



Esta obra está bajo una Licencia  
Creative Commons Atribución -  
4.0 Internacional (CC BY 4.0)

Vea una copia de esta licencia en  
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es>





**FACULTAD DE ECOLOGÍA**  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA

Tesis

# **Disponibilidad hídrica de las microcuencas Rumiyacu y Mishquiyacu, en escenarios de cambio climático al 2060, para abastecimiento poblacional de Moyobamba**

Para optar el título profesional de Ingeniero Sanitario

**Autor:**

Jose Kelvis Diaz Alejandria  
<https://orcid.org/0000-0002-9897-1459>

**Asesor:**

Ing. M. Sc. Santiago Alberto Casas Luna  
<https://orcid.org/0000-0003-3755-4093>

**Código N° 71408237**

**Moyobamba, Perú**

**2024**



**FACULTAD DE ECOLOGÍA**  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA

Tesis

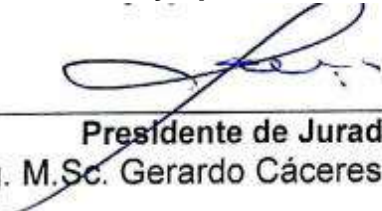
# **Disponibilidad hídrica de las microcuencas Rumiyacu y Mishquiyacu, en escenarios de cambio climático al 2060, para abastecimiento poblacional de Moyobamba**

Para optar el título profesional de Ingeniero Sanitario


**Presentado por**

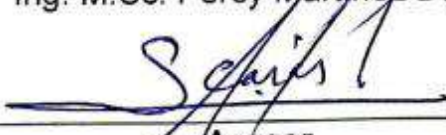
Jose Kelvis Diaz Alejendria

**Sustentado y aprobado el 28 de agosto del 2024, ante el honorable jurado:**

  
\_\_\_\_\_  
**Presidente de Jurado**  
Ing. M.Sc. Gerardo Cáceres Bardález

  
\_\_\_\_\_  
**Secretario de Jurado**  
Ing. M.Sc. Marcos Aquiles Ayala  
Díaz

  
\_\_\_\_\_  
**Vocal de Jurado**  
Ing. M.Sc. Percy Martínez Dávila

  
\_\_\_\_\_  
**Asesor**  
Ing. M. Sc. Santiago Alberto Casas Luna

**Moyobamba, Perú**

**2024**



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN  
FACULTAD DE ECOLOGÍA  
Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria



**ACTA DE SUSTENTACIÓN DEL INFORME FINAL DE TESIS  
CONDUCENTES A TÍTULO PROFESIONAL N° 012-2024-UNSM/EPIS/UI**

**Jurado reconocido con Resolución N.º 219-2023-UNSM/CF/FE, Moyobamba 27 de abril de 2023.**

**FACULTAD DE ECOLOGÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA**

**PROGRAMA DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA SANITARIA**

A las 15:00 horas, del día miércoles 28 de agosto de 2024, se dio inicio al acto público de sustentación del informe final de tesis **“Disponibilidad Hídrica de las microcuencas Rumiyacu y Mishquiyacu, en escenarios de cambio climático al 2060 para el abastecimiento poblacional de Moyobamba”**, para optar el título profesional de Ingeniero Sanitario, presentado por **Jose Kelvis Diaz Alejandria**, con la asesoría del **Ing. M.Sc. Santiago Alberto Casas Luna**.

Instalada la Mesa Directiva conformada por el **Ing. M.Sc. Gerardo Cáceres Bardález** (Presidente del jurado), **Ing. M.Sc. Marcos Aquiles Ayala Díaz** (Secretario), **Ing. M.Sc. Percy Martínez Dávila** (Vocal) y acompañado por el **Ing. M.Sc. Santiago Alberto Casas Luna** (Asesor), el presidente del jurado dirige brevemente unas palabras y a continuación el secretario dio lectura a la **Resolución N° 515-2023-UNSM/CF/FE, de fecha 30 de noviembre de 2023**.

Seguidamente el autor expuso el informe final de tesis y el jurado realizó las preguntas pertinentes, respondidas por el sustentante y evaluado por el jurado con la venia del asesor.

Una vez terminada la ronda de preguntas el jurado procedió a deliberar para determinar la calificación final, para lo cual dispuso un receso de quince (15) minutos, con participación del asesor con voz, pero sin voto; sin la presencia del sustentante y otros participantes del acto público.

Luego de aplicar los criterios de calificación con estricta observancia del principio de objetividad y de acuerdo con los puntajes en escala vigesimal (de 0 a 20), según el Anexo 4.2 del RG-CTI, la nota de sustentación otorgada resultante del promedio aritmético de los calificativos emitidos por cada uno de los miembros del jurado fue **APROBADA 16**), tal como se deja constar en la siguiente descripción.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN  
FACULTAD DE ECOLOGÍA  
Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria



De acuerdo con el Artículo 40° del RG-CTI, la nota obtenida es DIECISEIS y correspondiente a la calificación de BUENO. Leído este resultado en presencia de todos los participantes del acto de sustentación, el secretario dio lectura a las observaciones subsanables al informe final que el autor deberá corregir y alcanzar al jurado en un plazo máximo de treinta (30) días calendarios.

Se deja constancia que la presente acta se inscribe en el Libro de Sustentaciones N° 001 del Programa de Estudios de Ingeniería Sanitaria de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria de la Facultad de Ecología de la Universidad Nacional de San Martín.

Firman los integrantes de la Mesa Directiva y el autor del informe final tesis, en señal de conformidad, dando por concluido el acto a las 16:50 horas, el mismo día miércoles 28 de agosto de 2024.

Ing. M.Sc. Gerardo Cáceres Bardález  
**Presidente de Jurado**

Ing. M.Sc. Marcos Aquiles Ayala Díaz  
**Secretario de Jurado**

Ing. M.Sc. Percy Martínez Dávila  
**Vocal del Jurado**

Ing. M.Sc. Santiago Alberto Casas Luna  
**Asesor**

Jose Kelvis Diaz Alejandria  
**Autor**

## Declaratoria de autenticidad

**Jose Kelvis Diaz Alejandria**, con DNI N° 71408237, egresados de la Escuela Profesional de ingeniería sanitaria de la Facultad de ecología de la Universidad Nacional de San Martín, autor de la tesis titulada: **“Disponibilidad hídrica de las microcuencas Rumiyacu y Mishquiyacu, en escenarios de cambio climático al 2060, para abastecimiento poblacional de Moyobamba”**.

Declaramos bajo juramento que:

1. La tesis presentada es de nuestra autoría.
2. La redacción fue realizada respetando las citas y referencia de las fuentes bibliográficas consultadas, siguiendo las normas APA actuales
3. Toda información que contiene la tesis no ha sido plagiada;
4. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido alterados ni copiados, por tanto, la información de esta investigación debe considerarse como aporte a la realidad investigada.

Por lo antes mencionado, asumimos bajo responsabilidad las consecuencias que deriven de mi accionar, sometiéndome a las leyes de nuestro país y normas vigentes de la Universidad Nacional de San Martín.

Moyobamba, 28 de agosto del 2024



**Jose Kelvis Diaz Alejandria**  
DNI N° 71408237  
Autor

## Ficha de identificación

<p><b>Título del proyecto</b> Disponibilidad hídrica de las microcuencas Rumiyacu y Mishquiyacu, en escenarios de cambio climático al 2060, para abastecimiento poblacional de Moyobamba</p>	<p><b>Área de investigación:</b> Ingeniería y Tecnología Ambiental  <b>Línea de investigación:</b> Variabilidad Climática y Cambio Climático  <b>Sublínea de investigación:</b> Servicios ecosistémicos  <b>Grupo de investigación:</b> Resolución N° 250-2022-UNSM/CFT/FE  <b>Tipo de investigación:</b>            Básica <input type="checkbox"/>, Aplicada <input checked="" type="checkbox"/>, Desarrollo experimental <input type="checkbox"/></p>
<p><b>Autor:</b> <b>Jose Kelvis Diaz Alejandria</b></p>	<p>Facultad de Ecología Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria <a href="https://orcid.org/0000-0002-9897-1459">https://orcid.org/0000-0002-9897-1459</a></p>
<p><b>Asesor:</b> <b>Ing. M. Sc. Santiago Alberto Casas Luna</b></p>	<p><b>Dependencia local de soporte:</b> Facultad de Ecología Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria Unidad o Laboratorio Ingeniería Sanitaria <a href="https://orcid.org/0000-0003-3755-4093">https://orcid.org/0000-0003-3755-4093</a></p>

## **Dedicatoria**

A mis queridos padres, Elisa Alejandría Delgado y Wilmer Díaz Cruz, quienes me apoyaron desde el principio y confiaron en mí a pesar de todas las dificultades que a veces se nos presentan.

A mis tíos Walter Alejandría Delgado y Robertina Muñoz Díaz, quienes me apoyaron de manera incondicional en mi proceso de formación profesional.

## **Agradecimientos**

Agradezco a Dios ya que gracias a él voy logrando mis metas personales y profesionales y que, a pesar de los problemas, siempre he encontrado una salida gracias a él.

Agradezco a mis padres por el apoyo que me brindaron a lo largo de mi formación profesional, ya que gracias a ellos estoy saliendo adelante como profesional y como persona.

Agradezco a mis tíos por el apoyo incondicional que me brindaron en su momento ya que ellos fueron como segundos padres para mí a lo largo de mi formación profesional.

Agradezco a mi asesor de tesis Ing. M. Sc. Santiago Alberto Casas Luna, ya que gracias a su apoyo se hizo realidad y se logró los objetivos planteados en la presente investigación.

Agradezco la Universidad Nacional de San Martín, en especial a la Facultad de Ecología, y Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria por los 05 años de aprendizaje y que a pesar de las dificultades y limitaciones que a veces se presenta, se pudo culminar la carrera de manera satisfactoria, así mismo a todos los docentes que a lo largo de los 05 años de formación profesional inculcaron en mí su conocimiento y sabiduría con las diferentes asignaturas, para formarme como profesional en ingeniería sanitaria.

## Índice general

Ficha de identificación .....	6
Dedicatoria .....	7
Agradecimientos.....	8
Índice general.....	9
Índice de tablas .....	11
Índice de figuras .....	13
RESUMEN .....	15
ABSTRACT .....	16
CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN.....	17
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO .....	20
2.1. Antecedentes de la investigación .....	20
2.2. Fundamentos teóricos.....	22
CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS .....	30
3.1. Ámbito y condiciones de la investigación .....	30
3.1.1 Contexto de la investigación.....	30
3.1.2 Periodo de ejecución.....	30
3.1.3 Autorizaciones y permisos .....	30
3.1.4 Control ambiental y protocolos de bioseguridad.....	31
3.1.5 Aplicación de principios éticos internacionales.....	31
3.2. Sistema de variables .....	32
3.2.1 Variables principales correlacionales .....	32
3.2.2 Variables secundarias interferentes .....	32
3.3 . Procedimientos de la investigación .....	32
3.3.1. objetivo específico 1 .....	32
3.3.2. Objetivo específico 2.....	35
3.3.3. Objetivo específico 3.....	36
3.3.4. Objetivo específico 4.....	39
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	41

4.1 . Resultado específico 1 .....	41
4.1.1. Delimitación de las microcuencas.....	41
4.1.2. Tipo de suelos .....	42
4.1.3. Uso actual de la tierra.....	44
4.1.4. Pendientes .....	45
4.1.5. Parámetros meteorológicos escenario base .....	46
4.1.6. Caudales .....	58
4.2 . Resultado específico 2 .....	61
4.2.1. Parámetros meteorológicos proyectados al año 2040 .....	61
4.2.2. Parámetros meteorológicos proyectados al año 2060 .....	69
4.2.3. Parámetros meteorológicos en todos los escenarios.....	77
4.3 . Resultado específico 3 .....	84
4.3.1. Modelamiento hidrológico mediante SWAT .....	84
4.3.2. Disponibilidad hídrica en el escenario base (2023).....	88
4.3.3. Disponibilidad hídrica proyectada al año 2040.....	90
4.3.4. Disponibilidad hídrica proyectada al año 2060.....	94
4.3.5. Disponibilidad hídrica respetando el caudal ecológico.....	98
4.4 . Resultado específico 4 .....	99
4.4.1. Cálculo de la demanda de agua potable hasta el año 2060.....	100
4.4.2. Balance hídrico.....	105
CONCLUSIONES.....	117
RECOMENDACIONES.....	119
ANEXOS .....	127

## Índice de tablas

Tabla 1. Área y perímetro de las subcuencas .....	41
Tabla 2. Tipo de suelos .....	43
Tabla 3. Uso de suelos .....	44
Tabla 4. Clasificación de pendientes .....	45
Tabla 5. Comparación de la precipitación observada y simulada, 2023 .....	46
Tabla 6. Prueba F, precipitación observada y simulada .....	47
Tabla 7. Prueba t, precipitación observa y simulada .....	47
Tabla 8. Comparación de temperatura máxima observada y simulada .....	48
Tabla 9. Prueba F, temperatura máxima.....	49
Tabla 10. Prueba t, temperatura máxima observada y simulada .....	49
Tabla 11. Temperatura mínima observada y simulada .....	50
Tabla 12. Prueba F temperatura mínima .....	51
Tabla 13. Prueba t, temperatura mínima observada y simulada .....	51
Tabla 14. Ubicación de puntos de simulación de parámetros meteorológicos .....	53
Tabla 15. Simulaciones de temperatura máxima, escenario base .....	53
Tabla 16. Simulaciones de temperatura mínima, escenario base .....	54
Tabla 17. Simulaciones de precipitación, escenario base .....	55
Tabla 18. Simulaciones de radiación solar, escenario base.....	57
Tabla 19. Volumen acreditado por la ANA, 2018 .....	58
Tabla 20. Caudales ecológicos según la ANA, 2018 .....	59
Tabla 21. Simulaciones de temperatura máxima, escenario 01 .....	61
Tabla 22. Simulaciones de temperatura mínima, escenario 01 .....	62
Tabla 23. Simulaciones de precipitación, escenario 01 .....	63
Tabla 24. Simulaciones de radiación solar, escenario 01 .....	64
Tabla 25. Simulaciones de temperatura máxima, escenario 02 .....	65
Tabla 26. Simulaciones de temperatura mínima, escenario 02.....	66
Tabla 27. Simulaciones de precipitación, escenario 02.....	67
Tabla 28. Simulaciones de radiación solar, escenario 02 .....	68
Tabla 29. Simulaciones de temperatura máxima, escenario 03 .....	69
Tabla 30. Simulaciones de temperatura mínima, escenario 03.....	70
Tabla 31. Simulaciones de precipitación, escenario 03.....	71
Tabla 32. Simulaciones de radiación solar, escenario 03 .....	72
Tabla 33. Simulaciones de temperatura mínima, escenario 04.....	73

Tabla 34. Simulaciones de temperatura mínima, escenario 03.....	74
Tabla 35. Simulaciones de precipitación, escenario 03.....	75
Tabla 36. Simulaciones de radiación solar, escenario 04 .....	76
Tabla 37. Temperatura máxima en todos los escenarios.....	77
Tabla 38. Temperatura mínima en todos los escenarios.....	79
Tabla 39. Precipitación en todos los escenarios .....	80
Tabla 40. Simulaciones de radiación solar en todos los escenarios.....	82
Tabla 41. Comparación de caudales de la ANA y SWAT, sin ajustar.....	84
Tabla 42. Meses con mayor ajuste .....	85
Tabla 43. Comparación de caudales ANA y SWAT, ajustados .....	86
Tabla 44. Caudales, escenario base.....	88
Tabla 45. Caudales, escenario 01 .....	90
Tabla 46. Caudales, escenario 02 .....	92
Tabla 47. Caudales escenario 03 .....	94
Tabla 48. Caudales, escenario 04 .....	96
Tabla 49. Disponibilidad hídrica respetando el caudal ecológico .....	98
Tabla 50. Población intercensal.....	100
Tabla 51. Tasa de crecimiento poblacional.....	100
Tabla 52. Población futura bajo el ámbito de influencia de la EPS Moyobamba .....	101
Tabla 53. Población futura bajo el ámbito de la EPS Moyobamba, considerando el % de cobertura del servicio.....	102
Tabla 54. Demanda de agua potable considerando la población total .....	103
Tabla 55. Demanda de agua potable considerando el % de población servida.....	104
Tabla 56. Balance hídrico escenario base, considerando el total de la población .....	105
Tabla 57. Balance hídrico escenario base, considerando el % de población servida	106
Tabla 58. Balance hídrico escenario 01, considerando el total de la población.....	107
Tabla 59. Balance hídrico escenario 01, considerando el % de la población servida	108
Tabla 60. Balance hídrico escenario 02, considerando el total de la población.....	109
Tabla 61. Balance hídrico escenario 02, considerando el % de población servida....	110
Tabla 62. Balance hídrico escenario 03, considerando la población total .....	111
Tabla 63. Balance hídrico escenario 03, considerando el % de población servida....	112
Tabla 64. Balance hídrico escenario 04, considerando la población total .....	113
Tabla 65. Balance hídrico escenario 04, considerando el % de la población servida	114

## Índice de figuras

Figura 1. Trayectorias de concentración representativa.....	26
Figura 2. Delimitación y subcuencas .....	41
Figura 3. Tipo de suelos .....	42
Figura 4. Uso de suelos.....	44
Figura 5. Clasificación de pendientes. ....	45
Figura 6. Precipitación observada y simulada, 2023.....	47
figura 7. Temperatura máxima observada y simulada.....	49
Figura 8. Temperatura mínima observada y simulada. ....	51
Figura 9. Ubicación de puntos de simulación.....	52
Figura 10. Temperatura máxima, escenario base.....	54
Figura 11. Temperatura mínima escenario base.....	55
Figura 12. Precipitación, escenario base. ....	56
Figura 13. Radiación solar, escenario base. ....	57
Figura 14. Temperatura máxima, escenario 01.....	62
Figura 15. Temperatura mínima, escenario 01. ....	63
Figura 16. Precipitación, escenario 01.....	64
Figura 17. Radiación solar, escenario 01.....	65
Figura 18. Temperatura máxima escenario 02.....	66
Figura 19. Temperatura mínima, escenario 02. ....	67
Figura 20. Precipitación escenario 02.....	68
Figura 21. Radiación solar, escenario 02.....	69
Figura 22. Temperatura máxima, escenario 03.....	70
Figura 23. Temperatura mínima, escenario 03. ....	71
Figura 24. Precipitación, escenario 03.....	72
Figura 25. Radiación solar, escenario 03.....	73
Figura 26. Temperatura máxima, escenario 04.....	74
Figura 27. Temperatura mínima, escenario 04. ....	75
Figura 28. Precipitación, escenario 04. ....	76
Figura 29. Radiación solar, escenario 04.....	77
Figura 30. Temperatura máxima en todos los escenarios.....	78
Figura 31. Temperatura mínima en todos los escenarios.....	79
Figura 32. Precipitación en todos los escenarios. ....	81
Figura 33. Radiación solar en todos los escenarios.....	82
Figura 34. Comparación de caudales, ANA y SWAT, sin ajustar. ....	85
Figura 35. Valores con mayor ajuste entre los caudales de la ANA y SWAT. ....	86

Figura 36. Comparación de caudales ajustados. ....	87
Figura 37. Correlación lineal, escenario base. ....	88
Figura 38. Caudales sin ajustar, escenario base. ....	89
Figura 39. Caudal ajustado, escenario base. ....	89
Figura 40. Correlación lineal, escenario 01. ....	90
Figura 41. Caudales sin ajustar, escenario 01. ....	91
Figura 42. Caudal ajustado, escenario 01. ....	91
Figura 43. Correlación lineal, escenario 02. ....	92
Figura 44. Caudales sin ajustar, escenario 02. ....	93
Figura 45. Caudal ajustado, escenario 02. ....	93
Figura 46. Correlación lineal, escenario 03. ....	94
Figura 47. Caudales sin ajustar, escenario 03. ....	95
Figura 48. Caudal ajustado, escenario 03. ....	95
Figura 49. Correlación lineal, escenario 04. ....	96
Figura 50. Caudal sin ajustar, escenario 04. ....	97
Figura 51. Caudal ajustado, escenario 04. ....	97
Figura 52. Anexo 01. Modelo de elevación digital. ....	127
Figura 53. Anexo 02. Mapa de ubicación de la zona de estudio. ....	121
Figura 54. Anexo 03. Mapa de delimitación y sub cuencas. ....	122
Figura 55. Anexo 04. Mapa de tipo de suelos. ....	123
Figura 56. Anexo 05. Mapa de uso de suelos. ....	124
Figura 57. Anexo 06. Mapa de pendientes. ....	125
Figura 58. Anexo 08. Simulaciones en MarkSIM. ....	128
Figura 59. Anexo 09. Vistas del modelo SWAT. ....	129

## RESUMEN

Disponibilidad hídrica de las microcuencas Rumiycu y Mishqiyacu, en escenarios de cambio climático al 2060, para abastecimiento poblacional de Moyobamba

La presente investigación tuvo por objetivo evaluar como varía la disponibilidad hídrica de las microcuencas Rumiycu y Mishqiyacu para abastecimiento poblacional de la ciudad de Moyobamba, debido a los impactos del cambio climático, hasta el año 2060. Se realizó una recolección de información secundaria como el DEM, tipo de suelos, cobertura vegetal de la zona de estudios y parámetros meteorológicos de las estaciones Moyobamba, Rioja, Soritor y Japelacio, por otro lado para conocer los parámetros meteorológicos de temperatura máxima y mínima, precipitación y radiación solar en el futuro, se utilizó la herramienta MarkSIM, en los escenarios MIROC-ESM-RCP4.5-2040 (01), MIROC-ESM-RCP8.5-2040 (02), MIROC-ESM-RCP4.5-2060 (03), MIROC-ESM-RCP8.5-2060 (04), así se evidenció que se espera un aumento de la temperatura máxima de +0,47; +0,69; +0,78 y +1,50 °C respectivamente, con respecto a la temperatura mínima se estimó un aumento de +0,49; +0,63; +0,84 y +1,47 °C respectivamente, en cuanto a la precipitación se prevé variaciones de +2,9%; +0,1%; +0,4% y -8.2% respectivamente. Posteriormente se estimó los caudales en todos los escenarios con el modelo SWAT, a partir de los cuales se prevé una disminución de los mismos de -12,01%; -4,7% y -8,7% en los escenarios 01, 03 y 04 respectivamente, mientras que en el escenario 02 se prevé un aumento de +2,7%. tomando como referencia el escenario base del 2023. Por otro lado para determinar el balance hídrico se calculó la demanda de agua potable de Moyobamba para lo cual primero se hizo un cálculo del crecimiento poblacional, de donde se evidenció que la población está creciendo de manera considerable, finalmente se analizó la capacidad que tienen las microcuencas Rumiycu y Mishqiyacu para abastecer de agua a Moyobamba en los escenarios analizados, de donde se pudo evidenciar que en todos los escenarios analizados existe un déficit hídrico preocupante ya que los resultados arrojaron que en los escenarios 01, 02, 03 y 04, las microcuencas solo tendrían la capacidad para abastecer a 36950 hab, 43169 hab, 40046 hab y 38355 hab respectivamente, los cuales representan el 28,79%; 33,63%; 15,57% y 14,91% de la población total, en los escenarios mencionados.

*Palabras clave:* Cambio Climático, Crecimiento poblacional, MarkSIM, SWAT, Disponibilidad hídrica.

## ABSTRACT

Water availability of the Rumiycacu and Mishquiyacu micro-watersheds, in climate change scenarios to 2060, for population supply in Moyobamba.

The objective of this research was to evaluate how the water availability of the Rumiycacu and Mishquiyacu micro-watersheds for population supply in the city of Moyobamba varies due to the impacts of climate change up to the year 2060. Secondary information such as the DEM, soil type, vegetation cover of the study area and meteorological parameters of the Moyobamba, Rioja, Soritor and Jepelacio stations were collected. On the other hand, in order to determine the meteorological parameters of maximum and minimum temperature, precipitation and solar radiation in the future, the MarkSIM tool was used in the scenarios MIROC-ESM-RCP4.5-2040 (01), MIROC-ESM-RCP8.5-2040 (02), MIROC-ESM-RCP4.5-2060 (03), MIROC-ESM-RCP8.5-2060 (04), which showed that an increase in maximum temperature of +0.47, +0.69, +0.78 and +1.50 °C respectively is expected, with respect to the minimum temperature, an increase of +0.49, +0.63, +0.84 and +1.47 °C respectively is estimated, with respect to precipitation, variations of +2.9%, +0.1%, +0.4% and -8.2% respectively are predicted, with respect to the base scenario. Subsequently, flow rates were estimated for all scenarios using the SWAT model, from which a decrease of -12.01%, -4.7% and -8.7% is expected in scenarios 01, 03 and 04, respectively, while scenario 02 is expected to increase by +2.7%, taking the base scenario of 2023 as a reference. To determine the water balance, Moyobamba's potable water demand was calculated by first calculating population growth, which showed that the population is growing considerably. Finally, the capacity of the Rumiycacu and Mishquiyacu micro-watersheds to supply water to Moyobamba in the scenarios under study was analyzed, showing that in all the scenarios analyzed there is a worrisome water deficit, since the results showed that in scenarios 01, 02, 03 and 04, the micro-watersheds would only have the capacity to supply 36950 inhabitants, 43169 inhabitants, 40046 inhabitants and 38355 inhabitants respectively, which represent 28.79%, 33.63%, 15.57% and 14.91% of the total population, in the aforementioned scenarios.

**Keywords:** Climate Change, Population growth, MarkSIM, SWAT, Water availability



## **CAPÍTULO I**

### **INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN**

El desarrollo de la humanidad y el crecimiento de la población a nivel mundial, ha generado que el hombre cada día realice diversas actividades destinadas a generar condiciones que le faciliten la vida cotidiana. Sin embargo, muchas de estas actividades generan contaminantes como los gases de efecto invernadero, los cuales cubren el planeta atrapando los rayos solares de manera excesiva e innecesaria provocando el calentamiento global y el cambio climático.

Las principales actividades que provocan estas emisiones son: la generación de energía, ya que a nivel mundial la mayor cantidad de electricidad y calor proviene aún de combustibles fósiles; la fabricación de productos, la mayoría de industrias y fábricas obtienen energía gracias a la quema de combustibles fósiles, al igual que en el sector minero, de construcción y transporte; la tala de árboles, debido a que cada año se talan por lo menos 12 millones de hectáreas de bosques, reduciendo de manera significativa la absorción del dióxido de carbono que estos realizan gracias a la fotosíntesis (Organización de la Naciones Unidas [ONU], s. f.a).

Por otro lado, el abastecimiento de agua potable es fundamental para el bienestar y el desarrollo sostenible de las comunidades, sin embargo debido a la situación actual del mundo respecto al cambio climático, la disponibilidad hídrica cada vez se vuelve más incierta y susceptible a variaciones, este es un fenómeno global que trae consigo desafíos significativos respecto a garantizar un adecuado abastecimiento del recurso, sobre todo en lugares vulnerables y con alta demanda de recursos hídricos, por otro lado, dicha demanda aumenta cada año, debido al crecimiento desenfrenado de la población.

En este contexto, en el Quinto Informe de Evaluación del IPCC Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) así como en el informe especial del mismo, del 2018, se detalla información sobre los cambios hidrológicos relacionados al cambio climático dentro de lo cual nos dice que por cada grado de aumento de la temperatura global, por lo menos el 7% de la población mundial, sufrirá una disminución del recurso hídrico al menos en un 20%, y considerando que la población crece de manera excesiva cada año, este problema se agrava aún más, lo cual, significa un peligro para la sostenibilidad del recurso hídrico.

Así mismo, en el Perú, la Autoridad Nacional del Agua (ANA), nos dice que a partir del aumento de la temperatura y la variación del clima, se estima escenarios preocupantes

de escasez de agua en diversas partes del país, lo cual se evidencia en la ciudad de Moyobamba ya que a finales del 2022, la Empresa Prestadora de Servicios de Saneamiento (EPS Moyobamba) de dicha ciudad, informó que una de sus principales fuentes de abastecimiento (microcuencas Rumiyacu y Mishquiyacu) ha disminuido su caudal por menos 50 L/s. Todo ello debido a que desde a partir del 2012 aproximadamente, el clima que ha predominado ha sido un calor prolongado e intenso, ocasionando que las principales fuentes de captación disminuyan su caudal de forma considerable.

Frente a ello en la presente investigación se planteó el siguiente problema: ¿Cómo se comporta la disponibilidad hídrica de las microcuencas Rumiyacu y Mishquiyacu, en escenarios de cambio climático al 2060, para el abastecimiento de agua poblacional de la ciudad de Moyobamba?

Teniendo como hipótesis correlacional la siguiente: La disponibilidad hídrica de las microcuencas Rumiyacu y Mishquiyacu, varía en escenarios de cambio climático al año 2060, para abastecimiento de agua poblacional de la ciudad de Moyobamba.

Y como objetivos general y específicos los siguientes: OG: Evaluar la disponibilidad hídrica de las microcuencas Rumiyacu y Mishquiyacu, en escenarios de cambio climático al año 2060, para el abastecimiento de agua poblacional de la ciudad de Moyobamba; OE 01: Generar la base de datos de las características geomorfológicas, meteorológicas e hidrológicas de las microcuencas, OE 02: Proyectar los parámetros meteorológicos de la microcuenca en escenarios de cambio climático al año 2060, mediante el generador meteorológico MarkSIM, OE 03: Estimar la disponibilidad hídrica de las microcuencas en los escenarios de cambio climático al año 2060, mediante el modelo SWAT y OE 04: Analizar la capacidad hídrica de las microcuencas, para abastecer la demanda de agua poblacional de la ciudad de Moyobamba.

A partir de lo cual se logró evaluar la capacidad que tienen las fuentes Rumiyacu y Mishquiyacu para abastecer de agua potable en el futuro a la población en crecimiento de Moyobamba, considerando los impactos del cambio climático en el recurso hídrico.

Por otro lado, para abastecer de manera adecuada con agua potable a una población, también juega un rol muy importante el sistema de abastecimiento que se use, por lo que, para la presente investigación es necesario recalcar que solo se analizó la disponibilidad hídrica en términos de oferta y demanda, independientemente del sistema que podría ser utilizado para la captación, tratamiento y distribución del agua.

Por ello, para lograr el objetivo se partió generando la base de datos de la zona de estudio como la delimitación de esta y sus parámetros geomorfológicos, el tipo de suelos, uso de suelos y los parámetros meteorológicos de temperatura máxima y mínima, precipitación y radiación solar en los escenarios que se proyectaron, a partir de lo cual se pudo estimar las variaciones de la disponibilidad hídrica de las fuentes analizadas en todos los escenarios utilizando el modelo hidrológico SWAT.

Por otro lado, para conocer la capacidad que tienen las microcuencas para abastecer de agua a la población se partió proyectando el crecimiento de esta en los escenarios analizados y finalmente se calculó la demanda con la que se realizó un balance hídrico para determinar a qué cantidad de la población total podrían abastecer en el futuro las microcuencas de Rumiyacu y Mishquiyacu.

Así entonces la presente investigación, a través de un enfoque interdisciplinario que integra conocimientos de ciencias ambientales, sanitarias, hidrología, climatología y gestión de recursos hídricos, buscó generar información clave y recomendaciones prácticas para los tomadores de decisiones y así poder fortalecer la resiliencia frente a los desafíos relacionados con el agua en un contexto de cambio climático preocupante.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes de la investigación**

Maldonado (2021), evaluó cómo se comporta la oferta hídrica superficial de la cuenca La Vieja (Colombia), bajo escenarios de cambio climático en el periodo 2040 - 2070, para lo cual utilizó el modelo climático de circulación global MPI-ESM-LR combinándolo con los escenarios RCP4.5 y RCP8.5. Así entonces evidenció que los caudales mensuales máximos aumentarían del 10% al 25%; y con respecto a los caudales mensuales mínimos evidenció una disminución de hasta el 75% en los escenarios proyectados. Para dar con estos resultados uso el modelamiento hidrológico SWAT, para lo cual primero recolecto información geomorfológica e hidro-meteorológica de la cuenca en estudio y calibró el modelo con datos históricos de estaciones meteorológicas comprendidos entre los años 2006 - 2019. Por otro lado, la obtención de las variables climáticas de temperatura y precipitación proyectadas en los escenarios la realizó mediante la reducción a escala local del MCG mencionado mediante métodos estadísticos de "downscaling". Y finalmente realizó un análisis en el que predijo condiciones futuras desfavorables en la oferta hídrica superficial total de la cuenca mediante comparaciones de condiciones actuales y futuras.

Pérez et al. (2020), estimaron un descenso en la producción de agua en escenarios de cambio climático de la cuenca del río Rodano ubicada en los países de Suiza y Francia, que en el peor de los casos llega a disminuir hasta en un 30% del total, realizaron su investigación en cinco escenarios, el actual y cuatro proyectados a futuro en dos periodos de tiempo, uno a corto plazo (2020 - 2050) y el otro a mediano plazo (2070 - 2100) y con dos escenarios de emisión de gases de efecto invernadero (RCP4.5 y RCP8.5) obteniendo así los cuatro escenarios a futuro (RCP4.5 2020-2050, RCP4.5 2070-2100, RCP8.5 2020-2050 y RCP8.5 2070-2100) para dichos escenarios proyectados se obtuvieron variables del clima del Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, los cuales se redujeron a escala local utilizando 13 modelos climáticos regionales y procedimientos estadísticos "downscaling". Así mismo para la generación de escurrimientos utilizaron el modelo hidrológico InVEST, que utiliza datos de entrada de clima, suelos y uso de suelos, así entonces pudieron determinar una disminución en la disponibilidad del recurso hídrico, lo cual significa enfrentarse a nuevos desafíos obligando a actualizar, cambiar o reforzar el enfoque de los sistemas de la gestión de recursos hídricos.

Janta et al. (2022), mediante proyecciones de uso de suelos y variables de cambio climático proyectadas a los años 2025, 2055 y 2085 del área de la cuenca del río Pak Phanang (Thailandia), pudieron evidenciar la máxima disminución de la escorrentía en el año 2085 de -75%, y un aumento de la misma en el año 2025 de 49.28%, para conseguir estos resultados realizaron proyecciones de cambios en el uso del suelo utilizando el modelo Cellular Automata (CA)-Markov, que permite predecir dichos cambios, por otro lado la proyección de las variables climáticas se generaron y descargaron de la herramienta MarkSIM para los distintos periodos de estudio, dichos datos climáticos fueron estimados en los escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero RPC2.6, RPC4.5 y RPC8.5. Así mismo la generación de los valores de escorrentía la realizaron empleando el modelo SWAT, que permitió estimar los valores de caudales combinando los cambios del uso del suelo, así como las variables de cambio climático proyectadas. Así entonces pudieron evidenciar una disminución de por lo menos el 50% de escorrentía a mediados y finales del siglo XXI. Lograron revelar entonces datos preocupantes, lo que conlleva a que las autoridades tomen acciones y políticas para la adaptación a los efectos del cambio climático con respecto al recurso hídrico, así como también a la implementación de mecanismos que ayuden a frenar actividades que degraden los suelos y también minimizar actividades que contribuyan con la generación de gases de efecto invernadero.

León et al. (2019), mediante el modelo hidrológico SWAT, realizaron una evaluación de cómo influye el cambio climático en la oferta hídrica del río Piura para un periodo comprendido entre los años 2025 y 2054, para lo cual adoptaron datos climáticos futuros en los escenarios RCP4.5 y RCP8.5 de los MCG, Coupled Model Intercomparison Project Phase 5, así mismo hicieron una corrección de los mismos basándose en datos de clima del periodo base comprendido entre los años 1886 y 2008, y finalmente realizaron la reducción de escala con el generador de clima MarkSIM. obtenido así en esta investigación aumentos promedios de 2,9 °C y 39,3% para la temperatura y precipitación respectivamente; por otro lado, la evapotranspiración tiende a disminuir y finalmente con respecto a la escorrentía mensual determinaron que para los meses entre octubre y abril aumentaría en todos los escenarios un 71.8% (55.9 m<sup>3</sup>/s aprox.) y para los meses entre mayo y septiembre pudieron notar una disminución del 66,1% (12m<sup>3</sup>/s aprox), evidenciando un descenso mayor en el mes de julio.

Quispe y Huanca (2021), estimaron una disminución en la precipitación en un rango de -38.08mm a -0,19 mm; con respecto a la temperatura máxima evidenciaron un aumento de 0.06 °C y una disminución de 0.20 °C en la mínima; esta variación en ambos parámetros hizo que se evidencie una disminución del caudal tanto en la época de lluvia

como en estiaje obteniendo resultados de -41,2% a 40,0% y -33,8% a -0,1% para ambas épocas respectivamente, todo esto proyectado al 2050 en la cuenca del río llave, de la región hidrográfica del Titicaca (Perú). Para el modelamiento hidrológico utilizaron la metodología hidrológica SWAT utilizando para la calibración datos climáticos y caudales diarios del periodo 1986 - 2016. Así mismo para la proyección de datos climáticos a futuro se utilizaron los MCG, MIROC6 y MPI-ESM1-2-LR del Coupled Model Intercomparison Project Phase 6, proyectándolos en los escenarios de trayectoria SSP4.5 y SSP8.5, y reduciendo la escala en DAWSALING.

Quezada y Rodríguez (2021) evidenciaron una disminución de la escorrentía en el área de la cuenca del río moche, La Libertad (Perú), para realizar este estudio proyectaron parámetros meteorológicos como la temperatura y la precipitación en escenarios de cambio climático, dichos parámetros fueron generados y descargados del generador de datos climáticos MarkSIM, los cuales se generaron usando los modelos climáticos MIROC-5 y MIROC-ESM en los senarios de cambio climático RCP 4.5 y RCP 8.5. Dicha disminución de escorrentía se observó en todos los escenarios proyectados, excepto en el MIROC-ESM RCP 4.5, en el cual se evidenció un aumento de 2,2%. Con respecto a la temperatura y precipitación, en la primera se observó un aumento entre 0.4 y 0.7 °C y en la segunda se observó una posible disminución en un rango de -19,26% a -1,1%. Los escenarios se proyectaron al año 2050 y se utilizó el modelo hidrológico SWAT para estimar los valores de escorrentía, el cual fue calibrado con datos del periodo 1999 - 2014, evidenciando finalmente los posibles efectos que causaría el cambio climático en la cuenca de estudio.

## **2.2. Fundamentos teóricos**

### **Cuencas hidrográficas**

Se define como aquella área de la superficie terrestre superior a las 50 000 hectáreas, en la que el agua que precipita sobre ella es drenada mediante a un sistema de corrientes que conduce el líquido elemento hacia un mismo punto de salida. Así entonces es una parte de territorio sobre el cual fluye el agua desde las partes altas hacia las más bajas llegando finalmente a un mismo punto, a partir del cual el agua acumulada fluye hacia otro lugar.

Dicho territorio que conforma una cuenca, está delimitado por líneas imaginarias que conforman las conocidas “divisoria de aguas”, formadas por las elevaciones de terreno que permiten que el agua escurra hacia un cauce principal. Por otro lado, se consideran subcuencas cuando el área por la que están conformadas entre 5 000 y 50 000

hectáreas de terreno y microcuenca cuando el área es menos de 5 000 hectáreas (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 2019).

### **Parámetros geomorfológicos de cuencas**

En un estudio hidrológico, es necesario contar con las características geomorfológicas de una cuenca, tales como su área, pendientes, perímetro, nivel altitudinal, ancho, dirección del flujo, longitud del cauce entre otros, en la actualidad, esto se logra gracias a estudios realizados mediante un modelo de elevación digital (DEM) y a través del procesamiento de softwares (Huamani y Lazo, 2020).

### **Modelo de elevación digital (DEM)**

Son estructuras de datos numéricos mediante los cuales se representan como se distribuye espacialmente la altitud de la superficie de un área, conocer los datos espaciales es muy importante para la planificación territorial, forestal o ambiental. Así entonces un DEM representa la altitud, la cual es una variable espacial continua muy importante, así entonces un modelo de elevación digital es una herramienta crucial cuando se quiere analizar la geomorfología de un terreno y es equivalente a la información de cartografía clásica que tradicionalmente se representa a través de curvas de nivel (Andrades et al., 2020).

### **Mapa mundial de suelos de la FAO**

La FAO, es la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, que se encarga de liderar los esfuerzos internacionales para erradicar el hambre, tiene el objetivo de lograr la seguridad alimentaria en todo el mundo (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO], s. f.a). En el séptimo congreso de la Unión Internacional de Ciencias del Suelo (IUSS), desarrollado en 1960, dicho organismo recomendó que se publicarían los mapas de suelos de distintos continentes (FAO, s. f.b).

Así entonces FAO y UNESCO, al siguiente año acordaron, la preparación del Mapa Mundial de Suelos, con escala de 1:5 000 000, este proyecto se realizó durante 20 años y contó con la colaboración de distintos científicos de todo el mundo especialistas en suelos (FAO, s. f.b).

### **Ciclo hidrológico**

Es un sistema mediante el cual el agua circula hacia la atmósfera a partir de las fuentes superficiales, como lagos, ríos y océanos, posteriormente de la atmósfera vuelve a la superficie de la tierra gracias a las precipitaciones, volviendo a comenzar el ciclo. Dicho

proceso ocurre de manera natural y permanente y en él, el agua sufre transformaciones en su estado físico, lo cual permite que esta circule continuamente entre la atmósfera, los continentes y el océano. Este sistema está conformado por varios procesos en el cual intervienen las variables climáticas (Formaggio, 2021).

### **Variables climáticas**

Conocidas también como elementos, condiciones o propiedades físicas de la atmósfera, las cuales son utilizadas para describir y medir el clima en un momento dado, con lo cual se puede establecer las condiciones climáticas de lugares determinados, así entonces las principales son: las precipitaciones, radiación solar, la humedad, el viento, la temperatura y la presión atmosférica (Franco, 2016).

### **Cambio climático**

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), lo define como un cambio en el clima que se produce de manera directa o indirecta a actividades humanas, que alteran el estado mundial de la atmósfera, sumándose también la variabilidad del clima que se da de manera natural.

Los científicos han determinado que el cambio climático en el planeta está ocurriendo de manera más acelerada de lo que se esperaba, y que las principales causas de este cambio son las actividades del hombre dedicadas a la extracción producción, consumo y asentamiento. Esto constituye un gran problema, sobre todo si se considera que la sociedad no está preparada para enfrentar las consecuencias que trae consigo dicho cambio (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - Colombia [IDEAM], s. f.).

### **Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC)**

El IPCC fue creado en 1988 por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio ambiente (PNUMA), es considerado desde entonces como el organismo internacional más importante para evaluar el cambio climático. Ofrece una visión científica sobre conocimientos y el estado en el que se encuentra el cambio climático, así como también las repercusiones medioambientales y socioeconómicas que este trae consigo al mundo entero.

Pueden formar parte del IPCC todos los países que son miembros de la OMM y de las Naciones unidas, forman parte de este grupo actualmente 195 países. Por otro lado, desde que se creó ha realizado cinco informes de evaluación formados por varios volúmenes que son de acceso público y gratuito, y actualmente se encuentra en la

realización del sexto informe de evaluación (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [IPCC], s. f.a).

### **Modelos climáticos globales (CGM)**

Conocidos también como modelos generales de circulación, se trata de algoritmos matemáticos que tienen la intención de simular las relaciones complejas del clima, así entonces existen modelos atmosféricos y oceánicos. Por otro lado, estos modelos, se acoplan para conformar "Coupled General Circulation Models" o AOGCMs. Los cuales sirven de base para la conformación de modelos sofisticados que sirven para realizar predicciones climáticas futuras, tal y como son presentados por el IPCC.

Para simular cambios de temperatura en el futuro, los AOGCMs requieren de varios recursos dentro de los cuales resaltan los escenarios de emisión de gases de efecto invernadero, de tal manera que a partir de estos se pueda predecir cuales son los efectos que producen en el clima global y la temperatura (Hoffmann, 2012).

### **CGM MIROC-ESM**

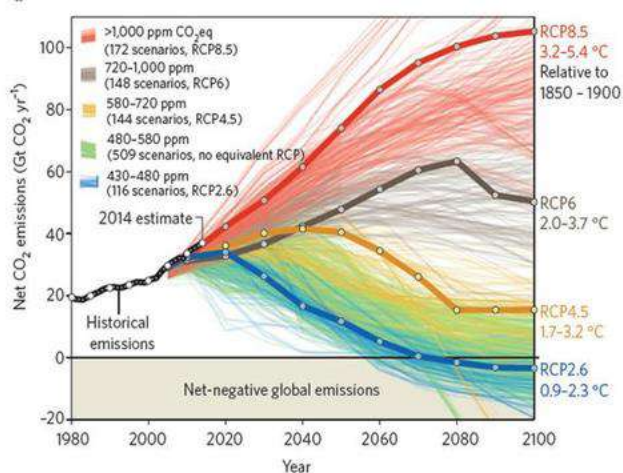
El modelo climático global MIROC-ESM, por sus siglas en inglés Model for Interdisciplinary Research on Climate Institute – Earth System Model, en un CGM que acopla la superficie terrestre, el océano y la atmósfera a través del intercambio de energía, agua, momento y CO<sub>2</sub> entre estos tres. Su desarrollador es la universidad de Tokio, a través de la Agencia de Ciencia Marina y Terrestre y de Tecnología de Japón y el Instituto Nacional de Estudios Medioambientales de Japón (Red de Información Ambiental de Andalucía [Rediam], s. f.).

### **Escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)**

El IPCC, en el quinto informe de evaluación a definido 4 escenarios de emisiones llamados trayectorias de concentración representativas (RCP) las cuales se caracterizan por su Formación Radioactiva (FR) total hacia el año 2100, y son expresadas en vatios por metro cúbico, la cual es una medida acumulativa de las emisiones de GEI provenientes de las diversas actividades humanas (IPCC, 2019.).

Los RCPs se han desarrollado para predecir posibles situaciones futuras en las que los investigadores han concluido que los forzantes radioactivos con valores más bajos se encuentran en 2,5 W/m<sup>2</sup> y los más altos están comprendidos entre 8,0 y 9,0 W/m<sup>2</sup>.

En la siguiente imagen se detalla las posibles concentraciones de emisión de CO<sub>2</sub> proyectadas hacia el futuro (Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno de El Niño [CIIFEN], 2022).



**Figura 1.** Trayectorias de concentración representativa.

En la imagen se observan 5 líneas, la negra muestra emisiones históricas de CO<sub>2</sub> en el periodo 1980 – 2014, en esta ya se puede notar como las concentraciones de CO<sub>2</sub> emitidas en dicho periodo, van en aumento; la línea azul muestra un escenario “optimista” en el que se espera una reducción en las concentraciones de GEI, siendo esta el RCP2.6, los escenarios intermedios están representados por las líneas amarilla y gris, siendo la primera más optimista que la última, representado el RCP4.5 y RCP6.0 respectivamente. Finalmente, la línea roja representa el RCP8.5, siendo este el escenario más pesimista, en el que se espera que los gobiernos y la sociedad en general, no adopten medidas efectivas para mitigar las emisiones (CIIFEN, 2022).

## CGIAR

Es una alianza internacional conformada por 15 miembros, los cuales son centros de investigación con fines agrícolas, que realizan investigaciones con la intención de garantizar la seguridad alimentaria en el futuro, buscando la reducción de la pobreza en el ámbito rural, reforzar la seguridad alimentaria, contribuir con la mejora de la nutrición y salud humana, y garantizar que los recursos naturales se manejen de manera sostenible (Centro Internacional de la papa [CIP], s. f.).

## Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT)

Es CIAT, es un organismo de investigación agrícola, que se enfoca en la búsqueda de soluciones científicas con respecto al hambre en las zonas tropicales, el cual a través de una agricultura ecoeficiente y desarrollando métodos sostenibles para producir alimentos busca la erradicación del hambre y la mejora de la calidad de vida de la región (Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security [CCAFS], 2014<sup>a</sup>). El CIAT es uno de los 15 centros miembros que forman parte del CGIAR (International Center for Tropical Agriculture [CIAT], 2019).

