

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

ESCUELA DE POSGRADO



UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS

TESIS:

**METODOLOGÍAS PARA LA IDENTIFICACIÓN DE LAS ZONAS DE
RECARGA HÍDRICA EN LA MICROCUENCA TRES RÍOS,
CAJAMARCA, PERÚ.**

Para optar el Grado Académico de

MAESTRO EN CIENCIAS

MENCIÓN: INGENIERÍA Y GERENCIA DE LA CONSTRUCCIÓN

Presentada por:

GILBERTH EDUARDO CRUZADO MENDOZA

Asesora:

Dr. JAIRO ISAÍ ALVAREZ VILLANUEVA

Cajamarca, Perú

2025

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

1. Investigador:
Gilberth Eduardo Cruzado Mendoza
DNI: 70211358
Escuela Profesional/Unidad de Posgrado de la Facultad de Ingeniería. Programa de Maestría en Ciencias, Mención: Ingeniería y Gerencia de la Construcción
2. Asesor: Dr. Jairo Isai Alvarez Villanueva
3. Grado académico o título profesional
 Bachiller Título profesional Segunda especialidad
 Maestro Doctor
4. Tipo de Investigación:
 Tesis Trabajo de investigación Trabajo de suficiencia profesional
 Trabajo académico
5. Título de Trabajo de Investigación:
Metodologías para la identificación de las zonas de recarga hídrica en la microcuenca Tres Ríos, Cajamarca, Perú.
6. Fecha de evaluación: **20/08/2025**
7. Software antiplagio: TURNITIN URKUND (ORIGINAL) (*)
8. Porcentaje de Informe de Similitud: **20%**
9. Código Documento: **3117: 485135804**
10. Resultado de la Evaluación de Similitud:
 APROBADO PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: **25/08/2025**

*Firma y/o Sello
Emisor Constancia*



Dr. Jairo Isai Alvarez Villanueva
DNI: 43887029

COPYRIGHT © 2025 by
GILBERTH EDUARDO CRUZADO MENDOZA
Todos los derechos reservados



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
LICENCIADA CON RESOLUCIÓN DE CONSEJO DIRECTIVO N° 080-2018-SUNEDU/CD
ESCUELA DE POSGRADO
CAJAMARCA - PERU
PROGRAMA DE MAESTRIA EN CIENCIAS



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Siendo las 3:00 p.m. horas, del día 12 de Agosto de dos mil veinticinco, reunidos en el Auditorio de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, el Jurado Evaluador presidido por el **DR. JOSÉ FRANCISCO HUAMÁN VIDAURRE, DR. LUIS VÁSQUEZ RAMÍREZ, MBA. JANE ELIZABETH ALVAREZ LLANOS**, y en calidad de Asesor el **DR. JAIRO ISAÍ ALVAREZ VILLANUEVA**. Actuando de conformidad con el Reglamento Interno y el Reglamento de Tesis de Maestrías y Doctorados de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, se inició la Sustentación de la TESIS titulada: **"METODOLOGÍAS PARA LA IDENTIFICACIÓN DE ZONAS DE RECARGA HÍDRICA EN LA MICROCUCENCA TRES RÍOS, CAJAMARCA-PERÚ"**, presentada por el bachiller en Ingeniería Hidráulica **GILBERTH EDUARDO CRUZADO MENDOZA**.

Realizada la exposición de la TESIS y absueltas las preguntas formuladas por el Jurado Evaluador, y luego de la deliberación, se acordó ...aprobar... con la calificación de ...16 (dieciséis) BUENO... la mencionada TESIS; en tal virtud, el bachiller en Ingeniería Hidráulica, **GILBERTH EDUARDO CRUZADO MENDOZA**, se encuentra apto para recibir en ceremonia especial el Diploma que lo acredita como **MAESTRO EN CIENCIAS**, de la Unidad de Posgrado de la Facultad de **INGENIERÍA**, con mención en **INGENIERÍA Y GERENCIA DE LA CONSTRUCCIÓN**.

Siendo las 4:15 pm horas del mismo día, se dio por concluido el acto.


.....
Dr. Jairo Isai Alvarez Villanueva
Asesor


.....
Dr. José Francisco Huamán Vidaurre
Jurado Evaluador


.....
Dr. Luis Vásquez Ramírez
Jurado Evaluador


.....
MBA. Jane Elizabeth Alvarez Llanos
Jurado Evaluador

DEDICATORIA

A:

Dios, que me guió, dio la fortaleza, salud y sabiduría, y a todas las personas que me brindaron su apoyo a lo largo de esta investigación y de la etapa estudiantil para poder concluir las de manera satisfactoria

A mis padres, Doris Eugenia Mendoza Barrantes y Gilberto Cruzado Vásquez, por darme la vida, enseñarme excelentes valores, ser los pilares de aprendizaje para mi vida y por su inmenso amor

A mi hermano Edson Djamel Cruzado Mendoza que es y será la mejor compañía que la vida me pudo brindar

A mis amigos y familiares que nos apoyamos mutuamente, nos damos ánimos, palabras de aliento, con quien compartimos historias, vivencias, anécdotas y momentos de felicidad.

A mis docentes los cuales en cada etapa dieron su granito de arena en su sabiduría y paciencia para poder formar a la persona que soy en la actualidad.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme vida, salud y sabiduría para permitirme este momento muy especial en mi vida que es la culminación de la presente investigación.

A la escuela de posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca por haberme aceptado entre sus estudiantes de posgrado, también a los docentes con los que llevé cada curso de esta maestría en los cuales aprendí muchísimo tanto en lo académico como en lo humano.

Un agradecimiento especial a mi asesor al Dr. Jairo Isaí Alvarez Villanueva, por brindarme su confianza, amistad, sugerencias y comentarios a lo largo del desarrollo de esta investigación.

A mi jurado evaluador por el tiempo brindado y por sus valiosos aportes técnicos, que contribuyeron significativamente al enriquecimiento y mejora de esta investigación.

CONTENIDO

LISTA DE TABLAS	xii
LISTA DE FIGURAS	xvi
LISTA DE ECUACIONES	xxii
LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS USADAS.....	xxiii
RESUMEN	xxiv
ABSTRACT.....	xxv
CAPITULO I. INTRODUCCIÓN.....	1
Planteamiento del problema	1
Contextualización	1
Descripción del problema.....	4
Formulación del problema.....	7
Justificación e importancia	7
Justificación	7
Importancia.....	9
Delimitación de la investigación	10
Delimitación espacial	10
Delimitación temporal.....	10
Delimitación metodológica	10
Delimitación temática	11

Limitaciones	11
Objetivos.....	11
Objetivo General.....	11
Objetivos Específicos.....	11
CAPITULO II. MARCO TEÓRICO	13
Antecedentes de la investigación o marco referencial.....	13
Antecedentes internacionales.....	13
Antecedentes Nacionales.....	14
Antecedentes locales	15
Bases Teóricas	16
Identificación de zonas de recarga hídrica	16
Método de recarga de agua subterránea (RAS)	18
Metodología para la identificación participativa de zonas potenciales de recarga hídrica	23
Marco Conceptual.....	40
Definición de términos básicos.....	45
Identificación de Zonas de recarga Hídrica.....	45
Gestión de cuencas.....	45
Cuenca Hidrográfica.	45
Índice de Disponibilidad Hídrica.....	45
Escorrentía.....	45

Infiltración	46
Recarga y zonas de recarga	46
CAPITULO III. PLANTEAMIENTO DE HIPÓTESIS Y VARIABLES	47
Hipótesis	47
Hipótesis general.....	47
Variables.....	47
Variable Principal	47
Sub-Variables	47
Operacionalización de los componentes de las hipótesis.....	48
CAPITULO IV. MARCO METODOLÓGICO.....	50
Ubicación geográfica.....	50
Diseño de la investigación	50
Diagrama de flujo de la investigación.....	51
Recolección de datos.....	53
Métodos de la investigación	55
Para la metodología RAS	55
Para la metodología Participativa	64
Población, muestra, unidad de análisis y unidades de observación	89
Técnicas e instrumentos de recopilación de información	89
Equipos, materiales, insumos, etc.....	90

Matriz de consistencia metodológica	91
CAPITULO V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	93
Presentación de resultados.....	93
Resultados de la utilización de la metodología RAS	93
Resultados de la utilización de la metodología Participativa	101
Análisis, interpretación y discusión de resultados	119
Análisis de resultados.....	119
Interpretación de resultados.....	126
Discusión de resultados	127
Comparación de resultados entre metodologías	127
Interpretación de los ensayos de infiltración	128
Validación de resultados	130
Análisis comparativo con investigaciones previas	134
Contrastación de hipótesis	138
CAPITULO VI. PROPUESTA.....	139
Formulación de la propuesta	139
Título	139
Finalidad.....	139
Objetivos.....	139
Protección de zonas de mayor recarga hídrica	139

Actividades y lineamientos de acción	140
Beneficios que aporta la propuesta.....	143
CONCLUSIONES.....	145
RECOMENDACIONES Y/O SUGERENCIAS.....	149
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	150
ANEXOS	159
Anexo I: Panel Fotográfico	159
Anexo II: Datos Hidrológicos y climatológicos	163
Anexo III: Resultados CROPWAT.....	178
Anexo IV: Cronograma de desarrollo de la investigación	182
Anexo V: Planos	184

LISTA DE TABLAS

TABLA 1 TABLA DEL VALOR DE KP PARA EL TIPO DE PENDIENTE	20
TABLA 2 TABLA DEL VALOR DE KV PARA EL TIPO DE COBERTURA VEGETAL	21
TABLA 3 TABLA DEL VALOR DE KFC PARA EL TIPO DE TEXTURA DE SUELO	22
TABLA 4 PONDERACIÓN DE LA POSIBILIDAD DE RECARGA HÍDRICA SEGÚN TIPO DE PENDIENTE Y MICRORELIEVE	27
TABLA 5 PONDERACIÓN DE LA CAPACIDAD DE RECARGA HÍDRICA DEL SUELO SEGÚN SU TEXTURA	28
TABLA 6 PONDERACIÓN DE LA POSIBILIDAD DE RECARGA HÍDRICA SEGÚN EL TIPO DE ROCA	29
TABLA 7 PONDERACIÓN DE LA POSIBILIDAD DE RECARGA HÍDRICA SEGÚN EL PORCENTAJE DE COBERTURA VEGETAL.....	31
TABLA 8 PONDERACIÓN DE LA POSIBILIDAD DE RECARGA HÍDRICA SEGÚN EL USO DEL SUELO	32
TABLA 9 POTENCIAL DE RECARGA HÍDRICA SEGÚN EL MODELO PROPUESTO	33
TABLA 10. TIPOS DE SUELO SEGÚN SU TASA DE INFILTRACIÓN.....	34
TABLA 11. CLASES DE PERMEABILIDAD DE LOS SUELOS PARA LA AGRICULTURA Y SU CONSERVACIÓN.....	35
TABLA 12 CAPACIDAD DE RECARGA HÍDRICA SEGÚN LA COBERTURA VEGETAL.....	42
TABLA 13 CAPACIDAD DE RECARGA HÍDRICA SEGÚN USO DE SUELO	43
TABLA 14 PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL DE LAS ESTACIONES CERCANAS A LA MICROCUENCA TRES RÍOS	56
TABLA 15 PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL DE LAS ESTACIONES CERCANAS A LA MICROCUENCA TRES RÍOS	57
TABLA 16 COORDENADAS DE LA DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	64

TABLA 17. RESULTADOS PARA LA ELABORACIÓN DE LA CURVA HIPSOMÉTRICA.....	65
TABLA 18 CLASIFICACIÓN DEL ÍNDICE DE COMPACIDAD DE GRAVELIUS.....	65
TABLA 19. PROMEDIO MENSUAL - ANUAL DE LAS ESTACIONES CERCANAS A LA MICROCUENCA TRES RÍOS.....	67
TABLA 20. PUNTOS DE LOS ENSAYOS DE INFILTRACIÓN EN LA MICROCUENCA TRES RÍOS	72
TABLA 21. LECTURAS DE CAMPO DE LA PRUEBA DE INFILTRACIÓN (SEXEMAYO - 1).....	76
TABLA 22. LECTURAS DE CAMPO DE LA PRUEBA DE INFILTRACIÓN (SEXEMAYO - 2).....	77
TABLA 23. LECTURAS DE CAMPO DE LA PRUEBA DE INFILTROMETRO (CUSHUNGA)	78
TABLA 24. LECTURAS DE CAMPO DE LA PRUEBA DE INFILTRACIÓN (CORISORGONA).....	79
TABLA 25. LECTURAS DE CAMPO DE LA PRUEBA DE INFILTRACIÓN (CARHUAQUERO)	80
TABLA 26 DISTRIBUCIÓN DE LA POBLACIÓN POR CENTROS POBLADOS EN LA MICROCUENCA TRES RÍOS	81
TABLA 27 CENTROS EDUCATIVOS EN LA MICROCUENCA TRES RÍOS.....	84
TABLA 28 SERVICIOS DE AGUA POTABLE, DESAGÜE Y ENERGÍA ELÉCTRICA DE LOS CENTROS POBLADOS EN LA MICROCUENCA TRES RÍOS	85
TABLA 29. UBICACIÓN DE FUENTES DE AGUA Y SUS USOS SEGÚN SUS POBLADORES O AUTORIDADES	86
TABLA 30 COEFICIENTE DE LOS SUELOS IDENTIFICADOS EN LA MICROCUENCA	93
TABLA 31 VALOR DEL COEFICIENTE DE SEGÚN LA PENDIENTE USANDO LA METODOLOGÍA RAS ...	93
TABLA 32 COEFICIENTE KV SEGÚN EL TIPO DE COBERTURA VEGETAL EN LA MICROCUENCA.....	94
TABLA 33 CÁLCULO DE LA PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL EN LA MICROCUENCA TRES RÍOS.....	96
TABLA 34 VALORES DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN MEDIA ANUAL DE LAS ESTACIONES CERCANAS A LA MICROCUENCA	97

TABLA 35. RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE LA METODOLOGÍA DE RECARGA DE AGUA	
SUBTERRÁNEA (R.A.S.)	100
TABLA 36 PONDERACIÓN Y POSIBILIDAD DE RECARGA SEGÚN LA METODOLOGÍA PARTICIPATIVA	
.....	104
TABLA 37 COEFICIENTE DE LOS SUELOS IDENTIFICADOS EN LA MICROCUENCA	104
TABLA 38 VALORES DE POSIBILIDAD DE RECARGA SEGÚN LA GEOLOGÍA DE LA MICROCUENCA ..	105
TABLA 39 PONDERACIÓN SEGÚN EL TIPO DE COBERTURA VEGETAL EN LA MICROCUENCA	106
TABLA 40. RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE LA METODOLOGÍA PARTICIPATIVA	107
TABLA 41. CLASIFICACIÓN DE LA VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN DE LOS ENSAYOS SEGÚN (MATUS	
ET AL., 2007).	118
TABLA 42. ÁREAS DE POSIBILIDAD DE RECARGA HÍDRICA EN LA MICROCUENCA BAJA SEGÚN LA	
METODOLOGÍA PARTICIPATIVA.	120
TABLA 43. PORCENTAJE DE ÁREAS DE POSIBILIDAD DE RECARGA HÍDRICA EN LA MICROCUENCA	
MEDIA SEGÚN LA METODOLOGÍA PARTICIPATIVA	121
TABLA 44. PORCENTAJE DE ÁREA DE POSIBILIDAD DE RECARGA HÍDRICA EN LA MICROCUENCA	
ALTA SEGÚN LA METODOLOGÍA PARTICIPATIVA.	122
TABLA 45. PORCENTAJE DE ÁREAS DE POSIBILIDAD DE RECARGA EN MICROCUENCA BAJA SEGÚN LA	
METODOLOGÍA DE RECARGA DE AGUA SUBTERRÁNEA.	123
TABLA 46. PORCENTAJE DE ÁREAS DE POSIBILIDAD DE RECARGA EN MICROCUENCA MEDIA SEGÚN	
LA METODOLOGÍA DE RECARGA DE AGUA SUBTERRÁNEA (R.A.S.).	124
TABLA 47. PORCENTAJE DE ÁREAS DE POSIBILIDAD DE RECARGA EN MICROCUENCA ALTA SEGÚN	
LA METODOLOGÍA DE RECARGA DE AGUA SUBTERRÁNEA.	125

TABLA 48. COMPARACIÓN DEL POTENCIAL DE RECARGA SEGÚN LAS ÁREAS ENTRE LA METODOLOGÍA PARTICIPATIVA Y LA METODOLOGÍA R.A.S.	127
TABLA 49. ESTRATEGIAS PARA LA PROTECCIÓN DE ZONAS CON POTENCIAL RECARGA HÍDRICA .	140
TABLA 50 CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DE LA ESTACIÓN AUGUSTO WEBERBAUER CON CROPWAT 8.0	178
TABLA 51 CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DE LA ESTACIÓN GRANJA PORCÓN CON CROPWAT 8.0	179
TABLA 52 CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DE LA ESTACIÓN SAN PABLO CON CROPWAT 8.0.....	180
TABLA 53 CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DE LA ESTACIÓN ENCAÑADA CON CROPWAT 8.0.....	181
TABLA 54 CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DE LA ESTACIÓN JESÚS CON CROPWAT 8.0	182
TABLA 55 CRONOGRAMA DEL DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN	183

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 DIVISIÓN DE UNA CUENCA HIDROGRÁFICA	17
FIGURA 2 DIVISIÓN HIDROGRÁFICA E HIDROLÓGICA DE LA CUENCA	18
FIGURA 3 PASOS PARA LA IDENTIFICACIÓN DE ZONAS POTENCIALES DE RECARGA HÍDRICA	24
FIGURA 4. INFILTRACIÓN ACUMULADA VS VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN INSTANTANEA	36
FIGURA 5. VARIACIÓN DE LA CURVA DE VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN POR LA TEXTURA DEL SUELO	37
FIGURA 6 DIAGRAMA DEL MARCO GENERAL DE LA GIRH.....	41
FIGURA 7 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	50
FIGURA 8. SUELO PARAMOSOL EN LA MICROCUENCA (SEXEMAYO LOTE II – CUSHUNGA)	58
FIGURA 9. SUELO PARAMOSOL - LEPTOSOL EN LA MICROCUENCA (CARHUAQUERO).....	59
FIGURA 10 SUELO PARAMO - ANDOSOL EN LA MICROCUENCA TRES RÍOS (SEXEMAYO LOTE II) .	59
FIGURA 11 SUELOS PHAEOZEM - LEPTOSOL EN LA MICROCUENCA (CORISORGONA).....	60
FIGURA 12 SUELOS IDENTIFICADOS ANDOSOL - LEPTOSOL EN LA MICROCUENCA (CHAMIS).....	61
FIGURA 13 PLANTACIÓN FORESTAL EN LA MICROCUENCA TRES RÍOS.....	62
FIGURA 14 USO AGRÍCOLA EN LA MICROCUENCA TRES RÍOS.....	62
FIGURA 15 MATORRAL ARBUSTIVO EN LA MICROCUENCA TRES RÍOS.....	63
FIGURA 16 PAJONAL ANDINO EN LA MICROCUENCA TRES RÍOS	63
FIGURA 17 LIMPIEZA DEL LUGAR DE LAS PRUEBAS	73
FIGURA 18 INSTALACIÓN DE LAS ANILLAS	74
FIGURA 19. MEDICIÓN DE LOS DESNIVELES DEL AGUA	75
FIGURA 20. VACIADO DE AGUA SOBRE LA ANILLA INTERNA	75
FIGURA 21. ESTADO DE LA ESTRUCTURA VIAL DE LA CARRETERA SEXEMAYO - CUSHUNGA	82

FIGURA 22. PUESTO DE SALUD: CHETILLA	83
FIGURA 23. RESERVORIO DE AGUA UBICADO EN CORISORGONA	86
FIGURA 24 PRODUCCIÓN DE MAÍZ EN LA MICROCUENCA TRES RÍOS.....	87
FIGURA 25 PRODUCCIÓN DE TRIGO EN LA MICROCUENCA TRES RÍOS.....	88
FIGURA 26 DISTRIBUCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN SEGÚN LOS DATOS DE LAS ESTACIONES CERCANAS	95
FIGURA 27 DISTRIBUCIÓN DE LAS ISOYETAS EN LA MICROCUENCA TRES RÍOS	95
FIGURA 28 DISTRIBUCIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN SEGÚN LAS ESTACIONES CERCANAS A LA MICROCUENCA	97
FIGURA 29.	98
FIGURA 30. DISTRIBUCIÓN DEL BALANCE CLIMÁTICO MODIFICADO PARA LA METODOLOGÍA R.A.S.	99
FIGURA 31. PORCENTAJES DE ÁREAS DE POSIBILIDAD DE RECARGA SEGÚN LA METODOLOGÍA DE RECARGA DE AGUA SUBTERRÁNEA R.A.S. EN LA MICROCUENCA TRES RÍOS	100
FIGURA 32. CURVA HIPSOMÉTRICA DE LA MICROCUENCA TRES RÍOS.....	101
FIGURA 33 PRECIPITACIÓN PROMEDIO MENSUAL - ANUAL DE LAS ESTACIONES CERCANAS	103
FIGURA 34. PORCENTAJES DE ÁREAS DE POSIBILIDAD DE RECARGA SEGÚN LA METODOLOGÍA PARTICIPATIVA EN LA MICROCUENCA TRES RÍOS.....	107
FIGURA 35. INFILTRACIÓN ACUMULADA - SEXEMAYO (1)	108
FIGURA 36. VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN VS TIEMPO - SEXEMAYO (1)	108
FIGURA 37. INFILTRACIÓN ACUMULADA - SEXEMAYO (2)	110
FIGURA 38. VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN VS TIEMPO – SEXEMAYO (2).....	110
FIGURA 39. INFILTRACIÓN ACUMULADA - CUSHUNGA.....	112

FIGURA 40. VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN VS TIEMPO - CUSHUNGA	112
FIGURA 41. INFILTRACIÓN ACUMULADA - CORISORGONA	114
FIGURA 42. VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN VS TIEMPO - CORISORGONA	114
FIGURA 43. INFILTRACIÓN ACUMULADA - CARHUAQUERO	116
FIGURA 44. VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN VS TIEMPO - CARHUAQUERO	116
FIGURA 45. PORCENTAJES DE ÁREAS DE POSIBILIDAD DE RECARGA SEGÚN LA METODOLOGÍA PARTICIPATIVA EN LA MICROCUENCA BAJA	120
FIGURA 46. PORCENTAJE DE ÁREAS DE POSIBILIDAD DE RECARGA SEGÚN LA METODOLOGÍA PARTICIPATIVA EN LA MICROCUENCA MEDIA	121
FIGURA 47. PORCENTAJES DE ÁREAS DE POSIBILIDAD DE RECARGA SEGÚN LA METODOLOGÍA PARTICIPATIVA EN LA MICROCUENCA ALTA	122
FIGURA 48. PORCENTAJES DE ÁREAS DE POSIBILIDAD DE RECARGA SEGÚN LA METODOLOGÍA R.A.S. EN LA MICROCUENCA BAJA	123
FIGURA 49. PORCENTAJES DE ÁREAS DE POSIBILIDAD DE RECARGA SEGÚN LA METODOLOGÍA R.A.S. EN LA MICROCUENCA MEDIA.....	124
FIGURA 50. PORCENTAJES DE ÁREAS DE POSIBILIDAD DE RECARGA SEGÚN LA METODOLOGÍA R.A.S. EN LA MICROCUENCA ALTA.....	125
FIGURA 51. ANÁLISIS DEL NDVI EN LA MICROCUENCA TRES RÍOS	131
FIGURA 52. ANÁLISIS DEL NDWI EN LA MICROCUENCA TRES RÍOS	132
FIGURA 53. FUENTES DE AGUA CERCANAS Y DENTRO DE LA MICROCUENCA TRES RÍOS.....	133
FIGURA 54. MAPA DE POTENCIAL DE RECARGA HÍDRICA DE LA SUBCUENCA DEL RÍO JUCUAPA ..	134
FIGURA 55. MAPA DE POTENCIAL DE RECARGA HÍDRICA DE LA SUBCUENCA DEL RÍO AYUQUILA – ARMERÍA	135

FIGURA 56. MAPA DE ALTITUDES DE LA CUENCA DEL RÍO CHAMAN.....	136
FIGURA 57. MAPA DE POTENCIAL DE RECARGA HÍDRICA DE LA CUENCA DEL RÍO CHAMÁN.....	137
FIGURA 58. COCHA CERCADA EN EL CASERÍO DE SEXEMAYO	142
FIGURA 59. ELABORACIÓN DE ZANJAS DE INFILTRACIÓN	143
FIGURA 60. VISTA PANORÁMICA DE LA MICROCUENCA TRES RÍOS.....	159
FIGURA 61. REPOSICIÓN DE AGUA EN EL ENSAYO DE INFILTRACIÓN.....	160
FIGURA 62. PREPARACIÓN DE LOS ANILLOS ANTES DEL ENSAYO DE INFILTRACIÓN	160
FIGURA 63. CONTROL DE TIEMPOS DURANTE LOS ENSAYOS DE INFILTRACIÓN.....	161
FIGURA 64. PREPARACIÓN DE LOS MATERIALES PARA LOS ENSAYOS	161
FIGURA 65. MEDICIÓN E IDENTIFICACIÓN DE LOS ESTRATOS DE SUELO DE LAS FORMACIONES	162
FIGURA 66. VISTA PANORÁMICA DE CUSHUNGA.....	162
FIGURA 67. DATOS DE PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL DE LA ESTACIÓN JESÚS	163
FIGURA 68. DATOS DE PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL DE LA MAP WEBERBAUER	164
FIGURA 69. DATOS DE PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL DE LA ESTACIÓN GRANJA PORCÓN.....	165
FIGURA 70. DATOS DE PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL DE LA ESTACIÓN LA ENCAÑADA	166
FIGURA 71. DATOS DE HUMEDAD RELATIVA MEDIA MENSUAL DE LA ESTACIÓN MAP WEBERBAUER	167
FIGURA 72. DATOS DE HORAS DE SOL DE LA ESTACIÓN MAP WEBERBAUER.....	168
FIGURA 73. DATOS DE TEMPERATURA MÁXIMA MEDIA MENSUAL DE LA ESTACIÓN MAP WEBERBAUER	169
FIGURA 74. DATOS DE TEMPERATURA MÍNIMA MEDIA MENSUAL DE LA ESTACIÓN MAP WEBERBAUER PERIODO 1970-2023	170

FIGURA 75. DATOS DE VELOCIDAD DEL VIENTO PROMEDIO MENSUAL DE LA ESTACIÓN MAP WEBERBAUER	171
FIGURA 76. DATOS DE HUMEDAD RELATIVA MEDIA MENSUAL DE LA ESTACIÓN PORCÓN	172
FIGURA 77. DATOS DE HORAS DE SOL DE LA ESTACIÓN PORCÓN	173
FIGURA 78. DATOS DE TEMPERATURA MÁXIMA MEDIA MENSUAL DE LA ESTACIÓN PORCÓN	174
FIGURA 79. DATOS DE TEMPERATURA MÍNIMA MEDIA MENSUAL DE LA ESTACIÓN PORCÓN	175
FIGURA 80. DATOS DE VELOCIDAD DEL VIENTO PROMEDIO MENSUAL DE LA ESTACIÓN PORCÓN	176
FIGURA 81. DATOS DE PRECIPITACIÓN EN LA ESTACIÓN CHAMIS Y ALTO CHETILLA, RECOPIADO DE LA TESIS DE TERÁN G., (2014)	177
FIGURA 82 DELIMITACIÓN HIDROGRÁFICA DE LA MICROCUENCA TRES RÍOS.....	184
FIGURA 83 MAPA DE PENDIENTES DE LA CUENCA (MÉTODO RAS) DE LA MICROCUENCA TRES RÍOS	185
FIGURA 84 MAPA DE PENDIENTES DE LA CUENCA (MÉTODO PARTICIPATIVO) DE LA MICROCUENCA TRES RÍOS.....	186
FIGURA 85 MAPA DE COBERTURA VEGETAL DE LA MICROCUENCA TRES RÍOS.....	187
FIGURA 86 MAPA DE USO DE SUELOS DE LA MICROCUENCA TRES RÍOS.....	188
FIGURA 87 MAPA GEOLÓGICO DE LA MICROCUENCA TRES RÍOS	189
FIGURA 88 MAPA DEL TIPO DE SUELO DE LA MICROCUENCA TRES RÍOS.....	190
FIGURA 89 DISTRIBUCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN EN LA MICROCUENCA TRES RÍOS	191
FIGURA 90 DISTRIBUCIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN EN LA MICROCUENCA TRES RÍOS	192
FIGURA 91 ORDEN DE LA RED HÍDRICA DE LA MICROCUENCA TRES RÍOS.....	193
FIGURA 92. CLASIFICACIÓN DE LA CLASIFICACIÓN DE LA VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN EN LOS RESULTADOS DE LA METODOLOGÍA PARTICIPATIVA	194

FIGURA 93	MAPA DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL DE LA MICROCUENCA TRES RÍOS.....	195
FIGURA 94	COEFICIENTE DE INFILTRACIÓN DE LA MICROCUENCA TRES RÍOS.....	196
FIGURA 95	BALANCE CLIMÁTICO DE LA MICROCUENCA TRES RÍOS	197
FIGURA 96	RECARGA HÍDRICA DE LA MICROCUENCA TRES RÍOS	198
FIGURA 97	ZONAS DE RECARGA HÍDRICA SEGÚN LA METODOLOGÍA PARTICIPATIVA.....	199
FIGURA 98.	CLASIFICACIÓN ALTITUDINAL DE LA MICROCUENCA TRES RÍOS	200

LISTA DE ECUACIONES

ECUACIÓN 1 BALANCE CLIMÁTICO	22
ECUACIÓN 2 COEFICIENTE DE INFILTRACIÓN	22
ECUACIÓN 3 RECARGA ACUÍFERA.....	23
ECUACIÓN 4 ZONAS DE RECARGA HÍDRICA.....	32
ECUACIÓN 5 VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN.....	36
ECUACIÓN 6 COEFICIENTE A DE INFILTRACIÓN.....	37
ECUACIÓN 7 COEFICIENTE B DE INFILTRACIÓN	38
ECUACIÓN 8 INFILTRACIÓN INSTANTÁNEA	38
ECUACIÓN 9 TIEMPO DE INFILTRACIÓN BÁSICA	38

LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS USADAS

- CROPWAT:** Crop Water Requirements
- ETo:** Evapotranspiración de referencia
- GIRH:** Gestiona integrada de recursos hídricos
- Ic:** Índice de concentración
- INEI:** Instituto nacional de estadística e informática
- INGEMET:** Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico
- MINEDU:** Ministerio de educación
- MTC:** Ministerio de transportes y comunicaciones
- RAS:** Recarga de agua subterránea
- SENAMHI:** Servicio nacional de meteorología e hidrología
- SIG:** Sistemas de información geográfica
- WEAP:** Water evaluation and planning system
- ZEE:** Zonificación Ecológica y Económica

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo identificar las zonas de recarga hídrica en la microcuenca Tres Ríos, ubicada en la región Cajamarca, mediante la aplicación y comparación de dos metodologías: la metodología participativa y la metodología RAS, ambas fueron validadas con ensayos de infiltración en campo, ejecutados en distintos puntos estratégicos de la microcuenca, y complementadas con el análisis de imágenes satelitales. El estudio fue de tipo aplicado, experimental, descriptivo y transversal. Se recopilaron variables como uso del suelo, cobertura vegetal, geología, topografía y datos meteorológicos, las cuales fueron procesadas en un entorno de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para la elaboración de mapas temáticos de recarga hídrica, clasificados en cinco categorías: muy baja, baja, moderada, alta y muy alta. Los resultados evidencian que las zonas de mayor recarga se concentran en altitudes entre 3617 y 4000 m.s.n.m., con pendientes moderadas, cobertura tipo pajonal andino y presencia de formaciones geológicas permeables, por el contrario, las zonas de menor recarga se ubican entre los 2850 y 3216 m.s.n.m., con suelos menos permeables, cobertura reducida y alta intervención antrópica. Según la metodología RAS, predominan las zonas de recarga muy baja (31.37 km²), mientras que solo 0.26 km² fueron clasificadas como de recarga muy alta, en cambio, la metodología participativa identificó mayor área con potencial de recarga moderada (20.34 km²), alta (3.72 km²) y redujo significativamente la categoría muy baja (1.27 km²). Si bien ambas metodologías presentan diferencias, la metodología participativa fue la que mejor se ajustó a los resultados observados en campo, representando con mayor precisión las condiciones reales de infiltración en la microcuenca

Palabras clave: Recarga hídrica, metodología RAS, metodología participativa, microcuenca Tres Ríos, infiltración del suelo.

ABSTRACT

This research aimed to identify groundwater recharge zones in the Tres Ríos micro-watershed, located in the Cajamarca region, through the application and comparison of two methodologies: the participatory methodology and the RAS methodology. Both were validated through field infiltration tests conducted at strategic points within the micro-watershed and complemented by the analysis of satellite imagery. The study is applied, experimental, descriptive, and cross-sectional in nature. Variables such as land use, vegetation cover, geology, topography, and meteorological data were collected and processed using Geographic Information Systems (GIS) to develop thematic maps of recharge potential, classified into five categories: very low, low, moderate, high, and very high. The results show that the highest recharge potential areas are located at elevations between 3617 and 4000 m a.s.l., with moderate slopes, Andean grassland vegetation, and the presence of permeable geological formations. In contrast, lower recharge potential areas are found between 2850 and 3216 m a.s.l., characterized by less permeable soils, reduced vegetation cover, and higher anthropogenic intervention. According to the RAS methodology, most of the evaluated area (31.37 km²) was classified as having very low recharge potential, with only 0.26 km² considered very high. On the other hand, the participatory methodology identified larger areas with moderate (20.34 km²) and high (3.72 km²) recharge potential, and significantly reduced the very low category (1.27 km²). Although both methodologies showed differences, the participatory methodology best reflected the field observations, more accurately representing the actual infiltration conditions in the micro-watershed.

Keywords: Groundwater recharge, RAS methodology, participatory methodology, Tres Ríos micro-watershed, soil infiltration.

CAPITULO I. INTRODUCCIÓN

Planteamiento del problema

Contextualización

El agua es un recurso de vital importancia para la humanidad y ocupa un lugar prioritario en las políticas ambientales de los países, ya que su disponibilidad afecta directamente la seguridad alimentaria, energética y social (FAO, 2020). La gestión del recurso hídrico involucra múltiples sectores: institucional, económico, ambiental y social, y requiere marcos regulatorios robustos para asegurar su sostenibilidad, especialmente en territorios como los Andes peruanos donde predominan actividades dependientes del agua subterránea (UNESCO-WWAP, 2021)

Una de las claves para la gestión sostenible del agua subterránea es la correcta identificación de las zonas de recarga hídrica. Estas zonas permiten la infiltración del agua de lluvia hacia los acuíferos y constituyen una fuente natural de almacenamiento para tiempos de escasez. En los últimos años, diferentes metodologías han sido desarrolladas a nivel internacional para identificar estas áreas, como la separación de hidrogramas (Killiam et al., 2021), la isotopía ambiental y los modelos de flujo subterráneo aplicados en cordilleras de alta montaña (Alvarez y otros, 2022), técnicas participativas (Moncada y otros, 2022) , así como también, se usan teledetección mejorada con algoritmos (Zhou y otros, 2022).

Entre los métodos más difundidos a nivel internacional destaca el modelo empírico de Maxey–Eakin, desarrollado en regiones áridas de Nevada (EE.UU.), que relaciona la recarga con variables como precipitación, tipo de suelo y altitud, mediante mapas temáticos. Aunque su aplicación requiere calibración local, su utilidad ha sido validada en regiones semiáridas y tropicales, sin embargo, evaluaciones recientes han validado su utilidad, siempre y cuando los

coeficientes se ajusten con datos locales de precipitación y caudal base (Stevens & Umstot, 2019)

En América Latina, múltiples experiencias demuestran la adaptabilidad de estas metodologías a contextos de escasos recursos y elevada diversidad geográfica. En la cuenca del río Ayuquila–Armería, en México, se utilizó un análisis multicriterio con SIG y teoría de sistemas de flujo para generar mapas de zonas potenciales de recarga, integrando variables como pendiente, uso del suelo, geología y precipitación Hernández et al. (2020). De manera similar, en Bolivia, Moncada, et al. (2022) implementaron planes maestros de cuenca mediante herramientas participativas, cartografía comunitaria y modelado geoespacial (con WEAP), demostrando que la combinación entre conocimiento local y tecnología mejora la identificación y priorización de áreas críticas de recarga.

En Perú, el uso de teledetección con imágenes satelitales, ha cobrado relevancia regional. Las imágenes Landsat 8, por ejemplo, permiten analizar la cobertura vegetal y la humedad del suelo, factores clave para evaluar la capacidad de infiltración. Estas herramientas, combinadas con algoritmos de clasificación como árboles de decisión, han demostrado ser útiles en entornos con limitaciones de datos como es el caso de la cuenca del Río Chaman (Cusquisiban, 2019)

A pesar de estos avances metodológicos, muchas regiones andinas siguen enfrentando serias dificultades. En particular, Cajamarca presenta una situación crítica. Las principales causas del deterioro de sus zonas de recarga incluyen el crecimiento urbano desordenado, el cambio de uso del suelo, la deforestación, la agricultura intensiva y la compactación del terreno (Intriago y otros, 2023). Estas actividades han reducido la capacidad de infiltración, aumentando la escorrentía superficial y disminuyendo la recarga natural de los acuíferos. Los efectos de esta situación son múltiples: reducción del caudal base en fuentes naturales, agotamiento progresivo

de manantiales, disminución de la disponibilidad de agua para consumo humano y agrícola, y mayor vulnerabilidad frente a sequías prolongadas. Estas condiciones afectan especialmente a zonas rurales, donde el 76,6 % del área agrícola se cultiva bajo condiciones de secano y el 67,3 % de la población se dedica a actividades agropecuarias (INEI, 2021).

En este escenario, Cajamarca, caracterizada por su elevada variabilidad altitudinal, conflictos entre usuarios de la parte alta y baja de las cuencas, y una creciente presión sobre los recursos hídricos, aún carece de una delimitación técnica adecuada de las zonas de recarga a nivel local. Esta limitación impide la implementación de estrategias efectivas de conservación y gestión del agua. Particularmente, la microcuenca Tres Ríos, donde se enfoca esta investigación, es una de las fuentes que alimenta la bocatoma El Ronquillo, infraestructura clave que capta y conduce el agua destinada al abastecimiento de parte de la población urbana de Cajamarca. El deterioro de las zonas de recarga en esta cuenca comprometería no solo la sostenibilidad del recurso en la parte alta, sino también el abastecimiento hídrico de sectores urbanos que dependen de este sistema.

Por ello, la presente investigación propone aplicar y contrastar metodologías reconocidas internacionalmente como la metodología participativa y la estimación de recarga de agua subterránea, con el objetivo de fortalecer el conocimiento técnico local e identificar áreas prioritarias para la conservación hídrica y aportar a una gestión integrada y sostenible del recurso.

Descripción del problema

En la región de Cajamarca, aproximadamente el 42.3% del territorio está destinado a actividades agropecuarias. De esta superficie, el 76.6% del área agrícola se cultiva bajo condiciones de secano, es decir, dependiendo exclusivamente de las lluvias estacionales. Además, el 67.3% de la población habita en zonas rurales y se dedica a actividades agropecuarias (INEI, 2021). Esto refleja la importancia de esta actividad económica en la región. Sin embargo, este escenario también resalta la necesidad de estrategias eficaces para la conservación y aprovechamiento del recurso hídrico, entre las cuales destaca la identificación de zonas de recarga como una prioridad clave.

Por otro lado, la disponibilidad de agua para uso urbano en la ciudad de Cajamarca está enfrentando una situación insostenible debido al rápido crecimiento poblacional. Las fuentes actuales de agua, provenientes de las cuencas de los ríos Grande, Porcón y Tres Ríos, no son suficientes para satisfacer la demanda creciente. Ante este contexto, es importante identificar nuevas fuentes de agua o mejorar la gestión de las existentes, entre las estrategias necesarias se incluyen conservación de suelos, reforestación, recarga artificial de acuíferos y la identificación de zonas de recarga, en particular esta última, es esencial para una gestión hídrica sostenible, ya que estas áreas permiten la infiltración de agua en los acuíferos, garantizando una mayor disponibilidad en tiempos de escasez (Noriega-Puglisevich, 2024)

Las zonas de recarga desempeñan un papel fundamental en la implementación de estrategias de protección y conservación del recurso hídrico. El deterioro de estas áreas, junto con la disminución de los caudales base, se debe en gran medida a la falta de información precisa sobre su ubicación, asimismo, los actores locales y las entidades responsables del manejo de las cuencas carecen de metodologías prácticas adecuadas para caracterizar y proteger estas áreas

críticas tal como lo señalan estudios recientes, la ausencia de datos hidrogeológicos confiables como la geometría del acuífero, los niveles de agua subterránea y la ubicación de zonas potenciales de recarga dificulta una implementación efectiva de estrategias de conservación (Alemayehu y otros, 2023). Además, se ha identificado una carencia de metodologías estandarizadas que integren múltiples factores para evaluar el potencial de recarga hídrica, especialmente a nivel local. (Nawaz y otros, 2024).

En este sentido, la metodología participativa creada por Matus Silva (2007), que pondera variables como pendiente, uso del suelo, tipo de suelo, tipo de roca y cobertura vegetal, combinada con talleres comunitarios, sigue vigente y ha sido adaptada recientemente en contextos andinos como en las investigaciones de Guiterrez & Rosas (2024) Y Peña & Soria, (2021). A medida que la demanda de recursos hídricos aumenta, las zonas de recarga adquieren una relevancia estratégica creciente, no obstante, su deterioro persiste debido a la falta de metodologías efectivas para identificarlas con precisión

En la mayoría de las cuencas y microcuencas de Cajamarca, la identificación de estas zonas sigue siendo una tarea pendiente. Esta identificación implica determinar las áreas donde el agua de lluvia y otras precipitaciones se infiltran en el suelo y recargan los acuíferos subterráneos, un proceso vital para el abastecimiento de agua potable. La capacidad de recarga depende de la interacción entre la vegetación, la topografía y el régimen de lluvias. Para ello, se utilizan herramientas como sistemas de información geográfica, modelos hidrológicos y metodologías que involucran a actores locales (Cusquisiban, 2019)

Sin embargo, diversas actividades como la agricultura extensiva, la ganadería sin manejo, la producción forestal y el crecimiento urbano alteran las zonas de recarga hídrica, dificultando la infiltración de agua. Prácticas como la erosión, la compactación del suelo, la

impermeabilización y la exposición del suelo, incrementan la escorrentía superficial, disminuyendo así la recarga de los acuíferos (Vanacker y otros, 2022). La identificación de las principales zonas de recarga en la microcuenca Tres Ríos tiene como objetivo proporcionar herramientas que contribuyan a reducir el deterioro de los recursos naturales causado por el mal uso de la tierra. La identificación busca promover el cuidado y la sostenibilidad del recurso hídrico.

Formulación del problema

¿Cuál es la metodología más adecuada para identificar las zonas de recarga hídrica en la microcuenca Tres Ríos?

Justificación e importancia

Justificación

Uno de los problemas más relevantes en los últimos años es el de desabastecimiento del recurso hídrico para las actividades humanas como: Consumo poblacional, agricultura, ganadería, uso recreacional, uso industrial, etc., razón por la cual es de suma importancia identificar las zonas de recarga hídrica en las cuencas hidrográficas para su conservación y protección de las mismas, a la vez que se puedan formular estrategias de manejo más efectivas para alcanzar un desarrollo sostenible.

La justificación de efectuar la presente investigación recae en la identificación de las zonas de recarga de la microcuenca Tres Ríos utilizando dos metodologías que se pueden aplicar en zonas con pocos recursos económicos, como lo es la gran mayoría de cuencas del territorio peruano, esta investigación también será relevante para el diseño y la implementación de programas de educación y concientización sobre la importancia de las zonas de recarga y las prácticas sostenibles en la zona, esto puede incluir la promoción de prácticas agrícolas más sostenibles, la reforestación de áreas degradadas y la adopción de medidas de conservación del suelo.

A su vez, se seleccionaron específicamente la metodología de Recarga de Agua Subterránea (R.A.S.) y la metodología participativa debido a que ambas permiten ser implementadas en contextos de limitados recursos técnicos y financieros, como el que presenta la

microcuenca Tres Ríos. La metodología RAS ofrece una evaluación cuantitativa basada en variables hidrometeorológicas y edáficas que permite identificar zonas de recarga con base técnica y reproducible. Por otro lado, la metodología participativa incorpora el conocimiento local y comunitario, integrando aspectos sociales y culturales que muchas veces no son considerados en métodos puramente técnicos. Esta combinación permite no solo obtener una visión más integral del fenómeno de la recarga hídrica, sino también promover una apropiación comunitaria del territorio y sus funciones ecosistémicas, aspecto fundamental para la gestión sostenible del recurso hídrico en zonas rurales altoandinas.

Finalmente, el presente estudio también puede servir como modelo para otras zonas con problemáticas similares, muchas regiones del país y del mundo que se enfrentan a desafíos similares en cuanto a la protección y conservación de las zonas de recarga, por lo tanto, los resultados de esta investigación pueden ser aplicados en otras regiones y contribuir a la gestión sostenible del agua a nivel global.

Para la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, como fuente de información, en su compromiso de promover investigaciones que sean capaces de impulsar a la investigación y solucionar los problemas presentes en la sociedad actual

Importancia

La investigación es de gran importancia al centrarse en la identificación de las zonas de recarga de agua, un conocimiento fundamental para la gestión efectiva y conservación de los recursos hídricos. Entender cómo y dónde ocurre la recarga permite profundizar en el ciclo del agua en áreas específicas, lo cual es clave para garantizar la disponibilidad de este recurso a largo plazo. Además, mapear estas zonas es vital para proteger los acuíferos, ya que previene riesgos de desaparición, contaminación y sobreexplotación, asegurando que estas zonas continúen siendo una fuente segura y sostenible.

Los hallazgos de esta investigación no solo contribuirán al desarrollo de políticas locales de manejo del agua más eficientes, sino que también proporcionarán una base sólida para proyectos de restauración y conservación ambiental. Esto es especialmente relevante para las comunidades, entidades y gobiernos locales; que dependen de estos recursos para satisfacer sus necesidades básicas y económicas, brindándoles herramientas para tomar decisiones más informadas. Así, se contribuye a la creación de un futuro más sostenible y resiliente en términos de acceso y calidad de agua para las generaciones presentes y futuras.

Delimitación de la investigación

Delimitación espacial

La presente investigación centra su estudio en la microcuenca Tres Ríos la cual abarca: centro poblado de Chamis, Corizorgona, Collpayoj y parte del Ronquillo que estas ubicados en el distrito de Cajamarca, Region Cajamarca, al Noroeste de la ciudad de Cajamarca con un área aproximada de 41.65 km² y a una elevación de 2800 a 3800 m.s.n.m.

Departamento: Cajamarca

Provincia: Cajamarca

Distrito: Cajamarca

Delimitación temporal

La tesis corresponde a la línea transversal y se recolectó la información en diferentes tiempos que están dentro del cronograma del proyecto de tesis. (Tabla 53 – Anexo IV)

Delimitación metodológica

La presente investigación se desarrolló aplicando los procedimientos propuestos por el ingeniero hidrogeólogo Junker (2005) para la metodología R.A.S., y por Matus Silva (2007) para la metodología participativa, presentada al CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). Ambos enfoques están orientados a la identificación de zonas de recarga hídrica en cuencas hidrográficas y, a pesar de no ser recientes, siguen siendo ampliamente utilizados y referenciados en estudios actuales debido a su pertinencia, aplicabilidad y ausencia de versiones más actualizadas en el contexto latinoamericano. Su uso se justifica por su solidez metodológica y porque abordan integralmente tanto factores físicos como sociales del territorio.

Delimitación temática

La investigación se centra en la determinación y mapeo de las zonas con potencial recarga hídrica según la metodología participativa y la metodología de recarga de agua subterránea.

Limitaciones

El principal limitante del desarrollo de esta investigación fue la poca colaboración de los actores locales de la microcuenca Tres Ríos ya que en algunos casos no quisieron brindar un espacio para realizar los ensayos de infiltración, ni tampoco información acerca de las fuentes de agua o datos personales, esto debido a la desconfianza y al problema social existente entre ellos y la posible actividad minera cercana, sin embargo si hubieron algunos que gustosamente nos brindaron los medios y dieron información relevante para esta investigación.

Objetivos

Objetivo General

- Evaluar metodologías para la identificación de zonas de recarga hídrica en la microcuenca Tres Ríos, Cajamarca, Perú.

Objetivos Específicos

- Caracterizar la microcuenca Tres Ríos en función de su topografía, geología, cobertura vegetal, uso y tipo de suelo.
- Evaluar los factores relevantes para estimar las zonas de posibilidad de recarga hídrica mediante el método participativo y de recarga de agua subterránea
- Evaluar la metodología R.A.S. aplicada a la identificación de zonas de recarga hídrica en la microcuenca Tres Ríos

- Evaluar la metodología participativa aplicada a la identificación de zonas de recarga hídrica en la microcuenca Tres Ríos
- Realizar ensayos de infiltración en diferentes puntos de la microcuenca para estimar la efectividad de la recarga hídrica.
- Contrastar los resultados de campo con las metodologías participativa y R.A.S.
- Elaborar mapas temáticos mediante sistemas de información geográfica (SIG) para identificar las zonas de recarga hídrica identificadas en la microcuenca Tres Ríos.

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

Antecedentes de la investigación o marco referencial

Antecedentes internacionales

Matus Silva (2007), en su investigación, *Elaboración participativa de una metodología para la identificación de zonas potenciales de recarga hídrica en subcuencas hidrográficas*, aplicada a la subcuenca del río Jucuapa, Matagalpa Nicaragua Turrialba – Costa Rica, concluyó que el uso de herramientas participativas como lo son: mapeos de recursos naturales y matriz de evaluación de los recursos naturales, como resultado se obtuvo que tanto los métodos técnicos-científicos como el de los actores locales, no existen diferencias significativas para la identificación de las zonas de recarga hídrica. Finalmente, el autor sugiere estrategias y acciones para el manejo adecuado y sostenible de zonas de recarga hídrica. Metodología que adaptada en diversas investigaciones recientes en contextos andinos, rurales y urbanos, lo que demuestra su vigencia y utilidad. Por ejemplo, fue aplicada en la cuenca del río Lurín, Lima, para evaluar zonas de recarga en escenarios de expansión urbana (Peña & Soria, 2021); en la microcuenca río Grande en Cajamarca, para integrar conocimiento técnico con percepción comunitaria (Guitierrez & Rosas, 2024); y en planes de ordenamiento territorial hídrico en Bolivia (Moncada y otros, 2022).

Chamorro & Rosales (2017), en su estudio, *Identificación y caracterización de Las zonas de recarga hídrica mediante herramientas SIG de los acuíferos La Carbonería, Guaraczapas, Yuyucocha y Santa Clara para la protección de las fuentes de aprovisionamiento de agua en la zona urbana de Ibarra, Ibarra – Ecuador*, dentro de sus conclusiones menciona que la actividad agropecuaria es fundamental en el desarrollo productivo, social y económico de la población y que está directamente relacionada con los sistemas hídricos, además que la mayor parte de

recarga hídrica se encuentra en la parte alta y media de la cuenca, ya que es en estas áreas donde se encuentran cubiertas por vegetación de bosque nativo y matorrales, además que su precipitación media anual es superior a 1000 mm.

Ramón (2015), en su investigación, Estimación de la fracción de agua de evento y pre evento que aportan al caudal, mediante el uso de isótopos estables, en la cuenca del Río Zhurucay, Cuenca – Ecuador, señaló que, la información hidrológica relacionada al ámbito social, económico y ambiental presentan muchos beneficios, es así que considera la estimación de la fracción de agua que aportan a los fuentes de agua de escorrentía durante las precipitaciones, los resultados de esta investigación fueron muy relevantes ya que se pudo notar que la lluvia es un factor predominante para que los suelos Andosoles y Histosoles permiten tanto una fracción de escorrentía como otra de infiltración.

Antecedentes Nacionales

Layten Vera & Santi Morales (2021), en su estudio, Identificación de zonas de recarga hídrica de la subcuenca del Río Santa Eulalia mediante la metodología RAS, Lima – Perú, concluyeron que, su investigación se centra en identificar las zonas de recarga hídrica potencial es por ello que optan por utilizar el método RAS el cual se aplicó en la cuenca del río Eulalia donde tuvieron diferentes caracterizaciones: hidrológica, topográfica, de uso de suelo, coeficiente de pendientes, coeficientes de uso de suelo, coeficientes de infiltración y con todo ello se calculó a recarga hídrica potencial, dando como resultado una serie de mapeos los cuales arrojaron que en la parte alta se daba la mayor recarga hídrica.

Ricce & Robles (2014), en su investigación, Evaluación de la disponibilidad de Recursos Humanos Superficiales y Estrategias de Gestión Sostenible en La Microcuenca Rio Negro – Satipo, Satipo – Perú, afirmaron que los recursos hídricos de la microcuenca Rio Negro, se

encuentran afectados debido a la creciente del recursos hídrico, crecimiento territorial, hábitos alimenticios, cambio climático, impacto poblacional negativo y una mala gestión de los recursos hídricos, es por ello que se realizó la investigación utilizando una metodología con enfoque de cuencas, obteniendo resultados como la oferta y demanda del agua en la misma, propusieron una gestión integrada del recurso hídrico para regular la oferta y demanda, una promoción de cultura del agua además de tener en cuenta métodos de como conservar los ecosistemas de los recursos hídricos.

Antecedentes locales

Cusquisiban (2019), en su estudio, ubicación de zonas de recarga hídrica usando imágenes Landsat 8 mediante el método de árbol de decisiones en la cuenca del Río Chamán, Cajamarca y La Libertad-Perú, Cajamarca – Perú, mencionó que, las zonas de recarga hídrica favorables y moderadamente favorables que se pudieron identificar utilizando imágenes LANDSAT 8 mediante la metodología del árbol de decisiones en la cuenca del río Chamán, Cajamarca, se corroboró con las imágenes con los 1021 pozos de agua subterránea inventariados por INGEMMET (2015) donde 805 de ellos representan la clase de recarga hídrica favorable, además concluye que, las zonas altas o cabeceras de cuenca no son siempre las zonas de mayor producción hídrica, sino que en muchos casos son las zonas bajas o valles, quienes registran la mayor cantidad de zonas de recarga hídrica en el valle con elevaciones entre 0 a 1000 msnm.

En la cuenca del río Rejo, cercana a la ciudad de Cajamarca, (Bringas, 2024) realizó un estudio con el objetivo de identificar las zonas de recarga hídrica y su relación con el cambio de uso del suelo entre los años 2011 y 2020, utilizando la metodología participativa basada en la ecuación de Matus (2009) y análisis espaciales con SIG, se evidenció que, aunque los cambios generales en la capacidad de recarga fueron moderados, se produjo una reducción significativa en

las áreas con recarga alta (-251.87 ha) y un incremento en las de recarga muy baja (+12.75 ha). El estudio concluye que existe una relación directa entre las zonas de recarga y el cambio de uso del suelo, siendo las actividades extractivas una de las principales causas de la disminución de la capacidad de infiltración en la cuenca.

