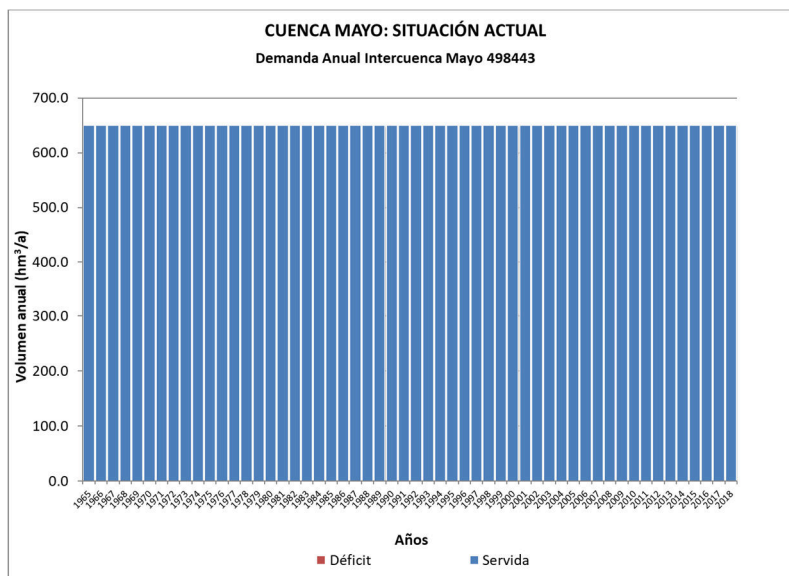
**Figura 58. Comparativo Oferta natural – Demanda mensual servida y déficit: UH Cuenca Indoche 498444**

En la figura anterior se observa que las demandas servidas son inapreciables con respecto a la oferta disponible.

#### 4.1.9.2.7 UH Intercuenca Mayo 498443

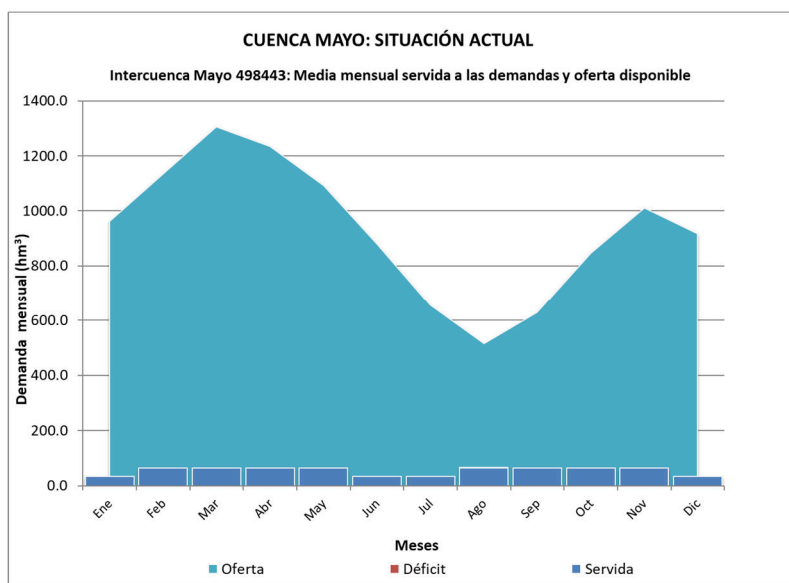
Posee una demanda media anual de 650.23 hm<sup>3</sup> y una oferta natural media anual de 11,184.55 hm<sup>3</sup> correspondiente 1,966.25 hm<sup>3</sup> de oferta propia y 9,218.30 hm<sup>3</sup> provenientes de las unidades hidrográficas: Intercuenca Mayo 498445 y Cuenca Indoche 498444. Como se detalló en la Tabla 52, esta unidad hidrográfica no evidencia déficits en ninguno de sus tipos de uso y posee confiabilidades máximas del 100 por ciento para todos ellos.

En la Figura 59 se muestra el detalle de los años servidos y de déficits.



**Figura 59. Demanda anual servida y déficit: UH Intercuenca Mayo 498443**

La siguiente figura compara la oferta media mensual con la demanda servida y el déficit.



**Figura 60. Comparativo Oferta natural – Demanda mensual servida y déficit: UH Intercuenca Mayo 498443**

La figura anterior evidencia la inexistencia de fallos o déficits en todo el periodo estudiado.

#### 4.1.9.2.8 UH Cuenca Cumbaza 498442

Posee una demanda media 134.95 hm<sup>3</sup>/año y una oferta natural media de 333.55 hm<sup>3</sup>/año. Esta unidad hidrográfica presenta un déficit medio anual de 1.37 hm<sup>3</sup>/año que en su mayoría corresponde a demandas no atendidas para el uso agrícola y en menor escala a otros usos existentes.

Con respecto a las confiabilidades:

- Para el caso del uso población, considerando que tiene prioridad de atención conforme a lo estipulado en la Ley de Recursos Hídricos, posee confiabilidades máximas del 100 por ciento tanto anual, mensual y volumétrica.
- En el caso del uso agrícola, los valores de confiabilidad anual, mensual y volumétrica son de 100.0 por ciento, 99.2 por ciento y 98.9 por ciento respectivamente y se encuentran dentro del umbral permitido para este tipo de uso (confiabilidades de suministro mayores a 80 por ciento para el uso agrícola).
- Con respecto a los otros usos existentes en esta UH, se ha obtenido confiabilidades anuales, mensuales y volumétricas de: 74.1 por ciento, 88.1 por ciento y 92.9 por ciento respectivamente. El análisis se centra en los valores obtenidos para las confiabilidad anual y mensual que se encuentran por debajo del umbral permitido para estos usos (confiabilidad de suministro mayores al 90 por ciento) lo cual indica una problemática de suministro para dichos usos en la situación actual.

En la siguiente figura se muestra el detalle de los años servidos y de déficits, evidenciándose déficits en muchos de los años del periodo estudiado.

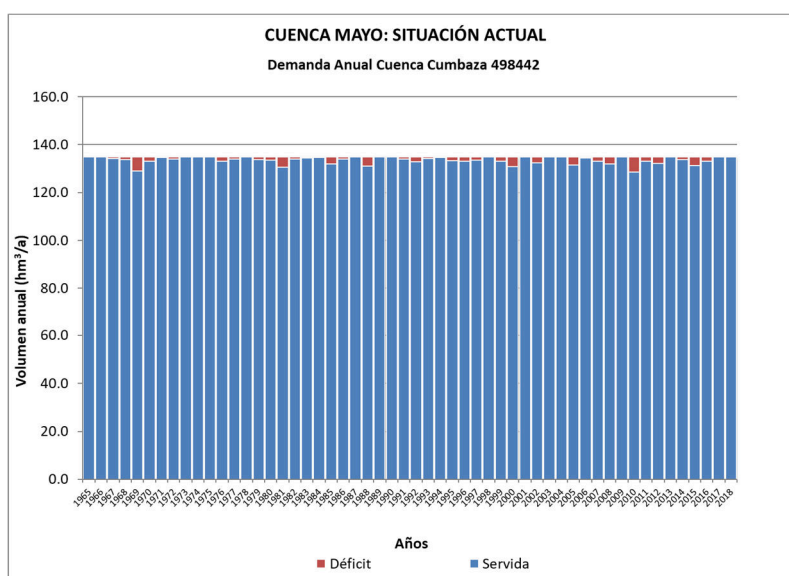
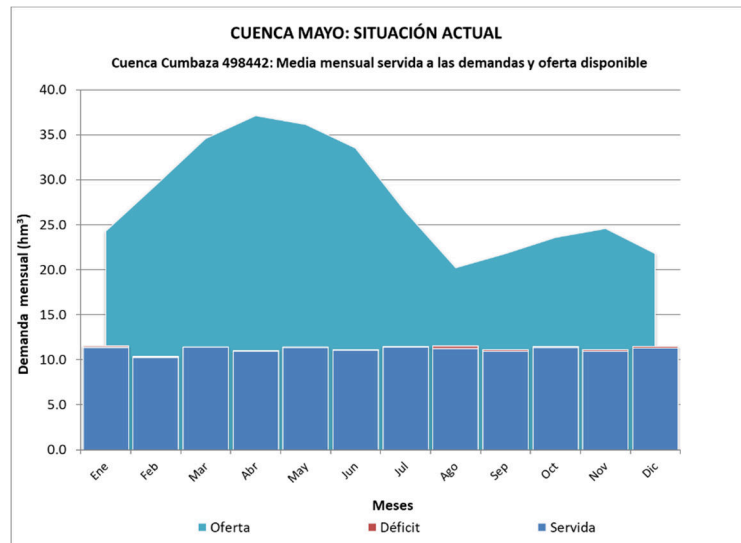


Figura 61. Demanda anual servida y déficit: UH Cuenca Cumbaza 498442

La siguiente figura compara la oferta media mensual con la demanda servida y el déficit.



**Figura 62. Comparativo Oferta natural – Demanda mensual servida y déficit: UH Cuenca Cumbaza 498442**

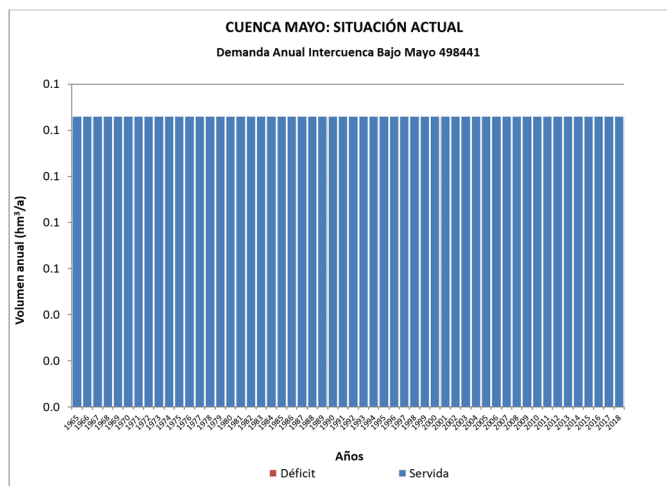
En la Figura 62 se visualiza que los meses con déficit en esta unidad hidrográfica corresponde al periodo comprendido entre agosto-enero (barras en color rojo).

#### 4.1.9.2.9 Intercuenca Bajo Mayo 498441

Posee una demanda media anual de 0.13 hm<sup>3</sup> y una oferta natural media anual de 11,533.63 hm<sup>3</sup> correspondiente 15.52 hm<sup>3</sup> de oferta propia y 11,518.10 hm<sup>3</sup> provenientes de las unidades hidrográficas: Intercuenca Mayo 498443 y Cuenca Cumbaza 498442. Como se detalló en la Tabla 52, esta unidad hidrográfica no evidencia déficits en ninguno de sus tipos de uso y posee confiabilidades máximas del 100 por ciento para todos ellos.

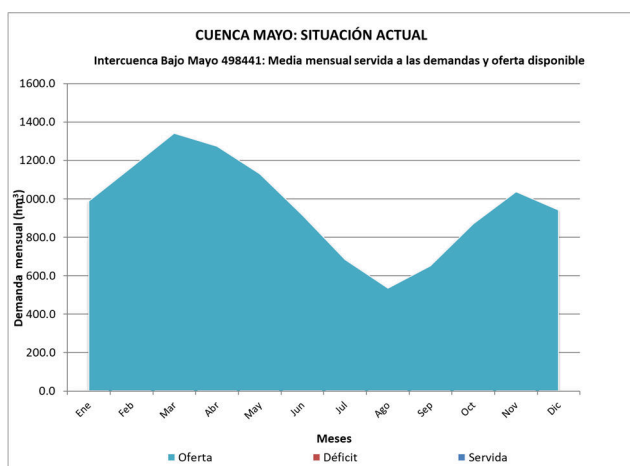
En la siguiente figura se muestra el detalle de los años servidos y de déficits, evidenciándose la inexistencia de fallos o déficits en todo el periodo estudiado.





**Figura 63. Demanda anual servida y déficit: UH Intercuenca Mayo 498441**

La siguiente figura compara la oferta media mensual con la demanda servida y el déficit.



**Figura 64. Comparativo Oferta natural – Demanda mensual servida y déficit: UH Intercuenca Mayo 498441**

En la figura anterior, se observa que las demandas servidas son inapreciables con respecto a la oferta disponible.

#### 4.1.9.3 Balance hídrico situación futura 2050 sin Cambio Climático

Los resultados de los Balances Hídricos en situación futura al 2050 sin cambio climático se presentan en las Tabla 53 y Tabla 54, cuya información corresponde al balance medio anual correspondiente al periodo analizado desde 1965-2018.

En la Tabla 54 se concluye lo siguiente:

- Los resultados del balance hídrico para la situación futura sin cambio climático dan como resultado un déficit total de 7.72 hm<sup>3</sup> asociados a los usos agrícolas y otros usos existentes en la cuenca.

- Todas las demandas poblacionales de la cuenca Mayo se sirven con confiabilidad máxima del 100 por ciento, es decir, no existe déficit en el suministro para este tipo de demandas.
- Para el caso de las demandas agrícolas, a nivel de toda la cuenca Mayo existe un déficit medio anual de  $7.71 \text{ hm}^3$ , el cual se encuentra localizado principalmente en las Unidades Hidrográficas: Cuenca Alto Mayo (498449) y Cuenca Cumbaza 498442, con valores  $5.90$  y  $1.81 \text{ hm}^3$  respectivamente. Para la situación planteada ya se empieza a identificar un pequeño déficit inferior a  $0.01 \text{ hm}^3$  en la Intercuenca Mayo 498443.
- Todas las demandas agrícolas poseen una confiabilidad de suministro por encima del umbral permitido (confiabilidades suministro para uso agrícola no menor al 80 por ciento), inclusive en aquellas unidades hidrográficas donde se identificó déficits considerables (Alto Mayo y Cumbaza), las confiabilidades no bajan del 98.5 por ciento.
- Para el caso de las demandas para otros usos, a nivel de toda la cuenca Mayo el déficit medio anual se mantiene en el orden del  $0.01 \text{ hm}^3$ , el cual se encuentra localizado en la unidad hidrográfica Cuenca Cumbaza 498442.

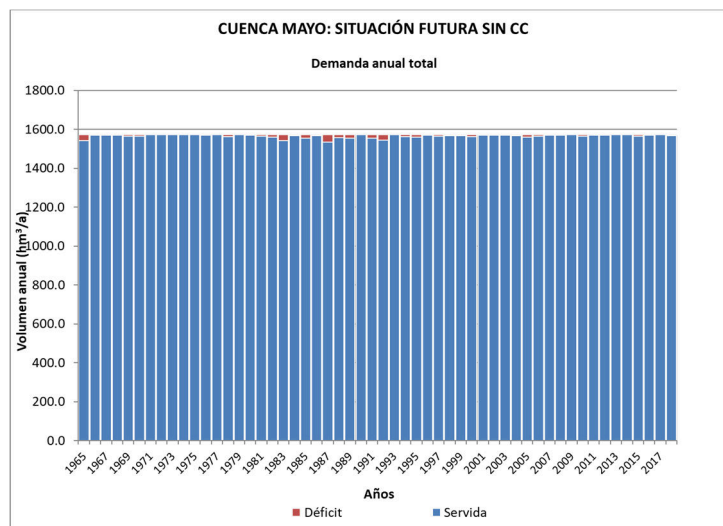
La siguiente figura representa los volúmenes de demanda total anual servida y de déficit para el periodo 1965-2018, donde se evidencia claramente déficits identificados durante el periodo de análisis.