## **Programa de Investigación sobre Cambio Climático, Agricultura y Seguridad Alimentaria (CCAFS)**

Es un programa de investigación, del CGIAR que abarca tema sobre, agricultura, seguridad alimentaria y cambio climático, su objetivo es hacer frente a los desafíos en la agricultura y seguridad alimentaria que están relacionados al cambio climático, mediante la búsqueda de mecanismos que ayuden a las zonas rurales vulnerables a adaptarse a las consecuencias del cambio climático global (Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security [CCAFS], 2014a).

Este programa es liderado por el CIAT (International Center for Tropical Agriculture [CIAT], 2019), y está conformado por los mejores científicos de todo el mundo sobre ciencias de la agricultura, ciencias sociales y ambientales y ciencias climáticas, que identifican y abordan las sinergias, compensaciones e interacciones que son importantes entre la agricultura y el cambio climático (CCAFS, 2014b).

### **Generador meteorológico MarkSIM**

Contar con datos meteorológicos es muy importante cuando se desarrollan proyectos de simulación de cultivos y de gestión de recursos naturales como la tierra y el agua, acceder a ellos es sumamente difícil ya que conlleva mucho tiempo y suelen ser costosos (Getaneh and Getachew, 2021). Para poder simular el clima se utilizan los modelos de circulación general, también conocidos como modelos climáticos globales (GCM), sin embargo, estos modelos usan columnas atmosféricas que cubren al nivel del suelo aproximadamente 200 por 300 km, así entonces no pueden simular el clima de un lugar en específico de manera directa (CCAFS, s. f.).

Para lograr esto es necesario realizar una reducción de escala estadística de los GCM, sin embargo, este es un proceso difícil en los estudios de impacto por el clima cambiante, ya que requiere mucho tiempo y suelen ser exigente, por fortuna, hoy en día existen algunos grupos de datos del clima, así tenemos, las proyecciones reducidas de NASA Earth Exchange (NEXGDDP) y el generador de datos meteorológicos de Markov (MarkSIM) (Zeydelinejad et al., 2021). MarkSIM, es una herramienta web, que simula datos climáticos, a través de una reducción de escala estocástica, generando datos meteorológicos diarios proyectados en el futuro y basados en diferentes escenarios RCP y en los GCM (Singh et al., 2019), esta plataforma es capaz de generar dichos datos simulados, en todo el mundo y sobre todo en regiones tropicales, como temperaturas máximas y mínimas, radiación solar y precipitaciones (CCAFS, 2014b).

MarkSIM se desarrolló en las décadas de 1980 y 1990, para simular el clima a partir de fuentes de datos climáticos conocidos, fue desarrollado por el programa de investigación CCAFS del CGIAR, y contó con el apoyo de: International Center for Tropical Agriculture (CIAT), International Livestock Research Institute (ILRI), Potsdam Institute for Climate Impact Research (PIK), International Livestock Research Institute (ILRI) y HarvestChoice (CCAFS, 2014c).

Esta herramienta funciona basándose en un grupo de superficies climáticas que se interpolan gracias a un generador de lluvia Markov de orden tres, así también utiliza un remuestreo estocástico especial de las variables del modelo para estimar de manera realista como varía la temperatura y precipitación en casi cualquier parte de los trópicos (CCAFS, 2014b).

Para que MarkSIM resulte ser un modelo válido en casi todo el mundo, y que no requiera calibrarse cada vez que se utilice, se le ha integrado un grupo de datos de calibración de más de 10 000 estaciones de alrededor del mundo, las cuales en su mayoría tienen de 15 a 20 años de datos diarios históricos, así mismo dichas estaciones se asocian en 702 grupos de clima del todo el mundo, los cuales se utilizan para proyectar los parámetros del modelo en base a los modelos que se han desarrollado para cada grupo climático (Jones and Thornton, 2013).

### **Disponibilidad hídrica**

La disponibilidad hídrica es el volumen total de agua precipitada sobre una cuenca hidrográfica la cual puede ser utilizada en las diferentes actividades humanas, como en la agricultura, la producción de energía eléctrica, el abastecimiento de agua para consumo humano y otros, por ello es importante conocer el futuro de la disponibilidad hídrica para que se puedan tomar las mejores decisiones para hacer frente a su escasez- (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú [SENAMHI], 2017; Lozano, 2018).

### **Modelo hidrológico SWAT (Soil and Water Assessment Tool)**

Fue desarrollado por Agricultural Research Service de Estados Unidos (USDA-ARS), con el objetivo de ser usado para predecir como el manejo de suelos y de la vegetación impactan en el rendimiento hídrico, la generación de sedimentos y la alteración de la calidad del agua por agroquímicos, resulta ser muy útil para modelar cuencas con diversos tipos de suelos ya que es un modelo semi – distribuido, para ello, SWAT divide una cuenca en sus sub cuencas y unidades de respuesta hidrográfica, las cuales son espacios homogéneos con un determinado balance hídrico (Uribe et al., 2013).

## **Crecimiento Poblacional**

Llamado también crecimiento demográfico, hace referencia a como varía el número de individuos de un área geográfica, la cual se determina en un cierto lapso de tiempo, este término generalmente se utiliza para hacer referencia a los seres humanos. Es muy importante conocer las dinámicas poblacionales sobre crecimiento y decreciente, ya que resulta ser una fuente primordial de información al momento en que se diseñan políticas económicas, sociales, ecológicas y otras (Concepto, s. f.).

### **2.3. Definición de términos básicos**

**Generador meteorológico estocástico.** Es un generador que tiene la capacidad de producir artificialmente series temporales de datos meteorológicos para una determinada ubicación, basándose en características estadísticas del clima observados en dicha ubicación (CCAFS, 2014b).

**WorldClim.** Es una base de datos climáticos y meteorológicos de todo el mundo y tiene una alta resolución espacial, dichos datos se pueden usar para mapear y modelados espaciales, generalmente usados en investigaciones; se requieren de ciertas habilidades y conocimientos especializados para poder manejar dichos datos. (WorldClim, 2020).

**Caudal ecológico.** Se utiliza el término de caudal ecológico para hacer referencia al volumen de agua que es indispensable en una fuente para la conservación natural y de los procesos ecosistémicos (Banco de Desarrollo de América Latina [CAF], 2021).

## **CAPÍTULO III**

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. Ámbito y condiciones de la investigación**

##### **3.1.1 Contexto de la investigación**

El Perú tiene un área superficial de 1 285 215 km<sup>2</sup>, sus tres regiones geográficas son: la costa, que abarca el 11% del territorio, la sierra el 29% y finalmente la selva con el 60% de este. Por otro lado, este compuesto por 24 regiones políticas (García et al., 2021).

Así también el Perú está dividido en tres vertientes hidrográficas las cuales producen un promedio de 780,000 millones de m<sup>3</sup> de agua superficial, el 90% del total llega al Atlántico gracias a la cuenca del Amazonas, y del 10% restante, se aprovecha solo una pequeña cantidad, así entonces, tenemos la vertiente del pacífico, la cual representa menos del 2% del total de agua dulce del país; la vertiente del Titicaca, que representa solo un 0.5% y finalmente la vertiente del Atlántico, conformado por 44 cuencas hidrográficas, representando más del 97% del total de agua de nuestro país (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego [MIDAGRI] - Perú, 2015).

El presente estudio se desarrolló en la provincia de Moyobamba, ubicada a 875 m.s.n.m. y en las coordenadas: Latitud: -6,03472, Longitud: -76,9747 (DB-City, 2021); que pertenece al departamento de San Martín, de la región geográfica Selva, encontrándose, dentro de la sub cuenca del río Mayo, la cual pertenece a la vertiente del atlántico.

El río Mayo nace, al noreste del departamento de Amazonas, con una extensión de 867.38 km<sup>2</sup> aproximadamente, lo cual representa el 9% de la cuenca en dicha región, y al noroeste del departamento de San Martín, con una extensión de 8 897.94 km<sup>2</sup> lo cual representa el 91% del total de la cuenca en dicha región (ANA, 2016), así entonces las microcuencas de Rumiyacu y Mishquiyacu, se encuentran, ubicadas dentro la provincia de Moyobamba formado parte de la sub cuenca Mayo, y estas son una de las principales fuentes de captación, para abastecer de agua a una gran cantidad de la población de dicha ciudad (Anexo B, mapa 01 – UB).

##### **3.1.2 Periodo de ejecución**

5 meses, desde el 30 de noviembre del 2023 hasta el 29 de abril del 2024.

##### **3.1.3 Autorizaciones y permisos**

- Se solicitó información a la EPS Moyobamba.
- Se solicitó información a al Proyecto Especial Alto Mayo – Gobierno Regional de San Martín (PEAM – GRSM).
- Se solicitó información al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI).

#### **3.1.4 Control ambiental y protocolos de bioseguridad**

No corresponde.

#### **3.1.5 Aplicación de principios éticos internacionales**

Para que la presente investigación pueda aportar de manera esencial y relevante conocimientos que contribuyen con el desarrollo y avance de la humanidad, se consideró varios principios y valores que se exigen logrando finalmente realizar el trabajo dentro de los lineamientos de las normas éticas, con lo cual se orientó a prevenir las malas conductas y de esa manera se evitó perjudicar los resultados finales de la investigación.

Así entonces dentro de la intervención de este trabajo se respetó los principios éticos generales de la investigación, particularmente los siguientes:

**Integridad.** A pesar de las situaciones adversas presentadas dentro del presente trabajo se hizo prevalecer valores como el respeto, la confianza, la justicia, la honestidad, la responsabilidad y el coraje, ya que contribuyeron lineamientos para poder materializar ideas en acciones; así entonces la investigación se realizó de manera íntegra, sin adulterar datos, o interpretar situaciones forzando la realidad, ya que a pesar de los problemas y/o dificultades que se presentaron se pudo cumplir con los deberes y responsabilidades evitando la ambigüedad.

**Respeto a las personas.** Dentro de las actividades de la presente investigación se resguardó y consideró el respeto a la dignidad humana, ya que este es un derecho, y considerando que todas personas somos iguales por naturaleza, en la ejecución de esta investigación no se vulneraron los derechos de las personas de ningún tipo.

**Respeto al ecosistema.** Se hizo prevalecer acciones de conservación y preservación de los ecosistemas, ya que muchas veces el ser humano, transforma, destruye y/o fragmenta los distintos ecosistemas y sus hábitats, lo cual genera problemas en la naturaleza y también en el hombre, por ello en las actividades de esta investigación no se realizaron alteraciones de ecosistemas naturales, así como también los resultados

obtenidos están orientado a acciones de conservación (caudal ecológico) dentro del área de estudio.

**Beneficencia.** El principio de beneficencia, es que está vinculado con la obligación de proteger a los participantes frente a cualquier situación de perjuicio, así entonces dentro de la presente investigación, este principio orientó al investigador a cumplir con 2 normas, la primera, es que no se causó daños de ningún tipo y la segunda es que se priorizó los beneficios de tal manera que se minimizó la ocurrencia de daños en los investigadores.

**Justicia.** A través de este principio dentro de la presente investigación, se buscó que el trato a los participantes sea de manera justa y equitativa, tanto en la distribución de carga, así como también en los beneficios que se asocian a la investigación.

### **3.2. Sistema de variables**

#### **3.2.1 Variables principales correlacionales**

- Temperatura
- Precipitación
- Radiación solar
- Población
- Disponibilidad hídrica

#### **3.2.2 Variables secundarias interferentes**

- Pendientes
- Área
- Altura
- Tipo de suelos
- Uso de suelos
- Caudal
- Dotación poblacional
- Demanda hídrica
- Caudal ecológico

### **3.3. Procedimientos de la investigación**

**3.3.1. objetivo específico 1: Generación de la base de datos de las características geomorfológicas, meteorológicas e hidrológicas de las microcuencas.**

**Delimitación de la microcuenca.** La delimitación de las microcuencas Rumiyacu y Mishquiyacu se realizó como una sola cuenca, tomando como punto de salida la

intersección de estas, se hizo de esta manera ya que el objetivo de la presente investigación es determinar la capacidad que ambas tienen para abastecer con agua potable a la población de Moyobamba, por lo que se hizo enfocado de manera específica a la presente investigación, se haría por separado si se quisiera analizar de manera independiente los resultados u otras características de dichas microcuencas, lo cual no es el objetivo de la investigación, por otro lado ya existe información de la delimitación de las microcuencas pero por separado y además consideran el total de las microcuencas, hasta desembocar en el río Mayo, lo cual no es necesario para lograr lo esperado en el presente estudio, por lo que la delimitación para este trabajo se hizo, de manera específica utilizando un DME descargado de la plataforma EARTDATA, del satélite ALOS PALSAR, mediante el software ArcGIS, y se obtuvo finalmente los resultados en forma de mapas en pdf y tablas que el modelo SWAT pueda leer.

Por otro lado, el modelo SWAT trabaja con un archivo en formato ráster, que contenga las características topográficas de la zona de estudio en toda la extensión del territorio estudiado, a partir del cual delimita el área de estudio, calcula la dirección y acumulación de flujo y las pendientes de toda el área de estudio, más no trabaja con una delimitación ya hecha, ya que no contienen la información necesaria para que el modelo pueda correr con normalidad.

**Tipo de suelos y uso de suelos.** Se recolectó información secundaria mediante solicitud al Proyecto Especial Alto Mayo – Gobierno Regional de San Martín (PEAM-GRSM), quienes facilitaron la base de datos (shapefiles) necesaria para posteriormente procesar la información en el software ArcGIS, por otro lado el modelo SWAT, fue creado exclusivamente para Estados Unidos, pero se puede utilizar en otras partes del mundo siempre y cuando la base de datos se adapte a la que SWAT tiene integrado, así entonces para el uso de suelo, se adaptó los datos obtenidos a los códigos que maneja SWAT, mediante una comparación de conceptos entre las definiciones de la data del PEAM-GRSM y las definiciones de los códigos de SWAT, de tal manera que se reclasificó el tipo de uso de suelos para que el modelo pueda leerlos.

Con respecto al tipo de suelos, SWAT trabaja con los códigos de suelos internacionales establecidos por la FAO, por lo que también se hizo una reclasificación del tipo de suelos según las definiciones de la ZEE Alto Mayo, adaptándolos a los códigos de suelos que maneja SWAT, esto se hizo mediante una comparación de conceptos entre las definiciones de la ZEE Alto Mayo y el significado de los códigos de suelos de la FAO, finalmente se obtuvo los resultados en forma de mapas en formato pdf y tablas en Excel.

**Pendientes.** Se realizó la clasificación de pendientes a partir del DME.

**Unidades de respuesta hidrológicas.** ArcSWAT definió de manera automática las unidades de respuesta hidrológica mediante la interacción del tipo de suelos y uso de suelos que fueron ingresados al modelo y las pendientes generadas a partir del DEM.

**Parámetros meteorológicos actuales.**

Se hizo recolección de información secundaria sobre temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación, de las estaciones meteorológicas de Soritor, Moyobamba, Rioja y Jepelacio, del SENAMHI, de los años 2013 al 2023, la cual fue utilizada para generar el modelo base en SWAT, y para validar los datos generados en MarkSim.

- **Validación de datos generados**, para comprobar que los datos generados en la herramienta MarkSim, sean representativos del área de estudio, se realizó una comparación de las medias y/o varianzas de los datos registrados en la Estación meteorológica Moyobamba, en el año 2023, con los datos simulados en MarkSim utilizando como ubicación las coordenadas de dicha estación y en el mismo año. Jones (s.f), nos dice que la mejor forma de validar las precipitaciones generadas en MarkSim, es calculando y comparando las variaciones y medias mensuales, ya que éstas se acercan más a las distribuciones normales, que los datos diarios, si estas coinciden, entonces podemos asumir que las simulaciones son representativas, así mismo indica que la correlación de Pearson, no es un método válido para hacer las validaciones, por lo tanto recomienda utilizar métodos estadísticos de comparación de medias y varianzas para comparar los datos observados con los simulados, bajo el mismo criterio se realizó las comparaciones de temperaturas máxima y mínima. Así entonces para comparar las medias y las varianzas en este estudio se utilizó el Test de Leneve conocida también como prueba F, y la Prueba t de Student para muestras independiente. Dos muestras son consideradas dependientes cuando los datos provienen de la misma fuente, por ejemplo datos de la misma estación meteorológica pero en diferentes años, por otro lado dos muestras son consideradas independientes si los datos provienen de dos fuentes diferentes y no se relaciona una con la otra, por ejemplo datos de dos estaciones meteorológicas diferentes (DATAtab, s.f.), en base a este criterio se consideró que las muestras a comparar son independientes ya que un grupo de datos proviene de una estación meteorológica real, y el otro grupo proviene de un simulador de datos meteorológicos, por lo tanto la fuente de los datos no se relacionan una con la otra. Por ello, se utilizó la Prueba t para muestras independientes. Sin embargo, para comparar medias, con la prueba *t*, es necesario tener en cuenta 02 supuestos básicos: primero, que las muestras tengan una distribución normal y

segundo, conocer el supuesto de igual o desigualdad de las varianzas de las muestras, lo cual se verifica utilizando la prueba F (test de Levene) (Lorenzo, s.f.). Lorenzo (s.f.), menciona que casi siempre el primer supuesto es difícil de probar, aun así, la prueba  $t$ , resulta válida siempre y cuando se cumpla el supuesto de igualdad y desigualdad de las varianzas, así entonces se realizó el test de Levene para verificar este supuesto en la comparación de los parámetros meteorológicos y de acuerdo a los resultados se aplicó la prueba  $t$  para muestras independientes suponiendo varianzas iguales o desiguales, para lo cual se utilizó la herramienta análisis de datos de Excel.

Después de comprobar que los datos generados en la herramienta MarkSim sean significativos de la zona de estudio, se realizó simulación de información meteorológica para el escenario actual en los años 2019 al 2023, de temperaturas máxima y mínima, radiación solar y precipitación, utilizando dicho software.

**Caudales históricos.** Los caudales históricos son necesarios para calibrar y validar el modelo SWAT, por ellos se solicitó esta información a la EPS MOYOBAMBA, sin embargo, ellos no cuentan con un registro de caudales de las microcuencas, por ello se tomó como referencia la RESOLUCIÓN IRECTORAL N° 321-2018-ANA/AAA-HUALLAGA, en la que se acredita la disponibilidad de manera mensual de las microcuencas, la que se usó para calibrar el modelo.

### **3.3.2. Objetivo específico 2: Proyección de los parámetros meteorológicos de la microcuenca en escenarios de cambio climático al año 2060, mediante el generador meteorológico MarkSIM.**

**Temperatura, radiación solar y precipitación en escenarios de cambio climático.** Se simuló información meteorológica en MarkSIM, para los años 2040 y 2060, para poder generar los causales a mediano y largo plazo, esto se realizó en la herramienta MarkSIM, siguiendo los siguientes pasos.

- a. Se accedió al aplicativo web mediante el siguiente link: <http://gisweb.ciat.cgiar.org/MarkSimGCM/#>, MarkSIM, tiene integrado a Google Maps, por lo tanto, se seleccionó en el mapa el lugar de estudio, y se verificó que las características de la ubicación sean las correctas, en este caso se usó las coordenadas de la ubicación en tres puntos dentro del área de las microcuencas (Zelada y Rodríguez, 2021).

- b. Después de haber accedido a la plataforma y haber seleccionado el lugar se procedió a seleccionar el CGM de los 17 que el aplicativo tiene integrados, para este caso se utilizó el, MIROC-ESM, las rutas de concentración representativa (RCP) del quinto informe de evaluación del IPCC, de las cuatro integradas en MarkSIM, para efectos de esta investigación se seleccionaron solo el RCP4.5 y el RCP8.5 con el mismo CGM, tanto para el año 2040, como para el 2060, así entonces se generaron cuatro (04) escenarios en esta actividad, el de las combinaciones MIROC-ESM-RCP4.5-2040; MIROC-ESM-RCP8.5-2040 y de las combinaciones MIROC-ESM-RCP4.5-2060; MIROC-ESM-RCP8.5-2060; para el cumplimiento del objetivo de la investigación es necesario mencionar que se analizaron cinco escenarios, el base (2023) y los 4 proyectados (dos en el 2040 y dos en el 2060).
- c. Google, seleccionó de manera automática el nombre en la casilla "Place", sin embargo, esto es editable, para la presente investigación se colocó, el nombre de las microcuencas.
- d. Finalmente, se ejecutó el programa obteniendo los resultados en dos formatos (CCAFS, 2014b), como diagramas climático anuales de precipitaciones, temperaturas máximas y mínimas y radiación solar, para cada mes y como archivos que contienen dicha información de manera diaria, para los 365 días del año. (Zelada y Rodríguez, 2021).
- e. Finalmente, la información fue registrada en tablas y gráficos elaborados en Excel, los cuales se detallan en el resultado específico 2.

### **3.3.3. Objetivo específico 3: Estimación la disponibilidad hídrica de las microcuencas en los escenarios de cambio climático al año 2060, mediante el modelo SWAT.**

**Modelamiento hidrológico mediante SWAT.** El modelamiento se realizó con la información recopilada y la generada en los cinco escenarios mencionados anteriormente, para lo cual primero se hizo un modelo base mediante el software ArcGIS en la interfaz ArcSWAT, a partir del modelo base se generó los caudales en todos los escenarios siguiendo los siguientes pasos.

- a. Se creó el modelo base en el apartado "SWAT Project Setup" utilizando la herramienta "New SWAT project" en donde se eligió la ubicación para los archivos de salida que el modelo genere posteriormente.
- b. Una vez creado el proyecto, en el apartado "Watershed Delineator" utilizando la herramienta "Automatic Watershed Delineator" se ingresó el DEM descargado anteriormente a partir del cual SWAT generó de manera automática la dirección y

acumulación de flujo y delimitación de la zona de estudio a partir del punto de salida, tanto como cuenca general así como microcuencas, acá SWAT crea tablas con estructuras específicas e información que el modelo posteriormente pueda leerlo, por eso es necesario hacer la delimitación de esta forma.

- c. A continuación una vez hecha la delimitación se procedió a utilizar el apartado “HRU Analysis” en donde utilizando la herramienta “Land use/Soils/Slope Definition” se introdujo y reclasificó el tipo de suelos y uso de suelos de la zona de estudio así como también se generó las pendientes en 5 rangos a partir de la información del DEM, así mismo se utilizó dentro del mismo apartado la herramienta “HRU definition” para definir las Unidades de Respuesta Hidrológica, ya que es necesaria para pasar al siguiente paso.

Hasta el paso “c” se creó el modelo base, el cual a partir de ahí fue utilizado para generar la disponibilidad hídrica en todos los escenarios, ya que el siguiente paso corresponde a ingresar los parámetros meteorológicos de temperatura máxima y mínima, precipitación y radiación solar, generados en todos los escenarios, el ingreso de dicha información se realizó por separado de tal manera que se obtuvo 5 tablas en formato “.acmdb” (Access), el cual contiene toda la información del modelo pero solo se extrajo la de simulaciones de caudales ya que solo este dato es necesario para cumplir los objetivos de la investigación, a continuación se describe el paso “d”.

- d. Una vez creado el modelo base se procedió a insertar los datos meteorológicos, en el apartado “Write Input Tables” en la herramienta “Weather Stations” se hizo esto primero con los datos del escenario y de manera sucesiva con los datos de los demás escenarios, pero siempre utilizando el modelo base generado anteriormente, solo cambiando los datos de clima para cada simulación.
- e. Una vez ingresado los datos de Clima, también en el apartado “Write Input Tables” pero esta vez con la herramienta “Write SWAT Input Tables” el modelo procesó la base de datos para que finalmente se corra y se obtenga los resultados. (Esto se hizo para cada escenario a partir del modelo base)
- f. Finalmente se utilizó el apartado “SWAT Simulation” y a herramienta “Run SWAT” para correr el modelo y este pueda simular los caudales y otros datos, posteriormente los datos generados se exportaron a la ubicación del proyecto creado en el paso “a” y se procede a su calibración según el siguiente paso.
- g. **Calibración y validación el modelo.** Cabrera (s.f.), nos dice que no existen modelos hidrológicos que simulen datos a la perfección, debido a errores de diversos orígenes, sin embargo, el objetivo de la calibración es minimizar las diferencias entre datos observados y simulados, por otro lado, menciona que cuando se utiliza modelos

hidrológicos es necesario conocer los conceptos de “exactitud” y “precisión”. la primera mide la cercanía entre valores simulado y observados, así entonces un modelo exacto no necesariamente tiene que arrojar los mismos resultados, pero estos siempre se deben encontrar dentro de un rango respecto a la medida observada; la segunda, mide cual es la similitud entre los valores simulados, así entonces indica que un modelo preciso puede arrojar resultados similares, pero no son necesariamente cercanos a la medida observada.

Por otro lado, el proceso de calibración se puede hacer de dos formas: a) Automática, calibra los valores utilizando técnica numéricas y b) Prueba y error, implica ajustar los valores de los parámetros mediante un ajuste manual, basados en los criterios del investigador (Cabrera, s.f.).

(Ojeda y Cerquera, 2021), nos dicen que Para calibrar el modelo SWAT, se utiliza la herramienta SWATCUT, que utiliza el método de calibración automática, pero es necesario contar con información de caudales medidos por una estación hidrometeorológica u otro método, para el periodo de calibración, por ello, se solicitó información de registro de caudales a la EPS MOYOBAMBA, pero se tuvo como respuesta que no tienen un control de los mismos, además no existen estaciones hidrológicas en la zona de estudio, sola tienen estadísticas que caudales de producción de agua potable, que no es lo mismo, por lo tanto no existen registros concretos de caudales.

Por otro lado, se encontró la acreditación de disponibilidad hídrica emitido por la Autoridad Nacional del Agua (ANA), en el 2018, mediante RESOLUCIÓN DIRECTORAL N° 321-2018-ANA/AAA-HUALLAGA, en donde acredita volumen de agua y caudal ecológico de las microcuencas y sus vertientes, las cuales también se consideraron ya que están ubicadas dentro de la zona de estudio, sin embargo dichos datos son hechos por la ANA con cálculos matemáticos basados en datos de clima, área y escorrentía, por lo que no son medidos, así entonces podemos ver que existe una escasez de información para calibrar el modelo, mediante SWATCUT, por lo que para validar que los datos simulados sean representativos de la zona de estudio, se optó por realizar una la calibración mediante el método “prueba y error” según el siguiente criterio:

Se calculó el coeficiente de determinación o  $R^2$  entre los datos generados por la ANA y los simulados en SWAT, en Excel, detallados en la tabla 42 y figura 35, del resultado específico 3, el  $R^2$  es una medida estadística que se encarga de evaluar, la fuerza de la relación lineal que existe entre dos variables, y se suele utilizar cuando se analiza tendencias, así entonces mientras el coeficiente se acerca más a 1, mayor es la

valides del ajuste, por otro lado, mientras más se acerca a 0, el ajuste es débil (Estrategias de Inversión [Ei], s.f.).

Por la escasez de datos, el  $R^2$ , se aplicó en el conjunto de datos que presenten mejor ajuste para posteriormente generar un modelo de Regresión lineal (Ecuación de regresión lineal) que se utilizó como referencia para ajustar los demás datos que a simple vista presentan diferencias significativas. Con respecto a la regresión lineal, Dicovski (s.f), nos dice que esta ecuación se calcula mediante el principio de mínimos cuadrados minimizando la suma de los cuadrados de las distancias verticales entre los datos observados y estimados.

- h. Obtención de resultados.** Una vez que se ejecute la simulación para todos los escenarios, se almacenaron los resultados en ficheros "output.std", el cual es un fichero de texto que muestra datos de sedimentación y balance hídrico entre otros, para el año simulado y también el promedio anual, también se muestran los datos totales de la simulación, para toda la cuenca y para cada HRU. Dichos datos se exportaron a Excel para generar gráficos y a sistemas de información geográfica para generar cartografías (Fernández, 2017).

#### **3.3.4. Objetivo específico 4: Análisis la capacidad hídrica de las microcuencas, para abastecer la demanda de agua poblacional de la ciudad de Moyobamba.**

**Población.** La información sobre las características poblacionales de Moyobamba fue recopilada del INEI, teniendo en cuenta los censos del 2007 y del 2017, la información fue recopilada y procesada en Excel, donde con los resultados se generaron tablas y gráficos.

**Tasa de crecimiento poblacional.** Este dado es muy importante para calcular la población futura, por eso fue recopilada del INEI, ya que es una institución avalada por el estado para realizar este tipo de trabajos, también se realizó un cálculo de esta en Excel.

**Población actual y futura.** La población del escenario base (2023) y futura (2040 y 2060) fue calculada utilizando Excel mediante el método exponencial, a partir de la información poblacional obtenida del INEI, en dicho software también se generaron tablas y gráficos representativos.

**Demanda de agua potable.** La demanda de agua potable fue calculada en todos los escenarios proyectados con la población respectiva para cada uno de ellos, y con la dotación correspondiente para la región selva.

**Caudal ecológico.** A los datos obtenidos del modelamiento hidrológico se le restó el caudal ecológico, para lo cual se utilizó la información de caudales ecológicos para la zona, generados por la ANA, para finalmente evaluar la capacidad de abastecimiento poblacional que tienen las microcuencas en los escenarios proyectados.

**Balance hídrico.** Finalmente, teniendo la demanda poblacional de agua en todos los escenarios y la disponibilidad de la misma en los mismos escenarios se procedió a realizar un balance hídrico con el que se pudo hacer un análisis de la capacidad que tiene para abastecer de agua a Moyobamba las microcuencas Rumiyacu y Mishqiyacu, en los años 2040 y 2060, respetando el caudal ecológico y teniendo en cuenta los impactos del cambio climático y el crecimiento poblacional.

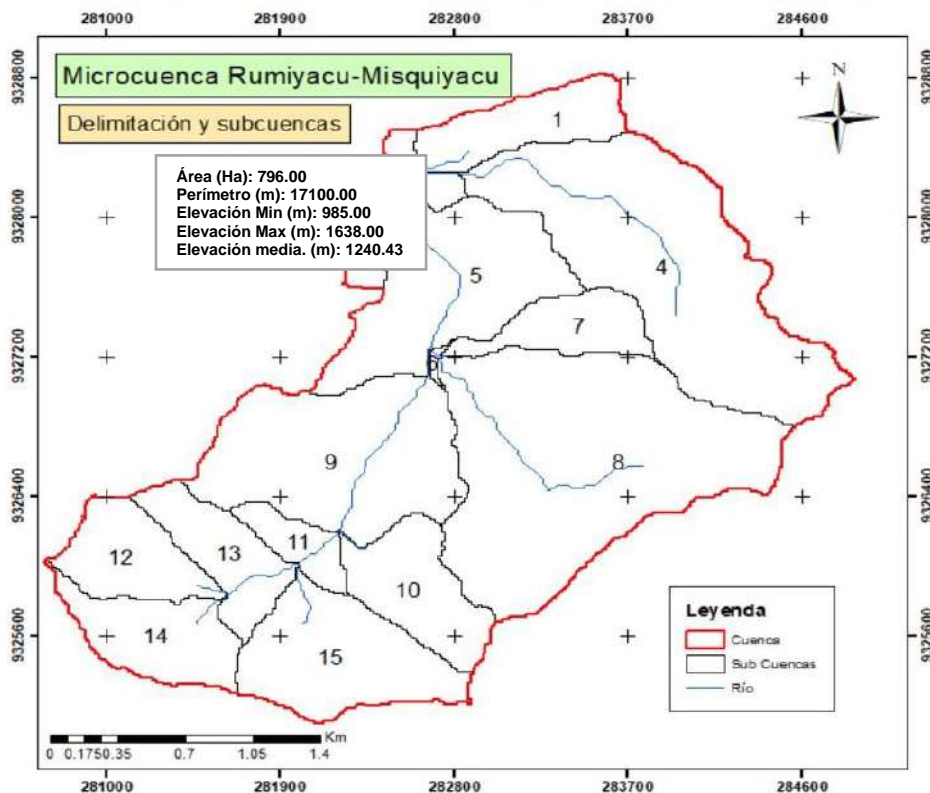
## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Resultado específico 1

Generar la base de datos de las características geomorfológicas, meteorológicas e hidrológicas de las microcuencas.

##### 4.1.1. Delimitación de las microcuencas



**Figura 2**

*Delimitación y subcuencas.*

*Fuente: Elaborado a partir del DEM de Alos Palsar.*

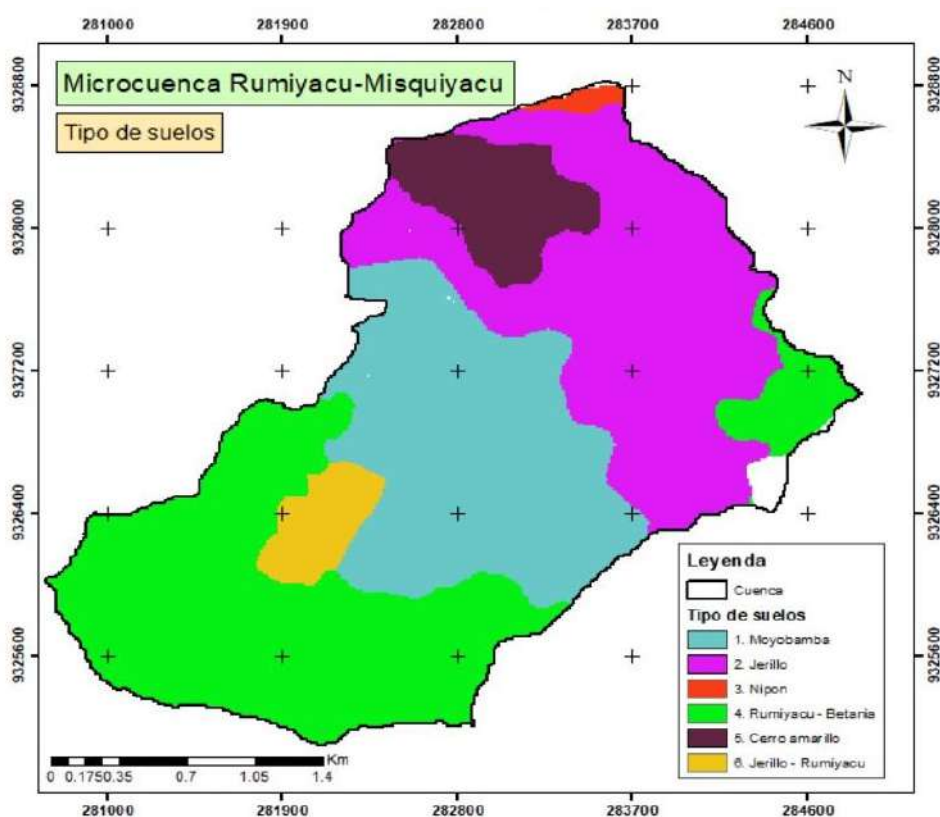
**Tabla 1**

*Área y perímetro de las subcuencas*

Subcuencas							
N°	Área (Ha)	Perímetro (m)	Elevación media (m)	N°	Área (Ha)	Perímetro (m)	Elevación media (m)
1	32,69	3425	1112,78	9	98,05	5775	1214,01
2	7,17	1600	1046,39	10	38,92	1478	1296,86
3	12,45	2250	1041,35	11	14,36	2325	1219,91
4	145,66	8175	1222,76	12	32,38	3250	1425,26
5	83,19	5775	1107,34	13	31,52	3725	1305,67
6	1,06	925	1050,58	14	36,83	3950	1353,20
7	25,67	3450	1028,70	15	60,77	4400	1331,10
8	175,30	7475	1242,10				

Se delimitó la cuenca y las subcuencas de estudio utilizando la herramienta de delimitación automática de ArcSWAT, de donde los resultados obtenidos se plasman en la figura 2 y la tabla 1, así entonces podemos ver que en la zona de estudio la cuenca tiene un área total de 796.00 ha; con una altura máxima de 1638.00 m, media de 1240.43 m y mínima de 985.00 m, y un perímetro total de 17,100.00 m. Por otro lado, también podemos ver que se delimitaron 15 subcuencas para el área en conjunto de Rumiyacu y Mishquiyacu, de las cuales sus alturas medias, perímetro y áreas se detallan en la tabla 1, así entonces podemos ver que las subcuencas 4 y 8 son las más grandes con áreas de 145.66 y 175.30 hectáreas respectivamente.

#### 4.1.2. Tipo de suelos



**Figura 3**

*Tipo de suelos.*

**Fuente:** PEAM-GRSM (ZEE ALTO MAYO, 2007)

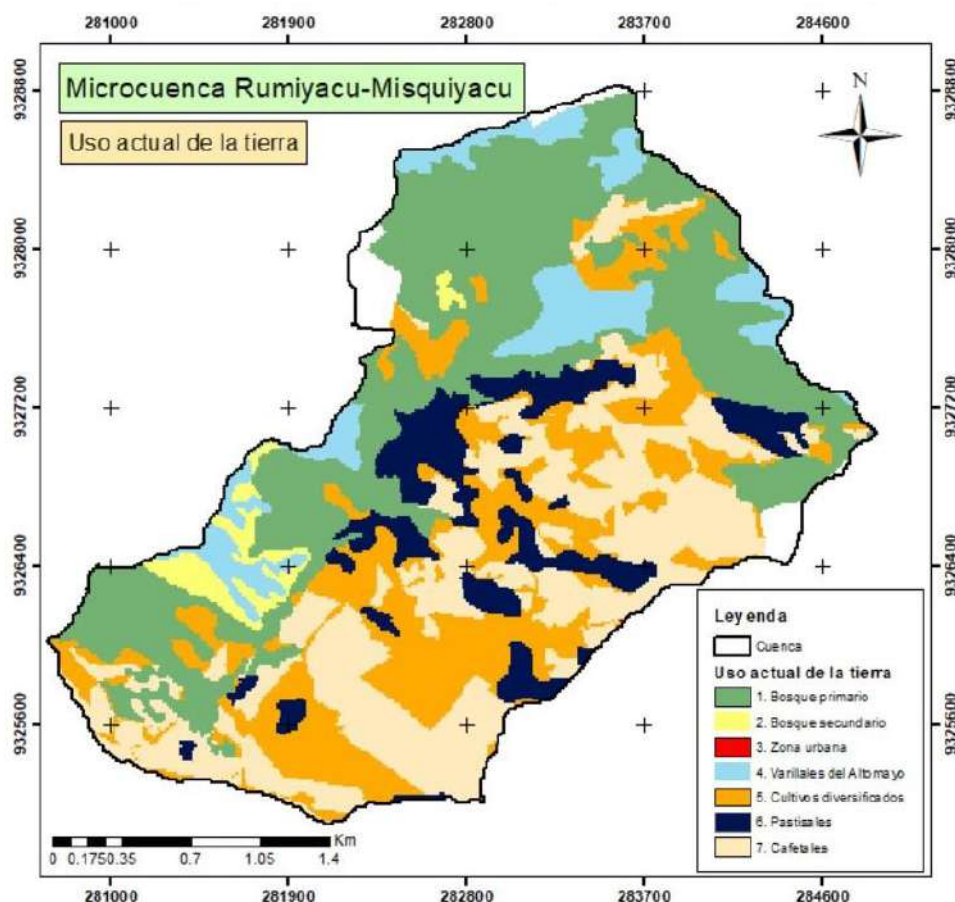
En la figura 3 podemos ver el tipo de suelos para la zona de estudio según los códigos de la FAO, los cuales utiliza el modelo SWAT, así entonces como podemos ver existen 06 tipos de suelos dentro del área de estudio, por otro lado, en la tabla 2 podemos ver la reclasificación y área de estos, con respecto a la información proporcionada por el PEAM-GRSM (ZEE ALTO MAYO, 2007), y vemos que los suelos predominantes son Moyobamba, Jerillo y Rumiyacu – Betaña con 207.41; 229.11 y 272.93 hectáreas respectivamente.

**Tabla 2**  
*Tipo de suelos*

N°	Tipo (PEAM)	Cod SWAT	Descripción	Área (Ha)
1	Moyobamba	Bd10-3c-5402 (Cambisol dístico asociado con ferrasol húmico)	De naturaleza cambiante entre suelos arcillosos, arcillo - limosos, arcillo - arenosos, de textura fina y pendiente socabada a montañosa superiores a 30%, son ácidos y con presencia regular de materia orgánica, poco fértiles para la agrícola, pero ideales para pastos y bosques.	207,41
2	Jerillo	Qf1-1b-5798 (Arenosolos ferrálicos)	Suelos arenosos, franco - arenosos, de textura gruesa con pendientes llanas a suavemente ondulada, presenta baja materia orgánica y poca fertilidad natura para cultivos.	229,11
3	Nipon	Be1-2c-4650 (Cambisoles eútricos)	Suelos franco-arenosos, arcilloarenosos; con pendiente fuertemente socabada a montañosa y de textura media, presentes en climas tropicales húmedos, ideales para cultivos de café y cacao	3,34
4	Rumiyacu - Betania	Bh3-3c-5411 (Cambisoles húmicos asociados con litosoles)	Suelos con pendientes socavada a montañosa, de textura fina y presencia considerable de materia orgánica, presentan fertilidad media para la agricultura tradicional; con precisa ocasional de rocas a poca profundidad	272,92
5	Cerro Amarillo	Be3-3b-5408 (cambisol eútrico asociado con litosol y vertisol crómico)	Suelos cámbicos con pendientes fuertemente onduladas a colinosa, de textura fina, presencia media de materia orgánica, generalmente presentes en climas tropicales húmedos y favorecen el cultivo de café y Cacao	55,98
6	Jerillo - Rumiyacu	Qf10-1a-5799 (arenosoles ferrálicos asociados con ferrisoles ródicos)	Suelos arenosos, franco - arenosos, de textura gruesa con pendientes llanas a suavemente ondulada, presenta materia orgánica media y fertilidad media para cultivos, generalmente son buenos para cultivos de café, caña de azúcar y maní.	27,2412

Fuente: PEAM-GRSM y FAO

### 4.1.3. Uso actual de la tierra



**Figura 4**  
Uso de suelos.  
Fuente: PEAM-GRSM, 2014

**Tabla 3**  
Uso de suelos

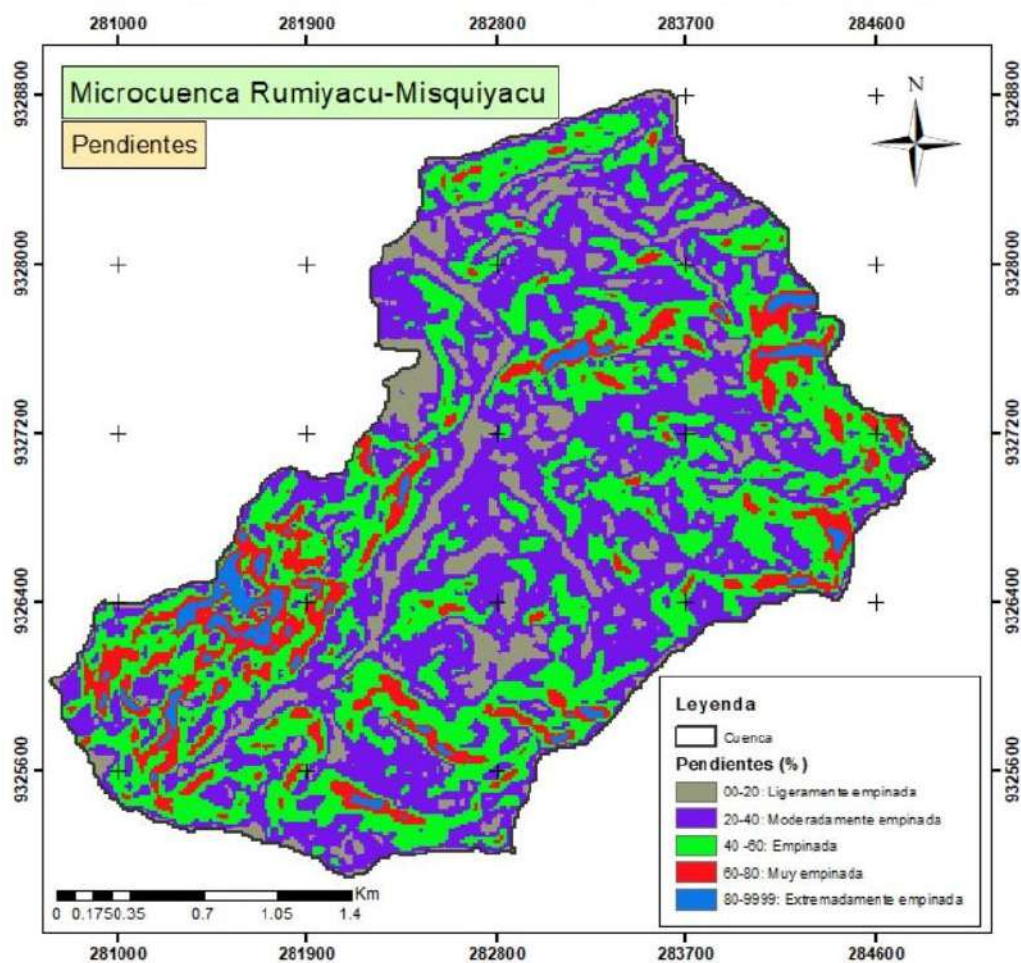
Uso de suelos según PEAM, y reclasificados a los códigos de SWAT			
N°	Clasificación PEAM-GRSM	Código SWAT	Área (Ha)
1	Bosque Primario	FRSE (Forest-Evergreen)	265,27
2	Bosque Secundario	FRSD (Forest-Deciduous)	17,88
3	Zona Urbana	URBN (Residential)	0,06
4	Zona De Varillales Del Altomayo	FRST (Forest-Mixed)	61,03
5	Zona De Cultivo Diversificado	AGRL (Agricultural Land-Generic)	174,51
6	Zona De Pastos	PAST (Pasture)	76,04
7	Zona De Cafetales	COFF (Coffee)	201,20

Fuente: PEAM-GRSM, 2014

Se reclasificó el uso de suelos a partir de la información del PEAM, así entonces en la figura 4 y tabla 3 podemos ver que los tipos de uso predominantes en el área de estudio son Bosque Primario, Zona de cultivo diversificado y zona de cafetales con 265.27 Ha; 174.51 Ha y 201.20 Ha respectivamente, por otro lado, las zonas de menor uso son

aquellas destinada a uso residencial o de vivienda con 0.06 Ha, como podemos ver la agricultura tanto de café y otros, predominan en la zona de estudio.

#### 4.1.4. Pendientes



**Figura 5**  
*Clasificación de pendientes.*

**Tabla 4**  
*Clasificación de pendientes*

Clasificación de pendientes			
N°	Rango (%)	Área (Ha)	Tipo
1	0-20	93,22	Ligeramente empinada
2	20-40	335,69	Moderadamente empinada
3	40-60	272,97	Empinada
4	60-80	76,04	Muy empinada
5	80-9999	18,08	Extremadamente empinada

Se realizó la clasificación de pendientes en ArcSWAT, a partir del DEM, el programa permite clasificar en 05 rangos de pendientes, así entonces se utilizó las 05 para el presente estudio, con pendientes de 0 – 20 %; 20 – 40 %; 40 – 60 %; 60 – 80 % y 80 – 9999 %, como podemos ver en la tabla 4, las pendientes predominantes van en un rango de 20 a 40% con 335,69 hectáreas, seguido del rango 40 a 60 % con un área de 272,97

hectáreas, 0 a 20 % con un área de 93,22 ha y finalmente los rangos con menos área son de 60 a 80% y 80 a 9999 % con áreas de 76,04 y 18,08 hectáreas respectivamente.

#### 4.1.5. Parámetros meteorológicos escenario base

##### a) Validación de los datos meteorológicos registrados y simulados

Antes de simular los parámetros meteorológicos en el escenario base (2023) y en todos los escenarios, primero se realizó una comparación de los parámetros registrados en la estación meteorológica Moyobamba en el año 2023, con la intención de validar si los datos simulados en MarkSIM, son representativos para la zona de estudio.

##### i. Validación de la precipitación

Se realizó la comparación y validación de la precipitación registrada en la estación meteorológica Moyobamba, con la simulada en la herramienta MarkSIM.