Bases Teóricas

Identificación de zonas de recarga hídrica

Recarga Hídrica

Se refiere a un proceso natural, el cual se caracteriza porque el agua que procede de las precipitaciones es incorporada al subsuelo, a las aguas superficiales, a otros acuíferos y cuerpos de agua que son estáticos o están en movimiento, por tanto, el área donde habitualmente ocurre este proceso con mayor intensidad respecto a otros lados, se denomina zona o sitio de recarga hídrica. Las cuencas hidrográficas tienen sitios o zonas específicas donde la recarga ocurre de manera más eficiente que otras. (AGRECOL, 2019)

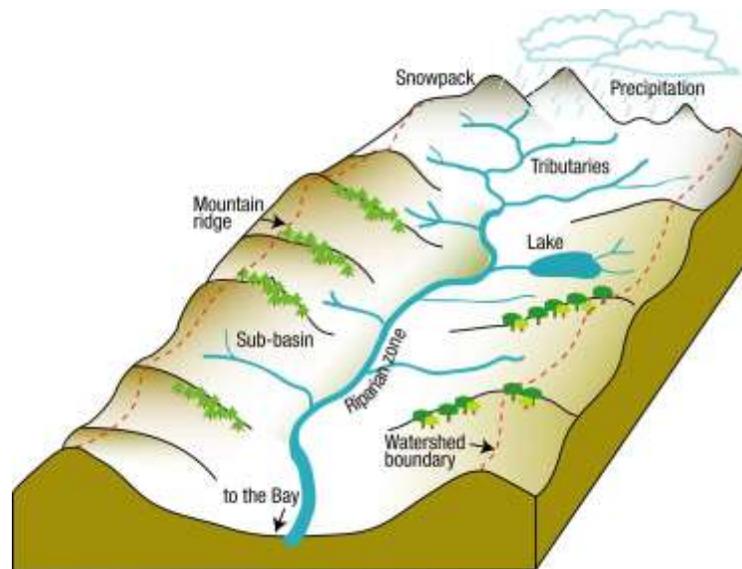
Cuenca Hidrográfica

Una cuenca hidrográfica se define tradicionalmente como un área delimitada topográficamente por divisorias, dentro de la cual el agua drena hacia un único punto de salida, generalmente un río o un lago. Sin embargo, este enfoque ha evolucionado y se entiende hoy como un sistema socio-hidrológico complejo: un territorio que combina procesos hidrológicos, sociales, políticos e institucionales interconectados, esto ha sido evidenciado en estudios recientes por Forsyth et al. (2024), donde proponen que: “Una cuenca articula personas, lugares y cosas hidrológicamente conectados; las actividades en cada punto impactan aguas abajo y también son influenciadas por lo que ocurre en puntos aguas arriba”

Además, estudios recientes muestran cómo los enfoques socio-hidrológicos han aplicado marcos integrados para analizar sistemas de agua dentro de contextos urbanos y rurales. Zhang & Chui (2025), desarrollaron un modelo multiagente para evaluar infraestructuras verdes y la gestión del agua a diferentes escalas territoriales, señalando la importancia de considerar flujos naturales, estructuras construidas y dinámicas sociales en la gestión de cuencas.

Figura 1

División de una cuenca hidrográfica



Nota. Fuente (South River Watershed, 2025)

Cuenca Hidrológica

Una cuenca hidrológica es una unidad territorial delimitada por divisorias de agua, donde ocurren procesos de almacenamiento, flujo y salida conjunta del agua hacia un punto común como un río, lago o acuífero a través de redes de drenaje. Además, incluye ecosistemas terrestres (bosques, pastizales) y acuáticos (ríos, humedales), lo que la convierte en la unidad funcional básica para la gestión integrada del recurso hídrico (SEMARNAT, 2018)

Figura 2

División hidrográfica e Hidrológica de la cuenca



Nota. Fuente (Aquetong Watershed Association, 2019)

Método de recarga de agua subterránea (RAS)

Según Junker (2005), la metodología RAS, es un método científico – teórico que se utiliza para elaborar el mapa de la recarga de agua subterránea, puede aplicarse como una herramienta en el apoyo de toma de decisiones en la protección y el manejo sostenible del recurso hídrico, y también, en el ordenamiento territorial, en base a datos y mapas se puede llegar a determinar efectuando algunos cálculos un mapa de recarga de agua subterránea (acuífero), con valores cuantitativos (mm/año). Dicha metodología ha sido adoptada exitosamente por diversos investigadores en los últimos años. Por ejemplo, (Tleane & Ndambuki, 2019), aplicaron RAS utilizando SIG y análisis de niveles freáticos en una zona semiárida de Sudáfrica, estimando una recarga promedio de 12 mm/año. Asimismo, (Sivakumar y otros, 2019) (en la cuenca Amaravathi, India) utilizaron teledetección y SIG para mapear zonas

de recarga, siguiendo el enfoque cuantitativo de Junker. Más recientemente, en la investigación de (Qasmieh y otros, 2023), emplearon la metodología RAS en Jordania, combinando SIG con análisis multicriterio y validando sus resultados con datos de pozos y modelado hidrológico. Por tanto, se puede afirmar que la metodología RAS continúa vigente, siendo utilizada, aunque en algunos casos con combinaciones o mejoras en investigaciones orientadas a la gestión del agua subterránea.

En la identificación de zonas de recarga hídrica ayuda en la protección y conservación de los acuíferos que pueden ser afectados por contaminación o deterioro. La recarga de agua subterránea, obtenido con este método, proporciona un valor teórico y aproximado sin tener en cuenta procesos como los flujos laterales y circulares en la zona no saturada, tampoco se tiene en cuenta las actividades antropogénicas como la extracción mediante pozos, bombeos o drenajes superficiales, diques, represas, etc. El agua subterránea según el modelo de Junker (2005), depende de varios factores, entre los principales destacan:

- Precipitación.
- Evaporación/Transpiración.
- Geología, textura del subsuelo.
- Vegetación.
- Uso del suelo.
- Topografía.
- Profundidad hacia el acuífero.

Cálculo del “RAS”

El método RAS se entiende como una aproximación a la realidad y es una metodología que no necesita de muchos datos detallados, utiliza datos existentes y accesibles, como por ejemplo la geología que es un dato fundamental que en los países que cuentan con suelos de origen volcánico influye mucho sobre la recarga hídrica, tal es así que el agua superficial y la infiltración suelen entrar a través de las fracturas y fallas tectónicas en el subsuelo. El desarrollo de la metodología RAS Junker (2005), comprende:

- a. **Determinación de la distribución de las precipitaciones (P)**
- b. **Elaboración de un mapa de la distribución de la Evapotranspiración real (ET real)**
- c. **Elaboración de un mapa de pendientes**, cuyos valores estén en porcentaje, Este mapa clasifica a 6 diferentes zonas con rangos de pendientes como se muestra a continuación.

Tabla 1

Tabla del valor de k_p para el tipo de pendiente

Por pendiente	k_p	Profundidad hacia agua subterránea
Muy plano	0.40	
< 15%	0.15	2 1 m.
15-30 %	0.10	
30- 50 %	0.07	< 1m.
50-70 %	0.05	Tejido urbano cerrado, zonas comerciales, etc.
> 70 %	0.01	

Nota. Tabla adaptada (Junker, 2005), k_p representa el coeficiente de pendiente

d. **Elaboración de un mapa de uso de suelos**, se clasifican la transpiración vegetal con coeficientes **kv**, se tiene la siguiente tabla

Tabla 2

Tabla del valor de kv para el tipo de cobertura vegetal

Por cobertura vegetal	kv
Cuerpos de agua	0.00
Salinera	0.05
Playa, duna y arena	0.07
Pasto natural, zonas discontinuas, caña, grano básico, etc.	0.10
Confieras, palmeras, zonas urbanas verdes, vegetación arbustiva, zonas comerciales, aeropuertos, etc.	0.15
vegetación arbustiva, zonas comerciales, tejido urbano, aeropuertos, etc.	0.18
Bosque de café	0.19
Bosques, lava creciente, etc.	0.20
Vegetación esclerófila o espinoso	0.30

Nota. Tabla adaptada (Junker, 2005), kv representa el coeficiente de cobertura vegetal

- e. **Determinación del coeficiente de tipo de suelo (kfc)**, se determinan los grupos de suelos respecto a su textura, origen y estado de consolidación

Tabla 3

Tabla del valor de kfc para el tipo de textura de suelo

Por textura del suelo	kfc
Suelos arcillosos, Zonas urbanas, suelos compacto impermeable	0.10
Suelos de combinación de limo y arcilla, litosoles y regosoles de valle	0.15
Suelo arenoso, recientes, suelos de cauce de ríos, suelos no muy compactos	0.20

Nota. Tabla adaptada (Junker, 2005), kfc representa el tipo de suelo

- f. **Realización de un balance climático (BC)**, se realiza utilizando los mapas de isolíneas de precipitaciones y de la evaporación con la siguiente formula:

Ecuación 1 Balance climático

$$BC = P - ET$$

Bc = Balance climatico

P = Precipitacion

ET = Evapotranspiración

- g. **Coeficiente de infiltración (C)**, es un valor relativo, adimensional, que expresa para una zona definida la infiltración potencial en una zona, el coeficiente “C” puede llegar a un valor máximo de 0.9 y se define como:

Ecuación 2 Coeficiente de infiltración

$$C = (kp + kv + kfc)$$

Donde los valores corresponden:

C: Coeficiente de infiltración.

kp: Fracción que infiltra por efecto de la pendiente.

kv: Fracción que infiltra por efecto de la cobertura vegetal.

kfc: Fracción que infiltra por efecto de textura del suelo.

h. Cálculo de la recarga acuífera (R), es definida por la siguiente ecuación:

Ecuación 3 Recarga acuífera

$$R = C * BC$$

Donde los valores corresponden:

R: Recarga acuífera (mm/año).

C: Coeficiente de infiltración.

BC: Balance climático.

Metodología para la identificación participativa de zonas potenciales de recarga hídrica

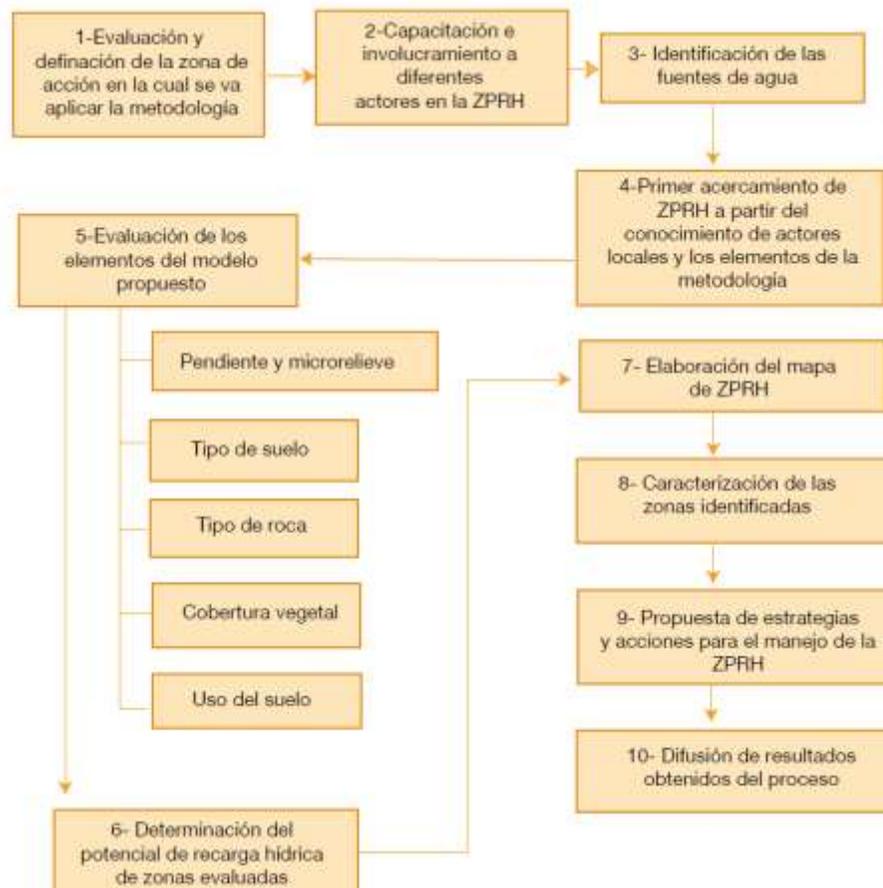
Según las investigaciones de Matus et al. (2007), plantearon realizar una metodología practica y simple que necesita de los pobladores locales para identificar zonas de recarga hídrica, la metodología se basa en el conocimiento técnico y científico con la información, conocimiento y experiencia local de las comunidades y que sea de bajo costo para las mismas. El desarrollo de esta metodología incluye la realización de talleres con la comunidad en donde se pueden desarrollar herramientas participativas (mapeo de recursos naturales, lluvia de ideas, trabajos grupales, etc.), esta metodología se basa principalmente en el análisis y evaluación practica en

campo de cinco elementos fundamentales: pendiente, microrelieve, tipo de suelo, tipo de roca, cobertura vegetal y uso de suelo.

La guía metodología propuesta para la identificación de zonas potenciales de recarga hídrica se caracteriza por la secuencia de 10 pasos esquematizados a continuación:

Figura 3

Pasos para la identificación de zonas potenciales de recarga hídrica



Nota. Flujograma recopilado de (Matus y otros, 2009)

Según Matus et al. (2009) los pasos a seguir para utilizar esta metodología de manera ordenada son:

Evaluación y definición de las zonas en donde se va a aplicar la metodología.

En este paso, se busca evaluar la posibilidad y/o viabilidad de aplicar la metodología en un determinado lugar para definir la microcuenca o subcuenca donde se aplicará la metodología, esta evaluación permite determinar la o las microcuencas prioritarias donde se pueden implementar medidas correctivas de manejo, ordenamiento o gestión de las mismas.

Capacitación y participación de los diferentes actores locales.

Las personas que viven en las comunidades son los que se buscan dar a conocer y se familiarizar con los conceptos y elementos básicos necesarios para la identificación de zonas potenciales de recarga hídrica, así mismo se le debe alentar a compartir sus conocimientos y experiencias con respecto al tema del agua.

Identificación y ubicación de fuentes de agua.

En el mapa de la comunidad se identifica las principales fuentes de agua como: pozos, manantiales, ojos de agua, etc. Todo ello con la ayuda de los actores locales que participan en la aplicación de la metodología, para este paso se es necesario georreferenciar cada una de las fuentes de agua identificadas, eso es importante ya que el agua se mueve de lugares de mayor presión hacia los de menor precios, y por gravedad, de las partes más altas a las más bajas.

Primer acercamiento a las zonas potenciales de recarga hídrica a partir del conocimiento y experiencia de los actores locales.

Luego de identificar y localizar las fuentes de agua, se procede a realizar un análisis teórico de las posibles zonas de recarga (en colaboración con los actores locales). Para ello se busca identificar las zonas que presenten características favorables para una zona de recarga hídrica superficial o subterránea (Pendiente suave, tipo de suelo permeable, tipo de roca porosa, buena cobertura vegetal, usos del suelo que favorecen la infiltración).

Evaluación de los elementos del modelo propuesto.

Las zonas potenciales de recarga hídrica se pueden identificar evaluando los siguientes elementos:

- Pendiente y microrelieve.
- Tipo de suelo.
- Tipo de roca.
- Cobertura vegetal.
- Uso de suelo.

Los valores ponderados para usar en la evaluación de cada elemento van de 1 a 5, donde 1 corresponde al valor más bajo, es decir, con características menos favorables para que ocurra la recarga. Se detalla cada elemento:

a. Pendiente y microrelieve.

Matus et al. (2008), afirman que este parámetro de relieve se identifican superficies planas, cóncavas y convexas, en las convexas es donde el agua puede discurrir en diferentes direcciones, en las superficies planas, el agua tiende a seguir direcciones casi paralelas y en las cóncavas se mueve al lugar de menor altitud. La pendiente es un criterio muy importante para el análisis de las zonas con potencial para la recarga hídrica, debido a que esta correlacionada con la escorrentía superficial, es así que los sitios con pendiente altas o fuertes aumenta a velocidad de escorrentía, lo cual modifica las condiciones del suelo, capacidad de recarga y susceptibilidad de erosión, de diferente manera, en pendientes suaves. El agua se mueve lentamente y permanece por más tiempo en contacto con el suelo, lo cual favorece su infiltración. La ponderación de la pendiente se emplea la siguiente tabla:

Tabla 4*Ponderación de la posibilidad de recarga hídrica según tipo de pendiente y microrelieve*

Microrelieve	Pendiente	Posibilidad de recarga	Ponderación
Plano a casi plano, con o sin rugosidad	0 - 6	Muy alta	5
Moderadamente ondulado o cóncavo	6 – 15	Alta	4
Ondulado/cóncavo	15 – 45	Moderada	3
Escarpado	45 – 65	Baja	2
Fuertemente escarpado	> 65	Muy baja	1

Nota. Tabla de microrelieve y pendientes, obtenido de (Matus y otros, 2009)**b. Tipo de suelo.**

El análisis y evaluación del tipo de suelo, es de suma importancia debido a que refleja su textura, porosidad, permeabilidad y compactación, estos son porque entre mayor sea la porosidad, el tamaño de partículas y el fisuramiento del suelo, mayor será la capacidad de infiltración. (Matus et al., 2007).

Los suelos de textura fina, arcilloso pesados y compactados, impiden o dificultan la recarga hídrica como se muestra:

Tabla 5

Ponderación de la capacidad de recarga hídrica del suelo según su textura

Microrelieve	Posibilidad de recarga	Ponderación
Suelos franco arenosos a arenosos, con tamaño de agregados o partículas de gruesos a medios, con muy rápida capacidad de infiltración (más de 25 cm/h)	Muy alta	5
Suelos francos, con partes iguales de área, limo y arcilla, con rápida capacidad de infiltración (12,7 – 25 cm/h)	Alta	4
Suelos franco limosos, con partículas de tamaño medio a finas, con moderada a moderadamente rápida capacidad de infiltración (2 – 12,7 cm/h)	Moderada	3
Suelos franco arcillosos, combinación de limo y arcilla, con partículas finas, suelos pesados, con muestras de compactación, con lenta a moderadamente lenta capacidad de infiltración (0,13 – 2 cm/h)	Baja	2
Suelos arcillosos, muy pesados, con partículas muy finas, compactados, con muy lenta capacidad de infiltración (menos de 0,13 cm/h)	Muy baja	1

Nota. Tabla de textura, obtenido de (Matus et al., 2009)

c. Tipo de roca.

Para Matus et al. (2009), el análisis y evaluación del tipo de roca ayuda a identificar si la recarga es subsuperficial (recarga hídrica) o subterráneas (Acuífero), se dice que se puede contar con los parámetros beneficiosos que son propicios para el favorecimiento de la recarga hídrica, sin embargo, si en el lugar existe una capa de material rocoso o arcilla impermeable, no habrá recarga de las aguas subterráneas si no, se formara un flujo subsuperficial con movimiento horizontal el cual alimentara a un manantial o a un río. De manera similar que el tipo de suelo, la porosidad de la roca es muy importante ya si son duras con poros finos no favorecen la recarga, muy por el contrario, las rocas suaves o permeables con macroporos y fallas o fracturas benefician la recarga de los acuíferos. Se presenta la siguiente tabla:

Tabla 6

Ponderación de la posibilidad de recarga hídrica según el tipo de roca

Rocas	Posibilidad de recarga	Ponderación
Rocas muy permeables, muy suaves, constituidas por cristales o agregados gruesos, con macroporos, interconectados; por ejemplo, arena gruesa, piedra pómez, grava o cascajo.	Muy alta	5
Rocas permeables, suaves, constituidas por cristales agregados medianos, con poros interconectados; por ejemplo, arena fina o arenisca con poca cementación	Alta	4

Rocas moderadamente permeables, semisuaves, con regular conexión entre poros	Moderada	3
Rocas poco permeables, un poco duras, moderadamente compactadas, constituidas por partículas finas, con presencia de fracturas interconectadas; por ejemplo, la combinación de gravas con arcillas	Baja	2
Rocas impermeables, duras, cementadas, compactadas, constituidas por partículas muy finas, sin presencia de fracturas	Muy baja	1

Nota. Tabla obtenida de Matus et al. (2009)

d. Cobertura vegetal permanente.

Según define Matus et al. (2007), la cobertura vegetal al espacio de suelo ocupado por comunidades vegetales permanentes, este es otro parámetro considerado en la metodología debido a que es un factor que influye en la infiltración del agua, debido a que permite un mayor contacto con el suelo, disminuye la velocidad de la escorrentía, la erosión, el impacto de la gota de lluvia y la resequedad causada por los rayos del sol, todo ello favorece a la recarga hídrica. La evaluación de la recarga hídrica puede hacerse en el campo por medio de un recorrido que nos permita determinar los diferentes usos permanentes del suelo en la zona con potencial de recarga hídrica y los estratos presentes; para ello se hace uso de la siguiente clasificación:

Tabla 7

Ponderación de la posibilidad de recarga hídrica según el porcentaje de cobertura vegetal

Cobertura vegetal (porcentaje)	Posibilidad de recarga	Ponderación
> 80	Muy alta	5
70 - 80	Alta	4
50 - 70	Moderada	3
30 - 50	Baja	2
< 30	Muy baja	1

Nota. Tabla obtenida de Matus et al. (2009)

e. Uso de suelo.

Para Matus et al. (2007), el uso del suelo es el parámetro más cambiante y de mucha influencia de la actividad humana. Su uso puede garantizar una disminución en la recarga hídrica hasta de un 50% y a la vez permite que aumenten los riesgos naturales y la pérdida del suelo por erosión hídrica o eólica, este elemento indica el grado de actividad o cambio de uso de suelo influye en el deterioro de las características del suelo por erosión, compactación y en la reducción de la capacidad de infiltración y recarga hídrica. Su evaluación se puede realizar mediante un recorrido en campo, con la participación de los diferentes actores locales para levantar la lista de sus usos, como se presenta:

Tabla 8*Ponderación de la posibilidad de recarga hídrica según el uso del suelo*

Cobertura vegetal (porcentaje)	Posibilidad de recarga	Ponderación
Bosque donde se dan los tres estratos: árboles, arbustos y hiervas o zacate denso	Muy alta	5
Sistemas agroforestales o silvopastoriles	Alta	4
Terrenos cultivados y con obras de conservación de suelo y agua	Moderada	3
Terrenos cultivados sin ninguna obra de conservación de suelo y agua	Baja	2
Terrenos agropecuarios con manejo intensivo	Muy baja	1

Nota. Tabla obtenida de Matus et al. (2009)***Determinación del potencial de recarga de las zonas evaluadas.***

Para la determinación del potencial de recarga hídrica, se utiliza una ecuación que relaciona los parámetros anteriormente estudiados, y se sustituye los elementos del modelo por los valores obtenidos en la evaluación de campo:

Ecuación 4 Zonas de recarga hídrica

$$ZR = [0.27(Pend) + 0.23(Ts) + 0.12(Tr) + 0.25(Cve) + 0.13(Us)]$$

Pend : Pendiente y micro relieve

Ts : Tipo de suelo

- Tr : Tipo de roca
- Cve : Cobertura vegetal permanente
- Us : Usos del suelo

Para Matus et al. (2007) la determinación de la posibilidad de una zona de recarga, luego de evaluar esas características de la zona considerando elementos de la metodología y las tablas diseñadas para ello, la sumatoria anteriormente presentada corresponde a un número dentro de un rango de posibilidades de recarga hídrica, el cual se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 9

Potencial de recarga hídrica según el modelo propuesto

Posibilidad de recarga	Rango
Muy alta	4.1 – 5
Alta	3.5 – 4.09
Moderada	2.6 – 3.49
Baja	2 – 2.59
Muy baja	1 – 1.99

Nota. Tabla obtenida de Matus et al. (2009)

Elaboración del mapa de zonas potenciales de recarga hídrica.

Según Matus et al. (2009), se refiere a una representación gráfica de un territorio y se usa con el propósito de conocer mejor el entorno, también, es una fuente de información sobre los diferentes usos que se dan en la zona en cuestión. El mapa se elabora con el fin de dejar en evidencia las zonas potenciales de recarga hídrica.

Procedimiento para evaluar la capacidad de infiltración del suelo

Según Matus et al. (2009), esta capacidad se puede obtener mediante ensayos con un infiltrometro de anillo simple o doble anillo, según la precisión que se desee, estos instrumentos permiten conocer la permeabilidad del suelo ya que simula el proceso de infiltración del agua en este mismo. La prueba consiste en enterrar los infiltrometros verticalmente a unos pocos centímetros del suelo, luego se rellena con agua tanto el anillo externo como interno pero previamente se debe haber colocado una protección plástica, de manera que al iniciar la prueba, se saque esta protección y el agua no afecte directamente al suelo por acciones de su caída, finalmente se va tomando el tiempo por minutos mientras se anota la altura infiltrada, según ello también se pueden hallar con aproximación los tipos de suelos tal como se muestra:

Tabla 10.
Tipos de suelo según su tasa de infiltración

Tipo de suelo	Tasa de infiltración (mm/hora)
Arena	Mayor de 30
Arena Limosa	20 – 30
Limo	10 – 20
Arcilla Limosa	5 – 10
Arcilla	1 - 5

Nota. Tabla adaptada de TRAXCO (2009)

También se tiene la tabla de las clases e índices de permeabilidad.

Tabla 11.*Clases de permeabilidad de los suelos para la agricultura y su conservación*

Clases de permeabilidad de los suelos	Índice de permeabilidad	
	cm/hora	cm/día
Muy lenta	Menos de 0.13	Menos de 3
Lenta	0.13 – 0.3	3 – 12
Moderadamente lenta	0.3 – 2.0	12 – 48
Moderada	2.0 – 6.3	48 – 151
Moderadamente rápida	6.3 – 12.7	151 – 305
Rápida	12.7 – 25	305 – 600
Muy rápida	Mayor de 25	Mayor de 600

Nota. Estas muestras saturadas bajo una carga hidrostática constante de 1.27 cm, adaptado de Matus et al. (2009)

A partir de lo anteriormente presentado, para un mejor entendimiento se pueden definir los siguientes conceptos básicos:

Velocidad de infiltración y velocidad de infiltración instantánea: De acuerdo a lo señalado por Delgadillo (2016), la velocidad de infiltración queda definida como la capacidad de absorción de agua de un lugar desde la superficie superior hasta la interior, es decir es la relación entre la lámina de agua infiltrada y el tiempo que tarda ésta en infiltrarse en cm/h o mm/min. Dicha velocidad de infiltración no es uniforme, tiende a disminuir conforme transcurre el tiempo de esto se obtiene la curva de la velocidad de infiltración, esta velocidad de infiltración es el valor puntual obtenido en un tiempo determinado.

$$I = at^b$$

Donde:

I = Velocidad de infiltración, expresada en mm/hora, cm/hora, etc.

t = tiempo de oportunidad (Tiempo de contacto del agua con el suelo)

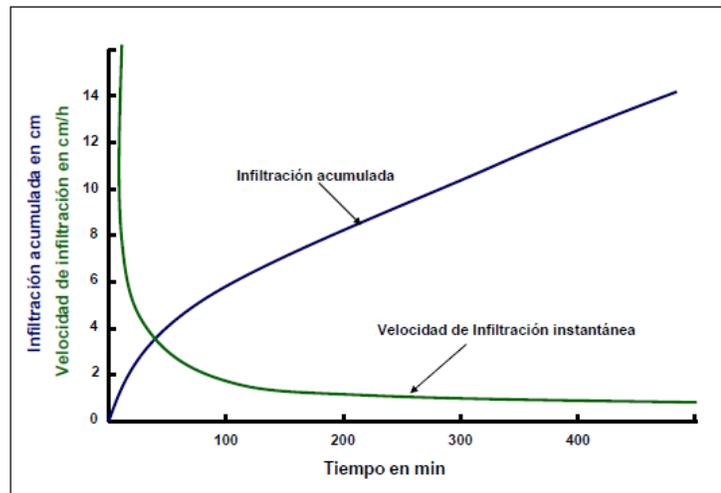
a = coeficiente que representa la velocidad de infiltración para le intervalo inicial de tiempo

b = Exponente adimensional, varía de acuerdo a las características del suelo entre 0 – 1

Infiltración acumulada: Esta considera la sumatoria de los valores puntuales de infiltración obtenidos de la curva de velocidad de infiltración instantánea, la ecuación que se puede formar parte del área formada entre la curva de la velocidad de infiltración instantánea y los valores límites $T_{inicial} = 0$ y $T_{final} = 0$

Figura 4.

Infiltración acumulada vs velocidad de infiltración instantanea

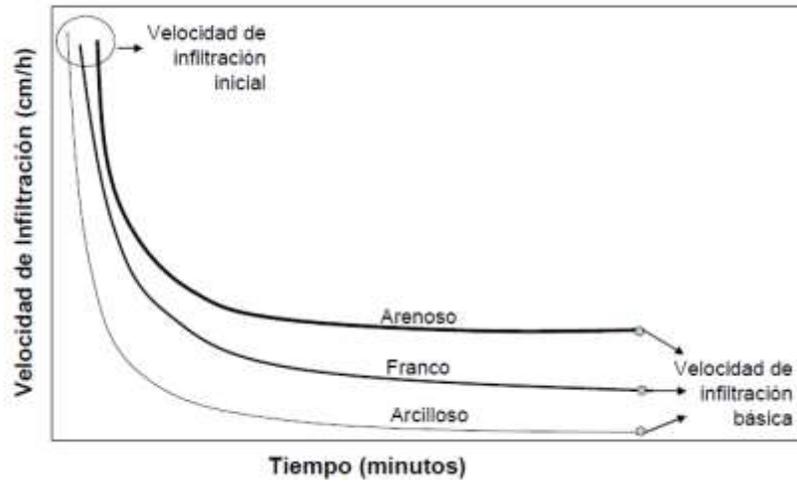


Nota. Gráfico de la infiltración acumulada vs velocidad de infiltración instantánea recopilado de Delgadillo Iriarte (2016)

Velocidad de infiltración básica: Según Delgadillo (2016) se refiere al cambio paulatino que se da en el suelo cuando la infiltración va saturando el mismo, hasta llegar a un valor constante.

Figura 5.

Variación de la curva de velocidad de infiltración por la textura del suelo



Nota. Recopilado de Delgadillo (2016)

Para el cálculo de la velocidad de infiltración básica, se tiene el siguiente procedimiento:

a. Obtención de los coeficientes A y B del gráfico de infiltración acumulada

Del gráfico se ajusta una línea potencial como ejemplo:

$$y = 13.034x^{0.3625}$$

Donde $A = 13.034$ y $B = 0.3625$

b. Determinación de coeficientes a y b

Se obtienen los coeficientes a y b

Ecuación 6 Coeficiente a de infiltración

$$a = A * B$$

Ecuación 7 Coeficiente b de infiltración

$$b = B - 1$$

c. Determinación de la ecuación de infiltración instantánea

La ecuación de infiltración instantánea queda definida como:

Ecuación 8 Infiltración instantánea

$$I = a * t^b$$

d. Cálculo del tiempo de infiltración básica

El tiempo de infiltración queda definido como:

Ecuación 9 Tiempo de infiltración básica

$$t_b = -10 * b$$

e. Cálculo de la velocidad de infiltración básica

La velocidad de infiltración se obtiene reemplazando los coeficientes y el tiempo de infiltración básica en la ecuación de infiltración instantánea

Factores que afectan las tasas de infiltración: Señala Delgadillo (2016) como factores a sellamiento superficial, compactación del suelo, partículas o grietas del suelo, preparación del suelo, materia orgánica y rotación de cultivos, sales del suelo y del agua, sedimentos en el agua de riego, perfil del suelo.

Caracterización de las zonas identificadas.

Según Matus et al. (2009), la caracterización de las zonas contiene una descripción de las características de la zona potencial de recarga identificada con anterioridad, tales como pendiente, tipo de suelo, tipo de roca, cobertura vegetal permanente y usos de suelo. Todo ello

forma una idea de la zona identificada y determina las características que pueden estar afectando la recarga hídrica, las características más resaltantes para el potencial de recarga son aquellas en las cuales la población tiene influencia.

Propuesta de estrategia y acciones.

En este paso se proponen estrategias y acciones para ordenar y mejorar el uso y manejo de dichas zonas, con el fin de garantizar la sostenibilidad de los flujos de recarga hídrica y la calidad del agua para el consumo humano. Las acciones más comunes como: la prevención y manejo de fuentes de contaminación en estas zonas (Matus et al., 2009). Para su planificación e implementación de estrategias para el manejo de dichas zonas se debe considerar ciertos aspectos básicos como:

- Contexto físico.
- Contexto del manejo.
- Contexto legal.

Difusión de los resultados

Para Matus et al. (2009), la difusión se tiene que organizar y actuar con los actores locales, facilitadores, organismos e instituciones locales conozcan los resultados del proceso de investigación de la aplicación de la metodología y las recomendaciones respectivas para una adecuada gestión de las zonas potenciales de recarga hídrica. También se recomienda la promoción de campañas de enseñanza, aprendizaje y sensibilización a las comunidades acerca de las zonas de recarga hídrica.

Marco Conceptual

Manejo de cuencas

El manejo de una cuenca se refiere a la administración integral de la misma, utilizando la implementación de políticas bien definidas y normas que vayan de acorde con las necesidades, también, al desarrollo planificado de acciones técnicas, que permitan el aprovechamiento racional, la conservación del espacio y sus recursos naturales existentes, el mejoramiento del nivel de vida de la población, la participación activa de la población local y la sociedad en general. Se da énfasis en que primero se debe manejar es la actividad social ya que depende del accionar y grado de responsabilidad con que se actúe y a la misma vez del control y fiscalización que lleve a cabo el estado y demás personas o instituciones involucradas Vásquez et al. (2016)

Gestión de cuencas

La gestión de cuencas hidrográficas se refiere a toda acción humana orientada a garantizar el uso sostenible de los recursos naturales presentes en una cuenca. Esta práctica surgió como respuesta a problemas asociados a la deforestación descontrolada en regiones como Europa y América del Norte antes de la década de 1950, la cual provocó alteraciones importantes en el comportamiento hidrológico de las cuencas, acelerando la erosión y generando riesgos en las zonas bajas, a partir de esta experiencia, se comprendió la estrecha relación entre el uso del suelo en las zonas altas y la cantidad y calidad del agua en las partes bajas, lo que impulsó el desarrollo de los enfoques actuales de gestión de cuencas. Este tipo de gestión busca integrar de forma coherente el uso y conservación de todos los recursos naturales, articulando actividades como la agricultura, la ganadería y la silvicultura bajo una visión integral, donde el recurso hídrico actúa como eje central de planificación, su finalidad principal es preservar los servicios ecosistémicos en especial los relacionados con el agua, prevenir impactos negativos aguas abajo

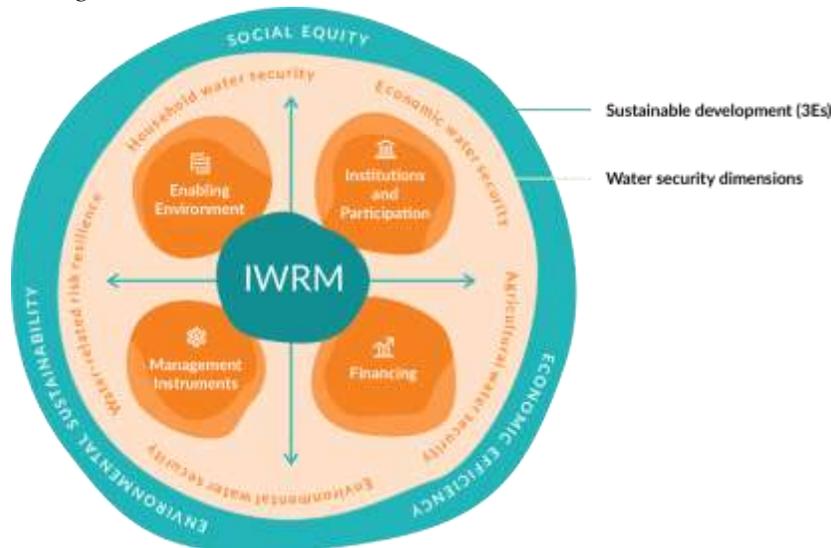
y, al mismo tiempo, mejorar la productividad y los medios de vida de las poblaciones locales.
(FAO, 2024)

Gestión integrada del recurso hídrico

Según el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP, 2023). Es un proceso que promueve el desarrollo y gestión coordinada del agua, la tierra y otros recursos relacionados. Su objetivo es maximizar el bienestar económico y social de forma equitativa, sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas críticos. Este enfoque reconoce que el agua es un recurso finito, vulnerable y con usos interdependientes: por ejemplo, el uso agrícola elevado puede reducir el agua disponible para consumo, mientras que la contaminación industrial afecta a los ecosistemas. la IWRM es una solución al manejo fragmentado del agua, abordando desafíos como sequías, contaminación, escasez y conflictos entre usuarios, mediante un enfoque transversal que incluye gobernanza, datos, gestión de oferta y demanda, y protección de ecosistemas.

Figura 6

Diagrama del marco general de la GIRH



Nota. Teoría desarrollada sobre la GIRH (IWRM, en inglés), obtenida de (IWRM Action Hub., 2024)

Factores que afectan la recarga hídrica

Para AGRECOL (2019), la cantidad de agua en un manantial está relacionada con la altitud y la cantidad de lluvia, el área de recarga y la permeabilidad del suelo, entre otros. Es así que la recarga hídrica depende de la porosidad y permeabilidad de las rocas que conforman el suelo. Las formaciones geológicas determinan el tipo de roca y con ello se determina si la recarga es subsuperficial o profunda de aguas subterráneas. Otro parámetro a evaluar es el tipo de suelo, el cual influye debido a la porosidad del mismo debido a que esta misma da la característica permeable a los suelos. Para caracterizar las potenciales zonas de recarga hídrica se tiene que analizar el tipo de suelo y roca, en términos de textura y capacidad de infiltración. Otro elemento fundamental es la cobertura vegetal, debido a que, a mayor porcentaje, mayor infiltración de agua dando de esta manera mayor recarga hídrica, esto se sustenta en que la vegetación ayuda a conservar y mejorar las propiedades del suelo por la formación de materia orgánica, la creación de flujos preferenciales, el incremento de la rugosidad superficial y el encharcamiento del agua de escorrentía.

Tabla 12

Capacidad de recarga hídrica según la cobertura vegetal

Cobertura vegetal permanente (Porcentaje)	Posibilidad de recarga
> 80	Muy Alta
70 – 80	Alta
50 – 70	Moderada
30 – 50	Baja
< 30	Muy Baja

Nota. Tabla adaptada de AGRECOL (2019)

Tabla 13*Capacidad de recarga hídrica según uso de suelo*

Uso de suelo	Posibilidad de recarga
Bosque donde se dan los tres estratos: árboles, arbustos y hiervas o zacate denso.	Muy Alta
Sistemas agroforestales o silvopastoriles	Alta
Terrenos cultivados y con obras de conservación de suelo y agua	Moderada
Terrenos cultivados sin ninguna obra de conservación de suelo y agua	Baja
Terrenos agropecuarios con manejo intensivo	Muy Baja

Nota. Tabla señala que, a mayor diversidad y combinación de plantaciones, existe más posibilidades de recarga hídrica, adaptada de AGRECOL (2019)

Según AGRECOL (2019) en su estudio realizado, define e indica aquellos los factores que afectan la recarga hídrica:

Clima

De todos los temas que abarca, el que más incide en la recarga hídrica es la cantidad de precipitación y la evapotranspiración, debido a la pérdida de agua por transpiración de las plantas y la evaporación de agua.

Topografía

Este parámetro determina el tiempo de contacto entre el agua y la superficie debido a que fuertes pendientes favorecen la escorrentía superficial y con ello disminuyen el tiempo de contacto y por tanto la infiltración del agua.

Estratos geológicos

La ubicación de los diferentes materiales geológicos en los distintos estratos o capas de suelos hasta llegar a la zona saturada, afectarían sumamente la cantidad de recarga hídrica.

Suelo

Los suelos que son impermeables y compactados impiden o dificultan la infiltración, mientras que los suelos permeables facilitan la recarga. Las características del suelo que influyen en la recarga son la textura, la densidad aparente, el grado de saturación (contenido de humedad) y la capacidad de infiltración.

Cobertura vegetal

El tipo de cobertura vegetal disminuye la escorrentía superficial, ya que permite un mayor tiempo de contacto del agua con la superficie y facilita el proceso de infiltración; a su vez, un porcentaje importante de la precipitación es interceptada por la cobertura vegetal. En este parámetro se considera la profundidad, densidad de las raíces y la capacidad de retención del dosel vegetal.

Definición de términos básicos

Identificación de Zonas de recarga Hídrica

“Se refiere a los procesos o metodologías para identificar aquella área en donde se da el proceso de infiltración de agua hacia los estratos más profundos, acuíferos” (Figueredo Pan, 2019)

Gestión de cuencas

“Es un proceso en el cual el hombre realiza una serie ordenada de acciones que están sistematizadas, planificadas, consensuadas y organizadas, para administrar y manejar adecuadamente la unidad hidrológica denominada cuenca.” (FAO, 2024)

Cuenca Hidrográfica.

“La cuenca hidrográfica es una región delimitada por áreas elevadas de terrenos más o menos continuos que actúan como divisores topográficos, las también llamadas divisorias de aguas, en ellas, ocurre la captación natural de las aguas de lluvia.” (Formaggio, 2024)

Índice de Disponibilidad Hídrica.

“EL índice de disponibilidad hídrica es un indicador agroclimático que permite monitorear operativamente la oferta de agua en el suelo, calculado como la relación entre precipitación (oferta hídrica) y evapotranspiración, útil para identificar periodos o zonas con exceso o déficit de agua” (IDEAM, 2020)

Escorrentía

“Es el flujo de agua procedente de lluvias o deshielo que circula sobre la superficie del terreno dentro de una cuenca de drenaje” (Fundación Aquae, 2022)

Infiltración

“La infiltración es el proceso mediante el cual el agua supera la superficie del suelo e ingresa al perfil del suelo, llenando los poros y contribuyendo tanto al mantenimiento de la humedad del suelo como a la recarga de acuíferos y al sostenimiento del caudal base de los ríos” (Garate y otros, 2022)

Recarga y zonas de recarga

Para Matus Silva (2007), que cita a Benfelt (2000), “La recarga es el nombre que se le da al proceso que permite que el agua alimente un acuífero. Este proceso ocurre de manera natural cuando la lluvia se filtra hacia un acuífero a través del suelo o roca. El área o zona donde ocurre la recarga se llama zona de recarga.”

CAPITULO III. PLANTEAMIENTO DE HIPÓTESIS Y VARIABLES

Hipótesis

Hipótesis general

Las metodologías para la identificación de zonas de recarga hídrica permitirán determinar con precisión las áreas de mayor recarga en la microcuenca Tres Ríos.

Variables

Variable Principal

Variable 1: Metodología RAS

Variable 2: Metodología Participativa

Sub-Variables

Subvariable 1: Topografía de la microcuenca

Subvariable 2: Geología de la microcuenca

Subvariable 3: Hidrología de la microcuenca

Subvariable 4: Cobertura vegetal y uso de suelo

Operacionalización de los componentes de las hipótesis

Hipótesis	Definición Conceptual de la Variables	Definición operacional de las variables			
		Variable	Dimensiones	Indicadores	Instrumento
Las metodologías para la identificación de zonas de recarga hídrica permitirán determinar con precisión las áreas de mayor recarga en la microcuenca Tres Ríos..	Metodología técnica propuesta por Junker (2005) para la identificación de zonas de recarga hídrica, basada en el análisis cuantitativo de variables físico-climáticas que influyen en el proceso de infiltración, permitiendo determinar el potencial de recarga mediante ponderaciones específicas y un balance climático.	Variable Independiente 1: Metodología RAS	Topografía	Rango de pendientes	Cartas topográficas (MED), SIG, análisis de modelos digitales de elevación
			Cobertura vegetal	Tipo de cobertura vegetal	Imágenes satelitales; cartas GIS; visitas de campo
			Suelo	Tipo de suelo	Cartas edafológicas del MINAM, bases de datos nacionales ; visitas de campo para validación
			Clima	Precipitación media anual (P) Evapotranspiración media anual (E)	Datos del SENAMHI, estaciones meteorológicas
			Infiltración	Coeficiente de infiltración (calculado como suma ponderada de los factores anteriores)	Procesamiento en SIG mediante análisis multicriterio (ponderaciones según Junker, 2005)

<p>Metodología que integra el conocimiento local y la percepción comunitaria para la identificación de zonas de recarga hídrica, a través de herramientas participativas como recorridos y cartografía nacional (Matus Silva, 2007).</p>	<p>Variable Independiente 2: Metodología participativa</p>	Pendiente y microrelieve	Identificación de zonas altas, quebradas o depresiones	Cartas topográficas (MED), SIG, análisis de modelos digitales de elevación
		Tipo de suelo	Reconocimiento de suelos con mayor capacidad de infiltración	Cartas edafológicas del MINAM y validación en campo mediante observación comunitaria
		Tipo de roca	Identificación de formaciones geológicas superficiales	Cartas geológicas nacionales y recorridos con validación en campo
		Cobertura vegetal	Asociaciones vegetales favorables para la recarga	Imágenes satelitales, cartas de cobertura y reconocimiento en campo
		Uso de suelo	Uso actual del suelo y su relación con la infiltración	Cartas de uso de suelo del MINAM, observación directa y validación comuna
		Superficie identificada como zona de recarga hídrica (expresada en kilómetros cuadrados).	Variable Dependiente: Zonas de recarga hídrica	Porcentaje del área de la microcuenca con condiciones óptimas para recarga hídrica.
Es un área designada para la infiltración y recarga artificial de agua en un acuífero subterráneo o en cuerpos de agua superficiales				

CAPITULO IV. MARCO METODOLÓGICO

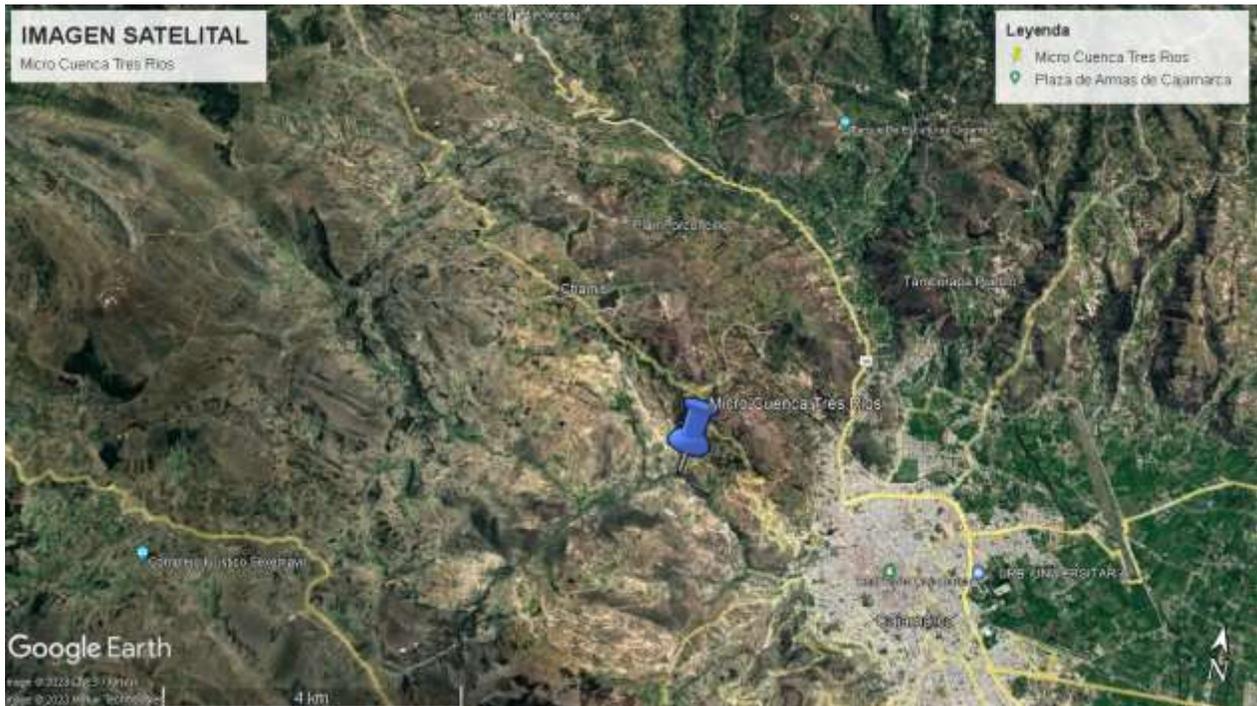
Ubicación geográfica

La presente investigación está ubicada en el departamento de Cajamarca, provincia de Cajamarca, distrito de Cajamarca, cuyo punto de aforo tiene como coordenadas las siguientes:

N = 9207905.06 E = 773000.14 Altitud = 2833 m.s.n.m.

Figura 7

Ubicación Geográfica de la zona de estudio

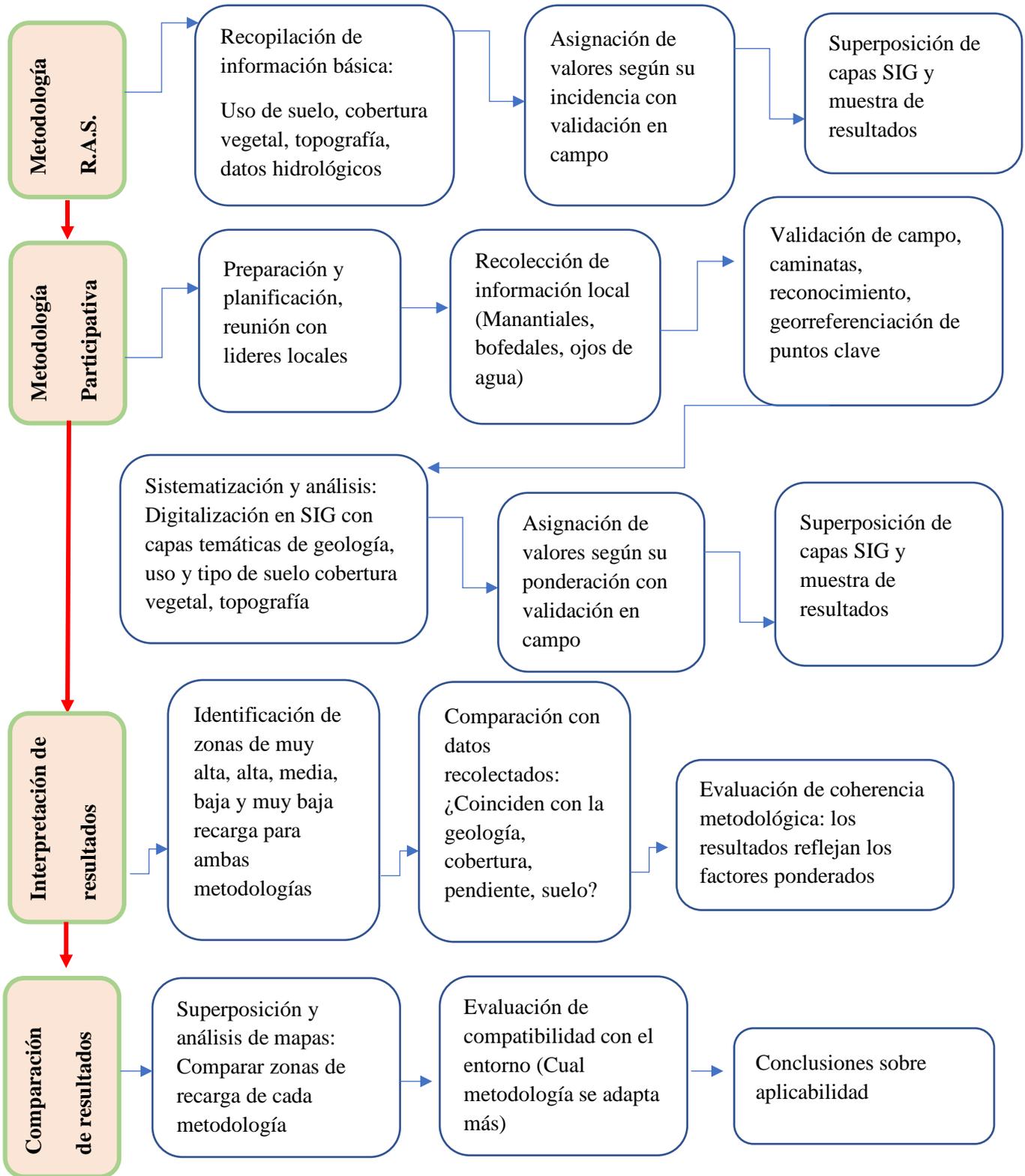


Nota. Se presenta el punto de aforo en una imagen panorámica proyectada de Google Earth

Diseño de la investigación

El diseño de la Investigación se desarrolló siguiendo los procedimientos anteriormente presentados, para lo cual se obtuvieron los mapas de delimitación, pendientes según cada metodología, geología, cobertura vegetal, uso de suelo y tipo de suelo, que son presentados en los anexos.