Tabla 53. Balance medio anual (hm<sup>3</sup>) de las Unidades Hidrográficas Nivel 6 de la Cuenca Mayo: Situación Futura al 2050 sin Cambio Climático

Unidad Hidrográfica Nivel 6	Oferta natural	Entrada de aguas arriba	Demanda Poblacional		Demanda agrícola		Demanda Otros Usos		Retornos	Salida a aguas abajo
			Servida	Déficit	Servida	Déficit	Servida	Déficit		
Cuenca Alto Mayo (498449)	4,750.76	0.00	11.280	0.000	444.281	5.900	0.867	0.000	230.04	4,524.37
Cuenca Tonchima 498448	2,091.47	0.00	6.932	0.000	156.686	0.000	0.024	0.000	83.20	2,011.02
Intercuenca Mayo 498447	497.76	0.00	0.037	0.000	98.445	0.000	0.000	0.000	49.25	448.52
Cuenca Huascayacu 498446	1,096.98	0.00	0.000	0.000	13.973	0.000	0.000	0.000	6.99	1,089.99
Intercuenca Mayo 498445	115.61	8,073.90	0.000	0.000	8.399	0.000	0.000	0.000	4.20	8,185.31
Cuenca Indoche 498444	665.73	0.00	0.600	0.000	20.347	0.000	0.007	0.000	10.56	655.33
Intercuenca Mayo 498443	1,966.25	8,840.65	8.010	0.000	647.862	0.003	0.001	0.000	329.35	10,480.37
Cuenca Cumbaza 498442	333.55	0.00	26.352	0.000	120.344	1.805	0.094	0.009	78.62	265.38
Intercuenca Bajo Mayo 498441	15.52	10,745.75	0.661	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.46	10,761.07
<b>CUENCA TOTAL</b>	<b>11,533.63</b>	<b>-</b>	<b>53.870</b>	<b>0.000</b>	<b>1,510.338</b>	<b>7.709</b>	<b>0.994</b>	<b>0.009</b>	<b>792.65</b>	<b>-</b>

Tabla 54. Confiabilidad de suministro de las demandas de la Cuenca Mayo: Situación Futura al 2050 sin Cambio Climático

Unidad Hidrográfica Nivel 6	Demanda Poblacional						Demanda Agrícola						Demanda Otros Usos					
	Demanda (hm <sup>3</sup> /año)			Confiabilidad			Demanda (hm <sup>3</sup> /año)			Confiabilidad			Demanda (hm <sup>3</sup> /año)			Confiabilidad		
	Total	Servida	Déficit	Anual	Mensual	Volum.	Total	Servida	Déficit	Anual	Mensual	Volum.	Total	Servida	Déficit	Anual	Mensual	Volum.
Cuenca Alto Mayo (498449)	11.28	11.28	0.00	100.0%	100.0%	100.0%	450.18	444.28	5.90	100.0%	98.8%	98.7%	0.87	0.87	0.00	100.0%	100.0%	100.0%
Cuenca Tonchima 498448	6.93	6.93	0.00	100.0%	100.0%	100.0%	156.69	156.69	0.00	100.0%	100.0%	100.0%	0.02	0.02	0.00	100.0%	100.0%	100.0%
Intercuenca Mayo 498447	0.04	0.04	0.00	100.0%	100.0%	100.0%	98.45	98.45	0.00	100.0%	100.0%	100.0%	0.00	0.00	0.00	-	-	-
Cuenca Huascayacu 498446	0.00	0.00	0.00	-	-	-	13.97	13.97	0.00	100.0%	100.0%	100.0%	0.00	0.00	0.00	-	-	-
Intercuenca Mayo 498445	0.00	0.00	0.00	-	-	-	8.40	8.40	0.00	100.0%	100.0%	100.0%	0.00	0.00	0.00	-	-	-
Cuenca Indoche 498444	0.60	0.60	0.00	100.0%	100.0%	100.0%	20.35	20.35	0.00	100.0%	100.0%	100.0%	0.01	0.01	0.00	100.0%	100.0%	100.0%
Intercuenca Mayo 498443	8.01	8.01	0.00	100.0%	100.0%	100.0%	647.87	647.86	0.00	100.0%	100.0%	100.0%	0.00	0.00	0.00	100.0%	100.0%	100.0%
Cuenca Cumbaza 498442	26.35	26.35	0.00	100.0%	100.0%	100.0%	122.15	120.34	1.81	100.0%	98.8%	98.5%	0.10	0.09	0.01	55.6%	85.5%	91.3%
Intercuenca Bajo Mayo 498441	0.66	0.66	0.00	100.0%	100.0%	100.0%	0.00	0.00	0.00	-	-	-	0.00	0.00	0.00	-	-	-
<b>CUENCA TOTAL</b>	<b>53.87</b>	<b>53.87</b>	<b>0.00</b>	<b>100.0%</b>	<b>100.0%</b>	<b>100.0%</b>	<b>1518.05</b>	<b>1510.34</b>	<b>7.71</b>	<b>100.0%</b>	<b>100.0%</b>	<b>99.5%</b>	<b>1.00</b>	<b>0.99</b>	<b>0.01</b>	<b>100.0%</b>	<b>100.0%</b>	<b>99.1%</b>

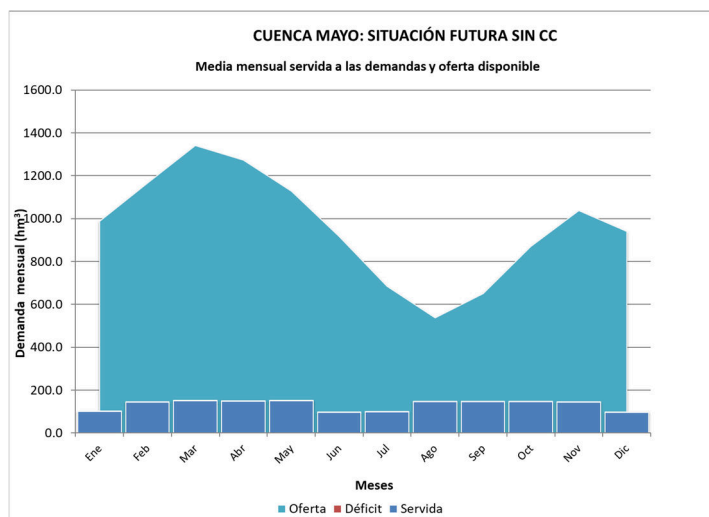


**Figura 65. Demanda anual servida y déficit en situación futura sin cambio climático: cuenca completa**

Para la situación futura sin cambio climático, la oferta promedio anual en la cuenca Mayo se mantiene en 11,533.63 hm<sup>3</sup>/año, siendo la demanda servida y déficit medio anual de 1,565.20 hm<sup>3</sup>/año y 7.72 hm<sup>3</sup>/año respectivamente.

La siguiente figura compara la oferta media mensual con la demanda servida y el déficit. Se observa que las demandas servidas son pequeñas con respecto a la oferta disponible y en el caso de los déficits son inapreciables en la figura, debido a la magnitud de la oferta con respecto a la demanda.

Se evidencia claramente dos intervalos temporales de mayor demanda: los meses de febrero a mayo y de agosto a noviembre.



**Figura 66. Comparativo Oferta natural – Demanda mensual servida y déficit en situación futura sin cambio climático: Cuenca Mayo**

En la Figura 66, se parecía que a nivel de toda la cuenca Mayo, las demandas no superan el 28 por ciento de la oferta media mensual disponible en época de estiaje (julio-septiembre).

En la Tabla 54 se observa claramente que para la situación planteada (futura sin cambio climático), las unidades hidrográficas con problemática de déficit siguen siendo la Cuenca Alto Mayo (498449) y Cuenca Cumbaza 49844, sumándose a ellas, la Intercuenca 498443 con un déficit medio anual inferior al  $0.01 \text{ hm}^3$ . Considerando lo expuesto, en el ítem 4.1.9.4 se presentará un análisis más específico para cada una de las unidades hidrográficas con problemática latente.

#### 4.1.9.4 Balance hídrico situación futura 2050 sin Cambio Climático – Unidades hidrográficas con problemática detectada

##### 4.1.9.4.1 UH Cuenca Alto Mayo (498449)

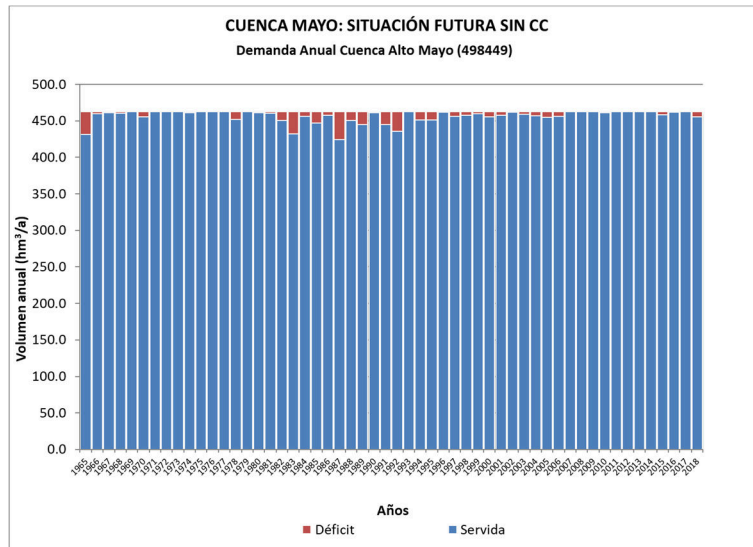
En la situación futura sin cambio climático esta UH posee una demanda media  $462.33 \text{ hm}^3/\text{año}$  ( $5.28 \text{ hm}^3$  por encima de la situación actual) y una oferta natural media de  $4,750.76 \text{ hm}^3/\text{año}$ , siendo UH con mayor oferta en la cuenca Mayo.

Presenta los mayores déficits en toda la cuenca Mayo, con un valor medio de  $5.90 \text{ hm}^3/\text{año}$  que en su totalidad corresponde a demandas no atendidas para el uso agrícola.

Con respecto a las confiabilidades en la situación futura sin cambio climático:

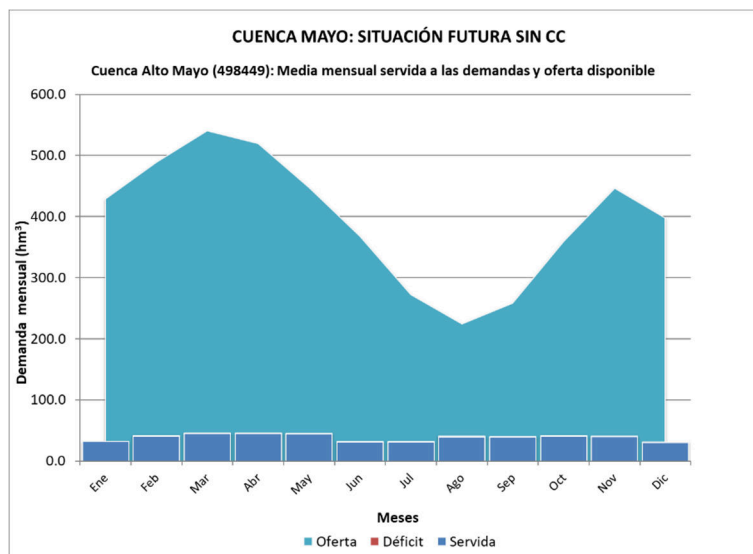
- Para el caso del uso población, se mantienen las confiabilidades máximas del 100 por ciento tanto anual, mensual y volumétrica.
- En el caso del uso agrícola, los valores de confiabilidad anual, mensual y volumétrica se mantienen en el mismo orden de lo identificado en la situación actual y dentro del umbral permitido para este tipo de uso (confiabilidades de suministro mayores a 80 por ciento para el uso agrícola).
- Para los otros usos, se mantienen las confiabilidades máximas del 100 por ciento tanto para la anual, mensual y volumétrica.

En la siguiente figura se muestra el detalle de los años servidos y de déficits, evidenciándose déficits en muchos años del periodo estudiado.



**Figura 67. Demanda anual servida y déficit en situación futura sin cambio climático: UH Alto Mayo (498449)**

La siguiente figura compara la oferta media mensual con la demanda servida y el déficit.



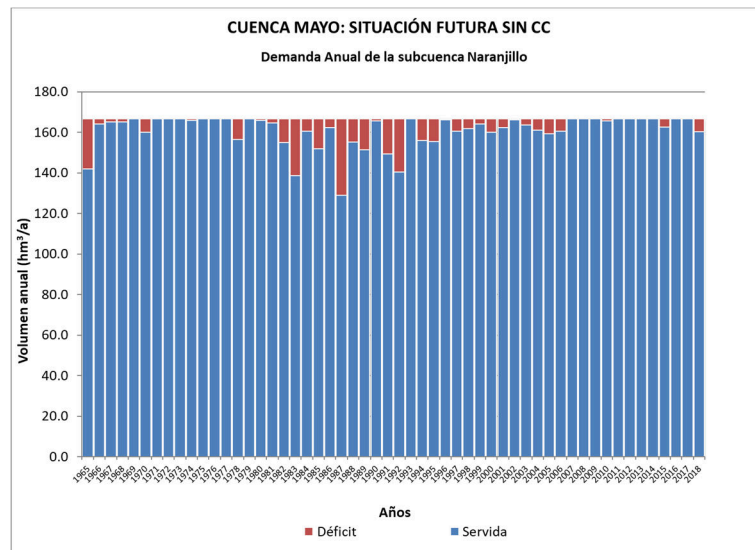
**Figura 68. Comparativo Oferta natural – Demanda mensual servida y déficit en situación futura sin cambio climático: UH Alto Mayo (498449)**

Debido a la magnitud de la oferta con respecto a la demanda, hace imposible visualizar los déficits mensuales en la figura mostrada, sin embargo, estos déficits se dan en mayor magnitud en los meses de agosto y septiembre con valores de 1.75 y 1.47 hm<sup>3</sup>.

Considerando que esta unidad hidrográfica es grande en cuanto a extensión con respecto al resto de subcuencas de la Cuenca Mayo conlleva a la necesidad de hacer un análisis más

desagregado del origen de los déficits identificados conforme a la realizado en el escenario de la situación actual.

