



GOBIERNO REGIONAL CUSCO
GERENCIA REGIONAL DE RECURSOS
NATUALES Y GESTIÓN AMBIENTAL



PLAN DE GESTIÓN EN LA MICROCUENCA PILOTO ACHACO



PROYECTO:
"MEJORAMIENTO DE LA GOBERNANZA
PARA LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS
HÍDRICOS EN LA CUENCA ALTO APURI-
MAC, 8 PROVINCIAS DEL DEPARTA-
MENTO DEL CUSCO"
CUSCO - PERÚ

Contenido

1. PRESENTACIÓN.....	6
2. ANTECEDENTES.....	7
3. ASPECTOS GENERALES.....	8
3.1 OBJETIVOS.....	8
Objetivo general.....	8
Objetivos específicos.....	9
Alcances.....	9
4. PROCESO PARTICIPATIVO DE PLANIFICACIÓN.....	10
4.1.1 Marco conceptual para el proceso participativo.....	10
5. DESCRIPCIÓN GENERAL Y DIAGNÓSTICO DE LA MICROCUENCA ACHACO.....	14
5.1 INFORMACIÓN BÁSICA.....	14
5.1.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA CUENCA.....	14
5.1.1.1 UBICACIÓN.....	14
5.1.1.1.1 Ubicación Geográfica.....	14
5.1.1.1.2 Ubicación Política.....	14
5.1.1.1.3 Ubicación Hidrográfica.....	15
5.1.1.1.4 Ubicación Administrativa.....	17
5.1.1.2 VIAS DE COMUNICACIÓN - ACCESOS.....	18
5.1.1.3 ASPECTOS SOCIO-ECONÓMICOS.....	19
5.1.1.3.1 POBLACIÓN POR DISTRITO Y COMUNIDADES.....	19
5.1.1.3.2 POBLACIÓN POR COMUNIDADES.....	19
5.1.1.3.3 MIGRACIÓN.....	19
5.1.1.3.4 PRINCIPALES ACTIVIDADES ECONÓMICAS Y FUENTES DE INGRESO FAMILIAR.....	20
5.1.1.3.5 SERVICIOS BÁSICOS.....	21
5.1.1.4 CLIMATOLOGÍA.....	23
5.1.2 INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA.....	24
5.1.2.1 Información meteorológica.....	24
5.1.2.2 Información hidrométrica.....	24
5.1.3 INFORMACIÓN BÁSICA Y UBICACIÓN CARTOGRÁFICA.....	26
5.1.3.1 Información Cartográfica.....	26

5.2	DELIMITACIÓN HIDROGRÁFICA – MÉTODO PFASTETTER	29
5.2.1	DELIMITACIÓN	29
5.2.2	HIDROGRAFÍA	33
5.2.2.1	GEOMORFOLOGÍA DE LA MICROCUENCA	35
	GENERALIDADES	35
	FACTORES FISIAGRÁFICOS	35
6.	GESTIÓN DEL AGUA	41
6.1	DISPONIBILIDAD DEL AGUA	41
6.1.1	ESTUDIO DE FACTORES CLIMÁTICOS DE LA MICROCUENCA	41
6.1.1.1	RECOLECCIÓN DE DATOS CLIMÁTICOS	41
6.1.1.2	ANÁLISIS, TRATAMIENTO Y COMPLETACIÓN DE LA INFORMACIÓN	41
6.1.1.2.1	ANÁLISIS DE CONSISTENCIA DE DATOS HIDROMETEOROLÓGICOS	42
6.1.1.2.2	COMPLETACIÓN Y EXTENSIÓN DE DATOS HIDROMETEOROLÓGICOS	44
6.1.2	PROCESAMIENTO DE DATOS HIDROMETEOROLÓGICOS	46
6.1.2.1	REGIONALIZACIÓN DE PRECIPITACIÓN	46
6.1.2.2	REGIONALIZACIÓN DE TEMPERATURA MEDIA, MÁXIMA Y MÍNIMA	47
6.1.2.2.1	TEMPERATURA MÁXIMA MEDIA MENSUAL	47
6.1.2.2.2	TEMPERATURA MEDIA MENSUAL	48
6.1.2.2.3	TEMPERATURA MÍNIMA MENSUAL	49
6.1.2.3	HUMEDAD RELATIVA MEDIA MENSUAL	49
6.1.2.4	HORAS DE SOL	50
6.1.2.5	EVAPORACIÓN TOTAL MENSUAL	51
6.1.2.6	VELOCIDAD DE VIENTOS	52
6.1.2.7	EVAPOTRANSPIRACIÓN	53
6.1.3	DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS PARA EL CÁLCULO DE CAUDALES MENSUALES	53
6.1.3.1	RETENCIÓN EN LA CUENCA	55
6.1.3.1.1	ALMACENAMIENTO HIDRICO	55
6.1.3.1.2	ABASTECIMIENTO DE LA RETENCIÓN	57
6.1.3.2	COEFICIENTE DE AGOTAMIENTO	57
6.1.3.3	PRECIPITACIÓN EFECTIVA	59
6.1.4	ESTIMACIÓN DE CAUDALES MEDIOS MENSUALES	60
6.1.4.1	ECUACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO	61
6.1.4.2	GENERACIÓN DE CAUDALES MEDIOS MENSUALES	62
6.1.4.2.1	Aforos realizados para calibración del modelo	63
6.1.4.3	DEMANDA HIDRICA CAUDAL ECOLÓGICO	65

B) Metodología B. Adoptar el valor de 15% del caudal medio mensual como caudal ecológico. ...	66
6.1.4.4 MODELO HIDROLÓGICO 2: GRM2.....	66
6.1.4.4.1 Aplicación del modelo.....	68
6.2 INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA.....	71
6.2.1 Ubicación de la infraestructura analizada.....	71
6.2.2 Estudios anteriores.....	71
6.3 ESTADO ACTUAL DEL USO DEL AGUA POR DIVERSAS FUENTES.....	71
7. USOS Y DEMANDA DE AGUA.....	72
7.1 ASPECTOS GENERALES.....	72
7.2 DEMANDA HÍDRICA PARA USO AGRARIO.....	73
7.3 DEMANDA HÍDRICA PARA USO NO AGRARIO.....	73
7.4 OTROS CONSUMOS DE AGUA.....	73
8. BALANCE HÍDRICO.....	73
8.1 INFORMACIÓN DISPONIBLE.....	74
8.2 ASPECTOS GENERALES.....	74
8.2.1 Oferta de Agua.....	74
8.2.2 Demanda de Agua para consumo.....	75
8.2.2.1 Demanda Agrícola.....	75
8.3 BALANCE HIDRICO.....	77
8.3.1 Balance Hídrico.....	77
9. ANÁLISIS DE MÁXIMAS AVENIDAS.....	79
9.1 ASPECTOS GENERALES.....	79
9.2 OBJETIVOS.....	79
9.2.1 General.....	79
9.2.2 Específico.....	80
9.3 ANÁLISIS DE MÁXIMAS AVENIDAS.....	80
9.3.1 PERIODO DE RETORNO.....	80
9.3.2 RECOPIACION DE INFORMACION HIDROMETEOROLOGICA.....	82
9.3.3 Análisis Regional de Frecuencia de Precipitaciones Máximas 24h basado en los L- momentos.....	86
Identificación de Regiones Homogéneas.....	86

Método de conglomerados	86
9.3.4 Método de momentos - L.....	87
9.3.5 Correcciones al valor representativo.....	97
9.4 REGIONALIZACION DE LA PRECIPITACION MEDIA ANUAL	98
9.5 REGIONALIZACION DE LA Pmax. 24horas.....	98
9.6 ANALISIS DE TORMENTAS.....	99
9.6.1 Determinación de la Tormenta de Diseño (Obtención de Hietograma)	99
9.6.2 Patrones del NRCS.....	101
9.7 ANÁLISIS DE MÁXIMAS AVENIDAS MÉTODO HEC HMS.....	103
9.7.1 Modelación meteorológica	104
9.7.2 Modelación de las pérdidas	104
9.7.3 Modelación de la transformación lluvia-escorrentía	106
9.7.4 Modelación del flujo base	113
9.7.5 Aplicación.....	115
9.7.6 Modelo Meteorológico.	120
9.7.7 Especificaciones de control.....	121
9.8 Resultados obtenidos	122
9.9 MODELAMIENTO HIDRÁULICO ZONAS VULNERABLES.....	123
10. DIAGNOSTICO Y PROBLEMÁTICA.....	124
11. VISIÓN Y ESTRATEGIAS DE LA GIRH.....	131
12. PROGRAMA DE INTERVENCIONES.....	133
13. FINANCIAMIENTO DEL PLAN.....	137
14. IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN	141
15. MONITOREO DEL PLAN.....	142
16. CONCLUSIONES.....	144
17. RECOMENDACIONES.....	144
18. BIBLIOGRAFÍA.....	144

1. PRESENTACIÓN

Considerando la preocupación por la gestión de los recursos hídricos y el medio ambiente, uno de los propósitos del Gobierno Regional del Cusco, a través de la Gerencia Regional de Recursos Naturales y Gestión Ambiental, es desarrollar propuestas sostenibles concernientes a la Gestión Integral de los Recursos Hídricos (GIRH), partiendo del conocimiento sistémico del territorio y teniendo en cuenta el ámbito de las unidades hidrográficas menor es (microcuencas); por lo tanto, estas propuestas tienen que ser detalladas mediante el documento de gestión para la microcuenca de Achaco.

En este contexto y en el marco del desarrollo del proyecto “MEJORAMIENTO DE LA GOBERNANZA PARA LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN LA CUENCA DEL ALTO APURÍMAC, 08 PROVINCIAS DEL DEPARTAMENTO DEL CUSCO”, se elaboró el presente documento denominado Plan de Gestión de Recursos Hídricos de la Microcuenca Piloto de Achaco, el cual manifiesta el diagnóstico de la microcuenca mediante talleres y un personal de campo que de manera participativa recopiló la información del estado situacional de la microcuenca, el cual describe secuencialmente los resultados obtenidos en relación a la propuesta de una adecuada gestión de los recursos hídricos.

Cabe precisar que la microcuenca de Achaco, tiene conformada su comité de gestión, el mismo que está inscrito en registros públicos, cuyos integrantes de manera organizada y en concertación con los demás actores de la microcuenca tendrán que impulsar las acciones de solución para la problemática encontrada dentro de la microcuenca de Achaco en beneficio del distrito de Limatambo.

2. ANTECEDENTES

El Gobierno Regional Cusco, mediante Ordenanza Regional N° 013-2007-CR-RC.CUSCO, declara de necesidad pública y prioridad regional la conservación, preservación y uso adecuado de los Recursos Hídricos de la Región Cusco, propiciando la conformación del Grupo Técnico Especializado del Sistema Regional de Gestión Ambiental del Cusco: “Plataforma Regional de Gestión Integrada de Recursos Hídricos”, cuya Secretaría Técnica es reconocida como “Grupo Impulsor para la Conformación del Consejo de Recursos Hídricos de la Cuenca del Alto Apurímac”.

De la misma forma se conforma el grupo impulsor para la creación del Consejo de Recursos Hídricos de Cuenca Interregional Alto Apurímac, mediante la Ordenanza Regional N° 108-2016- CR/GRC.CUSCO, y su modificación mediante la Ordenanza Regional N° 159-2018- CR/GRC.CUSCO. Además, se declara de necesidad pública y de prioridad regional la gestión integrada de los recursos hídricos de la cuenca interregional Alto Apurímac.

El Grupo Impulsor de la región Cusco, liderado por la Gerencia Regional de Recursos Naturales y Gestión Ambiental, formula y ejecuta el Proyecto denominado “Mejoramiento de la Gobernanza para la Gestión de los Recursos Hídricos en la Cuenca del Alto Apurímac, 08 Provincias de la región Cusco”, que de fecha 01 de septiembre de 2020, se emite la Resolución Gerencial General Regional N° 254-2020-GR CUSCO/GGR, donde se aprueba la ejecución del proyecto, mediante el cual se desarrolló actividades de sensibilización, capacitación, proceso eleccionario y designación de representantes para la conformación del Consejo de Cuenca.

Es así que, para lograr una eficiente gestión de los recursos hídricos, el proyecto tiene el componente 03: Suficiente y adecuados instrumentos de gestión de las organizaciones e instituciones para la gestión de los recursos hídricos en la cuenca, con el objetivo principal de promover el fortalecimiento organizacional de microcuencas piloto para crear un efecto multiplicador que otorgue sostenibilidad al Consejo de Recursos Hídricos de la Cuenca.

Marco Normativo e Institucional a nivel nacional

- ✓ Ley N° 29338 - Ley de Recursos Hídricos, modificada por Decreto Legislativo N° 1285 y Ley N° 30640.
- ✓ Decreto Supremo N° 001-2010-AG que aprueba el Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos, modificado por Decreto Supremo N° 005-2013-AG; Decreto Supremo N° 006- 2017-AG y Decreto Supremo N° 012-2018-MINAGRI.
- ✓ Decreto Supremo N° 006-2015-MINAGRI que aprueba la Política y Estrategia Nacional de Recursos Hídricos.
- ✓ Resolución Directoral N° 006-2015-ANA-DCPRH que aprueba el documento: “Lineamientos para la formulación de los Planes de Gestión de Recursos Hídricos en las Cuencas”.
- ✓ Resolución Jefatural N° 153-2017-ANA, Lineamientos Generales para la Creación de Comités de Subcuenca en la Amazonía.
- ✓ Resolución Directoral N° 771-2017-ANA/AAA-HUALLAGA, mediante el cual se crea el Comité de Subcuenca mayo.
- ✓ Resolución Directoral N° 013-2018-MINAGRI-AA/AAA HUALLAGA, modifica el Artículo 3° de la Resolución Directoral N° 771-2017-ANA/AAA-HUALLAGA.

3. ASPECTOS GENERALES

En las regiones de nuestro país las cuencas alto andinas no cuentan con suficiente información hidrometeorológica adecuada o completa que permita caracterizar la hidroclimatología de un territorio de tan compleja diversidad climática. Desde un punto de vista hidrológico cuando una cuenca no dispone de información de caudales se utiliza diversos métodos para generarlas a partir de información meteorológica y geográfica denominados modelos hidrológicos, que permitan generar las descargas a nivel mensual. Siendo necesario contar con dicha información para planificar y desarrollar diversos proyectos hidrológicos en la zona.

Uno de los aspectos más importantes para mejorar la gobernanza de la gestión integrada de los recursos hídricos, es conocer la disponibilidad del recurso hídrico que ofrece las cuencas a través de los ríos. El estudio que a continuación se expone, corresponde al estudio hidrológico de la microcuenca Achaco del proyecto: “MEJORAMIENTO DE LA GOBERNANZA PARA LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN LA CUENCA ALTO APURÍMAC, 8 PROVINCIAS DEL DEPARTAMENTO DEL CUSCO”

Con tal finalidad se ha desarrollado la metodología y se presenta el análisis de las diferentes variables hidrometeorológicas correspondientes a la cuenca en estudio, el método que se aplicó para la estimación de caudales mensuales es el GR2M, los modelos GR son un grupo de modelos precipitación – escorrentía desarrollados en Francia por la unidad de investigación en hidrología del Cemagref d’Antony. Estos modelos se caracterizan por utilizar como datos de ingreso la precipitación y la temperatura.

También se aplicó el modelo Lutz Scholz para verificar los resultados obtenidos en el modelo GR2M.

Para los caudales máximos se utilizó el modelo HEC-HMS, modelo matemático de simulación hidrológica que permite simular el fenómeno precipitación-escorrentía a través de diferentes modelos conceptuales que representan el comportamiento de la cuenca, se comprobaron estos valores con el método racional.

3.1 OBJETIVOS

Objetivo general

- ✓ Implementar la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos en el ámbito de la microcuenca Achaco, donde se garantizará el uso adecuado del agua y su acceso por todos los usuarios en el presente y futuro, tomando en cuenta la cantidad, calidad, oportunidad, cultura del agua y cambio climático, con una interrelación con los valores económicos, sociales y ambientales, considerando al agua como un recurso y servicio y todo enmarcado en un modelo GIRH.

Objetivos específicos

- Lograr la seguridad hídrica mediante la conservación de los ecosistemas y los procesos hidrológicos, así como la determinación y planificación de la oferta hídrica en cuanto a la cantidad, calidad y oportunidad en el ámbito de la microcuenca Achaco. Atender de forma eficiente la demanda de los recursos hídricos por el sector social (poblacional), económico (productivo) y ambiental (caudal ecológico y ecosistemas), mediante el desarrollo de infraestructura hidráulica.
- Promover la gestión y cultura del agua en los distintos actores y población del ámbito de la microcuenca, donde tomen en cuenta los atributos del agua (cantidad, calidad, oportunidad, cultura y cambio climático), valores (social, económico y ambiental) y dimensiones (recurso y servicios).
- Promover una adecuada adaptación al cambio climático y disminuir la vulnerabilidad y afectación a la microcuenca como consecuencia de los eventos meteorológicos extremos.

Alcances

- El presente plan de gestión de recursos hídricos, constituye un instrumento importante para la toma de decisiones del comité de gestión de microcuenca, en coordinación con los diferentes actores, gobiernos locales, regionales y nacionales, ONGs, empresas con el único propósito de proponer proyectos vinculantes a la gestión integrada de los recursos hídricos, dentro de la microcuenca piloto de Achaco – Limatambo, que permita el desarrollo sostenibilidad de la gestión del agua en el tiempo.

Horizonte

Horizonte del plan de gestión de recursos hídricos de la microcuenca (PGRHM)

Las acciones del PGRHM Achaco tienen un horizonte estratégico de 3 a 10 años tras su aprobación. Donde se identifican acciones para un periodo de corto plazo correspondiente a los 3 años, mediano plazo a los 5 años y largo plazo a los 10 años, con la finalidad de lograr la Gestión integrada de los recursos hídricos en la microcuenca, donde permita satisfacer las demandas presentes y futuras. Así como garantizar la protección, la conservación, la calidad y la disponibilidad de recursos hídricos y su aprovechamiento eficiente y sostenible.

La gestión de recursos hídricos de la microcuenca de Achaco, presenta un planteamiento estratégico, donde se considera la implementación de acciones en el corto, mediano y largo plazo; en el corto y mediano plazo se consideran actividades estructurales y no estructurales en las áreas de aprovechamiento de los recursos hídricos para uso poblacional y agrícola, calidad de agua, cultura del agua, protección y conservación de ecosistemas acuáticos, gestión de riesgos de inundaciones, sequías, huaicos, cambio climático. En el largo plazo

se establece y afianza una nueva institucionalidad para la gestión del agua en la microcuenca, y se continuara promoviendo y desarrollando las acciones no estructurales y las estructurales mediante proyectos de envergadura de forma integrada referido a la regulación hídrica y de esta manera establecer la gestión integrada de los recursos hídricos en la microcuenca de Achaco.

Desarrollo del plan de gestión de recursos hídricos

El plan es el resultado de la suma de talleres desarrollados en temas de sensibilización de la gestión de los recursos hídricos, trabajo de campo para la evaluación y caracterización de la microcuenca, así como los compromisos de los actores (organizaciones de usuarios de agua), instituciones y/o entidades vinculadas dentro de la microcuenca de Achaco, para la implementación de la GIRH.

Actualización y evaluación del plan de gestión de los recursos hídricos

La actualización del plan debe realizarse a los 5 años, con la finalidad de tomar en cuenta los cambios a corto plazo que se vienen dando en las microcuencas, o una evaluación de las actividades que ya se vienen desarrollando y que falta desarrollar, todo ello tiene que estar direccionado con visión de implementar la GIRH en la microcuenca a un 100 %. La evaluación del cumplimiento del plan se debe desarrollar por parte del comité de gestión de la microcuenca Achaco, con el apoyo de la autoridad local del agua y la municipalidad distrital de Limatambo. Donde se debe tomar en cuenta las lecciones aprendidas del periodo de evaluación, los resultados de monitoreo.

4. PROCESO PARTICIPATIVO DE PLANIFICACIÓN

4.1.1 Marco conceptual para el proceso participativo

Uno de las características importantes para implementar la GIRH es el proceso participativo de los actores y grupos de interés, donde se tomó en cuenta los roles, funciones e intereses, así también el ámbito de la cuenca y sus características, las potencialidades y problemática en el aspecto económico, social y ambiental y buscando la gestión del agua en base a la Cantidad, Calidad, oportunidad, cultura del agua y cambio climático.

Actores: referido a entidades públicas o privadas con intereses relacionados con la gestión del agua, que asumen responsabilidad operativa y administrativa en el uso del recurso, por verse afectados por los riesgos asociados o por la defensa de intereses para su preservación y conservación, además de otros aspectos. En la microcuenca se considera los actores que se encuentran dentro del ámbito de la microcuenca como: comunidades, usuarios de agua de consumo (JASS), Usuarios agrarios y no agrarios, organizaciones de base, autoridades de gobierno local.

Grupos de Interés: Son asociaciones de personas o entidades que siendo o no parte de los actores de la gestión de recursos hídricos. Se organizan en instancias que persiguen intereses sociales, Económicos o políticos que influyen en la gestión de los recursos hídricos de la microcuenca. Dado el alcance social de estos grupos su involucramiento es necesario para la elaboración participativa del PGRHM.

Valores del agua: En estos tiempos conocer el valor del agua es de vital importancia para desarrollar su gestión, donde se debe considerar de forma integrada su valor económico, social y ambiental.

Atributos del agua: Cuando nos referimos y/o desarrollamos acciones, actividades con el agua, se tiene que tomar en cuenta de una forma inseparable y de forma integrada los atributos de la cantidad, calidad y oportunidad, asimismo, también considerar según la política y estrategia nacional de los recursos hídricos la gestión de la cantidad, calidad, oportunidad, cultura del agua y el cambio climático.

Dimensiones del agua: el agua por sus diferentes características como valores y atributos se debe considerar como recurso y servicio.

Metodología utilizada

En el proceso de formulación del plan se utilizó el método de Planificación de Visión Compartida (PVC), que es una metodología con un enfoque que considera metodologías tradicionales de planificación de los recursos hídricos y las articula con la participación de la población y/o actores de la cuenca y permite la valoración de la eficacia de las alternativas de solución mediante el uso de modelos de gestión como la GIRH.

La metodología toma en cuenta que la gestión de los recursos hídricos es un proceso complejo porque abarca múltiples objetivos para los aspectos hidrológicos, ecológicos (ambientales), económicos y sociales que se encuentran estrechamente vinculados y que implican el análisis de series de causa y efecto que implican múltiples resultados e impactos. Esta complejidad hace necesario el desarrollo de habilidades y conocimientos multidisciplinarios, así como el establecimiento de una convicción política.

Proceso de planificación

La elaboración del Plan de Gestión de los Recursos Hídricos de la Microcuenca Achaco (PGRHMA), se desarrolló en tres fases: Diagnóstico, definición de alternativas de solución y plan de acción.

Fase 1. Diagnóstico. – se desarrollaron actividades que consistieron en el reconocimiento del estado actual del recurso hídrico y la gestión del agua en la microcuenca, identificando la problemática, potencialidades y recursos con que se cuenta, tomando en cuenta el aspecto económico, social y ambiental y sus características atribuibles del agua como es la cantidad. Calidad, oportunidad, aunado a ello la cultura del agua y los impactos del cambio climático.

Durante esta fase se hicieron las siguientes actividades:

- Elaboración del plan de intervención de la microcuenca piloto de Achaco.
- Identificación y delimitación del ámbito de intervención de la microcuenca piloto de Achaco
- Reconocimiento del ámbito de intervención in-situ, mediante la verificación de la microcuenca en campo.
- Determinación del estado situacional de la microcuenca de Achaco mediante el diagnóstico ambiental, económico, cultural y social.
- Identificación y caracterización de actores de la microcuenca piloto de Achaco.
- Desarrollo de encuesta para determinar la situación actual de la microcuenca de Achaco y complementar al diagnóstico de la microcuenca.
- Taller de gestión integral de recursos hídricos en la microcuenca de Achaco.
- Elaboración de instrumentos legales y de gestión de la microcuenca de Achaco.
- Taller de elecciones de participantes en el comité de gestión de recursos hídricos de la microcuenca de la microcuenca de Achaco.
- Conformación del Comité de Gestión de la microcuenca Achaco.
- Desarrollo de actividades de gabinete y campo para el desarrollo del diagnóstico ambiental de la microcuenca de Achaco.
- Asistencia técnica a los actores de la microcuenca de Achaco.

Fase 2. Consenso de alternativas. - Durante esta fase se identificaron las alternativas de solución, se realizó la evaluación de la factibilidad técnico-económica de las alternativas identificadas y la validación social de las alternativas seleccionadas para ser incluidas en el Plan de Gestión. En esta misma fase se definió la visión compartida la "cuenca que queremos tener" y la "cuenca que podemos tener", los escenarios para la determinación de alternativas de solución, los requerimientos futuros, la gestión de la oferta y la demanda del agua, así como la organización, financiamiento de gestión y las obras hidráulicas necesarias para el aprovechamiento sostenible de los recursos hídricos en la cuenca. Durante esta fase se realizaron las siguientes actividades:

- Taller de gestión integral de recursos hídricos en la microcuenca de Achaco
- Elaboración de instrumentos legales y de gestión de la microcuenca de Achaco
- Taller de elecciones de participantes de la microcuenca de Achaco

Fase 3. Plan de Gestión. – en esta fase se desarrolló la evaluación de la prioridad y viabilidad de las alternativas y la redacción del plan de gestión de recursos hídricos, asimismo se tomaron en consideración criterios de conveniencia económica y sostenibilidad para la priorización de las alternativas, la programación y determinación de los costos de implementación de actividades del plan, programación multianual. Durante esta fase se desarrollaron las siguientes actividades:

- Elaboración de documento de plan de gestión de recursos hídricos de la microcuenca de Achaco
- Validación de documento de planes de gestión de recursos hídricos de la microcuenca de Achaco

Proceso participativo

Concluido el proceso de elaboración participativa del PGRHMA de Achaco, se puede afirmar que se han logrado los siguientes resultados:

Los actores y miembros del CGRHMA participaron activamente y contribuyeron en las diferentes etapas del proceso de formulación del PGRHMA.

Los actores y miembros del CGRHMA intercambiaron experiencias y desarrollaron una nueva base de conocimientos sobre la problemática de la gestión de recursos hídricos, las alternativas de solución, roles, funciones y compromisos colectivos e individuales que se aplicarán en la GIRH de la microcuenca de Achaco.

Se fortaleció y mejoraron las relaciones y la confianza entre los diferentes actores de la microcuenca. Así, se generaron las sinergias y condiciones de partida para la sostenibilidad de la gestión de los recursos hídricos en la microcuenca.

El proceso de elaboración del PGRHMA contribuyó a la formación de una práctica operativa como un documento de referencia para la articulación de las iniciativas de los actores públicos y privados en la GIRH de la microcuenca.

ACTIVIDAD	CANTIDAD	LUGAR	RESULTADO
“Taller de gestión integral de recursos hídricos en la microcuenca de Achaco”	1	Auditorio de la municipalidad de Limatambo	Se dio un primer encuentro con los actores y usuarios de agua del sector Achaco
“Taller de elección de participantes en la microcuenca de Achaco”	1	Auditorio de la municipalidad de Limatambo	Se eligió al comité de gestión Achaco
“Taller de sensibilización en gestión de recursos hídricos en la microcuenca de Achaco”	1	Auditorio de la municipalidad de Limatambo	se logró sensibilizar al público objetivo
“Curso en gestión pública y gestión participativa”	1	Auditorio de la municipalidad de Limatambo	Se logró realizar el curso con presencia de los pobladores haciendo de conocimiento la gestión pública del agua
“Curso en política nacional de gestión en recursos hídricos	1	Auditorio de la municipalidad de Limatambo	Se logró realizar el curso con presencia de los usuarios de agua haciendo de conocimiento la política nacional del agua

5. DESCRIPCIÓN GENERAL Y DIAGNÓSTICO DE LA MICROCUENCA ACHACO

5.1 INFORMACIÓN BÁSICA

5.1.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA CUENCA

Tiene sus nacientes entre los cerros Cruzjasa y Llamahuasi a los 4877.000 msnm., discurren sus aguas por quebradas empinadas siguiendo un rombo Norte-Sur hasta entregar sus aguas al río Colorado en la cota 2384.000 msnm. La cuenca abarca una extensión de 41.06 km² hasta su punto de salida a 2484.000msnm, cuyo perímetro alcanza a 48.53 km y su altura media se ubica a 3775 msnm y presenta una pendiente de 18.75 %.

El río Achaco desde sus nacientes recibe las aguas de numerosas quebradas entre la que mayor resalta es la quebrada Maccachihua que incrementa su caudal por los abundantes manantes que se ubican dentro de esta cuenca y por ende son los que dan el soporte hídrico al sistema de regulación natural del río.

5.1.1.1 UBICACIÓN

La microcuenca Achaco, presenta la siguiente ubicación geográfica política, hidrográfica, y administrativa:

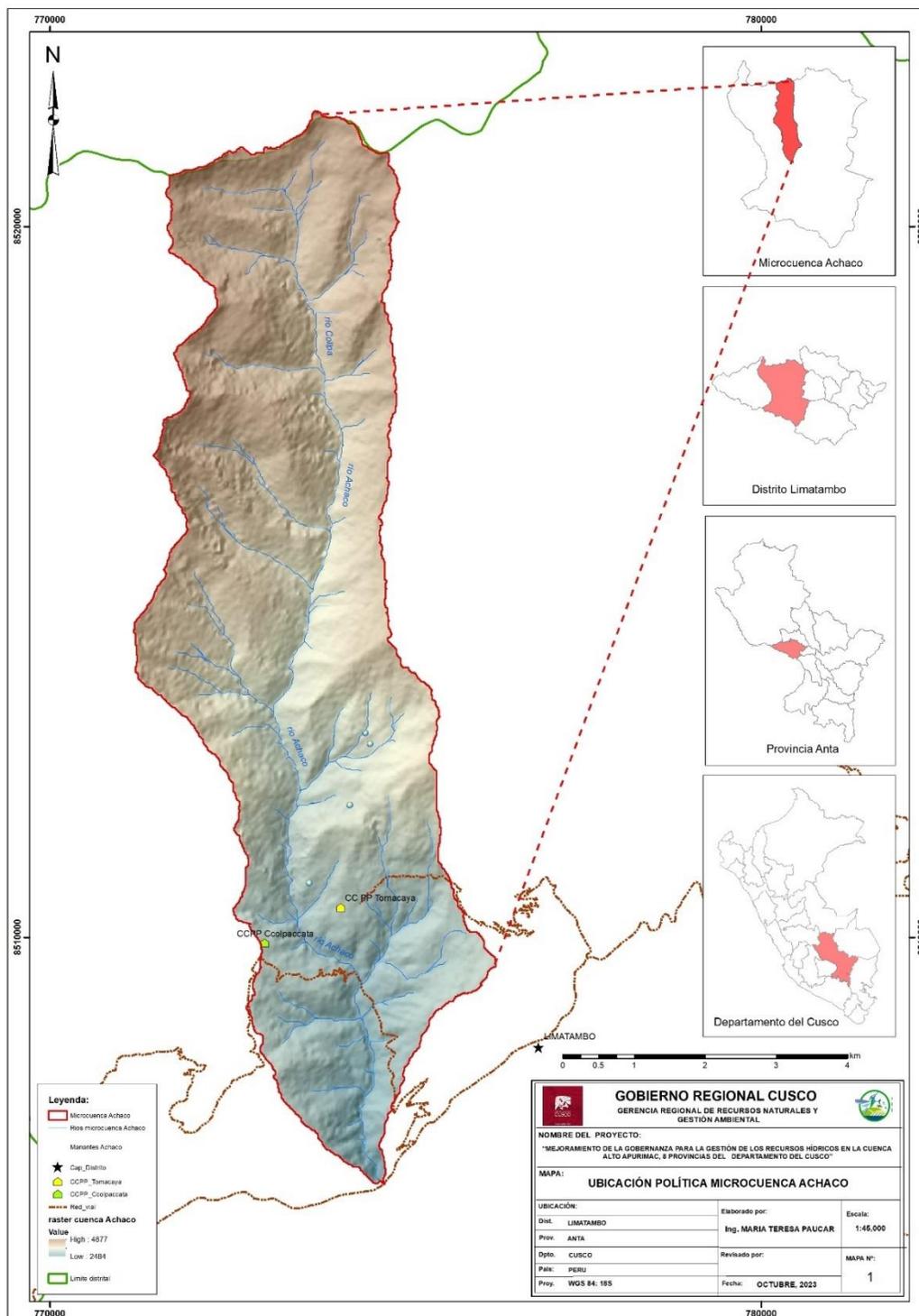
5.1.1.1.1 Ubicación Geográfica

Geográficamente la microcuenca Achaco, está ubicada entre las coordenadas geográficas; Latitud Sur de 13°21'37" a 13°29'46" y Longitud Oeste 76°26'43" a 72°29'42" y las correspondientes coordenadas UTM Datum WGS84 zona 18L, por el Norte 8'506,522 a 8'521,622 y por el Este 771,181 a 776,268, se encuentra localizada en la parte oriental de la región Lima, con una variación altitudinal de 2484 a 4877 msnm.

5.1.1.1.2 Ubicación Política

La microcuenca de Achaco, se encuentra ubicada políticamente en el distrito de Limatambo, en la provincia de Anta perteneciente al departamento de Cusco.

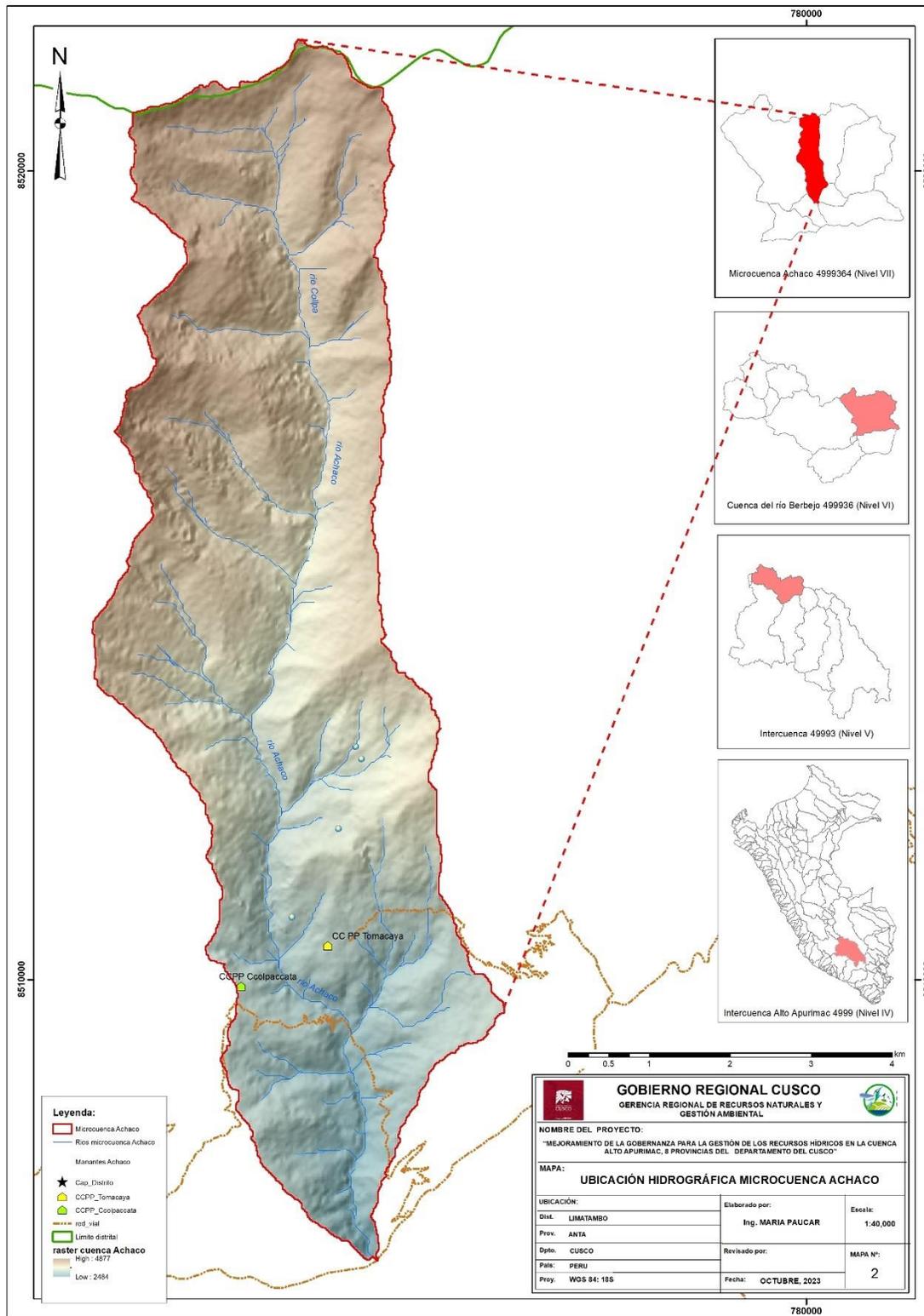
Figura 1: Mapa de ubicación política de la microcuenca Achaco



5.1.1.1.3 Ubicación Hidrográfica

Hidrográficamente, se encuentra ubicada dentro de la cuenca del río Colorado, la cual a su vez pertenece a la intercuenca hidrográfica del río Alto Apurímac.

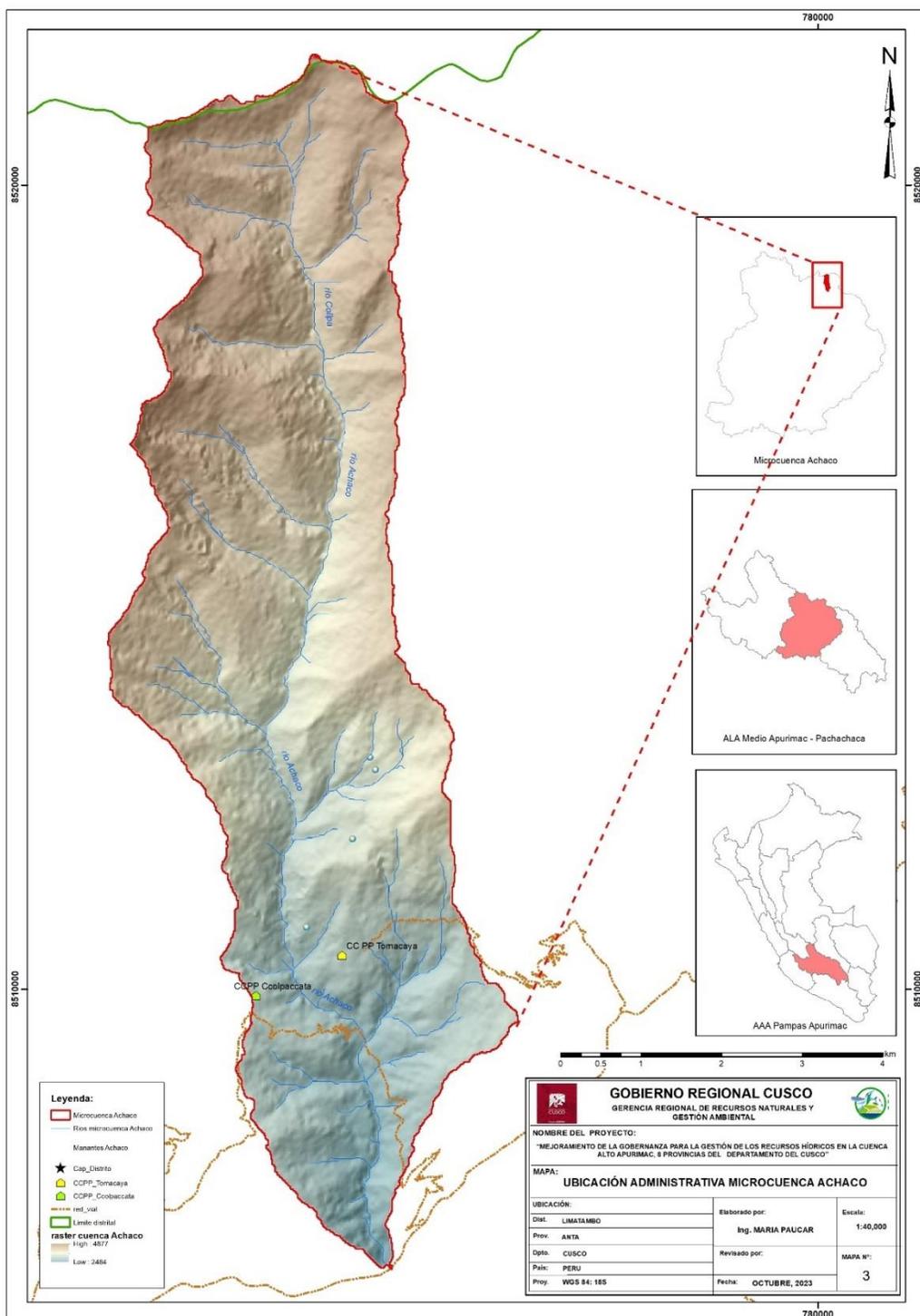
Figura 2: Mapa ubicación hidrográfica de la microcuenca Achaco



5.1.1.1.4 Ubicación Administrativa

La entidad administrativa que regula el uso de los recursos hídricos en la microcuenca Achaco es la Administración Local de Agua Medio Apurímac - Pachachaca, perteneciente a la Autoridad Administrativa del Agua XI Pampas - Apurímac.

Figura 3: Mapa de ubicación administrativa de la microcuenca Achaco



5.1.1.2 VÍAS DE COMUNICACIÓN - ACCESOS

El acceso al ámbito del proyecto es mediante la vía principal a través de la carretera asfaltada entre Nazca – Abancay - Cusco – Puno. En la vía longitudinal de la Sierra Sur (PE-3S), en el Km 890, se ubica el distrito de Limatambo, cuyo tramo entre Cusco - Limatambo es de 78 km ver Gráfico N° 11. A partir del Poblado de Limatambo, se cuenta con 02 trochas carrozables hacia las comunidades presentes en la microcuenca como se muestra en el cuadro 1.

Figura 4: Red Vial nacional y departamental



Cuadro 1: Distancia y tiempo por tramos desde Lima hasta la zona del proyecto

Nº	TRAMO LIMATAMBO A	VIA	DISTANCIA (km)	TIEMPO APROX. (min)
1	Comunidad Ccollpaccata	Afirmada	12	30
2	Comunidad Tomacaya	Afirmada	10	25

5.1.1.3 ASPECTOS SOCIO-ECONÓMICOS

5.1.1.3.1 POBLACIÓN POR DISTRITO Y COMUNIDADES

El distrito de Limatambo según el Censo de Población y Vivienda del año 1993, tenía una población de 8,413, de los cuales 4,382 eran varones y 4,031 eran mujeres. Para el Censo de Población y Vivienda del año 2017, el distrito de Limatambo, tiene una población que disminuye a 8,051 habitantes, de los cuales 4,006 son varones y 4,045 son mujeres. Lo que refleja que hay una disminución en la tasa de crecimiento demográfico del 0.18%. (Ver tabla)

Cuadro 2: Población por distrito

AÑO	POBLACION TOTAL		
	TOTAL	VARONES	MUJERES
1993	8,413	4,382	4,031
2007	9,076	4,766	4,310
2017	8,051	4,006	4,045
2023(1)	7,959	3,896	4,063
T/C %(93 - 17)	-0.18	-0.37	0.01

5.1.1.3.2 POBLACIÓN POR COMUNIDADES

La Comunidad de Ccollpaccata tiene 420 personas y la Comunidad de Tomacaya, 340 personas.

Cuadro 3: Población por comunidades

N ^a	CATEGORIA	ANEXOS/SECTORES	FAMILIAS	MIEMBROS/ FAMILIA	TOTAL
1	Comunidad de Tomacaya	Tomacaya	85	4	340
2	Comunidad de Vista Alegre de Ccollpaccata	Ccollpaccata	70	6	420
Total			155		760

Fuente: Padrones actualizados

5.1.1.3.3 MIGRACIÓN

En el ámbito de estudio se producen migraciones generalmente de tipo definitivo y muy poco de forma temporal, principalmente por los hijos y con menor frecuencia de los padres, puesto que las actividades agrícolas no les otorga tiempo como para migrar a estos últimos, el fenómeno de la migración en esta parte se produce principalmente en el segmento joven, tanto varones como mujeres, entre los 15 y a 30 años de edad, las causas comunes, tiene que ver con la falta de oportunidades de empleo, la baja rentabilidad del sector agropecuario, así como la carencia de centros de educación superior, entre otros.

Cuadro 4: Migración de padres e hijos

No	COMUNIDAD Y/O ASOCIACION DE PROD. Y AGRIC.	LUGAR MIGRACION HIJOS	MIGRACION PADRES
1	Comunidad de Ccollpaccata	Lima , Cusco, Arequipa , Tacna, Chala., Andahuaylas	No
2	Comunidad de Tomacaya	Lima, Cusco, Andahuaylas , Quillabamba	No

Fuente: Encuesta Socioeconómica UGVI - Plan MERISS INKA

5.1.1.3.4 PRINCIPALES ACTIVIDADES ECONÓMICAS Y FUENTES DE INGRESO FAMILIAR

Agricultura

La actividad principal desarrollado por la gran mayoría de pobladores es eminentemente agrícola; Sin embargo, es costumbre en la zona, la diversificación de sus actividades, ello se refleja en la práctica de la actividad pecuaria, aunque en pequeña escala que consiste en la crianza de ganado vacuno, ovino, porcino, crianza de animales menores como cuyes y gallinas, cuya producción es destinada prioritariamente al consumo familiar y en pequeña proporción para la comercialización en los mercados locales. En ese sentido se puede decir que la actividad agrícola es primordial y ocupa el mayor tiempo de las familias para asegurar la producción de campaña.

Ganadería

La actividad ganadera dentro del ámbito de estudio, representa una de las actividades complementarias de las familias, el ganado vacuno, es utilizado además para actividades agrícolas, como el arado de la tierra, de manera que constituye una herramienta de suma importancia para el proceso de producción de los diversos productos agrícolas. En otros casos las familias venden su ganado vacuno para atender asuntos previstos (matrimonio, construcción de vivienda, viajes, fiestas patronales) e imprevistos (accidentes, enfermedades).

Comercio

Las economías de las familias giran en torno a la actividad agrícola. Las transacciones comerciales se efectúan en las mismas Comunidad es a través de los acopiadores o intermediarios, quienes realizan la compra de productos como la papa, Tomate, Paltos, entre otros. En otros casos, para desarrollar sus transacciones comerciales, los agricultores acuden a las ferias y/o mercados.

Venta de mano de obra

En el ámbito del proyecto, la venta de mano de obra con retribución económica en dinero se da frecuentemente, por ejemplo, en las obras y programas sociales, que viene promoviendo y ejecutando la Municipalidad Distrital de Limatambo y algunas instituciones que trabajan esporádicamente en la zona, pero también, se practica el ayni y la minca formas de trabajo tradicional cooperativo y de reciprocidad que se

desarrolla entre los parientes y a nivel intrafamiliar. Asimismo, la venta de mano de obra se produce en los lugares de migración donde trabajan y se desempeñan en diversas actividades a cambio de un salario por el tiempo que permanecen. Por la poca especialización que tienen las personas mayormente son contratados para realizar actividades que requieren generalmente mano de obra no calificada o poco calificada.

Otras actividades

Existen en el ámbito de intervención algunas familias, jóvenes y jefes de hogar, que dedican su tiempo a actividades como choferes de taxis en el ámbito distrital y provincial, aprovechando la carretera asfaltada Limatambo Cusco, haciendo servicio a las diversas Comunidades Campesinas, Izcuchaca y la ciudad del Cusco.

5.1.1.3.5 SERVICIOS BÁSICOS

SALUD

Cuadro 5: Personal que Labora en los Establecimientos de Salud

PROFESIONALES Y TÉCNICOS	CENTRO DE SALUD LIMATAMBO
MÉDICO	2
ENFERMERA/O	4
OBSTETRA	4
ODONTÓLOGO SERUN	1
BIÓLOGO/A	1
PERSONAL TÉCNICO DE ENFERMERÍA	3
TÉCNICO EN SISTEMAS	1
TÉCNICO EN TRANSPORTE	1
TOTAL	17

Fuente: Centro de Salud de Limatambo.