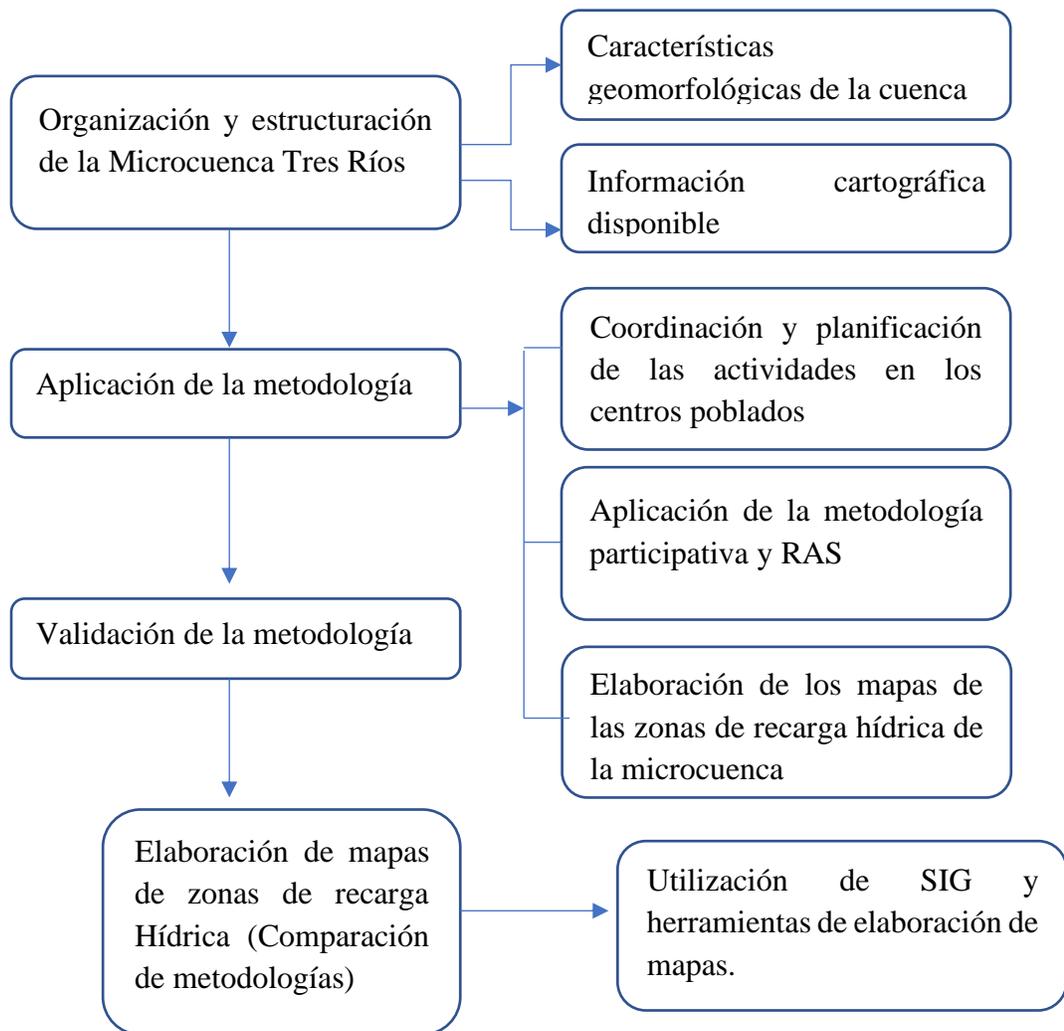
Diagrama de flujo de la investigación



Elaboración metodológica para la identificación de zonas potenciales de recarga

hídrica

En el siguiente grafico se presenta el proceso metodológico aplicado en la elaboración de la propuesta metodológica para la identificación de zonas potenciales de recarga hídrica de la microcuenca:



Recolección de datos

Para el desarrollo de la presente investigación se emplearon tanto datos secundarios como datos primarios, los cuales permitieron aplicar las metodologías R.A.S. y participativa en la microcuenca Tres Ríos. La información recolectada fue georreferenciada, clasificada y organizada para su procesamiento mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG) y herramientas de análisis hidrológico.

Datos primarios

Los datos primarios fueron obtenidos directamente en campo y mediante análisis propio a partir de imágenes satelitales. Incluyen:

- Ensayos de infiltración realizados en diversos puntos representativos de la microcuenca, utilizando el método del doble anillo. Estos ensayos permitieron estimar la capacidad de infiltración real del terreno para contrastar los resultados de las metodologías aplicadas.
- Observaciones directas y registros fotográficos, que permitieron identificar características del suelo, cobertura vegetal, pendientes y presencia de cuerpos de agua, complementando la información técnica con evidencia visual y cualitativa.
- Levantamiento GPS de puntos clave, como lagunas, nacientes, zonas de saturación del suelo, para mejorar la precisión del análisis espacial.
- Procesamiento de imágenes satelitales Landsat 9 para el cálculo de NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada) y NDWI (Índice de Agua de Diferencia Normalizada). Estos índices fueron utilizados para analizar la distribución de la cobertura vegetal y cuerpos de agua superficial, respectivamente, reforzando la caracterización territorial y apoyando la interpretación de zonas con mayor posibilidad de recarga hídrica.

Datos Secundarios

Se recopilaron fuentes oficiales y científicas que sirvieron de base para la aplicación de los modelos metodológicos:

- Cartografía temática (geología, topografía, uso del suelo, cobertura vegetal), obtenida del Instituto Geográfico Nacional (IGN), INGEMMET y el Ministerio del Ambiente (MINAM).
- Información edafológica y de clasificación de suelos, proveniente del Ministerio de Agricultura (MINAGRI) y otras bases de datos nacionales, empleada para determinar el coeficiente de tipo de suelo (kfc) en la metodología R.A.S.
- Datos climáticos históricos, como precipitación y evapotranspiración, suministrados por el SENAMHI, necesarios para elaborar los mapas de isolíneas y calcular el balance climático.

Métodos de la investigación

Los métodos utilizados se presentan a continuación:

Para la metodología RAS

Caracterización general de la microcuenca Tres Ríos

Para llevar a cabo la caracterización de la microcuenca se utilizó la información cartográfica brindada por la información espacial proporcionada por MINEDU y de GeoGPS Perú, de las cuales se pudo recopilar las cartas nacionales de curvas de nivel, uso de suelo, cobertura vegetal, formaciones geológicas, características geológicas, redes hidrográficas y tipo de suelo en conjunto con el proyecto de zonificación ecológica y económica (ZEE) realizada por el Gobierno Regional de Cajamarca el cual ofrece información acerca de la textura del suelo, composición orgánica, clasificación, que además dicha información tuvo que ser contrastada con visita a campo. Para la data climatológica se lo solicitó a la dirección zonal 3 – SENAMHI a través de solicitudes de información.

Determinación de la precipitación media anual

La determinación de la precipitación media se realizó a partir de la información meteorológica proporcionada por la Dirección Zonal 3 del SENAMHI, correspondiente a las estaciones Augusto Weberbauer, Gran Porcón, San Pablo, Encañada y Jesús. Adicionalmente, se recomendó incorporar los datos de las estaciones Alto Chetilla y Chamis, utilizados en la investigación titulada “*Volumen de agua aprovechable en la microcuenca de río Tres Ríos, usando el modelo determinístico estocástico Lutz Scholz validado, para los años hidrológicos 2008-2012*” (Terán G., 2014), con el fin de mejorar la precisión en la construcción del mapa de isoyetas y, por ende, en la estimación de la precipitación media anual.

Tabla 14

Precipitación media anual de las estaciones cercanas a la microcuenca Tres Ríos

Estación	Precipitación media anual
Augusto Weberbauer	677.92
Granja Porcón	1478.20
San Pablo	768.04
Jesús	668.82
Encañada	984.84
Alto Chetilla	1010.36
Chamis	1003.72

Nota. Se presenta los valores de la precipitación media anual de las estaciones cercanas a la microcuenca Tres Ríos.

Determinación de la evapotranspiración media anual

Para el cálculo de la evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o), se utilizó el programa CROPWAT 8.0, el cual emplea la ecuación de Penman-Monteith como base. Este proceso requirió datos climáticos proporcionados por el SENAMHI, tales como: humedad relativa, horas de sol, temperatura máxima y mínima, y velocidad del viento.

Dicha información fue recopilada de las estaciones meteorológicas más cercanas a la zona de estudio, específicamente Weberbauer y Porcón, considerando registros mensuales desde enero de 1970 hasta diciembre de 2023. Los datos fueron procesados y transferidos al entorno de CROPWAT para generar los valores medios de ET_o, que luego fueron utilizados como insumo para la elaboración del mapa de evapotranspiración real en la microcuenca Tres Ríos.

Tabla 15*Precipitación media anual de las estaciones cercanas a la microcuenca Tres Ríos*

Estación	Evapotranspiración media anual
Augusto Weberbauer	1226.4
Gran Porcón	1018.35
San Pablo	985.5
Jesús	1241
Encañada	1222.75

Nota. Se presenta los valores de la Evapotranspiración media anual de los resultados obtenidos en CROPWAT 8.0

Determinación de los coeficientes de tipo de suelo

Los valores del coeficiente parten la presentación de la tabla 3, según la investigación de Poma Rojas & Alcántara Boñón (2011) realizada para toda la región de Cajamarca, pero delimitada para el área de estudio (La microcuenca Tres Ríos), existen cinco tipos de suelos que se pueden identificar las Consociaciones y asociaciones: Paramosol – Leptosol, Paramosol, Paramo andosol, Phaeozem – Leptosol, Andosol – Leptosol.

Paramosol: Abarca una cobertura de 4.17% de todo el departamento de Cajamarca, son suelos que se encuentran a más de 3600 m.s.n.m. que son cubiertos por pastos naturales y vegetación escasa, más afloramientos rocosos, en estas zonas se evidencian heladas, granizadas, sequías y fuertes precipitaciones, son suelos con alta capacidad de retención de humedad, se localizan en laderas de colina y montañas, son de textura media, drenaje bueno, suelos con alta capacidad de retención de humedad, presentan una permeabilidad moderada, pendientes empinadas a muy empinadas, pedregosos a muy pedregosos y erosión moderada a severa.

Figura 8.

Suelo Paramosol en la microcuenca (Sexemayo Lote II – Cushunga)



Nota. Identificación de suelos Paramosol en el recorrido de la microcuenca

Paramosol-Leptosol: Estos suelos representan un 5.57% del departamento de Cajamarca, 183,512.64 has, que representa el 5.57 % del total de la superficie regional. Son suelos que presentan afloramientos rocosos y se distribuyen en las partes altas de algunas provincias, sobre todo donde existen fuertes precipitaciones pluviales y bajas temperaturas, están cubiertos con pastos naturales, son originarias de rocas areniscas, cuarcitas y calizas, presentan una permeabilidad moderada de textura gruesa a media.

Figura 9.

Suelo Paramosol - Leptosol en la microcuenca (Carhuaquero)



Nota. Identificación de suelos Paramosol-Leptosol en el recorrido de la microcuenca

Paramo - andosol: Se trata de suelos de jalca cubierto en su mayor extensión por pastos naturales y vegetación escasa, más afloramientos rocosos. En esta zona el clima es el principal factor limitante, por la presencia de heladas, granizadas, fuertes precipitaciones y bajas temperaturas, posee texturas medias, drenaje bueno además de alta capacidad de retención, se orientan más a tierras de protección como una zona de recarga hídrica.

Figura 10

Suelo Paramo - andosol en la Microcuenca Tres Ríos (Sexemayo Lote II)



Nota. Identificación de suelos Paramo-andosol en el recorrido de la microcuenca

Phaeozem – Leptosol: Estos suelos cubren un área de 177,426.18 has, que representa el 5.38 % del total de la superficie departamental. Son suelos que actualmente en su mayoría, están ocupados por cultivos agrícolas y en menor proporción de forestales y pastos; teniendo como limitante la presencia de afloramientos rocosos, presentan permeabilidad moderada a moderadamente rápida, textura media a moderadamente gruesa, pueden utilizarse para plantaciones forestales.

Figura 11

Suelos Phaeozem - Leptosol en la microcuenca (Corisorgona)



Nota. Identificación de suelos Phaeozem-Leptosol el recorrido de la microcuenca

Andosol – Leptosol: Cubren una extensión de 189,545.25 has, que equivale al 5.75 % de la superficie regional. El material litológico que ha dado origen a estos suelos es variable, tales como areniscas, cuarcitas, calizas, lutitas y rocas volcánicas. Como se puede observar, la distribución de estos suelos es bastante amplia, desde la parte baja hasta las zonas altoandinas. están cubiertos por vegetación arbustiva, cultivos agrícolas en pequeñas superficies, presentan textura de ligera a media, drenaje a bueno a excesivo, presenta una permeabilidad moderada.

Figura 12

Suelos identificados Andosol - Leptosol en la microcuenca (Chamis)



Nota. Identificación de suelos Andosol-Leptosol el recorrido de la microcuenca

Determinación del coeficiente de pendiente

La determinación del coeficiente de pendiente se halla con la tabla 1, y según el mapa de pendientes que se halló en base a las curvas de nivel mostrado (ver anexo IV, figura 83)

Cálculo del coeficiente de la cobertura vegetal

Para la determinación del coeficiente de cobertura vegetal (K_v), se utilizó la cartografía proporcionada por GeoGPS Perú, complementada con las observaciones realizadas en campo durante los recorridos por la microcuenca, con base en esta información, se identificaron los diferentes tipos de cobertura y uso del suelo presentes en la zona de estudio. Los valores asignados a cada clase de cobertura se presentan en la tabla 32 de resultados

- **Plantación forestal:** La presencia de Eucaliptos y pinos, señal clara de planes de reforestación en la microcuenca.

Figura 13

Plantación forestal en la microcuenca Tres Ríos



Nota. Identificación de plantaciones forestales de pinos en el recorrido de la microcuenca

- Agricultura costera y andina: Uso agrícola por parte de la población, para el sembrío de maíz, papa. Pastos, etc.

Figura 14

Uso agrícola en la microcuenca Tres Ríos



Nota. Identificación de zonas utilizadas para el uso agrícola en el recorrido de la microcuenca

- Matorral arbustivo: así como también espacios libres, sin vegetación aparente, erosionados, para la ganadería.

Figura 15

Matorral arbustivo en la microcuenca Tres Ríos



Nota. Identificación de plantaciones forestales de pinos en el recorrido de la microcuenca

- Pajonal andino: usado principalmente para la ganadería

Figura 16

Pajonal andino en la microcuenca Tres Ríos



Nota. Identificación de pajonal andino en la mayoría del recorrido de la microcuenca

Para la metodología Participativa

Descripción del área de estudio

La microcuenca Tres Ríos del río del mismo nombre, se ubica en la provincia de Cajamarca, Region de Cajamarca, país del Perú, entre las coordenadas UTM:

Tabla 16

Coordenadas de la delimitación del área de estudio

Puntos	Coordenada Este	Coordenada Norte
1	772323.087	9212621.97
2	772610.954	9204663.29
3	762078.4	9204561.69
4	761824.399	9212672.77

Nota. Se presentan los puntos de la delimitación del área de estudio Comparte las comunidades y centros poblados de: Ronquillo, Corisorgona, Cushunga, Sexemayo lote I y II, Carhuaquero y Chamis.

Características Geomorfológicas de la cuenca

Los resultados de las características geomorfológicas son presentados en el capítulo V

Elevación media

La elevación media de una cuenca se calcula utilizando la curva hipsométrica, que representa la proporción de área de la cuenca que se encuentra por encima de distintos niveles de elevación. Esto permite obtener estadísticas descriptivas como la elevación media, mínima y máxima de la cuenca, facilitando la caracterización topográfica y la evaluación de procesos geomorfológicos (Gascón y otros, 2022). De la anterior afirmación se obtiene la siguiente tabla:

Tabla 17.*Resultados para la elaboración de la curva Hipsométrica*

Cotas			Área (km ²)			
Min	Max	Promedio	Área entre curvas	Acumulado	% Acumulado	% Inter
2850.0	2952.8	2901.4	2.05	30.92	100.0	6.6
2957.2	3058.7	3008.0	2.55	28.87	93.4	8.2
3059.5	3163.2	3111.3	2.49	26.32	85.1	8.0
3163.7	3268.1	3215.9	3.32	23.84	77.1	10.7
3268.2	3372.7	3320.4	3.09	20.51	66.3	10.0
3372.8	3477.2	3425.0	2.13	17.42	56.3	6.9
3477.3	3581.5	3529.4	2.46	15.29	49.5	8.0
3581.8	3686.0	3633.9	2.62	12.83	41.5	8.5
3686.7	3790.9	3738.8	3.16	10.20	33.0	10.2
3791.4	3895.1	3843.2	4.20	7.05	22.8	13.6
3896.5	4000.0	3948.2	2.85	2.85	9.2	9.2

Nota. Valores del porcentaje de área entre las curvas de nivel para poder graficar la curva hipsométrica

Factor de Forma

El índice de compacidad se refiere a la relación entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de un círculo de igual área:

$$I_c = 0.282 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (1)$$

Tabla 18*Clasificación del Índice de Compacidad de Gravelius*

Kc	Clasificación
1 a 1.25	Casi redonda a oval redonda
1.25 a 1.5	Oval redonda a oval oblonga
1.5 a 1.75	Oval Oblonga a rectangular oblonga
> 1.75	Rectangular

Nota. Adaptado de (Camino et al., 2018)

Longitud y pendiente del cauce principal

La longitud y la pendiente del cauce principal se obtiene mediante la identificación y caracterización de los cauces de la microcuenca tal como se muestra en el anexo IV, figura 79

Densidad de corrientes y de drenaje

La densidad de corrientes está dada por la siguiente ecuación:

$$D_c = \frac{N_c}{A} \quad (2)$$

Donde:

Dc = Densidad de corriente

Nc = Numero de corrientes

A= Área de la cuenca (km)

La densidad de drenaje está dada por la siguiente ecuación:

$$D_d = \frac{L_t}{A} \quad (3)$$

Donde:

Dd = Densidad de corriente

Lt = Numero de corrientes

A= Área de la cuenca (km)

Precipitación

La data de precipitación ha sido obtenida de Sunami de las estaciones Weberbauer y Porcón de las cuales se observan dos periodos bien marcados, uno seco y el otro lluvioso, con duración de 6 meses cada uno, el lluvioso abarca desde octubre hasta marzo, y el seco desde abril a agosto.

Tabla 19.

Promedio mensual - anual de las estaciones cercanas a la microcuenca Tres Ríos

MESES	PROMEDIO MENSUAL – ANUAL DE LAS ESTACIONES						
	A. Weberbauer	Granja Porcón	San Pablo	Encañada	Jesús	Chamis	Alto Chetilla
ENERO	80.75	184.41	105.86	109.33	91.49	175.6	182.2
FEBRERO	100.41	214.94	160.57	120.47	102.38	121.32	195.94
MARZO	127.23	248.09	224.22	190.32	140.10	169.48	202.04
ABRIL	73.86	156.75	85.72	110.49	65.64	110.68	63.64
MAYO	31.84	95.18	24.36	61.45	31.46	45.12	34.68
JUNIO	9.13	25.61	5.24	16.68	10.21	21.52	12.34
JULIO	6.06	11.76	2.92	6.95	3.26	6	4.16
AGOSTO	7.20	15.66	2.26	7.37	5.57	8.86	12.84
SEPTIEMBRE	26.10	64.48	14.21	36.04	20.72	37.1	23.42
OCTUBRE	67.69	137.31	35.73	109.21	70.12	115.08	81.24
NOVIEMBRE	65.68	129.60	33.09	99.46	63.00	96.52	84.2
DICIEMBRE	84.61	191.63	80.88	116.01	96.39	96.44	113.68

Nota. Se presenta la tabla de valores promedios anuales de todos los meses de las estaciones de interés

Pendiente y relieve

En la microcuenca según la tabla 4, las pendientes tienen una ponderación según un rango de pendientes que estas posean, es así que se identifica que la mayor área (49.61% del total del área de la cuenca) es para una ponderación 3 que señala que la posibilidad de recarga es muy moderada como se muestra en el mapa del anexo IV, figura 84

Tipo de suelos

Los tipos de suelos encontrados en la microcuenca de manera similar como se describió en la metodología R.A.S.:

- a) **Paramosol:** Abarca una cobertura de 4.17% de todo el departamento de Cajamarca, son suelos que se encuentran a más de 3600 m.s.n.m. que son cubiertos por pastos naturales y vegetación escasa, más afloramientos rocosos, en estas zonas se evidencian heladas, granizadas, sequías y fuertes precipitaciones, son suelos con alta capacidad de retención de humedad, con permeabilidad moderada, se localizan en laderas de colina y montañas, son de textura media, drenaje bueno, suelos con alta capacidad de retención de humedad, presentan una permeabilidad moderada, pendientes empinadas a muy empinadas, pedregosos a muy pedregosos y erosión moderada a severa.
- b) **Paramosol-Leptosol:** Estos suelos representan un 5.57% del departamento de Cajamarca, 183,512.64 has, que representa el 5.57 % del total de la superficie regional. Son suelos que presentan afloramientos rocosos y se distribuyen en las partes altas de algunas provincias, sobre todo donde existen fuertes precipitaciones pluviales y bajas temperaturas, están cubiertos con pastos naturales, son originarias de rocas areniscas, cuarcitas y calizas, presentan una permeabilidad moderada de textura gruesa a media.
- c) **Paramo - andosol:** Se trata de suelos de jalca cubierto en su mayor extensión por pastos naturales y vegetación escasa, más afloramientos rocosos. En esta zona el clima es el principal factor limitante, por la presencia de heladas, granizadas, fuertes precipitaciones y bajas temperaturas, representa el 4.91% del total del departamento

- con un área que abarca los 161951.86 hectáreas, posee texturas medias, drenaje bueno además de alta capacidad de retención, se orientan más a tierras de protección como una zona de recarga hídrica.
- d) Phaeozem – Leptosol: Estos suelos cubren un área de 177,426.18 has, que representa el 5.38 % del total de la superficie departamental. Son suelos que actualmente en su mayoría, están ocupados por cultivos agrícolas y en menor proporción de forestales y pastos; teniendo como limitante la presencia de afloramientos rocosos, presentan permeabilidad moderada a moderadamente rápida, textura media a moderadamente gruesa, pueden utilizarse para plantaciones forestales.
- e) Andosol – Leptosol: Cubren una extensión de 189,545.25 has, que equivale al 5.75 % de la superficie regional. El material litológico que ha dado origen a estos suelos es variable, tales como areniscas, cuarcitas, calizas, lutitas y rocas volcánicas. Como se puede observar, la distribución de estos suelos es bastante amplia, desde la parte baja hasta las zonas altoandinas. están cubiertos por vegetación arbustiva, cultivos agrícolas en pequeñas superficies, presentan textura de ligera a media, drenaje a bueno a excesivo, presenta una permeabilidad moderada.

Geología

Gracias a la información cartográfica recopilada de la región de Cajamarca se pudo identificar diferentes formaciones presentes en la microcuenca que son descritas en dicho estudio, (Cruzado Vásquez, 2009), detalla las características de cada uno:

- **Grupo Goyllarisquizga – Formación Farrat:** Esta formación consiste de areniscas blancas de grano medio a grueso, tiene un grosor promedio de 500 m. en algunos lugares se observa

estratificación cruzada y marcas de oleaje, su área de incidencia en la investigación es de 4.49 km², que representan un 13.15% del total

- **Grupo Pullucana – Formación Yumagual:** Consiste en una secuencia de margas y calizas gris parduzcas en bancos más o menos uniformes, destacando un miembro medio lutáceo margoso, amarillento, dentro de un conjunto homogéneo presenta escarpas debido a su dureza uniforme, su área de incidencia en la investigación es de 9.37 km², que representan un 27.41% del total
- **Formación Inca:** Consta de la intercalación de areniscas calcáreas, lutitas ferruginosas dando en superficie un matiz amarillento. En los alrededores de Cajamarca es de coloración rojiza. Su grosor aproximado es de 100 m. Infra yace concordantemente a la formación Chúlec y supra yace con la misma relación a la formación Farrat, su área de incidencia en la investigación es de 0.88 km², que representan un 2.59 % del total
- **Formación Chulec:** Esta formación consiste en una secuencia fosilífera de calizas arenosas, lutitas calcáreas y margas, las que por intemperismo adquieren un color crema amarillento. Su aspecto terroso amarillento es una característica para distinguirla en el campo. Generalmente los bancos de margas se presentan muy nodulosos y las calizas frescas muestran colores gris parduzcos algo azulados, su área de incidencia en la investigación es de 4.09 km², que representan un 13.15% del total
- **Grupo Calipuy – Volcánico San Pablo:** Esta unidad consiste en gruesos estratos de rocas volcánicas, intercaladas en la base con areniscas rojizas y en la parte superior de una espesa secuencia de aglomerados y piroclásticos bien estratificados. Alcanza un espesor de 900 m, su área de incidencia en la investigación es de 3.75 km², que representan un 10.98 % del total

- **Grupo Quilquiñan y Mujarrum:** La base consiste en una secuencia de calizas nodulares, seguida de una intercalación de margas y lutitas amarillentas con abundantes elementos del género *Exogyra*. Continúan delgados lechos de calizas nodulares con margas de color pardo amarillento, también fosilíferas. Finalmente se encuentran bancos de calizas claras con lutitas arenosas y margas delgadas con abundantes fósiles. Alcanza un espesor aproximado de 500 m, su área de incidencia en la investigación es de 5.29 km², que representan un 15.48 % del total
- **Formacion Cajamarca:** Esta formación consiste de calizas gris oscuras o azuladas, con delgados lechos de lutitas y margas. Las calizas se presentan en bancos gruesos con escasos fósiles, su área de incidencia en la investigación es de 3.78 km², que representan un 11.06 % del total
- **Formacion Pariatambo:** Consiste en una alternancia de lutitas con delgados lechos de calizas bituminosas negruzcas, estratos calcáreos con nódulos silíceos (chert) y dolomíticos. Su espesor varía entre 150 a 200 m, su área de incidencia en la investigación es de 2.18 km², que representan un 6.40 % del total
- **Volcánico Huambos:** El volcánico Huambos está compuesto por tobas y brechas de composición ácida. La litología común muestra fragmentos de cuarzo hasta de 3 mm. De diámetro y cristales de biotita en una matriz feldespática que probablemente corresponde a una toba dacítica, su área de incidencia en la investigación es de 0.33 km², que representan un 0.99 % del total

Uso del suelo

Se identificaron 3 tipos de uso de suelo:

- Uso forestal: La presencia de Eucaliptos y pinos, señal clara de planes de reforestación en la microcuenca.
- Uso agrícola: Uso agrícola por parte de la población, para el sembrío de maíz, papa. Pastos, etc.
- Otros usos: Como espacios libres, sin vegetación aparente, erosionados, para la ganadería.

Procedimiento para evaluar a capacidad de infiltración del suelo

La capacidad de infiltración fue medida por el infiltrometro, de doble anillo, dicho instrumento permitió conocer la permeabilidad del suelo, simulando así el proceso de infiltración del agua, se tomaron diferentes lugares para los ensayos, según los resultados de los mapas tanto de recarga de agua subterránea como la del método participativo. Es así que se determinaron los siguientes puntos de muestreo:

Tabla 20.

Puntos de los ensayos de infiltración en la microcuenca Tres Ríos

Puntos de ensayo de infiltración	Coordenada Este	Coordenada Norte
Sexemayo I	766718	9207370
Sexemayo 2	766734	9207960
Cushunga	771930	9208770
Carhuaquero	767601	9208240
Corisorgona	764061	9211290

Nota. La tabla muestra las coordenadas de los puntos de ensayos hechos en la microcuenca

Obtención de datos en campo

Para los ensayos las pruebas se realizan “In situ” se necesitan los siguientes materiales y equipos:

- 1 juego de anillas infiltrómetros (interno y externo)
- 1 martillo de goma
- 1 nivel de albañil
- 1 wincha
- Plástico (1-2 m²)
- Libreta de campo
- Cronometro
- Cámara

Como primer paso se realizan anotaciones describiendo las características del sitio tales como la ubicación y las características de la superficie del suelo.

Se realiza una limpieza adecuada del sitio de la prueba sin dañar las condiciones iniciales del suelo, retirando solamente el material grueso con cuidado de no dañar excesivamente la superficie del suelo.

Figura 17
Limpieza del lugar de las pruebas



Nota. En las imágenes se muestran el terreno donde se colocarán las anillas para los posteriores ensayos

Seguidamente se instalan las anillas de forma concéntrica, que estén niveladas, a una profundidad de 10 cm, para una correcta medición.

Figura 18

Instalación de las anillas



Nota. Para una correcta medición de las alturas del agua se utiliza un nivel para que la anilla esté correctamente instalada

Una vez instaladas estas anillas, se ubica una wincha de tal manera de observar las mediciones, procede colocar un plástico en la anilla interna y se vierte el agua tanto en la anilla interna y externa, se mide el nivel del agua inicial, seguidamente se quita el plástico y se va midiendo el desnivel del agua en cada Intervalo de tiempo.

Figura 19.

Medición de los desniveles del agua



Nota. Se muestra la medición de los desniveles según los intervalos de tiempos determinados

Figura 20.

Vaciado de agua sobre la anilla interna



Nota. Cuando el agua va infiltrando entre los intervalos fijados, se adiciona agua y se anota el nuevo nivel alcanzado

Se procede a las lecturas, se anota el nivel del agua mientras desciende a cada cierto tiempo, si el agua baja demasiado, se vuelve a llenar la anilla de manera que pueda seguir midiendo los niveles de agua.

Tabla 21.

Lecturas de campo de la prueba de infiltración (Sexemayo - I)

Tiempo		Lectura de escala		Lamina		Infiltración
Intervalo de tiempo entre Lecturas	Tiempo acumulado (min)	Nivel de agua (cm)	Nivel de recuperación del agua (cm)	Lamina infiltrada para cada intervalo de tiempo (cm)	Lamina acumulada (cm)	Velocidad de infiltración instantánea (cm/h)
0	0	19	-	0	0	
1	1	17.5	-	1.5	1.5	90.0
1	2	17	-	0.5	2	60.0
1	3	16.8	-	0.2	2.2	44.0
1	4	16.8	-	0	2.2	33.0
1	5	16.8	-	0	2.2	26.4
5	10	16.5	-	0.3	2.5	15.0
5	15	16	-	0.5	3	12.0
10	25	15.8	-	0.2	3.2	7.7
10	35	15.4	-	0.4	3.6	6.2
15	50	14.9	-	0.5	4.1	4.9
15	65	14.4	-	0.5	4.6	4.2
20	85	13.8	-	0.6	5.2	3.7
20	105	13.5	-	0.3	5.5	3.1
30	135	13.1	-	0.4	5.9	2.6
30	165	12.7	-	0.4	6.3	2.3
60	225	12.2	-	0.5	6.8	1.8
60	285	11.6	-	0.6	7.4	1.6

Nota. Se muestran las lecturas realizadas en campo de cada desnivel por cada intervalo de tiempo fijado en el punto Sexemayo-I

Tabla 22.*Lecturas de campo de la prueba de infiltración (Sexemayo - 2)*

Tiempo		Lectura de escala		Lamina		Infiltración
Intervalo de tiempo entre Lecturas	Tiempo acumulado (min)	Nivel de agua (cm)	Nivel de recuperación del agua (cm)	Lamina infiltrada para cada intervalo de tiempo (cm)	Lamina acumulada (cm)	Velocidad de infiltración instantánea (cm/h)
0	0	23.3	-	0	0	
1	1	21.8	-	1.5	1.5	90.0
1	2	21.4	-	0.4	1.9	57.0
1	3	21.2	-	0.2	2.1	42.0
1	4	21	-	0.2	2.3	34.5
1	5	20.9	-	0.1	2.4	28.8
5	10	20.2	-	0.7	3.1	18.6
5	15	19.9	-	0.3	3.4	13.6
10	25	19.1	-	0.8	4.2	10.1
10	35	18.5	-	0.6	4.8	8.2
15	50	17.9	-	0.6	5.4	6.5
15	65	17	-	0.9	6.3	5.8
20	85	16	-	1	7.3	5.2
20	105	14.9	-	1.1	8.4	4.8
30	135	13.5	-	1.4	9.8	4.4
30	165	12.2	-	1.3	11.1	4.0
60	225	10.6	-	1.6	12.7	3.4
60	285	8.8	-	1.8	14.5	3.1

Nota. Se muestran las lecturas realizadas en campo de cada desnivel por cada intervalo de tiempo fijado en el punto Sexemayo- 2

Tabla 23.*Lecturas de campo de la prueba de infiltrometro (Cushunga)*

Tiempo		Lectura de escala		Lamina		Infiltración
Intervalo de tiempo entre Lecturas	Tiempo acumulado (min)	Nivel de agua (cm)	Nivel de recuperación del agua (cm)	Lamina infiltrada para cada intervalo de tiempo (cm)	Lamina acumulada (cm)	Velocidad de infiltración instantánea (cm/h)
0	0	13	-	0	0	
1	1	8.5	-	4.5	4.5	270.0
1	2	5	-	3.5	8	240.0
1	3	4	-	1	9	180.0
1	4	3.5	-	0.5	9.5	142.5
1	5	3	6.5	0.5	10	120.0
5	10	6	-	0.5	10.5	63.0
5	15	5.5	-	0.5	11	44.0
10	22	3.5	12.5	2	13	35.5
10	32	10.4	-	2.1	15.1	28.3
15	47	8.1	-	2.3	17.4	22.2
15	62	6	15.5	2.1	19.5	18.9
20	82	14.3	-	1.2	20.7	15.1
20	102	13.2	-	1.1	21.8	12.8
30	132	10.6	-	2.6	24.4	11.1
30	162	8	-	2.6	27	10.0
60	222	5.2	-	2.8	29.8	8.1
60	282	2.4	-	2.8	32.6	6.9

Nota. Se muestran las lecturas realizadas en campo de cada desnivel por cada intervalo de tiempo fijado en el punto Cushunga

Tabla 24.*Lecturas de campo de la prueba de infiltración (Corisorgona)*

Tiempo		Lectura de escala		Lamina		Infiltración
Intervalo de tiempo entre Lecturas	Tiempo acumulado (min)	Nivel de agua (cm)	Nivel de recuperación del agua (cm)	Lamina infiltrada para cada intervalo de tiempo (cm)	Lamina acumulada (cm)	Velocidad de infiltración instantánea (cm/h)
0	0	26	-	0	0	
1	1	15	-	11	11	660.0
1	2	10	-	5	16	480.0
1	3	7	11	3	19	380.0
1	4	8	-	3	22	330.0
1	5	6.3	20.5	1.7	23.7	284.4
5	10	12	-	8.5	32.2	193.2
5	15	5.5	15	6.5	38.7	154.8
10	25	7.1		7.9	46.6	111.8
10	35	2.1	23.6	5	51.6	88.5
15	50	18.2		5.4	57	68.4
15	65	13.8		4.4	61.4	56.7
20	85	8.1	-	5.7	67.1	47.4
20	105	4	26	4.1	71.2	40.7
30	135	21.3	-	4.7	75.9	33.7
30	165	17	-	4.3	80.2	29.2
60	225	13.5	-	3.5	83.7	22.3
60	285	10.1	-	3.4	87.1	18.3
60	345	6.9		3.2	90.3	15.7

Nota. Se muestran las lecturas realizadas en campo de cada desnivel por cada intervalo de tiempo fijado en el punto Corisorgona

Tabla 25.*Lecturas de campo de la prueba de infiltración (Carhuaquero)*

Tiempo		Lectura de escala		Lamina		Infiltración
Intervalo de tiempo entre Lecturas	Tiempo acumulado (min)	Nivel de agua (cm)	Nivel de recuperación del agua (cm)	Lamina infiltrada para cada intervalo de tiempo (cm)	Lamina acumulada (cm)	Velocidad de infiltración instantánea (cm/h)
0	0	19	-	0	0	
1	1	17.5	-	1.5	1.5	90.0
1	2	17	-	0.5	2	60.0
1	3	16.8	-	0.2	2.2	44.0
1	4	16.8	-	0	2.2	33.0
1	5	16.8	-	0	2.2	26.4
5	10	16.5	-	0.3	2.5	15.0
5	15	16	-	0.5	3	12.0
10	25	15.8	-	0.2	3.2	7.7
10	35	15.4	-	0.4	3.6	6.2
15	50	14.9	-	0.5	4.1	4.9
15	65	14.4	-	0.5	4.6	4.2
20	85	13.8	-	0.6	5.2	3.7
20	105	13.5	-	0.3	5.5	3.1
30	135	13.1	-	0.4	5.9	2.6
30	165	12.7	-	0.4	6.3	2.3
60	225	12.2	-	0.5	6.8	1.8
60	285	11.6	-	0.6	7.4	1.6

Nota. Se muestran las lecturas realizadas en campo de cada desnivel por cada intervalo de tiempo fijado en el punto Carhuaquero

Aspectos Socioeconómicos de la microcuenca

Social

La población que habita la microcuenca tres Ríos son recopilados con los datos estadísticos de los censos nacionales brindados por el Instituto nacional de Estadística e Informática (INEI), por tanto, según (INEI, 2017), en los siguientes centros poblados:

Tabla 26

Distribución de la población por centros poblados en la microcuenca Tres Ríos

Centros Poblados	Region Natural	Altitud (m.s.n.m.)	Población
Corisorgona	Quechua	2962	205
El Ronquillo	Quechua	3079	135
La Victoria Capellania	Quechua	3447	45
Sexemayo Lote I	Quechua	3410	108
Sexemayo Lote II	Suni	3662	240
Cushunga	Suni	3509	266
Carhuaquero	Suni	3541	96
		Población total	1095

Fuente: INEI, 2017

De la microcuenca mencionada anteriormente se pueden identificar 7 centros poblados de los cuales se puede describir los siguientes servicios:

- a) **Infraestructura vial o vías de acceso:** Las vías de acceso cuya información es brindada por el MTC y se muestra en el anexo IV, figura 81, y rectificadas en campo se reconoce una infraestructura de regular a mala donde en épocas de lluvia se ve muy limitada al acceso vehicular.

Figura 21.

Estado de la estructura vial de la carretera Sexemayo - Cushunga



Nota. Estado de una de las estructuras viales dentro de la microcuenca

b) **Salud:** La cuenca cuenta con un único puesto de salud “Chetilla”, el cual atiende a las emergencias de los centros poblados cercanos.

Figura 22.

Puesto de salud: Chetilla



Nota. Fuente: (Gobierno Regional de Cajamarca, 2024)

c) **Educación:** Se cuenta con 17 centros exudativos multigrados en cada centro poblado cercano

Tabla 27
Centros Educativos en la Microcuenca Tres Ríos

Centro Poblado	Nombre Centro		Nro. de Alumnos
	Educativo	Nivel / Modalidad	
Sexemayo Lote II	780	Inicial	4
Sexemayo Lote I	82972	Primaria	24
Sexemayo Lote II	821265	Primaria	31
Cushunga	398	Inicial	9
Cushunga	Cushunga	Secundaria	56
Ronquillo	821372	Primaria	4
Cushunga	82106	Primaria	27
Corisorgona	82119	Inicial Primaria	70
Carhuaquero	821221	Primaria	26
Majadapampa	821335	Primaria	23
Chamis	San Juan De Chamis	Inicial - Primaria - Secundaria	183
Majadapampa	1483	Jardín	4
Carhuaquero	Talentedos	Inicial - no escolarizado	9
Chamis	Chamis Alto	Inicial - no escolarizado	8
Ronquillo	El Ronquillo	Inicial - no escolarizado	8
Corisorgona	Corisorgona Baja	Inicial - no escolarizado	19
Hacienda Secsenmayo	Sexemayo I	Inicial - no escolarizado	7

Nota. Tabla de cantidad de estudiantes obtenida de Minedu (2023)

d) Servicios de agua potable, saneamiento y energía eléctrica

Según el censo realizado por INEI (2017), proporciona la condición de los servicios básicos para los centros poblados involucrados

Tabla 28

Servicios de agua potable, desagüe y energía eléctrica de los centros poblados en la microcuenca Tres Ríos

Centro Poblado	Servicio de agua	Servicio de desagüe	Servicio de energía eléctrica
Corisorgona	SI	NO	SI
El Ronquillo	SI	NO	SI
La Victoria Capellania	SI	NO	SI
Sexemayo Lote I	SI	NO	SI
Sexemayo Lote II	SI	NO	SI
Cushunga	SI	NO	SI
Carhuaquero	SI	NO	SI
		Población total	195

Nota. Tabla que describe si se tienen servicios básicos obtenida de INEI (2017)

Como se resume anteriormente, todos los centros poblados carecen del servicio de desagüe público.

Figura 23.

Reservorio de agua ubicado en Corisorgona



Nota. Reservorio ubicado cerca a la trocha carrozable en el C.P. de Corisorgona

Pozos y fuentes de agua: En las zonas muestreadas, se pudo conversar con algunos pobladores los cuales afirmaron y mostraron sus fuentes de agua las cuales fueron ubicados geográficamente:

Tabla 29.

Ubicación de fuentes de agua y sus usos según sus pobladores o autoridades

Apellidos y Nombres	Fuente de agua	Coordenadas UTM wgs 84	Usos
	Ojo de agua	N: 9205968 E: 766658	Consumo, riego, ganadería.
Pablo Ramos Idrogo (Natural de Sexemayo)	Ojo de agua	N: 9205940 E: 766976	Consumo, riego, ganadería.
	Lagunas	N: 9205659 E: 766685	Riego y ganadería.

Ángeles Ramos Briceño (teniente gobernador de Cushunga)	Manantial	N: 9209115 E: 767621	Riego, ganadería, crianza de truchas.
Rodolfo García Gonzales (teniente gobernador de Corisorgona)	Manantial	N: 9208848 E: 771355	Riego y ganadería.

Nota. Respuestas de las encuestas personales que se tomaron a los comuneros

Productivo

En la microcuenca los sistemas de producción predominantes varían según la altitud de la zona y estos son: Tubérculos (Papa, mashua, ollucos, ocas), cereales (Avena, cebada, trigo), granos básicos (Maíz, tarwi, haba, arveja), así como también el sembrío para el ganado como raigrás y pastos naturales.

Figura 24

Producción de Maíz en la microcuenca Tres Ríos



Nota. Se aprecia la producción de maíz dentro de la microcuenca dividida por parcelas o por chacras

Figura 25

Producción de trigo en la microcuenca Tres Ríos



Nota. Se aprecia la producción de trigo dentro de la microcuenca dividida por parcelas o por chacras

Económico

Según lo observado, la economía se basa en la agricultura y la ganadería, lo cual varía según la altitud en la que se encuentre, además, existen micro comercios en las partes altas las cuales venden productos de necesidades básicas (fideos, arroz, agua, gaseosas), mientras que en las partes más bajas de la microcuenca dichos micronegocios están surtidos con otros diferentes productos, otras fuentes de ingreso son: la mano de obra, leña y alquiler de tierras.

Población, muestra, unidad de análisis y unidades de observación

Población. La presente investigación se centra en la micro cuenca Tres Ríos.

Muestra. Como muestra se tiene las áreas de recarga hídrica pertenecientes a la micro cuenca

Unidad de análisis. Topografía, infiltración, geología, evapotranspiración, cobertura vegetal.

Unidades de observación. La unidad de observación son los lugares adecuados para realizar los ensayos afines a la investigación.

Técnicas e instrumentos de recopilación de información

Se tiene como técnica principal de recopilación de información, la observación directa mediante visitas y recorrido de campo identificando y tomando los puntos de los lugares donde se observan las zonas de recarga, para ello se utilizará como instrumentos, además del análisis de documentos utilizando fuentes como mapas de uso de suelo del gobierno regional de Cajamarca.

El procesamiento de información cartográfica se realizó mediante softwares como ArcGIS, AutoCAD Civil 3D, Google Earth, etc. para luego realizar los análisis y cálculos correspondientes presentándolos mediante mapas donde representen las zonas de infiltración según los resultados (menor, media y mayor), mientras que la información de campo e hidrológica se procesará y analizará mediante Microsoft Excel, Hojas de cálculo.

Equipos, materiales, insumos, etc.

Para la presente investigación se utilizará: una laptop marca DELL G15 con procesador RYZEN 7, GPS Garmin Montana 680 y Cámara fotográfica CANON T10, infiltrometro de anillo, nivel de construcción, wincha, cronómetro, impresora Canon G2110, celular Samsung A32.

Matriz de consistencia metodológica

Título: Metodologías para la identificación de zonas de recarga hídrica en la zona alta de la microcuenca Tres Ríos, Cajamarca, Perú.								
Formulación del problema	Objetivos	Hipótesis	Variables/categorías	Dimensiones/factores	Indicadores/cualidades	Fuente o instrumentos de recolección de datos	Metodología	Población y muestra
¿Cuáles son las metodologías más adecuadas para identificar las zonas de recarga hídrica en la microcuenca Tres Ríos y cuáles son los lugares con mayor infiltración de agua?	<p>Objetivo general:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Determinar las zonas de recarga hídrica de la microcuenca Tres Ríos mediante el uso de metodologías de identificación de infiltración. <p>Objetivos específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> - Analizar la topografía y geología de la microcuenca Tres Ríos para identificar áreas propicias para la infiltración de agua 	Las metodologías para la identificación de zonas de recarga hídrica indicarán los lugares donde se produce la mayor infiltración en la microcuenca Tres Ríos.	<p>Variable 1: Metodología RAS</p> <p>Variable 2: Metodología Participativa</p>	Topografía	Rango de pendientes	Cartas geográficas de información espacial MED.	Aplicada, no experimental, descriptiva y transversal.	<p>Población: La microcuenca Tres Ríos.</p> <p>Muestra: Áreas de recarga hídrica pertenecientes a la microcuenca</p>
				Geología	Tipo de suelo Tipo y de formación geológica	Cartas geológicas y uso de suelo proporcionado por MINAM.		
				Hidrología	Evapotranspiración media anual. Precipitación media anual	Información hidrológica de SENAMHI y data PISCO de las estaciones cercanas		

<p>mediante herramientas SIG</p> <ul style="list-style-type: none"> - Evaluar el tipo de vegetación y uso de suelo presente en la microcuenca para determinar su impacto en la recarga hídrica. - Realizar estudios de infiltración en diferentes puntos de la microcuenca para medir la efectividad de la recarga hídrica en cada zona - Comparar los resultados obtenidos de las metodologías. - Contrastar los resultados alcanzados con los medidos en campo. - Elaborar un mapa de las zonas de recarga hídrica identificadas en la microcuenca Tres Ríos para su uso en la planificación y gestión de los recursos hídricos. 				<p>Cobertura vegetal</p>	<p>Tipo de cobertura vegetal</p>	<p>Recopilación de información espacial mediante imágenes satelitales o con dron y cartas GIS</p>		
				<p>Uso de suelo</p>	<p>Uso del suelo por categoría</p>	<p>Recopilación de las cartas de MINAM y visitas al lugar para rectificar y actualizar la información</p>		
			<p>Zonas de recarga Hídrica</p>	<p>Área</p>	<p>Kilómetros cuadrados</p>	<p>Metodologías para la identificación de las zonas de recarga</p>		

CAPITULO V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Presentación de resultados

Resultados de la utilización de la metodología RAS

Se presentan los resultados obtenidos de la aplicación de la metodología RAS

Caracterización del tipo de suelo (kfc)

Tabla 30

Coefficiente de los suelos identificados en la microcuena

Tipo de suelo	Coefficiente Kfc	Área (Ha)
Paramosol – Leptosol (PS-L)	0.10	78.46267
Paramosol (PS)	0.10	2055.595
Paramo Andosol (PA)	0.20	92.65912
Phaeozem – Leptosol (HL-)	0.20	1206.838
Andosol – Leptosol (T-L)	0.15	118.8093

Nota. Valores de los coeficientes Kfc según las áreas identificadas en la microcuena

Caracterización de la pendiente (kp)

Tabla 31

Valor del coeficiente de según la pendiente usando la metodología RAS

Pendiente	Área (Ha)	Coefficiente Kp
0 - 5%	1340	0.4
5 - 15 %	778	0.15
15 - 30%	774	0.1
30 - 50 %	411	0.07
50 - 70 %	94	0.05
> 70 %	24	0.01

Nota. Valores de los coeficientes Kp según las áreas identificadas en la microcuena

Caracterización del tipo de cobertura vegetal (kv)

Tabla 32

Coefficiente Kv según el tipo de cobertura vegetal en la microcuenca

Uso del suelo	Área (Ha)	Kv
Agricultura Costera y andina	908.45	0.2
Lagunas, Lagos y cochas	3.10	0
Matorral Arbustivo	829.44	0.15
Pajonal andino	1772.37	0.2
Plantación Forestal	46.46	0.15

Nota. Coeficiente Kv según el tipo de cobertura vegetal de las áreas identificadas

Cálculo del coeficiente de infiltración

Una vez obtenidos los mapas caracterizados con los coeficientes según el tipo de suelo (Kfc), Coeficiente de pendiente (Kp), y coeficiente de cobertura vegetal (Kv), se puede hallar el coeficiente de infiltración (C) mediante la ecuación (2)

$$C = Kfc + Kp + Kv$$

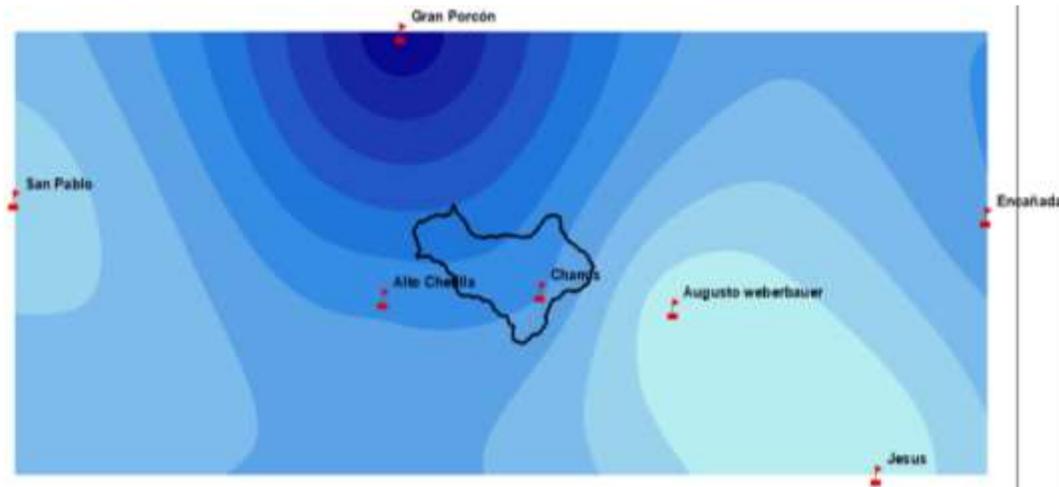
Obteniendo como resultado el mapa que se presenta en el anexo IV. Figura 94

Precipitación media anual

La precipitación media anual fue estimada utilizando la información climática previamente recopilada. Para su uso en los análisis espaciales, estos datos fueron procesados en un entorno SIG, convirtiéndolos en un archivo ráster mediante interpolación como se muestra a continuación:

Figura 26

Distribución de la precipitación según los datos de las estaciones cercanas

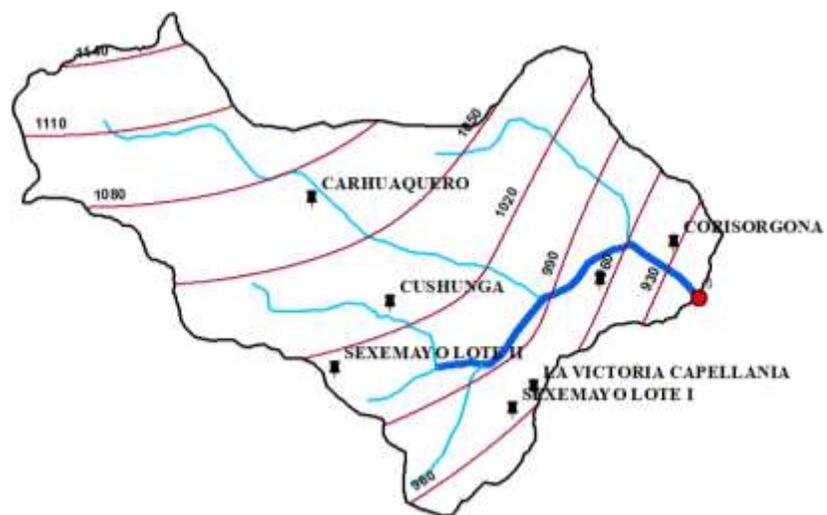


Nota. La figura presenta las isoyetas dibujadas a partir de las precipitaciones media anual de las estaciones más cercanas a la microcuenca

A partir de esta reclasificación se generaron las isoyetas correspondientes, las cuales se presentan a continuación junto con sus respectivas áreas. Esta información fue utilizada para calcular la precipitación media anual ponderada en la microcuenca.

Figura 27

Distribución de las isoyetas en la microcuenca Tres Ríos



Nota. La figura presenta las isoyetas dibujadas a partir de la distribución de la precipitación

Tabla 33*Cálculo de la precipitación media anual en la microcuenca Tres Ríos*

Cálculo de la Precipitación promedio anual				
Área Km2	Iso. min. (mm)	Iso. máx. (mm)	Prom. Isoyeta	Área * I. Prom
0.33	1170	1140	1155	382.18
2.84	1140	1110	1125	3195.18
4.24	1110	1080	1095	4642.38
5.85	1080	1050	1065	6230.38
8.31	1050	1020	1035	8601.31
6.04	1020	990	1005	6070.94
4.65	990	960	975	4531.07
1.60	960	930	945	1510.96
0.82	930	900	915	750.69
Suma	34.21			35915.09

Nota. Cálculo de la precipitación promedio anual mediante el método de las isoyetas

Por tanto, operando: $(\sum \text{Área} * \text{I. Prom}) / \sum \text{Área} = 35915.09 / 34.21$

Precipitación media anual (mm): 1049.83

Evapotranspiración media anual

La evapotranspiración real fue estimada a partir de datos climáticos y procesada en un entorno SIG mediante interpolación, generando un archivo ráster que permitió calcular sus valores por celda y representar su distribución espacial en la microcuenca Tres Ríos. Las isoyetas obtenidas se muestran en el Anexo IV, figura 90.

Tabla 34*Valores de la Evapotranspiración media anual de las estaciones cercanas a la microcuenca*

Estación	ETo media diaria (mm/día)	ETo media anual (mm/año)
Augusto Weberbauer	3.36	1226.4
Granja Porcón	2.79	1018.35
San Pablo	2.70	985.5
Encañada	3.40	1241
Jesús	3.35	1222.75

Nota. La tabla muestra los valores de ETo según el método de Penman-Monteith en mm para cada estación.

Figura 28*Distribución de la Evapotranspiración según las estaciones cercanas a la microcuenca*

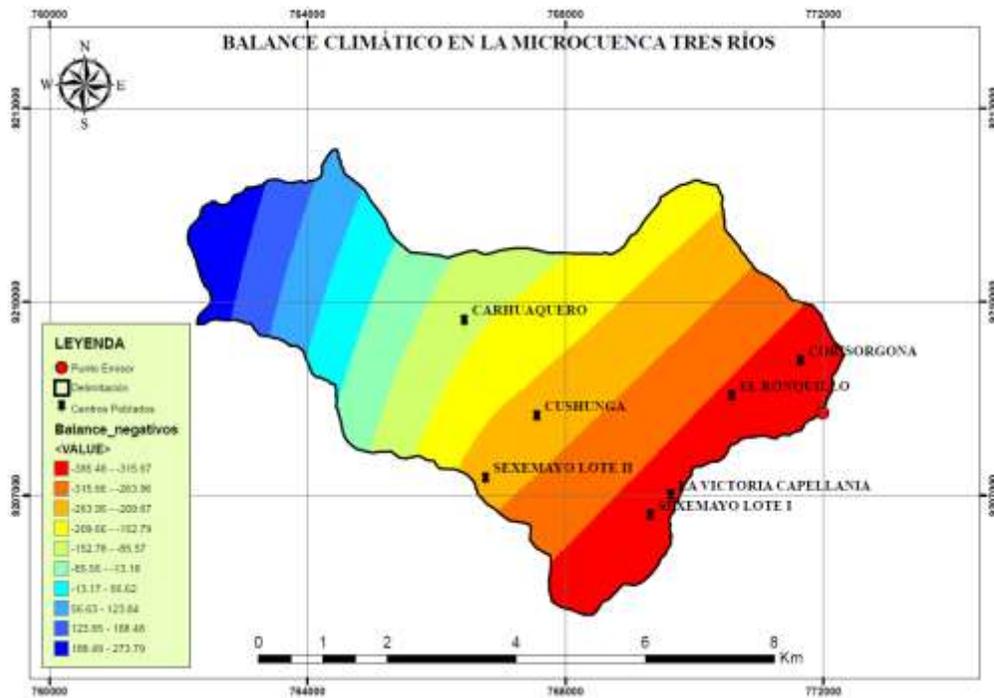
Nota. La figura presenta las isoyetas de evapotranspiración dibujadas a partir del resultado de la evapotranspiración de referencia calculada con el programa CROPWAT 8.0 el cual utiliza la ecuación de Penman-Monteith media anual de las estaciones más cercanas a la microcuenca

Balance climático

El balance climático (BC) se calculó mediante la ecuación (1), como resultado de la diferencia entre la precipitación media anual y la evapotranspiración real, ambas representadas espacialmente en formato ráster. Tal como se observa a continuación.

