

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN CONSERVACIÓN DE
SUELOS Y AGUA



EFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL RECURSO HÍDRICO PARA EL
CULTIVO DE ARROZ EN EL SECTOR AGRÍCOLA DEL RÍO AZUL, LA
MORADA, MARAÑÓN, HUANUCO, 2023

Tesis

Para optar el título de:

INGENIERO EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA

PRESENTADO POR:

MARTEL TUCTO, JHEPER JOY

Tingo María – Perú

2024



ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS N° 060-2024-FRNR-UNAS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 30 de Abril de 2024, a horas 5:00 p.m. de la Escuela Profesional de Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua de la Facultad de Recursos Naturales Renovables para calificar la tesis titulada:

**“EFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL RECURSO HÍDRICO PARA
EL CULTIVO DE ARROZ EN EL SECTOR AGRÍCOLA DEL RÍO AZUL,
MORADA, MARAÑÓN, HUÁNUCO, 2023”**

Presentado por el Bachiller: **JHEPER JOY MARTEL TUCTO**, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara **APROBADO** con el calificativo de **“MUY BUENA”**.

En consecuencia, el sustentante queda apto para optar el Título Profesional de **INGENIERO EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA** que será aprobado por el Consejo de Facultad, Tramitándolo al Consejo Universitario para el otorgamiento del Título Correspondiente.

Tingo María, 03 de Junio de 2024

Ing. MSc. JUAN PABLO RENGIFO TRIGOZO
PRESIDENTE

Dr. WILFREDO ALVA VALDIVIEZO
MIEMBRO



Ing. MSc. MARCO A. DUEÑAS TUESTA
MIEMBRO

Ing. MSc. ERLE O. J. BUSTAMANTE SCAGLIONI
ASESOR



“Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho”

CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 193 - 2024 - CS-RIDUNAS

El Director de la Dirección de Gestión de Investigación de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quien suscribe,

CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Investigación; aprobó el proceso de revisión a través del software TURNITIN, evidenciándose en el informe de originalidad un índice de similitud no mayor del 25% (Art. 3° - Resolución N° 466-2019-CU-R-UNAS).

Programa de Estudio:

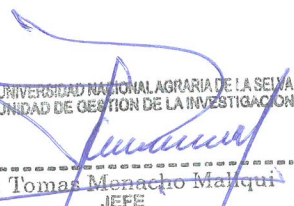
Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua

Tipo de documento:

Tesis	X	Trabajo de Suficiencia Profesional	
-------	---	------------------------------------	--

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE DE SIMILITUD
EFFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL RECURSO HÍDRICO PARA EL CULTIVO DE ARROZ EN EL SECTOR AGRÍCOLA DEL RÍO AZUL, LA MORADA, MARAÑÓN, HUANUCO, 2023	MARTEL TUCTO, JHEPER JOY	22 % Veintidós

Tingo María, 27 de junio de 2024


UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
DIRECCIÓN DE GESTIÓN DE LA INVESTIGACIÓN
Dr. Tomas Menacho Marqui
JEFE

C.C. Archivo

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN CONSERVACIÓN DE
SUELOS Y AGUA



EFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL RECURSO HÍDRICO PARA EL
CULTIVO DE ARROZ EN EL SECTOR AGRÍCOLA DEL RÍO AZUL, LA
MORADA, MARAÑÓN, HUANUCO, 2023

Autor	: Bach. Martel Tucto, Jheper Joy
Asesores de Tesis	: M.Sc. Bustamante Scaglioni, Erle Otto Javier
Programa de investigación	: Cambio climático
Línea de investigación	: Escenarios climáticos futuros y sus potenciales impactos en los recursos suelo y agua
Eje temático de investigación	: Variabilidad del régimen hídrico por efecto del cambio climático
Lugar de ejecución	: Sector Agrícola del río Azul – La Morada
Duración	: 8 meses
Financiamiento	: S/. 9,025.00
Propio	: Si
FEDU	: No
Otros	: No

Tingo María –Perú, 2024

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
OFICINA DE INVESTIGACIÓN



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
REGISTRO DE TESIS PARA LA OBTENCION DEL
TITULO UNIVERSITARIO, INVESTIGACIÓN DOCENTE
Y TESISISTA

(Resol. N.º 113-2019-CU-R-UNAS)

I. Datos generales

Universidad : Universidad Nacional Agraria de la Selva
Facultad : FRNR-EPG-UNAS
Título de la tesis : Efecto del cambio climático en el recurso hídrico para el cultivo de arroz en el sector agrícola del río Azul, La Morada, Marañón, Huánuco, 2023.
Objetivo general : Evaluar el efecto del cambio climático en el aprovechamiento del recurso hídrico para el cultivo de arroz en el sector agrícola del río Azul, La Morada.
Autor : Bach. Martel Tucto, Jheper Joy
Asesor (es) : M.Sc. Bustamante Scaglioni, Erle Otto Javier
Programa de investigación : Cambio climático
Línea de investigación : Escenarios climáticos futuros y sus potenciales impactos en los recursos suelo y agua
Eje temático : Variabilidad del régimen hídrico por efecto del cambio climático
Lugar de ejecución : Sector Agrícola del río Azul – La Morada
Duración : Fecha de inicio: Mayo 2023
Fecha de término: Diciembre 2023
Financiamiento : FEDU : S/. 0,00
Propio: S/. 9,025.00
Otros : S/. 0,00

Tingo María, Perú, marzo 2024

Bach. Martel Tucto, Jheper Joy
Tesisista

M.Sc. Bustamante Scaglioni, Erle Otto Javier
Asesor

DEDICATORIA

A Dios Jehová, por ser el guía y protector de mi destino mediante la Fe; y demostrarme que nunca me abandonará en los momentos más difíciles de mi vida.

A mis queridos padres; mi madre Aide Tucto Ferrer y a mi padre Rafael Martel Trujillo, por enseñarme los valores necesarios como la humildad, el amor y el respeto característicos de ustedes para afrontar la vida, siendo también motivación para lograr mis metas y objetivos en mi vida profesional.

A mis hermanas Russbianca, Jacira y Zunith por sus apoyos y consejos brindados para superar las adversidades y afrontar la vida con responsabilidad y esfuerzo.

A mis cuñados Percy y Omar por mostrarme su paciencia y enseñarme desde muy pequeño las lecciones de vida que necesitaba saber para crecer sabiamente.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional Agraria de la Selva mi “Alma Mater”, a la plana docente de la Facultad Recursos Naturales Renovables y la Escuela Profesional de Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua, por impartir sus enseñanzas, dándome formación con capacidad científica, técnica, profesional, ética y humanística.

Al Laboratorio de Recursos Hídricos y el Laboratorio de Conservación de Suelos, por brindar el apoyo con los materiales y equipos para realizar esta investigación.

A mi asesor M.Sc. Erle Otto J. Bustamante Scaglioni, por su paciencia, tiempo dedicado y por los conocimientos brindados en esta investigación.

Al M.Sc. Ricardo M. Chávez Asencio, por su enseñanza y conocimientos compartidos, exigencia de culminar bien cada ciclo, ayudándome a superarme en la etapa universitaria.

Al M.Sc. José Víctor Quiroz Ramírez por su amistad, las enseñanzas y conocimientos compartidos en mi etapa académica.

Al Señor Seminario y familia, por su apoyo con la instalación y registro de datos meteorológicos de la estación La Morada.

A la señorita Beatriz Grados Reyes y a sus padres el Lic. Walter y la Lic. Guerly por su apoyo, confianza y consejos brindados en mi etapa de estadía con ellos.

A mis amigos, Romel Daviran Vega, Junior R. Caldas Lipa, Jeanpiers A. Mora Calixto, Mishell N. Villar Santamaria y Elisa N. Villar Santamaria por ser el grupo de apoyo, y ser el círculo de amistad, confianza, alegrías, tristezas en toda mi etapa universitaria.

ÍNDICE

Título	Página
I. INTRODUCCION	1
II. REVISION DE LITERATURA	3
2.1. Recurso hídrico.....	3
2.1.1. Ciclo hidrológico	3
2.1.2. Balance hídrico	4
2.2. Clima	6
2.2.1. Precipitación	6
2.2.2. Temperatura.....	6
2.2.3. Humedad atmosférica	7
2.2.4. Viento	7
2.3. Cultivo de arroz	7
2.4. Demanda agrícola.....	8
2.4.1. Evapotranspiración de referencia (ET _o).....	8
2.4.2. Evapotranspiración del cultivo (ET _c).....	9
2.4.3. Coeficiente de cultivo (K _c).....	9
2.4.4. Demanda agrícola en el Cropwat 8.0.....	9
2.5. Oferta hídrica.....	10
2.5.1. Oferta hídrica por escorrentía	10
2.5.2. Oferta hídrica por caudales.....	11
2.5.3. Oferta hídrica por el modelo hidrológico GR2M	12
2.6. Cambio climático	14
2.6.1. Modelos Climáticos Globales (MCG).....	14
2.6.2. Escenarios climáticos	16
2.7. Antecedentes	18
2.7.1. Antecedentes internacionales	18
2.7.2. Antecedentes nacionales.....	19
2.7.3. Antecedentes locales.....	21
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	22
3.1. Lugar de ejecución	22
3.1.1. Zona de estudio.....	22
3.1.2. Ubicación de las estaciones meteorológicas.....	22
3.1.3. Fisiografía.....	23

3.1.4. Clasificación climática	24
3.1.5. Sistema hidráulico La Florida.....	25
3.2. Materiales y equipos.....	27
3.2.1. Materiales	27
3.2.2. Equipos de campo.....	27
3.3. Criterio y análisis de estudio	27
3.3.1. Tipo de y nivel de investigación.....	27
3.3.2. Diseño de investigación.....	27
3.3.3. Variables de estudio.....	27
3.3.4. Operacionalización de las variables.....	27
3.3.5. Población y muestra.....	29
3.4. Metodología.....	29
3.4.1. Analizar los datos meteorológicos históricos y los datos meteorológicos futuros proyectados por los modelos climáticos globales.....	29
3.4.1.1. Analizar exploratoriamente los datos.....	29
3.4.1.2. Analizar estadísticamente los datos.	31
3.4.1.3. Analizar la tendencia de los datos.....	31
3.4.2. Determinación de la demanda hídrica histórica y futura del cultivo de arroz en el sector agrícola del río Azul al año 2070	34
3.4.2.1. Determinación de la demanda hídrica histórica.....	34
3.4.2.2. Determinación de la demanda hídrica futura	46
3.4.3. Determinación de la oferta hídrica histórica y futura del río Azul con el modelo hidrológico GR2M al año 2070.	48
3.4.3.1. Determinación de la oferta hídrica histórica.....	48
3.4.3.2. Determinación de la oferta hídrica futura	50
3.4.4. Determinación del efecto del cambio climático con el balance hídrico (déficit y/o superávit) al año 2070	52
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	53
4.1. Análisis de los datos meteorológicos históricos y los datos meteorológicos futuros proyectados por los modelos climáticos globales.	53
4.1.1. Análisis exploratorio de datos	53
4.1.1.1. Análisis de datos faltantes.....	53
4.1.1.2. Análisis de consistencia	54
4.1.2. Análisis estadístico	55

4.1.2.1. Análisis descriptivo numérico.....	55
4.1.2.2. Análisis de gráfico	55
4.1.3. Análisis de tendencias	58
4.1.3.1. Prueba de Mann-Kendall	58
4.1.3.2. Prueba de la pendiente de sen	59
4.2. Demanda hídrica histórica y futura del cultivo de arroz en el sector agrícola del río Azul al año 2070.	60
4.2.1. Demanda hídrica histórica	61
4.2.1.1. Precipitación histórica de la estación La Morada	61
4.2.1.2. Evapotranspiración histórica de la estación La Morada	61
4.2.1.3. Coeficiente de cultivo de la zona de estudio.....	62
4.2.1.4. Áreas históricas del cultivo de arroz	63
4.2.1.5. Demanda hídrica histórica del cultivo de arroz	65
4.2.2. Demanda hídrica futura.....	65
4.2.2.1. Precipitación futura de la estación La Morada	65
4.2.2.2. Evapotranspiración futura de la estación la morada	67
4.2.2.3. Demanda hídrica futura del cultivo de arroz.....	68
4.3. Oferta hídrica histórica y futura del río Azul con el modelo hidrológico GR2M al año 2070.	69
4.3.1. Oferta hídrica histórica.....	70
4.3.1.1. Precipitación histórica de la cuenca de estudio del río Azul	70
4.3.1.2. Evapotranspiración histórica de la cuenca de estudio del río Azul	71
4.3.1.3. Caudales aforados del río Azul	71
4.3.1.4. Proceso de calibración del modelo hidrológico GR2M en la cuenca de estudio del río Azul	72
4.3.1.5. Proceso de validación del modelo hidrológico GR2M en la cuenca de estudio del río Azul	73
4.3.1.6. Oferta hídrica histórica del río Azul	74
4.3.2. Oferta hídrica futura	75
4.3.2.1. Precipitación futura de la cuenca de estudio del río Azul.....	75
4.3.2.2. Evapotranspiración futura de la cuenca de estudio del río Azul.....	77
4.3.2.3. Proceso de validación del modelo hidrológico GR2M con los modelos climáticos globales en la cuenca de estudio del río Azul.	78

4.3.2.4. Oferta hídrica futura del río Azul.....	80
4.4. Efecto del cambio climático en el balance hídrico (déficit y/o superávit) al año 2070.....	81
4.4.1. Sistema hidrológico	81
4.4.2. Sistema hidráulico	83
V. CONCLUSIONES.....	86
VI. PROPUESTAS A FUTURO	87
VII. REFERENCIAS.....	88
VIII. ANEXOS	99

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Rutas de concentración representativa o Pathways (RCP).....	17
2. Estaciones meteorológicas cercanas con registros de datos meteorológicos.	23
3. Clasificación climática de la cuenca río Azul.	24
4. Operacionalización de las variables.	28
5. Descripción de la significancia del valor del z-estadístico del test Mann – Kendall. ..	33
6. Valores del cultivo de arroz para el módulo “cultivo” del Cropwat 8.0.	36
7. Valores de los kc distribuidos en los meses que se produce el cultivo de arroz.	36
8. Valores de números de puntos de muestreo según el área de interés.	37
9. Clase textural del suelo del área de interés.....	38
10. Valores de características del suelo determinados en el SPAW.....	40
11. Fechas de siembra y cosecha de las áreas de cultivo de arroz de la zona de estudio.	40
12. Valores de densidad aparente y crecimiento radicular según la clase textural del suelo.	42
13. Combinación de bandas espectrales para imagen natural y agricultura.	44
14. Características de los modelos climatológicos globales.....	46
15. Parámetros y condiciones iniciales del modelo hidrológico GR2M.	49
16. Valores referenciales del criterio de Nash.....	50
17. Red de datos climatológicos evaluados en el periodo 2011 – 2023 de la estación La Morada.	53
18. Datos mensuales evaluados en la estación instalada La Morada.....	54
19. Comparación de datos meteorológicos de las estaciones evaluadas (2011-2023).....	54
20. Estadísticos de los datos meteorológicos mensual multianual (2011-2023).	55
21. Resultados del test Mann – Kendall aplicado para detección de tendencias de las variables climáticas del periodo 2011 – 2023.	58
22. Resultados de la prueba de la pendiente de Sen de las variables meteorológicas del periodo 2011 – 2023.....	59
23. Variabilidad climática de las variables meteorológicas del periodo 2011 – 2023.	60
24. Hectáreas de cultivo de arroz determinadas por imágenes satelitales en un periodo de 2011 – 2023.	64

25. Caudales aforados y caudales del rio azul en los meses de mayo, junio, julio, agosto, setiembre, octubre, noviembre y diciembre del año 2023.	72
26. Resultados de parámetros calculados en la cuenca de estudio del rio Azul 1981- 2010.....	72
27. Resultados de criterios de eficiencia en la cuenca de estudio del rio Azul 1981- 2010.....	73
28. Resultados de criterios de eficiencia en la cuenca de estudio del rio Azul 2011- 2023.....	74
29. Resultados de criterios de eficiencia en la cuenca de estudio del rio Azul 2024- 2070.....	79
30. Balance hidrológico por décadas de la cuenca de estudio del rio Azul del periodo (2011-2070).	82
31. Balance hídrico por décadas de la cuenca de estudio del rio Azul del periodo (2011-2070).	84

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Representación del ciclo hidrológico.	4
2. Esquema de un balance hídrico.	5
3. Esquema de transformación de la precipitación a caudal.	13
4. Diagrama del modelo GR2M y sus ecuaciones para determinar el caudal.	13
5. Esquema de un modelo climático global.	15
6. Calentamiento global según los escenarios RCP.	17
7. Ubicación del área de estudio.	22
8. Ubicación de las estaciones meteorológicas en Google Earth.	23
9. Mapa fisiográfico de la cuenca río Azul.	24
10. Mapa de clasificación climática de la cuenca río Azul.	25
11. Esquema del sistema hidráulico La Florida.	26
12. Puntos de muestreo de suelo en el área de interés.	38
13. Valores de capacidad de campo (Field Capacity), punto de marchitez (Witing Point), tasa máxima de infiltración (Sat. Hydraulic Cond.) y humedad de suelo disponible total (Available Water).	39
14. Flujograma de la metodología para determinar las áreas de cultivo de arroz.	45
15. Flujograma de la metodología para determinar la demanda hídrica futura.	47
16. Descarga de datos del grillado Pisco en la cuenca de estudio.	48
17. Flujograma de la metodología para determinar la oferta hídrica futura.	51
18. Serie temporal de las temperaturas, registradas en la estación La Morada durante el periodo 2011 – 2023.	56
19. Serie temporal de la humedad relativa, registrada en la estación La Morada durante el periodo 2011 – 2023.	56
20. Serie temporal de velocidad del viento, registrada en la estación La Morada durante el periodo 2011 – 2023.	57
21. Serie temporal de la precipitación registrada y la evapotranspiración determinada por el Cropwat 8.0, en la estación La Morada durante el periodo 2011 – 2023.	57
22. Variación anual de la precipitación de la estación La Morada del periodo histórico (2011-2023).	61
23. Variación anual de la precipitación en la estación La Morada del periodo histórico (2011-2023).	62

24.	Valores de Kc del cultivo de arroz en las dos campañas.....	63
25.	Promedios anuales de las hectáreas del cultivo de arroz del periodo 2011-2023.	64
26.	Variación anual de la demanda hídrica histórica en la estación La Morada del periodo histórico (2011-2023).....	65
27.	Variación anual de la precipitación futura en la estación La Morada del periodo futuro (2024-2070).	66
28.	Variación anual de la evapotranspiración futura en la estación La Morada del periodo futuro (2024-2070).....	67
29.	Variación anual de la demanda hídrica futura en la estación La Morada del periodo futuro (2024-2070).....	69
30.	Variación anual de la precipitación histórica en la cuenca de estudio del río azul del periodo histórico (2011-2023).	70
31.	Variación anual de la evapotranspiración histórica en la cuenca de estudio del río Azul del periodo histórico (2011-2023).	71
32.	Comparación y correlación de los caudales observados y caudales simulados de la cuenca de estudio del río Azul del periodo 1981-2010.	73
33.	Comparación y correlación de los caudales observados y caudales simulados de la cuenca de estudio del río Azul del periodo 2011-2023.	74
34.	Variación anual de la oferta hídrica histórica del río Azul del periodo histórico (2011-2023).....	75
35.	Variación anual de la precipitación futura en la cuenca de estudio del río Azul del periodo futuro (2024-2070).....	76
36.	Variación anual de la evapotranspiración futura en la cuenca de estudio del río Azul del periodo futuro (2024-2070).....	77
37.	Comparación y correlación de los caudales observados y caudales simulados trabajos con los datos del modelo ACCESS1_0 de la cuenca de estudio del río Azul del periodo 2024-2070.....	79
38.	Comparación y correlación de los caudales observados y caudales simulados trabajos con los datos del modelo HadGEM2-ES de la cuenca de estudio del río Azul del periodo 2024-2070.....	80
39.	Comparación y correlación de los caudales observados y caudales simulados trabajos con los datos del modelo MPI-ESM-LR de la cuenca de estudio del río Azul del periodo 2024-2070.....	80

40. Variación anual de la oferta hídrica futura del río Azul del periodo futuro (2024-2070).....	81
41. Variación anual de la precipitación, evapotranspiración y escorrentía de la cuenca de estudio del río Azul del periodo (2011-2070).....	82
42. Balance hidrológico del periodo (2011-2070).....	83
43. Variación anual de la oferta hídrica y demanda hídrica del río azul del periodo futuro (2011-2070).....	84
44. Balance hídrico del periodo (2011-2070).....	85
45. Datos de temperatura máxima (°C) de la estación La Morada.....	99
46. Datos de temperatura máxima (°C) de la estación Aucayacu.....	99
47. Datos de temperatura máxima (°C) de la estación Tulumayo.....	100
48. Datos de temperatura máxima (°C) de la estación Tocache.....	100
49. Datos de temperatura mínima (°C) de la estación La Morada.....	101
50. Datos de temperatura mínima (°C) de la estación Aucayacu.....	101
51. Datos de temperatura mínima (°C) de la estación Tulumayo.....	102
52. Datos de temperatura mínima (°C) de la estación Tocache.....	102
53. Datos de humedad relativa (%) de la estación La Morada.....	103
54. Datos de humedad relativa (%) de la estación Aucayacu.....	103
55. Datos de humedad relativa (%) de la estación Tulumayo.....	104
56. Datos de humedad relativa (%) de la estación Tocache.....	104
57. Datos de velocidad del viento (m/s) de la estación La Morada.....	105
58. Datos de velocidad del viento (m/s) de la estación Aucayacu.....	105
59. Datos de velocidad del viento (m/s) de la estación Tananta.....	106
60. Datos de precipitación (mm) de la estación La morada.....	106
61. Datos de precipitación (mm) de la estación Aucayacu.....	107
62. Datos de precipitación (mm) de la estación Tulumayo.....	107
63. Datos de precipitación (mm) de la estación Tocache.....	108
64. Datos de precipitación (mm) de la estación Tananta.....	108
65. Datos de precipitación (mm) de la estación Uchiza.....	109
66. Datos de precipitación (mm) de la estación Cachicoto.....	109
67. Datos registrados de la estación La Morada del mes de mayo del 2023.....	110
68. Datos registrados de la estación La Morada del mes de junio del 2023.....	111
69. Datos registrados de la estación La Morada del mes de julio del 2023.....	112
70. Datos registrados de la estación La Morada del mes de agosto del 2023.....	113

71.	Datos registrados de la estación La Morada del mes de setiembre del 2023.....	114
72.	Datos registrados de la estación La Morada del mes de octubre del 2023.	115
73.	Datos registrados de la estación La Morada del mes de noviembre del 2023.	116
74.	Caudal aforado de la fecha 15/05/2023.	117
75.	Caudal aforado de la fecha 30/05/2023.	117
76.	Caudal aforado de la fecha 17/06/2023.	118
77.	Caudal aforado de la fecha 30/06/2023.	118
78.	Caudal aforado de la fecha 15/07/2023.	119
79.	Caudal aforado de la fecha 29/07/2023.	119
80.	Caudal aforado de la fecha 12/08/2023.	120
81.	Caudal aforado de la fecha 26/08/2023.	120
82.	Caudal aforado de la fecha 10/09/2023.	121
83.	Caudal aforado de la fecha 24/09/2023.	121
84.	Caudal aforado de la fecha 08/10/2023.	122
85.	Caudal aforado de la fecha 28/10/2023.	122
86.	Caudal aforado de la fecha 11/11/2023.	123
87.	Caudal aforado de la fecha 28/11/2023.	123
88.	Caudal aforado de la fecha 03/12/2023.	124
89.	Caudal aforado de la fecha 28/12/2023.	124
90.	Caudales aforados por fechas en el canal de riego.....	125
91.	Imágenes del caudalímetro con resultados de los caudales aforados en el canal de riego.....	125
92.	Análisis de doble masa de datos de temperatura máxima de las estaciones Aucayacu, Tulumayo y Tocache vs la estación La Morada (2011-2023).....	126
93.	Análisis de doble masa de datos de temperatura mínima de las estaciones Aucayacu, Tulumayo y Tocache vs la estación La Morada (2011-2023).	127
94.	Análisis de doble masa de datos de humedad relativa de las estaciones Aucayacu, Tulumayo y Tocache vs la estación La Morada (2011-2023).	128
95.	Análisis de doble masa de los datos de velocidad del viento de las estaciones Aucayacu y Tananta vs la estación La morada (2011-2023).	129
96.	Análisis de doble masa de los datos de precipitación de las estaciones Aucayacu, Tulumayo, Tocache, Tananta, Uchiza y Cachicoto vs la estación La Morada (2011-2023).....	130

97. Resultado del Z estadístico para determinar la tendencia de la temperatura máxima de la estación la morada durante el periodo 2011 – 2023.	131
98. Resultado del Z estadístico para determinar la tendencia de la temperatura mínima de la estación la morada durante el periodo 2011 – 2023.	131
99. Resultado del Z estadístico para determinar la tendencia de la temperatura media de la estación la morada durante el periodo 2011 – 2023.	132
100. Resultado del Z estadístico para determinar la tendencia de la humedad relativa de la estación la morada durante el periodo 2011 – 2023.	132
101. Resultado del Z estadístico para determinar la tendencia de la velocidad del viento de la estación la morada durante el periodo 2011 – 2023.	133
102. Resultado del Z estadístico para determinar la tendencia de la precipitación de la estación la morada durante el periodo 2011 – 2023.	133
103. Resultado del Z estadístico para determinar la tendencia de la evapotranspiración de la estación la morada durante el periodo 2011 – 2023.	134
104. Tendencia de la temperatura máxima, registrada en la estación La Morada durante el periodo 2011 – 2023.	134
105. Tendencia de la temperatura mínima, registrada en la estación La Morada durante el periodo 2011 – 2023.	135
106. Tendencia de la temperatura media, registrada en la estación La Morada durante el periodo 2011 – 2023.	135
107. Tendencia de la humedad relativa, registrada en la estación La Morada durante el periodo 2011 – 2023.	135
108. Tendencia de la velocidad del viento, registrada en la estación La Morada durante el periodo 2011 – 2023.	136
109. Tendencia de la precipitación, registrada en la estación La Morada durante el periodo 2011 – 2023.	136
110. Tendencia de la evapotranspiración, registrada en la estación La Morada durante el periodo 2011 – 2023.	136
111. Cambio de cobertura de las áreas de cultivo de arroz del periodo 2011 hasta 2023.	137
112. Modulo “Clima/Eto” para determinar evapotranspiración potencial.	138
113. Modulo “Prec” para determinar precipitación efectiva.	138
114. Modulo “Cultivo” para determinar el coeficiente del cultivo de la primera campaña del cultivo de arroz.	139

115. Modulo “Cultivo” para determinar el coeficiente del cultivo de la segunda campaña del cultivo de arroz.....	139
116. Modulo “Rac” para determinar el requerimiento de riego de la primera campaña.....	140
117. Modulo “Rac” para determinar el requerimiento de riego de la segunda campaña.....	140
118. Modulo “Suelo” para determinar características del suelo del área de estudio.....	141
119. Modulo “Patrón de cultivo” para ingresar información de la fecha de siembra, cosecha y porcentaje de áreas de las dos campañas de cultivo de arroz.....	141
120. Modulo “Programación” para determinar la demanda de agua diaria por requerimiento del cultivo de arroz mediante el canal de riego de la primera campaña.....	141
121. Modulo “Programación” para determinar la demanda de agua diaria por requerimiento del cultivo de arroz mediante el canal de riego de la segunda campaña.....	142
122. Modulo “Sistema” para determinar la demanda de agua mensual por requerimiento de riego mediante la precipitación en las dos campañas.	142
123. Archivo Geotiff de los datos climáticos futuros de los modelos climáticos globales.	143
124. Georreferenciación de la estación La morada y la cuenca de estudio como puntos de interés en el archivo Geotiff.	143
125. Recorte del archivo Geotiff para convertir en archivo shapefile cercano a los puntos de interés.....	144
126. Archivo shapefile en los puntos de interés para la descarga datos climatológicos futuros de los pixeles recortados.....	144
127. Instalación de la estación meteorológica de estudio “La Morada”.	145
128. Bocatoma La Florida y zonas de cultivo de arroz.	145
129. Medición del caudal con el caudalímetro en el rio Azul y en el canal de riego La Florida.....	146
130. Muestreo de suelo y determinación de la textura del suelo en el laboratorio.....	146
131. Visita de mi asesor de tesis en la zona de estudio.	146

RESUMEN

El calentamiento global en esta última década alcanzó variaciones considerables en el comportamiento de la temperatura y junto con la expansión de tierras para el riego están generando el incremento de la demanda del recurso hídrico con menor disponibilidad de las fuentes de agua superficial. El objetivo de la investigación fue determinar el efecto del cambio climático en el aprovechamiento del recurso hídrico para el cultivo de arroz en el sector agrícola del río Azul, La Morada, Marañón, Huánuco. Se observaron y analizaron las principales variables meteorológicas de estaciones cercanas durante el 2011-2023, mediante la prueba de Mann Kendall y la pendiente de Sen se comprobaron las tendencias significativas, para un escenario actual y futuro con los modelos climáticos globales, se proyectó la necesidad hídrica del arroz y estimó los caudales con el modelo hidrológico GR2M. La temperatura, humedad relativa y la evapotranspiración presentaron tendencias crecientes mientras la velocidad del viento y la precipitación mostraron tendencias decrecientes, la demanda hídrica anual del arroz alcanzó los 10,70 MMC y la oferta hídrica anual del río Azul fue 149,8 MMC. Igualmente, la demanda hídrica anual futura (2024 – 2070) en un escenario crítico RCP 8.5 para los modelos ACCESS1_0 con 64,0 MMC, HadGEM2_ES con 65,8 MMC y MPI-ESM-LR con 66,2 MMC, de igual modo, la oferta hídrica anual para el modelo ACCESS1_0 con 116,9 MMC, HadGEM2_ES con 124,9 MMC y MPI-ESM-LR con 94,6 MMC. Los próximos 46 años existirá un déficit hídrico de -11,1 MMC, equivalente a 3 500 hectáreas.

Palabras claves: demanda hídrica, oferta hídrica, balance hídrico, modelos climáticos globales.

ABSTRACT

In the last decade global warming had considerable variations in the behavior of the temperature, together with the expansion of land that needs to be watered, this is generating an increase in the demand for water resources, with less availability from superficial water sources. The objective of the research was to determine the effect that climate change had on the use of water resources for rice crops in the agricultural sector of Rio Azul, La Morada, Marañon, Huánuco, [Peru]. The principal meteorological variables from the nearby [weather] stations were observed and analyzed for the years 2011 – 2023. Using the Mann Kendall test and the Sen slope the significant tendencies were proven for the current setting, and with global climatic models for the future. The need for water for the rice was projected and flow models were estimated using the GR2M hydrological model. The temperature, relative humidity, and the evapotranspiration presented tendencies towards growth, while the velocity of the wind and the precipitation revealed decreasing tendencies. The annual water demand for the rice reached 10.70 MMC and the annual water supply of the Azul river was 149.8 MMC. Equally, the future annual water demand (2024 – 2070) [was found to be] in a critical scenario RCP 8.5 for the models: ACCESS1_0 at 64.0 MMC, HadGEM2_ES at 65.8 MMC, and MPI-ESM-LR at 66.2 MMC. In the same fashion, the annual water supply for the model[s] [was]: ACCESS1_0 at 116.9 MMC, HadGEM2_ES at 124.9 MMC, and MPI-ESM-LR at 94.6 MMC. [Over] the next forty six years a water deficit of -11.1 MMC will exist, equivalent to 3500 acres.

Keywords: water demand, water supply, water balance, global climate models

I. INTRODUCCION

El clima a nivel mundial está cambiando constantemente, estudios sobre la temperatura media cada década evidencian un aumento de 1.1°C, alterando los procesos atmosféricos ocasionando fenómenos de inundaciones, sequías, deshielos, etc., a esto se suma los problemas de los seres humanos y sus actividades como el causante de este problema a los seres humanos y sus actividades como la deforestación, el uso de fertilizantes agrícolas, la descomposición de residuos sólidos, el uso de aerosoles y otras emisiones de gases de efecto invernadero. (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [IPCC], 2021).

El Perú conoce bien este problema, en esta última década se ha tenido registros de cambios extremos en el comportamiento de las precipitaciones y la temperatura que generan una mayor demanda de agua de riego, causando déficit hídrico (Gómez, 2016). A esta problemática, se suma la producción intensiva del cultivo de arroz en diversas partes del país que, necesitan demasiada agua para su producción y, por lo tanto, es reconocido como un problema de alto consumo de agua (Autoridad Nacional del Agua [ANA], 2012). Actualmente a nivel nacional existen cerca de 70 471 productores de arroz, donde las principales regiones productoras de arroz son: San Martín (25%), Amazonas (14%), Lambayeque (13%), Piura (12%), La libertad (11%) y otros (25%). Mientras Huánuco con un (2%) de producción de arroz a nivel nacional presenta mayores áreas sembradas de 100 000 hectáreas aproximadamente; siendo el 5.33% de todos los cultivos principales en toda la región (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego [MIDAGRI], 2021).

Diversas evaluaciones del cambio climático en la agricultura demuestran efectos potenciales en el aprovechamiento del recurso hídrico para el uso agrícola, desde el aumento de la temperatura a largo plazo, esta incrementará la demanda de agua a la atmósfera con la evapotranspiración de la superficie terrestre y provocará juntamente con la deforestación y la ampliación de nuevas tierras, la disminución del escurrimiento de agua en los ríos, generando impactos en el ámbito económico, social y ambiental. El sector agrícola del río Azul, que forma parte del comité de usuarios La Florida dentro de la comisión de usuarios del subsector hidráulico La Morada, Junta de Usuarios del sector hidráulico menor, Tingo María, no está exento de esta problemática, en un corto y mediano plazo, la oferta hídrica en la fuente de agua no será suficiente para abastecer la creciente demanda de agua de ella para el riego del cultivo de arroz por el incremento de nuevas tierras.

En consecuencia, se plantea la siguiente interrogante ¿Cuál será el efecto del cambio climático en el recurso hídrico para el cultivo de arroz en el sector agrícola del río Azul, La

Morada, Marañón, Huánuco?

La investigación se justifica en la utilidad de los modelos climáticos globales, para entender el sistema climático y proyectar su comportamiento al futuro; por otro lado, también es necesario entender el comportamiento histórico utilizando datos meteorológicos registrados y recientemente observados, como precipitaciones, temperaturas, humedad relativa, velocidad del viento, etc, para evaluar el cambio climático actual y, por otra parte, los datos meteorológicos de los modelos climáticos globales nos sirvieron para proyectar a futuro el efecto del cambio climático en el recurso hídrico en las demandas de agua del cultivo de arroz y la oferta hídrica en el sector agrícola del río Azul resultando de importancia social, ambiental y académico científico. Los alcances de la investigación contribuyen con nuevos conocimientos para la comunidad científica, organismos ambientales, para las personas o empresas encargadas de la administración de la infraestructura hidráulica y los recursos hídricos para el riego del cultivo de arroz que necesiten incorporar en los planes de aprovechamiento del agua con sus usuarios.

En tal sentido la investigación logró constatar la hipótesis “sí existe un efecto del cambio climático en el recurso hídrico el año 2070, con un incremento de la demanda hídrica del cultivo de arroz en el sector agrícola río Azul de +60,1 MMC, una disminución en la oferta hídrica del río Azul de -45,2 MMC y un déficit hídrico de -11,1 MMC a causa del incremento de la temperatura y la expansión de tierras agrícolas en la zona de estudio. Siendo los resultados que permitieron contrastar la hipótesis planteada, se trabajó con los siguientes objetivos:

1.1 Objetivo general

Evaluar el efecto del cambio climático en el aprovechamiento del recurso hídrico para el cultivo de arroz en el sector agrícola del río Azul, La Morada

1.2 Objetivos específicos

- Analizar los datos meteorológicos históricos y futuros proyectados por los modelos climáticos globales
- Determinar la demanda hídrica histórica y futura del cultivo de arroz en el sector agrícola del río Azul al año 2070.
- Determinar la oferta hídrica histórica y futura del río Azul con el modelo hidrológico GR2M al año 2070.
- Determinar el efecto del cambio climático con el balance hídrico (déficit y/o superávit) al año 2070.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1. Recurso hídrico

El recurso hídrico en las cuencas hidrográficas puede gestionarse desde dos visiones. Uno como bien económico y el otro como recurso natural cuyo comportamiento está fuertemente ligado a las características de otros recursos naturales y actividades humanas en la cuenca (Garcés, 2005).

Desde una visión económica, el estudio de la gestión eficiente y la asignación de recursos escasos debe incluirse en el estudio de las decisiones de uso racional del agua como parte de la gestión integral (Pulido et al., 2014), esto se ve agravado por problemas como el aumento de la demanda de consumo por la expansión de las redes de obras públicas, el crecimiento urbano y rural, el aumento de las áreas irrigadas, el aumento de la producción agrícola, la expansión industrial, la mala administración y las bajas tarifas del agua son factores causales que escasean los recursos hídricos (Delgado, 2015)

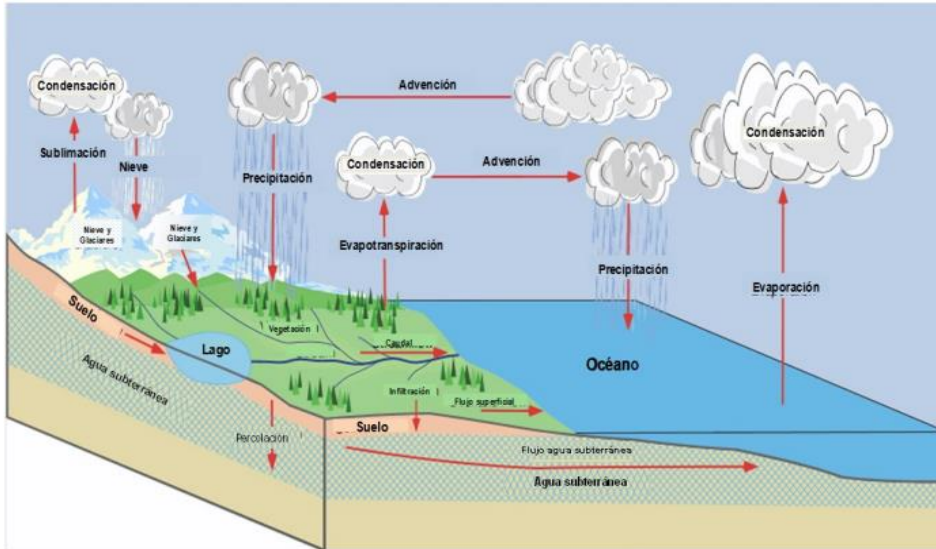
Como un recurso natural, el recurso hídrico está en todas las etapas del ciclo hidrológico y la biodiversidad. Los ciclos hidrológicos producen una visión integral respaldada por unidades hidrológicas básicas como la precipitación, evaporación, transpiración, agua superficial, humedad del suelo y vapor de agua, agua de la costa y agua oceánica, etc. Siendo las cuencas hidrográficas superficiales y los acuíferos que definen el potencial hídrico de una región (Andrade et al., 2004).

2.1.1. Ciclo hidrológico

El ciclo del agua se basa en el constante movimiento de masas de agua de un punto a otro punto de la tierra y entre diferentes estados como el líquido, sólido y gaseoso. El movimiento permanente de este circuito se debe básicamente a dos fuentes. El primero es el sol, que proporciona la energía como es el proceso de evaporación que hace subir el agua. El segundo es la gravedad de la tierra, que hace que el agua condensada descienda como precipitación y se escurra por la superficie terrestre, también infiltrándose en zonas subterráneas (Ordoñez, 2011).

El agua que se escurra en la superficie llega a las fuentes de agua como quebradas, manantiales, ríos, etc., la cual recorre hasta terminar desembocando en el mar o en otros casos en lagos o lagunas; otra parte de esta agua también se infiltra y es retenida por el suelo dependiendo de su textura y porosidad; también esta agua infiltrada se convierte en escorrentía superficial cuando la capacidad de almacenamiento del suelo llega a saturarse;

seguidamente esa misma agua puede convertirse en flujo subsuperficial percolándose hacia capas inferiores recargando las aguas subterráneas alimentando ríos ,manantiales, lagos, y finalmente llegando al mar (SNET, 2005).



Fuente: Ordoñez 2011

Figura 1. Representación del ciclo hidrológico.

2.1.2. Balance hídrico

El balance hídrico es un método para estudiar el ciclo hidrológico analizando el balance del agua que entran y salen de un sistema en intervalos de tiempo específicos. Esto se basa en la fórmula de conservación de la masa proporcionada por (La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura [UNESCO], 1982):

$$\textit{Situación final} = \textit{situación inicial} + \textit{entradas} - \textit{salida}.$$

Según Francisco et al. (1991), la ecuación general del balance hídrico es:

$$P = ET + E + I + (\Delta HS)$$

Donde:

P : precipitación

ET : evapotranspiración

E : escorrentía infiltración

I : infiltración

ΔHS : cambio en la humedad del suelo ($H_f - H_i$)

H_f : humedad final

H_i : humedad inicial

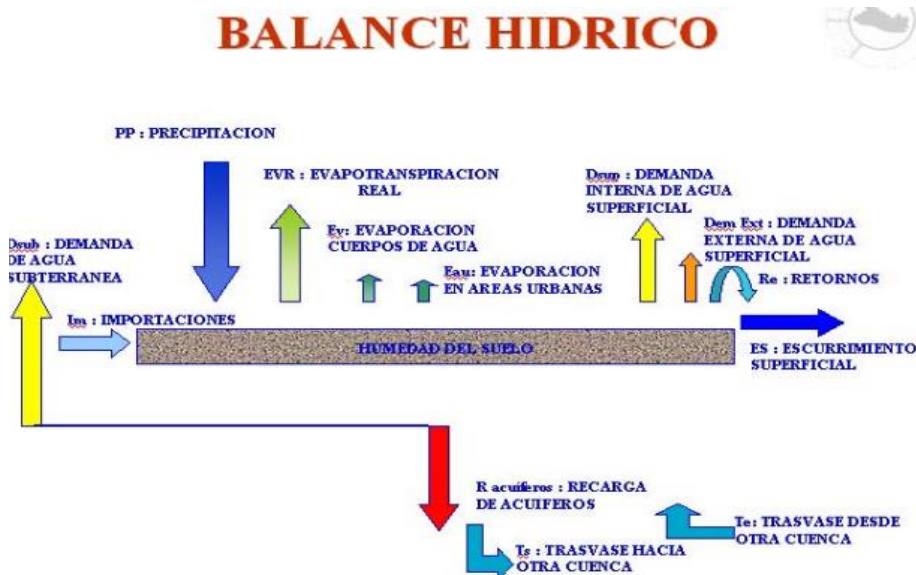
El concepto ampliamente utilizado de balance hídrico en hidrología puede confundirse si se supone que la precipitación es igual a la suma de la escorrentía y la evaporación. Pero el término ciclo hidrológico se refiere a la distribución y el movimiento del agua en varias etapas por encima y por debajo de la superficie de la tierra, ya que a menudo no hay ciclos bien definidos alrededor de las cuencas hidrográficas (Ordoñez, 2011).

Según (SNET, 2005) define el balance hídrico como un análisis de situaciones reales midiendo el consumo de agua de diferentes grupos de usuarios y parámetros relacionados con el ciclo del agua en una región, cuenca y las conexiones entre ellas. Teniendo como resultado un diagnóstico de las condiciones reales del recurso hídrico en su oferta, disponibilidad y demanda de agua en la región o cuenca.

SNET (2005), se basa en la ecuación de conservación de masa para el balance hídrico de la siguiente manera:

$$\text{Ingresos} - \text{Salidas} = \text{Cambio de almacenamiento}$$

Considerando ingresos de precipitación, contribuciones superficiales de otra cuenca y retornos de la demanda. Además, se considera como salida a la evapotranspiración real, la evaporación de fuentes de agua, la evaporación en ciudades, el escurrimiento superficial y la demanda interna y externa de una cuenca. Finalmente, se considera como un cambio de almacenamiento a recargas de acuíferos y variaciones de nivel en cuerpos de agua como lagos, lagunas y embalses.



Fuente: SNET 2005

Figura 2. Esquema de un balance hídrico.

2.2. Clima

El estado y evolución del tiempo atmosférico en un momento y lugar o región específicos definen el clima como un conjunto de condiciones atmosféricas fluctuantes. Generalmente existen diversos elementos del clima que está relacionada con las propiedades sobresalientes de la atmósfera, siendo la temperatura y la precipitación las variables atmosféricas más sobresalientes del planeta (Pabón et al., 1998)

El clima también es un factor importante del modelado del paisaje, ya que provoca el desarrollo de la vegetación, la formación del suelo y el ciclo hidrológico. Por otro lado, la productividad de un cultivo depende esencialmente de su composición genética y de su sanidad, pero también depende totalmente de su capacidad de adaptación a determinadas condiciones ecológicas y climáticas (Andrades et al., 2012).

2.2.1. Precipitación

La condensación o congelación es un proceso en el que aparecen gotas de agua o pequeños cristales de hielo cuando las masas de aire se enfrían. Cuando estas gotas o cristales alcanzan un tamaño suficiente se caen y provocan precipitaciones. Las precipitaciones se pueden clasificar según diferentes criterios y dependiendo de cómo las masas de aire alcanzan altitudes lo suficientemente altas como para enfriarse, existiendo precipitaciones ciclónicas, orográficas o convectivas (Andrades et al., 2012).

2.2.2. Temperatura

El primer principio de la ley de la termodinámica establece que el calor es una forma de energía que puede transformarse en trabajo mecánico. El segundo principio de la termodinámica establece que el calor se transmite de un objeto caliente a un objeto frío, lo que hace que la temperatura sea un indicador del nivel de calor en el cuerpo (Andrades et al., 2012).

En la naturaleza la temperatura se plantea con el segundo principio, ya que el suelo tiene su temperatura en función de su contenido de humedad transmitiendo su calor mediante conducción, por otra parte, el agua transmite su calor por conducción y por convección teniendo una temperatura en función de las corrientes y por último el aire transmite su calor por conducción, convección, y radiación; teniendo una temperatura en función a sus ondas electromagnéticas (Andrades et al., 2012).

2.2.3. Humedad atmosférica

El cociente entre la cantidad de vapor de agua presente en la atmósfera (rocíos y escarchas) y la cantidad máxima que podría contener se conoce como humedad relativa. Esta medida está relacionada con la temperatura y la precipitación, ya que la disminución de la humedad se traduce en un aumento de la temperatura y una disminución de la precipitación.; por otra parte, podemos decir que un ascenso de humedad se interpreta a un descenso de temperatura y aun aumento de precipitación (Andrades et al., 2012).

2.2.4. Viento

Las masas de aire que se mueven a favor de un gradiente de presión producen viento. En distancias cortas se producen fuertes vientos con grandes gradientes y grandes cambios de presión. Las pendientes más pequeñas provocan vientos más débiles. El viento es el movimiento del aire provocado por las diferencias de presión del aire de un lugar a otro, determinadas por su dirección y velocidad (Andrades et al., 2012).

2.3. Cultivo de arroz

El arroz (*Oryza sativa L.*) es una hierba anual de tallo redondo y hueco compuesto de nudos y entrenudos, hojas laminares planas unidas al tallo por vainas e inflorescencias en panículas con tamaño de planta de 0,0 m a 1,0 m. (Gonzales et al., 1981). Se considera un alimento básico consumido por la mitad de la población mundial. Por lo tanto, es una parte importante de la estabilidad política, económica y social y un medio de supervivencia humana. Sin embargo, las condiciones económicas asociadas con la producción de arroz han cambiado con el tiempo a nivel mundial, regional y local. (Degiovanni et al., 2010).

Según la morfología de la planta del cultivo de arroz pasa por dos etapas: la vegetativa (germinación, plántula, inicio y macollamiento) y la reproductiva (floreamiento a emergencia de la panoja y de emergencia de la panoja a madurez). En climas tropicales, este cultivo se considera una planta anual semiacuática, pero en climas templados y subtropicales es una planta permanente que puede volver a crecer después de la cosecha y usarse como forraje para el pastoreo (Olmos, 2006). Para producir 1 kg de grano, el arroz es uno de los cultivos que más agua consume en el mundo. Por lo tanto, el futuro del cultivo del arroz depende del uso eficiente del agua, ya que el agua determina el área sembrada, el rendimiento, los costos de producción y la viabilidad agrícola, por lo tanto, se están desarrollando en todo el mundo técnicas de conservación del agua para el cultivo de arroz (Gonzales et al., 2016).

2.4. Demanda agrícola

La demanda agrícola tiene como objetivo encontrar, comparar y analizar las variaciones en la oferta y la demanda de agua de riego en varios tipos de superficies con el fin de evaluar y planificar hidrológicamente una cuenca fluvial para asegurar su abastecimiento. Los cálculos se realizan tanto para regadíos existentes como para otras zonas en estudio, utilizando datos meteorológicos promedio estacionales y de los períodos que se encuentran en la base de datos original de un mapa (Abellán, 2008).

El consumo de agua en la agricultura viene dependiendo de las necesidades de riego de cada cultivo. Esto se refiere a la cantidad y el momento de aplicación de agua para equilibrar las necesidades hídricas de la planta y compensar las pérdidas por evaporación y lluvia. Por lo tanto, la demanda de riego representa la diferencia entre la necesidad de agua y la lluvia efectiva. Además, se requiere una cantidad adicional de agua para reducir las sales del suelo y compensar la ineficiencia o uniformidad de uso de los sistemas de riego (González et al., 2010).

2.4.1. Evapotranspiración de referencia (ET_o)

Se calcula la evapotranspiración de referencia (ET_o), para estimar con mayor precisión la evapotranspiración en espacios con cobertura vegetal y se calcula considerando un cultivo de referencia, generalmente hierbas de 8 a 15 cm de altura, con un regular crecimiento y condiciones ideales de humedad. Aunque la ET_o incluye un cultivo de referencia en su evaluación, no queda claro si el objetivo es estimar la evapotranspiración en modelos de producción agrícola donde cuyas propiedades son diferentes al cultivo de referencia (Gómez et al., 2017). La evapotranspiración de referencia (ET_o) es un parámetro importante al calcular la demanda de agua de las plantas. También es la base para el diseño agro técnico de los sistemas de riego y determina las dimensiones de las redes de canales, redes de tuberías y embalses. Además, permite la planificación de la gestión de los recursos hídricos de la cuenca y facilita la planificación de la operación de los sistemas de riego (Ortiz et al., 2020).

Sánchez, (2001) menciona que existen métodos directos para determinar la evapotranspiración que controlan la entrada y salida de agua del suelo para mantener la cubierta vegetal y obtener resultados más realistas, pero son costosos, engorrosos y consumen mucho tiempo como los métodos de estanque, lisímetros, parcelas y áreas naturales de prueba. Por otra parte, también existen métodos indirectos mediante formulaciones empíricas que relacionan la evapotranspiración con los datos climáticos como son el método de Thornthwaite y método de Blaney y Criddle, el método de Papadakis, método de Ivanov y método de

Hargreaves, el método de Turc, el método de Jensen-Haise y método de la radiación; y el método de Penman-Monteith y método de Bouzo.

2.4.2. Evapotranspiración del cultivo (ET_c)

Es la evapotranspiración de un tipo de cultivo que ocurre bajo condiciones saludables, bien fertilizadas y óptimas de humedad del suelo. Igual a la evapotranspiración de referencia (ET_o) multiplicada por un factor (K_c) que representa el tipo de cultivo (Garay, 2007). La evapotranspiración del cultivo (ET_c) es distinta de la evapotranspiración de referencia (ET_o), esto se debe a que sus características de cobertura del suelo, tipo de cultivo y resistencia al aire difieren de las de los pastos. (FAO, 2006).

La evapotranspiración de un cultivo (ET_c) se puede medir directamente mediante métodos de transferencia de masa o balance de energía. También se puede utilizar para estudiar el balance hídrico de los suelos en zonas agrícolas u obtenerse mediante un lisímetro. La evapotranspiración de las plantas, por otro lado, se puede estimar a partir de datos meteorológicos y de vegetación utilizando la ecuación de Penman-Monteith (FAO, 2006).

2.4.3. Coeficiente de cultivo (K_c)

Teniendo en cuenta que ET_o se derivó de un cultivo de referencia estándar, no se tuvieron en cuenta aspectos como el tamaño y la morfología de la hoja, la etapa de desarrollo como la fenología y otros aspectos fisiológicos de la planta, como la respiración y la fotosíntesis. Por esta razón, el coeficiente del cultivo o K_c se agrega al cálculo de ET_o y el aspecto del cultivo que se incluye en el cálculo de la evapotranspiración para obtener la evapotranspiración del cultivo (ET_c) (Gómez et al., 2017).

El coeficiente de cultivo (K_c), incluye los efectos promedio de la evaporación sobre las características del cultivo y los suelos. Los coeficientes de rendimiento promedio, calculados diariamente utilizando los rendimientos de los cultivos y el suelo, son más útiles y cruciales para la planificación y gestión del riego convencional, la planificación básica del riego y la mayoría de los estudios de balance hídrico (FAO, 2006).

2.4.4. Demanda agrícola en el Cropwat 8.0

Para determinar la evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o), se puede utilizar el software CROPWAT 8.0, ya que es un programa de modelación agroclimática creado por la FAO utilizando el método de Penman-Monteith; y estos valores de ET_o se utilizan luego para estimar los requisitos de agua de la planta en varias etapas de desarrollo (Zelaya et

al., 2021).

Zelaya et al., (2021) también menciona que el programa Cropwat 8.0 para la simulación de cultivos, es importante en diversas aplicaciones que son:

- Permiten calcular la cantidad de agua que necesitan las plantas para programar los horarios de riego según la disponibilidad de agua en el suelo.
- Utiliza los datos meteorológicos para ayudar a identificar los mejores tiempos de siembra para cultivos específicos.
- Se dispone de estimaciones de cosecha. El modelo más simple calcula una reducción en los rendimientos reales.
- Se utiliza para monitorear la saturación de agua de la planta y ayuda a evitar el déficit de agua durante todo el ciclo.

Cuando existe una ausencia de datos históricos sobre las mediciones directas de la demanda de agua de los cultivos en zonas de riego, es necesario el cálculo de la demanda agrícola donde se utiliza la metodología recomendada por la FAO con el software CROPWAT 8.0 (Minagri, 2013). Por lo tanto, este software calcula la evapotranspiración de referencia (ETo), la humedad necesaria para el cultivo, la precipitación disponible y los requisitos de riego. El calendario de riego también proporciona una variedad de opciones de riego y condiciones de gestión del riego para cultivos y calendarios de riego basados en el balance diario de humedad del suelo (Arteaga et al., 2011).

2.5. Oferta hídrica

Es una fracción de agua que cae sobre una cuenca y luego se ve afectado por la evapotranspiración, la evaporación e la infiltración del sistema de suelo vegetal. Luego, el agua escurre por los cauces de las corrientes superficiales, alimentando lagos, lagunas y reservorios, mezclándose con otras corrientes y llegando directa o indirectamente al mar. (CORPONARIÑO, 2002).

Para ANA (2014) es el volumen de agua anual o mensual, ya sea superficial o subterránea proyectado, que tiene la capacidad aceptable de distribuir agua en una cuenca hidrográfica o acuífero mediante estudios hidrológicos e hidrogeológicos, utilizando modelos y herramientas basados en información hidrológica e hidrométrica suficiente y confiable.