SERVICIOS DE AGUA Y DESAGUE

Actualmente la Municipalidad Distrital de Limatambo, viene promoviendo las obras concernientes al saneamiento básico integral, en todas las Comunidades y anexos del distrito de Limatambo, en ese sentido la gran mayoría de Comunidades, anexos, sectores, Asociaciones de productores y/o agricultores del ámbito del proyecto cuentan con agua entubada con conexión domiciliaria en sus viviendas, algunas familias que aún no cuentan con este recurso, utilizan los manantes para su consumo humano, mientras que el servicio de desagüe, en las Comunidades no se cuenta con dicho servicio, pero las viviendas

disponen de letrinas con arrastre hidráulico y en otros casos letrinas secas. El cuadro siguiente nos grafica la situación actual en el tema de agua y desagüe en el ámbito de estudio:

Cuadro 6: Servicios de Agua y Desagüe

N°	COMUNIDAD/ASOCIACION	AGUA	DESAGUE
1	Comunidad Ccollpaccata	Si	Letrinas con arrastre hidráulico
2	Comunidad Tomacaya	Si	Letrinas con arrastre hidráulico

OMSABAR-Municipalidad Distrital de Limatambo

CENTROS EDUCATIVOS DENTRO DEL ÁMBITO DE ESTUDIO

Algunos indicadores referidos a este tema, realizados por el INEI, en el Censo de Población y Vivienda del año 2017 muestran que a nivel del distrito de Limatambo, la tasa de analfabetismo de 15 años a más en términos porcentuales es de 20.3%, lo que refleja que el sistema de educación en esta parte aún es insuficiente, aunque en los últimos años se han ido incrementando los centros de educación inicial, primaria y secundaria, el estado actual de estos centros educativos en el ámbito de estudio es el siguiente:

Cuadro 7: Personal que Labora en los Establecimientos de Salud

DISTRITO	Comunidad o Anexo	N° I.E.	GESTION	Total	ESTUDIANTES Varones	Mujeres	N° Docentes
NIVEL PRIMARIA							
LIMATAMBO	TOMACAYA	50798	PUBLICO	57	27	29	6
LIMATAMBO	CCOLLPACCATA	50835	PUBLICO	30	15	15	1
Total				87	42	44	7

Fuente: Base de datos UGEL Anta

ENERGÍA ELÉCTRICA

El Servicio de Energía Eléctrica, está presente en todas las Comunidades, Asociaciones de agricultores y/o productores, anexos del ámbito de estudio.

MEDIOS DE COMUNICACIÓN

En el área del proyecto existen cuatro radioemisoras bien definidas, que son; Radio Limatambo, su centro de operaciones se encuentra en la capital distrital, la emisora Pampacongá y Cardonpata por último la radio La Caribeña. Todas ellos difunden noticieros, música variada, saludos, musicales por cumpleaños, comunicados y mensajes a nivel local que son sintonizados en todo el ámbito las que llegan con mucha nitidez y efectividad. Se captan canales de señal abierta entre las que está ATV, TNP y Panamericana Televisión. También existe televisión por cable mediante antenas satelitales de empresas conocidas como Claro TV.

En telefonía, cuentan generalmente con telefonía celular de carácter nacional e internacional, en la actualidad, la telefonía celular está bien masificada entre la población del área de influencia del Proyecto, situación que facilita la comunicación a nivel local, además de la nacional e internacional.

ASISTENCIA AGROPECUARIA

La asistencia agropecuaria la viene dando principalmente por la Municipalidad distrital de Limatambo, a través de la Sub Gerencia de Desarrollo Económico, con su proyecto de fruticultura, forestación, mejoramiento genético del ganado, reproductores de vaquillonas, ovinos y cuyes. Así mismo otras instituciones vienen impulsando proyectos de asistencia técnica y capacitación en Horticultura, en riego por aspersión, producción de plantones forestales, asesoramiento y comercialización de la palta, entre otros.

5.1.1.4 CLIMATOLOGÍA

El clima dentro del ámbito de estudio está fuertemente influenciado por el relieve accidentado y la diferencia altitudinal que presenta la microcuenca. El análisis de las temperaturas se ha realizado a la altura media de la microcuenca. El comportamiento térmico a lo largo del año presenta una variación notable, presentándose generalmente temperaturas más bajas durante los meses de junio a agosto con presencia de heladas en las partes más altas, y las temperaturas más altas se presenta en los meses de septiembre a diciembre; esta variación se acentúa generalmente a medida que se asciende altitudinalmente.

La precipitación sobre la microcuenca, se inicia a partir del mes de setiembre a noviembre, considerándolos meses de transición, incrementándose las lluvias en mayor cantidad en los meses de diciembre a marzo y reduciéndose entre abril a mayo, considerando los meses secos desde junio a agosto. La precipitación media anual de la microcuenca a 3775 msnm, es de 866 mm Las lluvias que precipitan en el ámbito de la microcuenca son de carácter orográfico y convectivo, la primera se debe a la concentración de masas de agua en la cordillera oriental provenientes de la amazonia; la segunda es el producto del ciclo hidrológico de la cuenca; aunque en la realidad las lluvias que se presentan en esta zona de estudio están interrelacionadas entre estos dos tipos orográfico y convectivo, por efecto del enfriamiento de las masas en los andes peruanos.

Los pisos climáticos encontrados en las cuencas se dividen en seis, los mismos que se muestran en el cuadro 8.

Cuadro 8: Pisos Climáticos

REGION	SUBREGION	ALTITUD (msnm)	CLIMA	TEMP.MEDIA (°C)	PRECIP.MEDIA (mm)
ANDES	Yunga - Quechua	1000 - 3000	Templado subhúmedo	20	500
	Quechua - Suni	3000 - 4000	Frio o boreal	12	700
	Suni - Puna	4000 - 5000	Frigido o de tundra	6	700

Fuente: Elaborada por la ex Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales (ONERN).

Del análisis realizado al Cuadro 8, se ha encontrado que el clima más representativo para la microcuenca del proyecto le corresponde a la Región Andes Subregión Yunga-Quechua-Suni, cuyas altitudes se encuentran entre los 1000 hasta los 4000 msnm., y el clima representativo en estas zonas son el Templado Subhúmedo a frío o boreal, donde las temperaturas oscilan entre los 12°C a los 20°C y las precipitaciones totales anuales varían entre los 500mm a 700 mm.

5.1.2 INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA

La información requerida para el cumplimiento de los objetivos del estudio fue recopilada del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), información de las estaciones meteorológicas que se ubican dentro y alrededor de la cuenca (Cuadro 9), así como las estaciones hidrométricas consideradas (Cuadro 11).

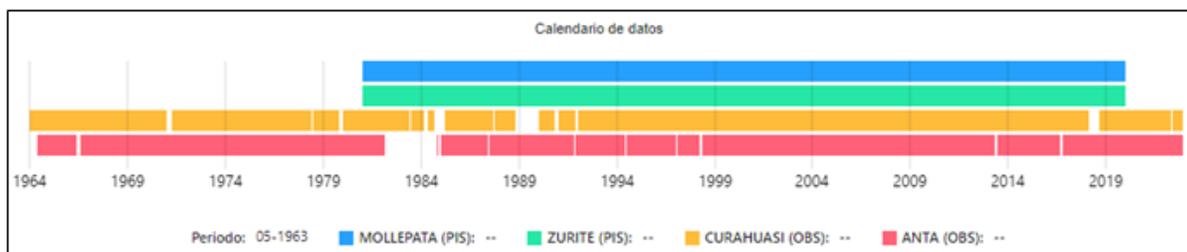
5.1.2.1 Información meteorológica

Cuadro 9: Estaciones Meteorológicas utilizadas para proyecto

ESTACIONES UTILIZADAS										
Nº	ESTACIONES	PRECIPITACIÓN		TEMPERATURA			HUMEDAD RELATIVA (%)	HORAS DE SOL	EVAPORACION (mm)	VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)
		PRECIPITACION TOTAL MENSUAL (mm)	PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS (mm)	MAXIMA MEDIA (°C)	MEDIA (°C)	MINIMA MEDIA (°C)				
1	ANTA	x	x	x	x	x	x	x	x	x
2	CURAHUASI	x	x	x	x	x	x	x	x	x
3	MOLLEPATA	x	x	x	x	x	x	x	x	x
4	ZURITE	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 10: Longitud de registro histórico de la información pluviométrica disponible



Para el presente sector se han seleccionado las estaciones de Anta Ancachuro, Curahuasi Zurite y Mollepata, se ha seleccionado el periodo de 1990 a 2022.

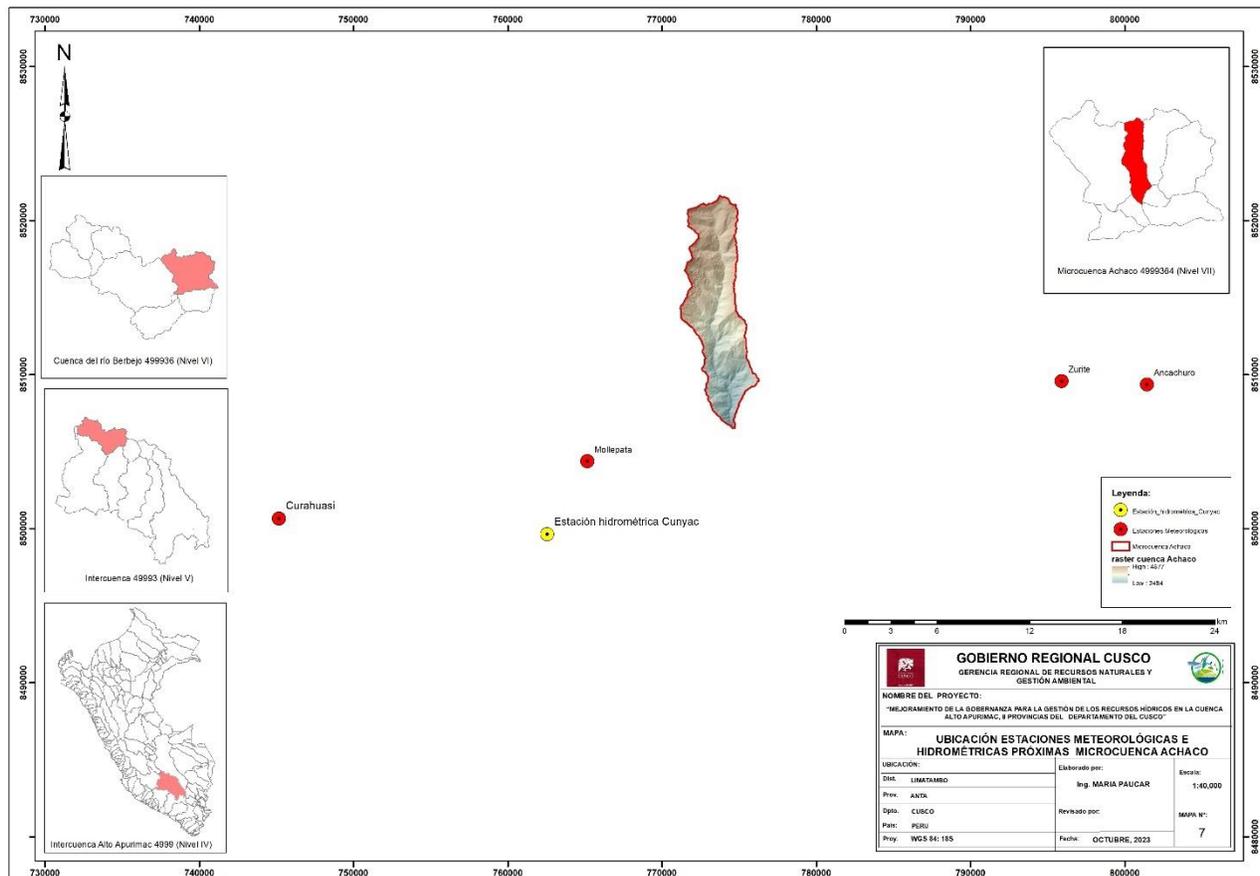
5.1.2.2 Información hidrométrica

La microcuenca de Achaco que pertenece a la cuenca del río Berbejo no cuenta con información de caudales, por lo que para la calibración del modelo hidrológico se deberá utilizar información de la estación hidrométrica aguas abajo, correspondiente a la estación Cunyac.

Cuadro 11: Estaciones hidrométricas utilizada para proyecto

Nro.	Estación	Tipo	Cota msnm	Ubicación		Distrito	Provincia
				Latitud	Longitud		
1	Cunyac	Hidrométrica	1850	13° 33' 36"	72° 34' 26"	Mollepata	Anta

Figura 5: Estaciones Meteorológicas e hidrométricas utilizadas para proyecto



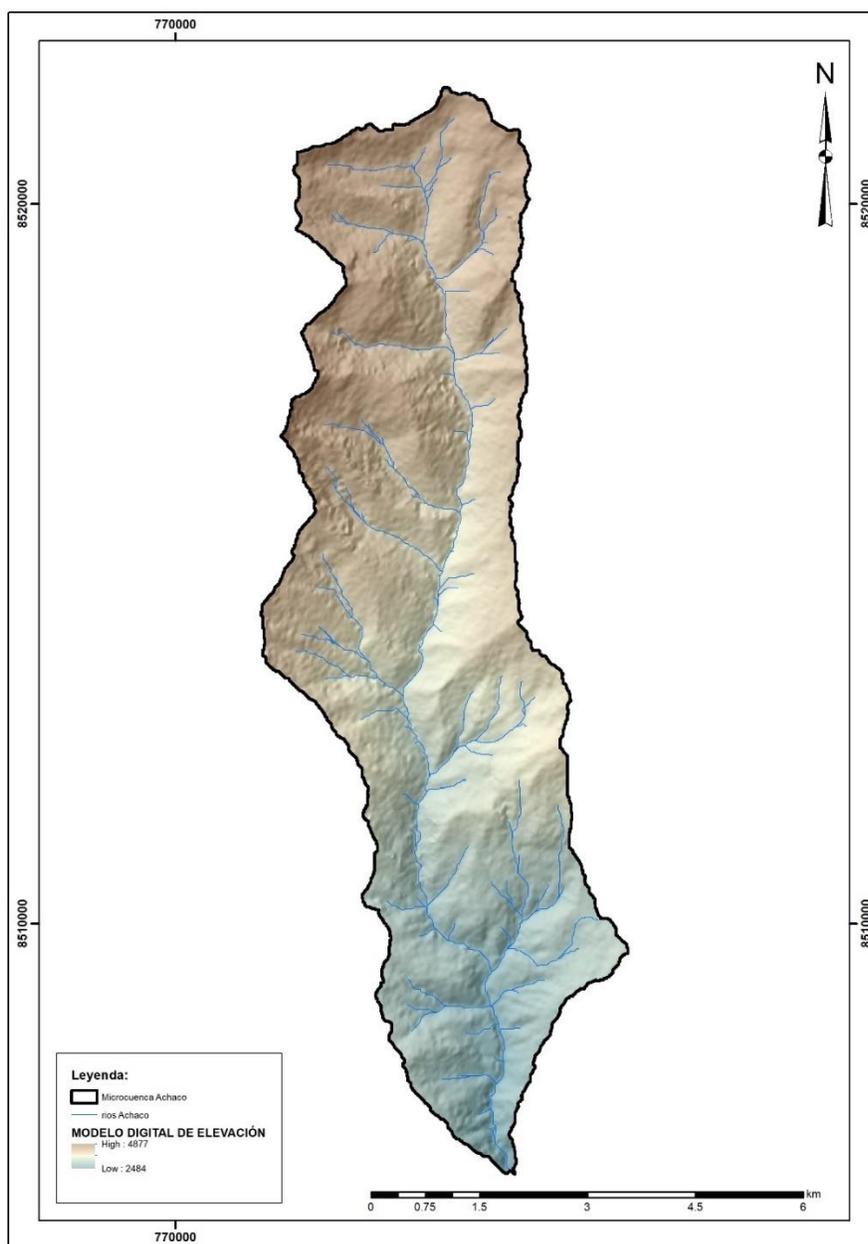
5.1.3 INFORMACIÓN BÁSICA Y UBICACIÓN CARTOGRÁFICA

5.1.3.1 Información Cartográfica

Para la identificación y delimitación de la microcuenca, como caracterización de los parámetros geomorfológicos y otros usos cartográficos, se utilizó la siguiente información cartográfica:

- DEM ALOS PARSAL de 12.5 m de resolución. Ver Figura 6

Figura 6: Cartografía de la microcuenca Achaco



- Mapas Temáticos de la zona de estudio: Cobertura vegetal, suelos, geología, etc.

Figura 7: Mapa de cobertura vegetal de la microcuenca Achaco.

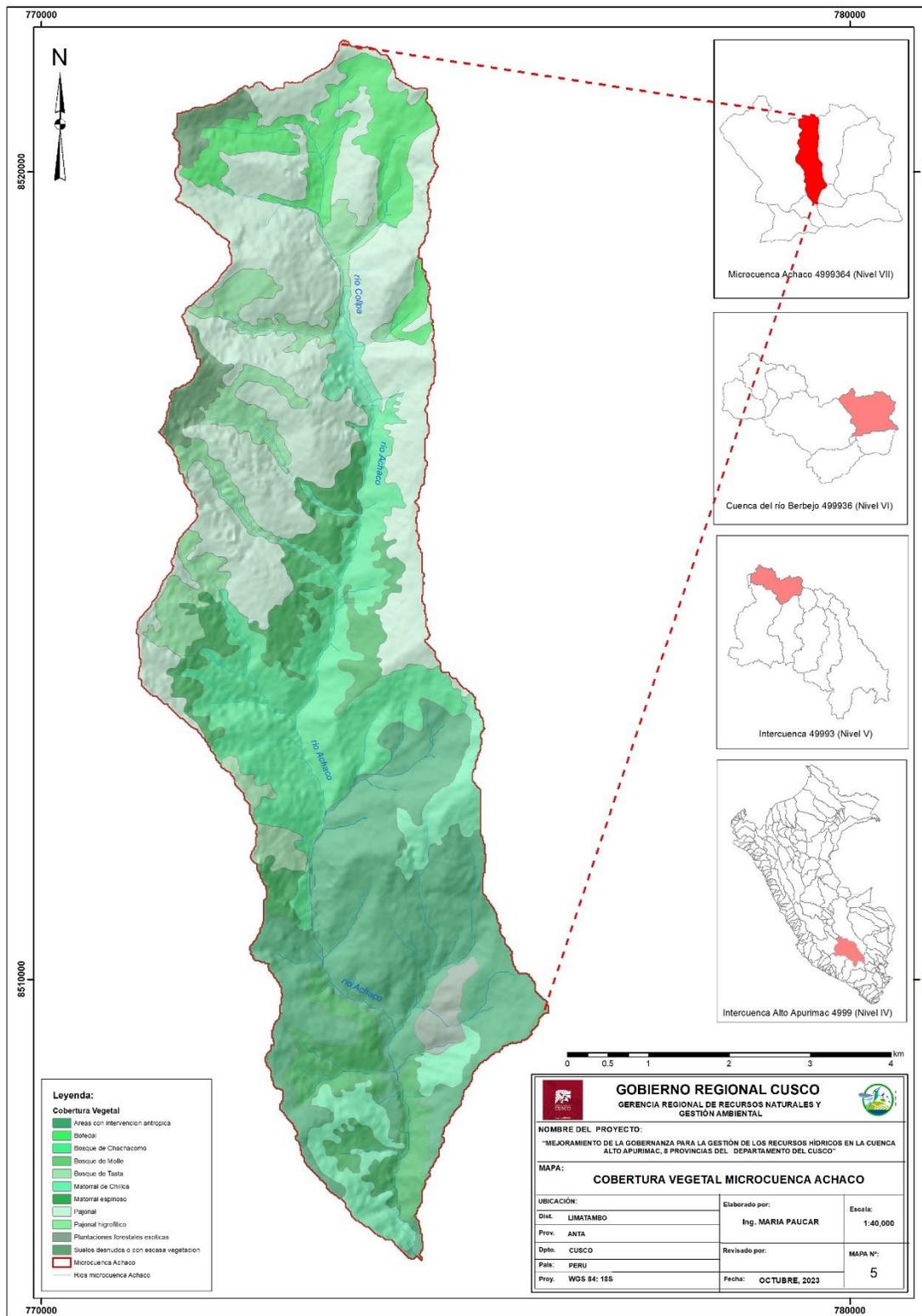
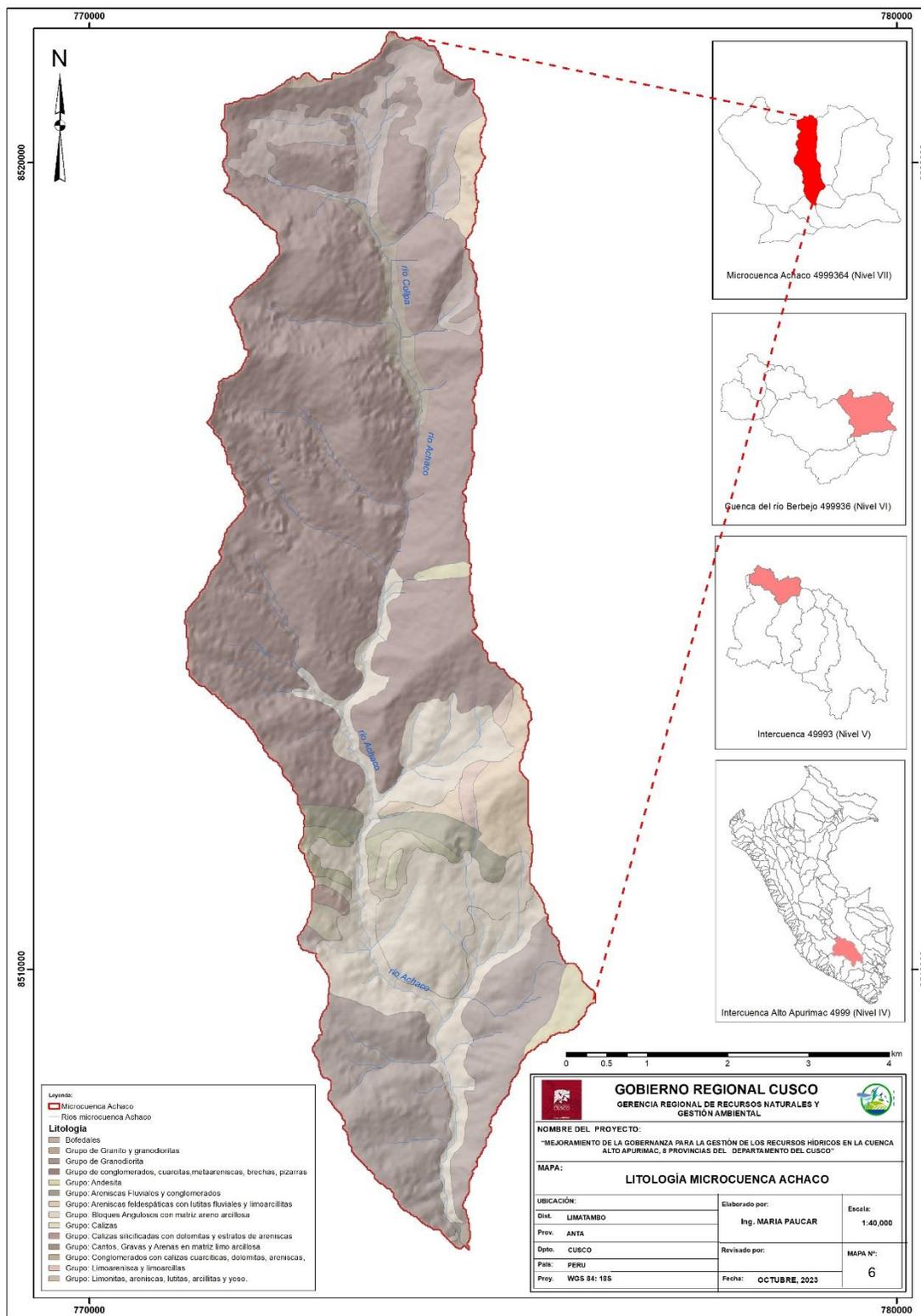


Figura 8: Mapa litológico de la microcuenca Achaco.



Elaboración propia – FOT Cusco

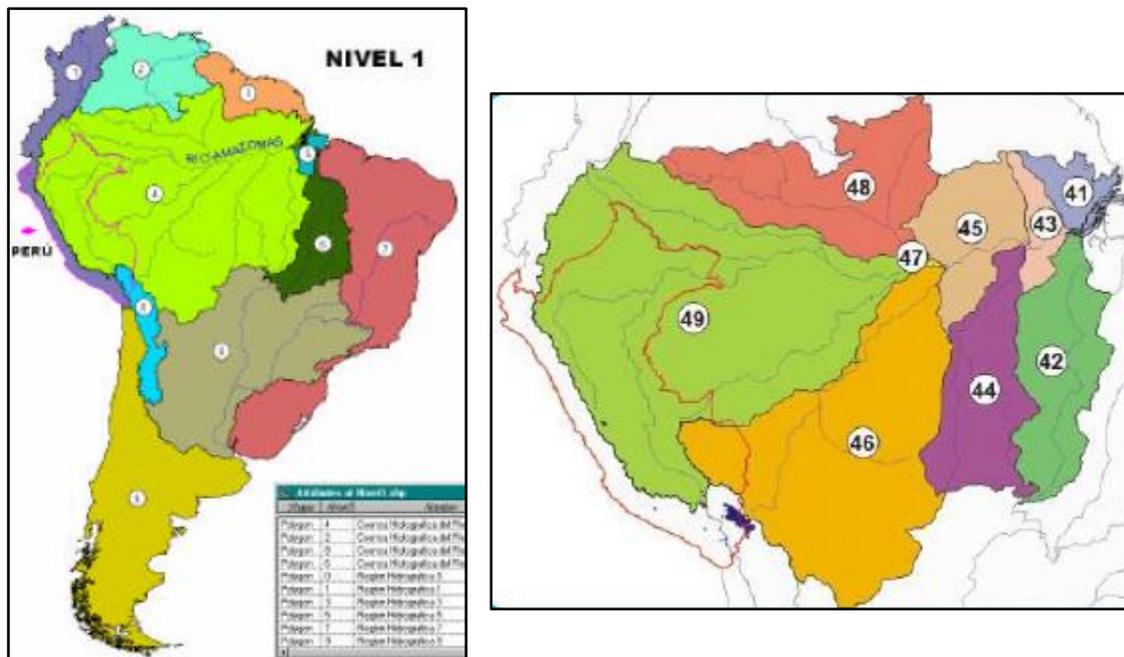
5.2 DELIMITACIÓN HIDROGRÁFICA – MÉTODO PFASTETTER

Para la delimitación y codificación hidrográfica de la microcuenca en estudio, se ha aplicado la metodología Pfafstetter, identificando las cuencas e intercuenca existentes mediante el uso de modelos de elevación digital (DEM) a 90 m, 30 m y 12.5 m de resolución y cartas nacionales (IGN) a escalas 1/100,000.

5.2.1 DELIMITACIÓN

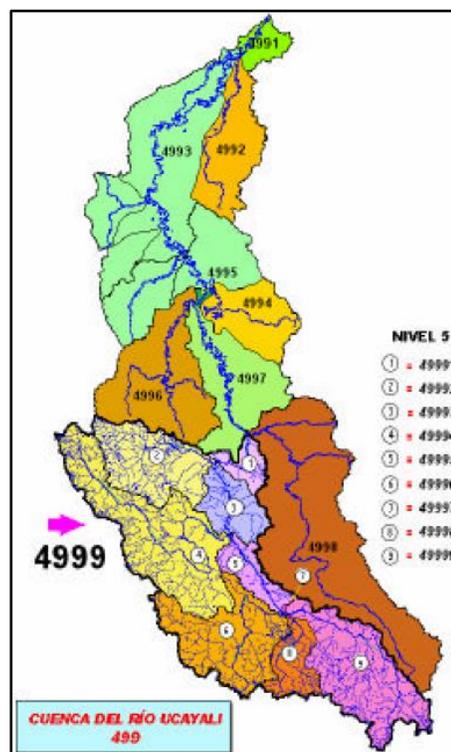
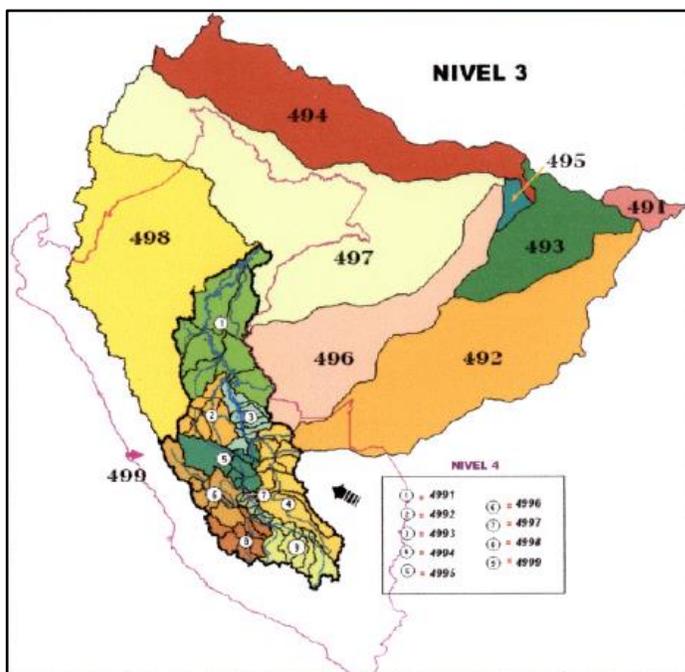
El presente estudio inicia el análisis de la codificación y delimitación de las cuencas a partir de la vertiente del Amazonas la misma que se encuentra dentro de la región hidrográfica de Código 4 y Nivel 1, en el Nivel 2 el Perú está cubierta por dos unidades hidrográficas de Códigos 49 y Código 46; correspondiéndole a la zona de estudio a la región hidrográfica de Código 49 de Nivel 2, mostrándose ambas cuencas hidrográficas en Figura 9. En el Nivel 3 se ubica la Intercuenca del río Ucayali de Código 499 y en el Nivel 4 se ubica la intercuenca Alta del río Apurímac de Código 4999, como se ve en ambas cuencas en la Figura 10. En el Nivel 5 se ubica la Intercuenca Bajo Alto Apurímac de Código 49993, seguida de la cuenca del río Bermejo-Colorado de código 499936, las cuales se ven en la Figura 11. Las cuencas e intercuenca de Nivel 7 se ven en la Figura 12 y las cuencas e intercuenca de Nivel 8 que se pueden apreciar en la Figura 13 y la relación codificada se aprecia en el Cuadro N° 12.

Figura 9: Cuenca Hidrográfica del Río Amazonas Nivel 1 de Código 4 y la Intercuenca de la Región Hidrográfica Nivel 2 de Código 49



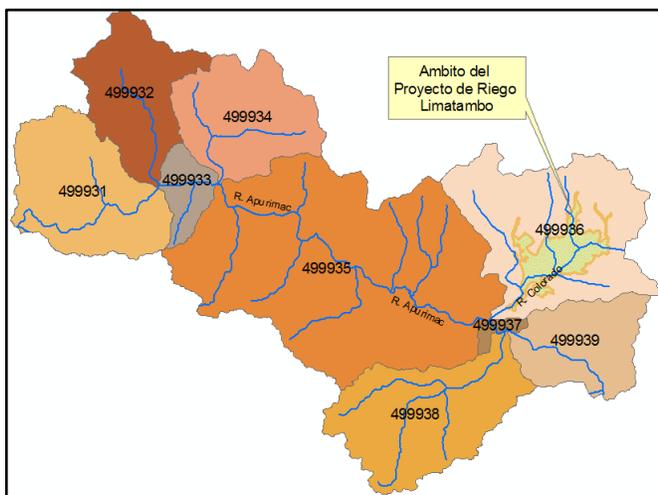
Fuente: Codificación de Cuencas en el Perú (ANA)

Figura 10: Intercuenca del río Ucayali de Código 499 Nivel 3, Intercuenca Alta del río Apurímac de Nivel 4 y Código 4999



Fuente: Codificación de Cuencas en el Perú (ANA)

Figura 11: Intercuenca Bajo Alto Apurímac Código 49993 Nivel 5, Cuenca del río Colorado Código 499936 Nivel 6



Fuente: Codificación de Cuencas en el Perú (ANA)

Figura 12: Cuencas e Intercuencas de Código 4999361 a Código 4999369 (Nivel 7)

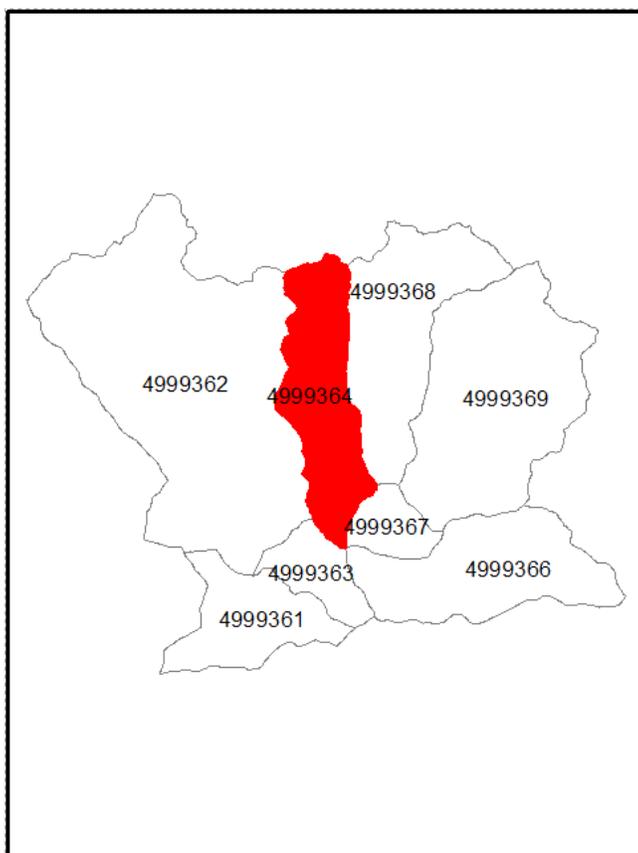
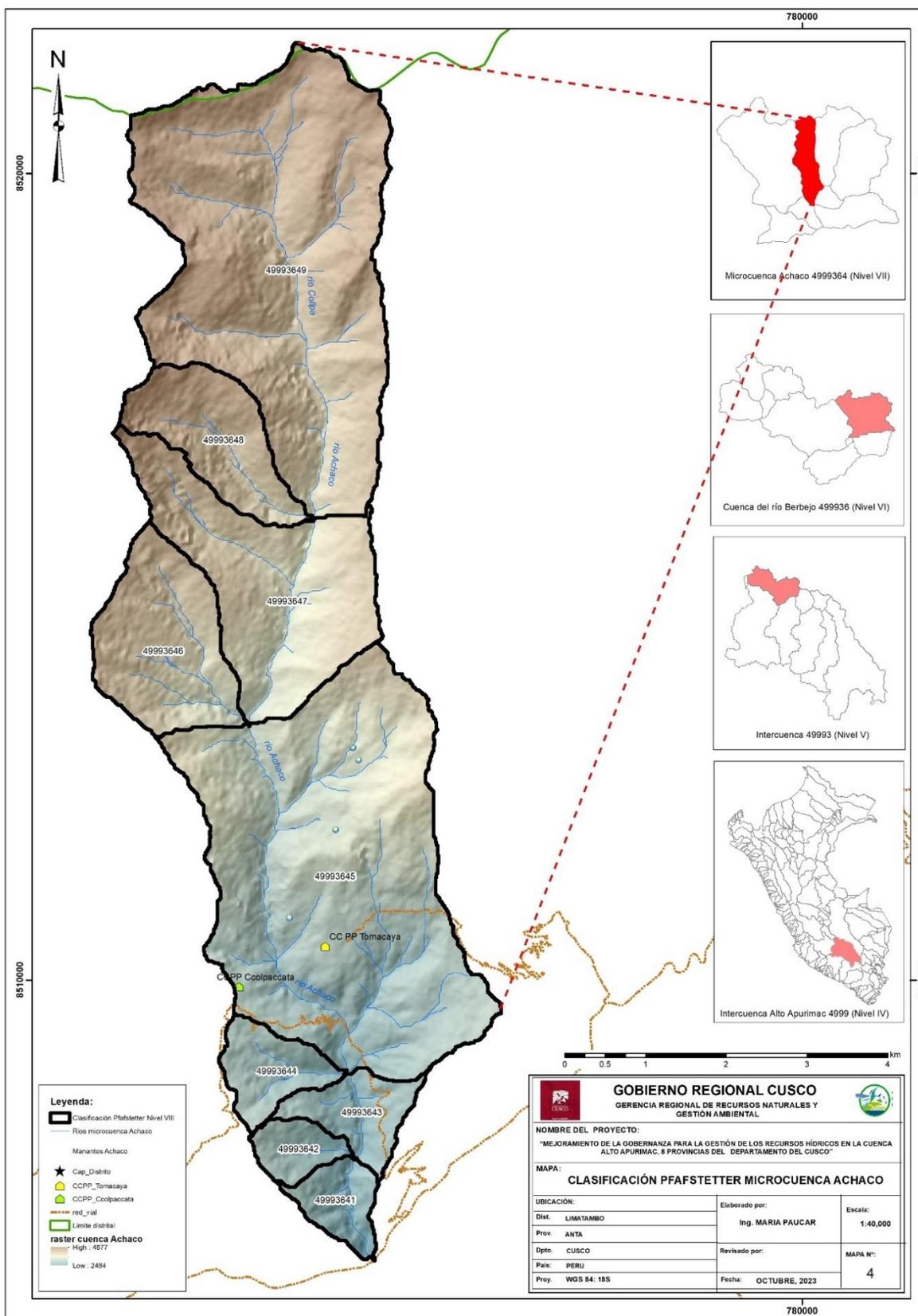


Figura 13: Intercuenca del Río Achaco Medio código 49993664 de (Nivel 8)



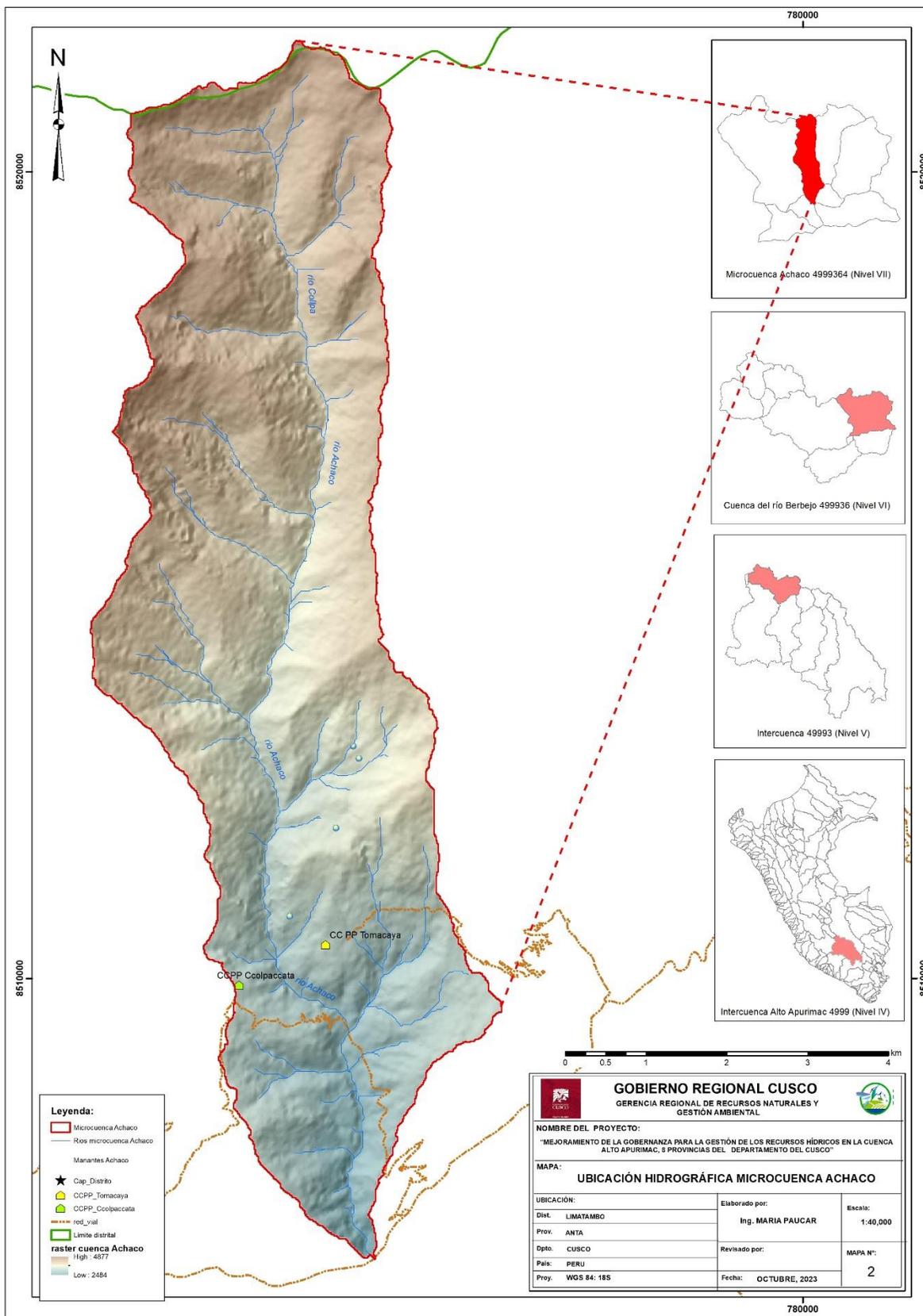
Cuadro 12: Codificación de Cuencas/Intercuencas Ámbito del Estudio según Pfafstetter desde Nivel 1 hasta Nivel 8

ITEM	VERTIENTE	NOMBRE CUENCA / INTERCUENCA	REGION HIDROGRAFICA NIVEL	UNIDAD HIDROGRAFICA CODIGO
1	Del Amazonas	Río Amazonas	01	4
2		Amazonas Alto	02	49
3		Río Ucayali	03	499
4		Alto Apurímac	04	4999
5		S/N	05	49993
6		Río Bermejo-Colorado	06	499936
7		Río Achaco	07	4999364

5.2.2 HIDROGRAFÍA

Hidrográficamente, la microcuenca Achaco se encuentra ubicada dentro de la cuenca del río Berbejo, la cual a su vez pertenece Unidad Hidrográfica 4999 correspondiente a la cuenca del Alto Apurímac que a su vez corresponde a la cuenca hidrográfica del río Ucayali como se expone en la Figura 14.

Figura 14: Mapa de ubicación de la microcuenca Achaco



5.2.2.1 GEOMORFOLOGÍA DE LA MICROCUENCA

GENERALIDADES

La cuenca hidrográfica es toda área drenada, por un curso de agua o por un sistema de cursos de agua, cuyas aguas concurren en un punto de salida (Viessman, Harbaugh y Knapp ,1977) en otras palabras se puede decir que cuenca de drenaje, es el área que contribuye a la escorrentía y que proporciona todo o parte del flujo del cauce principal y de sus tributarios.

Las características físicas y funcionales de una cuenca hidrográfica pueden ser definidas como diversos factores que determinan la naturaleza de descarga de un curso de agua, cuyas aguas concurren en un punto de salida.

El conocimiento de esas características es muy importante por las siguientes razones:

- a) Para establecer comparaciones entre cuencas hidrográficas
- b) Para interpretar de forma clara los fenómenos pasados
- c) Para efectuar previsiones de descarga en un río

Existen factores que determinan la naturaleza de descarga de los ríos que forman una cuenca, estos factores pueden ser agrupados en dos grupos factores que dependen de las características físicas y de uso de la cuenca hidrográfica o factores fisiográficos, y factores que dependen del clima o factores climáticos.

FACTORES FISIOGRÁFICOS

a) Límite de la cuenca

Toda cuenca está limitada por una línea que une los más altos puntos topográficos, llamada divisoria. La divisoria sigue una línea rígida alrededor de la cuenca, atravesando el curso del agua solamente en el punto de salida, y uniendo los puntos de cota máxima entre cuencas.

b) Área de la cuenca

El área de la cuenca o drenaje es el área comprendida dentro de los límites de la divisoria de aguas. El área de la cuenca es el elemento básico para el cálculo de otras características físicas. Cabe resaltar que cuencas con la misma área pueden tener distintos comportamientos hidrológicos. Para la delimitación del área de la cuenca se utilizó el programa ArcGIS.

c) Forma de la cuenca

La forma de una cuenca es importante ya que influye en el valor del tiempo de concentración, definido como el tiempo que tarda el agua desde los límites de la cuenca para llegar a la salida de la misma. Existen varios índices para determinar la forma de la cuenca buscando relacionarlas con formas geométricas conocidas, las usadas en este trabajo son:

o **Coefficiente de compacidad (K_c)**

Conocido también como índice de Gravelius (K_c), es la relación entre el perímetro de la cuenca, y la circunferencia de un círculo de área igual al de la cuenca.

Este valor adimensional que varía con la forma de la cuenca independientemente de su tamaño, cuanto más irregular es la cuenca, mayor será el coeficiente de compacidad

$$K_c = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Donde:

A: Área de la cuenca [km^2]

P: Perímetro de la cuenca [km]

Un coeficiente mínimo igual a la unidad correspondería a una cuenca circular. La tendencia para mayores caudales, en la cuenca, será más acentuada cuando el coeficiente sea más próximo a la unidad

o **Factor forma de la cuenca (K_f)**

Es la relación entre el ancho medio y la longitud axial de la cuenca. La longitud axial (L) se mide siguiendo el curso de agua más largo, desde la desembocadura hasta la cabecera de la cuenca.

$$K_f = \frac{A}{L^2}$$

Dónde:

A: Área de la cuenca [km^2]

L: Longitud del curso más largo [km]

El factor forma constituye otro índice indicativo de la mayor o menor tendencia de avenidas en una cuenca. Una cuenca con K_f bajo, esta menos sujeta a inundaciones que otra del mismo tamaño pero con mayor factor de forma.

Esto se debe al hecho de que en una cuenca estrecha y larga, hay menos ocurrencia de lluvias intensas, cubriendo simultáneamente toda su extensión y también la contribución de todos los tributarios alcanza el flujo principal, en varios puntos del mismo

o **Rectángulo equivalente**

Introducido por hidrólogos franceses con el fin de comparar mejor la influencia de las características de la cuenca sobre la escorrentía superficial. Consiste en un rectángulo de área igual al de la cuenca de la mayor y menor "L" y "l", respectivamente con curvas de nivel paralelas al lado menor respetándose la hipsometría natural de la cuenca, para el cálculo de los lados se aplican las siguientes formulas:

$$L = \frac{K_c \sqrt{A}}{1.12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_c} \right)^2} \right]$$

Donde:

- A : Área de la cuenca [Km²]
- L : Lado Mayor del Rectángulo [Km]
- l : Lado Menor del Rectángulo [Km]
- K_c : Coeficiente de Compacidad

d) **Sistema de drenaje**

El sistema de drenaje de la cuenca está constituido por el cauce principal y sus tributarios; el estudio de sus ramificaciones y el desarrollo del sistema es importante porque indica la velocidad con que le agua deja la cuenca.

o **Densidad de drenaje (D_d)**

Es un indicador del grado de desarrollo de un sistema de drenaje, esta expresado por, la relación entre la longitud total (L), de los cursos de agua (sean estas efímeras, intermitentes, o perennes), de la cuenca y el área total (A)

$$D_d = \frac{L}{A}$$

Datos:

- L : Longitud total de corrientes [km]
- A : Área total de la Cuenca [km²]

La densidad de drenaje varía inversamente con la longitud de la corriente y por lo tanto da una indicación de la eficiencia del drenaje, se puede afirmar que el índice varía de 0.5 km/km² para cuencas con drenaje pobre, y de 3.5 para cuencas bien drenadas

e) **Características del relieve**

El relieve de la cuenca tiene una gran influencia sobre los factores meteorológicos e hidrológicos, pues la velocidad de la escorrentía superficial es determinada por la pendiente, mientras que la temperatura, precipitación y evaporación son funciones de la altitud, es muy importante por lo tanto, la determinación de las curvas características de relieve de una cuenca

○ **Pendiente de la cuenca**

La pendiente de la cuenca controla, la velocidad con que se da la escorrentía superficial, afectando el tiempo que tarda el agua para concentrarse en los lechos fluviales.

La magnitud de los picos de avenida y la mayor o menor oportunidad de infiltración y propensión a la erosión de los suelos depende de la rapidez con que ocurre la escorrentía sobre los suelos de la cuenca.

○ **Elevación media de la cuenca**

La variación de la altitud y la elevación media de una cuenca, son también importantes por la influencia que ejercen sobre la precipitación, sobre las pérdidas de agua por evaporación y transpiración y, consecuentemente, sobre el caudal medio, variaciones grandes de altitud conllevan diferencias significativas en la precipitación.