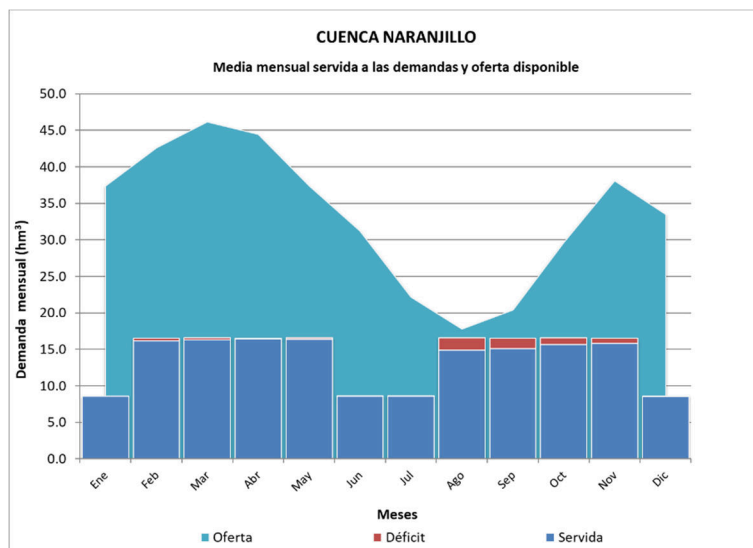
En la situación actual se identificó que los déficits de esta unidad hidrográfica se encontraban localizados en las subcuencas de los ríos Naranjillo y Yuracyacu, sin embargo, para la situación futura sin cambio climático, los déficits aumentan ligeramente sólo para la subcuenca Naranjillo (de 5.64 a 5.69 hm<sup>3</sup>), debido a que esta contempla una nueva demanda a futuro. En el caso de la subcuenca del río Yuracyacu, el déficit se mantiene con el mismo valor al identificado en la situación actual.



**Figura 69. Demanda anual servida y déficit en situación futura sin cambio climático: subcuenca Naranjillo**

De la figura anterior, en la subcuenca Naranjillo se evidencia claramente el gran número de años de déficit y la magnitud de estos, que son similares a lo identificado en la situación actual.

La siguiente figura compara la oferta media mensual con la demanda servida y el déficit en la subcuenca del río Naranjillo.



**Figura 70. Comparativo Oferta natural – Demanda mensual servida y déficit en situación futura sin cambio climático: subcuenca Naranjillo**

De la figura anterior, se aprecia claramente el déficit mensual en la subcuenca Naranjillo, siendo más resaltante en los meses de agosto a noviembre.

#### 4.1.9.4.2 UH Cuenca Cumbaza 498442

Posee una demanda media 148.60 hm<sup>3</sup>/año (13.65 hm<sup>3</sup> por encima de la situación actual) y una oferta natural media de 333.55 hm<sup>3</sup>/año.

Esta unidad hidrográfica presenta un déficit medio anual de 1.81 hm<sup>3</sup>/año para la situación analizada (futura sin cambio climático) y representa la unidad hidrográfica con mayor afectación a futuro en toda la cuenca Mayo, debido a que el 50 por ciento de la demanda futura se encuentra localizada en esta unidad hidrográfica.

El déficit identificado en su mayoría corresponde a demandas para el uso agrícola y en menor escala a otros usos existentes.

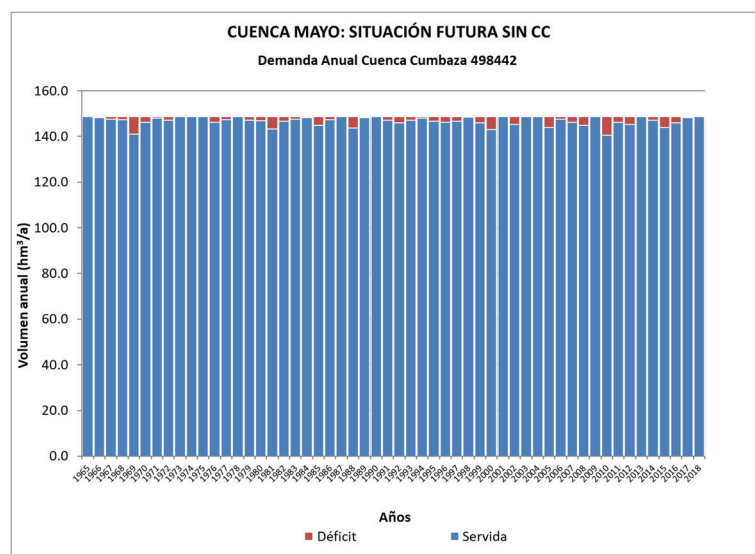
Con respecto a las confiabilidades en la situación futura sin cambio climático:

- Para el caso del uso población, se mantienen las confiabilidades máximas del 100 por ciento tanto anual, mensual y volumétrica.
- En el caso del uso agrícola, la confiabilidad anual mantiene su valor máximo (100 por ciento) conforme a lo identificado a la situación actual, sin embargo, las confiabilidad mensual y volumétrica han sufrido una ligera disminución, pero dentro del umbral permitido para este tipo de uso (confiabilidades de suministro mayores a 80 por ciento para el uso agrícola).



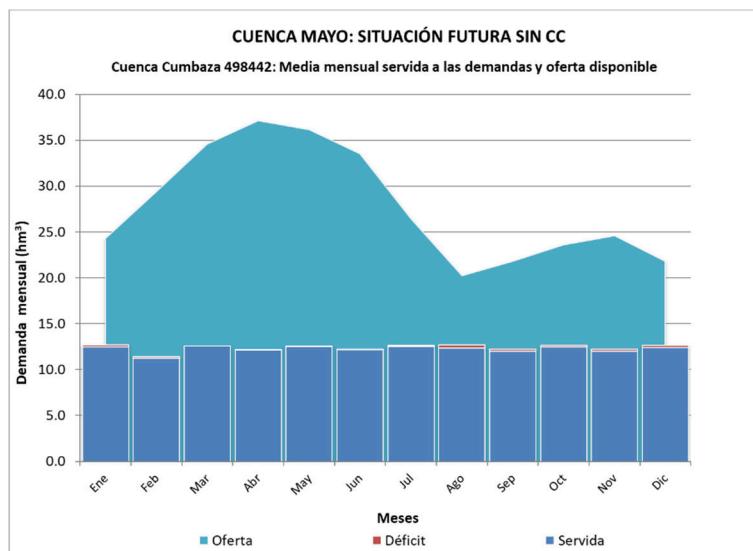
- Con respecto a los otros usos existentes en esta UH, se ha obtenido confiabilidades anuales, mensuales y volumétricas de: 55.6 por ciento, 85.5 por ciento y 91.3 por ciento respectivamente. Se evidencia claramente la disminución de las confiabilidades con respecto a la situación actual, acentuándose sobre todo en la confiabilidad anual y mensual y cuyos valores siguen manteniéndose por debajo del umbral permitido para estos usos (confiabilidad de suministro mayores al 90 por ciento). Los resultados obtenidos nos dan un indicio de la problemática de suministro para los otros usos en la situación futura.

En la siguiente figura se muestra el detalle de los años servidos y de déficits, evidenciándose déficits en muchos de los años del periodo estudiado.



**Figura 71. Demanda anual servida y déficit en situación futura sin cambio climático: UH Cuenca Cumbaza 498442**

La siguiente figura compara la oferta media mensual con la demanda servida y el déficit.



**Figura 72. Comparativo Oferta natural – Demanda mensual servida y déficit en situación futura sin cambio climático: UH Cuenca Cumbaza 498442**

Se visualiza que los meses con déficit en esta unidad hidrográfica corresponde al periodo comprendido entre de agosto-enero.

#### 4.1.9.4.3 UH Intercuenca Mayo 498443

Para la situación futura sin cambio climático, esta unidad hidrográfica presenta un incremento de la demanda media anual de 650.23 a 655.88  $\text{hm}^3$  y mantiene la oferta natural media anual de 11,184.55  $\text{hm}^3$  correspondiente 1,966.25  $\text{hm}^3$  de oferta propia y 9,218.30  $\text{hm}^3$  provenientes de las unidades hidrográficas: Intercuenca Mayo 498445 y Cuenca Indoche 498444.

Para la situación planteada, esta unidad hidrográfica evidencia un pequeño déficit medio anual de 0.003  $\text{hm}^3$  el cual corresponde a demandas no atendidas para el uso agrícola, sin embargo, mantiene los valores de confiabilidades máximas del 100 por ciento para todos sus usos.

#### 4.1.9.5 Balance hídrico situación futura 2050 con Cambio Climático

Los resultados de los Balances Hídricos en situación futura al 2050 con cambio climático se presentan en la Tabla 55 a Tabla 58, cuya información corresponde al balance medio anual correspondiente al periodo analizado desde 1965-2050 en escenarios RCP 4.5 y 8.5.

De la Tabla 57 y Tabla 58 se concluye lo siguiente:

- Los resultados del balance hídrico para la situación futura con cambio climático al 2050 dan como resultado un déficit total de 0.29 hm<sup>3</sup> asociado al uso agrícola.
- Todas las demandas poblacionales de la cuenca Mayo se sirven con confiabilidad máxima del 100 por ciento, es decir, no existe déficit en el suministro para este tipo de demandas.
- Para el caso de las demandas agrícolas, a nivel de toda la cuenca Mayo existe un déficit medio anual de 0.29 hm<sup>3</sup>, el cual se encuentra localizado en las Unidades Hidrográficas: Cuenca Alto Mayo (498449).
- Todas las demandas agrícolas poseen una confiabilidad de suministro por encima del umbral permitido (confiabilidades suministro para uso agrícola no menor al 80 por ciento), inclusive en aquellas unidades hidrográficas donde se identificó déficits considerables (Alto Mayo), las confiabilidades no bajan del 99.9 por ciento.
- Todas las demandas para los otros usos de la cuenca Mayo se sirven con confiabilidad máxima del 100 por ciento, es decir, no existe déficit en el suministro para este tipo de demandas.

**Tabla 55. Balance medio anual (hm<sup>3</sup>) de las Unidades Hidrográficas Nivel 6 de la Cuenca Mayo: Situación Futura al 2050 con Cambio Climático RCP 4.5**

Unidad Hidrográfica Nivel 6	Oferta natural	Entrada de aguas arriba	Demanda Poblacional		Demanda agrícola		Demanda Otros Usos		Retornos	Salida a aguas abajo
			Servida	Déficit	Servida	Déficit	Servida	Déficit		
Cuenca Alto Mayo (498449)	4,705.63	0.00	11.280	0.000	449.900	0.282	0.867	0.000	232.85	4,476.43
Cuenca Tonchima 498448	2,012.63	0.00	6.932	0.000	156.686	0.000	0.024	0.000	83.20	1,932.19
Intercuenca Mayo 498447	484.14	0.00	0.037	0.000	98.445	0.000	0.000	0.000	49.25	434.91
Cuenca Huascayacu 498446	1,175.80	0.00	0.000	0.000	13.973	0.000	0.000	0.000	6.99	1,168.81
Intercuenca Mayo 498445	125.07	8,012.34	0.000	0.000	8.399	0.000	0.000	0.000	4.20	8,133.21
Cuenca Indoche 498444	658.12	0.00	0.600	0.000	20.347	0.000	0.007	0.000	10.56	647.72
Intercuenca Mayo 498443	2,042.15	8,780.93	8.010	0.000	647.865	0.000	0.001	0.000	329.35	10,496.55
Cuenca Cumbaza 498442	544.20	0.00	26.352	0.000	122.150	0.000	0.103	0.000	79.52	475.11
Intercuenca Bajo Mayo 498441	15.18	10,971.66	0.661	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.46	10,986.64
<b>CUENCA TOTAL</b>	<b>11,762.92</b>	<b>-</b>	<b>53.870</b>	<b>0.000</b>	<b>1,517.765</b>	<b>0.282</b>	<b>1.003</b>	<b>0.000</b>	<b>796.36</b>	<b>-</b>

**Tabla 56. Balance medio anual (hm<sup>3</sup>) de las Unidades Hidrográficas Nivel 6 de la Cuenca Mayo: Situación Futura al 2050 con Cambio Climático RCP 8.5**

Unidad Hidrográfica Nivel 6	Oferta natural	Entrada de aguas arriba	Demanda Poblacional		Demanda agrícola		Demanda Otros Usos		Retornos	Salida a aguas abajo
			Servida	Déficit	Servida	Déficit	Servida	Déficit		
Cuenca Alto Mayo (498449)	4,877.56	0.00	11.280	0.000	449.887	0.294	0.867	0.000	232.84	4,648.37
Cuenca Tonchima 498448	2,095.18	0.00	6.932	0.000	156.686	0.000	0.024	0.000	83.20	2,014.73
Intercuenca Mayo 498447	503.59	0.00	0.037	0.000	98.445	0.000	0.000	0.000	49.25	454.36
Cuenca Huascayacu 498446	1,225.58	0.00	0.000	0.000	13.973	0.000	0.000	0.000	6.99	1,218.59
Intercuenca Mayo 498445	129.92	8,336.05	0.000	0.000	8.399	0.000	0.000	0.000	4.20	8,461.77
Cuenca Indoche 498444	691.23	0.00	0.600	0.000	20.347	0.000	0.007	0.000	10.56	680.84
Intercuenca Mayo 498443	2,161.43	9,142.61	8.010	0.000	647.865	0.000	0.001	0.000	329.35	10,977.51
Cuenca Cumbaza 498442	571.82	0.00	26.352	0.000	122.150	0.000	0.103	0.000	79.52	502.74
Intercuenca Bajo Mayo 498441	16.28	11,480.25	0.661	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.46	11,496.33
<b>CUENCA TOTAL</b>	<b>12,272.60</b>	<b>-</b>	<b>53.870</b>	<b>0.000</b>	<b>1,517.752</b>	<b>0.294</b>	<b>1.003</b>	<b>0.000</b>	<b>796.36</b>	<b>-</b>

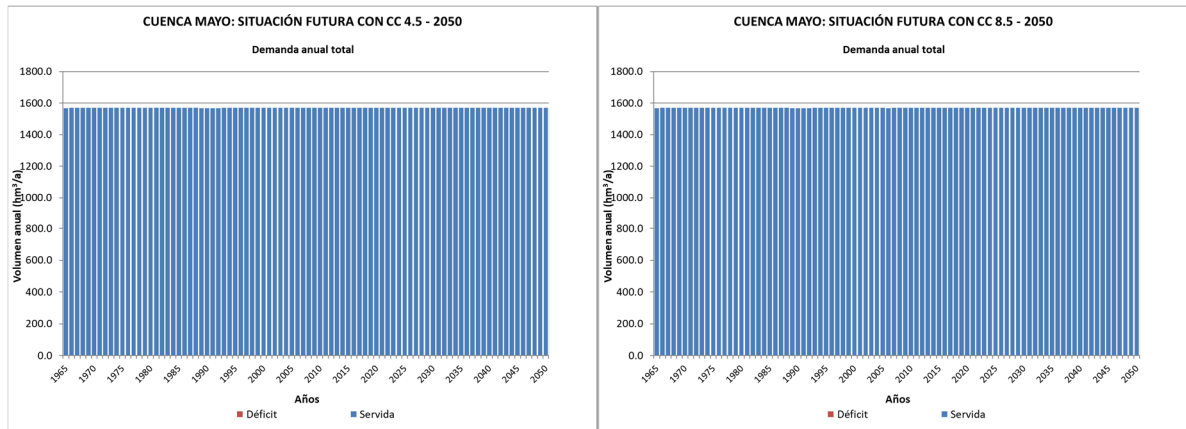
**Tabla 57. Confiabilidad de suministro de las demandas de la Cuenca Mayo: Situación Futura al 2050 con Cambio Climático RCP 4.5**

