

**UNIVERSIDAD NACIONAL
“SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO”
FACULTAD DE CIENCIAS DEL AMBIENTE
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL**



**“DIAGNÓSTICO HÍDRICO RÁPIDO DE LA
MICROCUENCA AUQUI COMO FUENTE DE
APROVISIONAMIENTO DE AGUA A FAVOR DE
LA EPS CHAVÍN HUARAZ – ANCASH”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO
AMBIENTAL**

AUTOR:

Bach. Katia Albertina, GARCÍA CHÁVEZ

ASESOR:

Dr. Prudencio Celso, HIDALGO CAMARENA

HUARAZ – ANCASH – PERU

OCTUBRE – 2019



FORMATO DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN DE TESIS Y TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN, PARA OPTAR GRADOS ACADÉMICOS Y TÍTULOS PROFESIONALES EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DIGITAL - UNASAM

Conforme al Reglamento Nacional de Trabajos de Investigación – RENATI

Resolución de Consejo Directivo de SUNEDU N° 033-2016-SUNEDU/CD

1. Datos del Autor:

Apellidos y Nombres: GARCÍA CHÁVEZ, Katia Albertina

Código de alumno: 092.0605.029

Teléfono: 935916548

Correo electrónico: unsam122@outlook.com DNI o Extranjería: 46896427

2. Datos del Autor:

Trabajo de investigación

Trabajo académico

Trabajo de suficiencia profesional

Tesis

3. Título profesional o grado académico:

Bachiller

Título

Segunda especialidad

Licenciado

Magister

Doctor

4. Título del trabajo de investigación:

Diagnóstico hídrico rápido de la microcuenca Auqui como fuente de aprovisionamiento de agua a favor de la EPS Chavín Huaraz – Ancash.

5. Facultad de: CIENCIAS DEL AMBIENTE

6. Escuela, Carrera o Programa: INGENIERÍA AMBIENTAL

7. Asesor:

Apellidos y Nombres: HIDALGO
CAMARENA, Prudencio Celso

Teléfono: 943203136

Correo electrónico: celhica@gmail.com

DNI o Extranjería: 31671118

A través de este medio autorizo a la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, publicar el trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Institucional Digital, Repositorio Nacional Digital de Acceso Libre (ALICIA) y el Registro Nacional de Trabajos de Investigación (RENATI).

Asimismo, por el presente dejo constancia que los documentos entregados a la UNASAM, versión impresa y digital, son las versiones finales del trabajo sustentado y aprobado por el jurado y son de autoría del suscrito respecto de la legislación en materia de propiedad intelectual.

Firma:

D.N.I.: 46896427

FECHA: Huaraz, 02 de octubre del 2019

ACTA DE SUSTENTACIÓN



UNIVERSIDAD NACIONAL SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO

"Una Nueva Universidad para el Desarrollo"

Av. Centenario N° 200 – Teléfono (043) 640020 anexo 1103

HUARAZ - ÁNCASH - PERÚ



"Año de la lucha contra la corrupción y la impunidad"

ACTA DE SUSTENTACIÓN Y DEFENSA DE TESIS

Los Miembros del Jurado en pleno que suscriben, reunidos en la fecha, en el Auditorium de la FCAM-UNASAM, de conformidad a la normatividad vigente conducen el Acto Académico de Sustentación y Defensa de Tesis **DIAGNÓSTICO HÍDRICO RÁPIDO DE LA MICROCUENCA DEL RÍO AUQUI COMO FUENTE DE APROVISIONAMIENTO DE AGUA A FAVOR DE LA EPS CHAVÍN HUARAZ - ANCASH**, que presenta **GARCIA CHAVEZ KATIA ALBERTINA** para optar el **Título Profesional de Ingeniero Ambiental**.

En seguida, después de haber atendido la exposición oral y escuchada las respuestas a las preguntas y observaciones formuladas, lo declaramos:

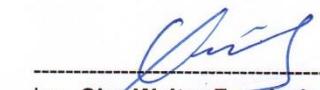
APROBADA

Con el calificativo de: CATORCE (14)

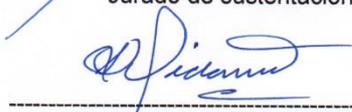
En consecuencia, **GARCIA CHAVEZ KATIA ALBERTINA** queda expedito para que el Consejo de Facultad de la Facultad de Ciencias del Ambiente de la Universidad Nacional "Santiago Antúnez de Mayolo" apruebe el otorgamiento de su **Título Profesional de Ingeniero Ambiental** de conformidad al Art. 113 numeral 113.9 del Reglamento General de la UNASAM (Resolución de Consejo Universitario N° 399-2015-UNASAM), el Art. 48° del Reglamento General de Grados y Títulos de la UNASAM (Resolución de Consejo Universitario - Rector N° 761-2017-UNASAM) y el Art. 160° del Reglamento de Gestión de la Programación, Ejecución y Control de las Actividades Académicas (Resolución de Consejo Universitario - Rector N° 232-2017-UNASAM).

Huaraz, 09 de Mayo de 2019


Dr. **Maximiliano Loarte Rubina**
Presidente
Jurado de sustentación


Ing. **Ciro Walter Fernández Rosales**
Primer miembro
Jurado de sustentación


Ing. **Kiko Félix Depaz Celi**
Segundo miembro
Jurado de sustentación


Dr. **Prudencio Celso Hidalgo Camarena**
Asesor de tesista

E-mail: info@unasam.edu.pe

UNASAM
LICENCIADA
—La primera en la región Áncash—



DEDICATORIA

A Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional, protegiéndome y dándome fortaleza para continuar.

A mis padres, por ser el pilar más importante en mi vida, por demostrarme siempre su amor y apoyo incondicional. A mi abuelito Pascual, a pesar de nuestra distancia física, siento que estás conmigo siempre y aunque nos faltaron muchas cosas por vivir, sé que este momento hubiera sido tan especial para ti como lo es para mí. A mis hermanos Elman y Yair, a quienes amo mucho, por haber compartido momentos significativos en mi vida. A mi tío Cesar quien es un segundo padre para todos nosotros.

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi más profundo agradecimiento a mi alma mater la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo porque me ha dado la oportunidad de elegirlo como el centro de materialización de mi búsqueda investigativa y mi superación profesional.

Asimismo, agradezco enormemente al Centro de Investigación Ambiental para el Desarrollo (CIAD), al Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM) y a la EPS Chavín, por brindarme información para el desarrollo de la presente investigación.

RESUMEN

En la presente tesis se determinó el diagnóstico hídrico rápido (DHR) en la microcuenca del río Auqui. La metodología utilizada consistió en la delimitación de la microcuenca Auqui, análisis de datos pluviométricos en el periodo 2013 - 2017, determinación del balance hídrico superficial, cálculo del caudal, identificación de los ecosistemas degradados, y finalmente se plantearon medidas de conservación y restauración de ecosistemas degradados proveedores de servicios ecosistémicos hídricos.

La microcuenca del río Auqui presenta un área total de 169.824 Km², perímetro de 78,632.128 ml y longitud de cauce principal de 27.308 Km. El balance hídrico superficial en la microcuenca Auqui durante el periodo 2013 – 2017, indica el superávit de agua, debido a que las pérdidas por evapotranspiración y escorrentía no superaron la precipitación. Para el cálculo del caudal de la microcuenca Auqui se aplicó una relación que se aplica para áreas de estudio sin datos hidrométricos, donde se utiliza la variable escorrentía y el área de drenaje. El caudal estimado es 8.373 m³/s, siendo la oferta hídrica suficiente para el aprovisionamiento de agua a favor de la EPS Chavín-Huaraz, en dicho periodo. Sin embargo, la EPS Chavín dejó de aprovechar las aguas del río Auqui por su mala calidad.

Los servicios ecosistémicos hídricos identificados fueron: regulación hídrica, regulación climática, control de sedimentos y mejora en la calidad del agua. Los ecosistemas degradados identificados en la microcuenca del río Auqui son: bosques nativos, matorrales, pastizales y bofedales, siendo las acciones de conservación planteadas las siguientes: implementación de sistemas de guardaparques, fortalecimiento de áreas de conservación, patrullaje de áreas de conservación, sensibilización a los pobladores y visitantes, ecoturismo y silvicultura. Finalmente, las acciones de restauración de ecosistemas degradados planteados son: reforestación, agroforestería, exclusión de pastoreo en zonas vulnerables, pastoreo rotativo, intensificación de la ganadería fuera de los ecosistemas prioritarios, riego tecnificado, siembra de pastos cultivados, zanjas de infiltración (para el almacenamiento e infiltración del agua) y construcción de micro represas.