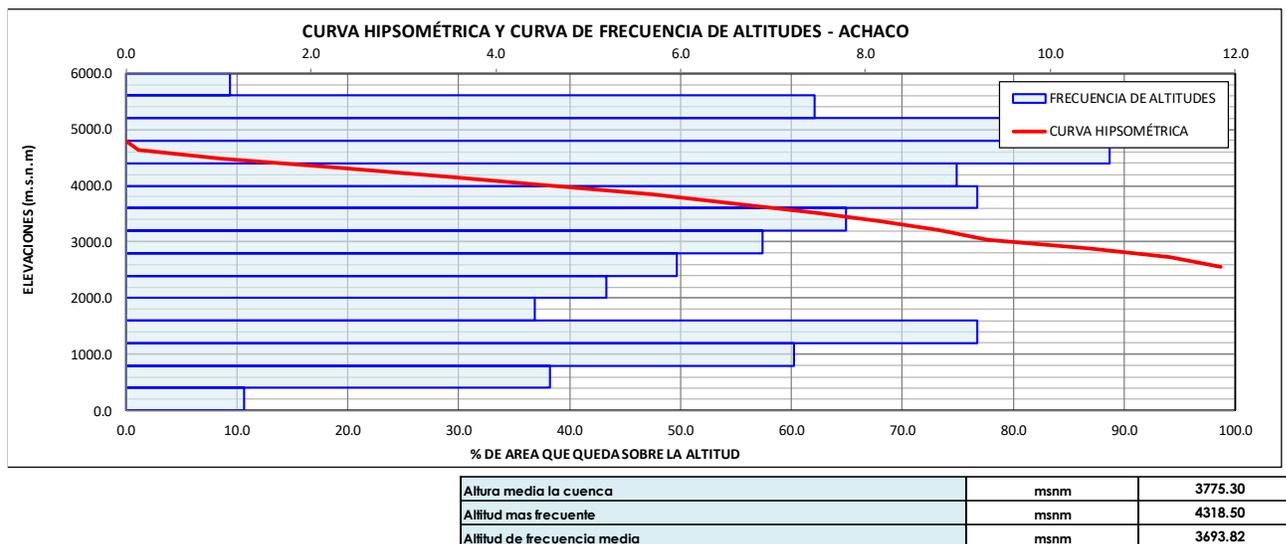
La elevación media de la cuenca se encuentra mediante la curva hipsométrica, para un porcentaje del 50% área que se encuentra sobre esta altura y el 50% de área que se encuentra bajo esta altura.

○ **Curva hipsométrica**

Es la representación gráfica del relieve medio de una cuenca. Representa el estudio de la variación de la elevación a diferentes superficies de la cuenca con referencia al nivel medio del mar. Esta variación puede ser indicada mediante un gráfico que muestra el porcentaje del área de drenaje que existe por encima o por debajo que existe para diferentes elevaciones o cotas.

La curva hipsométrica tiene utilidad de ser un indicador de la altura media de la cuenca, en este caso se proyecta en el eje de las abscisas el porcentaje de área que queda sobre la altitud media que correspondería al 50% del área total de la cuenca.

Figura 15: Curva hipsométrica microcuenca Achaco



○ **Pendiente del cauce principal**

La pendiente del curso del agua influye en los valores de descarga de forma significativa, así cuanto mayor sea la pendiente mayor será la velocidad del flujo y más pronunciados y estrechos serán los hidrogramas de avenidas.

A continuación, se muestran los principales parámetros geomorfológicos de la microcuenca Achaco.

Cuadro 13: Factores geomorfológicos de la microcuenca Achaco

PARAMETROS		UND	NOMENCLATURA	ACHACO
PARÁMETROS GEOMÉTRICOS	Área de la cuenca	Km ²	A	41.06
	Perímetro	Km.	P	48.53
	Centro de Gravedad de la cuenca (UTM)	m	ESTE (X)	773,614.1
		m	NORTE (Y)	8,514,395.8
PARÁMETROS DE FORMA	Índice de Compacidad o Coeficiente de Gravelius (Kc)	s/U	$Kc = 0.282 P / (A)^{1/2}$	2.14
	Longitud paralela al curso más largo	Km.	LB	14.24
	Ancho Medio	Km.	$AM = A / LB$	2.88
	Factor de Forma (Kf)	s/U	$Kf = AM / LB$	0.20
	Relación de Elongación (Re)	s/U	$R=1.1284(A)^{1/2}/LB$	0.51
	Radio de Circularidad (Rci)	s/U	$4 \pi A/P^2$	0.22
	Rectangulo Equivalente			
	Lado Mayor	Km.	$L = Kc*(\pi*A)^{1/2}/2*(1+(1-4/\pi*Kc^2))$	20.88
	Lado Menor	Km.	$B= At / L$	1.97
PARÁMETROS DE LA RED HIDROGRÁFICA	LONGITUD DE CORRIENTES DE ACUERDO AL GRADO DE RAMIFICACIÓN	Km.	Orden 1	37.64
		Km.	Orden 2	15.63
		Km.	Orden 3	8.86
		Km.	Orden 4	8.11
	Long. Total de corrientes	Km.	Lt	70.24
	NÚMEROS DE RIOS PARA LOS DIFERENTES GRADOS DE RAMIFICACIÓN	s/U	Orden 1	83.00
		s/U	Orden 2	17.00
		s/U	Orden 3	2.00
		s/U	Orden 4	1.00
	Número Total de corrientes		Nº Ríos	103.00
	Longitud del río principal	Km.	Lr	16.67
Densidad de drenaje	Km./Km ²	$Dd = Lt / At$	1.71	
Pendiente media del cauce principal	m/m	$Sm=(Hmáx-Hmín)/Lr$	0.12	
PARÁMETROS DE RELIEVE	Pendiente de la cuenca	%	S	18.75
	Pendiente cuenca (Criterio del Rectangulo Equivalente)	m/m	$Ic =Ht / B$	1.22
	Desnivel total de la cuenca	Km.	Ht	2.39
	Desnivel total del río	m.	Htm	1,923.23
	Altura máxima cuenca	m.s.n.m.	Hcu	4,877.00
	Altura máxima río	m.s.n.m.	Hmáx	4,407.23
	Altura mínima río	m.s.n.m.	Hmín	2,484.00
	Altura media de la cuenca	m.s.n.m.	Hm	3,775.30

6. GESTIÓN DEL AGUA

6.1 DISPONIBILIDAD DEL AGUA

6.1.1 ESTUDIO DE FACTORES CLIMÁTICOS DE LA MICROCUENCA

Teniendo como base la información disponible de las 04 estaciones del entorno regional, se caracterizaron los principales parámetros meteorológicos en EL ÁREA DE ESTUDIO: Temperatura, Humedad Relativa, Horas de Sol, Evaporación, Velocidad del Viento y Precipitación.

6.1.1.1 RECOLECCIÓN DE DATOS CLIMÁTICOS

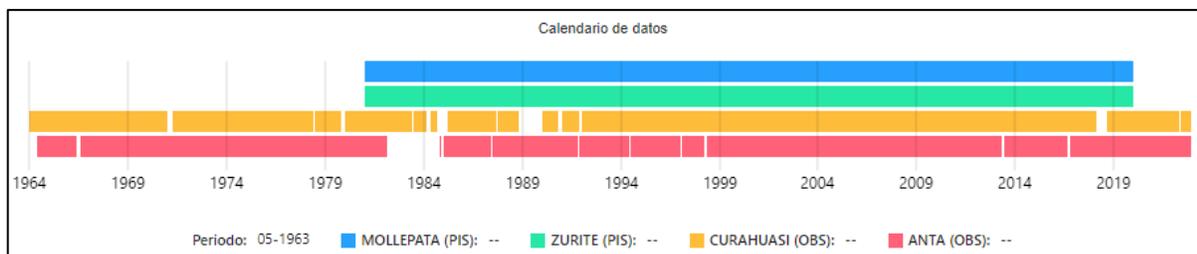
Cuadro 14: Estaciones Utilizadas

ESTACIONES UTILIZADAS										
N°	ESTACIONES	PRECIPITACIÓN		TEMPERATURA			HUMEDAD RELATIVA (%)	HORAS DE SOL	EVAPORACION (mm)	VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)
		PRECIPITACION TOTAL MENSUAL (mm)	PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS (mm)	MAXIMA MEDIA (°C)	MEDIA (°C)	MINIMA MEDIA (°C)				
1	ANTA	X	X	X	X	X	X	X	X	X
2	CURAHUASI	X	X	X	X	X	X	X	X	X
3	MOLLEPATA	X	X	X	X	X	X	X	X	X
4	ZURITE	X	X	X	X	X	X	X	X	X

6.1.1.2 ANÁLISIS, TRATAMIENTO Y COMPLETACIÓN DE LA INFORMACIÓN.

Para el presente sector se han seleccionado las estaciones de Anta Ancachuro, Curahuasi Zurite y Mollepata, se ha seleccionado el periodo de 1990 a 2022.

Figura 16: Estaciones Seleccionadas



6.1.1.2.1 ANÁLISIS DE CONSISTENCIA DE DATOS HIDROMETEOROLÓGICOS

Figura 17: Análisis de Saltos Anta Ancachuro

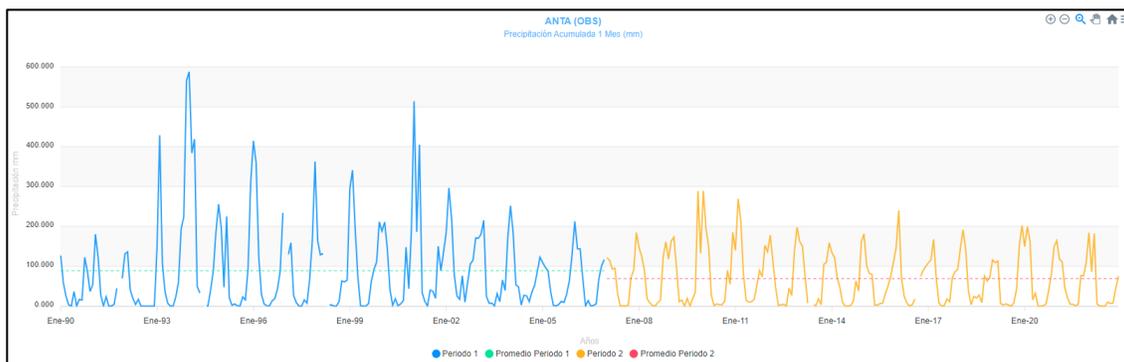


Figura 18: Análisis de Saltos Curahuasi

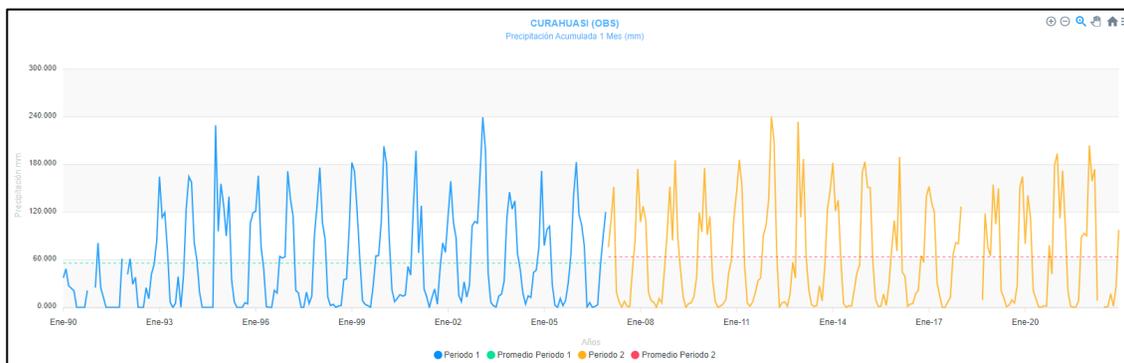


Figura 19: Análisis de Zurite

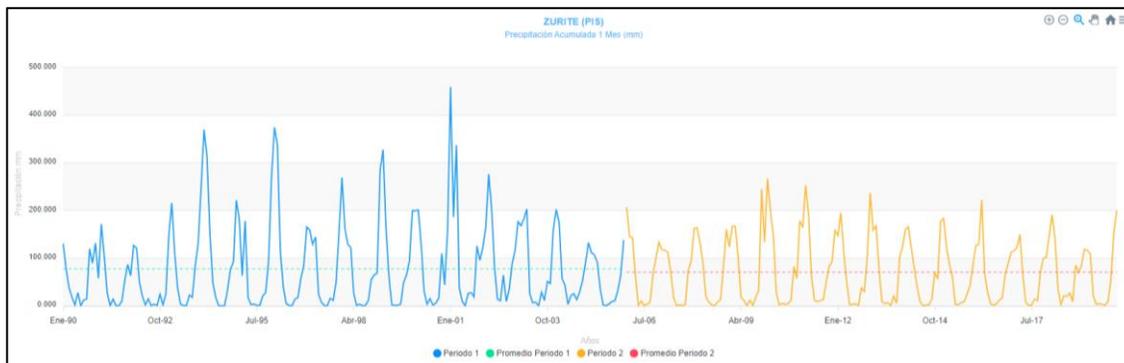


Figura 20: Análisis de Mollepata

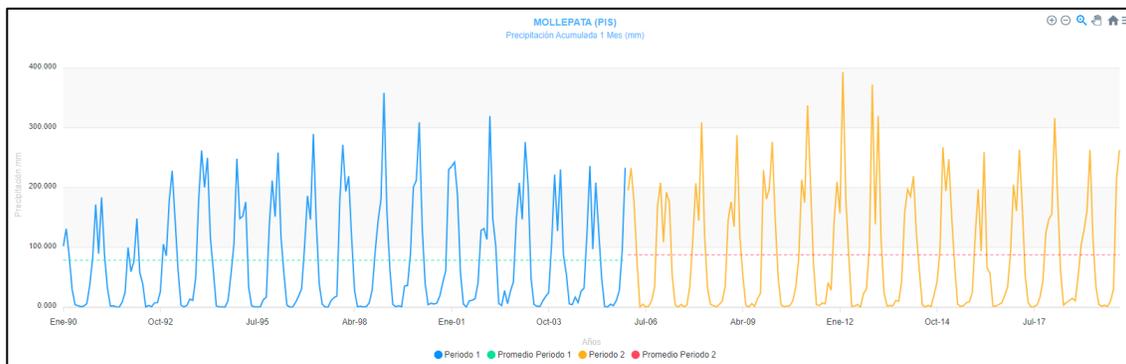


Figura 21: Análisis de Tendencias Anta

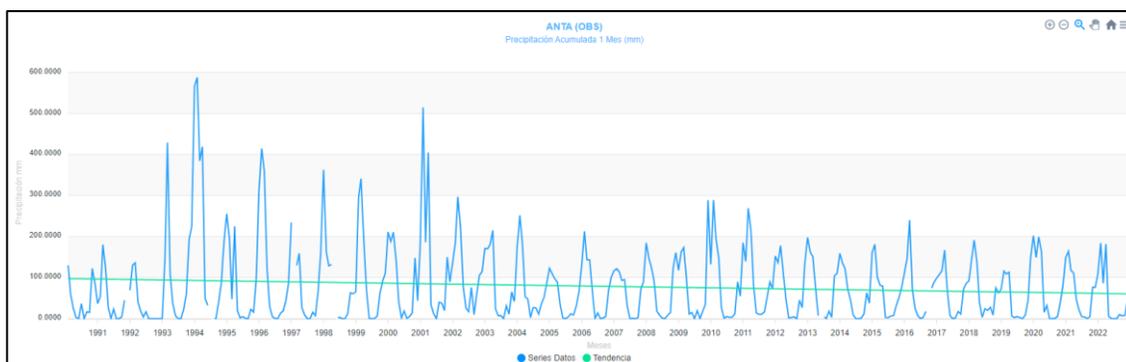


Figura 22: Análisis de Tendencias Curahuasi

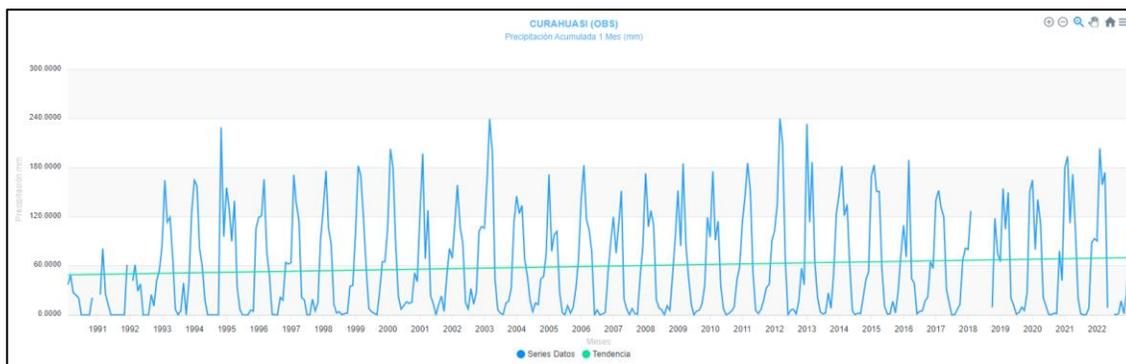


Figura 23: Análisis de Tendencias Zurite

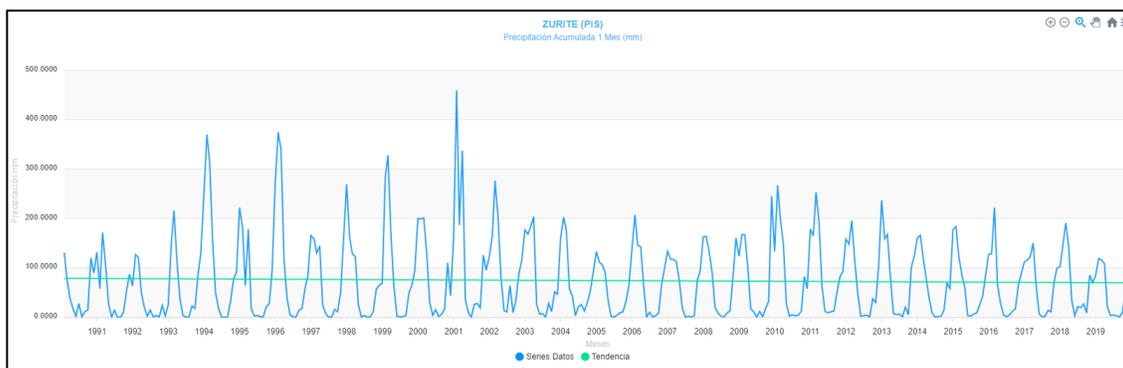
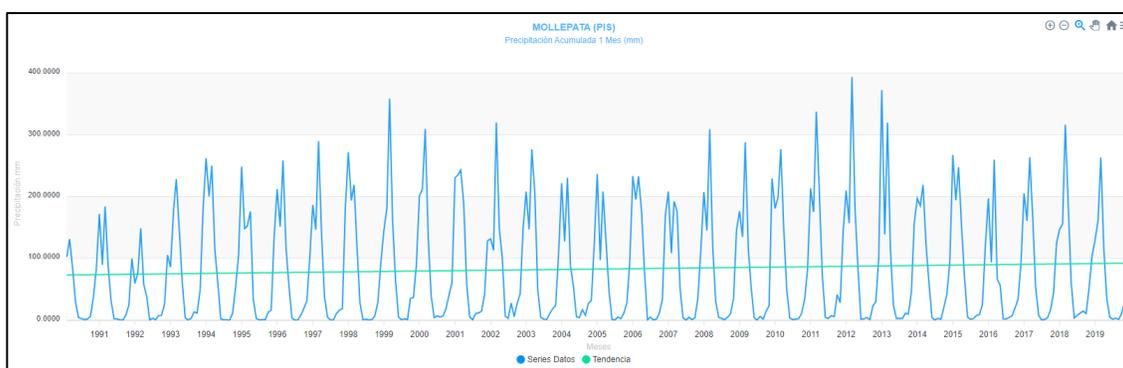


Figura 24: Análisis de Tendencias Mollepata



6.1.1.2.2 COMPLETACIÓN Y EXTENSIÓN DE DATOS HIDROMETEOROLÓGICOS.

Se realizó mediante el método Cut Off (Correlación Cruzada)

La correlación mide la relación lineal entre dos variables, en este caso la relación entre la información de las series de precipitaciones de las estaciones analizadas. Esta relación se mide con un coeficiente que va de -1 a 1, cumpliendo las siguientes condiciones (Mejia, 2017):

$R = 1$: La relación es positiva perfecta

$0 < r < 1$: La relación es positiva

$r = 0$: No hay relación lineal

$-1 < r < 0$: La relación es negativa

$r = -1$: La relación es negativa perfecta

Figura 25: Correlación cruzada entre estaciones

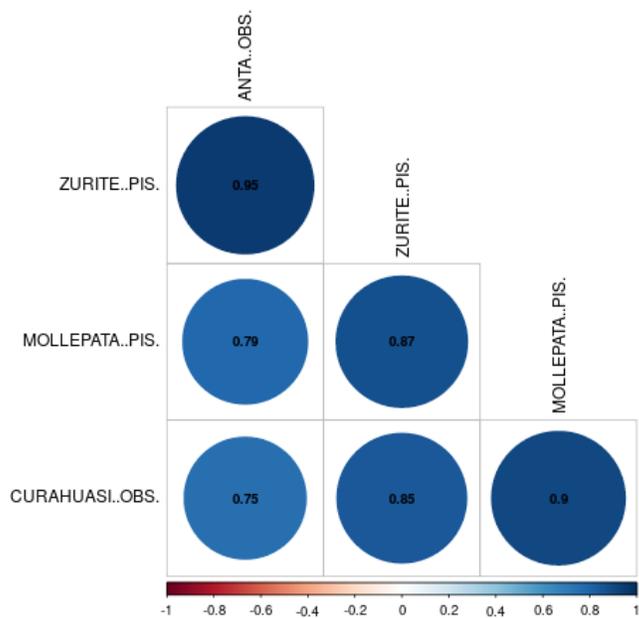


Figura 26: Completados Anta

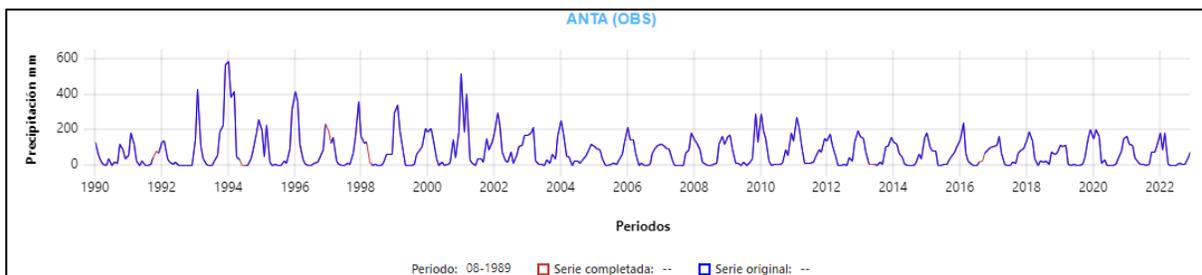


Figura 27: Completados Curahuasi

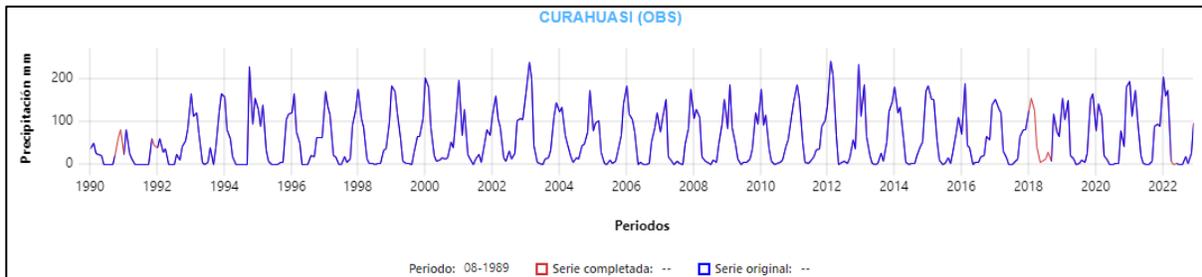


Figura 28: Completados Zurite

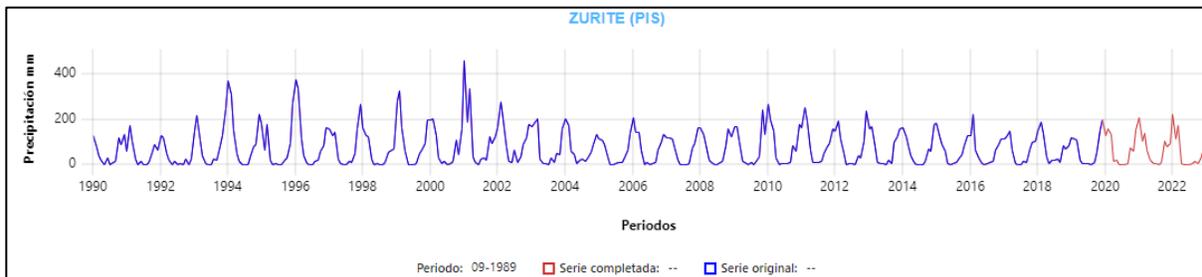
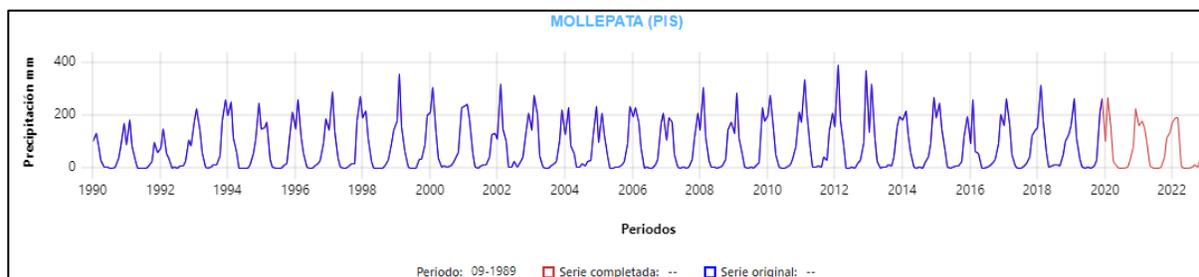


Figura 29: Completados Mollepata



6.1.2 PROCESAMIENTO DE DATOS HIDROMETEOROLÓGICOS

6.1.2.1 REGIONALIZACIÓN DE PRECIPITACIÓN

El MVR es un método de cálculo orientado a tres tareas definidas: La crítica de datos, la homogenización y la extensión-completación de datos de precipitación.

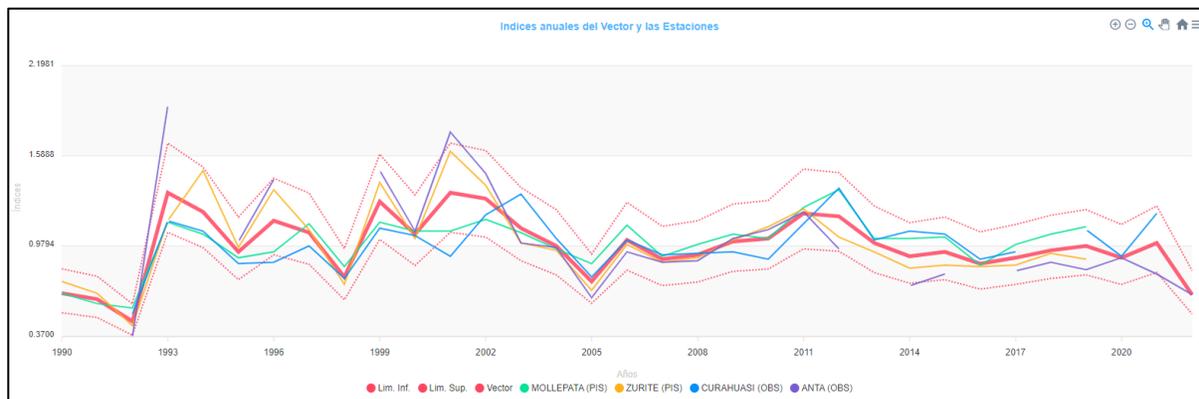
La hipótesis fundamental en la que se basa, consiste en asumir que, para una misma zona climática sometida a un mismo régimen de precipitaciones, los totales pluviométricos anuales son pseudo-proporcionales, con una pequeña variación aleatoria cada año debida a la repartición de las lluvias dentro de la zona.

La idea básica del MVR, es la siguiente: en lugar de comparar dos por dos estaciones por correlación o doble masa, como se hace en los métodos clásicos, se elabora una estación ficticia que sea una “especie de promedio” de todas las estaciones de la zona, con la cual se comparan cada una de las estaciones.

El MVR emplea entonces, para el cálculo de esta estación “Vector” el concepto de Precipitación Media Extendida al periodo de trabajo, salvando los problemas del peso de estaciones más lluviosas sobre las menos lluviosas (como ocurriría con un promedio simple) y la existencia de datos faltantes o diferentes periodos de funcionamiento (que calcularían promedios alterados en caso de tener solamente años húmedos o solamente años secos de determinada estación) como ocurriría al obtener valores estandarizados o centrados reducidos de lluvia.

Este Vector es, en consecuencia, un buen indicador de la variabilidad hidroclimática de la región

Figura 30: Índices anuales del Vector



Se observa que la información pluviométrica de las estaciones se ajusta a los límites inferior y superior del vector regional.

Cuadro 15: Estadísticos del Vector Regional (Brunet Moret)

Estación	N° Años	Des. Est. Obs.	Coef. Variación	Media Obs.	Des. Est. Desvíos	Correl. Vector
MOLLEPATA (PIS)	30	174.323	0.18	989.903	0.11	0.85
ZURITE (PIS)	30	233.685	0.26	888.284	0.11	0.92
CURAHUASI (OBS)	29	127.214	0.17	737	0.15	0.69
ANTA (OBS)	27	329.225	0.35	927.53	0.19	0.9

Los parámetros a evaluar son la DE Desvíos, que según literatura debe encontrarse en el orden máximo de 0.2 para brindar una buena correlación, y la correlación con el vector mínima debe ser de 0.7.

6.1.2.2 REGIONALIZACIÓN DE TEMPERATURA MEDIA, MÁXIMA Y MÍNIMA

La temperatura es el parámetro que indica el mayor o menor grado de calor que existe en una zona, por lo que, su determinación es uno de los pasos previos de todo el estudio climático. Para caracterizar el régimen térmico del área de influencia del proyecto, se ha utilizado los datos históricos de temperaturas media, máxima y mínima media mensual registradas.

La temperatura, en general, es un parámetro que varía en relación inversa con la altitud, en lo que se conoce como el "Gradiente Vertical de Temperatura", disminuyendo en 0.6 a 1.0 °C por cada 100 metros de altura, en promedio, pudiendo variar de acuerdo a condiciones locales (MOLINA, 1975).

La temperatura es uno de los parámetros climatológicos más utilizados ya que influye en el cálculo de otros parámetros como la humedad relativa la evaporación, evapotranspiración e infiltración.

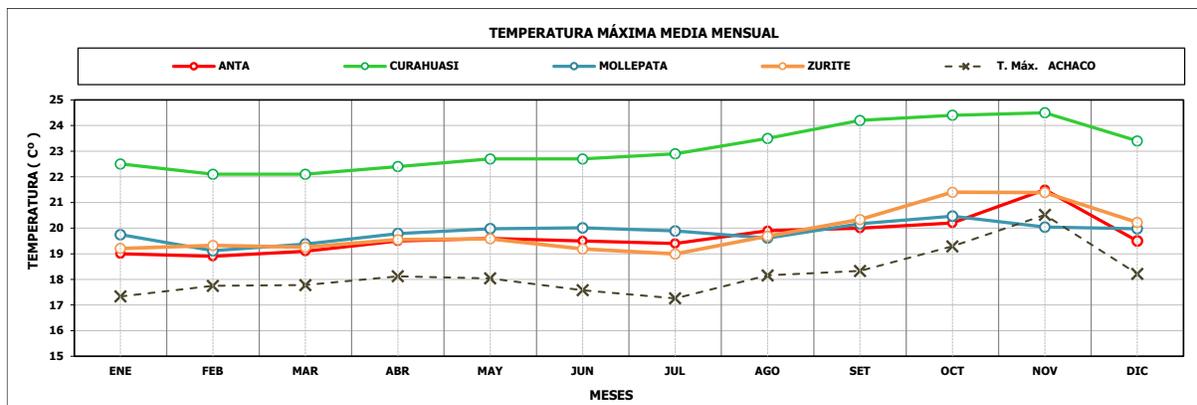
6.1.2.2.1 TEMPERATURA MÁXIMA MEDIA MENSUAL

Del cuadro, se aprecia que los meses de mayor temperatura son de setiembre a diciembre y el mes de mayo, registrándose el pico el mes de noviembre.

Cuadro 16: Temperatura Máxima Media Mensual

NOMBRE DE LA ESTACION	ALTITUD msnm.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	MEDIA
		C°												
ANTA	3,324.00	19.0	18.9	19.1	19.5	19.6	19.5	19.4	19.9	20.0	20.2	21.5	19.5	19.7
CURAHUASI	2,751.00	22.5	22.1	22.1	22.4	22.7	22.7	22.9	23.5	24.2	24.4	24.5	23.4	23.1
MOLLEPATA	2,803.00	19.7	19.1	19.4	19.8	20.0	20.0	19.9	19.6	20.2	20.5	20.0	20.0	19.8
ZURITE	3,340.00	19.2	19.3	19.3	19.6	19.6	19.2	19.0	19.7	20.3	21.4	21.4	20.2	19.8
Coeff. a		31.88	28.80	29.20	29.57	30.74	32.08	33.15	31.35	33.23	31.48	27.54	31.61	30.89
Coeff. b		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Coeff. r		-0.76	-0.63	-0.68	-0.70	-0.72	-0.77	-0.76	-0.59	-0.63	-0.54	-0.32	-0.64	-0.65
T. Máx. ACHACO		17.3	17.8	17.8	18.1	18.0	17.6	17.3	18.2	18.3	19.3	20.5	18.2	18.2

Figura 31: Temperatura máxima Media Mensual



Fuente: SENAMHI
Elaboración: Propia

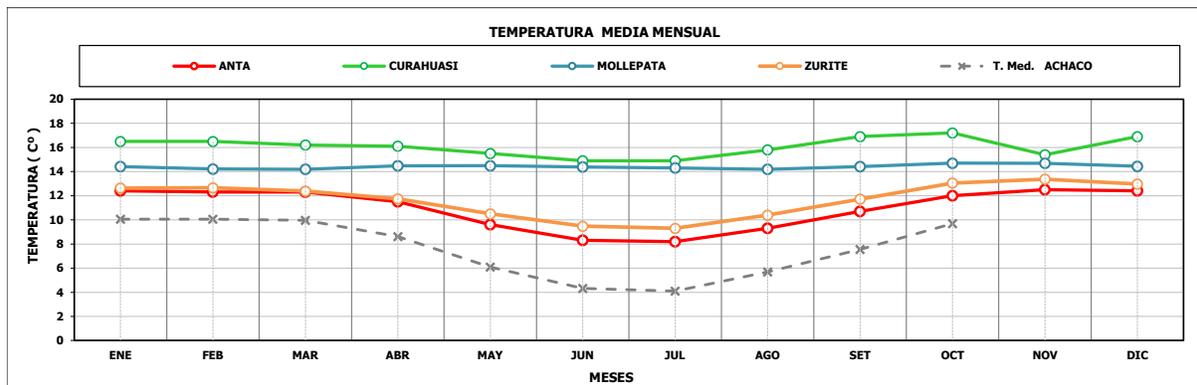
6.1.2.2.2 TEMPERATURA MEDIA MENSUAL

Del cuadro, se aprecia que los meses de mayor temperatura media mensual son de octubre a marzo, registrándose el mayor pico el mes de noviembre y la menor temperatura el mes de julio.

Cuadro 17: Temperatura Media Mensual

NOMBRE DE LA ESTACION	ALTITUD msnm.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	MEDIA
		C°												
ANTA	3,324.00	12.4	12.3	12.3	11.5	9.6	8.3	8.2	9.3	10.7	12.0	12.5	12.4	11.0
CURAHUASI	2,751.00	16.5	16.5	16.2	16.1	15.5	14.9	14.9	15.8	16.9	17.2	15.4	16.9	16.1
MOLLEPATA	2,803.00	14.4	14.2	14.2	14.5	14.5	14.4	14.3	14.2	14.4	14.7	14.7	14.4	14.4
ZURITE	3,340.00	12.6	12.7	12.4	11.7	10.5	9.5	9.3	10.4	11.7	13.1	13.4	13.0	11.7
Coeff. a		30.61	30.26	29.91	33.97	39.78	43.32	43.79	40.96	38.37	33.54	25.65	31.10	35.11
Coeff. b		-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	0.00	-0.01	-0.01
Coeff. r		-0.92	-0.90	-0.92	-0.97	-0.99	-0.99	-0.99	-0.98	-0.94	-0.90	-0.94	-0.89	-0.96
T. Med. ACHACO		10.1	10.1	10.0	8.6	6.1	4.3	4.1	5.7	7.5	9.7	11.2	10.2	8.1

Figura 32: Temperatura Media Mensual



Fuente: SENAMHI
Elaboración: Propia

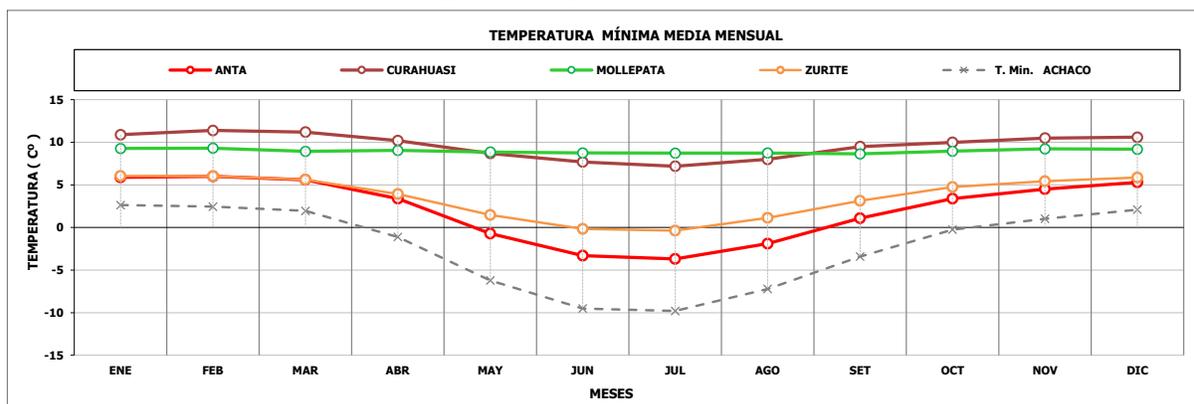
6.1.2.2.3 TEMPERATURA MÍNIMA MENSUAL

Del cuadro, se aprecia que los meses de menor temperatura son de mayo a agosto, registrándose el menor pico el mes de julio.

Cuadro 18: Temperatura mínima media Mensual

NOMBRE DE LA ESTACION	ALTITUD msnm.	TEMPERATURA MÍNIMA MEDIA MENSUAL													MEDIA
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC		
		C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°	
ANTA	3,324.00	5.9	6.0	5.6	3.4	-0.7	-3.3	-3.7	-1.9	1.1	3.4	4.5	5.3	2.1	
CURAHUASI	2,751.00	10.9	11.4	11.2	10.2	8.7	7.7	7.2	8.0	9.5	10.0	10.5	10.6	9.7	
MOLLEPATA	2,803.00	9.3	9.3	8.9	9.0	8.9	8.8	8.7	8.7	8.6	9.0	9.2	9.2	9.0	
ZURITE	3,340.00	6.1	6.0	5.6	3.9	1.5	-0.2	-0.4	1.1	3.1	4.7	5.4	5.9	3.6	
Coefic. a		30.9556	32.4916	32.8234	39.5191	50.3519	57.2958	57.0735	51.5139	43.7395	36.5368	34.5051	31.6504	41.5380	
Coefic. b		-0.0075	-0.0080	-0.0082	-0.0108	-0.0150	-0.0177	-0.0177	-0.0156	-0.0125	-0.0097	-0.0089	-0.0078	-0.0116	
Coefic. r		-0.978	-0.966	-0.961	-0.994	-0.977	-0.962	-0.954	-0.959	-0.975	-0.979	-0.982	-0.981	-0.984	
T. Min. ACHACO		2.6	2.4	1.9	-1.1	-6.2	-9.5	-9.8	-7.2	-3.4	-0.2	1.0	2.1	-2.3	

Figura 33: Temperatura mínima media Mensual



Fuente: SENAMHI
Elaboración: Propia

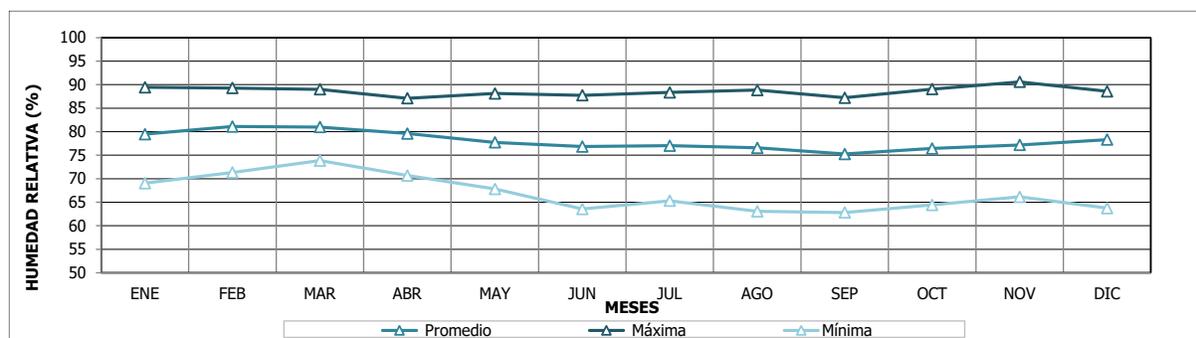
6.1.2.3 HUMEDAD RELATIVA MEDIA MENSUAL

La humedad relativa, aunque menos importante que la temperatura, es un factor ecológico fundamental, en el sentido propio del término, es la cantidad de vapor de agua presente en la atmósfera; por lo general se expresa como humedad relativa del aire, es decir, la relación en porcentaje de la presión real de vapor de agua a la presión de vapor saturante a la misma temperatura.

Cuadro 19: Humedad Relativa Media Mensual

HUMEDAD RELATIVA MEDIA, MÁXIMA Y MÍNIMA MENSUAL													
ESTACION	M E S E S												3,324.00
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
ANTA													Media
Promedio	77.00	77.80	77.10	74.90	72.30	70.50	70.70	68.80	69.60	70.90	72.40	74.90	73.08
Máxima	92.30	90.40	90.40	90.10	92.60	90.30	90.60	89.80	87.00	89.70	97.80	91.40	91.03
Mínima	59.80	63.00	64.90	59.80	55.40	51.40	52.50	49.70	58.20	55.10	56.90	57.90	57.05
ESTACION CURAHUASI													2,751.00
Promedio	82.85	86.35	87.11	86.38	84.07	84.10	84.02	83.33	79.10	80.35	80.83	83.49	83.50
Máxima	89.74	90.20	89.55	88.72	87.86	89.02	89.75	90.17	90.46	89.15	89.14	91.25	89.58
Mínima	75.36	79.80	83.66	81.16	80.22	74.42	73.30	71.03	59.52	67.88	70.99	68.05	73.78
ESTACION MOLLEPATA													2,803.00
Promedio	78.53	79.20	78.75	77.54	76.84	75.95	76.35	77.57	77.07	78.02	78.33	76.56	77.56
Máxima	86.27	87.27	87.09	82.52	83.93	83.92	84.69	86.59	84.23	88.30	84.83	83.06	85.23
Mínima	72.00	71.22	72.97	71.06	67.83	64.90	70.11	68.46	70.70	70.28	70.54	65.28	69.61
PROMEDIO ESTACIONES													Media
Promedio	79.46	81.11	80.98	79.61	77.74	76.85	77.02	76.56	75.26	76.43	77.19	78.32	78.04
Máxima	89.44	89.29	89.01	87.11	88.13	87.75	88.35	88.85	87.23	89.05	90.59	88.57	88.61
Mínima	69.05	71.34	73.84	70.67	67.82	63.57	65.30	63.06	62.81	64.42	66.14	63.74	66.82

Figura 34: Humedad Relativa (%)



Fuente: SENAMHI
Elaboración: Propia

6.1.2.4 HORAS DE SOL

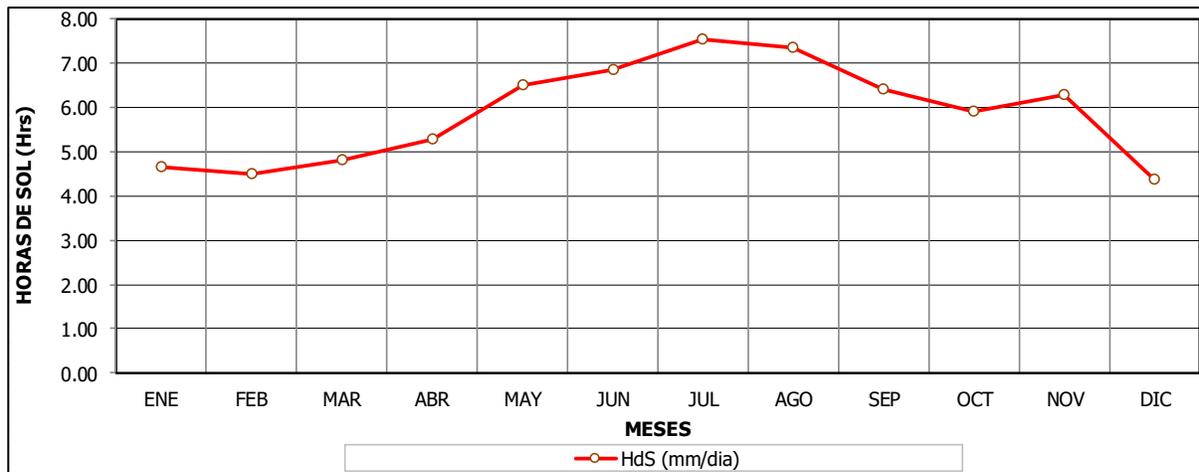
Este parámetro describe el número de horas de sol durante un día o durante un mes, el mismo que es medido a través de los heliógrafos.

La mayoría de estaciones meteorológicas contempladas no registraban este parámetro, la información correspondiente a este parámetro ha sido obtenida de los registros históricos de la estación ANTA la cual se resume en el presente cuadro.