Figura 29.

Balance climático (Real) en la microcuenca Tres Ríos

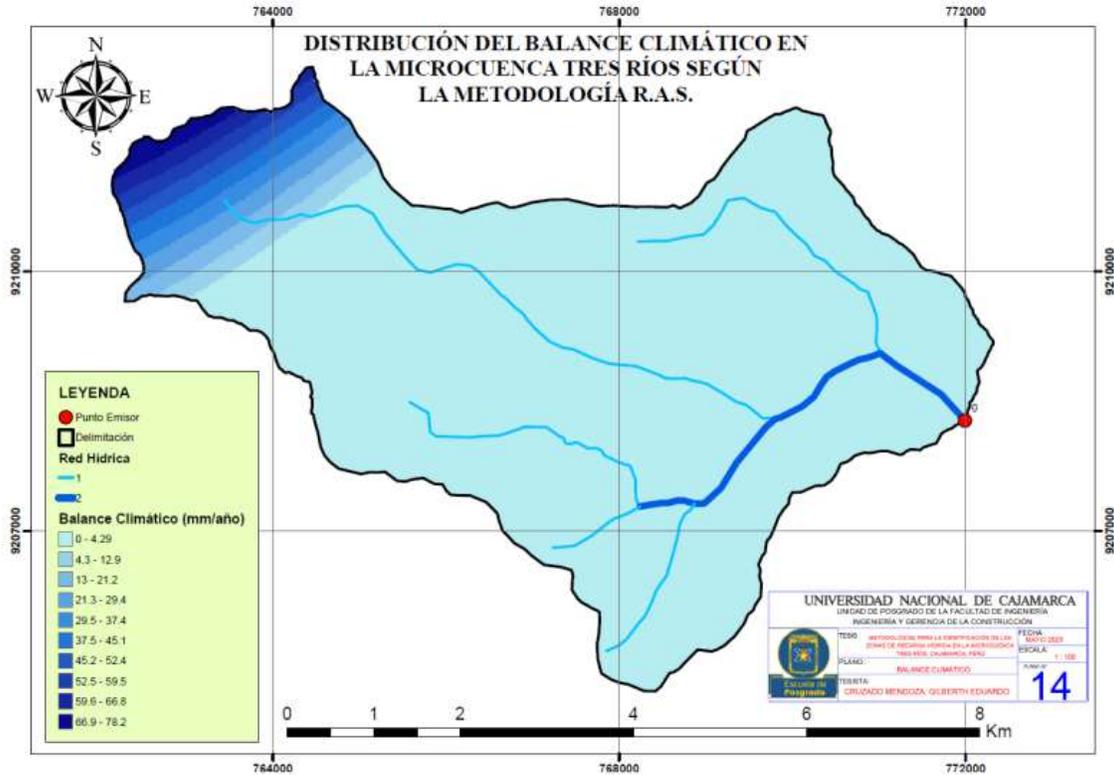


Nota. Debido a la demanda hídrica, en la microcuenca se obtienen valores negativos, lo que indica que la disponibilidad de agua es menor a la requerida anualmente. Esto significa que, para desarrollar un proyecto de siembra, las áreas con valores negativos necesitarían un aporte adicional de agua para garantizar la sostenibilidad de la vegetación.

El mapa resultante presenta valores negativos en amplias zonas de la cuenca, lo cual se atribuye principalmente a la alta demanda hídrica asociada a la actividad agrícola. Para fines de presentación de resultados, dichos valores negativos fueron ajustados a cero, bajo el criterio de que en esas áreas no se produce recarga hídrica efectiva. Dicho ajuste es presentado a continuación y la cual está de manera ampliada en el Anexo V, figura 95

Figura 30.

Distribución del balance climático modificado para la metodología R.A.S.



Nota. Debido a la presencia de valores negativos en el ráster del balance climático, se procedió a reclasificar dichos valores asignándoles un valor de cero. Esta adaptación tuvo como finalidad representar únicamente las zonas con potencial de recarga hídrica positiva, excluyendo aquellas que reflejan déficit hídrico o necesidad de agua, las cuales no aportan a la recarga.

Resultados de zonas de posible recarga hídrica según la metodología RAS

Para la obtención del mapa de recarga hídrica se aplicó la ecuación (3) de la metodología R.A.S., la cual permite estimar la cantidad de agua que se infiltra en el terreno, a partir del cálculo del coeficiente de infiltración (C) y del balance climático (BC).

$$R = BC * C \quad (3)$$

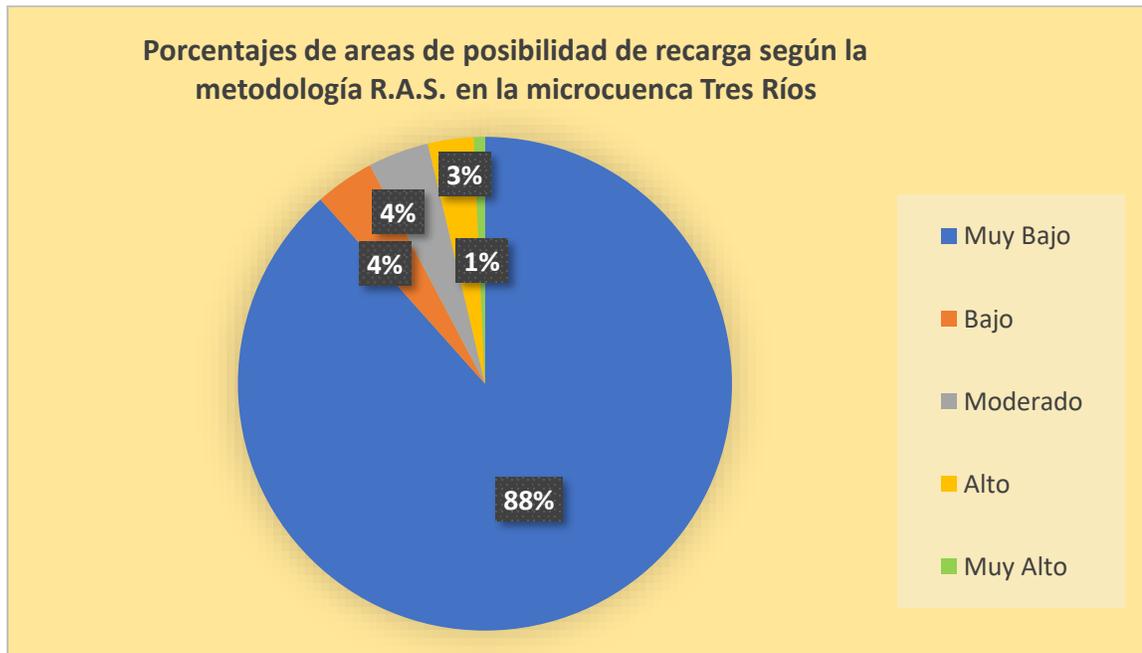
El resultado se presenta en el mapa detallado en la figura 96 del anexo V, que representa espacialmente las zonas con mayor y menor potencial de recarga en la microcuenca Tres Ríos.

Tabla 35.
Resumen de los resultados de la metodología de Recarga de Agua Subterránea (R.A.S.)

Metodología	Área (Km)	Porcentaje (%)	Valores (mm/años)	Clasificación
	31.37	88.41	0 – 4.14	Muy Bajo
Metodología	1.38	3.88	4.14 – 12.85	Bajo
de recarga de	1.42	3.99	12.85 – 21.76	Moderado
agua	1.06	3.00	21.77 – 33.78	Alto
subterránea	0.26	0.72	33.79 – 52.85	Muy Alto

Nota. En el grafico se observa que mediante la metodología de recarga de agua subterránea (R.A.S.) la probabilidad de recarga predominante es “Muy Bajo”

Figura 31.
Porcentajes de áreas de posibilidad de recarga según la metodología de recarga de agua subterránea R.A.S. en la microcuenca Tres Ríos



Nota. En el grafico se observa que mediante la metodología de recarga de agua subterránea R.A.S., la probabilidad de recarga predominante es “Muy Bajo”

Resultados de la utilización de la metodología Participativa

A continuación, se presentan los resultados obtenidos mediante la aplicación de la metodología participativa. Si bien algunos de estos insumos fueron utilizados directamente en el cálculo y elaboración de los mapas de zonas de recarga, otros aportan a la caracterización integral de la cuenca, incorporando un enfoque social complementario al análisis técnico.

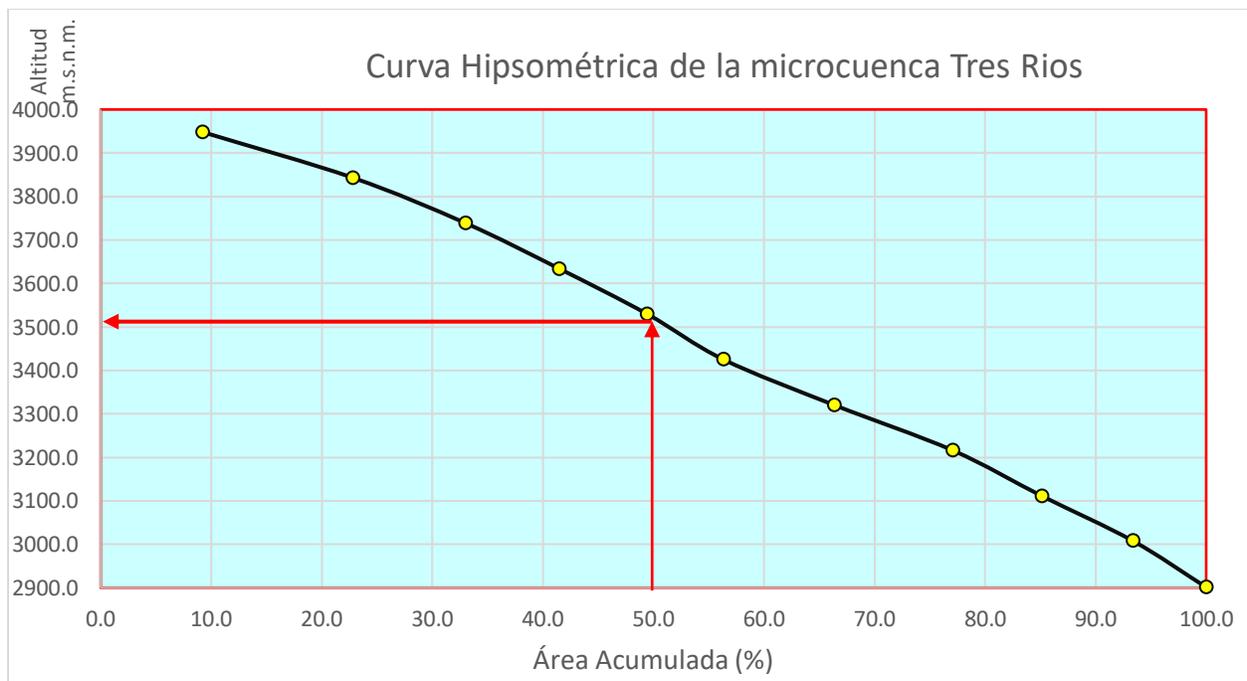
Características Geomorfológicas de la cuenca

Elevación media

La elevación media de la cuenca se calculó median la utilización de la curva hipsométrica

Figura 32.

Curva Hipsométrica de la microcuenca Tres Ríos



Nota. Se presentan el dibujo de la curva hipsométrica donde se ubica el 50% del área acumulada que suele ser similar al valor de la altitud promedio de la cuenca

De la curva anteriormente presentada se puede concluir que la elevación media es 3510 m.s.n.m., además también se puede afirmar que el 70% del área se encuentra entre los 3280 y 4000 m.s.n.m., mientras que el 30% se ubica entre los 4000 y 3770 m.s.n.m.

Factor de Forma

El factor de forma fue calculado por la ecuación (6)

Donde:

P (Perímetro de la cuenca en Km) : 30.94

A (Área de la cuenca en Km²) : 35.52

De los datos anteriores se tiene:

I_c: 1.463

Gracias a la tabla (18) se deduce que es una cuenca Oblonga

Longitud y pendiente del cauce principal

La longitud y pendiente del cauce principal fueron hallados mediante el uso de herramientas SIG

De lo cual se tienen los siguientes datos:

Longitud del curso principal: 12.8 Km

Pendiente del curso principal: 3.302 %

Densidad de corrientes y de drenaje

La densidad de corrientes y de drenaje fueron calculadas con la ecuación (7) y (8) respectivamente, sus resultados:

$$D_c = \frac{6}{35.52} = 0.1689 \frac{\text{corrientes}}{\text{km}^2}$$

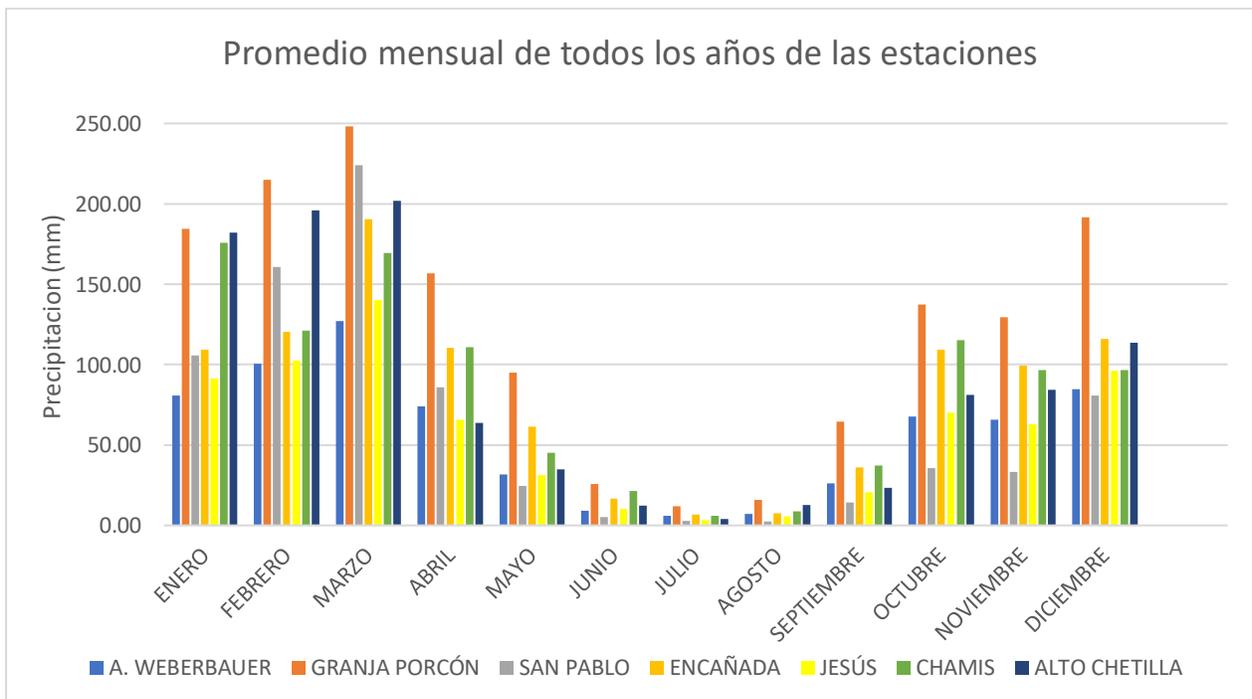
$$D_d = \frac{L_t}{A} = \frac{22.96}{35.52} = 0.646 \frac{\text{km}}{\text{km}^2}$$

Precipitación

La distribución de la precipitación media anual en la microcuenca Tres Ríos fue organizada en intervalos regulares y representada mediante un histograma, con el objetivo de visualizar la frecuencia de ocurrencia de los distintos rangos de precipitación.

Figura 33

Precipitación promedio mensual - anual de las estaciones cercanas



Nota. El gráfico muestra una clara tendencia de la lluvia que se presenta con mayor intensidad en los meses de enero a marzo, mientras que esta disminuye durante los meses de junio a agosto.

Pendiente y relieve

Según la ponderación participativa, la pendiente y relieve fueron clasificado como se presenta en la siguiente tabla y tal cual se observa en el mapa de la figura 84 del anexo V.

Tabla 36

Ponderación y posibilidad de recarga según la metodología participativa

Pendiente	Área (Km²)	Porcentaje%	Ponderación	Posibilidad de recarga
0 - 6 %	5.06	14.24%	5	muy alta
6 - 15%	6.67	18.79%	4	alta
15 - 45 %	17.62	49.61%	3	moderada
45 - 65%	4.20	11.82%	2	baja
> 65 %	1.97	5.54%	1	muy baja

Nota. Ponderación según el porcentaje de pendiente en diferentes áreas en la microcuenca

Tipo de suelos

Según la ponderación participativa, el tipo de suelo fue clasificado como se presenta en la siguiente tabla y tal cual se observa en el mapa de la figura 88 del anexo V

Tabla 37

Coefficiente de los suelos identificados en la microcuenca

Tipo de suelo	Ponderación	Área (Km²)
Paramosol – Leptosol (PS-L)	1	0.78
Paramosol (PS)	3	20.56
Paramo Andosol (PA)	5	0.93
Phaeozem – Leptosol (HL-)	5	12.07
Andosol – Leptosol (T-L)	4	1.19

Nota. Ponderación según el porcentaje del tipo de suelo en diferentes áreas en la microcuenca

Geología

Según la ponderación dada por la metodología participativa, la formación geológica y el tipo de rocas presentes en la microcuenca fueron clasificados en función de su capacidad de infiltración y retención hídrica tal como se muestra en la siguiente tabla y se observa en el mapa de la figura 87 del anexo V

Tabla 38

Valores de posibilidad de recarga según la geología de la microcuenca

Formación Geológica	Posibilidad de recarga	Ponderación	Área (Km²)
Ki-f	Muy alta	5	4.09
Ks-yu	moderada	3	11.46
Ki-in	alta	4	0.84
Ki-chu	moderada	3	3.88
Ti-vsp	moderada	3	2.46
Ks-qm	moderada	3	6.23
Ks-c	alta	4	3.81
Ki-pa	moderada	3	2.39
Ts-vh	baja	2	0.36

Nota. Ponderación según el porcentaje del tipo de roca según las formaciones encontradas en diferentes áreas en la microcuenca

Uso del suelo

Según la ponderación participativa, el uso de suelo fue clasificado como se presenta en la siguiente tabla y se observa en el mapa de la figura 86 del anexo V

Tabla 39

Ponderación según el tipo de cobertura vegetal en la microcuenca

Cobertura vegetal (Porcentaje)	Posibilidad de recarga	Ponderación	Área (Ha)
Uso forestal (0.18%)	Alta	4	1.50
Uso agrícola (95.67%)	Baja	2	6.44
Otros usos (4.14%)	Muy baja	1	27.58

Nota. Ponderación según el porcentaje del tipo de uso de suelo en diferentes áreas en la microcuenca

Resultados de zonas de posible recarga hídrica según la metodología Participativa

Habiendo realizado la clasificación y el desarrollo de los mapas de: pendiente, tipo de suelo, tipo de roca, cobertura vegetal permanente y usos de suelo, se pueden identificar las zonas de recarga mediante la ecuación (4):

$$ZR = [0.27(Pend) + 0.23(Ts) + 0.12(Tr) + 0.25(Cve) + 0.13(Us)]$$

Del cálculo realizado, se obtiene un mapa el cual representa las zonas de posible recarga hídrica para esta metodología, el cual es presentado en el anexo V, figura 97, y también es presentado en la siguiente tabla y gráfico.

Tabla 40.

Resumen de los resultados de la metodología Participativa

Metodología	Área (Km)	Porcentaje (%)	Clasificación
	0.075	0.21	Muy baja
	3.72	10.51	Baja
Metodología	20.34	57.32	Moderada
Participativa	10.05	28.35	Alta
	1.27	3.60	Muy alta

Nota. Se presentan los porcentajes del área de la cuenca y su clasificación

Figura 34.

Porcentajes de áreas de posibilidad de recarga según la metodología participativa en la microcuenca Tres Ríos



Nota. En el gráfico se observa que mediante la metodología participativa la probabilidad de recarga predominante es “Moderada”

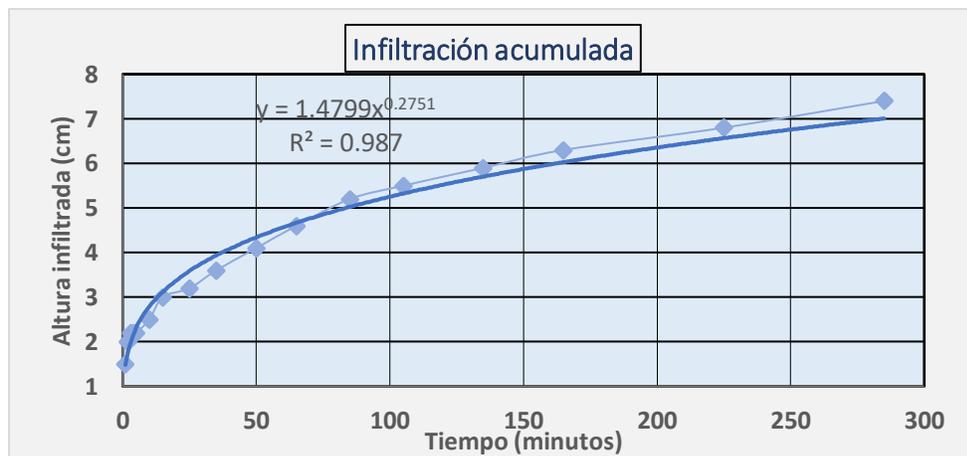
Capacidad de infiltración del suelo

Los resultados obtenidos de los ensayos de infiltración se presentan mediante gráficas de infiltración acumulada y velocidad de infiltración, lo cual permite visualizar el comportamiento del flujo de agua en el suelo en los distintos puntos evaluados de la microcuenca.

➤ Sexemayo (1)

Figura 35.

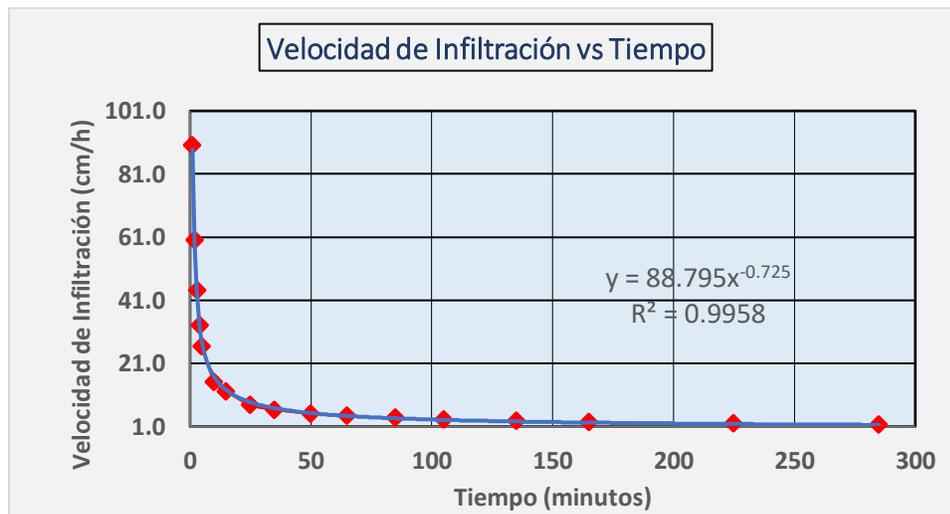
Infiltración acumulada - Sexemayo (1)



Nota. Gráfico de Altura infiltrada vs Tiempo del punto Sexemayo (1)

Figura 36.

Velocidad de infiltración vs tiempo - Sexemayo (1)



Nota. Gráfico de velocidad de infiltración vs Tiempo del punto Sexemayo (1)

Velocidad de infiltración instantánea = 1 cm/h

Cálculo de los coeficientes de la ecuación de la infiltración instantánea

Ecuación de la infiltración acumulada $y = 1.4799x0.2751 - 0.725$ $R^2 = 0.987$

Coeficientes			
A	B	a	b
1.4799	0.2751	0.407	-0.725

Ecuación de infiltración instantánea

$$I = 0.407 t^{-0.725}$$

Cálculo del tiempo de infiltración básica y la velocidad de infiltración básica

Tiempo de infiltración básica t_b

$$\begin{aligned} t_b &= 7.249 \text{ horas} \\ t_b &= 434.94 \text{ minutos} \\ t_b &= 1 \text{ hora y } 59 \text{ minutos} \end{aligned}$$

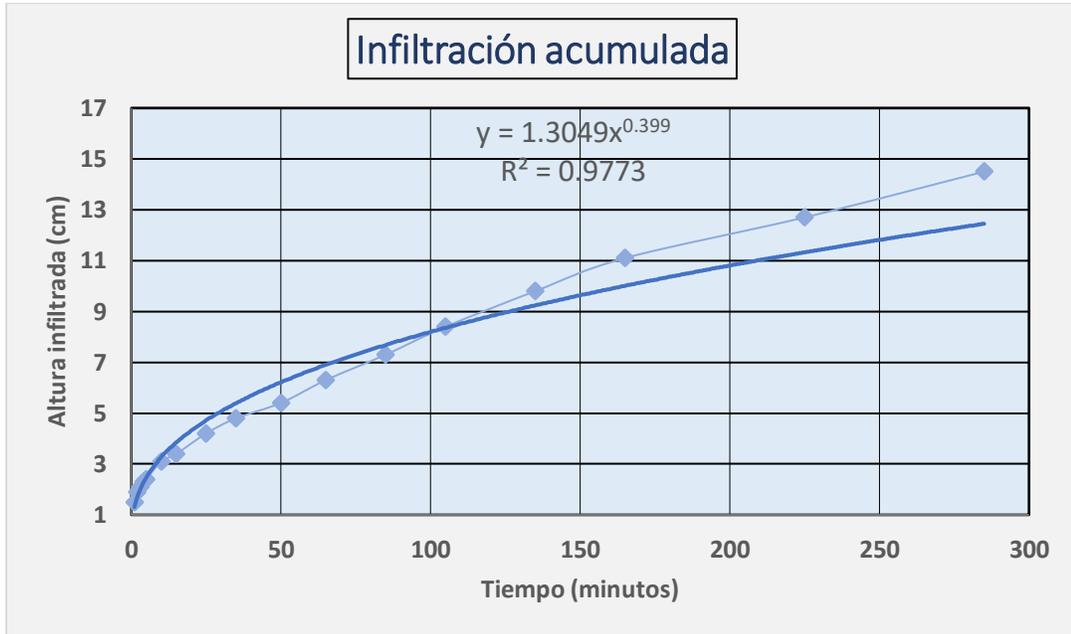
Velocidad de infiltración básica

$$\begin{aligned} I_b &= 0.005 \text{ cm/min} \\ I_b &= 0.3 \text{ cm/h} \end{aligned}$$

➤ Sexemayo (2)

Figura 37.

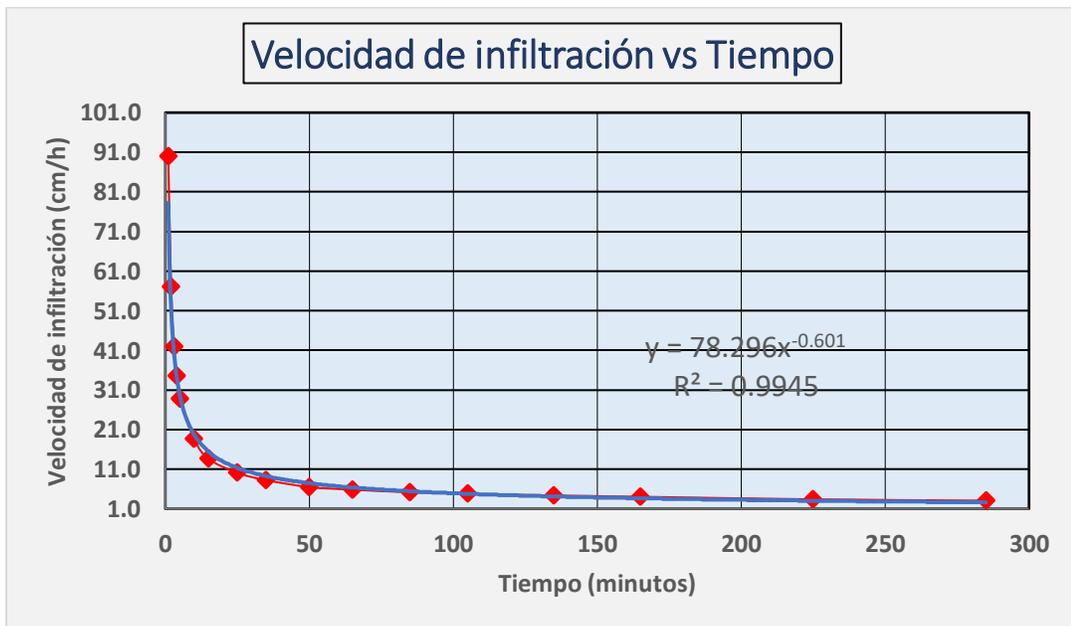
Infiltración acumulada - Sexemayo (2)



Nota. Gráfico de Altura infiltrada vs Tiempo del punto Sexemayo 2

Figura 38.

Velocidad de infiltración vs tiempo – Sexemayo (2)



Nota. Gráfico de velocidad de infiltración vs Tiempo del punto Sexemayo (2)

Velocidad de infiltración instantánea = 2.5 cm/h

Cálculo de los coeficientes de la ecuación de la infiltración instantánea

Ecuación de la infiltración acumulada $y = 1.3049x^{0.399}$ $R^2 = 0.9773$

Coeficientes				
A	B	a	b	
1.3049	0.3990	0.521	-0.601	

Ecuación de infiltración instantánea

$$I = 0.521 t^{-0.601}$$

Cálculo del tiempo de infiltración básica y la velocidad de infiltración básica

Tiempo de infiltración básica t_b

$$\begin{aligned} t_b &= 6.01 \text{ horas} \\ t_b &= 360.6 \text{ minutos} \\ t_b &= 1 \text{ hora y } 59 \text{ minutos} \end{aligned}$$

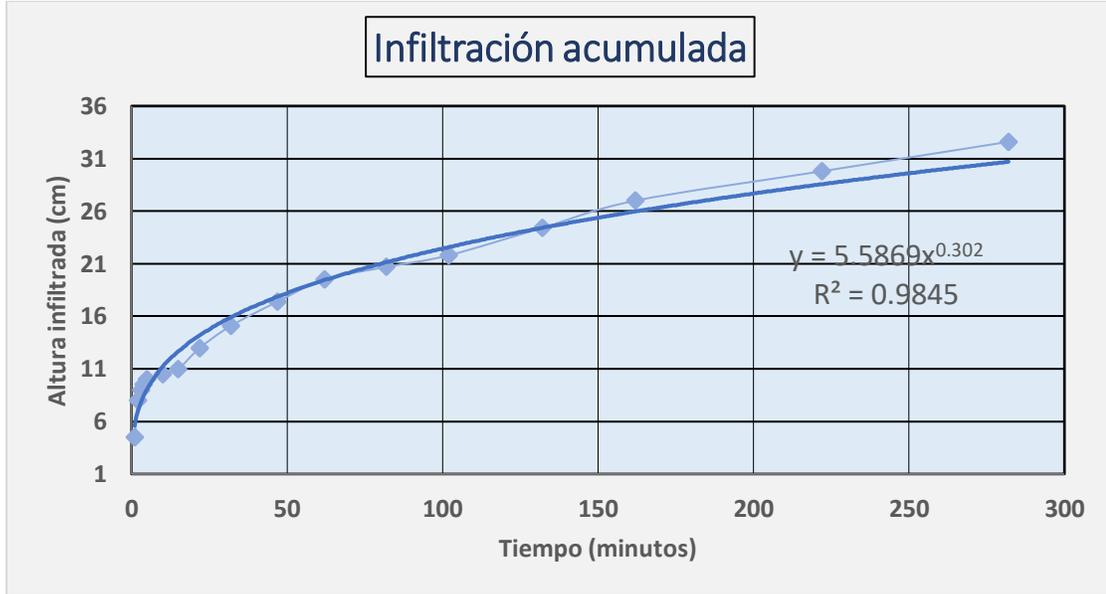
Velocidad de infiltración básica

$$\begin{aligned} I_b &= 0.015 \text{ cm/min} \\ I_b &= 0.9 \text{ cm/h} \end{aligned}$$

➤ **Cushunga**

Figura 39.

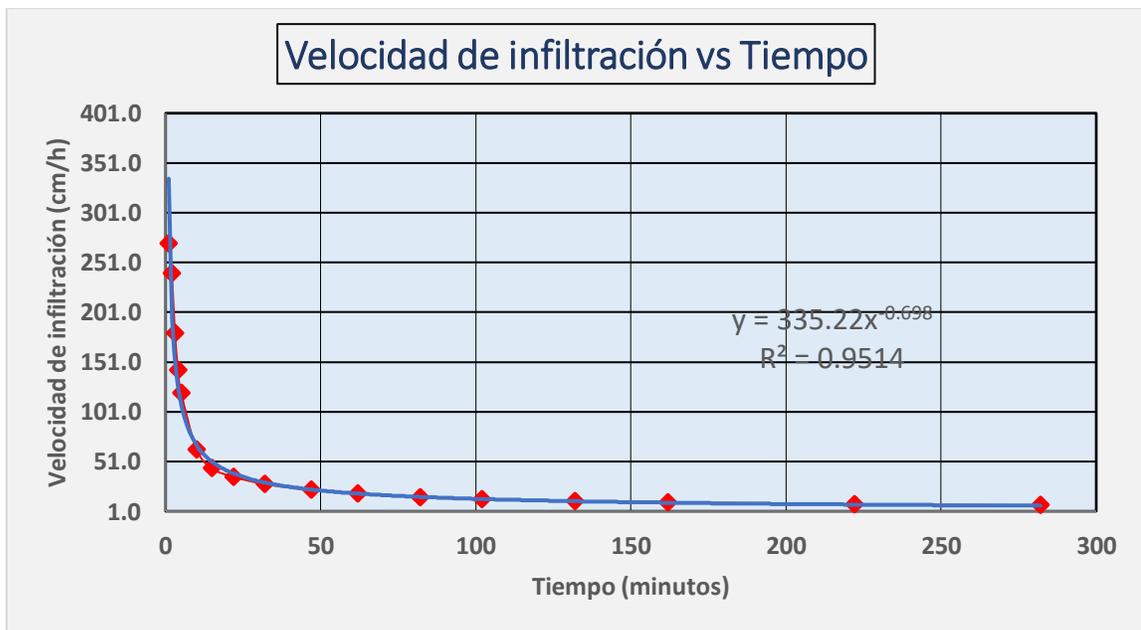
Infiltración Acumulada - Cushunga



Nota. Gráfico de Altura infiltrada vs Tiempo del punto Cushunga

Figura 40.

Velocidad de Infiltración vs Tiempo - Cushunga



Nota. Gráfico de velocidad de infiltración vs Tiempo del punto Cushunga

Velocidad de infiltración instantánea = 2.2 cm/h

Cálculo de los coeficientes de la ecuación de la infiltración instantánea

Ecuación de la infiltración acumulada $y = 5.5869x^{0.302}$ $R^2 = 0.9845$

Coeficientes				
A	B	a	b	
5.5869	0.3020	1.687	-0.698	

Ecuación de infiltración instantánea

$$I = 1.687 t^{-0.698}$$

Cálculo del tiempo de infiltración básica y la velocidad de infiltración básica

Tiempo de infiltración básica t_b

$$\begin{aligned} t_b &= 6.98 \text{ horas} \\ t_b &= 418.8 \text{ minutos} \\ t_b &= 1 \text{ hora y } 59 \text{ minutos} \end{aligned}$$

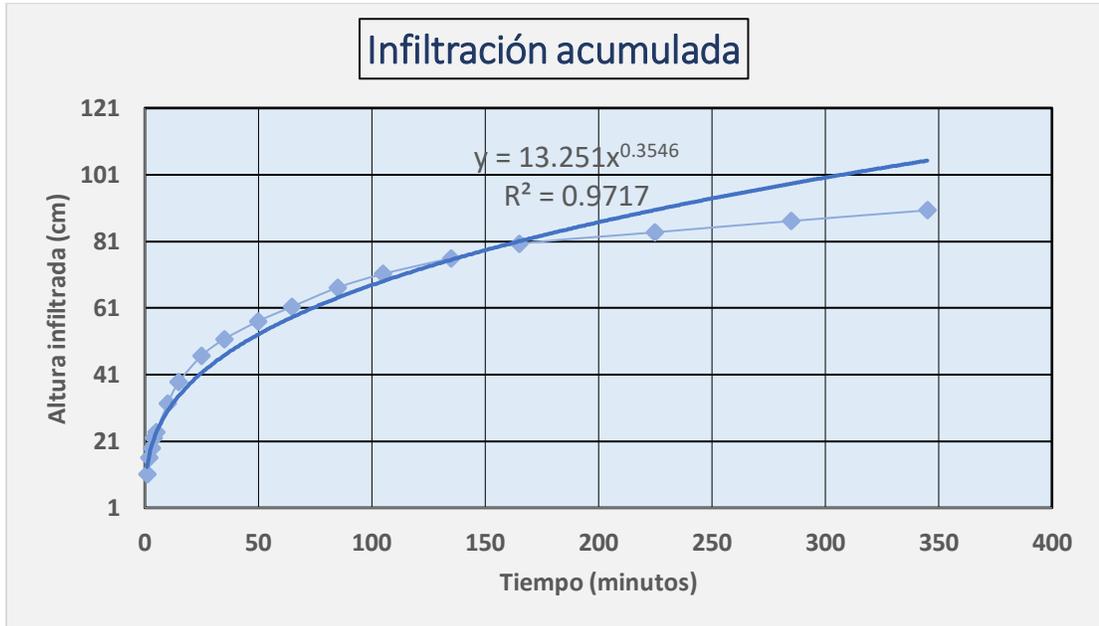
Velocidad de infiltración básica

$$\begin{aligned} I_b &= 0.025 \text{ cm/min} \\ I_b &= 1.5 \text{ cm/h} \end{aligned}$$

➤ **Corisorgona**

Figura 41.

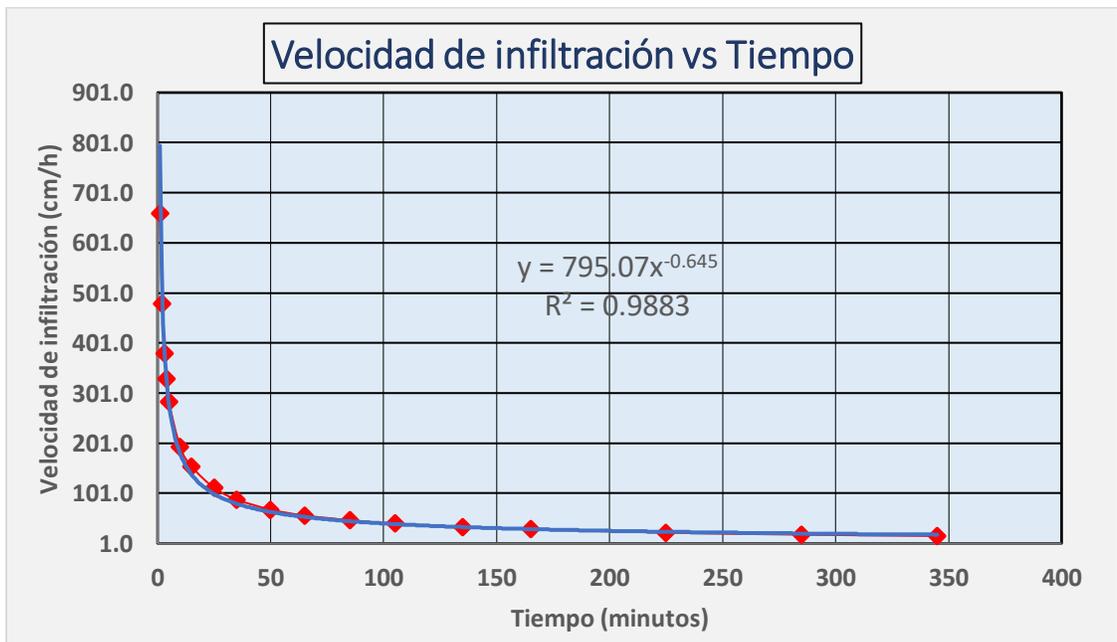
Infiltración acumulada - Corisorgona



Nota. Gráfico de altura infiltrada vs Tiempo del punto Corisorgona

Figura 42.

Velocidad de infiltración vs Tiempo - Corisorgona



Nota. Gráfico de velocidad de infiltración vs Tiempo del punto Corisorgona

Velocidad de infiltración instantánea = 12 cm/h

Cálculo de los coeficientes de la ecuación de la infiltración instantánea

Ecuación de la infiltración acumulada $y = 13.034x^{0.3625}$ $R^2 = 0.9759$

Coeficientes			
A	B	a	b
13.0340	0.3625	4.725	-0.638

Ecuación de infiltración instantánea

$$I = 4.725 t^{-0.638}$$

Cálculo del tiempo de infiltración básica y la velocidad de infiltración básica

Tiempo de infiltración básica t_b

$$\begin{aligned} t_b &= 6.375 \text{ horas} \\ t_b &= 382.5 \text{ minutos} \\ t_b &= 1 \text{ hora y } 59 \text{ minutos} \end{aligned}$$

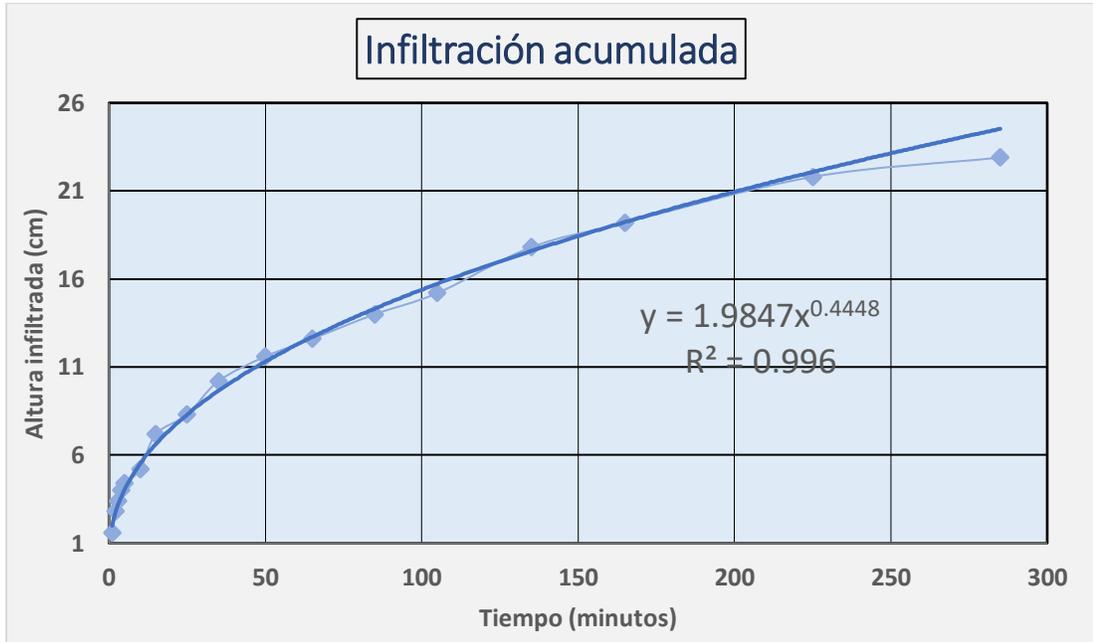
Velocidad de infiltración básica

$$\begin{aligned} I_b &= 0.107 \text{ cm/min} \\ I_b &= 6.4 \text{ cm/h} \end{aligned}$$

➤ Carhuaquero

Figura 43.

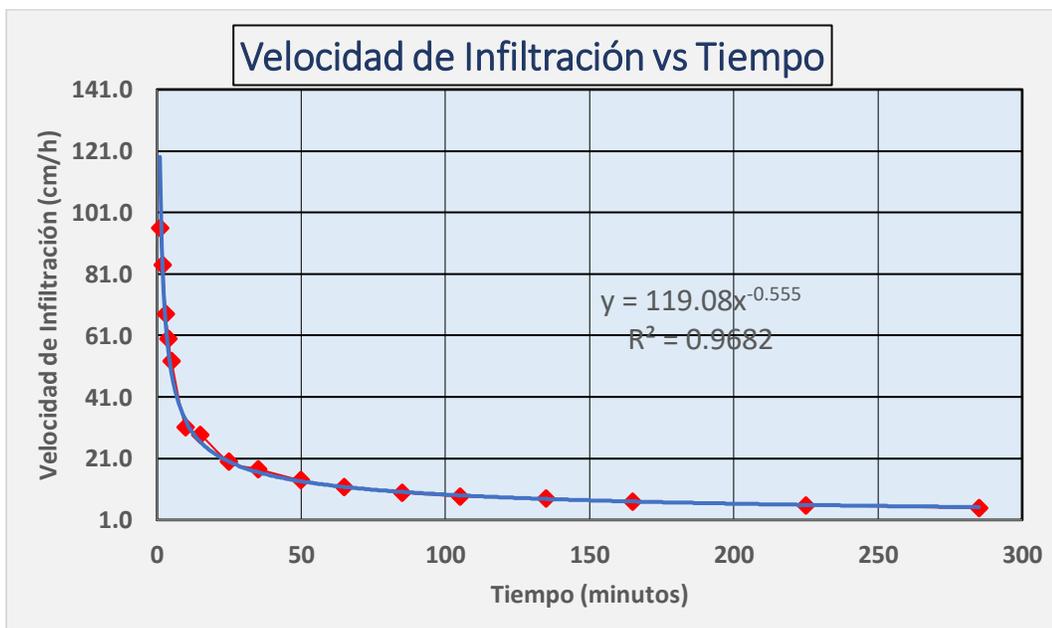
Infiltración acumulada - Carhuaquero



Nota. Gráfico de altura infiltrada vs Tiempo del punto Carhuaquero

Figura 44.

Velocidad de infiltración vs tiempo - Carhuaquero



Nota. Gráfico de velocidad de infiltración vs Tiempo del punto Carhuaquero

Velocidad de infiltración instantánea = 4 cm/h

b) Cálculo de los coeficientes de la ecuación de la infiltración instantánea

Ecuación de la infiltración acumulada $y = 1.9847x0.4448$ $R^2 = 0.996$

Coeficientes			
A	B	a	b
1.9849	0.4480	0.889	-0.552

c) Ecuación de infiltración instantánea

$$I = 0.889 t - 0.552$$

d) Cálculo del tiempo de infiltración básica y la velocidad de infiltración básica

Tiempo de infiltración básica t_b

$t_b =$	5.52	horas
$t_b =$	331.2	minutos
$t_b =$		1 hora y 59 minutos

Velocidad de infiltración básica

$I_b =$	0.036	cm/min
$I_b =$	2.2	cm/h

Lo anteriormente presentado se resumen en la siguiente tabla y es presentado mediante un mapa en el anexo IV, figura 92

Tabla 41.

Clasificación de la velocidad de infiltración de los ensayos según (Matus et al., 2007)

Puntos de muestreo	Infiltración (cm/hora)	Infiltración del suelo	Tipo de suelo	Cobertura vegetal
Sexemayo I	1.56	Baja	Paramo - Andosol	Pajonal Andino
Sexemayo 2	3.05	Moderada	Paramosol	Pajonal Andino
Cushunga	6.94	Moderada	Paramosol	Agricultura costera y andina
Carhuaquero	4.82	Moderada	Paramosol	Plantación forestal
Corisorgona	15.70	Alta	Phaeozem - Leptosol	Matorral Arbustivo

Nota. Cuadro resumen del cálculo de la velocidad de infiltración obtenida en los ensayos

Análisis, interpretación y discusión de resultados

Análisis de resultados.

El análisis de ambas metodologías:

La metodología participativa muestra un área del 57.32% que puede presentar una recarga moderada, por otro lado, la metodología de recarga de agua subterránea (RAS) predominan las zonas de muy baja capacidad de recarga con un 88.41%, esto debido a la demanda agrícola de agua ya que en esta metodología se adiciona parámetros meteorológicos como es el de la evapotranspiración, la cual resta el agua que esta microcuenca puede almacenar.

Para obtener un análisis más preciso sobre las zonas con mayor posibilidad de recarga hídrica en la microcuenca Tres Ríos, se llevó a cabo una clasificación basada en la altitud del terreno. Este enfoque permite diferenciar las áreas según sus características topográficas, las cuales influyen directamente en la infiltración del agua y la recarga de los acuíferos. La microcuenca se dividió en tres categorías altimétricas: zona baja, zona media y zona alta, con el objetivo de evaluar cómo la elevación afecta la capacidad de recarga. En términos generales, las zonas más elevadas suelen presentar una mayor permeabilidad debido a la presencia de suelos menos compactados y una menor intervención antrópica, favoreciendo así la infiltración del agua. Por otro lado, las zonas bajas pueden estar más influenciadas por procesos de escorrentía y acumulación superficial, reduciendo la posibilidad de recarga efectiva. La clasificación de la microcuenca según altitud se detalla en el Anexo V, figura 98, donde se presentan los rangos de altura considerados y su correspondencia con la capacidad de recarga estimada.

A partir de dicha clasificación, se presentan los siguientes gráficos en los cuales se pueden observar las variaciones en porcentaje dependiendo de la zona altitudinal previamente clasificada para cada metodología:

Áreas de recarga para la metodología participativa

Áreas de posibilidad de recarga en microcuenca baja según la metodología

participativa

Tabla 42.

Áreas de posibilidad de recarga hídrica en la microcuenca baja según la metodología participativa

Área (km ²)	Porcentajes de la cuenca baja %	Porcentaje del total de la microcuenca %	Posibilidad de Recarga
0.03	1	0.1	Muy baja
0.53	8	1.5	Baja
5.70	87	16.1	Moderada
0.27	4	0.7	Alta
Suma = 6.53			

Figura 45.

Porcentajes de áreas de posibilidad de recarga según la metodología participativa en la microcuenca baja



Nota. En el gráfico se observa que la probabilidad de recarga en cuenca baja es: “Moderada” y que es la que tiene mayor porcentaje frente a las otras posibilidades.

Áreas de posibilidad de recarga en microcuenca media según la metodología

participativa

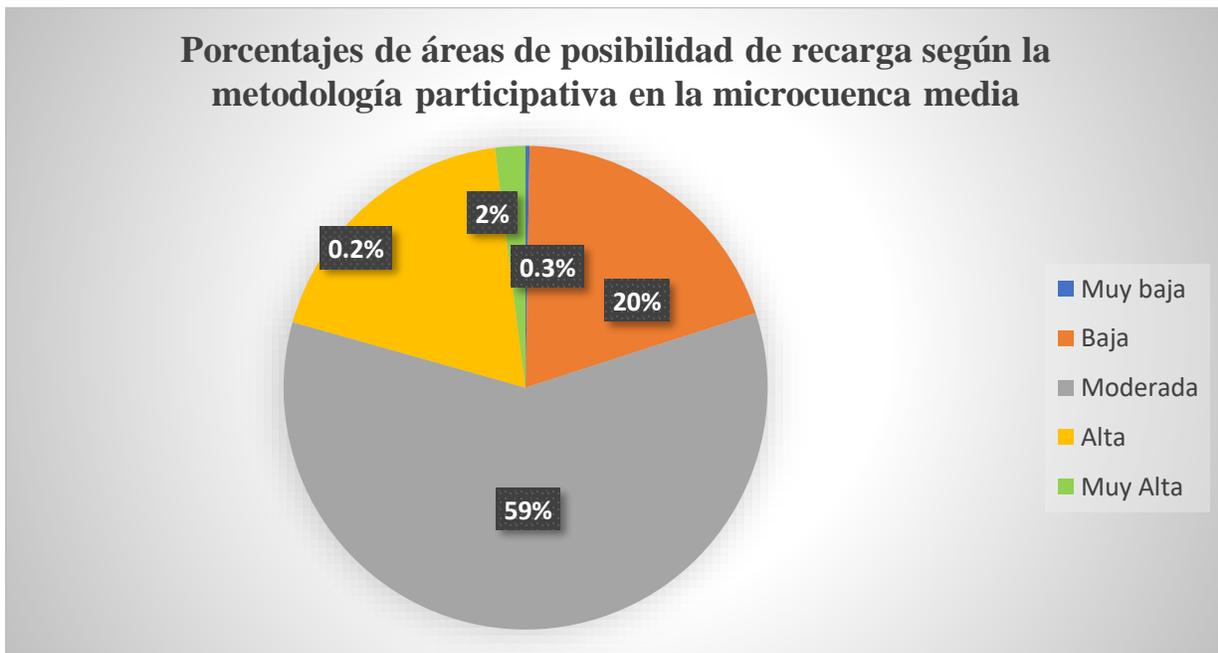
Tabla 43.

Porcentaje de áreas de posibilidad de recarga hídrica en la microcuenca media según la metodología participativa

Área (km ²)	Porcentajes de la cuenca media %	Porcentaje del total de la microcuenca %	Posibilidad de Recarga
0.04	0.3	0.12	Muy baja
3.1	19.7	8.75	Baja
9.3	59.4	26.28	Moderada
2.9	18.6	8.24	Alta
0.3	2.0	0.89	Muy Alta
Suma= 15.7			

Figura 46.

Porcentaje de áreas de posibilidad de recarga según la metodología participativa en la microcuenca media



Nota. En el grafico se observa que la probabilidad de recarga en cuenca media es: “Moderada” y que es la que tiene mayor porcentaje frente a las otras posibilidades.