Palabras Clave: Microcuenca, balance hídrico superficial, ecosistemas.

ABSTRACT

In this thesis the rapid water diagnosis (DHR) was determined in the Auqui river microbasin. The methodology used is the delimitation of the Auqui microbasin, analysis of rainfall data in the period 2013 - 2017, determination of the surface water balance, calculation of the flow, identification of degraded ecosystems, and finally, conservation and ecosystem restoration measures were proposed degraded providers of water ecosystem services.

The Auqui river microbasin has a total area of 169,824 km², perimeter of 78,632,128 ml and length of the main channel of 27,308 km. The surface water balance in the Auqui microbasin during the 2013-2017 period, indicates the surplus of water, due the losses due to evapotranspiration and runoff did not exceed the loss. For the calculation of the Auqui microbasin flow rate, a relationship is applied that applies to study areas without hydrometric data, where variable runoff and drainage area are used. The estimated flow is 8,373 m³ / s, the water supply being sufficient for water supply in favor of the EPS Chavín-Huaraz, during that period. However, EPS Chavín stopped using the waters of the Auqui River because of its poor quality.

The water ecosystem services identified were: water regulation, climate regulation, sediment control and improvement in water quality. The degraded ecosystems identified in the Auqui river microbasin are: native forests, scrublands, grasslands and bofedales, the conservation actions proposed being the following: implementation of park ranger systems, development of conservation areas, patrol of conservation areas, awareness raising residents and visitors, ecotourism and forestry. Finally, the restoration actions of degraded ecosystems are: reforestation, agroforestry, grazing exclusion in vulnerable areas, rotational grazing, intensification of livestock outside of priority ecosystems, technical irrigation, planting of cultivated pastures, infiltration ditches (for water storage and infiltration) and construction of micro dams.

Keywords: Microbasin, surface water balance, ecosystems.

ÍNDICE

AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN DE TESIS.....	iii
ACTA DE SUSTENTACIÓN	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
RESUMEN	v
ABSTRACT.....	vii
ÍNDICE.....	vii
CONTENIDO DE TABLAS	ix
CONTENIDO DE FIGURAS	x
RELACIÓN DE ANEXOS	x
ABREVIATURAS Y SIGLAS	xi
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	1
1.1. REALIDAD PROBLEMÁTICA.....	2
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	3
1.3. HIPÓTESIS	3
1.4. OBJETIVOS	3
1.4.1. Objetivo General	3
1.4.2. Objetivos Específicos.....	4
1.5. JUSTIFICACIÓN	4
CAPÍTULO II	
MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. ANTECEDENTES	5
2.2. BASES TEÓRICAS	8
2.2.1. Diagnóstico hidrológico rápido (DHR)	8
2.2.2. Diagnóstico de la cuenca hidrográfica (No punto al final de sub títulos).....	8
2.2.3. Manejo de cuencas hidrográficas	9
2.2.4. Caracterización y delimitación de una cuenca hidrográfica.....	10
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS	17
2.3.1. Diagnóstico hídrico rápido	17
2.3.2. Cuenca hidrográfica.....	17
2.3.3. Microcuenca	17
2.3.4. Balance hídrico.....	17
2.3.5. Precipitación.....	18
2.3.6. Escorrentía	18
2.3.7. Evapotranspiración.....	18

2.3.8. Infiltración	18
2.3.9. Caudal	18
2.3.10. Ambiente	18
2.3.11. Calidad de vida	19
2.3.12. Recursos naturales	19
2.3.13. Desarrollo sostenible	19
2.3.14. Ecosistemas	19
2.3.15. Servicios ecosistémicos	19
2.3.16. Conservación Ambiental	19
2.3.17. Restauración Ambiental	20
CAPÍTULO III	
METODOLOGÍA	21
3.1. Diseño de investigación	21
3.2. Variables y operacionalización	22
3.3. Área de estudio	22
3.4. Población y muestra	23
3.5. Recopilación de información	23
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	23
3.7. Proceso metodológico	24
3.7.1. Determinación de parámetros hidrográficos de la microcuenca del Río Auqui	24
3.7.2. Análisis y tratamiento de datos pluviométricos	25
3.7.3. Estimación de parámetros de balance hídrico	26
3.7.4. Determinación del balance hídrico superficial de la microcuenca del río Auqui	31
3.7.5. Determinación del caudal hídrico de la microcuenca del río Auqui	31
3.7.6. Identificación de los ecosistemas degradados en la microcuenca del Río Auqui	32
3.7.7. Planteamiento de acciones de conservación y restauración de ecosistemas degradados proveedores de servicios ecosistémicos hídricos (SEH)	32
CAPÍTULO IV	
RESULTADOS Y DISCUSIONES	33
4.1. Delimitación de la microcuenca Auqui como fuente de aprovisionamiento de agua a favor de la EPS Chavín –Huaraz (parámetros hidrográficos de la microcuenca del río Auqui)	33
4.2. Determinación del balance hídrico de la microcuenca del río Auqui como fuente de aprovisionamiento de agua a favor de la EPS Chavín – Huaraz	34
4.2.1 Parámetros de balance hídrico	34
4.2.1.1 Análisis de la precipitación	34

4.2.1.2	Análisis de la evapotranspiración	36
4.2.1.3	Análisis de la escorrentía	39
4.2.2	Estimación del balance hídrico superficial en la microcuenca del río Auqui	40
4.3	Determinación del caudal en la microcuenca del río Auqui.....	42
4.4	Identificación de los servicios ecosistémicos hídricos (SEH) prioritarios para la EPS Chavín – Huaraz	42
4.5	Identificación de ecosistemas degradados en la microcuenca del río Auqui.....	44
4.6	Acciones de conservación y restauración de ecosistemas degradados proveedores de servicios ecosistémicos hídricos (SEH) en la microcuenca Auqui.....	49
4.6.1	Acciones de conservación	49
4.6.2	Acciones de restauración	49
CAPÍTULO V		
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		51
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA		53
ANEXOS		56

CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 1.	Definición de variables y operacionalización.....	22
Tabla 2.	Precipitaciones promedio 2013 - 2017.....	26
Tabla 3.	Altitud de las estaciones	26
Tabla 4.	Relación precipitación - altitud.....	26
Tabla 5.	Temperatura promedio mensuales y anuales 2013 – 2017	27
Tabla 6.	Evapotranspiraciones mensuales y anuales promedio 2013 – 2017.....	30
Tabla 7.	Parámetros importantes de la microcuenca Auqui.....	33
Tabla 8.	Precipitación media y áreas obtenidas a través del método de isoyetas.....	36
Tabla 9.	Evapotranspiración media y áreas obtenidas a través de las isolíneas.....	39
Tabla 10.	Escorrentía media y áreas obtenidas a través de las isolíneas	40
Tabla 11.	Precipitación, evapotranspiración y escorrentía media y áreas obtenidas a través de las isolíneas.....	41
Tabla 12.	Ecosistemas y servicios ecosistémicos en la Microcuenca Auqui.....	48

CONTENIDO DE FIGURAS

Figura 1. Métodos para estimar la precipitación media: Media Aritmética, isoyetas y Thiessen	12
Figura 2. El proceso lluvia-evapotranspiración-escorrentía	14
Figura 3. Diseño de investigación.....	21
Figura 4. Isoyetas sobre la microcuenca del río Auqui	35
Figura 5. Isolíneas de evapotranspiración sobre la microcuenca del río Auqui 2013-2017	38
Figura 5. Escorrentías sobre la microcuenca del río Auqui 2013-2017	39
Figura 7. <i>Polylepis sericea</i> (PNH, 2010).....	45
Figura 8. <i>Polylepis weberbaueri</i> (PNH, 2010).....	45
Figura 9. Arbustos de los géneros <i>Senna</i> , <i>Barnadesia</i> , <i>Gynoxis</i> (PNH, 2010).....	46
Figura 10. Arbustos de los géneros <i>Senna</i> , <i>Barnadesia</i> , <i>Gynoxis</i> (PNH, 2010).....	46
Figura 11. Pajonal de puna: <i>Festuca</i> , <i>Stipa</i> y <i>Calamagrostis</i> (PNH, 2010)	47
Figura 12. Vegetación herbácea postrada que coexiste en el pajonal (PNH, 2010)....	47
Figura 13. Bofedales más representativos de la zona (PNH, 2010).....	48

RELACIÓN DE ANEXOS

Anexo A	:	Mapa de ubicación de la microcuenca del río Auqui.
Anexo B	:	Mapa de hidrográfico de la microcuenca del río Auqui.
Anexo C	:	Mapa de pendientes de la microcuenca del río Auqui.
Anexo D	:	Mapa de cobertura vegetal y uso actual de suelos de la microcuenca del río Auqui.
Anexo E	:	Mapa de precipitación de la microcuenca del río Auqui.
Anexo F	:	Mapa de evapotranspiración de la microcuenca del río Auqui
Anexo G	:	Mapa de escorrentía de la microcuenca del río Auqui.
Anexo H	:	Mapa de ecosistemas y servicios ecosistémicos.