**Tabla 5**

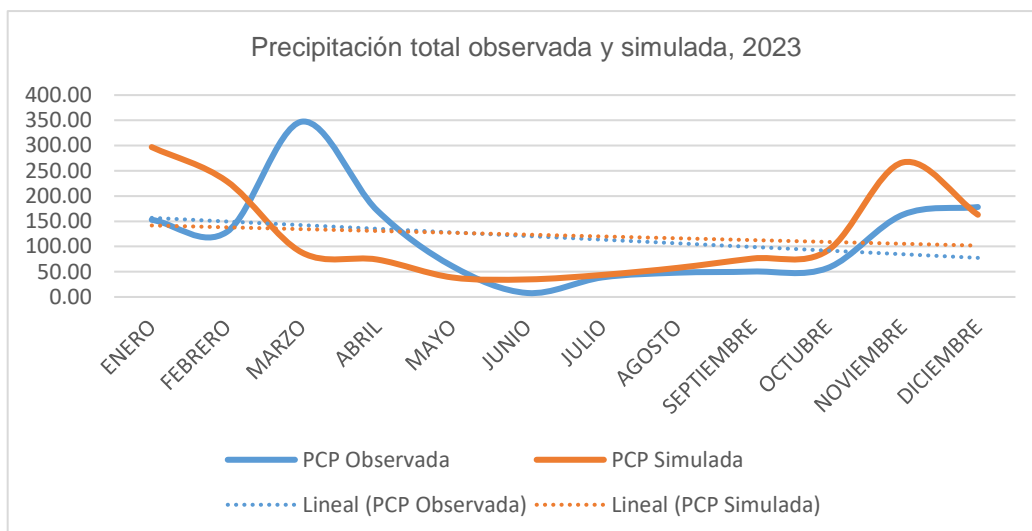
*Comparación de la precipitación observada y simulada, 2023*

**Comparación de la Precipitación total observada en la Estación Moyobamba y la simulada en MarkSim, año 2023.**

Mes	PCP Observada	PCP Simulada
Enero	153,00	297,00
Febrero	128,90	229,30
Marzo	347,40	88,10
Abril	171,60	74,20
Mayo	61,20	38,70
Junio	7,90	34,80
Julio	38,80	43,70
Agosto	48,10	57,70
Septiembre	50,40	76,20
Octubre	57,40	92,00
Noviembre	162,90	26,60
Diciembre	178,20	162,90
<b>Total anual</b>	<b>1405,80</b>	<b>1461,20</b>

*Fuente: SENAMHI, MarkSim; 2023.*

En tabla 5 y la figura 6, podemos ver que la estación meteorológica Moyobamba, registro como los meses más lluviosos a febrero, marzo, abril y noviembre, mientras que en los datos simulados los meses más lluviosos son enero, febrero, noviembre y diciembre; por otro lado, en ambos casos se puede observar que el periodo menos lluvioso del año va desde mayo hasta octubre, lo cual, es un indicio que los datos simulados se asemejan a los registrados.



**Figura 6**  
Precipitación observada y simulada, 2023.

- **Prueba F para varianzas**

**Tabla 6**  
Prueba F, precipitación observada y simulada

Prueba F para varianzas de dos muestras, PCP		
	PCP Observada	PCPC Simulada
Media	117,15	121,77
Varianza	8838,32	8723,58
Observaciones	12	12
Grados de libertad	11	11
F	1.01	
P(F<=f) una cola	0,49	
Valor crítico para F (una cola)	2,82	

Para este parámetro, tenemos:  $p$  de levene  $>$  alfa ( $0,49 > 0,05$ ); entonces podemos observar que las varianzas de las precipitaciones observadas y simuladas son iguales, por lo tanto, para comprobar que los datos simulados sean significativos para la zona de estudio se empleó la prueba t suponiendo varianzas iguales.

- **Prueba t para muestras independientes suponiendo varianzas iguales**

**Tabla 7**  
Prueba t, precipitación observa y simulada

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales		
	PCP Observada	PCP Simulada
Media	117,15	121,77
Varianza	8838,32	8723,58
Observaciones	12	12
Varianza agrupada	8780,95	
Diferencia hipotética de las medias	0	

<b>Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales</b>		
	<b>PCP Observada</b>	<b>PCP Simulada</b>
Grados de libertad	22	
Estadístico t	-0,12	
P(T<=t) una cola	0,45	
Valor crítico de t (una cola)	1,72	
P(T<=t) dos colas	0,91	
Valor crítico de t (dos colas)	2,07	

Según los resultados arrojados,  $P > \alpha$  ( $0,91 > 0,05$ ), por lo tanto, podemos decir que no existe una diferencia significativa entre los datos de precipitación registrados en la estación meteorológica Moyobamba, y los simulados en MarkSim para el año 2023, por lo tanto, podemos concluir que los datos simulados son representativos de la zona de estudio.

## ii. Validación de la temperatura máxima

Se comparó y validó de la temperatura máxima registrada con la simulada.

**Tabla 8**

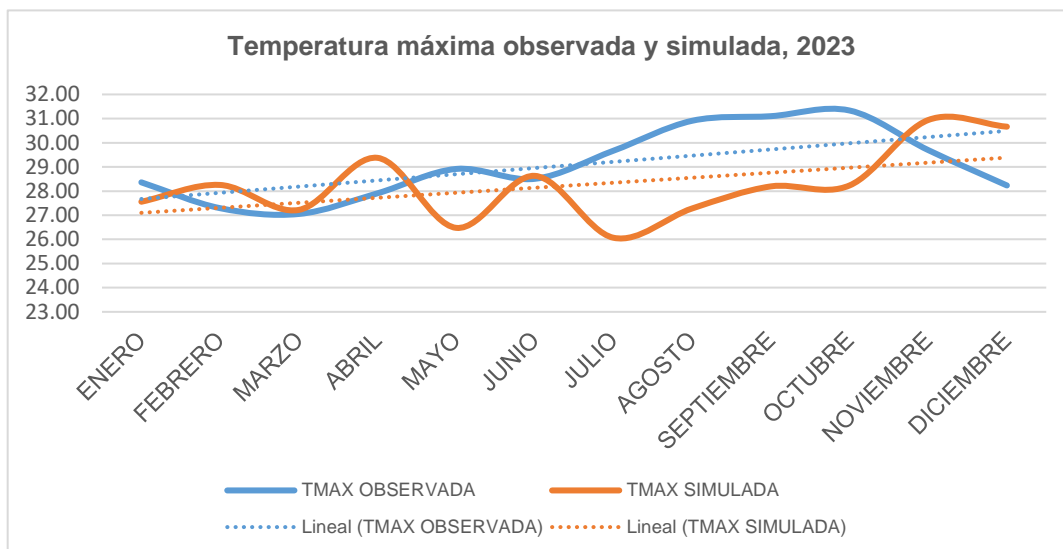
*Comparación de temperatura máxima observada y simulada*

**Comparación de la Temperatura máxima observada en la Estación Moyobamba y la simulada en MarkSim, año 2023**

<b>Mes</b>	<b>TMAX observada</b>	<b>TMAX simulada</b>
Enero	28,36	27,56
Febrero	27,29	28,25
Marzo	27,05	27,22
Abril	27,91	29,38
Mayo	28,92	26,48
Junio	28,51	28,63
Julio	29,67	26,07
Agosto	30,91	27,28
Septiembre	31,10	28,19
Octubre	31,34	28,23
Noviembre	29,70	30,94
Diciembre	28,23	30,66

*Fuente: SENAMHI, MarkSim; 2023.*

En la figura 7 podemos observar los datos observados muestran a setiembre y octubre como los meses más calurosos, mientras que los datos simulados nos dicen que los meses más calurosos son noviembre y diciembre, sin embargo, en ambos casos podemos ver las líneas de tendencia van en aumento de enero hacia diciembre.



**Figura 7**  
Temperatura máxima observada y simulada.

- **Prueba F para varianzas**

**Tabla 9**  
Prueba F, temperatura máxima

Prueba F para varianzas de dos muestras		
	<i>TMAX observada</i>	<i>TMAX simulada</i>
Media	29,08	28,24
Varianza	2,14	2,26
Observaciones	12	12
Grados de libertad	11	11
F	0,96	
P(F<=f) una cola	0,46	
Valor crítico para F (una cola)	0,35	

Tenemos:  $p > \alpha$  ( $0,46 > 0,05$ ), por lo que podemos intuir que las varianzas de las temperaturas máximas observadas y simuladas son iguales, por lo tanto, para comprobar que los datos simulados sean significativos para el área de estudio se empleó la prueba t suponiendo varianzas iguales.

- **Prueba t para muestras independientes suponiendo varianzas iguales**

**Tabla 10**  
Prueba t, temperatura máxima observada y simulada

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales		
	<i>TMAX observada</i>	<i>TMAX simulada</i>
Media	29,08	28,24
Varianza	2,14	2,26
Observaciones	12,00	12,00
Varianza agrupada	2,20	
Diferencia hipotética de las medias	0,00	
Grados de libertad	22,00	

<b>Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales</b>		
	<b>TMAX observada</b>	<b>TMAX simulada</b>
Estadístico t	1,39	
P(T<=t) una cola	0,09	
Valor crítico de t (una cola)	1,72	
P(T<=t) dos colas	0,18	
Valor crítico de t (dos colas)	2,07	

Según los resultados arrojados,  $P >$  que alfa; ( $0,18 > 0,05$ ), por lo tanto, no existe una diferencia significativa entre los datos de temperatura máxima registrada en la estación meteorológica Moyobamba, y las simuladas en MarkSim para el año 2023, por lo que, podemos concluir que los datos simulados son representativos de la zona de estudio.

### iii. Validación de la temperatura mínima

Se comparó y validó de la temperatura mínima registrada con la simulada.

De la tabla 11 y figura 8, podemos intuir que los meses más fríos observados, son junio, julio y agosto, por otro lado, los datos simulados en MarkSIM, muestran que los meses más fríos son mayo, julio y agosto, así mismo podemos ver que las líneas de tendencia en ambos casos se mantienen constantes durante todo el año.

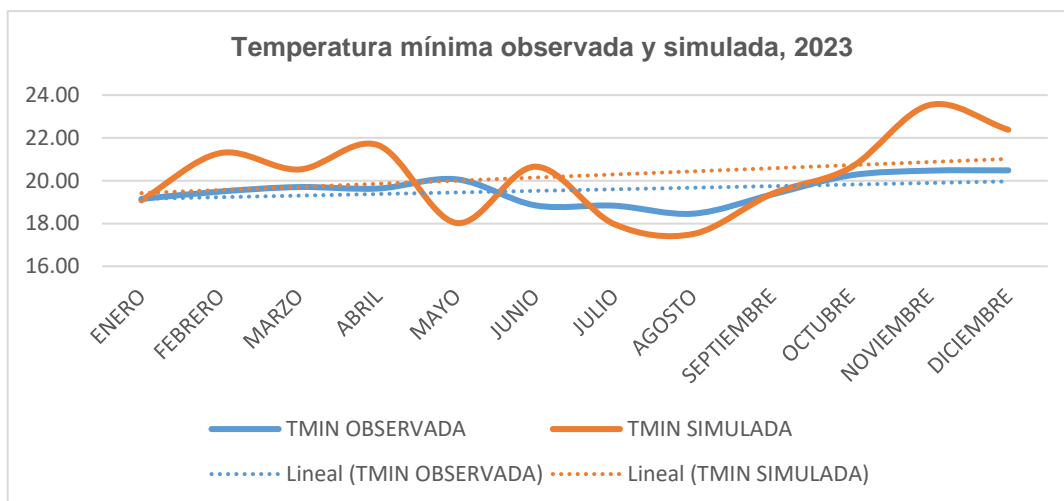
**Tabla 11**

*Temperatura mínima observada y simulada*

**Comparación de la Temperatura mínima observada en la Estación Moyobamba y la simulada en MarkSim, año 2023**

<b>Mes</b>	<b>TMIN observada</b>	<b>TMIN simulada</b>
Enero	19,15	19,08
Febrero	19,49	21,29
Marzo	19,70	20,52
Abril	19,63	21,66
Mayo	20,06	18,02
Junio	18,85	20,66
Julio	18,83	17,97
Agosto	18,46	17,51
Septiembre	19,35	19,38
Octubre	20,25	20,62
Noviembre	20,47	23,53
Diciembre	20,48	22,38

Fuente: SENAMHI, MarkSim; 2023.



**Figura 8**  
Temperatura mínima observada y simulada.

### - Prueba F para varianzas

**Tabla 12**  
Prueba F temperatura mínima

Prueba F para varianzas de dos muestras		
	TMIN observada	TMIN simulada
Media	19,56	20,21
Varianza	0,44	3,50
Observaciones	12	12
Grados de libertad	11	11
F	0,13	
P(F<=f) una cola	0,00095	
Valor crítico para F (una cola)	0,35	

Para este parámetro, tenemos:  $p < \alpha$  ( $0,00095 < 0,05$ ), por lo que podemos observar que las varianzas de las temperaturas mínimas observadas y simuladas son desiguales, por lo tanto, para comprobar que los datos simulados sean significativos para el área de estudio se empleó la prueba t suponiendo varianzas desiguales.

### - Prueba t para muestras independientes suponiendo varianzas desiguales

**Tabla 13**  
Prueba t, temperatura mínima observada y simulada

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales		
	TMIN observada	TMIN simulada
Media	19,56	20,22
Varianza	0,45	3,50
Observaciones	12,00	12,00
Diferencia hipotética de las medias	0,00	
Grados de libertad	14,00	
Estadístico t	-1,15	
P(T<=t) una cola	0,14	

---

**Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales**


---

	<i>TMIN observada</i>	<i>TMIN simulada</i>
Valor crítico de t (una cola)	1,76	
P(T<=t) dos colas	0,27	
Valor crítico de t (dos colas)	2,14	

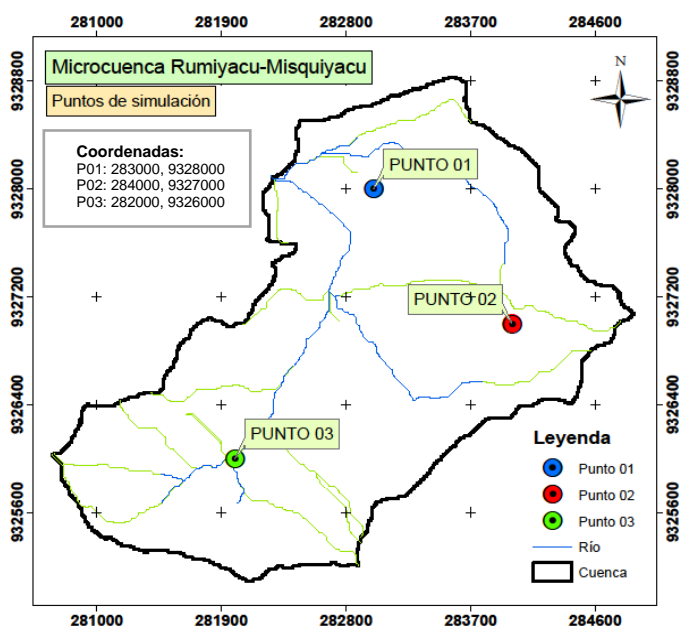
---

Según los resultados arrojados,  $P >$  que alfa; ( $0.27 > 0.05$ ), por lo tanto, podemos decir que no existe una diferencia significativa entre los datos de temperatura mínima registrada en la estación meteorológica Moyobamba, y las simuladas en MarkSim para el año 2023, por lo que, podemos concluir que los datos simulados son representativos de la zona de estudio.

**b) Datos meteorológicos en el escenario base.**

Después de demostrar que la información meteorológica que simula MarkSim, es representativa para la zona de estudio, se simuló datos de temperatura máxima y mínima, precipitación y radiación solar, en tres puntos distribuidos dentro de las microcuencas de estudio, en las siguientes coordenadas.

Para el presente estudio se ha considerado como escenario base al año 2023, a partir del cual se hicieron las comparaciones de variación de temperatura, precipitación y radiación solar con los demás escenarios, así como también a partir de este se realizaron los cálculos de crecimiento poblacional y demanda de agua proyectados a todos los escenarios y finalmente la comparación de las variaciones de la disponibilidad hídrica.


**Figura 9**
*Ubicación de puntos de simulación.*

**Tabla 14***Ubicación de puntos de simulación de parámetros meteorológicos*

<b>Ubicación de las simulaciones de parámetros meteorológicos</b>			
<b>ID</b>	<b>Este (UTMX)</b>	<b>Norte (UTMY)</b>	<b>Elevación (M)</b>
PUNTO 01	283000	9328000	1045
PUNTO 02	284000	9327000	1223
PUNTO 03	282000	9326000	1255

En la tabla 14 y figura 9, se muestran la ubicación de los puntos de simulación de los parámetros meteorológicos, los cuales fueron distribuidos dentro de la zona de estudio según las coordenadas indicadas, dentro de estos tres puntos se simularon los datos tanto para el escenario base, así como también para los escenarios proyectados, como podemos ver el punto más alto es el 03, con una altura de 1 255,00 m.s.n.m. por lo que en este se espera temperaturas más frías, el punto más bajo es el 01, con 1045 m.s.n.m. por lo que se esperan temperaturas más cálidas en este punto.

Para correr el modelo SWAT, en el escenario base, se consideró cuatro años antes, para la recarga del acuífero, así entonces se simularon datos desde el 2019 hasta el 2023, en los tres puntos indicados, para representar dicho escenario, para efectos de análisis de variación de los parámetros, se consideró el año 2023, en el punto más cercano a la intercesión de las microcuencas (Punto 01).

#### **i. Temperatura máxima**

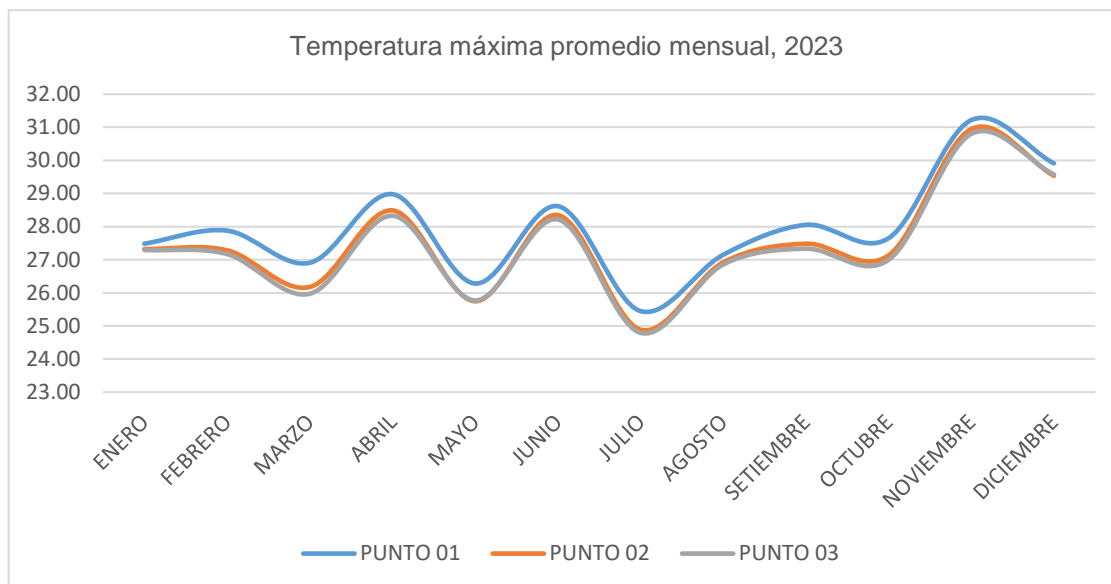
**Tabla 15***Simulaciones de temperatura máxima, escenario base***Temperatura máxima promedio mensual simulada en los 3 puntos dentro del área de las microcuencas, 2023, en ° C.**

	<b>Punto 01</b>	<b>Punto 02</b>	<b>Punto 03</b>
Enero	27,48	27,32	27,29
Febrero	27,88	27,29	27,17
Marzo	26,91	26,17	25,97
Abril	28,98	28,49	28,33
Mayo	26,28	25,75	25,77
Junio	28,62	28,35	28,22
Julio	25,45	24,89	24,79
Agosto	27,15	26,92	26,85
Setiembre	28,05	27,48	27,33
Octubre	27,65	27,13	26,99
Noviembre	31,22	30,95	30,80
Diciembre	29,91	29,53	29,57
<b>P Anual</b>	<b>27,96</b>	<b>27,52</b>	<b>27,42</b>

*Fuente: Generador meteorológico MarkSim*

La tabla 15 y la figura 10, representas las datos de temperatura máxima que se simuló en los tres puntos dentro del área de las microcuencas, como podemos ver, las

simulaciones arrojaron como el mes más caliente a noviembre, alcanzando los 31,22 °C en el punto 01, por otro lado también podemos ver picos de temperatura en los meses de abril, junio, setiembre y diciembre, así mismo en el punto 01 se generaron temperaturas más altas y las más bajas en el punto 3, esto está relacionado principalmente a la diferencia de alturas entre los puntos.



**Figura 10**  
*Temperatura máxima, escenario base.*

## ii. Temperatura mínima

**Tabla 16**  
*Simulaciones de temperatura mínima, escenario base*

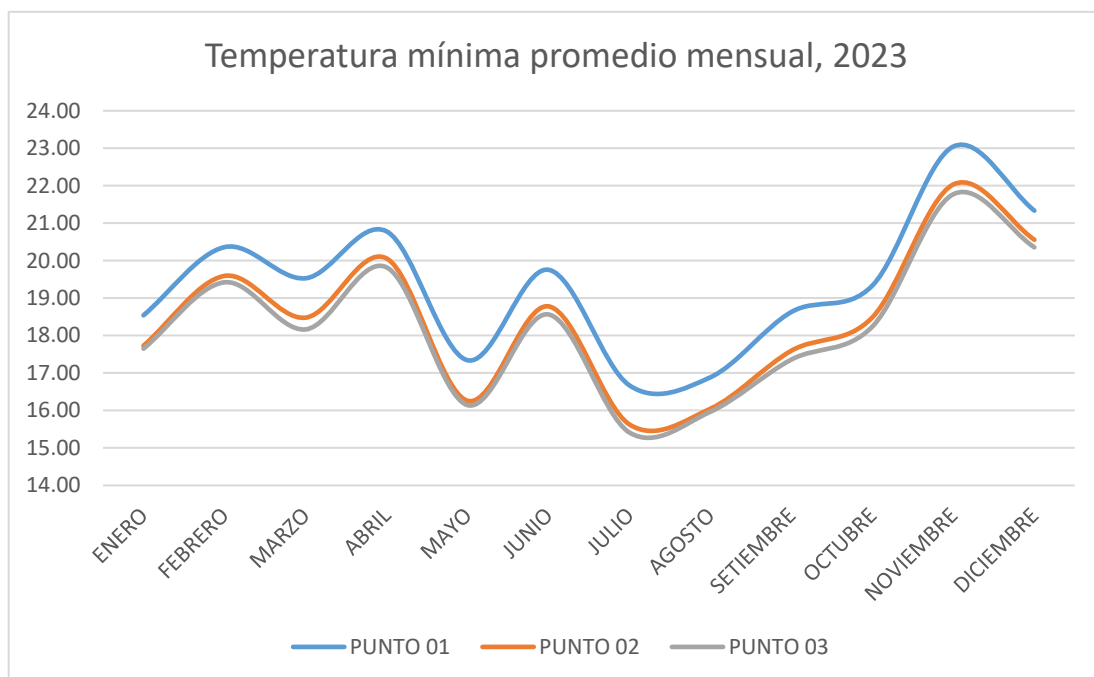
**Temperatura máxima promedio mensual simulada en los 3 puntos dentro del área de las microcuencas, 2023, en °C**

	Punto 01	Punto 02	Punto 03
Enero	18,54	17,73	17,65
Febrero	20,36	19,59	19,42
Marzo	19,53	18,48	18,16
Abril	20,78	20,06	19,82
Mayo	17,34	16,26	16,15
Junio	19,76	18,78	18,56
Julio	16,67	15,63	15,41
Agosto	16,89	16,05	15,97
Setiembre	18,63	17,60	17,36
Octubre	19,34	18,49	18,24
Noviembre	23,05	22,03	21,77
Diciembre	21,34	20,56	20,35
<b>P Anual</b>	<b>19,35</b>	<b>18,44</b>	<b>18,24</b>

*Fuente: Generador Meteorológico MarkSim*

La tabla 16 y la figura 11, representan los datos de temperatura mínima que se simuló en los tres puntos dentro del área de las microcuencas, como podemos ver, las

simulaciones arrojaron como el mes más frío a julio, alcanzando los 15,41 °C en el punto 03, por otro lado también podemos ver picos bajos de temperatura en los meses de marzo, mayo y agosto, así mismo en el punto 01 se generaron temperaturas más altas y las más bajas en el punto 03, esto está relacionado principalmente a la diferencia de alturas entre los puntos.



**Figura 11**  
*Temperatura mínima escenario base.*

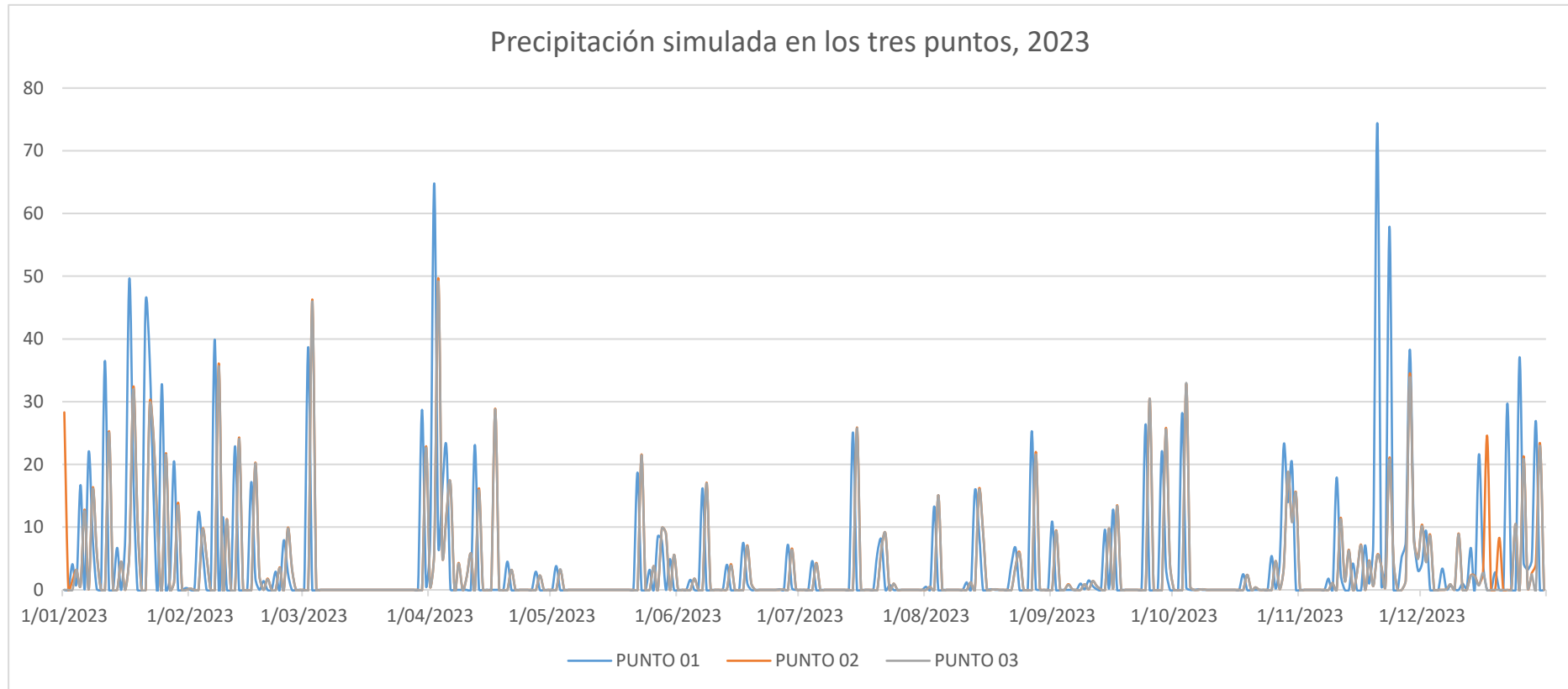
### iii. Precipitación

**Tabla 17**  
*Simulaciones de precipitación, escenario base*

**Precipitación mensual simulada en los 3 puntos dentro del área de las microcuencas, 2023, en mm.**

	Punto 01	Punto 02	Punto 03
Enero	323,40	248,10	215,50
Febrero	127,10	128,20	126,90
Marzo	68,00	69,20	68,70
Abril	149,50	153,90	152,70
Mayo	46,90	53,00	52,90
Junio	38,0	38,20	37,50
Julio	44,30	46,70	46,50
Agosto	76,60	74,20	73,20
Setiembre	88,90	97,60	97,10
Octubre	98,70	89,50	89,50
Noviembre	241,40	120,60	118,40
Diciembre	160,90	137,40	98,10
<b>Total Anual</b>	<b>1463,80</b>	<b>1256,60</b>	<b>1177,00</b>

Fuente: Generador meteorológico MarkSim



**Figura 12**  
*Precipitación, escenario base.*

La tabla 17 y la figura 12, representan las simulaciones de precipitaciones en los tres puntos en el escenario base, como podemos ver en los 03 puntos se simuló picos más altos de lluvia en los meses de enero, febrero, abril, noviembre y diciembre, por otro lado en los tres puntos se muestran como los meses menos lluviosos al periodo de mayo a octubre, así mismo se registró un total anual de lluvia de 1 463,80 mm en el punto 01, 1 256,60 mm en el punto 02 y 1 177,00 en el punto 03.

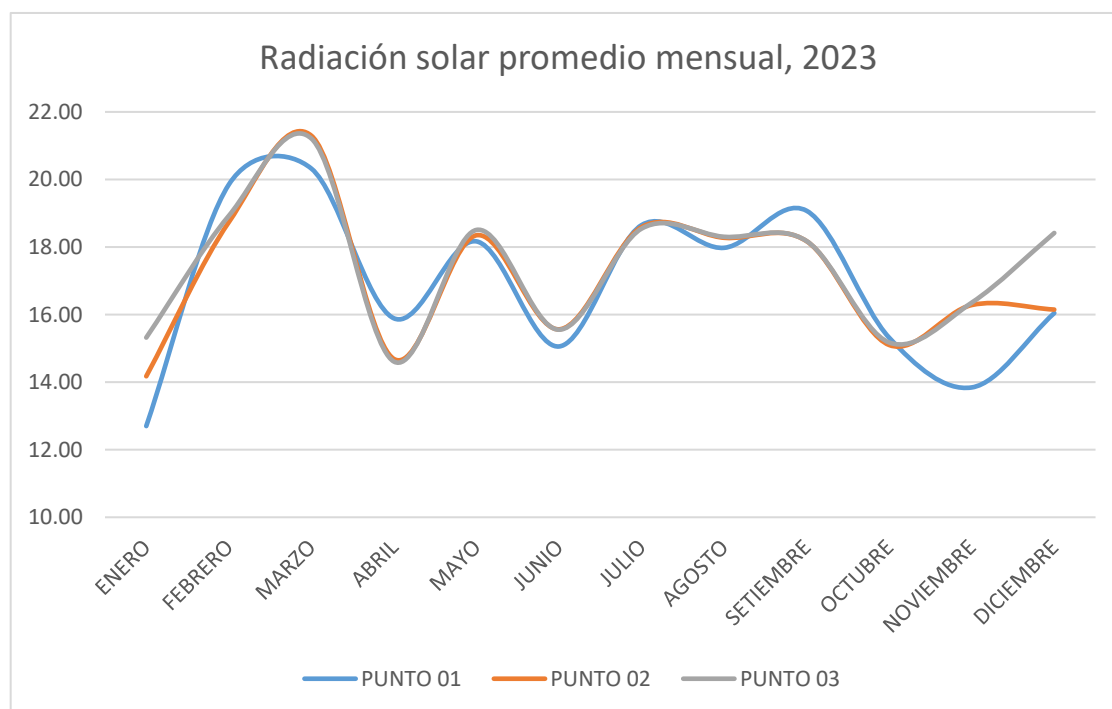
#### iv. Radiación solar

**Tabla 18**

*Simulaciones de radiación solar, escenario base*

	Punto 01	Punto 02	Punto 03
Enero	12,70	14,17	15,32
Febrero	19,85	18,74	18,93
Marzo	20,32	21,30	21,21
Abril	15,89	14,69	14,61
Mayo	18,17	18,35	18,51
Junio	15,06	15,56	15,55
Julio	18,65	18,59	18,55
Agosto	17,98	18,27	18,30
Setiembre	19,07	18,17	18,18
Octubre	15,32	15,10	15,17
Noviembre	13,84	16,28	16,35
Diciembre	16,05	16,15	18,42
<b>P Anual</b>	<b>16,91</b>	<b>17,11</b>	<b>17,42</b>

Fuente: Generador meteorológico MarkSim



**Figura 13**

*Radiación solar, escenario base.*

Con respecto a las simulaciones de este parámetro, los resultados arrojaron que el mes con mayor radiación solar es marzo alcanzando hasta 20,32 MJ/m<sup>2</sup> en el punto 01, mientras que el mes con menor radiación solar es enero con 12,70 MJ/m<sup>2</sup> en el punto 03.

#### 4.1.6. Caudales

**Tabla 19**

*Volumen acreditado por la ANA, 2018*

<b>Volumen de agua acreditado por la Autoridad Nacional del Agua, 2018 (m3/mes)</b>									
	<b>Rumiyacu</b>	<b>Mishquiyacu</b>	<b>Vertiente 01</b>	<b>Vertiente 02</b>	<b>Vertiente 03</b>	<b>Vertiente 04</b>	<b>Total (m3/mes)</b>	<b>Total (m3/s)</b>	<b>Total (l/s)</b>
Enero	73725,64	51545,81	2482,88	6773,67	626,75	48379,94	183534,69	0,070	69,8382
Febrero	83377,73	53960,26	2438,55	6684,25	609,64	47595,34	194665,77	0,074	74,0737
Marzo	397295,11	194467,91	6339,77	4537,21	0,00	0,00	602640,00	0,229	22,3151
Abril	177046,56	96562,37	3662,50	10007,71	909,79	71430,34	359619,27	0,137	13,8414
Mayo	104307,61	65050,3	2845,80	7786,11	705,76	55481,72	236177,30	0,090	89,8696
Junio	74107,87	51098,69	2423,52	6653,66	616,90	47456,93	182357,57	0,069	69,3902
Julio	18705,95	27235,31	1821,31	4985,84	455,33	35561,12	88764,86	0,034	33,7766
Agosto	55883,48	43672,65	2253,87	6192,46	569,16	44212,35	152783,97	0,058	58,1370
Setiembre	124693,34	73439,14	3040,42	8306,06	749,09	59244,05	269472,10	0,103	102,5389
Octubre	109566,65	67372,47	2914,10	7945,47	728,52	56711,10	245238,31	0,093	93,3175
Noviembre	311767,06	156081,17	5265,65	14408,93	1321,92	94355,28	583200,01	0,222	221,9178
Diciembre	130566,64	76663,84	3157,83	8629,89	795,48	61613,91	281427,59	0,107	107,0881

*Fuente: RESOLUCIÓN DIRECTORAL N° 321-2018-ANA/AAA-HUALLAGA*

En la tabla 19, se observa los datos de volumen de agua acreditado por la autoridad Nacional del Agua mediante RESOLUCIÓN DIRECTORAL N° 321-2018-ANA/AAA-HUALLAGA, así entonces como podemos ver los mese con mayos caudal son marzo, abril y noviembre, mientras que los meses con menor caudal son junio, julio y agosto.

**Tabla 20***Caudales ecológicos según la ANA, 2018*

<b>Caudales ecológicos en las microcuencas Rumiayacu y Mishqiyacu – ANA, 2018</b>								
	<b>Rumiayacu (l/s)</b>	<b>Mishqiyacu (l/s)</b>	<b>Vertiente 01 (l/s)</b>	<b>Vertiente 02 (l/s)</b>	<b>Vertiente 03 (l/s)</b>	<b>Vertiente 04 (l/s)</b>	<b>Total (l/s)</b>	<b>Total (m3/mes)</b>
Enero	8,61	3,81	0,10	0,28	0,03	2,01	14,84	38465,28
Febrero	9,39	4,15	0,11	0,31	0,03	2,19	16,18	41938,56
Marzo	22,04	9,73	0,26	0,72	0,07	5,13	37,95	98366,4
Abril	13,15	5,81	0,16	0,43	0,04	3,06	22,65	58708,8
Mayo	15,7	6,93	0,19	0,51	0,05	3,66	27,04	70087,68
Junio	13,87	6,13	0,17	0,45	0,04	3,23	23,89	61922,88
Julio	10,06	4,44	0,12	0,33	0,03	2,34	17,32	44893,44
Agosto	12,51	5,52	0,15	0,41	0,04	2,91	21,54	55831,68
Setiembre	17,31	7,65	0,21	0,57	0,05	4,03	29,82	77293,44
Octubre	16,04	7,09	0,19	0,52	0,05	3,74	27,63	71616,96
Noviembre	30,05	13,27	0,36	0,98	0,09	7,00	51,75	134136,00
Diciembre	10,97	4,85	0,13	0,36	0,03	2,56	18,9	48988,80

*Fuente: RESOLUCIÓN DIRECTORAL N° 321-2018-ANA/AAA-HUALLAGA*

Por otro lado, dentro de la misma resolución, la ANA, determinó los caudales ecológicos para la zona de estudios, los cuales se presentan en la tabla 20, en donde se incluye los componentes de volumen y flujo que son necesarios para mantener procesos físicos y biológicos dentro del ecosistema y así alcanzar los objetivos de conservación (ANA, 2018), se determinó que este parámetro se mantiene constante en todos los escenarios analizados en la investigación.

## **Discusión**

El modelamiento de las microcuencas Rumiyacu y Mishquiyacu, se realizó en conjunto, considerando como punto de salida la intersección entre las 02, se optó por hacerlo de esa manera ya que la investigación tiene por objetivo analizar la capacidad que ambas tienen para abastecer de agua a la población de Moyobamba en el futuro, hacerlo por separado implicaría sumar los resultados de ambas, llegando finalmente al mismo resultado, así entonces se tuvo un área total de 796.00 hectáreas con una altura promedio de 1 240,43 m.s.n.m; según Córdoba (2013), Mishquiyacu tiene un área de 185,39 Ha y Rumiyacu 534,25 Ha, haciendo un total de 719,64 Ha, considerando que su delimitación se realizó por separado y en el caso de la última se hizo en un punto más alto.

Con respecto al tipo de suelos, la mayor parte del territorio está constituida por suelos Rumiyacu – Betania (Cambisoles húmicos asociados con litosoles), que según la ZEE, ALTO MAYO (2007), son suelos con textura fina y ocasionalmente gruesa en la parte superficial, presentan relieve accidentado con pendientes fuertemente inclinadas, químicamente son ácidos, pero también varían de neutral a moderadamente alcalina; suelos de diagnóstico cámbico con presencia de estrato rocoso a poca profundidad y presencia considerable de materia orgánica y fertilidad natural media.

Por otro lado, el uso de suelos dentro del área de estudio está constituido principalmente por bosques primarios con un total de 265,27 hectáreas, lo que representa el 34,9% del total, así mismo, Ayala (2017) en su investigación, nos dice que Mishquiyacu tiene 18,84% de bosque primario y Rumiyacu 13,17% haciendo un total de 32,01%, sin embargo la agricultura ha ido dominando de manera considerable, predominando el café, pero también con presencia de otros cultivos como plátano, maíz, etc., lo que se evidencia en la Zonificación de la ZoCRE RUMIALBA (PEAM-GRSM, 2014), donde se indica que dentro de las microcuencas de estudio, existen 201.20 hectáreas de café, y 174,51 hectáreas de otros cultivos los que representan el 49.4% del total; como podemos ver esto se relaciona a la fertilidad del suelo para la agricultura. Sin embargo, esto trae consigo el cambio de uso de suelos, lo cual según Reyes (2018), provoca el ensellamiento del suelo disminuyendo la infiltración, modifica la escorrentía y aumentando la erosión y la cantidad de sedimentos, lo cual afecta negativamente a la calidad del agua.

Los parámetros meteorológicos para el escenario base, se simularon en MarkSIM, en tres puntos de simulación dentro del área de las microcuencas, previo a ello se realizó una validación de los datos que simula MarkSIM, tomando como referencia los datos

registrados en la estación meteorológica Moyobamba, así entonces mediante la prueba t para muestras independientes finalmente se pudo concluir que los datos de temperatura y precipitación que se simulan, son representativos de la zona de estudio.

## 4.2. Resultado específico 2

Proyectar los parámetros meteorológicos de la microcuenca en escenarios de cambio climático al año 2060, mediante el generador meteorológico MarkSIM.

### Datos meteorológicos en escenarios de cambio climático

Se realizaron en los mismos puntos del escenario base.

Para correr el modelo SWAT, en los años 2040 y 2060, se consideró cuatro años antes, para la recarga del acuífero, así entonces se simularon en los periodos 2036 – 2040 y 2056 – 2060, en los tres puntos indicados, para representar los escenarios MIROC-ESM-RCP4.5-2040 (escenario 01), MIROC-ESM-RCP8.5-2040 (escenario 02), MIROC-ESM-RCP4.5-2060 (escenario 03) y MIROC-ESM-RCP8.5-2060 (escenario 04), para efectos de análisis de variación de los parámetros, se consideraron los datos de los años 2040 y 2060, en el punto más cercano a la intersección de las microcuencas.

### 4.2.1. Parámetros meteorológicos proyectados al año 2040

#### a) Escenario MIROC-ESM-RCP4.5-2040 (Escenario 01)

##### i. Temperatura máxima

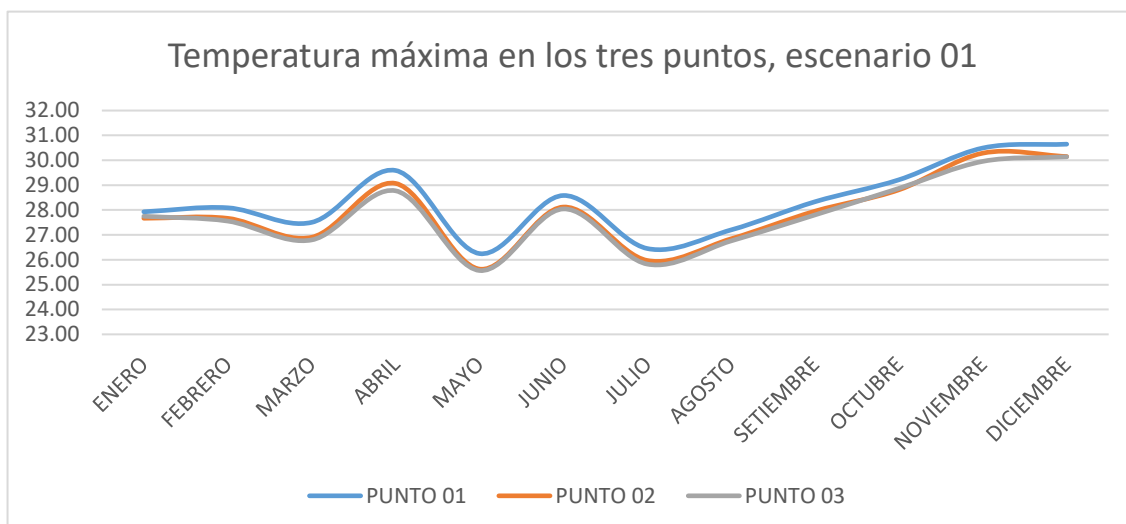
**Tabla 21**

*Simulaciones de temperatura máxima, escenario 01*

**Temperatura máxima simulada en los 3 puntos dentro del área de las microcuencas, escenario 01, en °C.**

	Punto 01	Punto 02	Punto 03
Enero	27,93	27,67	27,75
Febrero	28,18	27,65	27,54
Marzo	27,50	26,90	26,80
Abril	29,59	29,07	28,77
Mayo	26,25	25,63	25,57
Junio	28,58	28,12	28,04
Julio	26,45	25,97	25,83
Agosto	27,20	26,84	26,76
Setiembre	28,33	27,95	27,80
Octubre	29,22	28,81	28,87
Noviembre	30,49	30,29	29,96
Diciembre	30,65	30,15	30,14
<b>P Anual</b>	<b>28,36</b>	<b>27,92</b>	<b>27,82</b>

Fuente: Generador meteorológico MarkSim



**Figura 14**  
Temperatura máxima, escenario 01.

Según la tabla 21 y la figura 14, en los tres puntos de simulación se tiene a los meses de abril, junio, noviembre y diciembre como los más calurosos, llegando hasta los 30,13 °C en el punto 01 en el mes de diciembre, así mismo este último presentó mayores temperaturas en todo el año, y el punto 03 presentó las temperaturas menores en todo el año, esto está relacionado a que el punto 01 está ubicado a una altura más baja que el punto 03.

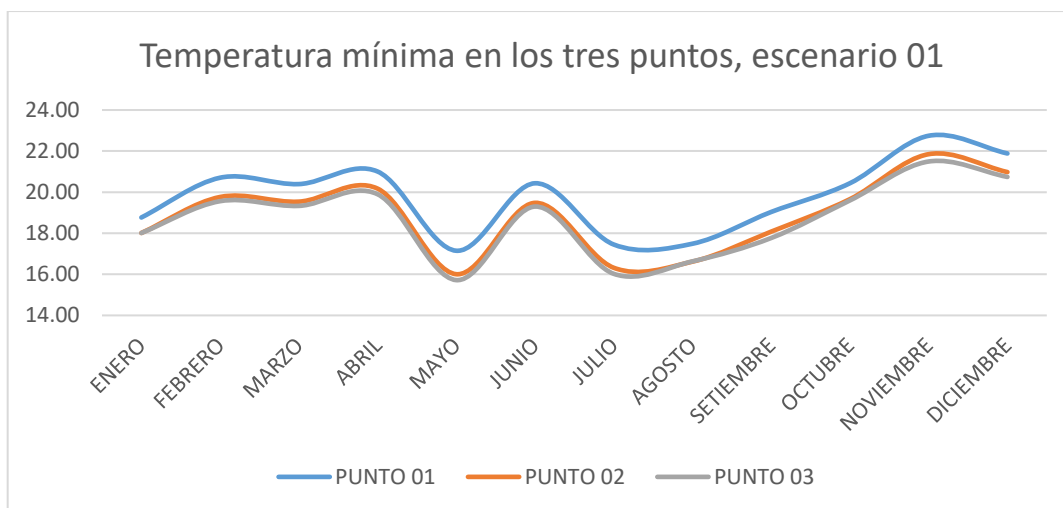
## ii. Temperatura mínima

**Tabla 22**  
Simulaciones de temperatura mínima, escenario 01

**Temperatura mínima simulada en los 3 puntos dentro del área de las microcuencas, escenario 01, en °C.**

	Punto 01	Punto 02	Punto 03
Enero	18,77	18,01	18,01
Febrero	20,70	19,77	19,56
Marzo	20,39	19,54	19,33
Abril	21,01	20,17	19,90
Mayo	17,15	16,01	15,72
Junio	20,43	19,48	19,30
Julio	17,45	16,32	16,03
Agosto	17,49	16,62	16,63
Setiembre	19,04	18,08	17,77
Octubre	20,44	19,66	19,60
Noviembre	22,75	21,85	21,49
Diciembre	21,88	20,98	20,74
P Anual	19,79	18,87	18,67

Fuente: Generador meteorológico MarkSim



**Figura 15**  
*Temperatura mínima, escenario 01.*

Con respecto a la temperatura mínima en el escenario 01, en la tabla 22 y figura 15, podemos ver que las simulaciones arrojaron a mayo y julio como los meses más fríos en los tres puntos de simulación, llegando hasta los 15,72 °C de temperatura promedio mensual en el mes de mayo en el punto 03, y a los 17,15 °C de temperatura promedio mensual en el mismo mes en el punto 03.