2.5.1. Oferta hídrica por escorrentía

La escorrentía es el agua de la precipitación que no se evapora, no se

infiltra y se escurre superficialmente llegando directamente a los cauces superficiales (Ordoñez, 2011). La ecuación que relaciona el caudal y el área de drenaje se utiliza para calcular la escorrentía anual o mensual en milímetros (mm) en las cuencas y subcuencas. (Ordoñez, 2011).

$$E = \frac{31\,536 \times Q}{A}$$

Donde:

E : escorrentía en mm

Q : caudal en m³ /s

A : área de drenaje km²

Según Ordoñez (2011), debido a que la variabilidad del agua almacenada en la cuenca durante períodos prolongados no cambia significativamente, cuando se realiza el balance hídrico superficial a nivel mensual y multianual, el término correspondiente al cambio de almacenamiento de la fórmula de conservación de masa del balance hídrico se considera un valor de 0 y presenta las siguientes ecuaciones:

Para áreas con control hidrométrico, se utiliza la siguiente ecuación:

$$P = E + E_{tr}$$

Donde:

P : precipitación media del período y área en mm.

E : escorrentía del período y área en mm.

E_{TR} : evapotranspiración real media del período y área en mm

Para áreas sin control hidrométrico, el balance hídrico se determina con la siguiente ecuación:

$$E = P - E_{ta}$$

Donde:

P : precipitación en mm.

E : escorrentía en mm.

E_{Ta} : evapotranspiración en mm

2.5.2. Oferta hídrica por caudales

Para el aprovechamiento y manejo del recurso hídrico, es esencial conocer en un punto aforo o en la desembocadura de una cuenca, donde el caudal es disponible

a partir de las precipitaciones (Ordoñez, 2011).

Según Sabas et al., (2011), para cuencas con características fisiográficas, cobertura vegetal y comportamiento hidrológico similar, determina la oferta hídrica utilizando la transposición de caudales desde un punto definido con información de caudales suficiente y confiables aplicando la siguiente ecuación:

$$Q_i = \frac{A_i}{A_t} \times \frac{P_i}{P_t} \times Q_t$$

Donde:

Q_i : caudal a determinar (m³/s)

Q_t : caudal patrón (m³/s))

A_i : área de la cuenca con definición de caudales (km²)

A_t : área de la cuenca patrón (km²)

P_i : precipitaciones medias correspondientes a la cuenca con definición de caudales (mm)

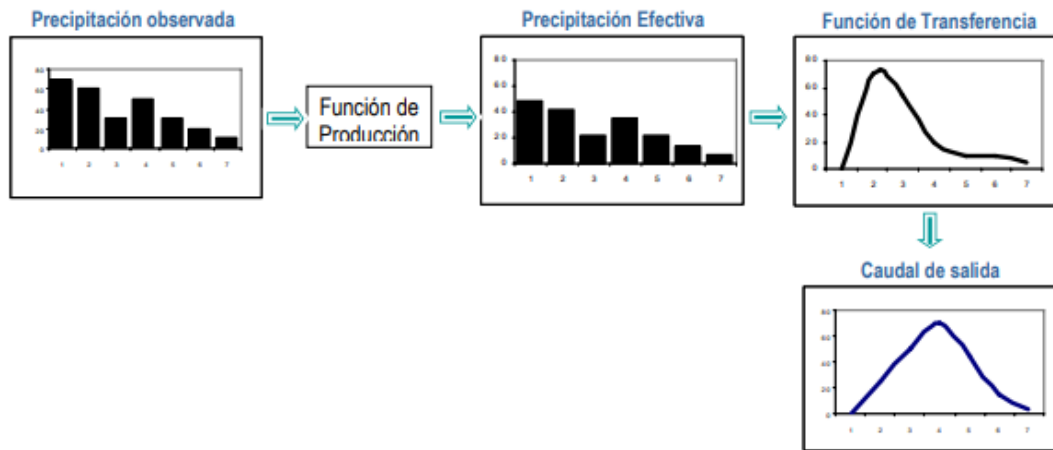
P_t : Precipitación de la cuenca patrón (mm)

2.5.3. Oferta hídrica por el modelo hidrológico GR2M

El CEMAGREF (Centro de Investigación Agrícola e Ingeniería Ambiental de Francia) creó este modelo con otro nombre, llamado GR3. Se distingue principalmente por ser un modelo de tiempo diario y estimar los niveles de precipitación y evapotranspiración. (Michel, 1989).

Posteriormente Mouelhi et al. (2006), modifica el modelo llamándolo GR2M la cual funciona en escala mensual transformando la precipitación en escorrentía mediante la aplicación de dos funciones o según el modelo son dos reservorios.

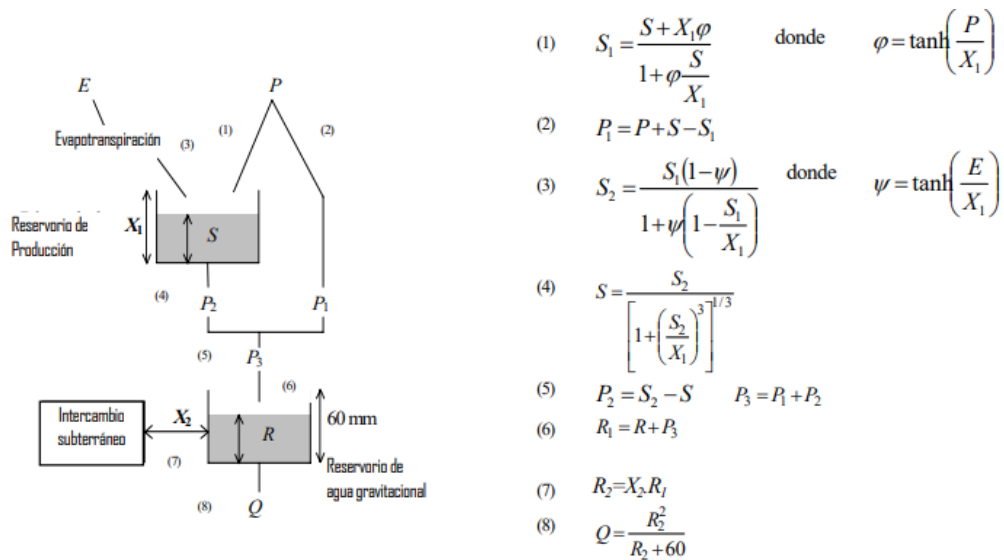
En el proceso de construcción del modelo, este se desarrolla a lo largo de un reservorio llamado reservorio de suelo y en el proceso de transferencia, su aporte viene dado por el segundo reservorio llamado reservorio de agua de gravedad que se presenta instantáneamente al inicio del tiempo que transcurre hasta que el reservorio de vacía gradualmente, siendo el nivel del agua en este reservorio que determinará la cantidad de flujo o caudal que ocurrirá según [Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA), 2007].



Fuente: INRENA 2007

Figura 3. Esquema de transformación de la precipitación a caudal.

El modelo GR2M se ve obligado a utilizar datos mensuales de precipitación (P) y evaporación potencial (E) para generar salidas o caudales mensuales (Q) de la cuenca (SENAMHI, 2019). La arquitectura del modelo GR2M caracterizado por los dos reservorios y las ecuaciones que se aplican podemos observarlas en la siguiente figura:



Fuente: Mouelhi et al. 2006

Figura 4. Diagrama del modelo GR2M y sus ecuaciones para determinar el caudal.

INRENA (2007), explica el diagrama del modelo diciendo que la precipitación entrante (P) y la evapotranspiración saliente (E) del reservorio de producción suelo (S) se representa como X1, por otra parte, la precipitación p1 es la diferencia

entre P y la precipitación que ingresa al suelo y la precipitación p_2 es la percolación. La precipitación efectiva en el reservorio de agua por gravedad P_3 se representa por la suma de P_1 y P_2 . El término "intercambio subterráneo" (R) se incluye en el modelo X2. Finalmente, una función cuadrática se utiliza para vaciar el tanque de agua por gravedad, lo que produce un flujo de descarga, también conocido como caudal estimado.

Se puede realizar una evaluación cuantitativa o cualitativa de la calidad de los resultados de caudal cercano del modelo hidrológico GRM2. La evaluación cuantitativa consiste en determinar el mejor valor de la función objetivo, la función criterio o el uso de técnicas de optimización. La evaluación cualitativa utiliza el criterio de eficiencia de Nash-Sutcliffe y el balance del caudal observado-simulado para comparar gráficamente los valores calculados y observados (INRENA 2007).

2.6. Cambio climático

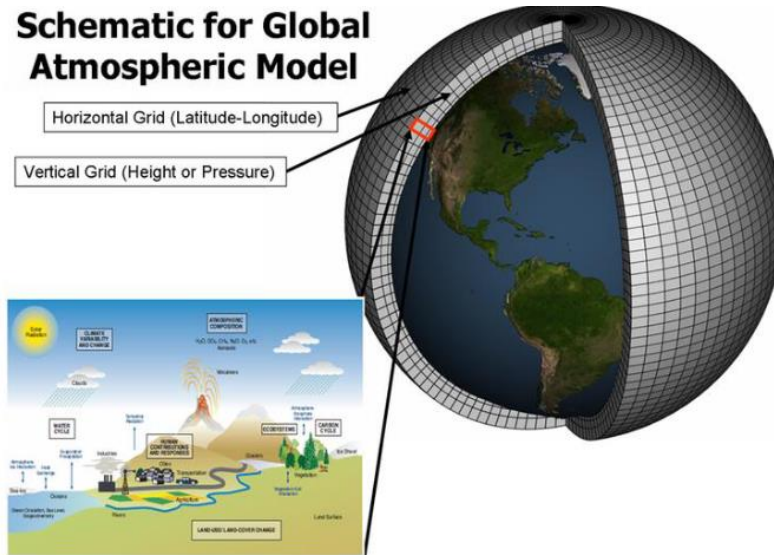
El término "cambio climático" se refiere a los cambios extremos en el clima que ocurren a lo largo del tiempo, ya sea como resultado de cambios naturales o de la acción humana.; observando cambios extremos en algunos fenómenos climáticos y meteorológicos (IPCC, 2002). Estos cambios climáticos extremos se manifiestan en precipitaciones persistentes, aumento de temperaturas, sequías extensas, derretimiento del hielo en los polos, alteración en la dirección del viento, variación en la migración de animales, ciclones, tormentas, aumento del nivel del mar, tsunamis, etc. (Diaz, 2012).

2.6.1. Modelos Climáticos Globales (MCG)

Primeramente, a un modelo se conoce como la representación matemática del comportamiento atmosférico, derivado principalmente de las ecuaciones fundamentales que describen el flujo de masa de aire, el balance de calor, el balance de presión hidrostática, el balance de energía, la continuidad del aire seco y la continuidad de la humedad. Cuando se trata de representar el comportamiento de la atmósfera global, se le llama modelo global. Y cuando se trata de simular el patrón general de las variables atmosféricas a lo largo del tiempo y sus respuestas a los cambios en los factores que influyen en su comportamiento, como el aumento de la radiación y los gases de efecto invernadero, se pueden llamar modelos climáticos según [Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), 2010].

También son llamados modelos de circulación global (MCG) que se utilizan en la predicción y la investigación climática, representando el clima utilizando una

malla tridimensional aplicada al planeta. Por otro lado, los MCG no son precisos y el rendimiento en una región puede no ser el mejor en otra; o también depende de las cantidades meteorológicas (Bentancur et al, 2019).



Fuente: Senamhi 2013

Figura 5. Esquema de un modelo climático global

Senamhi (2021) realiza un estudio sobre los cambios en el clima promedio en el Perú estimados para 2050 utilizando los modelos climáticos globales ACCESS1-0, HadGEM2-ES y MPI-ESM-LR. El estudio toma en cuenta un escenario de altas emisiones de gases de efecto invernadero de la Ruta de Concentración Representativa con un valor de 8.5 (RCP 8.5).

- **ACCESS1-0.** Es un modelo desarrollado en la CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Australia), y en el BOM (Bureau of Meteorology, Australia), perteneciendo al proyecto CMIP5. Este modelo utiliza los componentes como el modelo de superficie terrestre MOSES2, el modelo de hielo marino CICE4.1 del LANL, modelo atmosférico UM de la Oficina de Meteorología (MetOffice) del Reino Unido y el modelo oceánico MOM4p1 del GFDL. Este experimento histórico simula y predice a largo plazo utilizando datos del clima del siglo XX, incluidos otros causantes como: concentraciones de gases de efecto invernadero, luz solar, actividades volcánicas, concentración de aerosoles estratosféricos, utilización de aerosoles antropogénicos, etc. (Ackerley et al., 2016).

- **HadGEM2-ES.** Es un modelo desarrollado en el MOHC (Centro Hadley de la Oficina de Meteorología, del Reino Unido), perteneciendo al proyecto CMIP5. Este modelo utiliza el comportamiento de los sistemas terrestres del siglo XX relacionados con

los océanos, hielo marino, la atmósfera terrestre y superficie del suelo con un nuevo esquema hidrológico que presencia metano en humedales con ecosistemas terrestres de vegetación dinámica con el suelo y la roca madre o parental. También utiliza los ecosistemas oceánicos, sal marina, sulfatos, polvo, sistema de aerosoles actual y química de la troposfera como el ozono, metano y oxidantes (Martin et al, 2011).

- **MPI-ESM-LR.** Es un modelo desarrollado en el MPI-M (Max Planck Institute for Meteorology, Alemania), perteneciendo al proyecto CMIP5. Este modelo utiliza la superficie del suelo a través del intercambio de energía, inercia, agua y dióxido de carbono; también utiliza la atmósfera y los océanos estudiados y analizados en el siglo XX (Giorgetta et al., 2013).

2.6.2. Escenarios climáticos

Según IPCC, (2002), un escenario climático es una descripción coherente de cómo cambiará el clima de la Tierra en el futuro. También es una expresión probabilística que tiene en cuenta datos históricos y generalmente utiliza modelos matemáticos de pronósticos de precipitación y temperatura para estimar cómo cambiará el clima local durante un número específico de años.

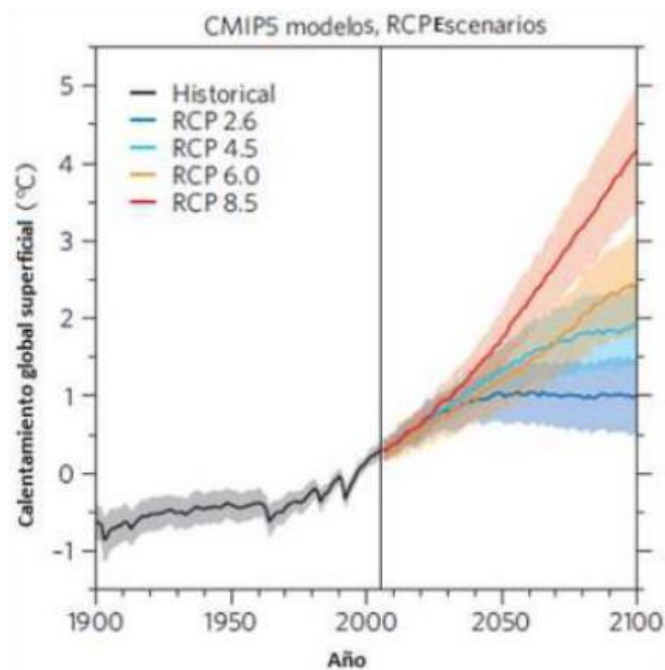
Los escenarios climáticos son pronósticos o escenarios que muestran lo que podría suceder si se siguen ciertas predicciones sobre el aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera. Los escenarios climáticos son una herramienta poderosa para la toma de decisiones, pero no deben confundirse con las predicciones (Davydova, 2012).

[Cooperative for Assistance and Relief Everywhere (CARE), 2017] menciona que el IPCC ha desarrollado cuatro rutas potenciales para representar las concentraciones de gases invernaderos, que se traducirían como: Representación de rutas de concentración representativas (RCP) que se enfocan en la realización de objetivos de política climática y energética. Por lo tanto, los escenarios RCP presentan una imagen más realista del desarrollo socioeconómico después de un forzamiento radiativo alto, medio y bajo que son antropogénicos entre 1850 y 2100 como se muestra en la tabla 1 y figura 6.

Tabla 1. Rutas de concentración representativa o Pathways (RCP).

RCP	Descripción	Concentración de CO ₂ en el año 2100	Aumento de temperatura global estimada en el año 2100
RCP 8.5	Pathway con forzamiento radiativo alto, llegando a 8.5 W/m ² en 2100. Continuación del aumento después de 2100.	1370 ppm CO ₂	3.4 - 5.5 °C
RCP 6.0	Pathway con forzamiento radiativo medio, llegando a 6 W/m ² en 2100. Estabilización después de 2100.	850 ppm CO ₂	
RCP 4.5	Pathway con forzamiento radiativo medio, llegando a 4.5 W/m ² en 2100. Estabilización después de 2100.	650 ppm CO ₂	1.5 - 2.5 °C
RCP 2.6	Pathway con forzamiento radiativo bajo. Llegará a 3 W/m ² antes de 2100. Después disminución a 2.6 W/m ² en 2100.	490 ppm CO ₂ 400 ppm CO ₂	0.7 - 1.4 °C

Fuente: CARE, 2017



Fuente: CARE 2017

Figura 6. Calentamiento global según los escenarios RCP.

2.7. Antecedentes

2.7.1. Antecedentes internacionales

Bustos (2021) en su tesis “Análisis de la disponibilidad hídrica superficial en la cuenca alta y media del río la vieja bajo escenarios de cambio climático”, siendo su objetivo simular la disponibilidad de agua superficial en los tramos de cuenca alta y cuenca media del río La vieja - Colombia, con base en proyecciones de cambio climático. Siendo el resultado del cambio climático para la temporada de lluvias son de abril a mayo y de octubre a diciembre, y la temporada seca son de enero a febrero y de junio a agosto. Presenta también proyecciones de crecimiento poblacional de 2071 a 2100 a través de simulaciones hidrológicas utilizando escenarios de cambio climático. Durante este período, las precipitaciones disminuyen y la escasez de agua es elevada en condiciones extremas. Por lo tanto, se determinó que a medida que la población o la demanda de agua aumenten, se necesitarán fuentes adicionales de agua, ya sea sobre o bajo tierra, para satisfacer las necesidades de las actividades humanas. Por otro lado, no se encontró déficits hídricos en la parte de la cuenca baja con escenario de cambio climático ni en el de uso del suelo. La forestación es una forma de proteger y asegurar la disponibilidad futura de agua.

Tigmasa (2020) en su tesis “Evaluación del efecto del cambio climático como amenaza para el sector agrícola de la parroquia Izamba, cantón Ambato”, teniendo como objetivo evaluar los efectos percibidos por los agricultores de la parroquia Izamba frente al cambio climático. Presentando resultados del cambio climático en el sector agrícola, como el estrés hídrico en las plantas debido a la escasez de recursos hídricos durante períodos de sequía, o la falta de crecimiento de las plantas debido a deslizamientos de tierra debido al exceso de lluvia en áreas donde se ubican las operaciones de tuberías de recursos. Concluyendo que, debido al aumento del calor y al estrés relacionado, la pérdida de biomasa y la tasa de enanismo se aprecian en variedades de cultivos que alcanzan límites de tolerancia. Actualmente, los agricultores de la parroquia de Izaba cuentan con buenas tierras para el desarrollo agrícola, pero debido a muchos factores como la sequía y el cambio climático, están identificando cultivos para desarrollar mejores prácticas de producción.

Erreis (2015) en su tesis “Evaluación del efecto del cambio climático en los cultivos de la zona de santa rosa de Cusubamba, cantón Cayambe, provincia de Pichincha”, con el objetivo de evaluar el efecto del cambio climático en los cultivos de la zona de Santa Rosa de Cusubamba, Cantón Cayambe, Provincia de Pichincha – Ecuador. Mostrando resultados para un período del 2020 hasta 2049, donde la temperatura media tendrá un aumento de 0.4 °C y en el período de 2040 hasta 2069 tendrá un aumento de 0.3 °C. Concluyendo que

en estos escenarios no favorecen a la papa ya que se requieren más horas de frío en las fases estacionales correspondientes a la formación de este tubérculo lo que perjudica la producción de papa. Las precipitaciones, por su parte, aumentaron un 79% en el primer período y un 16 % en el segundo período, beneficiando en general a la cosecha. Sin embargo, esto indica que se puede producir una inundación en áreas dominadas por suelos franco-limosos; al mismo tiempo, esto implica una fuerte lixiviación de bases, un aumento de la acidez del suelo, mineralización de la materia orgánica y la consiguiente pérdida de agregados.

2.7.2. Antecedentes nacionales

Ríos (2023) en su tesis “Predicción de la cobertura y uso de la tierra al año 2030 en la cuenca del río huayabamba región san martín”, con el objetivo de evaluar la predicción del aumento o disminución de la cobertura y uso de la tierra al año 2030 en la cuenca del río Huayabamba en la región San Martín, concluyó que, entre 2000 y 2020, hubo una pérdida de 34 590,78 hectáreas de bosques y un aumento de 36 037,58 hectáreas de áreas agrícolas diversas. En su proyección para 2030, también prevé un aumento de 19 026,40 ha de deforestación, 1 344,45 ha de vegetación secundaria, 18 175,88 ha de áreas agrícolas heterogéneas, 831,71 ha de cultivos transitorios y 630,28 ha de pastos.

Senamhi (2021) en su informe “Escenarios climáticos al 2050 en el Perú: Cambios en el clima promedio”, con su objetivo de analizar los escenarios de cambio climático centrados al 2050 comprendido en el periodo 2036 al 2065 relativo al periodo de referencia de 1981 al 2005 bajo el escenario de altas emisiones RCP 8.5. Concluyendo que para el año 2050, la región de la Amazonia experimentará una disminución del 30% en la precipitación anual, con una disminución de 30.2 a 51.2 mm durante las temporadas de avenida y estiaje, mientras que las temperaturas medias aumentarán de 2.0 a 3.3 °C. en épocas de estiaje llegando hasta 4.0 °C en invierno, aumentos de la temperatura máxima de 2.1 y 3.2 °C en estiaje y en invierno llega hasta 4.7 °C, aumentos de la temperatura mínima 1.9 y 3.6 °C. En la zona de los Andes la precipitación anual se reducirá en un 45% con 20 mm en la temporada de avenida, aumentos de la temperatura media de 1.8 °C hasta 4.0 °C, un aumento de temperatura máxima de 2.1 °C a 3.0 °C, aumento de la temperatura mínima de 1.9 y 4.4 °C. Por último, en la zona de la Costa la precipitación anual tiene un incremento superior a 45 % con 15 mm de precipitación en escalas temporales, un aumento de la temperatura media entre 1.6 y 2.8 °C, aumentos de temperatura máxima de 1.2 y 2.8 °C, aumento de la temperatura mínima de 1.7 y 2.9 °C.

Olivera (2019) en su tesis de “Disponibilidad hídrica superficial de la subcuenca del río Shullcas con fines agrícolas frente al escenario de cambio climático –

Huancayo”, con el objetivo de establecer la disponibilidad hídrica superficial de la subcuenca que alberga al río Shullcas con fines agrícolas frente al escenario de cambio climático – Huancayo. Mostrando los resultados del suministro de agua, bajo el escenario de cambio climático S1, el suministro mínimo en julio es de 1.77 MMC y el suministro máximo en enero es de 28.73 MMC, en el caso del cambio climático S2, el suministro mínimo es de 0.96 MMC en julio y 36,22 MMC. En febrero, Además, debido a la disponibilidad de agua, en el caso del cambio climático S1, la disponibilidad de agua agrícola en julio es de 0.50 MMC, la más alta en febrero es de 27.59 MMC. La disponibilidad máxima para el escenario S2 fue de -0,30 MMC en julio y 35,08 MMC en febrero. Finalización de la demanda agrícola: En el escenario de cambio climático S1, la demanda no se satisface entre junio y agosto y octubre, mientras que en el escenario de cambio climático S2, la demanda agrícola no se satisface entre julio y octubre.

Pilares et al., (2018) en su artículo sobre “Evaluación de la disponibilidad hídrica en la cuenca del río Cabanillas del Altiplano peruano bajo escenarios climáticos regionalizados”, con el objetivo de desarrollar un modelo para evaluar la disponibilidad hídrica de la unidad hidrográfica del río Cabanillas, que tiene un área de cuenca de 2,845 km² y pertenece al Lago Titicaca en el Altiplano peruano, para varios escenarios regionalizados de cambio climático. En este lugar, utilizo escenarios climáticos regionalizados a partir de tres modelos globales: CANESM2, CNRM-CM5 y MPI-ESM-MR, así como dos escenarios de emisiones: el escenario intermedio, RCP5, y el escenario pesimista, RCP 8.5. Estos modelos se basaron en escenarios futuros previstos para 2099. Concluyendo que, aunque solo se está satisfaciendo el 80% de la demanda, el cambio climático mejora el suministro de agua, como lo demuestra el aumento del 15% en la disponibilidad de agua para el sistema integrado Lagunillas en todos los escenarios, especialmente los escenarios CANESM2-RCP5 y CANESM2-RCP8.5.

Gómez (2016) en su tesis sobre el “Impacto del cambio climático en la demanda hídrica de las cuencas chancay-Lambayeque y Lurín”, con el objetivo de evaluar el efecto del cambio climático en la demanda hídrica agrícola, poblacional, pecuaria e industrial de la cuenca Chancay-Lambayeque y la cuenca Lurín para seis escenarios de cambio climático. Donde la cuenca Chancay-Lambayeque tiene las mayores necesidades de agua para la agricultura, siendo la parte alta de la cuenca el 95.3% de la demanda hídrica total y la parte baja de la cuenca un 89.3%. En la Cuenca de Lurín, la demanda agrícola es la que consume más agua en las zonas altas, con un 99.2%, mientras que la demanda poblacional es la que consume más agua en las zonas bajas, representando el 50% de la demanda total, seguida por la demanda agrícola con un 39.4%. Concluyendo que todos los escenarios estudiados muestran cambios

significativos en la demanda de agua en la cuenca Chancay-Lambayeque, con el escenario CanESM2 8.5 mostrando el mayor aumento de la demanda. En la Cuenca de Lurín, todos los escenarios estudiados han experimentado cambios significativos, siendo el escenario CanESM2 8.5 el más impactante, lo que resulta en un aumento significativo de la demanda.

2.7.3. Antecedentes locales

Paredes (2022) en su tesis “Simulación geoespacial de los cambios de cobertura y uso de la tierra al año 2030 en la microcuenca supte, distrito rupa rupa – Huánuco, 2022”, con el objetivo de simular geoespacialmente los cambios de cobertura y uso de la tierra al año 2030 en la microcuenca Supte, concluyendo que entre 2000 y 2020, la deforestación causó una disminución en la cantidad de bosques, con un total de 1 492,26 ha deforestados. Por otro lado, hubo un aumento notable en las áreas agrícolas con 528,75 ha, la vegetación secundaria con 525,49 ha, las áreas urbanizadas con 274,70 ha y las áreas sin o con poca vegetación con 255,16 ha. Después, demostró que los cambios en la cobertura y el uso de la tierra en la microcuenca Supte implican la pérdida de 817,13 ha de bosque para el año 2030.

Senamhi (2013) en su reporte ejecutivo “Evaluación de los modelos CMIP5 del IPCC en el Perú: Proyecciones al año 2030 en la Región Huánuco Reporte ejecutivo”, con su objetivo de generar escenarios regionales con los modelos CMIP5 del IPCC validados para la generación de escenarios climáticos para el año 2030, en base a los escenarios de emisiones RCP8.5, utilizando los modelos globales que son: CCSM4, HadGEM2-AO, HadGEM2-ES y MPI-ESM-LR. Concluyendo que en la región Huánuco para el año 2030 no existirá un cambio significativo en la precipitación anual y estacional con aumento de 0% a 9%, donde el cambio más significativo se produce en las temperaturas máximas anuales, que ahora alcanzan los 1,7°C en junio, julio y agosto en comparación con lo normal. Sin embargo, diciembre, enero y febrero muestran el menor aumento de la temperatura máxima, con un máximo de 1,3-1,5 °C. Como resultado, se observó que el incremento mínimo anual y estacional fue de 1,8 °C en junio, julio y agosto, mientras que el cambio mínimo en la temperatura mínima fue de 1,8 °C en diciembre, enero y febrero. 3°C.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

3.1.1. Zona de estudio

Las zonas de estudio se encuentran dentro de la cuenca río Azul que tiene un área de 11 860,25 hectáreas y cuyas aguas desembocan al río Magdalena, asimismo esta conformado por un sistema hidráulico denominado La Florida (canal de riego y bocatoma) y, delimitada aguas arriba de la bocatoma, abarca una cuenca de estudio que tiene una extensión de 7 960,14 hectáreas. Actualmente, el área de cultivo de arroz es 891,21 hectáreas aproximadamente y se encuentran en la parte baja de la cuenca río Azul. Según el ámbito administrativo del recurso hídrico pertenece a la Intercuenca Alto Huallaga. Políticamente se ubica en el distrito La Morada, provincia de Marañón, departamento de Huánuco.

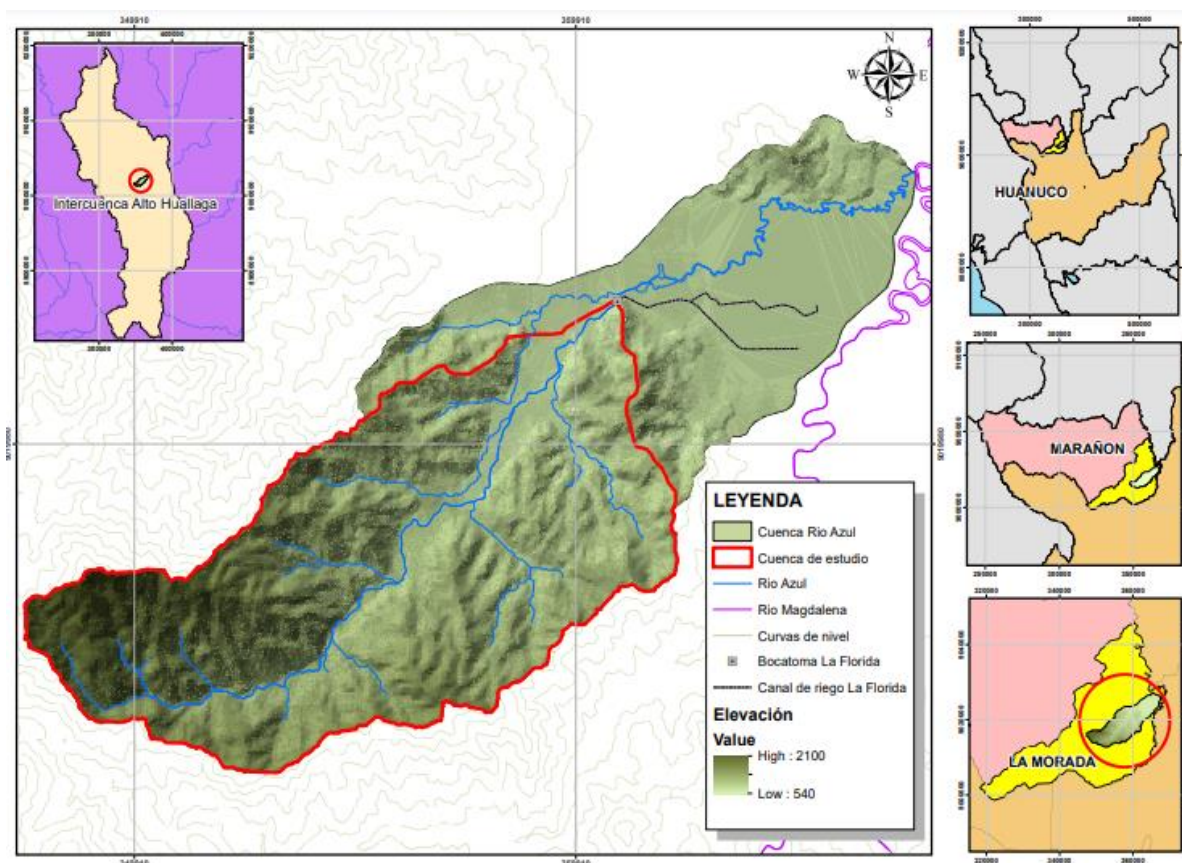


Figura 7. Ubicación del área de estudio.

3.1.2. Ubicación de las estaciones meteorológicas

Las estaciones meteorológicas disponibles para la zona de estudio fueron La Morada, Aucayacu, Tulumayo, Tocache, Tananta, Uchiza y Cachicoto. Cada una con información meteorológica obtenida de la plataforma web del Observatorio Nacional de Recursos Hídricos (ONRH) de la Autoridad Nacional del Agua (ANA). La tabla 2 describe las

variables meteorológicas obtenidas por cada estación.

Tabla 2. Estaciones meteorológicas cercanas con registros de datos meteorológicos.

Estación	Este m	Norte m	Altitud m.s.n.m.	Institución	Variables meteorológicas registrados
La Morada	362201	9028911	550	Senamhi, ANA	Temperatura máxima, temperatura mínima, humedad relativa, velocidad del viento y precipitación
Aucayacu	377776	9012717	586	Senamhi	Temperatura máxima, temperatura mínima, humedad relativa, velocidad del viento y precipitación
Tulumayo	389088	8988734	612	ANA, Senamhi	Temperatura máxima, temperatura mínima, humedad relativa y precipitación
Tocache	332921	9095119	500	Senamhi	Temperatura máxima, temperatura mínima, humedad relativa y precipitación
Tananta	325859	9102623	480	Senamhi	Velocidad del viento y precipitación
Uchiza	339380	9066537	541	ANA	Precipitación
Cachicoto	366752	8980675	768	Senamhi	Precipitación



Figura 8. Ubicación de las estaciones meteorológicas en Google Earth

3.1.3. Fisiografía

Se realizó un mapa fisiográfico con información del Instituto Geográfico Nacional (IGN) para determinar las terrazas bajas en la zona baja o plana de la cuenca donde se encuentra mayor actividad de la producción del cultivo de arroz, la cual abarca una superficie de 3 500 hectáreas con que se proyectó a futuro la extensión de áreas de este cultivo.

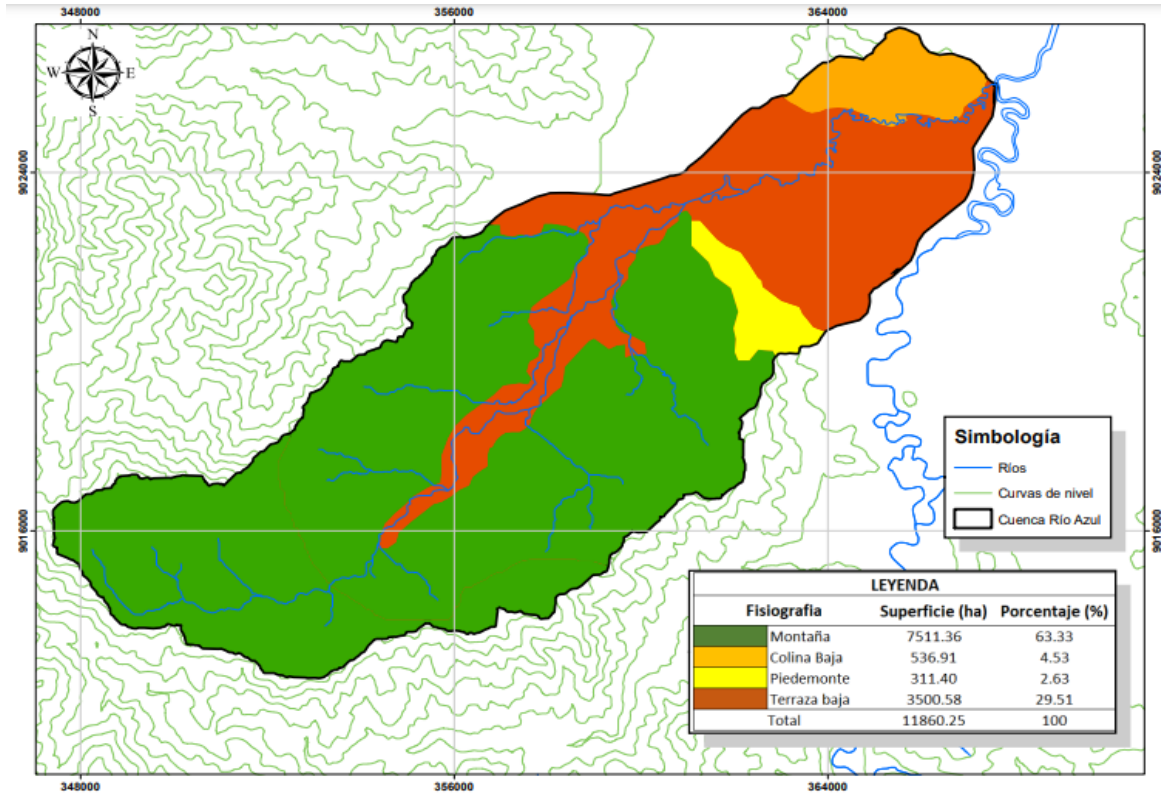


Figura 9. Mapa fisiográfico de la cuenca río Azul.

3.1.4. Clasificación climática

Se creó un mapa de clasificación climática utilizando datos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) con el fin de identificar los distintos tipos de clima que se encuentran en diversas áreas de la cuenca río Azul. Las clasificaciones que se han establecido dentro de la cuenca se muestran en la tabla 3.

Tabla 3. Clasificación climática de la cuenca río Azul.

Clasificación climática	Tipo	Descripción	Características
B (r) A'	Cálido	Lluviosa con humedad abundante todo el año	Precipitación anual: entre 2000 mm a 3500 mm aprox. Temperatura max: 29°C a 31°C Temperatura min: 19°C a 21°C
B (r) B'	Templado	Lluviosa con humedad abundante todo el año	Precipitación anual: entre 1200 mm a 3000 mm aprox. Temperatura max: 25°C a 29°C Temperatura min: 11°C a 17°C
A (r) B'	Templado	Muy lluviosa con humedad abundante todo el año	Precipitación anual: entre 2000 mm a 3500 mm aprox. Temperatura max: 27°C a 29°C Temperatura min: 17°C a 21°C

Fuente: Senamhi 2020

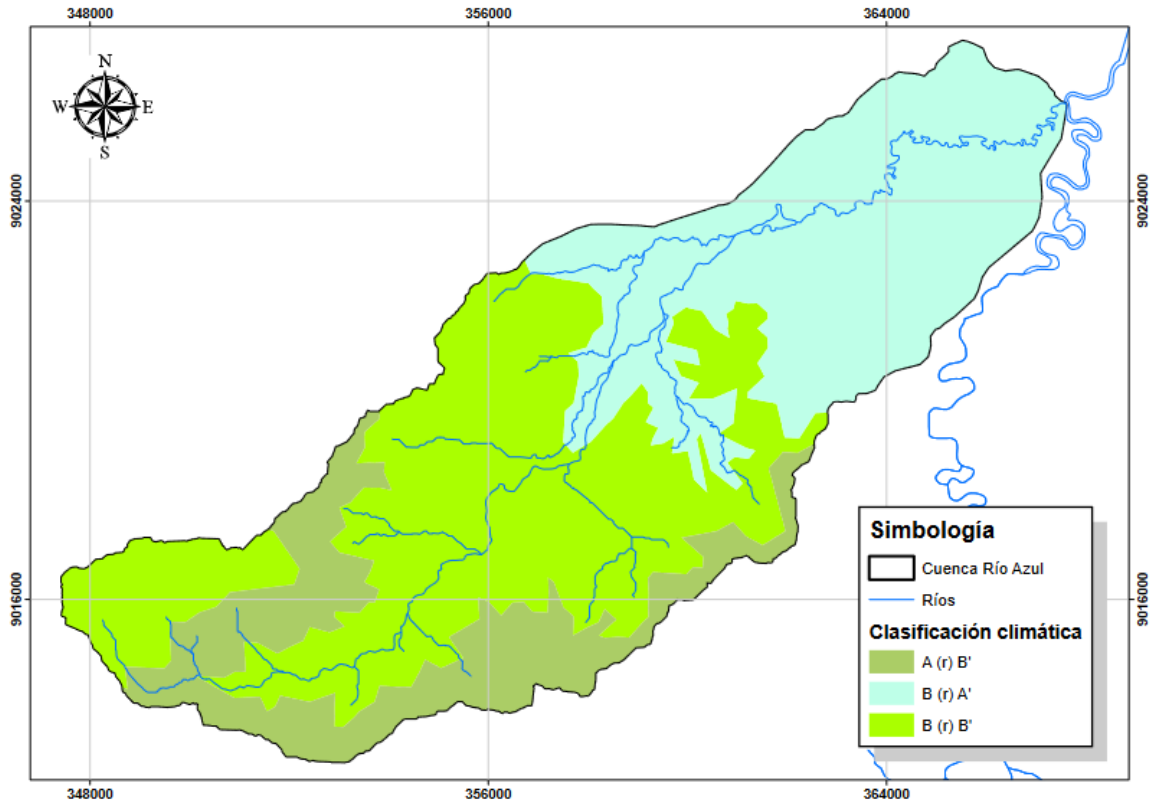
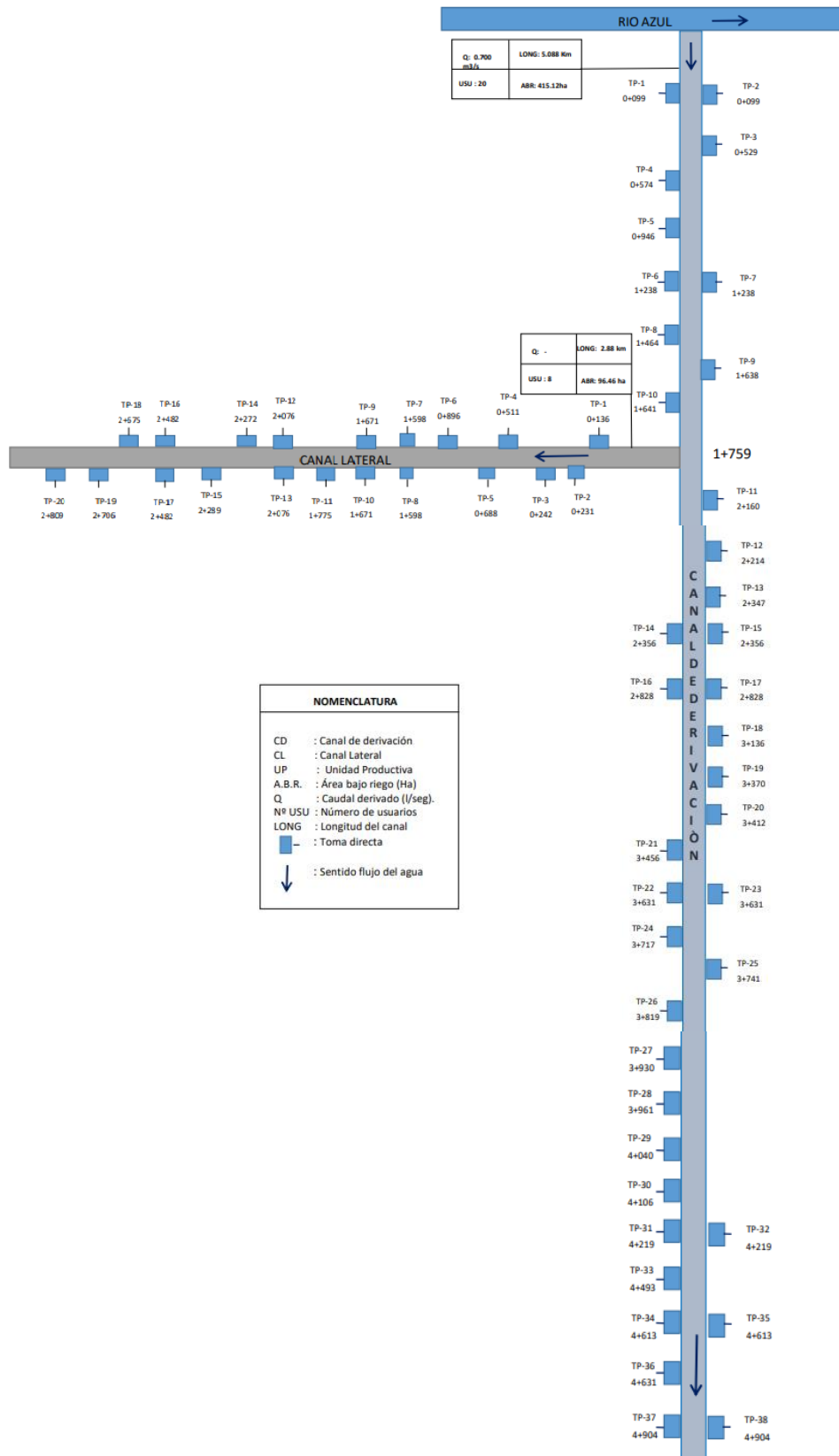


Figura 10. Mapa de clasificación climática de la cuenca río Azul.

3.1.5. Sistema hidráulico La Florida

El sistema hidráulico La Florida es de tipo menor, lo compone el río Azul con un caudal promedio de $3,5 \text{ m}^3/\text{s}$, una bocatoma de tipo permanente de concreto armado con barraje, aliviadero, rebose y un canal rectangular de derivación que tiene un caudal de diseño de $0,9 \text{ m}^3/\text{s}$ y un caudal promedio en operación de $0,7 \text{ m}^3/\text{s}$ con compuerta de tarjeta. Se compone de un canal de derivación con una longitud de $5,088 \text{ km}$ y un canal lateral de $2,88 \text{ km}$ de igual capacidad; también presenta 38 y 20 tomas parcelarias por cada canal donde actualmente riega a $891,21$ hectáreas aproximadamente, está diseñado para el riego de 2388 hectáreas de cultivo proyectadas hasta el 2035 de vida útil según el estudio hidrológico del canal de riego La Florida realizado por el Proyecto Especial Alto Huallaga (PEAH).



Fuente: ANA 2021

Figura 11. Esquema del sistema hidráulico La Florida.

3.2. Materiales y equipos

3.2.1. Materiales

Cuaderno de apuntes, wincha, barreno y mapa impreso.

3.2.2. Equipos de campo

Estación meteorológica portátil Sainlogic WS0835, caudalímetro OTT MF PRO, GPS Garmin, cámara fotográfica y laptop.

3.3. Criterio y análisis de estudio

3.3.1. Tipo de y nivel de investigación

Es de tipo aplicada, porque se recurrió a conocimientos establecidos en las ciencias meteorológicas, hidrológicas y agrícolas, para determinar el efecto del cambio climático en el aprovechamiento del recurso hídrico del cultivo de arroz en el sector agrícola del río Azul. Además, corresponde a un nivel de investigación descriptiva longitudinal porque se proyectan y evalúan las variables de oferta y demanda de agua a lo largo del tiempo.

3.3.2. Diseño de investigación

Corresponde a una investigación no experimental, donde los datos meteorológicos, hidrológicos y agrícolas se sometieron a un análisis estadístico y análisis de tendencias para evaluar el comportamiento histórico y actual del clima, seguidamente se trabajó con los modelos climáticos globales para estimar el clima futuro a largo plazo de 47 años, y teniendo como resultado, el efecto del cambio climático sobre la disponibilidad del recurso hídrico para el cultivo de arroz.

3.3.3. Variables de estudio

- Independiente

Cambio climático

- Dependiente

Variables meteorológicas, demanda hídrica del cultivo de arroz, oferta hídrica del río Azul y balance hídrico (superávit/déficit).

3.3.4. Operacionalización de las variables

En la tabla 4 se muestra la operacionalización de las variables de esta investigación para los periodos históricos (2011- 2023) con datos meteorológicos registrados y

aquellos provenientes de los modelos climáticos globales en el periodo futuro (2024-2070).

Tabla 4. Operacionalización de las variables.

Variables	Dimensiones	Indicadores
Variables meteorológicas	Temperatura promedio mensual	Grados Celsius (°C)
	Humedad relativa promedio mensual	Porcentaje (%)
	Velocidad del viento promedio mensual	Metro por segundo (m/s)
	Precipitación acumulado mensual	Milímetros (mm)
	Evapotranspiración acumulado mensual	Milímetros (mm)
Demanda hídrica del cultivo de arroz	Precipitación acumulado anual	Milímetros (mm)
	Evapotranspiración acumulado anual	Milímetros (mm)
	Áreas de cultivo de arroz	Hectáreas (ha)
	Demanda hídrica	Millones de metros cúbicos (MMC)
Oferta hídrica del río Azul	Precipitación acumulado anual	Milímetros (mm)
	Evapotranspiración acumulado anual	Milímetros (mm)
	Área de la cuenca de estudio	Hectáreas (ha)
	Caudales aforados	Metros cúbicos por segundo (m ³ /s)
	Oferta hídrica	Millones de metros cúbicos (MMC)
Balance hídrico (superávit/déficit)	Oferta hídrica del río Azul	Millones de metros cúbicos (MMC)
	Demanda hídrica del cultivo de arroz	Millones de metros cúbicos (MMC)

3.3.5. Población y muestra

- Población

Está conformado por toda la cuenca del río Azul con un área de 11 860,25 hectáreas.

- Muestra

Compuesta por las áreas de cultivo de arroz del sector agrícola del río Azul con 891,21 ha actualmente y un área de 3 500 ha proyectadas a futuro para determinar la demanda hídrica en toda la parte baja de cuenca y una cuenca de estudio delimitado aguas arriba de la bocatoma La Florida para determinar la oferta hídrica del río Azul.

3.4. Metodología

3.4.1. Analizar los datos meteorológicos históricos y los datos meteorológicos futuros proyectados por los modelos climáticos globales

3.4.1.1. Analizar exploratoriamente los datos

- Analizar los datos faltantes

Para completar los datos meteorológicos faltantes se instaló una estación meteorológica nueva cercano a la ubicación anterior de una antigua estación, a esta nueva estación la denominamos estación “La Morada”, esta nueva estación nos registró datos meteorológicos como la temperatura máxima, temperatura mínima, humedad relativa, velocidad del viento y precipitación. Seguidamente, como el estudio consta de un periodo de evaluación desde el 2011 hasta el 2023, se buscó datos meteorológicos de estaciones cercanas registradas en ese periodo para aplicar el método del Servicio Meteorológico Nacional de EE. UU según (Toro et al, 2015).

$$P_x = \frac{\sum(P_i W_i)}{\sum W_i}$$

Donde:

P_x : dato faltante

P_i : dato observado para la fecha de la faltante, en las estaciones cercanas pueden ser como mínimo 2 estaciones.

W_i : es igual a $1/D_i^2$, siendo D_i la distancia entre la estación cercana y la estación incompleta en km.

- Analizar la consistencia de datos

Para que nuestros datos meteorológicos completados sean confiables para el procesado de la información, se realizó según (Villon 2006) un análisis de consistencia por el método del diagrama de doble masa donde se obtuvo ploteando en el eje de las abscisas los acumulados promedios de los datos meteorológicos mensuales de todas las estaciones cercanas y en el eje de las ordenadas los acumulados de los datos meteorológicos mensuales de la estación La Morada. Seguidamente para determinar el coeficiente de confiabilidad del análisis de doble masa, se realizó el análisis de regresión lineal simple y se obtuvo el coeficiente de determinación del r^2 en cada diagrama, para determinar si los datos siguen una misma recta y no presentan quiebres. El valor r^2 determinó si los datos que siguen una misma recta varían o son proporcionales y significantes con un nivel de significancia del 95%.

Por lo tanto, un valor de 1,0 o más cercano indica un ajuste perfecto, lo que indica que el modelo es muy confiable para las previsiones futuras, mientras que un valor de 0,0 indica que el cálculo no es confiable para modelar los datos. Como se muestra en la siguiente ecuación:

$$R^2 = \frac{SCR_{eg}}{SCT} = 1 - \frac{SCE}{SCT} ; 0 \leq R^2 \leq 1$$

Donde:

SCT : suma de cuadrados total

SCE : suma de cuadrados residual

SCReg : suma de cuadrados de la regresión

Siendo:

Un valor de R^2 cercano a 0 \Rightarrow baja capacidad explicativa de la recta.

Un valor de R^2 próximo a 1 \Rightarrow alta capacidad explicativa de la recta.

Aplicando a este estudio, decidimos con un nivel de significancia del 95%:

Un valor de R^2 siendo $R^2 < 0.95 \Rightarrow$ Datos no significantes (datos no confiables)

Un valor de R^2 siendo $0.95 < R^2 < 1.0 \Rightarrow$ Datos significantes (datos confiables)

3.4.1.2. Analizar estadísticamente los datos

- Analizar de manera descriptivo numérico

De acuerdo con (Villon 2006), a través del análisis descriptivo se pudo representar y resumir los principales estadísticos de la muestra de los datos meteorológicos mensuales y multianuales con el valor máximo y mínimo, la media, la desviación estándar, la varianza y el coeficiente de variación.

- Analizar de forma gráfica

Se realizó este análisis con el fin de obtener gráficas que permitan observar el comportamiento de las series de datos meteorológicos mensuales multianuales del periodo 2011-2023. En un plano cartesiano, se plotea en las ordenadas la información meteorológica histórica (temperatura máxima, temperatura mínima, temperatura media, humedad relativa, velocidad del viento y precipitación) y en las abscisas el tiempo (meses o años). Esta gráfica permitió visualizar la consistencia de la información meteorológica con valores picos, muy altos o valores muy bajos o cambios y saltos ver si existen tendencias según (Villon 2006).

3.4.1.3. Analizar la tendencia de los datos

- Prueba de Mann-Kendall

La prueba de Mann-Kendall es una prueba no paramétrica que se utiliza para evaluar y analizar tendencias en estudios hidrológicos y climatológicos (Da Silva et al, 2016). Para realizar este análisis se usó el software Trend v1.0.2, en donde se halló el z-estadístico de las variables meteorológicas, para determinar la tendencia de los datos del periodo 2011-2023. Bezerra et al, (2015) resume el desarrollo de la ecuación de la prueba del test Mann-Kendall de la siguiente manera:

$$S = \sum_{i=2}^n \sum_{j=1}^{i-1} \text{sin al} (X_i - X_j)$$

Donde $\text{sin al} (x_i - x_j)$ se obtiene de la siguiente manera:

$$\text{Sin al} (X_i - X_j) = \begin{cases} -1, \text{ para } X_i - X_j < 0 \\ 0, \text{ para } X_i - X_j = 0 \\ 1, \text{ para } X_i - X_j > 0 \end{cases}$$

X representa a los datos estimados de la secuencia de valores y n representa el tamaño de la serie temporal.

Si H_0 es verdadera, el valor de S debe presentar una distribución aproximadamente normal con media cero y variancia:

Cuando: $S = 0$,

$$\text{Var}(S) = \frac{1}{18} \left[n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q tp(tp-1)(2tp+5) \right]$$

Donde: n es el tamaño de la serie temporal; tp es el número de pasos al valor; p y q son los números de valores iguales. La prueba estadística Z viene dada por:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{se } S > 0 \\ 0 & \text{se } S = 0 \\ \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{se } S < 0 \end{cases}$$

El Z es el parámetro de salida estadístico del test Mann-Kendall, si los valores de Z son positivos significan que existe tendencias crecientes, mientras si los valores son negativos significan tendencias decrecientes. En esta investigación se aplicó un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$. Teniendo en cuenta que si el valor absoluto de Z es igual que 0 la hipótesis nula al nivel de 5% será aceptada y determinándolo como sin tendencia (ST). Sin embargo, el resultado de Z es igual o mayor que 1,96 con valor positivo indicamos como existencia de tendencia significativa creciente (TSC); pero si el resultado de Z es menor que 1,96 indicamos tendencia no significativa creciente (TNSC); seguidamente, si el resultado de Z es igual o menor que -1,96 siendo valor negativo indicamos tendencia significativa decreciente (TSD), y por ultimo si el valor de Z presenta un resultado mayor que -1,96 indicamos tendencia no significativa decreciente (TNSD) según (Bezerra et al, 2015).

En la tabla 5 se muestra una leyenda para comprender mejor los valores del Z estadístico y su significancia.

Tabla 5. Descripción de la significancia del valor del z-estadístico del test Mann – Kendall.