Cuadro 20: Horas de Sol Media Mensual

HORAS DE SOL MEDIA MENSUAL														
ESTACION	M E S E S												ALTITUD: 3,324.0 m.s.n.m.	Total
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC		
ANTA														
HdS (mm/mes)	144.80	125.60	149.00	158.90	202.00	205.30	233.50	228.10	192.00	183.20	188.50	135.80	2,146.70	
Dias	31.00	28.00	31.00	30.00	31.00	30.00	31.00	31.00	30.00	31.00	30.00	31.00		
HdS (mm/día)	4.67	4.49	4.81	5.30	6.52	6.84	7.53	7.36	6.40	5.91	6.28	4.38	70.48	

Figura 35: Horas de Sol



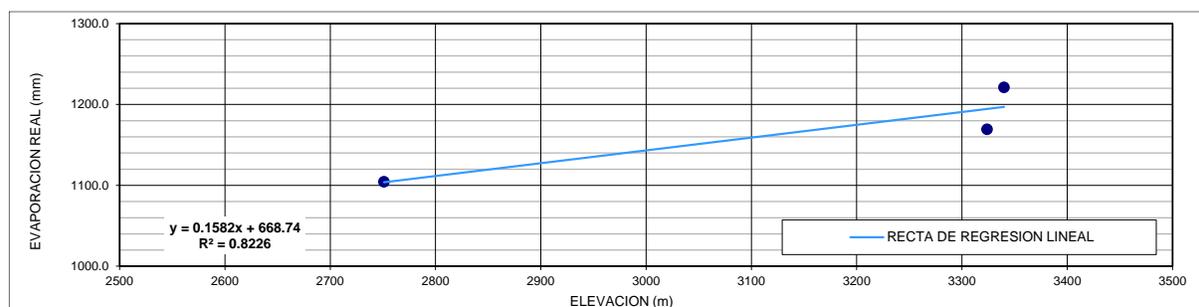
Fuente: SENAMHI
Elaboración: Propia

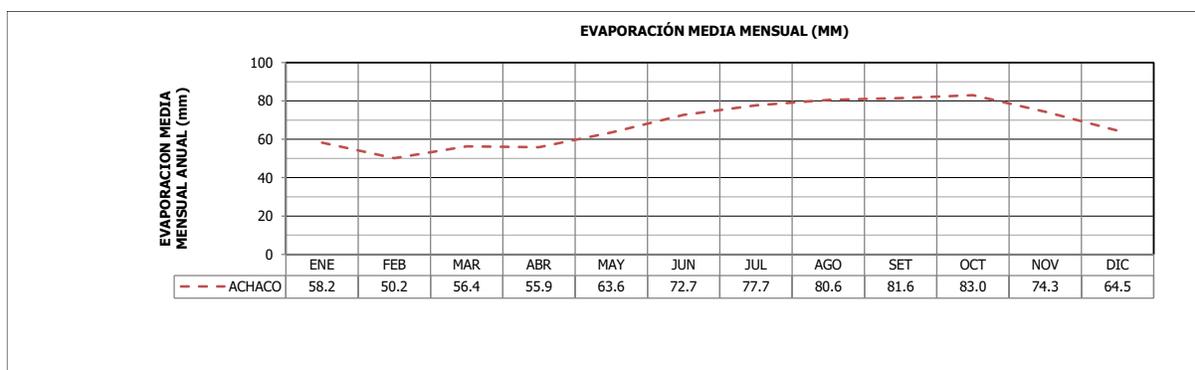
6.1.2.5 EVAPORACIÓN TOTAL MENSUAL

Se dispuso de registros históricos de evaporación total mensual, presentándose en el siguiente cuadro:

Cuadro 21: Variación Mensual de Evaporación

I T E M	NOMBRE DE LA ESTACION	ALTITUD msnm.	M E S E S												M EDIA
			ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
			mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	
1	ANTA	3324.0	83.2	71.7	80.5	79.8	90.8	103.9	110	115.1	116.5	118.6	106.2	92.2	169.5
2	CURAHUASI	27510	94.7	85.5	92.8	89.3	91.7	82.1	82.8	90.0	99.5	101.7	100.0	94.5	1104.5
3	ZURITE	3340.0	72.2	61.1	73.1	81.0	105.2	119.5	130.4	126.9	125.2	129.0	108.3	89.4	1221.3
	CONSTANTE	a	176.3	177.3	169.2	1316	60.3	-59.4	-98.8	-58.3	-2.8	-4.1	65.2	112.2	668.7
	CONSTANTE	b	-0.030	-0.033	-0.028	-0.015	0.011	0.051	0.066	0.054	0.037	0.038	0.013	-0.006	0.2
	COEF. CORRELACION	r	-0.883	-0.912	-0.936	-0.990	0.471	0.920	0.924	0.957	0.951	0.935	0.976	-0.847	1.6
ACHACO			58.2	50.2	56.4	55.9	63.6	72.7	77.7	80.6	81.6	83.0	74.3	64.5	818.7





Fuente: SENAMHI
Elaboración: Propia

6.1.2.6 VELOCIDAD DE VIENTOS

La velocidad está influenciada principalmente por la distribución térmica que a su vez es consecuencia de la radiación incidente.

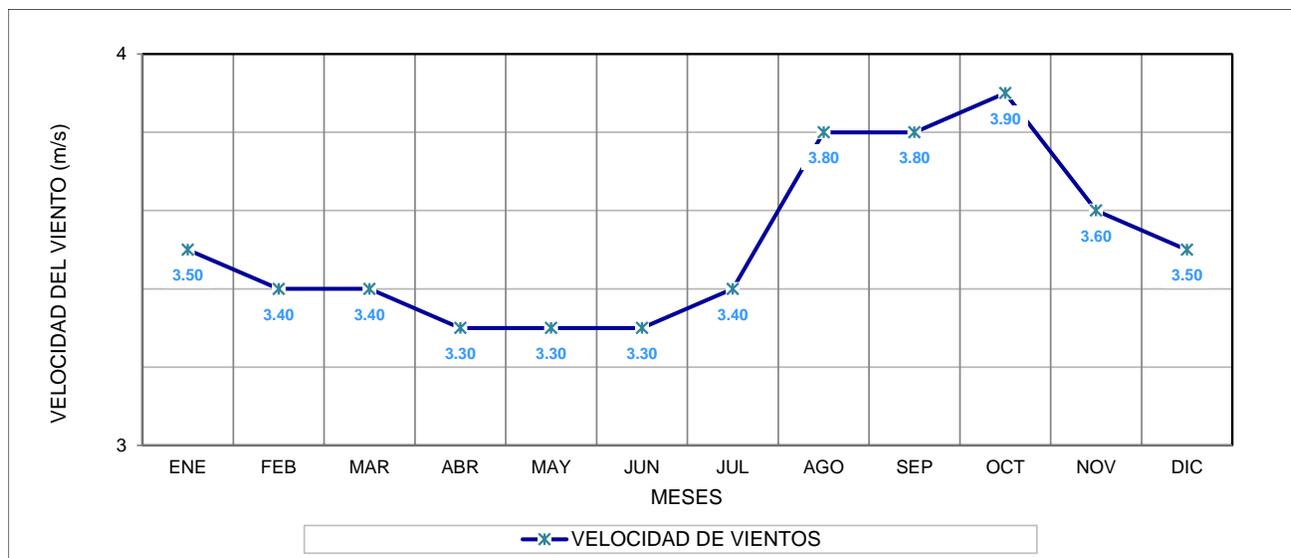
En el ámbito del proyecto no se cuenta con registros históricos de la velocidad del viento; sin embargo, se cuenta con información obtenida del SENAMHI de la estación de ANTA. En este sentido se tiene:

Cuadro 22: Variación Mensual de Velocidad de Viento (m/s)

ESTACION : ANTA

ALTITUD : **3,324.0** m.s.n.m.

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
MEDIA	3.5	3.4	3.4	3.3	3.3	3.3	3.4	3.8	3.8	3.9	3.6	3.5	3.5



Fuente: SENAMHI
Elaboración: Propia

6.1.2.7 EVAPOTRANSPIRACIÓN

La evaporación y la transpiración ocurren simultáneamente y no hay una manera sencilla de distinguir entre estos dos procesos. A parte de la disponibilidad de agua en los estratos superficiales, la evaporación de un suelo cultivado es determinada principalmente por la fracción de radiación solar que llega a la superficie del suelo. Esta fracción disminuye a lo largo del ciclo del cultivo a medida que el dosel del cultivo proyecta más y más sombra sobre el suelo. En las primeras etapas del cultivo, el agua se pierde principalmente por evaporación directa del suelo, pero con el desarrollo del cultivo y finalmente cuando este cubre totalmente el suelo, la transpiración se convierte en el proceso principal. En el momento de la siembra, casi el 100 % de la ET ocurre en forma de evaporación, mientras que cuando la cobertura vegetal es completa, más del 90 % de la ET ocurre como transpiración

$$\lambda_{ET_o} = \frac{\Delta(R_n - G) + \rho c_p (e_a - e_d) / r_a}{\Delta + \gamma(1 + r_c / r_a)}$$

Donde λ_{ET_o} : Flujo del Calor Latente de Evaporación [$\text{kJ m}^{-2} \text{s}^{-1}$]
 R_n : Flujo de la Radiación neta en superficie [$\text{kJ m}^{-2} \text{s}^{-1}$]
 G : Flujo térmico del suelo [$\text{kJ m}^{-2} \text{s}^{-1}$]
 ρ : Densidad atmosférica [kg m^{-3}]
 c_p : Calor específico del aire húmedo [$\text{kJ kg}^{-1} \text{°C}^{-1}$]
 $(e_a - e_d)$: Déficit de Presión de Vapor [kPa]
 r_c : Resistencia de la cubierta vegetal [s m^{-1}]
 r_a : Resistencia aerodinámica [s m^{-1}]
 Δ : Pendiente de la Curva de Presión de Vapor [kPa °C^{-1}]
 γ : Constante Psicrométrica [kPa °C^{-1}]
 λ : Calor Latente de Vaporización [MJ kg^{-1}]

Referencias : Monteith (1965, 1981)

Cuadro 23: Cálculo de la Evapotranspiración microcuenca Achaco

#	Mes	Temp Min	Temp Max	Humedad	Viento	Insolación	Rad	ET _o
		°C	°C	%	m/s	horas/día	MJ/m ² /día	mm/mes
1	E	2.6	17.3	79	3.5	4.7	17.60	87.38
2	F	2.4	17.8	81	3.4	4.5	17.10	76.44
3	M	1.9	17.8	81	3.4	4.8	16.80	82.08
4	A	-1.1	18.1	80	3.3	5.3	16.00	73.15
5	M	-6.2	18.0	78	3.3	6.5	15.80	67.50
6	J	-9.5	17.6	77	3.3	6.8	15.20	57.55
7	J	-9.8	17.3	77	3.4	7.5	16.50	60.66
8	A	-7.2	18.2	77	3.8	7.4	18.10	70.32
9	S	-3.4	18.3	75	3.8	6.4	18.5	78.44
10	O	-0.2	19.3	76	3.9	5.9	18.9	90.33
11	N	1.0	20.5	77	3.6	6.3	20	97.19
12	D	2.1	18.2	78	3.5	4.4	17.1	88.06
Promedio		-2.3	18.2	78	3.5	5.9	17.3	929.1

6.1.3 DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS PARA EL CÁLCULO DE CAUDALES MENSUALES

En relación al coeficiente de escurrimiento la literatura muestra varias referencias, sin embargo, se deben tener en cuenta para los casos de lluvias torrenciales para el cálculo de avenidas y para el caso del caudal anual determinado a partir de la precipitación total anual.

La fórmula desarrollada por L. Turc sobre la base de observaciones hechas en 254 cuencas situadas en todos los climas alrededor del globo, es el siguiente:

$$C = \frac{P - D}{P}$$

Los coeficientes parciales de las curvas se encuentran con las expresiones.

$$CI = \frac{CP - PEII}{PEI - PEII}$$

$$CII = \frac{CP - PEIII}{PEII - PEIII}$$

$$CIII = \frac{CP - PEII}{PEIII - PEII}$$

Dónde:

C = Coeficiente de escurrimiento

CI, CII y CIII = Coeficientes para cada grupo de curvas

P = Precipitación Total anual (mm/año)

PEI, PEII, PEIII = Precipitación efectiva para cada grupo de curvas (mm)

D = Déficit de escurrimiento (mm/año)

Para la determinación de D se utiliza la expresión:

$$L = 300 + 25(t) + 0.05(T)^3 = 646.70$$

$$D = P \frac{1}{\left(0.9 + \frac{P^2}{L^2}\right)^{\frac{1}{2}}}$$

Siendo:

L = Coeficiente de Temperatura

T = Temperatura media anual (°C)

Dado que no se ha podido obtener una ecuación general del coeficiente de escurrimiento para la toda la sierra, se ha desarrollado la fórmula siguiente, que es válida para la región sur:

$$\bar{C} = 3.16E12(P^{-0.571})(EP^{-3.686}); \text{---} > r = 0.96$$

$$\bar{D} = -1380 + 0.872(P) + 1.032(EP); \text{-----} > r = 0.96$$

Dónde:

C = Coeficiente de escurrimiento

D = Déficit de escurrimiento (mm/año)

P = Precipitación total anual (mm/año)

EP = Evapotranspiración anual según Hargreaves (mm/año)

r = Coeficiente de correlación

La evapotranspiración potencial, se ha determinado por la fórmula de Hargreaves:

$$EP = 0.0075(RSM)(TF)(FA)$$

$$RSM = 0.075(RA) \sqrt{\frac{n}{N}}$$

$$FA = 1 + 0.06(AL)$$

Dónde:

RSM = Radiación solar media

TF = Componente de temperatura

Figura 36: FA = Coeficiente de corrección por elevación

TF = Temperatura media anual (°F)

RA = Radiación extraterrestre (mm de agua / año)

(n/N) = Relación entre insolación actual y posible (%)

50 % (estimación en base a los registros)

AL = Elevación media de la cuenca (Km)

Para determinar la temperatura anual se toma en cuenta el valor de los registros de las estaciones y el gradiente de temperatura de -5.3 °C 1/ 1000 m, determinado para la sierra.

6.1.3.1 RETENCIÓN EN LA CUENCA

6.1.3.1.1 ALMACENAMIENTO HIDRICO

Tres tipos de almacenes hídricos naturales que inciden en la retención de la cuenca son considerados:

Acuíferos

Lagunas y pantanos

Nevados

La determinación de la lámina “L” que almacena cada tipo de estos almacenes está dado por:

Acuíferos

$$L_A = -750(I) + 315 \text{ (mm/año)}$$

Siendo:

LA = lámina específica de acuíferos

I = pendiente de desagüe: $I \leq 15 \%$

Lagunas y Pantanos

$$L_L = 500 \text{ (mm/año)}$$

Siendo:

LL = Lámina específica de lagunas y pantanos.

Nevados

$$L_N = 500 \text{ (mm/año)}$$

Siendo:

LN = lámina específica de nevados

Cuadro 24: Análisis de Retención en una cuenca

TIPO	LAMINA ACUMULADA (mm / año)		
	Pendiente de la cuenca		
Napa Freática	2%	8%	15%
	300	250	200
Lagunas y Pantanos	500		
Nevados	500		

Fuente: Generación de Caudales mensuales PLAN MERISS

Elaboración: Propia

Las respectivas extensiones o áreas son determinadas de los mapas o aerofotografías o imágenes satelitales ASTER DEM. Los almacenamientos de corto plazo no son considerados para este caso, estando los mismos incluidos en las ecuaciones de la precipitación efectiva.

6.1.3.1.2 ABASTECIMIENTO DE LA RETENCION

El abastecimiento durante la estación lluviosa es uniforme para cuencas ubicadas en la misma región climática. En la región del Cusco el abastecimiento comienza en el mes de noviembre con 5%, alcanzando hasta enero el valor del 80 % del volumen final. Las precipitaciones altas del mes de febrero completan el 20 % restante, y las precipitaciones efectivas del mes de marzo escurren directamente sin contribuir a la retención. Los coeficientes mensuales expresados en porcentaje del almacenamiento total anual se muestran en el cuadro.

Cuadro 25: Almacenamiento hídrico durante la época de lluvias (%)

Región	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Total
Cusco	0	5	35	40	20	0	100
Huancavelica	10	0	35	30	20	5	100
Junín	10	0	25	30	30	5	100
Cajamarca	25	-5	0	20	25	35	100

Fuente: Generación de Caudales mensuales PLAN MERISS

Elaboración: Propia

La lámina de agua A_i que entra en la reserva de la cuenca se muestra en forma de déficit mensual de la Precipitación Efectiva PE_i. Se calcula mediante la ecuación:

$$A_i = a_i \left(\frac{R}{100} \right)$$

Siendo:

A_i = abastecimiento mensual déficit de la precipitación efectiva (mm/mes)

a_i = coeficiente de abastecimiento (%)

R = retención de la cuenca (mm/año)

6.1.3.2 COEFICIENTE DE AGOTAMIENTO.

Mediante la siguiente ecuación se puede calcular el coeficiente de agotamiento “a”, en base a datos hidrométricos. Este coeficiente no es constante durante toda la estación seca, ya que va disminuyendo gradualmente.

Con fines prácticos se puede desprestigiar la variación del coeficiente “a” durante la estación seca empleando un valor promedio.

El coeficiente de agotamiento de la cuenca tiene una dependencia logarítmica del área de la cuenca.

$$a = f(\ln AR)$$

$$a = 3.1249E67(AR)^{-0.1144}(EP)^{-19.336}(T)^{-3.369}(R)^{-1.429}$$

$$r = 0.86$$

El análisis de las observaciones disponibles muestra, además cierta influencia del clima, la geología y la cobertura vegetal. Se ha desarrollado una ecuación empírica para la sierra peruana:

En principio, es posible determinar el coeficiente de agotamiento real mediante aforos sucesivos en el río durante la estación seca; sin embargo, cuando no sea posible ello, se puede recurrir a las ecuaciones desarrolladas para la determinación del coeficiente "a" para cuatro clases de cuencas:

Cuencas con agotamiento muy rápido. Debido a temperaturas elevadas (>10°C) y retención que va de reducida (50 mm/año) a mediana (80 mm/año):

$$a = -0.00252(LnAR) + 0.034$$

Cuencas con agotamiento rápido. Retención entre 50 y 80 mm/año y vegetación poco desarrollada (puna):

$$a = -0.00252(LnAR) + 0.030$$

Cuencas con agotamiento mediano. Retención mediana (80 mm/año) y vegetación mezclada (pastos, bosques y terrenos cultivados):

$$a = -0.00252(LnAR) + 0.026$$

Cuencas con agotamiento reducido. Debido a la alta retención (> 100 mm/año) y vegetación mezclada:

$$a = -0.00252(LnAR) + 0.023$$

Dónde:

a = coeficiente de agotamiento por día

AR = área de la cuenca (km²)

EP = evapotranspiración potencial anual (mm/año)

T = duración de la temporada seca (días)

R = retención total de la cuenca (mm/año)

DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE AGOTAMIENTO (a)		
1. Agotamiento muy rápido por temperatura elevada > 10°, y R reducida a mediana (50 mm/año - 80 mm/año)		
$a1 = -0.00252 \times \ln(Ar) + 0.034$		0.02464
2. Agotamiento rápido por la retención entre (50 mm/año - 80 mm/año) y vegetación poco desarrollada (puna)		
$a2 = -0.00252 \times \ln(Ar) + 0.030$		0.02064
3. Agotamiento mediano por retención mediana (80 mm/año) y vegetación mezclada (pastos, bosques y terrenos cultivados)		
$a3 = -0.00252 \times \ln(Ar) + 0.026$		0.01664
4. Agotamiento reducido por alta retención arriba de (100 mm/año) y vegetación mezclada (pastos, bosques y terrenos cultivados)		
$a4 = -0.00252 \times \ln(Ar) + 0.023$		0.01364
$a5 = 3.1249E67 \times A^{(-0.1144)} \times ETP^{(-19.336)} \times TD^{(-3.369)} \times R^{(-1.429)}$		0.00158
Decisión para hallar el coeficiente de agotamiento	a	0.01364

6.1.3.3 PRECIPITACIÓN EFECTIVA

Para el cálculo de la Precipitación Efectiva, se supone que los caudales promedio observados en la cuenca pertenecen a un estado de equilibrio entre gasto y abastecimiento de la retención. La precipitación efectiva se calculó para el coeficiente de escurrimiento promedio, de tal forma que la relación entre precipitación efectiva y precipitación total resulta igual al coeficiente de escurrimiento.

Para fines hidrológicos se toma como precipitación efectiva la parte de la precipitación total mensual, que corresponde al déficit según el método del USBR (precipitación efectiva hidrológica es la antítesis de la precipitación efectiva para los cultivos).

A fin de facilitar el cálculo de la precipitación efectiva se ha determinado el polinomio de quinto grado:

$$PE = a_0 + a_1P + a_2P^2 + a_3P^3 + a_4P^4 + a_5P^5$$

Dónde:

PE = Precipitación efectiva (mm/mes)

P = Precipitación total mensual (mm/mes)

ai = Coeficiente del polinomio

A continuación, se muestra los valores límite de la precipitación efectiva y el cuadro muestra los tres juegos de coeficientes, ai, que permiten alcanzar por interpolación valores de C, comprendidos entre 0.15 y 0.45.

Límite superior para Precipitación Efectiva

Curva I: PE=P-120.6 para P> 177.8 mm/mes

Curva II: PE=P-86.4 para P>152.4 mm/mes

Curva III: PE=P-59.7 para P>127.0 mm/mes

Cuadro 27: Coeficientes para el cálculo de precipitación efectiva

Coef.	I	II	III
a0	-0.018	-0.021	-0.028
a1	-0.019	0.1358	0.2756
a2	0.0011	-0.002	-0.004
a3	-1E-05	4E-05	6E-05
a4	1E-07	-9E-08	1E-07
a5	-3E-10	-9E-11	-1E-09

Fuente: Generación de Caudales mensuales PLAN MERISS

Elaboración: Propia

De esta forma es posible llegar a la relación entre la precipitación efectiva y precipitación total.

$$C = \frac{Q}{P} = \sum_{i=1}^{12} \frac{PE_i}{P}$$

Dónde:

C = Coeficiente de escurrimiento

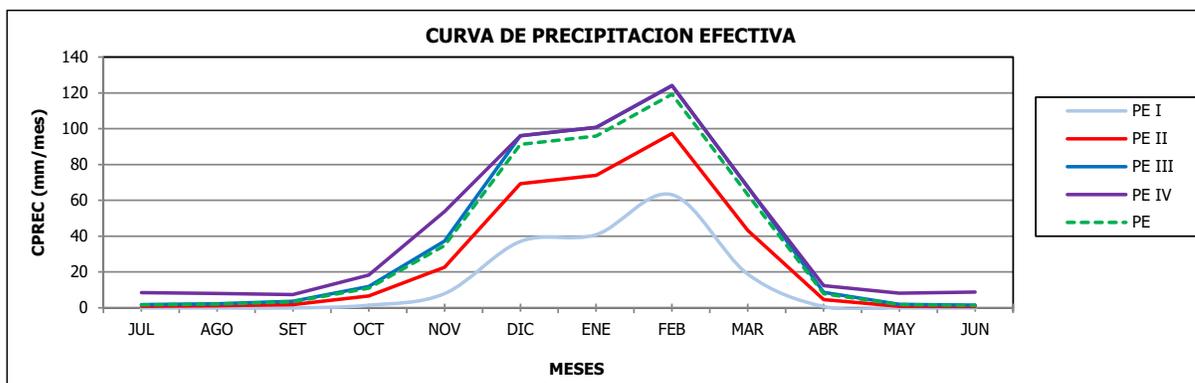
Q = Caudal anual

P = Precipitación Total anual

$\sum_{i=1}^{12} PE_i$ = suma de la precipitación efectiva

En los anexos se puede observar las precipitaciones efectivas (PE), para cada microcuenca

Figura 37: Precipitación Efectiva (PE) Achaco



6.1.4 ESTIMACIÓN DE CAUDALES MEDIOS MENSUALES

Carencia de Información Hidrométrica

La mayoría de cuencas pequeñas y medianas en la región no cuentan con información hidrométrica, la necesidad de contar con caudales medios mensuales que nos permitan contar como recursos

hídricos para elaborar proyectos de riego, es posible determinar los caudales utilizando el modelo combinado entre el balance hídrico con un proceso Markoviano I.

Generalidades del Modelo

Para disponer de caudales en cuencas, el modelo analiza la precipitación mensual mediante el balance hídrico, considerando las características físicas de la cuenca. En base a los datos disponibles se calibraron varios modelos parciales utilizando variables como: precipitación efectiva, déficit de escurrimiento, retención de la cuenca y coeficiente de agotamiento.

Restricciones del Modelo

Se debería descuidar varios factores en el régimen de escorrentía, por ejemplo, el proceso de la interceptación, la variación anual del coeficiente de escurrimiento y del coeficiente de agotamiento, la reacción específica de los almacenes hídricos durante la estación lluviosa y la sequía para llegar a un método simple y práctico. Esta simplificación implica algunas restricciones en el uso del modelo a presentarse. La primera y la más importante es su uso únicamente dentro del rango de la calibración de los modelos parciales. La segunda es que es permisible emplearlo solamente para el cálculo de caudales mensuales.

Síntesis del Modelo

La generación de caudales mensuales mediante el modelo hidrológico para el año promedio se lleva a cabo combinando los factores de la ecuación fundamental del balance hídrico.

6.1.4.1 ECUACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO

La ecuación fundamental que describe el balance hídrico mensual en mm/mes es la siguiente:

$$CM_i = P_i - D_i + G_i - A_i$$

Dónde:

CM_i = Caudal mensual (mm/mes)

P_i = Precipitación mensual sobre la cuenca (mm/mes)

D_i = Déficit de escurrimiento (mm/mes)

G_i = Gasto de la retención de la cuenca (mm/mes)

A_i = Abastecimiento de la retención (mm/mes)

Asumiendo:

Que para períodos largos (en este caso 1 año) el Gasto y Abastecimiento de la retención tienen el mismo valor es decir G_i = A_i.

Que para el año promedio una parte de la precipitación retorna a la atmósfera por evaporación.

Reemplazando (P-D) por (CP), y tomando en cuenta la transformación de unidades (mm/mes a m3/seg) la ecuación se convierte en:

$$Q = c'CP(AR)$$

Que es la expresión básica del método racional.

Dónde:

Q = Caudal (m3/s)

c' = coeficiente de conversión del tiempo (mes/seg)

C = coeficiente de escurrimiento

P = Precipitación total mensual (mm/mes)

AR = Área de la cuenca (m2)

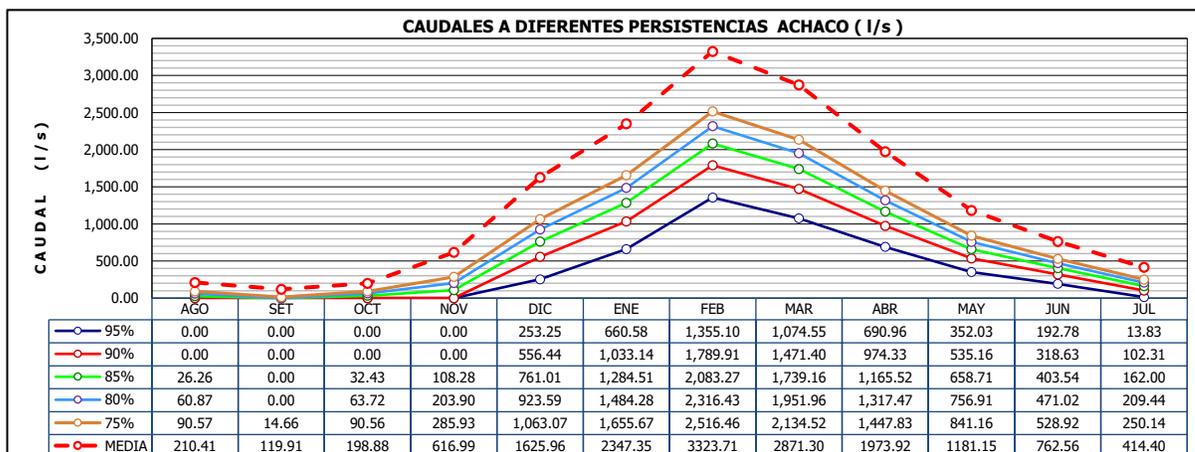
6.1.4.2 GENERACIÓN DE CAUDALES MEDIOS MENSUALES

La oferta hídrica de una determinada fuente de agua, es un parámetro de mucha importancia que está directamente asociada a la disponibilidad de agua que provee el ciclo hidrológico en un período y lugar dados. Su estimación y variabilidad en el tiempo y espacio puede obtenerse por medio de múltiples observaciones in situ y/o por medio de modelos hidrológicos calibrados.

En términos generales, la oferta hídrica, corresponde al caudal o volumen de agua que produce una determinada fuente de agua, y que está disponible para ser aprovechado, por ejemplo, con fines agrícolas, poblacionales, energéticos, mineros, entre otros.

En el presente estudio, las ofertas hídricas producidas han sido cuantificadas al 75% de persistencia, dado que corresponde al parámetro que es considerado para la asignación de derechos de uso de agua.

Figura 38: Caudales a distintas persistencias



6.1.4.2.1 Aforos realizados para calibración del modelo

El Plan Meriss mediante la Unidad de Gestión Valles Interandinos cuenta con registros de aforos puntuales de la mayoría de las cuencas colectoras en estudio, las cuales corresponden a periodos en diferentes años de medición, los cuales se iniciaron en los años 2001 -2002, y posteriormente en los años 2011 – 2014. En los Cuadros siguientes se muestran los aforos realizados en los ríos y manantes del proyecto.

Cuadro 28: Aforos Río Achaco Altura Bocatoma Tomacaya (m³/s)

Nº	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1	2011	2.371	3.190	3.026	1.524	1.014	0.688	0.362	0.283	0.261	0.287	0.376	0.826	1.184
2	2012	1.203	0.002	2.297	1.654	0.961	0.417	0.318	0.274	0.248	0.247	0.403	0.962	0.749
3	2013	2.145	2.882	2.734	1.687	1.544	0.657	0.301	0.292	0.269	0.289	0.434	0.710	1.162
4	2014	1.180	2.654	2.429	1.245	0.886	0.512	0.383	0.293	0.272	0.269	0.348	0.576	0.921
PROMEDIO		1.725	2.182	2.622	1.528	1.101	0.569	0.341	0.286	0.263	0.273	0.390	0.769	1.004

FUENTE : UNIDAD DE AFOROS DEL PLAN MERISS U.G.V.I.

Cuadro 29: Aforos Río Achaco Altura Bocatoma Collpaccata (m³/s)

Nº	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1	2011	1.948	2.702	2.894	1.634	0.980	0.386	0.268	0.214	0.208	0.240	0.323	0.678	1.040
2	2012	1.052	1.623	1.824	1.646	0.898	0.388	0.295	0.217	0.195	0.209	0.352	0.923	0.802
3	2013	1.845	2.553	2.734	1.245	0.842	0.378	0.267	0.216	0.199	0.210	0.396	0.616	0.958
4	2014	1.016	1.507	1.602	1.234	0.785	0.352	0.342	0.284	0.202	0.211	0.239	0.368	0.679
PROMEDIO		1.465	2.096	2.264	1.440	0.876	0.376	0.293	0.233	0.201	0.218	0.328	0.646	0.870

FUENTE : UNIDAD DE AFOROS DEL PLAN MERISS U.G.V.I.

Con esta data se calibró el modelo hidrológico. A continuación, se presentan los caudales medios mensuales generados para la microcuenca Achaco.

A continuación, se tiene una comparación en hidrogramas de caudal Promedio y el generado al 75% de persistencia de la Microcuenca Achaco en 3 puntos: Collpaccata, Tomacaya y salida de la microcuenca.

Figura 39: Hidrograma hasta el punto de la bocatoma Collpaccata

Caudales COLLPACCATA													
SECTOR	COLLPACCATA (l/s)												
	MESES	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL
Q. G. AÑO PROMEDIO	159.19	124.18	153.82	320.07	815.14	1083.49	1824.48	1957.75	1116.68	576.80	381.68	237.90	
Q. G. P..EXTENDIDO	121.33	62.71	101.03	340.08	929.24	1355.90	1942.69	1694.22	1181.41	715.08	460.22	248.05	
Q. AL 75%	50.16	3.39	39.57	150.63	602.71	955.29	1474.40	1263.56	868.24	508.69	316.07	147.81	
AFORADO	230.00	200.00	220.00	330.00	650.00	1480.00	2115.00	2280.00	1144.00	880.00	380.00	290.00	
CAUDAL ECOLOGICO (15%)	7.50	0.50	5.90	22.60	90.40	143.30	221.20	189.50	130.20	76.30	47.40	22.20	

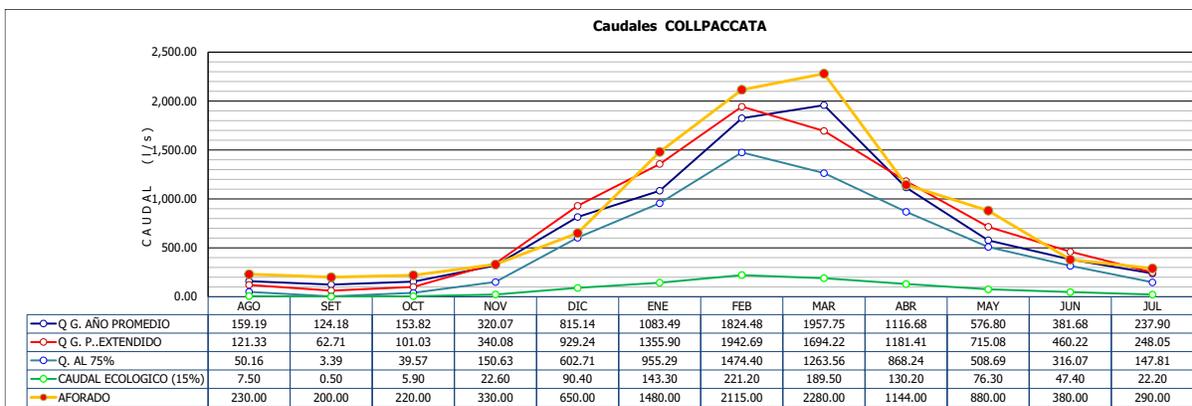


Figura 40: Hidrograma hasta el punto de la bocatoma Tomacaya

Caudales TOMACAYA

SECTOR	TOMACAYA (l/s)											
MESES	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL
Q. G. AÑO PROMEDIO	196.00	153.71	187.85	382.62	973.32	1293.49	2177.66	2336.61	1310.59	684.21	458.74	289.66
Q. G. P. EXTENDIDO	144.86	77.20	125.50	413.01	1116.46	1622.30	2317.58	2014.95	1398.85	843.55	543.09	293.11
Q. AL 75%	60.69	5.98	51.75	185.89	726.65	1144.60	1759.38	1502.81	1028.48	600.95	374.50	175.39
AFORADO	286.00	263.00	273.00	390.00	769.00	1725.00	2182.00	2622.00	1528.00	1101.00	569.00	341.00
CAUDAL ECOLÓGICO (15%)	9.10	0.90	7.80	27.90	109.00	171.70	263.90	225.40	154.30	90.10	56.20	26.30

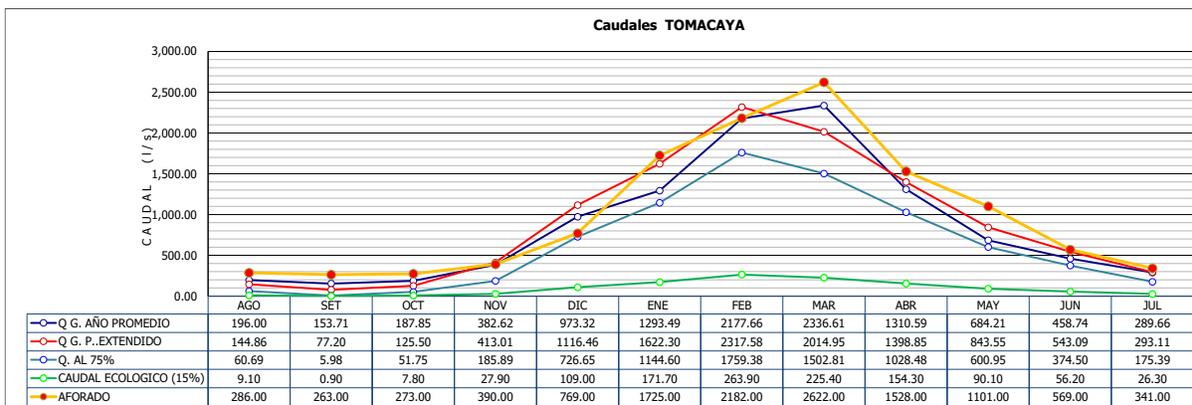
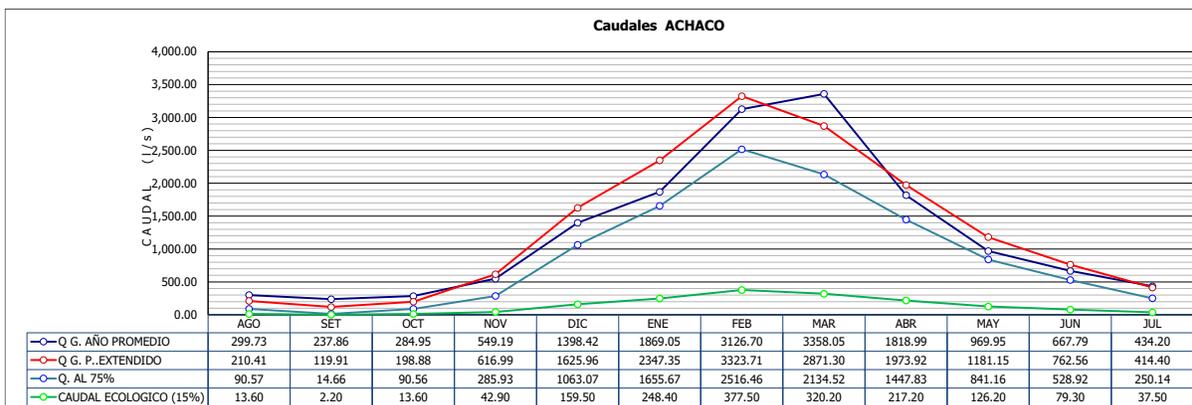


Figura 41: Hidrograma hasta el punto de salida de la microcuenca Achaco



6.1.4.3 DEMANDA HÍDRICA CAUDAL ECOLÓGICO

El caudal ecológico (caudal mínimo medio ambiental o caudales de mantenimiento), se trata del caudal que hay que dejar en un río aguas abajo de cada aprovechamiento de regulación o derivación (modificación del régimen natural) para que se mantenga un nivel admisible de desarrollo de la naturaleza en especial para vida acuática y así preservar los valores ecológicos. Podemos definir cauces ecológicos mínimos como también máximos; en los casos más frecuentes, en que el agua es considerada un recurso escaso, nos interesará especialmente ese valor mínimo o base como es el 10% del caudal medio mensual. Pero habrá casos en que será necesario vaciar muy rápidamente un embalse (ante la amenaza de inundaciones, la necesidad de producción hidroeléctrica, etc.) y en estos casos habrá que fijar también los valores máximos o picos del caudal circulante por el cauce, para mantener la estabilidad de los recursos biológicos.

La Resolución Jefatural N°098-2016-ANA recomienda una metodología para el cálculo del caudal ecológico referencial definiéndolo como el caudal al 95 % de persistencia de caudales medios mensuales. Esta metodología no es aplicable cuando se generan las series extendidas de caudales medios mensuales con el método de Lutz Scholz ya que estas series se generan para aumentar el rango de valores en el tiempo sin una alta dispersión entre caudales máximos y mínimos. Esto conlleva a obtener valores muy altos de caudal al 95 % de persistencia, del orden del 80 % al 90 % del caudal promedio, lo que conlleva a hacer inviable el aprovechamiento del recurso hídrico.

Para calcular el caudal ecológico se utilizó las metodologías propuestas por ANA, según la RESOLUCIÓN JEFATURAL N° 267-2019-ANA, las cuales se desarrollan a continuación:

- A) **Metodología A. Caudal ecológico mínimo.** El caudal ecológico mínimo será el equivalente al caudal determinado al 95% (noventa y cinco por ciento) de persistencia en el punto de interés de la fuente natural de agua. Cuyos pasos se detallan a continuación:
- En la primera columna colocar el número de orden de cada dato (m), empezando desde 1 hasta N, donde N es el número de datos de caudal medio.
 - En otra columna a la derecha calcular la probabilidad $p = m/N * 100$
 - En las siguientes columnas, colocar los datos de caudales medios. Una columna por mes
 - Ordenar cada columna con datos de caudales medios de mayor a menor.
 - Calcular los datos que corresponden a $p = 95\%$. Si en la columna de probabilidades, no se encuentra un valor exacto de $p=95\%$, se deberá interpolar los valores adyacentes (interpolación lineal) para calcular el valor.

Así tenemos los siguientes caudales en l/s

Cuadro 30: Caudal ecológico, metodología A, caudal

p (%)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
95%	660.58	1,355.10	1,074.55	690.96	352.03	192.78	13.83	0.00	0.00	0.00	0.00	253.25
90%	1,033.14	1,789.91	1,471.40	974.33	535.16	318.63	102.31	0.00	0.00	0.00	0.00	556.44
85%	1,284.51	2,083.27	1,739.16	1,165.52	658.71	403.54	162.00	26.26	0.00	32.43	108.28	761.01
80%	1,484.28	2,316.43	1,951.96	1,317.47	756.91	471.02	209.44	60.87	0.00	63.72	203.90	923.59
75%	1,655.67	2,516.46	2,134.52	1,447.83	841.16	528.92	250.14	90.57	14.66	90.56	285.93	1,063.07

B) Metodología B. Adoptar el valor de 15% del caudal medio mensual como caudal ecológico.

Considerando esta metodología, tenemos los siguientes caudales en l/s

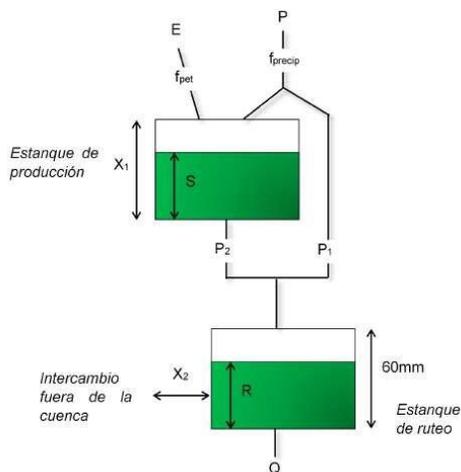
Cuadro 31: Caudal ecológico, metodología B, caudal

Caudales ACHACO													
SECTOR	ACHACO (l/s)												
MESES	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	
Q. G. AÑO PROMEDIO	299.73	237.86	284.95	549.19	1398.42	1869.05	3126.70	3358.05	1818.99	969.95	667.79	434.20	
Q. G. P..EXTENDIDO	210.41	119.91	198.88	616.99	1625.96	2347.35	3323.71	2871.30	1973.92	1181.15	762.56	414.40	
Q. AL 75%	90.57	14.66	90.56	285.93	1063.07	1655.67	2516.46	2134.52	1447.83	841.16	528.92	250.14	
CAUDAL ECOLOGICO (15%)	13.60	2.20	13.60	42.90	159.50	248.40	377.50	320.20	217.20	126.20	79.30	37.50	

6.1.4.4 MODELO HIDROLÓGICO 2: GRM2

Modelo Hidrológico Genie Rural de 2 parámetros (GR2M)

Figura 42: Estructura del modelo GR2M



ESTRUCTURA A PASO MENSUAL

Existen varias versiones del modelo GR2M. Una descripción de la versión desarrollada por Mouelhi (2003) es la que desarrollaremos en el presente estudio.

La función de producción del modelo esta basado en la capacidad de almacenamiento de humedad del suelo (SMA). Parte de la lluvia P es usada para llenar el reservorio SMA, cuyo nivel S deviene S1 es dado por:

$$S_1 = \frac{S + X_1 \varphi}{1 + \varphi \frac{S}{X_1}} \quad \text{Donde} \quad \varphi = \tanh\left(\frac{P}{X_1}\right)$$

El parámetro X_1 , la capacidad máxima de SMA es positivo y expresado en mm. Exceso de lluvia P_1 es dado por:

$$P_1 = P + S - S_1$$

Con acción de la evapotranspiración, el nivel S_1 en SMA deviene S_2 :

$$S_2 = \frac{S_1(1 - \psi)}{1 + \psi\left(1 - \frac{S_1}{X_1}\right)} \quad \text{Donde} \quad \psi = \tanh\left(\frac{E}{X_1}\right)$$

E es la evapotranspiración potencial. El SMA descarga por una percolación P_2 y el nivel deviene S , que puede ser usado en el comienzo del siguiente mes. Es dado por:

$$S = \frac{S_2}{\left[1 + \left(\frac{S_2}{X_1}\right)^3\right]^{1/3}} \quad \text{y} \quad P_2 = S_2 - S$$

La lluvia efectiva total P_3 que irá al routing del modelo es dado como:

$$P_3 = P_1 + P_2$$

El nivel R en el reservorio del routing devien R :

$$R_1 = R + P_3$$

Un termino de intercambio de flujo subterráneo es calculado como:

$$F = (X_2 - 1).R_1$$

El parámetro X_2 es positivo y adimensional. El nivel en el reservorio routing será:

$$R_2 = X_2.R_1$$

El reservorio routing tiene una capacidad fija igual a 60 mm esta descarga siguiendo una función cuadrática. El flujo es dado por:

$$Q = \frac{R_2^2}{R_2 + 60}$$

Y el nivel del reservorio routing es recargado con:

$$R = R_2 - Q$$

El modelo tiene dos parámetros que deben ser calibrados:

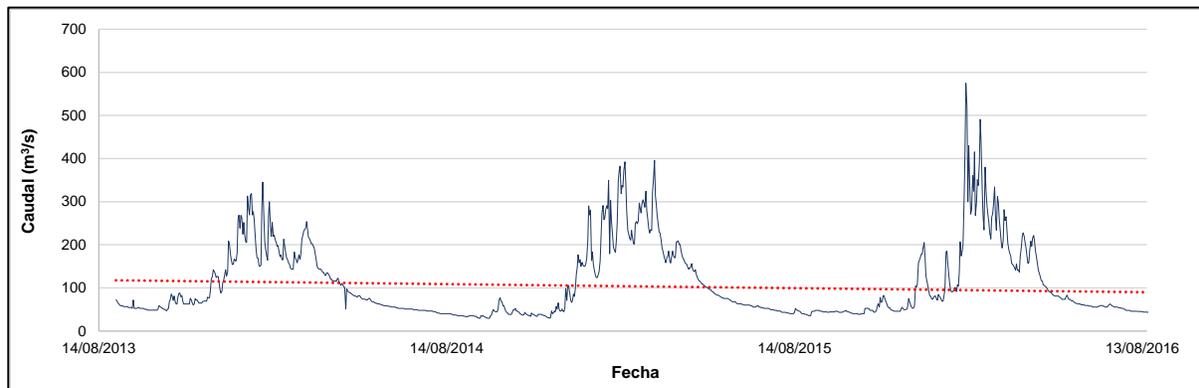
X1: capacidad del reservorio SMA (mm)

X2: coeficiente de intercambio de agua subterránea (-)

6.1.4.4.1 Aplicación del modelo

Se contó con la con la información de la estación hidrométrica Cunyac (cuadro 17) con esta información y la data de precipitación y evaporación se obtuvo los parámetros del modelo.

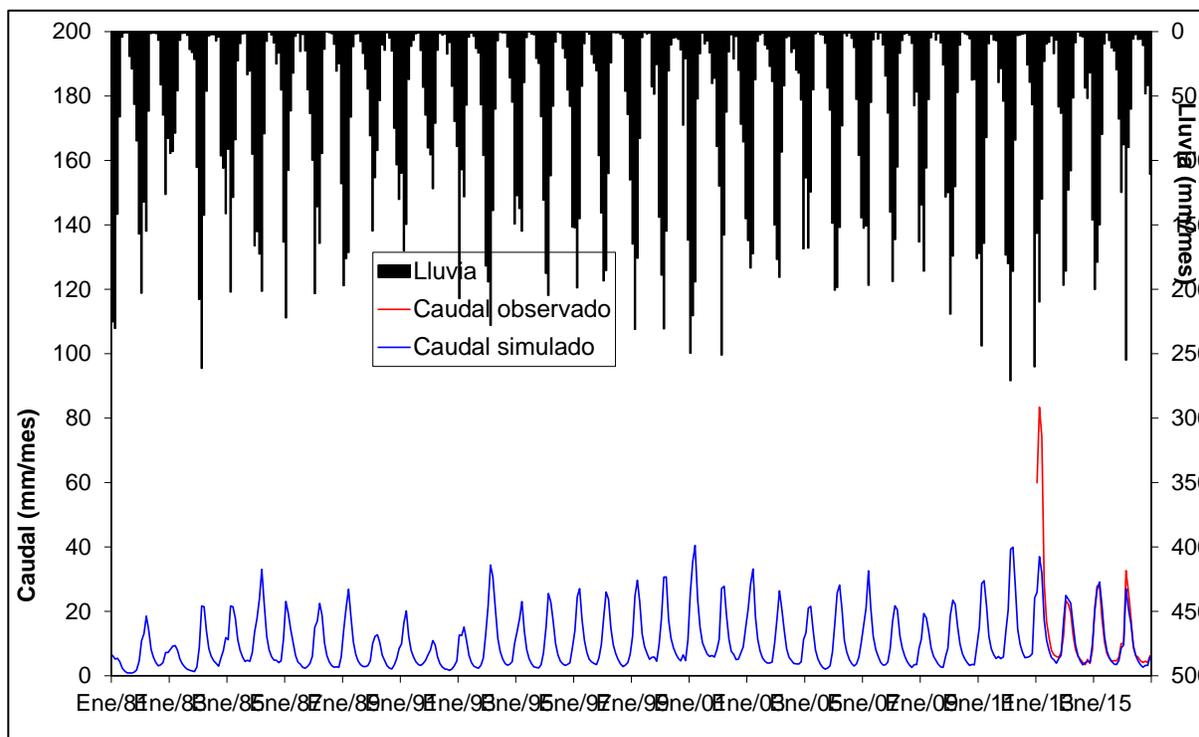
Cuadro 32: Caudales medios mensuales naturalizados (m³/s) para la cuenca del río Cunyac



Cuadro 33: Datos de entrada y parámetros del modelo GR2M en la cuenca del río Cunyac

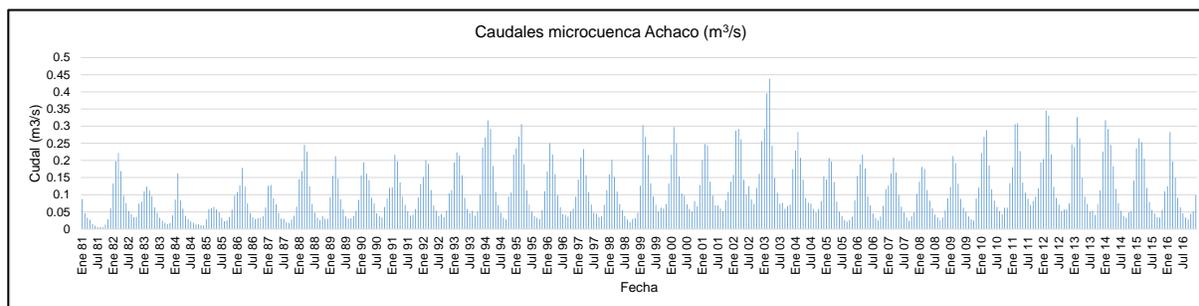
Nombre de la cuenca	Cunyac	
Superficie de la cuenca (km²)	24474	
Parametros del modelo	Transf.	Real
x1: Capacidad del reservorio de producción (mm)	7.94	2798.16
x2: Parametro de intercambio (mm)	0.62	0.62
Valores iniciales		
Nivel de llenado inicial S0 (max.: x1 mm)	325.35	
Nivel de llenado inicial R0 (max.: 60 mm)	30	
Periodo		
Duración del período de puesta en marcha (calentamiento) (meses)	396	
Duración del período de test (meses)	35	
Fecha de inicio de la simulación	01/2014	
Fecha del fin	12/2016	
Promedio de las lluvias observadas (mm/mes)	64.1	
Promedio de la EVP observado (mm/mes)	67.3	
Promedio de los caudales observados (mm/mes)	11.2	
Promedio de la raíz cuadrada de los caudales observados	3.1	
Promedio de los logaritmos de los caudales observados	2.2	
Criterios de eficiencia (%)		
Nash(Q)	94.7	
Nash(raiz(Q))	95.1	
Nash(ln(Q))	93.4	
Balance	98.7	

Figura 43: Comparación del caudal simulado y observado cuenca del río Cunyac



Y se aplicaron estos parámetros para la microcuenca Achaco, obteniéndose los siguientes resultados:

Cuadro 34: Caudales medios mensuales (m³/s) para la microcuenca Achaco



Los resultados se contrastaron con los aforos realizados en la microcuenca Achaco, no hallándose representativos. Razón por la que se decidió validar el modelo Lutz Scholz.