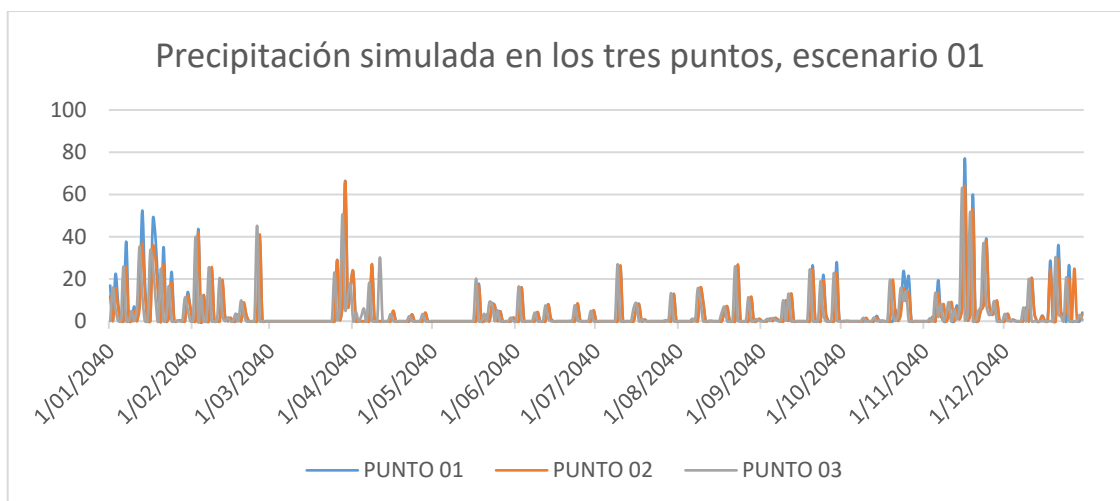
### iii. Precipitación

**Tabla 23**  
*Simulaciones de precipitación, escenario 01*

**Precipitación simulada en los 3 puntos dentro del área de las microcuencas, escenario 01, en mm.**

	Punto 01	Punto 02	Punto 03
Enero	357,50	261,90	238,10
Febrero	153,90	160,10	164,40
Marzo	128,10	127,60	115,70
Abril	61,20	63,10	70,50
Mayo	43,10	41,20	48,00
Junio	42,80	44,20	42,30
Julio	54,50	54,60	56,50
Agosto	76,20	78,10	75,80
Setiembre	107,40	97,40	96,60
Octubre	72,50	69,30	69,20
Noviembre	266,40	248,10	242,60
Diciembre	142,60	151,80	104,30
<b>TOTAL ANUAL</b>	<b>1506,20</b>	<b>1397,40</b>	<b>1324,00</b>

*Fuente: Generador meteorológico MarkSim*



**Figura 16**  
*Precipitación, escenario 01.*

En la tabla 23 podemos ver los datos arrojados de precipitación total mensual, en el escenario 01, al respectó podemos ver que el punto 01 se simuló mayor cantidad de lluvia en todo el año, con 1 506,20 mm, así mismo se simuló 1 397,40 y 1 324,00 mm en los puntos 02 y 03 respectivamente, por otro lado se registraron a enero, febrero, abril, noviembre y diciembre como los meses más lluviosos y al periodo mayo – octubre como el menos lluvioso en los tres puntos.

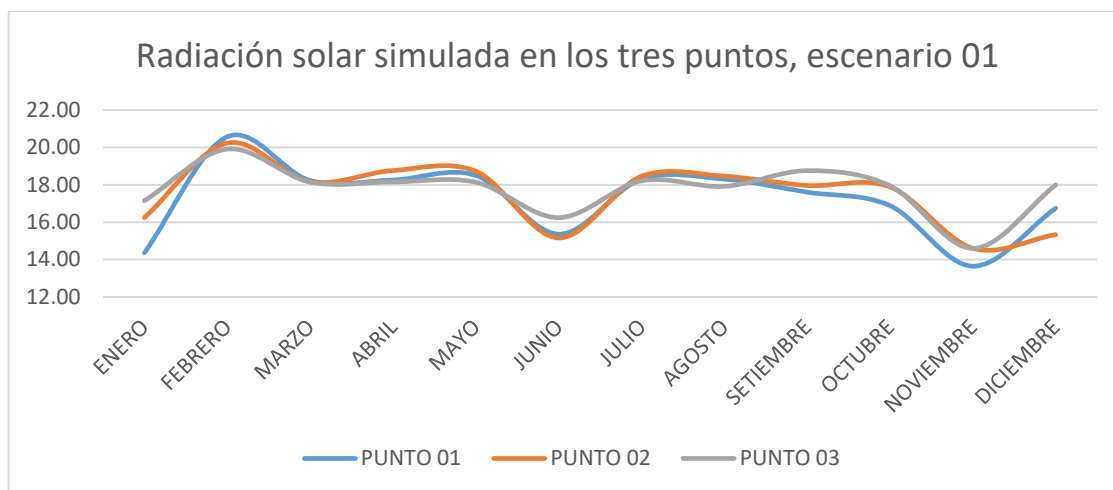
#### iv. Radiación solar

**Tabla 24**  
*Simulaciones de radiación solar, escenario 01*

**Radiación solar simulada en los 3 puntos dentro del área de las microcuencas, escenario 01, W/m<sup>2</sup>.**

	<b>Punto 01</b>	<b>Punto 02</b>	<b>Punto 03</b>
Enero	14,36	16,25	17,15
Febrero	20,57	20,23	19,91
Marzo	18,23	18,16	18,15
Abril	18,26	18,76	18,15
Mayo	18,50	18,73	18,14
Junio	15,36	15,16	16,25
Julio	18,30	18,45	18,21
Agosto	18,30	18,46	17,92
Setiembre	17,61	17,96	18,76
Octubre	16,89	17,88	17,95
Noviembre	13,65	14,61	14,60
Diciembre	16,75	15,34	17,99
<b>P Anual</b>	<b>17,23</b>	<b>17,50</b>	<b>17,76</b>

*Fuente: Generador meteorológico MarkSim*



**Figura 17**  
*Radiación solar, escenario 01.*

Con respecto a las simulaciones de este parámetro, los resultados arrojaron que el mes con mayor radiación solar es febrero alcanzando hasta 20,57 MJ/m<sup>2</sup> en el punto 01, mientras que el mes con menor radiación solar es noviembre con 13,65 MJ/m<sup>2</sup> en el punto 03.

## b) Escenario MIROC-ESM-RCP8.5-2040 (Escenario 02)

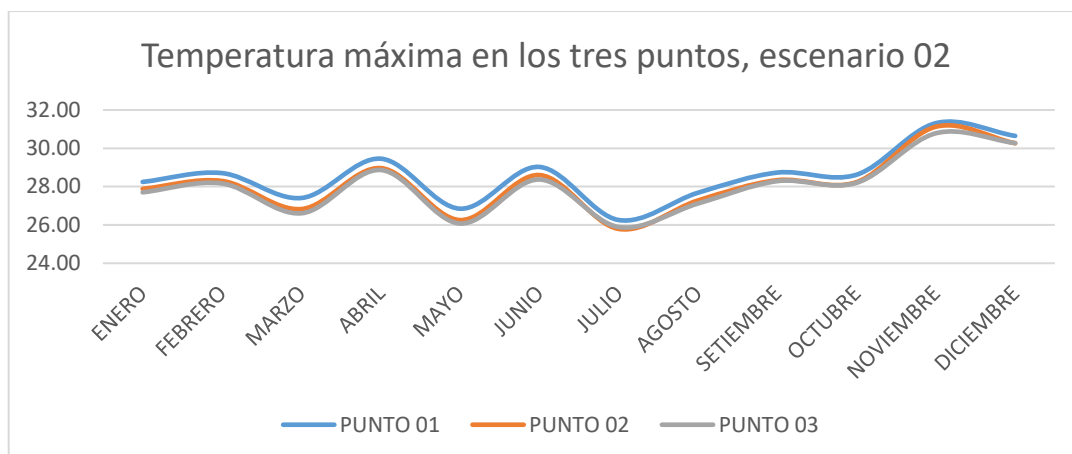
### i. Temperatura máxima

**Tabla 25**  
*Simulaciones de temperatura máxima, escenario 02*

**Temperatura máxima simulada en los 3 puntos dentro del área de las microcuencas, escenario 02, en °C.**

	Punto 01	Punto 02	Punto 03
Enero	28,25	27,88	27,70
Febrero	28,71	28,30	28,17
Marzo	27,41	26,83	26,61
Abril	29,46	28,97	28,87
Mayo	26,85	26,25	26,07
Junio	29,03	28,60	28,37
Julio	26,26	25,79	25,89
Agosto	27,68	27,28	27,12
Setiembre	28,73	28,34	28,29
Octubre	28,62	28,24	28,20
Noviembre	31,31	31,13	30,79
Diciembre	30,65	30,26	30,27
P Anual	28,58	28,16	28,03

Fuente: Generador meteorológico MarkSim

**Figura 18**

*Temperatura máxima escenario 02.*

La tabla 25 y la figura 18, representan las simulaciones de temperatura máxima en los tres puntos en el escenario 02, como podemos ver se registró al mes de noviembre como el más caluroso, con 31,31 °C, 31,13 °C y 30,79 °C en los puntos 01, 02 y 03, respectivamente, así mismo también se tienen picos de temperaturas altas en los meses de abril y junio, con mayores temperaturas en el punto 03 en todo el año.

## ii. Temperatura mínima

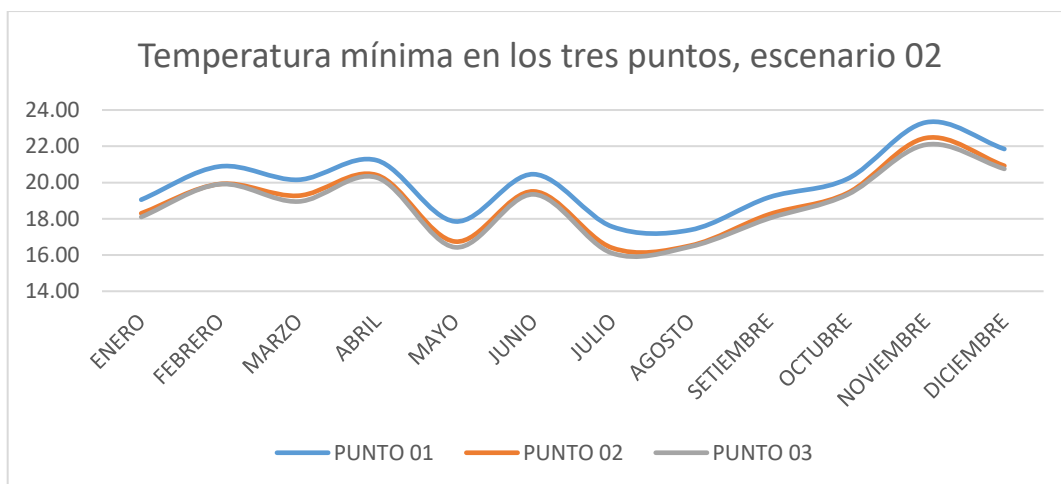
**Tabla 26**

*Simulaciones de temperatura mínima, escenario 02*

**Temperatura mínima simulada en los 3 puntos dentro del área de las microcuencas, escenario 02, en °C.**

	Punto 01	Punto 02	Punto 03
Enero	19,05	18,30	18,10
Febrero	20,89	19,92	19,90
Marzo	20,15	19,27	18,95
Abril	21,23	20,41	20,28
Mayo	17,85	16,74	16,43
Junio	20,46	19,51	19,35
Julio	17,57	16,40	16,10
Agosto	17,38	16,52	16,46
Setiembre	19,18	18,24	18,02
Octubre	20,20	19,42	19,33
Noviembre	23,32	22,46	22,09
Diciembre	21,85	20,92	20,75
P Anual	19,93	19,01	18,81

*Generador meteorológico MarkSim*



**Figura 19**  
Temperatura mínima, escenario 02.

Los resultados de las simulaciones de temperatura mínima en el escenario 02, mostraron a los meses de mayo y julio como los más fríos en los tres puntos, así entonces en este último se registró temperaturas mínimas promedio mensual de 17,57 °C, 16,40 °C y 16,10 °C, en los puntos 01, 02 y 03 respectivamente, tal como se muestra en la tabla 26 y figura 19.

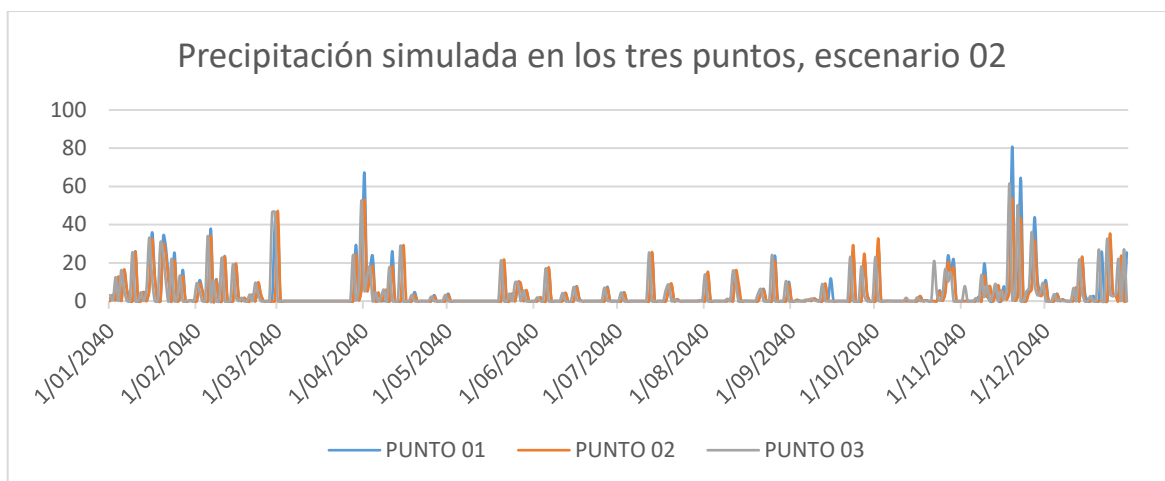
### iii. Precipitación

**Tabla 27**  
Simulaciones de precipitación, escenario 02

**Precipitación simulada en los 3 puntos dentro del área de las microcuencas, escenario 02, en °mm.**

	Punto 01	Punto 02	Punto 03
Enero	240,70	217,70	220,90
Febrero	168,70	123,10	214,40
Marzo	80,00	78,50	83,80
Abril	148,90	155,60	104,80
Mayo	46,90	54,00	49,70
Junio	39,90	39,70	39,30
Julio	44,40	47,00	46,00
Agosto	75,20	81,30	85,60
Setiembre	75,20	71,00	56,20
Octubre	103,50	95,40	97,50
Noviembre	277,10	204,60	247,60
Diciembre	164,50	110,50	161,10
<b>Total Anual</b>	<b>1465,00</b>	<b>1278,40</b>	<b>1406,90</b>

Generador meteorológico MarkSim



**Figura 20**  
*Precipitación escenario 02.*

En la tabla 27 podemos ver los datos arrojados de precipitación total mensual, en el escenario 02, al respectó podemos ver que el punto 01 se simuló mayor cantidad de lluvia en todo el año, con 1 465,00 mm, así mismo se simuló 1 278,40 y 1 406,90 mm en los puntos 02 y 03 respectivamente, por otro lado en la figura 20 podemos ver que se registraron a enero, febrero, abril, noviembre y diciembre como los meses más lluviosos y al periodo mayo – octubre como el menos lluvioso en los tres puntos.

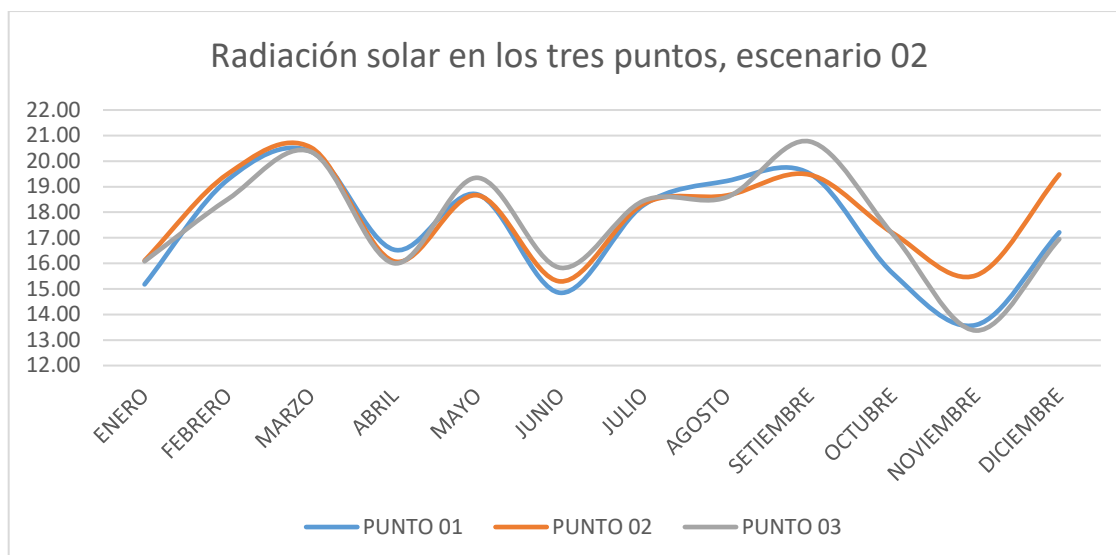
#### iv. Radiación solar

**Tabla 28**  
*Simulaciones de radiación solar, escenario 02*

**Radiación solar simulada en los 3 puntos dentro del área de las microcuencas, escenario 02, en MJ/m<sup>2</sup>**

	Punto 01	Punto 02	Punto 03
Enero	15,18	16,11	16,08
Febrero	19,27	19,50	18,51
Marzo	20,38	20,54	20,37
Abril	16,53	16,08	16,00
Mayo	18,70	18,66	19,35
Junio	14,85	15,29	15,83
Julio	18,28	18,33	18,45
Agosto	19,22	18,65	18,59
Setiembre	19,51	19,47	20,77
Octubre	15,60	17,18	17,13
Noviembre	13,59	15,53	13,37
Diciembre	17,21	19,48	16,95
P Anual	17,36	17,90	17,62

*Generador meteorológico MarkSim*



**Figura 21**  
Radiación solar, escenario 02.

Las simulaciones de este parámetro, arrojaron que el mes con mayor radiación solar es marzo alcanzando hasta 20,54 MJ/m<sup>2</sup> en el punto 02, mientras que el mes con menor radiación solar es noviembre con 13,37 MJ/m<sup>2</sup> en el punto 03.

#### 4.2.2. Parámetros meteorológicos proyectados al año 2060

##### a) Escenario MIROC-ESM-RCP4.5-2060 (Escenario 03)

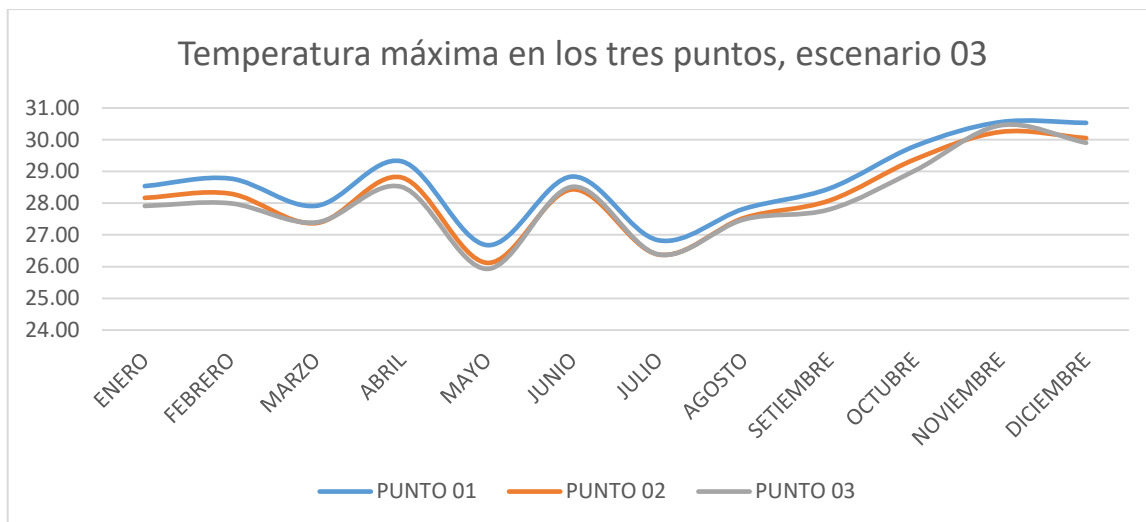
##### i. Temperatura máxima

**Tabla 29**  
Simulaciones de temperatura máxima, escenario 03

Temperatura máxima simulada en los 3 puntos dentro del área de las microcuencas, escenario 03, en °C.

	Punto 01	Punto 02	Punto 03
Enero	28,54	28,17	27,91
Febrero	28,78	28,30	28,00
Marzo	27,92	27,37	27,39
Abril	29,32	28,81	28,51
Mayo	26,68	26,12	25,93
Junio	28,84	28,43	28,52
Julio	26,83	26,38	26,39
Agosto	27,82	27,53	27,49
Setiembre	28,46	28,08	27,80
Octubre	29,80	29,38	29,03
Noviembre	30,56	30,25	30,45
Diciembre	30,53	30,05	29,90
P Anual	28,67	28,24	28,11

Fuente: Generador meteorológico MarkSim

**Figura 22**

*Temperatura máxima, escenario 03.*

En la tabla 29 y figura 22 se registraron las simulaciones de temperatura máxima en el escenario 03, los resultados arrojaron a noviembre como el mes más caluroso, seguido por abril y junio, con temperaturas máximas promedio mensual de 30,56 °C; 29,2 y 28,84 °C en el punto 01 respectivamente, así mismo se registraron mayores temperaturas en el punto 01 en todo el año.

## ii. Temperatura mínima

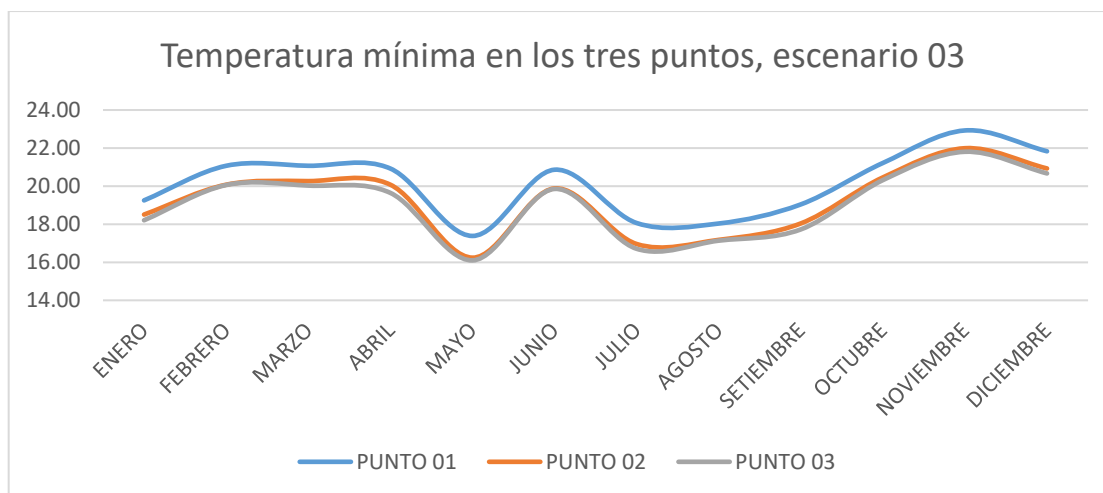
**Tabla 30**

*Simulaciones de temperatura mínima, escenario 03*

**Temperatura mínima simulada en los 3 puntos dentro del área de las microcuencas, escenario 03, en °C.**

	Punto 01	Punto 02	Punto 03
Enero	19,25	18,51	18,21
Febrero	21,07	20,08	20,06
Marzo	21,07	20,26	20,03
Abril	20,93	20,08	19,65
Mayo	17,38	16,24	16,10
Junio	20,86	19,88	19,85
Julio	18,06	16,96	16,71
Agosto	18,04	17,18	17,14
Setiembre	19,04	18,04	17,73
Octubre	21,22	20,46	20,32
Noviembre	22,93	21,99	21,81
Diciembre	21,83	20,93	20,67
P Anual	20.14	19.22	19.02

Fuente: Generador meteorológico MarkSim

**Figura 23**

*Temperatura mínima, escenario 03.*

Las temperaturas mínimas promedio mensual de los tres puntos en el escenario 03, se registraron en la tabla 30 y figura 23, de donde podemos ver que se registró a mayo como el mes más frío seguido por julio, con temperaturas de 17,38 y 18,06 °C, respectivamente en el punto 01, por otro lado, podemos ver que en el punto 03 se registró las temperaturas más bajas en casi todo el año, llegando hasta los 16,10 °C en dicho punto en el mes de mayo.

### iii. Precipitación

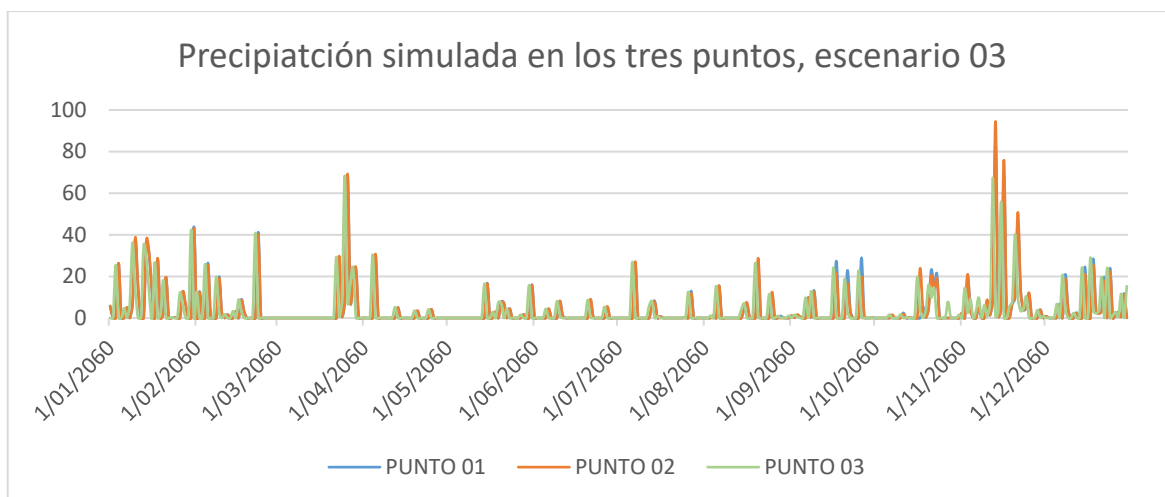
**Tabla 31**

*Simulaciones de precipitación, escenario 03*

**Precipitación simulada en los 3 puntos dentro del área de las microcuencas, escenario 03, en °mm.**

	Punto 01	Punto 02	Punto 03
Enero	286,40	290,80	268,70
Febrero	119,80	116,00	118,40
Marzo	152,40	157,20	155,40
Abril	42,40	43,80	43,60
Mayo	57,20	56,20	55,90
Junio	28,00	29,40	28,40
Julio	54,90	53,80	54,80
Agosto	65,10	70,20	68,00
Setiembre	110,30	87,70	94,50
Octubre	72,00	89,20	80,10
Noviembre	306,40	335,10	267,70
Diciembre	175,00	158,60	178,60
Total Anual	1469,90	1488,00	1414,10

*Fuente: Generador meteorológico MarkSim*



**Figura 24**  
Precipitación, escenario 03.

Con respecto a la precipitación en el escenario 03, los resultados arrojaron los meses de enero, febrero, abril y noviembre como los meses más lluviosos, en los tres puntos y a los meses de marzo, mayo, julio y agosto como los meses menos lluviosos, en los tres puntos, por otro lado, en el punto 01 se registró una precipitación anual de 1469.90 mm mientras que en los puntos 02 y 03 se registraron 1 488,00 y 1 414,10 mm en respectivamente.

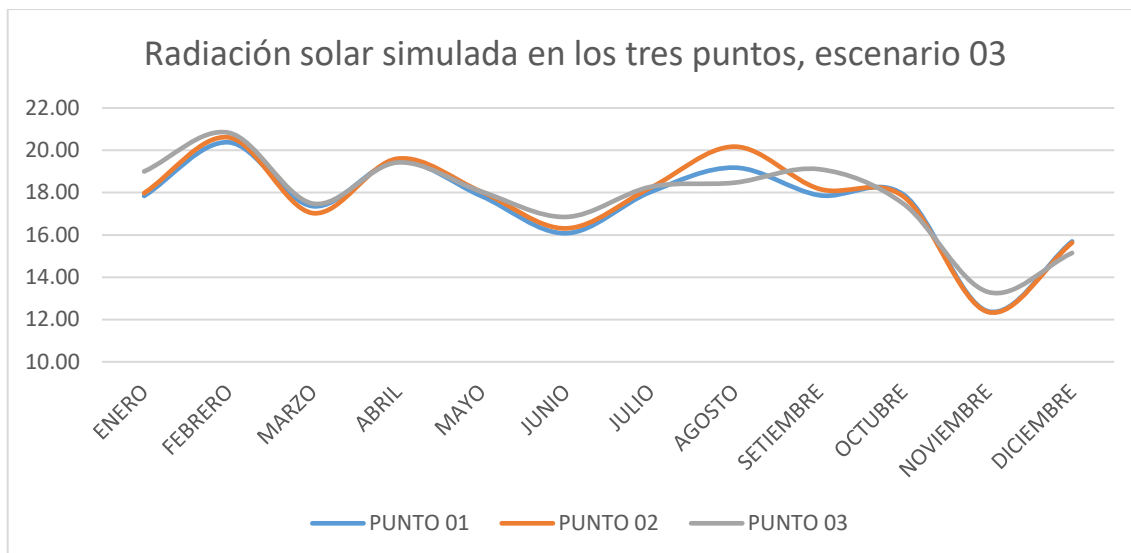
#### iv. Radiación solar

**Tabla 32**  
Simulaciones de radiación solar, escenario 03

**Radiación solar simulada en los 3 puntos dentro del área de las microcuencas, escenario 03, en W/m<sup>2</sup>.**

	Punto 01	Punto 02	Punto 03
Enero	17,84	17,98	19,00
Febrero	20,38	20,61	20,83
Marzo	17,36	17,03	17,48
Abril	19,48	19,60	19,42
Mayo	17,83	18,04	18,05
Junio	16,08	16,31	16,85
Julio	18,03	18,23	18,27
Agosto	19,18	20,17	18,47
Setiembre	17,88	18,18	19,11
Octubre	17,91	17,82	17,47
Noviembre	12,39	12,36	13,31
Diciembre	15,69	15,63	15,15
P Anual	17,50	17,66	17,78

Fuente: Generador meteorológico MarkSim



**Figura 25.**  
*Radiación solar, escenario 03.*

Las simulaciones de este parámetro, arrojaron que el mes con mayor radiación solar es febrero alcanzando hasta 20,83 MJ/m<sup>2</sup> en el punto 03, mientras que el mes con menor radiación solar es noviembre con 12,36 MJ/m<sup>2</sup> en el punto 02.

## b) Escenario MIROC-ESM-RCP8.5-2060 (Escenario 04)

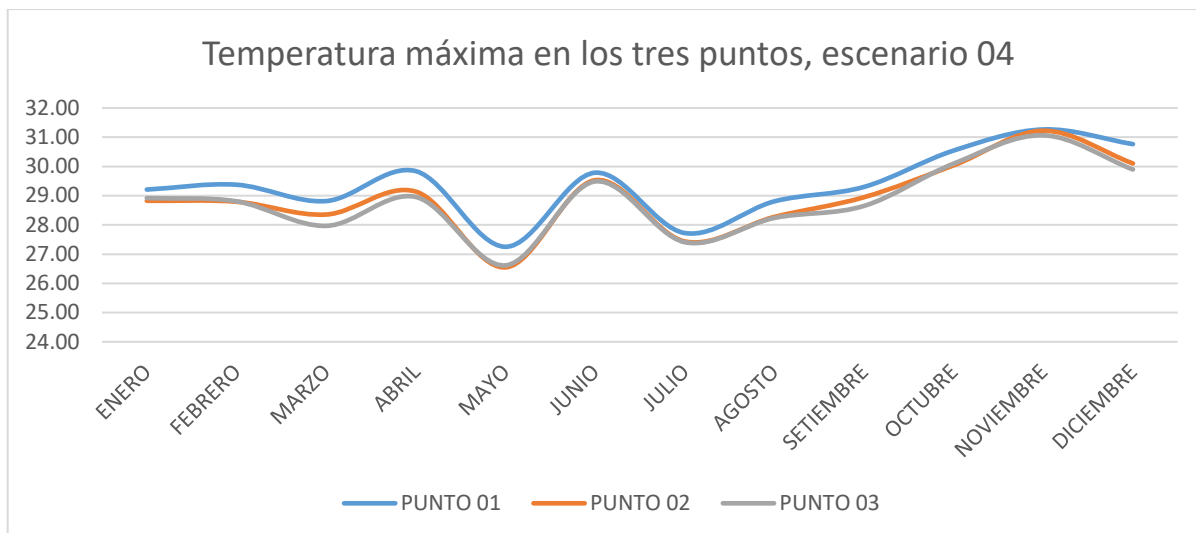
### i. Temperatura máxima

**Tabla 33**  
*Simulaciones de temperatura mínima, escenario 04*

**Temperatura máxima simulada en los 3 puntos dentro del área de las microcuencas, escenario 04, en °C.**

	Punto 01	Punto 02	Punto 03
Enero	29,21	28,83	28,92
Febrero	29,38	28,79	28,81
Marzo	28,82	28,35	27,97
Abril	29,84	29,14	28,96
Mayo	27,25	26,55	26,62
Junio	29,79	29,53	29,49
Julio	27,72	27,44	27,41
Agosto	28,81	28,27	28,24
Setiembre	29,30	28,95	28,65
Octubre	30,55	30,04	30,10
Noviembre	31,27	31,22	31,07
Diciembre	30,76	30,10	29,90
P Anual	29,39	28,93	28,84

Fuente: Generador meteorológico MarkSim



**Figura 26**  
Temperatura máxima, escenario 04.

Se simuló la temperatura máxima en los tres puntos para el escenario 04, las cuales se representaron en la tabla 33 y figura 26, los resultados registraron a noviembre como el mes más caluroso con 31,27 °C en el punto 01, seguido por los meses de junio y abril con 29,79 y 29,84 °C respectivamente, por otro lado, las mayores temperaturas registradas en todo el año corresponden al punto 01.

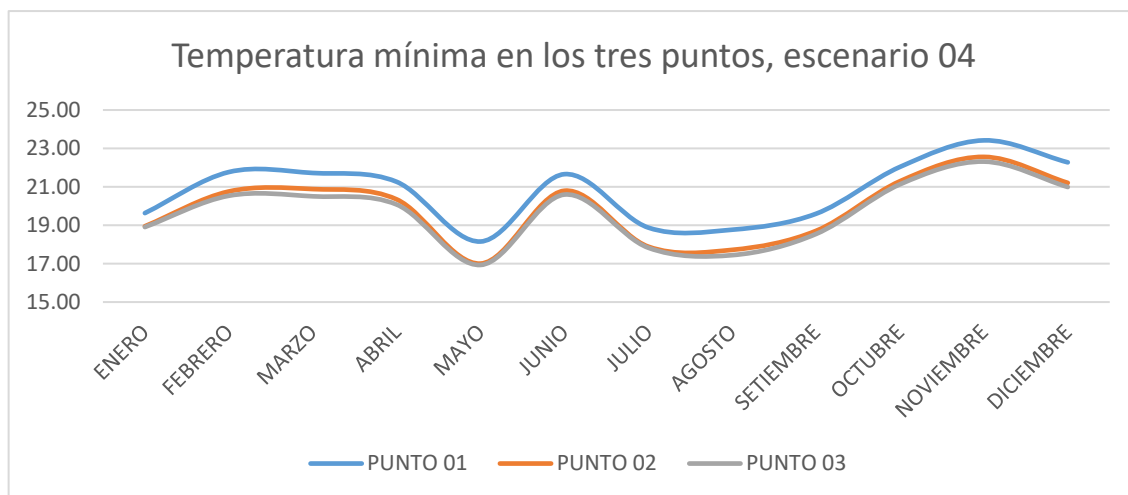
## ii. Temperatura mínima

**Tabla 34**  
Simulaciones de temperatura mínima, escenario 03

Temperatura mínima simulada en los 3 puntos dentro del área de las microcuencas, escenario 04, en °C.

	Punto 01	Punto 02	Punto 03
Enero	19,63	18,95	18,91
Febrero	21,77	20,76	20,53
Marzo	21,72	20,88	20,51
Abril	21,26	20,35	20,08
Mayo	18,15	17,00	16,93
Junio	21,66	20,80	20,60
Julio	18,88	17,89	17,83
Agosto	18,77	17,72	17,44
Setiembre	19,60	18,71	18,55
Octubre	22,04	21,29	21,13
Noviembre	23,42	22,56	22,31
Diciembre	22,27	21,21	20,99
P Anual	20,76	19,84	19,65

Fuente: Generador meteorológico MarkSim



**Figura 27**  
Temperatura mínima, escenario 04.

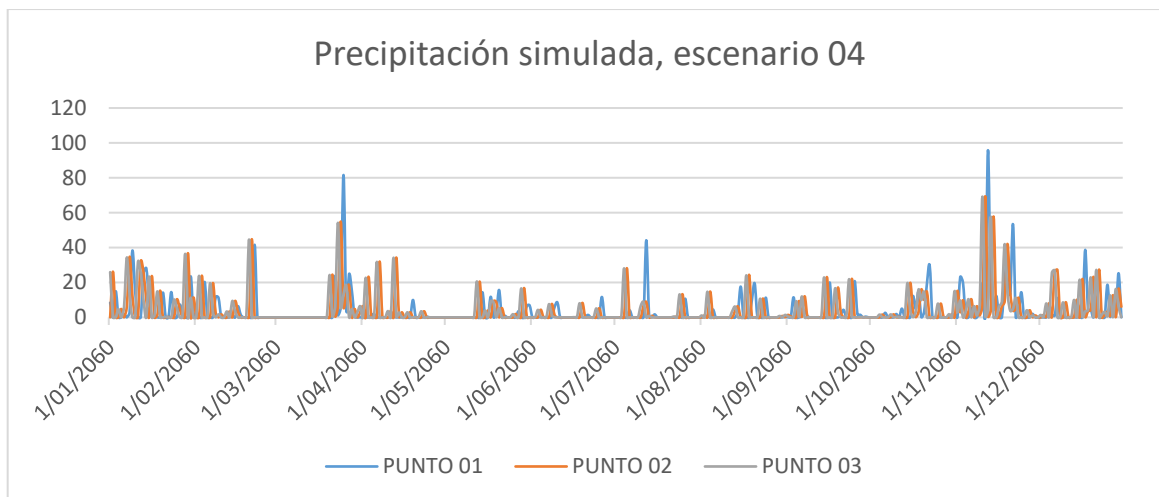
En la tabla 34 y figura 27, se registró las temperaturas mínimas promedio mensual para el escenario 04 en los tres puntos, así entonces los resultados registraron el mes de mayo como el más frío con 18.15 °C en el punto 01, seguido por el mes de julio con 18,88 °C en el mismo punto, así mismo podemos ver que el punto tres registró las temperaturas más bajas en todo el año, lo que podemos decir que es debido a que es un punto más alto.

### iii. Precipitación

**Tabla 35**  
Simulaciones de precipitación, escenario 03

Precipitación simulada en los 3 puntos dentro del área de las microcuencas, escenario 04, en mm.			
	Punto 01	Punto 02	Punto 03
Enero	208,90	257,00	253,40
Febrero	96,70	108,40	108,00
Marzo	157,80	131,80	136,90
Abril	13,70	109,30	101,90
Mayo	62,10	66,30	66,00
Junio	28,30	27,30	26,80
Julio	61,80	58,30	58,10
Agosto	67,80	62,30	62,90
Setiembre	67,30	89,10	86,70
Octubre	95,60	81,10	95,90
Noviembre	338,40	285,60	269,00
Diciembre	144,80	204,40	201,70
<b>Total Anual</b>	<b>1343,20</b>	<b>1480,90</b>	<b>1467,30</b>

Fuente: Generador meteorológico MarkSim



**Figura 28**  
*Precipitación, escenario 04.*

En la tabla 35 y la figura 29, se registraron los datos simulados para el escenario 04 en los tres puntos, así entonces en el punto 01 se registró un total anual de precipitación de 1 343,20 mm, así mismo también se simularon 1 480,90 y 1 567,30 mm en los puntos 02 y 03 respectivamente, por otro lado, se registraron enero, febrero, abril, noviembre y diciembre como los meses más lluviosos y el periodo mayo – octubre como el menos lluvioso, en los tres puntos de simulación.

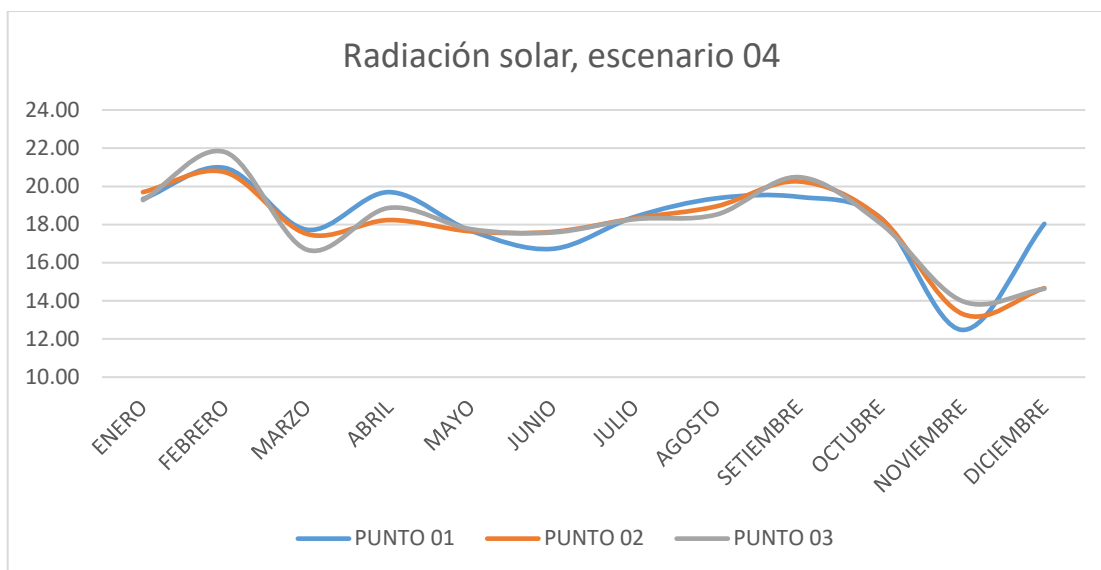
#### iv. Radiación solar

**Tabla 36**  
*Simulaciones de radiación solar, escenario 04*

**Radiación solar simulada en los 3 puntos dentro del área de las microcuencas, escenario 04, en W/m<sup>2</sup>.**

	Punto 01	Punto 02	Punto 03
Enero	19,34	19,70	19,28
Febrero	20,97	20,74	21,80
Marzo	17,73	17,51	16,68
Abril	19,70	18,23	18,87
Mayo	17,67	17,64	17,76
Junio	16,73	17,61	17,58
Julio	18,40	18,33	18,28
Agosto	19,37	18,95	18,52
Setiembre	19,45	20,26	20,48
Octubre	18,35	18,34	18,06
Noviembre	12,48	13,32	13,98
Diciembre	18,04	14,66	14,64
P Anual	18,18	17,94	17,99

Fuente: *Generador meteorológico MarkSim*



**Figura 29**  
Radiación solar, escenario 04.

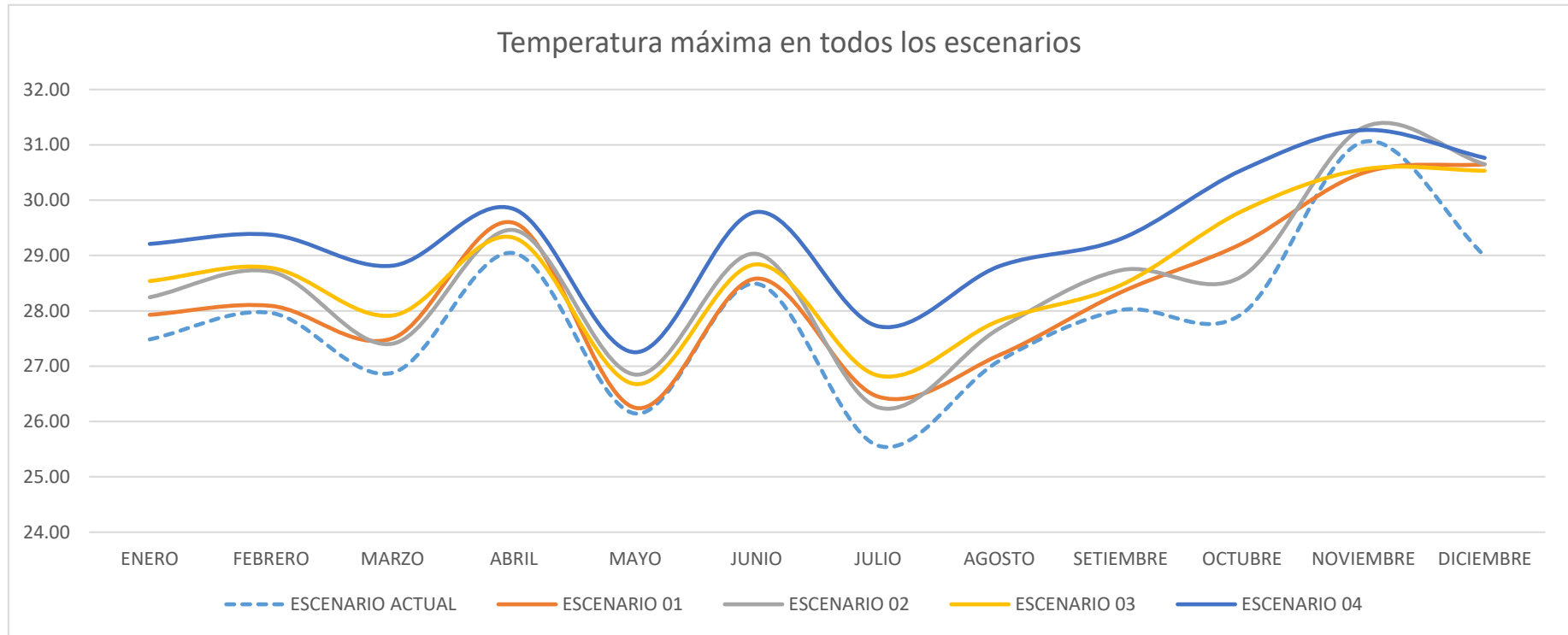
#### 4.2.3. Parámetros meteorológicos en todos los escenarios

##### i. Temperatura máxima

**Tabla 37**  
Temperatura máxima en todos los escenarios

Variación de la temperatura máxima en todos los escenarios, en °C					
	Escenario base	Escenario 01	Escenario 02	Escenario 03	Escenario 04
Enero	27,48	27,93	28,25	28,54	29,21
Febrero	27,96	28,09	28,71	28,78	29,38
Marzo	26,88	27,50	27,41	27,92	28,82
Abril	29,04	29,59	29,46	29,32	29,84
Mayo	26,15	26,25	26,85	26,68	27,25
Junio	28,49	28,58	29,03	28,84	29,79
Julio	25,56	26,45	26,26	26,83	27,72
Agosto	27,10	27,20	27,68	27,82	28,81
Setiembre	28,01	28,33	28,73	28,46	29,30
Octubre	27,95	29,22	28,62	29,80	30,55
Noviembre	31,05	30,49	31,31	30,56	31,27
Diciembre	28,99	30,65	30,65	30,53	30,76
<b>P Anual</b>	27,89	28,36	28,58	28,67	29,39
<b>Min</b>	25,56	26,25	26,26	26,68	27,25
<b>Max</b>	31,05	30,65	31,31	30,56	31,27
<b>Variación</b>		+0,47	+0,69	+0,78	+1,50

Fuente: Generador meteorológico MarkSim



**Figura 30**

*Temperatura máxima en todos los escenarios.*

La tabla 37 y la figura 31 representan la temperatura máxima en todos los escenarios, los resultados arrojaron como los meses más calurosos a diciembre para el escenario 01 y a noviembre para todos los demás escenarios, con respecto a las variaciones, se prevé aumento de temperatura máxima en todos los escenarios con respecto al escenario base, por otro lado, podemos intuir que el escenario 04 es el más crítico, ya que está por encima de todos los demás escenarios, así entonces podemos ver que el promedio de temperatura máxima aumentaría en +0,47 °C; +0,69 °C; +0,78 °C y +1,50 °C, en los escenarios 01, 02, 03 y 04 respectivamente, con respecto al escenario base.