ABREVIATURAS Y SIGLAS

DHR	: Diagnóstico Hidrológico Rápido
DHB	: Diagnóstico Hídrico Base
EPS	: Empresa Prestadora de Servicios
CONDESAN	: Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina
MRSE	: Mecanismos de Retribución por Servicios Ecosistémicos
SEH	: Servicios Ecosistémicos Hídricos
SUNASS	: Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La presente investigación tuvo como objetivo determinar el diagnóstico hídrico rápido (DHR) de la microcuenca del río Auqui, mediante la delimitación del área de estudio, elaboración de mapas base, análisis de los datos pluviométricos, determinación del balance hídrico, cálculo del caudal, identificación de los ecosistemas degradados y finalmente plantear medidas de conservación y restauración de ecosistemas degradados proveedores de servicios ecosistémicos hídricos en la microcuenca del río Auqui.

Las principales causas del deterioro de los ecosistemas proveedores de los servicios ecosistémicos hídricos (SEH) en la microcuenca Auqui son: extracción ilegal de formaciones vegetales, quema de pastos, poca o nula actividad de forestación y reforestación, introducción de especies exóticas como el eucalipto y el pino, que representan una amenaza debido al consumo excesivo de agua y porque desplazan a las especies nativas de la zona, los drenajes ácidos de roca (naturales) generados por el afloramiento de metales pesados producto del retroceso glaciar que ponen en riesgo la calidad del agua y la biota presentes en ellas, pues la reducción de bofedales en la microcuenca no permite la biorremediación natural del agua, por otro lado las actividades productivas de los pobladores cercanos y la comunidad de turistas que se desplazan por la microcuenca Auqui causan la contaminación del agua por residuos sólidos y aguas residuales, dificultando también el proceso de tratamiento debido a que el agua presenta mayor turbidez y niveles de contaminantes.

Los diversos ecosistemas vegetales existentes en la microcuenca Auqui brindan servicios ambientales significativos tales como: regulación hídrica, regulación climática, control de sedimentos y mejora de la calidad del agua.

En este sentido, el presente trabajo de investigación pretende demostrar la importancia de realizar un diagnóstico hídrico rápido (DHR) en la microcuenca del río Auqui para comprender la relación que existe entre el aprovisionamiento de agua a favor la EPS Chavín, los ecosistemas que brindan servicios ecosistémicos hídricos (SEH), los ecosistemas degradados, las actividades humanas y el cambio climático. Asimismo, se han planteado medidas de conservación, restauración y uso sostenible de los ecosistemas degradados que permitirán revertir la pérdida acelerada de la biodiversidad, pues no basta con conservar y proteger áreas representativas, sino de aprender a restaurar paisajes, ecosistemas, comunidades y poblaciones de plantas y animales, para garantizar la sustentabilidad de sistemas naturales y sociales, y de esta forma garantizar el servicio ecosistémico de provisión hídrica a favor de la EPS Chavín para abastecer la demanda de agua potable de la ciudad de Huaraz.

No obstante, se espera que la presenta investigación se constituya en punto de partida para que los distintos actores como la EPS Chavín, los gobiernos locales, el Parque Nacional Huascarán y las comunidades campesinas promuevan la ejecución de actividades y proyectos de conservación y restauración de ecosistemas degradados en las microcuencas que abastecen de agua a las ciudades del Callejón de Huaylas y Conchucos.

1.1. REALIDAD PROBLEMÁTICA

Los problemas ambientales en la microcuenca del río Auqui han perturbado la calidad del agua y provocado ligeros cambios en la oferta hídrica debido al deterioro y disminución de bofedales, pastizales, humedales y otros tipos de cubierta vegetal que cumplen las funciones de regulación hídrica, control de sedimentos y purificación del agua.

Los drenajes ácidos de roca (naturales) en las cabeceras de cuenca producto del retroceso glaciar, contaminan severamente los flujos de agua porque los ecosistemas encargados de la biorremediación natural han ido desapareciendo. En el año 1997 se confirmó la acidez de las aguas del río Auqui, convirtiéndose en un riesgo para la biota que alberga y poniendo en peligro a la vegetación de su alrededor. Las plantas que han crecido cerca de esta zona muestran signos de toxicidad, comparado con las que crecen en las partes altas que muestran un buen crecimiento, mejor vigor y follaje. Según el Parque Nacional Huascarán (2010), en la cabecera de Quillcayhuanca el pH en las lagunas llega a 3.5, mientras que en las microcuencas la cifra es de 5, valores que

están por debajo de los límites máximos permisibles establecidos por la legislación peruana, tanto para consumo humano, agricultura y ganadería. La baja calidad del agua fue el factor principal para que la EPS Chavín dejara de captar agua del río Auqui, debido que el tratamiento del agua era mucho más compleja y costosa.

El sobrepastoreo es responsable de que los ecosistemas que actúan como colchones de agua y biorremediadores estén desapareciendo de las cabeceras de cuenca. La extracción ilegal de formaciones vegetales, la quema de pastos y la poca o nula actividad de forestación y reforestación estancan la recuperación de los ecosistemas degradados. La introducción de especies exóticas como el eucalipto y el pino, también son una amenaza por el consumo excesivo de agua y porque vienen desplazando a las especies nativas. Por otro lado, los pobladores cercanos y los turistas que se desplazan por la microcuenca Auqui aún siguen contaminando las fuentes de agua con residuos sólidos y líquidos, lo que también dificultan el proceso de tratamiento del agua, debido a que presenta mayor turbidez y niveles de contaminantes.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuál es el aporte hídrico de la microcuenca del río Auqui, según el diagnóstico hídrico rápido, como fuente de aprovisionamiento de agua a favor de la EPS Chavín-Huaraz?

1.3. HIPÓTESIS

El aporte hídrico de la microcuenca del Río Auqui, según el diagnóstico hídrico rápido, no garantiza la provisión de agua a favor de la EPS Chavín-Huaraz.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo General

Efectuar el diagnóstico hídrico rápido de la microcuenca del río Auqui como fuente de aprovisionamiento de agua a favor de la EPS Chavín-Huaraz.

1.4.2. Objetivos Específicos

- 1.4.2.1.** Delimitar la microcuenca del río Auqui como fuente de aprovisionamiento de agua a favor de la EPS Chavín-Huaraz
- 1.4.2.2.** Determinar el balance hídrico en la microcuenca del río Auqui como fuente de aprovisionamiento de agua a favor la EPS Chavín-Huaraz.
- 1.4.2.3.** Determinar el caudal de la microcuenca del río Auqui como fuente de aprovisionamiento de agua a favor la EPS Chavín-Huaraz.
- 1.4.2.4.** Identificar los servicios ecosistémicos hídricos (SEH) prioritarios para la EPS Chavín-Huaraz
- 1.4.2.5.** Identificar los ecosistemas degradados en la microcuenca del río Auqui.
- 1.4.2.6.** Proponer acciones de conservación y restauración de los ecosistemas degradados en la microcuenca del río Auqui como fuente de aprovisionamiento de agua a favor la EPS Chavín-Huaraz.

1.5. JUSTIFICACIÓN

El diagnóstico hidrológico rápido (DHR) en la microcuenca del río Auqui permitió evaluar el aprovisionamiento potencial de agua a favor de la EPS Chavín – Huaraz en el periodo 2013-2017, mediante el balance hidrológico, la estimación del caudal de aporte, la identificación de los servicios ecosistémicos hídricos (SEH) prioritarios para la EPS y la identificación de ecosistemas degradados en la cuenca en estudio.