Significancia	Simbología	Z
Sin tendencia	ST	0
Tendencia significativa creciente	TSC	> + 1,96
Tendencia significativa decreciente	TSD	< - 1,96
Tendencia no significativa creciente	TNSC	< + 1,96
Tendencia no significativa decreciente	TNSD	> -1,96

Fuente: Bezerra et al, 2015

- Prueba de la Pendiente de Sen

Se realizó este análisis para ver cuánto es la magnitud que se presenta en una tendencia de las variables meteorológicas de la estación La Morada, estimando cuanto es la disminución de una unidad de medida en una tendencia decreciente y cuanto es el aumento de una unidad de medida en una tendencia creciente. La pendiente se calculó como un cambio en mediciones variables en el tiempo. Bezerra et al, (2015) resume el desarrollo de la ecuación de la pendiente de Sen de la siguiente manera:

$$Q_i = \frac{X_j - X_k}{j - k}$$

Donde:

Q_i = pendiente entre los puntos de datos X_j y X_k ;

X_j = medición de datos en el momento j ;

X_k = medición de datos en el momento k ;

j = tiempo después tiempo k .

A partir de los resultados de esta prueba se determinó las variables meteorológicas acumulados por décadas, la cual nos ayudo a analizar y decidir los modelos climáticos globales y su escenario de Representación de rutas de Concentración Representativas (RCP) a futuro, que se utilizó para trabajar en esta investigación.

3.4.2. Determinación de la demanda hídrica histórica y futura del cultivo de arroz en el sector agrícola del río Azul al año 2070

Se determino dos tipos de demanda hídrica para el cultivo de arroz, la primera durante el periodo histórico (2011-2023) y la segunda durante el periodo futuro con los modelos climáticos globales estimados hasta el 2070.

3.4.2.1. Determinación de la demanda hídrica histórica

Para determinar la demanda hídrica histórica del cultivo de arroz por hectáreas, se utilizó el software Cropwat 8.0. La demanda hídrica por año se determinó por cada superficie de cultivo de arroz con previa clasificación no supervisada de imágenes satelitales mediante la combinación de bandas espectrales. Según Arteaga et al (2011), es necesario el ingreso de información en seis módulos presentes en el software y luego multiplicar por las dimensiones de las áreas del cultivo que son:

- Módulo: “Clima/Eto”

En este módulo se determinó la evapotranspiración por el método de Penman-Monteith, donde se ingresó los datos meteorológicos mensuales evaluados en la estación La Morada como la temperatura máxima (°C), temperatura mínima (°C), humedad relativa (%), velocidad de viento (m/s) y duración del sol (horas) del periodo 2011-2023.

FAO (2006), define una ecuación para determinar la evapotranspiración potencial (Eto) en este módulo, proponiendo una superficie de gramíneas de alturas semejantes, crecimiento dinámico haciendo sombra todo el terreno y bien regado. La ecuación que se encuentra dentro de este módulo es:

$$E_{T0} = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2(e_a - e_d)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)}$$

Donde:

Et0 = evapotranspiración de referencia (mm d-1)

Rn = radiación neta en la superficie de la planta (MJ m-2 d-1)

G = flujo térmico del suelo (MJ m-2 d-1)

T = temperatura media (°C)

U2 = velocidad del viento medida a 2 m de altura (m s-1)

(ea-ed) = déficit de la Presión de Vapor (kPa)

Δ = pendiente de la Curva de Presión de Vapor (kPa °C-1)

γ = constante psicrométrica (kPa °C-1)

900 = factor de conversión

- Módulo: “Prec”

En este módulo se determinó la precipitación efectiva por el método USDA S.C, donde se ingresó los datos de las precipitaciones mensuales evaluados en la estación La Morada del periodo 2011-2023.

FAO (2006), define una ecuación creada por el Servicio de Conservación de Suelos del Ministerio de Agricultura de EE. UU. para calcular la precipitación efectiva (Pe) en este módulo. La ecuación que se encuentra dentro de este módulo es:

$$Pe = (1.25247 \cdot Pt^{0.82416} - 2.93522) \cdot 10^{0.00095U} \cdot f$$

Donde:

Pe = precipitación efectiva mensual (mm).

Pt = precipitación total mensual (mm).

U = uso consuntivo medio mensual

$$F = 0.531747 + 0.011621 \cdot \Delta s - 8.9 \cdot 10^{-5} \cdot \Delta s^2 + 2.3 \cdot \Delta s^3$$

Δs = dosis de riego neta (mm).

Siendo:

USDA SCS (P)

$$Pe = Pt (125 - 0.2 Pt / 125) \text{ para } Pt < 250 \text{ mm}$$

$$Pe = 125 + 0.1 Pt \text{ para } Pt > 250 \text{ mm}$$

- Módulo: “Cultivo”

Este módulo se ingresó las fechas de siembra y cosecha, así como los valores de coeficiente de cultivo (kc) del arroz según el requerimiento de agua para el desarrollo fisiológico de la planta, los días de desarrollo desde la etapa de siembra hasta la etapa de cosecha, la profundidad de la raíz, el agotamiento crítico, la respuesta de rendimiento y la altura de la planta de arroz. FAO (2006), brinda tablas con valores determinados por estudios científicos realizados en diferentes cultivos en su libro “Evapotranspiración de Cultivo”, siendo estos valores que se utilizaron para este módulo. En la tabla 6 se muestran los valores que hacen

referencia al cultivo de arroz tomados de tablas de algunas páginas del libro de la FAO.

Tabla 6. Valores del cultivo de arroz para el módulo “cultivo” del Cropwat 8.0.

Coefficientes	Página	Valores											
Coeficiente de cultivo (Kc)	138	Cultivo					$K_{cb,ini}^1$	$K_{cb,med}^1$	$K_{cb,fin}^1$				
		Arroz					1,00	1,15	0,70-0,45				
Etapas (días)	107	Cultivo					Inic. (L _{ini})	Des. (L _{des})	Med. (L _{med})	Final (L _{fin})	Total	Fecha de Siembra	Región
		Arroz					30 30	30 30	60 80	30 40	150 180	Dic; Mayo Mayo	Trópicos; Mediterráneo Trópicos
Profundidad radicular (m) y factor de agotamiento	164	Cultivo					Profundidad radicular máxima ² (m)		Fracción de agotamiento ² (para ET= 5 mm día ⁻¹) p				
		Arroz					0,5-1,0		0,20 ⁴				
Factor de respuesta (Ky)	181	Cultivo					Ky						
		Arroz					1,15						
Altura de cultivo (m)	111	Cultivo					$K_{c,ini}^1$	$K_{c,med}^1$	$K_{c,fin}^1$	Altura Máx. Cultivo (h) (m)			
		Arroz					1,05	1,20	0,90-0,60	1			

Fuente: FAO 2006

A partir de la tabla 6 conocemos los coeficientes de cultivo del arroz que se distribuyó en todos los meses que se encuentra las dos campañas que se realiza en la zona de estudio. En la tabla 7 se muestra los Kc distribuidos en los meses de duración del desarrollo del cultivo de arroz.

Tabla 7. Valores de los kc distribuidos en los meses que se produce el cultivo de arroz.

Campañas	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago.	Set	Oct	Nov
Cultivo de arroz primera campaña	1,00	1,01	1,07	1,08	1,08	0,89	0,55						
Cultivo de arroz segunda campaña								1,00	1,02	1,11	1,12	1,12	0,9 0,59

Fuente: FAO 2006

- Módulo: “Suelo”

En este módulo se determinó la humedad del suelo inicialmente disponible, ingresando información de algunas propiedades del suelo como la humedad del suelo disponible total (capacidad de campo – punto de marchitez), tasa máxima de infiltración,

agotamiento inicial de humedad del suelo y profundidad radicular máxima.

Se realizó un muestreo de suelo en la zona agrícola de cultivo arroz aplicando em método del Ministerio del Ambiente donde menciona que en área grandes se ejecuta el cálculo del tamaño de muestras mínimas en función a la superficie total del área de interés (MINAM, 2015).

$$N= 5 + 0,001 (S)$$

Donde:

N= número total de puntos de muestreo

S= superficie total del área de interés (ha)

También nos guiamos de la tabla 8, ya que nos indica los valores mínimos de puntos de muestreo de suelo según el área de interés.

Tabla 8. Valores de números de puntos de muestreo según el área de interés.

Mínimo de muestras	Constante	Áreas de interés (ha)	N° de puntos de muestreo
5	0.001	< 1000	6
5	0.001	5000	10
5	0.001	10000	15
5	0.001	20000	25
5	0.001	30000	35
5	0.001	>50000	45

Fuente: MINAM 2015

Para realizar el muestreo de suelo a una profundidad de 30 centímetros en nuestra zona de estudio, tuvimos en cuenta el área determinada de la terraza baja del mapa de fisiografía de la cuenca río Azul de la figura 9. Se planteó esta fisiografía como el área de interés para extraer muestras de suelo porque en esa zona se encuentran mayor porcentaje de áreas de cultivo de arroz. El área de interés es de 3 500 hectáreas, por lo cual reemplazamos en la fórmula de la siguiente manera:

$$N= 5 + 0,001 (3500)$$

$$N= 8.5 \Rightarrow 8 \text{ puntos de muestreo de suelo}$$

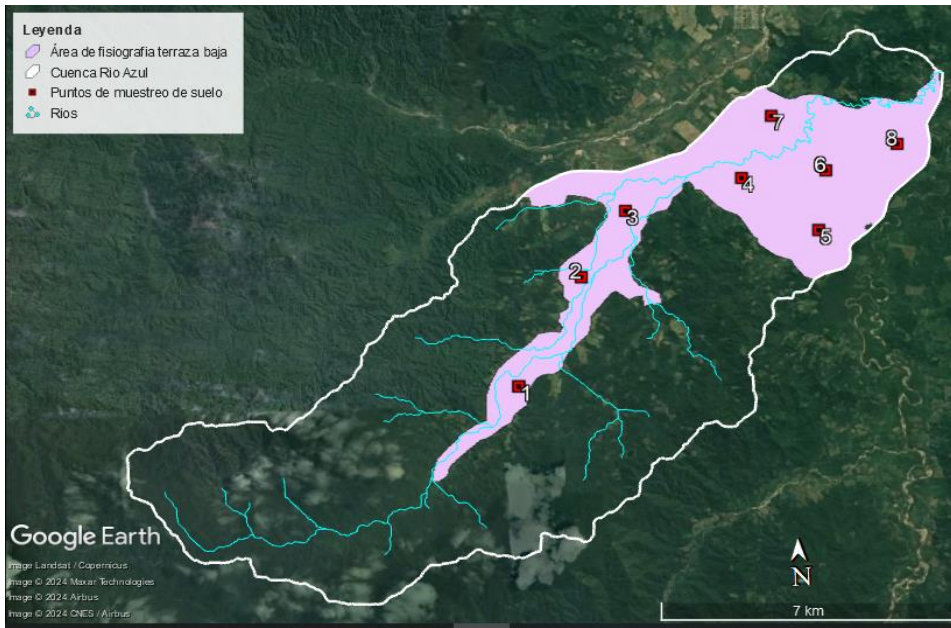


Figura 12. Puntos de muestreo de suelo en el área de interés.

Después, las muestras de suelo se analizaron en el Laboratorio de Conservación de Suelos para determinar la textura del suelo utilizando el método del hidrómetro de Bouyoucos según (Bazán, 2017); y luego ingresar esta información al software SPAW para determinar los valores que pide el módulo “suelo” del Cropwat 8.0. En la tabla 9 se muestran los resultados de textura del suelo y en la tabla 10 se muestran los valores que se ingresa al módulo mencionado para determinar la humedad del suelo inicialmente disponible.

Tabla 9. Clase textural del suelo del área de interés.

Puntos de muestreo	Este (m)	Norte (m)	Altitud (m.s.n.m)	Porcentaje de partículas (%)	Clase textural
P-1	356 548	9 017 889	735	Limo: 53,12 Arcilla: 28,87 Arena: 18,01	Franco Arcilloso Limoso
P-2	358 191	9 020 664	640	Limo: 55,61 Arcilla: 31,36 Arena: 13,03	Franco Arcilloso Limoso
P-3	359 370	9 022 389	598	Limo: 51,77 Arcilla: 24,96 Arena: 23,27	Franco Limoso
P-4	362 324	9 023 188	565	Limo: 53,01 Arcilla: 30,08 Arena: 16,91	Franco Arcilloso Limoso

P-5	364 148	9 021 735	570	Limo: 49,28 Arcilla: 22,47 Arena: 28,25	Franco
P-6	364 448	9 023 326	563	Limo: 60,8 Arcilla: 36,55 Arena: 2,65	Franco Arcilloso Limoso
P-7	363 188	9 024 857	562	Limo: 58,24 Arcilla: 32,71 Arena: 9,05	Franco Arcilloso Limoso
P-8	366 302	9 023 991	558	Limo: 58,31 Arcilla: 32,71 Arena: 8,98	Franco Arcilloso Limoso
Promedio de la textura del suelo del área de interés				Limo 55,0 Arcilla 30,0 Arena 15,0	Franco Arcilloso Limoso

Los valores del porcentaje de partículas promediados de las muestras de suelo del área de interés son ingresados al software SPAW para obtener valores de capacidad de campo, punto de marchitez, tasa máxima de infiltración y humedad de suelo disponible total.

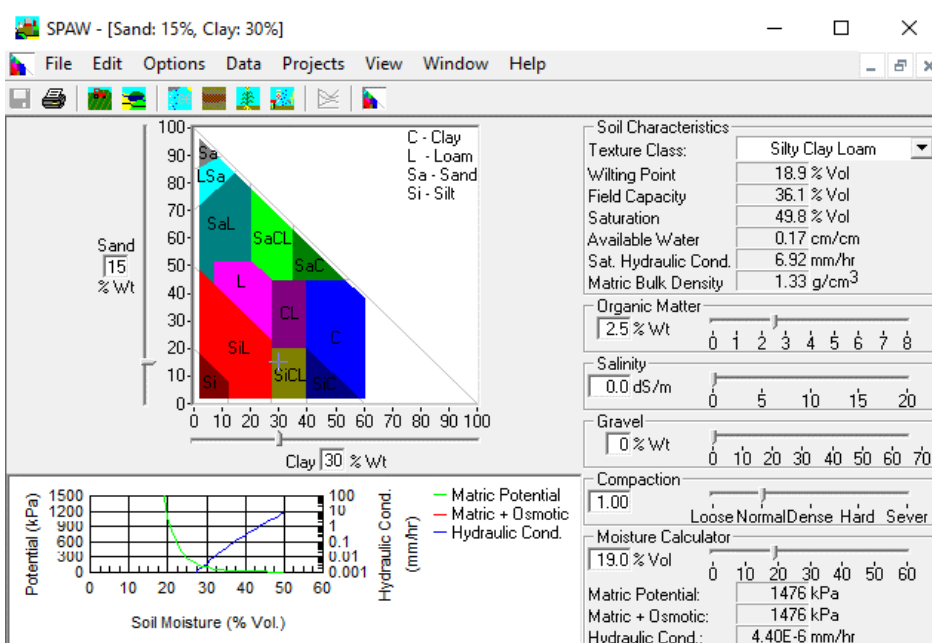


Figura 13. Valores de capacidad de campo (Field Capacity), punto de marchitez (Witing Point), tasa máxima de infiltración (Sat. Hydraulic Cond.) y humedad de suelo disponible total (Available Water).

Tabla 10. Valores de características del suelo determinados en el SPAW.

Características del suelo	Valores del SPAW	Valores para ingresar al módulo “Suelo”
Punto de marchitez	18,90%	17,20%
Capacidad de campo	36,10%	
Humedad del suelo disponible	0,17cm/cm	170,00mm/m
Saturación hidráulica	6,92mm/h	166,08mm/d

- Módulo: “Patrón de cultivo”

En este módulo se ingresó información de las fechas de siembra y cosecha de las dos campañas; seguidamente de se añadió también los porcentajes de áreas de cultivo de arroz en una hectárea. En la tabla 11 se indica la información de las fechas respectivas que se obtuvo de la zona de estudio.

Tabla 11. Fechas de siembra y cosecha de las áreas de cultivo de arroz de la zona de estudio.

Campaña del cultivo de arroz	Fecha de siembra	Fecha de cosecha	Áreas (%)
1ra campaña	15-Nov	13-May	50%
2da campaña	15-May	10-Nov	50%

- Módulo: “Programación”

En este módulo se calculó los caudales diarios teniendo en cuenta el canal de riego instalado, programado para un riego diario que necesita el cultivo de arroz según su etapa de desarrollo, teniendo en cuenta también las pérdidas por evapotranspiración potencial e infiltración del agua en el suelo; por otra parte para que este módulo se active se tuvo que ingresar información a los módulos de “clima/eto”, “prec”, “cultivo” y “suelo”, lo que significa que este módulo denominado “programación” calculó los caudales con los datos de evapotranspiración (Eto), coeficiente de cultivo (Kc), capacidad de campo (CC), punto de marchitez permanente (PMP) y la profundidad de raíces, que va ser igual a la profundidad del suelo. Las ecuaciones que se encuentra dentro de este módulo son:

Ecuación de la evapotranspiración de cultivo (mm/día):

$$ET_c = E_{t0} \times K_c$$

Donde:

E_{t0} = evapotranspiración de cultivo (mm/días)

E_{t0} = evapotranspiración potencial (mm/días)

K_c = coeficiente de cultivo

Ecuación de la lámina neta (cm):

$$L_n = C_e \times C_r$$

Donde:

L_n = lamina neta (cm)

C_e = capacidad del suelo para retener agua (mm)

C_r = criterio de riego

Ecuación de la capacidad del suelo para retener agua (mm):

$$C_e = \frac{(CC - PMP)}{100} \times D_a \times Prof$$

Donde:

C_e = capacidad del suelo para retener agua (mm)

CC = capacidad de campo (%)

PMP = punto de marchitez permanente (%)

D_a = densidad aparente (g/cm³).

Prof = profundidad del suelo (mm)

Estos datos para hallar la capacidad del suelo para retener agua ya fueron determinados en el módulo “suelo” y que se utilizó en el módulo “programación” para determinar la lámina neta. Para la densidad aparente el software Cropwat 8.0 toma en cuenta el valor de 1,4 de la tabla 12 para suelos Franco arcilloso limoso que han sido determinados en el módulo “suelo”.

Tabla 12. Valores de densidad aparente y crecimiento radicular según la clase textural del suelo.

Textura del suelo	Densidad aparente ideal para el crecimiento de raíces (gr/cm ³)	Densidad aparente que afecta el crecimiento de raíces (gr/cm ³)	Densidad aparente que restringen el crecimiento de raíces (gr/cm ³)
Arenoso, franco arenoso	< 1,6	1,69	> 1,8
Franco arenoso, Franco	< 1,4	1,63	> 1,8
Franco arcilloso arenoso, Franco arcilloso	< 1,4	1,6	> 1,75
Limoso, Franco limoso	< 1,4	1,6	> 1,75
Franco arcilloso limoso	< 1,4	1,55	> 1,65
Arcilloso arenoso, arcillo limoso, Franco arcilloso	< 1,1	1,39	> 1,58
Arcilloso (>45% arcilla)	< 1,1	1,39	> 1,47

Fuente: USDA, 1999

Ecuación de la lámina bruta (mm/día):

$$Lb = Ln/Ef.$$

Donde:

Lb = lamina bruta (mm/día)

Ln = lamina neta (mm)

Ef = eficiencia de riego (70%)

El Cropwat 8.0, recomienda un valor por defecto de 70% para sistemas de riego superficiales bien manejados. Seguidamente el resultado de la lámina bruta en mm/día se convierte en mm/segundo para poder hallar el caudal programado.

Ecuación del caudal de riego diario para 1 hectárea (l/s/ha):

$$Qd=Lb \times 10000$$

Donde:

Qd = caudal de riego diario programado (l/s/ha)

Lb = lamina bruta (mm/s)

- Módulo: “Sistema”

En este módulo se calculó los caudales requeridos del cultivo de arroz por pérdidas de agua por evapotranspiración potencial (Eto). Este módulo determino el requerimiento de riego (Rr) que necesita el cultivo a causa de la evapotranspiración del cultivo (Etc) y la poca precipitación disponible para las plantas denominado precipitación efectiva (Pe). Las ecuaciones que se encuentra dentro de este módulo son:

Ecuación del requerimiento de riego en milímetros (mm):

$$Rr = Etc - Pe$$

Donde:

Rr = requerimiento de riego (mm)

Etc = evapotranspiración del cultivo (mm/mes)

Pe = precipitación efectiva (mm/mes)

Ecuación del requerimiento de riego volumétrico (m³):

$$Rv = Rr \times 10$$

Donde:

Rv = requerimiento de riego volumétrico (m³)

Rr = requerimiento de riego (mm)

Ecuación del módulo de riego (l/s):

$$MR = Rv * (1000 / (3600 \times N.^{\circ} \text{ días del mes} \times N^{\circ} \text{ horas de riego} / Ef$$

Donde:

MR = módulo de riego (l/s)

Rv = requerimiento de riego volumétrico (m³)

E f= eficiencia de riego (70%)

El Cropwat 8.0, recomienda un valor por defecto de 12 horas de riego como mínimo, ya que son suficientes para satisfacer las necesidades de agua para el cultivo de arroz.

Ecuación del caudal requerido por el cultivo de arroz (l/s/ha):

$$Q_r = 1 \text{ ha} \times MR$$

Donde:

Q_r = caudal requerido (l/s/ha)

MR = módulo de riego (l/s)

- Áreas de cultivo de arroz históricas

Se determinó las áreas históricas del cultivo de arroz en la zona de estudio aplicando la combinación de bandas espectrales de imágenes satelitales del periodo 2011 – 2023 procesados en el software ArcMap 10.5. Se utilizó las imágenes satelitales de imagen natural y agricultura descargadas de los satélites Landsat 7, Landsat 8 y Sentinel 2, para determinar muestras de áreas de cultivo de arroz según se muestran en la tabla 13.

Tabla 13. Combinación de bandas espectrales para imagen natural y agricultura.

Satélite	Combinación de bandas	
	Imagen natural	Imagen agricultura
LANDSAT 7	B3-B2-B1	B5-B4-B1
LANDSAT 8	B4-B3-B2	B6-B5-B2
SENTINEL 2	B4-B3-B2	B11-8A-B2

En la Figura 14 se describe el procedimiento metodológico que se desarrolló para determinar las áreas de cultivo de arroz en la zona de estudio del periodo 2011-2023.



Figura 14. Flujograma de la metodología para determinar las áreas de cultivo de arroz.

- Demanda de agua del cultivo de arroz

Se determinó la demanda hídrica del cultivo de arroz en unidades de millones de metros cúbicos de agua (MMC) aplicando la siguiente fórmula según (Arteaga et al, 2011):

$$\text{Demanda hídrica} = \text{Demanda de agua del Cropwat 8.0 (l/s/ha)} \times \text{Áreas de cultivo de arroz (ha)}$$

3.4.2.2. Determinación de la demanda hídrica futura

Se determinó la demanda hídrica futura con los datos meteorológicos descargados de los modelos climáticos globales estimados hasta el 2070. En la tabla 14 se muestran la información de los modelos que se aplicaron en este estudio.

Tabla 14. Características de los modelos climatológicos globales.

Proyecto	Modelo	Centro de modelado	Variables	Escenario	Estimación Futura	Archivo	Resolución espacial
CMIP5	ACCESS1_0	Organización para la Investigación Científica e Industrial de la Commonwealth (CSIRO) y Oficina de Meteorología (BOM), Australia.	Temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación	RCP 8.5	2070	Geo TIFF (.TIFF)	10 min (340 km ²)
CMIP5	HadGEM2_ES	Centro Hadley de la Oficina de Meteorología del Reino Unido	Temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación	RCP 8.5	2070	Geo TIFF (.TIFF)	10 min (340 km ²)
CMIP5	MPI-ESM-LR	Instituto Max Planck de Meteorología de Alemania	Temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación	RCP 8.5	2070	Geo TIFF (.TIFF)	10 min (340 km ²)

Fuente: Senamhi 2021

En la Figura 15 se describe el procedimiento metodológico que se desarrolló para determinar la demanda hídrica futura estimada hasta el 2070 con los modelos climáticos globales.

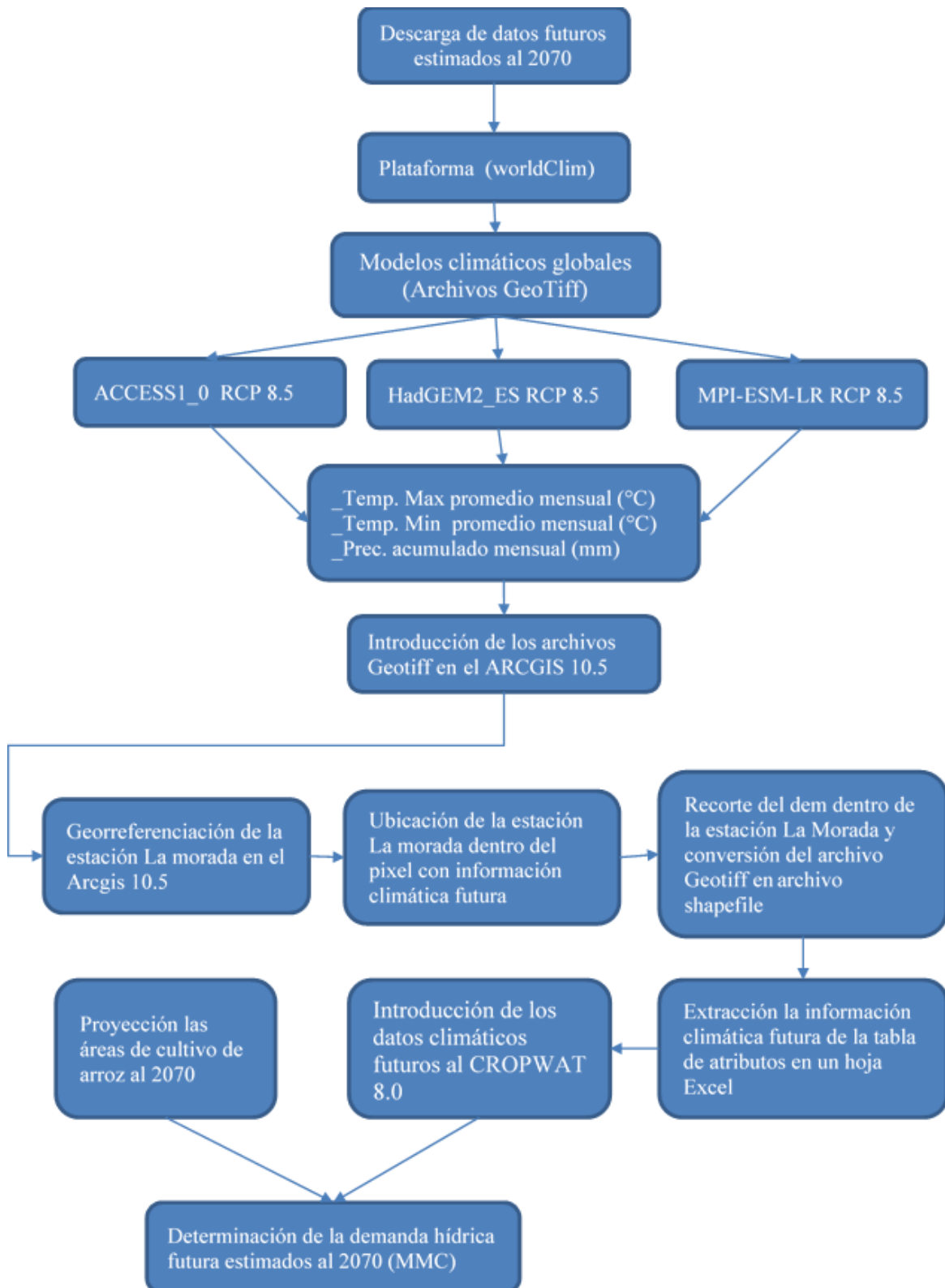


Figura 15. Flujograma de la metodología para determinar la demanda hídrica futura.

3.4.3. Determinación de la oferta hídrica histórica y futura del río Azul con el modelo hidrológico GR2M al año 2070

Se determino dos tipos de oferta de agua del río Azul que consta de un periodo histórico del 2011-2023 y de un periodo futuro con los modelos climáticos globales estimados hasta el 2070.

3.4.3.1. Determinación de la oferta hídrica histórica

Para determinar la oferta hídrica histórica del periodo 2011-2023, se utilizó el modelo hidrológico GR2M; este modelo nos estimó los caudales del río Azul a partir de datos de precipitación y evapotranspiración de la cuenca de estudio.

- Descarga de datos grillados PISCO

Se descargó los datos de precipitación y evapotranspiración mensuales del periodo 1981-2019 cargando nuestra cuenca de estudio en archivo kml al grillado PISCO en la plataforma del Sistema Nacional de Información de Recursos Hídricos (SNIRH) de la Autoridad Nacional del Agua (ANA). Los datos faltantes del año 2020 hasta 2023 fueron completados con la estación La Morada.

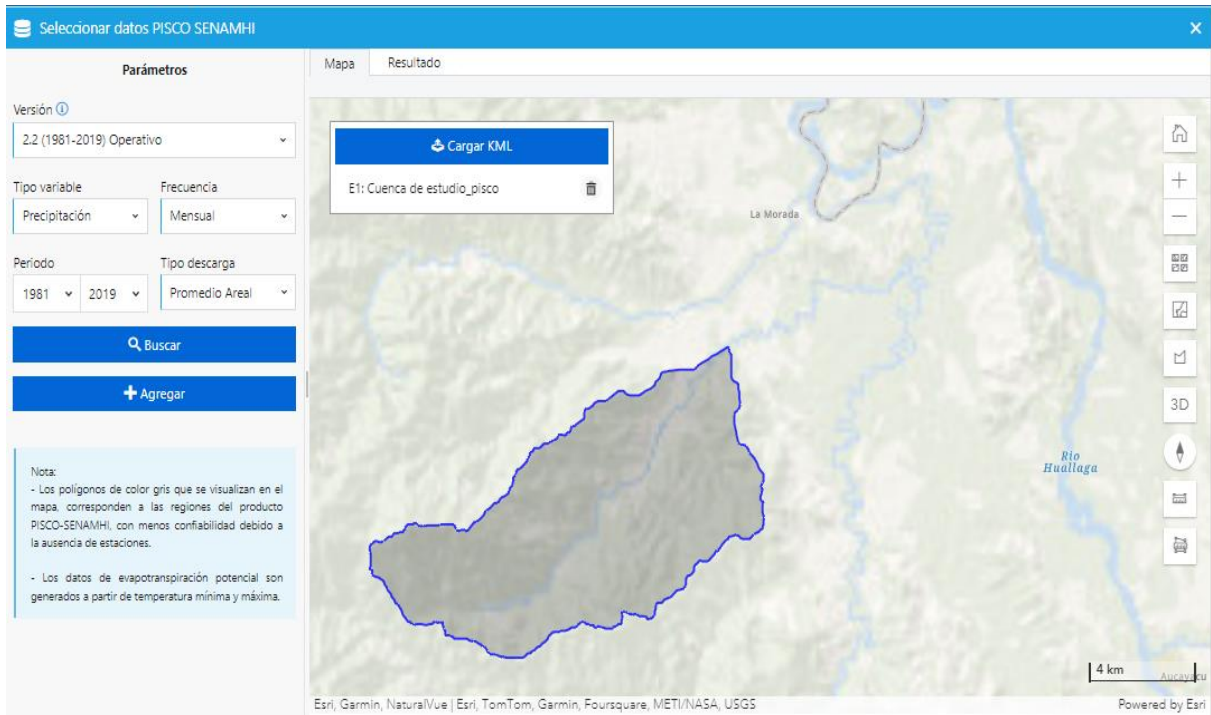


Figura 16. Descarga de datos del grillado Pisco en la cuenca de estudio.

- Modelo hidrológico GR2M

Se determinó la oferta hídrica del río azul estimando los caudales a partir de los datos de precipitación, evapotranspiración y el área de cuenca de estudio ingresados en el modelo GR2M elaborado en una hoja de cálculo Excel.

Para iniciar el modelo se evaluó la etapa de calibración que consistió del periodo 1981-2010; y la etapa de validación que consistió del periodo 2011-2023.

En estas dos etapas se optimizó los valores de X1 que es la capacidad del reservorio-suelo en milímetros y el X2 que es el coeficiente de intercambios subterráneos siendo un valor adimensional, usando la herramienta SOLVER del Excel. Los valores de estos se encontraron dentro de los rangos que se muestran en la tabla 15 según (Mouelhi et al. 2006).

Tabla 15. Parámetros y condiciones iniciales del modelo hidrológico GR2M.

Modelo GR2M	Descripción	Rango
Parámetros	X1 (mm) Capacidad de almacenamiento del reservorio de producción.	1 -- 2000
	X2 (adim) Coeficiente de intercambio de aguas subterráneas	0,01 -- 2
Condiciones iniciales	So (mm) Almacenamiento inicial del reservorio de producción	0 -- X1
	Ro (mm) Almacenamiento inicial del reservorio de agua gravitacional	0 -- 60

Fuente: Mouelhi et al. 2006

Seguidamente, como criterio de eficacia de evaluación de los resultados se determinó el criterio de Nash, el balance de caudales observado-simulados y el coeficiente de determinación R2 para afinar los resultados de la optimización.

$$\text{Nash} = \left[1 - \frac{\sum_{t=1}^n (Q_{obs,t} - Q_{cal})^2}{\sum (Q_{obs,t} - Q_{obs,t})^2} \right] \times 100$$

$$\text{Balan} = \left[\frac{\sum_{t=1}^n (Q_{obs,t})}{\sum (Q_{cal,t})} \right]$$

Donde:

$Q_{obs,t}$ = caudal observado

$Q_{cal,t}$ = caudal calculado

$\overline{Q_{obs,t}}$ = es el caudal observado medio

Por último, se observó en la tabla 16 los valores del criterio de Nash si nuestros caudales estimados tienen un buen ajuste y un criterio con eficacia según (Cabrera, 2012).

Tabla 16. Valores referenciales del criterio de Nash

Valores de Nash	Ajuste
< 20%	Insuficiente
20% - 40%	Satisfactorio
40% - 60%	Bueno
60% - 80%	Muy bueno
> 80%	Excelente

Fuente: Cabrera 2012

3.4.3.2. Determinación de la oferta hídrica futura

En la figura 17 se describe el procedimiento metodológico que se desarrolló para determinar la oferta hídrica futura estimada hasta el 2070 con los modelos climáticos globales.

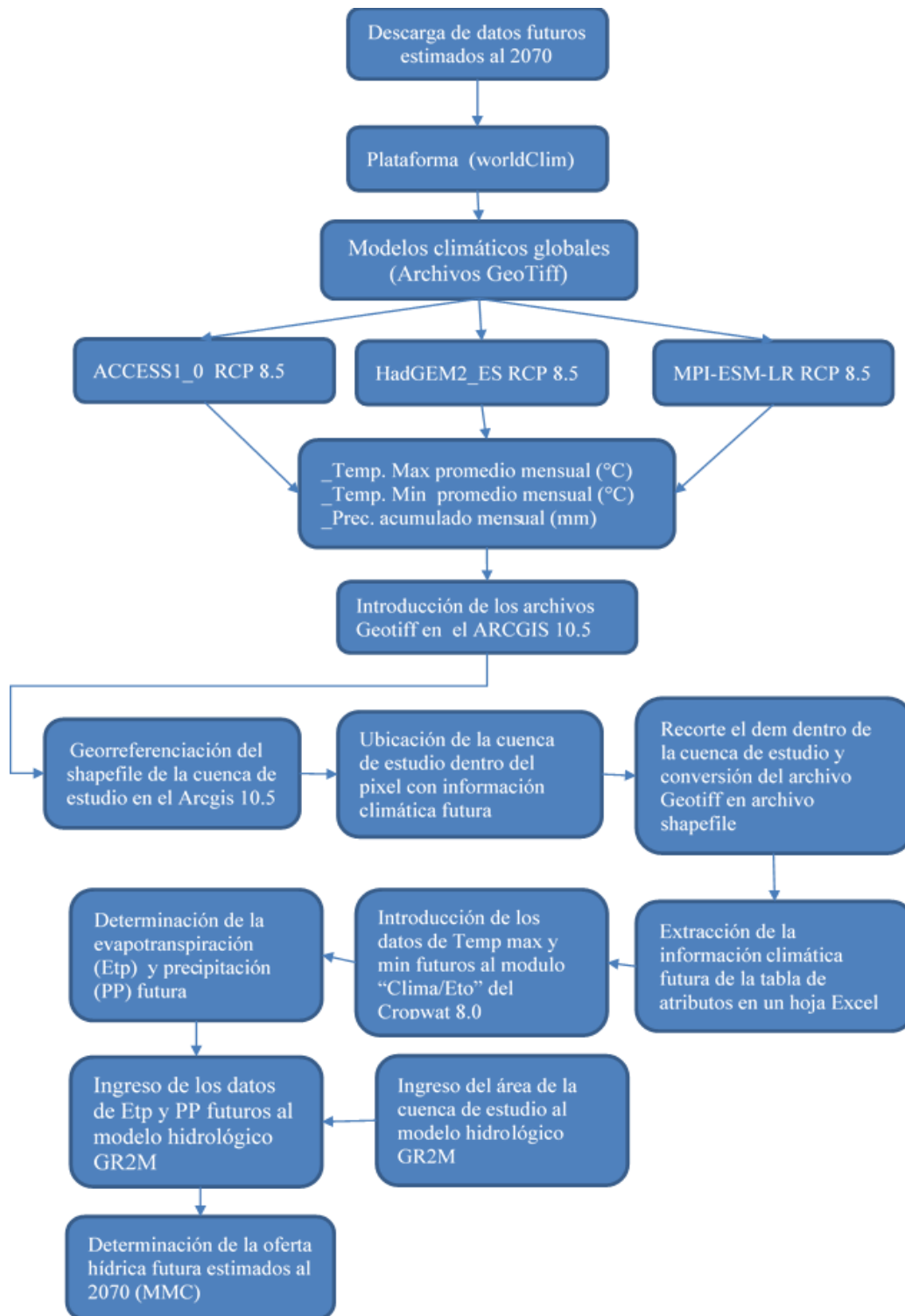


Figura 17. Flujograma de la metodología para determinar la oferta hídrica futura.

3.4.4. Determinación del efecto del cambio climático con el balance hídrico (déficit y/o superávit) al año 2070

Para determinar la cantidad del recurso hídrico en el futuro para el cultivo de arroz en la cuenca de estudio del río Azul con información de los modelos climáticos globales estimados al año 2070, se realizó un balance de los caudales disponibles del río Azul y la demanda de agua del cultivo de arroz, para determinar el déficit hídrico producido en la cuenca por el cambio climático.

Se utilizó el cálculo del balance hídrico (UNESCO, 1971):

$$\boxed{\begin{array}{l} \text{Cantidad de agua} \\ \text{(Superávit o Déficit)} \end{array}} = \boxed{\begin{array}{l} \text{Disponibilidad de agua} \\ \text{(oferta hídrica del río} \\ \text{Azul)} \end{array}} - \boxed{\begin{array}{l} \text{Demanda de agua} \\ \text{(demanda hídrica} \\ \text{del cultivo de} \\ \text{arroz)} \end{array}}$$

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Análisis de los datos meteorológicos históricos y futuros proyectados por los modelos climáticos globales

4.1.1. Análisis exploratorio de datos

4.1.1.1. Análisis de datos faltantes

Para el llenado de datos faltantes de la estación La Morada, se generó aplicando el método del Servicio Meteorológico Nacional de EE. UU (US National Weather Service) y en algunos casos se utilizó el promedio aritmético simple. La Tabla 17 muestra los datos meteorológicos faltantes de la estación de estudio.

Tabla 17. Red de datos climatológicos evaluados en el periodo 2011 – 2023 de la estación La Morada.

Variable s meteorol ógicas	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
	Ene - Jun Jul - Dic	Ene - Jun Jul - Dic	Ene - Jun Jul - Dic	Ene - Jun Jul - Dic	Ene - Jun Jul - Dic	Ene - Jun Jul - Dic	Ene - Jun Jul - Dic	Ene - Jun Jul - Dic	Ene - Jun Jul - Dic	Ene - Jun Jul - Dic	Ene - Jun Jul - Dic	Ene - Jun Jul - Dic	Ene - Jun Jul - Dic
Temperatura Máxima (°C)	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Temperatura Mínima (°C)	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Humedad Relativa (%)	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Velocidad del viento (m/s)	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Precipitación (mm)	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde

Información completa
 Información incompleta

Los datos completados de la estación La Morada se muestran en el anexo 1, 2, 3, 4 y 5. Cabe mencionar que los datos del año 2023 fueron completados con la estación meteorológica instalada y que los datos diarios registrados desde el mes de mayo hasta noviembre del año 2023 se encuentran en el anexo 6; y los datos mensualizados de estos se muestran en la tabla 18.

Tabla 18. Datos mensuales evaluados en la estación instalada La Morada.

Fecha	Temperatura Min (°C)	Temperatura Max (C°)	Humedad Relativa%	Vel. viento (Km/día)	Vel. viento (m/s)	PP acumulado (mm)
May-23	21	31,5	82,2	44,8	0,7	133,5
Jun-23	20,5	32,3	80,7	97,6	1,0	120,4
Jul-23	20,3	33,1	80,2	138,7	1,3	105,6
Ago-23	19,9	33,4	80,3	127,1	1,3	45,1
Set-23	20,4	34	80,6	148,9	1,4	107,6
Oct-23	21,4	34	83,1	150,9	1,5	111,2
Nov-23	21,6	33,1	84,9	154,2	1,5	206

4.1.1.2. Análisis de consistencia

Las comparaciones de las estaciones en el análisis de consistencia y confiabilidad de los datos meteorológicos registrados y completados del periodo 2011 -2023 entre la estación La Morada (LM) versus las estaciones cercanas como Aucayacu (Au), Tulumayo (Tu), Tocache (To), Tananta (Ta), Uchiza (Uch) y Cachicoto (Cach), se muestran en el anexo 9, 10, 11, 12 y 13. Resultando ser datos confiables con un coeficiente de determinación r^2 próximo a 1 como se muestra en la tabla 19.

Tabla 19. Comparación de datos meteorológicos de las estaciones evaluadas (2011-2023)

Variables meteorológicas	Comparación	a	b	r^2	Nivel de significancia	Significante	Resultados
Temperatura máxima (°C)	LM versus Au-Tu-To	2,7995	0,9911	0,9998	$0,95 < r^2 \leq 1,0$	Si	Datos confiables
Temperatura mínima (°C)	LM versus Au-Tu-To	0,9633	0,9769	0,9995	$0,95 < r^2 \leq 1,0$	Si	Datos confiables
Humedad relativa (%)	LM versus Au-Tu-To	0,0346	1,0139	1,000	$0,95 < r^2 \leq 1,0$	Si	Datos confiables
Velocidad del viento (m/s)	LM versus Au-Ta	0,00	0,00	1,000	$0,95 < r^2 \leq 1,0$	Si	Datos confiables
Precipitación (mm)	LM versus Au-Tu-To-Ta-Uch- Cach	67,762	1,0798	0,997	$0,95 < r^2 \leq 1,0$	Si	Datos confiables

De acuerdo con (Villon 2006), valores de r^2 cercano o igual a 1,0 en la estación La Morada indican un ajuste perfecto siendo un valor muy confiable la humedad relativa y la velocidad del viento teniendo un valor 1.0 para ambas variables, por otra parte los sigue los valores de temperatura máxima con 0,9998, temperatura mínima con 0,9995 y por

último la precipitación con 0,997 siendo este el menos confiable de todos por tener el valor más bajo, pero igual sigue siendo confiable para esta investigación.

4.1.2. Análisis estadístico

4.1.2.1. Análisis descriptivo numérico

En la tabla 20, se muestra las características estadísticas de las variables climáticas de la estación La Morada.

Tabla 20. Estadísticos de los datos meteorológicos mensual multianual (2011-2023).

Estadísticos	Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)	Humedad relativa (%)	Velocidad del viento (m/s)	Precipitación (mm)
Máximo	31,62	20,78	86,41	1,25	4 218,3
Mínimo	28,79	18,75	83,00	0,80	2 577,7
Media	29,84	19,94	84,75	1,09	3 435,6
Desviación estándar	0,80	0,68	1,10	0,12	484,6
Varianza	0,63	0,46	1,21	0,01	23 4851,7
Coefficiente de variación	0,03	0,03	0,01	0,11	0,10

Entre ellas se observa el coeficiente de variación de la temperatura máxima, mínima y la humedad relativa, 3% y 1%, no existe diferencias significativas respecto a la variación y desvíos con la media, sin embargo, la velocidad del viento y la precipitación muestran mínima diferencias significativas de 11% y 10% de su varianza y desviaciones respecto a la media.

4.1.2.2. Análisis de gráfico

Se realizó el análisis gráfico de series temporales de cada una de las variables meteorológicas para conocer el comportamiento mensual multianual de la estación La Morada desde el año 2011 hasta el 2023.

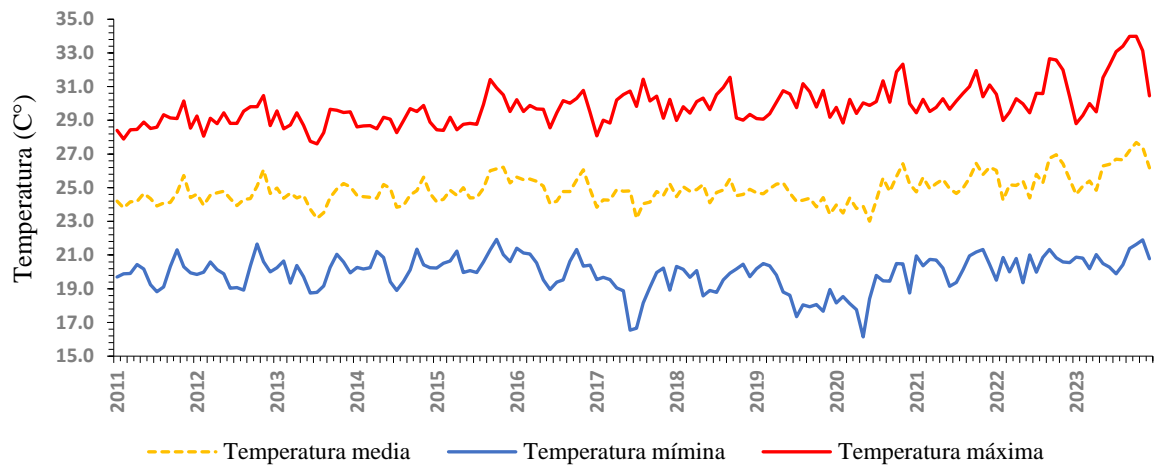


Figura 18. Serie temporal de las temperaturas, registradas en la estación La Morada durante el periodo 2011 – 2023.

La grafica 18 muestra el comportamiento de la temperatura máxima, observando que existe picos altos respectivamente en el año 2022 con un valor de 32,6°C y en el año 2023 con un valor de 34°C. En el comportamiento de la temperatura mínima, observamos que existe picos bajos respectivamente en el año 2017 con un valor de 16,5°C y en el año 2020 con un valor de 16,1°C. Por último, la gráfica muestra el comportamiento de la temperatura media siendo secuencial a la temperatura máxima y mínima con valores altos en los años 2022 y 2023 con 26,4°C y 27,4°C y valores bajos en los años 2017 y 2020 con 23,2°C y 23°C.

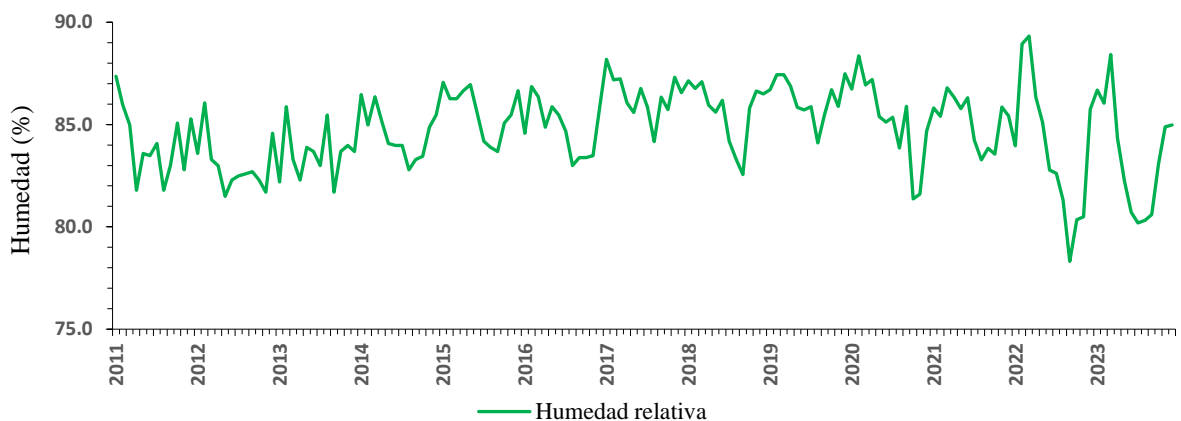


Figura 19. Serie temporal de la humedad relativa, registrada en la estación La Morada durante el periodo 2011 – 2023.

La gráfica 19 muestra el comportamiento de la humedad relativa, observando que existe picos altos y bajos en el año 2022 con valor de 89,3% y 78,3%; y en el año 2023 con un valor de 88,4% y 80,2% respectivamente.

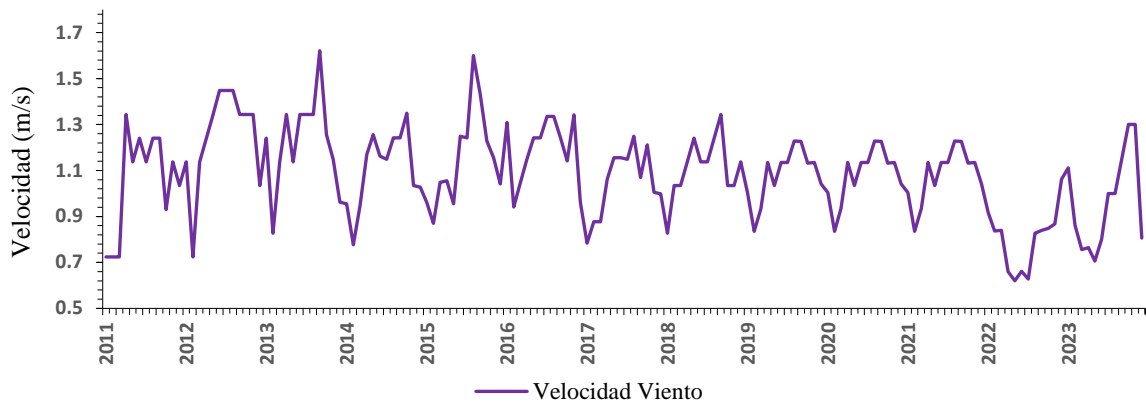


Figura 20. Serie temporal de velocidad del viento, registrada en la estación La Morada durante el periodo 2011 – 2023.

La gráfica 20 muestra el comportamiento de la velocidad del viento, observando que existe valores altos en los años 2013 y 2016 con 1,6 m/s igualmente en los dos años y valores bajos en los años 2022 y 2023 con 0,6 y 0,7 m/s respectivamente.

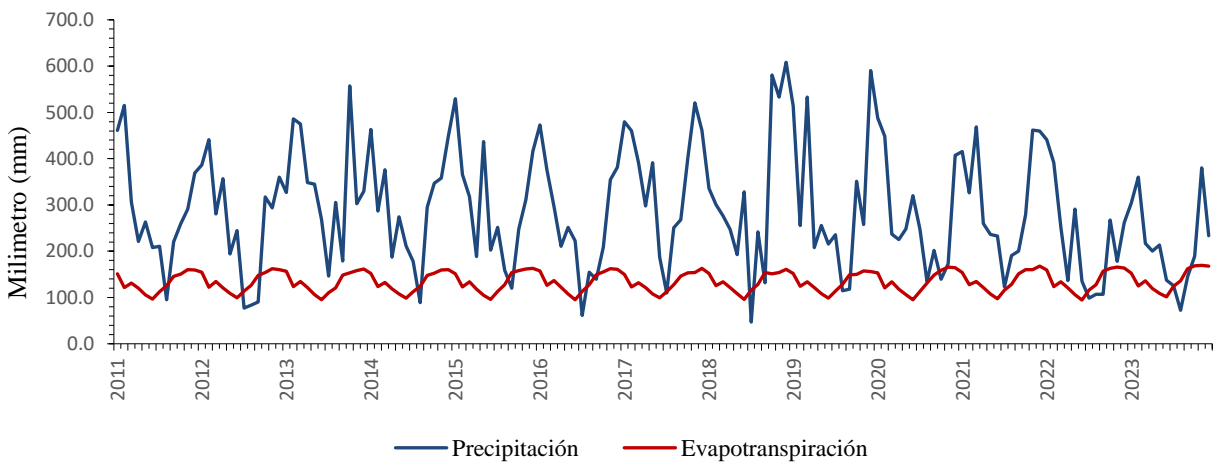


Figura 21. Serie temporal de la precipitación registrada y la evapotranspiración determinada por el Cropwat 8.0, en la estación La Morada durante el periodo 2011 – 2023.

La gráfica 21 muestra el comportamiento de la precipitación, siempre a lo largo de los meses del año superior a la evapotranspiración. Se observa que existe valores picos altos en el año 2018 con un valor de 608,2 mm y en 2019 con un valor de 590,1 mm. También se observa picos bajos en el año 2018 con un valor de 47 mm y en el año 2023 con un valor de 72,6 mm. En el comportamiento de la evapotranspiración, observamos que existe valores picos altos en el año 2023 con un valor de 169,5 mm y picos bajos en el año 2022 con un valor de 94,5 mm.

4.1.3. Análisis de tendencias

4.1.3.1. Prueba de Mann-Kendall

Para el análisis de tendencia, se utilizó el software Trend, como se muestra en el anexo 14, aplicando la prueba de Mann Kendall para determinar el valor z-estadístico de las variables climáticas mensuales multianuales de la estación la morada de un periodo del 2011 al 2023. La tabla 21 muestra los resultados del valor z-estadístico de las tendencias detectadas con un valor de significancia del 5% utilizando el test Mann-Kendall.

Tabla 21. Resultados del test Mann – Kendall aplicado para detección de tendencias de las variables climáticas del periodo 2011 – 2023.

VARIABLES CLIMÁTICAS	Valor calculado (Z)	Significancia ($\alpha=0.05$)	Resultados
Temperatura máxima (°C)	8,37	1,96	Tendencia significativa creciente
Temperatura mínima (°C)	1,1	1,96	Tendencia significativa creciente
Temperatura media (°C)	5,77	1,96	Tendencia significativa creciente
Humedad relativa (%)	2,14	1,96	Tendencia significativa creciente
Velocidad del viento (m/s)	-5,08	1,96	Tendencia significativa decreciente
Precipitación (mm)	-2	1,96	Tendencia significativa decreciente
Evapotranspiración (mm)	1,54	1,96	Tendencia no significativa creciente

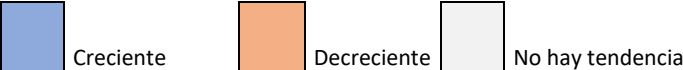
Según la tabla 21, presentan tendencia significativa creciente las temperaturas máximas, temperaturas mínimas, temperaturas medias y la humedad relativa. Por otro lado, también existe tendencia significativa decreciente de la velocidad del viento y la precipitación. Y por último existe una tendencia no significativa creciente de la evapotranspiración. Para determinar estos resultados se tomó en cuenta la significancia del valor del z-estadístico del test Mann – Kendall para determinar nuestras tendencias según la tabla 5 (Bezerra et al, 2015), donde tenemos valores de $Z > +1,96$ como la temperatura máxima con $Z = 8,37$, temperatura mínima con $Z=1,1$, temperatura media con $Z=5,77$ y humedad relativa con $Z=2,14$; también obtuvimos valores de $Z < -1,96$ como la velocidad del viento con $Z = -5,08$ y la precipitación con $Z = -2$; y por último se obtuvo un valor de $Z < +1,96$ como la evapotranspiración con $Z=1,54$.