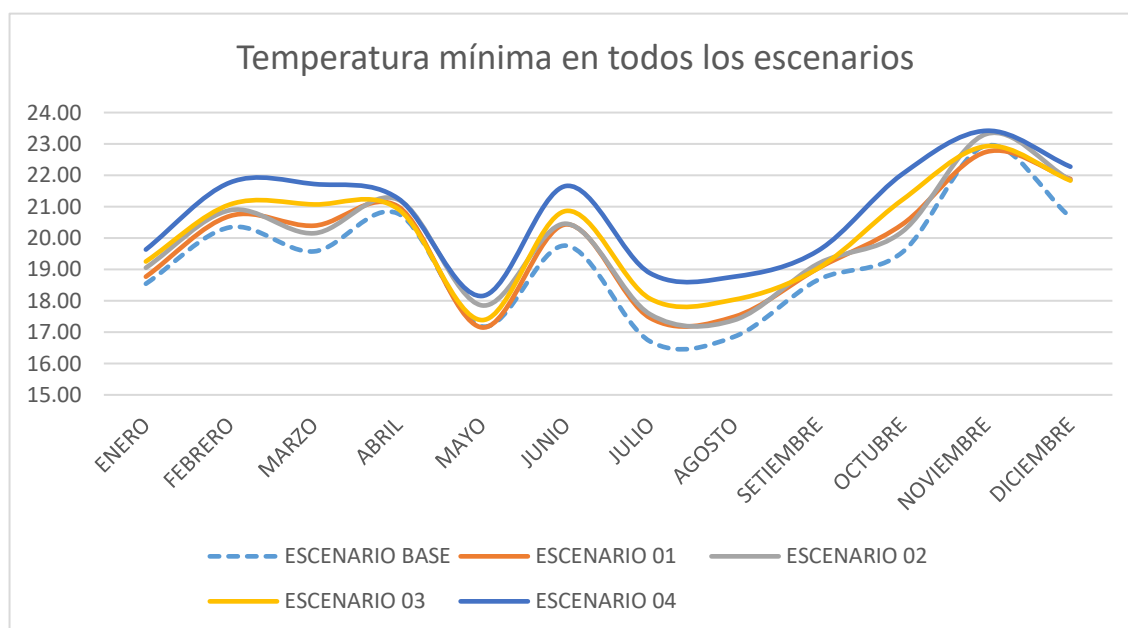
## ii. Temperatura mínima

**Tabla 38**

*Temperatura mínima en todos los escenarios*

Variación de la temperatura mínima en todos los escenarios, en °C					
	Escenario Base	Escenario 01	Escenario 02	Escenario 03	Escenario 04
Enero	18,54	18,77	19,05	19,25	19,63
Febrero	20,34	20,70	20,89	21,07	21,77
Marzo	19,57	20,39	20,15	21,07	21,72
Abril	20,78	21,01	21,23	20,93	21,26
Mayo	17,18	17,15	17,85	17,38	18,15
Junio	19,76	20,43	20,46	20,86	21,66
Julio	16,70	17,45	17,57	18,06	18,88
Agosto	16,85	17,49	17,38	18,04	18,77
Setiembre	18,67	19,04	19,18	19,04	19,60
Octubre	19,55	20,44	20,20	21,22	22,04
Noviembre	22,95	22,75	23,32	22,93	23,42
Diciembre	20,66	21,88	21,85	21,83	22,27
<b>P Anual</b>	19,30	19,79	19,93	20,14	20,76
<b>MIN</b>	16,70	17,15	17,38	17,38	18,15
<b>MAX</b>	22,95	22,75	23,32	22,93	23,42
Variación		+0,49	+0,63	+0,84	+1,47

Fuente: Generador meteorológico MarkSim



**Figura 31**

*Temperatura mínima en todos los escenarios.*

En la tabla 38 y la figura 32, se registraron los promedios mensuales de la temperatura mínima, así entonces en el escenario base se registró julio como el mes más frío, con un promedio mensual de 16,70 °C de temperatura mínima, agosto fue el mes más frío para el escenario 02, con 17,38 °C, mientras que para los escenarios 01, 03 y 04, fue mayo el mes más frío con 17,15, 17,38 y 18,15 °C, respectivamente. En todos los escenarios se prevé aumento de la temperatura, siendo el escenario 04 el más crítico, así entonces con respecto al escenario base se prevé aumento promedio de +0,49 °C; +0,63 °C; +0,84 °C y +1,47 °C, en los escenarios 01, 02, 03 y 04 de la temperatura mínima respectivamente.

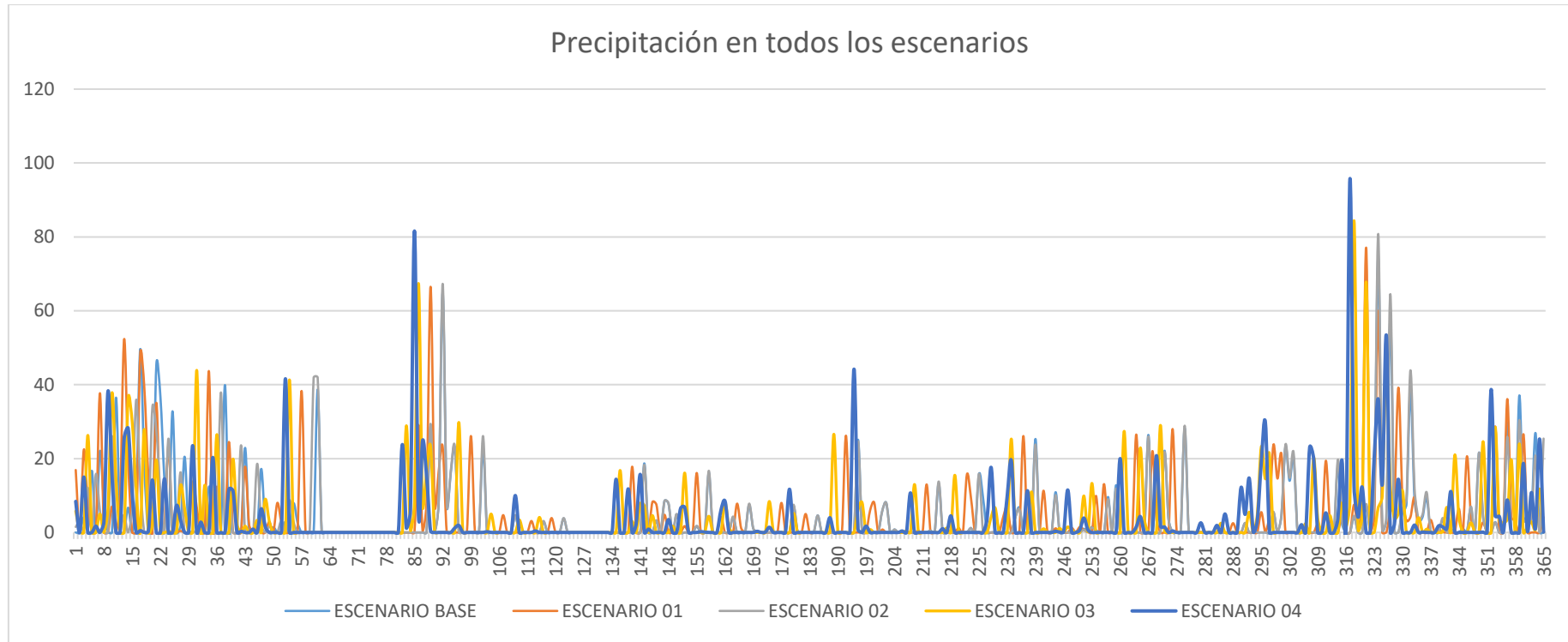
### iii. Precipitación

**Tabla 39**

*Precipitación en todos los escenarios*

<b>Variación de la precipitación en todos los escenarios, en mm</b>					
	<b>Escenario Base</b>	<b>Escenario 01</b>	<b>Escenario 02</b>	<b>Escenario 03</b>	<b>Escenario 04</b>
Enero	323,40	357,50	240,70	286,40	208,90
Febrero	127,10	153,90	168,70	119,80	96,70
Marzo	75,0	128,10	80,00	152,40	157,80
Abril	141,70	61,20	148,90	42,40	13,70
Mayo	46,90	43,10	46,90	57,20	62,10
Junio	38,10	42,80	39,90	28,00	28,30
Julio	44,80	54,50	44,40	54,90	61,80
Agosto	87,00	76,20	75,20	65,10	67,80
Setiembre	78,00	107,40	75,20	110,30	67,30
Octubre	98,70	72,50	103,50	72,00	95,60
Noviembre	245,60	266,40	277,10	306,40	338,40
Diciembre	156,70	142,60	164,50	175,00	144,80
<b>Total Anual</b>	1463,80	1506,20	1465,00	1469,90	1343,20
<b>P Anual</b>	121,98	125,52	122,08	122,49	111,93
<b>MIN</b>	38,10	42,80	39,90	28,00	13,70
<b>MAX</b>	323,40	357,50	277,10	306,40	338,40
<b>Variación</b>		+42,40	+1,20	+6,10	-120,60
Variación (%)		+2,9%	+0,1%	+0,4%	-8,2%

*Fuente: Generador meteorológico MarkSim*



**Figura 32**

*Precipitación en todos los escenarios.*

En la tabla 39 y la figura 33, se representaron los resultados de precipitación mensual y anual en todos los escenarios, así entonces se prevé que enero sea el mes más lluvioso para el escenario base y 01, y diciembre para los escenarios 02, 03 y 04, por otro lado, se prevé que junio sea el mes menos lluvioso en los escenarios base, 01, 02 y 03 y mayo en el escenario 04. Así mismo con respecto a la variación de precipitación respecto al escenario base, se espera un aumento de la misma en +2,29%; +0,10% y 0,40% en los escenarios 01, 02 y 03, mientras que para el escenario 04 se prevé una disminución del -8,20% del total de precipitación.

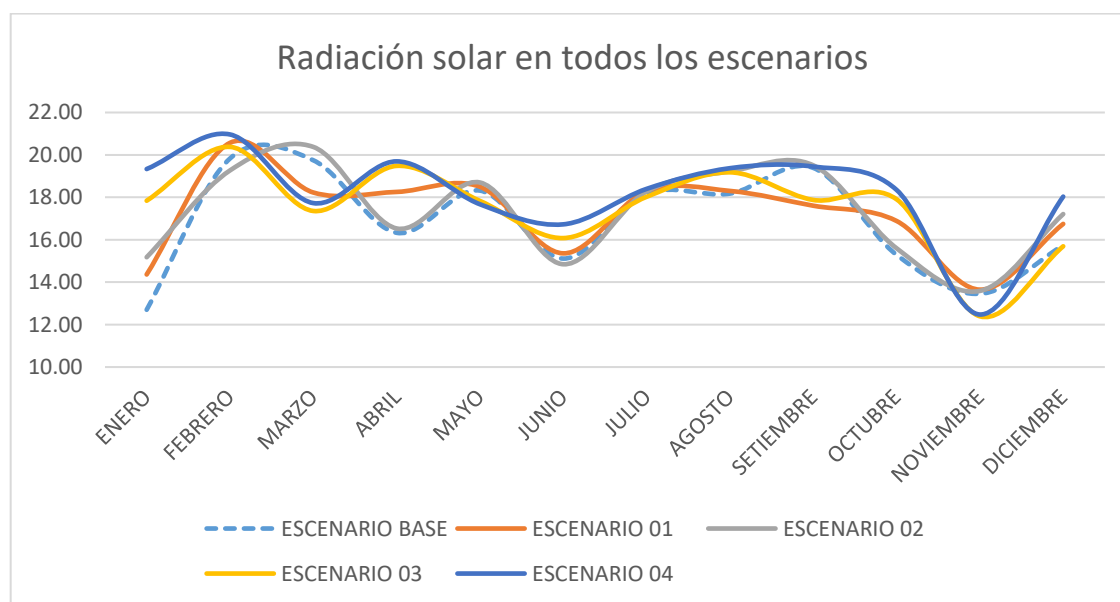
#### iv. Radiación solar

**Tabla 40**

*Simulaciones de radiación solar en todos los escenarios*

Variación de la radiación solar en todos los escenarios, en W/m <sup>2</sup>					
	Escenario Base	Escenario 01	Escenario 02	Escenario 03	Escenario 04
Enero	12,70	14,36	15,18	17,84	19,34
Febrero	19,83	20,57	19,27	20,38	20,97
Marzo	19,75	18,23	20,38	17,36	17,73
Abril	16,33	18,26	16,53	19,48	19,70
Mayo	18,32	18,50	18,70	17,83	17,67
Junio	15,11	15,36	14,85	16,08	16,73
Julio	18,17	18,30	18,28	18,03	18,40
Agosto	18,18	18,30	19,22	19,18	19,37
Setiembre	19,39	17,61	19,51	17,88	19,45
Octubre	15,29	16,89	15,60	17,91	18,35
Noviembre	13,45	13,65	13,59	12,39	12,48
Diciembre	15,74	16,75	17,21	15,69	18,04
<b>Total Anual</b>	16,86	17,23	17,36	17,50	18,18
<b>MIN</b>	12,70	13,65	13,59	12,39	12,48
<b>MAX</b>	19,83	20,57	20,38	20,38	20,97
<b>Variación</b>		+0,38	+0,50	+0,65	+1,33

Fuente: Generador meteorológico MarkSim



**Figura 33**

*Radiación solar en todos los escenarios.*

## **Discusión**

Según la *Estrategia Regional de Cambio Climático - San Martín (ERCC-SM, 2020)*, en la provincia de Moyobamba, la tendencia de aumento de temperatura máxima anual está en un rango de 0,25 a 0,30 °C por década en la mayor parte del territorio y de 0,30 a 0,35 °C por década en las partes más bajas (Autoridad Regional Ambiental [ARA-GRSM], 2020). En el presente estudio las proyecciones climáticas en todos los escenarios futuros muestran tendencias de aumento en la temperatura máxima promedio anual en +0,47 °C y +0,69 °C, para los escenarios 01 y 02 del año 2040 y; +0,78 °C y +1,50 °C para los escenarios 03 y 04 del año 2060, teniendo como referencia el año 2023.

Por otro lado con respecto a la temperatura mínima, en la ERCC-SM, nos dice que la tendencia de aumento del promedio anual de temperatura mínima en el territorio de Moyobamba va en un rango de 0,15 °C a 0,20 °C por década, para las zonas más altas y en un rango de 0,20 °C a 0,25 °C por década para las partes más bajas, en el presente estudio se prevé un aumento de la temperatura mínima promedio anual de la zona de estudio de +0,49 °C y +0,63 °C para los escenarios 01 y 02 del año 2040 y +0,84 °C y +1,47 °C, para los escenarios 03 y 04 del año 2060, teniendo como referencia el año 2023 o escenario base.

León (2017), en su estudio para determinar la disponibilidad hídrica del Río Piura teniendo en cuenta el cambio climático para el periodo 2025 – 2054, nos dice que existe un incremento de temperatura en todos los escenarios en donde la ruta RCP 8.5, representa los mayores incrementos, lo mismo pasa en el presente estudio, los mayores incrementos se dan en los escenarios compuestos con la ruta 8.5.

Con respecto a la época más fría, en el presente estudio, podemos ver que empieza en la quincena de junio aproximadamente y todo julio, en todos los escenarios, por otro lado, según los resultados obtenidos por Navarro (2023), en donde a través de encuestas analizó la perspectiva sobre el clima de los pobladores de la zona de la microcuenca Rumiyacu, Mishquiyacu y Almendra, menciona que el 57,1% de los encuestados indicaron que hace más frío en junio, mientras que el 42,9% dijo que no.

En el presente estudio podemos ver que las variaciones de precipitación no son muy significativas ya que con respecto al escenario base vemos un aumento de +2,29%; +0,10% y 0,40%, en los escenarios 01, 02 y 03 respectivamente, mientras que en el escenario 04 se prevé una disminución de -8,20%; en la ERCC-SM-2021, se indica que se prevén cambios ligeros en la precipitación con una variabilidad de +/-5%, lo que indica que no se presentarán cambios importantes, sin embargo, nos dice que se prevé

lluvias más intensas y con mayor frecuencia en periodos lluvioso más cortos y una tendencia en aumento de días secos consecutivos.

### 4.3. Resultado específico 3

Estimar la disponibilidad hídrica de las microcuencas en los escenarios de cambio climático al año 2060, mediante el modelo SWAT

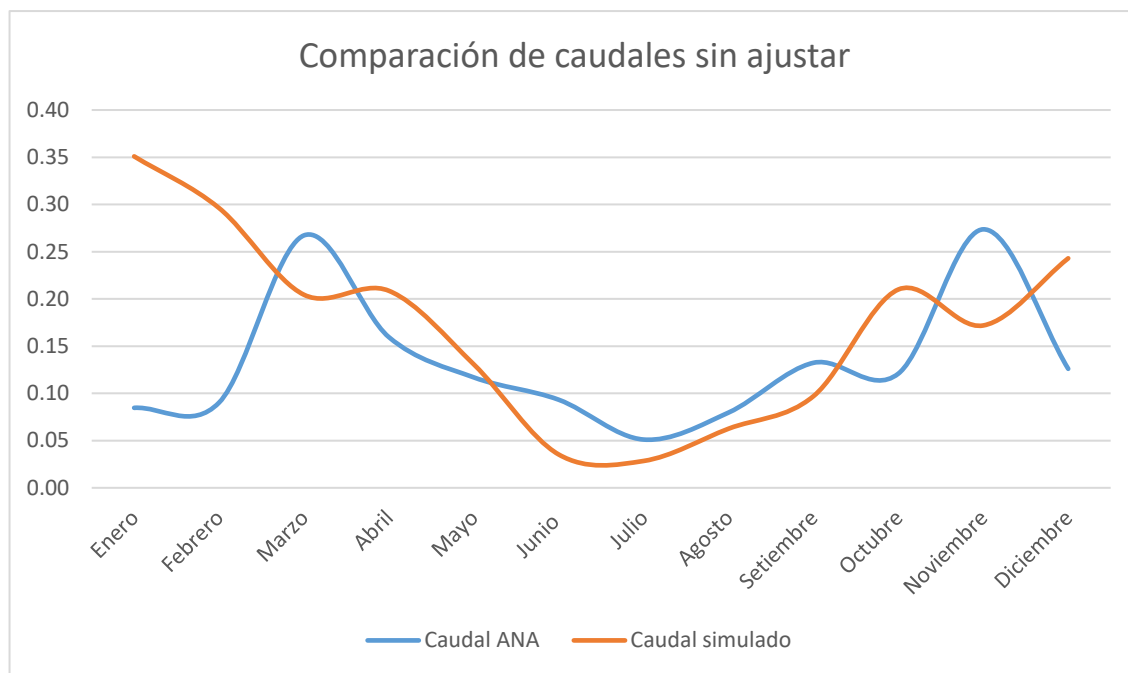
#### 4.3.1. Modelamiento hidrológico mediante SWAT

Se realizó el modelamiento SWAT, con su interfaz en ArcMap, para calibrar el modelo y lograr que los datos sean representativos para la zona de estudio, se hizo un primer modelamiento en el año 2018, a partir de datos de clima reales de las estaciones meteorológicas Moyobamba, Jepelacio, Soritor y Rioja, se hizo en ese año, ya que al existir un déficit de datos para calibrarlo, los resultados fueron comparados con la acreditación de volumen de agua hecho por la ANA en dicho año, teniendo en cuenta que dicha acreditación tiene una vigencia de 02 años, posteriormente se analizó el coeficiente de determinación o  $R^2$  con los meses que presentaron mayor ajuste y posterior a ello se generó la ecuación de correlación lineal, que sirvió para ajustar los datos con diferencias significativas, así entonces los resultados arrojados son los siguientes:

**Tabla 41**

*Comparación de caudales de la ANA y SWAT, sin ajustar*

<b>Comparación de caudales mensuales simulados en SWAT y generados por la ANA, 2018 (m<sup>3</sup>/s), sin ajustar.</b>		
<b>Mes</b>	<b>Caudal ANA</b>	<b>Caudal SWAT</b>
Enero	0,070	0,35
Febrero	0,074	0,30
Marzo	0,229	0,20
Abril	0,137	0,21
Mayo	0,090	0,13
Junio	0,069	0,04
Julio	0,034	0,03
Agosto	0,058	0,06
Setiembre	0,103	0,10
Octubre	0,093	0,21
Noviembre	0,222	0,17
Diciembre	0,107	0,24
Prom.	0,107	0,170

**Figura 34**

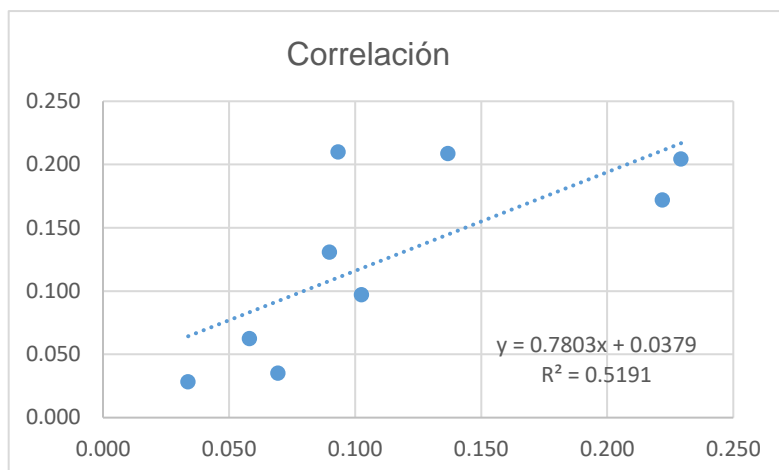
*Comparación de caudales, ANA y SWAT, sin ajustar.*

En la figura 34, podemos ver que el comportamiento de los datos es similar desde marzo hasta diciembre, sin embargo, en los meses de enero y febrero se nota una gran diferencia entre los caudales simulados y generados por la ANA, en donde los datos simulados son significativamente mayores, así mismo en la tabla 41 podemos ver que los promedios son relativamente diferentes, para corregir los datos con diferencias significativas, se hizo un análisis entre los 12 meses y se buscó aquellos que presenten mayor ajuste según el coeficiente de determinación, los cuales se representa a continuación:

**Tabla 42**

*Meses con mayor ajuste*

Meses con mayor ajuste		
Mes	Q ANA	Q SWAT
Marzo	0,229	0,204
Abril	0,137	0,209
Mayo	0,090	0,131
Junio	0,069	0,035
Julio	0,034	0,028
Agosto	0,058	0,063
Setiembre	0,103	0,097
Octubre	0,093	0,210
Noviembre	0,222	0,172



**Figura 35**

*Valores con mayor ajuste entre los caudales de la ANA y SWAT.*

Después de hacer un análisis con todos los datos se encontró que el conjunto de datos simulados en SWAT, en los meses consecutivos Julio, agosto y setiembre presentan un buen ajuste con el conjunto de los datos generados por la ANA, en los mismos meses, con un  $R^2 = 0,519$ , lo que indica un buen grado e relación entre los valores de los datos mencionados, a partir de esto se generó la ecuación de regresión lineal, que se muestra en la figura 35, la cual se utilizó para ajustar los datos con diferencias significativas, lo mismo se hizo para ajustar los datos de los escenarios proyectados.

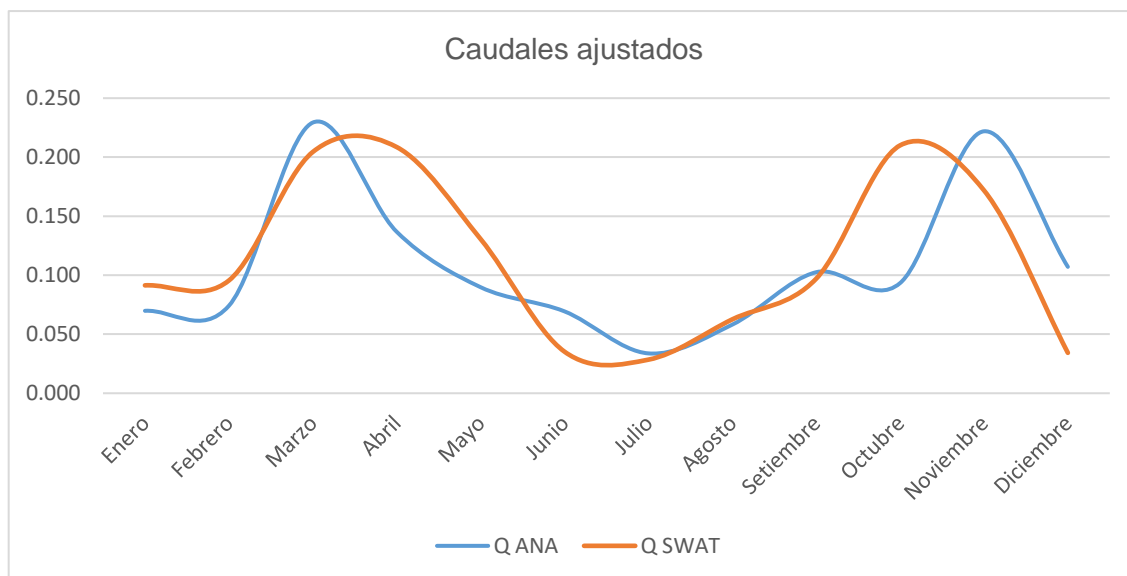
A continuación, se muestran los datos del modelo 2018, ajustados con la ecuación de regresión.

**Tabla 43**

*Comparación de caudales ANA y SWAT, ajustados*

**Comparación de caudales mensuales simulados en SWAT y generados por la ANA, 2018 (m<sup>3</sup>/s), ajustados.**

Mes	Q ANA	Q SWAT
Enero	0,070	0,091
Febrero	0,074	0,095
Marzo	0,229	0,204
Abril	0,137	0,209
Mayo	0,090	0,131
Junio	0,069	0,035
Julio	0,034	0,028
Agosto	0,058	0,063
Setiembre	0,103	0,097
Octubre	0,093	0,210
Noviembre	0,222	0,172
Diciembre	0,107	0,034
<b>Promedio</b>	<b>0,107</b>	<b>0,114</b>



**Figura 36**  
Comparación de caudales ajustados.

En la tabla 43, podemos ver los caudales ajustados con la ecuación de regresión lineal generada anteriormente, ya que eran significativamente diferentes, así mismo en la figura 36, podemos ver que la similitud en el comportamiento de los datos simulados en SWAT y generados por la ANA, en todos los meses, así mismo los promedios son relativamente similares, considerando que son datos del mismo año.

Considerando que el criterio utilizado realiza un buen ajuste de los datos, se realizó lo mismo con las simulaciones de los escenarios proyectados, así entonces en cada uno de ellos se hizo un análisis con todos los meses hasta encontrar un grupo de los mismo que presenten un buen ajuste según el coeficiente de determinación, y posteriormente con este grupo, se realizó la ecuación de regresión lineal, que fue utilizada para corregir los datos con diferencias significativas, en cada escenario se hizo la comparación con los datos generados por la ANA, de lo que se esperó que los datos guarden relación con respecto a su variación, más no se esperó similitud en sus valores ya que los datos de la ANA son del 2018 y los datos simulados son en los años 2023, 2040 y 2060.

A continuación, se describe este proceso en cada escenario proyectado, en donde en cada tabla se muestra los datos de la ANA, los datos simulados sin ajustar y los datos ajustados.

### 4.3.2. Disponibilidad hídrica en el escenario base (2023)

Tabla 44

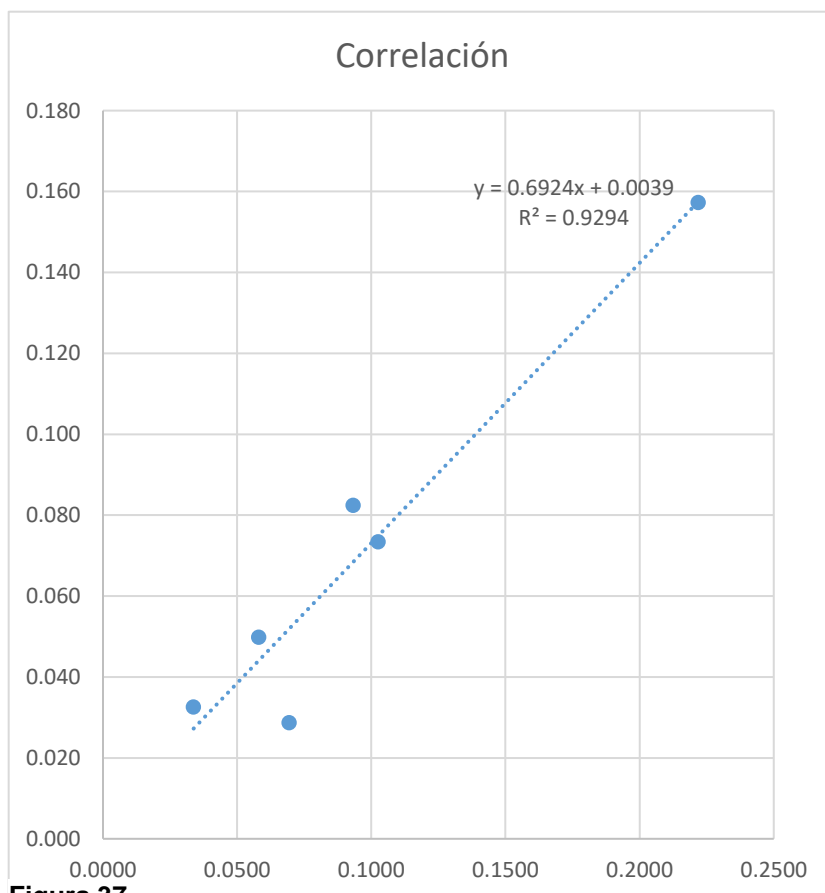
*Caudales, escenario base*

<b>Caudales generados en SWAT, escenario base, sin ajustar y ajustado (m<sup>3</sup>/s).</b>			
<b>Mes</b>	<b>QANA</b>	<b>QSWAT-EBSA</b>	<b>QSWAT-EBA</b>
Enero	0,070	0,394	0,052
Febrero	0,074	0,247	0,055
Marzo	0,229	0,142	0,163
Abril	0,137	0,227	0,227
Mayo	0,090	0,039	0,066
Junio	0,069	0,029	0,052
Julio	0,034	0,033	0,033
Agosto	0,058	0,050	0,050
Setiembre	0,103	0,073	0,073
Octubre	0,093	0,082	0,082
Noviembre	0,222	0,157	0,158
Diciembre	0,107	0,146	0,157
<b>Promedio</b>	<b>0,107</b>	<b>0,135</b>	<b>0,097</b>

QANA = Caudal generado por la ANA

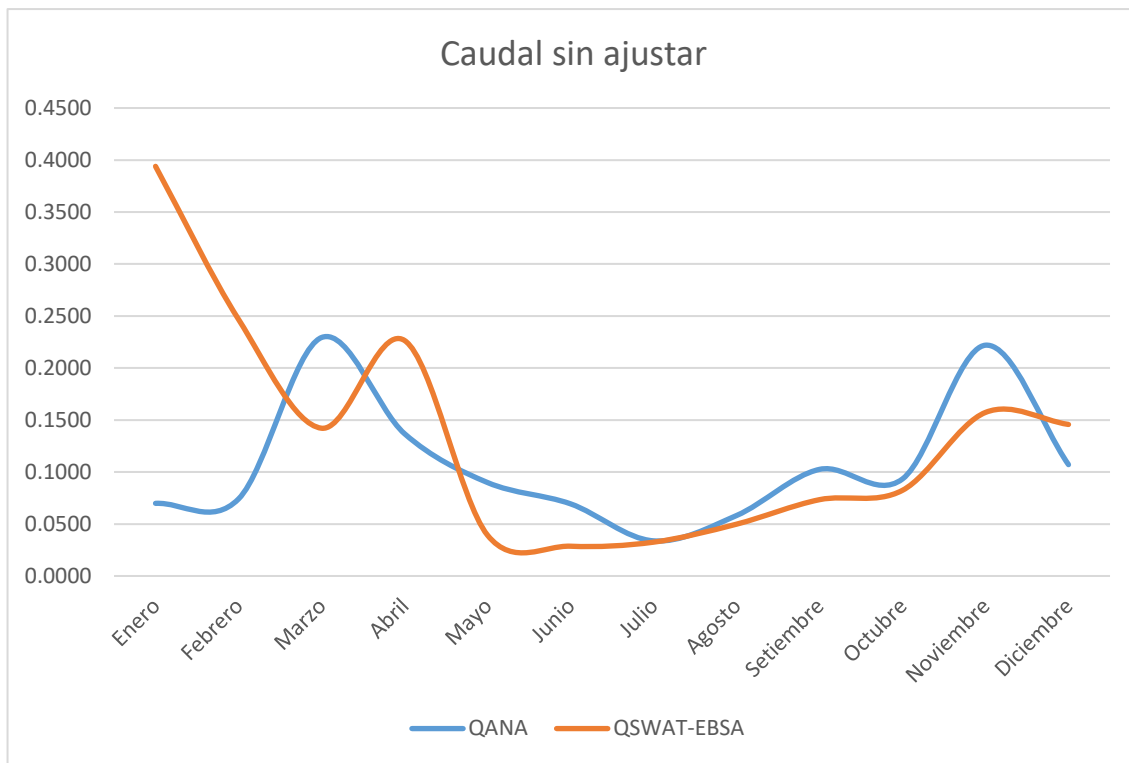
QSWAT-EBSA = Caudal generado en SWAT en el escenario base sin ajustar.

QSWAT-EBA = Caudal generado en SWAT en el escenario base ajustado

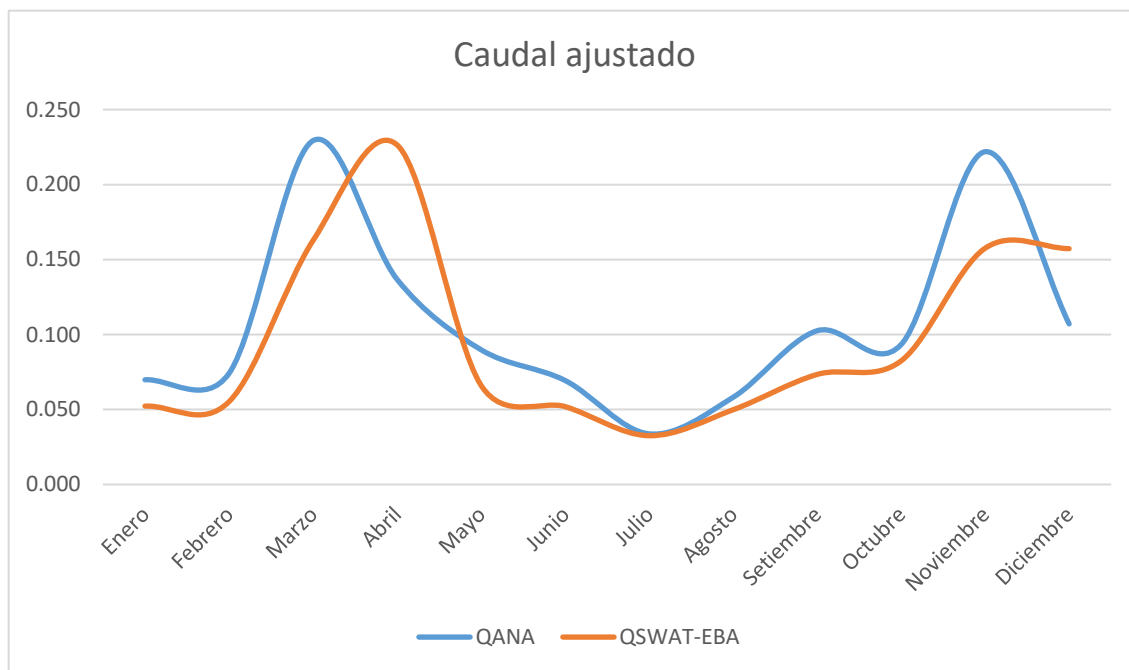


**Figura 37**

*Correlación lineal, escenario base.*



**Figura 39**  
Caudales sin ajustar, escenario base.



**Figura 38**  
Caudal ajustado, escenario base.

Para este escenario los meses con mejor ajuste fueron de junio a noviembre, a partir de los cuales se realizó la ecuación de correlación según la figura 39, la cual se utilizó para ajustar los datos con diferencias significativas, así mismo en las figuras 40 y 38 se muestran la comparación de datos sin ajustar y ajustados respectivamente.

### 4.3.3. Disponibilidad hídrica proyectada al año 2040

#### a) Escenario 01 MIROC-ESM-RCP4.5-2040

**Tabla 45**

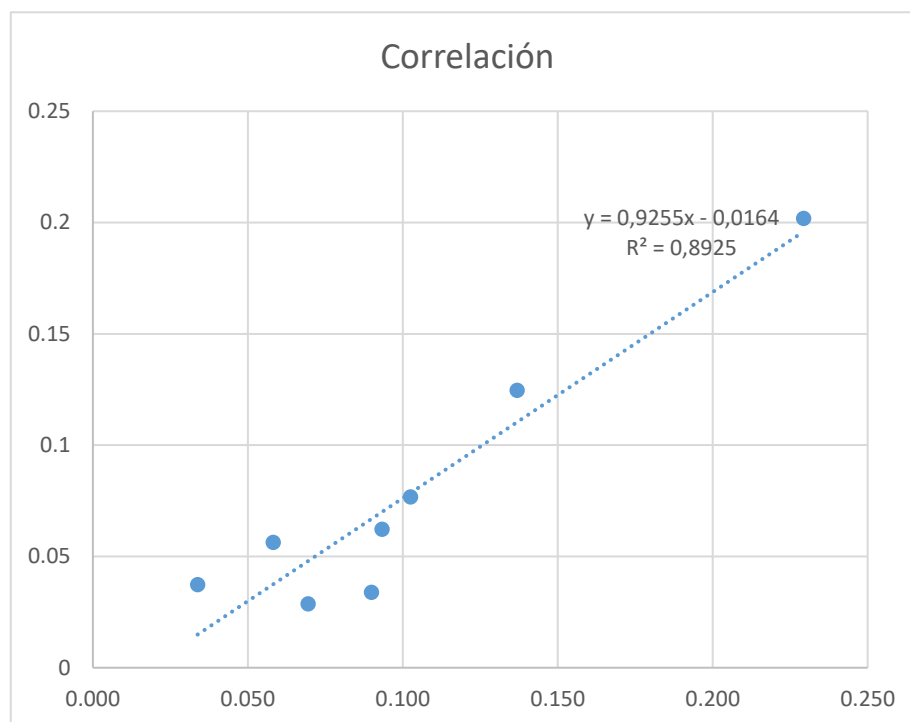
*Caudales, escenario 01*

<b>Caudales generados en SWAT, escenario 01, sin ajustar y ajustado (m<sup>3</sup>/s)</b>			
<b>Mes</b>	<b>QANA</b>	<b>QSWAT-01SA</b>	<b>QSWAT-01A</b>
Enero	0,070	0,447	0,048
Febrero	0,074	0,324	0,052
Marzo	0,229	0,202	0,202
Abril	0,137	0,125	0,125
Mayo	0,090	0,034	0,067
Junio	0,069	0,029	0,029
Julio	0,034	0,037	0,037
Agosto	0,058	0,056	0,056
Setiembre	0,103	0,077	0,077
Octubre	0,093	0,062	0,062
Noviembre	0,222	0,363	0,189
Diciembre	0,107	0,172	0,083
<b>Promedio</b>	<b>0,107</b>	<b>0,161</b>	<b>0,086</b>

QANA = Caudal generado por la ANA

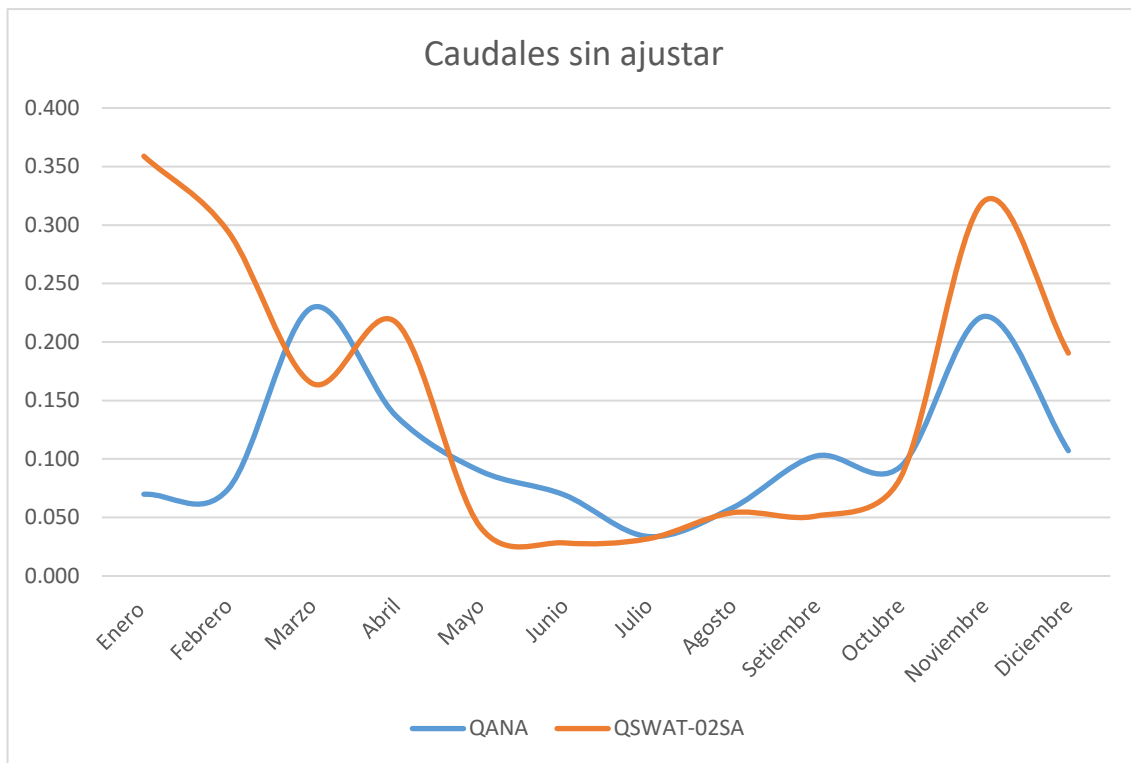
QSWAT-01SA = Caudal generado en SWAT en el escenario 01 sin ajustar.

QSWAT-01A = Caudal generado en SWAT en el escenario 01 ajustado.

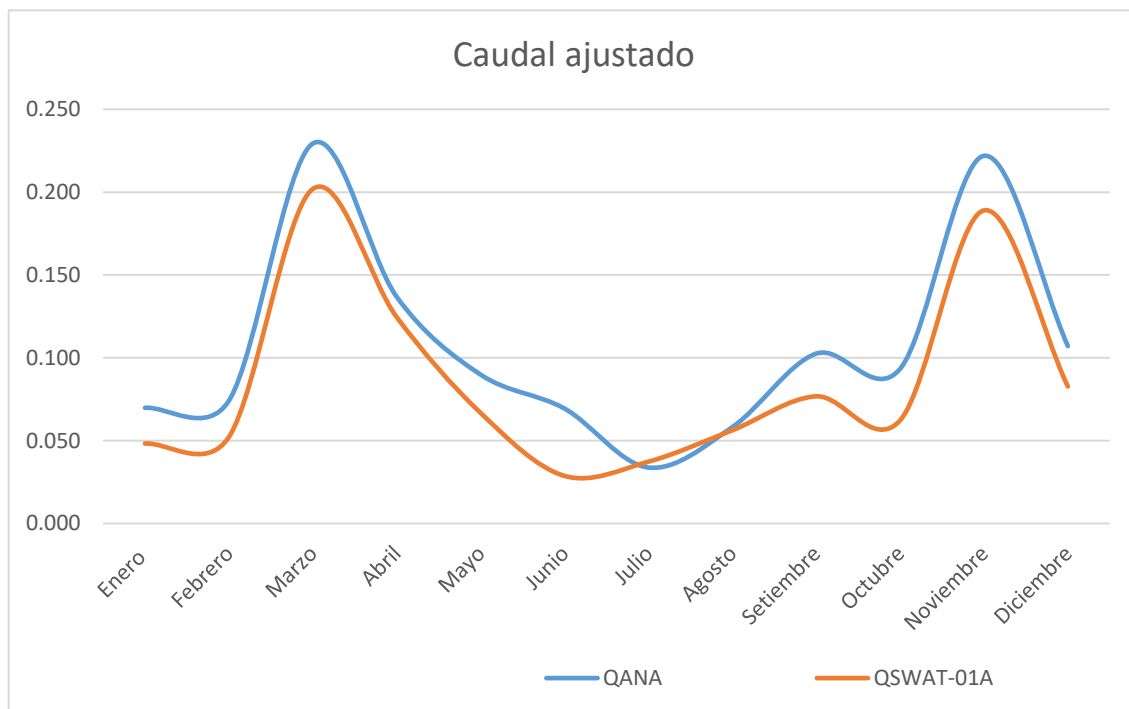


**Figura 40**

*Correlación lineal, escenario 01.*



**Figura 42**  
Caudales sin ajustar, escenario 01.



**Figura 41**  
Caudal ajustado, escenario 01.

Para este escenario los meses con mejor ajuste fueron de marzo a octubre, a partir de los cuales se realizó la ecuación de correlación según la figura 43, la cual se utilizó para ajustar los datos con diferencias significativas, así mismo en las figuras 42 y 41 se muestran la comparación de datos sin ajustar y ajustados respectivamente.