Parámetro	Unidad	Categoría 3: Aguas superficiales destinadas a riego		Categoría 4: Conservación de ambiente acuático	
		D1	D2	E1	E2
		Parámetros para riego de vegetales	Parámetros para bebidas de animales	Lagunas y lagos	Ríos costa y sierra
FÍSICOS - QUÍMICOS					
Aceites y grasas	mg/L	5	10	5	5
Cianuro Total	mg/L	0.1	0.1	0.0052	0.0052
Cloruros	mg/L	500	**		
Conductividad	(uS/cm)	2500	5000	1000	1000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L	15	15	5	10
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	40	40		
Fenoles	mg/L	0.002	0.01	2.56	2.56
Fósforo Total	mg/L			0.035	0.035
Nitratos (NO ₃)	mg/L	100	100	13	13
Nitritos (NO ₂)	mg/L	10	10		
Oxígeno Disuelto (Valor Mínimo)	mg/L	4	5	5	5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6.5 - 8.5	6.5 - 8.4	6.5 - 9	6.5 - 9
Sulfatos	mg/L	1000	1000	0.002	0.002
Temperatura	°C	3	3	3	3
INORGÁNICOS					
Aluminio	mg/L	5	5		
Arsénico	mg/L	0.1	0.2	0.015	0.015
Bario	mg/L	0.7	**	0.7	0.7
Berilio	mg/L	0.1	0.1		
Boro	mg/L	1	5		
Cadmio	mg/L	0.01	0.05	0.00025	0.00025
Cobre	mg/L	0.2	0.5	0.1	0.1
Cobalto	mg/L	0.05	1		
Cromo Total	mg/L	0.1	1	0.011	0.011
Hierro	mg/L	5	**		
Litio	mg/L	2.5	2.5		
Magnesio	mg/L	**	250		
Manganeso	mg/L	0.2	0.2		
Mercurio	mg/L	0.001	0.01	0.0001	0.0001
Níquel	mg/L	0.2	1	0.052	0.052
Plomo	mg/L	0.05	0.05	0.0025	0.0025
Selenio	mg/L	0.02	0.05	0.005	0.005
Zinc	mg/L	2	24	0.12	0.12

Fuente: Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM. Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua. 2015

Cuadro 35: Resultados muestra 1

Cuadro 36: Resultados de los muestreos y parámetros que transgredieron los ECA categoría 3 y 4

Fuente: Elaboración propia

6.2 INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA

6.2.1 Ubicación de la infraestructura analizada

A continuación, se describe en los siguientes cuadros la ubicación geográfica de cada infraestructura analizada:

6.2.2 Estudios anteriores

Para el desarrollo del presente estudio se utilizó la siguiente información:

- A partir del año 1999, el Plan MERISS a través de un equipo de profesionales de diferentes disciplinas pertenecientes a la Unidad Operativa Anta, ahora Unidad de Gestión Valles Interandinos, realiza la identificación de proyecto de riego, seleccionando y priorizándolos dentro del ámbito de la provincia de Anta; como resultado se tiene el primer proyecto priorizado denominado “Irrigación de Pampaconga”, seguido del proyecto Limatambo, los mismos que son ejecutados entre los años 2,000 y 2,004. El expediente del proyecto Limatambo contiene el estudio hidrológico de la cuenca Colorado sector Huertahuaycco, cuenca Pisti, cuenca Lechería (Lechería Baja) y cuenca del Río Blanco (bocatoma canal río Blanco – Sisal).
- Inventario y Evaluación de los Recursos Naturales de la Zona Alto Andina del Perú Volumen I, elaborado por la ONERN el año 1986.
- Inventario y Evaluación de los Recursos Naturales de la Zona Alto Andina del Perú Volumen II Anexos, elaborado por la ONERN el año 1986.

6.3 ESTADO ACTUAL DEL USO DEL AGUA POR DIVERSAS FUENTES

El agua utilizada en la cuenca del río Achaco, es principalmente con fines agrarios teniéndose las bocatomas existentes hacia los sectores de Collpaccata, Tomacaya y Huayroncca.

La bocatoma hacia Collpaccata se ubica en el río Achaco sector de Tomacaya, en la cota 3324.135 msnm y coordenadas UTM 773510E y 8512256N. Es de concreto, se encuentra en buenas condiciones de operación, cuenta con 01 compuerta metálica, con un timón o volante de operaciones. Junto a esta se encuentra la entrada para un canal de concreto colindante. Fue construida para derivar un caudal de 20 l/s.

Figura 44: Bocatoma Achaco - Collpaccata



La bocatoma hacia Tomacaya capta las aguas del río Achaco y se ubica en la cota 3133.038 m.s.n.m y coordenadas UTM 773435.389E, 8511760.014N. Es de concreto y consta de una compuerta metálica, con un timón o volante de operaciones. La estructura de captación dispone de 02 muros construida en concreto armado en ambas márgenes del río y se encuentra en regulares condiciones de operatividad. Está diseñada para derivar un caudal de 30 l/s.

Figura 45: Bocatoma Achaco - Tomacaya



La bocatoma hacia Huyaroncca en la cota 2667 msnm y coordenadas UTM 774269 E, 8509049N, la bocatoma es rústica en base a champas y piedras, el canal en tierra tiene una longitud de 1.27 km, conduce un caudal aproximado de 8 l/s.

7. USOS Y DEMANDA DE AGUA

7.1 ASPECTOS GENERALES

Respecto a los usos y demandas de agua en la cuenca Achaco se tienen usos de dos tipos principalmente, agua para consumo humano y agua para uso agrario, la cual constituye la principal actividad económica, y es la que mayor uso consuntivo del recurso hídrico.

7.2 DEMANDA HÍDRICA PARA USO AGRARIO

La demanda de agua de los cultivos para pleno desarrollo se estima considerando la proyección del patrón de cultivos y utilizando datos climatológicos.

Considerando que con la implementación de un nuevo sistema de aspersión el mejoraría la eficiencia de riego, la implementación del nuevo proyecto de riego propone alcanzar una eficiencia del 72%, toda vez que los sistemas de conducción y distribución del agua serán por tubería presurizada y el riego por aspersión. Considerando las áreas a abastecer en los sectores de Collpaccata (zona alta y baja) 247 Has, Tomaccaya 99.5 has y Huayroncca 10.5 has, haciendo un total de 357 has.

7.3 DEMANDA HÍDRICA PARA USO NO AGRARIO

La demanda hídrica para uso no agrario corresponde, principalmente al consumo humano, cada uno de los sectores Collpaccata, Tomacaya y Huayroncca, cuentan con Unidades Básicas de Saneamiento (UBS's), para cada beneficiario

Figura 46: Unidades Básicas de Saneamiento UBS Collpaccata y Tomacaya



7.4 OTROS CONSUMOS DE AGUA

Los consumos que se dan en la cuenca del río Achaco, son principalmente demandas para consumo humano y para consumo agrario.

8. BALANCE HÍDRICO

Es preciso hacer un balance hídrico a lo largo del año considerando las aportaciones, consumo y pérdidas.

Este balance se estima **mes a mes** calculándose, al final de cada uno el remanente de agua con diferencia entre las aportaciones y deducciones ocurridas durante el mismo.

8.1 INFORMACIÓN DISPONIBLE

La información disponible para establecer el balance hídrico se obtuvo información de fuentes diversas, sin embargo, las más representativas son las siguientes:

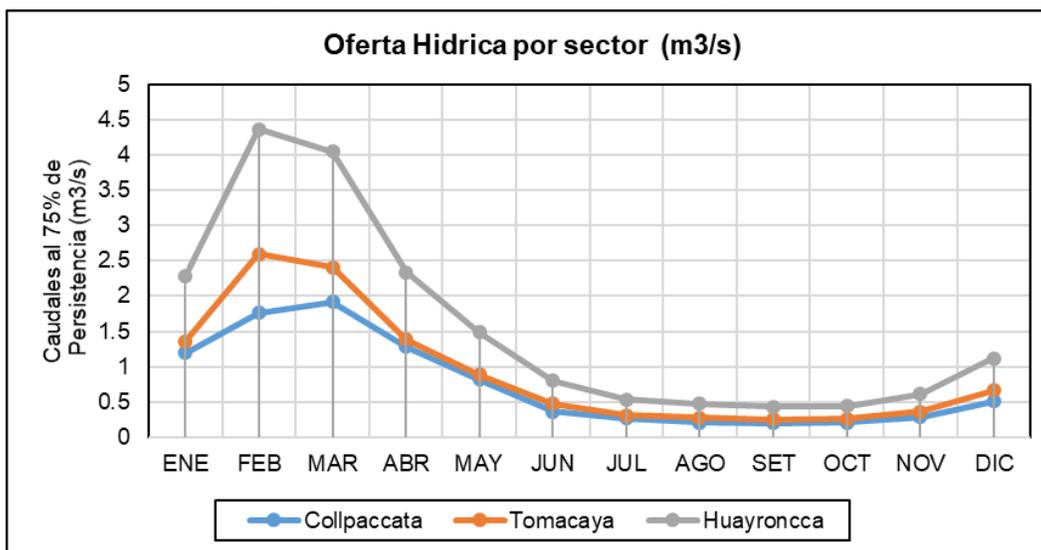
- Se cuenta con las áreas de riego a ser intervenidas en el proyecto de riego Limatambo que actualmente se viene ejecutando, por cada uno de los sectores intervenidos (RD N° 0998 -2019 ANA-AAA.PA).
- Acreditación hídrica del proyecto de riego Limatambo la cual representara las demandas agrícolas
- Padrón de usuarios actualizada, con el fin de establecer la población futura para la demanda por consumo humano.
- Tasas de crecimiento intercensal extraído del Instituto Nacional de Estadística e Informática.

8.2 ASPECTOS GENERALES

8.2.1 Oferta de Agua

La disponibilidad hídrica. Dentro del ámbito del estudio, específicamente en los puntos de captación se tiene registros muy puntuales de información hidrométrica que vienen a ser sólo los aforos realizados por el Plan MERISS. Por lo tanto, para el análisis del potencial hídrico en la zona, fue necesario efectuar una generación de caudales medios mensuales.

Figura 47: Oferta hídrica al 75% de Persistencia por sector



8.2.2 Demanda de Agua para consumo

La demanda de agua se da en función de la población actual y la población futura proyectada en un horizonte de 20 años, en función de la tasa de crecimiento poblacional, la población futura se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$r = \left(\frac{(P_{final} - P_{inicial})}{P_{inicial}} \right) * \left(\frac{1}{n} \right)$$

Cuadro 37: Tasa de crecimiento intercensal

DISTRITO ANTA	CENSO	POBLACION	r
Población (Urbana y Rural)	2007	54828	
Población (Urbana y Rural)	2017	56206	0.002

La información de la población fue obtenida del INEI de los CENSOS, 2007 y 2017, con lo que se obtiene una tasa de 0.002

Con lo que se puede proyectar la población futura por sector, en base a la siguiente fórmula:

$$P_f = P_a * (1 + rn)$$

Cuadro 38: Población Futura

Sector	Familias	Densidad (hab/familia)	r	Total Habitan-tes	P actual	P futura
				2020	2023	2043
Collpaccata	118	4	0.25%	472	476	500
Tomacaya	96	4	0.25%	384	387	406
Huayroncca	22	4	0.25%	88	89	94

Para el cálculo de la demanda para consumo humano se puede obtener mediante la siguiente expresión:

$$Q_{md} = P_f * Dot / 86400$$

Cuadro 39: Demanda de agua para consumo

Sector	P futura	Dot (l/hab/dia)	Demanda (l/s)
	2043		
Collpaccata	500	80	0.46
Tomacaya	406	81	0.38
Huayroncca	94	82	0.09

8.2.2.1 Demanda Agrícola

La demanda de agua de los cultivos para pleno desarrollo se estima considerando la proyección del patrón de cultivos y utilizando datos climatológicos y demás variables.

Considerando que con la implementación de un nuevo sistema de aspersión el mejoraría la eficiencia de riego, la implementación del nuevo proyecto de riego propone alcanzar una eficiencia del 72%, toda vez que los sistemas de conducción y distribución del agua serán por tubería presurizada y el riego por aspersión Considerando las áreas a abastecer en los sectores de Collpaccata (zona alta y baja) 247 Has, Tomaccaya 99.5 has y Huayroncca 10.5 has, haciendo un total de 357 has, el módulo de riego

Figura 48: Área de riego Achaco

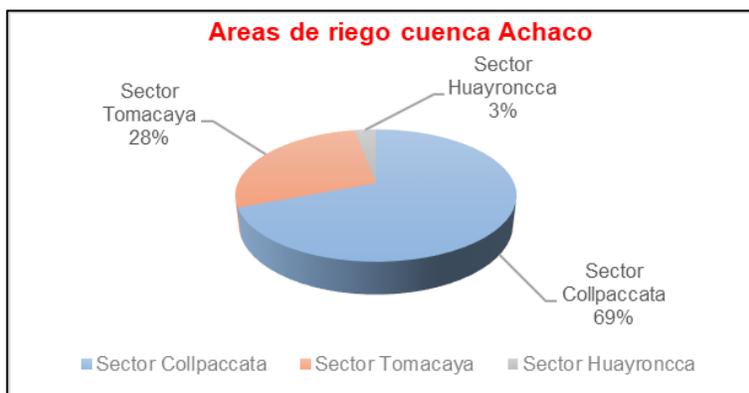
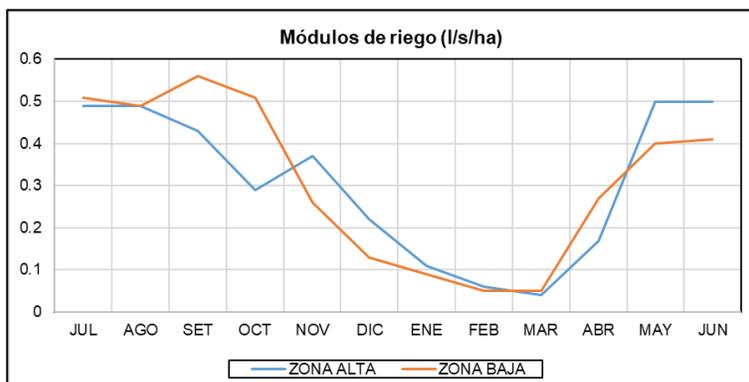


Figura 49: Módulos de riego en (l/s/ha), zonas alta y baja

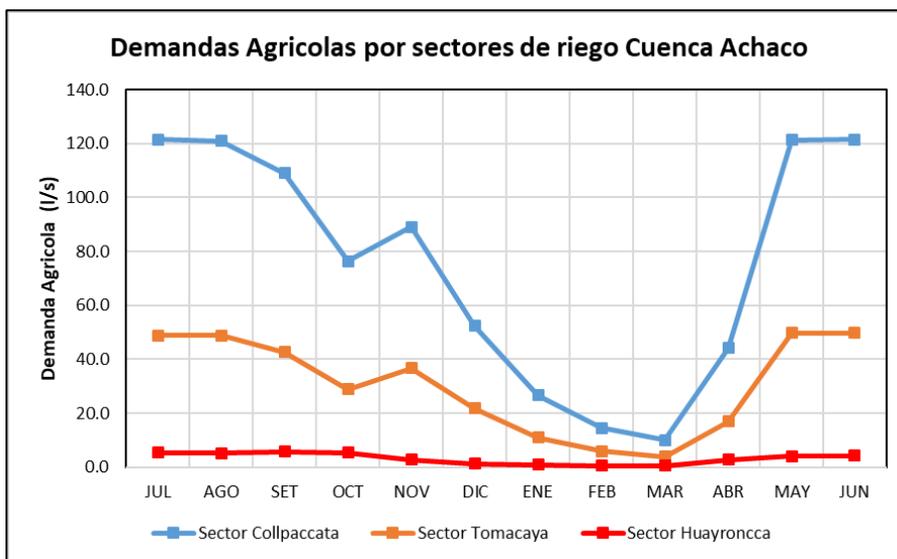


El resultado del cálculo del módulo de riego por zonas agroecológicas, jornada de riego y requerimiento de agua por canales, se puede mostrar en el siguiente cuadro

Cuadro 40: Demandas por sectores de riego

Demanda de Riego Achaco por sectores (l/s)								
MES	Mod. Riego (l/s/ha)		Sector Collpaccata			Sector Tomacaya	Sector Huayroncca	Achaco Total
			ZA	ZB	TOTAL	ZA	ZB	
			Area (has)			Area (has)	Area (has)	Area (has)
	Zona Alta (ZA)	Zona Baja (ZB)	225.5	21.5	247	99.5	10.5	357
JUL	0.5	0.5	110.5	11.0	121.5	48.8	5.4	175.6
AGO	0.5	0.5	110.5	10.5	121.0	48.8	5.1	174.9
SET	0.4	0.6	97.0	12.0	109.0	42.8	5.9	157.7
OCT	0.3	0.5	65.4	11.0	76.4	28.9	5.4	110.6
NOV	0.4	0.3	83.4	5.6	89.0	36.8	2.7	128.6
DIC	0.2	0.1	49.6	2.8	52.4	21.9	1.4	75.7
ENE	0.1	0.1	24.8	1.9	26.7	10.9	0.9	38.6
FEB	0.1	0.1	13.5	1.1	14.6	6.0	0.5	21.1
MAR	0.0	0.1	9.0	1.1	10.1	4.0	0.5	14.6
ABR	0.2	0.3	38.3	5.8	44.1	16.9	2.8	63.9
MAY	0.5	0.4	112.8	8.6	121.4	49.8	4.2	175.3
JUN	0.5	0.4	112.8	8.8	121.6	49.8	4.3	175.6

Figura 50: Demandas agrícolas en l/s por sectores



8.3 BALANCE HIDRICO

8.3.1 Balance Hídrico

Luego de haber determinado la disponibilidad hídrica como el requerimiento hídrico de los cultivos resulta positivo.

Cuadro 41: Balance Hídrico Agrícola

MES	OFERTAS (l/s)			DEMANDAS (l/s)			BALANCE (l/s)		
	Collpaccata	Tomacaya	Huayroncca	Collpaccata	Tomacaya	Huayroncca	Collpaccata	Tomacaya	Huayroncca
ENE	1194.0	1360.0	2291.0	26.7	10.9	0.9	1167.3	1349.1	2290.1
FEB	1763.0	2594.0	4370.0	14.6	6.0	0.5	1748.4	2588.0	4369.5
MAR	1914.0	2406.0	4053.0	10.1	4.0	0.5	1903.9	2402.0	4052.5
ABR	1284.0	1389.0	2340.0	44.1	16.9	2.8	1239.9	1372.1	2337.2
MAY	818.0	885.0	1490.0	121.4	49.8	4.2	696.7	835.3	1485.8
JUN	364.0	477.0	803.0	121.6	49.8	4.3	242.4	427.3	798.7
JUL	268.0	315.0	531.0	121.5	48.8	5.4	146.5	266.2	525.6
AGO	210.0	280.0	471.0	121.0	48.8	5.1	89.0	231.2	465.9
SET	197.0	255.0	430.0	109.0	42.8	5.9	88.0	212.2	424.1
OCT	206.0	259.0	436.0	76.4	28.9	5.4	129.6	230.1	430.6
NOV	283.0	365.0	614.0	89.0	36.8	2.7	194.0	328.2	611.3
DIC	508.0	663.0	1116.0	52.4	21.9	1.4	455.6	641.1	1114.6

Figura 51: Balance sector Collpaccata (l/s)

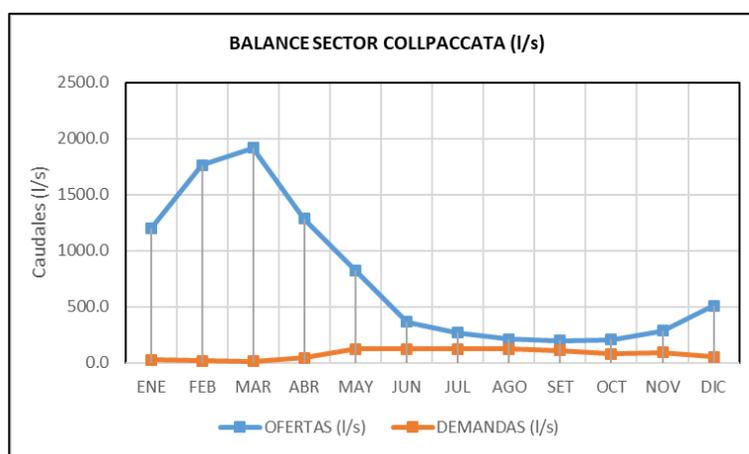


Figura 52: Balance sector Tomacaya (l/s)

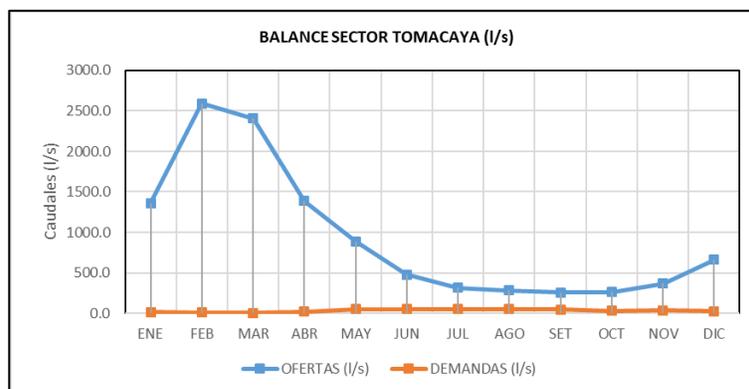
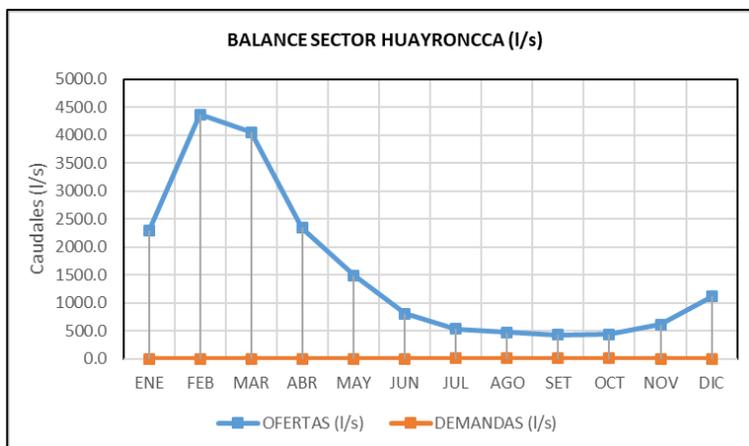


Figura 53: Balance sector Huayroncca(l/s)



9. ANÁLISIS DE MÁXIMAS AVENIDAS

9.1 ASPECTOS GENERALES

El estudio de máximas avenidas en la microcuenca Achaco, se realizará para la generación de caudales máximos para diferentes periodos de retorno en los tramos vulnerables de la zona de estudio.

La generación de caudales máximos se realizará a partir de información de precipitaciones máximas utilizando métodos de transformación precipitación – escorrentía, y se verificarán los caudales obtenidos con otros métodos.

El estudio hidrológico de máximas avenidas en la microcuenca Achaco contempla la determinación de los parámetros geomorfológicos; el análisis y tratamiento de la información meteorológica, determinación del patrón de tormenta para la zona de estudio y finalmente la obtención de los caudales de avenidas para diversos periodos de recurrencia.

9.2 OBJETIVOS

9.2.1 General

Estimación de los caudales de avenidas máximas extraordinarias de la microcuenca Achaco para determinar zonas expuestas a inundación en la microcuenca Achaco.

9.2.2 Específico

- Determinar las características geomorfológicas de la microcuenca del río principal y afluentes
- Analizar y realizar el tratamiento de la información meteorológica
- Estimación de los caudales de máximas avenidas para el río principal para los períodos de retorno requeridos (50 años) en la zona de estudio, bajo modelos establecidos.

9.3 ANÁLISIS DE MÁXIMAS AVENIDAS

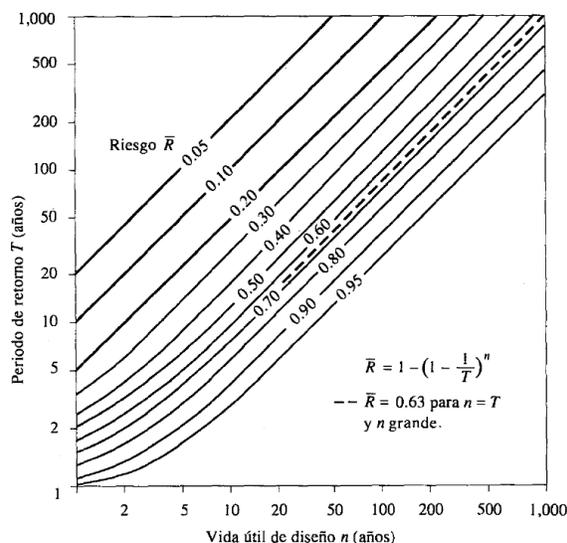
9.3.1 PERIODO DE RETORNO

$$R = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n$$

El tiempo promedio, en años, en que el valor del caudal pico de una creciente determinada es igualado o superado una vez cada “T” años, se le denomina periodo de retorno “T”. Si se supone que los eventos anuales son independientes, es posible calcular la probabilidad de falla para una vida útil de “n” años. Para adoptar el periodo de retorno a utilizar en el diseño de una obra, es necesario considerar la relación existente entre la probabilidad de excedencia de un evento, la vida útil de la estructura y el riesgo de falla admisible, dependiendo este último, de factores económicos, sociales, técnicos y otros. El criterio de riesgo es la fijación, a priori, del riesgo que se desea asumir por el caso de que la obra llegase a fallar dentro de su tiempo de vida útil, lo cual implica que no ocurra un evento de magnitud superior a la utilizada en el diseño durante el primer año, durante el segundo, y así sucesivamente para cada uno de los años de vida de la obra. El riesgo de falla admisible en función del periodo de retorno y vida útil de la obra está dado por:

Si la obra tiene una vida útil de n años, la fórmula anterior permite calcular el periodo de retorno T, fijando el riesgo de falla admisible R, el cual es la probabilidad de ocurrencia del pico de la creciente estudiada, durante la vida útil de la obra.

Figura 54: Riesgo de por lo menos una excedencia del evento de diseño durante la vida útil



Fuente: Imagen 13.2.1 – Hidrología aplicada – Ven Te Chow, David R. Maidment, Larry W. Mays

Cuadro 42: Valores recomendados de riesgo admisible de obras de drenaje

TIPO DE OBRA	RIESGO ADMISIBLE (**) (%)
Puentes (*)	25
Alcantarillas de paso de quebradas importantes y badenes	30
Alcantarillas de paso quebradas menores y descarga de agua de cunetas	35
Drenaje de la plataforma (a nivel longitudinal)	40
Subdrenes	40
Defensas Ribereñas	25

(*) - Para obtención de la luz y nivel de aguas máximas extraordinarias.
- Se recomienda un período de retorno T de 500 años para el cálculo de socavación.

(**) - **Vida Útil considerado (n)**

- Puentes y Defensas Ribereñas n= 40 años.
- Alcantarillas de quebradas importantes n= 25 años.
- Alcantarillas de quebradas menores n= 15 años.
- Drenaje de plataforma y Sub-drenes n= 15 años.

- Se tendrá en cuenta, la importancia y la vida útil de la obra a diseñarse.
- El Propietario de una Obra es el que define el riesgo admisible de falla y la vida útil de las obras.

Fuente: Tabla Nro. 02 – Manual de hidrología, hidráulica y drenaje - MTC

Para nuestro caso particular, consideramos en función a la vida útil de 25 años para el sector rural y (N) con un 40% de riesgo permisible

SECTOR	J (RIESGO PERMISIBLE (%))	VIDA UTIL (AÑOS)	P(PROBABILIDAD DE NO OCURRENCIA)	TR (PERIODO DE RETORNO AÑOS)	TR (PERIODO DE RETORNO AÑOS)
CUENCA ACHACO TRAMO RURAL	40	25	0.98	49.44208246	50

9.3.2 RECOPIACION DE INFORMACION HIDROMETEOROLOGICA

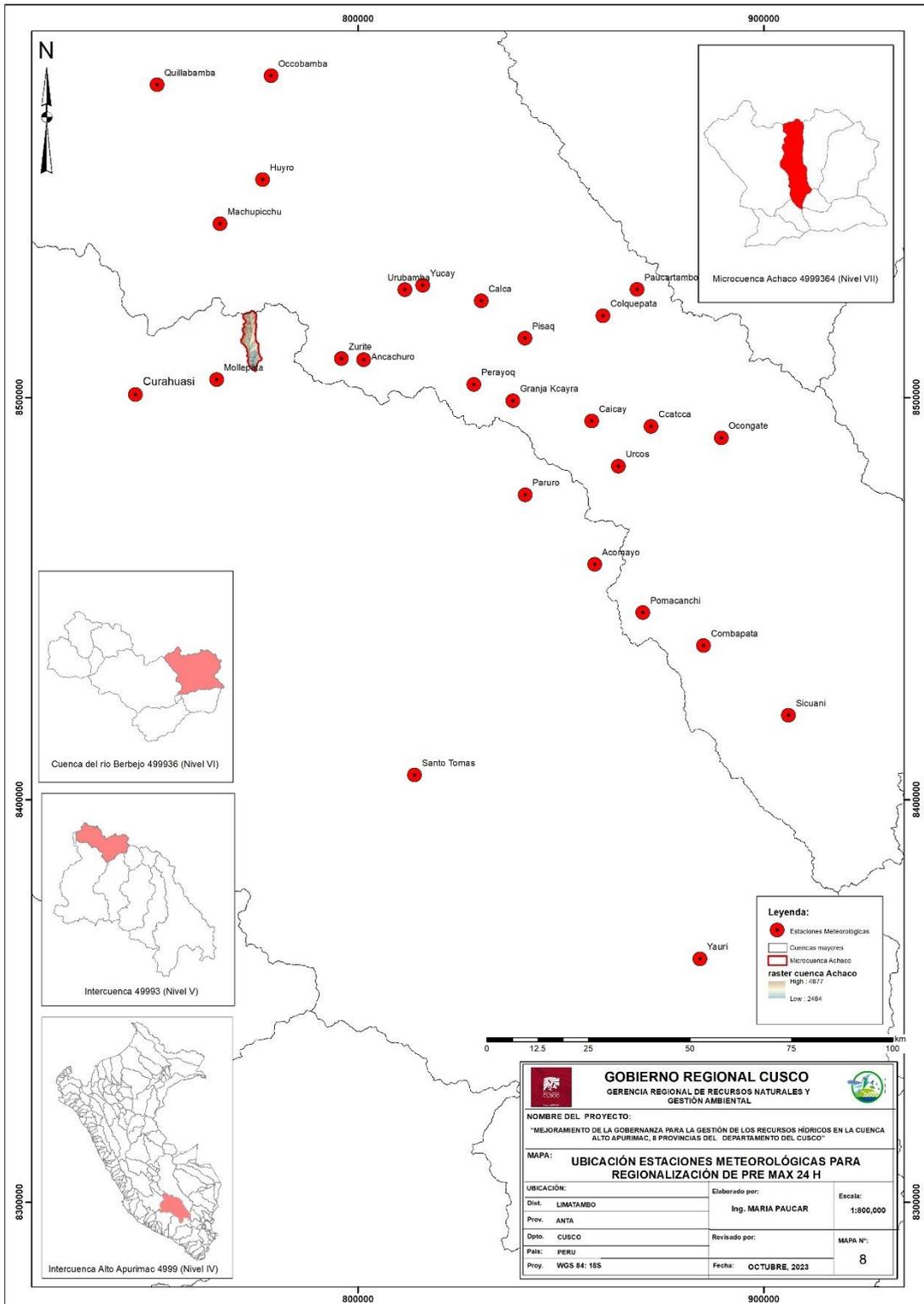
Se utilizó la información de la precipitación máxima 24h obtenida mediante el Análisis Regional de Frecuencia de Precipitación máxima 24 h basado en el método de los L-momentos, para lo cual se utilizó la información de estaciones meteorológicas ubicadas dentro y alrededor de microcuenca en estudio.

A continuación, se presenta un cuadro resumen de las estaciones utilizadas para el estudio.

Cuadro 43: Estaciones meteorológicas con información de precipitación máxima 24h ubicadas dentro y alrededor de la zona de estudio

Nro.	Estación	Cota msnm	Ubicación		Distrito	Provincia	Longitud de Registros	Periodo de Registros
			Latitud	Longitud				
1	Acomayo	3160	13° 55' 18"	71° 41' 02"	Acomayo	Acomayo	56	1963-1983/1987-2021
2	Ancachuro	3340	13° 28' 06"	72° 12' 57"	Zurite	Anta	57	1964-1982/1984-2021
3	Caicay	3100	13° 35' 59"	71° 41' 45"	Caicay	Paucartambo	57	1964-2021
4	Calca	2926	13° 20' 01"	71° 57' 01"	Calca	Calca	30	1963-1979/1981/1987-1998
5	Ccatcca	3729	13° 36' 36"	71° 33' 37"	Ccatcca	Quispicanchi	56	1964-1983/1986-2021
6	Colquepata	3729	13° 21' 48"	71° 40' 24"	Colquepata	Paucartambo	57	1964-2021
7	Combapata	3474	14° 06' 00"	71° 26' 00"	Combapata	Canchis	49	1964-1985/1987/1990-2021
8	Granja Kcayra	3219	13° 33' 25"	71° 52' 31"	San Jeónimo	Cusco	58	1964-2021
9	Huyro	1700	13° 04' 01"	72° 27' 01"	Huayopata	La Convención	18	1964-1981
10	Machupicchu	2563	13° 10' 01"	72° 32' 45"	Aguas Calientes	Urubamba	36	1964-1977/1998-2021
11	Mollepata	2803	13° 31' 01"	72° 33' 01"	Mollepata	Anta	16	1963-1978
12	Ocobamba	1900	12° 50' 01"	72° 26' 01"	Ocobamba	La Convención	19	1964-1976/1978-1983
13	Ocongate	3972	13° 38' 01"	71° 24' 01"	Ocongate	Quispicanchi	7	1964-1970
14	Paruro	3084	13° 46' 03"	71° 50' 41"	Paruro	Paruro	51	1964-1982/1986-1987/1989/1993-2021
15	Paucartambo	3042	13° 18' 12"	71° 35' 48"	Paucartambo	Paucartambo	52	1964-1982/1987/1990-2021
16	Perayoc	3365	13° 31' 16"	71° 57' 53"	Cusco	Cusco	53	1963-2015
17	Pisac	2950	13° 24' 58"	71° 50' 59"	Pisac	Calca	59	1963-2021
18	Pomacanchi	3200	14° 01' 41"	71° 34' 22"	Pomacanchi	Acomayo	36	1985-1989/1991-2021
19	Quillabamba	990	12° 51' 22"	72° 41' 31"	Santa Ana	La Convención	45	1964-1981/1986-1992/1996-2015
20	Santa Rosa	3986	14° 37' 25.5"	70° 47' 11.5"	Santa Rosa	Melgar	41	1964-1979/1986-1987/1989-2011
21	Santo Tomas	3253	14° 23' 58"	72° 05' 19"	Llusco	Chumbivilcas	26	1986-1988/1999-2021.
22	Sicuani	3574	14° 15' 13"	71° 14' 14"	Sicuani	Canchis	63	1957-1984/1987-2021
23	Urcos	3149	13° 42' 01"	71° 38' 01"	Urcos	Quispicanchi	19	1963-1981
24	Urubamba	2863	13° 18' 38"	72° 07' 26"	Urubamba	Urubamba	54	1963-2016
25	Yauri	3927	14° 48' 10"	71° 25' 50"	Yauri	Espinar	49	1964-1978/1986-1988/1991-2021
26	Yucay	2940	13° 18' 01"	72° 05' 01"	Yucay	Urubamba	39	1968-1983
27	Zurite	3391	13° 28' 01"	72° 16' 01"	Zurite	Anta	20	1963-1979/1981-1983

Figura 55: Disponibilidad de Estaciones Meteorológicas

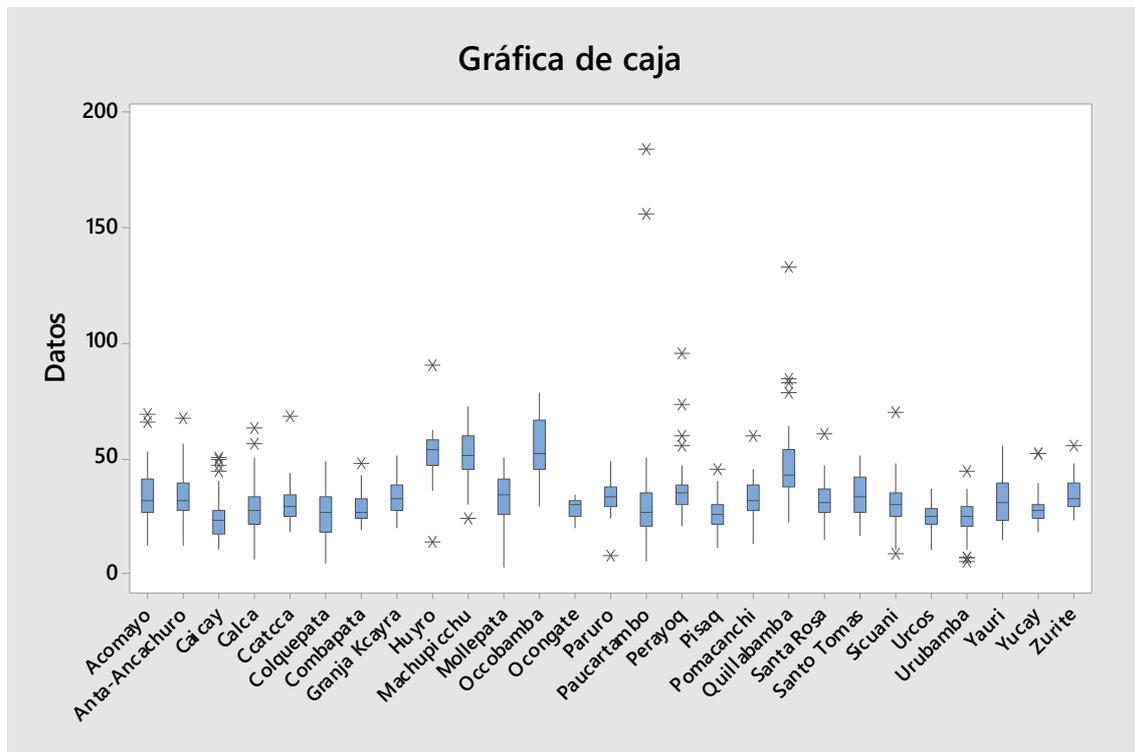


Fuente: Elaboración propia

El primer análisis de calidad que se realizó fue la detección de valores atípicos, mediante el método de diagramas de cajas (box plot), si en una estación se presentaran valores atípicos estos se contrastarán con la cronología de inundaciones, caso contrario se eliminarán, esto está de acuerdo con las recomendaciones de Cunnane (1989) en el tratamiento de los valores atípicos de series máximos anuales.

La información histórica a analizarse deberá incluir los años en que se han registrado los eventos del fenómeno "El Niño", sin embargo, dado que durante el evento del fenómeno del niño normalmente se estiman valores extraordinarios, esta información debe ser evaluada de tal manera que no se originen sobredimensionamientos en las obras (MTC).

Figura 56: Prueba de Caja para identificación de valores atípicos



En la preparación y exploración de los datos utilizados, se evaluó el cumplimiento de criterios estadísticos como aleatoriedad, independencia, homogeneidad y estacionalidad.

Con este procedimiento, se obtuvieron las series de datos originales y no rellenadas, siguiendo paso a paso la propuesta para tratar datos, en este tipo de estudio, según Núñez et al. (2011). (Baez)

La calidad de las series de máximos anuales se ha evaluado a partir de un conjunto de pruebas complementarias en el modelo estadístico TREND (Chiew y Siriwardena, 2005; Grayson et al, 1996), que recoge las recomendaciones y métodos procedentes del Taller de Expertos de la OMM/UNESCO (Kundzewics y Robson, 2000) sobre pruebas estadísticas para la verificación de la calidad de las series hidrometeorológicas (Álvarez).

El software TREND www.toolkit.net.au/trend, elaborado por Francis Chew y Lionel Siriwardena, ambos pertenecientes a la Universidad de Melbourne, Australia. Este programa está diseñado para facilitar pruebas estadísticas de tendencias, cambio y aleatoriedad en series hidrológicas y ha sido aplicado en múltiples estudios como Canales, 2015; Álvarez, 2016

El criterio principal para seleccionar estas estaciones fue tener disponible como mínimo al menos 15 años de registro histórico, puesto que datos demasiado cortos pueden producir errores de estimación más grande del parámetro y cuantiles, lo cual eventualmente puede inducir a una elección equivocada (Lujano)

Cuadro 44: Resultados del programa TREND para las series de datos de las estaciones meteorológicas

Prueba	Acomayo	Anta-Ancachuro	Caicay	Calca	Ccatcca	Colquepata	Combapata	Granja Kcayra	Huyro	Machupicchu	Mollepata	Occobamba	Paruro
Tendencia	Mann-Kendall	NS	NS	S (0.01)	NS	S (0.1)	NS	NS	NS	NS	S (0.1)	NS	NS
	Spearman's Rho	NS	S (0.1)	S (0.01)	NS	S (0.1)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	S (0.05)
	Linear regression	NS	S (0.1)	S (0.01)	NS	S (0.1)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	S (0.1)
Salto en la media	Cusum	NS	NS	NS	NS	S (0.1)	S (0.05)	NS	NS	NS	S (0.1)	S (0.05)	S (0.05)
	Cumulative deviation	NS	S (0.01)	S (0.01)	NS	NS	S (0.05)	NS	NS	NS	NS	NS	S (0.05)
	Worsley likelihood	NS	S (0.05)	S (0.01)	NS	NS	S (0.1)	NS	NS	NS	S (0.1)	NS	S (0.1)
Homogeneidad	Rank Sum	NS	S (0.05)	S (0.05)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	S (0.05)	NS	S (0.05)
	Student's t	NS	S (0.05)	S (0.05)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	S (0.1)
Independencia	Median Crossing	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	S (0.05)	NS	S (0.1)
	Turning Point	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	S (0.01)	NS	S (0.1)	NS
	Rank Difference	NS	NS	NS	NS	NS	S (0.01)	NS	NS	NS	S (0.01)	NS	NS
	Auto Correlation	NS	S (0.05)	S (0.1)	NS	S (0.05)	S (0.01)	NS	NS	NS	S (0.05)	NS	NS

Prueba	Paucartambo	Perayoc	Pisac	Pomacanchi	Quillabamba	Santa Rosa	Santo Tomas	Sicuani	Urcos	Urubamba	Yauri	Yucay	Zurite
Tendencia	Mann-Kendall	S (0.05)	NS	S (0.05)	NS	S (0.05)	NS	S (0.05)	NS	NS	S (0.01)	NS	NS
	Spearman's Rho	S (0.05)	NS	S (0.05)	NS	S (0.05)	NS	S (0.05)	NS	NS	S (0.01)	NS	S (0.1)
	Linear regression	S (0.05)	NS	S (0.1)	NS	S (0.05)	NS	S (0.05)	NS	NS	S (0.01)	NS	S (0.1)
Salto en la media	Cusum	S (0.05)	NS	S (0.05)	NS	S (0.1)	NS	NS	S (0.01)	NS	S (0.01)	NS	NS
	Cumulative deviation	S (0.05)	NS	S (0.05)	NS	S (0.05)	S (0.1)	S (0.1)	NS	NS	S (0.01)	NS	NS
	Worsley likelihood	S (0.01)	NS	S (0.1)	NS	S (0.05)	NS	NS	S (0.01)	NS	S (0.01)	NS	NS
Homogeneidad	Rank Sum	S (0.01)	NS	NS	NS	S (0.05)	NS	S (0.1)	NS	NS	S (0.01)	NS	NS
	Student's t	S (0.05)	NS	NS	NS	S (0.1)	NS	S (0.1)	NS	NS	S (0.01)	NS	NS
Independencia	Median Crossing	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	S (0.05)
	Turning Point	NS	NS	NS	NS	S (0.05)	NS	NS	S (0.01)	NS	S (0.01)	S (0.05)	NS
	Rank Difference	S (0.01)	NS	S (0.1)	S (0.05)	S (0.05)	NS	NS	NS	NS	S (0.01)	NS	NS
	Auto Correlation	S (0.01)	NS	S (0.01)	S (0.05)	S (0.01)	NS	NS	NS	NS	S (0.01)	NS	NS

Tanto el programa L-RAP como el programa TREND, detectaron las siguientes series de precipitaciones con tendencia:

- Caicay
- Ccatcca
- Paucartambo
- Pisac
- Quillabamba
- Santo Tomas
- Yauri

Se procedió a corregir la tendencia en estas estaciones, luego se procede a analizar la independencia en las series (aleatoriedad) las estaciones que presentan dependencia son:

- Ccatcca
- Colquepata
- Paucartambo
- Písaq

Se tratará de incluir estas estaciones dentro de las regiones cercanas a estas, caso contrario se procederá a eliminarlas.

Sin considerar estas estaciones, los resultados obtenidos muestran que, para el nivel de significación α del 0.05, las series analizadas no presentan problemas que apunten a la existencia de tendencias significativas, diferencias en las medias/medianas entre periodos, así como a la falta de aleatoriedad.

La aceptación de la hipótesis de nulidad en todos los casos indica que en una primera aproximación las series de máximos anuales disponen del mínimo de calidad requerida para seguir adelante con la etapa de la regionalización.