4.1.3.2. Prueba de la pendiente de sen

Adicionalmente se implementó el método de la pendiente de Sen para obtener las magnitudes en las tendencias de las variables climáticas mensuales multianuales. En la tabla 22, se muestran los resultados de las magnitudes de las tendencias mensual y anual; y en la tabla 23 se muestra la variabilidad climática que es el acumulado de las magnitudes de las tendencias del periodo 2011-2023.

Tabla 22. Resultados de la prueba de la pendiente de Sen de las variables meteorológicas del periodo 2011 – 2023.

Variables meteorológicas	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Anual
Temperatura máxima (°C)	0,09	0,12	0,0	0,11	0,18	0,17	0,27	0,23	0,20	0,31	0,22	0,16	0,18
Temperatura mínima (°C)	0,03	0,02	0,05	0,01	0,02	-0,09	0,03	0,09	0,11	0,06	-0,04	0,03	0,04
Temperatura media (°C)	0,03	0,09	0,08	0,06	0,08	0,05	0,17	0,15	0,15	0,18	0,06	0,10	0,09
Humedad relativa (%)	-0,01	0,19	0,32	0,33	0,13	0,14	0,02	-0,07	0,06	-0,05	0,12	0,05	0,09
Velocidad del viento (m/s)	0,01	0,01	-0,02	-0,03	-0,04	-0,04	-0,03	-0,03	-0,02	-0,02	0,00	0,00	-0,02
Precipitación (mm)	-2,02	-9,40	-7,01	-7,95	-3,98	-4,22	-2,14	-1,98	-2,71	-10,02	4,51	2,02	-53,51
Evapotranspiración (mm)	0,17	0,26	0,11	-0,01	0,12	0,00	0,36	0,47	0,65	0,95	0,58	0,51	4,13



Creciente
 Decreciente
 No hay tendencia

En la tabla 22, se observa que existe una tendencia creciente de la temperatura máxima con una magnitud de 0,18 °C/ año, para la temperatura mínima una tendencia creciente con una magnitud de 0,04 °C/año, para la temperatura media una tendencia creciente con una magnitud de 0,09 °C/año, para la humedad relativa una tendencia creciente con una magnitud de 0,09 %/año, para la velocidad del viento una tendencia decreciente con una magnitud de -0,02 m/s/año, para la precipitación una tendencia decreciente con una magnitud de -53,51 mm/año y para la evapotranspiración una tendencia creciente con una magnitud de 4,13 mm/año. En el anexo 15 se observa los gráficos de las tendencias y magnitudes de las variables meteorológicas de la estación La morada del periodo 2011-2023.

Tabla 23. Variabilidad climática de las variables meteorológicas del periodo 2011 – 2023.

Variables meteorológicas	Variabilidad climática (2011-2023)
Temperatura máxima (°C)	+2,29
Temperatura mínima (°C)	+0,56
Temperatura media (°C)	+1,20
Humedad relativa (%)	+1,12
Velocidad del viento (m/s)	-0,26
Precipitación (mm)	-695,60
Evapotranspiración (mm)	+53,70

En la tabla 23, se observa que existe una variabilidad climática del periodo 2011 – 2023, con un aumento de la temperatura máxima de +2,29 °C/década, aumento de la temperatura mínima de +0,56 °C/década, aumento de la temperatura media de +1,20 °C/década, aumento de la humedad relativa de 1,12%/década, descenso de la velocidad del viento de -0,26 m/s/década, descenso de la precipitación de -695,60 mm/década y aumento de la evapotranspiración de +53,70 mm/década. Determinando que existe un cambio climático en nuestra zona de estudio en esta última década con una temperatura promedio de 1,20 °C. Por otra parte (IPCC, 2021) menciona que el clima a nivel mundial está cambiando constantemente indicando un aumento de la temperatura media de 1,1°C; siendo similar a lo registrado en nuestra zona de estudio por lo cual esta investigación se proyectó a futuro con los modelos climático globales con un escenario crítico de RCP 8.5 según la tabla 1, para evaluar el recurso hídrico afectado por el cambio climático a largo plazo.

4.2. Demanda hídrica histórica y futura del cultivo de arroz en el sector agrícola del río Azul al año 2070

En los siguientes resultados se muestran gráficos del comportamiento de la precipitación, la evapotranspiración y demanda hídrica del cultivo de arroz en una serie de tiempo anual del periodo histórico (2011 hasta el 2023); y una proyección futura de las variables mencionadas con los modelos climáticos globales (2024 hasta 2070) en la estación La Morada determinados en el Cropwat 8.0 y las áreas proyectadas.

4.2.1. Demanda hídrica histórica

4.2.1.1. Precipitación histórica de la estación La Morada

En la figura 22 se presenta la variación anual de la precipitación registrados en la estación La Morada del periodo 2011 hasta 2023.

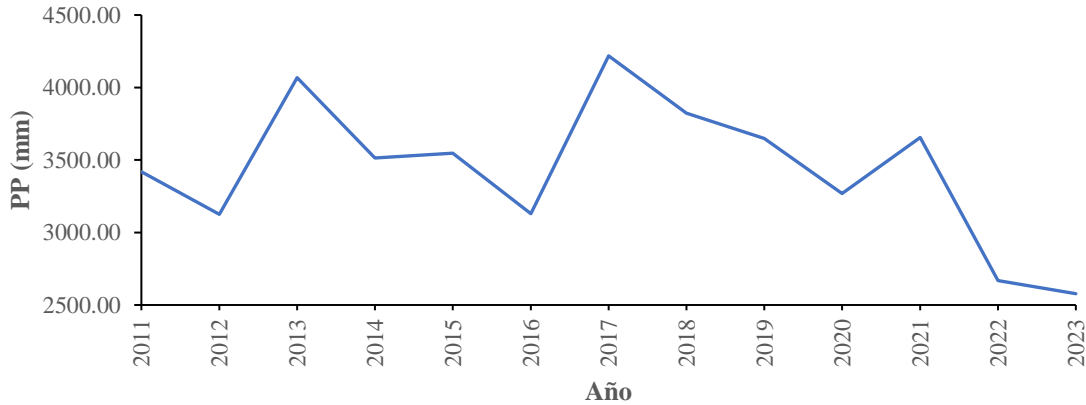


Figura 22. Variación anual de la precipitación de la estación La Morada del periodo histórico (2011-2023).

En la figura 22 se observa el comportamiento de la precipitación acumulado anual donde existe picos altos de mayores precipitaciones en el año 2013 con 4 068 mm, en el año 2017 con 4 218,32 mm y en el año 2021 con 3 654,16 mm; por otra parte, también existe picos bajos con precipitaciones menores en el año 2012 con 3 125,30 mm, en el año 2016 con 3 129,20 mm, en el año 2020 con 3 269,68 y en el año 2023 con 2 577,70 mm, determinando que existe estos comportamientos de las precipitaciones altos y bajos cada 4 años aproximadamente en la zona donde se ubica la estación La morada. Asimismo (GOREHCO 2016) indica que las precipitaciones anuales en la selva alta con dirección hacia el valle del Alto Huallaga con altitudes de 500 a 2 000 msnm dentro de la provincia de Marañón presentan precipitaciones con valores que varían entre 3 000 a 3 500 mm/año, afirmando nuestro resultado ya que la estación La morada se encuentra a una altitud de 550 msnm y presenta un promedio anual de 3 435,6 mm/año del periodo 2011 hasta 2023.

4.2.1.2. Evapotranspiración histórica de la estación La Morada

En la figura 23 se presenta la variación anual de la evapotranspiración de la estación La Morada determinada por el módulo “Clima/Eto” del Cropwat 8.0 con los datos meteorológicos registrados.

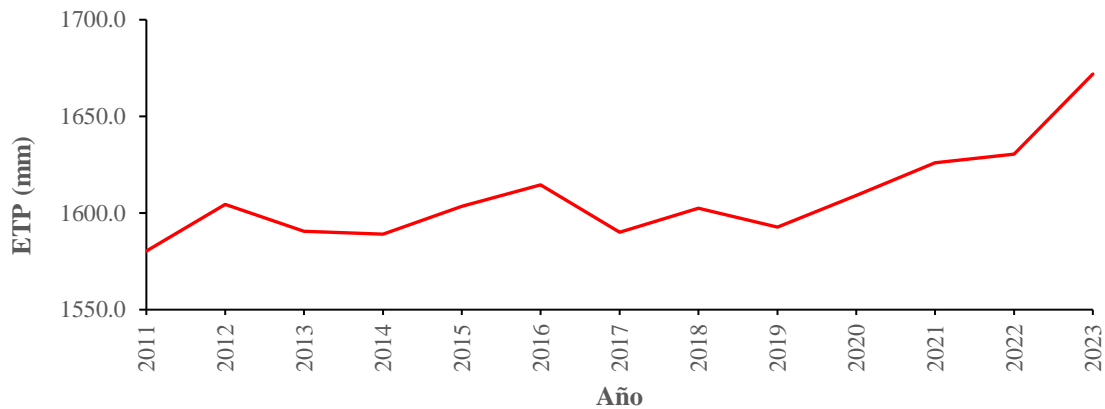


Figura 23. Variación anual de la precipitación en la estación La Morada del periodo histórico (2011-2023).

En la figura 23 se observa el comportamiento de la evapotranspiración acumulado anual donde existe picos altos con mayores evapotranspiraciones en el año 2012 con 1 604,5 mm, en el año 2016 con 1 614,6 mm, en el año 2021 con 1 625,9 mm y en el año 2023 con 1 671,9 mm; por otra parte, también existe picos bajos evapotranspiraciones menores en el año 2011 con 1 580,3 mm, en el año 2014 con 1 589,0 mm, en el año 2017 con 1 590,1 mm y en el año 2019 con 1 592,6 mm, determinando que existe estos comportamientos de evapotranspiraciones altos y bajos cada 3 años aproximadamente. Asimismo (GOREHCO 2016) indica que las evapotranspiraciones anuales en la parte de la selva de la provincia de Maraón presentan valores que varían entre 1 700,0 a 2 000,0 mm/añal según el método de Thornthwaite, siendo contradictorio a nuestro resultado ya que la estación La Morada presenta un promedio anual de 1 608,1 mm/año del periodo 2011 hasta 2023, esta diferencia se debe porque nuestro resultado fue determinado por el método de Penman-Monteith y por la ubicación de la estación La Morada ya que se instaló en la parte baja de la selva con una altitud de 550 m.s.n.m. de la provincia de Maraón.

4.2.1.3. Coeficiente de cultivo de la zona de estudio

En la figura 24 se presenta los valores de Kc mensuales del cultivo de arroz. Estos valores de Kc se utilizaron para obtener la evapotranspiración del cultivo y la demanda hídrica para el periodo histórico y también fueron utilizados para el periodo futuro.

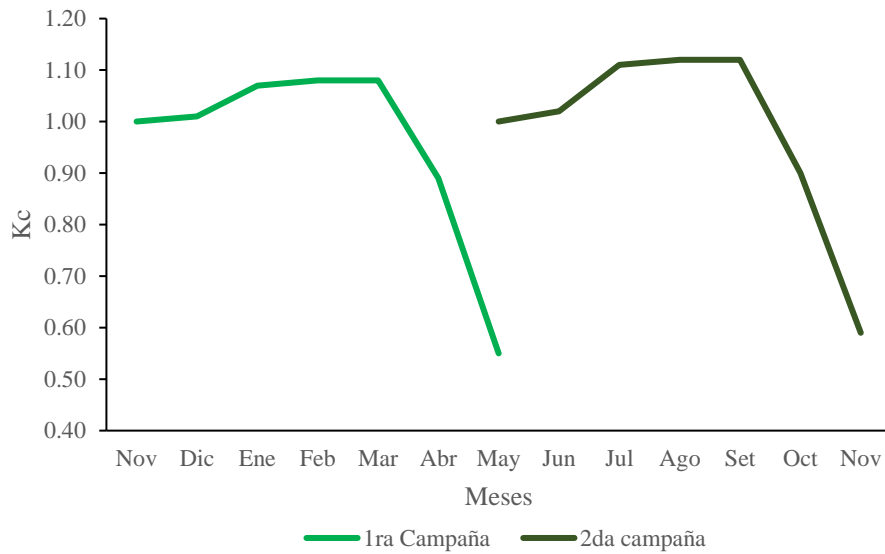


Figura 24. Valores de Kc del cultivo de arroz en las dos campañas.

Los coeficientes de cultivo Kc del arroz se muestran en su etapa de desarrollo desde la etapa de siembra hasta la etapa de cosecha, con valores promedio de 1,00 en la etapa inicial, 1,15 en la etapa de desarrollo y 0,55 en la etapa final de cultivo, según la Figura 24. La primera campaña, cuya fecha de siembra fue el 15 de noviembre y su fecha de cosecha fue el 13 de mayo, y la segunda campaña, cuya fecha de siembra fue el 15 de mayo y su fecha de cosecha fue el 10 de noviembre, contienen los datos de las fechas de siembra y cosecha promedio que los agricultores en la zona de estudio realizan por campaña. (PEAH, 2010) denomina a los coeficientes de cultivo de la zona con valores de 1,05 en la etapa inicial, 1,10 en la etapa de desarrollo y 0,8 en la etapa final, afirmando que nuestros resultados de kc son similares a este estudio.

4.2.1.4. Áreas históricas del cultivo de arroz

En la tabla 24 se muestran los resultados obtenidos de la clasificación de imágenes de las áreas de cultivo de arroz en la zona de estudio del periodo 2011 – 2023. En el anexo 16 se presenta el mapa de la cuenca con cambio de cobertura por la extensión del cultivo de arroz.

Tabla 24. Hectáreas de cultivo de arroz determinadas por imágenes satelitales en un periodo de 2011 – 2023.

Año	Satélite	Imagen natural	Imagen agricultura	Hectáreas de cultivo de arroz
2011	LANDSAT 7	B3-B2-B1	B5-B4-B1	107,58
2012	LANDSAT 7	B3-B2-B1	B5-B4-B1	135,02
2013	LANDSAT 8	B4-B3-B2	B6-B5-B2	206,69
2014	LANDSAT 8	B4-B3-B2	B6-B5-B2	348,74
2015	SENTINEL 2	B4-B3-B2	B11-8A-B2	419,96
2016	SENTINEL 2	B4-B3-B2	B11-8A-B2	519,44
2017	SENTINEL 2	B4-B3-B2	B11-8A-B2	552,07
2018	SENTINEL 2	B4-B3-B2	B11-8A-B2	606,78
2019	SENTINEL 2	B4-B3-B2	B11-8A-B2	659,34
2020	SENTINEL 2	B4-B3-B2	B11-8A-B2	706,56
2021	SENTINEL 2	B4-B3-B2	B11-8A-B2	770,42
2022	SENTINEL 2	B4-B3-B2	B11-8A-B2	860,30
2023	SENTINEL 2	B4-B3-B2	B11-8A-B2	891,21

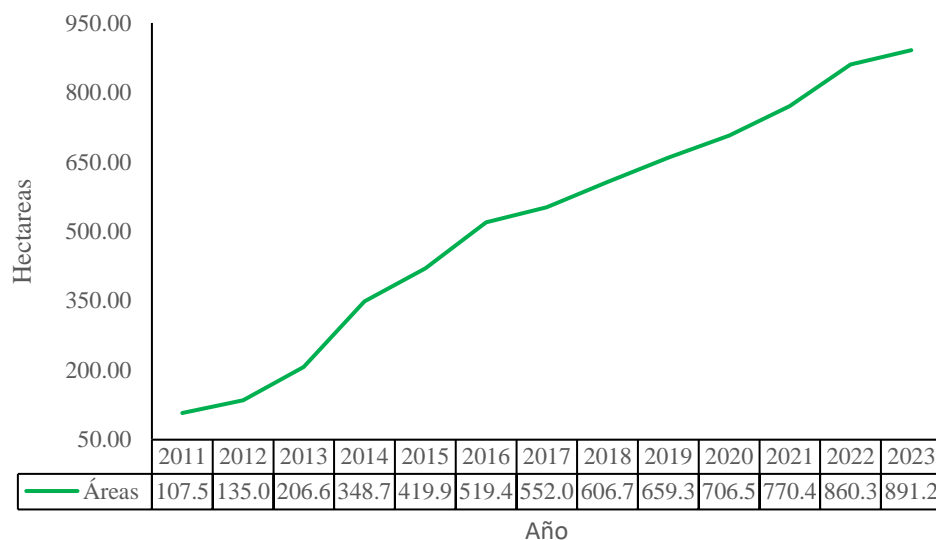


Figura 25. Promedios anuales de las hectáreas del cultivo de arroz del periodo 2011-2023.

En el grafico 25 se observa un crecimiento de las áreas del cultivo de arroz en cada año, siendo un promedio de crecimiento anual de áreas de 64,9 ha/año. Sin embargo, (ANA 2015) tiene como resultado que las áreas de cultivo en el año 2015 en el comité de usuarios La florida es de 476,48 ha, mientras que el resultado de nuestra investigación de ese año fue de 419,96 ha. Seguidamente (ANA 2022) tiene como resultado que las áreas de cultivo en el año 2021 en la misma zona son de 785,7 ha, mientras que el resultado determinado en nuestra investigación es de 770,42 ha.

4.2.1.5. Demanda hídrica histórica del cultivo de arroz

En la figura 26 se presenta la variación anual de la demanda hídrica histórica desarrollado en el Cropwat 8.0 y las áreas de cultivo de arroz determinadas desde el 2011 hasta el 2023.

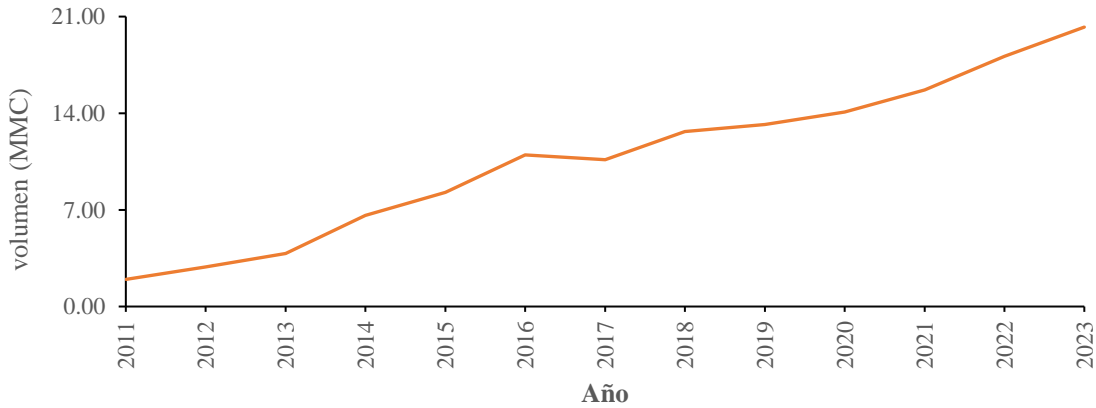


Figura 26. Variación anual de la demanda hídrica histórica en la estación La Morada del periodo histórico (2011-2023).

En la figura 26 se observa un crecimiento de la demanda hídrica histórica desde el 2011 hasta el 2023, con un valor de incremento de la demanda hídrica de +1,48 MMC por año y presentando un promedio de volumen de agua anual de 10,70 MMC. (ANA 2012) realizó un estudio de la demanda hídrica del cultivo de arroz a nivel nacional del periodo 2008 hasta 2011 donde tuvo un resultado promedio anual de 23,86 MMC en la provincia de Marañón siendo casi el doble de nuestro resultado ya que nuestra zona de estudio solo es una parte del distrito de La Morada y provincia de Marañón, existiendo también otras zonas donde se realiza este cultivo.

4.2.2. Demanda hídrica futura

4.2.2.1. Precipitación futura de la estación La Morada

Se analizó la variación de la precipitación futura de los modelos climáticos globales en la estación La Morada. En la figura 27 se muestran las variaciones anuales futuras de la precipitación con los modelos climáticos globales con un RCP de 8.5.

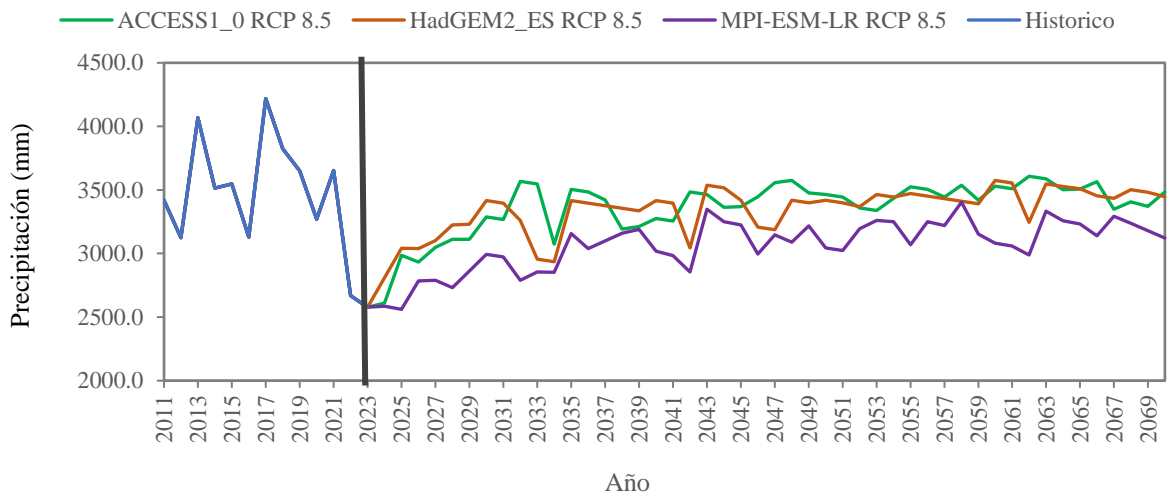


Figura 27. Variación anual de la precipitación futura en la estación La Morada del periodo futuro (2024-2070).

En la figura 27 se observa la variación anual de la precipitación futura proyectados al 2070 de los diferentes modelos climáticos globales en la estación la morada, teniendo valores promedios anuales de precipitación de 3 372,9 mm/año en el modelo ACCESS1_0, de 3 348,2 mm/año en el modelo HadGEM2_ES y 3 071,1 mm/año en el modelo MPI-ESM-LR del periodo 2024 hasta 2070. Por otra parte, (Senamhi 2013) menciona que para el año 2030 en la región Huánuco no existirá un cambio significativo en la precipitación anual en los modelos HadGEM2_ES y MPI-ESM-LR con un RCP de 8.5. Por lo cual verificamos con nuestros resultados de precipitaciones anuales en la estación La morada en el año 2030 teniendo valores de 3 416,0 mm en el modelo HadGEM2_ES, de 2 993,0 mm en el modelo MPI-ESM-LR y de 3 289,0 mm en el modelo ACCESS1_0; seguidamente comparamos y diferenciamos con la precipitación promedio anual histórico del periodo 2011-2023 con un valor 3 435,6 mm/año, donde se determinó que la precipitación anual para el año 2030 en el modelo HadGEM2_ES tiene una disminución de la precipitación de -19,6 mm, en el modelo MPI-ESM-LR una disminución de -442,6 mm y en el modelo ACCESS1_0 una disminución de -146,6 mm. Por lo tanto, afirmamos con nuestros resultados que solo el modelo HadGEM2_ES es el que no presenta un cambio significativo a comparación de los otros modelos que si presentan un cambio muy significativo en la reducción de la precipitación para el año 2030.

Sin embargo (Senamhi 2021) indica que para el 2050 en la Amazonia peruana la precipitación anual se reducirá un -60,4 a -102,4 mm, no obstante, nuestros resultados de precipitaciones promedios anuales en la estación La morada para el año

2050 fueron de 3 419,0 mm en el modelo HadGEM2_ES, de 3 043,0 mm en el modelo MPI-ESM-LR y de 3 464,0 mm en el modelo ACCESS1_0.; y comparándolo y diferenciando con el promedio histórico del periodo 2011 – 2023 con un valor 3 435,6 mm/año, demostramos que la precipitación anual para el año 2050 en el modelo HadGEM2_ES tiene una disminución de la precipitación de -16,6 mm, en el modelo MPI-ESM-LR una disminución de -392,6 mm y en el modelo ACCESS1_0 una disminución de -28,4 mm. Por lo tanto, nuestros resultados contradicen a lo mencionado por el Senamhi ya que se presentan valores mayores y menores del rango mencionado en la disminución de la precipitación para el año 2050. Esto se debe porque el estudio se realizó con datos de precipitaciones de toda la amazonia peruana y no solo en nuestra zona de estudio.

4.2.2.2. Evapotranspiración futura de la estación la morada

Se analizó la variación de la evapotranspiración futura determinados con los datos climatológicos futuros de los modelos climáticos globales en el módulo “Clima/Eto” del Cropwat 8.0 de la estación La Morada. En la figura 28 se muestran las variaciones anuales futuras de la evapotranspiración con los modelos climáticos globales con un RCP de 8.5.

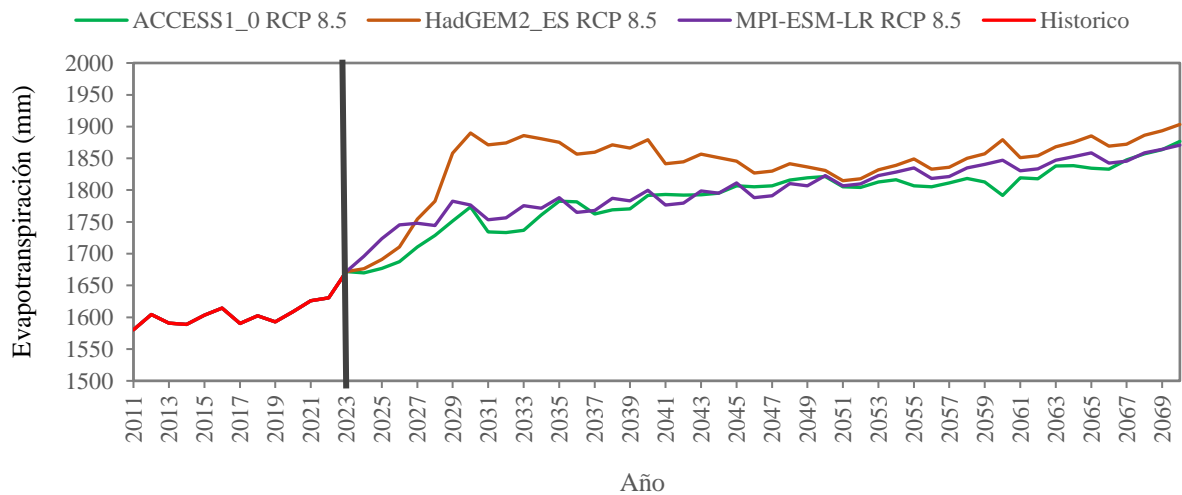


Figura 28. Variación anual de la evapotranspiración futura en la estación La Morada del periodo futuro (2024-2070).

En la figura 28 se observa la variación anual de la evapotranspiración futura proyectados al 2070 de los diferentes modelos climáticos globales en la estación la morada, teniendo valores promedios anuales de evapotranspiración de 1 791,1

mm/año en el modelo ACCESS1_0, de 1 843,7 mm/año en el modelo HadGEM2_ES y 1 802,4 mm/año en el modelo MPI-ESM-LR del periodo 2024 hasta 2070. Por consiguiente (Senamhi 2013) menciona que para el año 2030 en la región Huánuco la temperatura máxima aumentara entre 1,3 – 1,7 °C y la temperatura mínima entre 1,3 – 1,8 °C en los modelos HadGEM2_ES y MPI-ESM-LR con un RCP de 8.5, por lo cual comparamos con nuestros resultados estimados al 2030 de evapotranspiración relacionado con temperatura en la estación La morada, teniendo un valor de evapotranspiración de 1 889,89 mm relacionado con una temperatura máxima de 33,7°C y temperatura mínima de 20,3°C en el modelo HadGEM2_ES, de igual modo tenemos un valor de 1 776,42 mm relacionado con una temperatura máxima de 32,7°C y una temperatura mínima de 20,4°C en el modelo MPI-ESM-LR, siendo también comparado la evapotranspiración histórica del periodo 2011-2023 con un valor de evapotranspiración media anual de 1 608,1 mm/año relacionado con una temperatura máxima media anual de 29,8 °C y temperatura mínima media anual de 19,9 °C, de los cuales no coincide con los rangos determinados por el Senamhi hasta el 2030 ya que en el modelo HadGEM2_ES la temperatura máxima aumenta un +3,9 °C, la temperatura mínima un +0,4 °C y la evapotranspiración un +281,79 mm; mientras que en el modelo MPI-ESM-LR la temperatura máxima aumenta un +2,9 °C, la temperatura mínima un +0,5 °C y la evapotranspiración un +168.32 mm. Por lo tanto, los resultados no coinciden con lo mencionado por el Senamhi ya que los valores de aumento de temperatura máxima y mínima no están dentro del rango mencionado para el año 2030.

No obstante (Senamhi 2021) indica que para el 2050 en la Amazonia peruana la temperatura máxima aumentará entre 2,1 y 4,7 °C y la temperatura mínima aumentara entre 1,9 y 3,6 °C; afirmando solo la temperatura máxima de nuestros resultados estimados al 2050 teniendo como resultado en el modelo HadGEM2_ES un aumento de la temperatura máxima de +4,0 °C, de la temperatura mínima de +1,5 °C y con una evapotranspiración de 1 830,9 mm, también tenemos resultados del modelo MPI-ESM-LR con un aumento de la temperatura máxima de +4,0 °C, de temperatura mínima de +1,6 °C y con una evapotranspiración de 1 823,1 mm y por último el modelo ACCESS1_0 con un aumento de temperatura máxima de +3,8 °C, de la temperatura mínima de +1,3 °C y con una evapotranspiración de 1 821,6 mm.

4.2.2.3. Demanda hídrica futura del cultivo de arroz

Se determinó la variación de la demanda hídrica futura desarrollado en el Cropwat 8.0 con los modelos climáticos globales y las áreas de cultivo de

arroz proyectadas a futuro en la estación La Morada. En la figura 29 se muestran las variaciones anuales futuras de la demanda hídrica del cultivo de arroz con los modelos climáticos globales con un RCP de 8.5.

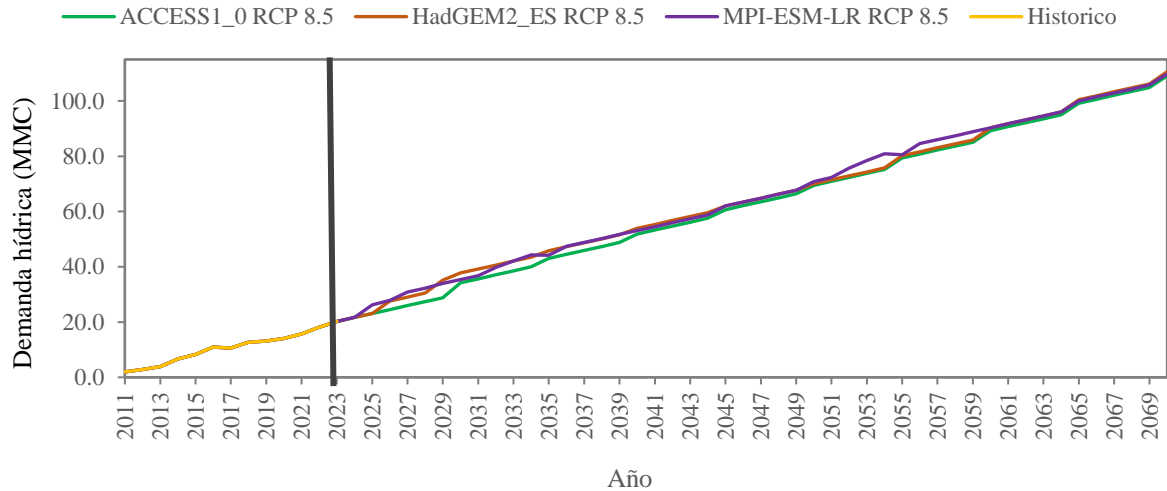


Figura 29. Variación anual de la demanda hídrica futura en la estación La Morada del periodo futuro (2024-2070).

En la figura 29 se observa la variación anual de la demanda hídrica futura proyectados al 2070 de los diferentes modelos climáticos globales en la estación la morada, teniendo valores promedios anuales de volúmenes de agua de 64,0 MMC en el modelo ACCESS1_0, de 65,8 MMC en el modelo HadGEM2_ES y 66,2 MMC en el modelo MPI-ESM-LR del periodo 2024 hasta 2070. Mencionando también que para el año 2070 la demanda hídrica del cultivo de arroz se debe al aumento de áreas de cultivo llegando a un máximo de 3500 hectáreas. Seguidamente se comparó con la demanda hídrica promedio anual histórica del periodo 2011-2023 con un valor de 10,70 MMC, determinando un incremento de la demanda hídrica futura promedio anual de los modelos climáticos globales con valores de +53,3 MMC en el modelo ACCESS1_0, de +55,1 MMC en el modelo HadGEM2_ES y de +55,5 MMC en el modelo MPI-ESM-LR.

4.3. Oferta hídrica histórica y futura del río Azul con el modelo hidrológico GR2M al año 2070

En los siguientes resultados se muestran gráficos del comportamiento de la precipitación, la evapotranspiración y oferta hídrica del río Azul en una serie de tiempo anual en un periodo histórico (2011 hasta 2023) y una proyección futura de las variables mencionadas

con los modelos climáticos globales (2024 hasta 2070) en la cuenca Rio Azul determinados con el modelo hidrológico GR2M.

4.3.1. Oferta hídrica histórica

4.3.1.1. Precipitación histórica de la cuenca de estudio del río Azul

En la figura 30 se presenta la variación anual de la precipitación descargados de los datos grillados PISCO dentro de la cuenca de estudio del río Azul.



Figura 30. Variación anual de la precipitación histórica en la cuenca de estudio del río azul del periodo histórico (2011-2023).

En la figura 30 se observa el comportamiento de la precipitación acumulado anual donde existe picos altos con mayores precipitaciones en el año 2013 con un valor de 3 365,92 mm, en el año 2017 con 3 632,06 mm y en el año 2021 con 3 654,16 mm; por otra parte, también existe picos bajos precipitaciones menores en el año 2016 con 2 479,89 mm y en el año 2022 con 2 667,75 mm, determinando que existe estos comportamientos cada 4 años para los picos altos de precipitaciones mayores y 6 años para los picos bajos de precipitaciones menores aproximadamente en la cuenca de estudio del río Azul. Asimismo (GOREHCO 2016) indica que las precipitaciones anuales en la selva alta con dirección hacia el valle del Alto Huallaga con altitudes de 500 a 2000 msnm dentro de la provincia de Marañón presentan precipitaciones con valores que varían entre 3 000 a 3 500 mm/año, afirmando nuestro resultado ya que nuestra cuenca de estudio del río azul se encuentra ubicado a una altitud promedio de 800 msnm y presenta una precipitación promedio anual de 3 146,7 mm/año del periodo 2011 hasta 2023.

4.3.1.2. Evapotranspiración histórica de la cuenca de estudio del río Azul

En la figura 31 se presenta la variación anual de la evapotranspiración descargados de los datos grillados PISCO dentro de la cuenca de estudio del río Azul.

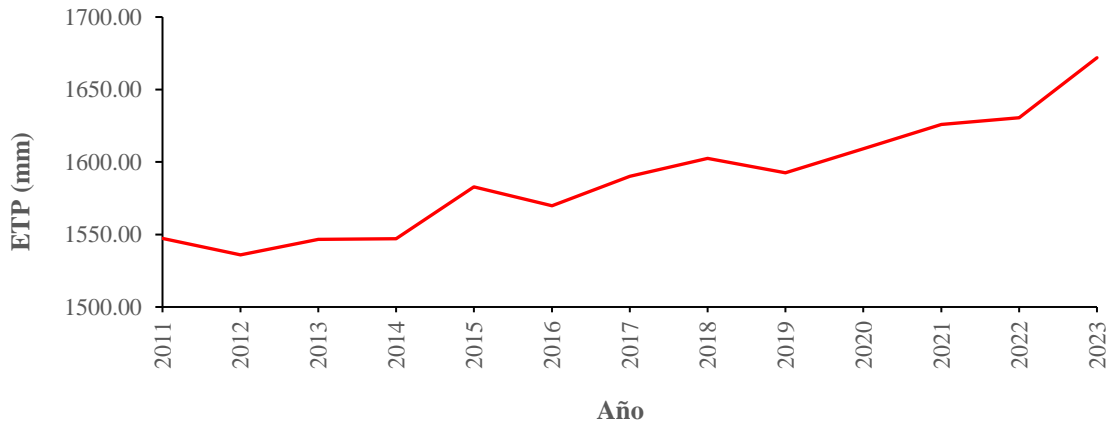


Figura 31. Variación anual de la evapotranspiración histórica en la cuenca de estudio del río Azul del periodo histórico (2011-2023).

En la figura 31 se observa el comportamiento de la evapotranspiración acumulado anual donde existe picos altos de evapotranspiraciones mayores en el año 2015 con 1 582,76 mm, en el año 2018 con 1 602,43 mm, en el año 2021 con 1 625,94 mm y en el año 2023 con 1 671,92 mm; por otra parte, también existe picos bajos de evapotranspiraciones menores en el año 2012 con 1 546,64 mm, en el año 2014 con 1 546,97 mm, en el año 2016 con 1 569,84 y en el año 2019 con 1 592,64 mm, determinando que existe estos comportamientos cada 3 años para los picos altos de evapotranspiraciones mayores y 2 años para los picos bajos de evapotranspiraciones menores aproximadamente en la cuenca de estudio del río Azul. Asimismo (GOREHCO 2016) indica que las evapotranspiraciones anuales en la parte de la selva de la provincia de Marañón presentan valores que varían entre 1 700,0 a 2 000,0 mm/año según el método de Thornthwaite, siendo contradictorio a nuestro resultado ya que la cuenca de estudio río Azul presenta un promedio anual de 1 588,6 mm/año del periodo 2011 hasta 2023, esta diferencia se debe porque nuestro resultado fue determinado por el método de Penman-Monteith y por la ubicación de la cuenca en la parte baja de la selva de la provincia de Marañón con una altitud promedio de 800 m.s.n.m.

4.3.1.3. Caudales aforados del río Azul

Se determinó los caudales aforados en el cauce natural aguas

arriba de la bocatoma y el canal de riego, la cual se utilizó para comparar y validar el modelo hidrológico GR2M y estimar los caudales que determinaron la oferta hídrica del río Azul de la cuenca de estudio. En la tabla 25 se muestran los resultados de los caudales aforados y del río azul.

Tabla 25. Caudales aforados y caudales del río azul en los meses de mayo, junio, julio, agosto, setiembre, octubre, noviembre y diciembre del año 2023.

Meses	Caudales aforados		Caudales del río Azul de la cuenca de estudio	
	Caudal natural (m ³ /s)	Caudal del canal de riego (m ³ /s)	Caudal (m ³ /s)	Caudal (mm/mes)
Mayo	3,00	0,64	3,64	82,35
Junio	2,88	0,71	3,59	78,38
Julio	2,32	0,86	3,18	71,81
Agosto	2,22	0,68	2,90	65,48
Setiembre	1,56	0,79	2,35	51,47
Octubre	2,27	0,83	3,10	70,11
Noviembre	3,70	0,80	4,50	98,35
Diciembre	5,63	0,86	6,49	146,64

En la tabla 25 nos muestra los datos de los caudales del río azul de la cuenca de estudio en unidades (mm/mes), estos datos nos ayudaron a validar el modelo hidrológico GR2M y así estimar nuestros caudales históricos y futuros para hallar la oferta hídrica.

4.3.1.4. Proceso de calibración del modelo hidrológico GR2M en la cuenca de estudio del río Azul

El proceso de calibración del modelo para la cuenca de estudio del río Azul, se realizó con los datos de precipitación y evapotranspiración de los años 1981 hasta 2010. En La tabla 26 se muestra los resultados de los parámetros X1 y X2.

Tabla 26. Resultados de parámetros calculados en la cuenca de estudio del río Azul 1981- 2010.

Modelo GR2M	Descripción	Valores
Cuenca	Cuenca de estudio río Azul (km ²)	79,60
Parámetros	X1 (mm) Capacidad de almacenamiento del reservorio de producción.	141,59
	X2 (adim) Coeficiente de intercambio de aguas subterráneas	0,88
Condiciones iniciales	So (mm) Almacenamiento inicial del reservorio de producción	70,80
	Ro (mm) Almacenamiento inicial del reservorio de agua gravitacional	30

Los valores de la tabla 26 muestran los parámetros $X1= 141,59$ y $X2=0,88$; y de las condiciones iniciales de $S_0= 70,80$ y $R_0= 30$. Estos valores se encuentran dentro de los rangos de la tabla 15, la cual nos indica que la calibración esta aceptable según (Mouelhi et al. 2006).

Seguidamente en la tabla 27 se muestra los resultados de los criterios de Nash-Sutcliff y el coeficiente de determinación R^2 que determinaron si la optimización de los parámetros obtenidos mencionados anteriormente tiene un buen ajuste y criterio con eficacia de los caudales estimados del proceso de calibración.

Tabla 27. Resultados de criterios de eficiencia en la cuenca de estudio del rio Azul 1981- 2010.

Criterios de eficacia (%)	
Nash(Q)	95.32
R^2	0.94

El valor obtenido por el criterio de Nash es igual a 95,32% el cual es mayor de 80% y muy cercano al 100%; asimismo. en la tabla 16 podemos clasificar su eficiencia como excelente según (Cabrera 2012), lo cual nos indica que el modelo GR2M establece una que los caudales observados y los caudales simulados son semejantes, acercándose al comportamiento real de la cuenca de estudio rio azul. Seguidamente, el coeficiente de determinación R^2 es igual a 0,94 que indica una alta correlación de datos de los caudales observados y simulados como se muestra en la figura 32.

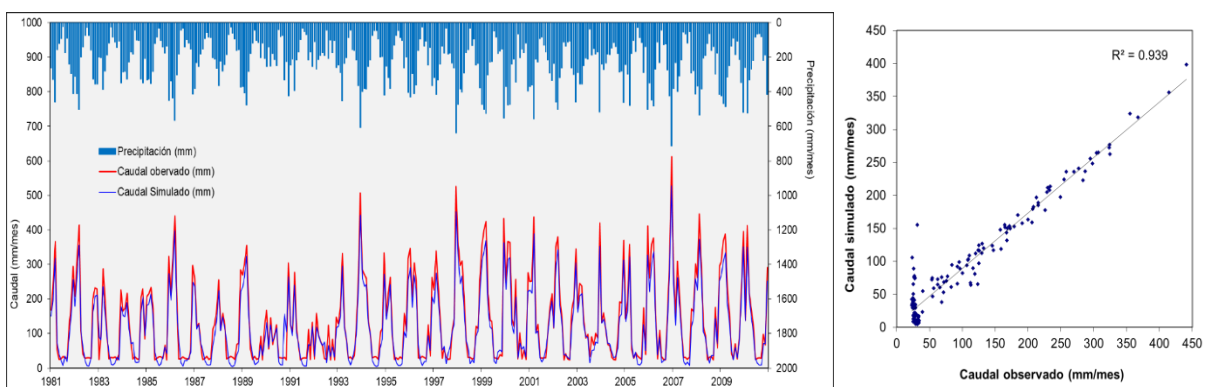


Figura 32. Comparación y correlación de los caudales observados y caudales simulados de la cuenca de estudio del rio Azul del periodo 1981-2010.

4.3.1.5. Proceso de validación del modelo hidrológico GR2M en la cuenca de estudio del río Azul

El proceso de validación se realizó durante el periodo 2011-

2023 aplicando los parámetros X1 y X2 obtenidos durante el proceso de calibración. Seguidamente, los resultados de los criterios de eficiencia se muestran en la tabla 28.

Tabla 28. Resultados de criterios de eficiencia en la cuenca de estudio del río Azul 2011- 2023.

Criterios de eficacia (%)	
Nash(Q)	93.43
R^2	1.00

El valor obtenido por el criterio de Nash es igual a 93,43% el cual es mayor de 80% y muy cercano al 100%; asimismo, en la tabla 16 podemos clasificar su eficiencia como excelente según (Cabrera 2012), indicando que el modelo GR2M demuestra que los flujos observados y simulados son similares, lo que se acerca al comportamiento real de la cuenca de estudio del río Azul. Como se muestra en la Figura 33, donde también se encerró con un círculo la comparación de los caudales aforados durante el tiempo evaluación de la investigación de la tabla 25 y los caudales simulados por el modelo, el coeficiente de determinación R^2 es igual a 1,00, lo que indica una alta correlación de datos entre los caudales observados y simulados.

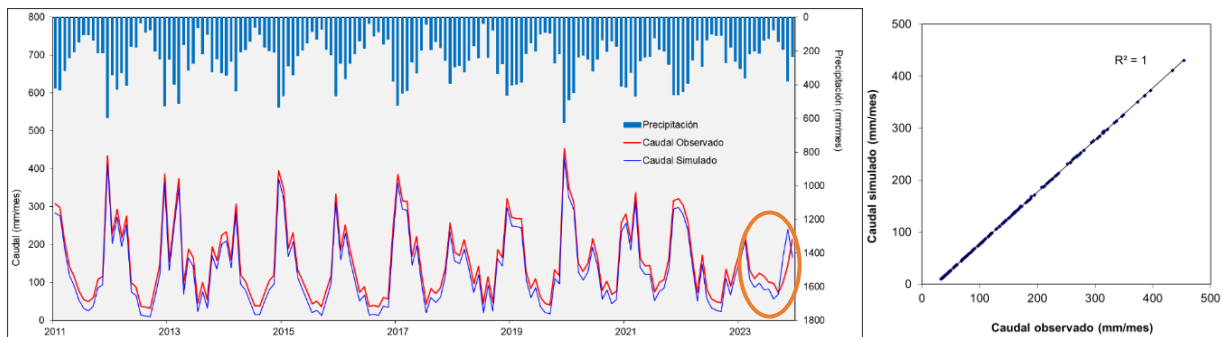


Figura 33. Comparación y correlación de los caudales observados y caudales simulados de la cuenca de estudio del río Azul del periodo 2011-2023.

4.3.1.6. Oferta hídrica histórica del río Azul

En la figura 34 se presenta la variación anual de la oferta hídrica histórica determinados con el modelo hidrológico GR2M del río Azul.

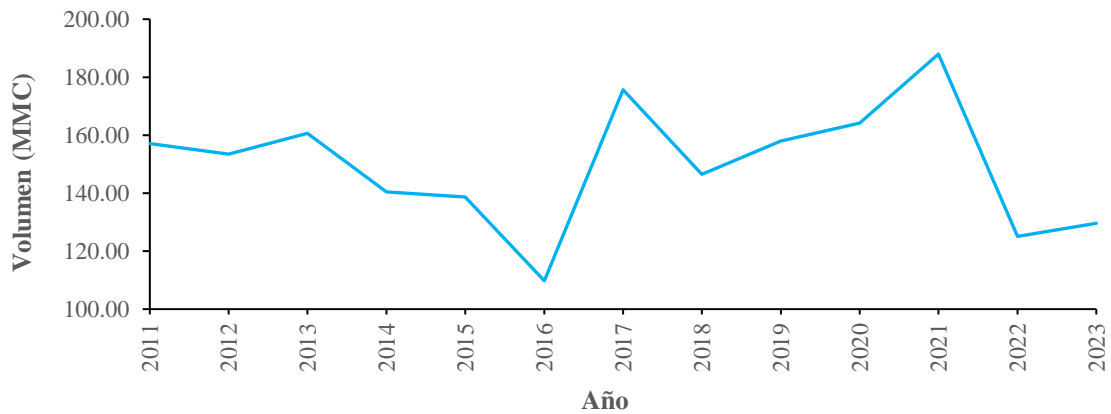


Figura 34. Variación anual de la oferta hídrica histórica del río Azul del periodo histórico (2011-2023).

En la figura 34 se observa un decrecimiento de la oferta hídrica histórica desde el 2011 hasta el 2023, con un valor de disminución de la oferta hídrica de -3,10 MMC por año y un promedio de volumen de agua anual de 149,8 MMC del periodo 2011-2023. Por otro lado, existe picos altos en la oferta hídrica en el año 2013 con 160,68 MMC, en el año 2017 con 175,63 MMC y en el año 2021 con 187,97 MMC; también existe picos bajos de oferta hídrica en el año 2016 con 109,78 MMC y en el año 2022 con 125,07 MMC, determinando que existe estos comportamientos de picos altos cada 4 años y picos bajos cada 6 años aproximadamente en la cuenca de estudio río Azul. (ANA 2015) realizó una acreditación hídrica para el comité de usuarios La Florida donde muestra la oferta hídrica del río Azul en el año 2015 siendo un volumen de agua anual de 172.26 MMC, mientras que el resultado estimado de la oferta hídrica de nuestra investigación para ese año es de 138.69 MMC.

4.3.2. Oferta hídrica futura

4.3.2.1. Precipitación futura de la cuenca de estudio del río Azul

Se analizó la variación de la precipitación futura de los modelos climáticos globales en la cuenca de estudio del río Azul. En la figura 35 se muestran las variaciones anuales futuras de la precipitación con los modelos climáticos globales con un RCP de 8.5.

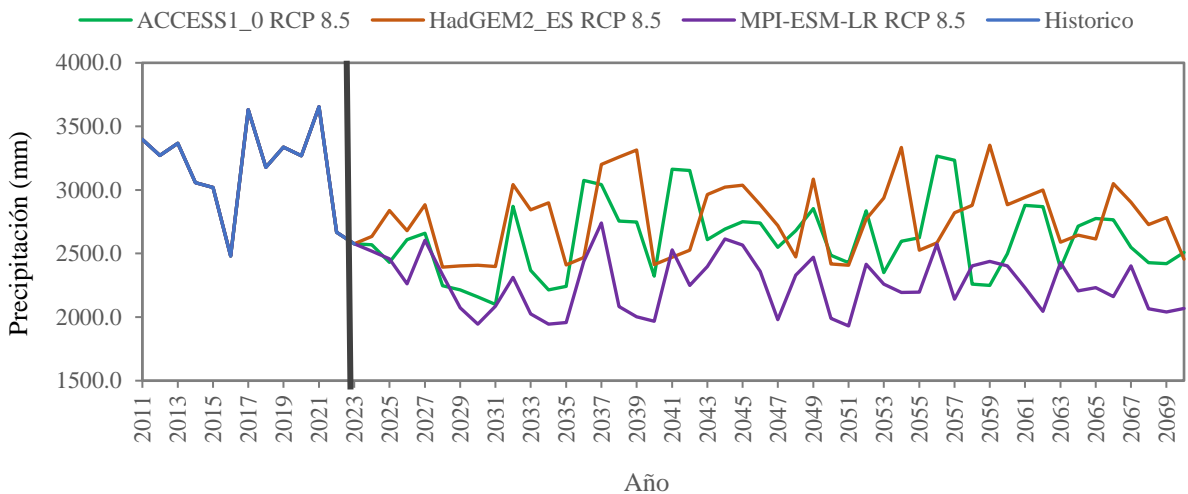


Figura 35. Variación anual de la precipitación futura en la cuenca de estudio del río Azul del periodo futuro (2024-2070).

En la figura 35 se observa la variación anual de la precipitación futura proyectados al 2070 de los diferentes modelos climáticos globales en la cuenca Rio Azul, teniendo valores promedios anuales de precipitación de 2 615,6 mm/año en el modelo ACCESS1_0, de 2 772,2 mm/año en el modelo HadGEM2_ES y 2 257,0 mm/año en el modelo MPI-ESM-LR del periodo 2024 hasta 2070. Según (Senamhi 2013) menciona que para el año 2030 en la región Huánuco no existirá un cambio significativo en la precipitación anual en los modelos HadGEM2_ES y MPI-ESM-LR con un RCP de 8.5. Por lo cual verificamos con nuestros resultados de precipitaciones anuales en la cuenca de estudio del rio Azul en el año 2030 teniendo valores de 2 407,8 mm en el modelo HadGEM2_ES, de 1 945,8 mm en el modelo MPI-ESM-LR y de 2 159,1 mm en el modelo ACCESS1_0; seguidamente comparamos y diferenciamos con la precipitación promedio anual histórico del periodo 2011-2023 con un valor 3 146,7 mm/año, donde se determinó que la precipitación anual para el año 2030 en el modelo HadGEM2_ES tiene una disminución de la precipitación de -738,9 mm, en el modelo MPI-ESM-LR una disminución de -1 200,9 mm y en el modelo ACCESS1_0 una disminución de -987,6 mm. Por lo tanto, decimos que nuestros resultados para el año 2030 existirá una disminución de precipitación anual significativa en nuestra zona de estudio, contradiciendo a lo mencionado por el Senamhi, ya que su estudio fue realizado en toda la región de Huánuco.

Sin embargo (Senamhi 2021) indica que para el 2050 en la Amazonia peruana la precipitación anual se reducirá un -60,4 a -102,4 mm, no obstante, nuestros resultados de precipitaciones promedios anuales en la cuenca de estudio rio Azul para el año 2050 fueron de 2 418,4 mm en el modelo HadGEM2_ES, de 1 989,7 mm en el modelo

MPI-ESM-LR y de 2 487,0 mm en el modelo ACCESS1_0.; seguidamente comparándolo y diferenciando con el promedio histórico del periodo 2011 – 2023 con un valor 3 146,7 mm/año, demostramos que la precipitación anual para el año 2050 en el modelo HadGEM2_ES tiene una disminución de la precipitación de -728,3 mm, en el modelo MPI-ESM-LR una disminución de -1 157,0 mm y en el modelo ACCESS1_0 una disminución de -659,7 mm. Por lo tanto, nuestros resultados contradicen a lo mencionado por el Senamhi ya que se presentan valores mayores al rango mencionado en la disminución de la precipitación para el año 2050. Esto se debe porque el estudio se realizó con datos de precipitaciones de toda la amazonia peruana y no solo en nuestra cuenca de estudio.

4.3.2.2. Evapotranspiración futura de la cuenca de estudio del río Azul

Se analizó la variación de la evapotranspiración futura determinados con los datos climatológicos futuros de los modelos climáticos globales en el módulo “Clima/Eto” del Cropwat 8.0 en la cuenca de estudio río Azul. En la figura 36 se muestran las variaciones anuales futuras de la evapotranspiración con los modelos climáticos globales con un RCP de 8.5.

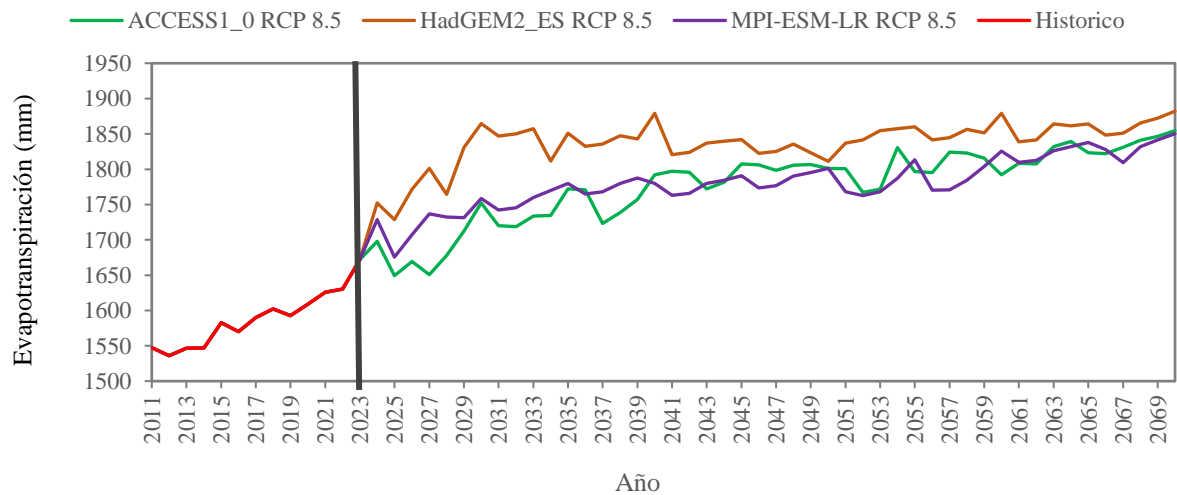


Figura 36. Variación anual de la evapotranspiración futura en la cuenca de estudio del río Azul del periodo futuro (2024-2070).