Unidad Hidrográfica Nivel 6	Demanda Poblacional						Demanda Agrícola						Demanda Otros Usos					
	Demanda (hm <sup>3</sup> /año)			Confiabilidad			Demanda (hm <sup>3</sup> /año)			Confiabilidad			Demanda (hm <sup>3</sup> /año)			Confiabilidad		
	Total	Servida	Déficit	Anual	Mensual	Volum.	Total	Servida	Déficit	Anual	Mensual	Volum.	Total	Servida	Déficit	Anual	Mensual	Volum.
Cuenca Alto Mayo (498449)	11.28	11.28	0.00	100.0%	100.0%	100.0%	450.18	449.90	0.28	100.0%	100.0%	99.9%	0.87	0.87	0.00	100.0%	100.0%	100.0%
Cuenca Tonchima 498448	6.93	6.93	0.00	100.0%	100.0%	100.0%	156.69	156.69	0.00	100.0%	100.0%	100.0%	0.02	0.02	0.00	100.0%	100.0%	100.0%
Intercuenca Mayo 498447	0.04	0.04	0.00	100.0%	100.0%	100.0%	98.45	98.45	0.00	100.0%	100.0%	100.0%	0.00	0.00	0.00	-	-	-
Cuenca Huascayacu 498446	0.00	0.00	0.00	-	-	-	13.97	13.97	0.00	100.0%	100.0%	100.0%	0.00	0.00	0.00	-	-	-
Intercuenca Mayo 498445	0.00	0.00	0.00	-	-	-	8.40	8.40	0.00	100.0%	100.0%	100.0%	0.00	0.00	0.00	-	-	-
Cuenca Indoche 498444	0.60	0.60	0.00	100.0%	100.0%	100.0%	20.35	20.35	0.00	100.0%	100.0%	100.0%	0.01	0.01	0.00	100.0%	100.0%	100.0%
Intercuenca Mayo 498443	8.01	8.01	0.00	100.0%	100.0%	100.0%	647.87	647.87	0.00	100.0%	100.0%	100.0%	0.00	0.00	0.00	100.0%	100.0%	100.0%
Cuenca Cumbaza 498442	26.35	26.35	0.00	100.0%	100.0%	100.0%	122.15	122.15	0.00	100.0%	100.0%	100.0%	0.10	0.10	0.00	100.0%	100.0%	100.0%
Intercuenca Bajo Mayo 498441	0.66	0.66	0.00	100.0%	100.0%	100.0%	0.00	0.00	0.00	-	-	-	0.00	0.00	0.00	-	-	-
<b>CUENCA TOTAL</b>	<b>53.87</b>	<b>53.87</b>	<b>0.00</b>	<b>100.0%</b>	<b>100.0%</b>	<b>100.0%</b>	<b>1518.05</b>	<b>1517.76</b>	<b>0.28</b>	<b>100.0%</b>	<b>100.0%</b>	<b>100.0%</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>0.00</b>	<b>100.0%</b>	<b>100.0%</b>	<b>100.0%</b>

**Tabla 58. Confiabilidad de suministro de las demandas de la Cuenca Mayo: Situación Futura al 2050 con Cambio Climático RCP 8.5**

Unidad Hidrográfica Nivel 6	Demanda Poblacional						Demanda Agrícola						Demanda Otros Usos					
	Demanda (hm <sup>3</sup> /año)			Confiabilidad			Demanda (hm <sup>3</sup> /año)			Confiabilidad			Demanda (hm <sup>3</sup> /año)			Confiabilidad		
	Total	Servida	Déficit	Anual	Mensual	Volum.	Total	Servida	Déficit	Anual	Mensual	Volum.	Total	Servida	Déficit	Anual	Mensual	Volum.
Cuenca Alto Mayo (498449)	11.28	11.28	0.00	100.0%	100.0%	100.0%	450.18	449.89	0.29	100.0%	100.0%	99.9%	0.87	0.87	0.00	100.0%	100.0%	100.0%
Cuenca Tonchima 498448	6.93	6.93	0.00	100.0%	100.0%	100.0%	156.69	156.69	0.00	100.0%	100.0%	100.0%	0.02	0.02	0.00	100.0%	100.0%	100.0%
Intercuenca Mayo 498447	0.04	0.04	0.00	100.0%	100.0%	100.0%	98.45	98.45	0.00	100.0%	100.0%	100.0%	0.00	0.00	0.00	-	-	-
Cuenca Huascayacu 498446	0.00	0.00	0.00	-	-	-	13.97	13.97	0.00	100.0%	100.0%	100.0%	0.00	0.00	0.00	-	-	-
Intercuenca Mayo 498445	0.00	0.00	0.00	-	-	-	8.40	8.40	0.00	100.0%	100.0%	100.0%	0.00	0.00	0.00	-	-	-
Cuenca Indoche 498444	0.60	0.60	0.00	100.0%	100.0%	100.0%	20.35	20.35	0.00	100.0%	100.0%	100.0%	0.01	0.01	0.00	100.0%	100.0%	100.0%
Intercuenca Mayo 498443	8.01	8.01	0.00	100.0%	100.0%	100.0%	647.87	647.87	0.00	100.0%	100.0%	100.0%	0.00	0.00	0.00	100.0%	100.0%	100.0%
Cuenca Cumbaza 498442	26.35	26.35	0.00	100.0%	100.0%	100.0%	122.15	122.15	0.00	100.0%	100.0%	100.0%	0.10	0.10	0.00	100.0%	100.0%	100.0%
Intercuenca Bajo Mayo 498441	0.66	0.66	0.00	100.0%	100.0%	100.0%	0.00	0.00	0.00	-	-	-	0.00	0.00	0.00	-	-	-
<b>CUENCA TOTAL</b>	<b>53.87</b>	<b>53.87</b>	<b>0.00</b>	<b>100.0%</b>	<b>100.0%</b>	<b>100.0%</b>	<b>1518.05</b>	<b>1517.75</b>	<b>0.29</b>	<b>100.0%</b>	<b>100.0%</b>	<b>100.0%</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>0.00</b>	<b>100.0%</b>	<b>100.0%</b>	<b>100.0%</b>

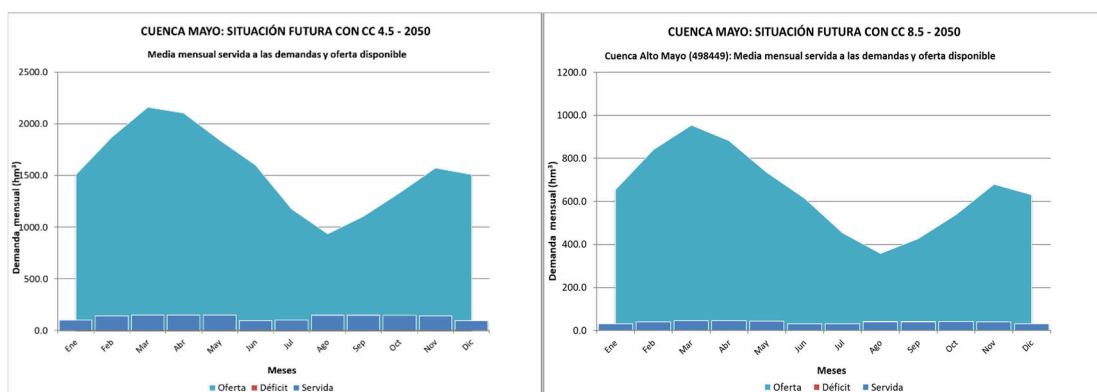
La siguiente figura representa los volúmenes de demanda total anual servida y de déficit para el periodo 1965-2050, debido a la diferencia de magnitud entre la demanda servida y déficit, este último (déficit) es inapreciable en la figura.



**Figura 73. Demanda anual servida y déficit en situación futura 2050 con cambio climático (RCP 4.5 y RCP 8.5): cuenca completa**

Para la situación futura con cambio climático al 2050, la oferta promedio anual en la cuenca Mayo aumenta de 11,533.63 a 11,762.9  $\text{hm}^3/\text{año}$  (RCP 4.5) y 12,272.6 (RCP 8.5), siendo la demanda servida y déficit medio anual de 1,572.62  $\text{hm}^3/\text{año}$  y 0.29  $\text{hm}^3/\text{año}$  respectivamente. La siguiente figura compara la oferta media mensual con la demanda servida y el déficit. Se observa que las demandas servidas son pequeñas con respecto a la oferta disponible y en el caso de los déficits son inapreciables en la figura, debido a la magnitud de la oferta con respecto a la demanda.

Se evidencia claramente dos intervalos temporales de mayor demanda: los meses de abril y de febrero a mayo y de agosto a noviembre.



**Figura 74. Comparativo Oferta natural – Demanda mensual servida y déficit en situación futura 2050 con cambio climático (RCP 4.5 y RCP 8.5): Cuenca Mayo**

En la Tabla 57 y Tabla 58 se observa claramente que para la situación planteada (futura con cambio climático al 2050), la unidad hidrográfica con problemática de déficit sigue siendo la Cuenca Alto Mayo (498449) con valores de 0.28 y 0.29 hm<sup>3</sup>/año para los escenarios climáticos RCP 4.5 y RCP 8.5 respectivamente.

#### 4.1.9.6 Balance hídrico situación futura 2080 con Cambio Climático

Los resultados de los Balances Hídricos en situación futura al 2080 con cambio climático se presentan en la Tabla 59 a Tabla 62, cuya información corresponde al balance medio anual correspondiente al periodo analizado desde 1965-2080 en escenarios RCP 4.5 y 8.5.

De la Tabla 61 y Tabla 62 se concluye lo siguiente:

- Los resultados del balance hídrico para la situación futura con cambio climático al 2080 dan como resultado un déficit total de 0.22 hm<sup>3</sup> asociado al uso agrícola.
- Todas las demandas poblacionales de la cuenca Mayo se sirven con confiabilidad máxima del 100 por ciento, es decir, no existe déficit en el suministro para este tipo de demandas.
- Para el caso de las demandas agrícolas, a nivel de toda la cuenca Mayo existe un déficit medio anual de 0.22 hm<sup>3</sup>, el cual se encuentra localizado en las Unidades Hidrográficas: Cuenca Alto Mayo (498449).
- Todas las demandas agrícolas de la cuenca Mayo se sirven con confiabilidad máxima del 100 por ciento.

Todas las demandas para los otros usos de la cuenca Mayo se sirven con confiabilidad máxima del 100 por ciento, es decir, no existe déficit en el suministro para este tipo de demandas.

**Tabla 59. Balance medio anual (hm<sup>3</sup>) de las Unidades Hidrográficas Nivel 6 de la Cuenca Mayo: Situación Futura al 2080 con Cambio Climático RCP 4.5**

Unidad Hidrográfica Nivel 6	Oferta natural	Entrada de aguas arriba	Demanda Poblacional		Demanda agrícola		Demanda Otros Usos		Retornos	Salida a aguas abajo
			Servida	Déficit	Servida	Déficit	Servida	Déficit		
Cuenca Alto Mayo (498449)	4,780.50	0.00	11.280	0.000	449.969	<b>0.213</b>	0.867	0.000	232.88	4,551.27
Cuenca Tonchima 498448	2,045.57	0.00	6.932	0.000	156.686	0.000	0.024	0.000	83.20	1,965.12
Intercuenca Mayo 498447	491.26	0.00	0.037	0.000	98.445	0.000	0.000	0.000	49.25	442.03
Cuenca Huascayacu 498446	1,193.62	0.00	0.000	0.000	13.973	0.000	0.000	0.000	6.99	1,186.63
Intercuenca Mayo 498445	127.14	8,145.05	0.000	0.000	8.399	0.000	0.000	0.000	4.20	8,267.99
Cuenca Indoche 498444	669.65	0.00	0.600	0.000	20.347	0.000	0.007	0.000	10.56	659.25
Intercuenca Mayo 498443	2,072.24	8,927.24	8.010	0.000	647.865	0.000	0.001	0.000	329.35	10,672.96
Cuenca Cumbaza 498442	548.66	0.00	26.352	0.000	122.150	0.000	0.103	0.000	79.52	479.58
Intercuenca Bajo Mayo 498441	15.28	11,152.54	0.661	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.46	11,167.62
<b>CUENCA TOTAL</b>	<b>11,943.92</b>	<b>-</b>	<b>53.870</b>	<b>0.000</b>	<b>1,517.834</b>	<b>0.213</b>	<b>1.003</b>	<b>0.000</b>	<b>796.40</b>	<b>-</b>

**Tabla 60. Balance medio anual (hm<sup>3</sup>) de las Unidades Hidrográficas Nivel 6 de la Cuenca Mayo: Situación Futura al 2080 con Cambio Climático RCP 8.5**

Unidad Hidrográfica Nivel 6	Oferta natural	Entrada de aguas arriba	Demanda Poblacional		Demanda agrícola		Demanda Otros Usos		Retornos	Salida a aguas abajo
			Servida	Déficit	Servida	Déficit	Servida	Déficit		
Cuenca Alto Mayo (498449)	5,085.16	0.00	11.280	0.000	449.964	<b>0.218</b>	0.867	0.000	232.88	4,855.93
Cuenca Tonchima 498448	2,193.80	0.00	6.932	0.000	156.686	0.000	0.024	0.000	83.20	2,113.35
Intercuenca Mayo 498447	525.67	0.00	0.037	0.000	98.445	0.000	0.000	0.000	49.25	476.44
Cuenca Huascayacu 498446	1,279.26	0.00	0.000	0.000	13.973	0.000	0.000	0.000	6.99	1,272.28
Intercuenca Mayo 498445	135.75	8,717.99	0.000	0.000	8.399	0.000	0.000	0.000	4.20	8,849.55
Cuenca Indoche 498444	724.90	0.00	0.600	0.000	20.347	0.000	0.007	0.000	10.56	714.50
Intercuenca Mayo 498443	2,266.15	9,564.05	8.010	0.000	647.865	0.000	0.001	0.000	329.35	11,503.67
Cuenca Cumbaza 498442	594.42	0.00	26.352	0.000	122.150	0.000	0.103	0.000	79.52	525.33
Intercuenca Bajo Mayo 498441	17.03	12,029.00	0.661	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.46	12,045.83
<b>CUENCA TOTAL</b>	<b>12,822.13</b>	<b>-</b>	<b>53.870</b>	<b>0.000</b>	<b>1,517.828</b>	<b>0.218</b>	<b>1.003</b>	<b>0.000</b>	<b>796.40</b>	<b>-</b>