9.3.3 Análisis Regional de Frecuencia de Precipitaciones Máximas 24h basado en los L-momentos

Identificación de Regiones Homogéneas

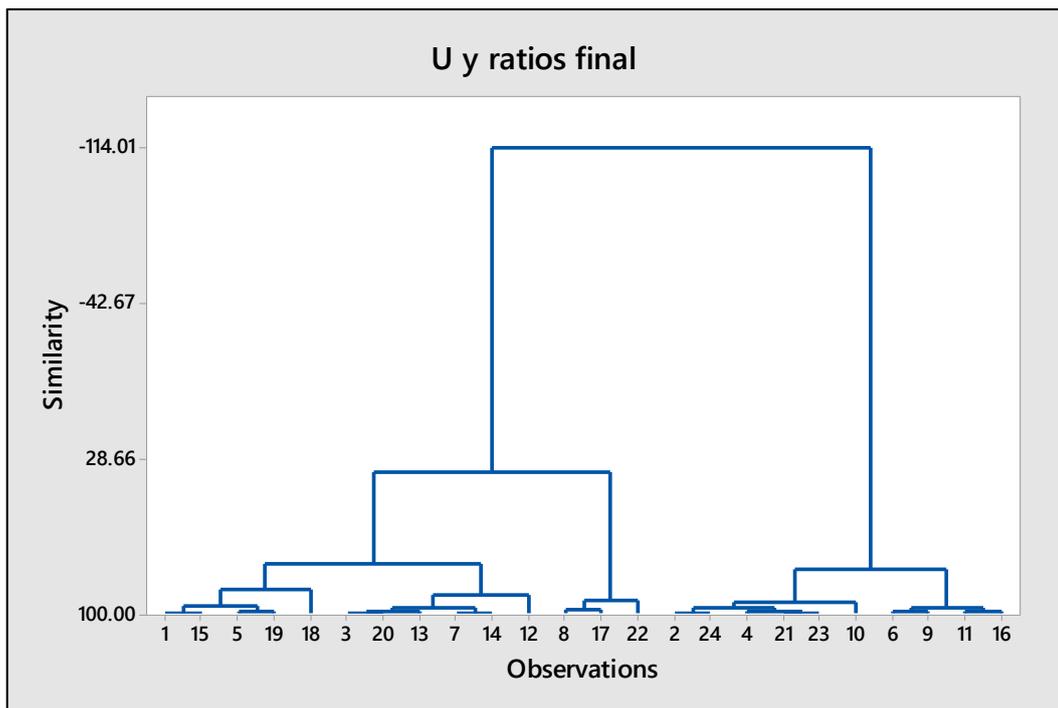
Una vez realizado el filtrado primario de la calidad de las series, se procedió a la identificación de regiones homogéneas. Dada la considerable extensión del área de estudio y el limitado número de estaciones existentes, se consideró inicialmente una única región, según el análisis realizado no resultó ser considerada una única región homogénea por lo que se procedió a subdividir esta región mediante el agrupamiento de estaciones en función de varios criterios.

Método de conglomerados

Los criterios considerados para la identificación de regiones homogéneas por el método de los conglomerados (dendograma de Ward), fueron: características estadísticas de ratios de los coeficientes de los L-momentos, precipitación total anual, altitud, ubicación de las estaciones, etc.

Luego de realizar varias combinaciones entre estos criterios, la conformación de estaciones homogéneas se basó principalmente en una combinación entre los ratios de los L-momentos (Coeficiente de variación, coeficiente de sesgo y coeficiente de kurtosis) y la ubicación de las estaciones.

Figura 57: Dendograma de Ward, criterio considerando los ratios de los L-momentos y la ubicación



Según este criterio de conformación, tenemos que se conforman 3 regiones: la primera conformada por las estaciones: Quillabamba, Occobamba, Huyro, Machupicchu, Urubamba, Yucay, Mollepata, Zurite, Ancachuro, Calca, Pisaq, Perayoc y Kayra, la segunda conformada por las estaciones: Acomayo, Pomacanchi, Catcca, Combapata, Sicuani y Caicay y la tercera conformada por: Paruro, Santa Rosa, Santo Tomas, Urcos y Yauri.

Tentativamente se conformaron estas regiones, que serán sometidas a las siguientes etapas según la metodología de los L-momentos.

9.3.4 Método de momentos - L

a. Estadísticas de los L-momentos

El siguiente análisis se basa en las regiones preliminares identificadas por el algoritmo de Ward. La estimación de parámetros, de momentos-L, se desarrolla mediante el procedimiento de Hosking y Wallis (1997).

Las tablas 2, 3 y 4, muestran las estadísticas de momentos-L (media, coeficiente de variación-L, asimetría-L y curtosis-L), de las estaciones que conforman cada región.

Cuadro 45: Estadísticas de coeficiente de variación-L, asimetría-L y curtosis-L para la región 1

##	ID	Estacion Nombre	Gobierno Unidad	No-Cero Gage #Datos	Todos #Datos	MAP	Estado	Region	TODOS-DATOS		** NO-CERO DATOS ESTADISTICA ***				Discordancy	
									MEDIA	ThetaZ	MEDIA	L-CV	L-SKEW	L-KURT		
1	2	ANCACHURO	AN	DY	50	50	0.0	0	1	38.6	0.000	38.6	0.1611	0.1942	0.2031	1.11
2	4	CALCA	CA	DY	27	27	0.0	0	1	30.7	0.000	30.7	0.1433	0.1460	0.2029	0.58
3	9	HUYRO	LC	DY	16	16	0.0	0	1	59.2	0.000	59.2	0.0768	0.1888	0.1861	2.44
4	8	KCAYRA	CU	DY	52	52	200.0	0	1	37.3	0.000	37.3	0.1330	0.0510	0.0673	1.35
5	11	MACHUPICCHU	UR	DY	30	30	0.0	0	1	60.1	0.000	60.1	0.1118	0.0099	0.1125	0.48
6	12	MOLLEPATA	AN	DY	15	15	0.0	0	1	38.7	0.000	38.7	0.1791	0.0815	0.1830	2.64
7	13	OCCOBAMBA	LC	DY	19	19	0.0	0	1	62.3	0.000	62.3	0.1529	0.0248	0.0746	1.25
8	17	PERAYOQ	CU	DY	49	49	0.0	0	1	37.7	0.000	37.7	0.1095	0.0384	0.1247	0.39
9	18	PISAQ	CA	DY	51	51	0.0	0	1	29.3	0.000	29.3	0.1517	0.0350	0.1769	0.31
10	20	QUILLABAMBA	LC	DY	42	42	0.0	0	1	50.0	0.000	50.0	0.1310	0.0992	0.2198	0.57
11	25	URUBAMBA	UR	DY	51	51	0.0	0	1	28.9	0.000	28.9	0.1327	0.0393	0.1450	0.04
12	27	YUCAY	UR	DY	37	37	0.0	0	1	30.3	0.000	30.3	0.0979	0.0182	0.1745	0.48
13	28	ZURITE	AN	DY	19	19	0.0	0	1	37.6	0.000	37.6	0.1025	0.1599	0.2028	1.38
											ThetaZero	L-CV	L-SKEW	L-KURT		
PONDERADA MEDIA VALORES											0.000	0.131	0.046	0.157		

Cuadro 46: Estadísticas de coeficiente de variación-I, asimetría-I y curtosis-I para la región 2

##	StationID	Station Name	Government		>Thresh		MAP	Status	Region	ALL-DATA		** DATA OVER THRESHOLD STATISTICS ***				Discordancy
			Unit	Gage	#Data	#Data				MEAN	ThetaZ	MEAN	L-CV	L-SKEW	L-KURT	
1	1	ACOMAYO	AC	DY	48	48	0.0	0	1	37.72	0.000	37.72	0.1767	0.1163	0.1406	0.68
2	3	CAICAY	PA	DY	51	51	0.0	0	1	26.91	0.000	26.91	0.1817	0.1555	0.1355	1.04
3	5	CCATCCA	QU	DY	49	49	0.0	0	1	33.84	0.000	33.84	0.1529	0.1424	0.1713	0.25
4	7	COMBAPATA	CA	DY	30	30	0.0	0	1	31.49	0.000	31.49	0.1240	0.1610	0.1702	1.17
5	19	POMACANCHI	AC	DY	29	29	0.0	0	1	37.09	0.000	37.09	0.1463	0.0883	0.2142	1.47
6	23	SICUANI	CA	DY	54	54	0.0	0	1	34.74	0.000	34.74	0.1394	0.1269	0.1283	1.39
											ThetaZero	L-CV	L-SKEW	L-KURT		
WEIGHTED MEAN VALUES											0.000	0.156	0.133	0.154		

Cuadro 47: Estadísticas de coeficiente de variación-I, asimetría-I y curtosis-I para la región 3

##	ID	Estacion Nombre	Gobierno Unidad	No-Cero Gage #Datos	Todos #Datos	MAP	Estado	Region	TODOS-DATOS		** NO-CERO DATOS ESTADISTICA ***				Discordancy		
									MEDIA	ThetaZ	MEDIA	L-CV	L-SKEW	L-KURT		L-CINCO	
1	15	PARURO	PA	DY	43	43	0.0	0	1	37.7	0.000	37.7	0.1003	0.0785	0.1152	0.0301	0.75
2	21	SANTA ROSA	ME	DY	39	39	0.0	0	1	36.3	0.000	36.3	0.1209	0.0940	0.0728	0.0065	0.86
3	22	SANTO TOMAS	CH	DY	20	20	0.0	0	1	38.1	0.000	38.1	0.1369	0.0427	0.1018	0.0428	0.97
4	24	URCOS	QU	DY	17	17	0.0	0	1	28.2	0.000	28.2	0.0838	0.2000	0.2035	0.1528	1.28
5	26	YAURI	ES	DY	42	42	0.0	0	1	35.5	0.000	35.5	0.1266	-0.0591	0.1165	0.0023	1.14
											ThetaZero	L-CV	L-SKEW	L-KURT	L-CINCO		
PONDERADA MEDIA VALORES											0.000	0.115	0.055	0.113	0.032		

b. Medida de discordancia

De la tabla 5, se deduce que para las regiones 1, 2 y 3, según la cantidad de estaciones, se tienen una discordancia crítica (D_c) igual a 2.86, 1.65 y 1.33 respectivamente. No existen a nivel local estaciones discordantes respecto del comportamiento regional que cabría esperar en una región supe-ramente homogénea. Ninguna de las medidas individuales de la medida de discordancia D_i superaron el umbral crítico (D_{crit}). Los resultados de la medida de discordancia son concordantes con los obtenidos en el análisis inicial de calidad, realizado sobre la base de un conjunto de pruebas estadísticas recomendadas por la OMM.

Cuadro 48: Medidas de discordancia para la región 1

##	ID	Estacion Nombre	Gobierno Unidad	No-Cero Gage	Todos #Datos	MAP	Estado	Region	TODOS-DATOS		** NO-CERO DATOS ESTADISTICA ***				Discordancy	
									MEDIA	ThetaZ	MEDIA	L-CV	L-SKEW	L-KURT		
1	2	ANCACHURO	AN	DY	50	50	0.0	0	1	38.6	0.000	38.6	0.1611	0.1942	0.2031	1.11
2	4	CALCA	CA	DY	27	27	0.0	0	1	30.7	0.000	30.7	0.1433	0.1460	0.2029	0.58
3	9	HUYRO	LC	DY	16	16	0.0	0	1	59.2	0.000	59.2	0.0768	-0.1888	0.1861	2.44
4	8	KCAYRA	CU	DY	52	52	200.0	0	1	37.3	0.000	37.3	0.1330	0.0510	0.0673	1.35
5	11	MACHUPICCHU	UR	DY	30	30	0.0	0	1	60.1	0.000	60.1	0.1118	0.0099	0.1125	0.48
6	12	MOLLEPATA	AN	DY	15	15	0.0	0	1	38.7	0.000	38.7	0.1791	-0.0815	0.1830	2.64
7	13	OCCOBAMBA	LC	DY	19	19	0.0	0	1	62.3	0.000	62.3	0.1529	0.0248	0.0746	1.25
8	17	PERAYOQ	CU	DY	49	49	0.0	0	1	37.7	0.000	37.7	0.1095	-0.0384	0.1247	0.39
9	18	PISAQ	CA	DY	51	51	0.0	0	1	29.3	0.000	29.3	0.1517	0.0350	0.1769	0.31
10	20	QUILLABAMBA	LC	DY	42	42	0.0	0	1	50.0	0.000	50.0	0.1310	0.0992	0.2198	0.57
11	25	URUBAMBA	UR	DY	51	51	0.0	0	1	28.9	0.000	28.9	0.1327	0.0393	0.1450	0.04
12	27	YUCAY	UR	DY	37	37	0.0	0	1	30.3	0.000	30.3	0.0979	-0.0182	0.1745	0.48
13	28	ZURITE	AN	DY	19	19	0.0	0	1	37.6	0.000	37.6	0.1025	0.1599	0.2028	1.38

Cuadro 49: Medidas de discordancia para la región 2

##	StationID	Station Name	Government Unit	Gage	#Data	>Thresh #Data	MAP	Status	Region	ALL-DATA		** DATA OVER THRESHOLD STATISTICS ***				Discordancy
										MEAN	ThetaZ	MEAN	L-CV	L-SKEW	L-KURT	
1	1	ACOMAYO	AC	DY	48	48	0.0	0	1	37.72	0.000	37.72	0.1767	0.1163	0.1406	0.68
2	3	CAICAY	PA	DY	51	51	0.0	0	1	26.91	0.000	26.91	0.1817	0.1555	0.1355	1.04
3	5	CCATCCA	QU	DY	49	49	0.0	0	1	33.84	0.000	33.84	0.1529	0.1424	0.1713	0.25
4	7	COMBAPATA	CA	DY	30	30	0.0	0	1	31.49	0.000	31.49	0.1240	0.1610	0.1702	1.17
5	19	POMACANCHI	AC	DY	29	29	0.0	0	1	37.09	0.000	37.09	0.1463	0.0883	0.2142	1.47
6	23	SICUANI	CA	DY	54	54	0.0	0	1	34.74	0.000	34.74	0.1394	0.1269	0.1283	1.39

Cuadro 50: Medidas de discordancia para la región 3

##	ID	Estacion Nombre	Gobierno Unidad	No-Cero Gage	Todos #Datos	MAP	Estado	Region	TODOS-DATOS		** NO-CERO DATOS ESTADISTICA ***				Discordancy	
									MEDIA	ThetaZ	MEDIA	L-CV	L-SKEW	L-KURT		
1	15	PARURO	PA	DY	43	43	0.0	0	1	37.7	0.000	37.7	0.1003	0.0785	0.1152	0.75
2	21	SANTA ROSA	ME	DY	39	39	0.0	0	1	36.3	0.000	36.3	0.1209	0.0940	0.0728	0.86
3	22	SANTO TOMAS	CH	DY	20	20	0.0	0	1	38.1	0.000	38.1	0.1369	0.0427	0.1018	0.97
4	24	URCOS	QU	DY	17	17	0.0	0	1	28.2	0.000	28.2	0.0838	0.2000	0.2035	1.28
5	26	YAURI	ES	DY	42	42	0.0	0	1	35.5	0.000	35.5	0.1266	-0.0591	0.1165	1.14

ThetaZero
 PONDERADA MEDIA VALORES 0.000
 L-CV 0.115
 L-SKEW 0.055
 L-KURT 0.113

En las Figuras 3, 4 y 5 se observa los diagramas de dispersión de las relaciones mencionadas (LCv vs LCs) para cada región, deduciéndose que ninguna estación se encuentra alejada de manera significativa del promedio.

Figura 58: Relaciones de momentos Región 1

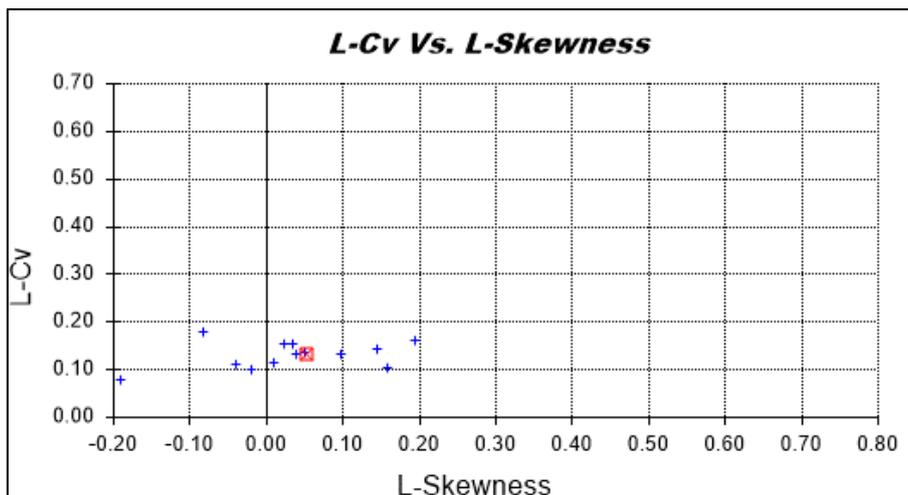


Figura 59: Relaciones de momentos Región 2

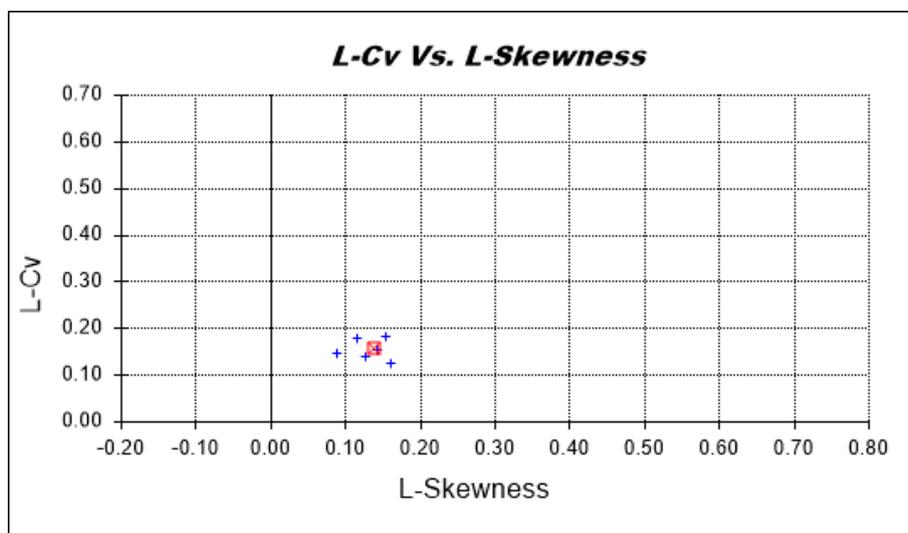
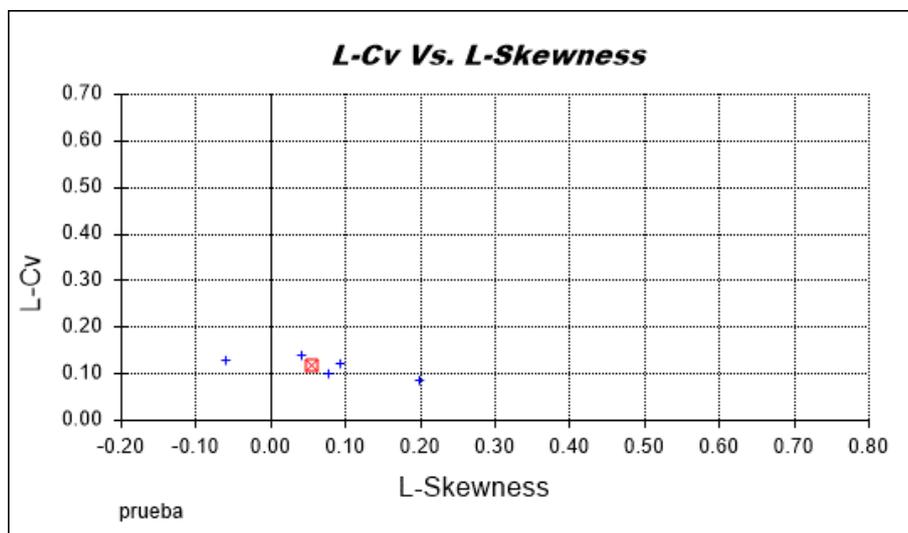


Figura 60: Relaciones de momentos Región 3



c. Prueba de heterogeneidad regional

Se establecen tres regiones homogéneas, con valores H de 1.83 (Región 1), 0.65 (Región 2) y 1.04 (Región 3), los cuales satisfacen la condición de 'aceptablemente homogénea' ($H < 2$), es decir, las estaciones de cada grupo tienen distribuciones de frecuencia idénticas, aparte de un factor de escala específica. Las tablas 8, 9 y 10 muestran la prueba de heterogeneidad, cuyos resultados son aceptables según el criterio establecido por Hosking y Wallis, 1997.

Cuadro 51: Prueba de heterogeneidad (H) para la región 1

```
=====
===== HETEROGENEIDAD MEDIDA H1 =====
===== 500 Simulaciones =====
# SITIOS = 13 # DATOS = 458.

OBSERVADO DEVIACION ESTANDAR DE GRUPO L-CV = 0.0235
SIMULADO MEDIA DE DEVIACION ESTANDAR DE GRUPO L-CV = 0.0168
SIMULADO DEVIACION ESTANDAR DE DEVIACION ESTANDAR DE GRUPO L-CV = 0.0036
ESTANDARIZADO PRUEBA VALOR = 1.83 Aceptar *
```

Cuadro 52: Prueba de heterogeneidad (H) para la región 2

```
=====
===== HETEROGENEITY MEASURE H1 =====
===== 500 Simulations =====
# SITES = 6 # DATA VALUES = 261.

OBSERVED S.D. OF GROUP L-CV = 0.0199
SIM. MEAN OF S.D. OF GROUP L-CV = 0.0164
SIM. S.D. OF S.D. OF GROUP L-CV = 0.0053
STANDARDIZED TEST VALUE = 0.65 Accept
```

Cuadro 53: Prueba de heterogeneidad (H) para la región 3

```
=====
===== HETEROGENEIDAD MEDIDA H1 =====
===== 500 Simulaciones =====
# SITIOS = 5 # DATOS = 161.

OBSERVADO DEVIACION ESTANDAR DE GRUPO L-CV = 0.0162
SIMULADO MEDIA DE DEVIACION ESTANDAR DE GRUPO L-CV = 0.0116
SIMULADO DEVIACION ESTANDAR DE DEVIACION ESTANDAR DE GRUPO L-CV = 0.0045
ESTANDARIZADO PRUEBA VALOR = 1.04 Aceptar *
```

d. Selección de la distribución regional de frecuencia

Los métodos probabilísticos que mejor se ajustan a valores extremos máximos, según el manual de hidrología y drenaje del MTC son:

- Distribución Normal
- Distribución Log Normal 2 parámetros
- Distribución Log Normal 3 parámetros
- Distribución Gama 2 parámetros
- Distribución Gama 3 parámetros

- Distribución Log Pearson tipo III
- Distribución Gumbel
- Distribución Log Gumbel

Sin embargo, según la metodología y las recomendaciones para realizar el análisis regional de frecuencias basado en los momentos lineales, los autores justifican la elección entre las distribuciones Normal Generalizada (GNO), Logística Generalizada (GLO), Generalizada de Valores Extremos (GEV), Pearson tipo III (PE3) y Generalizada de Pareto (GPA), que, por el hecho de poseer tres parámetros, son las distribuciones más empleadas en el estudio de variables ambientales (Lujano, 2016).

Tras la evaluación de la homogeneidad regional, fueron valoradas a partir de la bondad de ajuste ZDI-STR un conjunto de 5 distribuciones candidatas de tres parámetros (GLO, GEV, GNO, GPA y PE3), recomendadas por Hosking y Wallis (1997). Los resultados de la prueba se muestran en las tablas 11, 12 y 13.

Cuadro 54: Prueba de bondad de ajuste para la región 1

```
*****
**** CALIDAD DE LOS ADECUADOS MEDIDAS ****
***** 500 Simulaciones ***

GEN. LOGISTIC      L-KURTOSIS = 0.169   Z VALOR = 0.61  Aceptar
GEN. NORMAL        L-KURTOSIS = 0.125   Z VALOR = -1.85 Reject
PEARSON TYPE III   L-KURTOSIS = 0.123   Z VALOR = -1.94 Reject
GEN. EXTREME VALUE L-KURTOSIS = 0.115   Z VALOR = -2.39 Reject
GAUCHO             L-KURTOSIS = 0.064   Z VALOR = -5.23 Reject
GEN. PARETO        L-KURTOSIS = 0.013   Z VALOR = -8.09 Reject
```

Cuadro 55: Prueba de bondad de ajuste para la región 2

```
*****
**** GOODNESS-OF-FIT MEASURES ****
***** 500 Simulations ***

GEN. EXTREME VALUE L-KURTOSIS= 0.138   Z VALUE= -0.81  Accept
GEN. NORMAL        L-KURTOSIS= 0.138   Z VALUE= -0.84  Accept
GEN. LOGISTIC      L-KURTOSIS= 0.183   Z VALUE= 1.09   Accept
PEARSON TYPE III   L-KURTOSIS= 0.128   Z VALUE= -1.23  Accept
GAUCHO             L-KURTOSIS= 0.093   Z VALUE= -2.76  Reject
GEN. PARETO        L-KURTOSIS= 0.046   Z VALUE= -4.79  Reject
```

Cuadro 56: Prueba de bondad de ajuste para la región 3

```
*****
**** CALIDAD DE LOS ADECUADOS MEDIDAS ****
***** 500 Simulaciones ***

GEN. EXTREME VALUE L-KURTOSIS = 0.116   Z VALOR = 0.35  Aceptar
PEARSON TYPE III   L-KURTOSIS = 0.123   Z VALOR = 0.62  Aceptar
GEN. NORMAL        L-KURTOSIS = 0.125   Z VALOR = 0.69  Aceptar
GAUCHO             L-KURTOSIS = 0.065   Z VALOR = -1.51 Aceptar
GEN. LOGISTIC      L-KURTOSIS = 0.169   Z VALOR = 2.31  Reject
GEN. PARETO        L-KURTOSIS = 0.014   Z VALOR = -3.39 Reject
```

En las figuras siguientes, se muestran las relaciones teóricas entre los LCs y LCK dadas por Hosking y Wallis (1997) para cada una de las funciones de distribución candidatas. En la misma figura se representan los valores locales de cada estación de la región (cruces), mientras que el promedio regional ponderado se ha representado por un cuadrado rojo. Se observa claramente como el promedio regional ponderado cae sobre la curva teórica de la función seleccionada en cada caso.

Figura 61: Diagrama de relación de momentos-L promedio regional para la serie de precipitaciones máximas diarias, región 1

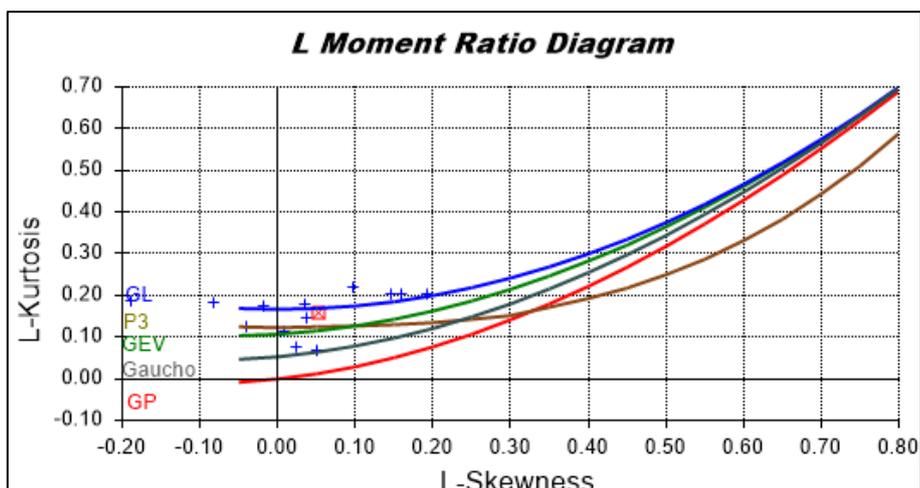


Figura 62: Diagrama de relación de momentos-L promedio regional para la serie de precipitaciones máximas diarias, región 2

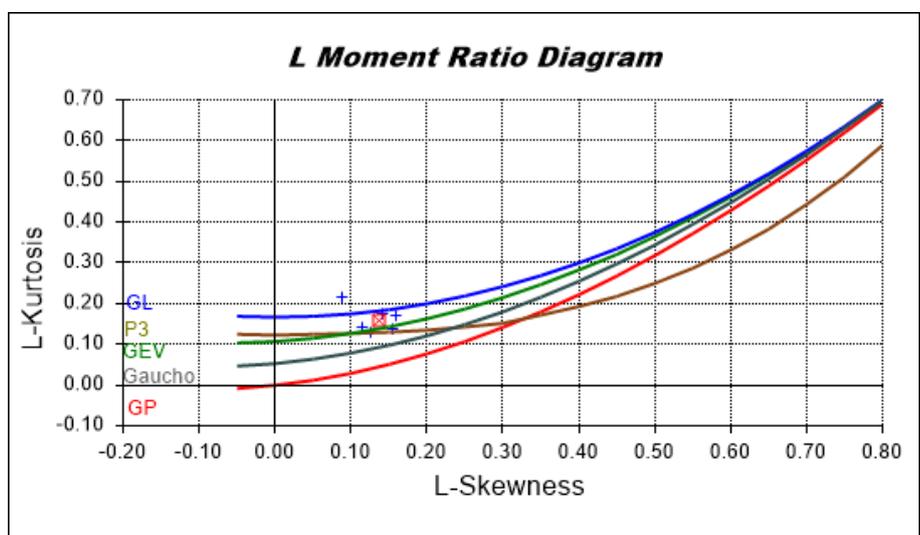
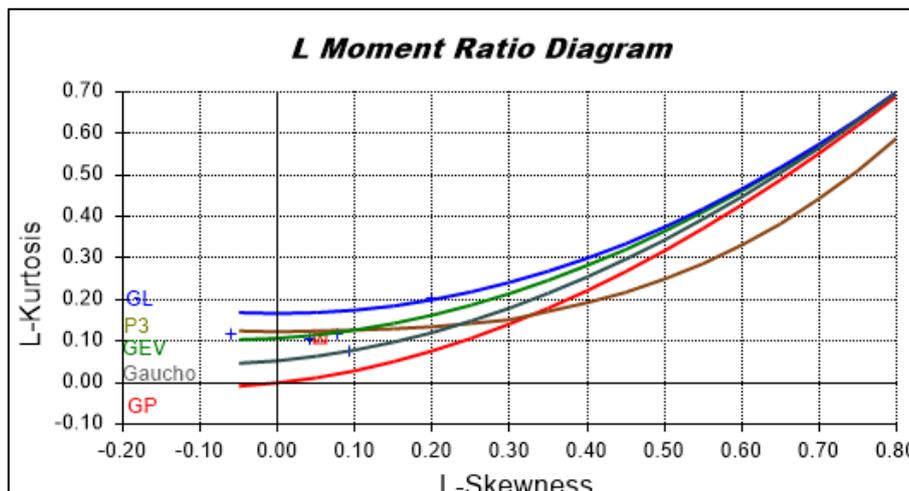


Figura 63: Diagrama de relación de momentos-L promedio regional para la serie de precipitaciones máximas diarias, región 3



Se encontró una buena correspondencia entre los resultados de la prueba de bondad de ajuste y el diagrama de momentos-L, por tanto, se tiene para la región 1 la distribución de GLO como distribución regional válida y se rechaza la distribución las demás (Tabla 11).

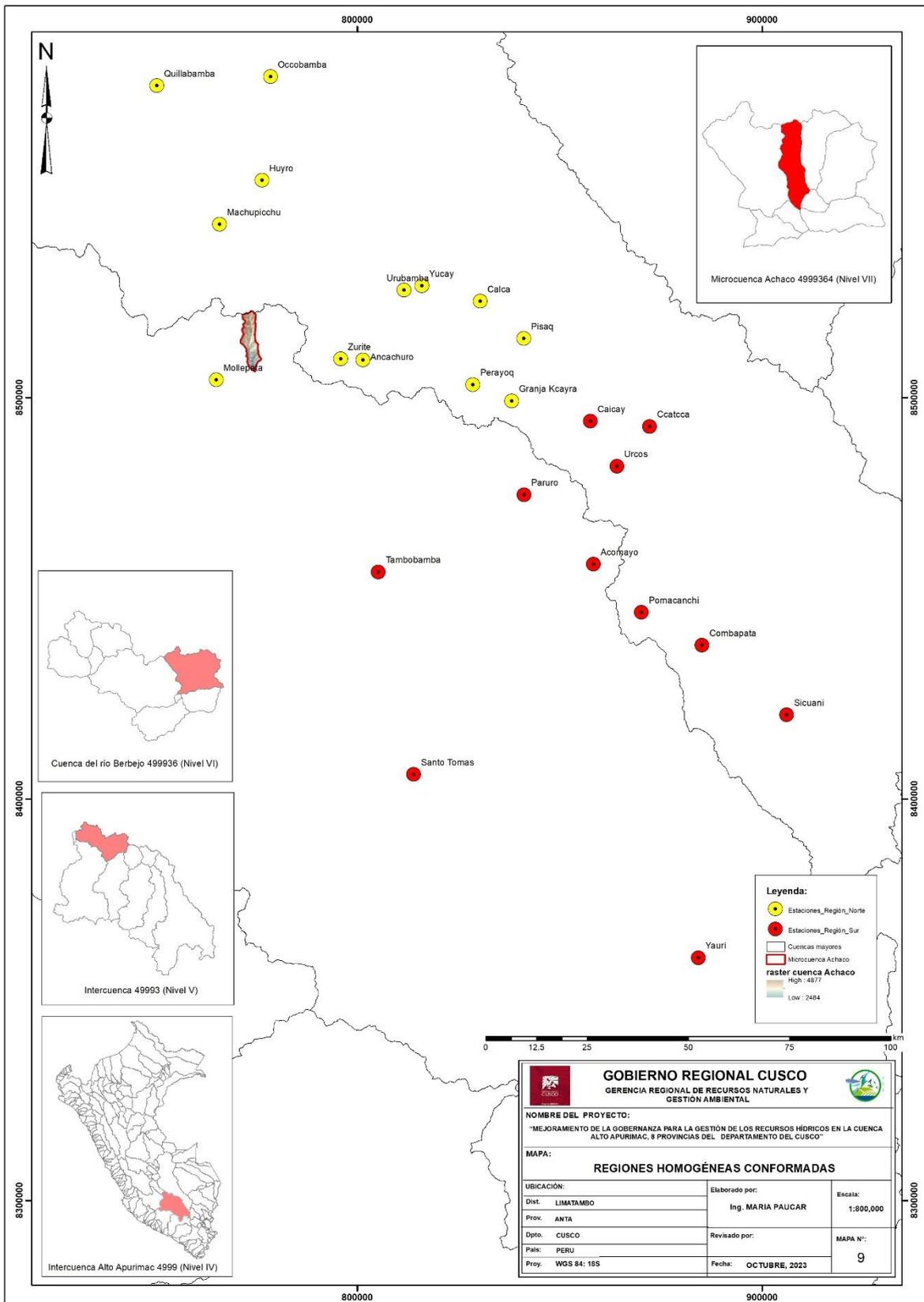
En la región 2, son aceptadas las distribuciones GEV, GNO, GLO y PE3, rechazando las distribuciones Gaucho y GPA (Tabla 12). Y en la región 3, son aceptadas las distribuciones GEV, Gaucho, GNO, y PE3, rechazando las distribuciones GLO y GPA (Tabla 13).

Como en la región 2 y 3 predomina la distribución GEV como la más adecuada para representar el comportamiento de estas regiones, se procede a fusionar ambas regiones bajo esta distribución y a denominarla la región Sur. Y la región 1 como región norte.

La Figura 9, muestra el resultado de la formación de 02 regiones homogéneas, la primera región denominada Región Norte, conformada por las estaciones: Quillabamba, Occobamba, Huyro, Machupicchu, Urubamba, Yucay, Mollepata, Zurite, Ancachuro, Calca, Perayoq, Granja K'ayra y Písaq y la segunda región denominada Sur, conformada por las estaciones Caicay, Ccatcca, Urcos, Paruro, Acomayo, Pomacanchi, Combapata, Sicuani, Santo Tomás, Santa Rosa y Yauri.

Las distribuciones que mejor se ajustan a las regiones conformadas según la prueba de bondad de ajuste, resultaron GEN Logistic y GEV, respectivamente. Estas distribuciones han sido utilizadas en múltiples estudios relacionados a análisis probabilístico de eventos extremos (Lavado)

Figura 64: Regiones Homogéneas Norte y Sur Conformadas



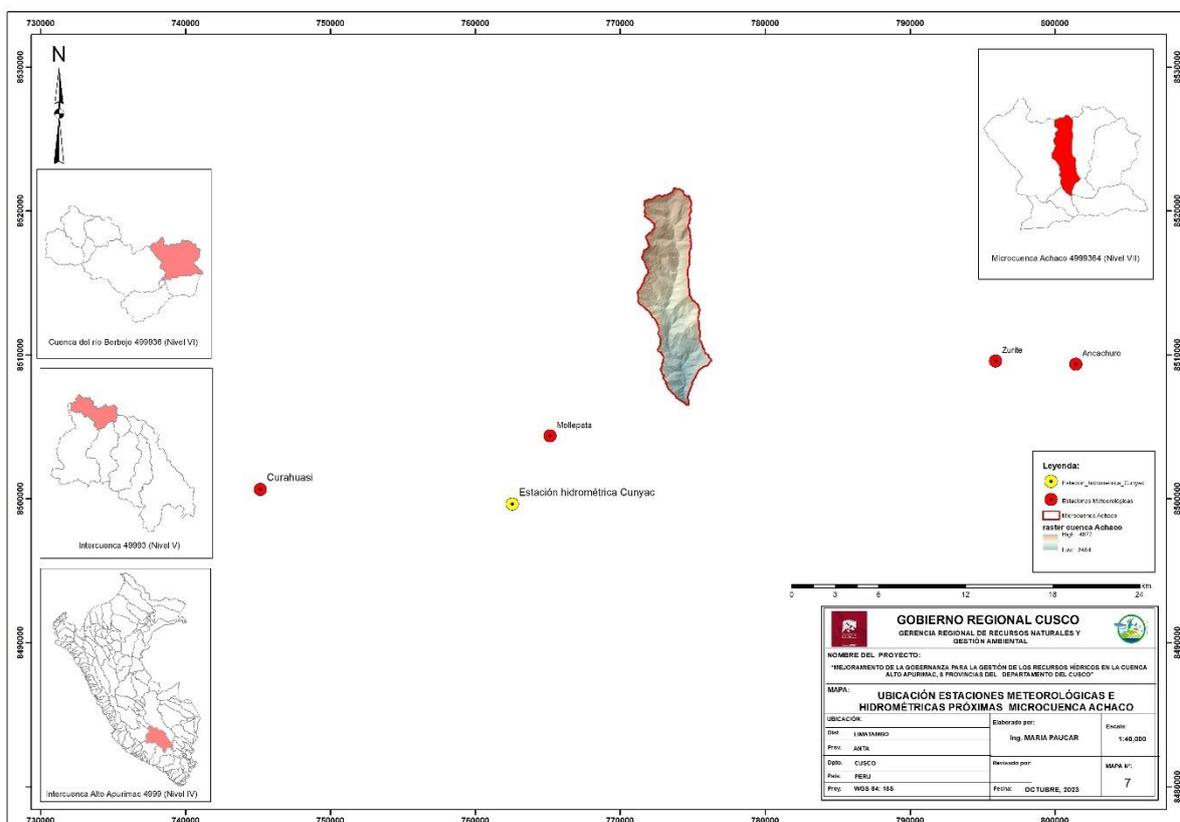
e. Estimación de cuantiles

La Metodología desarrollada ítems arriba, nos servirá de base para la elección de la distribución a emplear en las estaciones que se encuentren próximas a la zona de estudio. En el caso de Limatambo se trabajará con las estaciones de Anta-Ancachuro, Mollepata, Zurite.

Cuadro 57: Estaciones de influencia de la microcuenca Achaco

Nro.	Estación	Cota msnm	Ubicación		Distrito	Provincia	Longitud de Registros	Periodo de Registros
			Latitud	Longitud				
1	Ancachuro	3340	13° 28' 06"	72° 12' 57"	Zurite	Anta	57	1964-1982/1984-2021
2	Mollepata	2803	13° 31' 01"	72° 33' 01"	Mollepata	Anta	16	1963-1978
3	Zurite	3391	13° 28' 01"	72° 16' 01"	Zurite	Anta	20	1963-1979/1981-1983

Figura 65: Estaciones de influencia de la microcuenca Achaco



Para los cálculos de ajuste a la distribución teórica correspondiente a la región norte (Generalizada Logística) la información meteorológica (Precipitación Máxima en 24 horas), se utilizó el software easyfit, por su versatilidad y facilidad en el ingreso de los datos.

En el siguiente cuadro se presenta las precipitaciones máximas en 24 horas obtenidas a partir de la distribución de probabilidades para las estaciones de influencia.

Cuadro 58: Determinación de la precipitación de diseño

P	TR	Ancachuro	Mollepata	Zurite
0.5	2 años	32.5	35.1	32.3
0.8	5 años	40.5	43.0	37.4
0.9	10 años	46.2	47.3	40.9
0.96	25 años	54.4	52.1	45.9
0.98	50 años	61.4	55.3	50.0
0.99	100 años	69.2	58.3	54.5
0.995	200 años	78.1	61.2	59.5

Fuente: elaboración Propia

9.3.5 Correcciones al valor representativo

L.L.Weiss, sobre la base de un estudio de miles de estaciones –año de datos de lluvia, encontró que: Los resultados de una análisis probabilístico llevado a cabo con lluvias máximas anuales tomadas en un único y fijo intervalo de observación, para cualquier duración comprendida entre 1 y 24 horas, al ser incrementado en un 13% conducían a magnitudes más aproximadas a las obtenidas en el análisis basado en lluvias máximas verdaderas.

Cuadro 59: Precipitación máxima en 24 horas – corregidas

P	TR	Ancachuro	Mollepata	Zurite
0.5	2 años	36.8	39.7	36.6
0.8	5 años	45.8	48.6	42.3
0.9	10 años	52.2	53.4	46.3
0.96	25 años	61.5	58.9	51.8
0.98	50 años	69.4	62.5	56.5
0.99	100 años	78.2	65.9	61.6
0.995	200 años	88.3	69.1	67.3

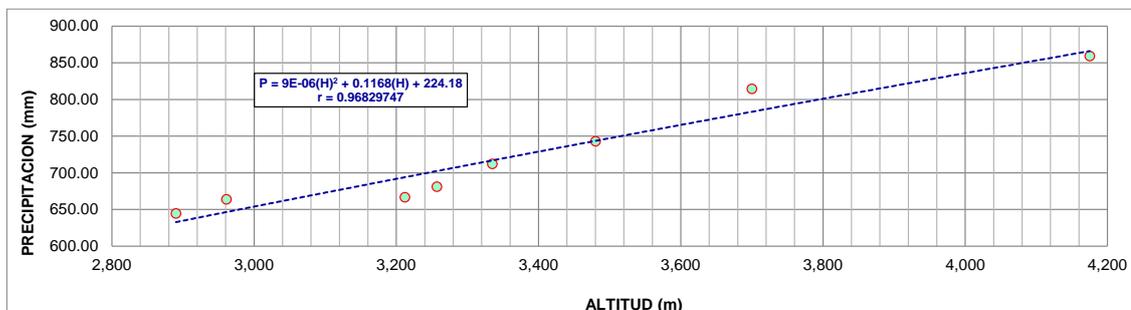
Fuente: Elaboración Propia

Según el resultado que se muestran en el cuadro anterior; la estación que se tomaría como base sería la estación de Ancachuro para las microcuencas de Limatambo, por las siguientes razones:

1. Por altitud próxima a las zonas de interés
2. Por la proximidad a la zona de interés
3. Periodo de registro de la información Pmax24 horas

9.4 REGIONALIZACION DE LA PRECIPITACION MEDIA ANUAL

Para transferir la información de precipitación anual de la estación de referencia (Santo Tomas), hacia la altura media de los puntos de interés (Microcuenca Achaco), se ha realizado en función a la ecuación[1], determinada a partir de la correlación de la precipitación y la altura (m.s.n.m), de las estaciones de Kayra, Corpac, Pomacanchi, Combapata, etc.



Donde:

P: Precipitación media anual (mm)

H: Altura promedio (m.s.n.m)

Cuadro 60: Regionalización de la precipitación media anual

Item	Microcuenca	Altitud msnm	Precipitación Media Anual (mm)
1	Achaco	3775.30	865.73

9.5 REGIONALIZACION DE LA Pmax. 24horas

La precipitación máxima en 24 horas se ha regionalizado hacia el punto de interés en función al siguiente factor:

F : *Precipitación media anual de la estación del pto de interés/ Precipitación media anual de estación de referencia.*

El factor de regionalización:

Item	Microcuenca	Factor de precipitación
1	Achaco	1.01

Cuadro 61: Pmax en 24HR. regionalizada en la microcuenca Achaco

T (año)	Pmax 24h	
	Est.Ancachuro	Achaco
	Altitud: 3340 m.s.n.m	Altitud: 4220.2 m.s.n.m
2 años	36.77	37.21
5 años	45.77	46.31
10 años	52.24	52.86
25 años	61.48	62.22
50 años	69.36	70.19
100 años	78.22	79.16
200 años	88.26	89.31

9.6 ANALISIS DE TORMENTAS

9.6.1 Determinación de la Tormenta de Diseño (Obtención de Hietograma)

Un hietograma es la distribución temporal de la intensidad o de la profundidad de una precipitación a lo largo de la duración del episodio tormentoso. Y es que con los modelos hidrológicos existentes en la actualidad no es suficiente conocer la precipitación máxima de una tormenta, sino, que se precisa saber cómo evoluciona esa precipitación a lo largo del tiempo.

Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia

La intensidad es la tasa temporal de precipitación, es decir, la profundidad por unidad de tiempo (mm/h), que puede expresarse como:

$$i = \frac{P}{Td}$$

Las curvas intensidad – duración – frecuencia son un elemento de diseño que relacionan la intensidad de la lluvia, la duración de la misma y la frecuencia con la que se puede presentar, es decir su probabilidad de ocurrencia o el periodo de retorno.

Para determinar estas curvas IDF se necesita contar con registros pluviográficos de lluvia en el lugar de interés

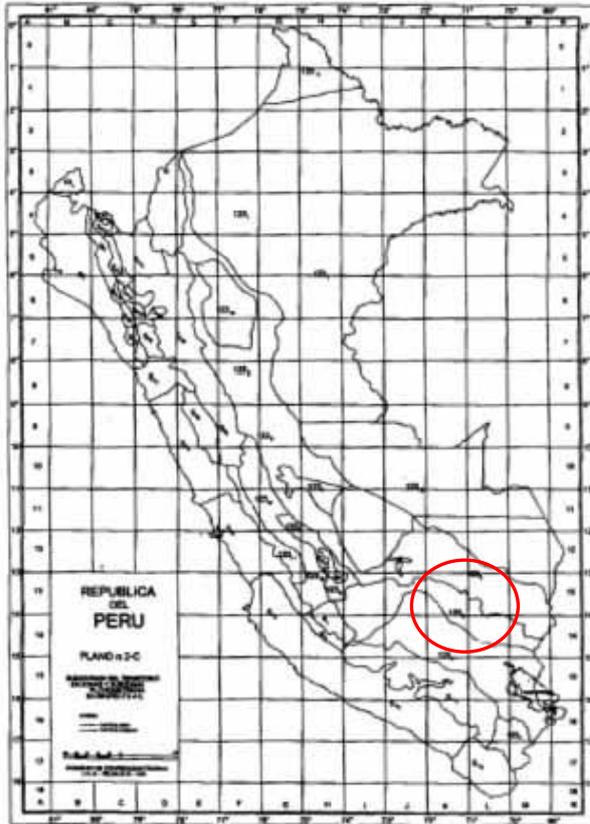
Para determinación de la tormenta de diseño sería recomendable contar con información obtenida a través de un pluviógrafo, ya que este equipo provee información instantánea, y seleccionar la lluvia más intensa de diferentes duraciones en cada año, con el fin de realizar un estudio de frecuencia con cada una de las series así formadas. Sin embargo, la mayoría de estaciones de medición de precipitaciones solo cuentan con pluviómetros que solo proveen de valores medios (MTC).

Bajo estas condiciones para el presente estudio se optó por utilizar el método regional ILLA-SE-NAMHI para la obtención de las curvas IDF y en función de éstas obtener el patrón representativo para la cuenca en estudio. Así mismo se evaluó los patrones de tormenta de la NRCS, que son patrones validados a nivel internacional.

Metodología propuesta por el ILLA-SE-NAMHI (1983),

Según esta metodología la cuenca en estudio se encuentra dentro de la región que está identificada con el código 123₅, luego se encontraron los parámetros adimensionales a, k y n de la Figura 3 para la zona de estudio.

Figura 66: Zonas pluviométricas y valores de parámetros



$$i(t, T) = a(1 + k \text{Log}(T)) * t^{n-1}$$

Donde:

I : Intensidad (mm/h).