El aprovisionamiento hídrico de una cuenca hacia una EPS, depende del estado de conservación de sus ecosistemas y la forma de enfrentar el cambio climático. Por ello, el presente trabajo de investigación busca fomentar la aplicación de acciones de conservación y restauración para la recuperación de ecosistemas degradados que brindan servicios ecosistémicos hídricos (regulación hídrica regulación climática, control de sedimentos y purificación del agua). Esto permitirá lograr un manejo adecuado de la microcuenca Auqui para alcanzar un equilibrio ecológico.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES

Acosta & Gil (2015), sostienen que en el diagnóstico hídrico base (DHB) de las cuencas que abastecen de agua para el servicio de saneamiento de Rioja, entre ellos, la Empresa Municipal de Servicios de Agua Potable y Alcantarillado de Rioja (SEDAPAR) y diversos actores relacionados con la gestión del agua, se interesaron en incorporar en la tarifa del servicio de saneamiento, del segundo quinquenio regulatorio (2016 - 2020), mecanismos de retribución por servicios ecosistémicos (MRSE) con el fin de implementar acciones de conservación, restauración y/o uso sostenible de los ecosistemas que proveen agua al servicio de saneamiento.

Con el diagnóstico hídrico base (DHB) en las cuencas de Rioja, se identificó que el ecosistema en general para las tres cuencas (Cuchachi, Uquihua y Río Negro) es muy vulnerable porque son zonas de montaña con pendientes pronunciadas que favorecen el arrastre del suelo. Asimismo, la capa del suelo orgánico es muy delgada y con alto índice de erodabilidad. Por tal motivo, el impacto que pueda generar la deforestación es muy alto en términos de tiempo para recuperar el suelo perdido y en términos económicos por la disminución del agua en la fuente que obligará a buscar nuevas fuentes y realizar nuevas inversiones cada vez más altas para abastecer el servicio de agua potable, además de pérdida de biodiversidad, captura de carbono, entre otros (Acosta & Gil, SUNASS, 2015).

En conclusión, los servicios ecosistémicos hídricos prioritarios para el servicio de saneamiento de la ciudad de Rioja son: el control de sedimentos, la

regulación hídrica y calidad del agua. Existen procesos de cambio de uso de la tierra que generan el deterioro del ecosistema y por ende la pérdida de dichos servicios ecosistémicos (Acosta & Gil, SUNASS, 2015).

Mencionan además que el deterioro de los servicios ecosistémicos hídricos genera problemas de continuidad del servicio de saneamiento y por otro lado eleva los costos de tratamiento, debido a que se tiene que utilizar mayor cantidad de insumos químicos para tratar el agua muy turbia. Aunque no fue posible tener evidencias de esta última afirmación, esto fue confirmado por el operario de la planta y por el gerente de producción de SEDAPAR (Acosta & Gil, SUNASS, 2015).

Las acciones priorizadas por el DHB fueron: i) implementar un programa de sensibilización ambiental para valorar y conservar los servicios ecosistémicos, dirigido a retribuyentes y contribuyentes, ii) promover el turismo sostenible como una manera de generar ingresos económicos alternativos a las actividades productivas que degradan los ecosistemas, iii) promover la reconversión del cultivo de café hacia una producción de café especial bajo sombra, iv) implementar un sistema de monitoreo para evaluar el impacto de las acciones antes mencionadas. Éstas acciones deben ser contrastadas con las acciones propuestas por el proyecto de MRSE que viene implementando el PEAM en la cuenca del río Negro, con el fin de complementar esfuerzos y evitar la duplicidad de acciones (Acosta & Gil, SUNASS, 2015).

Las acciones prioritarias que resultaron del análisis, están destinadas principalmente a conservar y/o restaurar la cobertura vegetal nativa, es decir a conservar o restaurar los bosques. Para ello propusieron diferentes estrategias que van desde promover la implementación de acciones prácticas en campo, hasta la implementación de acciones relacionadas con la gestión de los bosques (Acosta & Gil, SUNASS, 2015).

Finalmente, el problema de la contaminación de las fuentes de agua tiene que ser abordado de inmediato y desde una perspectiva integral, no debe ser postergado y que dependa de la aprobación de uno u otro proyecto (Acosta & Gil, SUNASS, 2015).

En otro estudio, CONDESAN (2016), manifiesta que el análisis de los servicios ecosistémicos hídricos del sistema Marcapomacocha en la cuenca alta del Mantaro dentro del marco del MRSE de Lima, en la época de avenida

(lluviosa), los recursos hídricos superficiales de la cuenca alta del río Mantaro abastecen de agua a la ciudad de Lima a través de SEDAPAL. Actualmente el sistema Marcapomacocha está conformado por 3 sistemas: Sistema Marca I, Marca III y Marca IV; y en el futuro se ha planificado implementar los sistemas Marca II y Marca V.

En conclusión, el área de aporte hídrico de todo el sistema Marcapomacocha no presenta un estado de degradación intenso; sin embargo, analizando las tendencias de demanda-en Lima, parte media y baja de la cuenca del Rímac- y las prácticas inadecuadas en los ecosistemas de interés hídrico realizadas por comunidades como Marcapomacocha, son una amenaza latente para garantizar la provisión continua de agua para SEDAPAL.

En un contexto de MRSE, los contribuyentes vendrían a ser las poblaciones que viven dentro de las áreas de aporte de las fuentes de agua del sistema Marcapomacocha; mientras que los retribuyentes serían los usuarios en Lima.

La calidad química del agua tiene una prioridad media para SEDAPAL, esto se debe a que si bien existen actividades que contaminan las fuentes, actualmente no generan una gran incidencia en la provisión de este SEH; sin embargo, estas actividades pueden representar un peligro mayor a futuro. Las actividades identificadas como contaminantes son el vertimiento de aguas servidas a la laguna Marcapomacocha y la actividad minera, las que vienen contaminando las fuentes hídricas. La importancia en la calidad de agua se ve reflejada en las inversiones que debe realizar la EPS para el tratamiento del recurso hídrico con el fin de cumplir los estándares de calidad para el consumo humano.

La regulación hídrica es otro SEH importante para el área de aporte del sistema Marcapomacocha, el cual también tiene una priorización media. Se observa que existe degradación y destrucción de pastos naturales; así como, degradación de humedales, lo cual trae como consecuencia la disminución de este SEH. Actualmente, estas prácticas no han mermado el SEH de regulación, pero presentan una amenaza potencial en los años venideros.

Las acciones priorizadas por el DHR son: i) conservar y restaurar la cobertura vegetal nativa en las áreas de aporte, ii) eliminar las fuentes de contaminación bacteriológica del agua y iii) fortalecer espacios de diálogo para la gestión del agua en el área de aporte.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Diagnóstico hidrológico rápido (DHR)

“Es una herramienta de apoyo para facilitar, a las empresas prestadoras de servicios de saneamiento (EPS), el diseño de mecanismos de retribución por servicios ecosistémicos hídricos” (Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento - SUNASS, 2015).

El Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina – CONDESAN (2015), sostiene que el diagnóstico hidrico rápido (DHR) busca entender mejor los procesos hidrológicos en las cuencas andinas con el fin de caracterizar los servicios ecosistémicos hídricos y los beneficios que éstos brindan, al mismo tiempo estimar la efectividad y los impactos de las acciones de conservación que se decidan aplicar para el manejo integrado de las cuencas.

Según CONSEDAN (2015), los objetivos del DHR son delimitar las cuencas, subcuencas o microcuencas que aportan agua de manera específica a cada uno de los usuarios en la cuenca, identificar y caracterizar los SEH prioritarios para cada usuario, identificar y caracterizar el estado de conservación/degradación de los ecosistemas de interés hídrico en las cuencas delimitadas, priorizar acciones de conservación, restauración y/o uso sostenible de los ecosistemas proveedores de agua y definir indicadores para el monitoreo que permita evaluar el impacto de las acciones priorizadas para la conservación, restauración y/o uso sostenible de los ecosistemas que proveen los SEH.

2.2.2. Diagnóstico de la cuenca hidrográfica

“El diagnóstico de una cuenca permite [...] conocer el estado o situación integral de la cuenca, con todos sus componentes, actores y los servicios ambientales que brinda” (Umaña, 2002).

World Visión (2013), afirma que el diagnóstico es un paso previo al inicio de nuevas actividades o proyectos, que permiten conocer los aspectos biofísicos, socioeconómicos y ecológicos que existen en una microcuenca; una vez conocidos estos aspectos, verla como un sistema que incluye entradas y salidas y dentro de la cual se dan relaciones

diferentes y dinámicas, analizar e interpretar los resultados de estas interacciones (p.42).

“En el diagnóstico de la cuenca se hace énfasis en cuatro componentes que son: la parte biofísica, lo socioeconómico, los aspectos tecnológicos y productivos y también la parte institucional y legal” (Umaña, 2002).