Áreas de posibilidad de recarga en microcuenca alta según la metodología

participativa

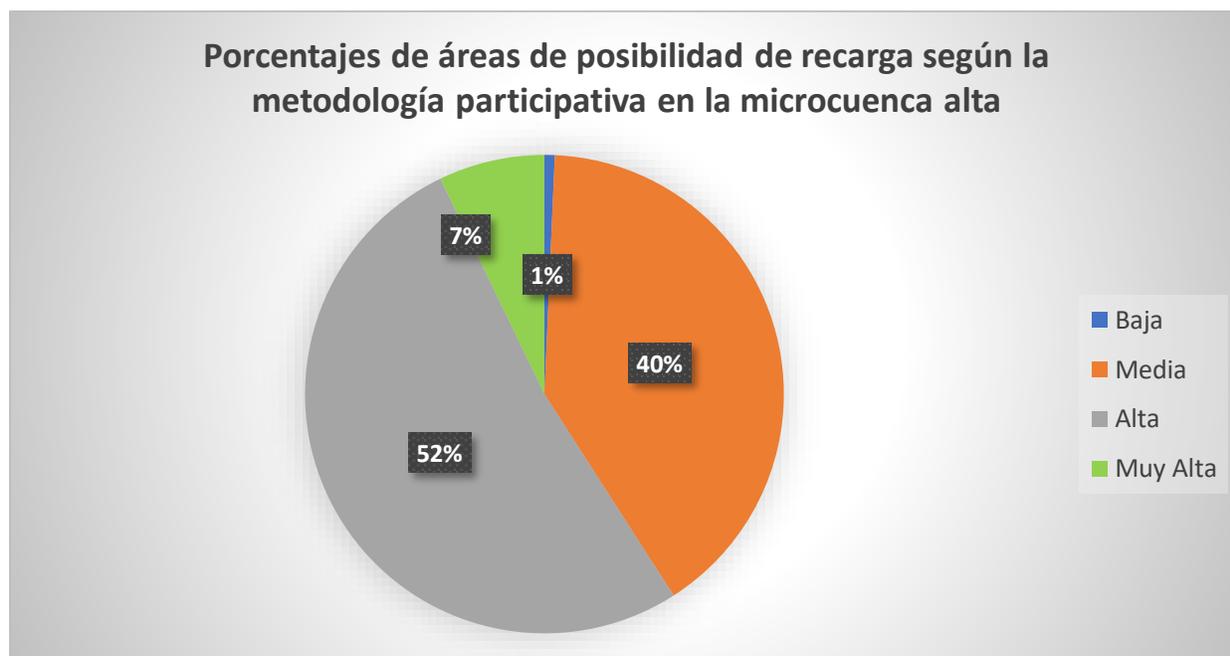
Tabla 44.

Porcentaje de área de posibilidad de recarga hídrica en la microcuenca alta según la metodología participativa

Área (km ²)	Porcentajes de la cuenca baja %	Porcentaje del total de la microcuenca %	Posibilidad de Recarga
0.091	0.7	0.26	Baja
5.288	40.2	14.90	Media
6.822	51.9	19.23	Alta
0.941	7.2	2.65	Muy Alta
Suma = 13.142			

Figura 47.

Porcentajes de áreas de posibilidad de recarga según la metodología participativa en la microcuenca alta



Nota. En el gráfico se observa que la probabilidad de recarga en cuenca alta es: “Alta” y que es la que tiene mayor porcentaje frente a las otras posibilidades.

Áreas de recarga para la metodología de recarga de agua subterránea (R.A.S.)

Áreas de posibilidad de recarga en microcuenca baja según la metodología de recarga de agua subterránea.

Tabla 45.

Porcentaje de áreas de posibilidad de recarga en microcuenca baja según la metodología de recarga de agua subterránea.

Área (km ²)	Porcentajes de la cuenca baja %	Porcentaje del total de la microcuenca %	Posibilidad de Recarga
6.53	100	18.4	Muy Bajo
Suma = 6.53			

Figura 48.

Porcentajes de áreas de posibilidad de recarga según la metodología R.A.S. en la microcuenca baja



Nota. En el gráfico se observa que la probabilidad de recarga en cuenca baja es: “Muy bajo” y que no tiene otro tipo de probabilidad, esto debido a los resultados negativos de su balance climático.

Áreas de posibilidad de recarga en microcuenca media según la metodología de recarga de agua subterránea (R.A.S.).

Tabla 46.
Porcentaje de áreas de posibilidad de recarga en microcuenca media según la metodología de recarga de agua subterránea (R.A.S.).

Área (km ²)	Porcentajes de la cuenca media %	Porcentaje del total de la microcuenca %	Posibilidad de Recarga
15.7	100	44.29	Muy Bajo
Suma = 15.7			

Figura 49.
Porcentajes de áreas de posibilidad de recarga según la metodología R.A.S. en la microcuenca media



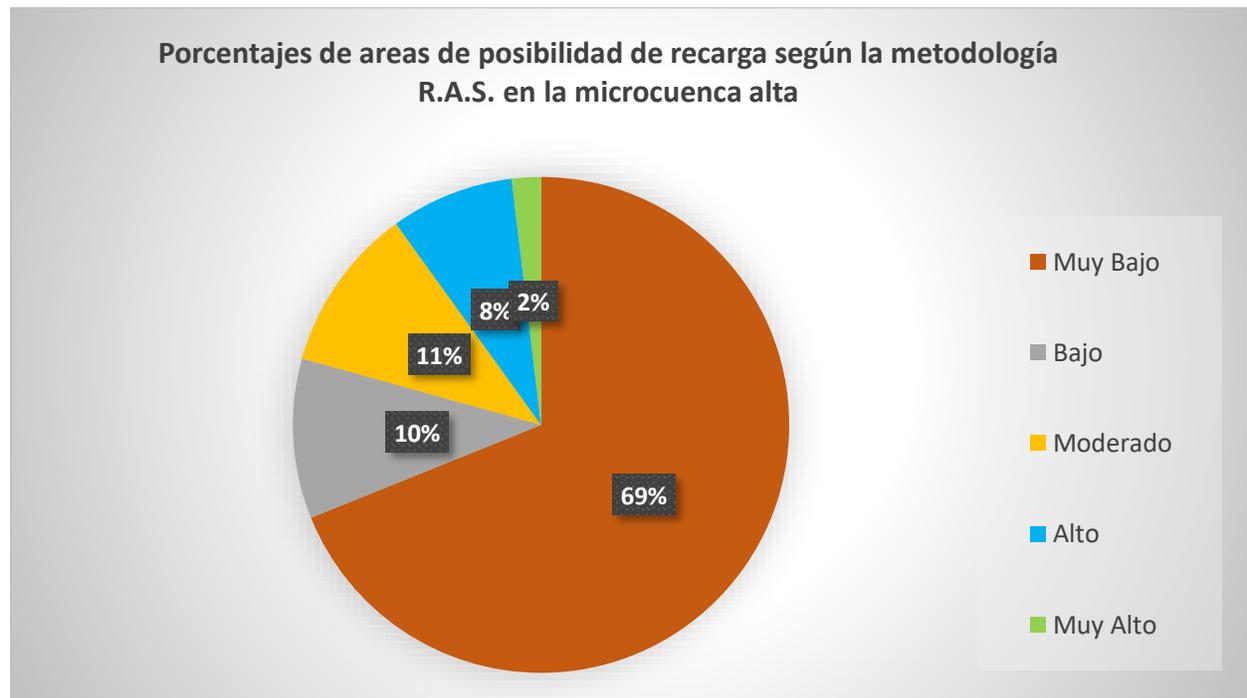
Nota. En el grafico se observa que la probabilidad de recarga en cuenca baja es: “Muy bajo” y que no tiene otro tipo de probabilidad, esto debido a los resultados negativos de su balance climático.

Áreas de posibilidad de recarga en microcuenca alta según la metodología de recarga de agua subterránea.

Tabla 47.
Porcentaje de áreas de posibilidad de recarga en microcuenca alta según la metodología de recarga de agua subterránea.

Área (km ²)	Porcentajes de la cuenca alta %	Porcentaje del total de la microcuenca	Posibilidad de Recarga
9.05	69	25.51	Muy Bajo
1.37	10	3.86	Bajo
1.41	11	3.98	Moderado
1.06	8	2.98	Alto
0.25	2	0.70	Muy Alto
Suma = 13.1			

Figura 50.
Porcentajes de áreas de posibilidad de recarga según la metodología R.A.S. en la microcuenca alta



Nota. En el grafico se observa que la probabilidad de recarga en cuenca alta es: “Muy alto” y que es la que tiene mayor porcentaje frente a las otras posibilidades.

Interpretación de resultados

Los resultados obtenidos muestran que, en ambas metodologías aplicadas, la posibilidad de recarga hídrica se incrementa con la altitud de la microcuenca Tres Ríos, en el caso de la metodología participativa, se observa que:

- Las zonas de alta y muy alta recarga comienzan a aparecer predominantemente en las partes altas de la microcuenca, donde los actores locales reconocen la presencia de nacientes, ojos de agua y terrenos menos intervenidos.

Por su parte, la metodología de recarga de agua subterránea (R.A.S.):

- También identifica la zona alta como la única con categoría de recarga "Muy Alta", mientras que en las zonas media y baja no se registra ningún tipo de recarga. Esto se explica por los valores negativos del balance climático (precipitación menos evapotranspiración) en esas áreas, lo cual indica una falta de disponibilidad de agua para infiltración efectiva.

Si bien cada metodología asigna diferentes porcentajes de superficie a las categorías de recarga, coinciden en que las condiciones más favorables se concentran en las zonas de mayor altitud, lo que refuerza la consistencia del patrón espacial identificado. La recarga ocurre principalmente en áreas con pendientes suaves y buena cobertura vegetal, condiciones que favorecen la infiltración y reducen la escorrentía. De igual modo, las formaciones geológicas permeables, como los depósitos aluviales o fracturados, se asocian con mayores capacidades de recarga. En cuanto al uso del suelo, destacan las zonas con baja intervención antrópica —como bosques, pastos naturales o vegetación nativa— frente a áreas urbanizadas o de uso agrícola intensivo. A pesar de las variaciones entre metodologías, todas coinciden en señalar estas zonas como prioritarias para la identificarlas como zonas de recarga.

Discusión de resultados

Comparación de resultados entre metodologías

La presente investigación tuvo como objetivo identificar las zonas de recarga hídrica en la microcuenca Tres Ríos aplicando dos metodologías: la Metodología de Recarga de Agua Subterránea (R.A.S.) y la Metodología Participativa, esta elección se sustentó en la necesidad de aplicar enfoques viables en territorios con limitados recursos económicos, y que además permitan contrastar la visión técnica y científica con el conocimiento local.

En relación con la hipótesis general, que plantea que las metodologías aplicadas permitirían identificar los lugares con mayor recarga hídrica, los resultados obtenidos confirman dicha hipótesis, ambas metodologías lograron clasificar espacialmente la microcuenca en distintas categorías de recarga: “Muy alta”, “Alta”, “Moderada”, “Baja” y “Muy baja”. No obstante, se identificaron algunas diferencias entre ambos enfoques. Se presenta la siguiente tabla comparativa de ambas metodologías.

Tabla 48.

Comparación del potencial de recarga según las áreas entre la metodología participativa y la metodología R.A.S.

Clasificación de recarga	Metodología R.A.S. (% del total de la cuenca)	Área (Km².)	Metodología Participativa (% del total de la cuenca)	Área (Km².)
Muy Alta	0.72	0.26	0.21	0.075
Alta	3.00	1.06	10.51	3.72
Moderada	3.99	1.42	57.32	20.34
Baja	3.88	1.38	28.35	10.05
Muy Baja	88.41	31.37	3.60	1.27

Nota. En la tabla se observa que las categorías de posibilidad de recarga “Muy alta” y “Alta” presentan áreas similares, mientras que la categoría “Muy baja” muestra un comportamiento opuesto. Esta diferencia se explica por la demanda hídrica existente en la microcuenca.

De lo anterior se puede discutir que, la metodología RAS, que incorpora variables cuantitativas como precipitación, evapotranspiración, pendiente, cobertura vegetal y tipo de suelo, arrojó una predominancia de zonas con posibilidad “Muy baja” de recarga (88.41%), debido principalmente al efecto del balance hídrico negativo en gran parte del área, lo cual refleja una alta demanda de agua por parte de la vegetación, limitando la infiltración efectiva. Solo un 0.72% fue clasificado como “Muy alta”. Este resultado muestra que, bajo criterios hidrometeorológicos y edáficos estrictos, el potencial real de recarga es muy limitado, especialmente en zonas intermedias de la cuenca o donde la evapotranspiración alcanza valores altos.

Por otro lado, la metodología Participativa, basada en el conocimiento de los pobladores y la valoración cualitativa de parámetros como pendiente, geología, tipo de suelo, cobertura vegetal y uso del suelo, identificó un panorama distinto: más del 67% del territorio se clasifica entre las categorías “Moderada” y “Alta”. Esto evidencia que la percepción local puede valorar mejor el rol de ciertos ecosistemas o características que no siempre se reflejan en datos cuantitativos, como la existencia de manantiales, puquios o zonas con humedad persistente y por lo tanto es la que mejor se ajusta a la microcuenca Tres Ríos

Interpretación de los ensayos de infiltración

Se aplicó el método del doble anillo debido a su mayor precisión frente a otras metodologías de medición de infiltración. A diferencia del anillo simple, este método reduce significativamente el efecto del flujo lateral, ya que el anillo externo actúa como zona de saturación buffer, permitiendo que el agua infiltrada en el anillo interno represente mejor el flujo vertical. En comparación con métodos como el tubo de Guelph o los infiltrómetros de tensión, el doble anillo es más sencillo de implementar en campo y proporciona resultados confiables en

condiciones de saturación, siendo ideal para estudios hidrológicos y caracterización de los tipos de suelos.

En cuanto a los ensayos de infiltración, realizados en distintos puntos con diferentes combinaciones de suelos y coberturas vegetales, se registraron valores de velocidad de infiltración que no siempre coincidieron con las zonas de mayor recarga asignadas en los mapas. Por ejemplo, un suelo Phaeozem-Leptosol con matorral arbustivo mostró alta infiltración, mientras que un Andosol con cobertura de pajonal andino presentó una infiltración baja. Esta discrepancia demuestra que una alta infiltración en un punto no necesariamente implica una efectiva recarga en el acuífero, ya que esta también depende de factores como la profundidad del suelo, la geología subyacente y la demanda hídrica de la vegetación.

Estas observaciones se relacionan directamente con la formulación del problema ya que los resultados muestran que ambas metodologías ofrecen ventajas y limitaciones. La metodología RAS aporta una visión técnica precisa, útil para estudios de diseño hidrológico o conservación bajo criterios cuantitativos; mientras que la participativa resulta valiosa para la gestión local del recurso hídrico, sensibilización comunitaria y definición de áreas de intervención prioritaria con enfoque social.

Validación de resultados

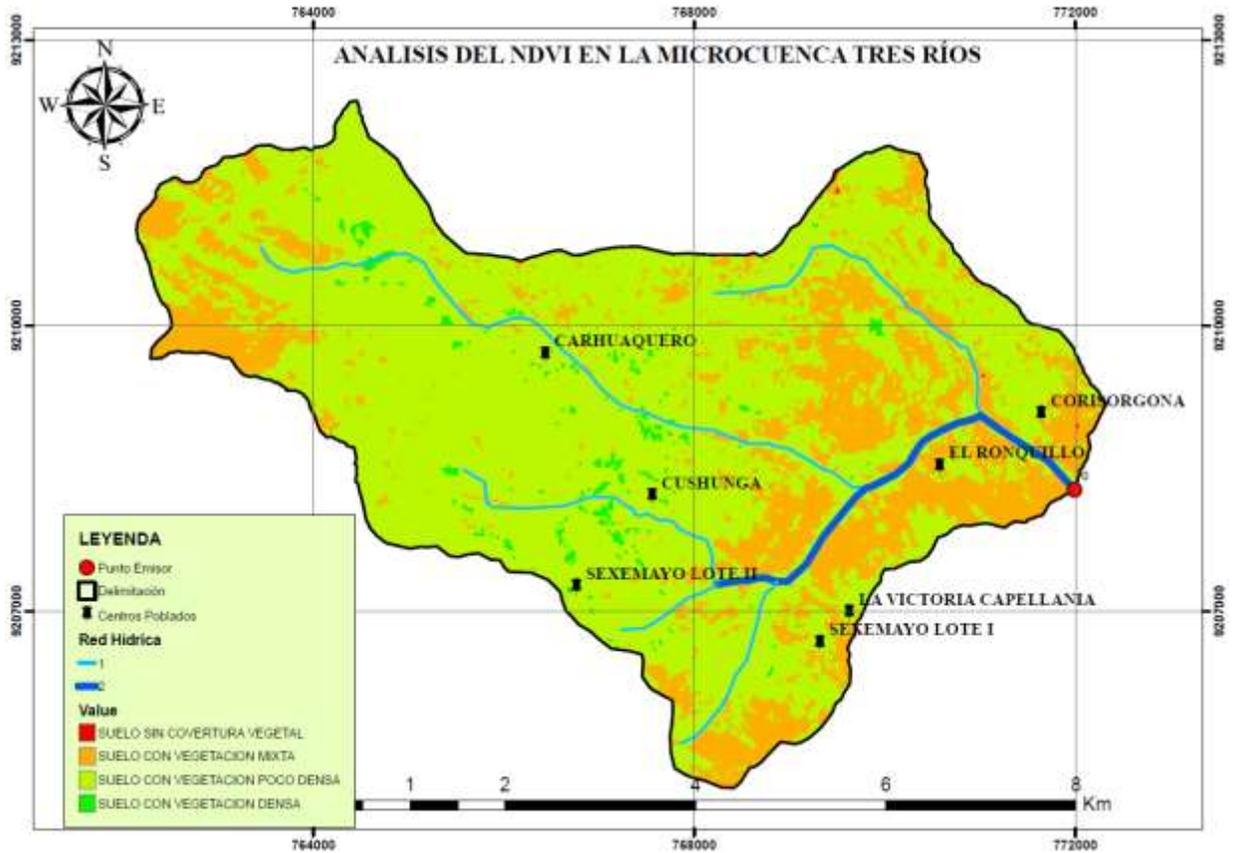
Validación con índices espectrales (NDVI y NDWI)

Con el objetivo de reforzar la validez de los resultados obtenidos, se incorporaron análisis complementarios utilizando herramientas satelitales, a través del procesamiento de imágenes satelitales Landsat 9 se calcularon los índices espectrales NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada) y NDWI (Índice de Diferencia Normalizada de Agua), permitiendo contrastar las zonas identificadas como de mayor recarga.

Análisis comparativo del NDVI

El NDVI, calculado a partir de las bandas 4 (rojo) y 5 (infrarrojo cercano) de imágenes Landsat 9 correspondientes al 08 de septiembre de 2024, mostró una predominancia de vegetación poco densa en gran parte de la microcuenca, así como una cobertura vegetal mixta en las zonas altas y bajas. Esta distribución indica que, si bien la densidad vegetal no es elevada en su totalidad, la vegetación presente contribuye al proceso de recarga hídrica, especialmente en sectores donde coincide con condiciones topográficas y edáficas favorables.

Figura 51.
análisis del NDVI en la microcuenca Tres Ríos



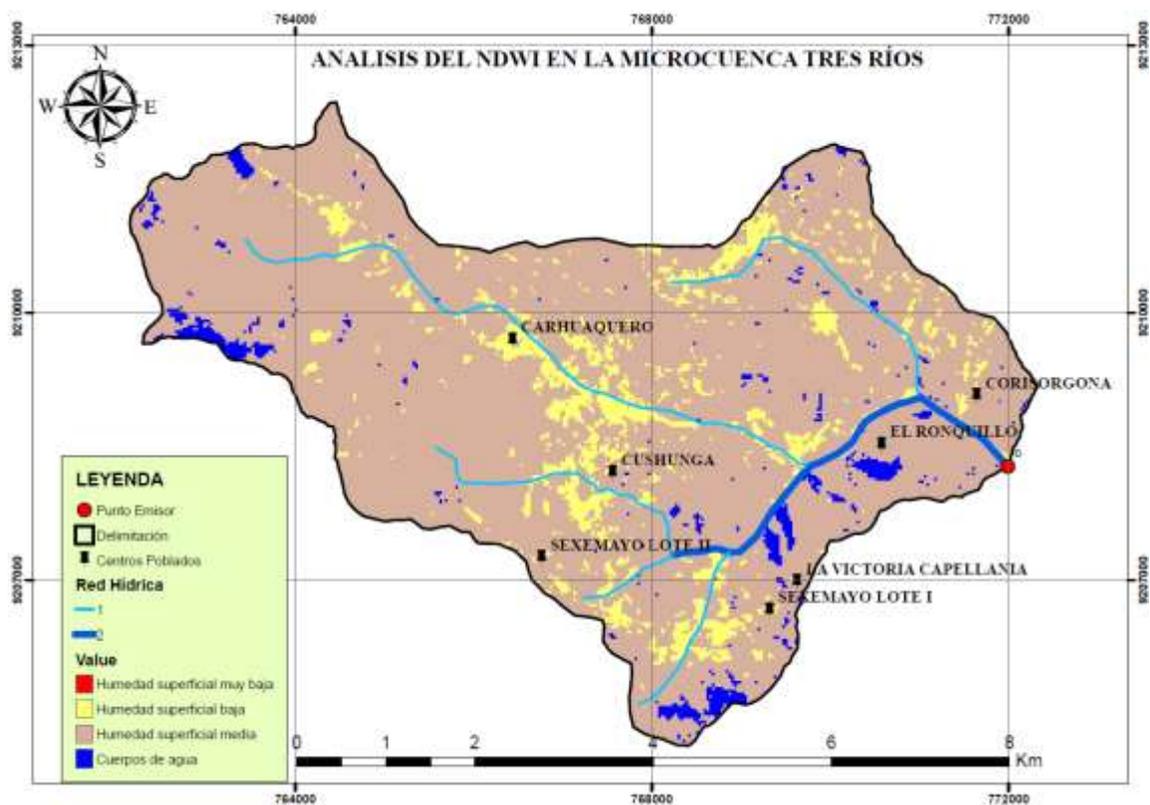
Nota. análisis del mapa de NDVI muestra que las zonas identificadas con mayor recarga hídrica, tanto por la metodología Participativa como por la metodología R.A.S., coinciden con áreas clasificadas como de vegetación mixta, lo que sugiere una relación directa entre la cobertura vegetal intermedia y el potencial de infiltración.

Análisis comparativo del NDWI

El NDWI, obtenido a partir de las bandas verde (B3) e infrarrojo cercano (B5) de imágenes Landsat 9 del 08 de septiembre de 2024, permitió identificar zonas con mayor humedad superficial y cuerpos de agua. Los valores positivos, aunque escasos, señalaron la presencia de cuerpos de agua definidos que coincidieron espacialmente con las áreas de alta recarga identificadas por la metodología participativa. Asimismo, algunas de estas coincidencias también se presentaron en sectores que la metodología R.A.S. había clasificado como zonas de

recarga, lo cual refuerza la validez de ambos enfoques, si embargo se acerca más a lo hallado mediante la metodología Participativa. Estos resultados sugieren que el NDWI es una herramienta complementaria útil para validar zonas de recarga, especialmente en regiones donde la humedad superficial y la presencia de cuerpos de agua son indicadores clave del proceso de infiltración.

Figura 52.
análisis del NDWI en la microcuenca Tres Ríos



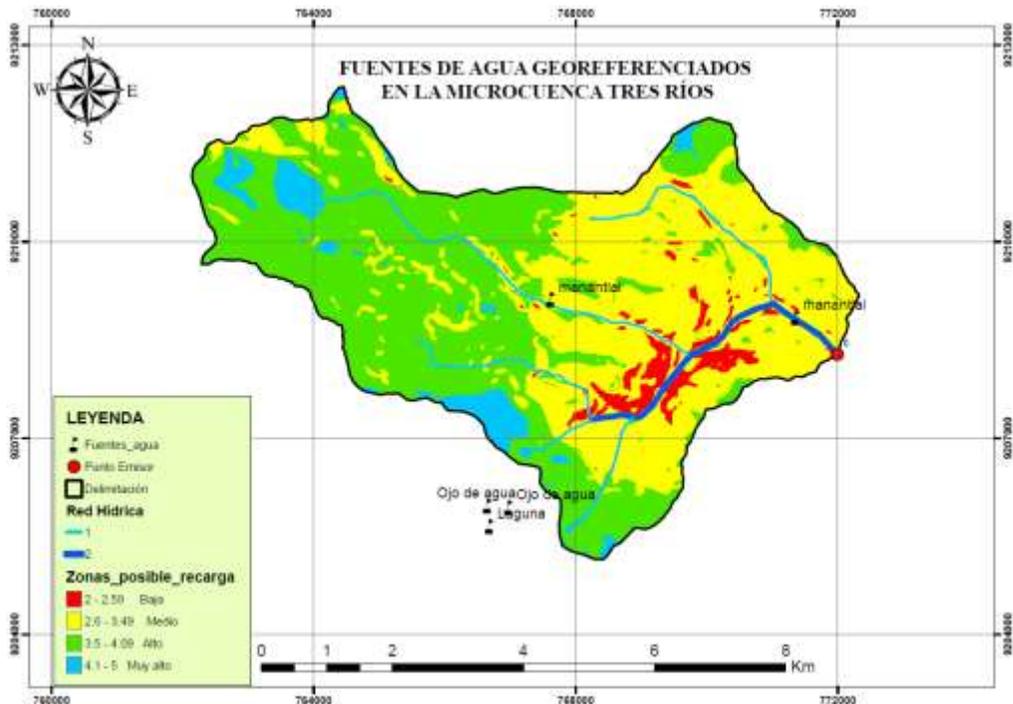
Nota. El análisis del mapa de NDWI evidenció que los cuerpos de agua identificados mediante valores positivos coinciden con las zonas clasificadas como de mayor recarga hídrica por la metodología participativa. Además, algunos de estos cuerpos de agua también se ubicaron en áreas señaladas como de recarga por la metodología R.A.S., lo cual respalda la confiabilidad de ambas metodologías y refuerza el uso del NDWI como herramienta de validación.

Validación con percepción local

Los datos obtenidos a través de la participación local, en coordinación con autoridades y pobladores de la zona, fueron georreferenciados y presentados conjuntamente con el mapa de posibilidad de recarga generado mediante la metodología participativa, se observa que varios de los puntos identificados como ojos de agua o manantiales se ubican en las partes altas, fuera de la delimitación hidrológica exacta de la microcuenca, pero en zonas próximas, asimismo, otros puntos localizados dentro de la cuenca se ubican en zonas clasificadas con recarga media, lo que valida parcialmente la percepción local y refuerza la importancia de integrar el conocimiento comunitario en los estudios hidrológicos

Figura 53.

Fuentes de agua cercanas y dentro de la microcuenca Tres Ríos



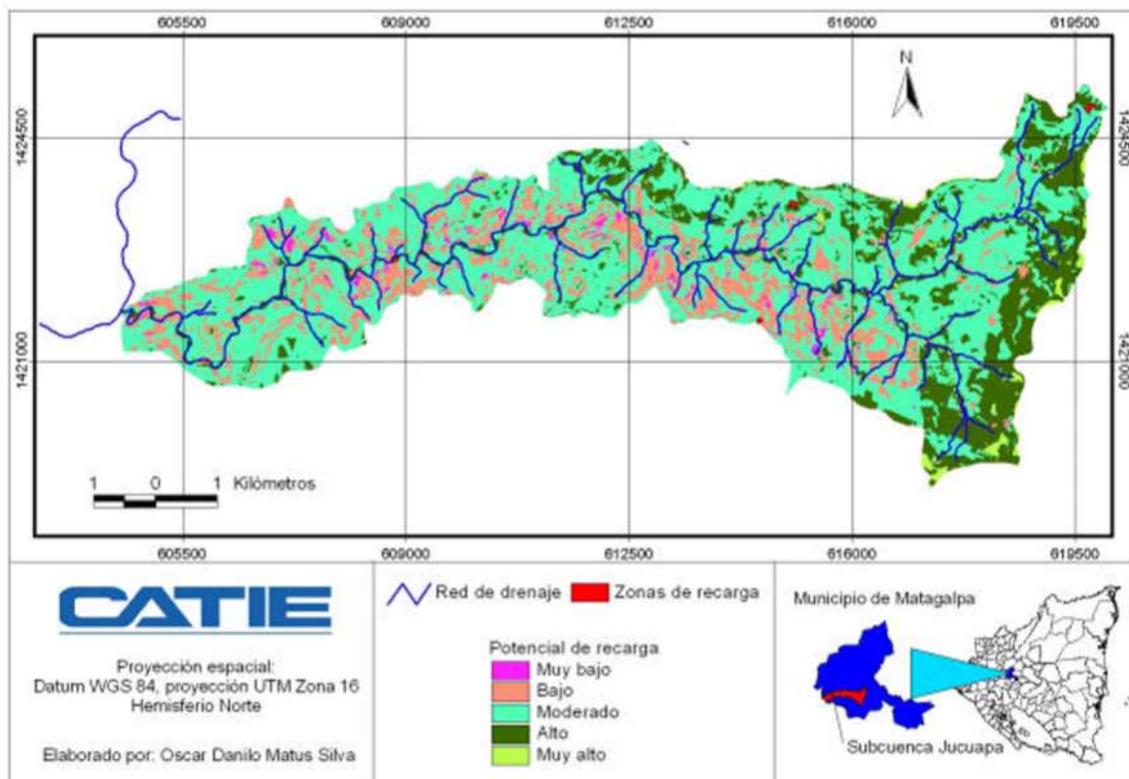
Nota. Los manantiales georreferenciados con apoyo de la población no se ubicaron en zonas de “muy alta” recarga según la metodología participativa, pero sí en áreas de recarga media y próximas a la cuenca, lo que respalda parcialmente la validez del conocimiento local.

Análisis comparativo con investigaciones previas

Estos resultados, en cuestión de ubicación altitudinal, coinciden con lo encontrado por (Matus Silva, 2007), en su tesis de maestría en el cual empleó la metodología participativa en la subcuenca del río Jucuapa en la región central de Nicaragua y los resultados de dicha investigación señalaron que se presentaron mayoritariamente posibilidades moderada (59.4%) y alta (21.0%), ambas estando en las partes altas de la subcuenca y que además, dichos resultados se compararon por los actores locales y hubo bastante concordancia ya que las zonas de posible recarga hídrica calculadas se ubicaron en zonas con manantiales u ojos de agua, tal como se muestra en la siguiente imagen

Figura 54.

Mapa de potencial de recarga hídrica de la subcuenca del río Jucuapa

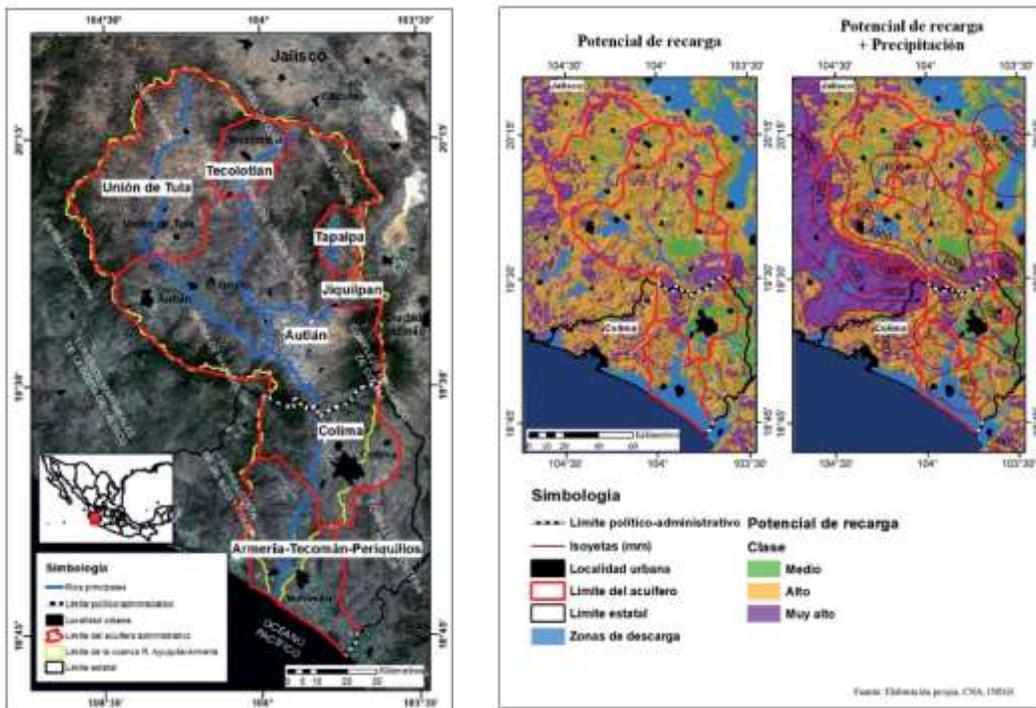


Nota. En la imagen se muestra el mapa de potencial de recarga hídrica, donde se observa que las zonas ubicadas en las partes altas de la subcuenca presentan un potencial de recarga clasificado como “alto” y “muy alto”.

También se pueden analizar los resultados de (Hernández et al., 2020), ellos aplicaron el uso de SIG y análisis multicriterio, es decir, información de la geología, edafología, cobertura vegetal, topografía y con datos meteorológicos, en la cuenca del río Ayuquila – Armería que se encuentra en los estados de Jalisco y Colima - México, en esta metodología les dan mucho énfasis a las formaciones geológicas así como al tipo de roca que en ellas se encuentran. Como resultados obtuvieron que un 22% de su superficie presenta un potencial muy alto de recarga y un 58% con un valor alto, dichas zonas se encontraron formadas por montañas medias y en lomeríos en las partes altas de la cuenca que están constituidos por caliza, andesita, grano-diorita, con suelos tipo regosol, leptosol, andosol y Phaeozem, mientras que, sus posibilidades de recarga baja se ubican en las zonas costeras y planicies, donde son denominadas zonas de descarga.

Figura 55.

Mapa de potencial de recarga hídrica de la subcuenca del río Ayuquila – Armería

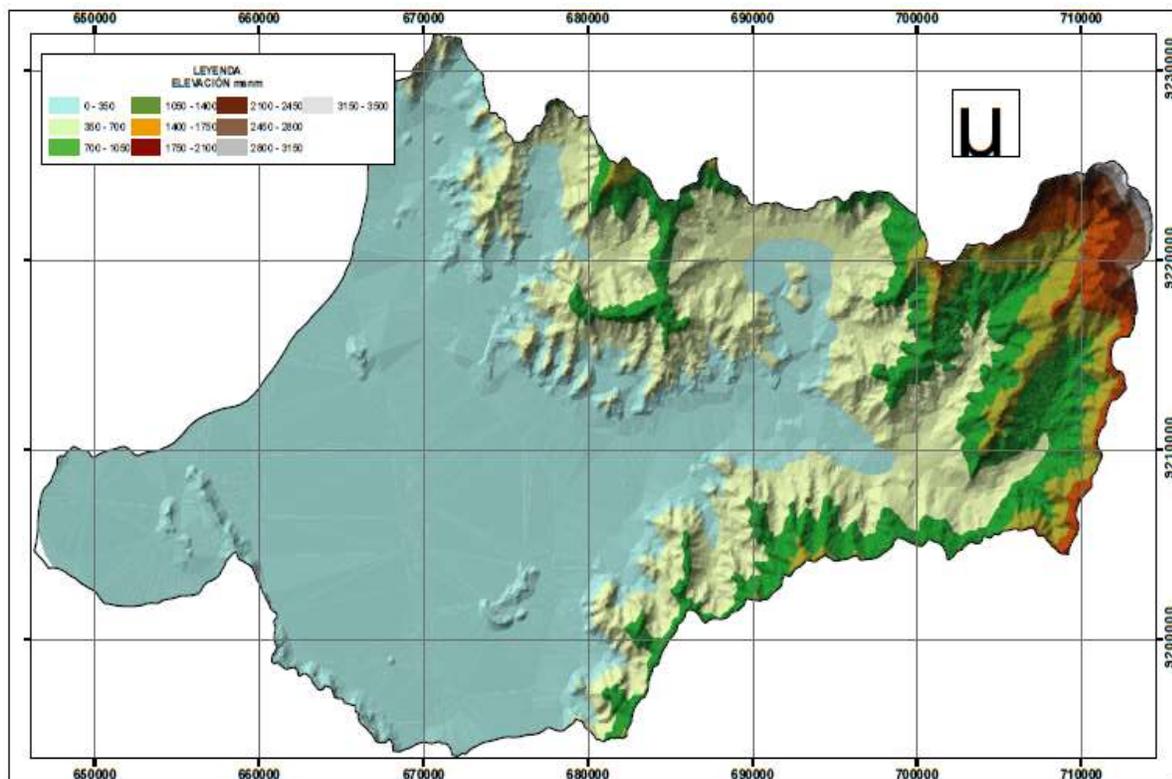


Nota. En la imagen se muestra una comparación del potencial de recarga hídrica, donde se observa que las zonas ubicadas en las partes altas a si sean pocas tienen un potencial de recarga “Muy alto”, mientras que para esta cuenca en su mayoría solo está clasificado como “Alto”

Adicionalmente, es pertinente analizar la investigación realizada por (Cusquisiban, 2019), quien empleó imágenes satelitales LANDSAT 8 para la identificación de zonas potenciales de recarga hídrica en la cuenca del río Chaman que se encuentra entre Cajamarca y La Libertad - Perú. A través del análisis de diferentes longitudes de onda, logró caracterizar en tiempo casi real diversos componentes del territorio, tales como el tipo de vegetación, red de drenaje, temperaturas superficiales, afloramientos rocosos, topografía y cuerpos de agua. Posteriormente, mediante el uso de un árbol de decisiones, integró esta información para delimitar áreas con condiciones favorables para la recarga hídrica. La validez de esta zonificación fue contrastada utilizando la ubicación de pozos mapeados por INGEMMET, lo cual fortaleció la confiabilidad de los resultados obtenidos.

Figura 56.

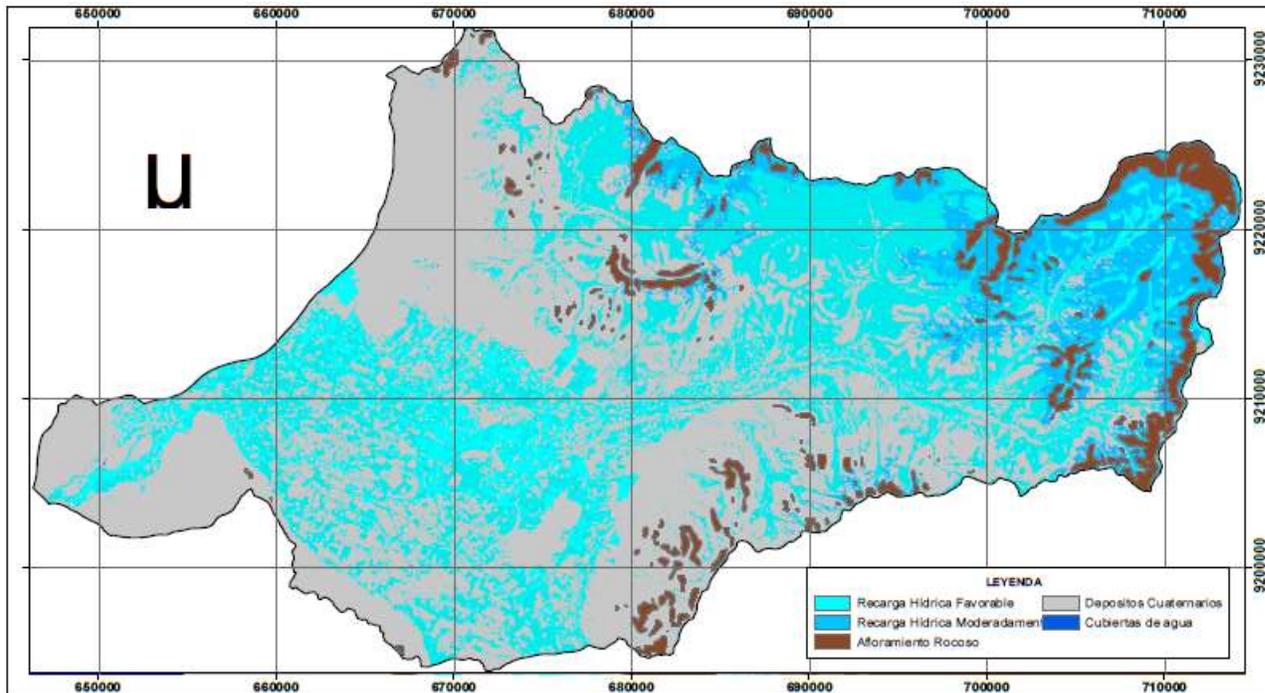
Mapa de altitudes de la cuenca del río Chaman



Nota. En la imagen se muestra la clasificación altitudinal de la cuenca del río Chaman

Figura 57.

Mapa de potencial de recarga hídrica de la cuenca del río Chamán



Nota. En la imagen se presenta el mapa de potencial de recarga hídrica en la cuenca del río Chaman. Se observa que las zonas ubicadas en las partes altas están cubiertas por cuerpos de agua, como manantiales, puquios y ojos de agua. Asimismo, las áreas con recarga favorable se distribuyen tanto en las zonas altas como en las medias de la cuenca, lo cual está relacionado con la presencia de afloramientos rocosos, depósitos cuaternarios y tipos de vegetación que favorecen los procesos de infiltración incluso en sectores bajos y medios de la cuenca.

Contrastación de hipótesis

Según lo que se planteó en al inicio de esta investigación en la hipótesis se puede afirmar lo siguiente:

La hipótesis general planteaba que las metodologías aplicadas permitirían identificar las zonas donde se produce mayor recarga hídrica en la microcuenca Tres Ríos. Los resultados obtenidos mediante las metodologías de recarga de agua subterránea (RAS) y la metodología participativa confirman parcialmente esta hipótesis, ambas metodologías permitieron clasificar la microcuenca en zonas de distinta capacidad de recarga hídrica, con categorías que van desde “Muy alta” hasta “Muy baja, se observó que las zonas ubicadas a mayor altitud, topografía suave, cobertura vegetal diversa y uso de suelo adecuada, tienden a presentar una mayor posibilidad de recarga, aunque con diferencias en los porcentajes estimados por cada método. En la metodología RAS, la zona con recarga “Muy alta” representa aproximadamente el 1% del total, mientras que en la metodología participativa se identificaron zonas “Moderadas” y “Altas” con valores de 17% y 0.1%, respectivamente, estas diferencias reflejan la forma en que cada enfoque valora las condiciones del territorio: mientras el método R.A.S. se basa en variables cuantificables, como precipitación, evapotranspiración, pendiente, cobertura vegetal y tipo de suelo; mientras que la metodología participativa incorpora también factores cualitativos como la percepción de los pobladores locales, así como el uso del suelo y el tipo de roca. En conjunto, los resultados respaldan la hipótesis de que es posible identificar zonas prioritarias de recarga hídrica, no obstante, también se evidencia que la combinación de enfoques (técnico y social) enriquece el análisis, mejora la precisión de la delimitación de zonas de recarga y permite una comprensión más integral del comportamiento hidrológico en la cuenca, por tanto la metodología participativa es la que más se adapta a esta realidad.

CAPITULO VI. PROPUESTA

Formulación de la propuesta

Título

“Protección y conservación de las áreas de potencial recarga hídrica en la microcuenca Tres Ríos – Cajamarca”

Finalidad

La finalidad de la presente propuesta es promover la protección y conservación de las áreas de potencial recarga hídrica dentro de la microcuenca para asegurar el abastecimiento de agua de calidad a largo plazo para las comunidades locales y el ecosistema circundante.

Objetivos

Reducir las vulnerabilidades de las zonas de potencial recarga hídrica de la microcuenca Tres Ríos frente a posibles fenómenos que puedan degradarla o afectarla.

Protección de zonas de mayor recarga hídrica

Dicha propuesta busca la protección y preservación de las zonas de recarga hídrica en la microcuenca, es así que propone la implementación de diversas estrategias y prácticas de conservación para preservar y mantener las áreas dentro de una cuenca hidrográfica donde el agua de precipitación se infiltra en el suelo y recarga los acuíferos subterráneos. Estas zonas son cruciales para el mantenimiento del ciclo hidrológico, la regulación de los flujos de agua y el suministro de agua de calidad para el consumo humano, la agricultura, la industria y los ecosistemas naturales. En tal sentido la protección de zonas de recarga hídrica abarca aspectos que van desde la formulación e implementación de políticas y técnicas, hasta la implementación de actividades y acciones a realizar.

Tabla 49.

Estrategias para la protección de zonas con potencial recarga hídrica

Estrategias para la protección de las zonas con potencial recarga hídrica	Identificación y delimitación de las zonas de recarga
	Conservación, manejo de suelos y control de erosión.
	Sensibilización y participación comunitaria
	Gestión integrada del agua y regulación del uso del suelo
	Creación de sistemas de monitoreo y Evolución continua

Actividades y lineamientos de acción

Medidas a corto plazo

- **Reforestación y revegetación:** Plantar árboles y vegetación nativa de la microcuenca para aumentar la infiltración de agua y reducir la escorrentía superficial.
- **Control de la erosión:** Implementar barreras físicas como terrazas, zanjas de infiltración y mantas de control de erosión para estabilizar el suelo y reducir la pérdida de sedimentos.
- **Regulación del uso del suelo:** Se considera la implementación de actividades que hagan cumplir las regulaciones que limiten el desarrollo y las actividades que pueden dañar las áreas de recarga.
- **Educación y sensibilización:** Realizar campañas de concientización para informar a la comunidad sobre la importancia de la protección de las áreas de recarga hídrica.

Medidas a largo plazo

- **Planificación y gestión integrada de cuencas:** En la microcuenca Tres Ríos se deben desarrollar proyectos de restauración de suelos a gran escala para rehabilitar áreas degradadas y mejorar las capacidades de recarga hídrica.
- **Protección Legal y zonificación:** Establecer áreas protegidas y zonas de conservación específicas para la recarga hídrica, respaldadas por leyes y regulaciones claras.
- **Fomento de prácticas agrícolas sostenibles:** Se debe promover la adopción de prácticas agrícolas que mejoren la salud del suelo, reduzcan la erosión y aumenten la infiltración de agua, como la agroforestería y la agricultura de conservación.
- **Alianzas y colaboración:** Fomentar la colaboración entre diferentes actores, incluyendo comunidades locales, gobiernos, ONGs y sector privado, para implementar y sostener las medidas de protección a largo plazo.

Protección mediante cochas

Una de las estrategias más comunes utilizadas es la protección mediante cochas, las cuales vienen a ser cuerpos de agua naturales o artificiales que actúan como reservorios temporales, promoviendo la infiltración del agua al subsuelo y la recarga de acuíferos, el procedimiento para la implementación más remarcada de esta estrategia consisten en una evaluación hidrogeológica y análisis de suelos para la sección de un sitio ideal para su construcción, además que los materiales usados deben ser compatibles con el medio de manera que no afecte en gran medida al ecosistema.

Figura 58.

Cocha cercada en el caserío de Sexemayo



Nota. Durante las visitas a la zona, se observó que varias fuentes de agua habían sido cercadas por los propietarios de los terrenos donde se encontraban. Según manifestaron, esta medida tenía como propósito proteger su recurso hídrico del uso por parte de las comunidades aledañas.

Protección mediante Zanjas de infiltración

Según (AGRECOL, 2019), se encuentran dentro de las practicas agroecológicas más comunes para la recuperación de áreas de recarga hídrica, así mismo se pueden mencionar las piscinas de infiltración y las terrazas de formación lenta. Las zanas de infiltración se diseñan para capturar y almacenar el agua de lluvia y esorrentía, permitiendo la infiltración gradual al suelo y recargando los acuíferos.

Figura 59.

Elaboración de Zanjas de infiltración



Nota. Imagen obtenida de (AGROPERÚ, 2024)

Beneficios que aporta la propuesta

- Desarrollar alternativas de solución al problema existente en la microcuenca Tres Ríos frente a la nula protección de las zonas de recarga, la pérdida de vegetación y suelo de la misma.
- Presentar una propuesta para las entidades municipales y regionales interesadas en la preservación de las zonas con potencial recarga hídrica para la microcuenca.
- El planteamiento de la propuesta busca contribuir y mejorar la calidad de vida de los pobladores.
- La gestión adecuada del agua ayuda a resolver los conflictos debida a esta misma entre los diferentes usuarios (consumo humano, agricultores, ganaderos).
- Fortalecimiento de la gobernanza del agua, ya que dichas acciones propuestas pueden fortalecerla promoviendo una gestión más eficiente y participativa de los recursos hídricos, así como también la participación activa de la población en las instituciones gubernamentales.

- Aumento de recarga de acuíferos asegurando una mayor infiltración y por ende disponibilidad hídrica.
- Beneficios económicos debido al aumento de la productividad agrícola, reducción de los costos de tratamiento de agua, fomentación del ecoturismo y mitigación de desastres naturales como deslizamientos, inundaciones, sequias, etc.

CONCLUSIONES

- La caracterización física de la microcuenca según la metodología R.A.S. indicó que la pendiente más representativa es la suave (0–5%), con un área de 19.40 km², superando a las demás categorías en cuanto a la pendiente. En cuanto a los tipos de suelo, se identificaron: Paramosol, Paramosol-Leptosol, Páramo Andosol y Andosol, siendo el suelo Paramosol (Ps) el predominante, con una extensión de 20.55 km². La cobertura vegetal fue clasificada en: agricultura costera y andina, lagunas/lagos/cochas, matorral arbustivo, plantación forestal y pajonal andino, siendo este último el más extenso, con un área de 17.72 km².
Para la metodología participativa, se utilizaron parámetros similares para caracterizar la cobertura vegetal y los tipos de suelo; sin embargo, se incorporaron otros factores como la geología, identificándose formaciones como: Farrat, Yumagual, Inca, Chulec, Volcánico San Pablo, Cajamarca, Pariatambo, Volcánico Huambos y el grupo Quilquiñan-Mujarrum, predominando la formación Yumagual, con un área de 0.114 km². Los usos del suelo fueron clasificados en tres categorías: uso forestal, uso agrícola y otros usos, siendo esta última la de mayor extensión, con 0.276 km².
- La evaluación de los factores que influyen en la recarga hídrica mediante ambas metodologías mostró que la metodología RAS considera variables cuantificables como precipitación, evapotranspiración, pendiente, cobertura vegetal y tipo de suelo, lo cual permitió estimar técnicamente el potencial de infiltración, La metodología participativa integra variables como microrelieve, tipo de suelo, tipo de roca, cobertura vegetal, uso del suelo y percepción de los pobladores locales, aportando una dimensión social y contextual que enriquece el análisis. Esta combinación de enfoques permitió una visión más integral de la investigación.

- La metodología R.A.S., basada en el balance climático, arrojó resultados predominantemente muy bajos en casi toda la microcuenca, debido a que en gran parte del territorio la evapotranspiración supera a la precipitación, generando un balance negativo. Solo en una pequeña porción (2.74 km².) alta de la cuenca se identificaron condiciones favorables para la recarga, lo que limita la utilidad de esta metodología en zonas con alta demanda hídrica.
- La metodología participativa permitió generar un mapa más diverso en cuanto a categorías de recarga, integrando tanto aspectos biofísicos como sociales. Se identificaron aproximadamente 20.34 km² como zonas de recarga moderada y 3.72 km² como de recarga alta, lo cual contrasta significativamente con los resultados obtenidos mediante la metodología R.A.S. Estos valores fueron más coherentes con las observaciones de campo, especialmente en áreas ubicadas en las partes altas y medias de la microcuenca, respaldando su aplicabilidad en territorios donde el conocimiento local es clave para la gestión sostenible del recurso hídrico.
- Los ensayos de infiltración realizados en diferentes puntos de la microcuenca Tres Ríos tuvieron como finalidad validar en campo los resultados obtenidos mediante las metodologías aplicadas para estimar la posibilidad de recarga hídrica. Los ensayos se ejecutaron en áreas con distintas combinaciones de tipo de suelo y cobertura vegetal, observándose una clara variabilidad en la velocidad de infiltración: en un suelo páramo – andosol con pajonal andino, se obtuvo un valor bajo; en suelos Paramosol con coberturas mixtas (pajonal, agricultura andina/costera y plantación forestal), los resultados fueron moderados; y en un suelo Phaeozem – Leptosol con matorral arbustivo, se registró una infiltración alta. Al contrastar los resultados anteriormente mencionados con el mapa de posibilidad de recarga obtenido mediante la metodología participativa, se identificaron

diferencias significativas: zonas clasificadas con muy alta posibilidad de recarga mostraron en campo una infiltración baja, mientras que zonas con clasificación media o alta presentaron velocidades moderadas o altas de infiltración. Esta comparación revela que la posibilidad de recarga hídrica no está determinada exclusivamente por la velocidad de infiltración, sino que depende también de factores adicionales como la estructura del suelo, la cobertura vegetal y el uso del suelo.

- La comparación entre los resultados obtenidos mediante las metodologías participativa y RAS con los datos recogidos en campo, específicamente a través de los ensayos de infiltración, además del análisis de imágenes satelitales, permitió evaluar la precisión y utilidad de cada enfoque para identificar zonas de recarga hídrica, en ambas metodologías se evidenciaron diferencias sustanciales en la delimitación de zonas con mayor potencial de recarga, en algunos casos, los resultados teóricos coincidieron con los datos empíricos (ambas indicaron que la recarga se produce en la parte alta de la microcuenca < 3700 m.s.n.m.); sin embargo, también se identificaron zonas donde la clasificación metodológica no reflejó las condiciones reales medidas (Ensayos de infiltración) esto quiere decir que una alta tasa de infiltración en el suelo no necesariamente implica una recarga efectiva del acuífero. Adicionalmente, se emplearon los índices espectrales NDVI y NDWI como herramientas de validación remota. El NDVI evidenció cobertura vegetal mixta y poco densa en zonas coincidentes con áreas clasificadas como de recarga media y alta, mientras que el NDWI identificó cuerpos de agua tanto en áreas destacadas por la metodología participativa como por la R.A.S. Esta concordancia entre métodos satelitales y resultados obtenidos refuerza la coherencia espacial del análisis. Sin embargo, en función de la pregunta de investigación planteada y del contexto local, la metodología participativa mostró una mejor

adecuación a la realidad de la microcuenca, al integrar factores técnicos y sociales que no siempre están reflejados en los modelos numéricos o climáticos.

- Como parte de la investigación, los mapas temáticos generados mediante sistemas de información geográfica (SIG) permitieron visualizar espacialmente la distribución del potencial de recarga hídrica en la microcuenca. La metodología R.A.S. mostró un mapa con predominancia de zonas de muy baja recarga, mientras que la metodología participativa presentó una distribución más equilibrada. Esta diferencia evidencia el impacto de las variables utilizadas y la importancia del enfoque adoptado para representar el comportamiento hídrico del territorio.
- En función del problema de investigación planteado, se concluye que la metodología participativa ofrece una mayor adecuación para este propósito en comparación con la metodología de recarga de agua subterránea (R.A.S.). Esto se debe a que la metodología participativa integra variables edáficas, topográficas, vegetales y sociales, así como el conocimiento local, permitiendo una representación más contextualizada y coherente del territorio. Además, sus resultados presentaron mayor concordancia con los valores medidos en campo mediante los ensayos de infiltración, especialmente en zonas clasificadas como de posibilidad media a alta. Por otro lado, la metodología R.A.S. proporciona un enfoque más técnico basado en el balance climático, sus resultados finales se ven limitados en microcuencas como Tres Ríos, donde la demanda hídrica supera a la oferta en casi la mayoría del territorio, dando como resultado el 88% del área total como valores muy bajos, no obstante R.A.S. permitió detectar mediante el coeficiente de infiltración zonas que presentaron un potencial de almacenamiento hídrico y que dichas zonas coincidían con las que se encontraron con la metodología participativa.