T : Periodo de retorno (años).

t : Duración (minutos).

a : Parámetro de intensidad (mm).

k : Parámetro de frecuencia
(Adimensional).

n : Parámetro de duración
(Adimensional).

Fuente: Manual de Hidrología y drenaje (MTC)

Se aplicó la ecuación de intensidad propuesta válida para tiempos de concentración menores a 3 horas que es aplicable a la realidad de la microcuenca en estudio. Mediante las tablas propuestas por el IILA, se obtuvieron los parámetros regionales para nuestra zona de estudio, las cuales se resumen en la siguiente ecuación:

$$i(t, T) = 11.93(1 + 0.663 \text{Log}(T)) * t^{0.303-1}$$

Con esta ecuación se construyeron las curvas IDF mostradas en la Figura 23, luego se obtuvo el hietograma de la Figura 24, siendo este el representativo para la cuenca

Figura 67: Curvas IDF para la zona de estudio

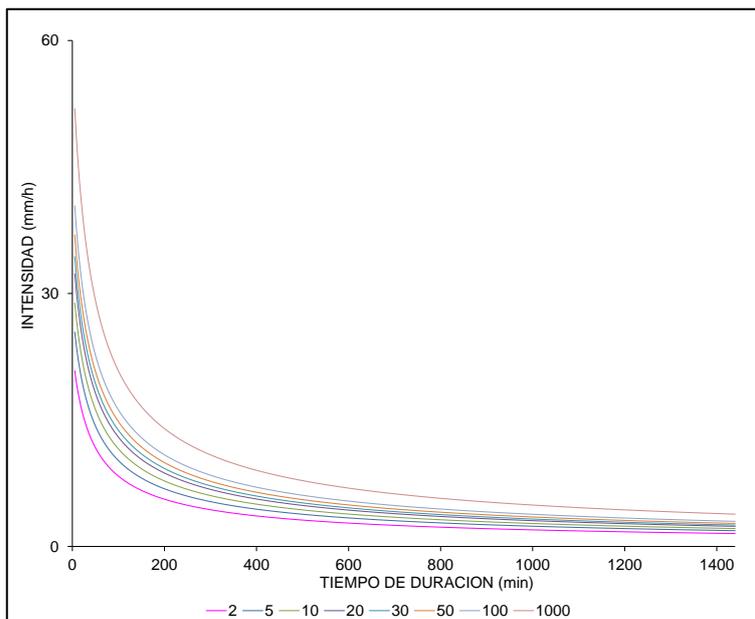
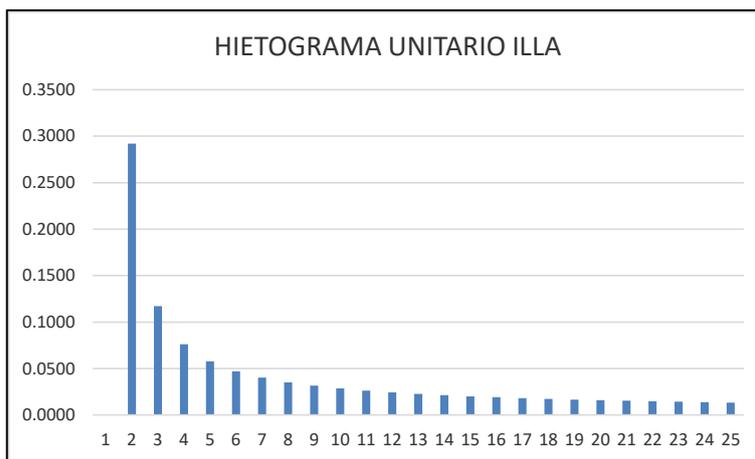


Figura 68: Hietograma representativo para la microcuenca



Fuente: Elaboración propia

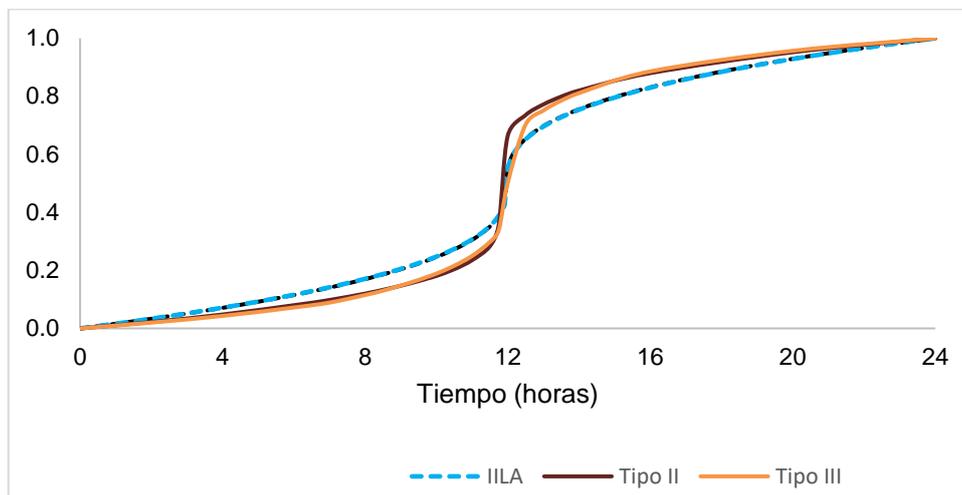
9.6.2 Patrones del NRCS

Para analizar la tormenta diseño el Servicio de Conservación de Recursos Naturales de Estados Unidos (NRCS), antiguo Servicio de Conservación de Suelos (SCS), propone cuatro patrones adimensionales de lluvia acumulada o curva masa, para un periodo de 24 horas, estas distribuciones sintéticas de lluvia de 24 h se identifican como de tipo I, tipo IA, tipo II, tipo III. Estos patrones son ampliamente utilizados en los Estados Unidos de Norteamérica (EU) para estudios hidrológicos de máximas avenidas y los patrones II y III son asociados a lluvias eléctricas ubicadas en el medio oeste de los EU (<http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/site/national/home/>).

El patrón de tormenta obtenido mediante la metodología ILLA – SENAMHI fue sometido a la prueba de Nash Sutcliffe para corroborar su correlación con respecto a los patrones conocidos del

NRCS, obteniéndose como resultado que todos los patrones locales presentan un excelente ajuste a los patrones de las curva II y III, ligeramente más altos para la curva II. Esto debido a que los valores obtenidos del coeficiente de Nash Sutcliffe son mayores a 0.80 (Molnar, 2011), Ver cuadro 29, 30 y 31 así como la Figura 25.

Figura 69: Comparación de Patrones de tormenta propuestos por la NRCS y patrón construidos por la metodología IILA.



Cuadro 62: Coeficiente de Nash Sutcliffe para el patrón tipo II

VALORES DEL COEFICIENTE NS	
Patrón de Tormenta Calculado	Patrón Tipo II
IILA	0.98

Cuadro 63: Coeficiente de Nash Sutcliffe para el patrón tipo III

VALORES DEL COEFICIENTE NS	
Patrón de Tormenta Calculado	Patrón Tipo III
IILA	0.87

Cuadro 64: Criterio para evaluar el ajuste entre 02 series

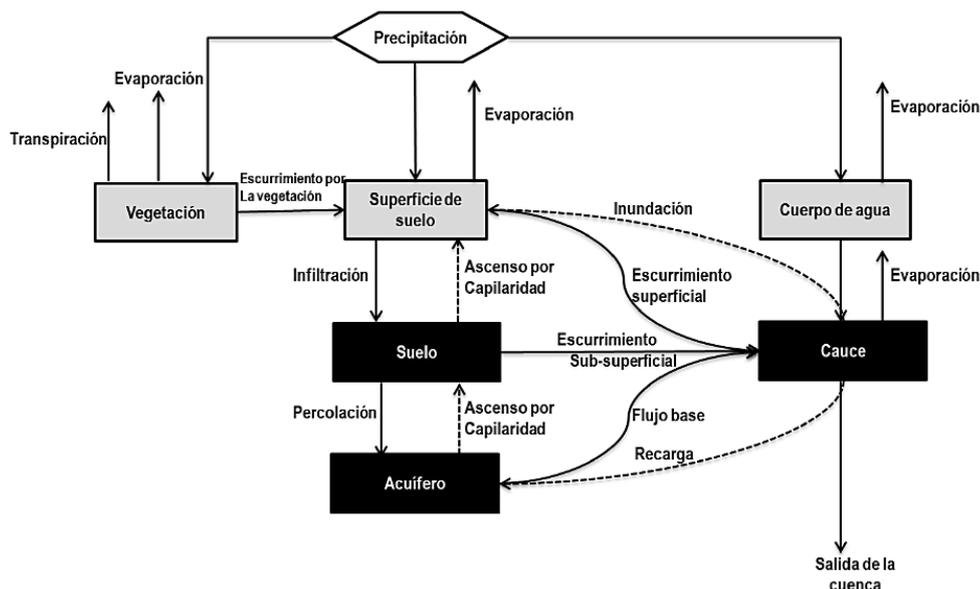
CNS	Criterio
< 0.2	Insuficiente
0.2 – 0.4	Satisfactorio
0.4 – 0.6	Bueno
0.6 – 0.8	Muy bueno
> 0.8	Excelente

Se verifica la buena correlación entre estos valores por lo que para el presente estudio se utilizará como patrón representativo para la cuenca el patrón validado tipo II de la SCS.

9.7 ANÁLISIS DE MÁXIMAS AVENIDAS MÉTODO HEC HMS

El HEC-HMS es un modelo matemático de simulación hidrológica que permite simular el fenómeno precipitación-escorrentía a través de diferentes modelos conceptuales que representan el comportamiento de la cuenca (US Army Corps of Engineers, 2000).

Figura 70: Esquema típico del proceso de escorrentía de una cuenca en HEC-HMS

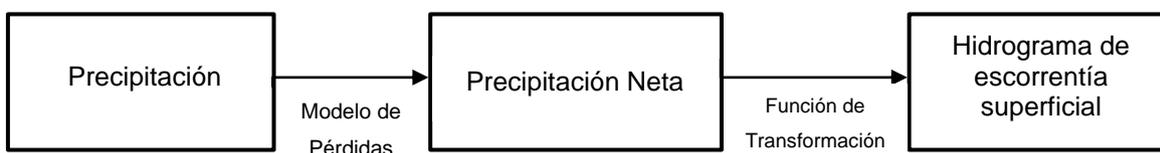


Fuente: Manual de Referencia Técnica del HEC-HMS, 2000

A partir de datos de precipitación utilizados como entrada, el programa permite elaborar los correspondientes hidrogramas de salida calculados en la sección de control de interés de la cuenca (Fattorelli y Fernández, 2011). Para ello se vale de los siguientes tipos de modelación:

- Modelación meteorológica
- Modelación de las pérdidas
- Modelación de transformación lluvia-escorrentía
- Modelación de tránsito de crecientes
- Modelación del flujo base
- Modelación de tránsito por embalses

Figura 71: Esquema típico del tratamiento de las variables en el modelo hidrológico HEC-HMS



Fuente: Análisis Hidrológico Cuenca río Toyogres

9.7.1 Modelación meteorológica

El modelo meteorológico calcula la entrada de precipitación que requiere un elemento de subcuenca. El modelo meteorológico puede usar precipitación puntual o por celdas y puede modelar precipitación sólida y líquida junto con la evapotranspiración. Una breve descripción de los métodos disponibles para calcular la precipitación media en la cuenca o celda a celda se incluye en la Cuadro.

Cuadro 65: Descripción de los métodos incluidos en el modelo meteorológico

Métodos de Precipitación	Descripción
Tormenta asociada a frecuencia	Se usa para desarrollar un evento de precipitación donde los volúmenes correspondientes a distintas duraciones tienen una probabilidad de excedencia consistente
Pluviómetro con pesos	Este método aplica pesos definidos por el usuario a los pluviómetros que el usuario desee.
Precipitación por celdas	Este método permite usar productos con precipitación por celdas, como por ejemplo los datos de Radar.
Inversa de la distancia	Se usa para calcular la precipitación media en una subcuenca aplicando una ponderación basada en la inversa de la distancia al cuadrado.
Tormenta del SCS	Este método aplica una distribución temporal tipo SCS a un volumen total de lluvia en 24 horas.
Hietograma especificado	Este método aplica un hietograma definido por el usuario a un elemento de subcuenca.
Tormenta de proyecto estándar	Este método aplica una distribución temporal a un volumen índice de precipitación (este índice se extrae de un Manual del Corps of Engineers y es válido sólo para Estados Unidos. Está actualmente en desuso).

Fuente: Manual Básico de HEC-HMS 3.0.0 y HEC-GeoHMS 1.1

9.7.2 Modelación de las pérdidas

La precipitación efectiva es la fracción de la precipitación total que se transforma en escorrentía directa, el resto de la precipitación es considerada como pérdidas o abstracciones (López et al. 2012). El valor de la abstracción inicial, depende fundamentalmente de la condición de lluvia antecedente. El suelo sufre permanentemente procesos de humedecimiento y secado, el modelo HEC-HMS, simula solamente el humedecimiento (Fattorelli, Sergio y Fernández, Pedro C. 2011).

En el entorno del programa HEC-HMS existen diversos métodos para la modelación de las pérdidas como son: Inicial and Constant, Déficit and Constant, SCS Curve Number, Gridded SCS Curve Number, Green and Ampt, Soil Moisture Accounting y Gridded Soil Moisture Accounting.

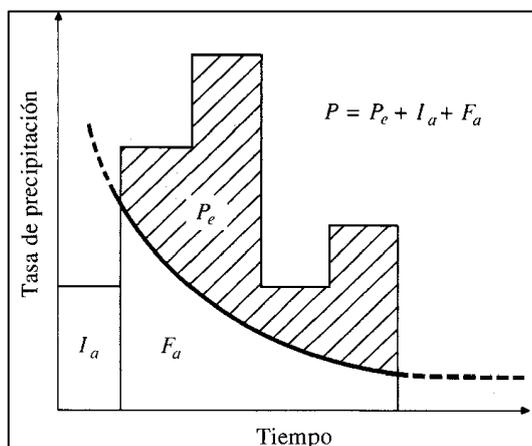
La información del suelo y disponibilidad de información del área en estudio tiene un peso importante en la elección del modelo de pérdidas a utilizar en el análisis hidrológico, para de esta manera facilitar el análisis y generar confiabilidad en los resultados (US Army Corps of Engineers, 2000; ICOTEC, 2014; Méndez, 2012).

Según este criterio, para el presente estudio se ha seleccionado el método del número de curva del SCS (de ahora en adelante abreviado como CN-SCS, siglas que derivan del inglés Curve Number - Soil Conservation Service), modelo desarrollado por el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos, método de evento aislado, empírico y de parámetros concentrados (Fattorelli, Sergio y Fernández, Pedro C. 2011), utilizado en diversos estudios de modelación hidrológica (Du et al. 2012; López et al. 2012). El método CN-SCS se basa en un número adimensional denominado número de curva (Villón, 2014). El número de curva varía en el rango de 0 a 100 (asignando 100 para un cuerpo de agua) y depende de factores que influyen en la generación de escorrentía en la cuenca: tipo hidrológico del suelo (grupo hidrológico-capacidad de drenaje); uso y manejo del terreno; condición superficial del suelo; y condición de humedad antecedente. Los demás métodos no han sido considerados por la falta de disponibilidad de información que facilite la adecuada modelación hidrológica. La información sobre los parámetros, características, ventajas y desventajas de cada método se muestran en los Cuadros 33 y 34

El método del CN asume que una cuenca tiene una capacidad de almacenamiento S (pulgadas). Existe una abstracción inicial, I_a , que es la altura de precipitación que se infiltra completamente antes que la escorrentía empiece (ICAJ y MINAGRI, 2012). Después que la escorrentía comienza, la infiltración es F_a y la escorrentía es P_e (precipitación efectiva), por lo tanto, la precipitación total P es:

$$P = P_e + I_a + F_a$$

Figura 72: Variables en el método SCS para abstracciones



Fuente: Hidrología Aplicada (Ven te Chow)

El método del CN asume que existe una relación entre la precipitación efectiva, la capacidad de almacenamiento y la abstracción inicial, tal como sigue:

$$\frac{F_a}{S} = \frac{P_e}{P - I_a}$$

Combinando las ecuaciones anteriores y resolviendo para P_e , se tiene:

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S}$$

La cual es la ecuación básica para el cálculo de la profundidad de exceso de precipitación o escorrentía directa de una tormenta utilizando el método SCS.

Al estudiar los resultados obtenidos para muchas cuencas experimentales pequeñas, se desarrolló una relación empírica (MTC, 2013).

$$I_a = 0.2 S$$

Con base en esto:

$$P_e = \frac{(P - 0.2 S)^2}{P + 0.8 S}$$

El uso de esta metodología exige la determinación del valor respectivo del CN (número adimensional de curva o curva número), correspondiente al área específica en estudio (MTC, 2013). El CN está relacionado a S según:

$$S = \frac{1000}{CN} - 10$$

9.7.3 Modelación de la transformación lluvia-escorrentía

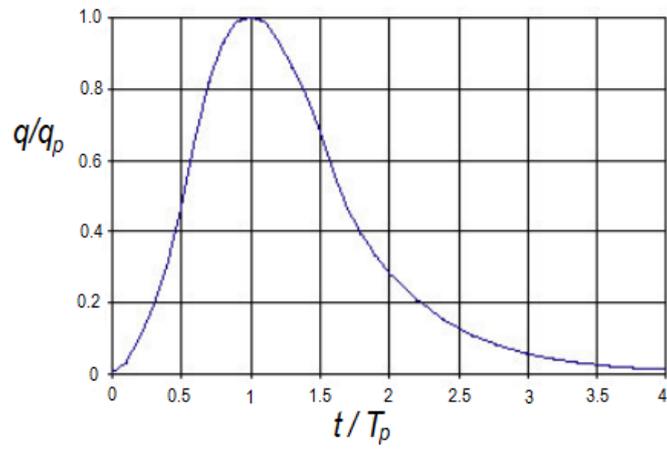
Este proceso hace referencia a la generación del hidrograma en el punto de drenaje de una cuenca como consecuencia de la circulación de la lluvia efectiva a través de toda la superficie de la cuenca, componente que representa la escorrentía superficial directa. HEC-HMS, dispone de diferentes métodos (funciones de transformación) para determinar este hidrograma de escorrentía directa, como son: Snyder Unit Hydrograph, Clark Unit Hydrograph, ModClark, SCS Unit Hydrograph y Kinematic Wave. La información sobre los parámetros, características, de cada método se muestran en los cuadros 35 y 36

Un hidrograma unitario (HU) puede ser definido como aquel hidrograma de escurrimiento que se obtiene de una precipitación unitaria en exceso (de ahí su nombre), la cual es repartida uniformemente sobre toda el área de la cuenca, manteniendo una intensidad constante durante un cierto intervalo de tiempo (Villón, 2002).

No obstante, el uso de un HU requiere un hidrograma medido a la salida de la cuenca, además de los datos de precipitación, donde el primer requisito muy pocas veces se tiene. Debido a esto, según (Villón, 2002), indica que se puede recurrir al uso de hidrograma unitario sintético, los cuales poseen la virtud de que pueden generar a partir de datos de características generales de la cuenca.

La función de transformación de precipitación neta en escorrentía usada en el proyecto, fue el Hidrograma Unitario Sintético del SCS, debido a la disponibilidad de información pues el único parámetro necesario es el tiempo de retardo, parámetro que se puede inferir de las características físicas y morfológicas de la cuenca. Además de ser un método sencillo utilizado ampliamente en multitud de casos (Sifontes y Gómez, 2011; ICAJ y MINAGRI, 2012; Pérez, 2015; Ortega, et al. 2008). El método del SCS se formula como un hidrograma unitario adimensional derivado del análisis de cuencas con medidas de precipitación y escorrentía (Fattorelli, Sergio y Fernández, Pedro C. 2011).

Figura 73: Hidrograma Unitario Sintético del SCS.



Fuente: Soil Conservation Service

Cuadro 66: Características y parámetros de los métodos de pérdidas por infiltración.

Item	Método de Cálculo	Características	Datos de Entrada	Parámetros	Unidad	Datos de Salida
1	Initial and Constant	De evento aislado Parámetros Concentrados Empírico	Precipitación Total	Tasa de infiltración Constante	mm/h	Precipitación efectiva
				Pérdida Inicial Superficie Impermeable	mm %	
2	Deficit and Constat	Quasi continuo Parámetros concentrados Empírico	Precipitación Total	Déficit Inicial	mm	Precipitación efectiva
				Déficit máximo	mm	
				Factor de recuperación del déficit	mm/h	
				Superficie Impermeable	%	
3	SCS Curve Number	De evento aislado Parametros Concentrados Empírico	Precipitación Total	Pérdidas Iniciales	mm	Precipitación efectiva
				Numero de Curva		
				Superficie Impermeable	%	
4	Gridded SCS Curve Number	De evento aislado Parametros Distribuidos Empírico	Precipitación Total	Tasa de abstracción inicial		Precipitación efectiva
				Factor de escala de retención potencial		
5	Green and Ampt	De evento aislado Parámetros Distribuidos Conceptual	Precipitación Total	Pérdida inicial	mm	Pérdidas de precipitación
				Conductividad Hidráulica	mm/h	
				Sección delantera mojada	mm	
				Déficit volumétrico de humedad		
				Superficie impermeable	%	
6	Soil Moisture Accounting	Continuo Parámetros Concentrados Empírico	Precipitación Total	SMA unit		Precipitación efectiva
				Almacenamiento inicial	%	
				Superficie impermeable	%	
7	Gridded Soil Moisture Accounting	Continuo Parámetros Distribuidos Empírico	Precipitación Total	Almacenamiento Inicial	%	Precipitación efectiva
				Grid - cell file		

Fuente: Diseño Hidrológico – Aplicaciones (Fattorelli, 2011)

Cuadro 67: Ventajas y Desventajas de los métodos de pérdidas por infiltración.

Item	Método de Cálculo	Ventajas	Desventajas	Aplicabilidad
1	Initial and Constant	Los parámetros se pueden optimizar si se tienen hidrogramas medidos Simple y práctico, menos parámetros	Demasiado simple para predecir las pérdidas de un evento	NO
2	Deficit and Constat	Mas adecuado para la simulación continua		NO
3	SCS Curve Number	Cuenta con información de uso y tipo de suelo digitalizada de calidad Sencillo y Operativo Es un método muy establecido y ampliamente aceptado para su aplicación.	La tasa de infiltración no se aproxima a una tasa constante. Fue desarrollado con datos de pequeñas cuencas del medio oeste de los EE.UU. Por lo que su aplicabilidad tiene incertidumbre asociada. Considera una misma pérdida para distintas cantidades de lluvia.	SI
4	Gridded SCS Curve Number	Permite calcular la infiltracion espacialmente distribuida		NO
5	Green and Ampt	Los parameros pueden ser estimados a partir de la información de suelos.	Su uso es reciente, no hay mucha experiencia. Es más complicado de aplicar que el SCS-CN No es ampliamente usado	NO

El punto de partida fundamental en este modelo (Chow, 1998) es un Hidrograma unitario adimensional de un solo pico. Por su parte, el caudal (q) es expresado por la relación con el caudal pico (q_p) para un determinado tiempo (t), el cual es a su vez una fracción del tiempo pico (T_p) dicha relación se puede ver expresada en la ecuación siguiente:

$$q_p = \frac{C \cdot A}{T_p}$$

Por su parte el tiempo de ocurrencia pico (T_p), puede ser definido como:

$$T_p = \frac{t_r}{2} + t_p$$

Donde, t_r corresponde a la duración efectiva de la lluvia, y t_p es el tiempo de retardo calculado como $0.6 t_c$. Para obtener el tiempo de concentración (t_c) en horas, se puede recurrir a la ecuación planteada por Kirpich, donde L es la longitud del cauce principal en m y S es la pendiente del cauce principal en m/m:

$$t_c(\text{min}) = 0.01947 \cdot L^{0.77} \cdot S^{-0.385}$$

El tiempo de retardo es ingresado al programa HEC-HMS como la única variable que se usará para estimar el hidrograma en cada cuenca (ICAJ y MINAGRI, 2012).

Cuadro 68: Características y parámetros de los métodos de transformación lluvia - escorrentía.

Item	Método de Cálculo	Características	Datos de Entrada	Parámetros	Unidad	Datos de Salida
1	Snyder Unit Hydrograph	De evento aislado Parámetros concentrados Empírico	Precipitación efectiva	Tiempo de retardo estándar de Snyder Factor de forma de Snyder	h	Hidrograma unitario (caudal - tiempo)
2	Clark Unit Hydrograph	De evento aislado Parámetros concentrados Empírico	Precipitación efectiva	Tiempo de Concentración Coeficiente de almacenamiento Curva tiempo - superficie	h h	Hidrograma unitario (caudal - tiempo)
3	ModClark	De evento aislado Parámetros distribuidos Empírico	Precipitación efectiva	Tiempo de concentración Coeficiente de almacenamiento Grid - cell file	mm %	Hidrograma unitario (caudal - tiempo)
4	SCS Unit Hydrograph	De evento aislado Parámetros concentrados Empírico	Precipitación efectiva	Tiempo de retardo	h	Hidrograma unitario adimensional
5	Kinematic Wave	De evento aislado Parámetros concentrados Conceptual	Precipitación efectiva	Planos: Longitud Pendiente Rugosidad Porcentaje de área de subcuenca	m m/m	Hidrograma (caudal - tiempo)

Fuente: Diseño Hidrológico – Aplicaciones (Fattorelli, 2011)

Cuadro 69: Ventajas y Desventajas de los métodos de transformación lluvia - escorrentía.

Item	Método de Cálculo	Ventajas	Desventajas	Aplicabilidad
1	Snyder Unit Hydrograph	Aplicable 250km ² - 5000km ² Mas flexible a la calibración Aplicado satisfactoriamente para simular flujos de corriente a largo plazo. Desarrollado para análisis de cuencas no aforadas , estima datos a partir de las características de la cuenca	No es recomendable de aplicar en cuencas pequeñas de tiempos de concentración bajos	SI
2	Clark Unit Hydrograph	Mas flexible a la calibración Aplicado satisfactoriamente para simular flujos de corriente a largo plazo.		NO
3	ModClark	Usado con la temática de modelos distribuidos		NO
4	SCS Unit Hydrograph	Sencillo ampliamente aplicado en multitud de casos. Variables adimensionalizadas, haciendolo de ámbito universal		SI
5	Kinematic Wave		Diseñado para zonas urbanas Se usa en cuencas con remanso poco significativo Cuencas con superficies menores a 2.5km ²	NO

9.7.4 Modelación del flujo base

Para la modelación del flujo base el programa HEC-HMS cuenca con los siguientes métodos: Bounded Recession, Constant Monthly, Linear Reservoir, etc.

Para el presente estudio se seleccionó el método de constante mensual (Constant Monthly). Los valores asignados se detallan en el ítem 4.1.5. Aplicación.

Cuadro 70: Características y parámetros de los métodos de flujo base

Item	Método de Cálculo	Características	Datos de Entrada	Parametros	Unidad	Datos de Salida
1	Constante mensual	De evento aislado Parámetros concentrados Empírico	Valores mensuales de flujo (m^3/s)			Flujo Base
2	Recesión	De evento aislado Parámetros concentrados Empírico		Flujo base inicial Constante de agotamiento (k) Proporción de caudal pico para el cual se inicia el agotamiento exponencial del hidrograma	m^3/s m^3/s	Flujo Base
3	Embalse inicial	De evento aislado Parámetros concentrados Empírico		Coefficiente de almacenamiento Numero de reservorios	h N	Flujo Base

Fuente: Diseño Hidrológico – Aplicaciones (Fattorelli, 2011)

9.7.5 Aplicación

Desarrollo del modelo de Cuenca

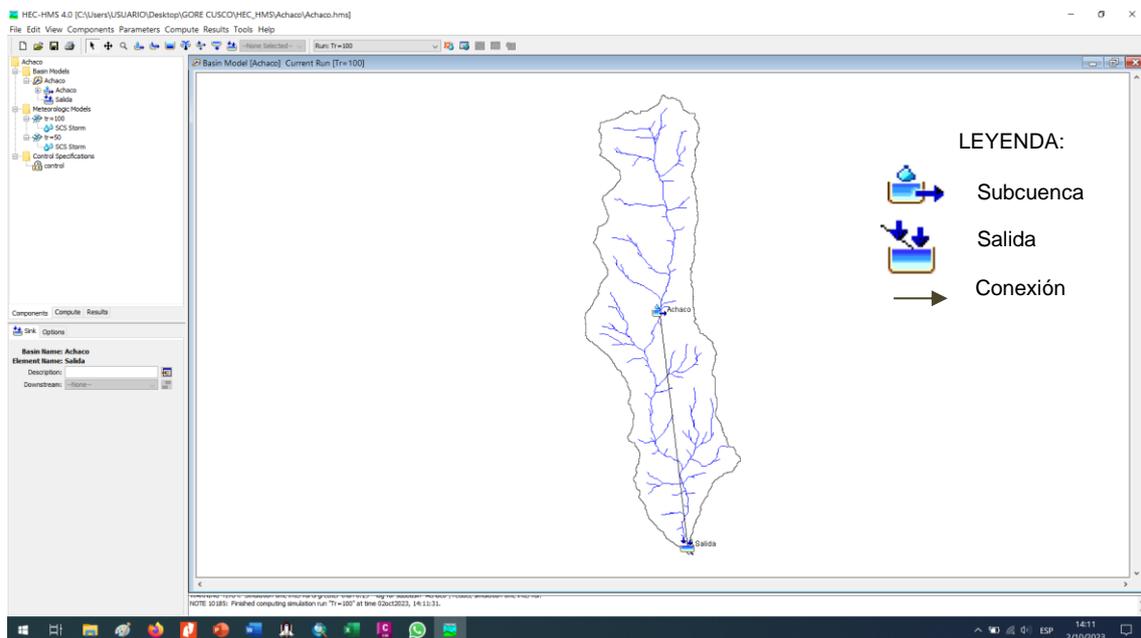
En esta componente se introduce la red del sistema en estudio, con las componentes de subcuencas y tramos, incluyendo el nombre y características fisiográficas de cada subcuenca, como el área, campo obligatorio para completar (Cuadro), además del modelo para calcular las pérdidas (SCS Curve Number), el modelo para calcular el escurrimiento directo (SCS Unit Hydrograph) y de flujo base (Constant Monthly).

En el Basin Model se etiquetan como "Loss Rate", "Transform" y "Baseflow Method", respectivamente. Es en esta parte es donde se ingresan los parámetros de cada subcuenca. En la Figura 30 se muestra el modelo de cuenca.

Área de la cuenca en km²

Nombre Subcuenca	Código Subcuenca	Area (km ²)	PERÍMETRO (km)
Achaco	A	41.06	48.53

Figura 74: Esquema General del modelo de la cuenca en HEC-HMS



Modelación de las Pérdidas: Método SCS Curve Number

Los parámetros de campo obligatorio de este método son dos, el número de curva, abstracción inicial y el porcentaje de área impermeable.

El porcentaje de área impermeable considerado en todas las subcuencas del proyecto fue de obtenido en función al porcentaje de agua en los cauces.

Los valores de abstracción inicial se obtuvieron mediante la fórmula que relaciona el umbral de escorrentía (abstracción inicial) y el número de curva:

$$P_0 = 0.2 \left(\frac{25400}{CN} - 254 \right)$$

El mapa del CN para las microcuencas, se ha obtenido utilizando los mapas temáticos de cobertura vegetal y suelos (litología) de las microcuencas en estudio.

En primer lugar, se han asignado en el mapa geológico, en el campo, los valores de correspondientes de tipo de Suelo, en función de cuatro grupos de suelos:

Grupo A: Arena profunda, suelos profundos depositados por el viento, limos agregados.

Grupo B: Suelos pocos profundos depositados por el viento, marga arenosa.

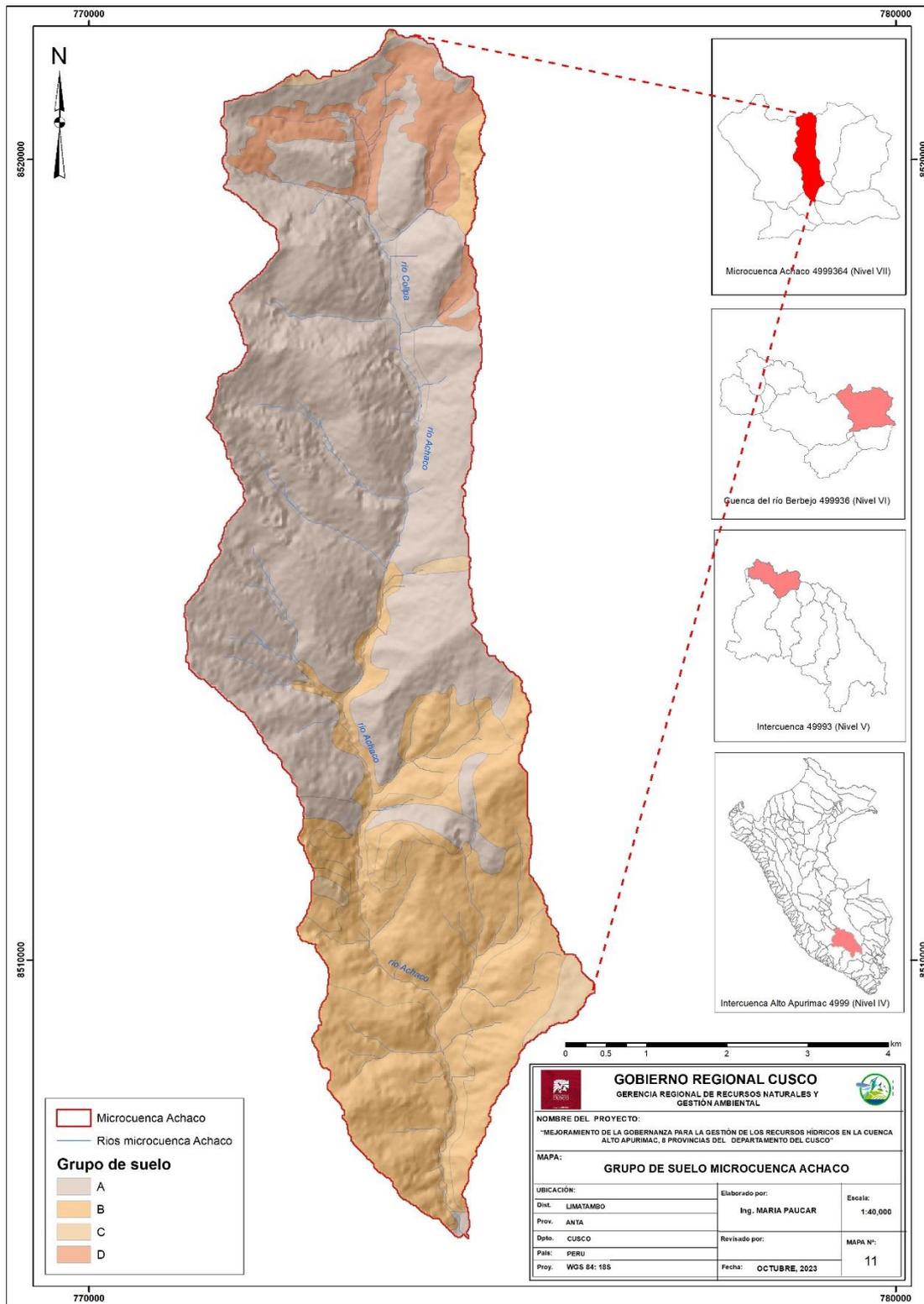
Grupo C: Margas arcillosas, margas arenosas poco profundas, suelos con bajo contenido orgánico y suelos con altos contenidos de arcilla.

Grupo D: Suelos que se expanden significativamente cuando se mojan, arcillas altamente plásticas y ciertos suelos salinos.

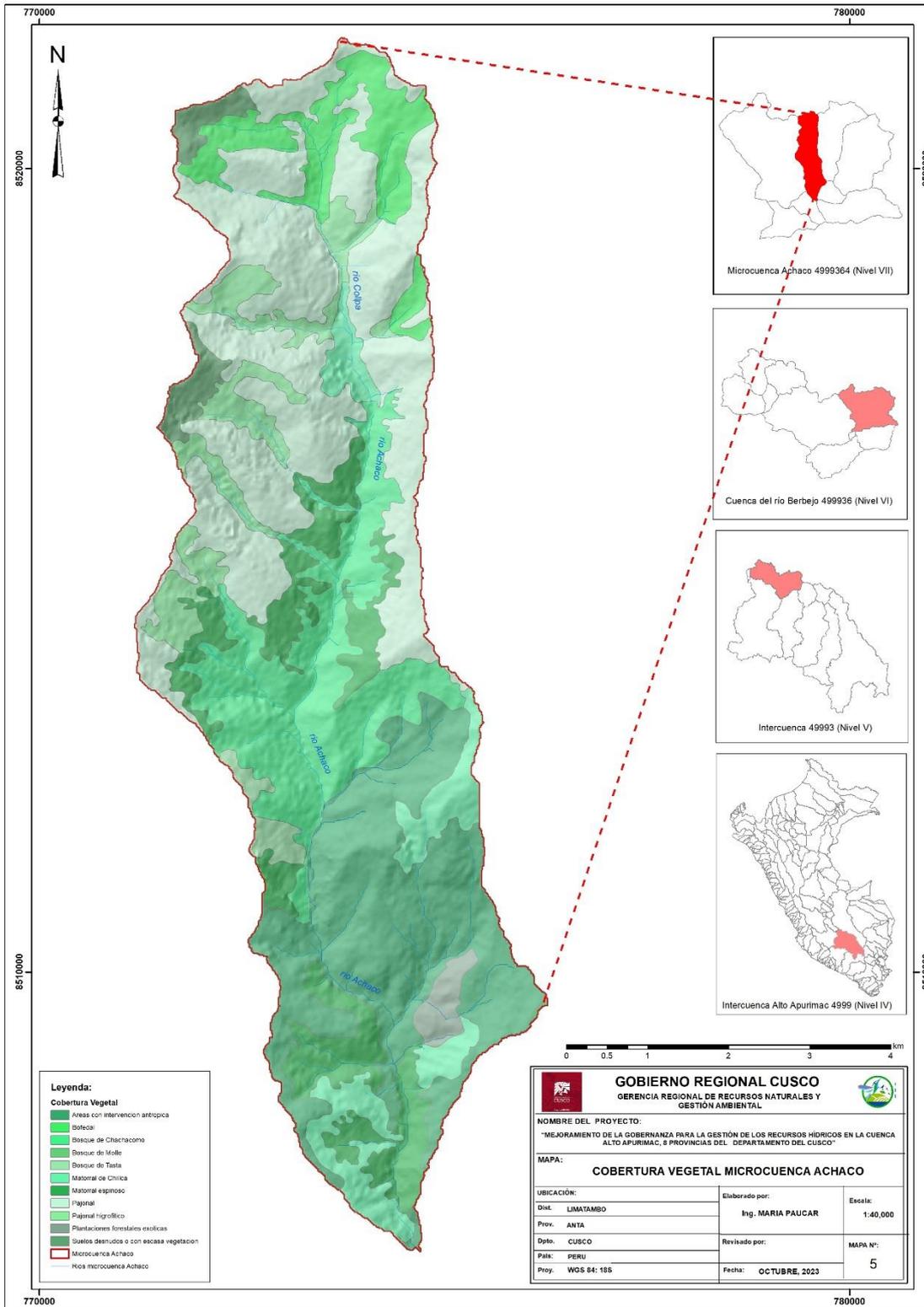
Valores de tipo de suelo asignados a la geología de la zona

LITOLOG	LUcode
Bofedales	D
Grupo de conglomerados, cuarcitas, metaareniscas,	A
Grupo de Granito y granodioritas	C
Grupo de Granodiorita	B
Grupo: Andesita	C
Grupo: Areniscas feldespáticas con lutitas fluviales	B
Grupo: Areniscas Fluviales y conglomerados	A
Grupo: Bloques Angulosos con matriz areno arcillo	B
Grupo: Calizas	B
Grupo: Calizas silicificadas con dolomitas y estrato	C
Grupo: Cantos, Gravas y Arenas en matriz limo arc	A
Grupo: Conglomerados con calizas cuarcíticas, dol	B
Grupo: Limoarenisca y limoarcillas	A
Grupo: Limonitas, areniscas, lutitas, arcillitas y yes	B

Valores de grupo de suelo para la cuenca

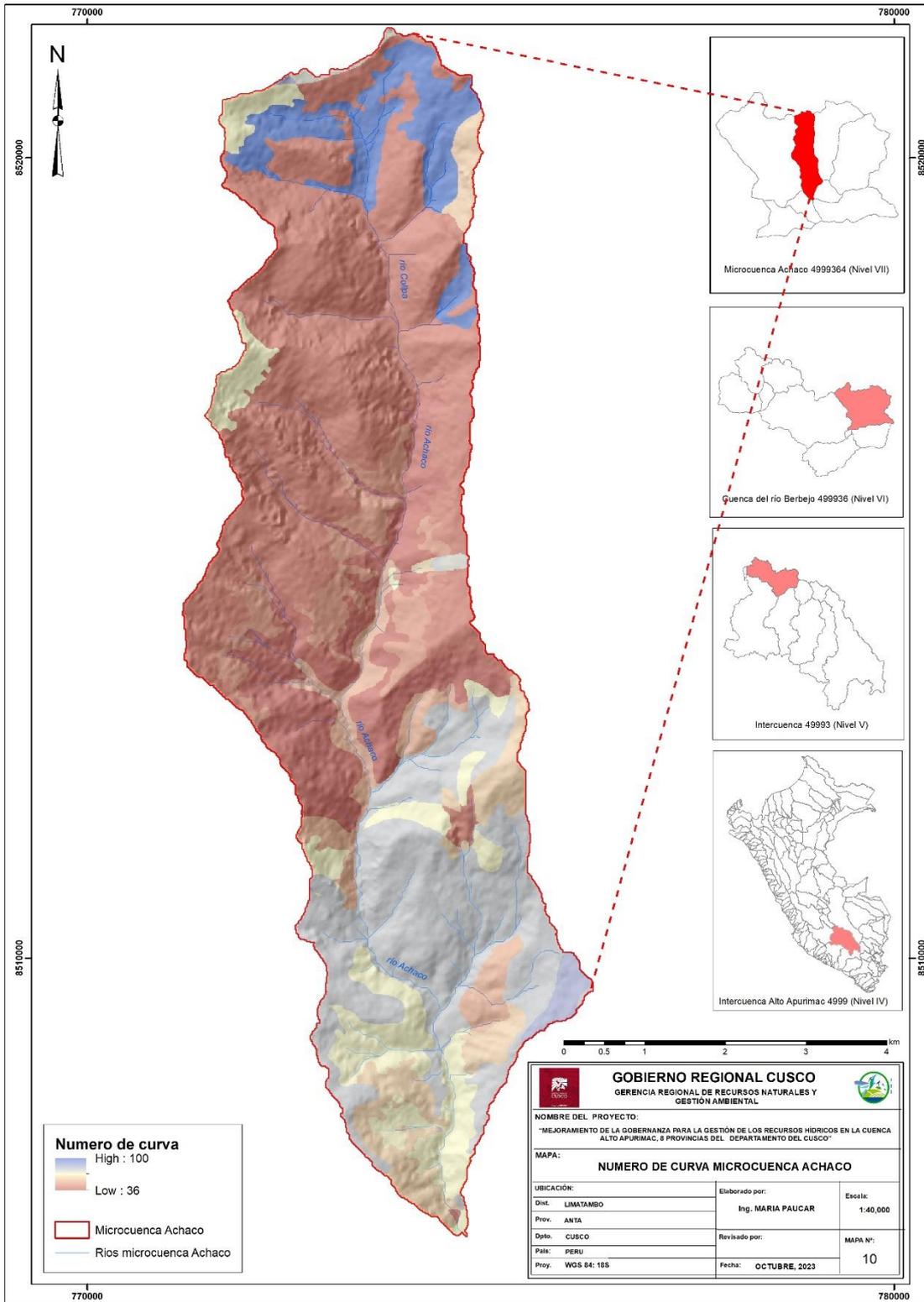


Luego se realiza la intersección de estos valores con la cobertura vegetal



Mediante la herramienta Generate CN Grid del software ArcGIS se generan los números de curva correspondientes.

Raster del Número de Curva de las microcuencas en estudio



Los valores de CN obtenidos para cada subcuenca se muestran en el siguiente cuadro:

Valores del número de curva para la microcuenca

Item	Nombre Subcuenca	CN cond. Normal	CN cond húmeda	CN promedio	Abs Inicial
1	Achaco	55.4	74.1	64.7	27.7

Modelación de transformación lluvia-escorrentía: Método SCS Unit Hydrograph

El parámetro de campo obligatorio de este método es el tiempo de retardo (t_p) en minutos.

Dicho parámetro se calcula a partir del tiempo de concentración t_c , que a su vez está en función de la longitud (L) y de la pendiente (S) del cauce principal.

$$t_p = 0.6 t_c.$$

Para calcular el tiempo de concentración se utilizó la ecuación de Kirprich. La cual se muestra a continuación.

Kirprich:

$$t_c = 0.01947 * L^{0.77} * S^{-0.385}$$

t_c : Tiempo de concentración (min).

L: Longitud del cauce en (m).

S: Pendiente media del cauce.

Cálculo del tiempo de retardo para el programa HEC-HMS (Ecuación de Kirprich)

Item	Nombre Subcuenca	Area (km ²)	L (km)	L (m)	S (m/m)	Tc (min)	Tc (h)	Lag (h)	Lag (min)
1	Achaco	41.06	16.7	16670	0.1188	78.8	1.3	0.79	47.3

Para el presente estudio utilizaremos la ecuación de Kirprich como fórmula de tiempo de concentración en la modelación.

Modelación del flujo base: Método de Constante Mensual

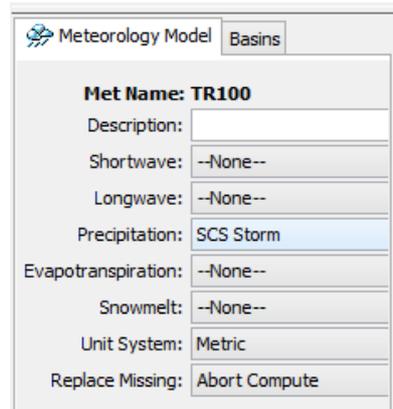
Para este apartado se considera obligatorio completar el flujo base de cada mes del año.

El flujo base para la cuenca se halló en función del caudal medio mensual mínimo correspondiente. Ver estudio de caudales medios mensuales.

9.7.6 Modelo Meteorológico.

Antes de definir el modelo meteorológico, se debe ingresar la precipitación, para asignar la representativa para la cuenca; por conveniencia, facilidad en el proceso de cálculo y análisis comparativo con otros patrones, se decidió ingresarla en forma de patrón representativo curva tipo II de la SCS, asignándose el valor de la precipitación máxima diaria.

Campos del modelo meteorológico (SCS Storm, TR = 50 años)



Meteorology Model Basins

Met Name: TR100

Description:

Shortwave: --None--

Longwave: --None--

Precipitation: SCS Storm

Evapotranspiration: --None--

Snowmelt: --None--

Unit System: Metric

Replace Missing: Abort Compute

Para el presente estudio se ha utilizado la tormenta tipo II de la SCS de 24 horas. Las precipitaciones areales para los diferentes periodos de retorno, se obtuvieron a partir del análisis de precipitación máxima diaria de la zona de estudio como se muestra a continuación:

Pmax en 24HR. regionalizada en la microcuenca Achaco

T(año)	Pmax 24h	
	Est.Ancachuro	Achaco
	Altitud: 3340 m.s.n.m	Altitud: 4220.2 m.s.n.m
2 años	36.77	37.21
5 años	45.77	46.31
10 años	52.24	52.86
25 años	61.48	62.22
50 años	69.36	70.19
100 años	78.22	79.16
200 años	88.26	89.31

9.7.7 Especificaciones de control.

Elemento que sirve para ingresar la fecha y hora de inicio y de fin de cada simulación, así como el intervalo definido para cada hora. En cada simulación se consideran 24 horas de datos para la fecha y hora de inicio de la simulación y 3 días de pronóstico (futuro) para el fin de la simulación del evento. Una vez creados estos tres componentes se puede proceder a realizar las simulaciones en el modelo HEC-HMS, con lo se obtienen resultados de manera gráfica y tabular.