2.2.3. Manejo de cuencas hidrográficas

El manejo de cuencas se refiere a la gestión que el hombre realiza a nivel de cuenca para aprovechar, proteger y conservar los recursos naturales que le ofrece, con el fin de obtener una producción óptima y sostenida para lograr una calidad de vida acorde con sus necesidades (Umaña, 2002).

El manejo integral de microcuencas es una alternativa que puede contribuir con el desarrollo sostenible para que las poblaciones alcancen el bienestar social, económico y ambiental tanto en el presente como el futuro (World Vision, 2013).

El rol de las entidades y organismos, está asociado a regular, controlar y monitorear la demanda y oferta de recursos en las cuencas, asignando usos y vigilando las formas eficientes de uso, con criterios sociales, económicos y ambientales. Una tarea importante es la de compatibilizar o armonizar la oferta y demanda, con visión holística y estratégica (World Vision, 2013, p. 36)

Uno de los aspectos básicos a considerar en los procesos de planificación y manejo de cuencas o microcuencas, ha sido la delimitación física del ámbito de análisis. Resulta que los límites territoriales de las comunidades, poblaciones, cantones, municipios, departamentos, provincias o regiones son diferentes o no coinciden con los límites naturales de una cuenca, subcuenca o microcuenca (World Vision, 2013, p. 36).

Por tanto, las actividades que realiza el hombre y sus actitudes, constituyen el eje del manejo de la cuenca, es decir, que, dependiendo del

comportamiento del hombre, una cuenca estará bien o mal manejada (Umaña, 2002).

2.2.4. Caracterización y delimitación de una cuenca hidrográfica

“La caracterización de una cuenca está dirigida [...] a cuantificar todos los parámetros que describen su estructura física y territorial con el fin de establecer las posibilidades y limitaciones de sus recursos naturales, pero también para identificar los problemas presentes y potenciales” (Umaña, 2002).

La caracterización de una cuenca se inicia con la delimitación de su territorio, la forma, tamaño o área, pendiente media y pendiente del cauce principal, red de drenaje y otros (Umaña, 2002).

La delimitación de una cuenca consiste en trazar la línea divisoria por los puntos altos definidos cortando ortogonalmente las curvas de nivel dividiendo el curso de la escorrentía hacia una u otra cuenca (Umaña, 2002).

La cuenca hidrográfica se puede delimitar físicamente por medio de una carta topográfica, un plano altimétrico o un mapa topográfico, que tenga suficiente detalle de las alturas del terreno (World Vision, 2013, p. 14).

Entre las escalas más comunes se tienen, 1/25,000 y 1/50,000, aunque para fines de diseño e intervención, las escalas más recomendables pueden ser 1/10,000 o 1/5,000; el tamaño y complejidad del relieve de la cuenca indicarán la escala más apropiada (World Vision, 2013).

Hoy en día los sistemas de información geográfica (SIG) proporcionan una gama amplia de aplicaciones y procesos que, con entender los conceptos y teoría, se puede realizar de una forma más sencilla y rápida el análisis y delimitación de una cuenca utilizando algún software SIG como herramienta de digitalización (Franklin, 2009).

2.2.5. Precipitación

La precipitación es el término general para toda el agua que proviene de las nubes y cae a la tierra en cualquiera de sus estados físicos. Existen varias formas de precipitación dependiendo de las condiciones meteorológicas existentes, en latitudes medias se pueden distinguir las llovizna, lluvia, granizo, nieve, rocío y escarcha (Linsley, Kohler & Paulhus, 1990).

Independientemente de la forma y tipo de precipitación, una vez que el agua de lluvia llega al suelo, la altura de precipitación, ocurrida en un tiempo, se distribuye, dependiendo de la forma de distribución de las condiciones imperantes en el momento y en el sitio en que ocurre la precipitación (Fernández, 2017).

De acuerdo a Fernández (2017), una parte de la precipitación es interceptada por las plantas, otra se deposita en almacenamientos superficiales, una más se infiltra incrementando las corrientes subterráneas, saturando primero el suelo y la restante escurre superficialmente hacia los cauces naturales de drenaje, formando así las corrientes.

Gradiente pluviométrico

La escasa cantidad de estaciones que registren o midan la precipitación en una cuenca, exige determinar un gradiente pluviométrico, que es un indicador de gran importancia que permite tener una idea de la variación de la precipitación en relación con la altitud (Vega & Acuña, 2011).

Precipitación media

Los métodos para estimar las precipitaciones medias areales son la Media Aritmética, los Polígonos de Thiessen, las Isoyetas, Thiessen Modificado y el Inverso de la Distancia al Cuadrado, donde debe incorporarse un marco de análisis y cuestionamiento para cada una de ellas, con el fin de obtener la precipitación media más representativa para el área de estudio (Córdoba, Zea, & Murillo, 2006).

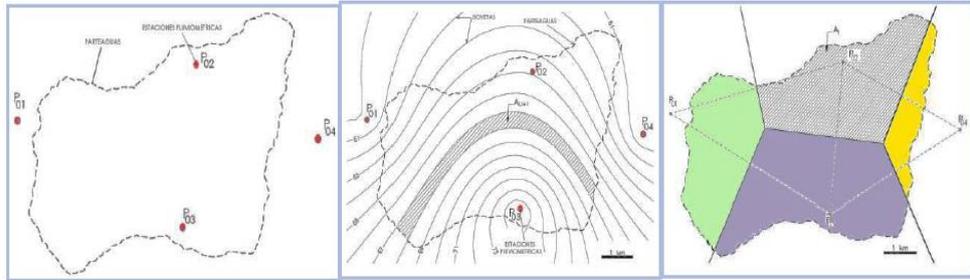


Figura 1. Métodos para estimar la precipitación media: Media Aritmética, isoyetas y Thiessen

Fuente: Cahuana & Yugar, 2009

De acuerdo con Gómez (1987), el método más preciso de evaluar la precipitación espacial es el de isoyetas; obtenidos los valores puntuales de precipitación en todas las estaciones seleccionadas de la cuenca, se procede a plotear en un mapa las estaciones y sus cantidades de lluvia, luego se interpola para obtener isolíneas de igual valor pluviométrico en la cuenca y subcuencas respectivas.

Este método nos permite estimar la variación paulatina de las precipitaciones en el espacio, aún en zonas montañosas. La precipitación promedio sobre el área de la cuenca se evalúa ponderando la precipitación entre isoyetas sucesivas por el área entre isoyetas, relación que se expresa por la siguiente expresión:

$$P_m = \frac{\sum AP}{AT}$$

Donde:

P_m = Precipitación media de la cuenca

AP = Área parcial entre isoyetas

AT = Área total de la cuenca

2.2.6. Evapotranspiración

Es la cantidad de agua transferida del suelo a la atmósfera por evaporación y transpiración de las plantas; es decir, es la pérdida de agua debida a la transpiración de la vegetación más la evaporación del suelo (Cahuana & Yugar, 2009).

Narváez y Tataje (2011), sostienen que la evapotranspiración puede determinarse mediante medidas directas a base de evapotranspirómetros de pesada o lisímetros de drenaje, pero dadas las dificultades que encierra su instalación y lo costoso de ésta, la estimación indirecta de ET a base de fórmulas empíricas, seguirá siendo de gran utilidad (Citado en Cebas, 2000).

Los métodos indirectos o empíricos son demasiado teóricos ya que han sido deducidos bajo condiciones definidas entre regiones y su aplicación precisa de una serie de datos que generalmente no se tienen a la disposición (Narváez & Tataje, 2011). Los métodos de Thornthwaite (1948), Blaney-Criddle (1950) y Turc (1961), han sido los más comúnmente utilizados en nuestro país para el cálculo de la evapotranspiración (Vega & Acuña, 2011). El método de Thornthwaite calcula la evapotranspiración potencial mediante los datos existentes de las temperaturas medias mensuales, el de Turc utiliza la precipitación y temperatura medias de una cuenca, y los de Blaney y Criddle y

Grassi y Christensen hacen uso de la radiación solar (Cahuana & Yugar, 2009).

2.2.7. Escorrentía

El escurrimiento es el agua proveniente de la precipitación que circula sobre o bajo la superficie terrestre y que llega a una corriente para finalmente ser drenada hasta la salida de la cuenca (Aparicio, 2001).