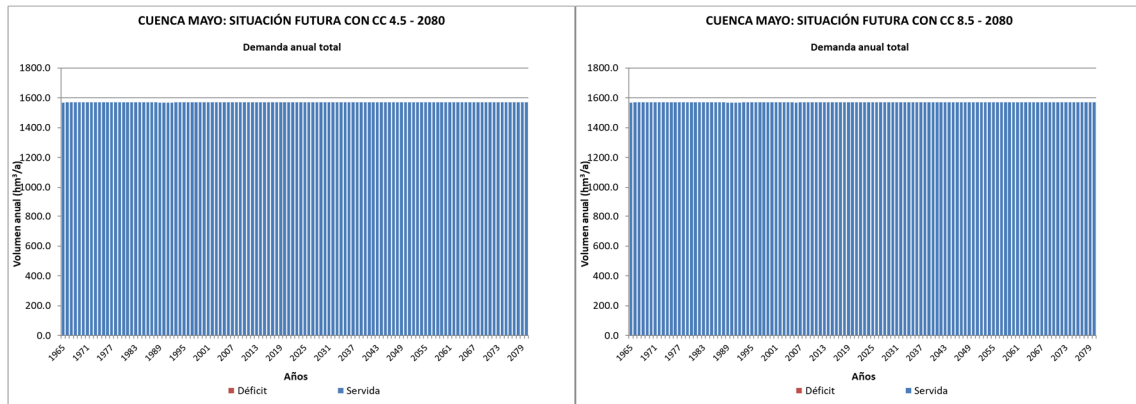
**Tabla 61. Confiabilidad de suministro de las demandas de la Cuenca Mayo: Situación Futura al 2080 con Cambio Climático RCP 4.5**

Unidad Hidrográfica Nivel 6	Demanda Poblacional						Demanda Agrícola						Demanda Otros Usos					
	Demanda (hm <sup>3</sup> /año)			Confiabilidad			Demanda (hm <sup>3</sup> /año)			Confiabilidad			Demanda (hm <sup>3</sup> /año)			Confiabilidad		
	Total	Servida	Déficit	Anual	Mensual	Volum.	Total	Servida	Déficit	Anual	Mensual	Volum.	Total	Servida	Déficit	Anual	Mensual	Volum.
Cuenca Alto Mayo (498449)	11.28	11.28	0.00	100.0%	100.0%	100.0%	450.18	449.97	0.21	100.0%	100.0%	100.0%	0.87	0.87	0.00	100.0%	100.0%	100.0%
Cuenca Tonchima 498448	6.93	6.93	0.00	100.0%	100.0%	100.0%	156.69	156.69	0.00	100.0%	100.0%	100.0%	0.02	0.02	0.00	100.0%	100.0%	100.0%
Intercuenca Mayo 498447	0.04	0.04	0.00	100.0%	100.0%	100.0%	98.45	98.45	0.00	100.0%	100.0%	100.0%	0.00	0.00	0.00	-	-	-
Cuenca Huascayacu 498446	0.00	0.00	0.00	-	-	-	13.97	13.97	0.00	100.0%	100.0%	100.0%	0.00	0.00	0.00	-	-	-
Intercuenca Mayo 498445	0.00	0.00	0.00	-	-	-	8.40	8.40	0.00	100.0%	100.0%	100.0%	0.00	0.00	0.00	-	-	-
Cuenca Indoche 498444	0.60	0.60	0.00	100.0%	100.0%	100.0%	20.35	20.35	0.00	100.0%	100.0%	100.0%	0.01	0.01	0.00	100.0%	100.0%	100.0%
Intercuenca Mayo 498443	8.01	8.01	0.00	100.0%	100.0%	100.0%	647.87	647.87	0.00	100.0%	100.0%	100.0%	0.00	0.00	0.00	100.0%	100.0%	100.0%
Cuenca Cumbaza 498442	26.35	26.35	0.00	100.0%	100.0%	100.0%	122.15	122.15	0.00	100.0%	100.0%	100.0%	0.10	0.10	0.00	100.0%	100.0%	100.0%
Intercuenca Bajo Mayo 498441	0.66	0.66	0.00	100.0%	100.0%	100.0%	0.00	0.00	0.00	-	-	-	0.00	0.00	0.00	-	-	-
<b>CUENCA TOTAL</b>	<b>53.87</b>	<b>53.87</b>	<b>0.00</b>	<b>100.0%</b>	<b>100.0%</b>	<b>100.0%</b>	<b>1518.05</b>	<b>1517.83</b>	<b>0.21</b>	<b>100.0%</b>	<b>100.0%</b>	<b>100.0%</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>0.00</b>	<b>100.0%</b>	<b>100.0%</b>	<b>100.0%</b>

**Tabla 62. Confiabilidad de suministro de las demandas de la Cuenca Mayo: Situación Futura al 2080 con Cambio Climático RCP 8.5**

Unidad Hidrográfica Nivel 6	Demanda Poblacional						Demanda Agrícola						Demanda Otros Usos					
	Demanda (hm <sup>3</sup> /año)			Confiabilidad			Demanda (hm <sup>3</sup> /año)			Confiabilidad			Demanda (hm <sup>3</sup> /año)			Confiabilidad		
	Total	Servida	Déficit	Anual	Mensual	Volum.	Total	Servida	Déficit	Anual	Mensual	Volum.	Total	Servida	Déficit	Anual	Mensual	Volum.
Cuenca Alto Mayo (498449)	11.28	11.28	0.00	100.0%	100.0%	100.0%	450.18	449.96	0.22	100.0%	100.0%	100.0%	0.87	0.87	0.00	100.0%	100.0%	100.0%
Cuenca Tonchima 498448	6.93	6.93	0.00	100.0%	100.0%	100.0%	156.69	156.69	0.00	100.0%	100.0%	100.0%	0.02	0.02	0.00	100.0%	100.0%	100.0%
Intercuenca Mayo 498447	0.04	0.04	0.00	100.0%	100.0%	100.0%	98.45	98.45	0.00	100.0%	100.0%	100.0%	0.00	0.00	0.00	-	-	-
Cuenca Huascayacu 498446	0.00	0.00	0.00	-	-	-	13.97	13.97	0.00	100.0%	100.0%	100.0%	0.00	0.00	0.00	-	-	-
Intercuenca Mayo 498445	0.00	0.00	0.00	-	-	-	8.40	8.40	0.00	100.0%	100.0%	100.0%	0.00	0.00	0.00	-	-	-
Cuenca Indoche 498444	0.60	0.60	0.00	100.0%	100.0%	100.0%	20.35	20.35	0.00	100.0%	100.0%	100.0%	0.01	0.01	0.00	100.0%	100.0%	100.0%
Intercuenca Mayo 498443	8.01	8.01	0.00	100.0%	100.0%	100.0%	647.87	647.87	0.00	100.0%	100.0%	100.0%	0.00	0.00	0.00	100.0%	100.0%	100.0%
Cuenca Cumbaza 498442	26.35	26.35	0.00	100.0%	100.0%	100.0%	122.15	122.15	0.00	100.0%	100.0%	100.0%	0.10	0.10	0.00	100.0%	100.0%	100.0%
Intercuenca Bajo Mayo 498441	0.66	0.66	0.00	100.0%	100.0%	100.0%	0.00	0.00	0.00	-	-	-	0.00	0.00	0.00	-	-	-
<b>CUENCA TOTAL</b>	<b>53.87</b>	<b>53.87</b>	<b>0.00</b>	<b>100.0%</b>	<b>100.0%</b>	<b>100.0%</b>	<b>1518.05</b>	<b>1517.83</b>	<b>0.22</b>	<b>100.0%</b>	<b>100.0%</b>	<b>100.0%</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>0.00</b>	<b>100.0%</b>	<b>100.0%</b>	<b>100.0%</b>

La siguiente figura representa los volúmenes de demanda total anual servida y de déficit para el periodo 1965-2080, debido a la diferencia de magnitud entre la demanda servida y déficit, este último (déficit) es inapreciable en la figura.

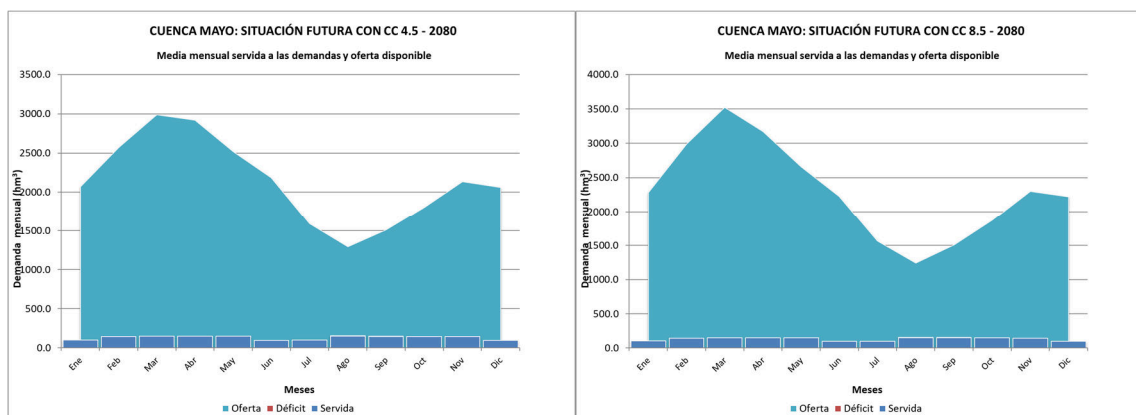


**Figura 75. Demanda anual servida y déficit en situación futura 2080 con cambio climático (RCP 4.5 y RCP 8.5): cuenca completa**

Para la situación futura con cambio climático al 2080, la oferta promedio anual en la cuenca Mayo aumenta de 11,533.63 a 11,943.92  $\text{hm}^3/\text{año}$  (RCP 4.5) y 12,822.13 (RCP 8.5), siendo la demanda servida y déficit medio anual de 1,517.83  $\text{hm}^3/\text{año}$  y 0.22  $\text{hm}^3/\text{año}$  respectivamente.

La siguiente figura compara la oferta media mensual con la demanda servida y el déficit. Se observa que las demandas servidas son pequeñas con respecto a la oferta disponible y en el caso de los déficits son inapreciables en la figura, debido a la magnitud de la oferta con respecto a la demanda.

Se evidencia claramente dos intervalos temporales de mayor demanda: los meses de abril y de febrero a mayo y de agosto a noviembre.



**Figura 76. Comparativo Oferta natural – Demanda mensual servida y déficit en situación futura 2080 con cambio climático (RCP 4.5 y RCP 8.5): Cuenca Mayo**

En la Tabla 61 y Tabla 62 se observa claramente que para la situación planteada (futura con cambio climático al 2080), la unidad hidrográfica con problemática de déficit sigue siendo la Cuenca Alto Mayo (498449) con valores de 0.21 y 0.22 hm<sup>3</sup>/año para los escenarios climáticos RCP 4.5 y RCP 8.5 respectivamente.

#### 4.1.10 Balances hídricos aplicados para los diferentes escenarios

De los resultados mostrados en la Tabla 63, se observa una relación directa entre los horizontes de planificación futura y el incremento de la oferta natural de la cuenca Mayo, es decir, a mayor año de proyección de la incidencia del cambio climático, se obtiene un mayor incremento en la oferta natural, siendo esto evidenciado. en que los mayores incrementos ocurren en las proyecciones al 2080. Sumado a lo mencionado, la oferta natural tiende a un mayor incremento en los escenarios climáticos pesimistas RCP 8.5, siendo esto observado en los resultados de la oferta natural al 2080 con cambio climático RCP 8.5, cuyo incremento es del 11 por ciento con respecto a la oferta en situación actual.

A continuación, se presente la Tabla 63, con el compendio de los balances hídricos aplicados para cada uno de los escenarios de gestión.

**Tabla 63. Balances medios anuales (hm<sup>3</sup>) aplicados en cada uno de los escenarios**

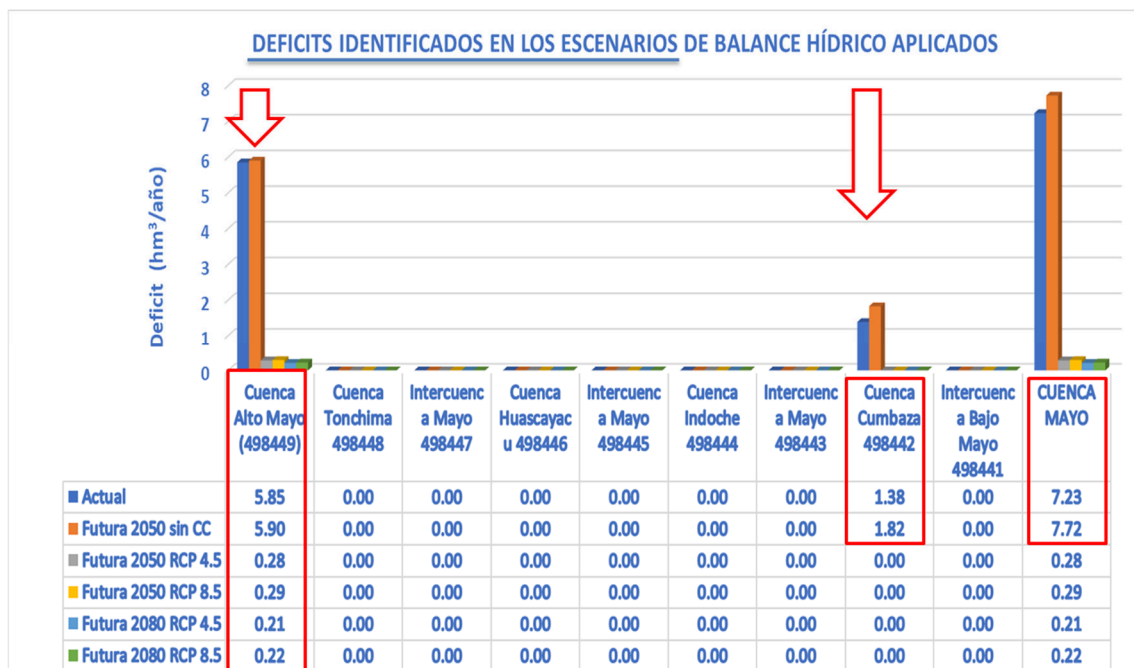
Cuenca Mayo	Oferta natural	Demanda Poblacional		Demanda agrícola		Demanda Otros Usos		Retornos
		Servida	Déficit	Servida	Déficit	Servida	Déficit	
Situación Actual	11,533.63	29.825	0.000	1,507.802	7.221	0.993	0.007	774.59
Situación Futura 2050 Sin cambio Climático	11,533.63	53.870	0.000	1,510.338	7.709	0.994	0.009	792.65
Situación Futura 2050 Con cambio Climático RCP 4.5	11,762.92	53.870	0.000	1,517.765	0.282	1.003	0.000	796.36
Situación Futura 2050 Con cambio Climático RCP 8.5	12,272.60	53.870	0.000	1,517.752	0.294	1.003	0.000	796.36
Situación Futura 2080 Con cambio Climático RCP 4.5	11,943.92	53.870	0.000	1,517.834	0.213	1.003	0.000	796.40
Situación Futura 2080 Con cambio Climático RCP 8.5	12,822.13	53.870	0.000	1,517.828	0.218	1.003	0.000	796.40

Los resultados mostrados en la Tabla 64, indican el total suministro de las demandas poblacionales para todos los escenarios de planificación aplicados en la cuenca Mayo, no evidenciándose déficits para este tipo de uso. Para el caso de las demandas agrícolas, la incidencia del cambio climático es positivo, debido al incremento de la oferta natural y la consecuente reducción del déficit de la situación actual (7.22 hm<sup>3</sup>/año) hasta en un 97 por ciento. Finalmente, para las demandas para otros usos, también registran una reducción del déficit en su totalidad para la situación actual (0.1 hm<sup>3</sup>/año).