## b) Escenario 02 MIROC-ESM-RCP8.5-2040

**Tabla 46**

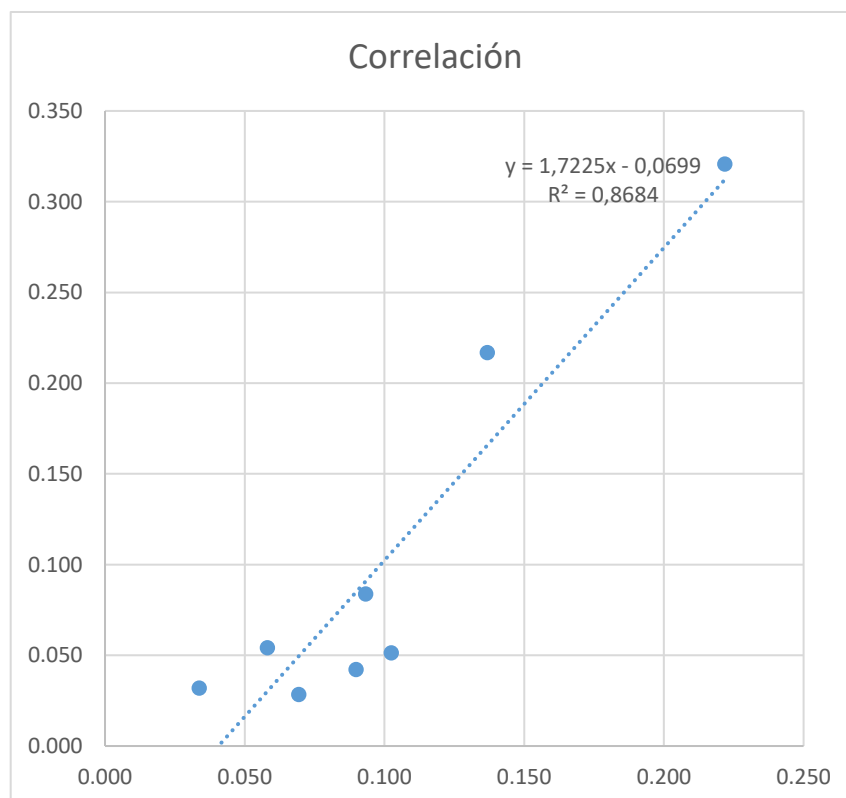
*Caudales, escenario 02*

Caudales generados en SWAT, escenario 02, sin ajustar y ajustado (m3/s)			
Mes	QANA	QSWAT-02SA	QSWAT-02A
Enero	0,070	0,359	0,050
Febrero	0,074	0,295	0,058
Marzo	0,229	0,165	0,165
Abril	0,137	0,217	0,166
Mayo	0,090	0,042	0,085
Junio	0,069	0,028	0,028
Julio	0,034	0,032	0,032
Agosto	0,058	0,054	0,054
Setiembre	0,103	0,051	0,051
Octubre	0,093	0,084	0,084
Noviembre	0,222	0,321	0,312
Diciembre	0,107	0,191	0,115
Promedio	0,107	0,153	0,100

QANA = Caudal generado por la ANA

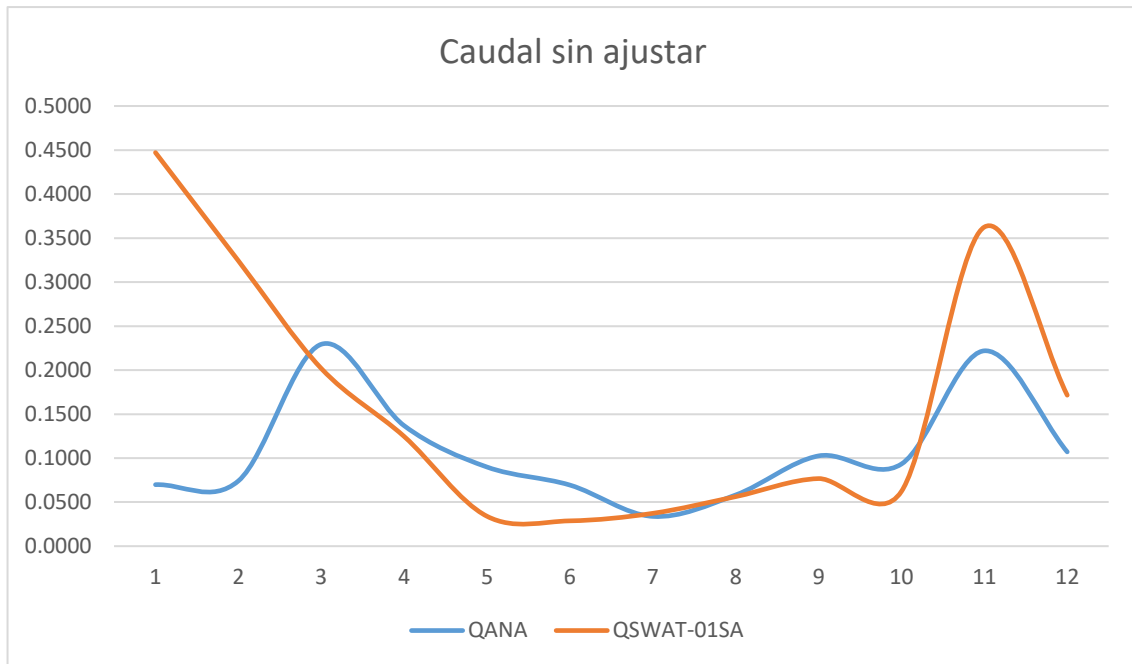
QSWAT-02SA = Caudal generado en SWAT en el escenario 02 sin ajustar.

QSWAT-02A = Caudal generado en SWAT en el escenario 02 ajustado.

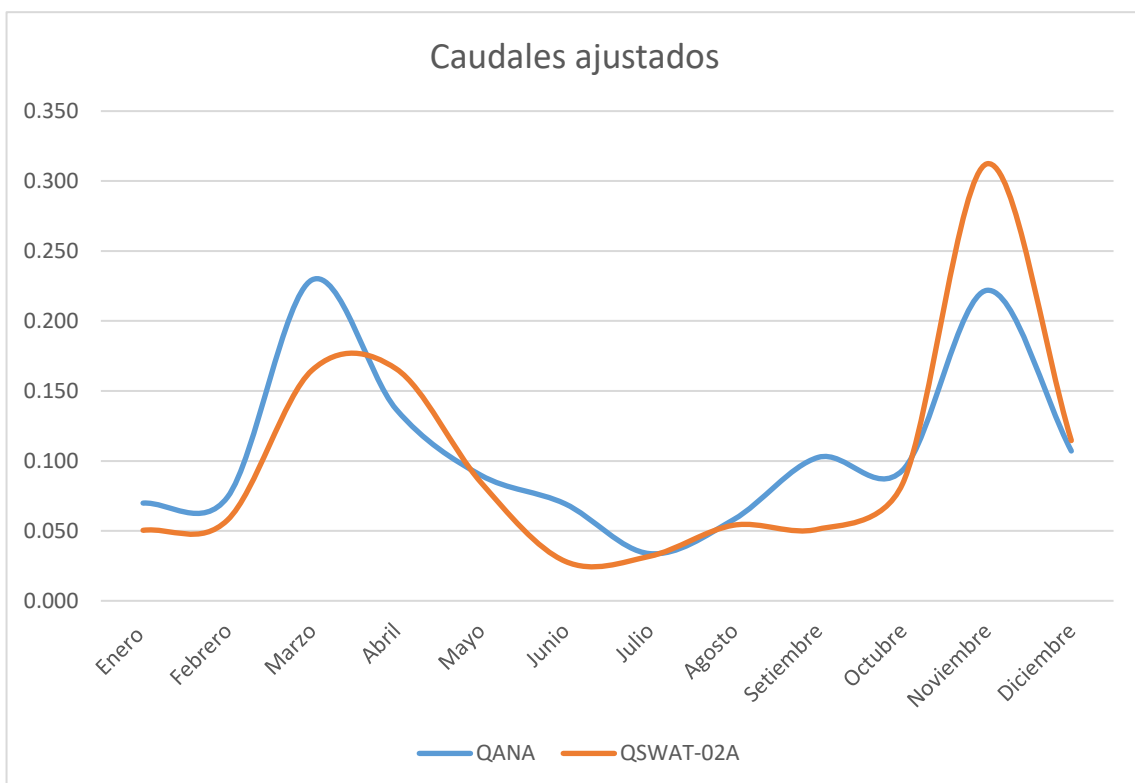


**Figura 43**

*Correlación lineal, escenario 02.*



**Figura 44**  
Caudales sin ajustar, escenario 02.



**Figura 45**  
Caudal ajustado, escenario 02.

Para este escenario los meses con mejor ajuste fueron de abril a noviembre, a partir de los cuales se realizó la ecuación de correlación según la figura 45, la cual se utilizó para ajustar los datos con diferencias significativas, así mismo en las figuras 44 y 43 se muestran la comparación de datos sin ajustar y ajustados respectivamente.

#### 4.3.4. Disponibilidad hídrica proyectada al año 2060

##### a) Escenario 03 MIROC-ESM-RCP4.5-2060

**Tabla 47**

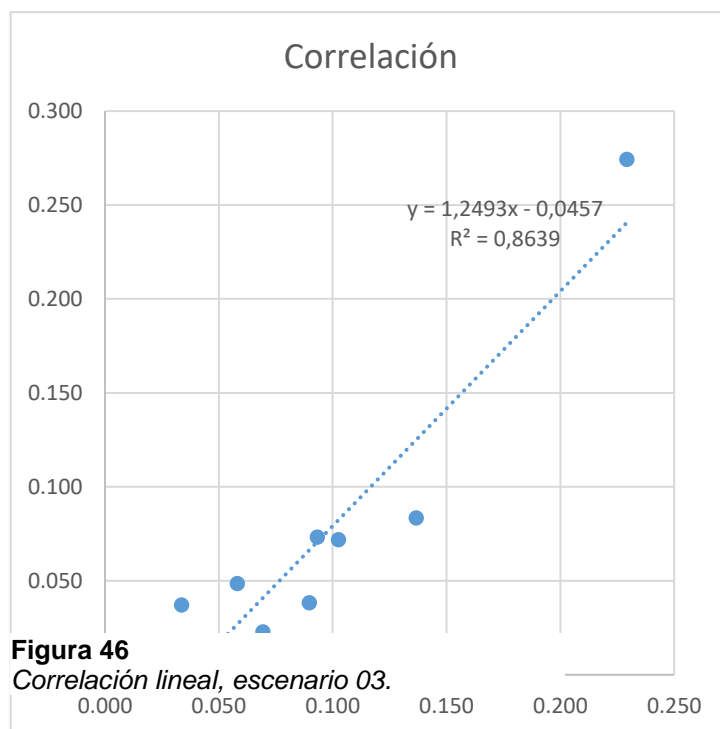
*Caudales escenario 03*

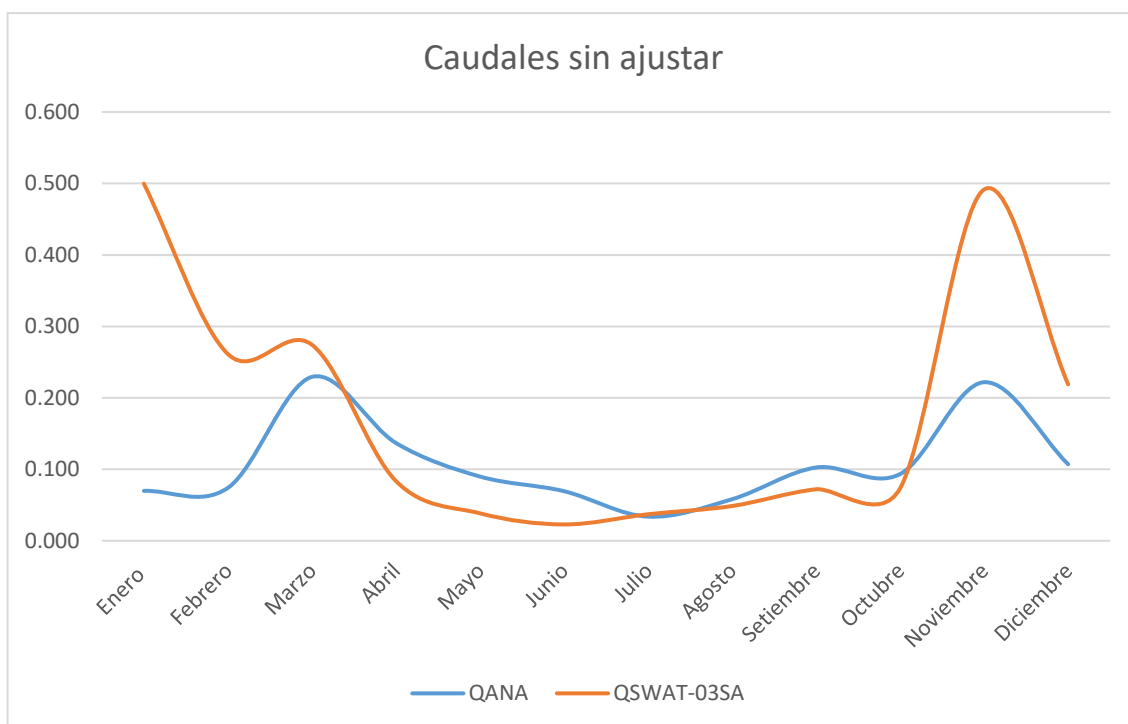
<b>Caudales generados en SWAT, escenario 03, sin ajustar y ajustado (m3/s)</b>			
<b>Mes</b>	<b>QANA</b>	<b>QSWAT-03SA</b>	<b>QSWAT-03A</b>
Enero	0,070	0,500	0,042
Febrero	0,074	0,261	0,047
Marzo	0,229	0,274	0,241
Abril	0,137	0,084	0,125
Mayo	0,090	0,038	0,067
Junio	0,069	0,023	0,041
Julio	0,034	0,037	0,037
Agosto	0,058	0,049	0,049
Setiembre	0,103	0,072	0,072
Octubre	0,093	0,073	0,073
Noviembre	0,222	0,492	0,232
Diciembre	0,107	0,219	0,088
<b>Promedio</b>	<b>0,107</b>	<b>0,177</b>	<b>0,093</b>

QANA = Caudal generado por la ANA

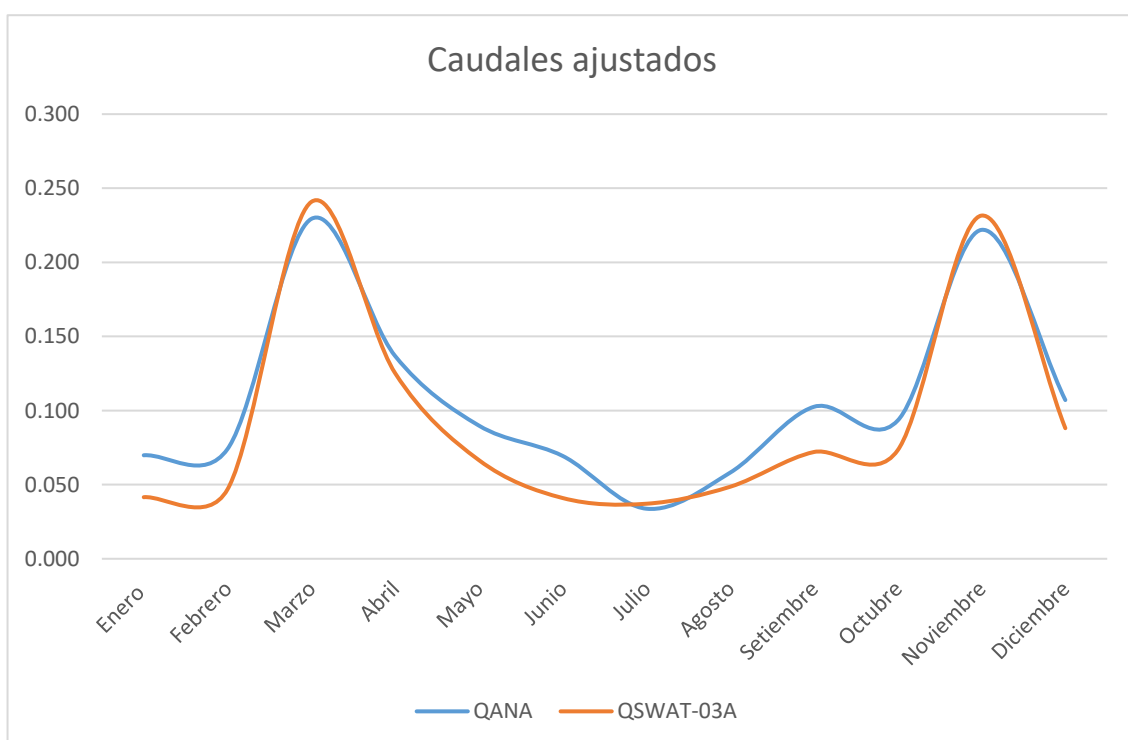
QSWAT-03SA = Caudal generado en SWAT en el escenario 03 sin ajustar.

QSWAT-03A = Caudal generado en SWAT en el escenario 03 ajustado.





**Figura 47**  
Caudales sin ajustar, escenario 03.



**Figura 48**  
Caudal ajustado, escenario 03.

Para este escenario los meses con mejor ajuste fueron de marzo a octubre, a partir de los cuales se realizó la ecuación de correlación según la figura 48, la cual se utilizó para ajustar los datos con diferencias significativas, así mismo en las figuras 47 y 46 se muestra la comparación de datos sin ajustar y ajustados respectivamente.

## b) Escenario 04 MIROC-ESM-RCP8.5-2060

Tabla 48

Caudales, escenario 04

Caudales generados en SWAT, escenario 04, sin ajustar y ajustado (m3/s)			
Mes	QANA	QSWAT-04SA	QSWAT-04A
Enero	0,070	0,425	0,048
Febrero	0,074	0,235	0,052
Marzo	0,229	0,212	0,210
Abril	0,137	0,144	0,116
Mayo	0,090	0,047	0,068
Junio	0,069	0,020	0,047
Julio	0,034	0,042	0,042
Agosto	0,058	0,044	0,044
Setiembre	0,103	0,064	0,081
Octubre	0,093	0,067	0,071
Noviembre	0,222	0,450	0,202
Diciembre	0,107	0,271	0,085
<b>Promedio</b>	<b>0,107</b>	<b>0,168</b>	<b>0,089</b>

QANA = Caudal generado por la ANA

QSWAT-04SA = Caudal generado en SWAT en el escenario 04 sin ajustar.

QSWAT-04A = Caudal generado en SWAT en el escenario 04 ajustado.

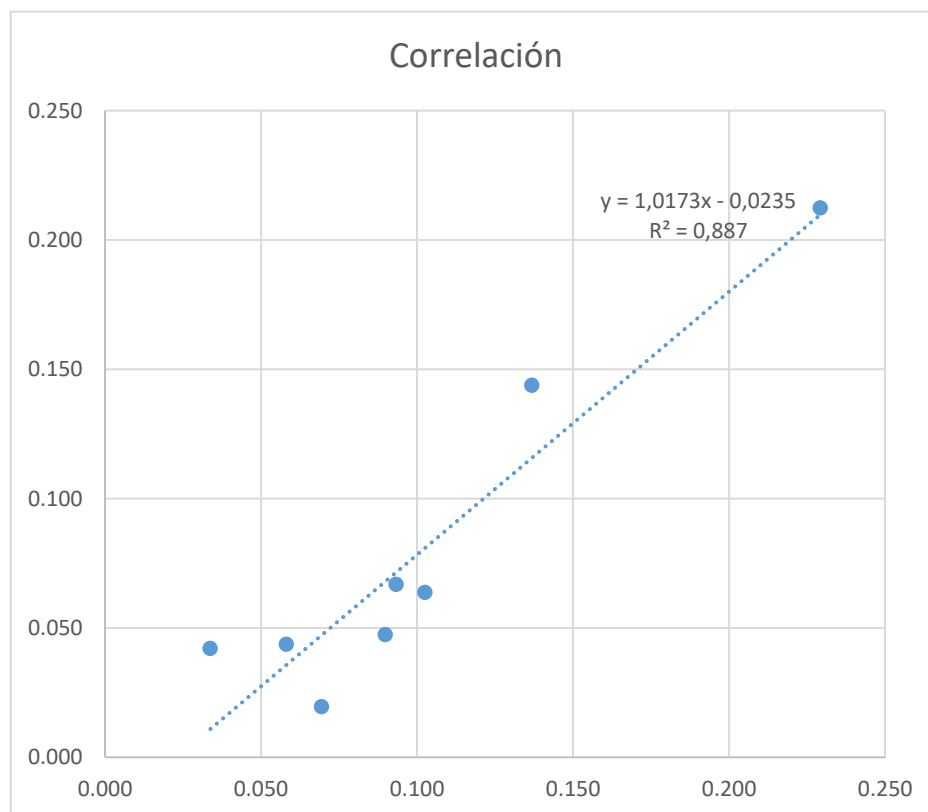
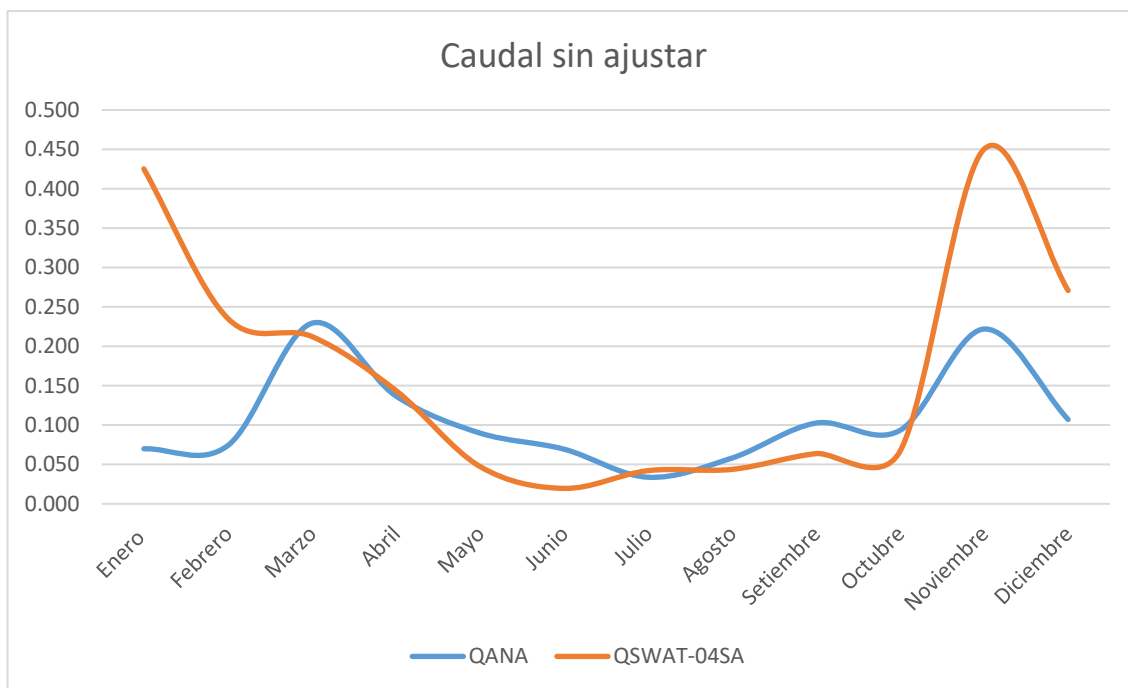
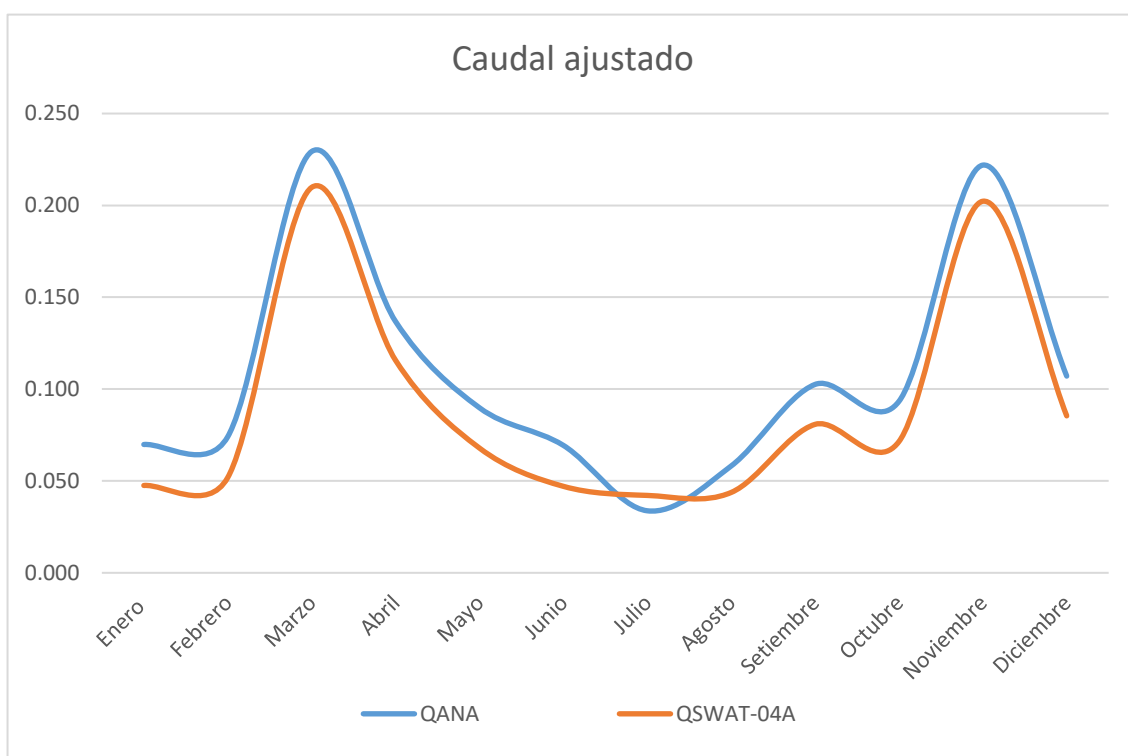


Figura 49

Correlación lineal, escenario 04.



**Figura 50**  
Caudal sin ajustar, escenario 04.



**Figura 51**  
Caudal ajustado, escenario 04.

Para este escenario los meses con mejor ajuste fueron de marzo a octubre, a partir de los cuales se realizó la ecuación de correlación según la figura 49, la cual se utilizó para ajustar los datos con diferencias significativas, así mismo en las figuras 50 y 51 se muestra la comparación de datos sin ajustar y ajustados respectivamente.

#### 4.3.5. Disponibilidad hídrica respetando el caudal ecológico

**Tabla 49**

*Disponibilidad hídrica respetando el caudal ecológico*

<b>Disponibilidad hídrica (L/s), en todos los escenarios, respetando el caudal ecológico</b>						
<b>Mes</b>	<b>QE-ANA</b>	<b>Q-EB</b>	<b>Q-01</b>	<b>Q-02</b>	<b>Q-03</b>	<b>Q-04</b>
Enero	0,015	52,24	48,22	50,38	41,53	47,53
Febrero	0,016	55,17	52,14	57,68	46,82	51,84
Marzo	0,038	162,64	201,86	164,66	240,75	209,74
Abril	0,023	226,48	124,58	165,79	125,23	115,69
Mayo	0,027	66,10	66,75	84,87	66,55	67,90
Junio	0,024	51,92	28,73	28,28	40,97	47,07
Julio	0,017	32,52	37,29	31,76	37,11	42,12
Agosto	0,022	49,81	56,24	54,05	48,59	43,71
Setiembre	0,030	73,36	76,73	51,20	72,01	80,78
Octubre	0,028	82,38	62,21	83,61	73,25	71,40
Noviembre	0,052	157,50	188,93	312,30	231,49	202,21
Diciembre	0,019	157,28	82,69	114,54	88,07	85,42
<b>Promedio</b>	<b>0,026</b>	<b>97,284</b>	<b>85,531</b>	<b>99,927</b>	<b>92,697</b>	<b>88,784</b>
<b>Variación</b>			<b>-11,753</b>	<b>2,643</b>	<b>-4,587</b>	<b>-8,500</b>
<b>Varia. %</b>			<b>-12,1%</b>	<b>2,7%</b>	<b>-4,7%</b>	<b>-8,7%</b>

*QE-ANA = Caudal ecológico generado por la ANA*

*Q-EB = Caudal respetando el caudal ecológico, escenario base*

*Q-01 = Caudal respetando el caudal ecológico, escenario 01*

*Q-02 = Caudal respetando el caudal ecológico, escenario 02*

*Q-03 = Caudal respetando el caudal ecológico, escenario 03*

*Q-04 = Caudal respetando el caudal ecológico, escenario 04*

En la tabla 49 se muestra los caudales simulados en todos los escenarios, a los cuales ya se les ha restado el caudal ecológico, utilizando los valores de este generados por la ANA, así mismo estos caudales representarías la disponibilidad hídrica en sus escenarios respectivos que podría ser utilizada para abastecer con agua a la población de Moyobamba.

Así mismo vemos cual es la variación de dicha disponibilidad, tomando como referencia el escenario base, así entonces podemos ver que en los escenarios 01, 03 y 04, se prevé una disminución de -12,1%, -4,7% y -8,7%, respectivamente y en el escenario 02, se prevé un aumento de +2,7%.

## **Discusión**

Para Calibrar los parámetros simulados se utilizó el método “prueba error”, el cual consiste en probar varias alternativas de solución para un problema, hasta encontrar una que funcione, así mismo según Cabrera (s.f), es válido para calibrar modelos hidrológicos, se hizo de esta manera por la deficiencia de datos para calibrar el modelo con métodos automáticos, por otro lado, Ojeda y Cerquera (2021), utilizaron el mismo método mediante la aplicación la ecuación de coeficiente de eficiencia de Nash-Sutcliffe, para calibrar datos obtenidos con el modelo hidrológico SWAT, en su estudio realizado en la cuenca alta del río Cane-Iguaque, en Colombia; en la que concluyeron que el método analizado realizó una calibración adecuada para su estudio.

Con respecto a los resultados, la *Estrategia Regional de Cambio Climático – San Martín (ERCC-SM, 2021)*, indica que en la Región San Martín en general, se prevé que las variaciones de precipitación no son significativas, pero se espera cambios en los patrones de esta, lo cual se evidencia en el resultado específico 02, por otro lado en la tabla 48, vemos disminución de caudal en los escenarios 01, 03 y 04 y aumento en el escenario 02, por lo que la disminución de la cantidad de agua en la mayoría de los escenarios, está relacionada principalmente con el aumento de la temperatura, la cual se evidenció que en el peor de los casos aumentaría hasta 1.5 °C.

Chávez y Bazan (2022), en su investigación para determinar el comportamiento de los caudales de la Inter cuenca alto Huallaga, teniendo en cuenta proyecciones climáticas, evidenciaron las mayores variaciones en cuanto a aumento en diciembre del periodo 2040-2059, y disminución en agosto del periodo 2020-2039, con +83,06% y -5,61% respectivamente, ambos casos con el RCP 8.5. Al respecto en la presente investigación se evidenció un mayor aumento de caudales en noviembre del escenario 02 con +98,28% y una mayor disminución en abril del escenario 04 con -48,92%; en ambos escenarios con el RCP 8.5.

Chacón (2021), nos dice que el cambio climático produce fluctuaciones en el ciclo hidrológico, por lo que en algunas zonas del planeta y en distintas épocas, los caudales de los ríos, podrían aumentar o disminuir, debido al incremento y/o disminución de las precipitaciones, lo cual podría traer inundaciones y/o sequías en distintas partes del planeta, esto podría explicar porque en el presente estudio no se prevé disminución de caudales en todos los escenarios.

### **4.4. Resultado específico 4**

Analizar la capacidad hídrica de las microcuencas, para abastecer la demanda de agua poblacional de la ciudad de Moyobamba.

#### 4.4.1. Cálculo de la demanda de agua potable hasta el año 2060.

##### a) Parámetros de cálculo

##### i. Población

Según los últimos 03 censos nacionales del INEI, la población urbana de Moyobamba es la siguiente:

**Tabla 50**

*Población intercensal*

##### **Población y densidad poblacional de Moyobamba según censos 1993, 2007 y 2017**

<b>Año</b>	<b>Habitantes</b>	<b>Densidad poblacional</b>
1993	24800	--
2007	42620	--
2017	57724	3,42

*Fuente: INEI, Censos 1993, 2007 y 2017*

Por otro lado, según el Estudio Tarifario Realizado en el 2020 por la Dirección de Regulación Tarifaria (DRT) – SUNASS, la población bajo el ámbito de la EPS MOYOBAMBA S.A., es de 59 683 habitantes, con una cobertura de servicio de 83,2%, lo que representa 49 686 y 55 581 habitantes servidos para los años 2020 y 2023 respectivamente.

##### ii. Tasa de crecimiento poblacional

Se cálculo en base a los 03 censos usando la fórmula de crecimiento poblacional geométrica.

$$r = \left( \frac{P_{t+n}}{P_t} \right)^{1/a} - 1$$

Donde:

- r: Tasa de crecimiento.
- $P_{t+n}$ : Población más reciente.
- $P_t$ : Población base.
- a: Amplitud de tiempo entre las dos poblaciones

**Tabla 51**

*Tasa de crecimiento poblacional*

<b>Tasa de crecimiento poblacional, Moyobamba</b>		
<b>Periodos</b>	<b>r</b>	
1993 - 2007	0,03943	3,94%
2007 - 2017	0,03080	3,08%

1993 - 2017	0,03583	3,58%
<b>Promedio</b>	<b>0,03535</b>	<b>3,54%</b>

*Nota: Calculado en base a datos del INEI*

Así entonces, según el cálculo realizado en Excel se obtuvo una tasa de crecimiento poblacional de 3,54%

### iii. Población futura bajo el ámbito de la EPS MOYOBAMBA S.A.

Para calcular la población futura, desde el año 2024 hasta el año 2060, se consideró el año 2023 como el año base utilizando el método de proyección geométrico.

En la tabla N° se proyectó la población total bajo el ámbito de influencia de la EPS MOYOBAMBA, por otro lado, según el Estudio Tarifario Realizado en el 2020 por la Dirección de Regulación Tarifaria (DRT) – SUNASS, la EPS MOYOBAMBA, tiene una cobertura de servicio de 83,2% de la población total, para la presente investigación se consideró realizar un balance hídrico tanto con la demanda de la población total y la demanda de la población que representa el % de cobertura del servicio, asumiendo que esta se mantiene constante en todos los escenarios.

**Tabla 52**

*Población futura bajo el ámbito de influencia de la EPS Moyobamba*

#### **Proyección de la población futura total bajo en ámbito de la EPS Moyobamba, 2023 - 2060**

<b>Año</b>	<b>Habitantes</b>	<b>Año</b>	<b>Habitantes</b>
2023	71104	2042	137602
2024	73618	2043	142467
2025	76221	2044	147504
2026	78916	2045	152719
2027	81707	2046	158119
2028	84596	2047	163710
2029	87587	2048	169498
2030	90684	2049	175491
2031	93891	2050	181696
2032	97211	2051	188120
2033	100648	2052	194771
2034	104207	2053	201657
2035	107892	2054	208787
2036	111707	2055	216169
2037	115657	2056	223812
2038	119746	2057	231725
2039	123980	2058	239918
2040	128364	2059	248401
2041	132903	2060	257184

*Nota: se calculó en base a datos del INE*

**Tabla 53**

*Población futura bajo el ámbito de la EPS Moyobamba, considerando el % de cobertura del servicio*

<b>Proyección de la población con servicio de agua potable bajo el ámbito de la EPS MOYOBAMBA</b>						
<b>% de Cobertura</b>	<b>AÑO</b>	<b>Población total</b>	<b>Población servida</b>	<b>Año</b>	<b>Población total</b>	<b>Población servida</b>
83,20%	2023	71104	59159	2042	137602	114485
83,20%	2024	73618	61251	2043	142467	118533
83,20%	2025	76221	63416	2044	147504	122724
83,20%	2026	78916	65659	2045	152719	127063
83,20%	2027	81707	67981	2046	158119	131556
83,20%	2028	84596	70384	2047	163710	136207
83,20%	2029	87587	72873	2048	169498	141023
83,20%	2030	90684	75450	2049	175491	146009
83,20%	2031	93891	78118	2050	181696	151172
83,20%	2032	97211	80880	2051	188120	156516
83,20%	2033	100648	83740	2052	194771	162050
83,20%	2034	104207	86701	2053	201657	167779
83,20%	2035	107892	89767	2054	208787	173711
83,20%	2036	111707	92941	2055	216169	179853
83,20%	2037	115657	96227	2056	223812	186212
83,20%	2038	119746	99629	2057	231725	192796
83,20%	2039	123980	103152	2058	239918	199612
83,20%	2040	128364	106799	2059	248401	206670
83,20%	2041	132903	110576	2060	257184	213978

*Nota: elaborado en base a datos del Estudio Tarifario de la SUNASS y del INEI*

#### **iv. Dotación**

Se consideró una dotación de 200 L/Hab/día

Una vez obtenidos todos los parámetros se calculó la demanda de agua potable en base a la siguiente fórmula:

$$Qp = \frac{Dot * P}{86400}$$

Donde:

- Qp: Caudal promedio
- Dot: Dotación
- P: Población de diseño
- 86400: Factor de conversión

## b) Demanda de agua potable

**Tabla 54**

*Demanda de agua potable considerando la población total*

**Cálculo de la demanda de agua potable con la población total bajo el ámbito de la EPS MOYOBAMBA, 2023 - 2060**

<b>Año</b>	<b>Habitantes</b>	<b>Dotación</b>	<b>Qp (L/S)</b>	<b>Qp (M<sup>3</sup>/S)</b>
2023	71104	200	164,59	0,165
2024	73618	200	170,41	0,170
2025	76221	200	176,44	0,176
2026	78916	200	182,68	0,183
2027	81707	200	189,14	0,189
2028	84596	200	195,82	0,196
2029	87587	200	202,75	0,203
2030	90684	200	209,92	0,210
2031	93891	200	217,34	0,217
2032	97211	200	225,03	0,225
2033	100648	200	232,98	0,233
2034	104207	200	241,22	0,241
2035	107892	200	249,75	0,250
2036	111707	200	258,58	0,259
2037	115657	200	267,72	0,268
2038	119746	200	277,19	0,277
2039	123980	200	286,99	0,287
2040	128364	200	297,14	0,297
2041	132903	200	307,65	0,308
2042	137602	200	318,52	0,319
2043	142467	200	329,78	0,330
2044	147504	200	341,44	0,341
2045	152719	200	353,52	0,354
2046	158119	200	366,02	0,366
2047	163710	200	378,96	0,379
2048	169498	200	392,36	0,392
2049	175491	200	406,23	0,406
2050	181696	200	420,59	0,421
2051	188120	200	435,46	0,435
2052	194771	200	450,86	0,451
2053	201657	200	466,80	0,467
2054	208787	200	483,30	0,483
2055	216169	200	500,39	0,500
2056	223812	200	518,08	0,518
2057	231725	200	536,40	0,536
2058	239918	200	555,37	0,555
2059	248401	200	575,00	0,575
2060	257184	200	595,33	0,595

*Nota: Se calculó con la población total bajo la influencia de la EPS MOYOBAMBA S.A.*

**Tabla 55***Demanda de agua potable considerando el % de población servida***Cálculo de la demanda de agua potable considerando la población servida bajo el ámbito de la EPS MOYOBAMBA, 2023 - 2060**

<b>Año</b>	<b>Habitantes</b>	<b>Dotación</b>	<b>Qp (L/S)</b>	<b>Qp (M3/S)</b>
2023	59159	200	136,94	0,137
2024	61251	200	141,78	0,142
2025	63416	200	146,80	0,147
2026	65659	200	151,99	0,152
2027	67981	200	157,36	0,157
2028	70384	200	162,93	0,163
2029	72873	200	168,69	0,169
2030	75450	200	174,65	0,175
2031	78118	200	180,83	0,181
2032	80880	200	187,22	0,187
2033	83740	200	193,84	0,194
2034	86701	200	200,70	0,201
2035	89767	200	207,79	0,208
2036	92941	200	215,14	0,215
2037	96227	200	222,75	0,223
2038	99629	200	230,62	0,231
2039	103152	200	238,78	0,239
2040	106799	200	247,22	0,247
2041	110576	200	255,96	0,256
2042	114485	200	265,01	0,265
2043	118533	200	274,38	0,274
2044	122724	200	284,08	0,284
2045	127063	200	294,13	0,294
2046	131556	200	304,53	0,305
2047	136207	200	315,29	0,315
2048	141023	200	326,44	0,326
2049	146009	200	337,98	0,338
2050	151172	200	349,94	0,350
2051	156516	200	362,31	0,362
2052	162050	200	375,12	0,375
2053	167779	200	388,38	0,388
2054	173711	200	402,11	0,402
2055	179853	200	416,33	0,416
2056	186212	200	431,05	0,431
2057	192796	200	446,29	0,446
2058	199612	200	462,06	0,462
2059	206670	200	478,40	0,478
2060	213978	200	495,32	0,495

*Nota: Se calculó con la población servida bajo la influencia de la EPS MOYOBAMBA S.A.*

#### 4.4.2. Balance hídrico

##### a) Escenario base (2023)

##### i. Considerando la población total

**Tabla 56**

*Balance hídrico escenario base, considerando el total de la población*

<b>Balance hídrico, escenario base, considerando el total de población bajo el ámbito de influencia de la EPS Moyobamba</b>								
	<b>Población total</b>	<b>Demanda (L/s)</b>	<b>Oferta (L/s)</b>	<b>Balance</b>	<b>Déficit/Superávit</b>	<b>Déficit/Superávit %</b>	<b>Población servida</b>	<b>Población servida %</b>
<b>MES</b>	<b>2023</b>	<b>2023</b>	<b>Q-EB</b>					
Enero	71104	164,59	52,24	-112,35	Déficit hídrico	-68,3%	22569	31,74%
Febrero	71104	164,59	55,17	-109,42	Déficit hídrico	-66,5%	23835	33,52%
Marzo	71104	164,59	162,64	-1,95	Déficit hídrico	-1,2%	70261	98,81%
Abril	71104	164,59	226,48	61,88	Superávit hídrico	37,6%	97839	137,60%
Mayo	71104	164,59	66,10	-98,49	Déficit hídrico	-59,8%	28555	40,16%
Junio	71104	164,59	51,92	-112,67	Déficit hídrico	-68,5%	22431	31,55%
Julio	71104	164,59	32,52	-132,07	Déficit hídrico	-80,2%	14050	19,76%
Agosto	71104	164,59	49,81	-114,78	Déficit hídrico	-69,7%	21518	30,26%
Setiembre	71104	164,59	73,36	-91,23	Déficit hídrico	-55,4%	31692	44,57%
Octubre	71104	164,59	82,38	-82,21	Déficit hídrico	-49,9%	35590	50,05%
Noviembre	71104	164,59	157,50	-7,09	Déficit hídrico	-4,3%	68042	95,69%
Diciembre	71104	164,59	157,28	-7,31	Déficit hídrico	-4,4%	67946	95,56%
<b>P. Anual</b>	<b>71104</b>	<b>164,59</b>	<b>97,28</b>	<b>-67,31</b>	<b>Déficit hídrico</b>	<b>-40,9%</b>	<b>42027</b>	<b>59,11%</b>

Para este escenario se tiene un déficit hídrico en todos los meses excepto en abril, considerando el total de la población, así entonces el mes con mayor déficit hídrico es julio con -80,2%, lo que indica que en ese mes las microcuencas solo podrían abastecer al 19,76% de la población total, por otro lado el mes con menor déficit hídrico es noviembre, con -4,3%, lo que indica que en dicho mes las microcuencas podrían abastecer al 95.69% de la población total en el escenario analizado, pero esto también estaría condicionado por el sistema de abastecimiento,

por otro lado el déficit hídrico anual en de -40,9% por lo que solo el 59,11% de la población total podría ser abastecida al año (42027 habitantes).

## ii. Considerando la población servida

**Tabla 57**

*Balance hídrico escenario base, considerando el % de población servida*

<b>Balance hídrico, escenario base, considerando la población servida por la EPS Moyobamba</b>								
	<b>Población servida</b>	<b>Demanda (L/s)</b>	<b>Oferta (L/s)</b>			<b>Déficit/Superávit</b>	<b>Población</b>	<b>Población</b>
<b>Mes</b>	<b>2023</b>	<b>2023.00</b>	<b>Q-EB</b>	<b>Balance</b>	<b>Déficit/Superávit</b>	<b>%</b>	<b>servida</b>	<b>servida %</b>
Enero	59159	136,942	52,24	-84,70	Déficit hídrico	-61,9%	22569	38,15%
Febrero	59159	136,942	55,17	-81,77	Déficit hídrico	-59,7%	23835	40,29%
Marzo	59159	136,942	16,64	25,70	Superávit hídrico	18,8%	70261	118,77%
Abril	59159	136,942	22,48	89,54	Superávit hídrico	65,4%	97839	165,38%
Mayo	59159	136,942	66,10	-70,84	Déficit hídrico	-51,7%	28555	48,27%
Junio	59159	136,942	51,92	-85,02	Déficit hídrico	-62,1%	22431	37,92%
Julio	59159	136,942	32,52	-104,42	Déficit hídrico	-76,3%	14050	23,75%
Agosto	59159	136,942	49,81	-87,13	Déficit hídrico	-63,6%	21518	36,37%
Setiembre	59159	136,942	73,36	-63,58	Déficit hídrico	-46,4%	31692	53,57%
Octubre	59159	136,942	82,38	-54,56	Déficit hídrico	-39,8%	35590	60,16%
Noviembre	59159	136,942	157,50	20,56	Superávit hídrico	15,0%	68042	115,02%
Diciembre	59159	136,942	157,28	20,34	Superávit hídrico	14,9%	67946	114,85%
<b>P. Anual</b>	<b>59159</b>	<b>136,942</b>	<b>97,284</b>	<b>-39,66</b>	<b>Déficit hídrico</b>	<b>-29,0%</b>	<b>42027</b>	<b>71,04%</b>

Para el mismo escenario, pero considerando el % de la población servida, se tiene un déficit hídrico en todos los meses menos en marzo, abril, noviembre y diciembre, así entonces el mes con mayor déficit hídrico es julio con -76,3%, lo que indica que en ese mes las microcuencas solo podrían abastecer al 23,75% de la población servida, por otro lado el mes con menor déficit hídrico es octubre con -39,8%, lo que indica que en dicho mes las microcuencas podrían abastecer al 60,16% de la población servida en el escenario analizado, pero esto también estaría

condicionado por el sistema de abastecimiento, por otro lado el déficit hídrico anual en de -29,0% por lo que solo el 71,04% de la población servida podría ser abastecida (42027 habitantes).

## b) Escenario 01 MIROC-ESM-RCP4.5-2040

### i. Considerando la población total

**Tabla 58**

*Balance hídrico escenario 01, considerando el total de la población*

<b>Balance hídrico, escenario 01, considerando el total de población bajo el ámbito de influencia de la EPS Moyobamba</b>								
	<b>Población total</b>	<b>Demanda (L/s)</b>	<b>Oferta (L/s)</b>			<b>Déficit/superávit</b>	<b>Población</b>	<b>Población</b>
<b>Mes</b>	<b>2040</b>	<b>2040</b>	<b>Q-01</b>	<b>Balance</b>	<b>Déficit/superávit</b>	<b>t %</b>	<b>servida</b>	<b>n servida</b>
								<b>%</b>
Enero	128364	297,14	48,22	-248,92	Déficit hídrico	-83,8%	20832	16,23%
Febrero	128364	297,14	52,14	-245,00	Déficit hídrico	-82,5%	22525	17,55%
Marzo	128364	297,14	201,86	-95,28	Déficit hídrico	-32,1%	87205	67,94%
Abril	128364	297,14	124,58	-172,56	Déficit hídrico	-58,1%	53818	41,93%
Mayo	128364	297,14	66,75	-230,39	Déficit hídrico	-77,5%	28835	22,46%
Junio	128364	297,14	28,73	-268,41	Déficit hídrico	-90,3%	12410	9,67%
Julio	128364	297,14	37,29	-259,85	Déficit hídrico	-87,4%	16111	12,55%
Agosto	128364	297,14	56,24	-240,90	Déficit hídrico	-81,1%	24296	18,93%
Setiembre	128364	297,14	76,73	-220,41	Déficit hídrico	-74,2%	33148	25,82%
Octubre	128364	297,14	62,21	-234,93	Déficit hídrico	-79,1%	26876	20,94%
Noviembre	128364	297,14	188,93	-108,21	Déficit hídrico	-36,4%	81620	63,58%
Diciembre	128364	297,14	82,69	-214,45	Déficit hídrico	-72,2%	35723	27,83%
<b>P. anual</b>	<b>128364</b>	<b>297,14</b>	<b>85,53</b>	<b>-211,61</b>	<b>Déficit hídrico</b>	<b>-71,2%</b>	<b>36950</b>	<b>28,79%</b>

Para el escenario 01, se tiene un déficit hídrico en todos los meses, considerando el total de la población, así entonces el mes con mayor déficit hídrico es julio con -90,3%, lo que indica que en ese mes las microcuencas solo podrían abastecer al 9,67% de la población total, por

otro lado el mes con menor déficit hídrico es marzo, con -32,1%, lo que indica que en dicho mes las microcuencas podrían abastecer al 67,94% de la población total en el escenario analizado, pero esto también estaría condicionado por el sistema de abastecimiento, por otro lado el déficit hídrico anual en de -71,2% por lo que solo el 28,70% de la población total podría ser abastecida al año (36950 habitantes).