Escorrentía superficial

Es el flujo sobre el terreno que proviene de la precipitación no infiltrada (precipitación en exceso, hp) y que escurre sobre la superficie del suelo y después por los cauces (Cahuana & Yugar, 2009). Existen dos tipos de escorrentía superficial:

- **Escorrentía por exceso de infiltración:** Se produce en los suelos que no están saturados. De hecho, el suelo puede estar muy seco, pero debido a las propiedades del suelo o de la cubierta del suelo el proceso

de infiltración no puede absorber el agua producida por un aguacero o un deshielo rápido.

- **Escorrentía por exceso de saturación:** Se produce cuando el suelo está saturado y no queda espacio para que se infiltre más agua. Esto puede ocurrir incluso en suelos que normalmente, en condiciones sub-saturadas, permiten la infiltración de grandes cantidades de agua.

Proceso de transformación lluvia – escorrentía

La transformación lluvia-escorrimento es el más complejo de los procesos del ciclo hidrológico, debido a la dinámica de los diferentes procesos físicos y la gran variedad de escalas espaciales y temporales que intervienen en una cuenca, para lo cual se requiere de una abstracción a través de un modelo que simplifique suficientemente el sistema como para poder simular conceptualmente sus partes.

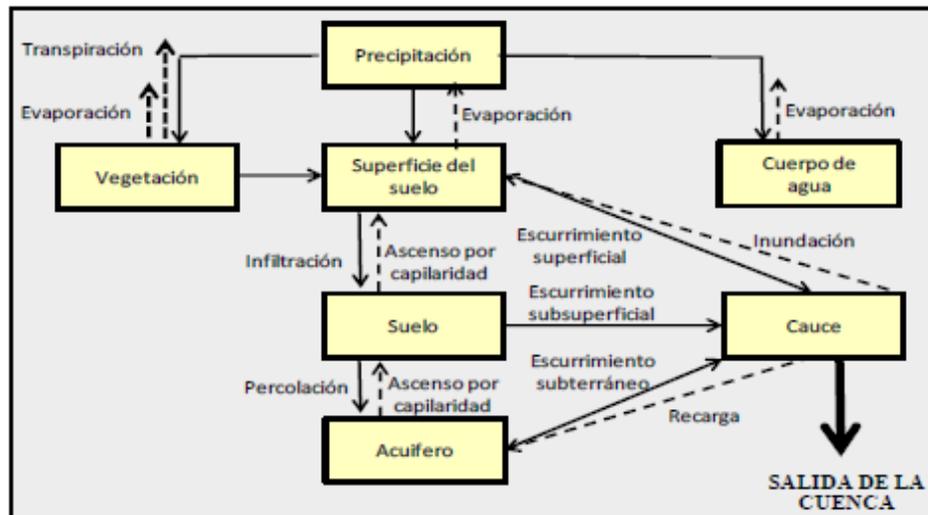


Figura 2. El proceso lluvia- evaporación-transpiración-escorrentía
Fuente: Gustavo, 2009

2.2.8. Balance hídrico superficial de una cuenca

Un balance hídrico es la cuantificación tanto de los parámetros involucrados en el ciclo hidrológico, como de los consumos de agua de los diferentes sectores de usuarios en una cuenca, y la interrelación entre ellos, dando como resultado un diagnóstico de las condiciones reales del

recurso hídrico en cuanto a su oferta, disponibilidad y demanda en dicha área (Servicio Nacional de Estudios Territoriales, 2005).

Según SNET (2005) el modelo de balance hídrico se basa en la ecuación de conservación de masa:

$$\text{ENTRADAS} - \text{SALIDAS} = \text{CAMBIO DE ALMACENAMIENTO}$$

En el modelo del Balance Hídrico del SNET, se considera las siguientes entradas:

- Precipitación,
- Importaciones superficiales de otra cuenca,
- Retornos de la demanda.

Las salidas consideradas son las siguientes:

- Evapotranspiración real,
- Evaporación de cuerpos de agua,
- Evaporación en áreas urbanas
- Escurrimiento superficial,
- Demanda interna en la cuenca,
- Demanda externa de la cuenca

Como cambio de almacenamiento:

- Recarga de acuíferos,
- Variación de nivel en cuerpos de agua (lagos, lagunas, embalses).

Para Pladeyra (2003), la evaluación de los recursos hídricos de una cuenca requiere de una estimación correcta del balance hidrológico, es decir, comprender el ciclo en sus diferentes fases, la forma en que el agua que se recibe por precipitación y se reparte entre el proceso de evapotranspiración, escorrentía e infiltración.

“La ecuación de Balance Hidrológico es [...] normalmente complicada por la falta de medidas directas y por la variación espacial de la evapotranspiración, de las pérdidas profundas (en acuíferos) y de las

variaciones del agua almacenada en la cuenca (Llorens, 2003)” (Ordoñez, 2011,p.20). Como respuesta a estas dificultades, generalmente se admiten dos asunciones:

- Supone que las pérdidas profundas son despreciables (se considera, por tanto, que la cuenca es impermeable),
- Admite que las variaciones del agua almacenada en la cuenca son despreciables para un período suficientemente largo (normalmente un año).

Según Ordoñez (2011), el agua que cae en un determinado sitio (precipitación = PP), una parte vuelve a la atmósfera ya sea por evaporación directa o por transpiración de la vegetación (evapotranspiración = ETR); otra parte escurre por la superficie de la cuenca (escorrentía superficial = Esc) confluyendo a través de la red de drenaje hasta alcanzar los cauces principales y finalmente el mar, y el resto se infiltra en el terreno y se incorpora al sistema de aguas subterráneas o acuífero (infiltración = I).

Estas magnitudes deben cumplir con la siguiente ecuación que se conoce con el nombre de Balance Hidrológico:

$$PP = ETR + Esc + I$$

La fórmula general que se utiliza en el Balance Hidrológico es:

$CAPTACIÓN - EVAPOTRANSPIRACIÓN = ESCORRENTIA SUPERFICIAL + INFILTRACIÓN$

Del Balance Hidrológico, podemos conocer el [...] aporte de precipitación recibida y las pérdidas generadas, para clasificar el tipo de año (húmedo, normal o seco) y planificar el recurso hídrico en base a las demandas (Ordoñez, 2011).

De acuerdo a Ordoñez (2001) y SENAMHI, la escorrentía en áreas sin control hidrométrico es determinado mediante la siguiente ecuación:

$$E = P - ETR$$

Donde:

P = Precipitación en mm

ETR = Evapotranspiración en mm

E = Escorrentía en mm

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

2.3.1. Diagnóstico hídrico rápido

Herramienta metodológica que busca entender mejor los procesos hidrológicos en las cuencas andinas con el fin de conservar y restaurar los recursos hídricos para realizar el manejo integrado de las cuencas (CONDESAN, 2015).

2.3.2. Cuenca hidrográfica

Es el espacio de territorio delimitado por la línea divisoria de las aguas, conformado por un sistema hídrico, el cual tiene un río principal, sus afluentes secundarios, terciarios, de cuarto orden o más, que integra las interacciones entre la cobertura sobre el terreno, las profundidades del suelo y el entorno de la línea divisoria de las aguas (World Vision, 2013).

2.3.3. Microcuenca

Es el espacio en el que su drenaje va a dar al cauce principal de una subcuenca y constituyen las unidades básicas para la planificación de acciones para su manejo (Umaña, 2002).

2.3.4. Balance hídrico

Balance hídrico consiste en la aplicación del principio de la conservación de masa al conjunto de una cuenca o a una cierta parte de ella definida por unas determinadas condiciones de contorno, y durante un determinado período de tiempo en el que se realiza el balance, la diferencia entre el total de entradas y el total de las salidas debe ser igual a la variación en el almacenamiento (Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos - Universidade da Coruña, 2018).

2.3.5. Precipitación

Es el agua que cae en una zona determinada y puede ocurrir como lluvia, neblina, nieve y rocío (Ordoñez, 2011).

2.3.6. Escorrentía

Es el agua de las precipitaciones que no es evaporada ni infiltrada, escurre superficialmente en forma de *escorrentía directa*, que llega directamente a los cauces superficiales en un periodo corto de tiempo tras la precipitación, y que engloba la escorrentía superficial y la sub-superficial (agua que tras un corto recorrido lateral sale a la superficie sin llegar a la zona freática); y la *escorrentía basal* que es la que alimenta a los cauces superficiales en época de estiaje (Ordoñez, 2011).

2.3.7. Evapotranspiración

Es el total de agua convertido en vapor por una cobertura vegetal; incluye la evaporación desde el suelo, la evaporación del agua interceptada y la transpiración por las estomas de las hojas (Ordoñez, 2011).