RECOMENDACIONES Y/O SUGERENCIAS

De los resultados obtenidos de las metodologías usadas para la identificación de zonas de recarga hídrica en la microcuenca Tres Ríos, se recomienda lo siguiente:

- Implementar una gestión y manejo integrado de la microcuenca, considerando que los resultados evidenciaron un déficit hídrico, lo que hace necesaria una planificación sostenible del recurso.
- Se recomienda replicar la metodología participativa en otras microcuencas altoandinas con condiciones físicas y sociales similares, para fortalecer los procesos de gestión local del agua.
- Proteger las zonas con mayor potencial de infiltración mediante diversas técnicas de conservación de suelos, evitando la degradación y pérdida de la capa infiltrable.
- Prevenir la reducción de la cobertura vegetal, promoviendo estrategias de reforestación y restauración ecológica que favorezcan la recarga hídrica.
- Sensibilizar y fortalecer la conciencia ambiental tanto a nivel local como en instancias políticas sobre la importancia de conservar las zonas de recarga hídrica para garantizar la disponibilidad del recurso en el futuro.
- Ampliar los estudios sobre metodologías complementarias para contrastar y validar los enfoques aplicados en esta investigación, con el fin de mejorar la precisión en la identificación de áreas prioritarias para la protección hídrica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGRECOL, A. (2019). Propuestas para proteger zonas de recarga hídrica en nuestras comunidades. *Fundacion AGRECOL Andes*, 5-6.
- AGRECOL, A. (Noviembre de 2019). Protegiendo nuestras áreas de recarga hídrica y fuentes de agua. *Fundacion AGRECOL Andes*(4), 12. Protegiendo nuestras áreas de recarga hídrica y fuentes de agua.
- AGROPERÚ. (15 de Julio de 2024). *Agro Perú Informa*. <https://www.agroperu.pe/conoce-las-consideraciones-para-construir-zanjas-de-infiltracion/>
- Alemayehu, T., Megersa, B., & Alemu, B. (2023). Integrated approach for groundwater recharge zone identification in urban catchments using GIS and AHP: A case study of Addis Ababa, Ethiopia. *Water*. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/w15071268>
- Alfaro, J. (2008). *Conflictos, gestión del agua y cambio climático*. Lima: Soluciones Prácticas ITDG.
- Alvarez, O., Olson, E., & Welp, L. (2022). *Evidence for high-elevation solar recharge and interbasin groundwater flow in the Western Cordillera of the Peruvian Andes*. *Hydrology and Earth System Sciences*. <https://doi.org/https://doi.org/10.5194/hess-26-483-2022>
- Aquetong Watershed Association. (2019). *What is a watershed?* Aquetong Watershed Association.: <https://www.aquetongwatershed.org/what-is-a-watershed>
- Arango, Á. (18 de Agosto de 2013). Crisis mundial del agua. *Scientific Electronic Library Online (SciELO)*, 7-8. SciELO:

http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-04552013000200001&lng=en&tlng=es.

Asociación Española de Geografía. (19 de 10 de 2023). *Instituto Geográfico Nacional*.

https://www.ign.es/espmmap/figuras_bio_bach/pdf/bio_fig_13_texto.pdf

Bringas, K. (2024). *Identificación de zonas de recarga hídrica y su relación con el cambio de uso del suelo en la cuenca del río Rejo, 2011–2020*. Cajamarca: Repositorio Institucional de la UNC.

Camino, M., Bó, M. J., Cionchi, J., Del Río, J., López de Armentia, A., & De Marco, S. (2018).

Estudio morfométrico de las cuencas de drenaje de la vertiente sur del sudeste de la provincia de Buenos Aires. *Revista Universitaria de Geografía*, 27(1), 19. :

<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=383257036005>

Chamorro, M., & Rosales, O. (2017). Identificación Y Caracterización De Las Zonas De Recarga Hídrica Mediante Herramientas Sig De Los Acuíferos La Carboneria, Guaraczapas, Yuyucocha Y Santa Clara Para La Protección De Las Fuentes De Aprovechamiento De Agua En La Zona Urbana De Ibarra. *Universidad Tecnica del Norte*, 13.

Cruzado Vásquez, G. (2009). *Zonificación Ecológica y Económica - Estudio de Geología*.

Cajamarca: Gobierno Regional de Cajamarca.

Cusquisiban, D. G. (2019). *Ubicación de zonas de recarga hídrica usando imágenes Landsat 8 mediante el método de árbol de decisiones en la cuenca del Río Chamán, Cajamarca y La Libertad - Perú*. Cajamarca - Perú.

- Delgadillo Iriarte, O. (2016). *Medición de la infiltración del agua en el suelo - Metodo de doble anilla*. Cochabamba, Bolivia: Facultad de ciencias agrícolas, pecuarias y forestales.
- Delgadillo, O., & Pérez, L. (2016). Medición de la infiltración del agua en el suelo. *Centro Agua UMSS*, 34. http://www.centro-agua.umss.edu.bo/wp-content/uploads/2022/04/S_T_12016_Medicion_infiltracion_doble_anilla.pdf
- FAO. (2020). *Recharge management and groundwater sustainability*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO. (4 de Julio de 2024). *Gestión de cuencas hidrográficas*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.: <https://www.fao.org/sustainable-forest-management/toolbox/modules-alternative/watershed-management/basic-knowledge/es/>
- Figueredo Pan, J. L. (2019). METODOLOGÍA PARA DETERMINAR ZONAS DE RECARGA HÍDRICA EN MUNICIPIOS O COMUNIDADES CON RECURSOS FINANCIEROS LIMITADOS. *Corporacion Autónoma Regional de la Orinoquia*, 24.
- Formaggio, L. (2024). *¿Qué es una cuenca hidrográfica?* Revista Ciencias de la Tierra. <https://revistacienciasdelatierra.com/geociencias/que-es-una-cuenca-hidrografica/10500/>
- Forsyth, A., Chang, Y., & et al. (2024). Defining the term watershed to reflect modern uses and functions as inter- and intra-connected socio-hydrologic systems. *Journal of Environmental Studies and Sciences*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s13412-024-00891-8>
- Fundación Aquae. (13 de Enero de 2022). *La escorrentía: ¿qué es y cuántos tipos hay?* Fundación Aquae.: <https://www.fundacionaquae.org>

- Garate, J., Bejar, N., Pillco, N., Herrera, M., & Dueñas, H. (2022). Diferencias en la capacidad de infiltración del suelo en dos tipos de cobertura vegetal en la Amazonía peruana. *Folia Amazónica*, 31(2), 227-241. <https://doi.org/> <https://doi.org/10.24841/fa.v31i2.578>
- Gascón , E., Rodríguez, R., & Pérez, J. (2022). Aplicación de curvas hipsométricas digitales para el análisis de cuencas en regiones andinas. *Journal of Mountain Science*, 19(4), 987-1003. <https://doi.org/> <https://doi.org/10.1007/s11629-022-7801-2>
- Guitierrez, A., & Rosas, M. (2024). *Development and application of a methodology for the identification of potential groundwater recharge zones: A case study in the Virvini micro-basin, Tiraque, Bolivia*. *Water*. <https://doi.org/> <https://doi.org/10.3390/w15071268>
- Hernández, R., Martínez, L. M., Peñuela, L. A., & Rivera, S. (2020). *Identificación de zonas potenciales de recarga y descarga de agua subterránea en la cuenca del río Ayuquila-Armería mediante el uso de SIG y el análisis multicriterio*. México: Instituto de Geografía UNAM. <https://doi.org/> <https://doi.org/10.14350/rig.59892>
- IDEAM. (2020). *M-GDI-M-I004 Instructivo Mapa del Índice de Disponibilidad Hídrica*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. https://archivo.ideam.gov.co/m-gdi-m-i004_instructivo_mapa_del_indice_de_disponibilidad_hidrica_v1.pdf
- INEI. (2021). *Compendio Estadístico Departamental: Cajamarca*. INEI.
- Intriago, A., Galvao, P., & Conicelli, B. (2023). *Use of GIS... groundwater recharge in Portoviejo River, Ecuador*. *Journal of South American Earth Sciences*.

IWRM Action Hub. (2024). *Integrated Water Resources Management diagram*.

<https://iwrmaactionhub.org/about/iwrma-explained>

Junker, M. (2005). Método RAS para determinar la recarga de agua subterránea. *FORGAES UNION EUROPEA*, 3-12.

Killiam, L. T., Barlow, J. R., & Reavis, R. (2021). Characterizing groundwater and surface-water interaction using hydrograph-separation techniques and groundwater-level data throughout the Mississippi Delta, USA. *Hydrogeology Journal*, 2199-2216.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s10040-021-02361-4>

Layten Vera, C. N., & Santi Morales, L. L. (2021). *Identificación de zonas de recarga hídrica de la subcuenca del Río Santa Eulalia mediante la metodología RAS*. Lima - Perú.

Matus Silva, O. D. (2007). *Elaboración participativa de una metodología para la identificación de zonas potenciales de recarga hídrica en las subcuencas hidrográficas aplicada a la subcuenca del río Jucuapa, Matagalpa Nicaragua*. Turrialba - Costa Rica.

Matus, Ó., Faustino, J., & Jiménez, F. (2007). Metodología para la identificación participativa de zonas con potencial de recarga hídrica en subcuencas hidrográficas. *Recursos Naturales y Ambiente*(55), 74-82.

https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/6573/Metodologia_para_la_identificacion_participativa_de_zonas.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Matus, O., Faustino, J., & Jiménez, F. (Diciembre de 2008). Metodología para la identificación participativa de zonas con potencial de recarga hídrica en subcuencas hidrográficas, validación de la subcuenca del río Jucuapa, Nicaragua. *Centro Agronomico Tropical de*

Investigación y Enseñanza (CATIE).

<http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/handle/11554/7308>

Matus, O., Faustino, J., & Jiménez, F. (2009). Guía para la identificación participativa de zonas con potencial de recarga hídrica. *Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE)*(38), 7-19.

Moncada, A., Lima, N., & Mosquera, J. (2022). *Comprehensive participatory decision-making tool for formulating of the basin master plans in Bolivia*. Proceedings of the 39th IAHR World Congress (From Snow to Sea). <https://doi.org/https://doi.org/10.3850/IAHR-39WC2-521711920221488>

Nawaz, M., Hassan, S., & Kahlowan, M. (2024). Groundwater recharge potential mapping using GIS-based multi-criteria analysis in Pothwar Plateau, Pakistan. *Scientific Reports*,.

Noriega-Puglisevich, J. (2024). *Hydrological effects of the conversion of tropical montane forest to agricultural land in the central Andes of Peru*. Environmental Quality Management,. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/tqem.22221>

Peña, J., & Soria, S. (2021). *Determinación de zonas de recarga hídrica y su importancia en la cabecera de cuenca del río Zaña usando sensores remotos – Cajamarca*. <https://hdl.handle.net/11537/28970>

Poma Rojas, W., & Alcántara Boñón, G. (2011). Estudio de suelos y capacidad de uso mayor del departamento de Cajamarca. *Gobierno Regional de Cajamarca*.

- Qasmieh, A., Al-Zawahreh, M., & Al-Foudari, A. (2023). GIS-based multi-criteria decision analysis for mapping groundwater recharge zones in Northern Jordan. *Applied Water Science*, 160, 14-15. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s13201-024-02217-z>
- Scanlon, B., Cuthbert, M., Reedy, R., & Longuevergne, L. (2022). *Enhanced recharge estimation methods for arid regions*. *Hydrogeology Journal*,.
- SEMARNAT. (27 de Junio de 2018). *Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales*. <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/que-son-las-cuencas-hidrologicas-y-las-reservas-de-agua>
- Sivakumar, M., Kumar, C., Reddy, M., & Bishnoi, P. (2019). Identifying groundwater recharge zones using remote sensing and GIS techniques in the Amaravathi aquifer system, Tamil Nadu, South India. *Sustainable Environment Research*, 29. <https://doi.org/https://doi.org/10.1186/s42834-019-0014-7>
- South River Watershed. (4 de Marzo de 2025). *Watershed diagram*. <https://southriverwatershed.org/discover/our-watershed/>
- Stevens, D., & Umstot, T. (2019). . *Development and evaluation of the Maxey–Eakin recharge method*. *Hydrogeology Journal*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s10040-018-1884-1>
- Tello Casa, K. R. (2019). *Disponibilidad de agua de escorrentía en la captación del Río Ronquillo en base a información climática*. Cajamarca - Perú.

- Terán G., N. C. (2014). *Volumen de agua aprovechable en la microcuenca de río Tres Ríos , usando el modelo determinístico estocástico Lutz Scholz validado, para los años hidrológicos 2008-2012*. Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca.
- Tleane, S., & Ndambuki, J. (2019). Estimation of groundwater recharge using GIS method: A case study of Makotopong Village—Polokwane, South Africa. *Journal of Water Resource and Protection, 11*, 985–1000.
<https://doi.org/https://doi.org/10.4236/jwarp.2020.1211059>
- TRAXCO. (10 de Diciembre de 2009). *Humedad en suelos de diferente textura*.
<https://www.traxco.es/blog/tecnologia-del-riego/humedad-en-suelos-de-diferente-textura>
- UNEP. (3 de Enero de 2023). *Integrated water resources management*.
<https://www.unep.org/topics/fresh-water/water-resources-management/integrated-water-resources-management>
- UNESCO-WWAP. (2021). *Water and Climate Change – United Nations World Water Assessment Programme*. UNESCO.
- Vanacker, V., Molina, A., Rosas, M., Bonneseur, V., Román, F., Ochoa, B., & Buytaert, W. (2022). The effect of natural infrastructure on water erosion mitigation in the Andes. *SOIL, 8*, 133-147. <https://doi.org/https://doi.org/10.5194/soil-8-133-2022>
- Vásquez , A., Mejía, A., Faustino, J., Terán, R., Vásquez , I., Díaz, J., . . . Alcántara, J. (2016). *Manejo y Gestión de Cuencas Hidrográficas*. Lima - Perú: Fondo Editorial - UNALM.
- Vasquez Peralta, C. (2011). *Estudio hidrológico de la región de Cajamarca*. Cajamarca: Gobierno Regional de Cajamarca.

Vásquez Peralta, C. (2011). *ESTUDIO HIDROLOGICO EN LA REGIONA CAJAMARCA*.

Gobierno Regional de Cajamarca.

Vidal, N. (2004). La problemática del agua. *Dialnet*, 27.

Zhang, M., & Chui, T. (2025). A multiagent socio-hydrologic framework for integrated green infrastructures and water resource management at various spatial scales. *Hydrology and Earth System Sciences*,, 2655-2695. <https://doi.org/https://doi.org/10.5194/hess-29-2655-2025>

Zhou, Y., Wang, Z., & Liu, J. (2022). *Remote sensing-based recharge zone mapping using machine learning in mountainous basins*. *Remote Sensing of Environment*,.

ANEXOS

Anexo I: Panel Fotográfico

Figura 60.

Vista panorámica de la microcuenca tres Ríos



Nota. La imagen refiere a la vista panorámica de la microcuenca Tres Ríos

Figura 61.

Reposición de agua en el ensayo de infiltración



Nota. Imagen referencial a los ensayos de infiltración

Figura 62.

Preparación de los anillos antes del ensayo de infiltración



Nota. Preparación de los anillos antes del vaciado del agua, esto para que, al quitarlos, la distribución del agua se uniforme y no erosione el suelo

Figura 63.

Control de tiempos durante los ensayos de infiltración



Nota. Utilización de cronómetro para control de tiempos en el ensayo de infiltración.

Figura 64.

Preparación de los materiales para los ensayos



Nota. Preparación y colocación de los instrumentos para inicio de ensayos de infiltración

Figura 65.

Medición e identificación de los estratos de suelo de las formaciones



Nota. Se identifican las formaciones y se mide la potencia de los estratos para una mejor descripción en la investigación.

Figura 66.

Vista panorámica de Cushunga



Nota. Se tiene una vista panorámica de Cushunga, lugar donde se realizó un ensayo de infiltración

Anexo II: Datos Hidrológicos y climatológicos

Figura 67.

Datos de precipitación total mensual de la estación Jesús

CO. JESUS												
UBICACIÓN POLÍTICA:						UBICACIÓN GEOGRÁFICA:						
DEPARTAMENTO	: CAJAMARCA					LATITUD	: 07° 14' 45" Sur					
PROVINCIA	: CAJAMARCA					LONGITUD	: 78° 23' 18" Oeste					
DISTRITO	: JESUS					ALTITUD	: 2564 m.					
PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL (mm)												
AÑO/MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1994	S/D	137.7	225.6	S/D	26.2	5.7	0.3	0.0	13.2	S/D	S/D	129.1
1995	37.3	114.0	70.9	57.4	20.4	3.5	5.2	8.8	7.7	74.1	S/D	89.8
1996	76.8	112.0	142.0	97.2	18.2	7.0	0.5	12.1	18.2	78.8	45.5	S/D
1997	75.6	125.1	30.9	71.2	16.0	8.2	0.6	1.2	31.3	72.4	102.2	153.9
1998	137.4	144.2	165.2	91.0	18.2	2.8	0.0	2.2	20.0	64.7	37.1	72.7
1999	97.3	252.4	93.7	57.6	47.7	25.4	2.0	7.6	75.6	23.3	65.3	77.4
2000	50.1	145.3	137.9	53.4	50.8	19.2	3.7	21.6	36.9	6.3	41.0	137.9
2001	231.5	115.0	236.8	27.5	40.3	5.4	3.7	0.3	29.9	99.3	81.9	106.8
2002	36.7	59.6	182.5	68.1	17.7	3.8	7.6	0.0	25.0	135.2	82.3	97.8
2003	46.1	62.1	104.5	36.9	S/D	21.3	3.1	8.4	7.4	62.7	95.0	64.3
2004	66.4	66.7	49.8	39.7	56.4	20.7	7.5	4.7	18.4	64.2	79.0	100.1
2005	92.2	S/D	S/D	33.0	6.0	4.7	0.3	5.4	15.0	87.1	16.2	90.9
2006	93.8	S/D	S/D	71.4	6.4	30.6	1.1	3.9	S/D	19.2	74.9	106.5
2007	83.4	20.3	209.9	112.4	18.3	0.4	7.9	7.6	10.9	116.8	86.8	73.4
2008	92.9	154.9	147.3	73.8	7.0	16.2	1.9	6.8	32.1	105.4	62.8	S/D
2009	206.8	97.6	140.4	99.5	43.2	18.6	14.1	13.9	7.9	80.4	72.9	101.1
2010	70.9	110.4	116.2	45.8	28.4	12.4	10.0	0.2	25.8	41.2	64.0	42.1
2011	80.3	65.0	138.9	113.0	6.0	0.0	6.7	0.8	35.5	34.2	43.3	139.4
2012	154.9	125.4	68.3	60.6	40.7	13.1	0.0	2.7	8.8	130.1	57.2	64.2
2013	85.2	124.2	207.5	47.6	58.4	0.4	0.0	11.6	3.2	91.8	7.9	81.0
2014	78.9	69.8	124.2	64.0	54.5	10.8	5.8	0.0	14.6	33.7	43.6	81.8
2015	167.3	57.9	190.4	38.5	71.9	0.0	2.0	0.5	14.5	19.5	97.9	58.9
2016	81.9	71.0	55.8	37.4	4.0	5.6	0.1	0.4	19.8	47.5	20.7	126.3
2017	113.4	43.2	203.0	96.8	33.6	34.5	0.0	21.1	13.3	78.6	34.2	108.0
2018	59.9	101.6	110.8	62.2	60.1	2.6	0.0	0.0	22.6	67.0	100.7	79.4
2019	47.2	158.9	214.2	52.9	27.3	3.2	3.8	0.0	12.6	97.8	73.2	152.6
2020	31.0	40.4	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	0.9	12.0	18.6	50.9	126.6
2021	98.1	56.5	144.9	58.7	49.9	8.2	4.8	10.5	11.0	118.3	86.8	64.7
2022	67.8	144.3	147.8	86.3	18.2	11.4	1.5	10.5	41.7	36.0	11.5	91.3
2023	92.2	91.0	123.3	84.0	35.0	0.4	0.3	3.4	15.9	129.3		

Nota. Datos obtenidos de SENAMHI de la estación Jesús del periodo 1994 - 2023

Figura 68.

Datos de precipitación total mensual de la MAP Weberbauer

MAP. AUGUSTO WEBERBAUER												
UBICACIÓN POLÍTICA:						UBICACIÓN GEOGRÁFICA:						
DEPARTAMENTO : CAJAMARCA						LATITUD : 07° 10' 03" Sur						
PROVINCIA : CAJAMARCA						LONGITUD : 78° 29' 35" Oeste						
DISTRITO : CAJAMARCA						ALTITUD : 2673 m.						
PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL (mm)												
AÑO/MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1980	34.9	42.4	65.0	29.3	6.9	15.1	3.2	6.7	2.3	130.4	111.0	106.7
1981	78.2	186.5	105.7	33.7	14.7	6.6	7.2	12.7	22.0	111.5	45.6	111.3
1982	71.7	102.9	S/D	88.7	38.2	7.8	2.1	6.6	43.9	124.8	67.3	87.4
1983	116.6	75.7	152.8	105.7	31.1	10.1	9.6	2.7	19.2	86.9	28.1	118.4
1984	24.7	233.6	123.8	80.0	69.5	25.1	23.4	18.7	36.7	68.6	97.6	104.1
1985	24.6	42.4	37.2	41.9	53.0	0.4	4.8	18.3	37.3	50.0	23.9	40.3
1986	84.4	47.8	96.8	120.2	16.2	0.6	1.2	14.6	1.3	43.6	66.2	51.8
1987	98.2	95.0	39.2	52.6	9.1	4.0	10.8	12.3	39.5	37.2	74.3	61.5
1988	109.7	105.5	44.8	95.6	10.6	5.4	0.0	0.4	32.9	69.4	65.2	63.4
1989	87.0	158.8	113.5	85.4	18.8	16.7	3.2	5.9	53.5	106.6	47.1	2.7
1990	101.8	68.5	58.3	27.4	39.5	24.6	0.8	7.1	20.1	87.6	99.1	72.3
1991	43.8	90.0	133.7	55.2	17.9	0.7	0.4	0.3	10.2	28.2	55.1	71.9
1992	52.6	31.8	66.6	46.5	18.9	21.2	4.6	10.0	40.8	64.0	32.0	34.1
1993	61.0	106.2	245.0	102.9	30.2	1.9	3.3	2.9	51.4	106.3	71.4	84.1
1994	116.9	103.1	170.2	144.9	35.3	3.3	0.0	0.2	11.9	27.2	89.8	122.6
1995	43.8	108.3	75.7	49.7	20.6	1.7	13.2	10.8	11.5	51.8	50.5	76.4
1996	65.2	124.0	120.1	50.4	7.7	0.8	0.5	15.8	13.9	76.2	68.8	34.1
1997	64.8	152.9	26.5	40.4	17.0	15.4	0.2	0.0	27.4	50.8	119.9	129.4
1998	103.0	116.5	257.0	83.9	19.6	4.8	1.3	4.7	17.8	79.9	29.1	47.9
1999	94.8	242.7	77.5	65.0	53.7	22.8	22.1	1.2	81.4	21.7	77.0	68.9
2000	46.0	162.3	126.3	77.3	40.5	15.6	2.1	13.4	56.6	9.9	44.5	122.3
2001	191.2	100.8	230.2	57.2	48.1	2.3	13.9	0.0	34.4	46.2	93.4	90.9
2002	27.0	60.0	133.1	77.2	23.0	8.8	10.7	3.4	14.6	90.3	99.9	86.1
2003	51.1	61.4	103.5	42.1	30.7	22.3	1.8	10.6	14.8	46.0	63.8	80.7
2004	36.1	102.0	56.9	44.5	42.4	2.1	13.8	29.4	19.0	63.4	92.6	123.7
2005	84.9	53.7	136.6	54.0	7.2	4.5	0.6	3.5	31.2	92.3	30.0	87.8
2006	83.2	101.6	199.3	77.6	7.7	23.9	1.8	6.1	33.6	12.7	60.4	81.7
2007	95.4	17.5	182.4	111.5	29.0	1.4	10.7	6.4	11.6	118.9	97.6	68.8
2008	80.2	133.3	118.4	99.1	22.7	15.4	2.3	11.7	34.7	96.5	72.2	S/D
2009	180.7	74.6	110.5	78.8	42.2	17.9	12.3	3.9	11.8	78.5	109.4	74.2
2010	49.5	112.9	154.0	88.4	31.6	8.6	2.6	1.3	28.9	43.4	52.5	70.8
2011	76.6	73.3	125.2	102.0	16.7	0.4	8.3	0.0	47.1	31.5	24.4	109.7
2012	154.2	134.7	126.4	72.8	51.5	0.8	0.0	2.5	19.1	83.3	120.3	58.3
2013	61.5	98.0	213.6	73.8	62.6	7.5	5.7	8.9	3.7	110.7	17.0	51.9
2014	75.7	67.3	143.2	78.8	26.9	5.0	2.0	3.9	27.7	26.5	45.7	114.9
2015	184.7	55.4	202.2	63.0	75.8	3.0	4.4	0.1	27.8	16.8	99.6	39.5
2016	82.9	85.3	121.3	56.2	7.0	1.6	2.1	1.1	25.1	60.0	16.1	63.1
2017	77.5	72.3	138.9	78.6	47.2	12.0	2.3	20.9	21.2	65.3	63.2	168.1
2018	99.0	126.4	117.3	73.3	50.1	10.8	0.5	0.0	24.4	61.8	97.4	69.4
2019	46.9	107.3	172.7	78.1	37.4	9.1	11.8	0.0	7.6	121.8	60.4	162.7
2020	38.2	31.2	S/D	S/D	S/D	S/D	27.6	0.7	10.6	33.2	58.3	140.4
2021	100.8	54.3	138.6	129.5	38.2	10.5	4.5	12.3	23.7	108.8	58.3	45.7
2022	64.5	177.9	161.2	94.0	52.7	20.2	9.4	21.6	40.9	31.2	6.3	65.0
2023	87.6	119.8	122.6	68.6	49.4	0.0	3.5	3.3	3.1	106.5	87.8	

NOTA: S/D SIGNIFICA SIN DATO

Nota. Datos obtenidos de SENAMHI de la MAP Weberbauer del periodo 1980 - 2023

Figura 69.

Datos de precipitación total mensual de la estación Granja Porcón

CO. GRANJA PORCON												
UBICACIÓN POLÍTICA:						UBICACIÓN GEOGRÁFICA:						
DEPARTAMENTO	:	CAJAMARCA				LATITUD	:	07° 02' 15" Sur				
PROVINCIA	:	CAJAMARCA				LONGITUD	:	78° 38' 00" Oeste				
DISTRITO	:	CAJAMARCA				ALTITUD	:	3149 m.				
PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL (mm)												
AÑO/MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1981	94.1	257.3	190.0	153.1	65.6	0.0	0.0	0.0	6.5	160.6	60.3	90.8
1982	56.8	19.2	72.2	32.6	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1983	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1984	S/D	S/D	S/D	134.0	0.0	0.0	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1985	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	0.0	0.0	0.0	0.9	0.6	0.8	S/D
1986	S/D	41.0	6.0	74.2	S/D	S/D	S/D	50.0	10.9	S/D	51.8	133.2
1987	S/D	S/D	126.5	S/D	S/D	0.0	S/D	0.0	S/D	S/D	161.6	S/D
1988	305.5	S/D	63.6	S/D	18.6	15.6	6.4	5.3	30.6	133.7	112.6	S/D
1989	188.7	216.8	85.0	89.9	18.5	0.0	0.0	0.0	46.5	77.0	51.5	0.0
1990	29.7	85.4	S/D	127.2	S/D	35.6	0.9	0.6	139.7	262.0	250.2	103.6
1991	91.0	S/D	509.6	248.6	287.0	6.3	S/D	S/D	78.7	S/D	211.1	S/D
1992	S/D	S/D	137.1	119.1	S/D	62.4	0.0	24.0	135.5	119.2	S/D	S/D
1993	S/D	S/D	374.3	437.8	102.7	S/D	0.0	S/D	S/D	137.5	206.2	452.6
1994	475.4	373.5	S/D	268.5	329.1	18.6	0.0	22.2	104.8	252.8	210.7	142.5
1995	139.7	228.8	217.7	127.8	112.7	12.6	S/D	48.9	54.9	96.5	125.9	243.9
1996	198.8	407.5	312.7	141.3	59.7	49.7	0.0	20.3	48.5	232.9	80.6	58.6
1997	186.9	190.3	123.2	260.0	81.0	18.5	39.0	9.9	80.5	169.2	301.6	305.1
1998	168.5	380.5	298.7	243.2	85.4	0.0	0.0	14.8	67.6	224.9	158.8	S/D
1999	210.3	494.2	253.5	126.0	166.7	53.9	20.3	6.4	228.3	65.3	138.6	166.4
2000	64.8	237.0	221.1	168.6	160.7	40.7	1.6	16.3	123.2	19.3	62.8	236.5
2001	341.1	227.7	419.2	92.6	88.7	17.6	15.2	0.4	145.2	169.5	156.1	171.8
2002	76.2	188.8	390.1	159.0	38.1	27.8	15.2	2.6	53.3	202.1	226.5	243.0
2003	103.8	134.4	124.3	81.2	76.0	54.4	28.9	15.6	47.2	101.8	112.6	100.0
2004	70.3	230.4	168.2	82.4	75.4	11.7	41.0	19.1	84.8	147.0	168.0	240.9
2005	157.8	231.2	343.3	93.1	91.6	53.7	0.0	7.1	54.4	152.8	28.6	164.8
2006	145.5	188.1	345.7	184.7	62.8	62.0	5.1	15.7	116.6	39.8	158.5	183.6
2007	246.6	64.5	352.3	226.3	57.7	1.1	42.6	20.1	32.8	171.8	211.1	170.4
2008	190.6	291.2	252.4	150.3	76.0	73.3	16.0	11.0	110.9	182.6	133.2	66.4
2009	344.8	197.5	307.3	149.6	127.4	31.3	18.1	8.0	27.0	184.0	187.9	234.8
2010	108.0	169.7	275.7	163.5	83.1	39.4	44.3	33.6	31.2	82.7	96.5	182.6
2011	257.0	148.9	284.6	269.4	21.2	8.5	13.7	4.8	55.4	84.5	93.0	265.4
2012	325.9	320.0	155.7	210.7	109.6	32.4	0.0	45.8	33.7	137.7	202.5	67.6
2013	141.0	279.9	352.4	196.2	193.4	32.8	17.7	33.8	30.4	174.5	28.0	238.5
2014	137.4	189.9	228.0	103.4	79.3	5.1	9.6	10.5	65.8	97.4	91.4	209.3
2015	370.6	159.6	286.4	108.9	158.4	1.7	9.7	0.4	24.6	88.4	126.3	107.8
2016	166.5	133.4	163.5	137.1	36.8	44.9	1.1	0.0	45.7	146.9	41.4	172.9
2017	156.0	235.8	367.0	133.3	170.7	43.9	1.2	49.9	51.7	146.8	37.7	228.9
2018	262.5	198.3	201.7	153.0	111.3	8.2	0.0	2.5	59.0	157.1	152.9	162.3
2019	93.6	154.3	378.2	137.3	62.8	5.8	14.1	0.0	21.6	190.2	176.5	311.7
2020	62.9	140.0	S/D	87.8	40.2	15.5	48.0	19.0	25.3	48.2	114.2	354.4
2021	282.3	139.4	288.6	137.7	63.7	52.6	5.9	22.6	83.2	224.4	179.3	241.5
2022	167.1	321.6	286.5	159.0	56.2	52.7	5.0	27.5	86.2	57.3	21.8	162.4
2023	221.0	246.8	217.1	144.9	58.5	8.4	2.7	26.2	7.1	141.5	125.4	

NOTA: S/D SIGNIFICA SIN DATO

Nota. Datos obtenidos de SENAMHI de la estación Granja Porcón del periodo 1981 - 2023

Figura 70.

Datos de precipitación total mensual de la estación La Encañada

CO. LA ENCAÑADA												
UBICACIÓN POLÍTICA:						UBICACIÓN GEOGRÁFICA:						
DEPARTAMENTO	: CAJAMARCA					LATITUD	: 07° 07' 24" Sur					
PROVINCIA	: CAJAMARCA					LONGITUD	: 78° 19' 59" Oeste					
DISTRITO	: LA ENCAÑADA					ALTITUD	: 2980 m.					
PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL (mm)												
AÑO/MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1997	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	81.1	182.5	148.1
1998	102.2	196.0	223.3	181.7	71.5	6.2	0.5	8.4	36.3	132.7	40.4	86.6
1999	115.3	294.8	108.7	99.7	102.8	62.9	11.0	9.3	132.8	30.3	125.3	143.4
2000	46.9	155.9	184.7	106.7	89.7	18.2	0.9	20.0	88.1	4.7	50.4	117.4
2001	238.0	72.4	203.8	105.1	60.7	0.5	2.7	0.8	30.9	129.3	101.8	86.4
2002	42.9	89.4	241.1	117.7	12.6	14.1	4.4	1.1	22.3	S/D	S/D	S/D
2003	33.1	80.6	145.5	93.0	37.8	38.3	0.0	9.9	41.9	93.8	124.4	85.0
2004	95.4	72.5	54.6	91.1	39.8	5.8	21.7	0.5	44.2	173.2	108.5	171.2
2005	119.6	107.1	260.8	51.2	42.0	12.4	1.2	7.0	13.4	205.5	38.2	145.4
2006	74.6	134.7	292.1	124.5	14.8	41.8	11.4	4.9	65.4	61.2	106.9	91.7
2007	105.2	44.8	260.4	140.5	70.9	0.0	9.4	5.3	26.4	138.0	127.5	98.1
2008	104.1	149.0	175.9	151.5	44.0	15.2	9.2	22.6	53.7	140.9	119.7	37.7
2009	222.7	70.9	215.2	122.8	75.2	9.3	12.5	10.5	6.8	90.0	115.3	66.6
2010	70.0	94.8	184.3	123.0	39.8	11.8	7.7	0.0	35.7	100.0	98.9	94.0
2011	66.4	96.8	153.6	139.6	32.9	0.4	13.1	0.0	51.2	47.9	93.8	149.5
2012	166.1	101.5	108.0	108.3	59.7	10.6	0.0	7.7	1.5	169.6	153.0	56.0
2013	44.5	96.9	181.5	39.4	114.7	11.2	3.6	19.1	0.0	157.0	39.5	94.5
2014	90.3	138.9	175.4	95.3	79.8	0.0	0.3	0.6	44.1	91.9	100.1	135.9
2015	188.3	71.4	260.7	70.4	104.1	3.3	5.3	0.0	3.0	27.8	170.5	23.2
2016	138.7	95.2	125.2	72.3	3.2	23.1	0.8	0.6	61.7	85.1	8.2	197.1
2017	105.9	101.1	276.2	93.2	69.6	18.4	3.2	27.7	13.8	103.3	41.6	130.8
2018	98.3	187.0	76.8	146.1	144.9	6.3	0.0	0.0	56.3	107.5	207.2	52.6
2019	53.1	133.5	199.4	152.1	56.2	15.4	7.2	0.0	19.0	134.9	82.2	171.5
2020	67.6	50.6	114.7	74.5	47.5	19.8	41.1	1.0	19.3	45.1	112.3	207.8
2021	116.5	89.7	242.4	110.4	80.9	24.1	2.1	14.3	16.0	210.7	160.6	114.5
2022	73.8	220.3	299.4	132.8	46.4	59.6	7.0	11.4	36.4	109.1	8.0	121.1
2023	263.2	186.4	184.6	129.9	56.2	5.0	4.3	9.0	16.8	168.8	69.1	S/D

NOTA: S/D SIGNIFICA SIN DATO

Nota. Datos de precipitación obtenidos de SENAMHI de la estación La Encañada del periodo 1997 – 2023

Figura 71.

Datos de humedad relativa media mensual de la estación MAP WEBERBAUER

HUMEDAD RELATIVA MEDIA MENSUAL (%)												
AÑO/MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1970	78	74	77		77	73	73	71	74	77	77	77
1971	75	80	86	78	75	73	71	74	76	78	74	77
1972	76	73	79	78	76	71	68	67		66	66	71
1973	75	74	80	82	77	74	69	68	73	78	75	74
1974	76	80	78	76	70	74	64	67	68	76	75	75
1975	77	82	84	81	80	71	65	66	72	74	73	66
1976	78	78	81	77	77	72	63	67	65	64	66	69
1977	77	80	76	76	77	73	67	64	66	72	74	77
1978	71	74	74	79	77	65	68	66	71	60	71	72
1979	76	80	83	78	75	67	65	68	72	67	65	67
1980	69	74	73	71	70	67	64	63	64	77	75	77
1981	76	84	80	79	73	68	67	68	67	78	74	79
1982	75	76	80	76	76	71	67	65	71	77	76	78
1983	80	78	81	82	78	72	68	66	69	73	70	76
1984	74	83	79	81	80	78	72	70	71	72	68	77
1985	77	75	73	79	74	61	60	65	69	69	59	71
1986	75	72	72	78	74	66	62	65	63	67	68	72
1987	76	76	73	75	67	63	65	62	66	65	68	71
1988	75	79	72	79	73	63	60	58	65	71	73	70
1989	75	78	76	76	68	69	58	62	67	73	62	58
1990	69	70	70	72	68	65	58	56	59	69	68	67
1991	67	71	75	72	70	62	55	56	58	62	63	64
1992	64	64	66	70	66	61	56	57	62	64	63	58
1993	64	67	70	72	69	59	58	55	65	68	66	72
1994	74	71	72	73	68	57	53	53	60	60	62	68
1995	65	67	69	65	63	60	62	57	59	61	68	65
1996	69	72	73	70	66	61	52	56	60	72	61	65
1997	70	78	68	69	66	62	58	57	62	66	71	71
1998	71	73	78	73	66	61	57	59	59	66	61	58
1999	62	71	67	68	67	65	55	55	64	61	61	68
2000	63	70	70	71	69	64	56	57	64	55	53	71
2001	78	74	79	69	68	62	66	64	69	67	70	70
2002	71	78	79	77	71	70	71	67	68	73	73	74
2003	72	72	76	73	71	69	66	65	60	69	71	72
2004	70	77	76	73	72	69	67	63	65	68	64	66
2005	68	69	71	70	63	63	60	63	64	68	56	64
2006	69	74	72	67	61	62	56	60	63	60	66	70
2007	71	67	70	71	69	62	64	61	58	64	69	66
2008	73	73	70	69	71	66	60	61	60	64	62	S/D
2009	69	77	79	74	74	66	63	62	61	67	64	70
2010	68	68	71	69	66	63	62	59	61	58	59	69
2011	71	72	72	70	62	62	62	60	64	60	S/D	68
2012	64	69	71	72	68	64	58	57	62	67	66	62
2013	67	68	71	69	71	78	60	58	53	65	S/D	62
2014	64	65	69	70	72	64	57	56	60	58	56	60
2015	68	66	71	72	69	55	56	54	54	58	66	67
2016	69	69	71	71	65	60	58	60	60	61	53	69
2017	70	68	76	71	69	63	55	60	55	53	58	66
2018	65	66	69	66	67	54	56	56	57	62	66	61
2019	64	69	69	67	67	58	58	51	60	67	64	S/D
2020	63	67	68	S/D	S/D	S/D	61	54	55	52	60	75
2021	74	65	74	69	65	65	55	59	59	71	60	65
2022	62	70	69	70	67	61	56	57	59	56	52	61
2023	66	69	69	71	64	56	55	52	56	63	62	73

Nota. Datos de humedad relativa media mensual obtenidos de SENAMHI, estación Weberbauer periodo 1970 - 2023

Figura 72.

Datos de horas de sol de la estación MAP WEBERBAUER

	HORAS DE SOL MENSUAL											
AÑO/MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1973	115.8	124.8	120.6	144.1	200.5	206.7	190.9	199.1	166.2	144.4	180.9	137.9
1974	164.5	117.8	175.7	173.4	232.8	167.7	232.3	213.3	174.6	169.6	201.4	199.2
1975	157.9	113.1	129.5	162.4	158.3	195.2	228.9	210.8	154.7	198.6	198.0	216.0
1976	131.6	S/D	159.1	S/D	187.0	185.3	250.7	200.3	197.5	229.6	217.6	198.9
1977	151.5	99.5	148.9	168.6	212.3	186.8	228.9	S/D	179.2	170.5	170.3	200.7
1978	177.1	175.5	198.0	149.4	208.1	237.4	193.0	228.9	160.4	207.3	176.8	172.3
1979	214.8	103.0	115.4	169.0	228.1	243.8	231.7	238.6	171.6	209.6	188.8	209.1
1980	170.4	182.7	132.5	200.8	202.2	217.4	222.5	208.6	198.1	121.4	139.5	192.4
1981	170.6	116.7	S/D	186.7	218.3	231.6	252.7	232.5	198.7	150.9	176.4	152.4
1982	163.6	172.2	S/D	176.1	208.8	202.1	223.8	219.8	172.1	145.4	189.7	149.5
1983	176.6	177.4	152.9	142.5	191.4	237.1	253.7	225.2	176.7	159.7	214.5	153.8
1984	S/D	104.1	148.3	158.3	180.9	162.5	221.9	204.7	204.2	183.1	176.5	188.5
1985	182.4	121.8	183.4	177.5	176.5	227.7	216.4	197.6	166.7	229.2	221.5	194.0
1986	156.1	154.5	185.3	145.3	204.4	234.5	231.3	186.6	170.8	182.2	206.5	185.9
1987	120.7	143.4	S/D	S/D	202.8	253.6	202.1	254.3	161.3	203.2	142.6	160.4
1988	108.3	167.6	133.3	141.6	166.0	259.3	278.3	225.4	S/D	S/D	170.3	153.2
1989	143.1	97.1	145.1	133.7	199.1	157.6	241.3	196.6	144.2	131.1	225.1	246.3
1990	132.0	160.1	131.5	142.9	178.7	141.8	201.8	227.1	175.8	136.9	134.8	194.7
1991	155.0	131.0	132.0	165.6	186.3	229.5	241.4	213.8	182.0	135.7	181.5	192.5
1992	195.3	155.8	147.5	149.4	196.2	168.7	208.2	195.8	155.7	161.7	S/D	221.3
1993	161.1	119.2	114.2	125.8	209.3	208.5	221.2	S/D	140.0	139.2	S/D	S/D
1994	S/D	122.0	163.2	S/D	198.3	195.9	242.9	S/D	165.0	S/D	189.8	147.6
1995	182.7	133.1	120.3	190.7	198.9	210.6	207.0	229.6	170.9	160.8	172.6	195.6
1996	166.4	141.6	140.4	161.4	190.5	238.3	263.0	187.9	168.8	S/D	238.1	208.1
1997	204.9	S/D	S/D	177.4	189.2	240.5	269.7	229.6	191.7	164.5	165.2	133.9
1998	S/D	S/D	120.9	149.2	246.5	177.3	234.2	S/D	181.8	140.8	224.7	195.0
1999	154.2	S/D	141.5	147.7	191.5	188.6	221.2	244.2	158.7	191.8	S/D	164.1
2000	204.0	114.7	133.3	151.9	183.7	182.3	217.8	220.9	167.5	221.5	S/D	171.9
2001	121.5	133.0	131.9	182.0	191.8	217.8	198.8	257.8	155.7	169.8	149.4	202.7
2002	188.1	121.7	133.8	149.2	184.1	244.7	198.5	259.0	206.4	120.8	149.3	158.0
2003	174.1	151.0	115.3	156.1	190.4	190.9	248.3	236.0	187.2	202.8	169.2	105.3
2004	210.4	101.1	118.8	164.4	209.3	174.3	145.6	225.4	171.8	173.8	165.5	169.4
2005	212.8	142.8	110.4	163.7	195.9	182.2	S/D	S/D	219.8	171.0	219.9	142.0
2006	143.6	102.4	149.2	186.3	228.4	191.5	252.3	218.6	191.7	188.6	154.0	128.2
2007	147.8	128.3	109.6	149.0	211.8	234.4	256.3	232.5	120.8	175.9	163.1	207.9
2008	142.4	119.6	119.5	135.5	213.4	215.9	225.3	222.2	160.3	135.3	183.2	S/D
2009	130.7	138.4	123.1	139.4	212.5	223.9	195.4	234.7	191.2	174.1	188.3	166.4
2010	164.0	131.1	157.7	195.5	S/D	176.3	233.5	S/D	195.1	202.6	175.0	124.7
2011	139.3	115.4	108.1	153.9	180.4	196.8	198.9	256.8	137.3	134.6	175.6	144.5
2012	127.9	158.5	127.2	158.2	224.3	S/D	242.2	270.2	172.8	147.0	168.4	194.2
2013	192.4	139.4	94.9	183.7	149.8	186.0	225.8	205.5	215.2	146.6	185.9	171.9
2014	141.9	127.6	91.9	145.1	141.6	203.0	245.5	207.8	167.5	158.4	173.1	149.3
2015	125.5	131.6	111.8	127.1	142.0	205.0	235.0	266.8	198.2	150.3	164.1	179.5
2016	211.1	115.2	141.8	167.8	223.7	209.4	256.6	253.9	S/D	209.7	258.9	162.5
2017	161.0	164.6	105.9	148.4	150.9	204.6	263.5	227.8	154.5	202.4	193.9	177.8
2018	170.9	159.6	116.7	170.9	176.0	230.7	221.2	236.6	206.4	139.8	168.3	176.2
2019	150.4	115.9	106.4	160.0	194.7	235.8	205.1	261.0	171.8	128.8	141.9	131.8
2020	191.9	142.3	S/D	S/D	S/D	S/D	200.6	269.3	165.7	162.3	177.9	135.1
2021	113.3	169.8	119.8	164.1	211.8	165.3	246.2	218.9	168.9	160.6	177.9	180.2
2022	183.7	95.7	132.4	147.4	190.6	196.4	213.2	220.5	194.6	189.7	232.2	177.2
2023	159.3	119.3	124.6	131.4	180.4	244.1	266.8	255.2	192.1	145.9	159.4	115.4

Nota. Datos de horas de sol obtenidos de SENAMHI, estación Weberbauer periodo 1973 - 2023

Figura 73.

Datos de temperatura máxima media mensual de la estación MAP WEBERBAUER

	TEMPERATURA MÁXIMA MEDIA MENSUAL (°C)											
AÑO/MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1970	19.9	21.1	20.9	S/D	20.0	20.4	20.0	21.0	20.8	21.0	19.9	20.6
1971	20.5	19.4	18.9	19.2	19.5	19.6	20.1	19.8	19.7	20.0	20.4	20.2
1972	19.7	20.4	19.4	19.7	20.3	20.6	21.1	21.7	S/D	21.8	22.3	21.9
1973	21.1	20.9	21.2	20.8	21.3	21.4	20.6	21.0	20.6	20.5	21.1	19.8
1974	19.9	19.7	20.3	21.0	21.4	20.3	20.3	20.9	20.6	20.8	21.4	21.0
1975	20.3	20.3	20.3	20.6	20.0	20.0	20.0	20.5	20.5	20.8	20.6	21.7
1976	19.9	20.1	20.6	20.7	20.6	20.1	20.3	20.7	22.2	22.7	22.4	22.1
1977	21.4	19.7	20.9	21.0	21.1	20.6	21.2	21.8	21.9	22.0	21.3	22.0
1978	22.0	23.0	22.1	21.6	21.3	21.4	21.1	21.1	21.9	22.5	22.3	22.3
1979	22.1	20.6	20.2	21.2	21.9	22.1	21.6	22.6	22.2	23.2	23.2	22.6
1980	22.4	22.5	21.5	22.0	22.9	22.5	22.0	22.2	23.2	21.1	20.8	21.1
1981	21.2	20.4	20.6	21.8	22.3	22.6	21.6	22.2	22.5	21.7	21.9	22.1
1982	21.7	22.2	21.5	21.5	22.2	22.2	22.1	22.0	22.1	20.9	21.5	21.6
1983	22.5	22.4	21.8	21.7	22.4	22.7	22.9	22.7	22.3	21.8	23.1	21.0
1984	20.8	19.8	20.7	21.0	20.6	20.5	20.4	21.6	21.9	21.6	21.3	21.4
1985	20.8	21.1	22.6	21.7	21.8	22.1	21.2	21.8	22.3	22.6	22.9	22.7
1986	22.1	21.6	21.8	21.5	22.1	22.1	21.6	22.1	22.8	23.0	22.6	22.5
1987	22.0	21.9	22.7	22.2	22.7	23.7	23.0	23.0	23.2	23.4	22.4	22.8
1988	21.7	22.1	21.5	21.5	22.1	22.7	22.4	22.9	22.2	22.1	21.8	21.4
1989	21.0	20.2	20.5	21.0	21.7	21.0	21.8	22.1	21.6	21.3	23.0	23.7
1990	21.9	22.0	22.1	22.3	22.4	21.4	22.1	22.8	23.3	21.8	21.8	22.3
1991	21.9	22.0	21.7	22.0	22.5	23.8	23.4	22.6	23.2	22.2	22.9	23.2
1992	22.7	23.0	22.9	22.4	23.4	22.4	21.6	22.6	21.9	21.7	23.0	23.5
1993	22.0	21.1	20.1	20.9	21.9	22.0	22.2	22.0	21.7	21.1	21.3	21.2
1994	20.8	20.8	20.8	21.0	21.2	20.7	21.2	21.3	22.3	22.4	21.8	21.4
1995	22.2	21.1	20.9	21.9	21.9	22.4	21.7	22.8	21.9	22.1	21.8	21.8
1996	20.4	20.5	20.6	20.7	21.5	22.1	21.8	21.3	22.1	21.8	22.5	22.2
1997	21.6	20.3	22.2	21.9	22.4	22.7	22.3	22.0	23.0	23.2	21.7	21.7
1998	22.0	22.3	21.7	22.6	22.9	21.8	21.9	22.1	22.8	22.0	22.3	22.6
1999	21.2	19.6	20.7	20.6	20.5	20.8	20.6	21.8	21.3	21.4	21.9	20.9
2000	21.4	19.7	20.2	20.6	21.0	21.2	21.1	21.5	21.7	22.4	22.7	20.8
2001	19.7	20.4	20.1	20.9	21.5	21.2	21.5	22.2	22.1	22.7	21.4	22.1
2002	21.9	21.1	21.3	21.0	21.5	21.4	21.3	22.2	22.9	21.4	21.2	21.9
2003	21.6	21.7	20.9	21.9	21.8	21.9	21.5	22.4	22.9	23.1	22.6	21.4
2004	22.5	21.1	21.7	22.1	22.8	21.3	20.9	21.8	21.6	21.9	21.8	21.4
2005	21.7	22.1	21.3	21.8	22.1	22.5	22.3	22.3	22.4	21.1	22.2	21.3
2006	21.4	21.1	20.8	21.2	21.9	20.8	21.7	21.8	21.7	22.1	21.9	21.7
2007	22.1	21.1	20.8	21.0	21.6	21.3	21.6	21.4	20.9	21.3	20.8	20.9
2008	20.4	20.3	19.9	20.6	21.3	21.3	20.9	21.6	21.7	21.0	21.7	S/D
2009	20.6	20.7	20.7	21.0	21.7	21.7	20.9	22.1	22.3	22.2	21.8	21.8
2010	21.9	22.4	22.4	22.8	22.1	21.5	22.8	22.7	22.3	22.0	22.0	20.7
2011	21.1	20.8	20.2	20.9	21.7	21.7	21.2	22.2	21.2	21.4	22.4	21.0
2012	20.9	20.6	21.3	21.2	21.3	21.6	22.0	22.2	22.0	21.2	21.6	22.1
2013	22.1	21.8	21.1	22.2	21.9	21.1	21.4	22.0	23.1	21.8	22.8	22.0
2014	22.1	22.4	20.9	21.8	21.6	22.3	22.3	21.5	21.8	22.4	22.4	21.8
2015	20.8	21.7	21.2	21.2	21.3	21.6	22.3	23.0	23.1	22.8	22.7	22.9
2016	23.7	22.3	22.5	22.2	23.3	22.0	22.3	22.7	22.8	22.9	23.8	21.8
2017	21.2	21.8	20.9	21.3	21.4	21.9	21.7	22.0	22.1	22.7	23.2	21.7
2018	21.2	21.8	21.0	21.1	21.1	21.3	21.2	21.9	22.7	22.2	22.0	21.6
2019	22.0	21.8	21.2	21.7	21.8	22.2	21.4	21.9	22.1	21.5	22.0	21.2
2020	22.1	23.0	23.0	S/D	S/D	S/D	22.4	23.8	22.5	22.4	23.3	20.9
2021	20.7	22.4	20.5	21.9	21.8	21.4	22.1	22.6	22.4	22.6	23.3	22.6
2022	21.9	20.7	20.9	21.0	21.5	21.0	21.7	21.8	22.7	22.5	23.5	22.2
2023	21.5	21.7	20.6	20.9	22.4	22.5	23.2	23.4	23.6	22.7	22.8	22.1

Nota. Datos de temperatura máxima media mensual obtenidos de SENAMHI, estación Weberbauer periodo 1970 - 2023

Figura 74.