A continuación, se presente la Tabla 64, con las confiabilidades obtenidas para cada uno de los escenarios de gestión.

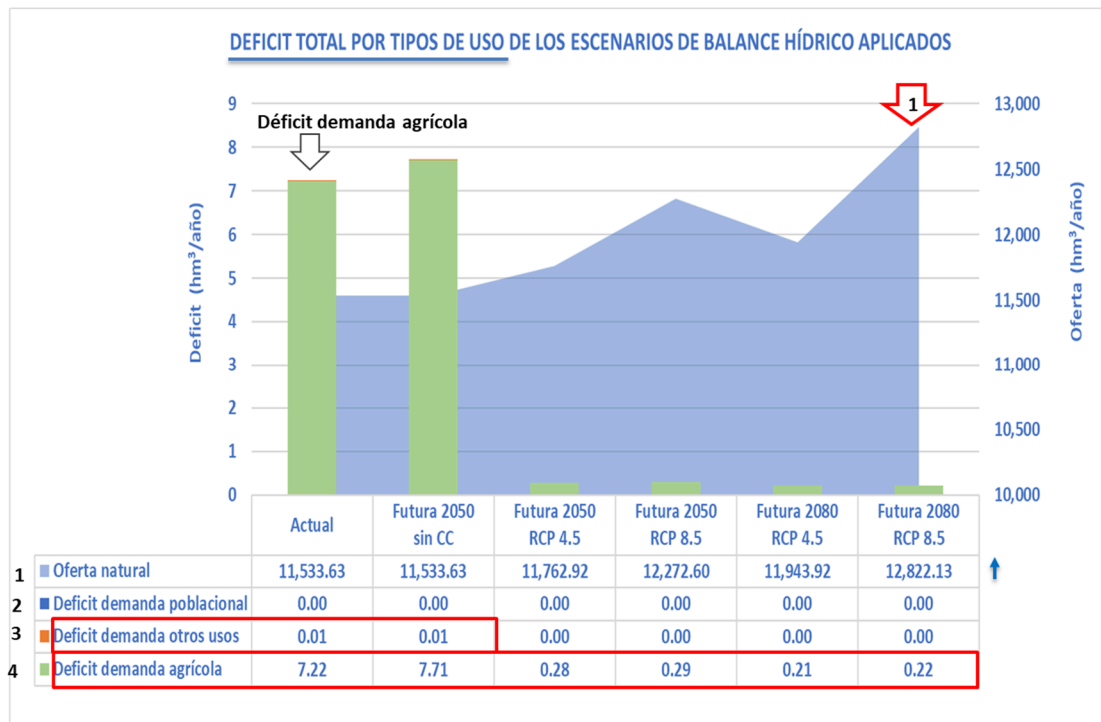
**Tabla 64. Confiabilidad de suministro de las demandas de la Cuenca Mayo para todos los escenarios aplicados**

Cuenca Mayo	Demanda Poblacional						Demanda Agrícola						Demanda Otros Usos					
	Demanda (hm <sup>3</sup> /año)			Confiabilidad			Demanda (hm <sup>3</sup> /año)			Confiabilidad			Demanda (hm <sup>3</sup> /año)			Confiabilidad		
	Total	Servida	Déficit	Anual	Mensual	Volum.	Total	Servida	Déficit	Anual	Mensual	Volum.	Total	Servida	Déficit	Anual	Mensual	Volum.
Situación Actual	29.82	29.82	0.00	100.0%	100.0%	100.0%	1515.02	1507.80	7.22	100.0%	100.0%	99.5%	1.00	0.99	0.01	100.0%	100.0%	99.3%
Situación Futura 2050 Sin cambio Climático	53.87	53.87	0.00	100.0%	100.0%	100.0%	1518.05	1510.34	7.71	100.0%	100.0%	99.5%	1.00	0.99	0.01	100.0%	100.0%	99.1%
Situación Futura 2050 Con cambio Climático RCP 4.5	53.87	53.87	0.00	100.0%	100.0%	100.0%	1518.05	1517.76	0.28	100.0%	100.0%	100.0%	1.00	1.00	0.00	100.0%	100.0%	100.0%
Situación Futura 2050 Con cambio Climático RCP 8.5	53.87	53.87	0.00	100.0%	100.0%	100.0%	1518.05	1517.75	0.29	100.0%	100.0%	100.0%	1.00	1.00	0.00	100.0%	100.0%	100.0%
Situación Futura 2080 Con cambio Climático RCP 4.5	53.87	53.87	0.00	100.0%	100.0%	100.0%	1518.05	1517.83	0.21	100.0%	100.0%	100.0%	1.00	1.00	0.00	100.0%	100.0%	100.0%
Situación Futura 2080 Con cambio Climático RCP 8.5	53.87	53.87	0.00	100.0%	100.0%	100.0%	1518.05	1517.83	0.22	100.0%	100.0%	100.0%	1.00	1.00	0.00	100.0%	100.0%	100.0%



**Figura 77. Déficits identificados en los escenarios de Balance Hídrico aplicados**

En la Figura 77 se aprecia que en situación actual, a nivel de la cuenca del río Mayo, existe un déficit de 7.23 hm<sup>3</sup>/año, el cual aumenta en situación futura sin Cambio Climático al 2050, debido a que la oferta hídrica se mantiene igual como en situación actual, pero si incrementa la demanda multisectorial. Asimismo, de las nueve Unidades Hidrográficas de nivel 6 que conforman a la Cuenca Mayo, las UH Alto Mayo y UH Cumbaza tienen déficit hídrico, sin embargo, dado el incremento de la Oferta hídrica por efecto del cambio climático, en la UH Alto Mayo el déficit se reduce, mientras que en la UH Cumbaza desaparece los déficits.



**Figura 78. Déficit Total por tipo de uso de los escenarios de Balance Hídrico aplicados**

En la Figura 78 se observa que la oferta hídrica futura respecto a la oferta hídrica actual se incrementa y esto es mayor, conforme aumenta el RCP y el periodo es de más largo plazo. También que la demanda poblacional es nula, dado que, según la Ley de Recursos Hídricos, el uso de agua poblacional es primera prioridad. Y tanto en situación actual como situación futura al 2050 sin cambio climático, existe un déficit de 0.001 hm<sup>3</sup>/año; sin embargo, aun cuando se conoce que en cualquier escenario RCP y la proyección futura al 2050 y 2080 existirá incremento de la oferta hídrica, los déficit se reducen pero no desaparecen, más aún si se conoce que la demanda agrícola constituye más del 98% de la demanda total del agua

## 4.2 Discusión

La carencia de suficientes estaciones meteorológicas e hidrológicas (ANA, 2016) , la falta de estudios hidrológicos actualizados, la variación espacial y temporal de la precipitación por efecto del cambio climático (ANA, 2021) y la escasa información a nivel de subcuencas para una adecuada toma de decisiones (Huamán, 2016), entre otros, no permite conocer la oferta y disponibilidad de agua, básico para asignar con certeza el uso de agua. Si bien, el año 2022, la ANA a través del Proyecto de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos, ha implementado 09 estaciones hidrológicas y elaborado el Plan de Gestión de la Cuenca Mayo (ANA, 2022), recién a futuro permitirá contar con información histórica.

Ante dichas condiciones de restricción, se realizó la presente investigación para obtener la disponibilidad hídrica, actual y futura (horizonte al año 2050 y 2080), a nivel subcuencas y presentados a nivel de Unidad Hidrográficas, cuyos resultados obtenidos, nos genera la discusión siguiente:

### **Información climatológica**

#### **Temperatura**

En base a los registros de temperatura se identificó una relación inversamente proporcional entre la altitud y temperatura, es decir, a mayor altura menor temperatura, siendo esta relación que por cada 1000 m la temperatura disminuye 2°C. Tomando en cuenta esta relación, la temperatura media mensual de la cuenca Mayo fluctúa de 14.6 a 27 ° C, estos rangos de temperatura son concordantes con los calculados en otros estudios de la cuenca Mayo (ANA, 2021).



La incidencia del cambio climático en la variable temperatura se ve reflejada en un aumento de esta última, cuyos incrementos guardan relación directa con los escenarios climáticos aplicados (RCP 4.5 y 8.5) y el periodo futuro analizado (cerca 2021-2050 y lejano 2051-2080); es decir, cuanto más pesimista es el escenario aplicado (RCP 8.5) y más distante es el periodo futuro analizado (2051-2080), mayor será el incremento de la temperatura en la cuenca Mayo. Los resultados obtenidos a nivel de cuenca Mayo se encuentran en concordancia con estudios de cambio climático previos, cuyos resultados indican cambios en la temperatura media anual al 2050 con aumentos que excederían el valor de 1.5°C en todo el país para un escenario de altas emisiones, identificándose estos cambios del rango de 1.5°C a 2°C en la región de la costa norte, y superiores a 2 °C en el resto del país (SENAMHI, 2021). Para el caso de la cuenca Mayo se han identificado incrementos de 2.2 °C para el periodo 2021-2050 RCP 8.5. Dicho incremento de las temperaturas tiene un efecto grave en los ecosistemas, la salud humana y la agricultura.

### **Precipitación**

La cuenca Mayo presenta un régimen pluviométrico bimodal (Grandjouan et al., 2017) (Espinoza, et al., 2008), cuyo valor de precipitación media multianual es de 1,430.7 mm, donde la época de estiaje se presenta de junio a setiembre, este valor de precipitación es concordante en magnitud y en distribución temporal con lo estimado en otro estudio de la cuenca Mayo (ANA, 2021).

La influencia del cambio climático en la precipitación, se verá reflejada en un aumento de la precipitación en los meses de febrero a mayo, siendo el mes de marzo el de mayor incremento con valores cercanos al 190 por ciento para el escenario RCP 8.5. Los incrementos guardan relación directa con los escenarios climáticos aplicados (RCP 4.5 y 8.5) y el periodo futuro analizado (cerca 2021-2050 y lejano 2051-2080); es decir, cuanto más pesimista es el escenario aplicado (RCP 8.5) y más distante es el periodo futuro analizado (2051-2080), mayor será el incremento de la precipitación en la cuenca Mayo. Si bien existe un incremento de la precipitación por efecto del cambio climático, este es mayor en la época de abundancia, lo que genera poco impacto en las subcuenca deficitarias. Además, la oferta hídrica con cambio climático respecto a la oferta hídrica histórica, se aprecia que se invierte, podría significar que hay cambios en el régimen hidrológico de la cuenca y advierte la necesidad de adoptar medidas preventivas en las actividades

económicas, el agua potable, la agricultura y afectar la disponibilidad de agua en la cuenca (El País, 2023).

### **Calibración y Validación**

Para la calibración y validación del modelo WEAP, método de humedad del suelo, se utilizó la Estación hidrométrica Shanao, la cual cubre el 87 por ciento del área de la cuenca (ANA, 2016), sus caudales son reales, válidos y fue utilizado en el estudio de Aguas kársticas (Grandjouan, et al., 2017); cuyos resultados de los indicadores BIAS, NASH y R2 son, 0.56, 0.7 y 0.71 respectivamente; para el periodo de calibración son bastantes aceptables (muy bueno), inclusive los valores son más altos y representativos en el periodo de validación. Los indicadores obtenidos en la presente investigación se encuentran en el mismo nivel de aceptabilidad e inclusive en algunos casos con mejores resultados a los estudios realizados en la cuenca Mayo (ANA, 2021). Considerando que la cuenca Mayo pertenece al grupo de cuencas amazónicas caracterizadas por ser excedentarias de recurso hídrico en época avenidas y cuya problemática de planificación hídrica estaría centrada en la falta de recurso en época de estiaje, el proceso de calibración del modelo hidrológico refleja una correcta aproximación de los periodos de estiaje en la cuenca Mayo. Sin embargo, es importante poder ajustar mejor el modelo, haciendo uso de información de las 09 estaciones hidrométricas instaladas por el PGIRH Subcuenca Mayo, así como estudiar a profundidad lo que es el flujo subsuperficial, que tiene un comportamiento muy particular en cuencas de la vertiente del atlántico, por su descarga desde la zona no saturada por medio de un drenaje lateral a los cauces fluviales o a los lagos, manteniendo el equilibrio hídrico, el transporte de nutrientes y sedimentos (Gonzales, et al., 2003).

### **Oferta de agua actual**

La cuenca del río Mayo pertenece a la vertiente del Atlántico, caracterizándose por tener recurso hídrico considerable que asciende a 366.8 m<sup>3</sup>/s, cifra acorde a los resultados presentados en el estudio de recursos hídricos realizados en la cuenca (Autoridad Nacional del Agua, 2016).

En cuanto a la distribución temporal, la oferta natural mensual de la cuenca Mayo, presenta un comportamiento bimodal, acorde a los estudios previos realizados en la cuenca (Grandjouan, et al., 2017) (Espinoza, et al., 2008). Dicho régimen hidrológico bimodal, caracterizado por dos estaciones secas y dos estaciones de lluvias al año, puede influir en la agricultura, la disponibilidad de agua potable, la generación de energía hidroeléctrica y la

biodiversidad, siendo necesario planificar en función a las estaciones de lluvia y secas para maximizar su producción (Maco, 2007).

### **Oferta futura con cambio climático**

El cambio climático incidirá notablemente en un incremento de oferta hídrica mensual de la cuenca Mayo, este acrecentamiento es observado en ambos horizontes futuros tan el cercano (2021-2050) como el lejano (2051-2080) y acentuándose en mayor medida en el escenario RCP 8.5 con respecto al RCP 4.5, por lo que el mayor incremento de la oferta hídrica se evidencia en el futuro lejano (2051-2080) vinculado al escenario RCP 8.5.

Se observa que durante todos los meses hay una clara señal hacia el incremento considerando las proyecciones de los dos horizontes, bajo los dos escenarios RCP 4.5 y 8.5. Este incremento es mayor durante los meses de marzo y abril y en el periodo vinculado al futuro lejano 2051-2080.

La incidencia positiva del cambio climático en la oferta hídrica futura de la cuenca Mayo, también fue evidenciada en el estudio de la cuenca del río Huallaga; el cual también concluyó con el aumento de la oferta futura (ANA, 2016), sin embargo, dicho aumento es de magnitud menor a los identificados en el presente estudio; sin embargo dichos resultados deben tomar en cuenta la función de distribución acumulada de caudales promedio mensuales de la cuenca Mayo, a partir del cual permite conocer la probabilidad de que el caudal en un mes determinado sea menor o igual a un valor específico.