2.3.8. Infiltración

Es el volumen de agua procedente de las precipitaciones que atraviesa la superficie del terreno y ocupa total o parcialmente los poros del suelo y del subsuelo (Ordoñez, 2011).

2.3.9. Caudal

Es el volumen de agua que fluye a través de una sección transversal de un río o canal en la unidad de tiempo; también se conoce como escurrimiento superficial (Ordoñez, 2011).

2.3.10. Ambiente

Es el conjunto de elementos físicos, naturales, estéticos, culturales, sociales, económicos e institucionales que interactúan con el individuo y con la comunidad afectando su desarrollo (World Vision, 2013).

2.3.11. Calidad de vida

Grado en que los miembros de una sociedad humana satisfacen sus necesidades materiales y espirituales que se fundamenta en indicadores de satisfacciones básicas a través de juicios de valor (World Vision, 2013).

2.3.12. Recursos naturales

Son los elementos naturales que el hombre puede aprovechar para satisfacer sus necesidades económicas, sociales y culturales (World Vision, 2013).

2.3.13. Desarrollo sostenible

Es el mejoramiento de la calidad de vida de las presentes generaciones, con desarrollo económico, democracia política, equidad y equilibrio ecológico, sin menoscabo de la calidad de vida de las generaciones futuras (World Vision, 2013).

2.3.14. Ecosistemas

Es el sistema natural de organismos vivos que interactúan entre sí y con su entorno físico como una unidad ecológica, además de ser la fuente de los servicios ecosistémicos (Ley N° 30215, 2014).

2.3.15. Servicios ecosistémicos

Son aquellos beneficios económicos, sociales y ambientales, directos e indirectos, que las personas obtienen del buen funcionamiento de los ecosistemas, tales como la regulación hídrica, mantenimiento de la biodiversidad, secuestro de carbono, belleza paisajística, formación de suelos y provisión de recursos genéticos, entre otros (Ley N° 30215, 2014).

2.3.16. Conservación Ambiental

Es la forma de proteger y preservar el futuro de la naturaleza, el medio ambiente o, específicamente, algunas de sus partes: la flora y la fauna, las distintas especies, los distintos ecosistemas, los valores paisajístico, entre otros (Florida Blanca Medio Ambiente, 2018) .

2.3.17. Restauración Ambiental

Es el proceso consistente en reducir, mitigar e incluso revertir en algunos casos, los daños producidos en el medio físico para volver en la medida de lo posible a la estructura, funciones, diversidad y dinámica del ecosistema original (Instituto Superior del Medio Ambiente, s.f.).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Diseño de investigación

Según el enfoque investigativo es cuantitativo porque usa la recolección de datos para probar la hipótesis. No experimental, transversal-descriptivo propositivo. Implica la observación del hecho en su condición natural sin intervención del investigador. Es transversal porque el propósito del estudio es describir y analizar la variable en un tiempo único y momento determinado.

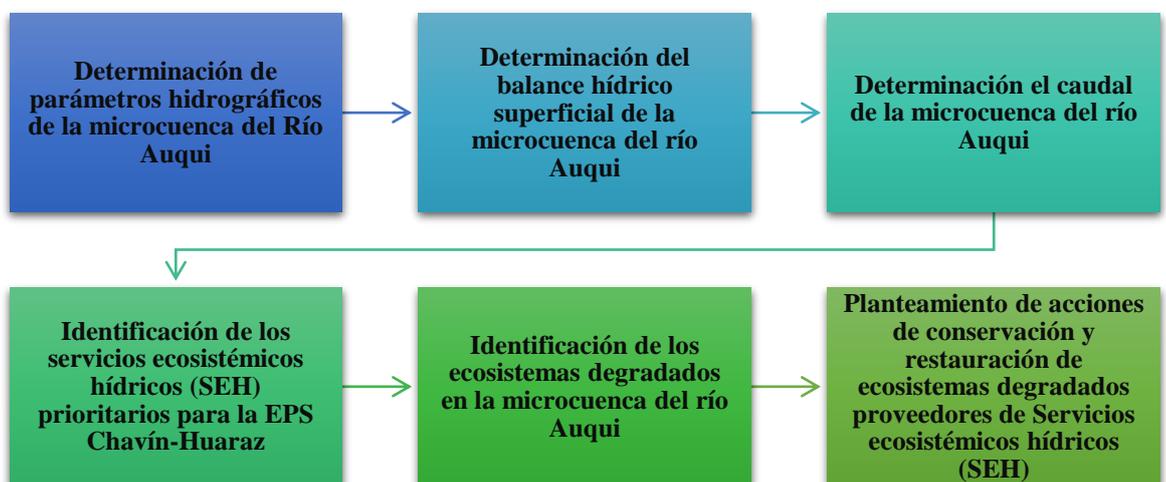


Figura 3. Diseño de investigación
Elaboración propia

3.2. Variables y operacionalización

La variable independiente es el **diagnóstico hídrico rápido** y variable la dependiente es la **fuentes de aprovisionamiento de agua**. La operacionalización de las mismas está expresada en la siguiente tabla:

Tabla 1. Definición de variables y operacionalización

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	INDICADOR	PARAMETRO (Unidad)	INSTRUMENTO DE MEDICION
V. Independiente Diagnóstico hídrico rápido	Herramienta metodológica que busca entender los procesos hidrológicos en las cuencas andinas, con el fin de caracterizar los servicios ecosistémicos hídricos y los beneficios que estos brindan.	Manejo inadecuado de recursos hídricos	• Caudal (m ³ /s)	• Balance hídrico de la microcuenca del río Auqui
V. Dependiente Fuente de aprovisionamiento de agua	Puntos o áreas naturales, los cuales almacenan agua temporalmente, para ser utilizada en épocas de estiaje.	Regulación hídrica de la microcuenca	• Caudal (m ³ /s)	• Balance hídrico de la microcuenca del río Auqui
		Rendimiento hídrico de la microcuenca	• Caudal (m ³ /s) • Áreas de abastecimiento	• Balance hídrico de la microcuenca del río Auqui

Elaboración propia

3.3. Área de estudio

La microcuenca del río Auqui se localiza políticamente en el departamento de Ancash, provincia de Huaraz y distrito de Independencia. Dicha quebrada desemboca en el río Quillcay. Este último atraviesa la ciudad de Huaraz y desemboca en río Santa por la margen derecha (vertiente del Pacífico). El punto de mayor altitud de la cuenca se ubica a 6255 msnm, en tanto el punto de menor altitud en el nivel de base a 3085 msnm. La vertiente de la cuenca por la margen derecha limita con la cuenca de la quebrada Cojup (ver mapa del anexo A).

3.4. Población y muestra

La población con la que se ha trabajado es toda la microcuenca del río Auqui, y la muestra estuvo conformada por los ecosistemas que brindan servicios ecosistémicos hídricos (SEH).

3.5. Recopilación de información

La información que se recopiló para el diagnóstico hidrológico de la microcuenca Auqui y la identificación de ecosistemas degradados fueron las siguientes:

- Información espacial (geográfica) de la microcuenca de análisis: delimitación del distrito, provincia y región, curvas de nivel, límite de la microcuenca, límite de áreas de conservación cercanas u otras unidades de análisis, sistema hidrográfico (ríos, quebradas), puntos de captación de la EPS, coordenadas de estaciones las-meteorológicas cercanas, cobertura vegetal y uso actual del suelo.
- Información meteorológica de estaciones cercanas a la microcuenca Auqui.
- Informes técnicos y artículos científicos de la subcuenca del río Quillcay y la microcuenca del río Auqui.
- Plan Maestro Optimizado la EPS.
- Plan Maestro del Parque Nacional Huascarán.

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Las metodologías y/o técnicas de recolección de datos y manejo de información que han contribuido en el desarrollo del estudio fueron:

- **Herramientas:** para el tratamiento de la información geográfica se tuvo el soporte de herramientas como: Software SIG (ArcGIS).
- **Métodos de recolección de información de campo:** recorrido y reconocimiento físico de la cuenca para la evaluación de sus características físicas (red de drenaje y variaciones altitudinales), hidrológicas (caudal hídrico

y huellas históricas de máximas y mínimas de los ríos), y biológicas (cobertura vegetal y estado actual de los ecosistemas naturales que proveen servicios ecosistémicos). Durante la visita de campo, también se realizaron algunas entrevistas a los pobladores, a quienes se le solicitó información referente al agua y los problemas que han percibido.