Datos del elemento especificaciones de control

Control Specifications

Name: tr=50 años

Description:

*Start Date (ddMMYYYY)

*Start Time (HH:mm)

*End Date (ddMMYYYY)

*End Time (HH:mm)

Time Interval:

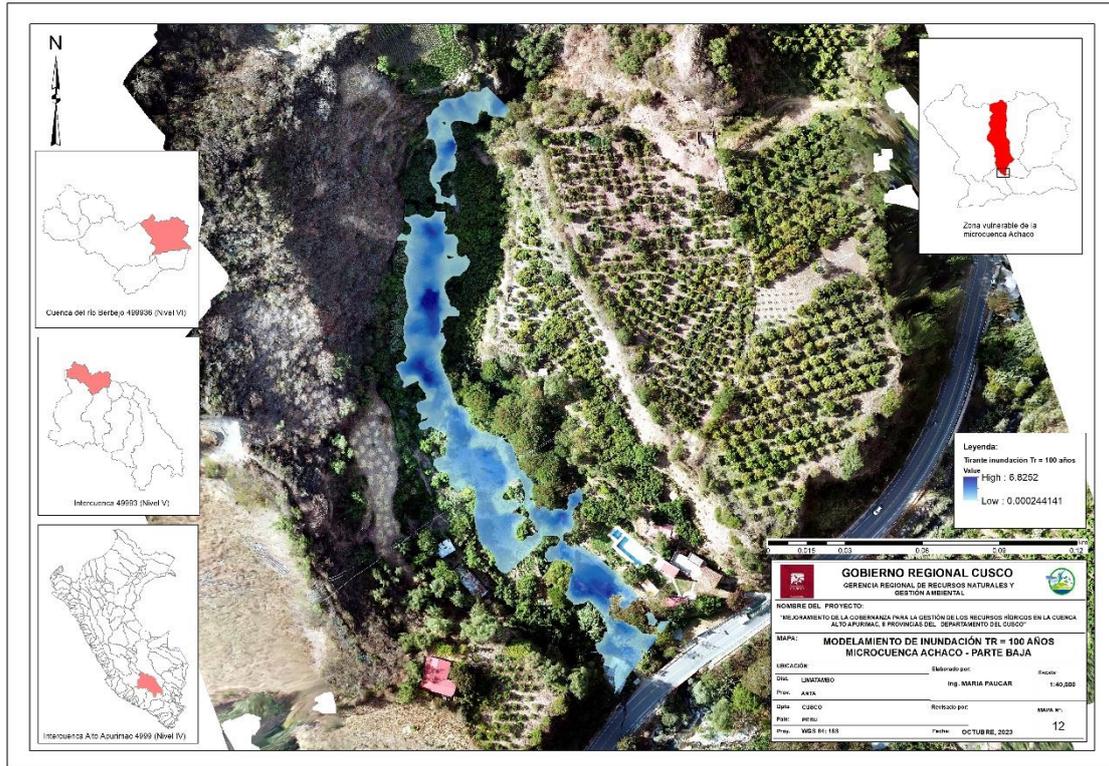
9.8 Resultados obtenidos

Una vez que se recabo y proceso la información, además de armar el modelo considerando los parámetros iniciales, se empezaron a realizar las simulaciones y a obtener los primeros resultados en cada punto de interés, los que se muestran a continuación.

CRECIDAS DE DISEÑO MICROCUENCA ACHACO

TR[años]	Q[m ³ /s]
50	49.1
100	65.3

9.9 MODELAMIENTO HIDRÁULICO ZONAS VULNERABLES



10. DIAGNOSTICO Y PROBLEMÁTICA

Tomando en cuenta el diagnóstico que nos da a conocer el ámbito de estudio mediante una base descriptiva articulada y nos permite contar con una visión panorámica sobre la situación actual de la microcuenca, sus potencialidades y problemática de los últimos años, se procedió a desarrollar el estudio de la línea base, que consiste en la identificación de los problemas en cada uno de los 6 ejes temáticos que articula el Plan de Gestión: aprovechamiento de los recursos hídricos, protección ambiental, calidad del agua, gestión de riesgos y cambio climático, cultura del agua e institucionalidad.

10.1 Problema central de la gestión de los recursos hídricos

Inadecuada Gestión de los Recursos Hídricos en la microcuenca de Achaco donde no se hacen partícipes los actores y puedan promover la gestión y el desarrollo coordinado del agua, el suelo y otros recursos relacionados, aunado a ello los aspectos sociales, económicos y ambientales se desarrollan de forma independiente, dando lugar a la desigualdad del uso del agua para las poblaciones, actividades económicas y ambientales.

10.2 Identificación de la problemática de los recursos hídricos

En el ámbito de la microcuenca de Achaco se ha identificado diferentes actores partícipes en el uso del agua, tal es el caso de las comunidades campesinas, las JASS, comités de riego, instituciones educativas, ONGs, municipalidad distrital de Limatambo, Gobierno Regional de Cusco, SENASA Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria. Donde a través de diferentes talleres se identificó la problemática que actualmente se presenta en la microcuenca de Achaco para lo cual cada organización mediante grupos de trabajo encabezados por las JASS analizó e identificaron los problemas actuales que perciben en sus comunidades y ámbito de la microcuenca piloto, por lo que se detalla a continuación las diferentes problemáticas y soluciones que atraviesa la población.

Incendios forestales. - El 20 de octubre de 2022, a las 14:00 horas aproximadamente, se registró un incendio forestal que viene causando daños a la cobertura natural. Posteriormente, el 26 de octubre del 2022 en horas de la tarde debido a la presencia de mantillo se originó un incendio en el sub suelo, en la comunidad campesina de Ccoyllor parte Alta en el distrito Limatambo, provincia de Anta.

El impacto de los incendios forestales en el agua puede generar producir cambios en el ciclo hidrológico dentro de la cuenca hidrográfica La disponibilidad de agua se ve afectado por la vegetación pos incendio, ya que cuando la vegetación se comienza a recuperar, se produce un aumento en el consumo de agua debido a las altas tasas de evapotranspiración. Esta

tasa de evapotranspiración varía de acuerdo a la edad de los árboles. La mayor evapotranspiración ocurre en arboles jóvenes causando la disminución en la disponibilidad de agua. En cambio, los arboles viejos presenta una tasa de evapotranspiración baja, debido al lento crecimiento que presentan.

La modificación de la estructura y composición de la vegetación debido a los incendios forestales puede afectar a los servicios eco sistémicos. Por ejemplo: disminución de la tasa de descomposición de hojarasca, disminución de nichos para invertebrados, alteración al microclima, etc.

Impacto de los incendios forestales en la fauna Los incendios forestales pueden tener un impacto tanto en animales vertebrados como invertebrados, por ejemplo, muerte de individuos, pérdida de hábitad, territorios, refugio y alimentación. Asimismo, la pérdida de fauna por incendios forestales va a depender de la velocidad del viento, las cargas de combustible, el contenido de humedad de la vegetación, la época del año y el tamaño del fuego, entre otros. Por lo tanto, la disminución de la fauna puede generar desequilibrios en los ecosistemas tales como destrucción de formaciones vegetaciones o alteraciones en la composición de las especies, migraciones de animales mayores, aves, insectos y microorganismos y desequilibrios ecológicos o rupturas en la cadena biológica.

Imagen 35 Incendios forestales



Ante la problemática identificada, se propone la solución de que existe una vigilancia constante de las personas que tratan con el fuego como modo de la limpieza de terreno, así como se promocióne la constante capacitación sobre incendios forestales dentro de distrito empezando con los niños y terminando con la población la cual ayudara a la sensibilización de cada poblador siendo consciente de todos los efectos que pueda causar los incendios forestales.

Aguas residuales. - La falta de plantas de tratamiento para las aguas residuales en las ciudades y en los sectores agrícolas y ganaderas, ocasiona grandes desechos de aguas contaminadas que hacen mucho daño al medio ambiente. La mayoría de esas aguas es

descargada en los ríos, lagos, mares, en los suelos a cielo abierto o en el subsuelo, a través de los llamados pozos sépticos y rellenos sanitarios.

En las últimas décadas el mundo ha venido mostrando preocupación y está tratando de resolver los problemas relacionados con la disposición de los efluentes líquidos provenientes del uso doméstico, comercial e industrial de las aguas de abastecimiento.

Las fuentes de agua (ríos, acuíferos, lagos, mar), han sido incapaces por sí mismas para absorber y neutralizar esta carga contaminante, y por ello estas masas de agua han perdido sus condiciones naturales de apariencia física y su capacidad para sustentar una vida acuática adecuada, que responda al equilibrio ecológico que de ellas se espera para preservar los cuerpos de agua. Como resultado, pierden aquellas condiciones mínimas que les son exigidas para su racional y adecuado aprovechamiento como fuentes de abastecimiento de agua, como vías de transporte o fuentes de energía.

Imagen 35 Aguas residuales



Ante la problemática identificada, se propone la solución que las aguas residuales sean tratadas de la mejor manera para así reducir el impacto en el medio ambiente, y así se pueda lograr la preservación del recurso hídrico.

Contaminación agrícola. - En algunos países esta necesidad se ha traducido en expansión hacia tierras marginales y están asociadas a una agricultura de subsidencia. En cambio, las medidas tomadas por otros países, ante la necesidad de producción de alimentos han sido

la expansión de riego y aumento de uso de fertilizantes y pesticidas para obtener y mantener altos rendimientos.

Uno de los principales contaminantes es el nitrato derivado de los compuestos nitrogenados utilizados como fertilizantes.

Cuando se infiltra y alcanza agua subterránea produce un aumento en la concentración de nitratos que son peligrosos para la salud pública.

Además de los plaguicidas, se utilizan herbicidas e insecticidas. Estos productos se están aplicando de manera intensiva en muchos países. Provoca la contaminación tanto del recurso hídrico como a la biota, debido a la presencia de productos cancerígenos y otros venenos

Ante la problemática identificada, se propone la solución que están referidas a la ampliación del sistema de saneamiento, implementación de sistema de riego, forestación en cabeceras de cuenca y promover la siembra y cosecha de agua

Imagen 36 Contaminación ambiental



Se pueden tomar medidas como:

- Supervisión de la calidad del agua que se puedan ver afectadas por la actividad agrícola.
- Reducción y prevención de la generación de escorrentías agroquímica y sedimentos.
- Mejora de la eficiencia en la aplicación de fertilizantes.
- Buenas prácticas en el uso de plaguicidas, pesticidas y herbicidas.
- Información y formación a las comunidades involucradas en la actividad.

10.3 Identificación de ejes principales de la problemática

La identificación de los problemas y causas identificadas de forma participativa en la microcuenca se adoptó como ejes principales lo siguiente:

- Aprovechamiento de Recursos Hídricos
- Calidad de Agua
- Cultura del Agua
- Institucionalidad y Gobernanza
- Cambio Climático y Gestión de Riesgos
- Financiamiento

10.4 Aprovechamiento de Recursos Hídricos

Los problemas identificados en el aprovechamiento de los recursos hídricos en la microcuenca de Achaco son los siguientes:

- Deficiencia en el abastecimiento de agua para la poblacional y uso agrícola. – La eficiencia de abastecimiento de agua para consumo poblacional por parte de las JASS es deficiente ya que se determinó que existe una eficiencia de 70%, perdiéndose el 30% en el sistema de captación, almacenamiento y distribución, así como en el uso inadecuado del agua por parte de la población. De la misma forma la eficiencia de riego es de 25 a 30%, lo que quiere decir que no existe un uso adecuado de riego, siendo predominante en la microcuenca de Achaco el riego por aspersión. Mientras que el riego por gravedad existente, no se opera de manera eficiente, no tomando en cuenta los marcos de riego y mucho menos los turnos y tiempos de riego provocando de esta manera una mala eficiencia de riego de las parcelas de cultivo.
- Insuficiente infraestructura para el aprovechamiento y regulación de los Recursos hídricos.
- La microcuenca de Achaco presenta un caudal mínimo en el mes de octubre de 93.5 l/s, mientras que en la temporada de lluvias esta se incrementa hasta un 30% más, en periodos de estiaje en los meses de junio a octubre, la reducción no es considerable por que la fuente hídrica de origen es el manante Achaco, sin embargo el ámbito de la cuenca en la zona alta presenta una cobertura vegetal de pajonal regularmente escaso con presencia de erosión hídrica y cárcavamiento en diferentes zonas, a ello se suma la nula forestación y mucho menos la implantación de sistemas de manejo y conservación de suelos y forestación con especies nativas, en tal sentido la microcuenca no presenta infraestructuras de riego que puedan incrementar el buen aprovechamiento del manante Achaco, asimismo, existe escaso sistemas de siembra y cosecha de agua, preservación de fuentes hídricas.

Déficit hídrico en la microcuenca. – En la actualidad la microcuenca presenta 02 centros poblados de los cuales son: Colpaccata y Tomacaya, poblaciones en la que se tiene mayor presencia de a microcuenca y que poseen organizaciones para el uso del recurso hídrico, así como existe la presencia de proyecto tanto del gobierno local como regional la cual viene impulsando construcciones de paso de agua y la promoción de crianza de cuyes dentro del sector.

Por otro lado, la microcuenca presenta un área de 3996 hectáreas aproximadamente la cual presenta alrededor del 80 % son cultivos altamente productivos especialmente se ve la presencia de árboles de paltos, donde el abastecimiento de agua es insuficiente, paralelo a ello

en temporadas de secas se incrementa el déficit hídrico reduciendo las áreas agrícolas bajo riego e incrementándose más áreas sin producción agrícola.

Fragmentación y pérdida de ecosistemas hídricos. – En la microcuenca de Achaco se tiene ecosistemas en donde se regula el recurso hídrico, referido a las cabeceras de cuenca donde se encuentran los humedales, que sostienen el agua por la presencia de la cobertura vegetal en el área de recarga hídrica, así como los bosques naturales de especies naturales y zonas de arbustos que cumplen una importante función en la cabecera de cuenca, como la regulación del recursos hídrico el cual mediante la retención de agua en épocas de lluvia y desprender de forma regulada en época de seca, por medio de los manantiales, asimismo dan lugar al ciclo corto del agua que involucra a que el agua retorne al mismo lugar a manera de precipitaciones en un 25 a 35% dependiendo del ecosistema, sin embargo actualmente se viene degradando y perdiendo estos ecosistemas por acciones del hombre como es la deforestación de especies forestales nativos, inadecuadas prácticas agrícolas e inexistencia de acciones de manejo y conservación de suelos, incendios forestales generando la pérdida de la cobertura vegetal que dan lugar a la erosión de suelos.

10.5 Calidad de Agua

Siendo uno de los atributos del agua y esta sea alterada y deteriorada sus características naturales, provocan modificaciones en el medio ambiente que puede alterar la biodiversidad y el ecosistema dentro del ámbito de la microcuenca, afectando negativamente en actividades económicas, sociales y ambientales.

Las poblaciones de la microcuenca de Achaco cuentan con instalaciones de infraestructuras de agua y saneamiento debidamente conservadas, gestionadas por la Junta Administradoras de Servicios y Saneamiento (JASS), dando lugar a la buena calidad del agua para consumo, por lo que no se manifiestan problemas relevantes que perjudiquen a la salud de la población y el medio ambiente. Sin embargo, actualmente no se cuenta con puntos de monitoreo de la calidad de agua en las infraestructuras de agua y saneamiento, así como en la fuente principal de las quebradas de Achaco

10.6 Cultura del Agua

En la microcuenca de Achaco se determinó la inexistencia de mecanismos que permitan crear la conciencia responsable sobre el uso racional y eficiente del agua, a causa del desconocimiento de las buenas prácticas de gestión, protección y uso correcto del agua, ausencia o débil capacitación y/o sensibilización sobre uso del agua, deficiencia en la educación sobre la cultura de agua en centros educativos de nivel primario y secundario, así como el desconocimiento del valor del agua a nivel social, económico y ambiental.

10.7 Institucionalidad y Gobernanza

En la microcuenca de Achaco, se determinó junta directiva de organizaciones: comunidades, JASS, comité y comisión de riego entre otros, etc. Donde encaminan sus organizaciones de forma individual cómo organización, mas no de forma integrada dentro del ámbito de las

microcuencas por lo que no se determinó una organización que busque la gestión integrada de los recursos hídricos, por lo que la gobernanza y el desarrollo de la institucionalidad es escaso, sin embargo, a través de la Gerencia Regional de Recursos Naturales y Gestión Ambiental del Gobierno Regional de Cusco se fortaleció las capacidades en GIRH de los actores y población de la microcuenca y formado el comité de gestión de microcuenca Achaco, siendo muy importante la Gobernanza y la institucionalidad en una microcuenca es necesario seguir fortaleciendo las capacidades en GIRH e institucionalizar al comité de gestión para incentivar el desarrollo de forma sostenible. Por otro lado, según referencia de la encuesta realizada a los pobladores del ámbito de la microcuenca el 34% de la población manifiesta que no tienen una organización que se haga cargo de la gestión de riesgos.

Cambio Climático y Gestión de Riesgos

Tomando en cuenta el diagnóstico, se determinaron las áreas vulnerables, poblaciones, donde se realizaron la identificación, clasificación y análisis de riesgos para establecer las alternativas prioritarias tanto estructurales como no estructurales que permitan cambiar los riesgos promoviendo una buena gestión de riesgos, en la microcuenca se ha visto el riesgo de deslizamientos, huayco, sequías prolongadas.

Riesgos por el cambio climático. – Las variaciones que se vienen observando y recogiendo opiniones de pobladores sobre los efectos del cambio climático aumentan los impactos en la agricultura, salud, ecosistemas, siendo transversal sus efectos de forma directa e indirectamente al sector económico, social y ambiental en el ámbito de la microcuenca Achaco, así como aumenta la vulnerabilidad ante riesgos climáticos que líneas anteriores se describió, en ese entender los efectos más frecuentes del cambio climático a nivel nacional y global que repercuten sus efectos en la microcuenca son:

- En un periodo de entre 27 y 35 años, la superficie total de glaciares del Perú habrá disminuido en un 27 %, equivalente al consumo de agua de Lima durante 10 años.
- Incremento promedio de 2 °C en la temperatura mínima durante los últimos 30 años.
- Frecuentes alteraciones en el comienzo y fin de periodos de lluvias, así como retiros temporales de la lluvia en el propio periodo de lluvias.
- Agudización del periodo de estiaje, que provoca una disminución de la disponibilidad de agua para consumo humano, uso agrícola.
- Aumento de la frecuencia e intensidad del fenómeno El Niño, actualmente la frecuencia del fenómeno de intensidad fuerte a intensa es cada 3 o 4 años, anteriormente era de 10 a 15 años.
- Los recursos financieros obtenidos mediante las tarifas por utilización de infraestructura hidráulica son insuficientes para cubrir adecuadamente las necesidades de operación, mantenimiento de la infraestructura y desarrollo de la cuenca.
- Los problemas que presenta la Junta de Usuarios tienen relación con la resistencia al pago de la tarifa del agua y la falta del sinceramiento del costo real, entre otros.
- Los ingresos obtenidos mediante la retribución económica son aún insuficientes para cubrir los gastos de gestión de los recursos hídricos que podría realizar el comité de gestión.

Según los resultados de las reuniones y talleres participativos desarrollados, trabajos de campo, basados en la etapa de percepción y diagnóstico, se han podido identificar una serie de potencialidades en la microcuenca que pueden fortalecer el desarrollo de la GIRH y la implantación del Plan de Gestión.

Que consisten en lo siguiente:

Predisposición para la integración de todos los actores bajo la unidad de gestión del GRHMC Achaco.

Buena percepción de la problemática de la cuenca por parte de los actores, quienes son conscientes de la realidad local, lo que facilita la buena aproximación a las soluciones planteadas y su futuro involucramiento en la implementación del Plan de Gestión.

Voluntad de participación e integración en el proceso de formulación del Plan de Gestión por parte de los actores y población involucrada en el ámbito de la microcuenca.

Existencia de recursos agrícola en la cuenca media que presentan características favorables de suelo bajo el incremento del recurso hídrico aumentar la competitividad asociada a la producción agrícola y ganadera.

Ausencia de grandes conflictos sociales relacionados con los recursos hídricos, etc.

11. VISIÓN Y ESTRATEGIAS DE LA GIRH

Visión

La visión inicia con el desarrollo de un punto de vista común sobre el futuro y puede incluir metas y objetivos comunes y definidos. Estos son traducidos en políticas, legislación y puestos en práctica. Para el desarrollo de una visión hídrica se deben considerar los siguientes aspectos:

- Examinar previamente la política o la visión existentes en el sector hídrico, con el fin de evaluar si es coherente con el desarrollo sostenible.
- Asegurar una comprensión adecuada de la GIRH
- Incorporar los puntos de vista de los interesados.
- Lograr compromiso político hacia la visión.

En consecuencia, las bases y principios que orientan la construcción de la visión, han tomado como referencia la Política y Estrategia Nacional para la Gestión de los Recursos Hídricos y la Ley de Recursos hídricos.

Escenarios. - Son historias internamente consistentes sobre futuros relevantes y plausibles. Formular escenarios es un mecanismo donde los grupos de actores puedan llegar a concertar una visión y decidir el camino para llegar a la GIRH de una Cuenca.

La construcción de escenarios conlleva a que los actores desarrollan percepciones de su futuro y acuerdan sobre acciones o actitudes comunes a tomar en cuenta para un futuro sostenible.

Estrategias. Describen la manera en que puede ser alcanzada la visión. Las estrategias deben cubrir metas suficientes para abordar los principales aspectos económicos, sociales y ambientales de la gestión del recurso hídrico.

La visión en la microcuenca está basada en diferentes temáticas que corresponden a los siguientes puntos:

- Aprovechamiento de los recursos hídricos
- Conservación y protección ambiental
- Calidad de las aguas
- Riesgos y cambio climático
- Institucionalidad
- Cultura del agua
- Financiamiento

Aprovechamiento de los recursos hídricos

La visión en la microcuenca respecto a esta temática está referida en los siguientes aspectos:

La Población tiene acceso al agua, contribuye y garantiza el buen uso y la protección de las fuentes.

Las tierras con aptitud agrícola son cubiertas con disponibilidad hídrica mediante la implementación de riego tecnificado, promoviendo la gestión eficiente del recurso hídrico.

Los sistemas de infraestructura hídrica de consumo poblacional y riego, presentan una eficiencia del 90 % y 75% respectivamente.

Se cuenta con infraestructura de siembra y cosecha de agua, alcanzando una regulación hídrica óptima en cabecera de microcuencas de Achaco.

La microcuenca Achaco cuenta con infraestructuras de manejo y conservación de suelos.

La autoridad, actores y los usuarios evalúan y planifican la disponibilidad de las aguas superficiales y subterráneas e implementan mecanismos de transparencia en la asignación y gestión sectorial, control administrativo, vigilancia social y sanciones para incumplimientos de funciones y deberes y faltas a la ley de recursos hídricos.

Conservación y protección ambiental

Se recupera y conserva los ecosistemas hídricos en cabecera de microcuencas Achaco

La microcuenca de Achaco presenta sistemas agroforestales y forestales con especies nativas.

Se protegen y conservan las fuentes de agua.

Calidad de las aguas

La población es consciente del valor económico, social y ambiental del agua y contribuyen a la protección de las fuentes y al financiamiento del tratamiento de aguas residuales y a la

implementación de mecanismos de control administrativo, vigilancia social y sanción a las infracciones.

Riesgos y cambio climático

Se planifica y ejecutan acciones de prevención y mitigación de efectos del cambio climático; deslizamientos, sequías, heladas, inestabilidad geodinámica externa y sismos sobre la población, infraestructura hidráulica y sector agropecuario.

Institucionalidad

El comité de gestión de la microcuenca Achaco, alcanza una institucionalidad que promueve la Gestión Integrada de los Recursos hídricos, mediante la participación la ejecución del Plan de Gestión de Recursos Hídricos de la microcuenca, con participación de todos los actores.

Cultura del agua

El comité de gestión de la microcuenca de Achaco coordina con La Autoridad Nacional de Agua, el Consejo de Recursos Hídricos de la cuenca Medio Alto Apurímac, en la ejecución de programas de sensibilización de usuarios respecto a la Gestión Integrada de Recursos Hídricos, tomando en cuenta la gestión de la cantidad, calidad, oportunidad, cultura del agua, y cambio climático y estas no estén desligados de los valores económicos, sociales y ambientales que tiene el agua.

Financiamiento

Las actividades económicas y de servicios reconocen el valor económico y ambientan de los recursos hídricos adoptan criterios de racionalidad, eficiencia, protección, conservación y cofinanciación de la gestión de recursos hídricos.

12. PROGRAMA DE INTERVENCIONES

El Plan contempla que al 2033 se hayan materializado las obras, las cuales se resumen en las siguientes metas, que responden a los objetivos, brechas y niveles de servicios que el Plan se ha propuesto avanzar y contribuir respectivamente. Para alcanzar estas metas se ha definido una cartera de iniciativas de inversión en materia de GIRH a corto, mediano y largo plazo, integrada por estudios básicos, proyectos y medidas de gestión en los ámbitos de competencia ministerial, regional y local y que responderán a determinadas acciones estratégicas.

12.1 Herramientas de análisis

Se han construido modelos de gestión relacionados con el aprovechamiento de los recursos hídricos, la calidad del agua y los caudales ecológicos. Los modelos de gestión se relacionan con herramientas de interpretación que facilitan la asimilación de los resultados y la toma de decisiones.

12.2 Síntesis de la selección de alternativas y alternativas seleccionadas

La identificación de las líneas de acción de las alternativas de solución a los problemas identificados en el diagnóstico de la Gestión de los Recursos Hídricos de la microcuenca, se adoptó como ejes principales:

- Aprovechamiento de los recursos hídricos
- Conservación y protección ambiental
- Calidad de las aguas
- Riesgos y cambio climático
- Institucionalidad
- Cultura del agua
- Financiamiento
- Priorización de las intervenciones

De todo el conjunto de líneas de acción, se procedió a desarrollar la priorización tomando en cuenta su importancia, dando como resultado a alternativas que mayores problemas contemplan según lo manifestado por la población, asimismo se agrupó algunas alternativas en las líneas de acción principal, en tal sentido los ejes de intervención están basados en lo siguiente:

- ✓ Aprovechamiento de recursos hídricos
- ✓ Conservación, recuperación de ecosistemas y gestión ambiental
- ✓ Gestión integrada de recursos hídricos
- ✓ Gestión de riesgos y cambio climático
- ✓ Programas y subprogramas por líneas de acción

Los programas están basados en objetivos a corto, mediano y largo plazo enmarcados en una visión estratégica en el tiempo, como es la implementación del GIRH que se pretende alcanzar o se quiere construir con el conjunto de líneas de acción a intervenir, toma en cuenta la gestión de la cantidad, calidad, oportunidad, cultura del agua y cambio climático, ligados a los valores sociales, económicas y ambientales, funcionalmente eficientes y ambientalmente sostenibles, de acuerdo con las políticas y estrategias de desarrollo. Las líneas de acción se basan en lo siguiente:

12.3 Programa de aprovechamiento de recursos hídricos

El aprovechamiento de recursos hídricos en las microcuencas involucra a desarrollar diferentes acciones que consisten en lo siguiente:

- ✓ Mantenimiento, mejoramiento y ampliación de infraestructura hídrica para consumo poblacional (sistemas de saneamiento básico).
- ✓ Mejoramiento de la eficiencia de captación, almacenamiento, distribución del agua para uso agrícola.

- ✓ Implementación de infraestructura de siembra y cosecha de agua en cabecera de microcuencas de Achaco.
- ✓ Implementación de infraestructuras concernientes al manejo y conservación de suelos.
- ✓ Promover la gestión y planificación de la disponibilidad de aguas superficiales y subterráneas.
- ✓ Desarrollar el mantenimiento del sistema de riego por aspersión con la finalidad de incrementar la eficiencia de riego, a la vez facilitar las tareas de riego de los cultivos.

12.4 Programa de conservación, recuperación de ecosistemas y gestión ambiental

- Recuperación y conservación de los ecosistemas hídricos en cabecera de microcuencas Achaco
- Implementación de sistemas de forestación y reforestación en la microcuenca de Achaco.
- Protección y conservación de fuentes de agua.
- Protección de bofedales y/o áreas de recarga hídrica.
- Instalación de alcantarillado y lagunas de oxidación a largo plazo, siendo en la actualidad el uso de pozos de oxidación, generando un posible foco de contaminación.
- Sensibilización en el manejo adecuado de los residuos sólidos y líquidos generados por la población del ámbito de la microcuenca.

12.5 Programa de Gestión integrada de recursos hídricos

- ✓ Fortalecimiento de capacidades y generación de conocimientos para la GIRH en la microcuenca de Achaco
- ✓ Sensibilización para la gobernanza en la GIRH en la microcuenca.
- ✓ Promover la Gestión Integrada de los Recursos hídricos mediante el comité de gestión de la microcuenca Achaco, para alcanzar una institucionalidad que, mediante la participación de todos los actores ejecute el Plan de Gestión de Recursos Hídricos de la microcuenca.
- ✓ Sensibilización de usuarios respecto a la Gestión Integrada de Recursos Hídricos, tomando en cuenta la gestión de la cantidad, calidad, oportunidad, cultura del agua, y cambio climático y estas no estén desligados de los valores económicos, sociales y ambientales que tiene el agua.
- ✓ Promover la sensibilización del valor económico, social y ambiental del agua y servicios y adoptan criterios de racionalidad, eficiencia, protección, conservación y co-financiación de la gestión de recursos hídricos.

- ✓ Implementación de mecanismos de control administrativo, vigilancia social y sanción a las infracciones de contaminación del agua.
- ✓ Promover la generación y almacenamiento de información concerniente a la gestión integrada de recursos hídricos de la microcuenca.

12.6 Programa de gestión de riesgos y cambio climático

Planificación y ejecución de acciones de prevención y mitigación de efectos del cambio climático; deslizamientos, sequías, heladas, inestabilidad geodinámica externa y sismos sobre la población, infraestructura hidráulica y sector agropecuario.

12.7 Valoración económica del Plan de Gestión de los Recursos Hídricos

El Plan de Gestión de Recursos Hídricos de la cuenca incluye, además de un diagnóstico actualizado y consolidado socialmente que configura la línea base, plantea una serie de intervenciones que son fruto de un esmerado proceso participativo. La implementación efectiva del Plan de Gestión permitirá conseguir la cuenca deseable mediante las intervenciones concertadas por los actores.

Dicha cartera de intervenciones tiene dos ámbitos temporales, a 5 años vista que corresponde aproximadamente con 2019- 2020 conforme a lo establecido (Tabla 32) correspondiente con el escenario de corto plazo, y 15 años vista, y que corresponde con el escenario de largo plazo. La cartera de intervenciones a desarrollar alcanza un monto de inversión de 683.50 Millones de soles, de los cuales un total de 287.74 millones de Soles corresponde a inversiones en corto plazo (42%).

Ejes	Corto plazo	Mediano plazo	Largo plazo	Total
Aprovechamiento de recursos hídricos	1,175,000.00	940,000.00	235,000.00	2,350,000.00
Conservación, recuperación de ecosistemas y gestión ambiental	414,400.00	414,400.00	207,200.00	1,036,000.00
Gestión integrada de recursos hídricos	70,600.00	141,200.00	141,200.00	353,000.00
Gestión de riesgos y cambio climático	338,080.00	422,600.00	84,520.00	845,200.00
Total	1,998,080.00	1,918,200.00	667,920.00	4,584,200.00

13. FINANCIAMIENTO DEL PLAN

La implementación del Plan de Gestión es un gran desafío que supera con creces el ya realizado para la preparación y aprobación de este documento. La preparación del Plan de Gestión es solo el primer paso de un largo camino que debe ser recorrido para lograr una efectiva Gestión Integrada de los Recursos Hídricos en la microcuenca de Achaco y que requiere también un importante esfuerzo de financiamiento. En ese sentido es clave el compromiso de las instituciones y organizaciones de la microcuenca, también lo es el involucramiento de la clase dirigencial de la cuenca, el sinceramiento de los costos de operación y mantenimiento, las tarifas de uso de agua y la retribución económica como forma de asegurar la sostenibilidad de las intervenciones.

13.1 Marco legal del financiamiento de la GIRH

Ley de Gobiernos Regionales

La ley Orgánica de Gobiernos Regionales, 28767, les otorga competencias exclusivas a los gobiernos regionales para: i) Preparar y ejecutar programas regionales de cuencas, ii) Conducir y ejecutar coordinadamente con los órganos competentes la prevención y control de riesgos y daños de emergencia y desastres, iii) Promover y ejecutar proyectos y obras de irrigación, mejoramiento de riego, manejo adecuado y conservación de los recursos hídricos y de suelos, iv) Apoyar técnica y financieramente a los gobiernos locales en la prestación de servicios de saneamiento.

Ley de Recursos Hídricos

La ley de Recursos Hídricos, 29338, y su Reglamento establecen el régimen económico por el uso del agua identificando dos instrumentos económicos que sirven para la recaudación de recursos a ser utilizados en actividades específicas de la gestión de los recursos hídricos a nivel de la cuenca y en el ámbito de la ANA:

Retribución Económica

- La retribución económica por el uso del agua, es la contraprestación económica, que los usuarios deben pagar por el uso consuntivo o no consuntivo del agua, por ser dicho recurso natural patrimonio de la Nación. No constituye tributo.
- El valor de la retribución económica que se establezca en cada cuenca se destina para la formulación de los planes de gestión de recursos hídricos en la cuenca, desarrollar la gestión y administración de los recursos hídricos en las fuentes naturales del agua, así como para financiar las medidas de control y vigilancia destinadas a

lograr: La protección de la calidad, el incremento de la disponibilidad de los recursos hídricos y la conservación de las fuentes productoras de agua; así como para la gestión integrada del agua en las cuencas menos favorecidas y la preservación del recurso hídrico en las cabeceras de cuencas.

- La retribución económica por vertimiento de agua residual tratada, es la contraprestación económica, que no constituye tributo, que los usuarios deben pagar por efectuar un vertimiento autorizado en un cuerpo receptor.
- Las retribuciones económicas por vertimiento de aguas residuales tratadas en fuentes naturales de agua son destinadas para monitorear, prevenir, controlar y remediar los daños ambientales en cuanto se refiere a la afectación de la calidad del agua y los bienes asociados a esta en el ámbito de la cuenca respectiva.

13.2 Tarifa por la utilización de la infraestructura hidráulica mayor y menor

- La Tarifa por la utilización de la infraestructura hidráulica mayor es el pago que efectúan los usuarios del agua u operadores de infraestructura hidráulica menor para cubrir los costos de los servicios de operación y mantenimiento, así como el desarrollo de infraestructura hidráulica mayor que efectúan los operadores de dicha infraestructura.
- La tarifa por la utilización de la infraestructura hidráulica menor es el pago que efectúan los usuarios de agua para cubrir los costos de los servicios de operación y mantenimiento, así como el desarrollo de dicha infraestructura.
- Ley de Servicios de Saneamiento, 26338; y Ley N° 30045 de Modernización de los Servicios de Saneamiento.
- La ley 26338, de Servicios de Saneamiento, establece las condiciones técnicas y económico- financieras para la provisión de los servicios de saneamiento en el ámbito nacional. Comprende los servicios de agua potable, alcantarillado sanitario y pluvial, y la disposición sanitaria de excretas tanto en el ámbito urbano como en el ámbito rural.
- La ley 30045, de la modernización de los servicios de saneamiento promulgada en junio 2013, tiene por objeto establecer medidas orientadas al incremento de cobertura y el aseguramiento de la calidad y la sostenibilidad de los servicios de saneamiento a nivel nacional, promoviendo el desarrollo, la protección ambiental y la inclusión social. En cuanto al financiamiento de los servicios de saneamiento, esta ley establece que el gobierno nacional destina al menos un 3% de los recursos asignados a gastos de inversión para obras de agua potable y saneamiento, a aquellos gobiernos regionales y locales que no reciban canon, sobre cañón o regalía minera,

para destinarlos al financiamiento o cofinanciamiento de proyectos de inversión en agua potable y saneamiento

Entidades involucradas en el financiamiento de la GIRH

Aunque el Plan de Gestión de la microcuenca tiene una orientación multisectorial, la financiación del mismo pretende hacer uso de los instrumentos sectoriales disponibles y de la disponibilidad de terceras entidades, que pretenden racionalizar el uso de recursos y disminuir el esfuerzo de inversión de las principales instituciones, Gobiernos Regional y ANA, y aquellas con que si bien tienen fuertes competencias, no tiene los recursos suficientes para hacer frente a los retos que se plantean, por ejemplo Gobiernos Locales y Organizaciones de Usuarios. Algunos de estos programas son:

Autoridad Nacional del Agua

En el caso del ANA es especialmente importante iniciativas tales como el Proyecto de Modernización de la Gestión de los Recursos Hídricos, que financia la preparación de este Plan de Gestión del consejo de cuenca y otros como la mejora de conocimiento de aguas subterráneas, el afianzamiento de lagunas o el PROFODUA. Sin embargo, a pesar que el marco normativo no toma en cuenta la creación de comités de gestión de microcuencas es necesario poner de conocimiento a la ANA la existencia de esta organización y promover con los diferentes accionares que desarrolla la entidad e incluir a estas organizaciones y promover la creación de los comités de gestión que tienen buenos resultados en cuanto a gestionar de forma integrada los recursos hídricos.

Ministerio de Agricultura y Riego

Mi Riego: tiene por finalidad financiar la ejecución de proyectos de inversión pública declarados viables por el Sistema Nacional de Inversión Pública, incluyendo los estudios de pre-inversión, presentados por los tres niveles de gobierno, cuya ejecución se encuentra a cargo del Ministerio de Agricultura y Riego a través de algunas de sus Unidades Ejecutoras que resulte la más pertinente, destinados a contribuir a reducir las brechas en la provisión de los servicios e infraestructura del uso de los recursos hídricos con fines agrícolas que tenga el mayor impacto en la reducción de la pobreza y la pobreza extrema en el país, en localidades ubicadas por encima de los 1,500 metros sobre el nivel del mar. Este programa es especialmente idóneo para el financiamiento integral de las intervenciones de la cuenca media.

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

Es el ente rector en materia de urbanismo, vivienda, construcción y saneamiento, responsable de diseñar, normar, promover, supervisar, evaluar y ejecutar la política sectorial, contribuyendo a la competitividad y al desarrollo territorial sostenible del país, en beneficio preferentemente de la población de menores recursos. Con Decreto Supremo N° 002-2012-VIVIENDA del 06 de enero de 2012, se crea el Programa Nacional de Saneamiento Rural PNSR y se modifica la denominación del Programa Agua Para Todos por el de Programa Nacional de Saneamiento Urbano PNSU teniendo como ámbito de intervención las áreas urbanas a nivel nacional. Asimismo, faculta al Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, en la Disposición Complementaria Final Quinta, entre otros, a dictar las normas que resulten pertinentes para mejorar la gestión del Programa Nacional de Saneamiento Urbano. Por tanto, los mecanismos de promoción y financiamiento de intervenciones de este Ministerio son:

Programa Nacional de Saneamiento Rural (PNSR): La falta de acceso a agua potable y alcantarillado es uno de los principales factores que desencadenan o perpetúan la situación de la desnutrición crónica infantil; esta realidad es más grave y se presenta con mayor incidencia en las poblaciones rurales del país. Por ello, en el marco de las políticas de inclusión social del Gobierno y del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS), es una prioridad la atención de las poblaciones más pobres y excluidas, con el objeto de mejorar su salud y, en particular, combatir las Enfermedades Diarreicas Agudas (EDA) y contribuir de esta manera con la reducción de la desnutrición infantil. En enero de 2102, se creó este que busca mejorar el acceso de la población del ámbito rural a servicios de agua y saneamiento de calidad y sostenibles. Ofrece a la población del ámbito rural oportunidades de mejora de su salud a través de la provisión de un servicio integral de agua y saneamiento que les permita contar con un baño, agua continua y de calidad, y educación sanitaria antes, durante y después de cada intervención. Su efecto sobre la calidad del agua es innegable máxime en un ámbito se cuantifican cerca de 400 Centros Poblados de índole rural.

Ministerio del Ambiente.

Es el ente rector del Sistema Nacional de Gestión Ambiental -SNGA, en el marco de la Política Nacional del Ambiente que promueva la mejora de la calidad de vida de las personas en ecosistemas saludables. Tiene por objeto fortalecer la gestión ambiental descentralizada asegurando la calidad ambiental y la conservación y aprovechamiento sostenible de la diversidad biológica y del patrimonio natural del país. Promover la cultura ambiental, participación ciudadana y equidad social en los procesos de toma de decisiones para el desarrollo

sostenible garantizando la gobernanza ambiental del país. Fortalecer la gestión eficaz y eficiente del MINAM en el marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental. Dentro del ámbito del CRHC destaca su apoyo al desarrollo de los programas de Gestión de Residuos Sólidos Urbanos e implementación de rellenos sanitarios.

Gobierno Regional de Cusco

El Gobierno Regional de Cusco tiene importantes programas, proyectos, así como los proyectos especiales que desarrollan diferentes trabajos que involucran acciones para de la gestión del recurso hídrico como es la cantidad, calidad y oportunidad, siendo una entidad en el cual promueve el desarrollo de infraestructuras hídricas y su gestión.

Gobierno provinciales y distritales

Los gobiernos locales a través de sus gerencias de desarrollo económico y medio ambiente promueven y velan el desarrollo de infraestructura de riego y saneamiento con la finalidad de llevar a la población los requerimiento y necesidades actuales, siendo de mucha importancia promover diferentes convenios con el comité de gestión y promover acciones de desarrollo con enfoque de gestión integrada de recursos hídricos.

14. IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN

El comité de gestión de microcuenca Achaco y sus integrantes fueron elegidos para un ejercicio de sus funciones por dos años. Durante todo este tiempo el comité deberá llevar a cabo sus reuniones ordinarias y extraordinarias.

14.1 Procesos de implementación del Plan

La implementación del plan de gestión, son dos claros ejemplos de ello. En ese sentido, la implementación del plan debe seguir un proceso que tome en cuenta la ejecución de acciones en los temas institucionales, de sensibilización y financiamiento para hacer posible la adopción de compromisos o arreglos institucionales por parte de quienes por un lado tienen la responsabilidad de la implementación de dicho plan como por parte de quienes tomen el compromiso de financiar las acciones o intervenciones identificadas para el primer año de implementación del Plan.

14.2 Condicionantes a la implementación y disposiciones transitorias

Es fundamental tener en cuenta ciertas condicionantes que se recomienda atender como pasos previos a la implementación del Plan:

Instalación del comité de gestión de microcuenca y equipo técnico. – El comité de gestión convoca a una reunión donde se determinara a los miembros del equipo técnico que apoyaran en promover la gestión integrada de recursos hídricos, en tal sentido es necesario considerar a personas conocedoras en temas de manejo, operación y gestión de infraestructura hídrica, por lo que se recomienda nombrar a los representantes de la ATM de la municipalidad distrital, personal técnico de JASS (gasfitero), personal del comité de riego (tomero) y demás personal que tenga conocimiento en operación y mantenimiento de infraestructuras hídricas, así como los promotores de gestión ambiental. Una vez culminada este proceso el comité de gestión en coordinación con el equipo técnico procede a implementar el plan, mediante la gestión hacia las diferentes instituciones involucradas en gestión de los recursos hídricos desarrollar compromisos.

Compromiso Institucional del financiamiento de acciones incluidas en el Plan. - Es imprescindible para la implementación del Plan el compromiso institucional de los organismos identificados como las instituciones aportantes con recursos para financiar las acciones del Plan. Un aspecto importante a tomar en cuenta es que el Plan ha incluido en la cartera de intervenciones del corto plazo aquellos proyectos que un organismo o institución lo tiene ya identificado, inclusive se debe promover el desarrollo de los perfiles para su financiamiento y promover el proceso de aprobación para su posterior ejecución.

15. MONITOREO DEL PLAN

En la etapa de implementación del plan de gestión del agua en la microcuenca, es necesario dar respuesta a preguntas como: ¿Cuáles son los avances, logros e impactos en las acciones, estrategias y procesos establecidos en el plan de gestión de recursos hídricos de la microcuenca? ¿Cuáles son las debilidades encontradas a lo largo de su implementación? ¿Cuáles han sido los beneficios y costos percibidos por las mujeres y los hombres habitantes de la microcuenca? ¿Qué tanto hemos avanzado en el logro de la equidad? La evaluación de estos avances permitirá, conocer cuánto se ha avanzado hacia el logro de los objetivos y metas establecidas, así como a medir qué tan efectiva ha sido su gestión.

Plan de monitoreo

El monitoreo es un proceso regular que está conformado por dos etapas:

- Seguimiento
- Evaluación

Evaluación: actividad puntual que determina los beneficios obtenidos e identifica los problemas y limitaciones que hayan dificultado la consecución de los objetivos del Plan de Gestión. Permite cuantificar la magnitud del cambio y el contraste con el pronóstico.

Ambas etapas tienen como punto de partida la definición de la línea de base del plan de gestión, que constituye el diagnóstico inicial, y que permitirá valorar los avances al finalizar la implementación de las acciones e iniciativas propuestas en el Plan de Gestión en el ámbito de la gestión de los recursos hídricos de la microcuenca, los elementos principales que tradicionalmente definen al sistema de monitoreo y evaluación se refieren principalmente a dar seguimiento a los logros de las acciones estructurales y no estructurales que están incluidas en el plan de gestión de los recursos hídricos en la microcuenca.

En general estos sistemas se han clasificado siguiendo varios criterios de acuerdo a: i) el objetivo, donde se evalúa la validez, la eficiencia de la ejecución y la consecución de los logros a través de la implementación de las acciones en un horizonte de tiempo; ii) el grado de participación de la población, ya sea tradicional o participativa; iii) la etapa del proyecto en que se aplica el monitoreo: inicial, intermedia o continua, terminal o post-terminal; iv) la ubicación de la medición: en vertientes o a la salida de la cuenca; y, finalmente, v) el área que cubre el sistema de monitoreo: parcelas, comunidades, microcuencas, subcuencas, cuencas, estado, región, provincia o país.

Por tanto, el proceso de monitoreo en el Plan de Gestión de la microcuenca Achaco tiene por objeto:

- ✓ Asegurar el cumplimiento de los objetivos y metas que propone el propio Plan, durante la ejecución de las iniciativas seleccionadas.
- ✓ Alertar oportunamente sobre eventuales dificultades, relevando aquellas tareas pendientes o atrasadas.
- ✓ El proceso de monitoreo general del Plan, incluye los siguientes aspectos:
- ✓ Seguimiento del cumplimiento de metas y plazos inicialmente fijados para el desarrollo de las intervenciones.
- ✓ Evaluación de los resultados y logro de los objetivos específicos propuestos.
- ✓ Revisión, reprogramación y/o actualización de contenidos, plazos e intervenciones específicas, en función de los resultados y evaluación obtenidos.
- ✓ Se pondrá especial preocupación en aquel conjunto de intervenciones que más impactan en el logro de los objetivos y metas propuestas para el Plan, ya sea por la magnitud de su inversión, importancia estratégica, implicancia social, entre otros.

16. CONCLUSIONES

17. RECOMENDACIONES

- Se debe establecer puntos de monitoreo, de caudales y demás forzantes hidrológicas dentro de la cuenca, que permitan calibrar modelos hidrológicos en la cuenca.
- Establecer fajas marginales en las zonas baja de la cuenca, pues es la zona más propensa a las inundaciones, de acuerdo al análisis realizado.
- Plantear la construcción de embalses de recarga de acuíferos en la cabecera de la cuenca, con el fin de garantizar la disponibilidad hídrica futura.
- Monitorear el comportamiento del botadero como fuente potencial de contaminación de la cuenca en la zona baja, si bien es cierto no perjudicaría las aguas para riego o para consumo, pero aguas abajo podría constituir un punto contaminante.

18. BIBLIOGRAFÍA

- BORREIROS LOPEZ, Álvaro. Evaluación de Caudales de avenida mediante modelos hidrológicos distribuidos basados en las ecuaciones de aguas someras 2D. Tesis, Ingeniero de Caminos Canales y Puertos. Universidade da Coruña. La Coruña ,2014.
- LAVADO, Waldo et al. Tendencias en los extremos de lluvias cerca de la ciudad del Cusco y su relación con las inundaciones de enero del 2010. Revista Peruana Geo atmosférica SENAMHI. Lima, 2011
- MEJÍA MARCACUZCO Jesús A. Hidrología Aplicada. FIA-UNALM. Lima, 2006.
- LINSLEY, R. K., KOHLER M. A. AND PAULHUS, J. L. H., Hydrology for Engineers (SI Metric Edition), 1988, International Edition, McGraw–Hill, London, U.K., 1988.
- MANIAK, U., 1988 Hydrologie und Wasserwirtschaft, Springer Verlag, 1988, ISBN 3-540-16528-2
- WANIELISTA, M. P., 1990, Hydrology and Water Quantity Control, John Willy & Sons, New York, U.S.A., 1990.