Datos de temperatura mínima media mensual de la estación MAP WEBERBAUER periodo 1970-2023

TEMPERATURA MÍNIMA MEDIA MENSUAL (°C)												
AÑO/MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1970	9.5	8.8	8.9	S/D	7.8	5.9	4.5	4.3	6.1	8.6	8.5	8.7
1971	8.1	8.5	10.1	8.8	6.9	6.4	4.4	5.6	6.1	8.3	6.9	8.4
1972	7.3	7.5	9.2	8.9	7.4	5.6	5.0	5.7	S/D	6.5	6.9	7.8
1973	10.5	8.7	9.5	9.1	6.2	5.1	4.6	4.5	5.9	7.7	8.0	7.0
1974	7.6	8.4	7.6	6.4	5.0	5.4	2.5	5.2	6.3	7.7	6.9	7.0
1975	6.9	7.2	8.0	7.1	5.6	S/D	2.0	2.7	4.8	6.4	6.2	6.1
1976	9.5	8.2	8.6	7.1	7.1	4.8	4.4	5.0	6.4	6.2	7.0	7.5
1977	10.3	9.8	10.0	8.0	5.6	4.9	4.7	5.0	7.0	7.2	7.8	8.5
1978	8.0	8.5	7.0	8.4	6.2	3.4	4.6	3.9	7.0	5.5	8.4	8.4
1979	7.9	10.3	10.3	8.0	6.2	3.8	5.2	6.2	7.6	6.6	7.4	6.1
1980	9.1	7.8	9.6	8.2	6.3	5.7	5.3	5.2	7.3	9.8	9.1	7.8
1981	7.8	10.7	8.5	9.2	7.1	5.5	3.9	5.1	5.7	8.3	8.3	8.9
1982	8.0	7.7	8.7	7.7	6.8	5.3	4.6	4.8	6.8	8.6	7.9	9.8
1983	10.5	8.6	10.0	9.4	8.5	5.6	4.7	4.8	7.3	8.3	7.9	8.9
1984	6.6	10.2	10.0	8.9	7.0	6.1	4.3	5.3	6.3	7.6	5.5	8.4
1985	8.2	8.5	8.0	7.5	6.4	5.8	4.0	5.8	7.3	6.2	5.4	8.5
1986	9.6	8.3	8.1	9.8	6.8	3.9	4.3	7.8	6.6	7.1	7.9	9.0
1987	11.3	10.2	8.2	8.4	6.1	5.5	6.3	5.7	8.0	7.6	9.3	9.6
1988	10.5	10.5	9.1	9.1	6.9	4.3	3.2	4.3	7.0	7.8	8.8	8.0
1989	9.3	9.8	8.7	9.0	4.9	5.6	3.3	5.3	7.6	8.6	6.4	5.3
1990	9.6	8.3	9.2	9.0	6.9	7.4	5.0	5.3	7.3	9.3	9.6	7.3
1991	8.2	9.2	10.2	8.1	6.6	5.0	2.8	5.6	6.2	7.6	6.7	7.7
1992	9.7	9.1	9.4	9.3	6.4	6.2	4.3	5.4	7.4	8.0	8.2	7.5
1993	9.1	9.1	9.9	10.2	7.9	5.2	4.7	5.7	7.3	8.8	7.9	10.9
1994	10.3	10.5	9.6	9.4	7.9	5.8	5.4	5.2	6.9	7.3	8.0	9.1
1995	8.9	9.5	9.8	8.1	6.8	5.4	6.1	6.0	6.9	8.2	9.1	8.6
1996	9.0	9.3	10.3	8.9	6.9	5.5	5.0	5.7	7.4	9.1	5.9	8.5
1997	7.9	10.4	7.1	8.3	7.3	5.0	6.4	7.2	8.2	9.5	10.1	11.7
1998	11.6	11.5	12.2	11.4	7.3	5.7	4.7	5.8	6.9	9.2	6.9	7.0
1999	8.8	10.2	9.1	9.3	7.3	6.6	4.9	4.6	7.7	6.8	7.7	9.4
2000	7.7	9.2	9.4	9.0	7.6	6.3	4.9	5.3	7.8	6.3	4.6	8.7
2001	10.2	10.4	10.6	8.4	7.5	5.3	5.5	5.0	7.0	9.1	9.5	8.9
2002	8.3	10.6	10.6	8.9	7.2	5.4	6.2	5.9	6.8	9.2	10.0	10.8
2003	10.1	9.6	9.1	8.9	7.5	5.8	4.6	5.4	6.7	8.1	9.1	9.3
2004	7.0	10.3	9.6	8.1	7.1	5.7	6.3	5.8	7.0	9.1	9.3	9.7
2005	8.5	10.5	10.7	9.3	5.2	5.2	3.8	5.1	7.1	9.1	6.2	8.9
2006	9.2	11.1	10.8	8.1	5.7	6.8	4.7	6.5	7.2	7.9	8.8	10.4
2007	11.0	8.6	10.5	9.0	7.7	4.8	5.3	5.8	5.8	8.0	9.9	7.6
2008	10.1	9.8	9.4	9.1	7.2	5.3	4.9	6.2	7.6	9.2	8.9	S/D
2009	10.3	10.1	10.5	10.0	7.6	5.9	6.5	6.6	7.4	9.3	8.9	10.4
2010	10.1	10.5	11.0	9.5	8.0	6.5	5.7	5.3	7.6	7.3	7.5	9.5
2011	9.1	8.5	8.5	9.4	6.6	6.1	5.9	6.0	7.0	7.8	9.2	9.8
2012	10.7	9.3	9.9	9.3	7.2	5.0	4.8	5.4	6.6	9.5	10.2	9.0
2013	10.0	9.8	10.9	9.1	8.7	6.4	5.3	6.1	6.1	9.8	7.5	9.2
2014	9.6	10.5	10.6	8.5	9.2	5.6	5.8	5.9	7.6	8.7	8.8	10.4
2015	10.7	9.5	11.0	9.9	9.3	7.4	5.8	5.9	7.6	9.5	9.1	10.4
2016	10.5	11.8	10.6	9.8	7.7	6.2	5.0	6.3	7.6	8.4	6.1	9.7
2017	10.2	9.6	10.5	9.8	8.8	6.5	5.5	6.5	8.3	8.7	8.4	9.9
2018	9.3	9.3	10.3	9.0	8.3	5.8	6.6	7.0	6.6	8.8	9.8	8.2
2019	9.9	11.5	11.4	9.7	8.2	7.3	6.1	5.6	7.4	9.3	9.8	10.6
2020	9.7	10.9	11.4	S/D	S/D	S/D	6.5	5.8	7.2	8.1	8.2	9.9
2021	10.2	8.4	9.4	9.2	7.9	7.1	4.5	6.6	8.0	10.0	8.2	9.4
2022	9.0	9.9	9.8	9.7	7.8	7.0	6.5	6.5	7.2	8.4	7.9	8.8
2023	9.3	10.6	9.6	9.8	9.3	5.3	6.2	6.4	8.2	10.0	9.7	11.9

Nota. Datos de temperatura mínima media mensual obtenidos de SENAMHI, estación Weberbauer periodo 1970 - 2023

Figura 75.

Datos de velocidad del viento promedio mensual de la estación MAP WEBERBAUER

VELOCIDAD DE VIENTO PROMEDIO (m/s)												
AÑO/MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1970	0.3	0.7	0.7	0.5	0.4	0.5	0.7	1.1	1.2	0.8	1.0	0.9
1971	0.9	1.0	0.2	0.6	0.6	0.5	0.9	0.6	0.7	1.2	1.3	1.2
1972	1.4	1.7	1.1	1.0	1.0	1.2	2.0	1.2	S/D	0.9	0.7	0.6
1973	0.2	0.8	0.4	0.5	0.4	0.6	0.8	0.8	0.7	0.8	0.7	0.8
1974	0.7	0.6	0.7	0.7	0.9	0.6	1.0	1.3	1.1	0.9	1.0	0.9
1975	1.0	0.7	0.5	0.5	0.5	0.8	0.7	S/D	0.6	0.9	1.0	1.1
1976	0.9	1.0	0.8	0.8	0.7	S/D	1.4	1.2	1.4	1.3	1.0	1.2
1977	0.8	0.7	0.9	0.7	0.7	0.8	1.3	1.1	1.4	0.9	1.0	0.9
1978	1.3	1.0	1.2	0.9	0.8	0.9	1.0	1.5	1.1	1.0	0.9	1.0
1979	0.9	1.0	0.6	0.8	0.9	1.1	1.5	1.5	0.9	1.1	1.3	1.5
1980	1.1	1.2	1.1	1.1	1.0	1.3	1.4	1.2	1.3	0.9	0.9	0.9
1981	0.9	0.8	0.9	1.0	0.8	0.9	1.3	1.1	1.1	0.8	1.0	0.9
1982	1.0	0.9	0.9	0.8	0.7	0.9	1.0	1.1	0.8	0.7	0.8	0.8
1983	0.8	0.7	0.7	0.5	0.6	0.9	0.9	1.0	1.0	0.8	1.1	1.0
1984	1.1	0.5	0.8	0.9	0.6	0.7	1.0	1.0	0.9	0.9	1.0	0.8
1985	1.0	1.1	1.1	0.8	0.7	1.2	1.1	0.9	0.9	1.2	1.2	1.2
1986	1.0	1.2	1.1	0.7	0.8	1.0	1.6	1.2	1.5	1.2	1.2	1.2
1987	1.1	1.0	1.1	0.9	1.0	1.3	1.2	1.4	1.1	1.0	1.1	1.2
1988	0.9	0.9	1.1	1.0	0.8	0.9	1.2	1.2	1.0	0.9	S/D	S/D
1989	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1990	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1991	1.2	1.0	0.8	0.8	0.8	1.1	1.2	1.7	1.4	1.2	1.3	1.2
1992	1.3	1.3	1.0	0.8	0.8	1.2	1.5	1.4	1.3	1.4	1.5	1.6
1993	1.2	1.0	0.8	0.7	0.4	1.3	1.4	2.1	1.6	1.2	1.2	1.2
1994	1.3	1.1	1.1	0.9	0.9	1.2	2.0	1.9	1.8	1.6	1.4	1.2
1995	1.5	S/D	1.2	1.1	1.2	1.1	1.3	1.4	1.7	1.5	1.3	1.4
1996	1.3	1.2	1.1	1.2	1.3	1.4	1.9	1.8	1.8	1.3	1.5	2.0
1997	1.5	1.5	1.5	1.3	1.4	1.4	2.8	2.5	1.7	1.6	1.4	1.2
1998	1.4	1.2	0.9	1.1	1.2	1.3	1.5	1.5	1.6	1.6	1.7	1.8
1999	S/D	1.0	1.4	1.3	1.4	1.1	1.9	2.0	1.5	1.8	1.8	1.7
2000	2.0	1.3	1.3	1.3	1.1	1.5	1.8	2.0	1.4	2.1	1.9	1.5
2001	1.2	1.7	1.0	1.2	1.2	1.7	1.5	2.4	1.5	1.8	1.4	1.7
2002	2.0	1.6	1.2	1.2	1.6	1.8	1.7	2.5	1.8	1.6	1.7	1.8
2003	1.6	1.4	1.2	1.4	1.5	1.4	2.0	2.0	1.9	1.7	1.5	1.7
2004	1.9	1.5	1.5	1.4	1.3	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
2005	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
2006	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	1.3	S/D	S/D	S/D
2007	1.2	1.6	1.0	1.1	1.1	1.7	1.6	1.6	1.9	1.4	1.3	1.7
2008	1.5	1.3	1.3	1.1	1.3	1.2	1.5	1.6	1.5	1.4	1.5	S/D
2009	1.3	1.4	1.3	1.4	1.3	1.4	1.7	1.8	1.8	1.5	1.5	1.4
2010	1.5	1.6	1.3	1.3	1.3	1.4	1.5	1.5	1.3	1.3	1.3	0.6
2011	0.8	0.7	0.7	0.6	0.9	1.1	1.2	0.8	1.1	1.3	1.1	0.9
2012	0.9	0.9	0.8	0.7	0.7	0.8	1.2	1.2	1.2	0.6	0.5	1.0
2013	0.8	0.8	0.7	0.9	0.7	0.8	1.3	0.8	1.2	1.0	1.0	0.9
2014	0.8	0.8	0.7	0.9	0.6	1.0	1.3	1.1	1.0	1.1	1.0	0.8
2015	0.8	1.1	0.7	0.7	0.8	1.5	1.1	1.4	1.4	1.1	1.0	0.9
2016	1.1	0.9	0.9	0.7	0.7	1.2	1.3	1.6	1.1	1.2	1.4	1.1
2017	1.1	1.3	0.6	0.8	0.8	0.9	1.5	1.3	1.2	1.3	1.1	0.9
2018	1.0	0.9	1.1	1.2	0.8	1.3	1.8	2.2	1.4	1.3	1.3	1.3
2019	1.3	1.2	0.9	0.8	0.8	1.9	1.6	2.2	1.9	1.3	1.3	1.2
2020	1.8	1.4	1.4	S/D	S/D	S/D	1.8	2.5	1.9	2.1	1.7	1.1
2021	1.2	2.1	1.1	1.2	1.1	0.7	1.7	1.8	1.6	1.2	1.7	1.2
2022	1.3	1.1	1.1	1.0	0.9	1.0	1.3	1.7	1.7	1.6	2.2	1.6
2023	1.4	1.2	1.2	0.9	1.2	1.4	2.0	1.9	2.0	1.4	1.4	1.1

Nota. Datos de velocidad del viento promedio mensual obtenidos de SENAMHI, estación Weberbauer periodo 1970 – 2023

Figura 76.

Datos de humedad relativa media mensual de la estación PORCÓN

HUMEDAD RELATIVA MEDIA MENSUAL (%)												
AÑO/MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1970	80	82	81	79	80	78	78	79	80	78	77	77
1971	79	78	76	78	75	77	S/D	S/D	75	75	76	73
1972	74	74	73	75	74	73	75	73	S/D	75	77	82
1973	85	83	88	89	86	82	76	81	86	85	79	82
1974	85	83	87	90	85	82	76	79	75	85	80	80
1975	86	74	S/D	89	89	82	77	85	80	82	76	76
1976	84	86	80	81	81	76	66	72	74	75	77	78
1977	81	82	82	84	83	84	80	80	77	75	75	79
1978	77	77	79	81	83	75	80	70	77	80	86	S/D
1979	86	89	86	82	82	S/D	78	75	79	75	75	78
1980	85	85	84	79	76	72	70	70	69	81	79	83
1981	89	87	86	84	81	80	76	76	75	82	84	82
1982	84	80	86	80	80	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1983	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1984	85	89	91	90	91	92	91	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1985	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1986	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1987	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1988	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1989	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1990	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1991	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1992	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1993	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1994	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1995	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1996	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1997	88	87	89	93	85	85	69	71	79	85	87	89
1998	87	88	90	91	82	79	77	80	81	80	83	81
1999	86	92	88	84	86	86	73	82	86	81	88	91
2000	86	90	89	88	87	83	74	73	84	75	66	85
2001	89	85	90	84	85	78	78	70	82	83	87	86
2002	84	89	88	88	81	75	75	65	77	85	87	89
2003	87	86	87	85	84	82	73	70	76	82	84	84
2004	81	89	84	83	83	79	78	69	79	87	86	87
2005	86	88	91	86	78	79	71	73	78	88	78	84
2006	83	89	90	85	81	80	71	73	81	79	83	86
2007	87	83	88	89	88	79	77	77	75	83	88	83
2008	88	88	87	87	85	81	79	80	80	85	85	81
2009	88	89	88	85	84	81	76	75	76	84	82	86
2010	83	83	85	86	84	81	80	74	80	77	80	85
2011	86	85	85	88	80	78	74	73	77	95	85	89
2012	89	89	84	86	81	75	71	74	73	85	88	82
2013	84	88	89	86	86	80	71	78	75	85	77	83
2014	85	85	88	85	87	76	70	73	76	78	80	84
2015	84	85	86	86	85	82	81	66	78	82	84	81
2016	83	85	87	88	85	81	79	76	81	85	76	88
2017	87	87	88	89	85	81	71	76	77	78	73	83
2018	81	85	86	85	86	77	74	69	77	80	82	79
2019	81	87	87	85	84	76	77	67	73	86	83	87
2020	81	83	84	84	81	79	81	73	76	75	76	86
2021	88	81	88	83	81	85	75	77	78	85	86	86
2022	85	88	89	86	85	83	78	80	82	80	77	82
2023	86	87	86	88	84	78	73	74	75	84	83	87

Nota. Datos de humedad relativa media mensual obtenidos de SENAMHI, estación Porcón periodo 1970 – 2023

Figura 77.*Datos de horas de sol de la estación Porcón*

HORAS DE SOL MENSUAL												
AÑO/MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
2005	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	258.1	180.0	123.3	195.1	124.0
2006	142.8	83.5	71.2	152.2	213.3	195.9	248.7	200.7	S/D	165.0	122.5	87.7
2007	102.5	129.2	90.8	126.0	157.1	241.4	211.7	202.4	171.2	131.7	94.5	155.3
2008	97.9	86.8	88.3	100.8	162.9	189.4	209.2	203.7	146.3	111.4	143.8	169.7
2009	81.4	75.9	71.2	90.9	154.2	192.6	183.4	192.0	204.6	133.4	151.9	91.8
2010	141.7	128.4	105.0	141.2	168.2	181.3	197.0	202.7	151.9	179.1	148.9	94.2
2011	118.1	84.9	96.7	110.7	218.3	188.8	208.3	223.4	157.8	159.5	116.7	100.7
2012	75.1	110.2	160.8	121.6	262.5	237.8	261.6	231.6	210.1	116.3	101.5	134.1
2013	152.4	107.2	63.0	131.6	116.6	177.4	242.5	199.7	229.8	123.6	195.7	135.8
2014	128.3	86.6	82.8	110.6	120.9	212.3	249.4	218.5	157.7	170.9	129.8	103.6
2015	113.2	123.1	91.0	132.9	121.8	213.2	229.5	244.3	209.2	157.6	153.7	168.5
2016	135.6	108.5	140.7	140.5	192.2	209.9	251.1	234.5	175.2	173.2	227.0	113.5
2017	112.5	115.3	78.8	132.0	132.8	181.5	259.1	201.5	154.6	184.3	162.9	112.8
2018	125.1	112.6	94.9	145.2	149.5	210.8	223.9	234.8	191.8	108.9	120.0	168.1
2019	140.5	79.2	69.1	116.7	167.2	199.3	210.7	272.9	183.0	124.6	110.1	89.0
2020	S/D	122.3	104.4	147.2	148.8	186.0	184.4	241.0	162.3	173.3	159.7	82.5
2021	88.1	148.6	86.3	139.3	165.3	131.7	235.9	192.2	182.2	116.2	83.8	124.6
2022	137.9	71.6	72.2	118.9	150.4	145.8	202.5	203.5	152.4	177.2	198.2	136.7
2023	116.7	94.3	110.5	109.6	160.8	238.3	263.7	244.3	209.1	139.1	127.0	78.5

Nota. Datos de horas de sol obtenidos de SENAMHI, estación Porcón periodo 2005 – 2023

Figura 78.

Datos de temperatura máxima media mensual de la estación Porcón

TEMPERATURA MÁXIMA MEDIA MENSUAL (°C)												
AÑO/MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1970	16.5	17.3	16.4	17.4	16.9	17.2	16.9	17.5	16.7	16.8	16.9	17.0
1971	16.4	15.3	15.2	15.7	16.4	16.0	15.5	15.3	16.2	16.9	17.0	16.6
1972	16.2	16.6	16.7	16.5	16.8	16.6	17.3	17.3	S/D	16.7	16.5	16.5
1973	16.3	16.1	16.1	15.7	15.7	15.9	15.6	16.1	15.3	16.1	16.6	16.4
1974	16.5	16.0	16.1	15.9	15.8	15.9	15.7	15.8	15.8	16.1	16.4	16.6
1975	16.3	16.6	15.8	15.2	15.3	15.4	15.7	15.2	15.4	15.6	15.4	15.4
1976	15.0	14.6	15.8	15.4	15.5	15.4	15.7	16.0	16.5	16.7	16.7	16.1
1977	15.8	15.6	16.3	16.6	16.0	15.5	16.5	16.8	16.5	16.2	16.6	16.6
1978	16.9	17.5	16.7	16.1	16.5	16.6	15.9	16.3	16.2	16.4	16.5	16.0
1979	16.8	16.3	16.4	16.8	17.2	16.9	16.8	17.4	16.7	17.3	16.8	16.6
1980	17.1	17.0	17.3	17.7	17.3	17.7	17.8	18.1	18.0	16.8	16.1	16.0
1981	16.8	16.3	16.1	17.0	17.0	17.0	16.7	17.1	17.3	16.2	15.9	16.9
1982	16.0	16.7	17.0	16.9	16.3	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1983	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1984	17.0	15.9	16.2	15.3	14.7	14.4	15.1	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1985	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1986	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1987	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1988	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1989	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1990	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1991	S/D	S/D	S/D	S/D	17.8	18.0	16.7	17.4	17.4	17.3	17.3	17.4
1992	17.9	17.9	17.9	17.7	17.8	17.4	16.7	17.7	17.3	17.7	17.6	17.5
1993	18.0	17.5	16.9	17.2	18.2	18.3	18.8	18.9	17.7	17.6	18.6	17.9
1994	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1995	S/D	S/D	S/D	17.8	17.7	17.9	17.6	18.2	17.9	18.0	18.0	17.0
1996	16.3	16.2	16.5	16.2	16.4	16.7	17.6	17.8	17.8	17.4	17.9	17.6
1997	17.5	17.1	18.3	17.0	17.5	17.7	18.2	18.1	18.1	17.8	17.6	17.8
1998	18.1	17.7	17.6	18.0	18.3	18.6	18.4	18.1	18.3	18.0	18.4	18.6
1999	17.0	15.7	15.9	16.3	16.2	16.2	16.7	17.9	16.4	16.6	16.5	15.8
2000	15.8	14.6	15.0	15.6	16.1	15.9	16.4	16.7	16.2	17.3	16.8	15.6
2001	14.8	15.7	15.2	16.5	16.1	16.3	16.2	17.6	16.4	16.7	16.1	16.9
2002	16.7	15.9	16.3	16.3	16.6	16.9	16.5	17.3	17.6	16.1	16.1	16.4
2003	16.8	17.0	16.3	16.8	16.3	16.6	16.6	17.6	17.2	17.5	17.0	16.4
2004	17.1	15.9	17.0	16.9	17.2	16.5	15.8	16.8	16.6	16.3	16.2	16.3
2005	16.5	16.7	15.8	17.2	17.1	17.2	17.5	17.8	17.2	15.8	17.0	15.9
2006	16.4	16.1	15.5	16.5	17.1	16.2	17.0	17.1	17.2	17.0	16.7	16.4
2007	17.0	16.6	16.3	16.3	16.9	17.4	16.8	16.9	16.9	16.4	16.0	16.0
2008	15.4	15.2	15.3	15.7	16.4	16.5	16.5	17.0	17.1	15.9	16.6	16.8
2009	15.7	16.0	16.1	16.5	16.6	16.5	17.3	17.5	18.7	17.2	17.6	17.1
2010	17.9	18.5	18.4	18.3	18.5	S/D	17.7	17.9	17.5	17.2	16.5	15.8
2011	16.0	16.3	15.8	16.3	17.4	17.4	16.7	17.6	16.8	16.6	16.8	15.8
2012	15.5	15.8	17.4	16.7	16.9	17.7	17.7	17.5	17.8	16.7	16.4	17.0
2013	18.0	17.1	16.6	17.6	17.0	17.1	16.9	17.0	18.2	16.9	17.4	16.8
2014	17.0	16.7	16.3	17.4	16.8	17.9	17.7	17.0	17.2	17.2	17.1	16.9
2015	16.7	17.5	16.8	17.5	18.4	18.5	19.6	20.4	20.6	20.3	20.1	20.9
2016	20.4	20.2	20.4	19.6	20.6	19.7	19.8	20.2	19.5	18.8	19.4	18.4
2017	17.8	18.1	16.9	18.0	17.1	17.4	17.3	17.5	17.6	17.8	17.8	16.7
2018	16.6	16.9	16.6	16.8	16.8	17.0	17.0	17.2	17.9	17.0	16.9	17.4
2019	18.1	17.4	17.0	17.5	17.6	17.6	17.1	17.8	17.8	16.7	17.1	16.9
2020	17.7	17.9	17.3	18.0	18.1	18.0	17.3	18.3	17.7	17.7	17.8	15.9
2021	15.6	17.6	16.0	17.5	17.4	16.4	17.4	17.4	17.6	17.4	16.0	17.0
2022	16.5	15.7	15.9	16.7	16.8	16.3	17.4	17.2	16.9	17.3	18.1	16.6
2023	16.0	16.9	16.4	16.7	17.8	18.1	18.4	18.7	19.1	17.7	17.7	17.3

Nota. Datos de temperatura máxima media mensual obtenidos de SENAMHI, estación Weberbauer periodo 1970 - 2023

Figura 79.

Datos de temperatura mínima media mensual de la estación Porcón

TEMPERATURA MÍNIMA MEDIA MENSUAL (°C)												
AÑO/MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1970	5.1	5.2	4.8	4.7	4.6	4.1	3.7	2.7	3.4	4.5	4.4	4.3
1971	3.9	4.3	5.0	4.4	4.1	3.6	2.9	3.1	3.2	4.5	3.6	4.0
1972	3.0	3.7	4.9	4.8	4.6	4.0	2.8	3.1	S/D	5.0	4.6	4.9
1973	7.8	6.1	7.2	7.1	4.8	3.7	4.2	4.9	4.6	4.8	5.0	5.1
1974	7.7	6.6	7.3	7.2	5.1	4.1	4.2	3.5	4.5	7.9	5.3	5.1
1975	7.5	4.0	S/D	6.8	6.1	4.7	4.0	2.9	3.1	5.0	4.5	2.7
1976	5.2	4.9	5.0	4.7	3.2	3.1	2.4	2.9	3.2	3.1	3.4	3.8
1977	5.9	6.1	6.3	6.2	4.2	2.9	4.0	3.2	4.0	4.3	4.3	4.9
1978	3.7	5.4	4.9	5.6	3.7	2.1	2.9	2.2	3.6	S/D	S/D	S/D
1979	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1980	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1981	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1982	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1983	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1984	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1985	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	3.0	-0.2	2.5	1.5	1.2	1.4	1.4
1986	2.6	2.3	2.5	1.2	1.7	1.4	1.3	2.0	1.1	0.1	1.1	0.7
1987	1.1	0.8	0.8	0.6	1.8	-0.1	1.1	1.9	1.9	1.7	1.7	2.3
1988	1.2	S/D	S/D	S/D	0.9	0.3	-1.3	1.8	1.1	2.5	2.5	2.3
1989	2.5	2.3	4.2	4.3	4.3	4.3	-0.1	2.8	2.0	2.7	0.9	1.7
1990	1.3	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1991	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1992	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1993	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1994	2.8	2.7	2.8	2.8	2.3	1.3	1.6	1.9	2.0	2.5	2.2	1.9
1995	1.3	2.0	2.5	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1996	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1997	3.6	5.2	2.3	4.4	4.1	1.5	3.3	3.9	3.4	4.4	4.5	6.2
1998	5.9	6.0	5.9	6.2	4.5	3.5	1.1	1.6	3.1	4.0	2.5	0.8
1999	3.8	5.6	4.4	4.8	4.4	3.1	1.6	0.9	3.5	2.9	3.6	5.3
2000	3.3	5.0	5.7	5.5	4.2	3.0	1.7	2.3	4.1	1.9	-0.2	4.3
2001	6.1	5.8	6.4	4.6	4.2	2.6	2.1	2.2	3.3	4.2	5.3	4.7
2002	4.3	6.4	6.2	5.1	4.5	2.8	2.5	2.2	1.9	4.5	4.7	5.6
2003	4.9	4.7	4.2	4.6	2.9	1.2	2.3	2.4	2.9	3.8	4.1	3.8
2004	2.0	5.7	5.6	4.4	3.4	3.1	2.7	3.0	3.0	4.3	4.8	5.8
2005	4.1	6.3	6.7	5.4	2.0	2.2	1.4	1.8	3.2	4.5	1.2	4.2
2006	3.9	6.8	6.6	4.2	2.2	3.1	1.9	2.8	3.0	3.0	4.3	5.7
2007	6.6	4.5	6.4	5.1	3.9	2.0	2.5	1.5	1.9	3.7	5.5	3.2
2008	6.2	5.6	5.2	5.2	3.6	1.8	0.9	2.0	3.3	5.0	4.6	2.7
2009	4.0	4.1	4.4	4.8	2.8	1.5	2.8	2.3	2.4	4.9	4.2	5.8
2010	5.7	7.0	7.1	5.6	4.7	3.0	1.8	0.8	2.7	1.7	1.9	4.4
2011	4.1	3.7	4.1	5.3	2.6	2.8	2.0	1.4	2.9	2.2	4.5	5.1
2012	6.0	4.2	5.2	5.1	4.0	2.3	1.7	2.0	2.8	4.9	5.6	4.2
2013	5.7	5.2	6.7	4.9	4.6	3.0	2.3	2.0	1.4	4.8	1.7	4.2
2014	4.0	5.4	5.7	3.5	4.6	2.1	2.0	1.7	3.1	4.5	3.6	5.4
2015	5.9	4.9	6.7	6.0	5.8	4.9	2.9	2.3	3.6	4.8	5.4	6.3
2016	6.2	7.7	7.2	6.3	4.3	2.6	1.1	2.7	3.9	3.6	1.1	5.1
2017	6.1	5.1	6.8	6.0	5.0	2.8	1.7	2.4	3.8	4.4	3.3	5.4
2018	4.9	5.0	6.4	5.3	4.8	2.4	3.1	3.1	2.6	4.3	5.2	4.3
2019	5.9	7.9	7.4	6.1	4.7	4.1	2.7	2.8	3.8	5.5	5.6	6.8
2020	5.3	6.9	6.8	6.1	5.3	3.7	3.2	2.3	3.5	4.3	4.0	6.0
2021	6.5	4.2	5.7	6.0	4.7	3.7	1.9	3.1	4.3	5.8	5.7	5.4
2022	4.9	6.0	5.9	6.3	4.4	3.0	2.6	2.5	3.2	3.5	2.7	3.6
2023	5.3	6.8	5.3	5.9	5.8	2.8	2.6	2.8	4.2	6.1	5.1	8.2

Nota. Datos de temperatura mínima media mensual obtenidos de SENAMHI, estación Weberbauer periodo 1970 - 2023

Figura 80.

Datos de velocidad del viento promedio mensual de la estación Porcón

VELOCIDAD DE VIENTO PROMEDIO (m/s)												
AÑO/MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1970	5.2	5.5	5.3	6.1	6.2	7.0	8.1	7.0	5.8	5.7	6.1	5.6
1971	4.9	4.6	4.8	5.1	4.8	5.1	6.1	3.3	6.0	5.6	1.4	5.2
1972	5.0	5.3	4.6	4.3	4.6	5.4	5.3	4.6	S/D	3.3	2.4	3.0
1973	3.2	2.3	2.0	2.1	2.2	2.0	2.9	3.5	2.9	2.4	2.0	2.4
1974	2.2	2.0	1.8	2.0	2.6	2.3	2.3	3.0	3.0	3.1	2.9	2.5
1975	2.9	3.7	2.4	2.6	1.3	2.8	3.4	2.5	1.5	1.2	1.6	2.0
1976	2.4	1.9	0.9	1.9	1.5	2.2	8.0	3.0	3.2	1.8	3.2	2.6
1977	1.8	1.5	1.6	0.5	0.4	1.5	1.9	2.5	1.5	1.4	0.6	0.4
1978	1.4	1.0	1.6	1.2	2.9	3.0	3.6	5.0	4.0	2.9	2.1	1.6
1979	2.4	2.2	2.1	3.4	3.2	3.6	4.1	3.0	2.1	2.8	2.7	3.0
1980	2.4	3.0	3.8	3.8	2.6	4.7	4.7	3.7	3.8	2.5	2.5	2.2
1981	2.7	2.1	2.5	2.7	3.0	4.0	5.5	3.3	3.8	4.2	4.9	3.9
1982	3.0	2.5	2.6	2.4	2.5	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1983	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1984	2.7	2.1	3.3	3.8	4.1	3.0	6.2	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1985	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	0.0	0.0	2.9
1986	1.4	3.3	2.7	0.3	0.5	1.6	3.7	2.2	2.7	0.0	1.3	0.5
1987	2.6	2.6	1.2	2.3	2.0	4.1	0.6	3.2	0.2	0.2	0.0	0.0
1988	0.7	0.6	0.5	0.6	0.2	0.6	2.7	1.5	1.2	0.3	0.4	0.6
1989	0.9	1.2	0.7	0.1	0.6	0.7	1.0	4.6	0.6	0.8	0.5	0.5
1990	0.5	0.5	0.7	0.8	0.7	1.0	1.3	0.8	1.1	1.0	1.0	0.7
1991	0.5	0.7	0.8	0.6	0.8	1.0	2.7	3.2	1.6	0.5	0.5	0.6
1992	0.5	0.8	0.6	0.5	0.5	1.3	1.9	1.5	1.2	2.0	2.0	1.5
1993	1.0	0.6	0.5	0.0	1.8	4.4	4.7	4.1	3.3	3.1	2.4	0.3
1994	0.0	0.0	0.0	1.4	1.3	4.7	4.7	2.8	2.8	1.2	0.7	0.8
1995	0.6	0.3	0.2	0.4	0.4	1.1	1.0	1.3	1.0	0.3	0.2	0.1
1996	0.3	1.2	0.8	1.0	1.3	2.0	3.5	3.2	0.9	0.2	0.9	0.6
1997	0.5	0.3	0.9	0.5	1.1	0.8	2.1	2.0	0.8	0.6	0.2	0.2
1998	0.4	0.2	0.2	0.1	1.0	1.2	1.1	1.0	0.4	0.3	0.2	0.2
1999	1.7	1.2	1.8	2.3	1.7	1.7	2.7	2.6	1.6	1.8	1.6	1.5
2000	1.7	1.4	1.2	1.7	1.1	1.4	2.4	3.2	2.0	2.2	2.0	1.8
2001	1.6	2.1	1.0	2.3	1.7	3.2	2.5	4.5	2.3	2.2	1.6	1.6
2002	2.6	1.5	1.1	1.7	3.1	4.1	3.4	5.0	2.4	1.5	1.2	1.6
2003	2.5	1.4	1.6	1.7	2.5	2.2	3.9	4.3	2.3	1.4	1.7	2.0
2004	2.3	1.5	1.3	1.1	1.4	2.7	1.4	3.4	1.3	1.0	0.6	0.8
2005	1.4	1.1	0.8	1.6	1.7	1.5	2.9	2.2	2.0	0.6	1.5	1.2
2006	1.8	0.9	1.0	1.6	1.7	2.8	3.9	2.7	1.9	1.4	1.2	1.2
2007	1.5	1.7	1.4	1.6	1.3	2.5	2.5	1.8	2.7	1.4	1.1	1.5
2008	1.7	1.1	1.3	1.7	1.3	1.7	1.7	1.6	1.7	1.2	1.2	1.4
2009	1.2	1.2	1.3	1.4	0.9	1.1	1.9	1.6	1.6	1.2	0.8	1.0
2010	1.7	1.6	1.1	1.2	1.4	1.6	1.3	1.3	1.4	1.4	1.5	1.0
2011	1.3	1.3	1.1	1.1	1.6	1.4	1.9	S/D	1.7	1.2	1.0	0.9
2012	0.9	1.4	1.7	1.1	1.5	2.2	1.7	2.0	2.3	1.0	0.6	1.4
2013	1.2	1.1	0.8	1.3	1.2	2.3	2.7	1.9	2.1	0.9	1.7	1.5
2014	1.4	1.0	1.0	1.7	1.0	2.3	2.9	2.1	1.9	2.0	1.6	1.4
2015	1.7	1.5	1.4	1.7	1.3	4.4	2.3	2.5	2.2	1.8	1.4	2.1
2016	1.2	1.4	1.5	1.3	1.9	2.9	2.2	2.9	2.0	1.8	1.8	1.2
2017	1.8	1.3	1.3	1.3	1.7	2.1	3.2	1.7	2.0	0.8	2.1	1.4
2018	1.8	1.5	1.5	1.8	1.6	2.1	2.5	3.4	1.9	1.6	1.4	2.0
2019	2.3	1.7	1.0	1.5	1.6	2.7	2.2	4.0	2.4	1.3	1.5	1.5
2020	2.4	1.6	1.7	1.6	1.8	1.8	1.3	2.2	1.8	1.9	1.9	1.1
2021	1.0	1.9	1.1	1.6	1.5	1.4	2.0	1.9	1.7	0.9	0.7	0.9
2022	1.3	0.8	0.8	0.8	1.1	1.0	1.5	1.1	1.1	1.1	1.3	0.9
2023	1.1	1.2	0.9	1.1	1.1	1.9	2.3	1.8	1.6	1.0	1.1	0.8

Nota. Datos de velocidad del viento promedio mensual obtenidos de SENAMHI, estación Porcón periodo 1970 – 2023

Figura 81.

Datos de precipitación en la estación Chamis y Alto Chetilla, recopilado de la tesis de Terán G., (2014)

ESTACIÓN	UBICACIÓN			AÑO HID.	PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL (mm)												
	COORD X	COORD Y	Altitud m.s.n.m		SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	TOTAL
CHAMIS	769358	9210728	3224	2008-2009	58.6	158.0	86.2	34.4	297.0	136.4	164.2	122.0	57.2	17.6	9.8	4.8	1146.2
				2009-2010	8.8	182.2	118.0	85.6	68.2	100.8	170.2	99.2	89.8	29.0	6.0	2.4	960.2
				2010-2011	27.0	56.0	76.6	107.6	119.0	79.2	155.4	177.4	21.8	2.0	8.2	1.0	831.2
				2011-2012	45.0	62.8	66.6	166.6	231.4	166.4	148.2	76.6	49.0	5.4	0.0	14.9	1032.9
				2012-2013	46.1	116.4	135.2	88.0	162.4	123.8	209.4	78.2	7.8	53.6	6.0	21.2	1048.1
ALTO CHETILLA	760478	9207521	3422	2008-2009	55.0	122.2	81.4	18.6	224.8	254.8	242.8	100.2	54.2	21.0	5.4	26.4	1206.8
				2009-2010	9.2	134.6	125.6	182.4	101.4	180.6	270.6	101.4	55.8	7.0	3.2	3.6	1175.4
				2010-2011	4.6	21.6	59.2	95.0	113.8	116.4	153.8	21.0	19.6	7.0	7.4	1.0	620.4
				2011-2012	19.2	45.8	45.6	166.8	275.0	284.4	104.6	47.8	36.6	3.0	0.6	10.0	1039.4
				2012-2013	29.1	82.0	109.2	105.6	196.0	143.5	238.4	47.8	7.2	23.7	4.2	23.2	1009.8

Nota. Datos de precipitación mensual desde los años 2008 hasta 2013 de las estaciones Chamis y Alto Chetilla

Anexo III: Resultados CROPWAT

Tabla 50

Cálculo de la evapotranspiración de la estación Augusto Weberbauer con CROPWAT 8.0

Month	Min Temp	Max Temp	Humidity	Wind	Sun	Rad	ETo
	°C	°C	%	km/day	hours	MJ/m ² /day	mm/day
February	9.5	21.2	73	96	4.8	17.3	3.34
March	9.6	21.1	74	84	4.3	16.2	3.13
April	8.9	21.3	73	81	5.3	16.7	3.12
May	7.1	21.7	70	79	6.3	16.7	3.03
June	5.7	21.6	65	97	6.9	16.7	3.02
July	5.0	21.6	61	123	7.4	17.7	3.28
August	5.6	22.0	61	131	7.3	19.0	3.60
September	7.0	22.1	63	117	5.8	18.1	3.56
October	8.2	21.9	66	107	5.4	18.1	3.56
November	8.1	22.1	66	108	6.1	19.2	3.72
December	8.8	21.7	69	103	5.5	18.2	3.53
Average	7.7	21.6	68	102	5.9	17.6	3.36

Nota. Resultados de la evapotranspiración en base a los datos de la estación Weberbauer introducidos en el programa CRPTWAT 8.0

Tabla 51

Cálculo de la evapotranspiración de la estación Granja Porcón con CROPWAT 8.0

Monthly ETo Penman-Monteith - untitled

Country Station

Altitude m. Latitude °S Longitude °W

Month	Min Temp	Max Temp	Humidity	Wind	Sun	Rad	ETo
	°C	°C	%	km/day	hours	MJ/m ² /day	mm/day
January	4.6	16.7	84	155	3.8	15.6	2.72
February	5.1	16.6	85	144	3.7	15.6	2.70
March	5.4	16.5	86	133	3.0	14.2	2.49
April	5.1	16.8	85	147	4.2	15.1	2.57
May	4.0	17.0	83	154	5.3	15.4	2.56
June	2.8	17.0	80	214	6.5	16.2	2.67
July	2.2	17.0	76	258	7.3	17.6	2.94
August	2.4	17.4	74	242	7.1	18.7	3.20
September	3.0	17.3	78	182	6.0	18.3	3.11
October	3.9	17.0	82	139	4.7	17.0	2.91
November	3.6	17.1	81	130	4.8	17.1	2.95
December	4.3	16.8	83	131	3.8	15.5	2.71
Average	3.9	16.9	81	169	5.0	16.4	2.79

Nota. Resultados de la evapotranspiración en base a los datos de la estación Granja Porcón introducidos en el programa CROPWAT 8.0

Tabla 52

Cálculo de la evapotranspiración de la estación San Pablo con CROPWAT 8.0

Monthly ETo Penman-Monteith - D:\Datos Cropwat\Granja Porcón.PEM

Country Station

Altitude m. Latitude °S Longitude °W

Month	Min Temp	Max Temp	Humidity	Wind	Sun	Rad	ETo
	°C	°C	%	km/day	hours	MJ/m ² /day	mm/day
January	4.6	16.7	84	155	3.8	15.6	2.62
February	5.1	16.6	85	144	3.7	15.6	2.60
March	5.4	16.5	86	133	3.0	14.2	2.40
April	5.1	16.8	85	147	4.2	15.1	2.48
May	4.0	17.0	83	154	5.3	15.4	2.47
June	2.8	17.0	80	214	6.5	16.2	2.59
July	2.2	17.0	76	258	7.3	17.6	2.86
August	2.4	17.4	74	242	7.1	18.7	3.12
September	3.0	17.3	78	182	6.0	18.3	3.01
October	3.9	17.0	82	139	4.7	17.0	2.80
November	3.6	17.1	81	130	4.8	17.1	2.85
December	4.3	16.8	83	131	3.8	15.5	2.62
Average	3.9	16.9	81	169	5.0	16.4	2.70

Nota. Resultados de la evapotranspiración en base a los datos de la estación San Pablo introducidos en el programa CROPTWAT 8.0

Tabla 53

Cálculo de la evapotranspiración de la estación Encañada con CROPWAT 8.0

Monthly ETo Penman-Monteith - D:\Datos Cropwat\Encañada.PEM

Country: Encañada Station: Encañada

Altitude: 2980 m. Latitude: 7.13 °S Longitude: 78.33 °W

Month	Min Temp	Max Temp	Humidity	Wind	Sun	Rad	ETo
	°C	°C	%	km/day	hours	MJ/m ² /day	mm/day
January	9.3	21.4	71	100	5.2	17.8	3.48
February	9.5	21.2	73	96	4.8	17.3	3.38
March	9.6	21.1	74	84	4.3	16.2	3.17
April	8.9	21.3	73	81	5.3	16.7	3.16
May	7.1	21.7	70	79	6.3	16.7	3.06
June	5.7	21.6	65	97	6.9	16.7	3.05
July	5.0	21.6	61	123	7.4	17.7	3.31
August	5.6	22.0	61	131	7.3	19.0	3.63
September	7.0	22.1	63	117	5.8	18.1	3.59
October	8.2	21.9	66	107	5.4	18.1	3.59
November	8.1	22.1	66	108	6.1	19.2	3.76
December	8.8	21.7	69	103	5.5	18.2	3.56
Average	7.7	21.6	68	102	5.9	17.6	3.40

Nota. Resultados de la evapotranspiración en base a los datos de la estación Encañada introducidos en el programa CROPTWAT 8.0

Tabla 54

Cálculo de la evapotranspiración de la estación Jesús con CROPWAT 8.0

Month	Min Temp	Max Temp	Humidity	Wind	Sun	Rad	ETo
	°C	°C	%	km/day	hours	MJ/m ² /day	mm/day
January	9.3	21.4	71	100	5.2	17.8	3.43
February	9.5	21.2	73	96	4.8	17.3	3.34
March	9.6	21.1	74	84	4.3	16.2	3.12
April	8.9	21.3	73	81	5.3	16.7	3.11
May	7.1	21.7	70	79	6.3	16.7	3.02
June	5.7	21.6	65	97	6.9	16.7	3.01
July	5.0	21.6	61	123	7.4	17.7	3.28
August	5.6	22.0	61	131	7.3	18.9	3.58
September	7.0	22.1	63	117	5.8	18.0	3.54
October	8.2	21.9	66	107	5.4	18.1	3.54
November	8.1	22.1	66	108	6.1	19.2	3.71
December	8.8	21.7	69	103	5.5	18.1	3.51
Average	7.7	21.6	68	102	5.9	17.6	3.35

Nota. Resultados de la evapotranspiración en base a los datos de la estación Jesús introducidos en el programa CROPTWAT 8.0

Anexo IV: Cronograma de desarrollo de la investigación

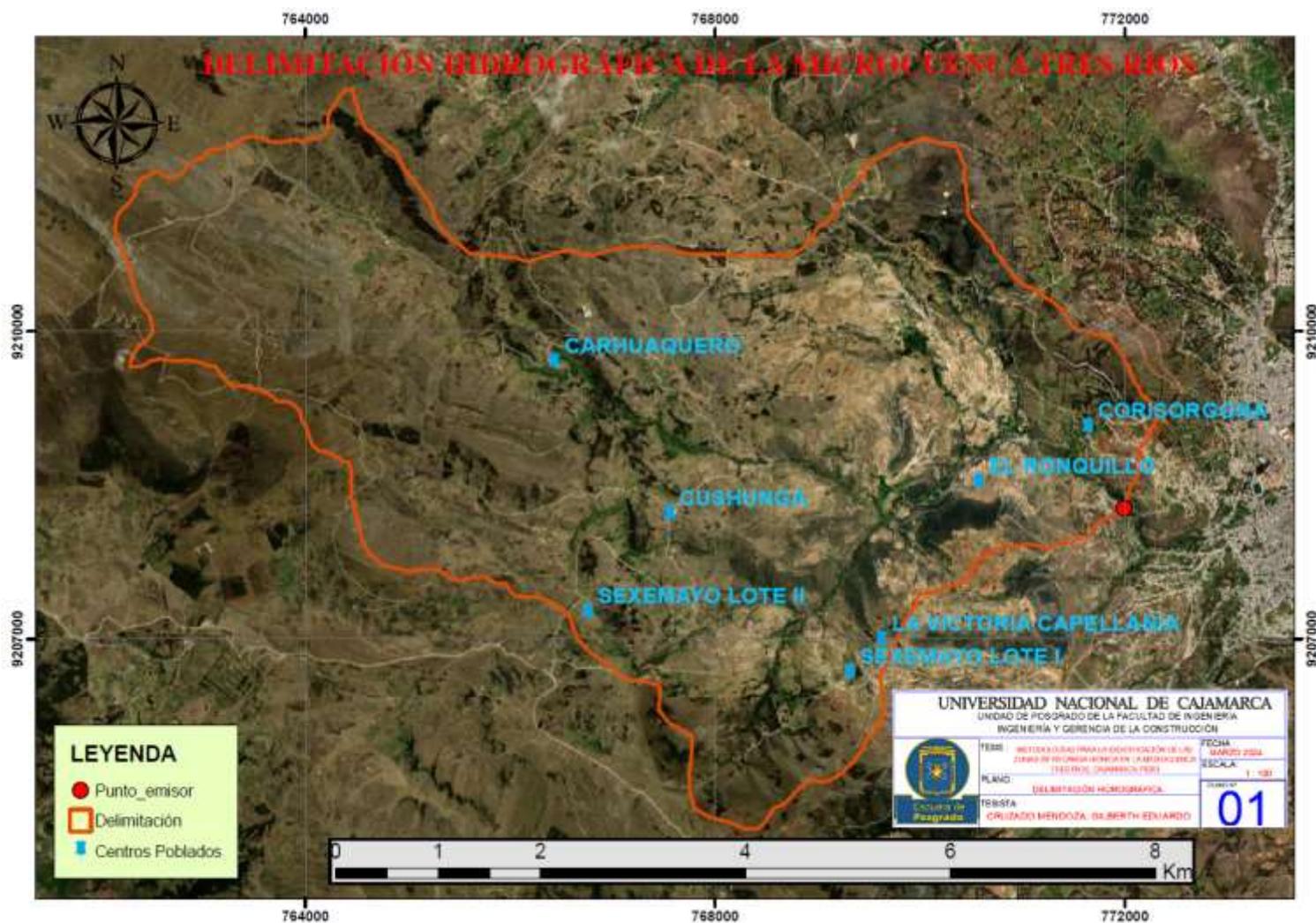
Tabla 55*Cronograma del desarrollo de la investigación*

Actividades	Meses											
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Formulación del Proyecto	X	X										
Desarrollo del Marco Teórico (Antecedentes, contextualización, autores, bases teóricas, etc.)		X	X	X	X							
Recopilación de datos y experimentación (Ensayos, muestreos, solicitudes, etc.)				X	X	X	X	X				
Desarrollo de la investigación (Marco metodológico, calculo, elaboración de mapas, etc.)				X	X	X	X	X	X			
Resultados de la investigación y presentación									X	X	X	X

Anexo V: Planos

Figura 82

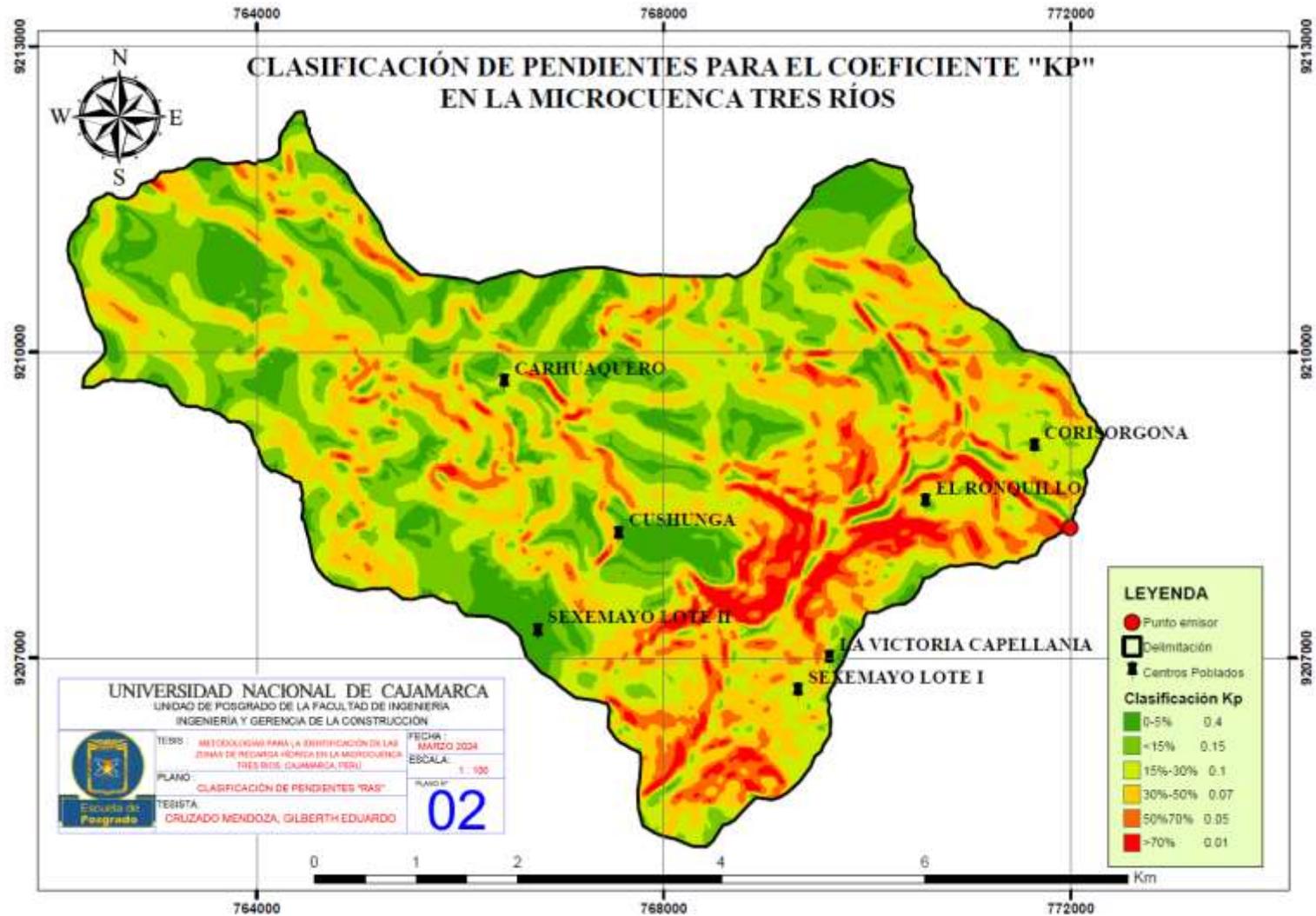
Delimitación hidrográfica de la microcuenca Tres Ríos



Nota. Mapa de la delimitación hidrográfica de la microcuenca Tres Ríos.

Figura 83

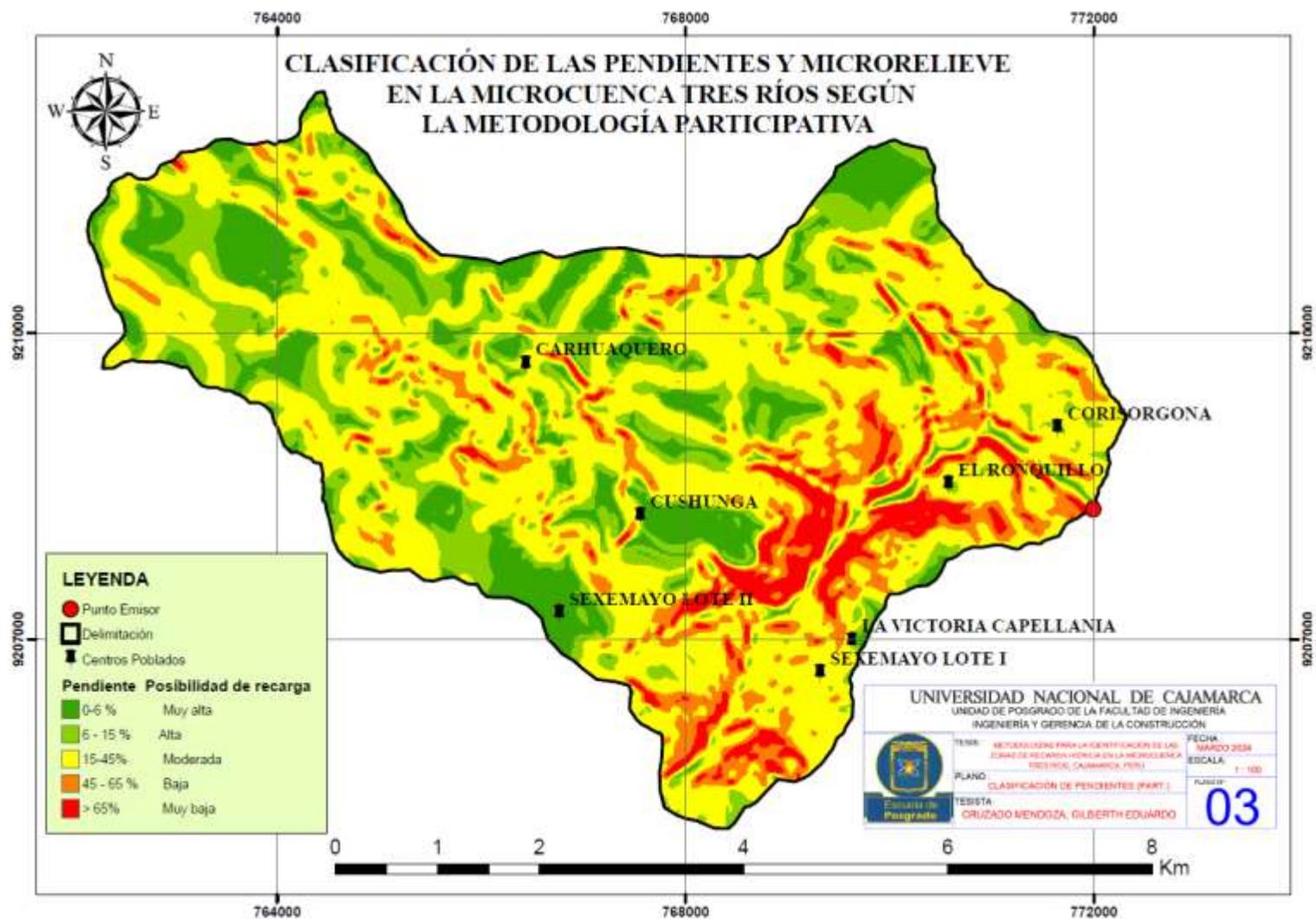
Mapa de pendientes de la cuenca (Método RAS) de la microcuenca Tres Ríos



Nota. Mapa de la clasificación de la pendiente “Kp” según la metodología R.A.S. de la microcuenca de la microcuenca Tres Ríos.