En la figura 36 se observa la variación anual de la evapotranspiración futura proyectados al 2070 de los diferentes modelos climáticos globales en la cuenca de estudio del río Azul, teniendo valores promedios anuales de evapotranspiración de 1 778,0 mm/año en el modelo ACCESS1_0, de 1 837,5 mm/año en el modelo HadGEM2_ES y 1 780,9 mm/año en el modelo MPI-ESM-LR del periodo 2024 hasta 2070. Por consiguiente

(Senamhi 2013) menciona que para el año 2030 en la región Huánuco la temperatura máxima aumentara entre 1,3 – 1,7 °C y la temperatura mínima entre 1,3 – 1,8 °C en los modelos HadGEM2_ES y MPI-ESM-LR con un RCP de 8.5, por lo cual comparamos con nuestros resultados estimados al 2030 de evapotranspiración relacionado con temperatura en la cuenca de estudio del rio Azul, teniendo un valor de evapotranspiración de 1 864,45 mm relacionado con una temperatura máxima de 32,3°C y temperatura mínima de 17,9°C en el modelo HadGEM2_ES, de igual modo tenemos un valor de 1 758,52 mm relacionado con una temperatura máxima de 31,2°C y una temperatura mínima de 17,9°C en el modelo MPI-ESM-LR, siendo también comparado con la evapotranspiración histórica del periodo 2011-2023 con un valor de evapotranspiración media anual de 1 588,6 mm/año relacionado con una temperatura máxima media anual de 28,8 °C y temperatura mínima media anual de 18,9 °C, de los cuales no coincide con los rangos determinados por el Senamhi hasta el 2030 ya que en el modelo HadGEM2_ES la temperatura máxima aumenta un +3,5 °C, la temperatura mínima un +1,0 °C y la evapotranspiración un +274,85 mm; mientras que en el modelo MPI-ESM-LR la temperatura máxima aumenta un +2,4 °C, la temperatura mínima un +0,5 °C y la evapotranspiración un +169,92 mm. Por lo tanto, los resultados no coinciden con lo mencionado por el Senamhi ya que los valores de aumento de temperatura máxima y mínima no están dentro del rango mencionado para el año 2030.

No obstante (Senamhi 2021) indica que para el 2050 en la Amazonia peruana la temperatura máxima aumentará entre 2,1 y 4,7 °C y la temperatura mínima aumentara entre 1,9 y 3,6 °C; afirmando solo la temperatura máxima de nuestros resultados estimados al 2050 teniendo como resultado en el modelo HadGEM2_ES un aumento de la temperatura máxima de +3,5°C, de la temperatura mínima de +0,1 °C y con una evapotranspiración de 1 810,9 mm, también tenemos resultados del modelo MPI-ESM-LR con un aumento de la temperatura máxima de +3,4 °C, de temperatura mínima de +0,2 °C y con una evapotranspiración de 1 801,2 mm y por último el modelo ACCESS1_0 con un aumento de temperatura máxima de +3,3 °C, de la temperatura mínima de +0,1 °C y con una evapotranspiración de 1 801,0 mm.

4.3.2.3. Proceso de validación del modelo hidrológico GR2M con los modelos climáticos globales en la cuenca de estudio del rio Azul

El proceso de validación del modelo se realizó del periodo de 2023-2070, utilizando los datos de entrada de precipitación y evapotranspiración determinados de los modelos climáticos globales y aplicando los parámetros X1 y X2 obtenidos durante el

proceso de calibración. Seguidamente, los resultados de los criterios de eficiencia son mostrados en la tabla 29.

Tabla 29. Resultados de criterios de eficiencia en la cuenca de estudio del río Azul 2024- 2070.

Criterios de eficacia (%)			
MCG	ACCESS1_0	HadGEM2_ES	MPI-ESM-LR
Nash(Q)	91.66	86.77	77.66
R ²	0.96	0.95	0.89

Los valores obtenidos por el criterio de Nash son igual a 91,66% para ACCESS1-0 y de 86,77% para HadGEM2_ES los cuales son mayores de 80% y muy cercano al 100% clasificando su eficiencia como excelente; y un valor de 77,66% para MPI-ESM-LR el cual se encuentra entre los rangos 60%-80% clasificando su eficiencia como muy bueno como indica en la tabla 16 según (Cabrera 2012), lo cual nos indica que el modelo GR2M establece que los caudales observados y los caudales simulados trabajados con los datos de los tres modelos climáticos globales son semejantes, acercándose al comportamiento real de la cuenca de estudio río Azul. Seguidamente, el coeficiente de determinación R² es de 0,96 para ACCESS1_0, 0,95 para HadGEM2_ES y 0,89 para MPI-ESM-LR; lo que indica una alta correlación de datos de los caudales observados y simulados trabajados con los datos de los tres modelos climáticos globales como se muestra en las figuras 37 38 y 39.

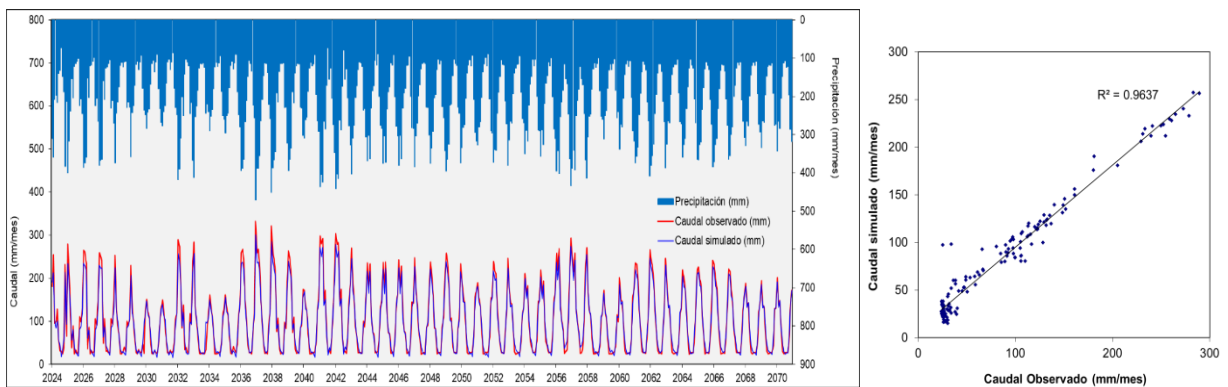


Figura 37. Comparación y correlación de los caudales observados y caudales simulados trabajados con los datos del modelo ACCESS1_0 de la cuenca de estudio del río Azul del periodo 2024-2070.

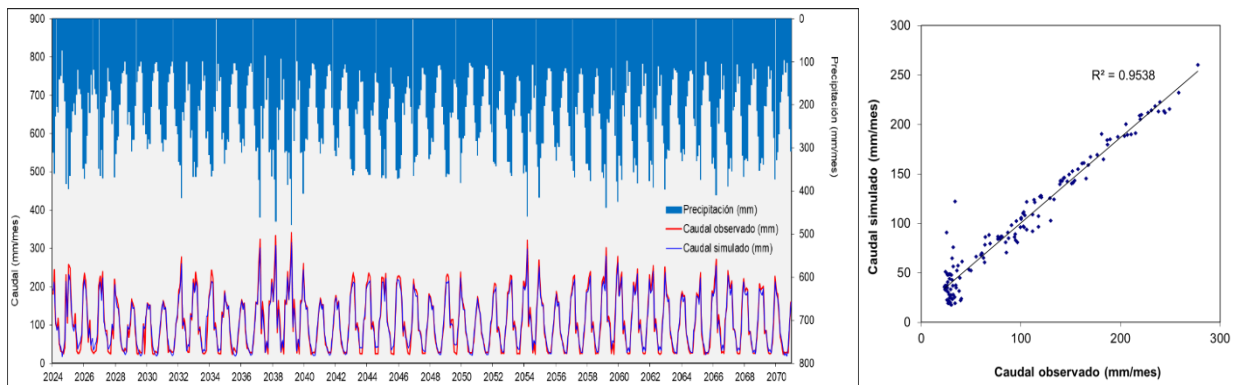


Figura 38. Comparación y correlación de los caudales observados y caudales simulados trabajos con los datos del modelo HadGEM2-ES de la cuenca de estudio del río Azul del periodo 2024-2070.

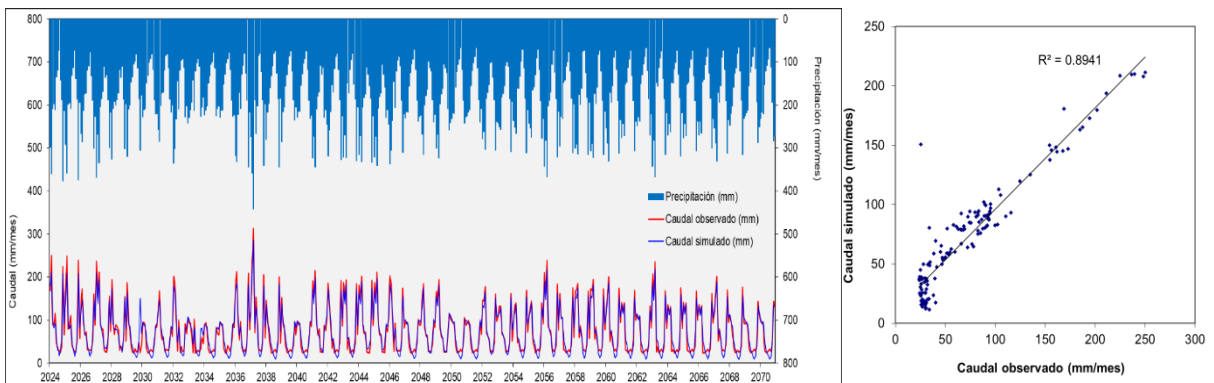


Figura 39. Comparación y correlación de los caudales observados y caudales simulados trabajos con los datos del modelo MPI-ESM-LR de la cuenca de estudio del río Azul del periodo 2024-2070.

4.3.2.4. Oferta hídrica futura del río Azul

Se determinó la variación de la oferta hídrica futura determinado con el modelo hidrológico GR2M con los datos climáticos futuros de los modelos climáticos en la cuenca de estudio del río Azul. En la siguiente figura se muestran las variaciones anuales futuras de la oferta hídrica con los modelos climáticos globales con un RCP de 8.5 determinados con el modelo hidrológico GR2M.

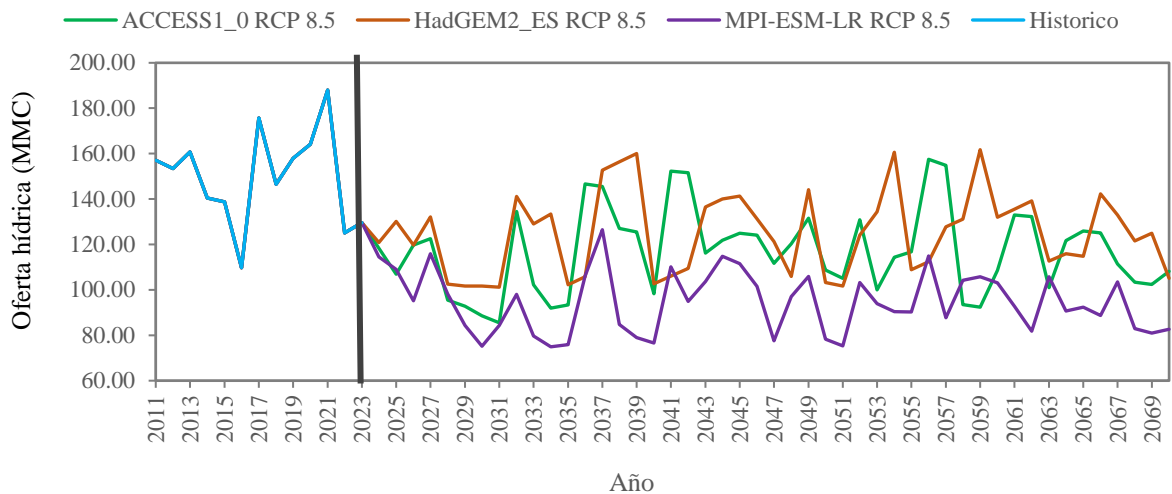


Figura 40. Variación anual de la oferta hídrica futura del rio Azul del periodo futuro (2024-2070).

En la figura 40 se observa la variación anual de la oferta hídrica futura proyectados al 2070 de los diferentes modelos climáticos globales del rio Azul, teniendo valores promedios anuales de volúmenes de agua de 116,9 MMC en el modelo ACCESS1_0, de 124,9 MMC en el modelo HadGEM2_ES y 94,6 MMC en el modelo MPI-ESM-LR del periodo 2024 hasta 2070. Comparando con la oferta hídrica promedio anual histórica del periodo 2011 – 2023 con un valor de 149,8 MMC, determinamos que existe una disminución de la oferta hídrica promedio anual futura de los modelos climáticos globales con un valor de -32,4 MMC en el modelo ACCESS1_0, de -24,9 MMC en el modelo HadGEM2_ES y de -55,2 MMC en el modelo MPI-ESM-LR.

4.4. Efecto del cambio climático en el balance hídrico (déficit y /o superávit) al año 2070

4.4.1. Sistema hidrológico

En este sistema tenemos los resultados promediados de los modelos climáticos globales del comportamiento de la precipitación, evapotranspiración y escorrentía (balance hidrológico) del periodo 2011 hasta 2070. En la figura 41 se muestra el comportamiento anual de las variables hidrológicas, seguidamente en la tabla 30 y figura 42 muestran el balance hidrológico por décadas del sistema hidrológico la cuenca de estudio del rio Azul.

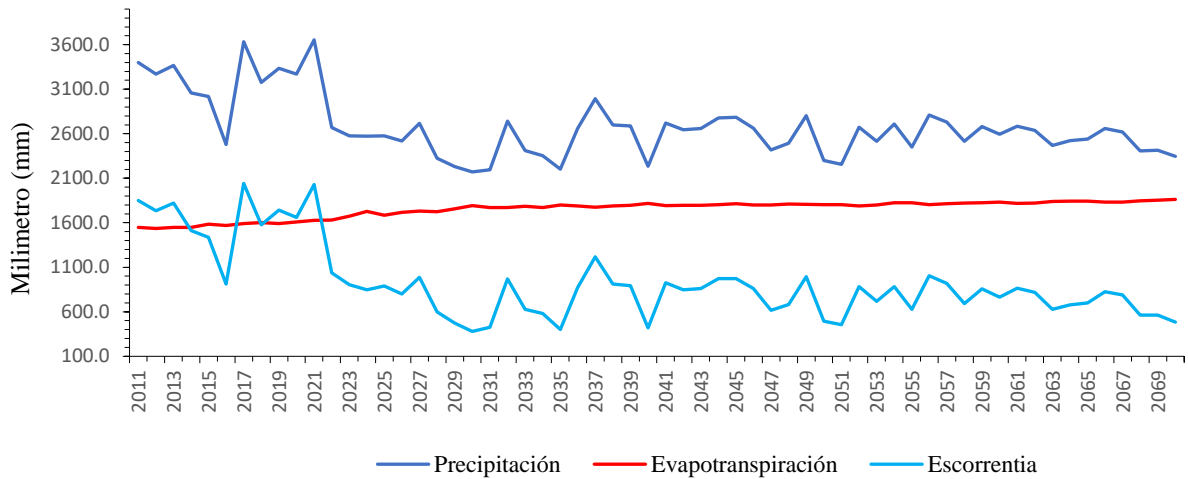


Figura 41. Variación anual de la precipitación, evapotranspiración y escorrentía de la cuenca de estudio del río Azul del periodo (2011-2070).

En la figura 41 observamos la variación anual de las variables hidrológicas proyectados al 2070, donde la precipitación promedio anual es de 2 677,9 mm/año, la evapotranspiración promedio anual es de 1 753,2 mm/año y escorrentía promedio anual es de 924,7 mm/año. Determinando que todavía existirá agua disponible en escorrentía en la cuenca hasta el 2070, presentando un superávit hídrico ya que los valores de las precipitaciones anuales son mayores a las evapotranspiraciones anuales en el ciclo hidrológico.

Tabla 30. Balance hidrológico por décadas de la cuenca de estudio del río Azul del periodo (2011-2070).

Variables meteorológicas	Histórico		Futuro				
	2011	2023	2030	2040	2050	2060	2070
Precipitación (mm)	3397.9	2577.7	2170.9	2234.6	2298.4	2595.2	2344.3
Evapotranspiración (mm)	1547.3	1671.9	1791.7	1817.0	1804.4	1832.3	1862.3
Escorrentía (mm)	1850.6	905.8	379.2	417.6	494.0	762.9	482.0

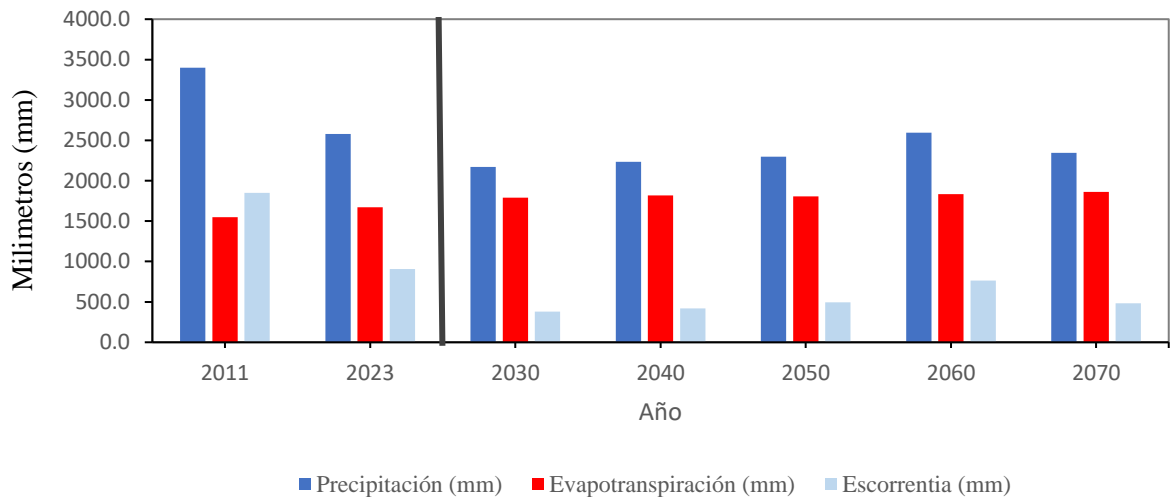


Figura 42. Balance hidrológico del periodo (2011-2070).

En la figura 42 se observa el comportamiento de las variables hidrológicas del periodo 2011 hasta 2070, donde se muestra valores de precipitación en los años históricos 2011 y 2023 con un promedio anual de 2 987,8 mm y valores de precipitación en los años futuros 2030, 2040, 2050, 2060 y 2070 con un resultado promedio anual de 2 328,7 mm, indicando que existirá una disminución de la precipitación promedio anual de -659,1 mm en los próximos años. Por consiguiente, también se muestra valores de evapotranspiración en los años históricos 2011 y 2023 con un promedio anual de 1 609,6 mm y valores de evapotranspiración en los años futuros 2030, 2040, 2050, 2060 y 2070 con un resultado promedio anual de 1 821,5 mm, indicando que existirá un aumento de la evapotranspiración promedio anual de +211,9 mm en los próximos años. Por último, se muestra valores de escorrentía en los años históricos 2011 y 2023 con un promedio anual de 1 378,2 mm y valores de escorrentía en los años futuros 2030, 2040, 2050, 2060 y 2070 con un resultado promedio anual de 507,1 mm, indicando que existirá una disminución de la escorrentía promedio anual de -871,1 mm en los próximos años. Por lo tanto, se demuestra que existirá un superávit hídrico en la cuenca de estudio, pero será afectado por el cambio climático a futuro, ya que existe una disminución significativa de la precipitación y escorrentía; y un aumento mínimo de la evapotranspiración.

4.4.2. Sistema hidráulico

En este sistema tenemos los resultados promediados de los modelos climáticos globales del comportamiento de la oferta hídrica del río azul, demanda hídrica del cultivo de arroz y el balance hídrico (superávit o déficit) del periodo 2011 hasta 2070. En la figura 43 se muestra el comportamiento anual de la oferta y demanda hídrica, seguidamente en

la tabla 31 y figura 44 muestra el balance hídrico por décadas del sistema hidráulico del río Azul y la demanda hídrica del cultivo

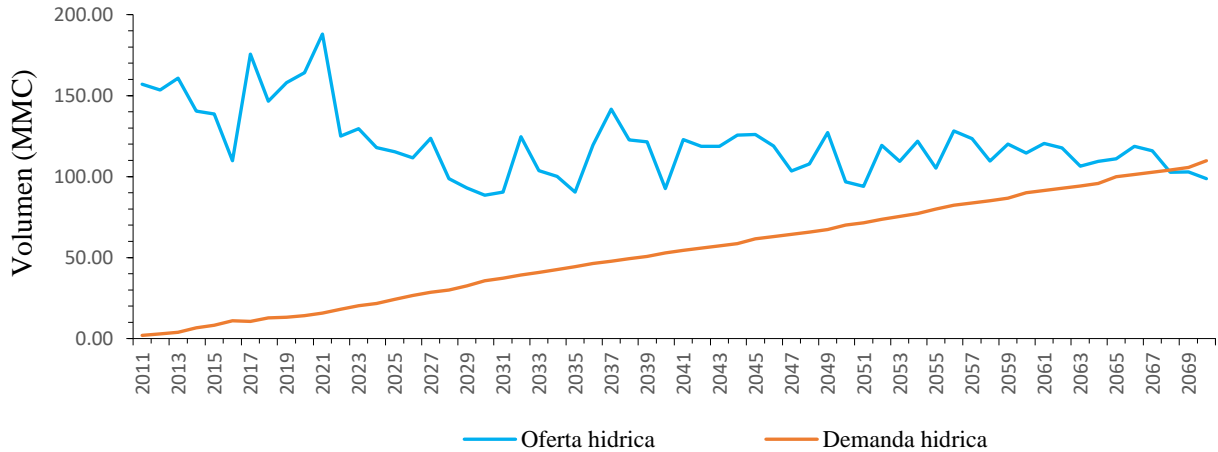


Figura 43. Variación anual de la oferta hídrica y demanda hídrica del río azul del periodo futuro (2011-2070).

En la figura 43 observamos la variación anual de las variables hídricas proyectados al 2070, donde la oferta hídrica promedio anual del río Azul es de 120,30 MMC y la demanda hídrica promedio anual del cultivo de arroz es de 53,5 MMC. También se puede observar una superación de la demanda hídrica sobre la oferta hídrica en el año 2070, deduciendo que en ese año puede existir un déficit hídrico bajo un escenario de cambio climático.

Tabla 31. Balance hídrico por décadas de la cuenca de estudio del río Azul del periodo (2011-2070).

Variables hídricas	Histórico		Futuro				
	2011	2023	2030	2040	2050	2060	2070
Oferta hídrica (MMC)	157.1	129.6	88.5	92.6	96.8	114.6	98.6
Demanda hídrica (MMC)	2.0	20.2	35.8	52.9	70.1	89.9	109.8
Balance hídrico (MMC)	155.1	109.3	52.7	39.6	26.7	24.6	-11.1

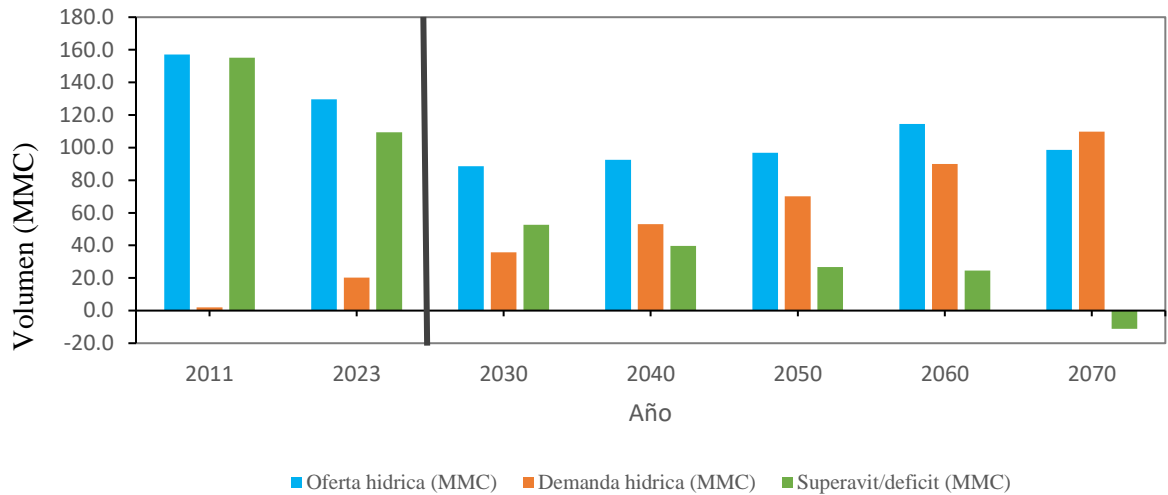


Figura 44. Balance hídrico del periodo (2011-2070).

En la figura 44 se observa el comportamiento de las variables hídricas del periodo 2011 hasta 2070, donde se muestra valores mayores de oferta hídrica anual del río azul en el año histórico 2011 y 2023 con un resultado promedio anual de 143,4 MMC; y valores menores en los años 2030, 2040, 2050, 2060 y 2070 con un resultado promedio anual de 98,2 MMC, demostrando que existirá una disminución de la oferta hídrica promedio anual de -45,2 MMC en los próximos años. También se muestra valores menores de la demanda hídrica del cultivo de arroz en los años 2011 y 2023 con un promedio anual de 11,1 MMC; y valores mayores en los años 2030, 2040, 2050, 2060 y 2070 con un promedio anual de 71,7 MMC, demostrando que existirá un incremento de la demanda hídrica promedio anual de +60,1 MMC en los próximos años. Por último, se observa que existe un superávit hídrico mayores en los años 2011 y 2023 con promedio anual de 132,2 MMC; además se visualiza que todavía existirá superávit hídrico pero que va en disminución en los años 2030, 2040, 2050 y 2060 con un promedio anual de 35,9 MMC; y finalizando se muestra que para el año 2070 existirá un déficit hídrico con un valor de -11,1 MMC, deduciendo que para ese año la demanda superará a la oferta en un escenario de cambio climático, ocasionando una posible sequía en el río azul a causa del incremento de la demanda de agua del cultivo de arroz.

V. CONCLUSIONES

1. Se analizó los datos meteorológicos históricos del periodo 2011 – 2023, concluyendo que existe una tendencia creciente de la temperatura máxima con una magnitud de +0.18 °C/año con un aumento de +2,29 °C/década, para la temperatura mínima una tendencia creciente de una magnitud de 0,04 °C/año con aumento de +0,56 °C/década, para la temperatura media una tendencia creciente de una magnitud de 0,09 °C/año con un aumento de +1,20 °C/década, para la humedad relativa una tendencia creciente con una magnitud de 0,09 %/año con un aumento de 1,12%/década, para la velocidad del viento una tendencia decreciente con una magnitud de -0,02 m/s/año con un descenso de -0,26 m/s/década, para la precipitación una tendencia decreciente con una magnitud de -53,51 mm/año con un descenso de -695,60 mm/década y para la evapotranspiración una tendencia creciente con una magnitud de 4,13 mm/año con un aumento de +53,70 mm/década.
2. La demanda hídrica histórica del periodo 2011 – 2023, incrementa a +1,48 MMC por año y presentando un promedio de volumen de agua anual de 10,70 MMC. Mientras los próximos 47 años, periodo 2024 – 2070, se tendrá valores promedios anuales de volúmenes de agua de 64,0 MMC en el modelo ACCESS1_0, de 65,8 MMC en el modelo HadGEM2_ES y 66,2 MMC en el modelo MPI-ESM-LR. Comparando con la demanda histórica determinamos que existirá un incremento de la demanda hídrica promedio anual futura con un valor de +53,3 MMC en el modelo ACCESS1_0, de +55,1 MMC en el modelo HadGEM2_ES y de +55,5 MMC en el modelo MPI-ESM-LR.
3. La oferta hídrica histórica del periodo 2011 – 2023, disminuye a -3,10 MMC por año y presentando un promedio de volumen de agua anual de 149,8 MMC. Mientras los próximos 47 años, periodo 2024 – 2070, se tendrá valores promedios anuales de volúmenes de agua de 116,9 MMC en el modelo ACCESS1_0, de 124,9 MMC en el modelo HadGEM2_ES y 94,6 MMC en el modelo MPI-ESM-LR. Comparando con la oferta hídrica histórica determinamos que existirá una disminución de la oferta hídrica promedio anual futura con un valor de -32,4 MMC en el modelo ACCESS1_0, de -24,9 MMC en el modelo HadGEM2_ES y de -55.2 MMC en el modelo MPI-ESM-LR.
4. Para el año 2070, según el balance hídrico se tendrá un déficit hídrico de -11,1 MMC equivalente a 3 500 hectáreas de cultivo de arroz, ocasionando una posible sequía en el río azul a causa del incremento de la demanda de agua del cultivo de arroz en un escenario de cambio climático.

VI. PROPUESTAS A FUTURO

1. Es importante contar con los registros de niveles del río Azul monitoreados por la estación hidrométrica del ANA para llevar a cabo una correcta simulación y calibración del modelo hidrológico GR2M.
2. Las medidas de las áreas de cultivo de arroz deben ser importantes para una debida declaración de las intenciones de siembra del cultivo de arroz en el sector agrícola del río Azul que permitan conocer mejor la demanda de agua en el sector hidráulico.
3. Se recomienda al comité de usuarios La Florida cuente con una estación meteorológica para una mejor medida de la evapotranspiración y manejo del cultivo de arroz en la zona.
4. Realizar un estudio del cambio de cobertura vegetal proyectado al futuro en la parte baja de la cuenca río Azul ya que en esa zona se realiza mayor porcentaje de cultivo de arroz que va en crecimiento, causando deforestación y aumentando la demanda de agua por este cultivo.
5. Realizar un buen manejo del recurso hídrico como un control de riego por temporadas, realizar prácticas de reforestación en las cabeceras de la cuenca e incentivar a sembrar otros tipos de cultivos que no necesiten demasiada agua para su producción; y así no incremente la demanda en un futuro ocasionando sequía en el río Azul afectado por el cambio climático.

VII. REFERENCIAS

- Abellán, J. (2008). Plan Nacional de Regadíos. Agricultura: Revista agropecuaria y ganadera, N°864, pp 368-386. https://www.mapa.gob.es/es/desarrollo-rural/temas/gestion-sostenible-regadios/apartado4-9_tcm30-150011.pdf.
- Andrade, A. & Navarrete, F. (2004). Lineamientos para la aplicación del enfoque ecosistémico a la gestión integral del recurso hídrico. Serie Manuales de Educación y Capacitación Ambiental. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente – PNUMA – Oficina Regional para América Latina y el Caribe. Red de Formación Ambiental, México. <https://www.ucipfg.com/Repositorio/MGAP/MGAP-11/semana1/andrade01.pdf>.
- Andrades, M. & Múñez, C. (2012). Fundamentos de climatología. Material Didáctico. Agricultura y Alimentación, N° 12. 64 p. España. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/libro/267903.pdf>.
- Ackerley D. & Dommengat D.(2016) Atmosphere-only GCM (ACCESS1.0) simulations with prescribed land surface temperatures. Goscintific Model Development. Australia. doi:10.5194/gmd-9-2077-2016. <https://gmd.copernicus.org/articles/9/2077/2016/gmd-9-2077-2016.pdf>
- Arteaga, R., Ángeles, V., & Vázquez, M. A. (2011). Programa CROPWAT para planeación y manejo del recurso hídrico. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, Núm.2, Vol.2. Pag 179-195. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342011000200001.
- Autoridad Nacional del Agua [ANA] (2012). Huella hídrica del cultivo de arroz. Huella Hídrica del Arroz en el Perú. Oficina del Sistema Nacional de Información de Recursos Hídricos. 31 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12543/546>
- Autoridad Nacional del Agua. Hídricos [ANA] (2014). Normas para el ejercicio del derecho de uso de agua. DARH. Dirección de Administración de Recursos Hídricos. MINAGRI. Ministerio de Agricultura y Riego, PE). 83 – 90 p.
- Autoridad Nacional del Agua. Hídricos [ANA] (2021). Aprobación del inventario de infraestructura hidráulica del Sector Hidráulico Menor Tingo María – Clase A. Informe

técnico N° 0013-2021-ANA-AAA.H-ALA. Tingo María/WLTS. Ministerio de de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI). Perú. 27 p.

Bazán, T. (2017). Manual de procedimientos de los análisis de suelos y agua con fines de riego. Universidad Nacional Agraria la Molina, Instituto Nacional de Innovación Agraria. Lima Perú. 92 p.
https://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/20.500.12955/504/1/Bazan_Manual_de_procedimientos_de_los.pdf

Bentancur, V., Molinari, M., Jones, C., & Oyhantçabal, W. (2019). Proyecciones climáticas para Uruguay a 2040 y 2070 mediante la técnica de reducción estadística de escala en el marco del Plan Nacional de Adaptación del sector agropecuario. Proyecciones climáticas medianteredución estadística de escala para Uruguay. Plan Nacional de Adaptación a la Variabilidad y el Cambio Climático para el Sector Agropecuario (PNA-Agro). 15 p. Uruguay.
https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/documentos/publicaciones/proyecciones_climaticas_mediante_reduccion_estadistica_para_uruguay_resumen_1.pdf.

Bezerra, T. L., Vieira de Azevedo, P. & Aires de Farias, A. (2015). Comportamento da precipitação pluvial e sua relação com o relevo nas microrregiões do Cariri Oriental e Ocidental do estado da Paraíba. Revista Brasileira de Geografia Física. Vol 08, N° 06. Brasil. Pag 1-14. <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/233678>

Bustos, D. E. (2021). *Análisis de la disponibilidad hídrica superficial en la cuenca alta y media del río la vieja bajo escenarios de cambio climático*. [Tesis – posgrado, Universidad del Quindío, Colombia]. Repositorio (Uniquindio).

<https://bdigital.uniquindio.edu.co/bitstream/handle/001/6180/Informe%20Final%20tesis%20David%20Bustos%20%281%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Cabrera, J. (2012). Calibración de Modelos Hidrológicos. Universidad Nacional de Ingeniería Facultad de Ingeniería Civil. Perú. 6 p.
https://www.imefen.uni.edu.pe/Temas_interes/modhidro_2.pdf

- Chylek, P., Li, J., Dubey, M.K., Wang, M., Lesins, G. (2011). Observado y modelo simulado de la variabilidad de la temperatura del Ártico en el siglo XX: Canadá Modelo de Sistema Terrestre CanESM2. *Atmosfera. Química. Física. Conservar* Vol 1. Pag 22893–22907. <https://doi.org/10.5194/acpd-11-22893-2011>.
- Cooperative for Assistance and Relief Everywhere [CARE]. (2017). Línea de base climática - parte II: escenarios climáticos cordillera blanca y santa teresa. PROYECTO GLACIARES Adaptación cambio climático y reducción de riesgos de desastres por el retroceso de los glaciares en la Cordillera de los Andes. 17 p. Perú. http://siar.regionancash.gob.pe/sites/default/files/archivos/public/docs/escenarios_climaticos.pdf.
- Corporación Autónoma Regional de Nariño [CORPONARIÑO] (2002). Plan de manejo del corredor Andino-Amazónico, Páramo de Bordoncillo, Cerro de Patascoy, Laguna de la Cocha como ecorregión estratégica para los departamentos de Nariño y Putumayo. Pasto, 98 p. Colombia.
- Da Silva, A., Manuela., K. & Nóbrega, S. (2016). Tendencia pluviométrica y concentración estacional de precipitación en la cuenca hidrográfica del río moxotó – Pernamcuco – Brasil. *Revista Geográfica de América Central*, vol. 1, núm. 58. Brasil. Pag 1-14. <https://www.redalyc.org/journal/4517/451750038021/html/>
- Davydova, V. (2012). Escenarios climáticos y procesos de adaptación. *Ciencia*, núm. 4, vol. 63, 6 p. México. https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/63_4/PDF/Escenarios_Climaticos.pdf.
- Degiovanni, V., Martínez, C. & Motta, F. (2010). Producción Eco-Eficiente del Arroz en América Latina. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Publicación CIAT No. 370, Tomo I, capítulos 1-24. Colombia. http://ciat-library.ciar.org/Articulos_Ciat/2010_Degiovanni-Produccion_eco-eficiente_del_arroz.pdf.

- Delgado, W.G. (2015). Gestión y valor económico del recurso hídrico. Finanzas. políticas. económicas., Vol. 7, No. 2, julio-diciembre, 2015, pp. 279-298.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2248-60462015000200004.
- Departamento de Agricultura de los Estados Unidos [USDA] (1999). Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo. Servicio de Investigación Agrícola. Servicio de Conservación de Recursos Naturales. Instituto de Calidad de Suelos. 63 p.
<https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-10/Gu%C3%ADa%20para%20la%20Evaluaci%C3%B3n%20de%20la%20Calidad%20y%20Salud%20del%20Suelo.pdf>
- Díaz, G. (2012). El cambio climático. Ciencia y Sociedad, núm. 2, vol. XXXVII, pp. 227-240.<https://www.redalyc.org/pdf/870/87024179004.pdf>.
- Erreis, R. A. (2015). *Evaluación del efecto del cambio climático en los cultivos de la zona de santa rosa de Cusubamba, cantón Cayambe, provincia de Pichincha*. [Tesis – posgrado, Universidad de las Fuerzas Armadas, Ecuador]. Repositorio (ESPE).
<https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/12373/1/T-ESPE-049610.pdf>.
- Francisco, A. & Claro, A. (1991). Balance hídrico. Instituto colombiano de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras [HIMAT]. Colombia.
<http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/011636/BALANCEHIDRICO.pdf>.
- Garcés, J.A. (2005). *Gestión de recursos hídricos en Chile: proposición de un modelo de gestión integrada para la cuenca Maipo Mapocho*. [tesis-posgrado, Universidad de Chile, Chile]. Repositorio (Uch).
<http://mgpa.forestaluchile.cl/Tesis/Garc%C3%A9s,%20Juan%20Antonio.pdf>.

- Giorgetta M. A., Jungclaus j., *et ; al* (2013). Cambios en el ciclo climático y del carbono de 1850 a 2100 en simulaciones MPI-ESM para la fase 5 del Proyecto de intercomparación de modelos acoplados. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems (JAMES)*. Vol 5. Pag 572-597. Alemania.
<https://doi.org/10.1002/jame.20038>
- Gobierno Regional de Huánuco [GOREHCO]. (2016). Zonificación ecológica y económica. Estudio climático. Provincia de Marañón. pp 31 – 65. Perú.
<https://es.scribd.com/document/382876098/Clima-Maranon>
- Gómez, H. M. (2016). *Impacto del cambio climático en la demanda hídrica de las cuencas chancay-Lambayeque y Lurín*. [Tesis – pregrado, Universidad Nacional Agraria la Molina, Perú]. Repositorio (UNALM).
<http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/1954>.
- Gómez, J. A., & Cecilia, M. (2017). Validación de las fórmulas de evapotranspiración de referencia (Eto) para Colombia. Nota técnica del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM]. 47 p.
Colombia.
<http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21147/Evapotranspiracion+de+Referencia+ETo +para+Colombia.pdf/12700c18-c492-40cc-8971-46f48f144824>.
- Gómez, D. F. & Rodríguez, A. D. (2018). *Aplicabilidad de datos climatológicos escalados para la modelación hidrológica de la cuenca del río Tona en Santander* [Proyecto de tesis – pregrado, Universidad Pontificia Bolivariana, Colombia]. Repositorio (UPB).
https://biblioteca.bucaramanga.upb.edu.co/docs/digital_37330.pdf
- González, J. & Rosero, M. (1981). Morfología de la planta de arroz. Centro Internacional de Agricultura Tropical [CIAT], 31 p. Colombia.
[http://ciat-library.ciar.org/Articulos_Ciat/biblioteca/Morfologia de la Planta de Arroz.pdf](http://ciat-library.ciar.org/Articulos_Ciat/biblioteca/Morfologia%20de%20la%20Planta%20de%20Arroz.pdf).

- González, M. & Alonso, A. (2016). Tecnologías para ahorrar agua en el cultivo de arroz. NOVA publicación científica en ciencia biomédicas de la Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca, 13 (26), pp 63-78. Colombia. <http://www.scielo.org.co/pdf/nova/v14n26/v14n26a07.pdf>.
- González, M. C., Saldarriaga, G., & Jaramillo, O. (2010). Capítulo 5: Estimación de la demanda de agua. Conceptualización y dimensionamiento de la demanda hídrica sectorial. Estudio Nacional del agua 2010. pp 170 – 228. Colombia. <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/021888/CAP5.pdf>.
- Grupo Intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático [IPCC]. (2002). Cambio climático y biodiversidad. Documento técnico V del IPCC. 93 p. <https://archive.ipcc.ch/pdf/technical-papers/climate-changes-biodiversity-sp.pdf>.
- Grupo Intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático [IPCC]. (2021). Comunicado de prensa del IPCC. Secretaríadel IPCC. 5 p. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2021/08/IPCC_WGI-AR6-Press-Release-Final_es.pdf.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM]. (2010). Generación de escenarios de cambio climático regionales y locales a partir de modelos globales - guía para tomadores de decisiones. Procedimiento para la generación de escenarios de cambio climáticoregional y local a partir de los modelos globales –guía para tomadores de decisiones. 17 p. Colombia. <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Gu%C3%ADa+Escenarios+para+Tomadores+de+Decisiones.pdf/fa7abe38-43cc-49c8-96a3-f2b5c24ecce3>.
- Instituto Nacional de Recursos Naturales [INRENA] (2007). Evaluación De Los Recursos Hídricos De La Cuenca Del Río Ocoña. Ministerio de Agricultura. Ocoña, Perú. Pag 115 – 117. https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/publication/files/estudio_hidrologico_ocon_a_0_0.pdf

- Martin G. M. , Bellouin N. *et; al* (2011). The HadGEM2 family of Met Office Unified Model climate configurations. *Goscientific Model Development*. Reino Unido. doi:10.5194/gmd-4-723-2011. <https://gmd.copernicus.org/articles/4/723/2011/gmd-4-723-2011.pdf>
- Michel, C. (1989). Un modelo diario de lluvia y escorrentía de tres parámetros. *La Houille Blanche*, Francia. 9 p. <https://www.shf-lhb.org/articles/lhb/pdf/1989/02/lhb1989007.pdf>
- Ministerio de Agricultura y Riego [MINAGRI] (2013). Plan nacional de recursos hídricos. Anexo V, Directrices de coordinación. Planes de Gestión de Recursos Hídricos de Cuencas. 30 p. https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/archivos/paginas/g_anexo_5_0_0.pdf.
- Ministerio del Ambiente [MINAM] (2015). Guía de inventario de la flora y vegetación. Viceministerio de desarrollo estratégico de los recursos naturales. Dirección general de evaluación, valoración y financiamiento del patrimonio natural. Perú. Pag 18-19. <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2015/03/RM-N%C2%B0-059-2015-MINAM.pdf>
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego [MIDAGRI] (2021). Análisis de mercado del arroz. Sierra y selva exportadora. Unidad de inteligencia comercial. Perú. Pag 4 – 20. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2243971/Reporte%20de%20Arroz.pdf>
- Moss, RH, JA Edmonds, KA Hibbard, MR Manning, SK Rose, DP van Vuuren, TR Carter, et al. (2010). La próxima generación de escenarios para la investigación y evaluación del cambio climático. *Naturaleza*, 463, Pag 747-756.
- Mouelhi, S., Michel, C., Perrin, C. et Andréassian, V. (2006) Desarrollo gradual de un modelo de balance hídrico mensual de dos parámetros. *Journal of Hydrology* 318 (2006) 200–214. 9 p. https://www.researchgate.net/publication/223319718_Stepwise_Development_of_a_Two-Parameter_Monthly_Water_Balance_Model

- Olivera, W. (2019). *Disponibilidad hídrica superficial de la subcuenca del río shullcas con fines agrícolas frente al escenario de cambio climático – Huancayo*. [Tesis – pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú, Perú]. Repositorio (UNCP). <http://hdl.handle.net/20.500.12894/6005>.
- Olmos, S. (2006). Apunte de morfología, fenología, ecofisiología, y mejoramiento genético del arroz. Cátedra de Cultivos II Facultad de Ciencias Agrarias, UNNE. Argentina. <https://www.acpaarrozcorrientes.org.ar/academico/Apunte-MORFOLOGIA.pdf>.
- Ordoñez, J. J. (2011). Balance hídrico superficial. Cartilla Técnica: “Contribuyendo al desarrollo de una Cultura del Agua y la Gestión Integral de Recurso Hídrico”. Perú. https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/balance_hidrico.pdf.
- Ordoñez, J. J. (2011). Ciclo hidrológico. Cartilla Técnica: “Contribuyendo al desarrollo de una Cultura del Agua y la Gestión Integral de Recurso Hídrico”. Perú. https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/ciclo_hidrologico.pdf.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2006). Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio FAO riego y drenaje. Roma. <https://www.fao.org/3/x0490s/x0490s.pdf>.
- Ortiz, R., & Chile, M. (2020). Métodos de cálculo para estimar la evapotranspiración de referencia para el Valle de Tumbaco. Siembra, núm.1, vol. 7. 15 p. DOI: <https://doi.org/10.29166/siembra.v7i1.1450>. URL: https://www.redalyc.org/journal/6538/6538_68372007/653868372007.pdf.
- Pabón J. D., Zea J., León G., Gonzalo H., Gonzales O., & Montealegre J. (1998). La atmósfera, el tiempo y el clima. El medio ambiente en Colombia, Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM], pp. 35 – 91. Colombia. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/33408?show=full>.

- Paredes, C. D. (2022). *Simulación geoespacial de los cambios de cobertura y uso de la tierra al año 2030 en la microcuenca supte, distrito Rupa Rupa – Huánuco, 2022*. [Tesis – pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva, Perú]. Repositorio (UNAS). https://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14292/2507/TS_DSPC_2023.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Pilares, I., Montalvo, N., Mejía, A., Guevara, E., Fano, M. & Alfaro, R. (2018). Determinación de la disponibilidad hídrica para usos múltiples del sistema integral lagunillas en el altiplano peruano, bajo las condiciones de cambio climático. *Revista INGENIERÍA UC*, núm. 2, vol. 25. 14 p. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=70757669018>.
- Pulido, M., Cabrera, E., & Garrido, A. (2014). Economía del agua y gestión de recursos hídricos. *Ingeniería Del Agua*, 18(1), pp 99–110.
Doi:<https://doi.org/10.4995/ia.2014.3160>. URL:https://www.researchgate.net/publication/272871084_Economia_del_agua_y_gestion_de_recursos_hidricos.
- Raddatz, T.J., Reick, C.H., Knorr, W., Kattge, J., Roeckner, E., Schnur, R., et al. (2007). ¿Dominará la biosfera terrestre tropical la retroalimentación del ciclo climático-carbono durante el siglo XXI? *Clima Din.* Vol 29. Pag 565–574.
- Reidsma, P., Wolf, J., Kanellopoulos, A., Schaap, B.F., Mandryk, M., Verhagen, J. and Van Ittersum, M.K. (2015). La investigación sobre el impacto y la adaptación al cambio climático requiere un análisis de sistemas agrícolas y una evaluación integrada: un estudio de caso en los Países Bajos. *Procedia Environmental Sciences*, Vol. 29, pp 286-287. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878029615004491?via%3Dihub>.
- Ríos, O. A. (2023). *Predicción de la cobertura y uso de la tierra al año 2030 en la cuenca del río huayabamba región San Martín*. [Tesis – pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva, Perú]. Repositorio (UNAS). https://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14292/2545/TS_AMRO_2023.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Sabas R., C. A. & Paredes C., D. (2009). Estudio de oferta y demanda hídrica en la cuenca del río barbas. *Scientia et Technica* Año XV, No 42. Universidad Tecnológica de Pereira. Colombia. [file:///C:/Users/hp/Downloads/Dialnet-EstudioDeOfertaYDemandaHidricaEnLaCuencaDelRioBarb-4713083%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/hp/Downloads/Dialnet-EstudioDeOfertaYDemandaHidricaEnLaCuencaDelRioBarb-4713083%20(1).pdf)
- Sánchez, M. I. (2001). Métodos de estimación de evapotranspiración utilizados en Chile. *Revista de Geografía Norte Grande*, N° 28, pp 3-10. Chile. <https://revistanortegrande.uc.cl/index.php/RGNG/article/view/46563>.
- SENAMHI. (2021). Escenarios climáticos al 2050 en el Perú: Cambios en el clima promedio. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú – SENAMHI Ministerio del Ambiente (MINAM). <https://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/1470>
- SENAMHI. (2019). Modelamiento hidrológico a paso mensual para el monitoreo de sequías hidrológicas en cuencas de la vertiente del pacífico y del Titicaca. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú – SENAMHI. Dirección de hidrología -DHI. Diciembre 2019. <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01401SENA-82.pdf>.
- SENAMHI. (2013). Evaluación de los modelos CMIP5 del IPCC en el Perú: Proyecciones al año 2030 en la Región Huánuco Reporte ejecutivo. Ministerio del Ambiente (MINAM). https://repositorio.senamhi.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12542/217/Evaluacion_modelos_CMIP5_IPCC-Peru-proyecciones-a%C3%B1o-2030-region_Huanuco_2013.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Servicio Nacional de Estudios Territoriales [SNET] (2005). Balance Hídrico Integrado y Dinámico en El Salvador. Componente Evaluación de Recursos Hídricos. El Salvador. Pag 8 – 10. <https://www.snet.gob.sv/Documentos/balanceHidrico.pdf>
- Tigmasa, L. E. (2020). *Evaluación del efecto del cambio climático como amenaza para el sector agrícola de la parroquia Izamba, cantón Ambato*. [Tesis – posgrado, Universidad Técnica de Ambato, Ecuador]. Repositorio (UTA). <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/31434/1/005%20Tesis%20maestr%C3%ADas%20Cambio%20Clim%C3%A1tico%20-%20Tigmasa%20Lilian.pdf>

- Toro, A. M., Arteaga, R., Vázquez, M. A. & Ibáñez, L. A. (2015). Relleno de series diarias de precipitación, temperatura mínima, máxima de la región norte del Urabá Antioqueño. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Vol.6 Núm.2. México. Pag 1 – 12. <https://www.redalyc.org/pdf/2631/263138088011.pdf>
- UNESCO. (1982). Guía metodológica para la elaboración del balance hídrico de América del Sur. Oficina Regional de Ciencia y Tecnología de la Unesco para América Latina y el Caribe - ROSTLAC Montevideo – Uruguay. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000051960>.
- Villón, M. (2002). Hidrología. Serie en ingeniería agrícola. Instituto Tecnológico de Costa Rica. 77p. <https://es.scribd.com/doc/269884841/HIDROLOGIA-MAXIMO-VILLON-BEJAR-pdf>.
- Villón, M. (2006). Hidrología estadística. Serie en ingeniería agrícola. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Pag 270-312. <https://www.hidrosm.com/2021/01/libro-hidrologia-estadistica-maximo.html>
- Zelaya, C., & Rodríguez, J. (2021). CROPWAT: Estimación de la reducción porcentual en rendimientos en los cultivos de maíz y frijol. Guía metodológica – Modulo II diplomado. 29 p.<https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/113242>.

VIII. ANEXOS

8.1. Anexo 1. Estaciones meteorológicas con registros de temperatura máximas (°C) completados y tratados.

AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA - ANA
Análisis de Datos y Recursos Estadísticos del Agua - ANDREA

Estación		La Morada										
Variable		Temperatura máxima promedio Mes (°C)										
WGS 84 Geográficas		Latitud: -8.750278 / Longitud: -76.150278 / Altitud(msnm): 550										
Ámbito Político		Dpto: Huánuco / Prov: Marañón / Dist.: La morada										
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
2011	28.4	27.9	28.4	28.5	28.9	28.5	28.6	29.3	29.1	29.1	30.1	28.5
2012	29.3	28.1	29.1	28.8	29.4	28.8	28.8	29.5	29.8	29.8	30.5	28.7
2013	29.6	28.5	28.7	29.4	28.7	27.8	27.6	28.3	29.7	29.6	29.5	29.5
2014	28.6	28.7	28.7	28.5	29.2	29.1	28.3	29.0	29.7	29.5	29.9	28.9
2015	28.4	28.4	29.2	28.4	28.8	28.8	28.8	29.9	31.4	30.9	30.5	29.5
2016	30.2	29.5	29.9	29.7	29.7	28.6	29.4	30.2	30.0	30.3	30.8	29.5
2017	28.1	29.0	28.8	30.2	30.5	30.7	29.8	31.4	30.2	30.4	29.1	30.2
2018	29.0	29.8	29.4	30.1	30.3	29.6	30.5	30.9	31.6	29.1	29.0	29.4
2019	29.1	29.1	29.4	30.1	30.8	30.6	29.8	31.2	30.7	29.8	30.8	29.2
2020	29.8	28.8	30.3	29.4	30.0	29.9	30.1	31.4	30.1	31.9	32.3	30.0
2021	29.4	30.2	29.5	29.8	30.3	29.7	30.2	30.6	31.0	31.9	30.4	31.1
2022	30.5	29.0	29.5	30.3	30.0	29.4	30.6	30.6	32.7	32.6	32.0	30.4
2023	28.8	29.3	30.0	29.5	31.5	32.3	33.1	33.4	34.0	34.0	33.1	30.5

Figura 45. Datos de temperatura máxima (°C) de la estación La Morada.

AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA - ANA
Análisis de Datos y Recursos Estadísticos del Agua - ANDREA

Estación		Aucayacu										
Variable		Temperatura máxima promedio Mes (°C)										
WGS 84 Geográficas		Latitud: -8.929869 / Longitud: -76.111708 / Altitud(msnm): 586										
Ámbito Político		Dpto: Huánuco / Prov: Leoncio Prado / Dist.: José Crespo Y Castillo										
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
2011	28.3	28.2	28.9	30.7	29.8	29.6	29.6	30.8	30.6	28.9	30.3	29.0
2012	29.7	27.9	30.3	30.4	31.4	30.9	30.7	31.4	31.2	31.0	31.7	29.3
2013	31.1	28.8	30.2	31.1	29.9	30.0	30.3	30.5	31.9	29.8	30.5	30.6
2014	28.9	29.1	29.2	28.8	29.4	29.3	28.6	29.3	30.0	29.8	30.0	29.2
2015	28.8	28.7	29.5	28.8	29.0	29.0	29.1	30.2	31.8	31.2	30.6	29.9
2016	30.5	29.9	30.2	30.0	29.9	28.7	29.7	30.4	30.3	30.6	30.9	29.8
2017	28.0	28.9	28.8	30.1	30.5	30.7	29.8	31.4	30.1	30.4	29.1	30.2
2018	28.9	29.7	29.4	30.0	30.2	29.6	30.5	30.9	31.5	29.1	28.9	29.3
2019	28.9	28.9	29.3	30.0	30.9	30.7	29.8	31.2	30.5	29.6	30.7	29.1
2020	29.6	28.6	29.8	29.2	30.0	29.6	30.1	31.4	29.8	31.9	32.4	30.1
2021	29.4	30.2	29.2	29.7	30.3	29.7	30.1	30.6	31.0	32.0	30.4	31.2
2022	30.4	29.1	29.6	30.3	30.1	29.4	30.6	30.7	32.9	32.8	32.2	30.4
2023	29.4	29.9	29.9	30.6	29.8	31.1	31.1	31.8	32.7	32.5	31.2	30.6

Figura 46. Datos de temperatura máxima (°C) de la estación Aucayacu.

AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA - ANA
Análisis de Datos y Recursos Estadísticos del Agua - ANDREA

Estación		Tulumayo										
Variable		Temperatura máxima promedio Mes (°C)										
WGS 84 Geográficas		Latitud: -9.100278 / Longitud: -75.900278 / Altitud(msnm): 612										
Ámbito Político		Dpto: Huánuco / Prov: Leoncio Prado / Dist.: Pueblo Nuevo										
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
2011	29.0	28.4	29.8	30.9	30.6	30.5	30.8	31.6	31.4	30.4	31.7	30.1
2012	31.1	28.7	31.3	30.9	31.0	30.8	29.2	31.6	31.9	31.7	32.0	30.2
2013	30.5	29.4	29.6	30.9	30.0	29.5	29.2	30.0	31.2	31.1	30.4	30.9
2014	29.4	29.7	30.0	30.1	30.4	30.6	29.9	30.8	31.4	31.1	31.0	30.0
2015	29.3	29.3	30.2	30.1	30.1	30.4	30.4	31.7	33.2	32.4	31.5	30.7
2016	30.9	30.4	30.8	31.2	30.9	30.1	31.1	31.9	31.5	31.8	31.8	30.6
2017	28.6	29.6	29.4	30.8	31.1	31.4	30.4	32.1	30.8	31.1	29.7	30.8
2018	29.6	30.4	30.0	30.7	30.9	30.2	31.2	31.6	32.1	29.7	29.7	30.0
2019	30.4	30.3	30.4	30.8	31.0	30.7	30.1	31.7	31.7	31.0	31.8	30.1
2020	30.8	30.1	32.9	30.2	30.5	30.9	30.5	31.6	31.6	32.6	32.7	30.3
2021	30.2	30.9	30.4	30.5	30.6	29.8	30.5	31.0	31.8	32.4	30.9	31.0
2022	31.2	29.5	29.9	30.9	30.3	30.2	31.3	30.7	32.5	32.9	32.2	31.0
2023	30.2	30.4	30.3	31.4	30.9	31.0	32.0	33.0	33.4	32.8	31.8	30.8

Figura 47. Datos de temperatura máxima (°C) de la estación Tulumayo.

AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA - ANA
Análisis de Datos y Recursos Estadísticos del Agua - ANDREA

Estación		Tocache										
Variable		Temperatura máxima promedio Mes (°C)										
WGS 84 Geográficas		Latitud: -8.18475 / Longitud: -76.50789 / Altitud(msnm): 500										
Ámbito Político		Dpto: San Martín / Prov: Tocache / Dist.: Tocache										
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
2011	29.6	28.9	28.9	29.3	29.6	29.2	29.2	30.5	30.0	30.0	30.8	29.2
2012	29.9	28.9	29.8	29.5	30.2	29.5	29.7	30.6	30.7	30.6	31.2	29.4
2013	30.1	29.3	29.6	30.4	29.6	28.7	28.6	29.3	30.6	30.5	30.2	30.2
2014	29.5	29.1	29.0	29.1	29.9	29.8	29.2	30.0	30.6	30.3	30.6	29.7
2015	29.2	29.2	29.9	29.2	29.5	29.6	29.6	31.0	32.2	31.8	31.3	30.2
2016	31.1	30.2	30.6	30.5	30.5	29.5	30.4	31.3	30.9	31.1	31.6	30.3
2017	27.6	28.5	28.3	29.7	30.0	30.2	29.3	30.9	29.6	29.9	28.6	29.7
2018	28.5	29.3	28.9	29.6	29.8	29.1	30.0	30.4	30.8	28.6	28.7	28.9
2019	28.2	28.1	28.1	29.1	28.9	29.3	28.8	29.9	30.0	29.0	29.4	28.0
2020	29.2	28.1	29.0	29.5	29.2	30.2	29.1	30.3	29.9	30.2	30.3	28.6
2021	28.2	29.1	30.3	29.2	29.8	29.2	29.7	30.1	29.4	30.5	29.2	30.2
2022	30.2	27.0	27.3	28.6	28.0	28.2	29.6	29.4	30.3	30.0	29.9	28.5
2023	27.9	27.5	27.7	28.9	28.8	29.2	30.5	31.0	31.0	31.0	31.5	28.5

Figura 48. Datos de temperatura máxima (°C) de la estación Tocache.

8.2. Anexo 2. Estaciones meteorológicas con registros de temperatura mínimas (°C) completados y tratados.

AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA - ANA
Análisis de Datos y Recursos Estadísticos del Agua - ANDREA

Estación	La Morada											
Variable	Temperatura mínima promedio Mes (°C)											
WGS 84 Geográficas	Latitud: -8.750278 / Longitud: -76.150278 / Altitud(msnm): 550											
Ámbito Político	Dpto: Huánuco / Prov: Marañón / Dist.: La morada											

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
2011	20.0	19.7	19.9	19.9	20.4	20.2	19.3	18.8	19.1	20.3	21.3	20.3
2012	20.0	19.9	20.0	20.6	20.1	19.9	19.0	19.1	18.9	20.4	21.7	20.6
2013	20.4	20.3	20.6	19.3	20.4	19.7	18.8	18.8	19.2	20.3	21.1	20.6
2014	20.5	20.3	20.2	20.3	21.2	20.9	19.4	18.9	19.4	20.1	21.4	20.4
2015	19.9	20.2	20.5	20.6	21.2	20.0	20.1	20.0	20.6	21.3	21.9	21.0
2016	21.0	21.4	21.1	21.1	20.5	19.5	19.0	19.4	19.5	20.6	21.3	20.4
2017	19.6	19.5	19.7	19.6	19.1	18.9	16.5	16.7	18.2	19.1	20.0	20.2
2018	19.9	20.3	20.2	19.7	20.1	18.6	18.9	18.8	19.5	19.9	20.2	20.5
2019	20.3	20.2	20.5	20.4	19.8	18.8	18.6	17.3	18.0	17.9	18.1	17.7
2020	18.2	18.2	18.5	18.1	17.8	16.1	18.4	19.8	19.5	19.4	20.5	20.5
2021	20.1	21.0	20.4	20.7	20.7	20.2	19.1	19.4	20.1	20.9	21.2	21.3
2022	21.5	19.5	20.9	20.0	20.8	19.4	21.0	20.0	20.9	21.3	20.8	20.6
2023	20.4	20.9	20.8	20.2	21.0	20.5	20.3	19.9	20.4	21.4	21.6	21.9

Figura 49. Datos de temperatura mínima (°C) de la estación La Morada.

AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA - ANA
Análisis de Datos y Recursos Estadísticos del Agua - ANDREA

Estación	Aucayacu											
Variable	Temperatura mínima promedio Mes (°C)											
WGS 84 Geográficas	Latitud: -8.929869 / Longitud: -76.111708 / Altitud(msnm): 586											
Ámbito Político	Dpto: Huánuco / Prov: Leoncio Prado / Dist.: José Crespo Y Castillo											

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
2011	20.3	20.0	20.1	20.3	20.4	20.1	19.7	19.9	19.9	20.3	20.5	20.3
2012	20.4	20.0	20.2	20.2	20.6	20.3	19.5	19.4	19.5	20.3	20.9	20.3
2013	20.5	20.0	21.1	20.5	20.8	20.8	19.2	19.7	19.0	20.3	19.8	20.8
2014	20.7	20.3	20.1	20.3	20.9	20.9	19.5	18.7	19.3	19.9	20.9	20.7
2015	20.1	20.2	20.5	20.7	21.0	20.0	20.1	19.8	20.4	21.1	21.4	21.3
2016	21.2	21.4	21.1	21.1	20.3	19.6	19.0	19.2	19.3	20.4	20.8	20.6
2017	19.5	19.4	19.5	19.4	18.9	18.7	16.4	16.5	18.0	18.9	19.8	20.1
2018	19.8	20.2	20.0	19.5	19.9	18.4	18.8	18.6	19.3	19.6	19.9	20.2
2019	20.0	19.8	20.2	20.1	19.4	18.4	18.2	16.9	17.4	17.1	17.0	16.4
2020	17.2	17.0	17.4	17.1	16.5	15.1	17.9	19.7	19.4	19.2	20.4	20.2
2021	19.8	20.7	20.2	20.6	20.7	20.1	19.1	19.3	20.1	20.8	21.0	21.2
2022	21.0	20.3	20.6	20.8	20.4	19.3	20.0	19.3	20.2	21.1	20.4	19.8
2023	20.3	20.6	20.9	21.2	21.6	20.6	20.7	20.4	20.6	21.5	21.83	21.9

Figura 50. Datos de temperatura mínima (°C) de la estación Aucayacu.

AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA - ANA
Análisis de Datos y Recursos Estadísticos del Agua - ANDREA

Estación		Tulumayo											
Variable		Temperatura mínima promedio Mes (°C)											
WGS 84 Geográficas		Latitud: -9.100278 / Longitud: -75.900278 / Altitud(msnm): 612											
Ámbito Político		Dpto: Huánuco / Prov: Leoncio Prado / Dist.: Pueblo Nuevo											
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	
2011	20.9	20.3	20.9	20.3	20.7	20.1	19.6	19.3	19.4	20.7	21.1	20.9	
2012	21.2	20.8	20.6	20.9	20.3	20.0	18.7	18.5	18.6	21.2	21.3	21.2	
2013	21.4	20.9	21.3	19.6	20.6	19.8	18.8	18.6	19.1	20.9	21.1	21.3	
2014	21.3	20.9	20.8	20.5	21.5	20.8	19.4	18.7	19.4	19.7	20.8	21.0	
2015	20.7	20.9	21.1	20.9	21.5	20.0	20.0	19.8	20.5	20.9	21.3	21.7	
2016	21.8	22.1	21.8	21.3	20.8	19.5	18.9	19.2	19.4	20.2	20.7	20.9	
2017	19.9	19.9	20.0	19.9	19.4	19.2	16.8	16.9	18.5	19.4	20.3	20.6	
2018	20.3	20.7	20.5	20.0	20.4	18.9	19.2	19.1	19.9	20.6	20.9	21.0	
2019	21.1	21.5	21.3	21.2	21.0	19.6	19.5	18.5	19.7	20.3	21.1	21.1	
2020	21.7	21.4	21.6	20.3	20.5	18.3	19.4	19.7	19.4	19.8	20.4	21.1	
2021	20.7	21.4	20.5	20.7	20.5	20.4	19.0	19.3	19.8	20.9	21.1	21.4	
2022	21.1	20.8	21.1	21.2	20.6	18.6	19.9	19.1	19.6	20.9	20.0	20.1	
2023	20.2	20.9	21.0	20.8	20.8	19.9	19.7	19.6	19.9	20.9	21.3	22.1	

Figura 51. Datos de temperatura mínima (°C) de la estación Tulumayo.

AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA - ANA
Análisis de Datos y Recursos Estadísticos del Agua - ANDR

Estación		Tocache											
Variable		Temperatura mínima promedio Mes (°C)											
WGS 84 Geográficas		Latitud: -8.18475 / Longitud: -76.50789 / Altitud(msnm): 500											
Ámbito Político		Dpto: San Martín / Prov: Tocache / Dist.: Tocache											
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	
2011	20.4	20.3	20.5	20.2	20.7	20.8	19.3	19.0	19.2	20.3	20.7	20.7	
2012	20.4	20.4	20.6	20.7	20.4	20.4	19.1	19.2	19.1	20.3	21.1	20.9	
2013	20.7	20.8	21.3	19.6	20.6	20.2	18.7	18.9	19.3	20.3	20.4	20.9	
2014	20.9	20.9	20.9	20.5	21.5	21.5	19.5	19.1	19.6	20.1	20.7	20.8	
2015	20.3	20.9	21.2	20.8	21.5	20.6	20.2	20.1	20.8	21.3	21.4	21.5	
2016	21.5	22.0	21.9	21.3	20.9	20.2	19.2	19.5	19.8	20.6	20.7	20.9	
2017	20.5	20.4	20.5	20.4	19.9	19.7	17.3	17.4	18.9	19.9	20.8	21.1	
2018	20.8	21.2	21.0	20.5	20.9	19.4	19.7	19.6	20.6	21.7	22.0	21.9	
2019	21.6	21.6	22.0	21.6	21.6	20.9	20.6	19.7	21.1	21.3	21.7	22.7	
2020	20.3	23.2	23.0	23.6	24.9	21.7	21.0	21.0	20.8	20.9	21.7	21.7	
2021	21.4	22.2	22.0	21.7	21.7	21.1	20.1	20.3	21.4	22.4	22.6	22.8	
2022	22.6	21.5	21.6	21.6	21.5	20.2	21.2	20.7	21.1	21.5	21.0	21.5	
2023	21.4	21.6	21.5	21.8	22.2	21.2	21.5	21.3	21.5	22.4	22.7	21.5	

Figura 52. Datos de temperatura mínima (°C) de la estación Tocache.

8.3. Anexo 3. Estaciones meteorológicas con registros de humedad relativa (%) completados y tratados.

AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA - ANA
Análisis de Datos y Recursos Estadísticos del Agua - ANDREA

Estación	La Morada											
Variable	Humedad relativa promedio Mes (%)											
WGS 84 Geográficas	Latitud: -8.750278 / Longitud: -76.150278 / Altitud(msnm): 550											
Ámbito Político	Dpto: Huánuco / Prov: Marañón / Dist.: La morada											

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
2011	87.4	86.0	85.0	81.8	83.6	83.5	84.1	81.8	83.0	85.1	82.8	85.3
2012	83.6	86.1	83.3	83.0	81.5	82.3	82.5	82.6	82.7	82.3	81.7	84.6
2013	82.2	85.9	83.3	82.3	83.9	83.7	83.0	85.5	81.7	83.7	84.0	83.7
2014	86.5	85.0	86.4	85.2	84.1	84.0	84.0	82.8	83.3	83.4	84.9	85.5
2015	87.1	86.3	86.3	86.7	87.0	85.6	84.2	83.9	83.7	85.1	85.5	86.7
2016	84.6	86.9	86.4	84.9	85.9	85.5	84.7	83.0	83.4	83.4	83.5	85.9
2017	88.2	87.2	87.2	86.1	85.6	86.8	85.9	84.2	86.3	85.7	87.3	86.6
2018	87.1	86.8	87.1	85.9	85.6	86.2	84.2	83.3	82.6	85.8	86.6	86.5
2019	86.7	87.4	87.4	86.9	85.8	85.7	85.9	84.1	85.5	86.7	85.9	87.5
2020	86.7	88.4	86.9	87.2	85.4	85.1	85.3	83.8	85.9	81.4	81.6	84.7
2021	85.8	85.4	86.8	86.3	85.8	86.3	84.2	83.3	83.8	83.6	85.9	85.4
2022	84.0	88.9	89.3	86.3	85.1	82.8	82.6	81.3	78.3	80.4	80.5	85.7
2023	86.7	86.0	88.4	84.3	82.2	80.7	80.2	80.3	80.6	83.1	84.9	85.0

Figura 53. Datos de humedad relativa (%) de la estación La Morada.

AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA - ANA
Análisis de Datos y Recursos Estadísticos del Agua - ANDREA

Estación	Aucayacu											
Variable	Humedad relativa promedio Mes (%)											
WGS 84 Geográficas	Latitud: -8.929869 / Longitud: -76.111708 / Altitud(msnm): 586											
Ámbito Político	Dpto: Huánuco / Prov: Leoncio Prado / Dist.: José Crespo Y Castillo											

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
2011	88.0	86.6	85.6	82.4	84.2	84.1	84.7	82.4	83.6	85.7	83.4	85.9
2012	84.2	86.7	83.9	83.6	82.1	82.9	83.1	83.2	83.3	82.9	82.3	85.2
2013	82.8	86.5	83.9	82.9	84.5	84.3	83.6	86.1	82.3	84.3	84.6	84.3
2014	87.1	85.6	87.0	85.8	84.7	84.6	84.6	83.4	83.9	84.1	85.5	86.1
2015	87.7	86.9	86.9	87.3	87.6	86.2	84.8	84.5	84.3	85.7	86.1	87.3
2016	85.2	87.5	87.0	85.5	86.5	86.1	85.3	83.6	84.0	84.0	84.1	86.5
2017	88.8	87.8	87.9	86.7	86.2	87.4	86.5	84.8	87.0	86.4	88.0	87.2
2018	88.2	87.5	87.9	86.7	86.3	86.9	85.4	84.2	83.7	86.8	87.2	87.4
2019	87.6	88.0	87.7	86.6	85.7	85.9	86.4	85.3	87.2	88.3	87.0	88.3
2020	87.7	89.1	88.1	88.4	86.4	85.8	86.2	85.2	87.0	82.0	81.8	84.7
2021	86.9	86.2	87.2	86.7	86.5	87.2	85.3	84.1	84.9	84.3	86.4	86.0
2022	85.7	88.2	87.6	86.1	84.9	81.8	82.8	81.2	77.9	79.7	80.7	83.3
2023	85.5	85.2	86.3	83.0	89.4	90.0	87.3	86.3	78.6	78.6	82.7	84.8

Figura 54. Datos de humedad relativa (%) de la estación Aucayacu

AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA - ANA
Análisis de Datos y Recursos Estadísticos del Agua - ANDREA

Estación		Tulumayo										
Variable		Humedad relativa promedio Mes (%)										
WGS 84 Geográficas		Latitud: -9.100278 / Longitud: -75.900278 / Altitud(msnm): 612										
Ámbito Político		Dpto: Huánuco / Prov: Leoncio Prado / Dist.: Pueblo Nuevo										
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
2011	85.3	83.9	83.0	79.9	81.6	81.5	82.1	79.9	81.0	83.1	80.8	83.3
2012	81.6	84.0	81.3	81.0	79.6	80.3	80.5	80.6	80.7	80.3	79.8	82.6
2013	80.3	83.8	81.3	80.3	81.9	81.7	81.0	83.5	79.8	81.7	82.0	81.7
2014	84.4	83.0	84.3	83.2	82.1	82.0	82.0	80.8	81.3	81.5	82.9	83.5
2015	85.0	84.2	84.2	84.6	84.9	83.5	82.2	81.9	81.7	83.1	83.5	84.6
2016	82.6	84.8	84.3	82.9	83.8	83.5	82.7	81.0	81.4	81.4	81.5	83.8
2017	86.1	85.1	85.2	84.0	83.6	84.7	83.8	82.2	84.3	83.7	85.2	84.5
2018	83.6	84.5	84.5	83.3	83.5	83.7	79.8	80.1	78.5	82.5	84.9	83.4
2019	83.6	85.5	86.8	88.5	87.0	85.5	84.3	79.8	81.6	81.8	81.9	84.7
2020	83.7	86.1	82.2	83.4	83.5	83.0	81.7	79.9	82.7	80.2	80.9	83.3
2021	82.2	81.2	83.6	85.2	83.2	83.3	80.3	80.4	80.0	80.8	84.0	83.3
2022	82.5	86.8	85.5	84.3	85.5	84.8	83.8	82.7	80.6	81.0	79.5	82.0
2023	84.4	85.2	85.3	84.1	85.5	81.4	78.4	76.6	79.9	84.1	84.5	86.1

Figura 55. Datos de humedad relativa (%) de la estación Tulumayo.

AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA - ANA
Análisis de Datos y Recursos Estadísticos del Agua - ANDREA

Estación		Tocache										
Variable		Humedad relativa promedio Mes (%)										
WGS 84 Geográficas		Latitud: -8.18475 / Longitud: -76.50789 / Altitud(msnm): 500										
Ámbito Político		Dpto: San Martín / Prov: Tocache / Dist.: Tocache										
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
2011	85.3	83.9	83.0	79.9	81.6	81.5	82.1	79.9	81.0	83.1	80.8	83.2
2012	81.6	84.0	81.3	81.0	79.6	80.3	80.5	80.6	80.7	80.3	79.8	82.6
2013	80.2	83.8	81.3	80.3	81.9	81.7	81.0	83.4	79.8	81.7	82.0	81.7
2014	84.4	83.0	84.3	83.1	82.1	82.0	82.0	80.8	81.3	81.5	82.9	83.4
2015	85.0	84.2	84.2	84.6	84.9	83.5	82.2	81.9	81.7	83.1	83.4	84.6
2016	82.6	84.8	84.3	82.9	83.8	83.4	82.7	81.0	81.4	81.4	81.5	83.8
2017	86.1	85.1	85.2	84.0	83.6	84.7	83.8	82.2	84.3	83.7	85.2	84.5
2018	84.5	84.6	84.8	83.7	83.5	84.0	81.3	80.8	79.8	83.3	84.7	84.0
2019	84.3	85.4	85.9	86.2	85.0	84.4	84.0	81.2	76.5	80.8	83.8	85.6
2020	83.4	85.6	85.7	83.3	79.2	82.4	84.7	78.8	82.0	77.6	80.4	87.1
2021	82.7	86.2	89.6	84.6	83.5	83.9	81.5	81.0	81.3	81.9	84.6	83.9
2022	82.5	87.6	87.6	83.9	84.7	82.1	77.7	79.3	77.5	82.1	80.6	84.3
2023	86.2	87.4	87.7	85.6	83.6	81.5	78.3	77.4	79.8	80.6	82.3	84.1

Figura 56. Datos de humedad relativa (%) de la estación Tocache.

8.4. Anexo 4. Estaciones meteorológicas con registros de velocidad del viento (%) completados y tratados.

AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA - ANA
Análisis de Datos y Recursos Estadísticos del Agua - ANDREA

Estación		La Morada										
Variable		Velocidad de viento promedio Mes (m/s)										
WGS 84 Geográficas		Latitud: -8.750278 / Longitud: -76.150278 / Altitud(msnm): 550										
Ámbito Político		Dpto: Huánuco / Prov: Marañón / Dist.: La morada										
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
2011	0.7	0.7	0.7	1.3	1.1	1.2	1.1	1.2	1.2	0.9	1.1	1.0
2012	1.1	0.7	1.1	1.2	1.3	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	1.0
2013	1.2	0.8	1.1	1.3	1.1	1.3	1.3	1.3	1.6	1.3	1.1	1.0
2014	1.0	0.8	0.9	1.2	1.3	1.2	1.1	1.2	1.2	1.3	1.0	1.0
2015	1.0	0.9	1.0	1.1	1.0	1.2	1.2	1.6	1.4	1.2	1.2	1.0
2016	1.3	0.9	1.0	1.1	1.2	1.2	1.3	1.3	1.2	1.1	1.3	1.0
2017	0.8	0.9	0.9	1.1	1.2	1.2	1.1	1.2	1.1	1.2	1.0	1.0
2018	0.8	1.0	1.0	1.1	1.2	1.1	1.1	1.2	1.3	1.0	1.0	1.1
2019	1.0	0.8	0.9	1.1	1.0	1.1	1.1	1.2	1.2	1.1	1.1	1.0
2020	1.0	0.8	0.9	1.1	1.0	1.1	1.1	1.2	1.2	1.1	1.1	1.0
2021	1.0	0.8	0.9	1.1	1.0	1.1	1.1	1.2	1.2	1.1	1.1	1.0
2022	0.9	0.8	0.8	0.7	0.6	0.7	0.6	0.8	0.8	0.8	0.9	1.1
2023	1.1	0.9	0.8	0.8	0.7	0.8	1.0	1.0	1.2	1.3	1.3	0.8

Figura 57. Datos de velocidad del viento (m/s) de la estación La Morada.

AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA - ANA
Análisis de Datos y Recursos Estadísticos del Agua - ANDREA

Estación		Aucayacu										
Variable		Velocidad de viento promedio Mes (m/s)										
WGS 84 Geográficas		Latitud: -8.929869 / Longitud: -76.111708 / Altitud(msnm): 586										
Ámbito Político		Dpto: Huánuco / Prov: Leoncio Prado / Dist.: José Crespo Y Castillo										
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
2011	0.7	0.7	0.7	1.3	1.1	1.2	1.1	1.2	1.2	0.9	1.1	1.0
2012	1.1	0.7	1.1	1.2	1.3	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	1.0
2013	1.2	0.8	1.1	1.3	1.1	1.3	1.3	1.3	1.6	1.2	1.1	0.9
2014	0.9	0.7	0.9	1.1	1.2	1.1	1.1	1.2	1.2	1.3	1.0	1.0
2015	0.9	0.8	1.0	1.0	0.9	1.2	1.2	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
2016	1.3	0.9	1.0	1.1	1.2	1.2	1.3	1.3	1.2	1.1	1.3	0.9
2017	0.7	0.8	0.8	1.0	1.1	1.1	1.1	1.2	1.0	1.1	0.9	0.9
2018	0.8	1.0	1.0	1.1	1.2	1.1	1.1	1.2	1.3	1.0	1.0	1.1
2019	1.0	0.8	0.9	1.1	1.0	1.1	1.1	1.2	1.2	1.1	1.1	1.0
2020	1.0	0.8	0.9	1.1	1.0	1.1	1.1	1.2	1.2	1.1	1.1	1.0
2021	1.0	0.8	0.9	1.1	1.0	1.1	1.1	1.2	1.2	1.1	1.1	1.0
2022	0.9	0.9	0.8	0.7	0.6	0.7	0.7	0.8	0.9	0.9	0.9	1.1
2023	1.1	0.9	0.8	0.8	0.7	0.7	0.9	0.9	1.0	1.2	1.1	0.8

Figura 58. Datos de velocidad del viento (m/s) de la estación Aucayacu.

AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA - ANA
Análisis de Datos y Recursos Estadísticos del Agua - ANDREA

Estación		Tananta										
Variable		Velocidad de viento promedio Mes (m/s)										
WGS 84 Geográficas		Latitud: -8.109722 / Longitud: -76.595556 / Altitud(msnm): 480										
Ámbito Político		Dpto: San Martín / Prov: Tocache / Dist.: Pólvora										
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
2011	1.0	1.0	1.0	1.9	1.6	1.8	1.6	1.8	1.8	1.3	1.6	1.5
2012	1.6	1.0	1.6	1.8	1.9	2.1	2.1	2.1	1.9	1.9	1.9	1.5
2013	1.8	1.2	1.6	1.9	1.6	1.9	1.9	1.9	1.9	2.0	1.8	1.8
2014	1.7	1.8	1.6	2.1	2.0	2.0	1.8	1.8	1.8	2.0	1.5	1.4
2015	1.8	1.8	1.7	1.8	1.7	1.9	1.8	1.6	1.9	1.6	1.9	1.6
2016	1.4	1.5	1.7	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.7	1.9	1.8
2017	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.8	1.9	2.0	2.7	2.4	2.3
2018	1.2	1.5	1.5	1.6	1.8	1.6	1.6	1.8	1.9	1.5	1.5	1.6
2019	1.4	1.3	1.4	1.6	1.5	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
2020	1.4	1.3	1.4	1.6	1.5	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
2021	1.4	1.3	1.4	1.6	1.5	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
2022	0.8	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6	0.8	0.8	0.7	0.9	0.9
2023	0.9	0.8	0.7	0.7	0.6	0.6	0.8	0.8	0.8	1.0	1.1	0.9

Figura 59. Datos de velocidad del viento (m/s) de la estación Tananta.

8.5. Anexo 5. Estaciones meteorológicas con registros de precipitación (mm) completados y tratados.

AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA - ANA
Análisis de Datos y Recursos Estadísticos del Agua - ANDREA

Estación		La Morada										
Variable		Precipitación Acumulada 1 Mes (mm)										
WGS 84 Geográficas		Latitud: -8.750278 / Longitud: -76.150278 / Altitud(msnm): 550										
Ámbito Político		Dpto: Huánuco / Prov: Marañón / Dist.: La morada										
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
2011	460.8	514.9	306.2	221.2	263.2	207.6	210.9	95.3	220.5	259.3	291.1	368.9
2012	386.4	441.1	280.3	356.5	193.9	244.5	77.5	83.7	90.4	317.3	293.4	360.3
2013	326.7	485.8	475.1	348.0	344.6	267.8	146.2	305.4	178.8	557.0	302.9	329.7
2014	462.9	286.7	376.0	187.4	274.4	211.3	178.0	89.1	295.1	346.7	358.2	448.9
2015	529.5	365.4	317.7	188.3	437.1	202.4	251.4	158.6	120.3	248.0	311.0	416.4
2016	473.1	375.0	296.6	210.9	251.5	222.5	61.0	154.9	139.5	208.7	354.3	381.2
2017	479.4	460.7	391.0	297.6	391.1	186.8	109.9	250.9	268.3	401.3	520.4	460.9
2018	335.8	300.6	276.5	247.1	192.6	328.0	47.0	242.1	131.8	580.6	532.7	608.2
2019	514.5	255.8	532.9	208.1	255.3	215.8	235.9	114.7	117.8	350.8	257.9	590.1
2020	488.1	448.9	236.6	225.1	248.1	319.8	247.4	134.8	201.9	139.2	172.8	406.9
2021	415.3	326.2	468.7	259.5	236.3	233.1	122.9	190.7	200.6	279.0	461.8	460.0
2022	441.1	391.5	252.2	136.8	291.0	135.0	98.9	107.0	107.2	267.4	177.9	261.9
2023	304.1	360.1	216.8	200.4	213.5	137.1	125.5	72.6	145.2	189.3	379.9	233.2

Figura 60. Datos de precipitación (mm) de la estación La Morada.

AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA - ANA
Análisis de Datos y Recursos Estadísticos del Agua - ANDREA

Estación		Aucayacu										
Variable		Precipitación Acumulada 1 Mes (mm)										
WGS 84 Geográficas		Latitud: -8.929869 / Longitud: -76.111708 / Altitud(msnm): 586										
Ámbito Político		Dpto: Huánuco / Prov: Leoncio Prado / Dist.: José Crespo Y Castillo										
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
2011	477.9	520.5	302.8	183.7	240.9	247.0	282.7	84.1	137.6	280.1	243.4	666.9
2012	423.2	487.0	256.5	477.6	164.9	148.5	86.0	86.4	87.8	304.7	344.6	460.1
2013	378.4	530.7	704.7	608.1	510.8	290.3	227.1	192.4	201.3	593.4	411.0	423.9
2014	546.3	364.4	523.8	230.7	267.4	185.7	202.3	87.0	256.7	293.5	484.1	516.8
2015	531.6	323.2	381.4	109.2	355.3	129.3	289.0	125.3	167.1	314.5	458.9	546.8
2016	475.3	375.7	423.8	210.7	261.3	153.3	50.1	137.4	158.3	214.2	394.3	527.8
2017	651.8	665.1	538.3	444.2	368.9	226.4	137.9	303.9	324.8	461.1	613.0	567.0
2018	405.6	437.9	320.0	303.5	266.0	268.1	51.3	224.6	189.5	606.5	603.2	742.9
2019	699.7	424.4	927.8	130.7	255.7	238.6	317.7	115.0	108.3	333.2	233.0	717.5
2020	599.1	567.3	353.1	243.6	278.8	429.8	296.5	160.7	250.3	164.6	196.6	411.8
2021	437.0	356.5	375.0	290.5	291.9	272.5	100.0	245.3	239.5	301.3	414.1	497.9
2022	534.8	538.7	615.0	286.7	176.9	240.7	153.6	167.3	66.2	357.5	126.0	286.7
2023	416.2	539.9	331.9	130.5	314.3	113.3	153.1	65.8	88.3	130.3	491.4	472.0

Figura 61. Datos de precipitación (mm) de la estación Aucayacu.

AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA - ANA
Análisis de Datos y Recursos Estadísticos del Agua - ANDREA

Estación		Tulumayo										
Variable		Precipitación Acumulada 1 Mes (mm)										
WGS 84 Geográficas		Latitud: -9.100278 / Longitud: -75.900278 / Altitud(msnm): 612										
Ámbito Político		Dpto: Huánuco / Prov: Leoncio Prado / Dist.: Pueblo Nuevo										
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
2011	365.8	437.3	257.9	287.3	153.0	211.5	40.2	57.2	80.9	168.4	321.3	272.5
2012	278.5	574.1	445.0	169.5	181.6	129.3	117.6	191.0	123.2	332.2	274.9	214.8
2013	441.2	244.0	359.6	107.3	209.7	104.1	177.2	44.9	273.1	151.2	288.2	386.9
2014	499.4	260.2	326.3	148.3	372.3	157.0	209.1	99.3	52.7	177.9	242.8	383.4
2015	418.6	386.3	240.7	208.9	125.6	108.7	44.2	102.3	68.2	135.3	388.8	338.2
2016	421.8	471.3	399.9	278.3	306.8	107.0	101.1	181.6	222.1	284.6	518.0	430.6
2017	105.0	84.4	186.9	143.1	100.0	150.2	84.1	179.5	68.0	374.7	495.4	309.3
2018	328.3	197.8	461.0	135.7	124.7	144.6	124.2	28.1	51.8	266.6	183.3	581.3
2019	328.3	197.8	461.0	135.7	124.7	144.6	124.2	28.1	51.8	266.6	183.3	581.3
2020	534.8	298.6	79.9	177.0	179.2	137.4	162.6	75.5	117.7	95.1	225.2	329.5
2021	366.1	146.7	311.3	259.6	158.9	166.9	104.6	120.0	103.5	189.9	365.3	280.7
2022	293.9	312.1	163.6	163.6	133.4	153.5	88.0	139.6	165.5	243.6	132.1	275.2
2023	234.1	306.9	207.8	87.1	160.2	71.6	158.1	45.6	119.6	110.7	328.8	390.2

Figura 62. Datos de precipitación (mm) de la estación Tulumayo.

AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA - ANA
Análisis de Datos y Recursos Estadísticos del Agua - ANDREA

Estación	Tocache
Variable	Precipitación Acumulada 1 Mes (mm)
WGS 84 Geográficas	Latitud: -8.18475 / Longitud: -76.50789 / Altitud(msnm): 500
Ámbito Político	Dpto: San Martín / Prov: Tocache / Dist.: Tocache

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
2011	354.8	155.2	151.9	241.5	231.9	123.2	93.2	48.7	116.7	139.8	160.1	265.7
2012	311.4	239.7	269.9	261.9	64	99	62.7	131.3	202	136.6	178	211.8
2013	372.9	239.3	288.3	183.3	92	122.5	92.6	239.1	144.2	234.2	340	216.2
2014	309.4	313.2	238.6	179.2	228.2	125.5	95.2	248	202.6	153.1	191.8	148.4
2015	290.6	308.3	323.1	144.1	171.3	37.4	22.5	144.2	21.3	141	182	199
2016	293.9	166.4	176.5	199	209.4	22.6	41.6	94.9	43.4	347.4	228.8	244.6
2017	249.9	259.1	236.6	167.3	177.7	84.2	61.2	143.5	141.4	191.1	293.8	266.6
2018	202.5	195.2	208.0	142.2	122.8	135.2	48.2	111.5	25.5	342.5	191.9	107.4
2019	164	100.7	71.8	69.7	122.1	29.3	127.4	54.2	28.5	176.7	109.7	131.3
2020	55.5	63.5	111.9	123.2	130.1	126.7	93.5	66.5	27.1	53.9	88.1	214.6
2021	100.1	208.6	226.2	141.6	104.9	114.2	66.5	89.4	89.8	115.8	398.3	458.7
2022	87.7	257.6	245.7	149.3	118.7	52.2	64.1	59.3	84.3	222.4	104.6	148.3
2023	155.3	70.7	235.5	146	155.5	101.2	56.0	37.8	135.7	86.4	298.9	278.6

Figura 63. Datos de precipitación (mm) de la estación Tocache.

AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA - ANA
Análisis de Datos y Recursos Estadísticos del Agua - ANDREA

Estación	Tananta
Variable	Precipitación Acumulada 1 Mes (mm)
WGS 84 Geográficas	Latitud: -8.109722 / Longitud: -76.595556 / Altitud(msnm): 480
Ámbito Político	Dpto: San Martín / Prov: Tocache / Dist.: Pólvora

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
2011	363	978	186.1	113.9	306.6	151.5	128.4	37.8	45.8	228.2	141.5	418.5
2012	271.1	430.4	115.6	114	71.9	51.8	63.7	60.3	175.8	231.2	198.3	190.4
2013	201.1	331.1	210.2	280.8	123.6	74.7	61.9	161.8	141.9	202.7	331.1	143.3
2014	240.3	278.6	304.6	104.6	203.5	92.1	90.5	65.6	173.4	282.6	328.9	198.6
2015	288.4	165.1	263	144.4	139.1	97.6	78.9	123.3	76.4	137.3	184.1	222.4
2016	337	190	226.4	184	153.6	61.8	37.7	104.5	125.7	370.9	173.8	325
2017	354.9	403.3	285.6	124.5	212.3	40.5	59.9	147.8	177.2	183.6	373.8	314.5
2018	234.7	277.4	201.5	126.1	84.8	141.7	60.6	112.2	50	336.2	337.6	202.7
2019	377.7	238.7	292.6	137.7	144.7	99.6	136.6	46.3	73.3	311.2	342.4	393.4
2020	345.8	261	128.9	149	151.4	86.8	142.1	80.7	163.4	82.1	66.5	382.6
2021	363.7	386.7	300.6	226.8	63.9	105.4	111.7	131.7	147.1	261.3	498.6	343.6
2022	262.9	546.8	331.2	81.3	128.4	77.7	66.2	35.8	81.1	323	219.5	200.4
2023	248.4	311.6	190.3	149.4	184.7	47.3	8.1	76.3	165.2	197.7	169.4	192.8

Figura 64. Datos de precipitación (mm) de la estación Tananta.

AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA - ANA
Análisis de Datos y Recursos Estadísticos del Agua - ANDREA

Estación	Uchiza											
Variable	Precipitación Acumulada 1 Mes (mm)											
WGS 84 Geográficas	Latitud: -8.442 / Longitud: -76.459 / Altitud(msnm): 541											
Ámbito Político	Dpto: San Martín / Prov: Tocache / Dist.: Uchiza											

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
2011	547.12	681.77	456.82	304.58	243.15	220.85	218.79	107.77	257.63	296.95	384.82	426.73
2012	458.93	584.3	418.38	490.88	179.23	259.88	80.26	94.62	105.58	363.24	387.62	415.93
2013	388.31	644.26	708.52	479.19	319.24	284.69	152.05	345.19	208.78	637.33	400.17	380.62
2014	549.7	379.83	561.36	258.09	254.11	224.8	184.58	100.66	344.72	396.81	473.23	518.02
2015	628.75	483.6	473.39	259.23	404.31	215.1	261.1	179.22	140.46	283.92	411.01	480.9
2016	561.87	496.7	443.29	290.38	232.65	236.37	63.57	175.05	163.03	238.7	468.17	440.61
2017	569.48	612.2	584.12	409.74	362.16	180.5	113.81	283.74	313.38	459.48	687.46	531.56
2018	398.39	396.92	412.55	340.31	178.74	348.18	48.69	273.78	154.03	664.38	703.89	698.9
2019	611.17	338.92	796.68	286.62	236.01	229.75	245.08	129.59	137.65	401.53	340.91	681.76
2020	479.5	411.4	238.8	263.0	277.7	270.4	252.2	141.8	196.8	144.4	188.0	517.6
2021	483.4	415.5	482.7	302.2	223.9	243.7	141.9	190.8	213.7	331.6	676.4	591.8
2022	341.4	622.1	489.6	249.9	182.4	195.4	143.3	164.6	164.0	400.0	253.3	339.9
2023	368.7	432.3	381.1	190.7	296.9	128.1	115.8	85.3	187.8	213.8	487.6	507.0

Figura 65. Datos de precipitación (mm) de la estación Uchiza.

AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA - ANA
Análisis de Datos y Recursos Estadísticos del Agua - ANDREA

Estación	Cachicoto											
Variable	Precipitación Acumulada 1 Mes (mm)											
WGS 84 Geográficas	Latitud: -9.183611 / Longitud: -76.350278 / Altitud(msnm): 768											
Ámbito Político	Dpto: Huánuco / Prov: Huamalíes / Dist.: Monzón											

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
2011	430.28	530.32	376.93	271.12	273.28	193.41	232.86	116.47	265.96	231.3	282.84	325.89
2012	360.79	454.28	345.02	436.95	201.29	227.79	85.6	102.24	109.03	283.08	285.02	318.25
2013	305.06	500.42	584.79	426.58	357.75	249.48	161.37	373.02	215.58	496.87	294.23	291.21
2014	432.26	295.18	462.85	229.72	284.87	196.87	196.47	108.78	355.86	309.26	347.97	396.51
2015	714	311.5	462.1	139.2	453.81	138.5	291.6	77.2	171.9	235.4	285.6	409.1
2016	212.6	378.5	423.3	309.3	117.2	128.4	68.4	189.18	66.8	346.9	396.4	336.71
2017	447.66	474.51	481.24	364.73	405.98	144.4	121.29	306.54	323.59	72.4	279.5	543.5
2018	341.2	379.9	401.3	338.3	428.5	170.4	126.1	300.2	129.8	233.9	517.48	537.22
2019	480.45	263.4	655.99	255.07	265.04	201.07	260.46	140.06	142.03	312.94	250.58	521.3
2020	179.2	333.9	193.9	213.5	225.4	219.5	204.7	115.1	159.7	117.2	66.4	421.8
2021	440.8	288.6	430.8	86.2	190	201.6	85.4	74	170	280	535.6	344.6
2022	38.4	452.2	365.7	192.4	34.7	195.8	136	197.8	139.8	169.7	261.2	248.9
2023	227.9	346.9	326.5	88.6	206	91.6	33.4	58.9	66.4	186.8	392.1	798.7

Figura 66. Datos de precipitación (mm) de la estación Cachicoto.

8.6. Anexo 6. Datos meteorológicos registrados diarios de la estación La morada instalado para este estudio.

Estación La Morada (tesis)							
UBICACIÓN POLÍTICA:				UBICACIÓN GEOGRÁFICA:			
País:		PERU		Este:		362201	
Departamento:		HUANUCO		Norte:		9028911.95	
Provincia:		MARAÑÓN		Altitud:		550 m.s.n.m.	
Distrito:		LA MORADA					
Mayo del 2023							
Fecha	Temperatura °C		Humedad R. (%)		Viento (Km/h)		PP (mm)
	Max	Min	Max	Min	Max	Min	
01/05/2023	29.0	21.0	75.0	69.0	6.5	0.7	0.0
02/05/2023	29.3	22.5	75.0	69.0	5.8	1.5	1.0
03/05/2023	28.8	22.0	79.0	66.0	5.3	0.2	2.5
04/05/2023	28.1	15.7	81.0	40.0	7.8	1.0	0.0
05/05/2023	28.0	16.0	86.0	40.0	8.0	0.5	1.3
06/05/2023	33.0	21.8	78.0	72.7	4.0	3.2	7.3
07/05/2023	34.9	21.7	92.3	68.0	4.1	2.5	15.6
08/05/2023	31.1	21.7	96.0	77.0	0.4	0.2	1.8
09/05/2023	25.6	20.6	96.7	89.0	0.0	0.0	0.0
10/05/2023	36.5	20.4	96.3	95.0	0.0	0.0	0.5
11/05/2023	30.2	20.7	97.0	76.0	1.2	0.8	2.0
12/05/2023	29.2	20.6	97.0	74.3	0.7	0.7	3.0
13/05/2023	35.7	21.3	96.0	79.3	1.6	1.2	5.0
14/05/2023	31.4	20.6	93.3	71.0	6.4	4.7	8.0
15/05/2023	34.3	22.2	81.7	60.7	3.5	3.0	20.0
16/05/2023	33.6	21.7	95.7	92.7	1.6	1.0	0.0
17/05/2023	33.7	21.8	95.3	66.3	2.1	1.4	0.6
18/05/2023	33.9	22.2	95.7	66.0	1.9	1.3	0.4
19/05/2023	29.2	21.9	96.7	81.3	1.2	1.1	0.6
20/05/2023	34.3	22.3	96.0	67.0	0.8	0.6	0.0
21/05/2023	31.3	21.7	96.0	75.7	2.4	1.7	0.0
22/05/2023	32.1	21.9	95.3	75.0	1.6	0.8	40.0
23/05/2023	32.4	21.5	97.3	84.7	0.0	0.0	1.0
24/05/2023	33.8	20.2	96.7	68.7	0.0	0.0	0.0
25/05/2023	33.2	20.9	94.3	66.0	2.4	1.5	0.0
26/05/2023	31.9	21.8	97.0	69.7	0.4	0.4	0.6
27/05/2023	32.1	22.0	92.7	70.3	1.6	1.1	17.0
28/05/2023	32.1	21.0	96.3	71.7	1.2	0.7	2.7
29/05/2023	30.6	21.9	89.3	86.0	1.2	0.5	0.0
30/05/2023	30.6	20.0	98.0	76.3	0.9	0.7	1.0
31/05/2023	27.8	20.2	97.7	83.7	4.4	3.7	1.6

Figura 67. Datos registrados de la estación La Morada del mes de mayo del 2023.

Estación La Morada (tesis)							
UBICACIÓN POLÍTICA:				UBICACIÓN GEOGRÁFICA:			
País:		PERU		Este:		362201	
Departamento:		HUANUCO		Norte:		9028911.95	
Provincia:		MARAÑON		Altitud:		550 m.s.n.m.	
Distrito:		LA MORADA					
Junio del 2023							
Fecha	Temperatura °C		Humedad R. (%)		Viento (Km/h)		PP (mm)
	Max	Min	Max	Min	Max	Min	
01/06/2023	34.1	22.0	81.0	67.7	3.3	3.3	0.8
02/06/2023	31.3	21.2	96.3	68.7	3.3	2.5	1.1
03/06/2023	30.7	20.0	86.7	71.0	1.9	1.3	10.0
04/06/2023	32.3	19.9	95.7	66.3	2.4	1.8	5.0
05/06/2023	33.4	19.8	96.0	73.3	4.3	3.5	30.0
06/06/2023	33.8	20.6	91.0	59.7	1.7	1.3	43.0
07/06/2023	30.7	21.3	96.7	72.3	2.4	2.0	9.6
08/06/2023	33.2	21.5	98.0	66.7	5.9	4.7	0.2
09/06/2023	32.6	21.5	96.0	66.3	1.6	1.6	1.2
10/06/2023	33.3	21.2	97.7	66.3	5.5	3.7	0.4
11/06/2023	32.7	21.5	95.0	69.3	0.7	0.6	0.0
12/06/2023	33.5	22.1	92.3	78.0	2.0	1.9	0.0
13/06/2023	32.8	22.1	96.0	72.3	1.2	0.9	10.2
14/06/2023	29.6	20.9	93.0	85.7	7.6	5.6	0.0
15/06/2023	29.0	20.1	95.7	74.3	4.3	3.1	0.0
16/06/2023	30.1	19.4	93.3	65.7	8.8	6.9	0.0
17/06/2023	30.5	20.2	95.0	68.7	11.2	8.2	0.7
18/06/2023	29.6	19.8	96.7	72.3	5.2	4.0	1.0
19/06/2023	31.7	20.2	96.3	63.0	2.0	1.6	0.6
20/06/2023	32.8	18.6	95.7	62.3	3.7	3.0	0.0
21/06/2023	32.3	20.0	95.0	61.0	4.4	3.7	0.0
22/06/2023	32.9	19.8	95.3	63.0	6.7	5.3	0.0
23/06/2023	33.2	19.7	96.0	65.0	6.0	4.6	0.0
24/06/2023	32.6	20.1	96.0	66.0	7.2	5.8	0.0
25/06/2023	33.2	20.7	94.3	61.3	4.4	3.1	0.0
26/06/2023	33.2	19.8	87.0	63.7	6.4	4.9	0.3
27/06/2023	32.8	20.2	89.3	65.3	7.9	6.1	0.9
28/06/2023	32.8	20.6	88.0	68.3	7.2	4.9	5.1
29/06/2023	32.8	19.8	95.3	65.0	5.2	3.9	0.3
30/06/2023	34.2	20.3	95.0	58.7	3.1	2.5	0.0

Figura 68. Datos registrados de la estación La Morada del mes de junio del 2023.

Estación La Morada (tesis)							
UBICACIÓN POLÍTICA:				UBICACIÓN GEOGRÁFICA:			
País:		PERU		Este:		362201	
Departamento:		HUANUCO		Norte:		9028911.95	
Provincia:		MARAÑON		Altitud:		550 m.s.n.m.	
Distrito:		LA MORADA					
Julio del 2023							
Fecha	Temperatura °C		Humedad R. (%)		Viento (Km/h)		PP (mm)
	Max	Min	Max	Min	Max	Min	
01/07/2023	32.4	19.2	86.3	55.7	8.3	0.0	0.0
02/07/2023	32.2	19.6	95.3	66.3	0.0	0.0	0.0
03/07/2023	32.8	18.6	96.0	64.0	7.1	5.3	0.0
04/07/2023	33.8	20.2	94.3	61.7	8.7	0.0	0.0
05/07/2023	33.4	20.0	98.0	65.0	8.0	0.0	0.0
06/07/2023	32.4	22.3	96.3	68.0	7.2	5.9	1.8
07/07/2023	32.9	21.7	96.7	68.0	4.0	2.6	5.1
08/07/2023	32.7	21.8	95.0	69.3	0.0	0.0	1.5
09/07/2023	32.2	21.4	96.7	65.7	0.0	0.0	0.0
10/07/2023	33.5	20.4	94.3	64.3	7.6	5.6	0.0
11/07/2023	33.8	21.3	93.7	64.3	7.6	5.7	0.0
12/07/2023	33.5	20.0	94.3	63.7	7.6	0.0	0.0
13/07/2023	33.4	19.7	98.0	64.0	0.0	0.0	0.0
14/07/2023	34.6	20.4	98.0	63.7	0.0	0.0	0.0
15/07/2023	32.3	21.1	96.7	68.7	7.9	0.0	1.2
16/07/2023	33.8	20.7	95.0	65.7	7.4	3.8	0.0
17/07/2023	32.2	20.7	95.0	66.3	2.2	1.3	1.2
18/07/2023	33.6	19.7	94.7	63.3	7.2	5.5	0.0
19/07/2023	31.0	20.4	95.0	73.0	7.6	5.8	0.0
20/07/2023	33.8	19.7	91.3	63.3	5.2	3.8	0.0
21/07/2023	33.0	20.0	90.3	76.7	4.8	3.7	0.3
22/07/2023	33.5	20.1	94.0	71.7	6.0	4.8	0.0
23/07/2023	34.0	19.4	93.7	62.0	0.0	0.0	0.0
24/07/2023	34.1	19.3	95.3	42.7	0.0	0.0	0.0
25/07/2023	33.6	20.3	94.3	62.7	7.5	6.1	0.0
26/07/2023	35.0	19.5	94.3	62.3	6.7	5.6	0.0
27/07/2023	31.7	20.6	97.7	71.3	5.6	4.4	56.7
28/07/2023	30.9	20.7	97.0	74.0	6.0	4.8	1.8
29/07/2023	31.7	20.2	95.3	68.0	7.1	5.8	36.0
30/07/2023	33.4	19.9	93.7	71.7	6.4	5.4	0.0
31/07/2023	34.1	20.1	95.7	63.0	8.7	5.1	0.0

Figura 69. Datos registrados de la estación La Morada del mes de julio del 2023.

Estación La Morada (tesis)							
UBICACIÓN POLÍTICA:				UBICACIÓN GEOGRÁFICA:			
País:		PERU		Este:		362201	
Departamento:		HUANUCO		Norte:		9028911.95	
Provincia:		MARAÑON		Altitud:		550 m.s.n.m.	
Distrito:		LA MORADA					
Agosto del 2023							
Fecha	Temperatura °C		Humedad R. (%)		Viento (Km/h)		PP (mm)
	Max	Min	Max	Min	Max	Min	
01/08/2023	33.8	19.7	87.0	59.7	4.8	3.8	0.0
02/08/2023	33.9	19.2	98.0	63.0	8.3	6.5	0.0
03/08/2023	33.8	18.2	93.7	60.7	7.6	5.8	0.0
04/08/2023	34.7	18.6	97.3	63.3	8.0	5.8	0.0
05/08/2023	33.5	18.7	95.3	64.0	6.9	5.6	0.3
06/08/2023	33.8	19.4	97.7	62.0	8.4	5.9	0.0
07/08/2023	33.1	19.6	94.7	64.0	8.5	6.5	0.6
08/08/2023	33.4	19.0	94.7	62.0	7.3	5.3	0.1
09/08/2023	33.5	17.7	92.0	73.0	5.8	4.3	0.3
10/08/2023	33.8	19.7	93.3	63.7	6.4	4.8	0.0
11/08/2023	34.8	20.6	94.0	63.3	6.7	5.3	0.0
12/08/2023	29.8	19.9	97.3	67.3	4.8	3.9	24.5
13/08/2023	26.4	19.8	96.7	83.3	5.3	4.2	15.0
14/08/2023	30.7	20.2	96.3	69.7	4.0	3.1	2.4
15/08/2023	32.0	20.9	95.3	66.7	4.0	3.4	0.0
16/08/2023	33.2	21.1	94.0	64.0	4.3	3.5	0.0
17/08/2023	33.5	20.6	97.3	47.3	4.3	3.3	0.0
18/08/2023	34.6	20.3	94.7	76.0	5.6	4.4	0.0
19/08/2023	33.2	19.2	93.3	66.0	4.8	3.6	0.0
20/08/2023	35.5	19.9	94.7	64.3	5.2	4.2	0.0
21/08/2023	34.6	20.9	81.7	64.0	5.6	4.3	0.0
22/08/2023	33.6	20.3	95.0	68.3	6.7	5.0	0.3
23/08/2023	33.6	20.9	96.3	69.0	9.1	6.2	0.0
24/08/2023	34.8	20.3	93.7	64.3	1.6	1.0	0.0
25/08/2023	33.8	20.8	95.0	62.7	4.0	3.1	0.0
26/08/2023	33.8	20.3	85.7	66.7	5.6	4.4	0.0
27/08/2023	34.8	21.1	95.0	74.0	6.7	4.9	0.3
28/08/2023	31.1	19.7	97.3	76.7	11.9	8.6	0.9
29/08/2023	33.3	20.7	92.7	74.7	5.3	4.1	0.0
30/08/2023	35.1	19.2	96.0	75.7	1.6	1.1	0.4
31/08/2023	35.7	20.2	93.3	61.7	7.6	5.9	0.0

Figura 70. Datos registrados de la estación La Morada del mes de agosto del 2023.