## ii. Considerando la población servida

**Tabla 59**

*Balance hídrico escenario 01, considerando el % de la población servida*

<b>Balance hídrico, escenario 01, considerando la población servida por la EPS Moyobamba</b>								
<b>Mes</b>	<b>Población Servida 2040</b>	<b>Demanda (L/s) 2040</b>	<b>Oferta (L/s) Q-01</b>	<b>Balance</b>	<b>Déficit/superávit</b>	<b>Déficit/superávit %</b>	<b>Población servida</b>	<b>Población servida %</b>
Enero	106799	247,220	48,22	-199,00	Déficit hídrico	-80,5%	20832	19,51%
Febrero	106799	247,220	52,14	-195,08	Déficit hídrico	-78,9%	22525	21,09%
Marzo	106799	247,220	20,86	-45,36	Déficit hídrico	-18,3%	87205	81,65%
Abril	106799	247,220	124,58	-122,64	Déficit hídrico	-49,6%	53818	50,39%
Mayo	106799	247,220	66,75	-180,47	Déficit hídrico	-73,0%	28835	27,00%
Junio	106799	247,220	28,73	-218,49	Déficit hídrico	-88,4%	12410	11,62%
Julio	106799	247,220	37,29	-209,93	Déficit hídrico	-84,9%	16111	15,09%
Agosto	106799	247,220	56,24	-190,98	Déficit hídrico	-77,3%	24296	22,75%
Setiembre	106799	247,220	76,73	-170,49	Déficit hídrico	-69,0%	33148	31,04%
Octubre	106799	247,220	62,21	-185,01	Déficit hídrico	-74,8%	26876	25,17%
Noviembre	106799	247,220	188,93	-58,29	Déficit hídrico	-23,6%	81620	76,42%
Diciembre	106799	247,220	82,69	-164,53	Déficit hídrico	-66,6%	35723	33,45%
<b>P. Anual</b>	<b>106799</b>	<b>247,220</b>	<b>85,531</b>	<b>-161,69</b>	<b>Déficit hídrico</b>	<b>-65.4%</b>	<b>36950</b>	<b>34,60%</b>

Para el escenario 01, pero considerando el % de la población servida, se tiene un déficit hídrico en todos los meses, así entonces el mes con mayor déficit hídrico es enero con -80,5%, lo que indica que en ese mes las microcuencas solo podrían abastecer al 19,51% de la población servida, por otro lado el mes con menor déficit hídrico es octubre con -23,6%, lo que indica que en dicho mes las microcuencas podrían abastecer al 76,42% de la población servida en el escenario analizado, pero esto también estaría condicionado por el sistema de

abastecimiento, por otro lado el déficit hídrico anual en de -65,4% por lo que solo el 71,04% de la población servida podría ser abastecida (36950 habitantes).

### c) Escenario 02 MIROC-ESM-RCP8.5-2040

#### i. Considerando la población total

**Tabla 60**

*Balance hídrico escenario 02, considerando el total de la población*

<b>Balance hídrico, escenario 02, considerando el total de población bajo el ámbito de influencia de la EPS Moyobamba</b>								
	<b>Población Servida</b>	<b>Demanda (L/s)</b>	<b>Oferta (L/s)</b>	<b>Balance</b>	<b>Déficit/superávit</b>	<b>Déficit/superávit %</b>	<b>Población servida</b>	<b>Población servida %</b>
<b>Mes</b>	<b>2040</b>	<b>2040</b>	<b>Q-02</b>					
Enero	128364	297,14	50,38	-246,76	Déficit hídrico	-83,0%	21765	16,96%
Febrero	128364	297,14	57,68	-239,46	Déficit hídrico	-80,6%	24916	19,41%
Marzo	128364	297,14	164,66	-132,48	Déficit hídrico	-44,6%	71135	55,42%
Abril	128364	297,14	165,79	-131,35	Déficit hídrico	-44,2%	71620	55,79%
Mayo	128364	297,14	84,87	-212,27	Déficit hídrico	-71,4%	36666	28,56%
Junio	128364	297,14	28,28	-268,86	Déficit hídrico	-90,5%	12216	9,52%
Julio	128364	297,14	31,76	-265,38	Déficit hídrico	-89,3%	13722	10,69%
Agosto	128364	297,14	54,05	-243,09	Déficit hídrico	-81,8%	23349	18,19%
Setiembre	128364	297,14	51,20	-245,94	Déficit hídrico	-82,8%	22119	17,23%
Octubre	128364	297,14	83,61	-213,53	Déficit hídrico	-71,9%	36121	28,14%
Noviembre	128364	297,14	312,30	15,16	Superávit hídrico	5.1%	134915	105,10%
Diciembre	128364	297,14	114,54	-182,60	Déficit hídrico	-61.5%	49482	38,55%
<b>P. Anual</b>	<b>128364</b>	<b>297,14</b>	<b>99.93</b>	<b>-197,21</b>	<b>Déficit hídrico</b>	<b>-66.4%</b>	<b>43169</b>	<b>33,63%</b>

Para el escenario 02, se tiene un déficit hídrico en todos los meses, excepto en noviembre, considerando el total de la población , así entonces el mes con mayor déficit hídrico es junio con -90,5%, lo que indica que en ese mes las microcuencas solo podrían abastecer al 9,52% de la población total, por otro lado el mes con menor déficit hídrico es abril, con -44,2%, lo que indica que en dicho mes las microcuencas podrían

abastecer al 55,79% de la población total en el escenario analizado, pero esto también estaría condicionado por el sistema de abastecimiento, por otro lado el déficit hídrico anual en de -66,4% por lo que solo el 33,63% de la población total podría ser abastecida al año (43169 habitantes).

## ii. Considerando la población servida

**Tabla 61**

*Balance hídrico escenario 02, considerando el % de población servida*

<b>Balance hídrico, escenario 02, considerando la población servida por la EPS Moyobamba</b>								
	<b>Población servida</b>	<b>Demanda (L/s)</b>	<b>Oferta (L/s)</b>	<b>Balance</b>	<b>Déficit/superávit</b>	<b>Déficit/superávit %</b>	<b>Población servida</b>	<b>Población servida %</b>
<b>Mes</b>	<b>2040</b>	<b>2040</b>	<b>Q-02</b>					
Enero	106799	247,220	50,38	-196,84	Déficit hídrico	-79.6%	21765	20,38%
Febrero	106799	247,220	57,68	-189,54	Déficit hídrico	-76.7%	24916	23,33%
Marzo	106799	247,220	164,66	-82,56	Déficit hídrico	-33.4%	71135	66,61%
Abril	106799	247,220	165,79	-81,43	Déficit hídrico	-32.9%	71620	67,06%
Mayo	106799	247,220	84,87	-162,35	Déficit hídrico	-65.7%	36666	34,33%
Junio	106799	247,220	28,28	-218,94	Déficit hídrico	-88.6%	12216	11,44%
Julio	106799	247,220	31,76	-215,46	Déficit hídrico	-87.2%	13722	12,85%
Agosto	106799	247,220	54,05	-193,17	Déficit hídrico	-78.1%	23349	21,86%
Setiembre	106799	247,220	51,20	-196,02	Déficit hídrico	-79.3%	22119	20,71%
Octubre	106799	247,220	83,61	-163,61	Déficit hídrico	-66.2%	36121	33,82%
Noviembre	106799	247,220	312,30	65,08	Superávit hídrico	26.3%	134915	126,33%
Diciembre	106799	247,220	114,54	-132,68	Déficit hídrico	-53.7%	49482	46,33%
<b>P. Anual</b>	<b>106799</b>	<b>247,220</b>	<b>99,927</b>	<b>-147,29</b>	<b>Déficit hídrico</b>	<b>-59.6%</b>	<b>43169</b>	<b>40,42%</b>

Para el escenario 02, pero considerando el % de la población servida, se tiene un déficit hídrico en todos los meses, excepto en noviembre, así entonces el mes con mayor déficit hídrico es junio con -88,6%, lo que indica que en ese mes las microcuencas solo podrían abastecer al 11,44% de la población servida, por otro lado el mes con menor déficit hídrico es abril con -32,9%, lo que indica que en dicho mes las

microcuencas podrían abastecer al 67,06% de la población servida en el escenario analizado, pero esto también estaría condicionado por el sistema de abastecimiento, por otro lado el déficit hídrico anual en de -59,46% por lo que solo el 40,42% de la población servida podría ser abastecida (43169 habitantes).

### c) Escenario 03 MIROC-ESM-RCP4.5-2060

#### i. Considerando la población total

**Tabla 62**

*Balance hídrico escenario 03, considerando la población total*

<b>Balance hídrico, escenario 03, considerando el total de población bajo el ámbito de influencia de la EPS Moyobamba</b>								
<b>Mes</b>	<b>Población total 2060</b>	<b>Demanda (L/s) 2060</b>	<b>Oferta (L/s) Q-03</b>	<b>Balance</b>	<b>Déficit/superávit</b>	<b>Déficit/superávit %</b>	<b>Población servida</b>	<b>Población servida %</b>
Enero	257184	595,33	41,53	-553,80	Déficit hídrico	-93,0%	17943	6,98%
Febrero	257184	595,33	46,82	-548,51	Déficit hídrico	-92,1%	20229	7,87%
Marzo	257184	595,33	240,75	-354,59	Déficit hídrico	-59,6%	104002	40,44%
Abril	257184	595,33	125,23	-470,10	Déficit hídrico	-79,0%	54101	21,04%
Mayo	257184	595,33	66,55	-528,79	Déficit hídrico	-88,8%	28749	11,18%
Junio	257184	595,33	40,97	-554,37	Déficit hídrico	-93,1%	17698	6,88%
Julio	257184	595,33	37,11	-558,22	Déficit hídrico	-93,8%	16033	6,23%
Agosto	257184	595,33	48,59	-546,74	Déficit hídrico	-91,8%	20991	8,16%
Setiembre	257184	595,33	72,01	-523,32	Déficit hídrico	-87,9%	31109	12,10%
Octubre	257184	595,33	73,25	-522,08	Déficit hídrico	-87,7%	31646	12,30%
Noviembre	257184	595,33	231,49	-363,84	Déficit hídrico	-61,1%	100004	38,88%
Diciembre	257184	595,33	88,07	-507,27	Déficit hídrico	-85,2%	38045	14,79%
<b>P. Anual</b>	<b>257184</b>	<b>595,33</b>	<b>92,70</b>	<b>-502,64</b>	<b>Déficit hídrico</b>	<b>-84.4%</b>	<b>40046</b>	<b>15,57%</b>

Para el escenario 03, se tiene un déficit hídrico en todos los meses, considerando el total de la población, así entonces el mes con mayor déficit hídrico es julio con -93,8%, lo que indica que en ese mes las microcuencas solo podrían abastecer al 6,23% de la población total, por

otro lado el mes con menor déficit hídrico marzo, con -59,6%, lo que indica que en dicho mes las microcuencas podrían abastecer al 40,44% de la población total en el escenario analizado, pero esto también estaría condicionado por el sistema de abastecimiento, por otro lado el déficit hídrico anual en de -84,4% por lo que solo el 15,57% de la población total podría ser abastecida al año (40046 habitantes).

## ii. Considerando la población servida

**Tabla 63**

*Balance hídrico escenario 03, considerando el % de población servida*

<b>Balance hídrico, escenario 03, considerando la población servida por la EPS Moyobamba</b>								
	<b>Población Servida</b>	<b>Demanda (L/s)</b>	<b>Oferta (L/s)</b>	<b>Balance</b>	<b>Déficit/superávit</b>	<b>Déficit/superávit %</b>	<b>Población servida</b>	<b>Población servida %</b>
<b>Mes</b>	<b>2060</b>	<b>2060</b>	<b>Q-03</b>					
Enero	213978	495,319	41,53	-453,79	Déficit hídrico	-91,6%	17943	8,39%
Febrero	213978	495,319	46,82	-448,50	Déficit hídrico	-90,5%	20229	9,45%
Marzo	213978	495,319	240,75	-254,57	Déficit hídrico	-51,4%	104002	48,60%
Abril	213978	495,319	125,23	-370,09	Déficit hídrico	-74,7%	54101	25,28%
Mayo	213978	495,319	66,55	-428,77	Déficit hídrico	-86,6%	28749	13,44%
Junio	213978	495,319	40,97	-454,35	Déficit hídrico	-91,7%	17698	8,27%
Julio	213978	495,319	37,11	-458,21	Déficit hídrico	-92,5%	16033	7,49%
Agosto	213978	495,319	48,59	-446,73	Déficit hídrico	-90,2%	20991	9,81%
Setiembre	213978	495,319	72,01	-423,31	Déficit hídrico	-85,5%	31109	14,54%
Octubre	213978	495,319	73,25	-422,07	Déficit hídrico	-85,2%	31646	14,79%
Noviembre	213978	495,319	231,49	-263,83	Déficit hídrico	-53,3%	100004	46,74%
Diciembre	213978	495,319	88,07	-407,25	Déficit hídrico	-82,2%	38045	17,78%
<b>P. Anual</b>	<b>213978</b>	<b>495,319</b>	<b>92,697</b>	<b>-402,62</b>	<b>Déficit hídrico</b>	<b>-81,3%</b>	<b>40046</b>	<b>18,72%</b>

Para el escenario 03, pero considerando el % de la población servida, se tiene un déficit hídrico en todos los meses, así entonces el mes con mayor déficit hídrico es junio con -92,5%, lo que indica que en ese mes las microcuencas solo podrían abastecer al 7,49% de la población servida, por otro lado el mes con menor déficit hídrico es noviembre con -53,3%, lo que indica que en dicho mes las microcuencas podrían

abastecer al 46,74% de la población servida en el escenario analizado, pero esto también estaría condicionado por el sistema de abastecimiento, por otro lado el déficit hídrico anual en de -81,3% por lo que solo el 18,72% de la población servida podría ser abastecida (40046 habitantes).

#### d) Escenario 04 MIROC-ESM-RCP8.5-2060

##### i. Considerando la población total

**Tabla 64**

*Balance hídrico escenario 04, considerando la población total*

<b>Balance hídrico, escenario 04, considerando el total de población bajo el ámbito de influencia de la EPS Moyobamba</b>								
	<b>Población total</b>	<b>Demanda (L/s)</b>	<b>Oferta (L/s)</b>	<b>Balanc</b>	<b>Déficit/superávit</b>	<b>Déficit/superávit %</b>	<b>Población servida</b>	<b>Población servida %</b>
<b>MES</b>	<b>2060</b>	<b>2060</b>	<b>Q-04</b>	<b>e</b>				
Enero	257184	595,33	47,53	-547,80	Déficit hídrico	-92,0%	20534	7,98%
Febrero	257184	595,33	51,84	-543,49	Déficit hídrico	-91,3%	22395	8,71%
Marzo	257184	595,33	209,74	-385,59	Déficit hídrico	-64,8%	90610	35,23%
Abril	257184	595,33	115,69	-479,65	Déficit hídrico	-80,6%	49977	19,43%
Mayo	257184	595,33	67,90	-527,44	Déficit hídrico	-88,6%	29332	11,41%
Junio	257184	595,33	47,07	-548,27	Déficit hídrico	-92,1%	20333	7,91%
Julio	257184	595,33	42,12	-553,21	Déficit hídrico	-92,9%	18197	7,08%
Agosto	257184	595,33	43,71	-551,62	Déficit hídrico	-92,7%	18883	7,34%
Setiembre	257184	595,33	80,78	-514,55	Déficit hídrico	-86,4%	34899	13,57%
Octubre	257184	595,33	71,40	-523,93	Déficit hídrico	-88,0%	30847	11,99%
Noviembre	257184	595,33	202,21	-393,13	Déficit hídrico	-66,0%	87353	33,97%
Diciembre	257184	595,33	85,42	-509,91	Déficit hídrico	-85,7%	36903	14,35%
<b>P. Anual</b>	<b>257184</b>	<b>595,33</b>	<b>88.78</b>	<b>-506.55</b>	<b>Déficit hídrico</b>	<b>-85,1%</b>	<b>38355</b>	<b>14,91%</b>

Para el escenario 04, se tiene un déficit hídrico en todos los meses, considerando el total de la población, así entonces el mes con mayor déficit hídrico es julio con -92,9%, lo que indica que en ese mes las microcuencas solo podrían abastecer al 7,91% de la población total, por

otro lado el mes con menor déficit hídrico noviembre, con -66,0%, lo que indica que en dicho mes las microcuencas podrían abastecer al 33,97% de la población total en el escenario analizado, pero esto también estaría condicionado por el sistema de abastecimiento, por otro lado el déficit hídrico anual en de -85,1% por lo que solo el 14,91% de la población total podría ser abastecida al año (38355 habitantes).

## ii. Considerando la población servida

**Tabla 65**

*Balance hídrico escenario 04, considerando el % de la población servida*

<b>Balance hídrico, escenario 04, considerando la población servida por la EPS Moyobamba</b>								
	<b>Población servida</b>	<b>Demanda (L/s)</b>	<b>Oferta (L/s)</b>	<b>Balance</b>	<b>Déficit/superávit</b>	<b>Déficit/superávit %</b>	<b>Población servida</b>	<b>Población servida %</b>
<b>Mes</b>	<b>20060</b>	<b>2060</b>	<b>Q - 04</b>					
Enero	213978	495,319	47,53	-447.79	Déficit hídrico	-90,4%	20534	9,60%
Febrero	213978	495,319	51,84	-443.48	Déficit hídrico	-89,5%	22395	10,47%
Marzo	213978	495,319	20,74	-285.58	Déficit hídrico	-57,7%	90610	42,35%
Abril	213978	495,319	115,69	-379.63	Déficit hídrico	-76,6%	49977	23,36%
Mayo	213978	495,319	67,90	-427.42	Déficit hídrico	-86,3%	29332	13,71%
Junio	213978	495,319	47,07	-448.25	Déficit hídrico	-90,5%	20333	9,50%
Julio	213978	495,319	42,12	-453.20	Déficit hídrico	-91,5%	18197	8,50%
Agosto	213978	495,319	43,71	-451.61	Déficit hídrico	-91,2%	18883	8,82%
Setiembre	213978	495,319	80,78	-414.54	Déficit hídrico	-83,7%	34899	16,31%
Octubre	213978	495,319	71,40	-423.92	Déficit hídrico	-85,6%	30847	14,42%
Noviembre	213978	495,319	202,21	-293.11	Déficit hídrico	-59,2%	87353	40,82%
Diciembre	213978	495,319	85,42	-409.90	Déficit hídrico	-82,8%	36903	17,25%
<b>P. Anual</b>	<b>213978</b>	<b>495,319</b>	<b>88,784</b>	<b>-406.54</b>	<b>Déficit hídrico</b>	<b>-82,1%</b>	<b>38355</b>	<b>17,92%</b>

Para el escenario 04, considerando el % de la población servida, se tiene un déficit hídrico en todos los meses, el mes con mayor déficit hídrico es junio con -91.2%, en ese mes las microcuencas solo podrían abastecer al 8.50% de la población servida, el mes con menor déficit hídrico es marzo con -57.7%, en dicho mes las microcuencas podrían abastecer al 42.35% de la población servida en el escenario analizado,

pero esto también estaría condicionado por el sistema de abastecimiento, por otro lado el déficit hídrico anual en de -82.1% por lo que solo el 17.92% de la población servida podría ser abastecida (38355 habitantes).

### **Discusión**

Según el estudio Tarifario de la SUNASS (2021), la EPS Moyobamba abastece de agua a la población mediante tres sistemas; Juninguillo, Almendra y San Mateo; la última utiliza las fuentes Rumiyacu y Mishquiyacu, así mismo esta tiene un rendimiento de 81,52 l/s y una capacidad para abastecer a 35208 habitantes, lo cual representa al 58.99% de la población total en el 2020, sin embargo también nos indica que del total de población bajo el ámbito de influencia de la EPS, solo se tiene una cobertura del servicio del 83,2% por lo que San Mateo solo abastece al 70,90% del % de cobertura del servicio, aparte de la cantidad de agua que existe en las fuentes, el abastecimiento está condicionado por el sistema de tratamiento y distribución de agua, que ya es muy antiguo, frente a ello en la presente investigación se pretende conocer la disponibilidad de agua para abastecimiento poblacional, independientemente del tipo de tecnología que se usa o se podría usar en el futuro para tratar y distribuir el agua a la población.

Así entonces en el escenario base del 2023, se prevé que las fuentes tienen la capacidad para abastecer al 59,11% la población total y al 71,04%, si se considera solo el porcentaje de cobertura del servicio, como podemos ver no existe una diferencia significativa entre la capacidad de abastecimiento descrita en el estudio Tarifario de la SUNASS (2021), con los resultados obtenidos para el escenario base de esta investigación.

Por otro lado en el escenario 01, las fuentes solo tendrían la capacidad para abastecer al 28,79% de la población total y al 34,60% si se considera el % de cobertura del servicio, mientras que en el escenario 02 Rumiyacu y Mishquiyacu tendrían la capacidad para abastecer al 33,63% de la población total y al 40,42% si se considera el % de la población servida, cabe recalcar que ambos escenarios son en el 2040, si bien es cierto anteriormente se vio que en el escenario 02 se prevé un aumento en el caudal, sin embargo persiste la disminución del % de población que podría ser abastecida con dicho caudal, lo cual ocurre debido al aumento de la población año con año.

Respecto a los escenarios 03 y 04 del 2060, en el primero se prevé que las fuentes tendrían la capacidad para abastecer al 15,57% de la población total y al 18,72% si se considera el % de población servida y en el segundo, se prevé que la fuente tendría la capacidad para abastecer solo al 14,91% de la población total y al 17,92% si se considera el % de población servida.

Analizando desde el punto de vista poblacional, el crecimiento de la población Moyobambina está en aumento constante en los últimos años y se espera que lo siga haciendo según la información analizada de los últimos censos del INEI, así entonces en el escenario base, 01, 02, 03 y 04 se espera que las fuentes tengan la capacidad para abastecer a solo 42027, 36950, 43169, 40046 y 38355 habitantes respectivamente, teniendo una brecha de abastecimiento de -40,9%, -71,2%, -66,4%, -84,4% y -85,1% en los escenarios base, 01, 02, 03 y 04 de manera respectiva, si se consideraría solo el uso de estas fuentes.

Como podemos ver los resultados arrojan cifras de desabastecimiento preocupantes en todos los escenarios analizados, considerando que actualmente Rumiyacu y Mishquiyacu son las principales fuentes de abastecimiento de Moyobamba, sin embargo, la Estrategia Regional de Cambio Climático – San Martín (ERCC-SM, 2021), indica que la Región San Martín en general, presenta un balance hídrico positivo respecto al abastecimiento de agua para uso poblacional, considerando el total de sus fuentes, pero el presente estudio está realizado en una zona específica, por lo que el balance hídrico en todos los escenarios es negativo, así entonces Rumiyacu y Mishquiyacu con el pasar del tiempo dejarían de ser las principales fuentes de abastecimiento de la ciudad, debido a los impactos del cambio climático y al crecimiento poblacional.

Frente a ello Moyobamba y los tomadores de decisiones enfrentarían un gran reto en el futuro para abastecer de agua a la población por lo que se tendrían que analizar nuevas fuentes y/o otro tipo de tecnologías de abastecimiento de agua potable para así asegurar el desarrollo y la calidad de vida de los pobladores, al respecto las Naciones Unidas (s.f.) nos dice que por lo menos 02 mil millones de personas no tienen acceso a agua potable y la mitad de la población mundial aproximadamente sufre de escasez de agua en algún momento del año, así mismo indica que estas cifras aumentarían con la aceleración del crecimiento poblacional y del cambio climático.

## CONCLUSIONES

- ✓ Se generó la base de datos necesaria para estimar los caudales de las microcuencas en los distintos escenarios, utilizando el modelo SWAT, así entonces con respecto a la delimitación se utilizó el DEM de Alos Palsar, el tipo de suelo y uso de suelos fue adquirido gracias al apoyo del Proyecto Especial Alto Mayo – GRSM, así como también se solicitó información de los parámetros meteorológicos al SENAMHI, así entonces, se delimitó una cuenca de 796.00 ha, con una altura media de 1240.43 m.s.n.m, en donde predomina el cultivo de café y bosques primarios, así como el tipo de suelos predominantes son los cambisoles, y en su mayoría está formado por pendientes que van desde 20 a 40%.
- ✓ Los parámetros meteorológicos en los escenarios de cambio climático se generaron en la herramienta MarkSim, para lo cual primero se comparó datos de la estación meteorológica Moyobamba con datos simulados en dicha herramienta para conocer si los datos simulados eran significativos, posteriormente se procedió a generar los datos proyectados a futuro en todos los escenarios, de donde se pudo evidenciar que se prevé un aumento tanto de la temperatura mínima y máxima llegando a aumentar +1,5 °C en el peor de los escenarios, con respecto a la precipitación se notó que se espera cambios en cuanto a su frecuencia y a los periodos lluviosos.
- ✓ Posteriormente se estimó la disponibilidad hídrica en el modelo SWAT, utilizando como entrada la base de datos generada anteriormente, así entonces de toda la información que genera SWAT, solo se tomó los caudales de salida ya que es lo único que se necesita para cumplir los objetivos de la presente investigación, posteriormente se calibro los datos con el método “prueba error” y se calculó los caudales finales respetando el caudal ecológico, para lo cual se utilizó la información de la ANA, así entonces se estimó que en todos los escenarios se espera una disminución del caudal de hasta – 12,1% y un aumento en el escenario 02 de +2,7% con respecto al escenario base.
- ✓ Para analizar la capacidad de las microcuencas para abastecer a la población de Moyobamba, primero se estimó el crecimiento poblacional de esta hasta el años 2060, a partir de la cual se calculó los caudales de demanda con los que posteriormente se realizó un balance hídrico en todos los escenarios de donde se pudo notar que en el escenario 01, 02, 03 y 04 las microcuencas solo tienen la capacidad para abastecer a 36950, 43169, 40046 y 38355 habitantes, lo que

representa el 28,78%; 36,63%; 15,57% y 14,91% respectivamente, de la población total.

- ✓ El cambio climático genera variaciones en su mayoría negativas con respecto a la disponibilidad hídrica en las microcuencas de estudio, pero esto, también está condicionado al crecimiento poblacional ya que al aumentar la demanda de agua, se disminuye la capacidad de las fuentes para abastecimiento poblacional, por lo que Moyobamba se enfrentaría a un gran reto en el futuro en cuanto a asegurar el abastecimiento de agua a su población, ya que 02 de sus principales fuentes de abastecimiento en la actualidad, ya no tendrían la capacidad para abastecer a la mayor cantidad de su población en el futuro, por lo que será necesario evaluar otras fuentes y/o tecnologías de abastecimiento.

## RECOMENDACIONES

- ✓ Se recomienda a la EPS Moyobamba, implementar una estrategia de medición de caudales de las fuentes de agua que utiliza, ya que estos registros podrían ayudar a conocer el comportamiento y evolución de la disponibilidad hídrica a lo largo del tiempo y servir como fuente de información para investigaciones de esta naturaleza o relacionadas.
- ✓ Frente a evidenciar el cambio en los patrones de precipitación en cuanto a su intensidad, cantidad y a los periodos lluviosos, se recomienda realizar investigaciones en donde se analice su capacidad para producir desastres naturales como inundaciones, huaycos, sequias, etc., y la generación de sedimentos que podrían afectar negativamente a la calidad del agua.
- ✓ En el presente estudio se consideró que el uso de suelos es constante en todos los escenarios, por lo que se recomienda realizar futuras investigaciones en donde se proyecte cambios de uso de suelo, sobre todo relacionados a la agricultura, ya que ocupa un área considerable en la zona de estudio, así como también se recomienda incluir en dichos estudios la Zonificación Forestal de San Martín (2020) ya que sería bueno evaluar como el aumento de la agricultura afectaría a la disponibilidad hídrica y al ecosistema en general.
- ✓ Se recomienda implementar de manera adecuada planes de desarrollo urbano frente al notable incremento de la población, para que el desarrollo se genere de manera ordenada y aumente la calidad de vida de la población.
- ✓ Se recomienda evaluar otras posibles fuentes y/o tecnologías de abastecimiento de agua potable que ayuden en el futuro a hacer frente a las brechas de desabastecimiento y se pueda abastecer de manera adecuada a la población.
- ✓ Se recomienda a las entidades en general apoyar más a la investigación científica facilitando el acceso a información de manera adecuada ya que es necesaria para lograr objetivos planteados, además los resultados podrían ayudar a las mismas en su trabajo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Álvarez, R.A. (2020). *Clasificación de las investigaciones*. Universidad de Lima, Facultad de Ciencias Empresariales y Económicas, Carrera de Negocios Internacionales. <https://bit.ly/3nDrslX>

ANA. (2016). *Comité de subcuenca mayo*. Consultado el 10 de abril del 2022. <https://bit.ly/41snroA>

Andrades, J., Cuesta, L., Camargo, C., López, J., Torres, & Osorio, A. (2020). Propuesta metodológica para la construcción y selección de modelos digitales de elevación de alta precisión. *Colombia Forestal*, 23(2), 34-46. <https://doi.org/10.14483/2256201x.15155>

Arias, G.J. (2020). *Proyecto de tesis: Guía para la elaboración (1era edición)*. <https://bit.ly/3HUmBcW>

Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2018). RESOLUCIÓN DIRECTORAL N° 321-2018-ANA/AAA-HUALLAGA. [Plataforma del Estado Peruano]. <https://acortar.link/czgRrc>

Autoridad Nacional del Agua [ANA] (s. f.a). Agua y Cambio Climático. <https://bit.ly/42cIFbd>

Autoridad Regional Ambiental [ARA-GRSM]. (2020). *Estrategia Regional de Cambio Climático - San Martín (ERCC-SM, 2020)*. <https://www.regionsanmartin.gob.pe/OriArc.pdf?id=119872>

Ayala, D.M. (2017). *Uso del territorio y la calidad de agua en las microcuencas Rumiyacu y Mishquiyacu para una gestión eficiente de los recursos hídricos, Moyobamba 2016*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional de San Martín]. Repositorio Institucional UNSM. <https://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/2723>

Banco de Desarrollo de América Latina [CAF]. (2021, 13 de mayo). *Caudal Ecológico: su influencia en la supervivencia de los ecosistemas*. <https://bit.ly/42DJ7Pi>

Cabrera, J. (s.f.). *Calibración de Modelos Hidrológicos*, Universidad Nacional de Ingeniería. Consultado el 10 de febrero del 2024. [https://www.imefen.uni.edu.pe/Temas\\_interes/modhidro\\_2.pdf](https://www.imefen.uni.edu.pe/Temas_interes/modhidro_2.pdf)

CCAF. (2014c). Weather Simulation with MarkSim. <https://bit.ly/41fEASg>

CCAFS (s.f.). *FAQ for MarkSim*. Consultado el 10 de marzo del 2022. <https://bit.ly/3NLwzkR>

CCAFS. (s.f.). *How does MarkSim work?* Consultado el 30 de febrero del 2022 <https://bit.ly/3HNAfP2>

Centro Internacional de la papa [CIP]. (s. f.). *CGIAR*. Consultado el 15 de enero del 2022. <https://cipotato.org/es/cgiar/>

Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno de El Niño [CIIFEN]. (2022). *Escenarios y Proyecciones*. <https://ciifen.org/escenarios-y-proyecciones/>

Chacón, O.D. (2021). El Tiempo: El cambio climático influye en el caudal de los ríos a escala mundial. <https://acortar.link/NETKJ8>

Chavez, A.E. & Bazan, G.C. (2022). *Comportamiento de la escorrentía según proyecciones climáticas en la intercuenca Alto Huallaga 2020 – 2059*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Callao]. Repositorio Institucional UNAC. <https://repositorio.unac.edu.pe/handle/20.500.12952/6932>

Concepto. (2021, 5 de agosto). Crecimiento poblacional. <https://bit.ly/3B8WDyW>

Congreso de la República del Perú. (2018). *Ley N° 30806, Ley que modifica diversos artículos de la Ley 28303, Ley marco de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica; y de la Ley 28613, Ley del Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica (CONCYTEC)*. El Peruano. 4–8. <https://bit.ly/41kwSWI>

Cordova, V.A. (2013). *Evaluación ambiental del modelo de compensación por servicios ecosistémicos en la zona de alto valor ambiental Rumiyacu, Mishquiyacu, Almendra y Baños Sulfurosos, provincia de Moyobamba, región San Martín, Perú*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional de San Martín]. Repositorio Institucional UNSM. <https://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/2097>

DATAtan team. (s.f.). *Muestras dependientes e independientes*. Consultado el 05 de febrero de 2024. <https://datatab.es/tutorial/dependent-and-independent-samples>

DB-City. (2021). *Moyobamba*. <https://bit.ly/3Ma2Tq0>

Dicovsky, L. (s.f.). *Estadística II: Análisis de regresión múltiple*. Consultado el 25 de abril del 2024. <https://www.doccity.com/en/regresion-lineal-simple-11/7808536/>

EPS Moyobamba [@EPSMoyobambaSA] (2022, diciembre, 28). Captación de agua disminuye en 50 l/s debido a la falta de lluvias y se convierte en la más baja de los últimos 10 años [Status update]. <https://bitly.ws/VKT3>

Espinoza, E.E., & Calva, N.D. (2020). La ética en las investigaciones educativas. *Revista Universidad y Sociedad*, 12(4), 333-340. <https://bit.ly/3LQcDL6>

Estrategias de Inversión. (s.f.). *R2 (R cuadrado) o Coeficiente de Determinación*. Consultado el 01 de marzo del 2024. <https://acortar.link/z34dVH>

Excel Para Todos. (2023). *Hoja de Cálculo Excel*. <https://bit.ly/3MswlIM>

FAO & Unesco. (1976). *Mapa Mundial de Suelos, Volumen 01, Leyenda*. <https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/clasificacion-de-suelos/es/>

FAO. (2019). *Proyecciones climáticas mediante reducción estadística de escala para Uruguay*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://bit.ly/42Dg7aP>

FAO. (s.f.b). Portal de Suelos de la FAO. Consultado el 24 de abril del 2022. <https://bit.ly/42g2CxP>

Fernández, V.R. (2017). *UTILIZACIÓN DEL PROGRAMA “SWAT” PARA LA ESTIMACIÓN DE LA EMISIÓN DE SEDIMENTOS EN CUENCAS*. UNIVERSIDAD DE HUELVA. <https://bit.ly/3nH2mJ8>

Ferrero, R. (2020). *Máxima Formación. ¿QUÉ ES LA CORRELACIÓN ESTADÍSTICA Y CÓMO INTERPRETARLA?* <https://bit.ly/3WbTUOU>

Flores, M.J., & Neyra, H.L. (2022). Valores e integridad académica en los procesos de investigación científica. *Fides et Ratio*, 24, 129-143. <https://bit.ly/42I2TQ3>

Formaggio, L.F. (2021). *¿Qué es el ciclo hidrológico?* <https://bit.ly/41el8p0>

Franco, P.B. (2016). *VARIABLES CLIMATOLÓGICAS Y LOS ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS Y PAISAJÍSTICOS*. <https://bit.ly/3nzokxJ>

García, L.Y., Bedón, M.H., & Durán, G.M. (2022). *Proyección climática para el periodo 2006-2075 para el valle de Jauja, simulada por la intercomparación de modelos acoplados CSIRO Mk 3.0, MIROC-ESM y CNRM de fase 5 (CMIP5)*. Ingeniería Industrial, 297-330. <https://doi.org/10.26439/ing.ind2022.n.5813>

Geo innova. (2017, 14 de junio). *Conservación de los ecosistemas: Servicios ecosistémicos*. <https://bit.ly/3VQz6vZ>

Geo innova. (2021). *¿Qué es un SIG, GIS o Sistema de Información Geográfica?* <https://bit.ly/41yauCB>

Getaneh, B. & Getachew, T. (2021). VALIDATION OF DIFFERENT WEATHER GENERATOR TOOLS UNDER VARIOUS CLIMATIC CONDITION OF NORTH SHEWA, AMHARA REGION, ETHIOPIA. *Research in: Agricultural & Veterinary Sciences*, 5(3), 128-141. <https://bit.ly/41hF9ej>

GRADIOR. (2021). *EL RAZONAMIENTO DEDUCTIVO: QUÉ ES Y QUÉ CARACTERÍSTICAS TIENE*. <https://bit.ly/3OtAgfx>

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [IPCC]. (s. f.). *Home*. <https://bit.ly/2YOvWGq>

Guevara, A.G., Verdesoto, A.A., & Castro, M.N. (2020). Metodologías de investigación educativa (descriptivas, experimentales, participativas, y de investigación-acción). *RECIMUNDO*, 163-173. <https://bit.ly/3HTxo7A>

Guillen, V.O., Sánchez, C.M., & Begazo, B.L. (2020). *PASOS PARA ELABORAR UNA TESIS DE TIPO CORRELACIONAL (1era edición)*. <https://bit.ly/3VO2yCR>

Hoffmann, D. (2012). *Cambio climático Bolivia*. <https://bit.ly/44BNX1t>

Huamani, D.L. & Lazo, C.F. (2020). *Caracterización geomorfológica de una cuenca hidrográfica utilizando un modelo de elevación digital (DEM) y el software QGIS 3.10.0*. [Tesis de pregrado, Universidad Peruana Unión]. Repositorio Institucional UPU. <https://bit.ly/41IRiia>

Inguillay, G.L., Tercero, C.S., & López, A.J. (2020). Ética en la investigación científica. *Imaginario Social*, 3, 42-51. <https://bit.ly/3ppEnPb>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - Colombia [IDEAM]. (s. f.). *CONCEPTOS BÁSICOS DE CAMBIO CLIMÁTICO*. <https://bit.ly/2CSzpw8>

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. (2019). *¿Qué es una cuenca?* <https://bit.ly/3WN2xPH>

Instituto Nacional de Estadística e Informática - Perú [INEI]. (2017). *Sistema de Consultas de Información de los Censos Nacionales 2017 REDATAM*. <https://bit.ly/3B4dPFA>

International Center for Tropical Agriculture [CIAT]. (2019). *El CIAT y CGIAR*. <https://bit.ly/3M4SaTX>

IPCC. (2019). *SCENARIO PROCESS FOR AR5*. <https://bit.ly/3nA2lqq>

Janta, R., Khwanchum, L., Ditthakit, P., Al-Ansari, N. & Thi Thuy Linh, N. (2022). Water Yield Alteration in Thailand's Pak Phanang Basin Due to Impacts of Climate and Land-Use Changes. *Sustainability*, 14(15), 9106. <https://doi.org/10.3390/su14159106>

Jiménez, G.L. (2020). IMPACTO DE LA INVESTIGACIÓN CUANTITATIVA EN LA ACTUALIDAD. *TECH CONVERGENC*, 4(1), 59-68. <https://bit.ly/3W6WKVh>

Jones, P. (s.f.). *FAQ for MarkSim*. Consultado el 02 de febrero del 2024. <https://gisweb.ciat.cgiar.org/MarkSimGCM/docs/FAQ.html>

Jones, P.G. & Thornton, P.K. (2013). Generating downscaled weather data from a suite of climate models for agricultural modelling applications. *Agricultural Systems*, 114, 1-5. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2012.08.002>

León, O.R. (2017). *Modelación de la disponibilidad hídrica del río Piura, considerando la incidencia del cambio climático*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio Institucional UNALM. <https://acortar.link/7ORn8r>

León, O.R. Portuguez, M.D., & Chávarri, V.E. (2019). Modelación de la disponibilidad hídrica del río Piura - Perú, considerando la incidencia del cambio climático. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 21(3), 182 - 193. <https://doi.org/10.18271/ria.2019.476>

Lorenzo, J. (s.f). *ESTADÍSTICA BÁSICA, Introducción a la Prueba t de Student y el Análisis de la Varianza*. Consultado el 07 de febrero del 2024. <https://acortar.link/M10g7B>

Lozano-Parra, J. (2018). Recursos hídricos. Disponibilidad, variabilidad y gestión. *Revista de Geografía Norte Grande*, 71, 5-8. <https://doi.org/10.4067/s0718-34022018000300005>

Maldonado, S.L. (2021). *Oferta hídrica ante escenarios de cambio climático en la cuenca hidrográfica La Vieja - Colombia*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio Institucional UNAL. <https://bit.ly/3TmrkXR>

Mendivelso, F., & Rodríguez, M. (2021). PRUEBA NO PARAMÉTRICA DE CORRELACIÓN DE SPEARMAN. *Revista Médica Sanitas*, 24(1), 42-45. <https://doi.org/10.26852/01234250.578>

Microsoft. (2023). Información general sobre tablas dinámicas y gráficos dinámicos. <https://bit.ly/3BpVPWo>

Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego [MIDAGRI] - Perú. (2015). *Vertientes y disponibilidad de agua*. <https://bit.ly/3B7Hlor>

Mujica, J.F., & Orellana, A.N. (2021). Educar el respeto a la dignidad humana: Un valor fundamental para promover los derechos humanos. *Revista de Educación de Puerto Rico*, 4(1), 1-13. <https://bit.ly/3NPsZWL>

Naciones Unidas. (s.f.). *El agua: en el centro de la crisis climática*. <https://www.un.org/es/climatechange/science/climate-issues/water>

NATIONAL GEOGRAPHIC – ESPAÑA. (2023). *Así afecta el cambio climático al agua del planeta*. <https://bit.ly/2YRNWoi>

Navarro R.G. (2023). Cambio climático y agricultura: percepción de los agricultores en la cuenca alta del río Mayo, provincia de Moyobamba, Perú. [Tesis de maestría, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio Institucional UNALM. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/5953>

OECD. (2018). Manual de Frascati 2015: *Guía para la recopilación y presentación de información sobre la investigación y el desarrollo experimental*. Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología, FECYT. <https://doi.org/https://doi.org/10.1787/9789264310681-es>

Ojeda Romero, L. M., & Cerquera Sierra, L. F. (2021). *Análisis de calibración del modelo SWAT aplicado en la cuenca alta del río Cane-Iguaque*. [Tesis de pregrado, Universidad de La Salle]. Repositorio Institucional ULASALLE. [https://ciencia.lasalle.edu.co/ing\\_ambiental\\_sanitaria/1981](https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/1981)

ONU. (2020, 20 de noviembre). El agua, un recurso que se agota por el crecimiento de la población y el cambio climático. <https://bit.ly/3LJebX6>

Organización de las Naciones Unidas - Agua (Ed.) (2019). *Informe de políticas de ONU-AGUA sobre el Cambio Climático y el Agua*. ONU-Agua sobre el Agua y el Cambio Climático. <https://bit.ly/3M34Evs>

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO]. (s. f.). *Acerca de*. Consultado el 20 de abril de 2022. Consultado el 21 de febrero del 2022. <https://www.fao.org/about/es/>

Organización de las Naciones Unidas. (s.f.a). *Causas y efectos del cambio climático*. Consultado el 15 de enero del 2022. <https://bit.ly/3nEXZ1c>

Organización de las Naciones Unidas. (s.f.b). *¿Qué es el cambio climático?* Consultado el 15 de enero del 2022. <https://bit.ly/3B5zH3C>

Orozco, H., & Lamberto, J. (2022). La ética en la investigación científica. *Revista de Historia, Geografía, Arte y Cultura*, 10(19), 11-12. <https://bit.ly/3Ma6Fpv>

Pérez, C.P., Pérez, M.A. & Gil, G.S. (2020). Repercusiones de las condiciones ambientales altitudinales en la variabilidad de la disponibilidad hídrica en la cuenca del río Ródano en escenarios de cambio climático. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 40(1), 159 - 182. <https://doi.org/10.5209/aguc.69337>

Polonía, R.C., Cardona, O.F., Castañeda, G.G., Vargas, I.A., Calvache, S.O., & Abanto, V.W. (2020). Metodología de investigación Cuantitativa & Cualitativa. Institución Universitaria Antonio José Camacho. <https://bit.ly/3BsDgAX>

Quezada, C.Y. & Rodríguez, R.R. (2021). *Escenarios de disponibilidad hídrica al 2050 mediante el modelo SWAT en la cuenca del río Moche - departamento de La Libertad*. [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional UCV. <https://bit.ly/3Tkoz9I>

Quispe, C.K. & Huanca, Q.C. (2021). *Evaluación de la disponibilidad hídrica en la cuenca llave bajo escenarios del cambio climático*. [Tesis de pregrado, Universidad Peruana Unión]. Repositorio Institucional UPU. <https://bit.ly/3DQ9vLi>

Ramírez, P.M. (2017). *Determinación del balance hídrico y calidad del agua de la microcuenca quebrada Santa Clara para el consumo humano de la localidad Santa*

Clara, 2017 [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Martín]. Repositorio Institucional UNSM. <https://bit.ly/42ei39y>

Ramos, G.C. (2020). LOS ALCANCES DE UNA INVESTIGACIÓN. *CienciAmérica*, 9(3), 1-6. <https://doi.org/10.33210/ca.v9i3.336>

Red de Información Ambiental de Andalucía [Rediam]. (s. f.). *Información Relativa al Modelo de Circulación General MIROC. Escenario Locales de Cambio Climático de Andalucía actualizados al V Informe del IPCC*. Consultado el 30 de abril del 2022. <https://bit.ly/3HMUQDI>

Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security [CCAFS]. (2014a). *About Us*. <https://bit.ly/3M3uKhW>

Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security [CCAFS]. (2014b). Generating credible weather data for future climates. <https://bit.ly/42BRGtQ>.