Figura 84

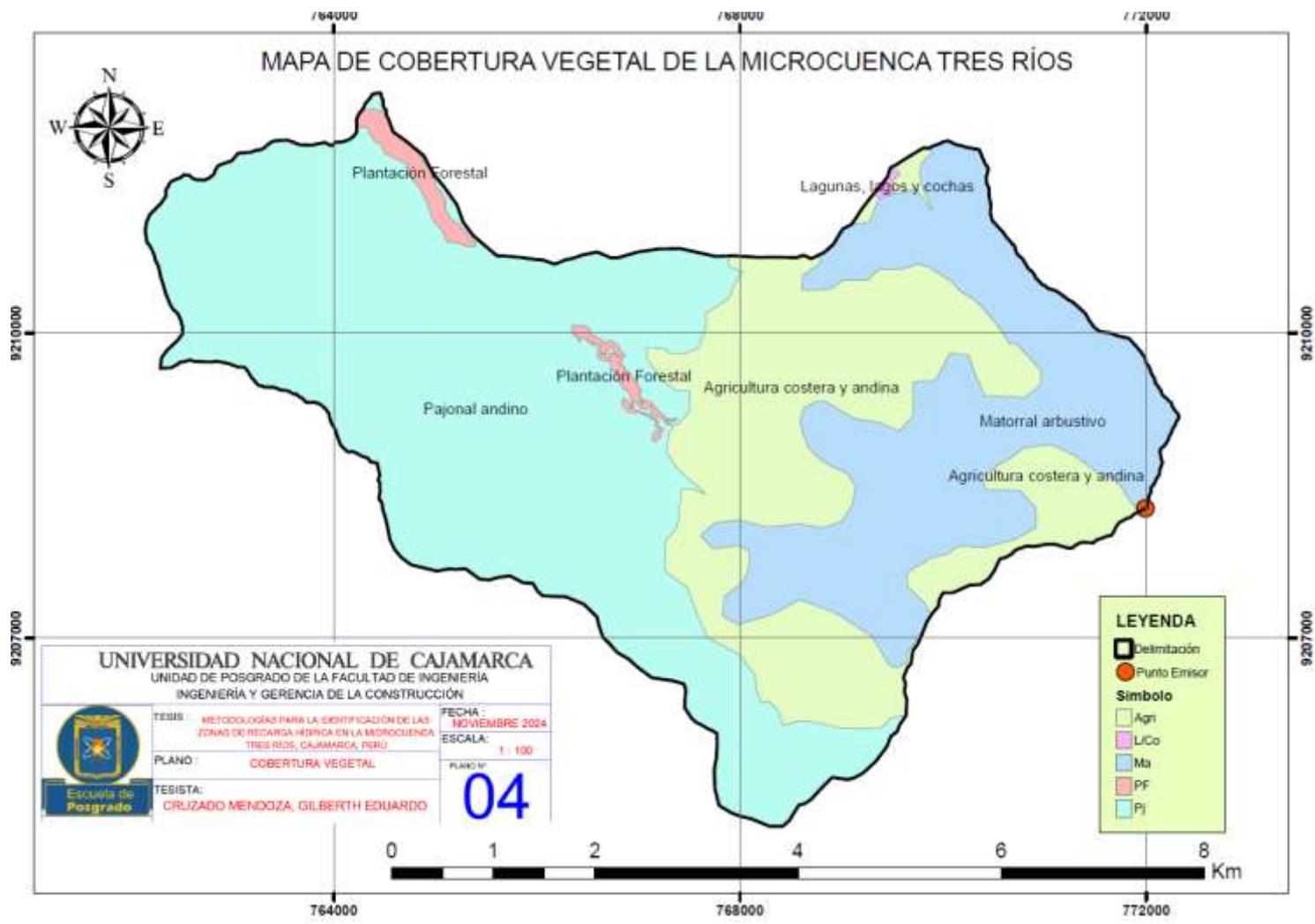
Mapa de pendientes de la cuenca (Método Participativo) de la microcuenca Tres Ríos



Nota. Mapa de la clasificación de pendientes según la metodología participativa de la microcuenca Tres Ríos.

Figura 85

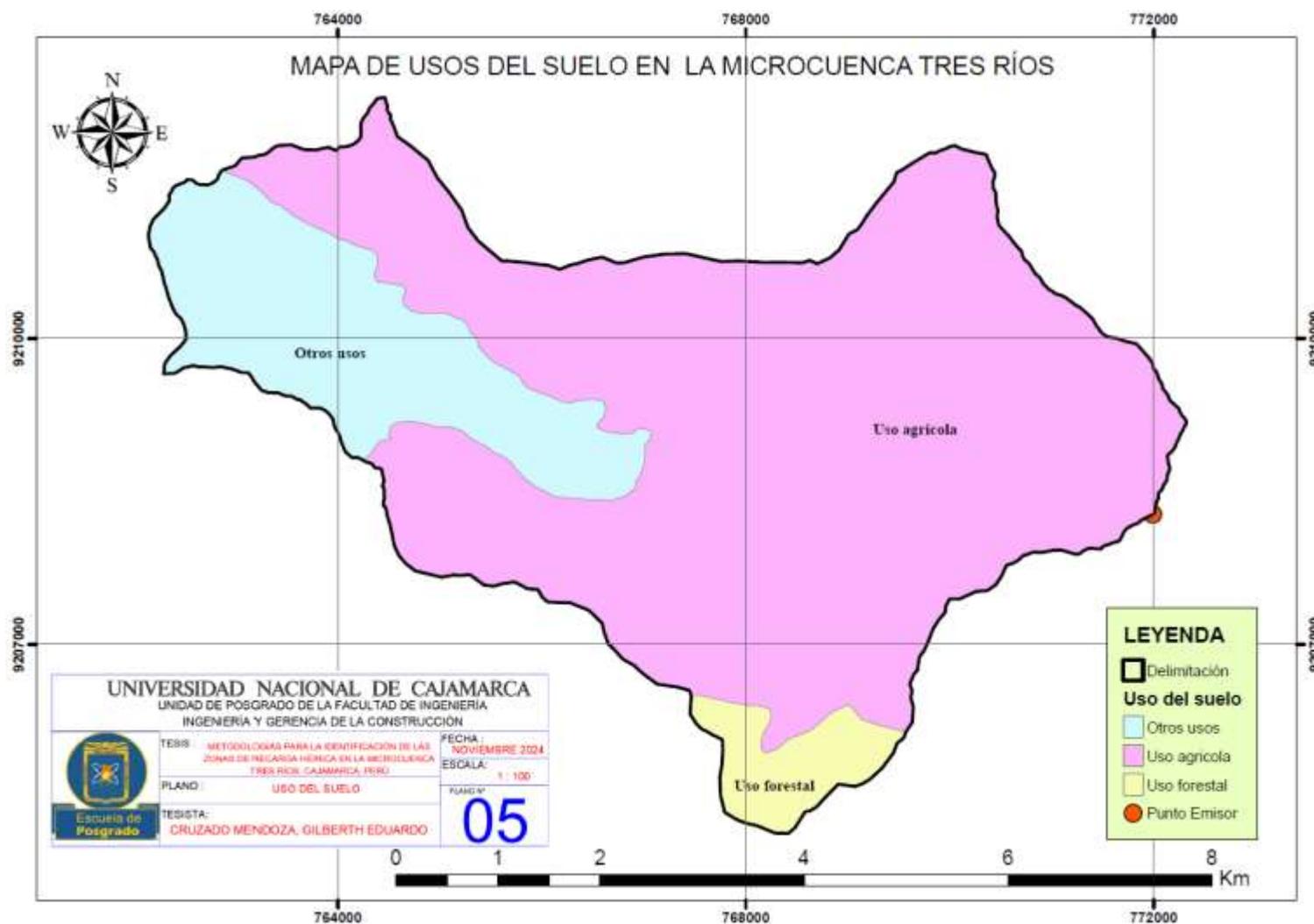
Mapa de cobertura vegetal de la microcuenca Tres Ríos



Nota. Mapa de la clasificación de la cobertura vegetal de la microcuenca Tres Ríos.

Figura 86

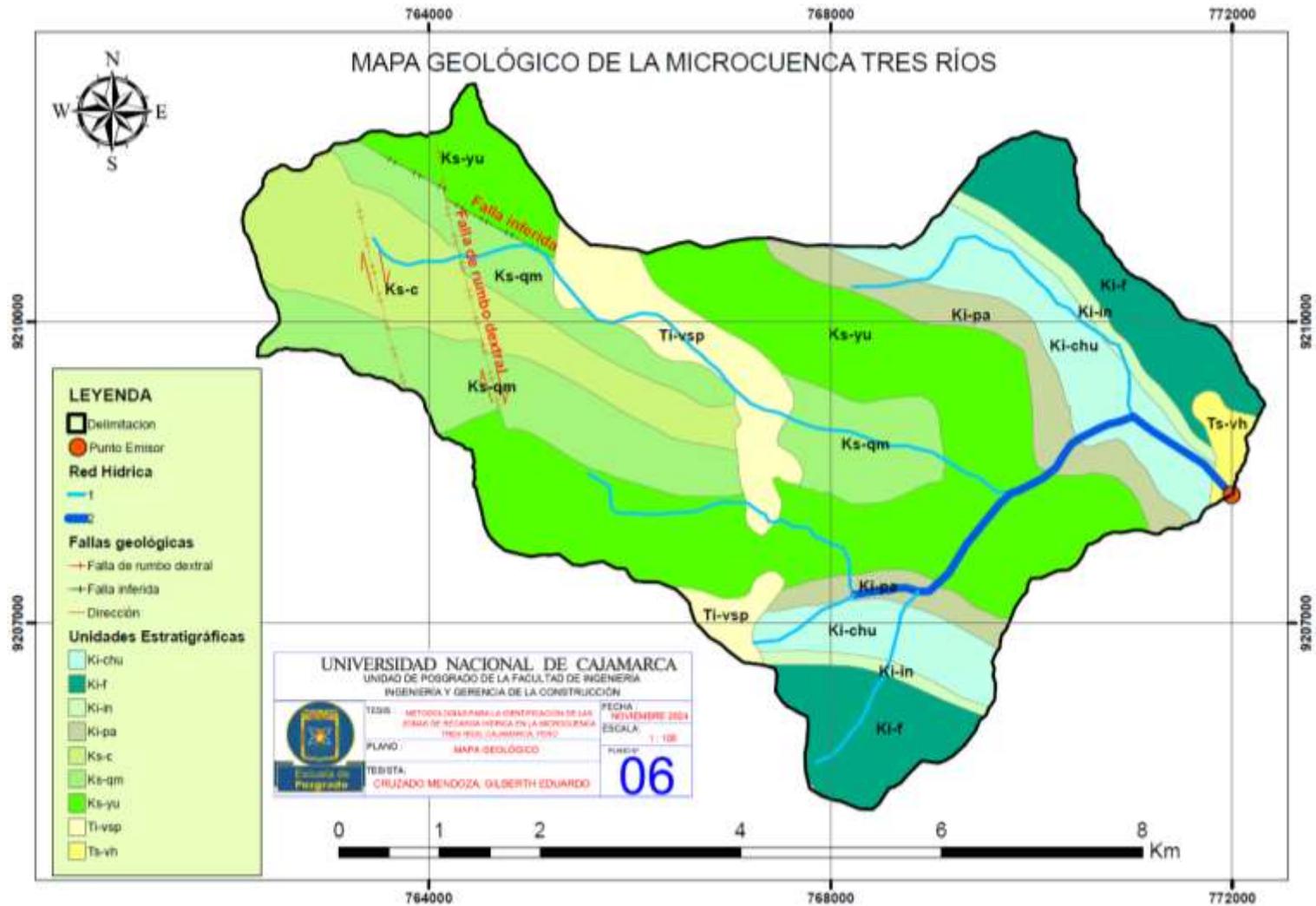
Mapa de uso de suelos de la microcuenca Tres Ríos



Nota. Mapa de la clasificación de uso de suelo de la microcuenca Tres Ríos.

Figura 87

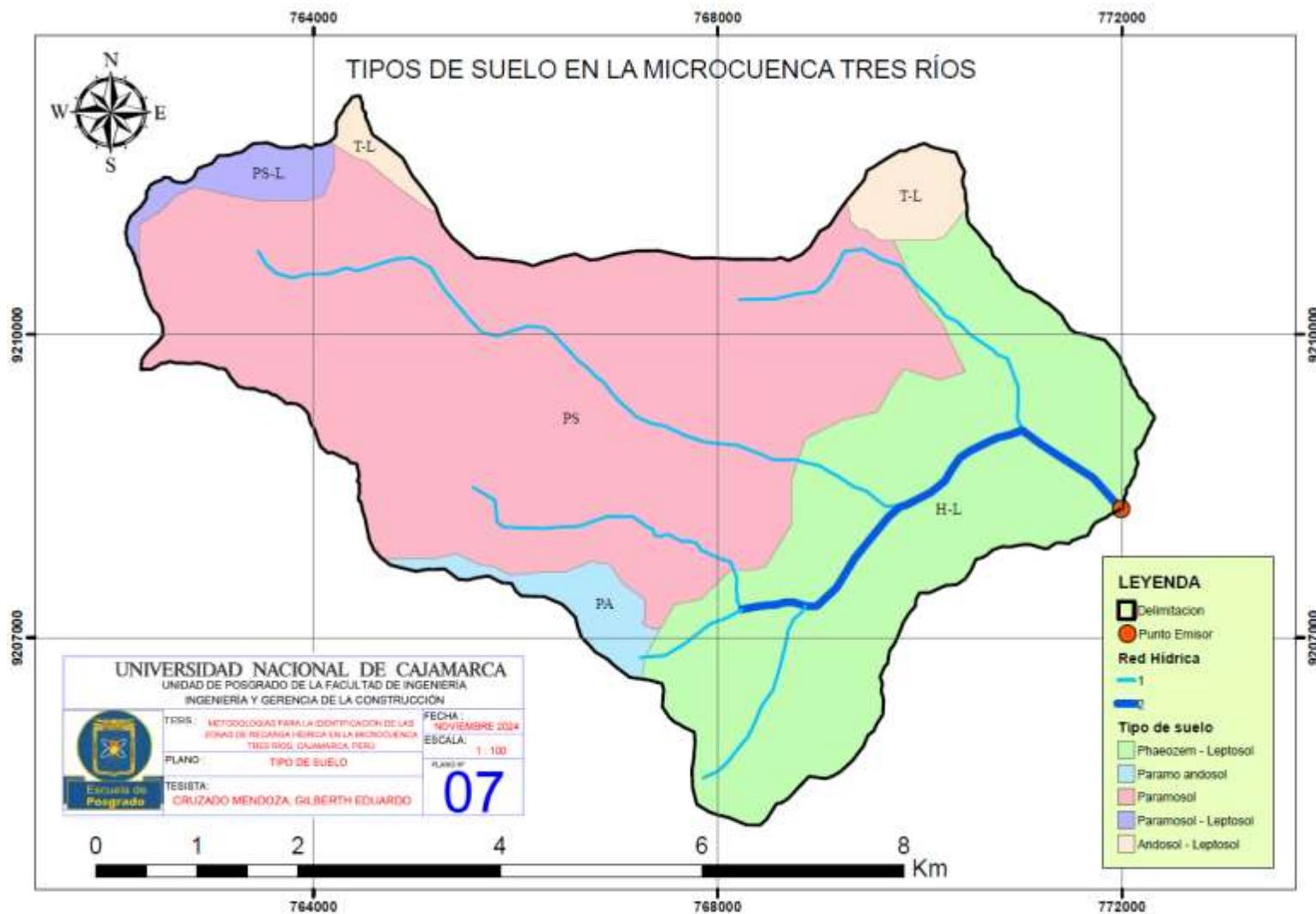
Mapa geológico de la microcuenca Tres Ríos



Nota. Mapa geológico donde se muestran las unidades estratigráficas de la microcuenca Tres Ríos

Figura 88

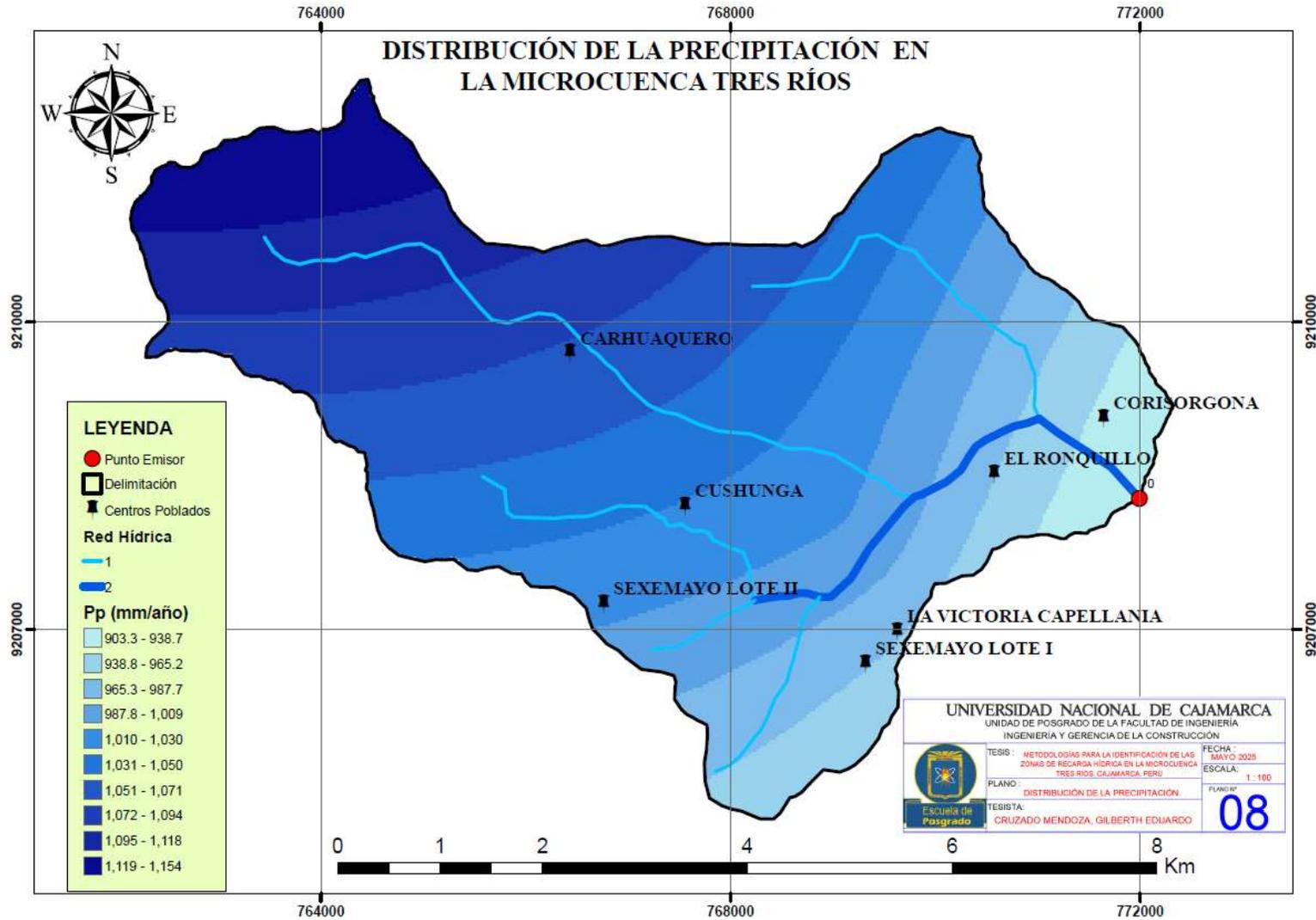
Mapa del tipo de suelo de la microcuenca Tres Ríos



Nota. Mapa de la clasificación de tipo de suelo de la microcuenca Tres Ríos

Figura 89

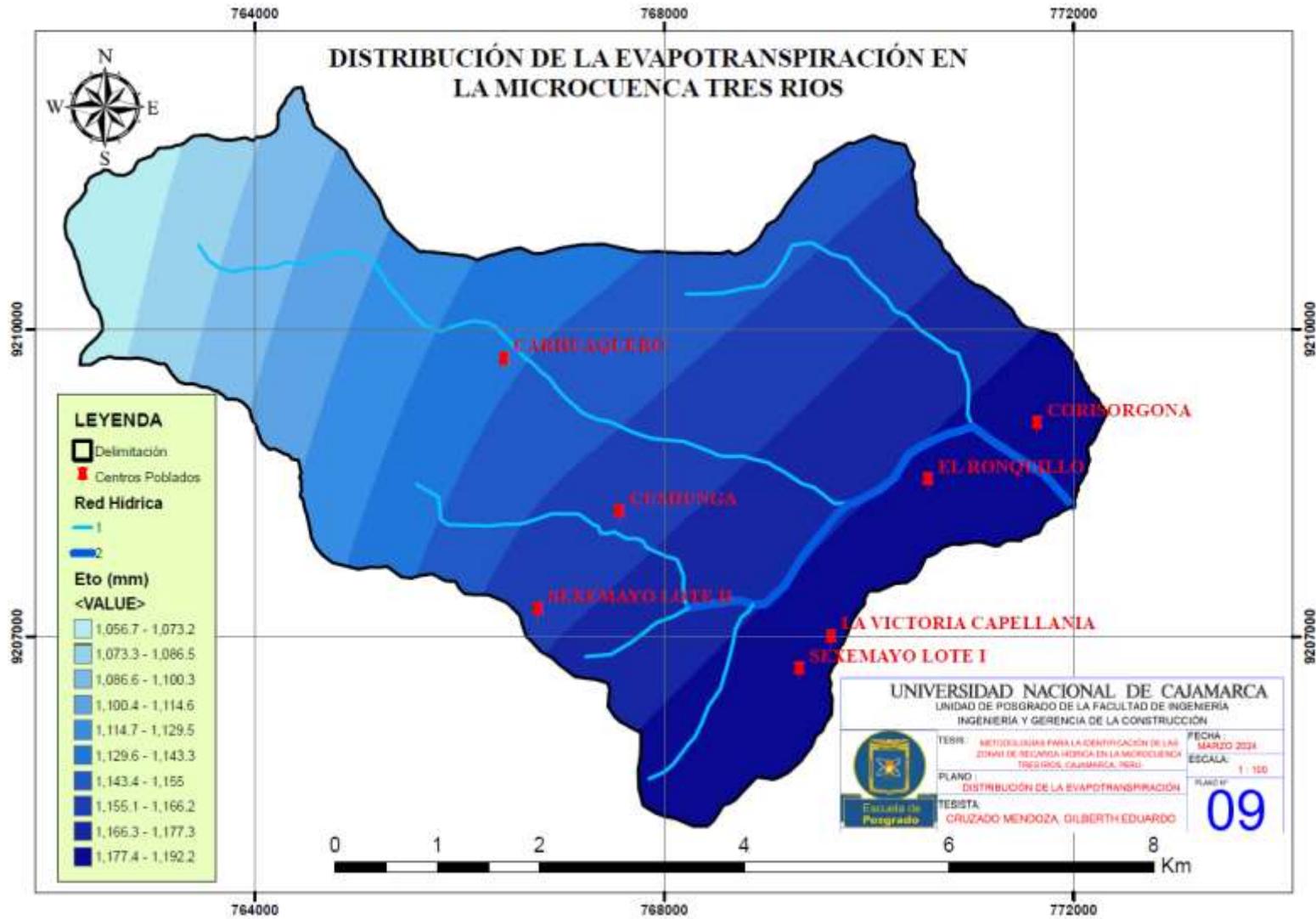
Distribución de la precipitación en la microcuenca Tres Ríos



Nota. Mapa de distribución de la precipitación mediante isoyetas en la microcuenca Tres Ríos

Figura 90

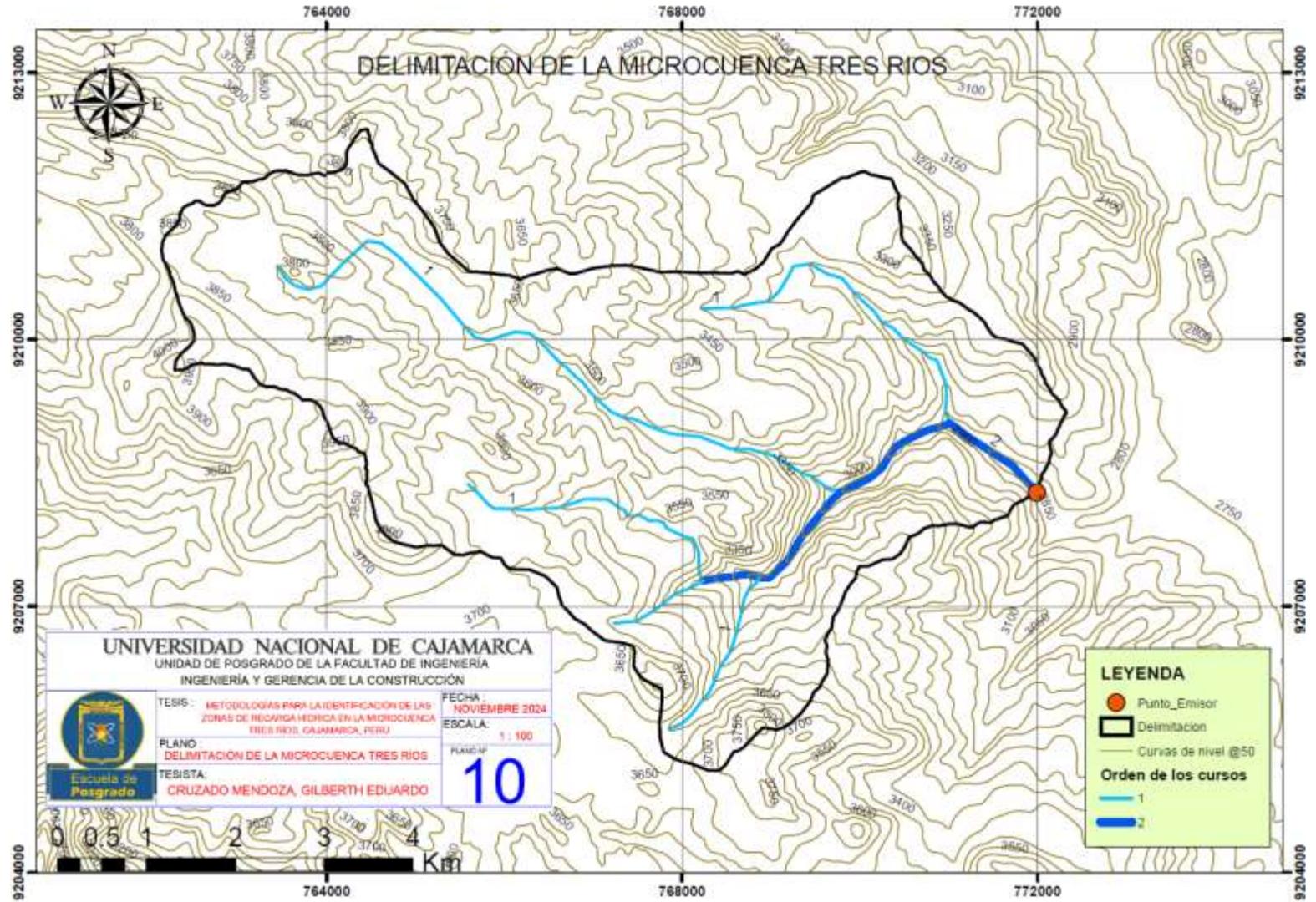
Distribución de la evapotranspiración en la microcuenca Tres Ríos



Nota. Mapa de distribución de la evapotranspiración mediante isoevapotranspirativas en la microcuenca Tres Ríos

Figura 91

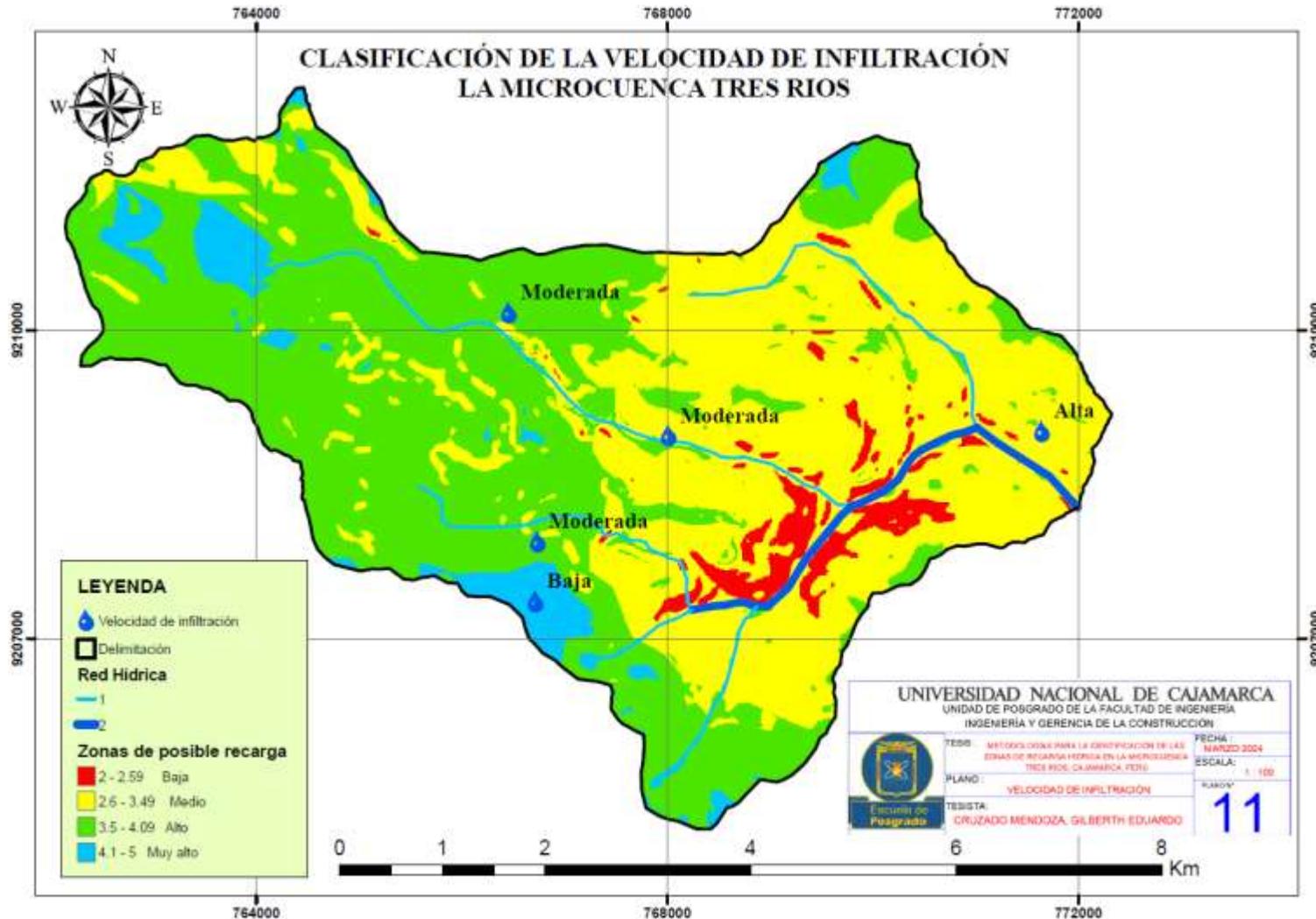
Orden de la red hídrica de la microcuenca Tres Ríos



Nota. Mapa de distribución de la red hídrica en la microcuenca Tres Ríos

Figura 92.

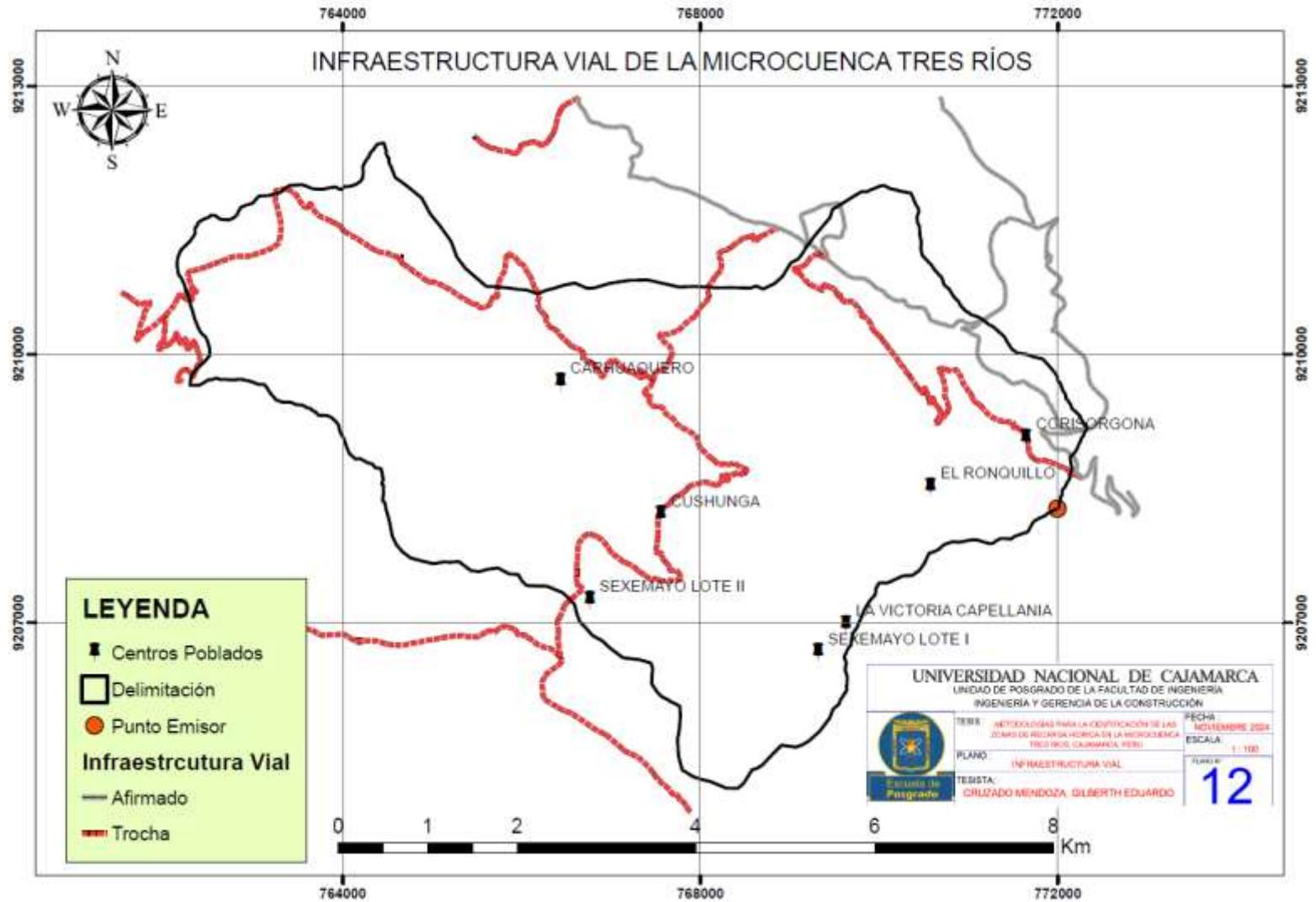
Clasificación de la Clasificación de la velocidad de infiltración en los resultados de la metodología participativa



Nota. En el mapa se muestra la velocidad de infiltración de los ensayos superpuesto en el mapa de posibilidad de recarga hidrica según la metodología participativa

Figura 93

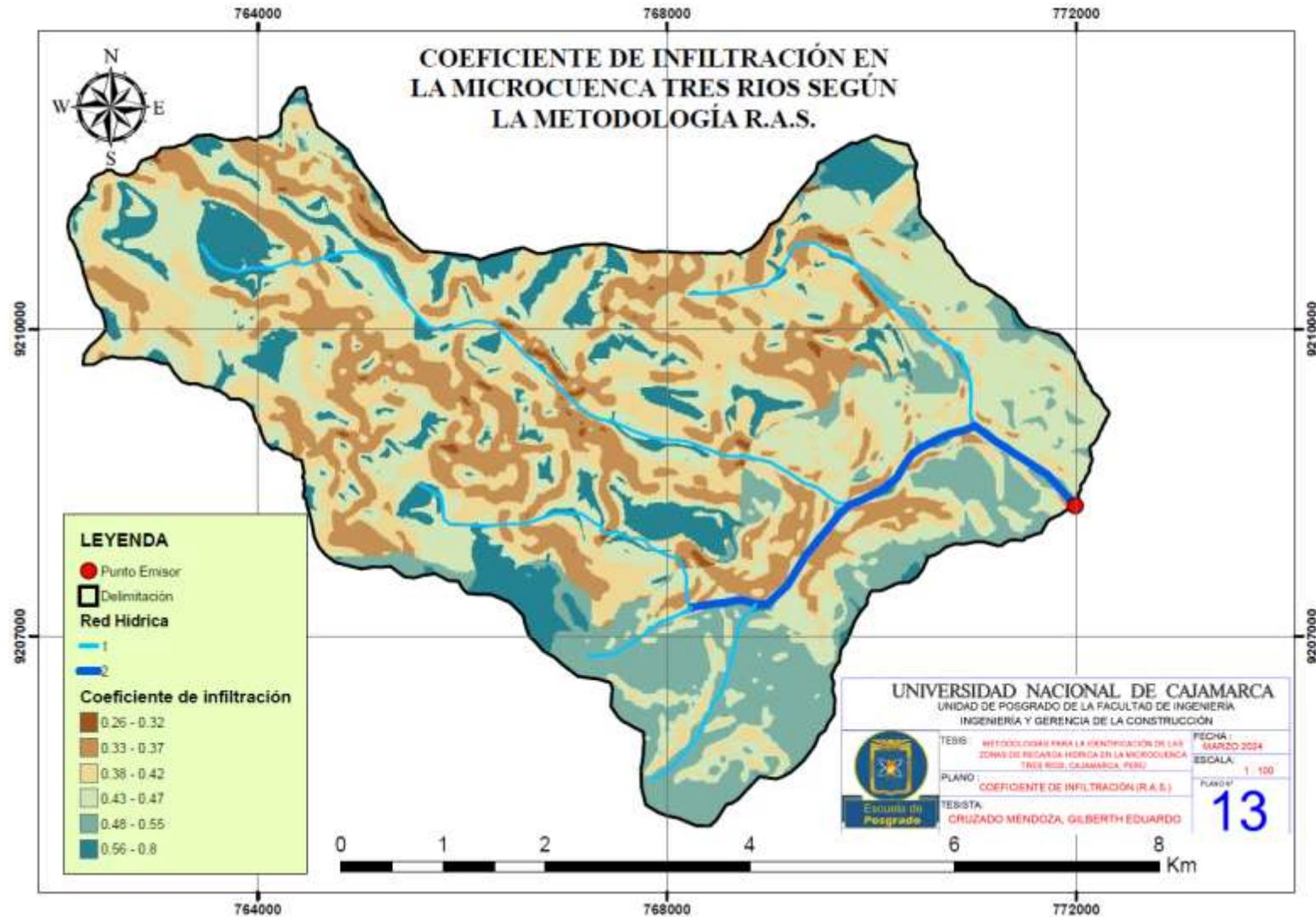
Mapa de la Infraestructura vial de la microcuenca Tres Ríos



Nota. Mapa donde se muestra la red vial donde existen afirmados y trochas en la microcuenca Tres Ríos.

Figura 94

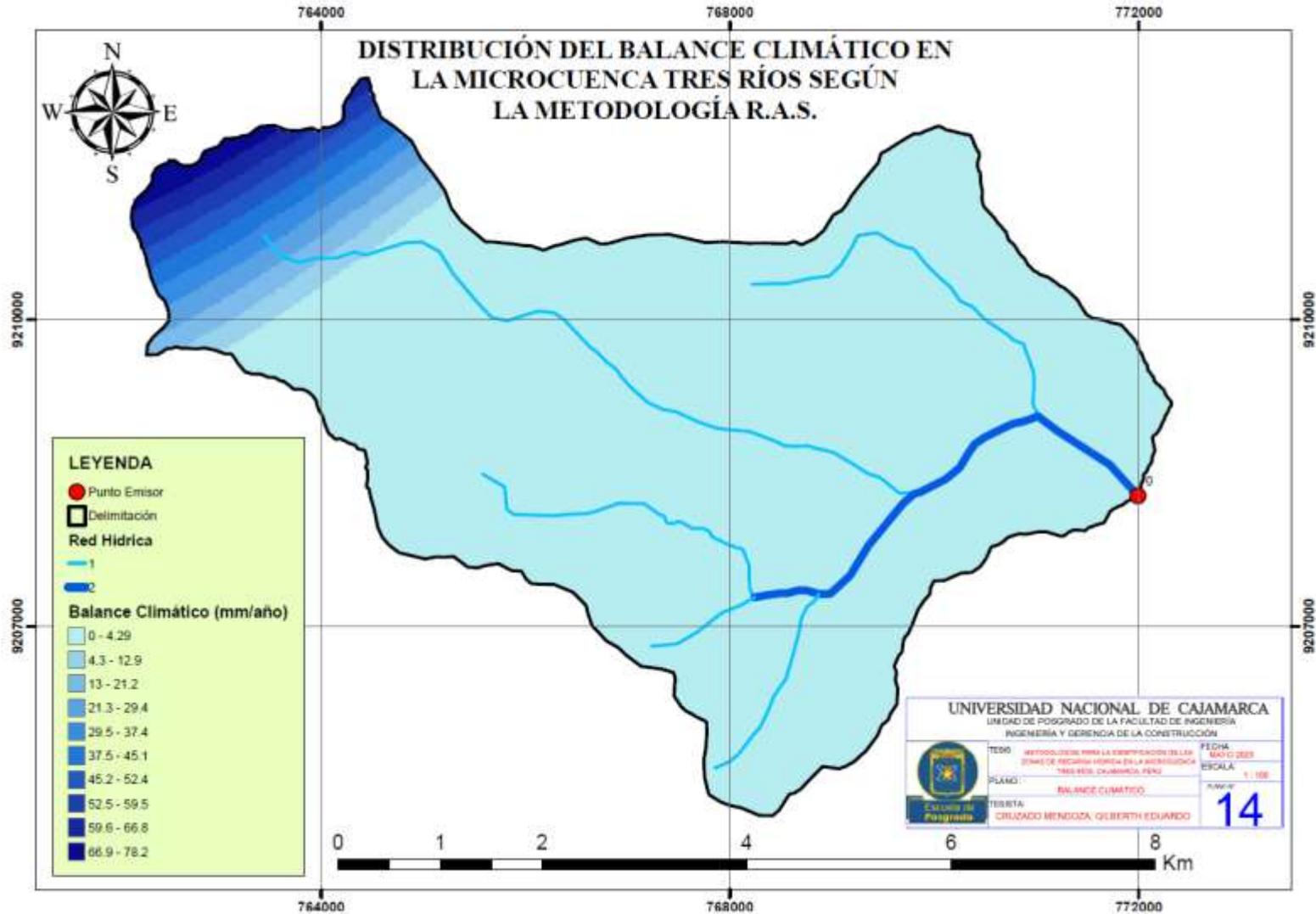
Coefficiente de infiltración de la microcuenca Tres Ríos



Nota. Mapa del cálculo del coeficiente de infiltración (C) de la metodología R.A.S. en la microcuenca Tres Ríos.

Figura 95

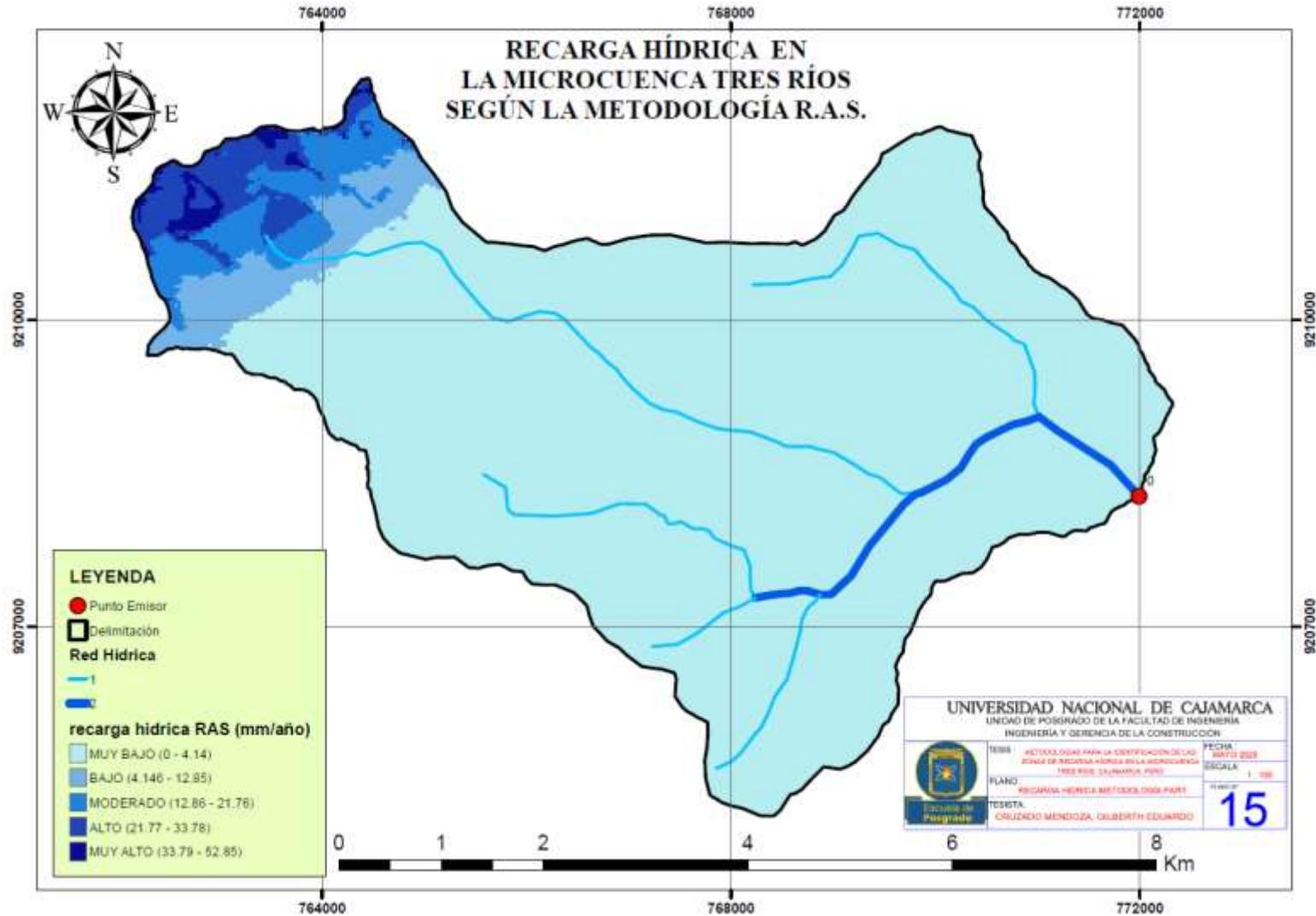
Balance climático de la microcuenca Tres Ríos



Nota. Resultado del balance climático representado mediante Isoyetas para la metodología R.A.S. en la microcuenca Tres Ríos.

Figura 96

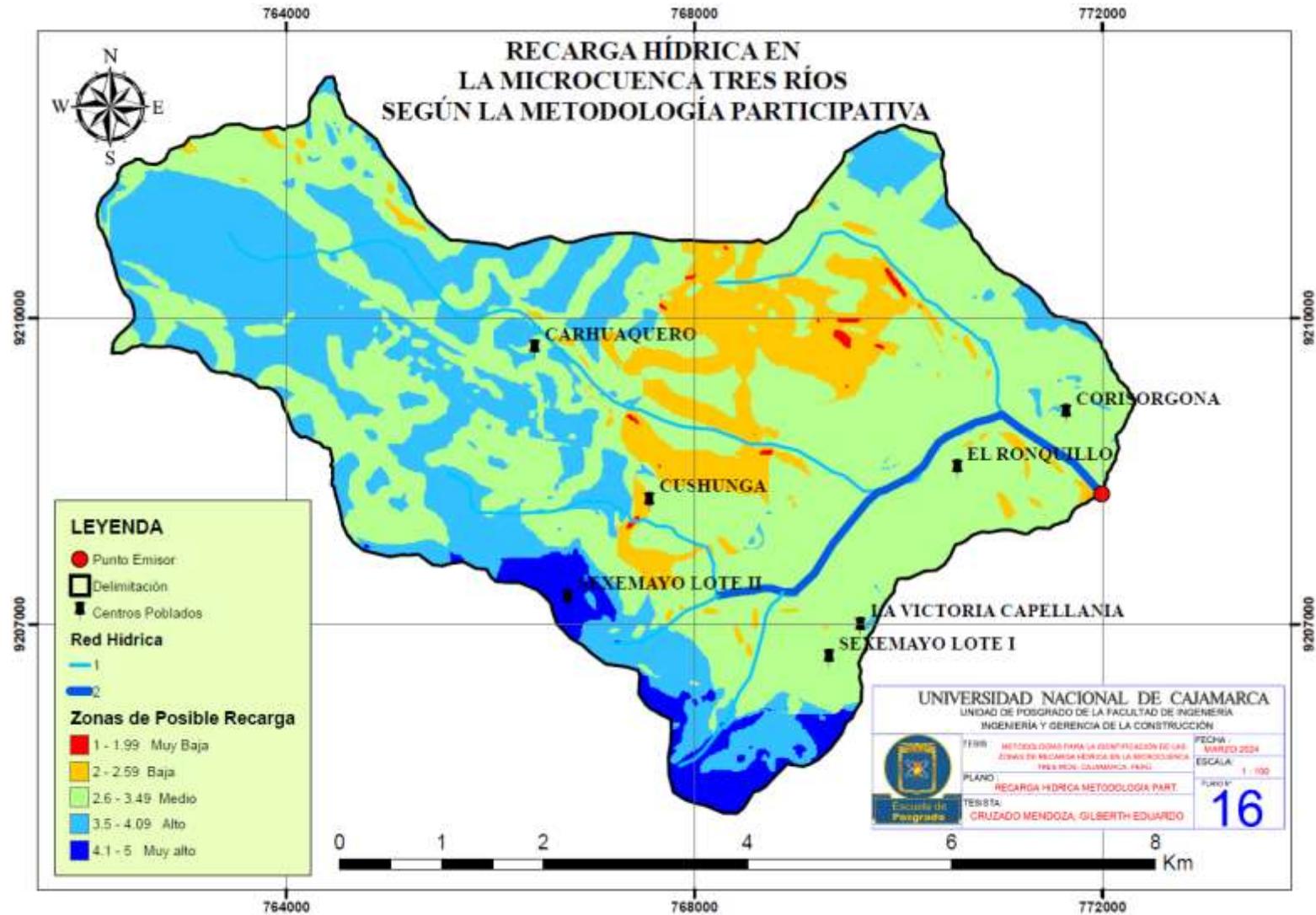
Recarga hídrica de la microcuenca Tres Ríos



Nota. Resultados de la posibilidad de recarga hídrica según la metodología R.A.S. en la microcuenca Tres Ríos

Figura 97

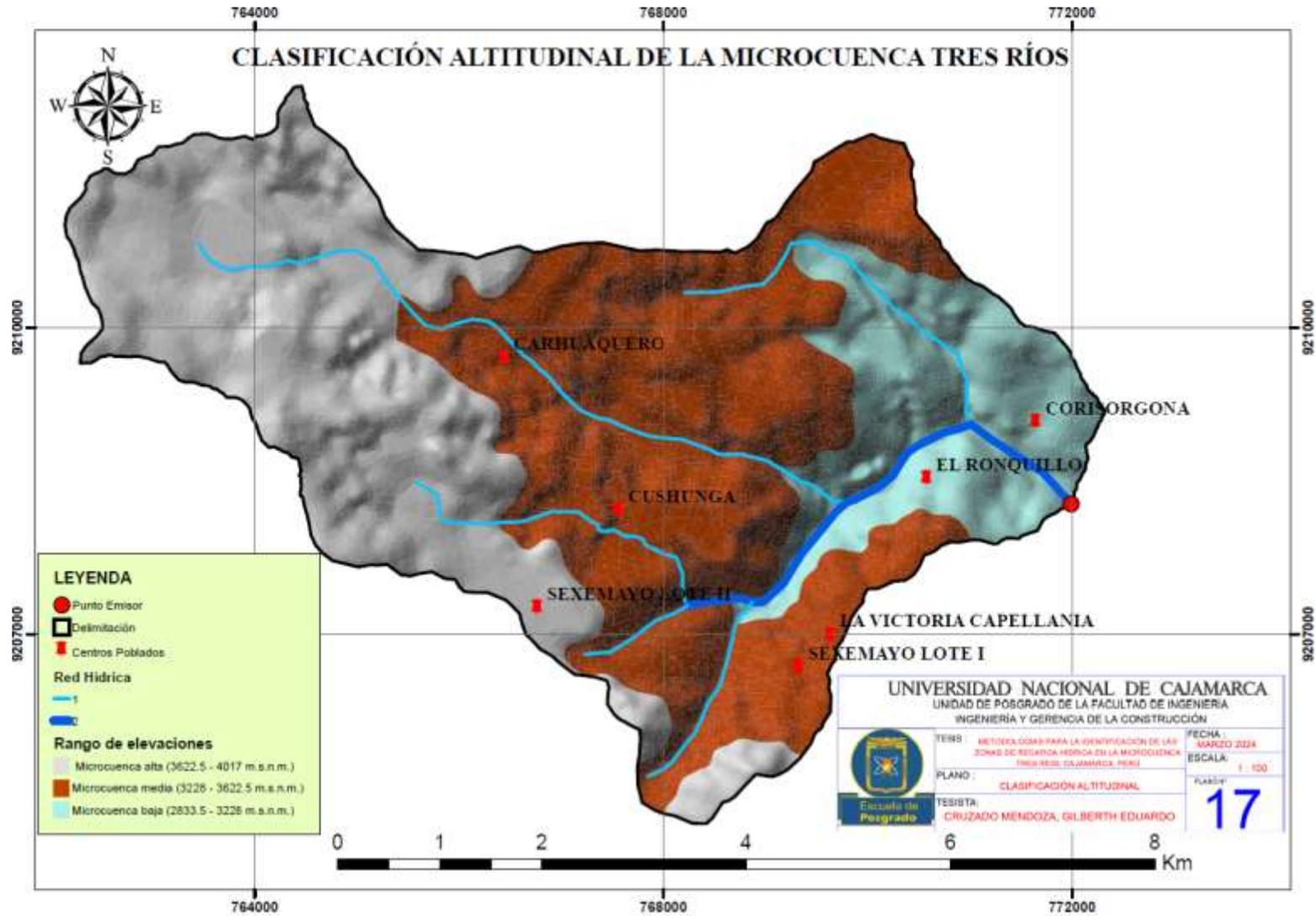
Zonas de recarga hídrica según la metodología participativa



Nota. Resultado de zonas de posibilidad de recarga hídrica según la metodología participativa en la microcuenca Tres Ríos

Figura 98.

Clasificación altitudinal de la microcuenca Tres Ríos



Nota. Clasificación de rangos altitudinales en la microcuenca Tres Ríos.