Estación La Morada (tesis)							
UBICACIÓN POLÍTICA:				UBICACIÓN GEOGRÁFICA:			
País:		PERU		Este:		362201	
Departamento:		HUANUCO		Norte:		9028911.95	
Provincia:		MARAÑON		Altitud:		550 m.s.n.m.	
Distrito:		LA MORADA					
Setiembre del 2023							
Fecha	Temperatura °C		Humedad R. (%)		Viento (Km/h)		PP (mm)
	Max	Min	Max	Min	Max	Min	
01/09/2023	34.6	20.6	97.7	63.3	4.6	3.8	0.0
02/09/2023	35.7	19.3	89.7	60.3	8.8	7.5	0.0
03/09/2023	34.4	19.8	94.3	57.3	0.0	0.0	4.5
04/09/2023	29.6	20.9	95.7	80.7	6.7	5.3	1.3
05/09/2023	30.6	20.5	96.0	85.7	4.5	3.4	0.3
06/09/2023	33.3	19.3	97.7	68.3	0.0	0.0	1.2
07/09/2023	33.1	20.4	92.7	65.7	6.4	4.5	0.3
08/09/2023	35.8	19.7	98.0	62.7	8.5	5.6	4.0
09/09/2023	35.5	19.1	93.3	59.3	6.4	5.0	6.0
10/09/2023	35.3	19.8	92.7	61.0	8.5	4.2	0.0
11/09/2023	35.0	21.7	89.3	61.7	8.8	5.8	0.0
12/09/2023	35.8	19.3	91.3	60.3	5.9	4.2	0.0
13/09/2023	35.9	21.0	91.0	59.3	6.0	3.2	0.0
14/09/2023	28.0	20.7	95.7	86.0	4.3	2.8	6.0
15/09/2023	31.8	19.7	87.3	69.3	7.9	5.0	0.0
16/09/2023	33.4	20.8	95.7	71.0	8.3	5.4	1.2
17/09/2023	34.6	19.1	95.0	67.7	7.2	4.5	0.0
18/09/2023	35.2	20.6	93.0	60.0	0.0	0.0	23.1
19/09/2023	34.4	19.8	97.0	62.7	13.9	9.0	34.2
20/09/2023	33.3	19.3	96.0	68.7	4.8	3.6	0.3
21/09/2023	34.0	20.5	92.0	62.7	0.0	0.0	0.0
22/09/2023	35.6	20.2	97.3	63.3	0.0	0.0	1.2
23/09/2023	35.3	21.4	96.7	79.7	5.9	3.8	0.9
24/09/2023	34.7	19.5	95.0	63.0	6.5	5.3	0.9
25/09/2023	35.8	21.2	95.7	64.0	6.4	5.3	0.9
26/09/2023	35.7	21.8	93.0	63.0	9.5	7.2	0.0
27/09/2023	36.3	22.7	94.3	63.7	7.9	6.0	0.0
28/09/2023	38.3	20.2	89.3	57.0	9.9	7.3	16.5
29/09/2023	31.1	22.1	96.7	76.3	0.0	0.0	3.9
30/09/2023	27.4	21.8	98.0	85.7	0.0	0.0	0.9

Figura 71. Datos registrados de la estación La Morada del mes de setiembre del 2023.

Estación La Morada (tesis)							
<u>UBICACIÓN POLÍTICA:</u>				<u>UBICACIÓN GEOGRÁFICA:</u>			
País:		PERU		Este:		362201	
Departamento:		HUANUCO		Norte:		9028911.95	
Provincia:		MARAÑON		Altitud:		550 m.s.n.m.	
Distrito:		LA MORADA					
Octubre del 2023							
Fecha	Temperatura °C		Humedad R. (%)		Viento (Km/h)		PP (mm)
	Max	Min	Max	Min	Max	Min	
01/10/2023	33.4	21.7	96.0	67.7	4.7	4.0	0.3
02/10/2023	36.1	21.1	95.3	61.0	9.5	6.7	0.6
03/10/2023	36.1	22.4	94.7	65.7	8.3	6.1	0.3
04/10/2023	36.1	22.5	93.7	68.3	6.7	5.2	1.5
05/10/2023	34.6	20.7	95.7	70.7	5.6	4.8	0.0
06/10/2023	36.2	21.2	95.7	68.0	7.6	5.4	0.6
07/10/2023	37.6	22.4	95.7	59.7	12.6	8.4	1.2
08/10/2023	33.0	22.5	97.0	81.7	8.0	6.0	16.2
09/10/2023	31.3	22.4	97.7	77.0	6.7	5.2	16.5
10/10/2023	32.5	21.3	97.3	73.7	7.2	5.6	0.9
11/10/2023	35.0	20.8	94.3	63.7	8.8	6.2	0.3
12/10/2023	32.5	20.7	97.0	70.7	6.7	5.5	10.3
13/10/2023	34.6	20.6	98.0	65.0	7.1	4.7	0.0
14/10/2023	29.5	22.1	94.7	79.7	4.8	3.3	2.1
15/10/2023	31.5	20.8	94.3	72.3	9.6	7.2	2.1
16/10/2023	34.7	20.6	82.3	67.3	7.9	6.7	0.9
17/10/2023	34.3	21.1	95.3	67.3	6.0	4.7	11.1
18/10/2023	33.8	21.2	97.0	77.7	5.9	4.6	0.3
19/10/2023	36.8	20.2	96.0	62.3	6.7	4.7	32.5
20/10/2023	33.7	20.8	94.7	70.0	13.5	8.6	0.0
21/10/2023	35.9	22.1	95.0	62.3	6.4	4.8	1.5
22/10/2023	35.5	20.6	95.0	61.3	5.3	3.7	0.0
23/10/2023	36.9	21.6	94.0	76.3	1.1	0.6	0.0
24/10/2023	35.4	20.3	97.0	69.0	6.5	5.3	0.0
25/10/2023	36.9	19.8	96.3	62.3	8.3	7.1	0.0
26/10/2023	35.1	20.7	96.3	70.3	8.3	6.0	1.2
27/10/2023	29.5	22.1	97.3	80.7	7.1	4.9	1.2
28/10/2023	30.6	22.0	98.0	86.7	7.2	5.1	2.4
29/10/2023	30.5	22.3	96.3	78.7	2.8	2.2	2.4
30/10/2023	35.6	21.7	96.7	67.0	9.5	7.4	3.6
31/10/2023	28.1	22.7	96.3	84.7	7.1	5.7	1.2

Figura 72. Datos registrados de la estación La Morada del mes de octubre del 2023.

Estación La Morada (tesis)							
<u>UBICACIÓN POLÍTICA:</u>				<u>UBICACIÓN GEOGRÁFICA:</u>			
País:		PERU		Este:		362201	
Departamento:		HUANUCO		Norte:		9028911.95	
Provincia:		MARAÑON		Altitud:		550 m.s.n.m.	
Distrito:		LA MORADA					
Noviembre del 2023							
Fecha	Temperatura °C		Humedad R. (%)		Viento (Km/h)		PP (mm)
	Max	Min	Max	Min	Max	Min	
01/11/2023	27.6	21.2	97.7	82.0	6.0	4.1	3.3
02/11/2023	25.5	20.7	98.7	91.7	6.0	4.4	9.9
03/11/2023	33.1	20.9	98.0	73.3	6.7	5.3	0.3
04/11/2023	32.1	22.7	95.7	75.7	6.4	5.0	2.1
05/11/2023	31.1	22.3	97.3	77.7	7.2	6.0	3.3
06/11/2023	36.6	21.3	96.7	59.3	7.2	5.4	3.6
07/11/2023	37.3	20.9	97.7	62.0	0.0	0.0	2.4
08/11/2023	36.7	21.2	95.3	63.7	7.6	5.9	0.3
09/11/2023	30.6	21.0	97.3	77.0	6.7	5.2	4.5
10/11/2023	36.4	21.7	96.3	64.3	9.8	6.6	27.0
11/11/2023	34.4	22.2	96.7	69.3	8.8	7.2	33.3
12/11/2023	35.1	21.8	97.7	65.7	9.1	6.8	1.5
13/11/2023	35.4	22.3	95.7	64.3	7.6	6.0	5.4
14/11/2023	33.1	21.7	97.7	75.3	8.8	6.3	12.6
15/11/2023	34.1	22.6	98.3	69.7	0.0	0.0	28.0
16/11/2023	34.1	22.9	97.0	78.3	7.6	5.7	3.3
17/11/2023	35.3	22.5	95.3	65.7	8.3	6.7	0.0
18/11/2023	37.7	23.0	94.3	59.7	10.8	7.8	0.0
19/11/2023	37.1	22.4	94.7	63.7	8.8	6.3	0.0
20/11/2023	33.3	21.6	95.3	77.3	8.8	5.8	3.0
21/11/2023	30.3	21.3	97.3	78.3	7.2	5.4	14.4
22/11/2023	35.6	22.3	91.7	70.0	8.4	6.1	2.1
23/11/2023	25.5	20.9	98.0	89.0	5.6	4.2	7.2
24/11/2023	32.1	20.6	97.0	77.3	3.2	2.8	0.3
25/11/2023	35.3	21.7	98.3	70.7	6.0	4.3	1.8
26/11/2023	22.9	20.7	98.7	96.0	6.0	4.3	14.4
27/11/2023	31.7	19.7	98.0	73.0	6.4	4.7	0.3
28/11/2023	34.2	20.8	98.0	81.3	4.4	3.3	0.0
29/11/2023	35.5	21.9	97.7	69.0	8.8	5.6	21.3
30/11/2023	34.4	22.3	96.0	68.7	8.7	6.0	0.4

Figura 73. Datos registrados de la estación La Morada del mes de noviembre del 2023.

8.7. Anexo 7. Caudales aforados por el caudalímetro en el río Azul

Prof. (m)	Longitud (m)	% Prof.	Prof. de medición	Velocidad (m/s)	Área (m2)	Caudal (m3/s)
0	0	0	0	0	0	0
0.75	4	60%	0.49	0.22	3	0.66
0.75	4	60%	0.62	0.28	3	0.84
0.42	4	60%	0.14	0.19	1.68	0.32
0.41	3	60%	0.25	0.95	1.23	1.17
0	0	0%	0	0	0	0
Caudal aforado (m3/s)						2.99

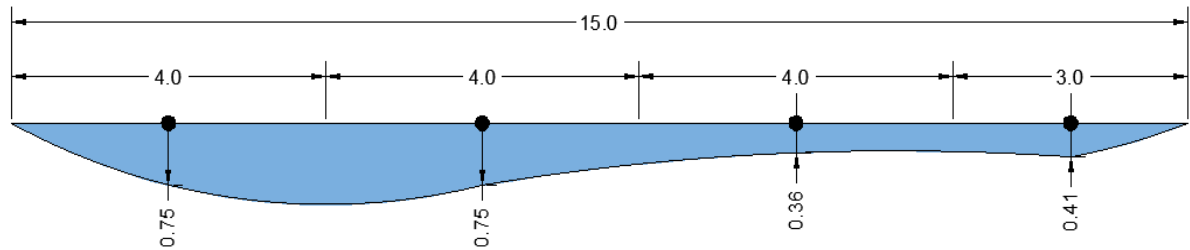


Figura 74. Caudal aforado de la fecha 15/05/2023.

Prof. (m)	Longitud (m)	% Prof.	Prof. de medición (m)	Velocidad (m/s)	Área (m2)	Caudal (m3/s)
0	0	0	0	0	0	0
0.72	4.0	60%	0.49	0.20	2.88	0.58
0.81	4.0	60%	0.62	0.30	3.24	0.97
0.36	4.0	60%	0.14	0.15	1.44	0.22
0.41	3.0	60%	0.25	1.00	1.23	1.23
0	0	0%	0	0	0	0
Caudal aforado (m3/s)						3.00

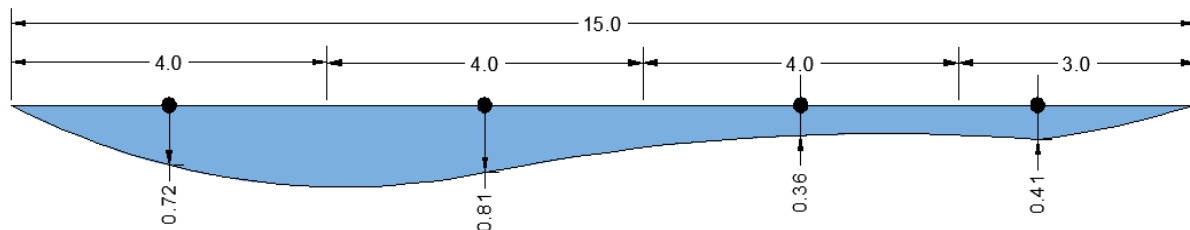


Figura 75. Caudal aforado de la fecha 30/05/2023.

Prof. (m)	Longitud (m)	% Prof.	Prof. de medición (m)	Velocidad (m/s)	Área (m ²)	Caudal (m ³ /s)
0	0	0	0	0	0	0
0.61	4.0	60%	0.39	0.20	2.44	0.49
0.69	4.0	60%	0.31	0.25	2.76	0.69
0.28	4.0	60%	0.07	0.13	1.12	0.15
0.63	2.4	60%	0.20	0.80	1.51	1.21
0	0	0%	0.00	0.00	0.00	0.00
Caudal aforado (m³/s)						2.53

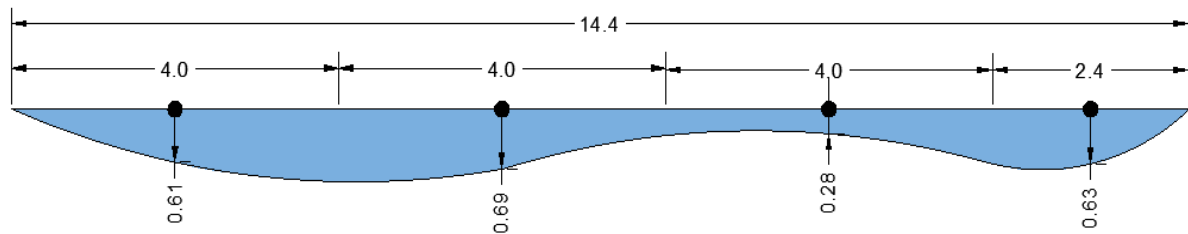


Figura 76. Caudal aforado de la fecha 17/06/2023.

Prof. (m)	Longitud (m)	% Prof.	Prof. de medición (m)	Velocidad (m/s)	Área (m ²)	Caudal (m ³ /s)
0	0	0	0	0	0	0
0.82	4.0	60%	0.35	0.28	3.28	0.92
0.85	4.0	60%	0.31	0.28	3.4	0.92
0.37	4.0	60%	0.12	0.15	1.48	0.22
0.65	2.6	60%	0.24	0.68	1.664	1.13
0.63	0	0%	0	0	0	0
Caudal aforado (m³/s)						3.22

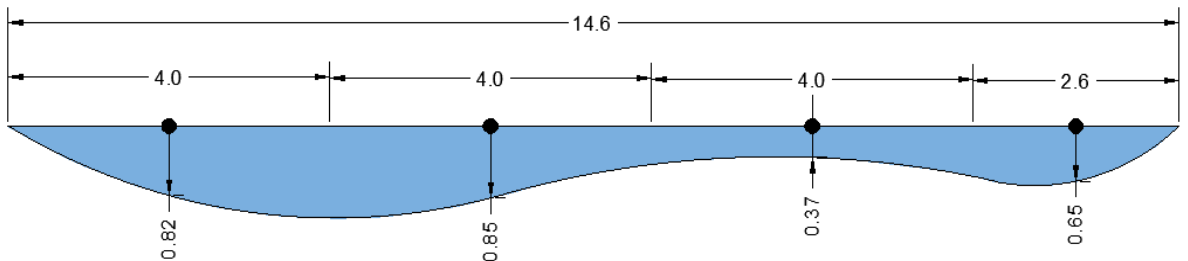


Figura 77. Caudal aforado de la fecha 30/06/2023.

Prof. (m)	Longitud (m)	% Prof.	Prof. de medición (m)	Velocidad (m/s)	Área (m ²)	Caudal (m ³ /s)
0	0	0	0	0	0	0
0.45	4.00	60%	0.15	0.33	1.8	0.59
0.25	4.00	60%	0.15	0.52	1	0.52
0.29	4.00	60%	0.11	0.45	1.16	0.52
0.24	3.85	60%	0.09	0.46	0.924	0.43
0	0	0%	0	0	0	0
Caudal aforado (m³/s)						2.06

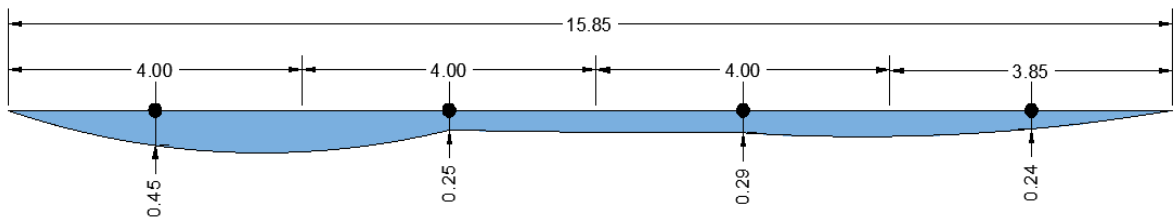


Figura 78. Caudal aforado de la fecha 15/07/2023.

Prof. (m)	Longitud (m)	% Prof.	Prof. de medición (m)	Velocidad (m/s)	Área (m ²)	Caudal (m ³ /s)
0	0	0	0	0	0	0
0.43	4	60%	0.13	0.45	1.72	0.77
0.34	4	60%	0.11	0.50	1.36	0.68
0.32	4	60%	0.12	0.40	1.28	0.51
0.3	3.97	60%	0.10	0.52	1.19	0.62
0	0	0%	0	0	0	0
Caudal aforado (m³/s)						2.59

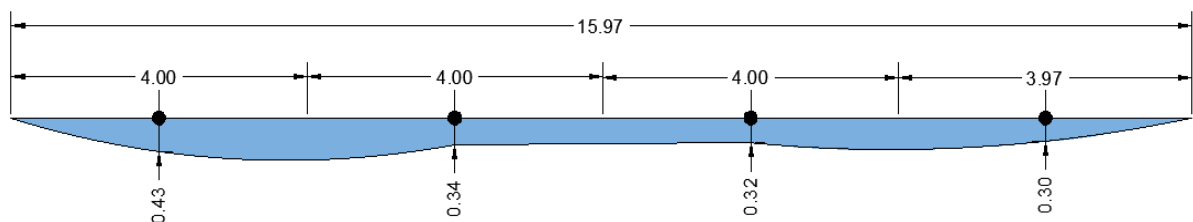


Figura 79. Caudal aforado de la fecha 29/07/2023.

Prof. (m)	Longitud (m)	% Prof.	Prof. de medición (m)	Velocidad (m/s)	Área (m ²)	Caudal (m ³ /s)
0	0	0	0	0	0	0
0.47	4	60%	0.18	0.32	1.88	0.60
0.40	4	60%	0.16	0.53	1.60	0.85
0.33	4	60%	0.10	0.40	1.32	0.53
0.32	4.1	60%	0.06	0.36	1.31	0.47
0	0	0%	0	0	0	0
Caudal aforado (m³/s)						2.45

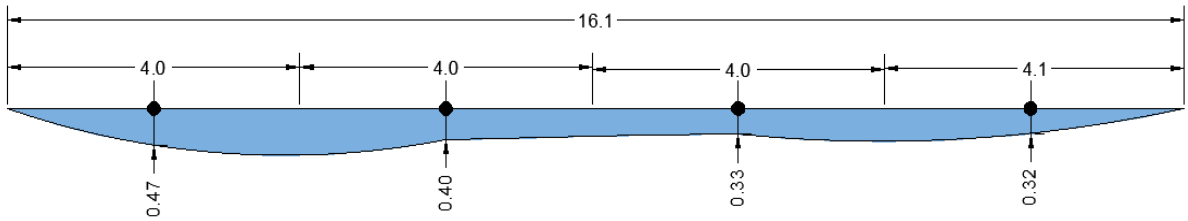


Figura 80. Caudal aforado de la fecha 12/08/2023.

Prof (m)	Longitud (m)	% Prof.	Prof. de medición (m)	Velocidad (m/s)	Área (m ²)	Caudal (m ³ /s)
0	0	0	0	0	0	0
0.37	4.0	60%	0.14	0.41	1.48	0.61
0.30	4.0	60%	0.09	0.56	1.20	0.67
0.26	4.0	60%	0.08	0.37	1.04	0.38
0.23	3.6	60%	0.07	0.40	0.83	0.33
0	0	0%	0	0	0	0
Caudal aforado (m³/s)						1.99

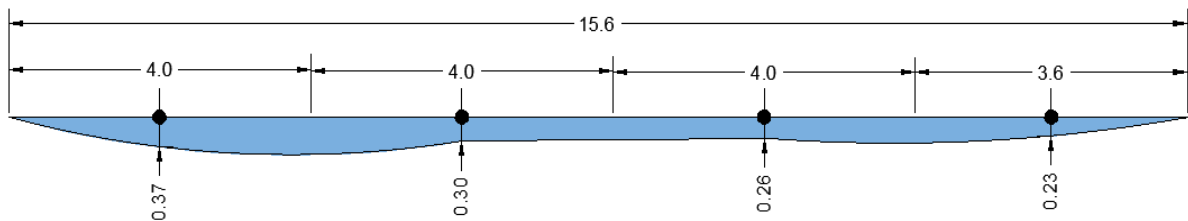


Figura 81. Caudal aforado de la fecha 26/08/2023.

Prof. (m)	Longitud (m)	% Prof.	Prof. de medición (m)	Velocidad (m/s)	Área (m ²)	Caudal (m ³ /s)
0	0	0	0	0	0	0
0.34	4.0	60%	0.12	0.4	1.36	0.544
0.19	4.0	60%	0.08	0.54	0.76	0.4104
0.2	4.0	60%	0.07	0.45	0.8	0.36
0.2	2.6	60%	0.09	0.41	0.51	0.2091
0	0	0%	0	0	0	0
Caudal aforado (m³/s)						1.52

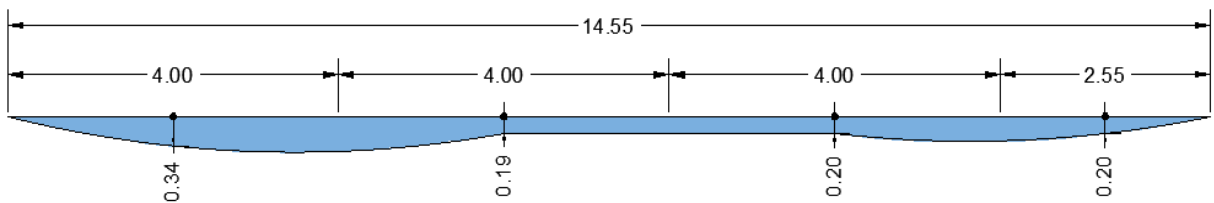


Figura 82. Caudal aforado de la fecha 10/09/2023.

Prof. (m)	Longitud (m)	% Prof.	Prof. de medición	Velocidad (m/s)	Área (m ²)	Caudal (m ³ /s)
0	0	0	0	0	0	0
0.37	4.00	60%	0.13	0.50	1.48	0.74
0.22	4.00	60%	0.07	0.47	0.88	0.41
0.22	4.00	60%	0.07	0.34	0.88	0.30
0.21	3.50	60%	0.07	0.20	0.74	0.15
0	0	0%	0	0	0	0
Caudal aforado (m³/s)						1.60

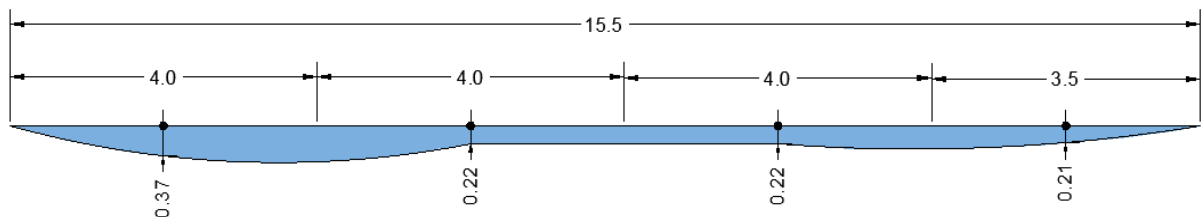


Figura 83. Caudal aforado de la fecha 24/09/2023.

Prof. (m)	Longitud (m)	% Prof.	Prof. de medición	Velocidad (m/s)	Área (m ²)	Caudal (m ³ /s)
0	0	0	0	0	0	0
0.31	4.00	60%	0.10	0.22	1.24	0.27
0.36	4.00	60%	0.10	0.85	1.44	1.22
0.24	4.00	60%	0.10	0.33	0.96	0.32
0.29	2.54	60%	0.11	0.50	0.74	0.37
0	0	0%	0	0	0	0
Caudal aforado (m³/s)						2.18

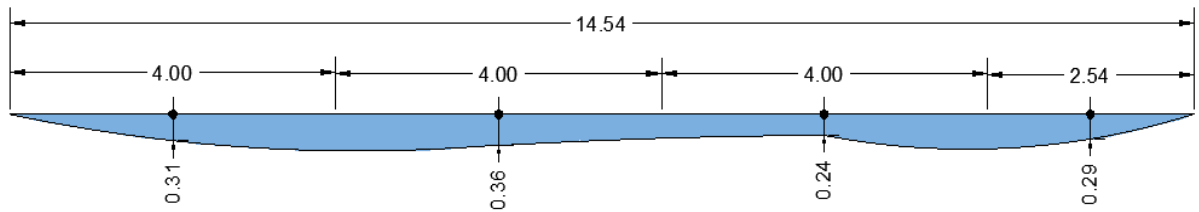


Figura 84. Caudal aforado de la fecha 08/10/2023.

Prof. (m)	Longitud (m)	% Prof.	Prof. de medición (m)	Velocidad (m/s)	Área (m ²)	Caudal (m ³ /s)
0	0	0	0	0	0	0
0.28	4	60%	0.09	0.50	1.12	0.56
0.33	4	60%	0.10	0.85	1.32	1.12
0.19	4	60%	0.05	0.64	0.76	0.49
0.22	2.1	60%	0.07	0.44	0.46	0.20
0	0	0%	0	0	0	0
Caudal aforado (m³/s)						2.37

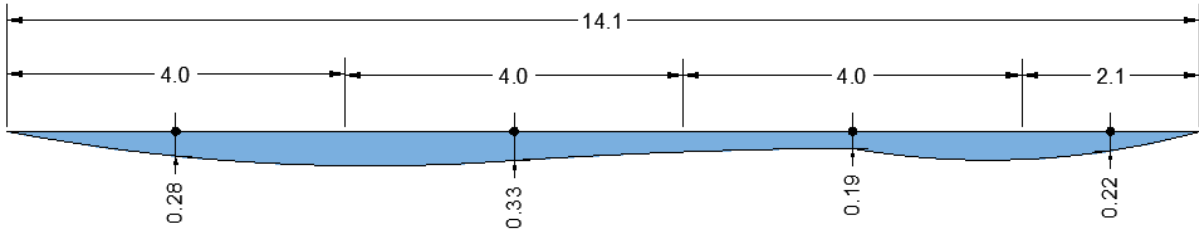


Figura 85. Caudal aforado de la fecha 28/10/2023.

Prof. (m)	Longitud (m)	% Prof.	Prof. de medición (m)	Velocidad (m/s)	Área (m2)	Caudal (m3/s)
0	0	0	0	0	0	0
0.30	4.0	60%	0.09	0.78	1.20	0.94
0.36	4.0	60%	0.10	0.86	1.44	1.24
0.25	4.0	60%	0.07	0.80	1.00	0.80
0.25	2.3	60%	0.05	0.68	0.58	0.39
0	0	0%	0	0	0	0
Caudal aforado (m3/s)						3.37

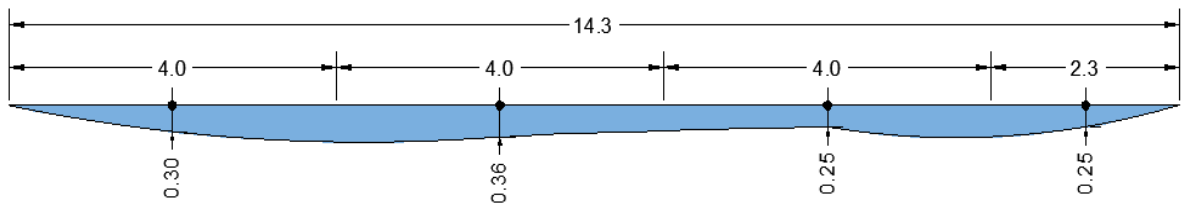


Figura 86. Caudal aforado de la fecha 11/11/2023.

Prof. (m)	Longitud (m)	% Prof.	Prof. de medición	Velocidad (m/s)	Área (m2)	Caudal (m3/s)
0	0	0	0	0	0	0
0.34	4.00	60%	0.11	0.80	1.36	1.09
0.40	4.00	60%	0.13	0.82	1.60	1.31
0.31	4.00	60%	0.10	0.90	1.24	1.12
0.30	2.50	60%	0.10	0.70	0.75	0.53
0	0	0%	0	0	0	0
Caudal aforado (m3/s)						4.04

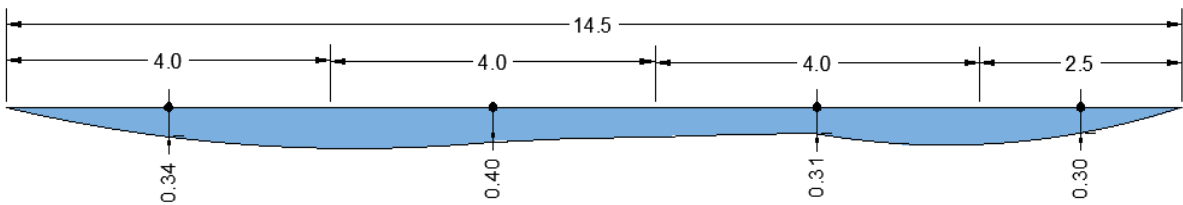


Figura 87. Caudal aforado de la fecha 28/11/2023.

Prof. (m)	Longitud (m)	% Prof.	Prof. de medición (m)	Velocidad (m/s)	Área (m2)	Caudal (m3/s)
0	0	0	0	0	0	0
0.4	4.0	60%	0.13	0.68	1.60	1.09
0.51	4.0	60%	0.15	0.90	2.04	1.84
0.4	4.0	60%	0.10	1.02	1.60	1.63
0.35	2.8	60%	0.10	0.73	0.98	0.72
0	0	0%	0	0	0	0
Caudal aforado (m3/s)						5.27

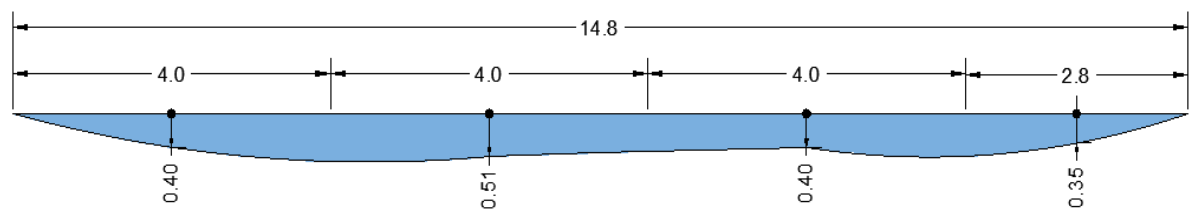


Figura 88. Caudal aforado de la fecha 03/12/2023.

Prof. (m)	Longitud (m)	% Prof.	Prof. de medición	Velocidad (m/s)	Área (m2)	Caudal (m3/s)
0	0.0	0	0	0	0	0
0.41	4.0	60%	0.125	0.80	1.64	1.30
0.55	4.0	60%	0.15	0.90	2.20	1.97
0.44	4.0	60%	0.1	1.04	1.76	1.83
0.4	3.0	60%	0.1	0.75	1.20	0.90
0	0.0	0%	0	0	0	0
Caudal aforado (m3/s)						6.00

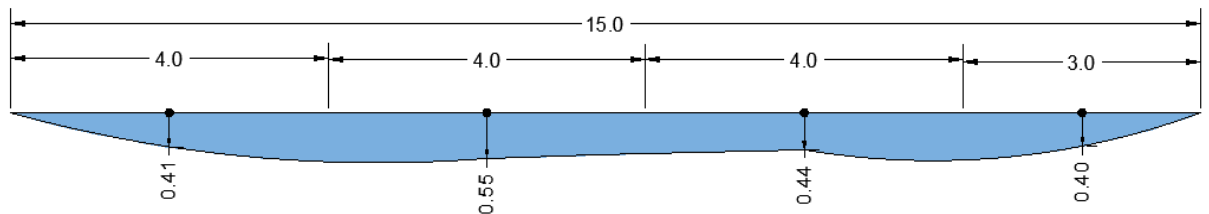


Figura 89. Caudal aforado de la fecha 28/12/2023.

8.8. Anexo 8. Caudales aforados por el caudalímetro en el canal de riego La Florida

CANAL DE RIEGO				
FECHA	VELOCIDAD MÁXIMA (m/s)	VELOCIDAD MEDIA (m/s)	Q (m3/h)	Q (m3/s)
15/05/2023	3,244	2,920	2981	0.83
30/05/2023	2,803	2,523	1639	0.46
17/06/2023	2,627	2,364	2465	0.68
30/06/2023	2,856	2,564	2656	0.74
15/07/2023	2,204	1,984	3737	1.04
22/07/2023	2,802	2,522	2446	0.68
12/08/2023	3,269	2,942	2486	0.69
26/08/2023	2,845	2,560	2389	0.66
10/09/2023	2,883	2,595	2504	0.70
24/09/2023	3,149	2,834	3213	0.89
08/10/2023	2,855	2,569	2972	0.83
28/10/2023	2,867	2,580	3018	0.84
11/11/2023	2,925	2579	2758	0.77
27/11/2023	3,041	2713	2974	0.83
03/12/2023	2,936	2,595	3197	0.89
28/12/2023	3,202	2781	2989	0.83

Figura 90. Caudales aforados por fechas en el canal de riego.



Figura 91. Imágenes del caudalímetro con resultados de los caudales aforados en el canal de riego.

8.9. Anexo 9. Análisis de doble masa de la temperatura máxima mensual (C°).

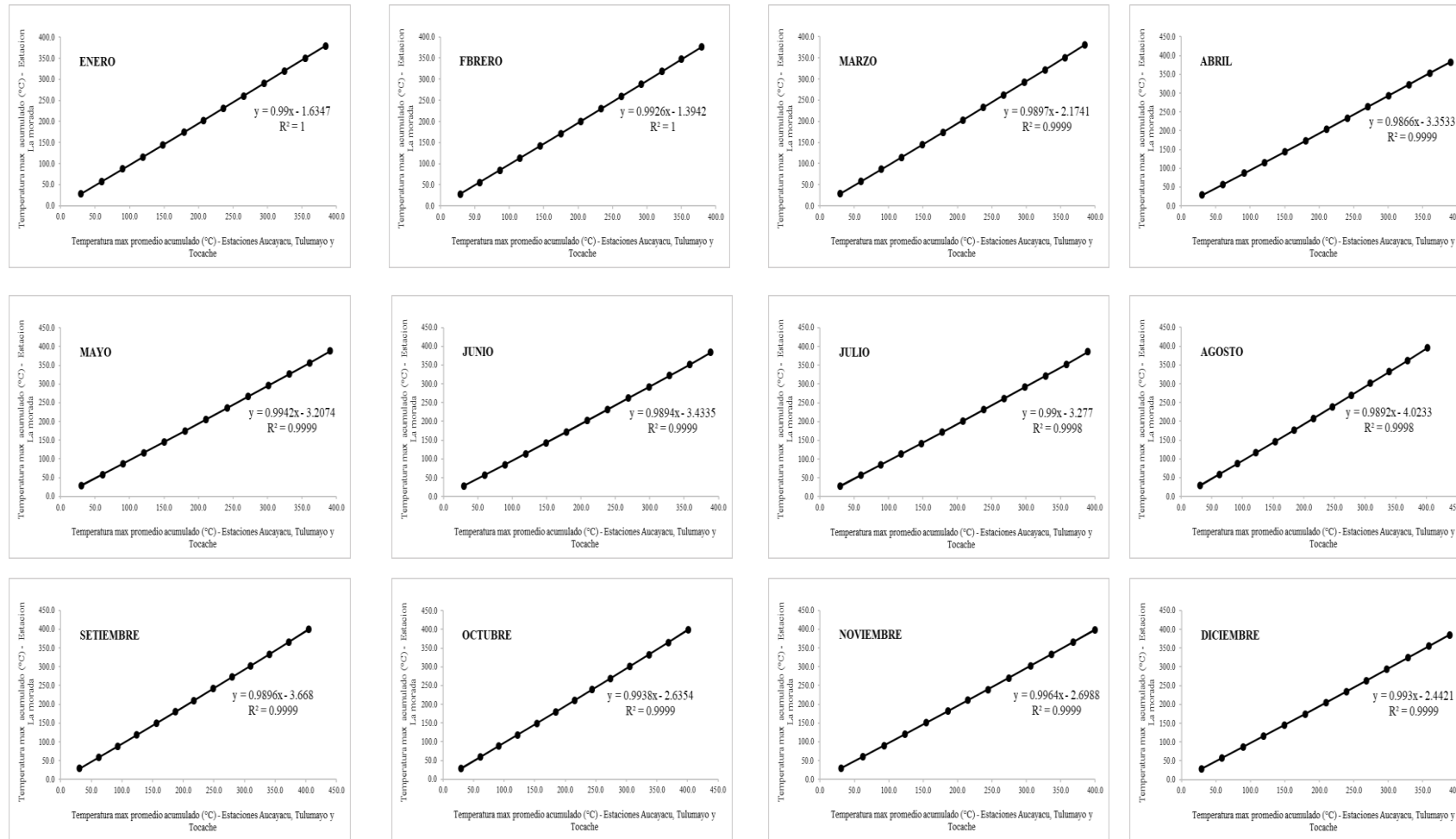


Figura 92. Análisis de doble masa de datos de temperatura máxima de las estaciones Aucayacu, Tulumayo y Tocache vs la estación La Morada (2011-2023)

8.10. Anexo 10. Análisis de doble masa de la temperatura mínima mensual (C°).

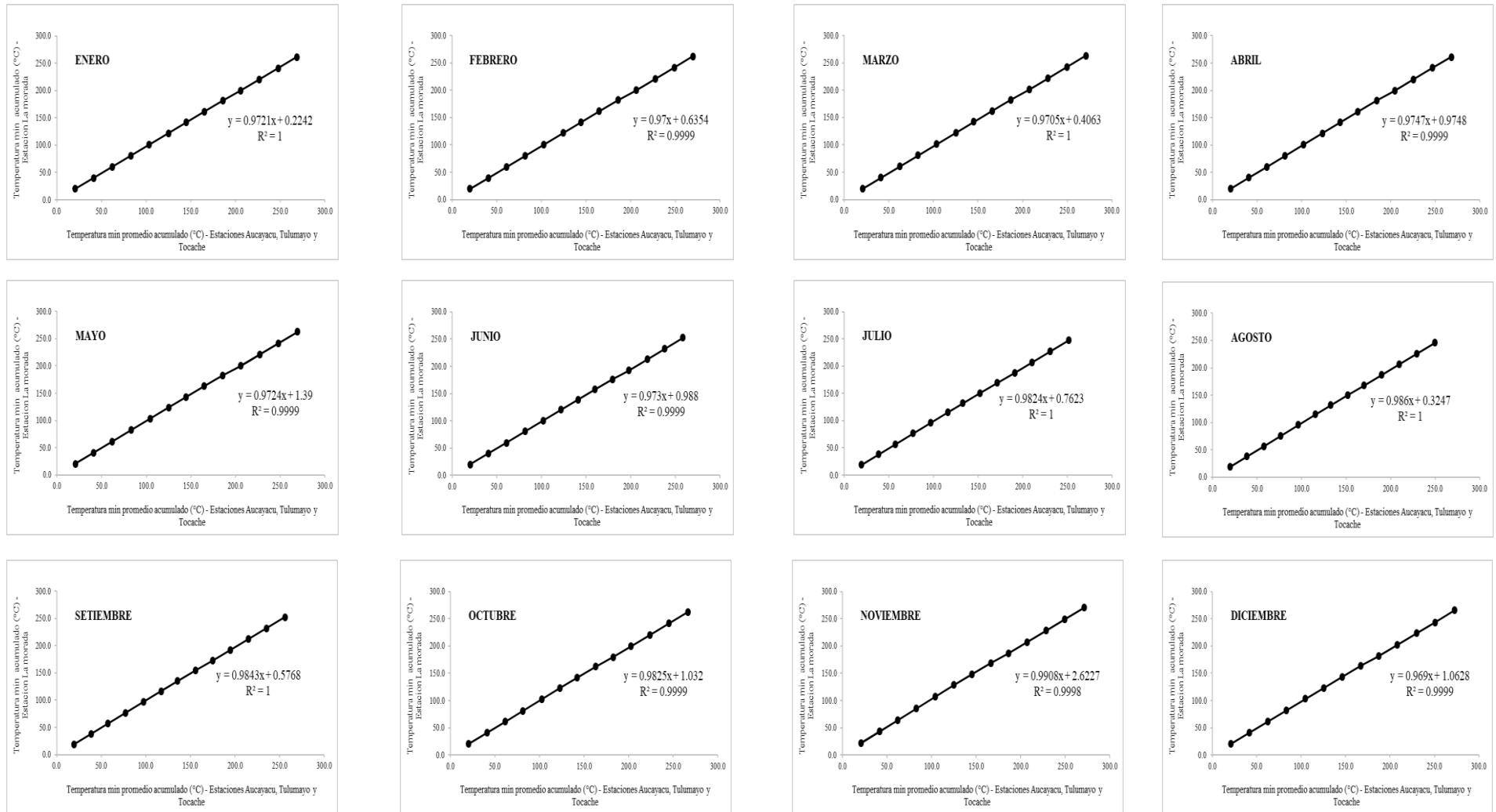


Figura 93. Análisis de doble masa de datos de temperatura mínima de las estaciones Aucayacu, Tulumayo y Tocache vs la estación La Morada (2011-2023).

8.11. Anexo 11. Análisis de doble masa de la humedad relativa mensual (%).

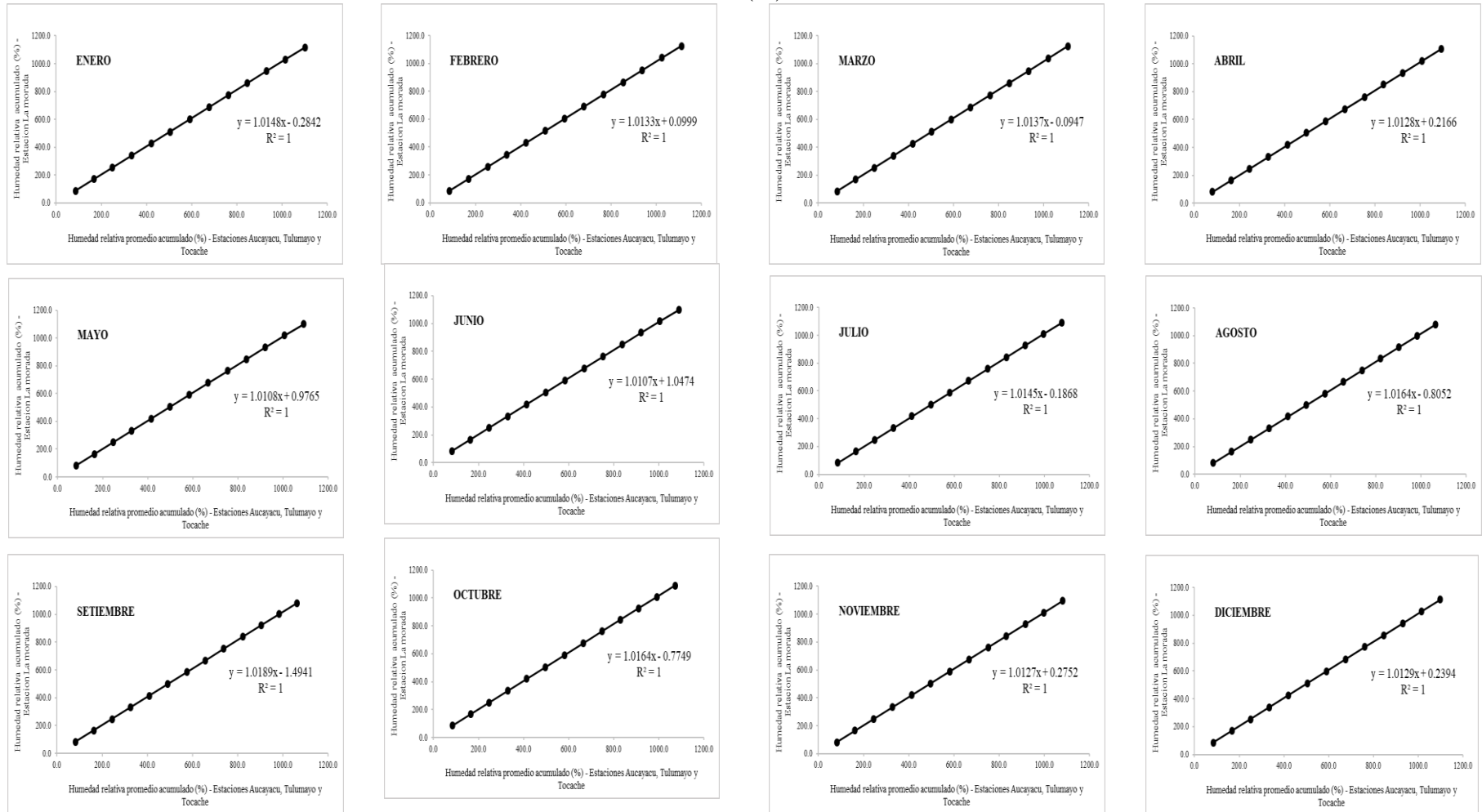


Figura 94. Análisis de doble masa de datos de humedad relativa de las estaciones Aucayacu, Tulumayo y Tocache vs la estación La Morada (2011-2023).

8.12. Anexo 12. Análisis de doble masa de la velocidad del viento mensual (m/s).

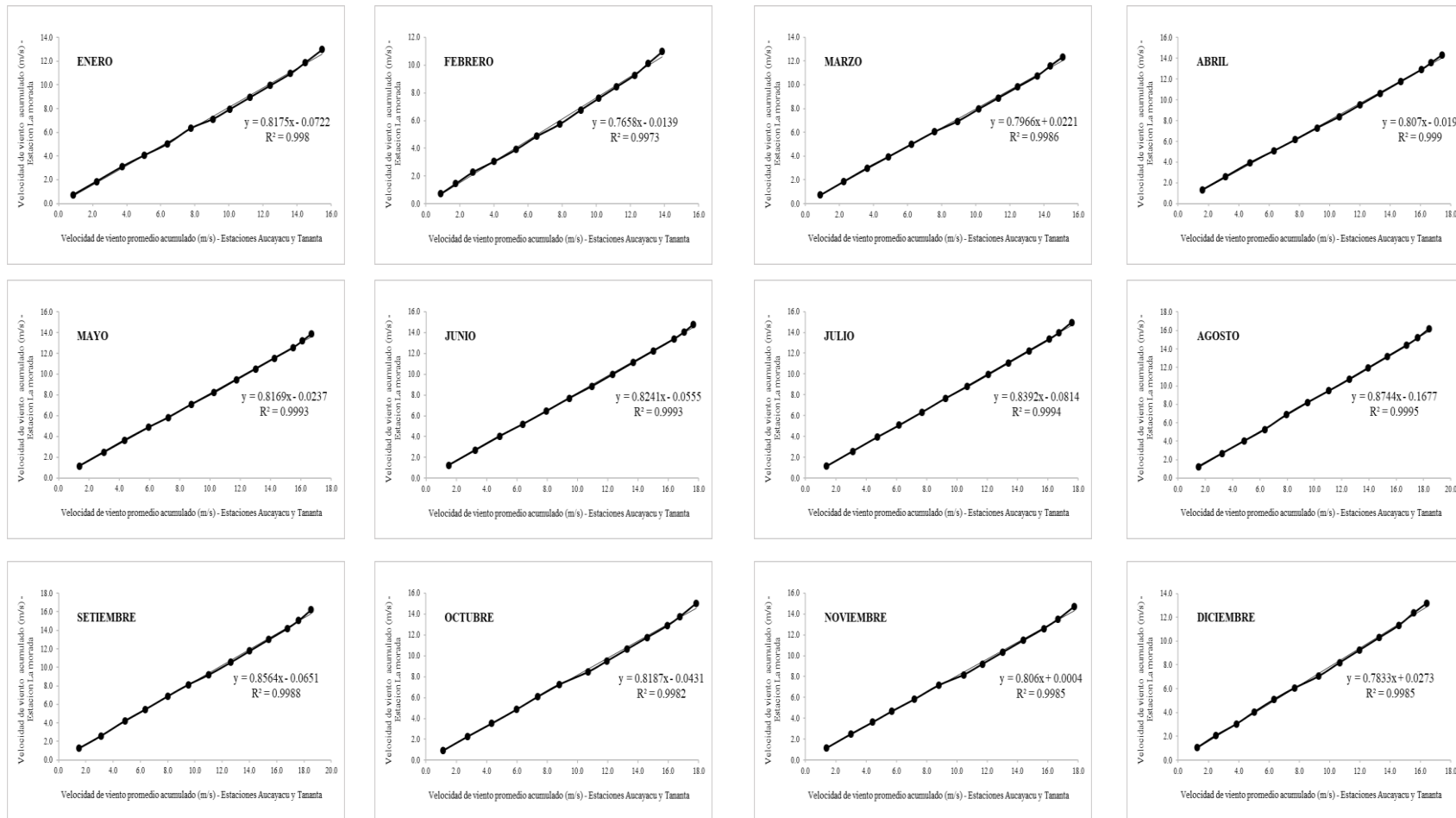


Figura 95. Análisis de doble masa de los datos de velocidad del viento de las estaciones Aucayacu y Tananta vs la estación La Morada (2011-2023).

8.13. Anexo 13. Análisis de doble masa de la precipitación acumulado mensual (mm).

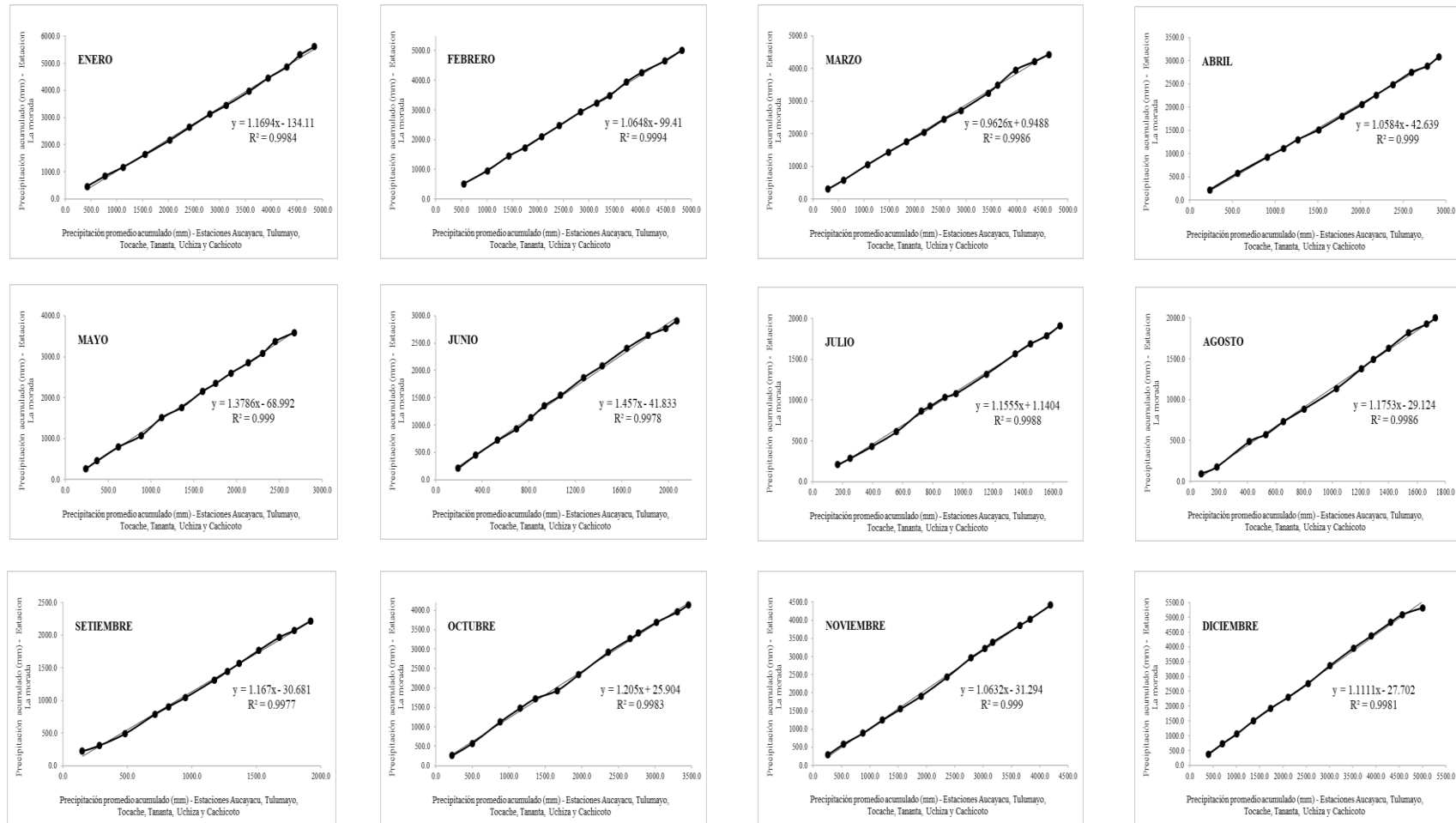


Figura 96. Análisis de doble masa de los datos de precipitación de las estaciones Aucayacu, Tulumayo, Tocache, Tananta, Uchiza y Cachicoto vs la estación La Morada (2011-2023).

8.14. Anexo 14. Análisis de tendencia por la prueba de Mann-Kendall del comportamiento de las variables meteorológicas de la estación La morada de una serie mensual multianual en el software Trend.

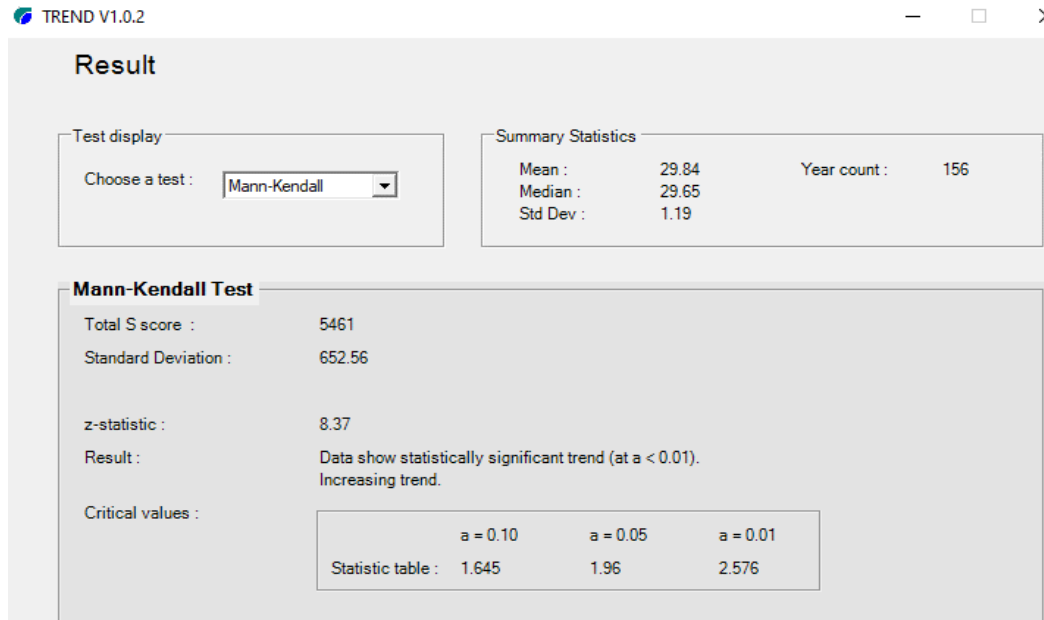


Figura 97. Resultado del Z estadístico para determinar la tendencia de la temperatura máxima de la estación La Morada durante el periodo 2011 – 2023.