### **Demanda Hídrica Actual y futura en la Cuenca Mayo**

Las demandas hídricas actual multisectoriales para la situación actual en la cuenca Mayo es para atender el uso consuntivo (Poblacional, Agrícola, Pecuario, Industrial, Minero) y el uso no consuntivo (Acuícola, Energético); ascendiendo en total a una demanda total actual de 1,553.26 hm<sup>3</sup>/año; mientras que las demandas multisectoriales para la situación futura ascienden a 1580.33 hm<sup>3</sup>/año. De estas demandas, el uso de agua agrícola constituye más del 98% de la demanda de agua total.

### **Balances hídricos**

Efectuar el balance hídrico a nivel de cuenca Mayo puede distorsionar la realidad, por cuanto la demanda multisectorial total asciende al 13% y un superávit del 87%; sin embargo en la práctica existen ámbitos dentro de la cuenca que tienen escasez de agua sobre todo en época de estiaje, por lo que es necesario efectuar el análisis a niveles menores, como son Unidades hidrográficas de nivel 6 y subcuencas, lo que permite se visualice de manera espacial, temporal y cuantitativa los déficit hídricos existentes. A continuación dichos análisis:

### **Balance Hídrico situación actual**

A nivel de cuenca del río Mayo bajo las condiciones de gestión hídrica actual, no existe problemas de disponibilidad hídrica; pero evidencia pequeños déficits hídricos en época de estiaje en la zona alta y baja de la cuenca, siendo específicos en las cuencas de los ríos Alto mayo (subcuencas Naranjillo y Yuracyacu) y Cumbaza; resultados similares a lo indicado por el reciente estudio hídrico de la cuenca del río Mayo, el cual señala la existencia de déficits a escala de subcuenca en los ríos Yuracyacu y Cumbaza (ANA, 2021).

### **Escenarios futuros sin y con incidencia del cambio climático**

Se analizó escenarios futuros de gestión hídrica sin y con incidencia del cambio climático en la oferta hídrica. Para el escenario futuro sin incidencia del cambio climático, la cuenca del río Mayo tendrá una tendencia al incremento de los déficits identificados en la situación actual, siendo más evidente en la subcuenca del río Cumbaza, debido a que por estar ubicada en la cuenca baja del río Mayo (ámbito de la ALA Tarapoto) tiene una mayor densidad de demandas hídricas.

Para el escenario futuro con incidencia de cambio climático tendrá una respuesta positiva, ya que los resultados del modelo indican un incremento de la oferta hídrica, en época de avenidas y estiaje, para ambos escenarios climáticos (RCP 4.5 y RCP 8.5) y horizontes de proyección considerados (Conservation International, 2009), lo cual favorecerá a mitigar los déficits en la cuenca Mayo, afirmación que guarda relación con el aumento de las lluvias anuales en los últimos cuarenta años, principalmente en Pacaysapa (100 por ciento) y Tabalosos (50 por ciento); ambas localidades ubicadas en la parte baja de la cuenca (SENAMHI, 2009) (IPCC, 2014).

La incidencia positiva del cambio climático en los escenarios futuros de planificación de la cuenca Mayo, también fue evidenciada en otros estudios de planificación hídrica de la región como es el caso de la cuenca Huallaga; el cual también concluyó con el aumento de la oferta futura (Autoridad Nacional del Agua, 2016), sin embargo, dicho aumento es de una magnitud menor a los identificados en el presente estudio.

### **Balance Hídrico con cambio climático**

Los resultados del Balance Hídrico a nivel de cuenca del río Mayo con cambio climático demuestra que no existe escasez de recurso hídrico; sin embargo, se evidencia déficits a escala de subcuencas en los ríos Yuracyacu, Cumbaza y Naranjillo. Es Naranjillo una subcuenca con déficit no mitigable, aún con aumento de la oferta hídrica, evidenciándose su situación vulnerable en todos los escenarios de disponibilidad hídrica aplicados. Sin embargo, no podemos excluir la posibilidad de que los déficits sean mucho mayores en magnitud que los resultados obtenidos, debido a la existencia de demandas pendientes (actuales y futuras) por precisar y formalizar a cargo de las Administraciones Locales de Agua de Alto Mayo y de Tarapoto, con lo cual se obtendría resultados más exactos de la disponibilidad hídrica en la cuenca del río Mayo.

La cuenca del río Mayo, en un contexto de cambio climático, tendrá una tendencia al aumento de la oferta hídrica sobre todo en época de avenidas (Conservation International, 2009), incluso los resultados obtenidos demuestran que no existe una tendencia a la disminución del recurso hídrico en época de estiaje; esto es evidenciado en los diferentes horizontes de proyección (2050 y 2080) y escenarios climáticos aplicados (RCP 4.5 y RCP 8.5), esta tendencia del aumento de la oferta por efectos del cambio climático es observado en otras cuencas del territorio nacional (Pino, et al., 2022).

### **Diagramas de Taylor y sus métricas**

La metodología para la estimación de las series de precipitación y temperatura influenciadas con el cambio climático tiene en cuenta los modelos globales, los cuales han sido ajustados a los datos observados en la cuenca Mayo, permitiendo proyectar series con cambio climático, que utilizando los Diagramas de Taylor y sus respectivas métricas, permite visualizar su precisión; aspecto a destacar ya que actualmente los estudios realizados en la cuenca Mayo, no lo han desarrollado.

## V. CONCLUSIONES

La temperatura en la Cuenca del río Mayo, fluctúa de 14.6 a 27 ° C, siendo inversamente proporcional a su altura; y la precipitación media multianual fluctúa de 824.7 a 2605.6 mm/año. La calibración y validación del Modelo WEAP, arroja valores de estadísticos eficiencia aplicados: R2 (0.71, 0.82) Nash-Sutcliffe (0.70, 0.75) e índice PBIAS (0.85, 0.99), lo cual refleja la correcta simulación de la oferta hídrica sobre todo en época de estiaje

En la cuenca del río Mayo posee un área de drenaje de 9,774.35 km<sup>2</sup> y cuya oferta natural presenta un caudal medio mensual de 366.8 m<sup>3</sup>/s para el periodo 1965 – 2018, la misma que se traduce a un valor de aportación anual de 11,533.6 hm<sup>3</sup>/año, con comportamiento bimodal.

Según los escenarios planteados para la asignación de uso de agua, los resultados del impacto del cambio climático, muestran un aumento sobre la oferta hídrica de la cuenca Mayo para los horizontes 2021-2050 y 2051-2080, con un incremento durante todo el año, siendo este mayor conforme incrementa el tiempo y el RCP es más pesimista y durante el periodo húmedo (febrero-abril), respecto al periodo seco (julio-septiembre). Además, se prevé un incremento de la oferta hídrica en un 26 por ciento y 32 por ciento para los periodos 2021-2050 y 2051-2080 respectivamente, correspondientes al escenario climáticos más desfavorables (RCP 8.5)

En situación actual, el balance hídrico da como resultado un pequeño déficit de 7.23 hm<sup>3</sup>/año en época de estiaje, ubicado espacialmente en la Unidad Hidrográfica Alto Mayo 498449 (subcuencas de los ríos Naranjillo y Yuracyacu) y Unidad Hidrográfica Cuenca Cumbaza 498442: este déficit está asociado a las demandas agrícolas y otros usos. Pese al pequeño déficit hídrico identificado, existe un alto grado de satisfacción de las demandas multisectoriales, afirmación que es avalada por las altas confiabilidades obtenidas.

En situación futura sin cambio climático, el balance hídrico al 2050, incrementa en un 6 por ciento el déficit respecto a la situación actual, en respuesta al incremento de las demandas multisectoriales y al supuesto que la oferta hídrica se mantiene invariable. El déficit sigue ubicándose espacialmente en las mismas Unidades hidrográficas identificadas en la situación actual, sin embargo, la “Cuenca Cumbaza 498442” es la que presenta mayor incremento del déficit, debido a que gran parte de la demanda futura se ubica en la parte baja del río Mayo, ámbito de la ALA Tarapoto.

En situación futura con cambio climático, el balance hídrico de la cuenca Mayo al 2050 y 2080, presentan una reducción promedio del déficit de 7.23 a 0.25 hm<sup>3</sup>/año (reducción del 97 por ciento), debido al incremento de la oferta hídrica en todos los escenarios aplicados, sobre todo en la cuenca baja (tramo comprendido entre la confluencia del Río Mayo con el Río Cumbaza hasta su desembocadura al río Huallaga), donde se registra un incremento de la oferta hasta el 60 por ciento para el escenario futuro RCP 8.5 proyectado al 2080. Y la subcuenca Naranjillo, perteneciente a la Unidad Hidrográfica Alto Mayo, en situación actual e incluso situación futura donde se pronostica el incremento de la oferta hídrica; los déficit hídricos existentes podrían ser superados, considerando cultivos de menor módulo de riego que el arroz, incremento de la eficiencia operativa, durante los meses de junio, julio y agosto que es época de estiaje; que podría incorporarse como criterios de ajuste en los Planes de Aprovechamiento de disponibilidades hídricas (PADH).

En situación actual, demuestra que existe pequeño déficit de 7.23 hm<sup>3</sup>/año en época de estiaje, en la Unidad Hidrográfica Alto Mayo (subcuencas de los ríos Naranjillo y Yuracyacu) y Unidad Hidrográfica Cuenca Cumbaza, déficit que está asociado a las demandas agrícolas y otros usos.

En situación futura, en todos los escenarios con cambio climático aplicados (RCP4.5 y RCP8.5), con proyección al 2050 y 2080, no se evidencia una variabilidad significativa, ya que estos fluctúan entre 0.21 a 0.29 hm<sup>3</sup>/año entre escenarios, esto debido a que los incrementos de la oferta hídrica futura se registran mayoritariamente en época de avenidas, lo que podrían incidir positivamente en la reducción del déficit de las demandas actuales identificadas en las subcuencas Naranjillo, Yuracyacu y Cumbaza.

Sin embargo, tanto en situación actual deberá incluirse medidas como el limitar la emisión de derechos de uso de agua en las subcuencas con déficit hídrico identificados, efectuar el fortalecimiento de capacidades de los usuarios del sector agrícola para usar el agua con más eficiencia y rotar cultivos más eficientes y acordes a la climatología de la cuenca. Mientras que en situación futura, al no ser suficiente el incremento de la oferta hídrica, complementariamente se debe efectuar construcción o mejoramiento de las bocatomas/captaciones, mejoramiento de la infraestructura hidráulica principal, aplicar nuevas técnicas de riego a nivel parcelario y dependiendo de las condiciones topográficas, geológicas y geotécnicas del emplazamiento existentes, evaluar la creación de micro sistemas de almacenamiento, que permitan disponer de recurso hídrico en época de estiaje.



## **VI. RECOMENDACIONES**

1. La aplicación y resultados de los Modelos Globales Climáticos, nos arroja incremento potencial en la oferta hídrica, sin embargo, es necesario tomar en cuenta el grado de probabilidad de su ocurrencia, según la Función de distribución acumulada de caudales promedio mensuales de la cuenca Mayo.
2. Los Planes de Aprovechamiento de disponibilidades hídricas (PADH), deben incluir todas las demandas multisectoriales, los caudales ecológicos, la incidencia del cambio climático, criterios de ajuste cuando existen déficit y Balances Hídricos a nivel de subcuencas y unidades hidrográficas menores.
3. Continuar con el ciclo de retroalimentación del modelo WEAP, considerando la información de las 09 estaciones hidrometeorológicas implementadas recientemente por el PGIRH – ANA, estudio del flujo subsuperficial y una actualización de la demanda actual y futura las cuales consideren en su cálculo la posible influencia del cambio climático.
4. Ante el incremento de la temperatura y precipitación por efecto del cambio climático, se debe adoptar estrategias desde la planificación que tomen en cuenta sus implicancias en la producción y productividad de cultivos, la variabilidad en disponibilidad hídrica espacial y temporal, así como medidas de protección de cauces para evitar desbordes, pérdidas humanas y deterioro de la infraestructura hidráulica y crear reservorios para almacenar los superávits y abastecer las zonas deficitarias.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abera Abdi, D., & Ayenew, T. (2021). *Evaluation of the WEAP model in simulating subbasin hydrology in the Central Rift Valley basin, Ethiopia.*
- Agarwal, A., Patil, J., Goyal, V., & Jayakumar, K. (2018). *A review on weap21 model for managing water resources.*
- Aliaga, S. (1983). *Tratamiento de Datos Hidrometeorológicos.*
- Andres, N., Vegas, F., Lavado, W., & Zappa, M. (2015). *Water resources and climate change impact modelling on a daily timescale in the Peruvian Andes.* doi:<http://dx.doi.org/10.1080/02626667.2013.86233>
- Aparicio, M. (1992). *Fundamentos de hidrología de superficie. Relaciones lluvia – escurrimiento.*
- Arana-Ruedas, D., & Moggiano, N. (2022). *Agriculture and water resources: UNFCCC influence on Peruvian adaptation regulations to increase resilience against climate change.* doi:<https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2022.020>
- Argungu Abdullahi, S. (2015). *Assessment Of The Impact Impact Of Climate Change On*
- Askar, M. (2014). *Rainfall-runoff model using the SCS-CN method and geographic information systems a case study of Gomal River watershed.* Autoridad Nacional del Agua - ANA. (2012). *Diagnóstico de la Gestión de los Recursos Hídricos de la Cuenca Chira-Piura - Informe Principal.*
- Autoridad Nacional del Agua - ANA. (2018). *Artículo 28. Definición : Plan de Aprovechamiento de las Disponibilidades Hídrica . RJ 327-2018-ANA.*
- Autoridad Nacional del Agua - ANA. (2020). *Plan de Gestión de Recursos Hídricos en la Cuenca del Río Mayo.*
- Autoridad Nacional del Agua - ANA. (2020). *Resolución Jefatural N° 151 – 2020\_ANA, Aprueba el Glosario de Términos de la Ley 29338, Ley de Recursos Hídricos y su Reglamento, aprobado mediante Decreto Supremo N° 001-2010-AG.*