Reyes, G.F. (2018). *Influencia del cambio de cobertura y uso del suelo en el volumen medio anual de escurrimiento natural (años 1993, 2003 y 2017), en la Parte alta de la cuenca del río La Antigua, Veracruz, México*. [Tesis de maestría, Instituto Politécnico Nacional]. Repositorio Institucional IPN. <https://acortar.link/iczh8X>

Rodríguez, R.C., Breña, O.J., & Esenarro, V.C. (2021). *Las variables en la metodología de la investigación científica (1er edición)*. <https://bit.ly/3Bac1uP>

Sánchez, E., Gualán, R., Campozano, L., Samaniego, E., & Vázquez, A. (2014). Simplificación del proceso complejo de reducción de escala de los modelos climáticos globales por medio de la aplicación web SDW. *Maskana*, 5(2). <https://doi.org/10.18537/mskn.05.02.09>

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú [SENAMHI]. (2017). Disponibilidad hídrica. <https://bit.ly/3HPsZT8>

Singh, C.J., Santosh, S.M., Debu, M., Anjali, K. Moanaro, L., Srinivasa, M.R., Bikash, D., Singh, A.K., & Bhatt, B.P. (2019). Spatio-temporal temperature variations in MarkSim multimodel data and their impact on voltinism of fruit fly, *Bactrocera* species on mango. *Scientific Reports* 9. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-45801-z>

SUNASS. (2021). *Estudio tarifario: Empresa prestadora de servicios de saneamiento de Moyobamba sociedad anónima EPS MOYOBAMBA S.A. 2021 – 2016*. <https://www.epsmoyobamba.com.pe/estudio-tarifario-pmo>

Torres-Degró, A. (2011). Tasas de crecimiento poblacional(r): Una mirada desde el modelo lineal, geométrico y exponencial. *CIDE digital*, 2(1), 143-162. <https://bit.ly/3NMZYej>

Uribe, N.; Quintero, M.; Valencia, J. (2013). *Aplicación del Modelo Hidrológico SWAT (Soil and Water Assessment Tool) a la Cuenca del Río Cañete (SWAT)*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). <https://bit.ly/3ppwdq4>

Velázquez, A. (s.f.). *Question Pro. ¿Qué es la investigación correlacional?* Consultado el 15 de mayo del 2023. <https://bit.ly/2nOGclD>

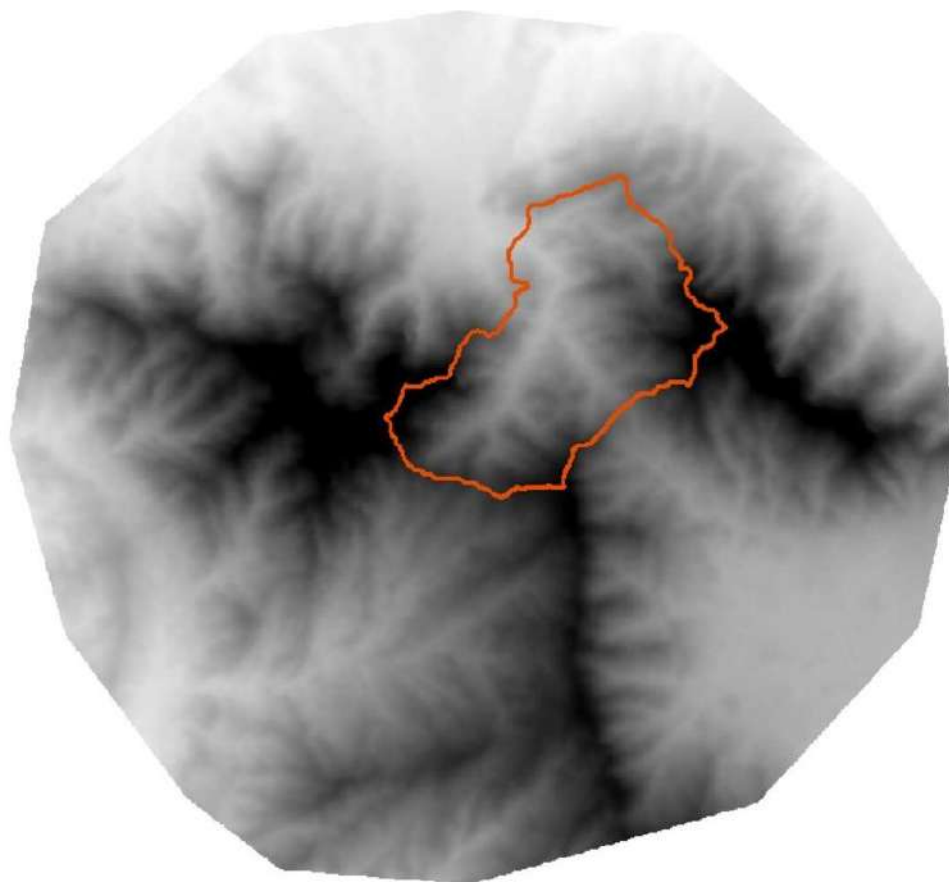
WorldClim. (2020). *Global climate and weather data*. <https://www.worldclim.org/data/index.html>

Zelaya, C., Rodríguez, C.J. (2021). *Manual para interpretación de datos climáticos. Guía Metodológica - Módulo I diplomado*. CGIAR. <https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/113238>

Zeydalinejad, N., Nassery, H.R., Shakiba, A.R. and Alijani, F. (2021). The Evaluations of NEX-GDDP and Marksim Downscaled Data Sets Over Lali Region, Southwest Iran. *Journal of the Earth and Space Physics*, 46(4), 213-230. <https://bit.ly/3nIT5jJ>

## ANEXOS

### Anexo 01. Modelo de elevación digital utilizado.



**Figura 52**  
*Anexo 01. Modelo de elevación digital.*

**Fuente:** *Alos Palsar*

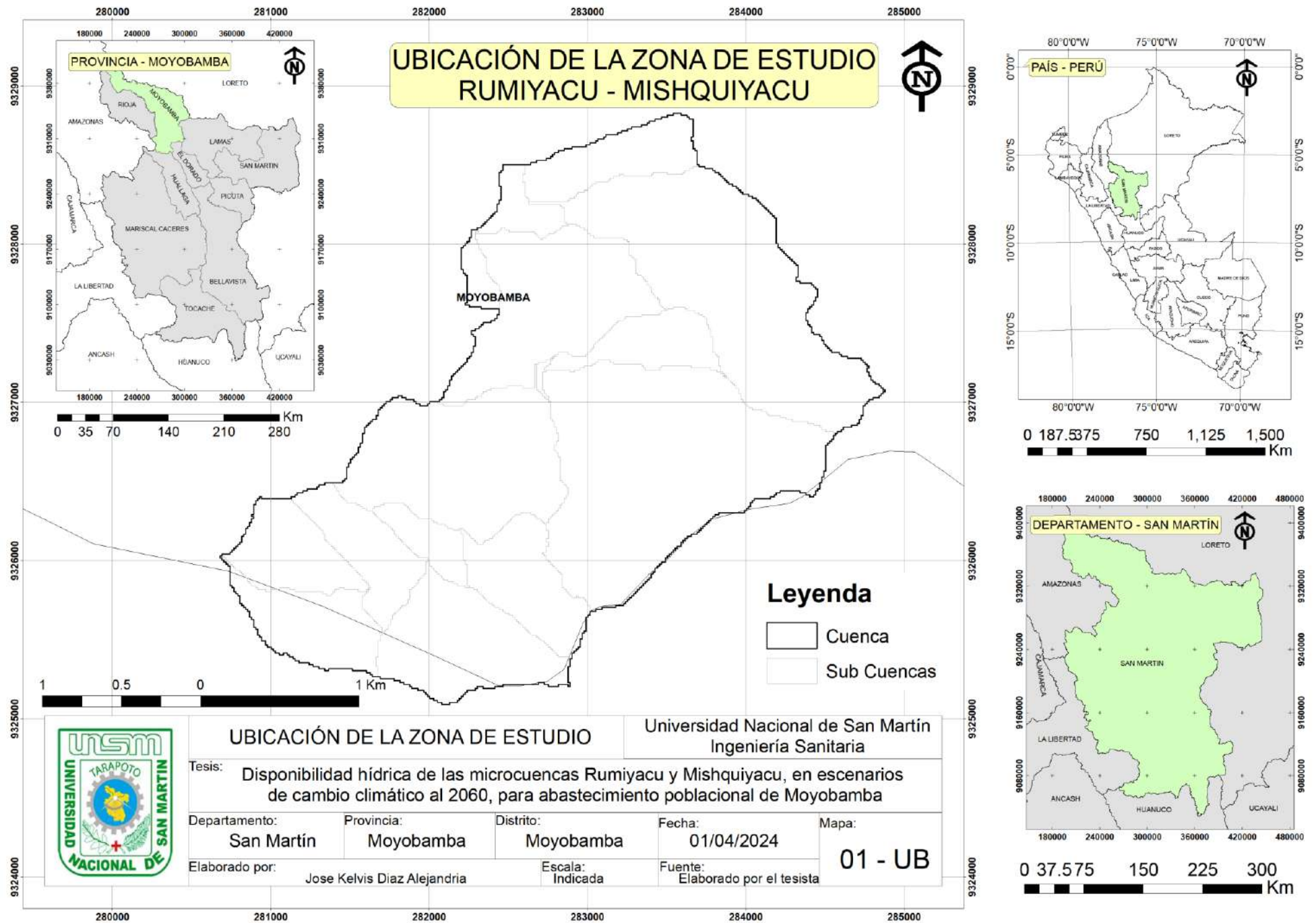


Figura 53  
Anexo 02. Mapa de ubicación de la zona de estudio.

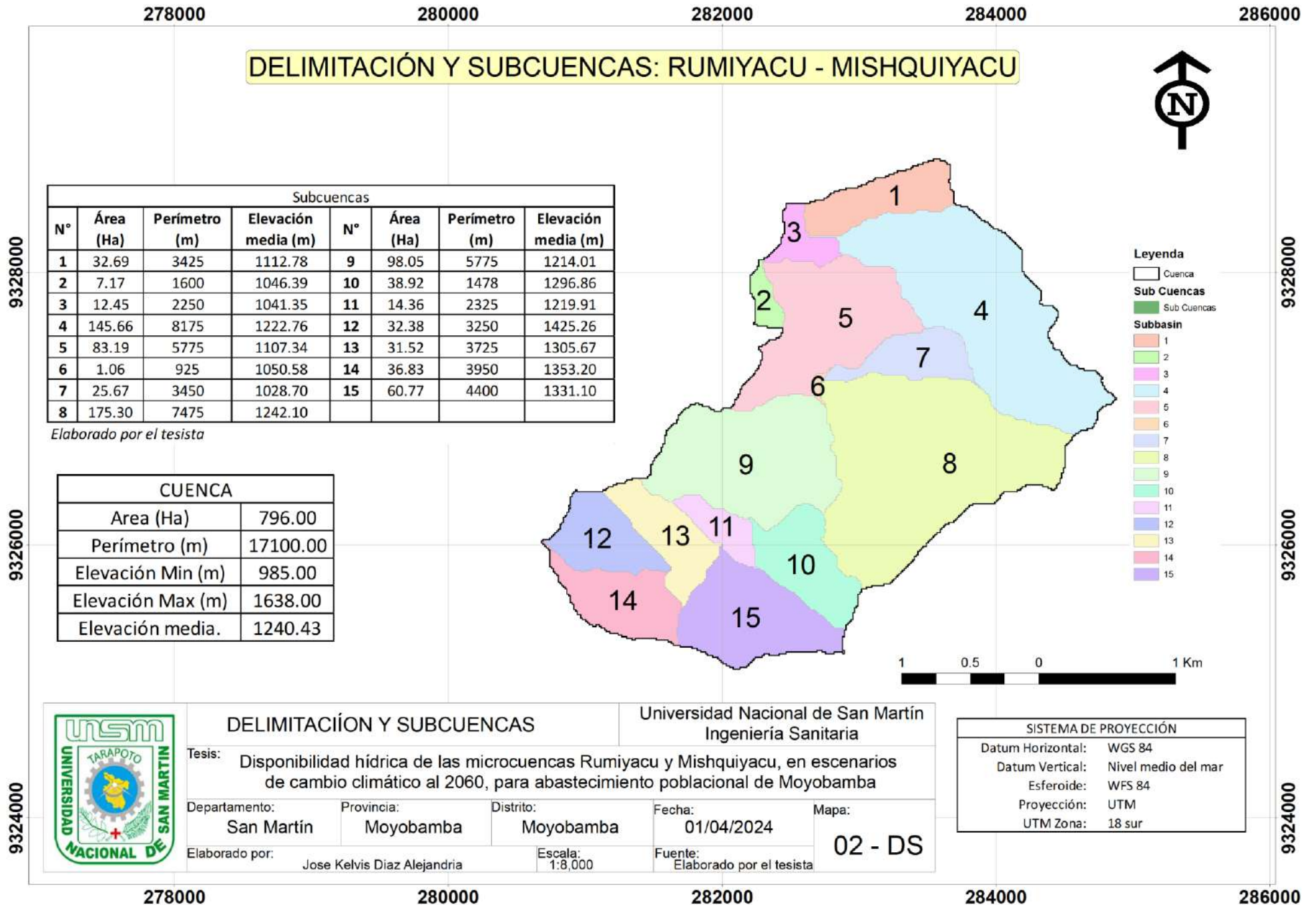


Figura 54  
Anexo 03. Mapa de delimitación y sub cuencas.

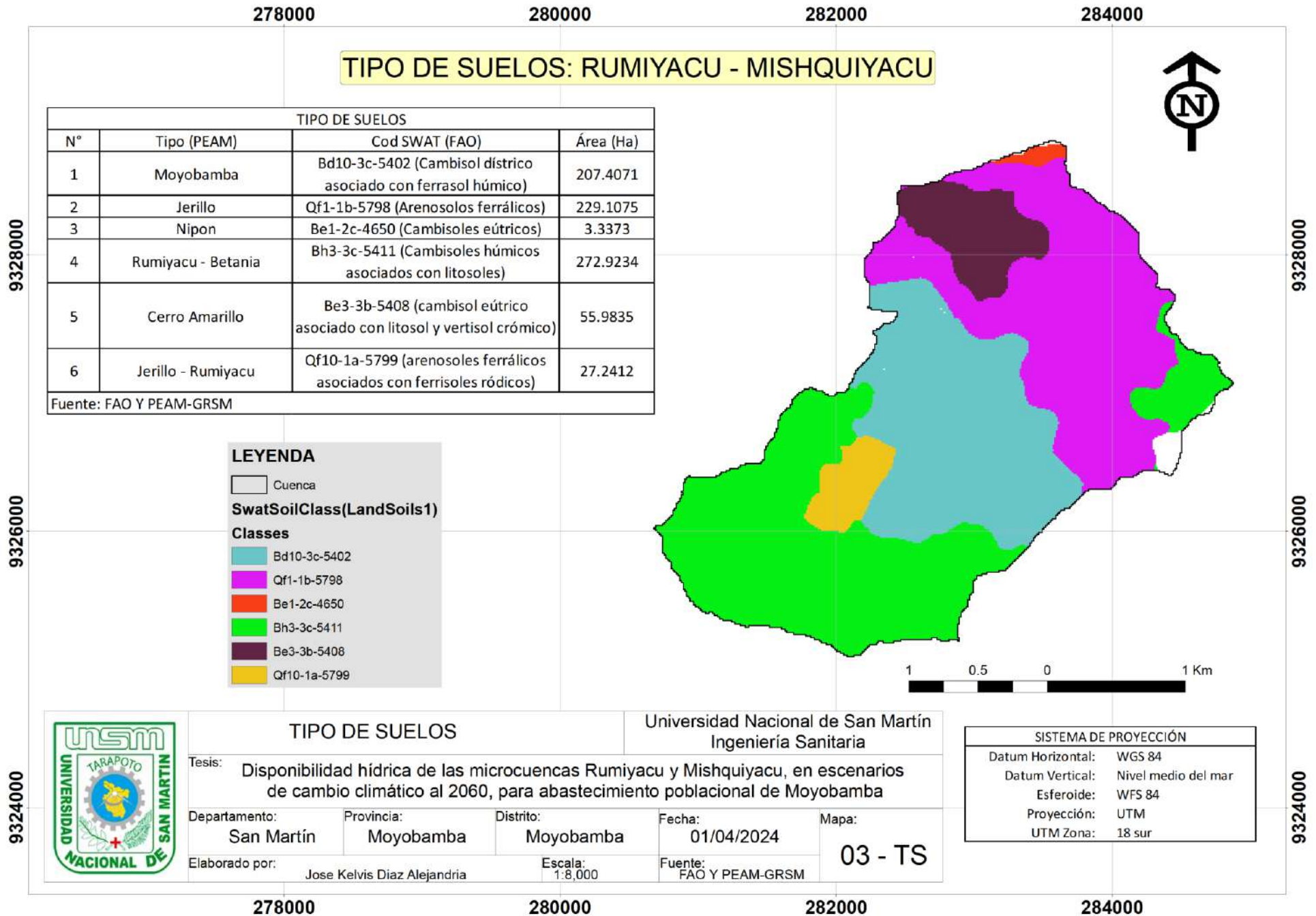
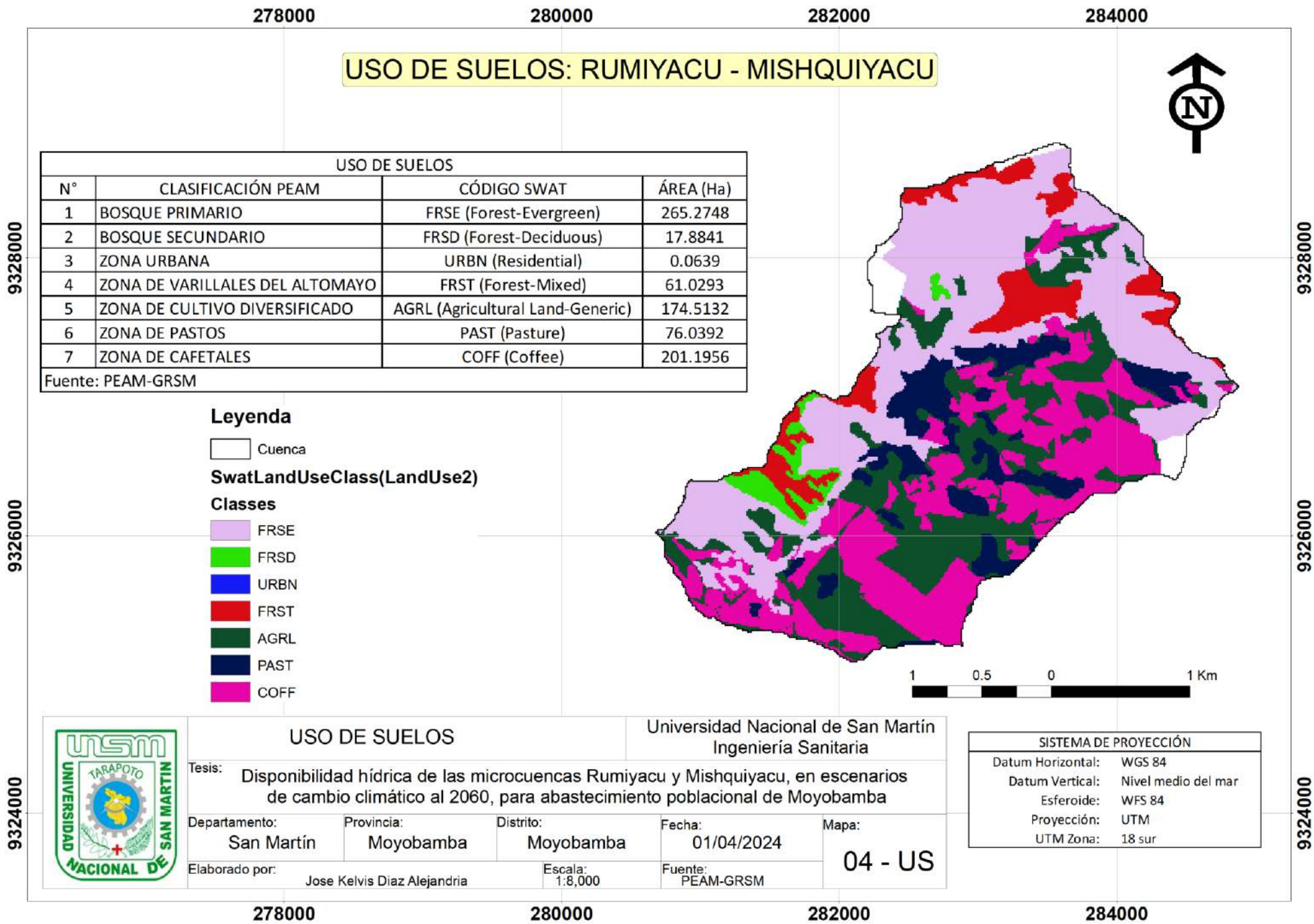
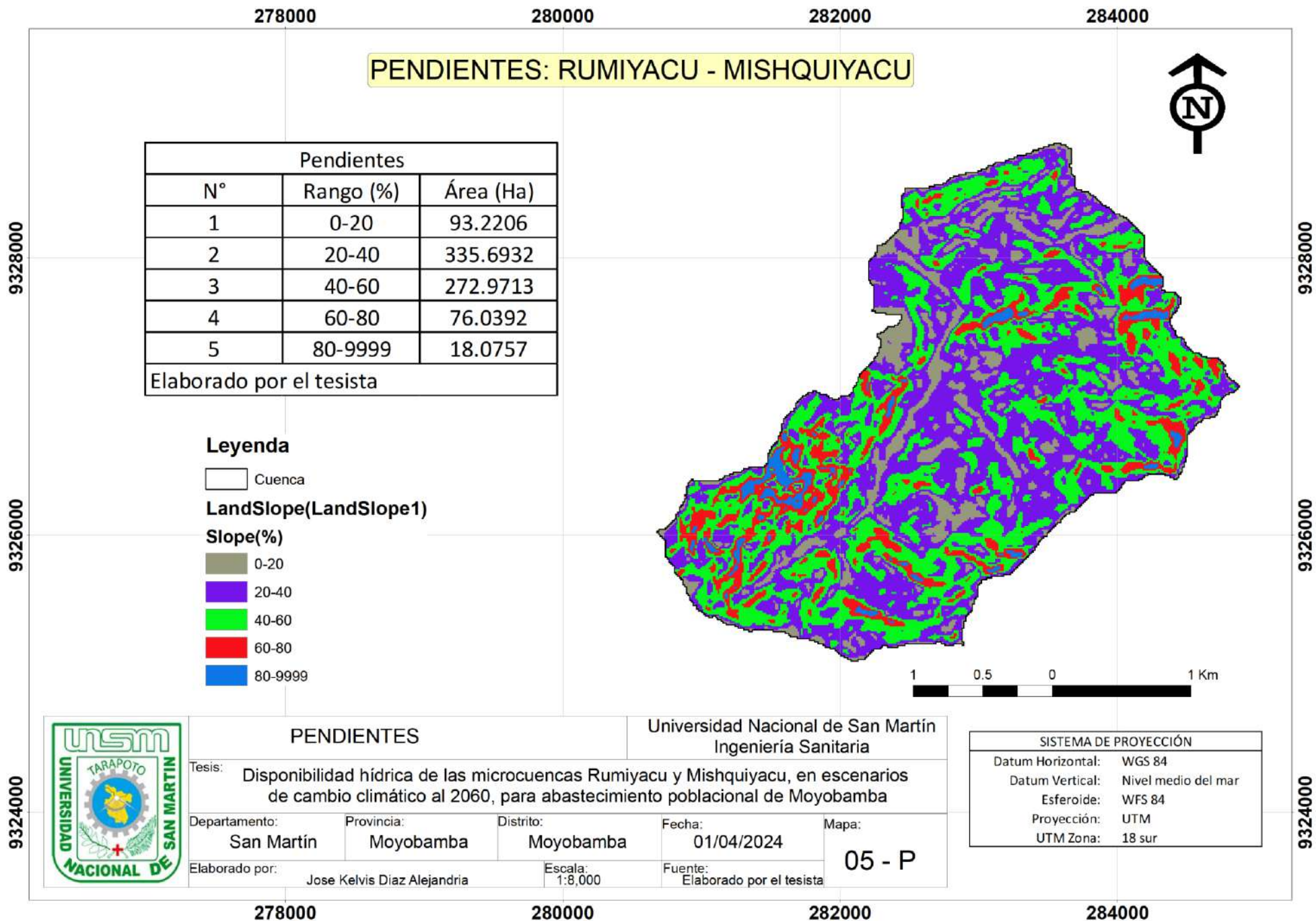


Figura 55  
Anexo 04. Mapa de tipo de suelos.



**Figura 56**  
**Anexo 05.** Mapa de uso de suelos.



**Figura 57**  
Anexo 06. Mapa de pendientes.



### Información básica

Fuentes naturales de agua	Superficial	
Clase y tipo de uso	Poblacional	Población proyectada a 20 años: 102.631 personas
Nombre de las fuentes	Quebradas: Rumiayacu, Mishquiyacu, Vertientes 01, 02, 03 y 04	
Unidad hidrográfica	49844-Cuenca Mayo	
Puntos de captación	Ubicación política:	Ubicación geográfica: Coordenadas UTM, Datum WGS84
	Dpto./Región: San Martín Provincia: Moyobamba Distrito: Moyobamba Sector: Baños Termales San Mateo	Quebrada Rumiayacu 282 817 m E, 9 327 873 m N Altitud: --- m s.n.m. Quebrada Mishquiyacu 282 218 m E, 9 328 138 m N Altitud: --- m s.n.m. Quebrada Vertiente 01 282 115 m E, 9 328 244 m N Altitud: --- m s.n.m. Quebrada Vertiente 02 282 113 m E, 9 328 259 m N Altitud: --- m s.n.m. Quebrada Vertiente 03 282 096 m E, 9 328 271 m N Altitud: --- m s.n.m. Quebrada Vertiente 04 282 053 m E, 9 328 346 m N Altitud: --- m s.n.m.

### CAUDAL ECOLÓGICO DE LAS FUENTES DE AGUA SUPERFICIAL

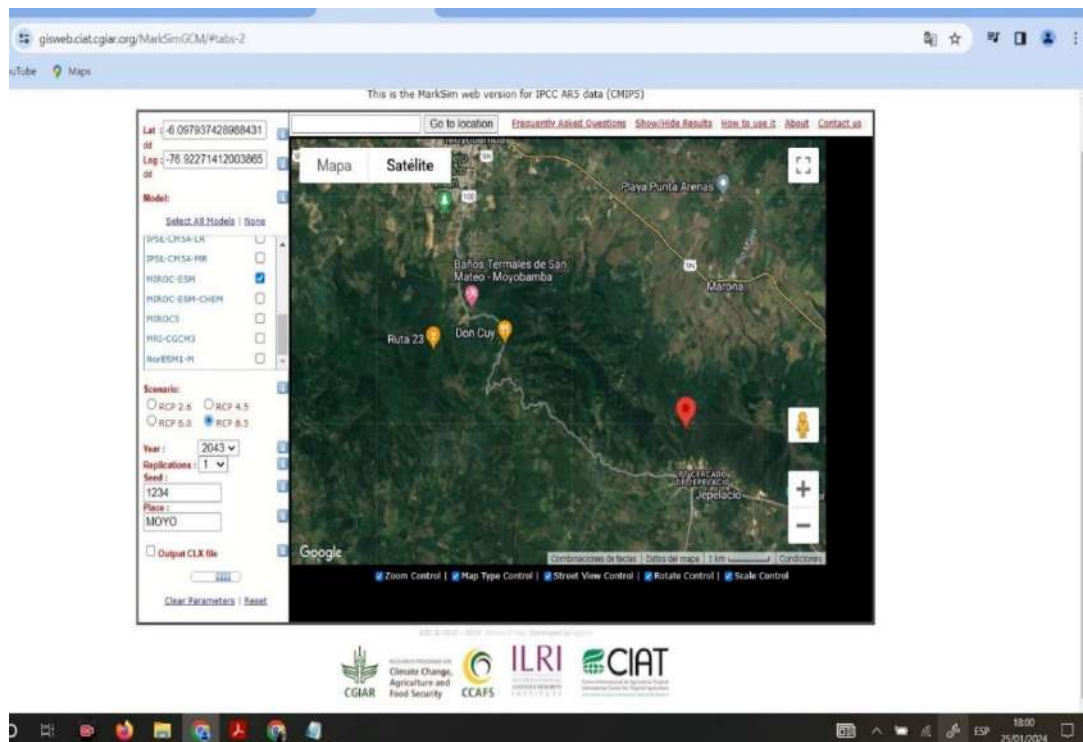
Descripción		Meses												Total
		Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	
Quebrada Rumiayacu	Caudal (l/s)	8,51	9,39	22,04	13,15	15,70	13,87	10,06	12,51	17,31	16,04	30,05	10,97	
	Volumen (m <sup>3</sup> )	23 071,74	22 704,19	59 023,90	34 071,84	42 040,17	35 948,45	26 933,99	33 494,73	44 875,30	42 968,23	77 888,30	29 387,40	472 408,24
Quebrada Mishquiyacu	Caudal (l/s)	3,81	4,15	9,73	5,81	6,93	6,13	4,44	5,52	7,65	7,09	13,27	4,85	
	Volumen (m <sup>3</sup> )	10 191,31	10 027,58	26 071,55	15 049,15	18 569,35	15 678,59	11 896,11	14 796,82	19 821,02	18 979,14	34 404,91	12 982,20	208 667,75
Quebrada Vertiente 01	Caudal (l/s)	0,10	0,11	0,26	0,16	0,19	0,17	0,12	0,15	0,21	0,19	0,36	0,13	
	Volumen (m <sup>3</sup> )	276,88	270,95	704,42	406,94	502,20	427,68	321,41	397,74	536,54	514,25	929,23	350,87	5 638,12
Quebrada Vertiente 02	Caudal (l/s)	0,28	0,31	0,72	0,43	0,51	0,45	0,33	0,41	0,57	0,52	0,96	0,36	
	Volumen (m <sup>3</sup> )	752,63	742,69	1 928,45	1 111,97	1 374,02	1 174,18	879,85	1 092,79	1 485,78	1 402,14	2 542,75	956,87	15 426,12
Quebrada Vertiente 03	Caudal (l/s)	0,03	0,03	0,07	0,04	0,05	0,04	0,03	0,04	0,05	0,05	0,09	0,03	
	Volumen (m <sup>3</sup> )	69,64	67,74	176,77	101,09	124,55	108,86	80,35	100,44	132,19	128,56	233,26	88,39	1 411,86
Quebrada Vertiente 04	Caudal (l/s)	2,01	2,19	5,13	3,06	3,66	3,23	2,34	2,91	4,03	3,74	7,00	2,56	
	Volumen (m <sup>3</sup> )	5 375,55	5 288,37	13 748,23	7 936,70	9 790,89	8 374,75	6 275,49	7 802,18	10 454,83	10 007,84	18 145,30	6 845,99	110 046,12

### VOLUMEN ACREDITADO m<sup>3</sup>

Descripción	Meses												Total
	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	
Quebrada Rumiayacu	73 725,64	83 377,73	397 295,11	177 046,56	104 307,61	74 107,87	18 705,95	55 883,48	124 693,34	109 566,65	311 767,06	130 566,64	1 661 043,63
Quebrada Mishquiyacu	51 545,81	53 960,26	194 467,91	96 562,37	65 050,30	51 098,69	27 235,31	43 672,65	73 439,14	67 372,47	156 081,17	75 663,84	957 149,91
Quebrada Vertiente 01	2 482,88	2 438,55	6 339,77	3 662,50	2 845,80	2 423,52	1 821,31	2 253,87	3 040,42	2 914,10	5 265,65	3 157,83	38 646,20
Quebrada Vertiente 02	6 773,67	6 684,25	4 537,21	10 007,71	7 785,11	6 653,66	4 985,84	6 192,46	8 306,06	7 945,47	14 408,93	8 629,80	92 911,19
Quebrada Vertiente 03	626,75	609,64	0,00	909,79	705,76	616,90	455,33	569,16	749,09	728,52	1 321,92	795,48	8 088,34
Quebrada Vertiente 04	48 379,94	47 595,34	0,00	71 430,34	55 481,72	47 456,93	35 561,12	44 212,35	59 244,05	56 711,10	94 355,28	61 613,91	622 042,07
<b>Total</b>	<b>183 534,68</b>	<b>194 665,77</b>	<b>602 640,00</b>	<b>359 619,26</b>	<b>236 177,29</b>	<b>182 357,57</b>	<b>88 764,85</b>	<b>152 783,97</b>	<b>269 472,10</b>	<b>245 236,32</b>	<b>583 200,00</b>	<b>281 427,52</b>	<b>3 379 881,34</b>

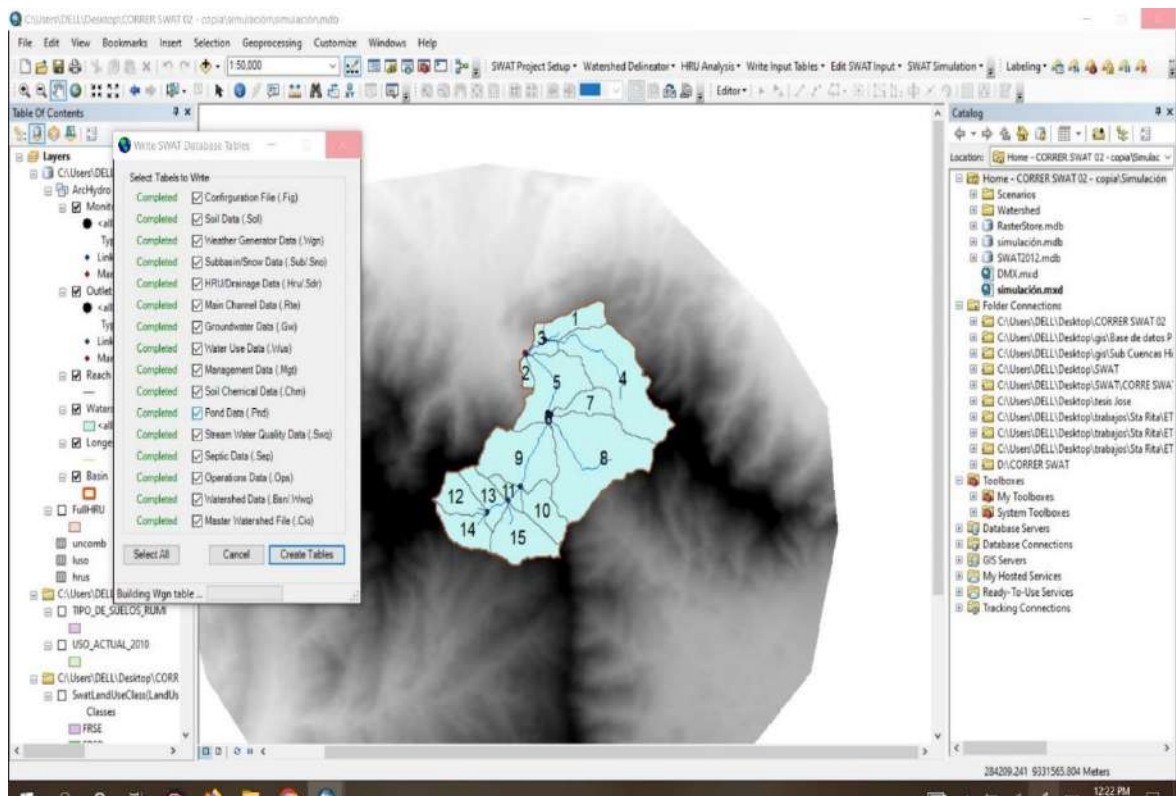
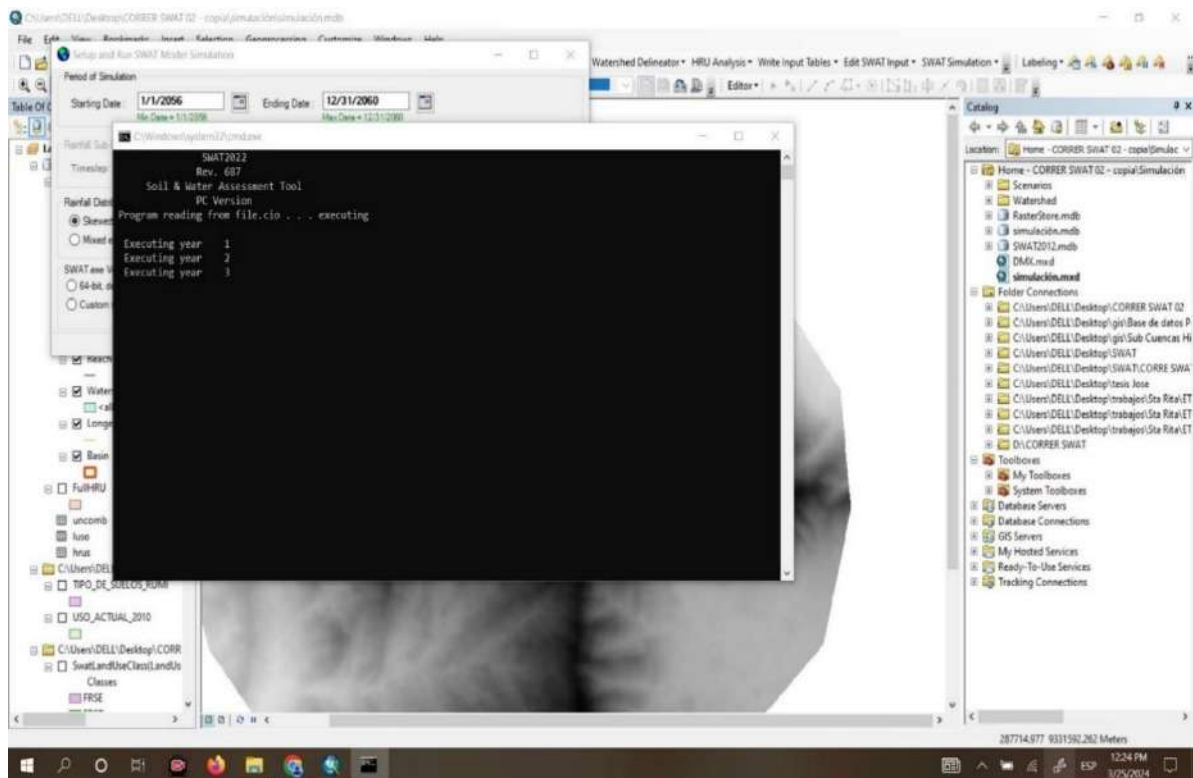


## Anexo 08. Vistas de las simulaciones de parámetros meteorológicos en MarkSIM



**Figura 58**  
Anexo 08. Simulaciones en MarkSIM.

## Anexo 09. Vistas del Modelo SWAT.



**Figura 59**  
Anexo 09. Vistas del modelo SWAT.

## Anexo 10. Solicitudes de información.

### ✓ Solicitud de información al SENAMHI

Sr. JUAN CARLOS REQUEJO ALEMAN  
GERENTE GENERAL DEL SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA  
DEL PERU - SENAMHI

Presente.-

Jose Kelvis Diaz Alejandria

(Nombres y Apellidos)

C.P. Marona, S/N Moyobamba - San Martín

(Dirección)

con N° DNI: 71408237 Telf: 939614243 E-mail: josekda99@gmail.com

Universidad/ Instituto: Universidad Nacional de San Martín

Carrera/ Profesión: Ingeniería Sanitaria

Ante usted me presento y expongo;

Que, actualmente me encuentro ejecutando el proyecto de tesis titulado "Disponibilidad hídrica de las microcuencas Rumiyacu y Mishquiyacu, en escenarios de cambio climático al 2060, para abastecimiento poblacional de Moyobamba" aprobado para ejecución con Resolución N° 515-2023-UNSM/CF/FE, de la Facultad de Ecología de la Universidad Nacional de San Martín, el cual tiene como objetivo analizar como varía la disponibilidad de agua de la zona de estudio, para abastecimiento poblacional debido a los impactos del cambio climático y el crecimiento poblacional, es por ello que solicito la siguiente información:


ESTACIÓN	PARÁMETROS	ESCALA	PERÍODOS
MOYOBAMBA	Temperatura máxima, temperatura mínima. Precipitación total, Humedad relativa, Radiación solar y Caudales.	DIARIA	Desde el 2013 hasta el 2023
RIOJA	Temperatura máxima, temperatura mínima. Precipitación total, Humedad relativa, Radiación solar y Caudales.	DIARIA	Desde el 2013 hasta el 2023
JEPELACIO	Temperatura máxima, temperatura mínima. Precipitación total, Humedad relativa, Radiación solar y Caudales.	DIARIA	Desde el 2013 hasta el 2023
SORITOR	Temperatura máxima, temperatura mínima. Precipitación total, Humedad relativa, Radiación solar y Caudales.	DIARIA	Desde el 2013 hasta el 2023

Por lo expuesto, agradeceré a usted atender lo solicitado.

Lima, 24 de enero del 2024

Firma del Usuario

## ✓ Información del PEAM-GRSM

**GOBIERNO REGIONAL  
SAN MARTÍN**

**PROYECTO ESPECIAL ALTO MAYO**  
**GERENCIA GENERAL**

004-2024391093

Moyobamba, 05 de marzo del 2024

**CARTA N° 197-2024-GRSM-PEAM-GG**

Señor:  
**JOSE KELVIS DIAZ ALEJANDRÍA**  
Tesisista – Cel. N° 939614243  
**Ciudad.-**


Asunto : Remito información solicitada.

Referencia : Carta N° 04-2024/JKDA

Mediante la presente me dirijo a usted, y en atención a su carta indicada en la referencia, remitir un CD conteniendo la información referente a la base de datos de la cartografía (shapefile) y descriptiva de la temática en formato PDF y Word, perteneciente a la ZoCRE Rumialba.

Sin otro en particular, me suscribo de usted.

Atentamente,

  
**GOBIERNO REGIONAL DE SAN MARTÍN**  
**PROYECTO ESPECIAL ALTO MAYO**  
**Ing. MILTON AREVALO MUÑOZ**  
Gerente General

C.c. Archivo

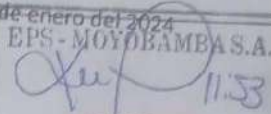
✓ **Solicitudes de información a la EPS MOYOBAMBA**

"AÑO DEL BICENTENARIO, DE LA CONSOLIDACIÓN DE NUESTRA INDEPENDENCIA, Y DE LA  
CONMEMORACIÓN DE LAS HEROICAS BATALLAS DE JUNÍN Y AYACUCHO"

CARTA N° 02-2024/JKDA

Moyobamba, 11 de enero del 2024

Señor,  
**Ing. Ivan Gustavo Reategui Acedo**  
 Gerente General de la EPS Moyobamba  
 Presente. –

EPS - MOYOBAMBA S.A.  
  
 11 ENE 2024  
 Secretaría Gerencia General  
 N° de Ingreso .....

**ASUNTO: SOLICITO ACCESO AL ÁREA DE LAS MICROCUENCAS RUMIYACU Y MISHQUIYACU,  
PARA EJECUCIÓN DE TESIS**

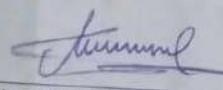
Yo, Jose Kelvis Diaz Alejandria, egresado de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria, de la Facultad de Ecología, de la Universidad Nacional de San Martín, identificado con DNI N° 71408237, me dirijo a usted, para saludarle cordialmente y a la vez indicarle, en aras de ejecutar el Proyecto de Investigación para la obtención de Título Profesional de ingeniero sanitario, aprobado con Resolución N° 515-2023-UNSM/CF/FE, titulado: "Disponibilidad hídrica de las microcuencas Rumiyacu y Mishquiyacu, en escenarios de cambio climático al 2060, para abastecimiento poblacional de Moyobamba"; bajo asesoría del Ing. M. Sc. Santiago Alberto Casas Luna.

Solicito a su despacho se me autorice el ingreso a las microcuencas Rumiyacu y Mishquiyacu, el día viernes 26 de enero del 2024, con fines de realizar un reconocimiento del área de estudio y obtener información de caudales mediante aforos, cabe recalcar que el ingreso es netamente con fines de lograr los objetivos propuestos en la investigación, esperando de antemano su apoyo y colaboración con la investigación.

Adjunto:  
 Carta de presentación de tesista.

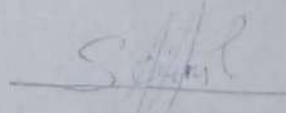
Sin otro particular nos despedimos de usted, agradeciéndole la recepción y la atención a nuestra solicitud.

Atentamente,


---

Jose Kelvis Diaz Alejandria  
 DNI: 71408237  
 N° Celular: 939 614 243  
 Tesiste


---

Ing. M. Sc. Santiago Alberto Casas Luna  
 N° Celular: 975 429 187  
 Asesor

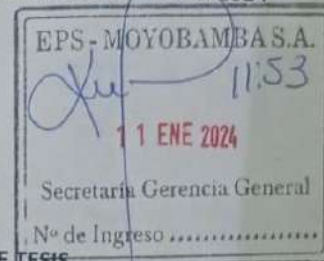
"AÑO DEL BICENTENARIO, DE LA CONSOLIDACIÓN DE NUESTRA INDEPENDENCIA, Y DE LA  
CONMEMORACIÓN DE LAS HEROICAS BATALLAS DE JUNÍN Y AYACUCHO"

Moyobamba, 11 de enero del 2024

**CARTA N° 03-2024/JKDA**

Señor,

**Ing. Ivan Gustavo Reategui Acedo**  
Gerente General de la EPS Moyobamba  
Presente. –



**ASUNTO: SOLICITO INFORMACIÓN PARA EJECUCIÓN DE PROYECTO DE TESIS**

Yo, Jose Kelvis Diaz Alejandria, egresado de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria, de la Facultad de Ecología, de la Universidad Nacional de San Martín, identificado con DNI N° 71408237, me dirijo a usted, para saludarle cordialmente y a la vez indicarle que me encuentro ejecutando el Proyecto de Investigación para la obtención de Título Profesional de ingeniero sanitario, aprobado con Resolución N° 515-2023-UNSM/CF/FE, titulado: "Disponibilidad hídrica de las microcuencas Rumiyacu y Mishquiyacu, en escenarios de cambio climático al 2060, para abastecimiento poblacional de Moyobamba"; bajo asesoría del Ing. M. Sc. Santiago Alberto Casas Luna.

Por lo que en aras de lograr los objetivos propuestos solicito a su despacho se me facilite el acceso a la siguiente información:

- ✓ Sectores de Moyobamba beneficiados con agua proveniente de Rumiyacu y Mishquiyacu (número de beneficiarios, cantidad de conexiones).
- ✓ Base de datos (shapefiles) de la delimitación de las microcuencas Rumiyacu y Mishquiyacu, de donde pueda extraer pendientes, unidades de respuesta hidrográfica, área, etc.
- ✓ Base de datos (shapefiles) del tipo de suelos de las microcuencas Rumiyacu y Mishquiyacu.
- ✓ Base de datos (shapefiles) del uso actual de suelos de las microcuencas Rumiyacu y Mishquiyacu.
- ✓ Caudales históricos registrados en las microcuencas de los últimos 10 años o más.

Cabe recalcar que la información se utilizará netamente para lograr los objetivos propuestos en la investigación, esperando de antemano su apoyo y colaboración con la investigación.

Sin otro particular me despido de usted, agradeciéndole la recepción y la atención a mi solicitud, estando a su disposición para cualquier coordinación que considere pertinente.

## Anexo 11. Ficha de recolección de datos.

## FICHA TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

PROYECTO DE TESIS	Disponibilidad hídrica de las microcuencas Rumiyacu y Mishquiyacu, en escenarios de cambio climático al 2060, para abastecimiento poblacional de Moyobamba
Fecha y hora:	09/02/2024 (9:00 am)
Responsable:	José Kelvin Díaz Aljandira (tesisista)

Datos generales recolectados (considerados de acuerdo a los objetivos de la investigación).

Microcuenca	Rumiyacu y Mishquiyacu
Ubicación	Coordenadas (punto de captación): Simulador. UTM X = 282635.70 ; Y = 9328259.5
Cobertura vegetal	Especies observadas: - Bosques primario - Pastos
Agricultura	Especies que se cultivan: - Café - plátano - maíz
Población beneficiaria	Sectores: Total:

## OTROS

La información recolectada en campo sirvió principalmente para constatar la información secundaria recolectada de las entidades, así entonces, se pudo observar que gran parte de la zona de estudio está cubierta por bosque primario, así mismo, predomina el cultivo de café, tal como se pudo ver en la información solicitada al PEAM, no se hizo una mayor recolección de información ya que de acuerdo al tipo de investigación y al objetivo planteado en el presente estudio, no era necesario, debido a que la información necesaria para lograr los resultados esperados, en su mayoría era secundaria, con lo que finalmente se logró cumplir los objetivos específicos y por ende el objetivo general, gracias al apoyo de las entidades.

**Anexo 12. Panel Fotográfico: Visita de reconocimiento de la zona de estudio.**





# Disponibilidad hídrica de las microcuencas Rumiycu y Mishquiyacu, en escenarios de cambio climático al 2060, para abastecimiento poblacional de Moyobamba

*por* Jose Kelvis Diaz Alejandria

---

**Fecha de entrega:** 09-ene-2025 09:57a.m. (UTC-0500)

**Identificador de la entrega:** 2559346693

**Nombre del archivo:** TESIS-\_JOSE\_KELVIS\_DIAZ\_ALEJANDRIA\_30.12.2024.docx (31.61M)

**Total de palabras:** 30229

**Total de caracteres:** 163444

## Disponibilidad hídrica de las microcuencas Rumiayacu y Mishqulyacu, en escenarios de cambio climático al 2060, para abastecimiento poblacional de Moyobamba

### INFORME DE ORIGINALIDAD



### FUENTES PRIMARIAS:

<b>1</b>	<b>Submitted to Universidad Nacional de San Martín</b> Trabajo del estudiante	<b>16%</b>
<b>2</b>	<a href="http://repositorio.unsm.edu.pe">repositorio.unsm.edu.pe</a> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>3</b>	<a href="http://tesis.unsm.edu.pe">tesis.unsm.edu.pe</a> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>4</b>	<a href="http://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>5</b>	<b>Vicente Serrano, Sergio Martin. "Spatial and temporal evolution of droughts in the middle Ebro Valley: Causes and environmental consequences", Proquest, 20111109</b> Publicación	<b>1%</b>
<b>6</b>	<b>Submitted to Pontificia Universidad Católica de Chile</b> Trabajo del estudiante	<b>&lt;1%</b>

[repository.udca.edu.co](http://repository.udca.edu.co)