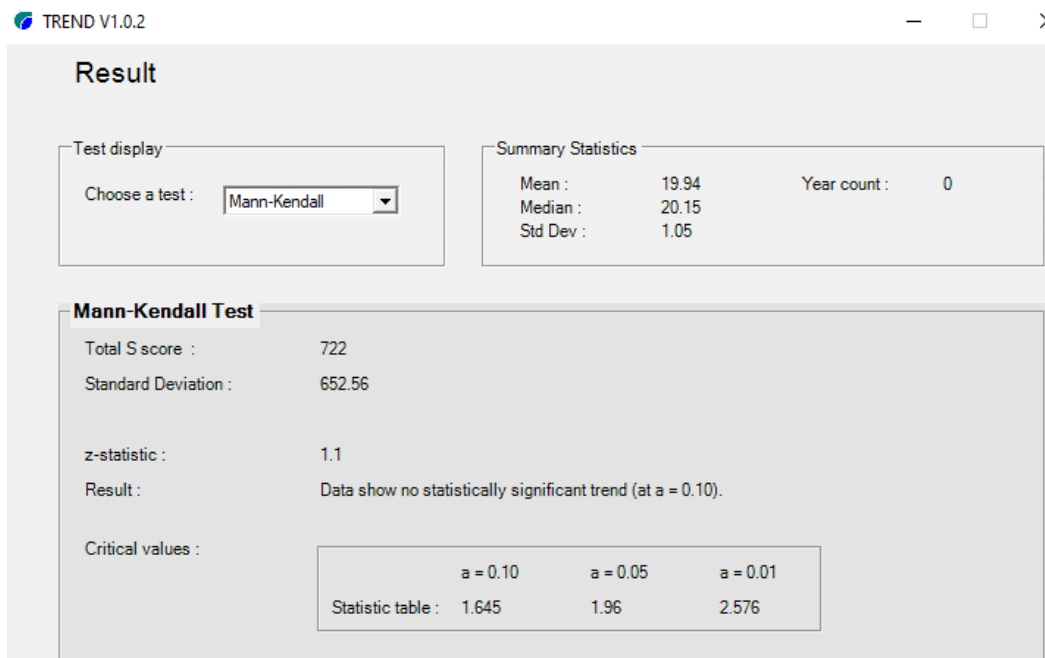


Figura 98. Resultado del Z estadístico para determinar la tendencia de la temperatura mínima de la estación La Morada durante el periodo 2011 – 2023.

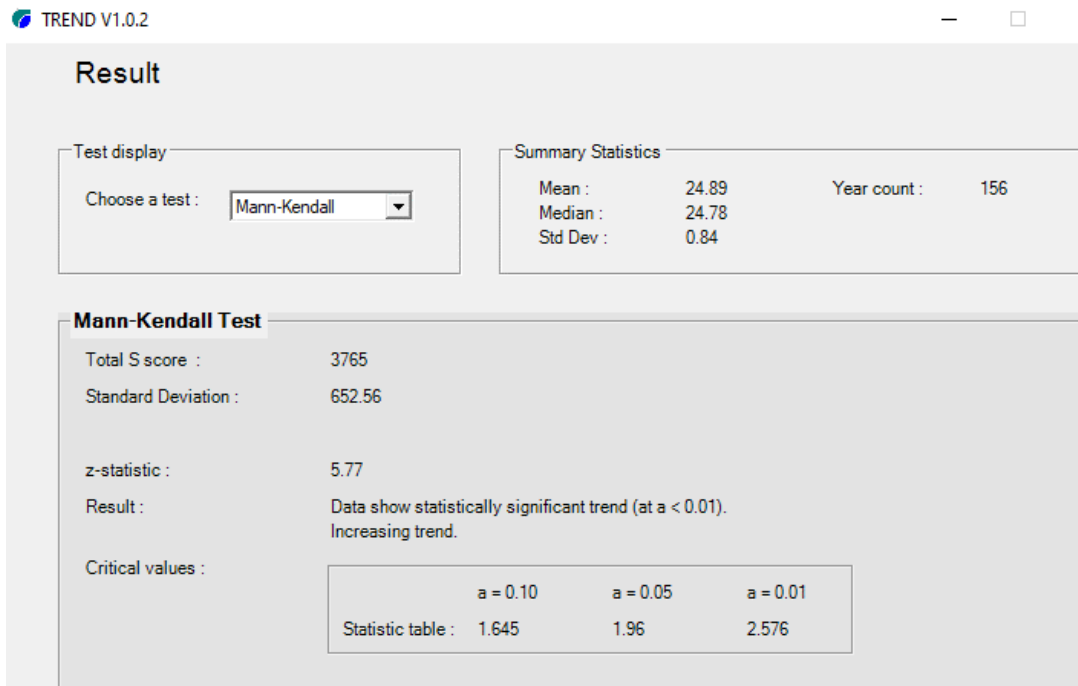


Figura 99. Resultado del Z estadístico para determinar la tendencia de la temperatura media de la estación La Morada durante el periodo 2011 – 2023.

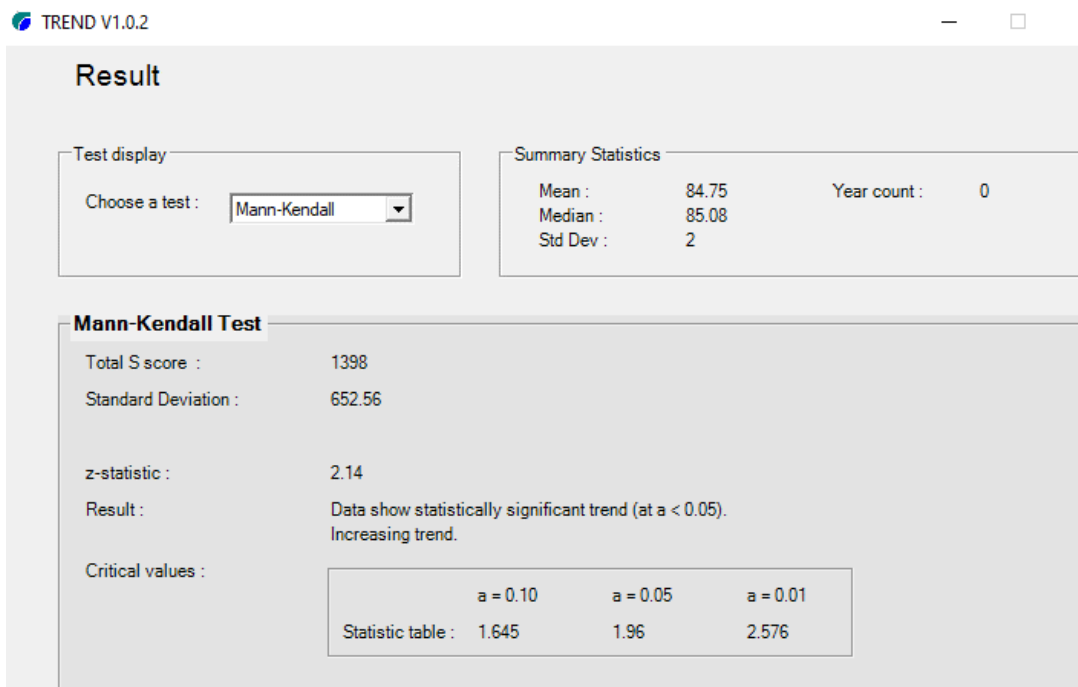


Figura 100. Resultado del Z estadístico para determinar la tendencia de la humedad relativa de la estación La Morada durante el periodo 2011 – 2023.

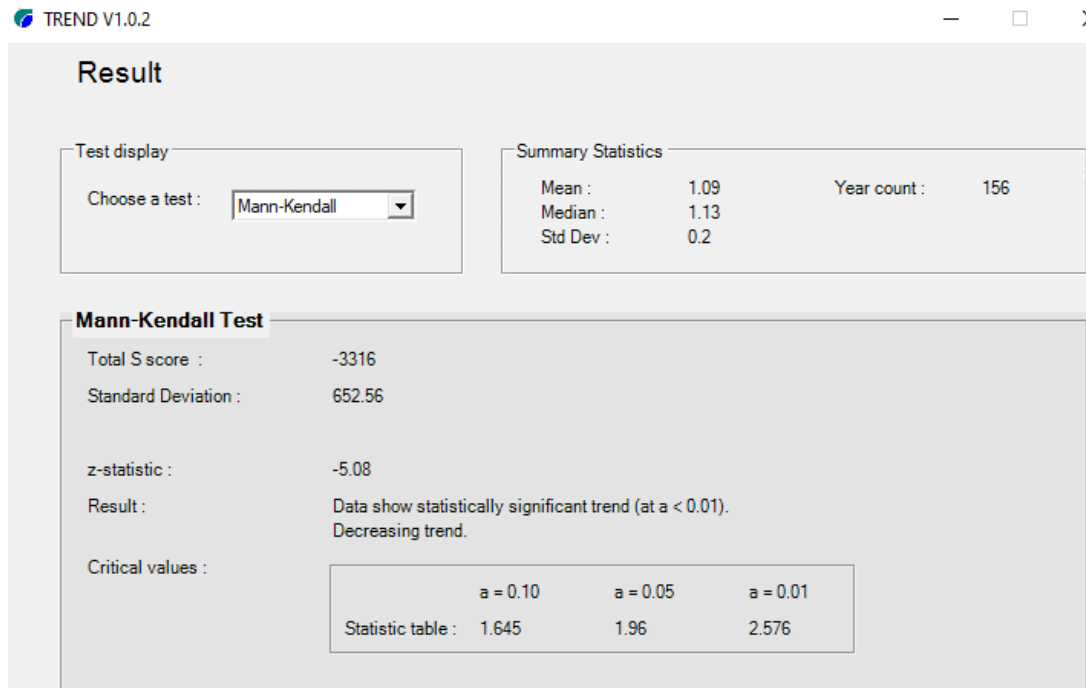


Figura 101. Resultado del Z estadístico para determinar la tendencia de la velocidad del viento de la estación La Morada durante el periodo 2011 – 2023.

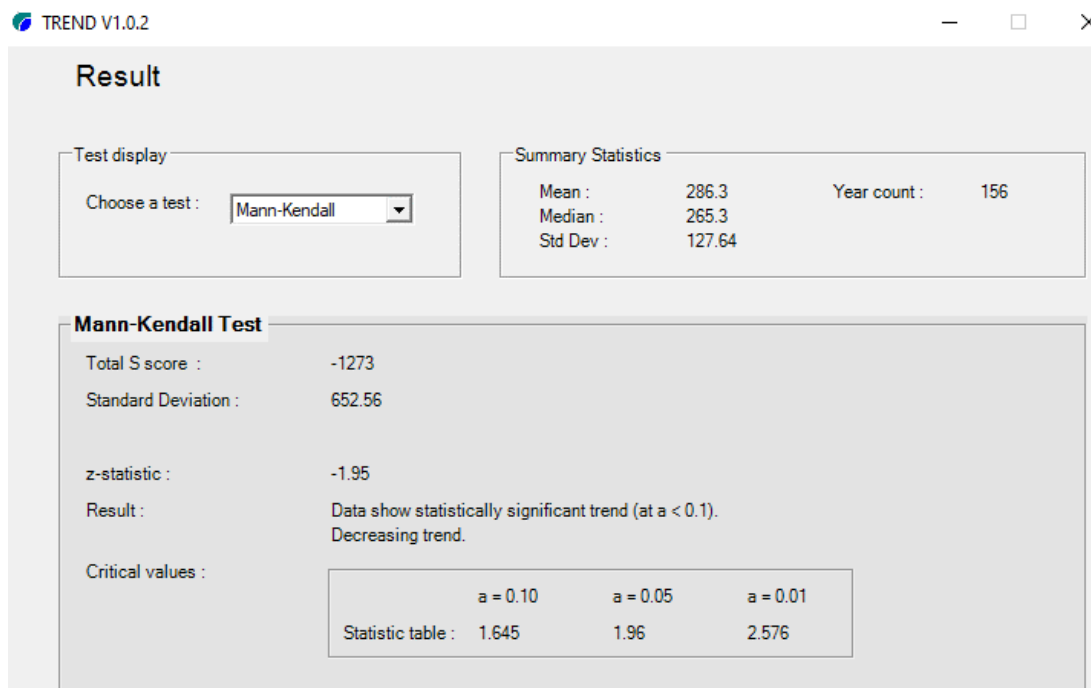


Figura 102. Resultado del Z estadístico para determinar la tendencia de la precipitación de la estación La Morada durante el periodo 2011 – 2023.

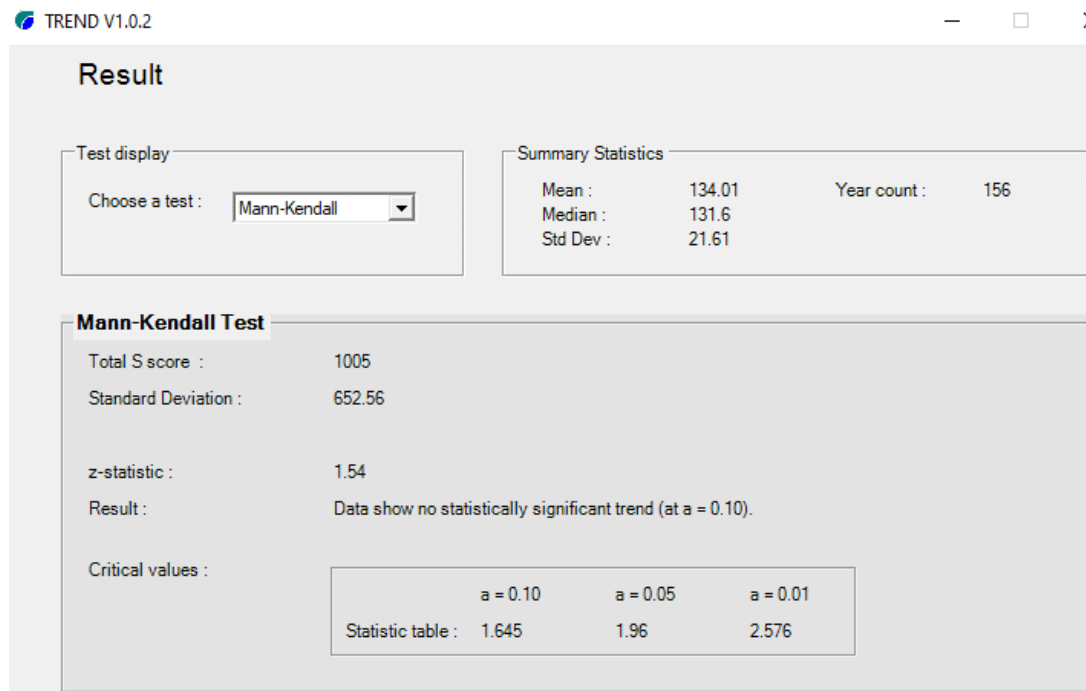


Figura 103. Resultado del Z estadístico para determinar la tendencia de la evapotranspiración de la estación La Morada durante el periodo 2011 – 2023.

8.15. Anexo 15. Análisis de tendencia del comportamiento de las variables meteorológicas en una serie mensual multianual de la estación La morada.

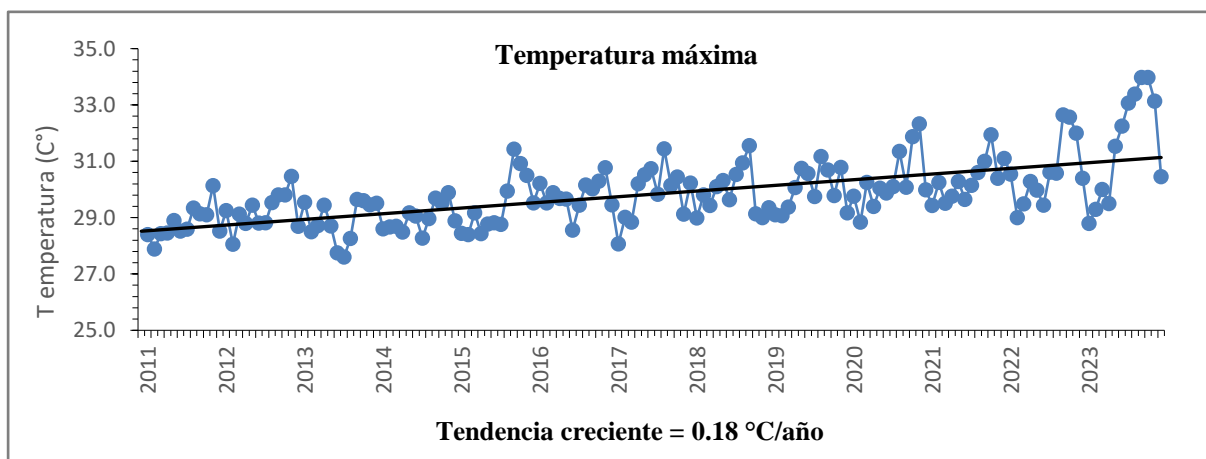


Figura 104. Tendencia de la temperatura máxima, registrada en la estación La Morada durante el periodo 2011 – 2023.

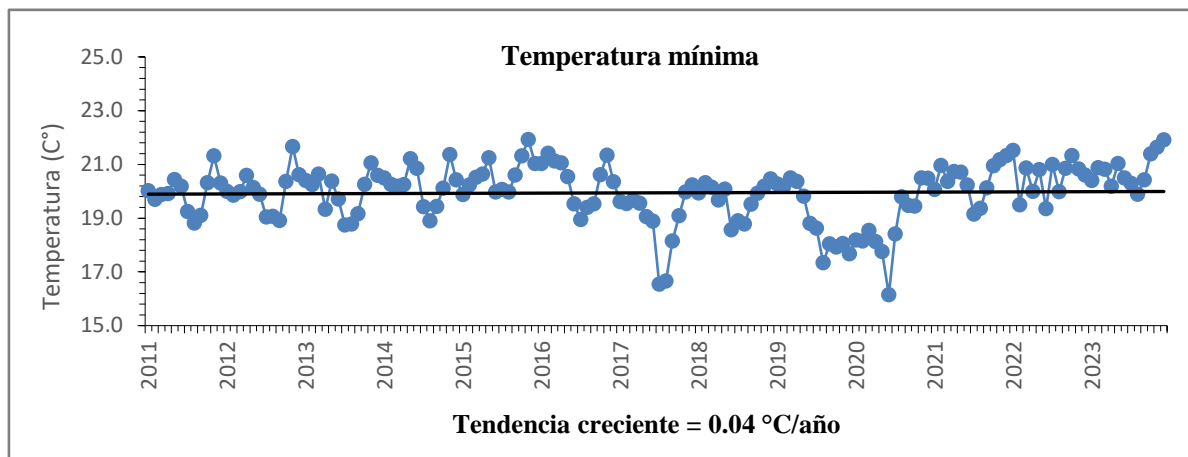


Figura 105. Tendencia de la temperatura mínima, registrada en la estación La Morada durante el periodo 2011 – 2023.

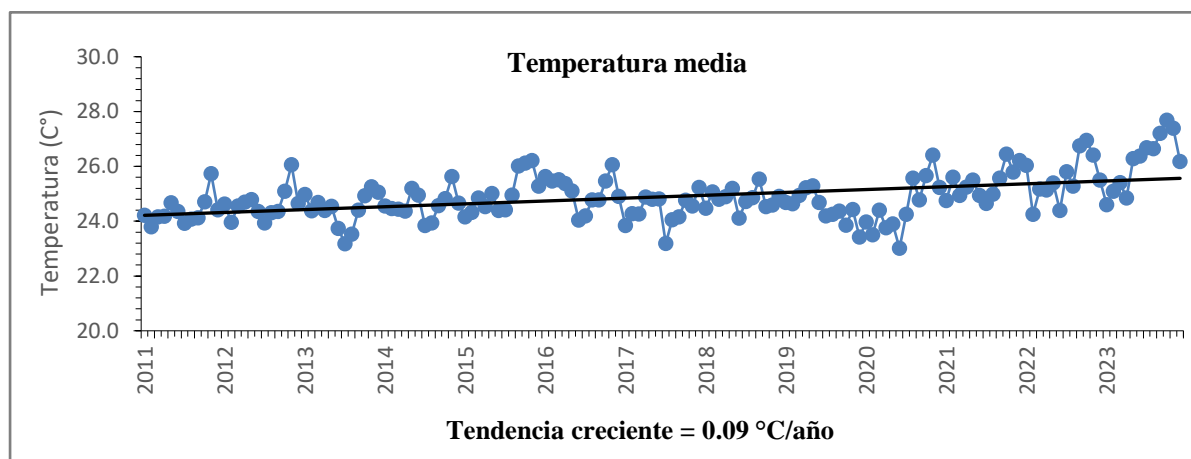


Figura 106. Tendencia de la temperatura media, registrada en la estación La Morada durante el periodo 2011 – 2023.

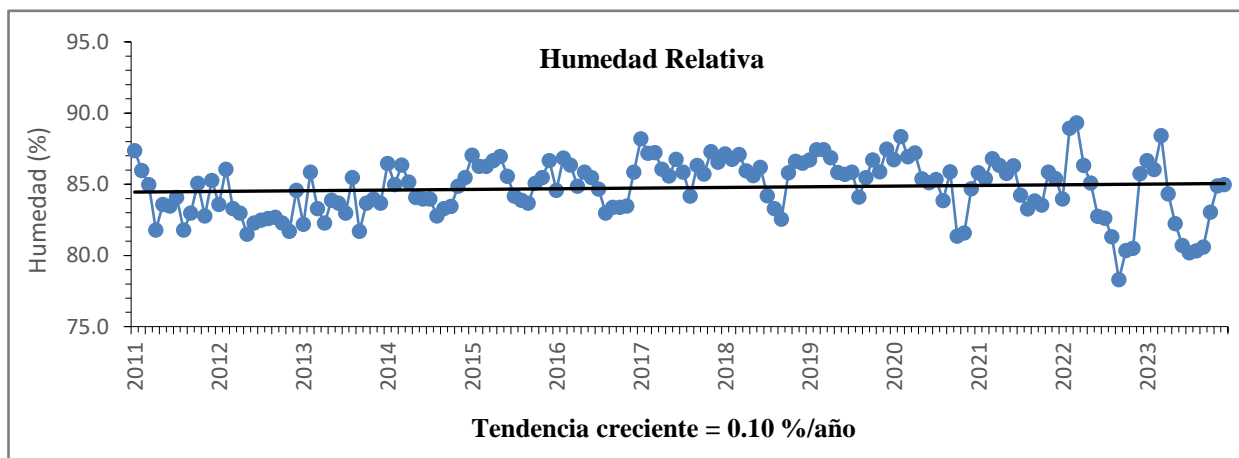


Figura 107. Tendencia de la humedad relativa, registrada en la estación La Morada durante el periodo 2011 – 2023.

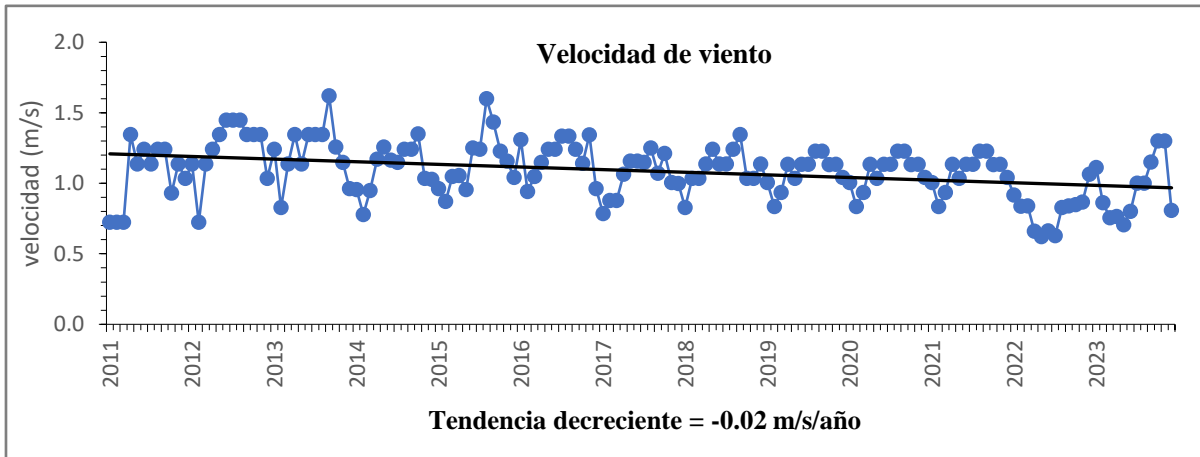


Figura 108. Tendencia de la velocidad del viento, registrada en la estación La Morada durante el periodo 2011 – 2023.

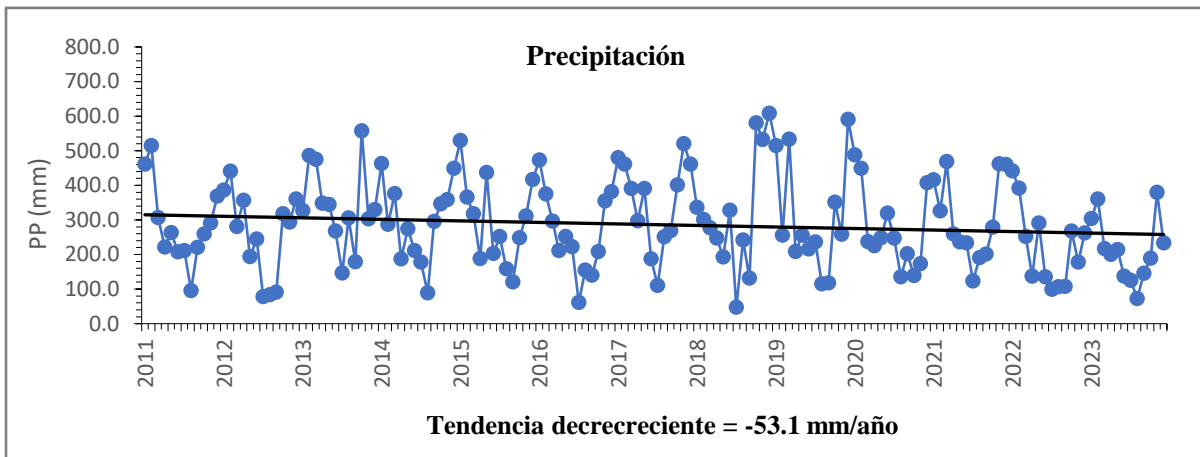


Figura 109. Tendencia de la precipitación, registrada en la estación La Morada durante el periodo 2011 – 2023.

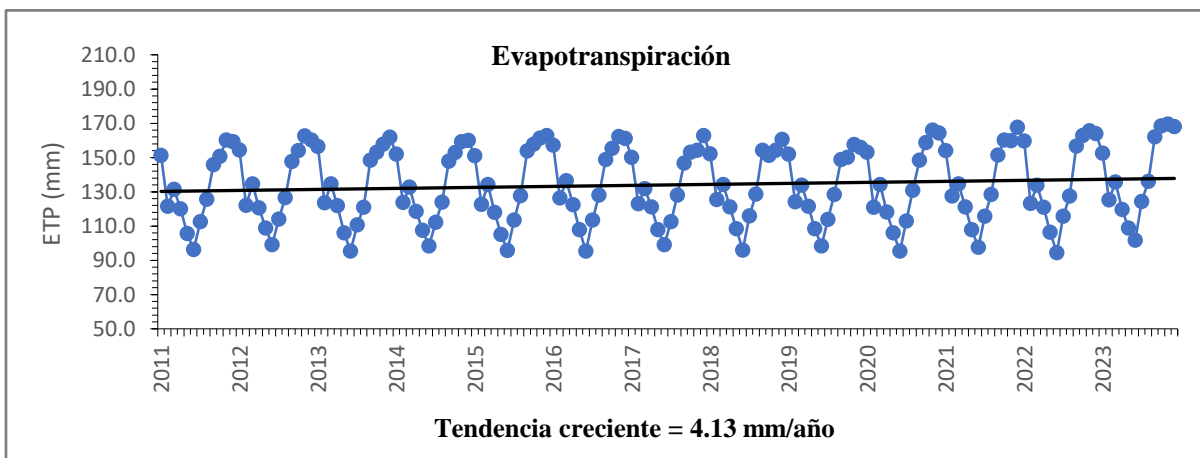


Figura 110. Tendencia de la evapotranspiración, registrada en la estación La Morada durante el periodo 2011 – 2023.

8.16. Anexo 16. Mapa de imágenes satelitales de áreas de cultivo de arroz del 2011 hasta 2023.

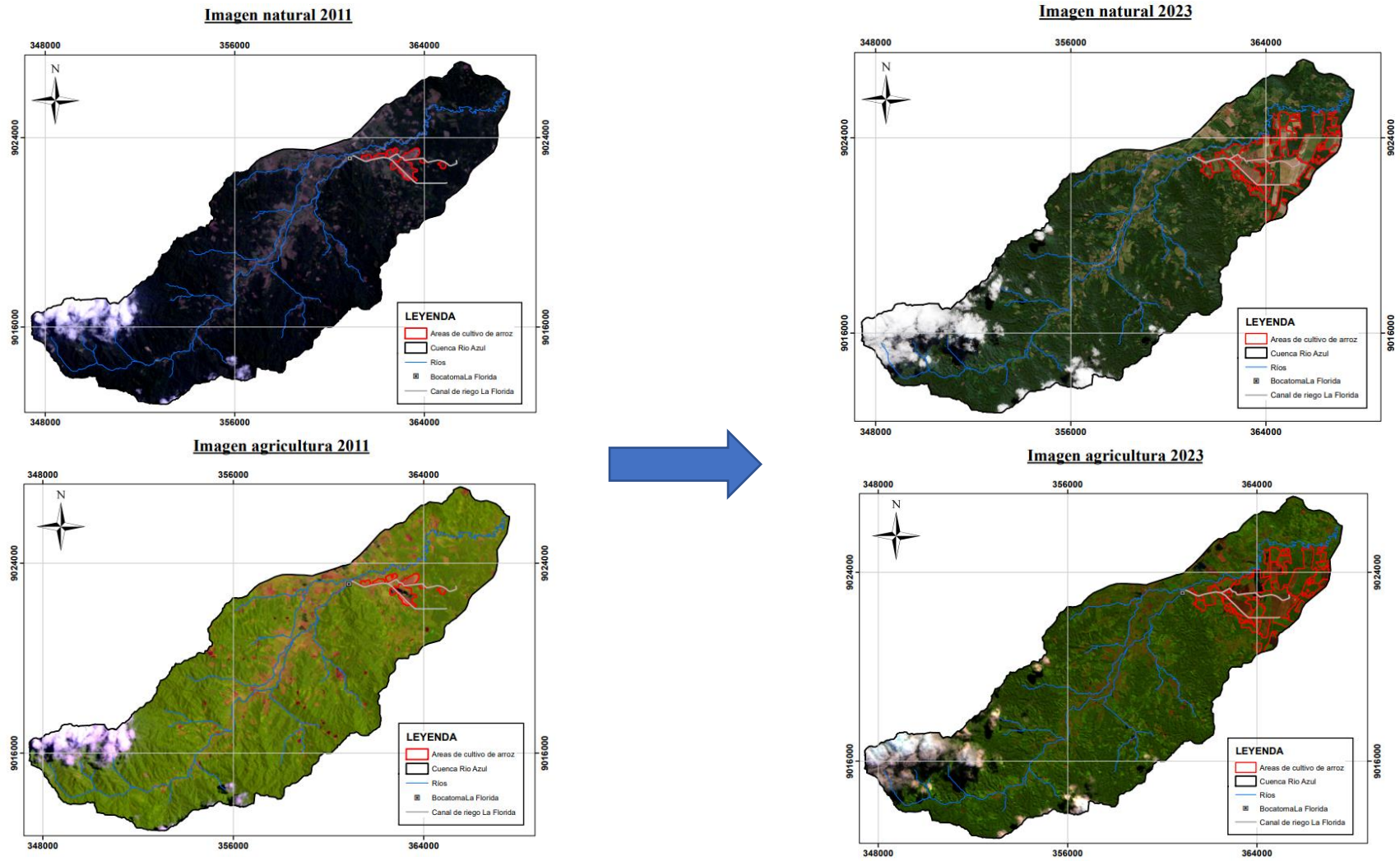


Figura 111. Cambio de cobertura de las áreas de cultivo de arroz del periodo 2011 hasta 2023.

8.17. Anexo 17. Resultados de los módulos del Cropwat 8.0 del año evaluado 2023

ETo Penman-Monteith Mensual - C:\Users\hp\Desktop\Info_CROPWAT\Tesis\Clima_2023.PEM

País Estación

Altitud m. Latitud °S Longitud °W

Mes	Temp Min °C	Temp Max °C	Humedad %	Viento km/día	Insolación horas	Rad MJ/m ² /día	ETo mm/día
Enero	20.4	28.8	87	95	10.0	25.5	4.92
Febrero	20.9	29.3	86	78	8.0	22.5	4.47
Marzo	20.8	30.0	88	69	8.0	22.0	4.38
Abril	20.2	29.5	84	69	8.0	20.5	3.99
Mayo	21.0	31.5	82	61	7.0	17.4	3.51
Junio	20.5	32.3	81	69	7.0	16.5	3.39
Julio	20.3	33.1	80	86	9.0	19.5	4.01
Agosto	19.9	33.4	80	86	9.0	21.1	4.39
Septiembre	20.4	34.0	81	104	11.0	25.9	5.40
Octubre	21.4	34.0	83	112	10.0	25.3	5.43
Noviembre	21.6	33.1	85	112	11.0	27.0	5.65
Diciembre	21.9	30.5	85	69	11.0	26.9	5.42
Promedio	20.8	31.6	84	84	9.1	22.5	4.58

Figura 112. Modulo “Clima/Eto” para determinar evapotranspiración potencial.

Precipitación mensual - C:\Users\hp\Desktop\Info_CROPWAT\Tesis\Prec_2023.CRM

Estación Método Prec. Ef

	Precipit. mm	Prec. efec mm
Enero	304.1	155.4
Febrero	360.1	161.0
Marzo	216.8	141.6
Abril	200.4	136.1
Mayo	213.5	140.6
Junio	137.1	107.0
Julio	125.5	100.3
Agosto	72.6	64.2
Septiembre	145.2	111.5
Octubre	189.3	132.0
Noviembre	379.9	163.0
Diciembre	233.2	146.2
Total	2577.7	1558.8

Figura 113. Modulo “Prec” para determinar precipitación efectiva.

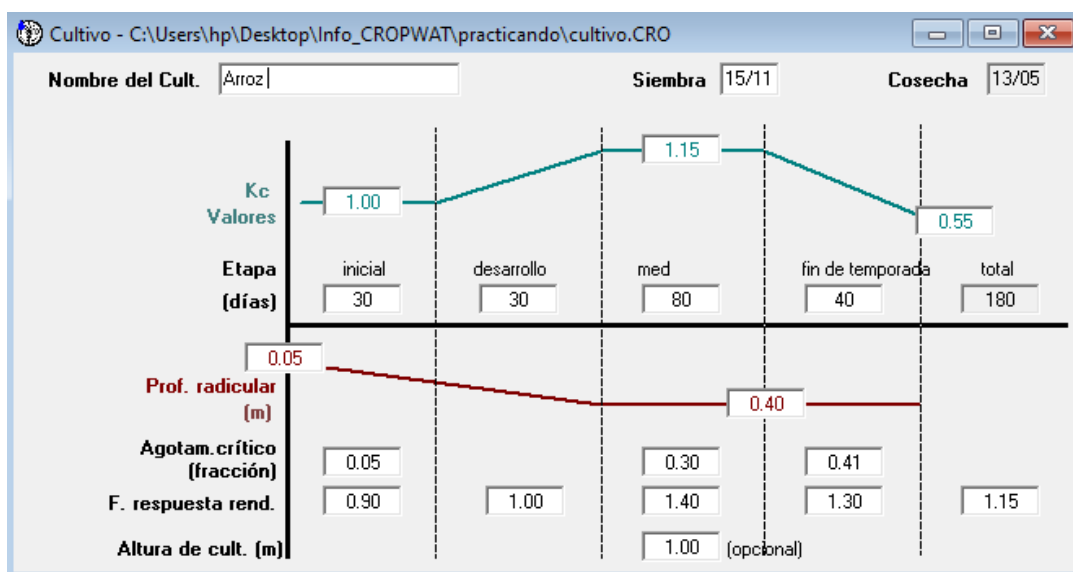


Figura 114. Modulo “Cultivo” para determinar el coeficiente del cultivo de la primera campaña del cultivo de arroz.

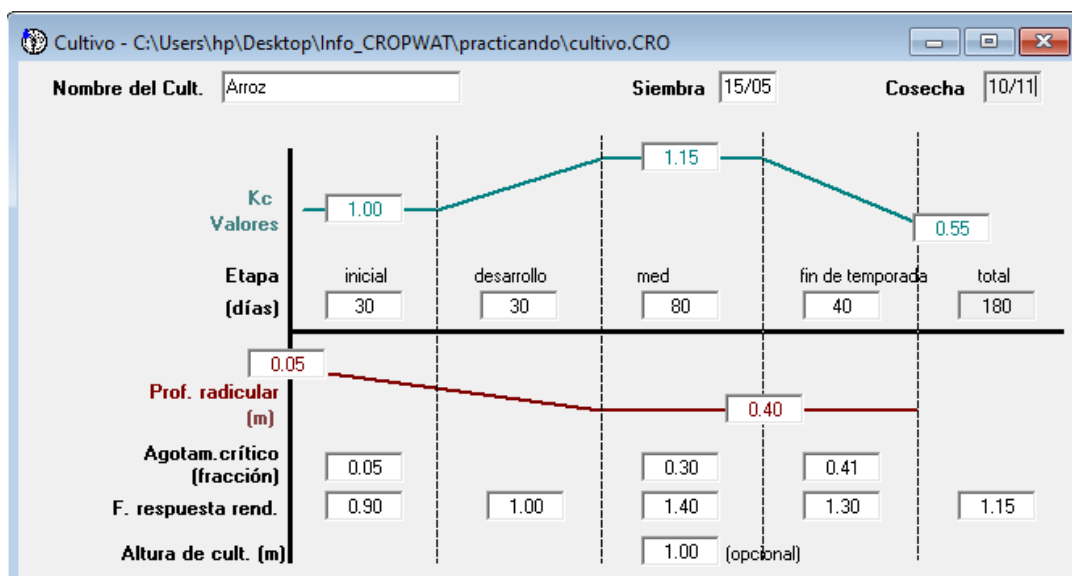


Figura 115. Modulo “Cultivo” para determinar el coeficiente del cultivo de la segunda campaña del cultivo de arroz.

Requerimiento de Agua del Cultivo

Estación ETo La Morada Cultivo Arroz
 Est. de lluvia La Morada Fecha de siembra 15/11

Mes	Decada	Etapa	Kc	ETc	ETc	Prec. efec	Req.Riego
			coef	mm/día	mm/dec	mm/dec	mm/dec
Nov	2	Inic	1.00	5.65	33.9	33.9	5.6
Nov	3	Inic	1.00	5.57	55.7	54.0	1.8
Dic	1	Inic	1.00	5.50	55.0	49.8	5.2
Dic	2	Des	1.01	5.45	54.5	47.5	6.9
Dic	3	Des	1.03	5.41	59.6	49.0	10.6
Ene	1	Des	1.06	5.38	53.8	50.9	2.9
Ene	2	Med	1.08	5.30	53.0	52.0	1.0
Ene	3	Med	1.08	5.14	56.5	52.5	4.0
Feb	1	Med	1.08	4.97	49.7	53.8	0.0
Feb	2	Med	1.08	4.81	48.1	54.8	0.0
Feb	3	Med	1.08	4.78	38.2	52.3	0.0
Mar	1	Med	1.08	4.75	47.5	48.9	0.0
Mar	2	Med	1.08	4.72	47.2	46.5	0.6
Mar	3	Med	1.08	4.58	50.4	46.2	4.2
Abr	1	Fin	1.04	4.27	42.7	45.7	0.0
Abr	2	Fin	0.89	3.56	35.6	44.9	0.0
Abr	3	Fin	0.74	2.84	28.4	45.6	0.0
May	1	Fin	0.59	2.18	21.8	47.5	0.0
May	2	Fin	0.50	1.75	5.2	14.6	0.0
					836.8	890.4	43.0

Figura 116. Modulo “Rac” para determinar el requerimiento de riego de la primera campaña.

Requerimiento de Agua del Cultivo

Estación ETo La Morada Cultivo Arroz
 Est. de lluvia La Morada Fecha de siembra 15/05

Mes	Decada	Etapa	Kc	ETc	ETc	Prec. efec	Req.Riego
			coef	mm/día	mm/dec	mm/dec	mm/dec
May	2	Inic	1.00	3.51	21.1	29.2	0.0
May	3	Inic	1.00	3.47	38.2	44.3	0.0
Jun	1	Inic	1.00	3.43	34.3	38.6	0.0
Jun	2	Des	1.01	3.43	34.3	34.4	0.0
Jun	3	Des	1.05	3.78	37.8	34.1	3.7
Jul	1	Des	1.09	4.15	41.5	35.1	6.4
Jul	2	Med	1.12	4.49	44.9	34.8	10.1
Jul	3	Med	1.12	4.64	51.0	30.3	20.7
Ago	1	Med	1.12	4.78	47.8	22.8	25.0
Ago	2	Med	1.12	4.92	49.2	17.4	31.8
Ago	3	Med	1.12	5.30	58.3	24.0	34.3
Sep	1	Med	1.12	5.75	57.5	32.7	24.8
Sep	2	Med	1.12	6.17	61.7	38.4	23.3
Sep	3	Med	1.12	6.14	61.4	40.3	21.2
Oct	1	Fin	1.05	5.71	57.1	41.4	15.7
Oct	2	Fin	0.90	4.90	49.0	43.5	5.5
Oct	3	Fin	0.75	4.10	45.1	47.1	0.0
Nov	1	Fin	0.59	3.27	32.7	52.4	0.0
					823.1	640.8	222.5

Figura 117. Modulo “Rac” para determinar el requerimiento de riego de la segunda campaña.

Suelo - C:\Users\hp\Desktop\Info_CROPWAT\Tesis\Suelo_tesis.SOI

Nombre del suelo: Franco-Arenos-Limo

Datos generales de suelo:

- Humedad de suelo disponible total (CC-PMP): 170.0 mm/metro
- Tasa máxima de infiltración de la precipitación: 166 mm/día
- Profundidad radicular máxima: 40 centímetros
- Agotamiento inicial de hum. de suelo (como % de ADT): 17 %
- Humedad de suelo inicialmente disponible: 141.1 mm/metro

Figura 118. Modulo “Suelo” para determinar características del suelo del área de estudio.

Patrón de cultivo - C:\Users\hp\Desktop\Info_CROPWAT\Tesis\patron_arroz_Florida.PAT

Nombre de patrón de cultivo: Arroz

No.	Archivo de cultivo	Nombre del cult.	Siembra fecha	Cosecha fecha	Área %
1.	...top\Info_CROPWAT\practicando\cultivo.CRO	Arroz	15/05	10/11	50
2.	...top\Info_CROPWAT\practicando\cultivo.CRO	Arroz	15/11	13/05	50

Figura 119. Modulo “Patrón de cultivo” para ingresar información de la fecha de siembra, cosecha y porcentaje de áreas de las dos campañas de cultivo de arroz.

Programación de riego de cultivo

ETo estación: La Morada Cultivo: Arroz Siembra: 15/11 Red. Renc: 0.1 %

Est. de lluvia: La Morada Suelo: Franco-Arenos-Limo Cosecha: 13/05

Formato de Tabla:

- Program. de riego
- Bal. diario de agua de suelo

Momento: Regar a agotamiento crítico
 Aplicación: Reponer a capacidad de campo
 Ef. campo: 70 %

Fecha	Día	Etapa	Precipit. mm	Ks fracc.	ETa %	Agot. %	Lám. Neta mm	Déficit mm	Pérdida mm	Lam. Br. mm	Caudal l/s/ha
15 Nov	1	Ini	0.0	0.87	87	69	6.6	0.0	0.0	9.4	1.08
16 Nov	2	Ini	0.0	1.00	100	56	5.8	0.0	0.0	8.3	0.96
17 Nov	3	Ini	71.3	1.00	100	49	5.7	0.0	0.0	8.1	0.93
18 Nov	4	Ini	0.0	1.00	100	45	5.7	0.0	0.0	8.1	0.93
19 Nov	5	Ini	0.0	1.00	100	42	5.7	0.0	0.0	8.1	0.93
20 Nov	6	Ini	0.0	1.00	100	39	5.7	0.0	0.0	8.1	0.93
21 Nov	7	Ini	0.0	1.00	100	36	5.6	0.0	0.0	8.0	0.92
22 Nov	8	Ini	0.0	1.00	100	34	5.6	0.0	0.0	8.0	0.92
23 Nov	9	Ini	60.5	1.00	100	32	5.6	0.0	0.0	8.0	0.92
24 Nov	10	Ini	0.0	1.00	100	30	5.6	0.0	0.0	8.0	0.92
25 Nov	11	Ini	0.0	1.00	100	29	5.6	0.0	0.0	8.0	0.92
26 Nov	12	Ini	0.0	1.00	100	27	5.6	0.0	0.0	8.0	0.92
27 Nov	13	Ini	60.5	1.00	100	26	5.6	0.0	0.0	8.0	0.92
28 Nov	14	Ini	0.0	1.00	100	25	5.6	0.0	0.0	8.0	0.92
29 Nov	15	Ini	0.0	1.00	100	24	5.6	0.0	0.0	8.0	0.92

Figura 120. Modulo “Programación” para determinar la demanda de agua diaria por requerimiento del cultivo de arroz mediante el canal de riego de la primera campaña.

Programación de riego de cultivo

ETo estación: La Morada Cultivo: Arroz Siembra: 15/05 Red. Rend: 0.1 %
 Est. de lluvia: La Morada Suelo: Franco-Arenos-Limo Cosecha: 10/11

Formato de Tabla:
 Program. de riego Momento: Regar a agotamiento crítico
 Bal. diario de agua de suelo Aplicación: Reponer a capacidad de campo
 Ef. campo: 70 %

Fecha	Día	Precipit.	Ks	ETa	Agot.	Lám.Neta	Déficit	Pérdida	Lam.Br.	Caudal
		mm	fracc.	%	%	mm	mm	mm	mm	l/s/ha
15 May	1	0.0	0.87	87	49	4.7	0.0	0.0	6.7	0.77
16 May	2	0.0	1.00	100	35	3.7	0.0	0.0	5.3	0.61
17 May	3	37.7	1.00	100	31	3.5	0.0	0.0	5.0	0.58
18 May	4	0.0	1.00	100	28	3.5	0.0	0.0	5.0	0.58
19 May	5	0.0	1.00	100	26	3.5	0.0	0.0	5.0	0.58
20 May	6	0.0	1.00	100	24	3.5	0.0	0.0	5.0	0.58
21 May	7	0.0	1.00	100	22	3.5	0.0	0.0	5.0	0.57
22 May	8	0.0	1.00	100	21	3.5	0.0	0.0	5.0	0.57
23 May	9	32.7	1.00	100	20	3.5	0.0	0.0	5.0	0.57
24 May	10	0.0	1.00	100	19	3.5	0.0	0.0	5.0	0.57
25 May	11	0.0	1.00	100	18	3.5	0.0	0.0	5.0	0.57
26 May	12	0.0	1.00	100	17	3.5	0.0	0.0	5.0	0.57
27 May	13	32.7	1.00	100	16	3.5	0.0	0.0	5.0	0.57
28 May	14	0.0	1.00	100	16	3.5	0.0	0.0	5.0	0.57
29 May	15	0.0	1.00	100	15	3.5	0.0	0.0	5.0	0.57

Figura 121. Modulo “Programación” para determinar la demanda de agua diaria por requerimiento del cultivo de arroz mediante el canal de riego de la segunda campaña.

Aprovisionamiento del sistema

ETo estación: La Morada Patrón de cultivo: Arroz
 Est. de lluvia: La Morada

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Déficit de Precipitación												
1. Arroz	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.7	37.3	91.2	69.2	21.2	0.0	0.0
2. Arroz	14.2	0.0	9.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.4	23.9
Req. Netos sistema												
en mm/día	0.2	0.0	0.2	0.0	0.0	0.1	0.6	1.5	1.2	0.3	0.1	0.4
en mm/mes	7.1	0.0	4.7	0.0	0.0	1.8	18.6	45.6	34.6	10.6	3.7	11.9
en l/s/h	0.03	0.00	0.02	0.00	0.00	0.01	0.07	0.17	0.13	0.04	0.01	0.04
Área Irrigada												
(% del área total)	50.0	0.0	50.0	0.0	0.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0
Req de riego area real												
(l/s/h)	0.05	0.00	0.04	0.00	0.00	0.01	0.14	0.34	0.27	0.08	0.03	0.09

Figura 122. Modulo “Sistema” para determinar la demanda de agua mensual por requerimiento de riego mediante la precipitación en las dos campañas.

8.18. Anexo 18. Descarga de datos climatológicos futuros de los modelos climáticos globales.



Figura 123. Archivo Geotiff de los datos climatológicos futuros de los modelos climáticos globales.

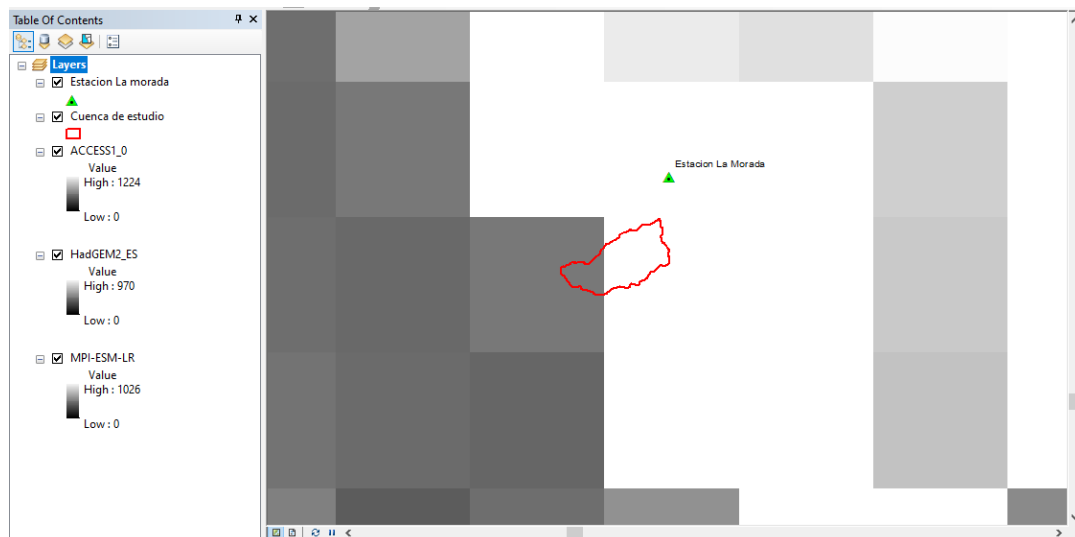


Figura 124. Georreferenciación de la estación La morada y la cuenca de estudio como puntos de interés en el archivo Geotiff.

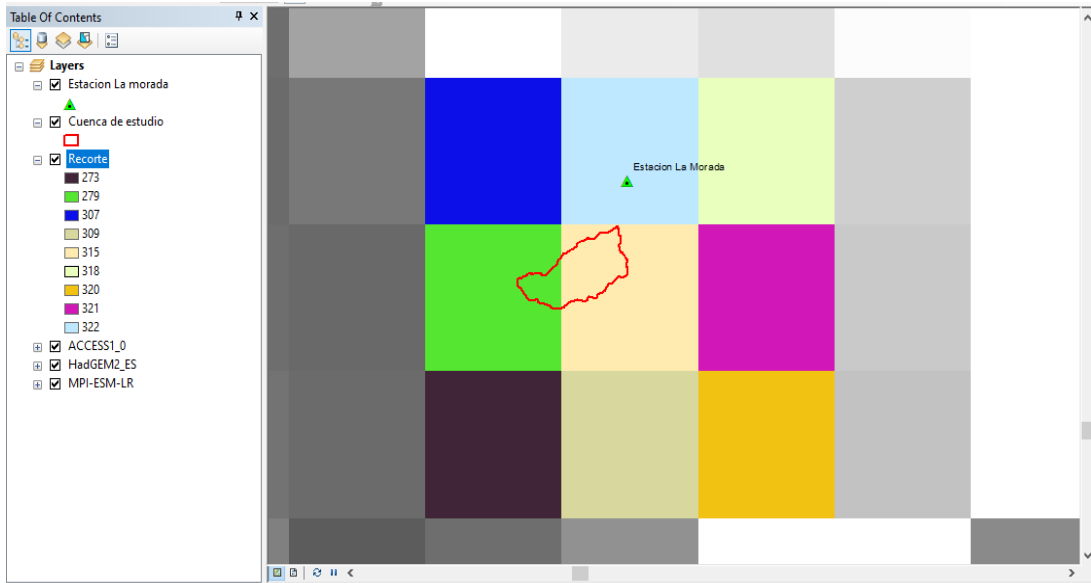


Figura 125. Recorte del archivo Geotiff para convertir en archivo shapefile cercano a los puntos de interés.

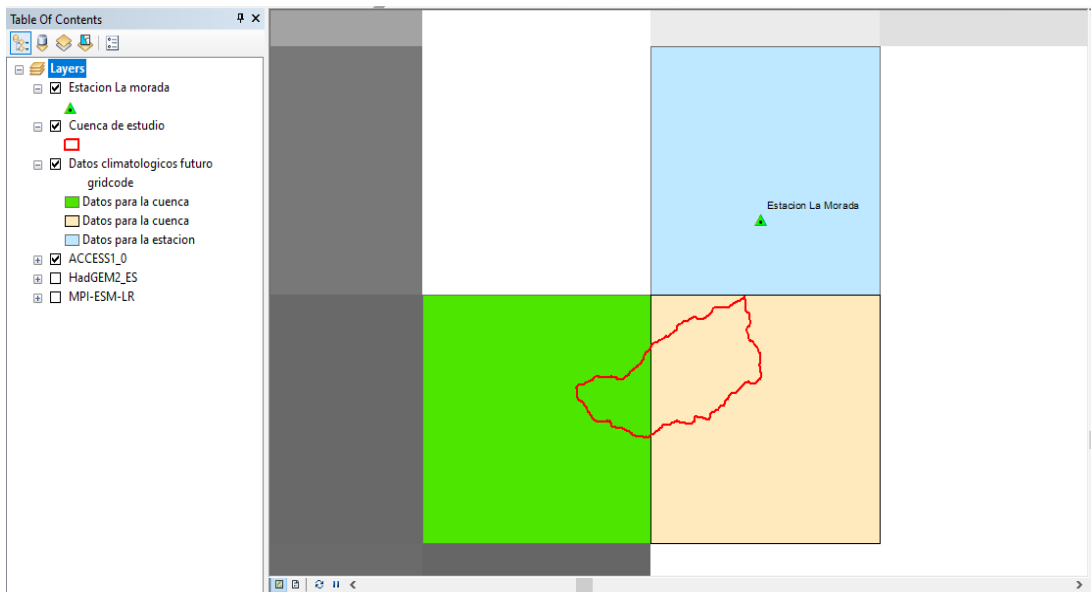


Figura 126. Archivo shapefile en los puntos de interés para la descarga datos climatológicos futuros de los pixeles recortados.

8.19. Anexo 19. Fotografías



Figura 127. Instalación de la estación meteorológica de estudio “La Morada”.



Figura 128. Bocatoma La Florida y zonas de cultivo de arroz.



Figura 129. Medición del caudal con el caudalímetro en el río Azul y en el canal de riego La Florida.



Figura 130. Muestreo de suelo y determinación de la textura del suelo en el laboratorio.



Figura 131. Visita de mi asesor de tesis en la zona de estudio.