- Autoridad Nacional del Agua. (2008). (RM N°033-2008-AG, 17/01/2008). *Aprueban Metodología de Codificación de Unidades Hidrográficas de Pfafstetter, Memoria Descriptiva y Plano de Delimitación y Codificación de las Unidades Hidrográficas del Perú. 2010. ANA. Obtenido de <https://www.ana.gob.pe/publicaciones/r-m-no-033-2008-ag>*
- Autoridad Nacional del Agua. (2012). *Programa de Formalización de Derechos de Uso de Agua.*
- Autoridad Nacional del Agua. (2016). *Evaluación de Recursos Hídricos de 12 Cuencas Hidrográficas del Perú.*
- Autoridad Nacional del Agua. (2016). *La Abundancia de Agua y la paradoja del déficit hídrico en el Perú: ¿es un problema sin solución?*
- Autoridad Nacional del Agua. (2016). *Priorización de Cuencas para la Gestión de los Recursos Hídricos.*
- Autoridad Nacional del Agua. (2017). RD N°771-2017-ANA, *Creáse el Comité de Subcuenca Mayo, con la finalidad de contribuir en la gestión integrada de los recursos hídricos en su ámbito, de acuerdo a la Ley N° 29338 - "Ley de Recursos Hídricos.*
- Autoridad Nacional del Agua. (2017). *RJ 153-2017-ANA Lineamientos Generales para la Creación de Comités de Subcuenca en la Amazonía.*
- Autoridad Nacional del Agua. (2017). RJ N° 095-2017-ANA, el 26/04/17. *Apruébese la delimitación del ámbito territorial de las Administraciones Locales de Agua comprendidas en el ámbito de la Autoridad Administrativa del Agua Huallaga.*
- Autoridad Nacional del Agua. (2018). *Artículo 28. Definición : Plan de Aprovechamiento de las Disponibilidades Hídrica . RJ 327-2018-ANA.*
- Autoridad Nacional del Agua. (2018). *Módulo de información de la. Dirección Administración de Recursos Hídricos.*
- Autoridad Nacional del Agua. (2019). *Ley de los Recursos Hídricos: Ley N° 29338.*
- Autoridad Nacional del Agua. (2019). *Ley de los Recursos Hídricos: Ley N° 29338 Art 153-155.*
- Autoridad Nacional del Agua. (2019). *Ley de Recursos Hídricos – Ley N° 29338- Art. 45°.*
- Autoridad Nacional del Agua. (2019). *Ley de Recursos Hídricos – Ley N° 29338- Art. 64°.*

- Autoridad Nacional del Agua. (2021). *Plan de Gestión de Recursos Hídricos de Sub Cuenca Mayo Informe Final*.
- Autoridad Nacional del Agua. (2021). *Resolución Jefatural N° 057-2021-ANA*.
- Autoridad Nacional del Agua. (2022). *Plan Operativo Institucional (POI) 2022 Comité de Subcuenca Mayo*.
- Banco Interamericano de Desarrollo. (2018). *La variabilidad y el cambio climático*.
- Biswas, A., Tortajada, C., & Rohner, P. (2018). *Assessing Global Water Megatrends, Chapter of the book Assessing Global Water Megatrends*.
- Bonilla-Ovallos, C., & Mesa, O. (2017). *Validación de la precipitación estimada por modelos climáticos acoplados del proyecto de intercomparación CMIP5 en Colombia*.
- Bremnes, J., Haugen, J., & Engen-Skaugen, T. (2012). *Technical Note: Downscaling RCM precipitation to the station scale using statistical transformations – a comparison of methods*.
- Cabrera, C. (2011). *Calibración de Modelos Hidrológicos*.
- Cabrera, D. (2011). *Sistemas de riego regulados construidos en el Perú*.
- Chevallier, P., Pouyaud, B., Suarez, W., & Condom, T. (2010). *Climate change threats to environment in the tropical Andes: glaciers and water resources*. Obtenido de <https://link.springer.com/article/10.1007/s10113-010-0177-6>
- Cline, S., Rosegrant, M., & Ximing, C. (2002). *World water and food to 2025 dealing with scarcity*.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe - CEPAL. (2021). *Hacia una agenda de seguridad hídrica para América Latina y el Caribe 2030 Contribuciones a partir de la Conferencia de Finanzas y Gobernanza del Agua en América Latina y el Caribe: Rumbo a Dakar 2022*.
- Comité de Subcuenca Mayo. (2017). *Fundamentos técnicos para la creación del comité de subcuenca en la Amazonía*.
- Conservation International. (2009). *Indice de Salud del Agua Cuenca Alto Mayo Región San Martín Perú*. Obtenido de [https://www.conservation.org/docs/default-source/peru/reporte-alto-mayo-basin.pdf?Status=Master&sfvrsn=d45269e\\_3](https://www.conservation.org/docs/default-source/peru/reporte-alto-mayo-basin.pdf?Status=Master&sfvrsn=d45269e_3)
- Dourojeanni, A. (2016). *Elaboración de escenarios sobre el futuro del agua: Casos*.
- Duan, W., Maskey, S., Chaffe, P., Luo, P., He, B., Wu, Y., & Hou, J. (2021). *Recent Advancement in Remote Sensing Technology for Hydrology Analysis and Water Resources Management*. Obtenido de <https://doi.org/10.3390/rs13061097>

- El País. (2023). *Cambio climático: Bienvenido 2023, el año del agua*.
- Eroski Consumer. (2009). *Modelos climáticos: así se predice el calentamiento global*.  
Obtenido de <https://www.consumer.es/medio-ambiente/modelos-climaticos-asi-se-predice-el-calentamiento-global.html>.
- Escurrea, J. (2000). *Informe Nacional del Perú sobre gestión de recursos hídricos: Gestión de Recursos Hídricos*.
- Espinoza, J., Ronchail, J., Guyot, J., Cochonneau, G., Naziano, F., Lavado, W., . . . Vauchel, P. (2008). *Spatio-temporal rainfall variability in the Amazon basin countries (Brazil, Peru, Bolivia, Colombia, and Ecuador)*. doi:10.1002/joc.1791
- Fernandez, D. (2017). *Utilización del programa SWAT para la estimación de la emisión de sedimentos en cuencas*.
- Fowler, H., & Wilby, R. (2007). *Beyond the downscaling comparison study*. Obtenido de <https://doi.org/10.1002/joc.1616>. Royal Meteorological Society
- García-Marín, A., Roldán-Cañas, J., & Estévez, J. (2014). *La hidrología y su papel en ingeniería del agua*.
- Gonzales, M., Polo, M., Masip, I., Marqués, A., & Giráldez, J. (2003). *Importancia Del Flujo Subsuperficial En La Iniciación De Cárcavas En La Campiña Andaluza*.
- Grandjouan, O., Hidalgo, L., Apaéstegui, J., Baby, P., Cochonneau, G., Condori, E., . . . Guyot, J. (2017). *Las resurgencias del Alto Mayo (San Martín, Perú): estudio*.
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (2014). IPCC, 2014: Cambio climático 2014: Informe de síntesis. *Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo*. Obtenido de [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR\\_AR5\\_FINAL\\_full\\_es.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full_es.pdf)
- Huamán, H. (2016). *Estudio de mejora y actualización del modelo hidrológico y de gestión en el ámbito del ALA Alto Mayo, AAA Huallaga*.
- Ingol Blanco, E., & Mckinney, D. (2013). *Development of a Hydrological Model for the Rio Conchos Basin*". *Journal of Hydrologic Engineering*.
- Ingol, E., & McKinney, D. (2012). *Analysis of Scenarios to Adapt to Climate Change Impacts in the Rio Conchos Basin*. doi:[https://doi.org/10.1061/41173\(414\)141](https://doi.org/10.1061/41173(414)141)
- Llauca, H., & Montesinos, C. (2020). *Modelamiento hidrológico mensual a nivel nacional, para el monitoreo de sequías en el Perú*. En W. Lavado-Casimiro (Ed.), *Estudios Hidrológicos del SENAMHI: Resúmenes Ejecutivos - 2020*.
- Llauca, H., Lavado-Casimiro, W., Montesinos, C., Santini, W., & Rau, P. (2022). *PISCO\_HyM\_GR2M: A Model of Monthly Water Balance in Peru (1981–2020)*.

- M. Kh. Askar Salahaddin University, Kurdistan Region, Iraq. *WIT Transactions on Ecology and The Environment*. (2014). *Rainfall-runoff model using the SCS-CN method and geographic information systems: a case study of Gomal River watershed*.
- Maco, J. (2007). *Zonificación ecológica económica del Alto Mayo. Informe Temático Hidrografía. Convenio de Cooperación entre el Proyecto Especial Alto mayo (PEAM) y el Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP)*.
- McMillan, H., Westerberg, I., & Krueger, T. (2018). *Hydrological data uncertainty and its implications*.
- Mena, D., Solera, A., Restrepo, L., Pimiento, M., Cañón, M., & Duarte, F. (2021). *An analysis of unmet water demand under climate change scenarios in the Guali River Basin, Colombia, through the implementation of Hydro-BID and WEAP hydrological modeling tools*. Obtenido de <https://iwaponline.com/jwcc/article/12/1/185/71569/An-analysis-of-unmet-water-demand-under-climate>
- Mendoza, M., Bocco, G., Bravo, M., Siebe, C., & Ortiz, M. (2002). *Modelamiento hidrológico espacialmente distribuido: una revisión de sus componentes, niveles de integración e implicaciones en la estimación de procesos hidrológicos en cuencas no instrumentadas*.
- Michelle TH van Vliet, E. R. (2021). *Escasez mundial de agua, incluida la calidad del agua superficial y la expansión de tecnologías de agua limpia*.
- Ministerio del Ambiente Perú, Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, Ministerio de medio ambiente y agua del Estado Plurinacional de Bolivia. (2018). *Escenarios Climáticos en el Sistema Hídrico del Lago Titicaca, Río Desaguadero, Lago Poopó y Salar De Coipasa*.
- NASA Center for Climate Simulation. (2022). *NASA Earth Exchange Global Daily Downscaled Projections (NEX-GDDP)*. Obtenido de <https://www.nccs.nasa.gov/services/data-collections/land-based-products/nex-gddp>
- Nelson, G., Rosegrant, M., Koo, J., Robertson, R., Sulser, T., Zhu, T., . . . Lee, D. (2009). *Climate Change Impact on Agriculture and Costs of Adaptation*.
- Ordoñez, J., Obando, O., Arboleda, F., Carranza, J., Vera, H., Villasis, R., . . . Casaverde, M. (2011). *Disponibilidad hídrica actual y futura en la subcuenca del río Shullcas*.

- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2021). *El estado de los Recursos de Tierras y Aguas del Mundo para la Alimentación y la Agricultura. Sistemas al límite. Informe de síntesis 2021.*
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (2018). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2018: Soluciones basadas en la naturaleza para la gestión del agua.*
- Organización Meteorológica Mundial. (2021). *Estado del clima en 2021: los fenómenos extremos y sus principales repercusiones.* Obtenido de <https://public.wmo.int/es/media/comunicados-de-prensa/estado-del-clima-en-2021-los-fen%C3%B3menos-extremos-y-sus-principales>
- Orozco, I., Ramírez, A., & Francés, F. (2018). *Modelación de los impactos del Cambio Climático sobre los flujos y almacenamientos en una cuenca de alta montaña.*
- Pierce, D., Barnett, T., Santer, B., & Gleckler, P. (2009). *Selecting global climate models for regional climate change studies.*
- Pino, E., Chávarri, E., Ingol, E., Mejía, F., Cruz, A., & Vera, A. (2022). *Impacts of Climate Change and Variability on Precipitation and Maximum Flows in Devil's Creek, Tacna, Peru.* Obtenido de <https://doi.org/10.3390/hydrology9010010>
- Rivera, P., Herrera, E., & Ochoa, W. (2022). *Comparación de series mensuales de precipitación y temperaturas de los Modelos CMIP6 para Guatemala.*
- Rosegrant, M., Cai, X., & Cline, S. (2002). *World water and food to 2025 dealing with scarcity.*
- Ruiz, R., & Torres, H. (2008). *Manual de Procedimientos de Delimitación y Codificación de Unidades Hidrográficas. Caso: América Del Sur.*
- Segura, M. (2017). *Análisis comparativo de modelos agregados de balance hídrico en la España peninsular y su sensibilidad a la incertidumbre climática.*
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (2009). *Escenarios Climáticos en la Cuenca del Río Mayo para el año 2030.*
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (2014). *Regionalización Estadística de Escenarios Climáticos en Perú.*
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (2021). *Escenarios climáticos al 2050 en el Perú: Cambios en el clima promedio.*
- Tabari, H. (2020). *Climate change impact on flood and extreme precipitation increases with water availability.*

- Timaná, D. (2014). *El cambio climático y su impacto en la biodiversidad terrestre en el Perú*.
- Touseef, M., Chen, L., & Yang, W. (2021). *Assessment of Surface Water Availability under Climate Change Using Coupled SWAT-WEAP in Hongshui River Basin, China*. doi:<https://doi.org/10.3390/ijgi10050298>
- United States Agency for International Development. (2012). *Follow the Water: Emerging Issues of Climate Change and Conflict in Peru: CMM Discussion Paper No. 5*. Obtenido de [https://pdf.usaid.gov/pdf\\_docs/PNAEC328.pdf](https://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PNAEC328.pdf)
- Van Soesbergen, A., & Mulligan, M. (2016). *Potential outcomes of multi-variable climate change on water resources in the Santa Basin, Peru*. doi:<https://doi.org/10.1080/07900627.2016.1259101>
- Zagona, E. (1998). *Un entorno general de modelización de ríos y depósitos*.
- Zubieta, R. (2013). *Modelado Hidrológico Distribuido de la Cuenca Amazónica Peruana Utilizando Precipitación Obtenida por Satélite*.



### **XIII. ANEXOS**

- Anexo 1. Precipitación media mensual por subcuencas (mm) periodo 1965-2018
- Anexo 2. Temperatura media mensual por subcuencas (°C) periodo 1965-2018
- Anexo 3. Caudales registrados en la estación Shanao
- Anexo 4. Calibración y validación del modelo hidrológico
- Anexo 5. Caudales medios mensuales parciales por subcuencas (m<sup>3</sup>/s) para el periodo 1965-2018
- Anexo 6. Caudales medios mensuales acumulados por subcuencas (m<sup>3</sup>/s) para el periodo 1965-2018
- Anexo 7. Caudales medios mensuales parciales con cambio climático RCP 4.5 por subcuencas (m<sup>3</sup>/s) para el periodo 1965-2080
- Anexo 8. Caudales medios mensuales acumulados con cambio climático RCP 4.5 por subcuencas (m<sup>3</sup>/s) para el periodo 1965-2080
- Anexo 9. Caudales medios mensuales parciales con cambio climático RCP 8.5 por subcuencas (m<sup>3</sup>/s) para el periodo 1965-2080
- Anexo 10. Caudales medios mensuales acumulados con cambio climático RCP 8.5 por subcuencas (m<sup>3</sup>/s) para el periodo 1965-2080
- Anexo 11. Derechos de uso de agua (m<sup>3</sup>)
- Anexo 12. Acreditaciones de disponibilidad hídrica en la cuenca Mayo (hm<sup>3</sup>)
- Anexo 13. Demandas hídricas no formalizadas en la cuenca Mayo (hm<sup>3</sup>)
- Anexo 14. Demanda modelo de gestión WEAP (hm<sup>3</sup>)
- Anexo 15. Confiabilidad de las demandas en la cuenca Mayo situación actual
- Anexo 16. Confiabilidad de las demandas en la cuenca Mayo situación futura sin cambio climático

Link de descarga:

[Huamanchumo, J. \(2024\), Disponibilidad Hídrica Superficial en la Cuenca del Rio Mayo Actual y Futura con fines de Asignación de Uso de Agua](#)

email: [jaime\\_huamanchumo@yahoo.es](mailto:jaime_huamanchumo@yahoo.es)