- **Recolección de información documentaria y estadística:** se recopilaron estudios hidrológicos e informes técnicos realizados en el área de estudio, realizados por el INAIGEM, PNH-SERNANP, MINAM y otros.

- **Recopilación de información cartográfica**

Se contó con información cartográfica:

- Carta Nacional a escala 1/100,000; con curvas de nivel a 50 m; elaboradas por el Instituto Geográfico Nacional.

Para un mejor manejo de la información cartográfica obtenida, ésta fue digitalizada como un Sistema de Información Geográfico (SIG), con asistencia del software ArcGIS.

3.7. Proceso metodológico

3.7.1. Determinación de parámetros hidrográficos de la microcuenca del Río Auqui

Para efectos de caracterizar hidrográficamente la cuenca, se realizó el siguiente procedimiento:

- Utilizando un Modelo de Elevación Digital (DEM) de 12.5 m de resolución, se identificó el área de aforo del río Auqui para crear un punto de interpolación, que permita generar la delimitación de la cuenca con el uso del software ArcGIS. Posteriormente se hicieron ajustes a la delimitación.
- En el mismo software, se calcularon algunos parámetros hidrográficos, tales como: perímetro, área, rango de altitud y longitud del río Auqui.

3.7.2. Análisis y tratamiento de datos pluviométricos

En la microcuenca de estudio se pudo identificar que la precipitación es principalmente en forma de lluvia, y ocasionalmente, en la parte alta, es en forma de granizo y nieve. Por tanto, el análisis y tratamiento se realizó de la siguiente manera:

- **Registro de información pluviométrica**

Los datos de precipitación se descargaron de la plataforma web <http://www.ciiaders.com/goes/index.php> perteneciente al Centro de Investigación Ambiental para el Desarrollo (CIAD), entidad que es administrada por la Facultad de Ciencias del Ambiente (FCAM) de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo (UNASAM).

Los datos pluviométricos descargados pertenecen a las estaciones de Shancayán y Quillcayhuanca, y se encuentran organizados de manera mensual y horaria.

- **Completamiento y extensión de la información pluviométrica**

Para completar y realizar la extensión de datos, se aplicó el análisis de regresión lineal simple, que consiste en graficar el diagrama de dispersión y ajustarlo a una recta; dicha recta es llamada línea de regresión. Su expresión matemática es:

$$Y_i = \alpha + \beta X_i$$

La ecuación de regresión lineal simple comprende una variable aleatoria dependiente (Y_i) y una variable aleatoria independiente (X_i) y los coeficientes de la ecuación de regresión (α y β) donde α es el punto de intersección entre la línea de regresión y el eje "Y"; y β es el coeficiente de regresión o pendiente de la línea, el mismo que explica cuán rápido aumenta o disminuye la variable "Y" con un cambio de "X".

3.7.3. Estimación de parámetros de balance hídrico

3.7.3.1. Estimación de precipitaciones medias

En primer lugar, se determinaron las precipitaciones anuales en el periodo 2013-2017, para cada estación (Quillcayhuanca y Shancayán), mediante el método de la media aritmética. Previamente, se completaron varios datos faltantes con el método de regresión lineal simple.

Tabla 2. Precipitaciones promedio 2013 - 2017

Meses	Quillcayhuanca PP promedio	Shancayán PP promedio
enero	156.4	27.2
febrero	149.8	45.7
marzo	128.3	85.6
abril	110.2	93.5
mayo	72.6	80.2
junio	4.3	3.2
julio	2.1	1.8
agosto	5.5	3.1
setiembre	35.8	43.4
octubre	64.2	49.6
noviembre	79.1	32.5
diciembre	129.2	79.8
TOTAL	937.5	545.6

Elaboración propia en base a registros del CIAD – UNASAM

Tabla 3. Altitud de las estaciones

Estación	Altitud
Quillcayhuanca	3688
Shancayán	2652

Fuente: CIAD – UNASAM

Seguidamente, se hizo una correlación entre las precipitaciones promedio obtenidas en la tabla 2 y las altitudes de la tabla 1, para obtener una ecuación lineal.

Tabla 4. Relación precipitación - altitud

Estación	PP (mm)	ALTITUD (m)	Ecuación lineal
Quillcayhuanca	937.5	3688	$y = 0.3783x - 457.6$
Shancayán	545.6	2652	

Elaboración propia en base a registros del CIAD – UNASAM

La ecuación lineal y el Modelo de Elevación Digital (DEM), fueron los insumos para generar las isoyetas en el software ArcGIS, a través de su herramienta Raster Calculator. Las isoyetas permiten representar los valores areales de precipitaciones en la microcuenca.

La precipitación promedio sobre el área de la cuenca se evalúa ponderando la precipitación entre isoyetas sucesivas por el área entre isoyetas, relación que se expresa por la siguiente ecuación:

$$Pm = \frac{\sum AP}{At} \quad (\text{ecuación 1})$$

Donde:

Pm = Precipitación media de la cuenca

AP = Área parcial entre isoyetas

At = Área total de la cuenca

3.7.3.2. Estimación de la evapotranspiración anual

Utilizando los datos de precipitación (tabla 2) y temperatura (tabla 3), se determinaron las evapotranspiraciones mensuales y anuales en el periodo 2013-2017, para cada estación (Quillcayhuanca y Shancayán), mediante los métodos de Turc y Thornthwaite.

Tabla 5. Temperaturas promedio mensuales y anuales 2013 – 2017

Meses	Quillcayhuanca T° promedio(2013-2017)	Shancayán T° promedio (2013 - 2017)
enero	4.2	12.3
febrero	4.5	12.5
marzo	4.8	12.7
abril	4.4	13.4
mayo	4.9	13.7
junio	5.1	13.3
julio	5.3	14.5
agosto	5.5	14.6
setiembre	4.7	14.4
octubre	4.5	14.7
noviembre	5.2	13.6
diciembre	5.1	13.5
TOTAL	4.85	13.6

Elaboración propia en base a registros del CIAD – UNASAM

- **Determinación de la evapotranspiración con el método de Turc**

Se determina utilizando los parámetros precipitación y la temperatura en las siguientes expresiones:

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}} \quad (\text{ecuación 2})$$

$$L = 300 + 25 * t + 0.05 * t^3 \quad (\text{ecuación 3})$$

Donde:

ETR = Evapotranspiración real en mm/año

P = Precipitación en mm/año

t = Temperatura media anual en °C

- **Determinación de la evapotranspiración por el método de Thornthwaite**

Se determina el “índice de calor mensual” (*i*) a partir de la temperatura media mensual (*t*):

$$i = \left(\frac{t}{5}\right)^{1.514} \quad (\text{ecuación 4})$$

Se calcula en “índice de calor anual” (*T*) sumando los 12 valores de *i*:

$$I = \sum i \quad \text{ecuación (5)}$$

Se calcula la ETP mensual “sin corregir” mediante la fórmula:

$$ETP_{(\text{sin corregir})} = 16 \left(\frac{10*t}{I}\right)^a \quad (\text{ecuación 6})$$

Donde:

ETP_{sin corr} = ETP mensual en mm/mes para meses de 30 días y 12 horas de sol (teóricas).

T = Temperatura media mensual en °C

I = Índice de calor anual

$$a = 675 * 10^{-9} * I^3 - 771 * 10^{-7} * I^2 + 1792 * 10^{-5} * I + 0.49239 \quad (\text{ecuación 7})$$

Corrección para el N° de días del mes y el n° horas de sol:

$$ETP = ET_{(\text{sin corregir})} * \frac{N}{12} * \frac{d}{30} \quad (\text{ecuación 8})$$

Donde:

ETP = Evapotranspiración potencial corregida

N = Número máximo de horas de sol, dependiendo del mes y de la latitud

d = Número de días del mes

Obtenidos los valores calculados por el método de Turc y Thornthwaite, se promediaron para determinar la evapotranspiración promedio multianual más representativa en cada estación (ver tabla 6).

Tabla 6. Evapotranspiraciones mensuales y anuales promedio 2013 – 2017

Meses	ETR promedio multianual en la estación de Quillcayhuanca según Turc (2013-2017)	ETP promedio multianual en la estación Quillcayhuanca según Thornthwaite (2013-2017)	Promedio Evapotranspiración Quillcayhuanca	ETR promedio multianual Shancayán según Turc (2013-2017)	ETP precipitación multianual Shancayán según Thornthwaite (2013-2017)	Promedio Evapotranspiración Shancayán
enero	152.89	42.42	97.7	28.6	52.0	40.3
febrero	147.67	39.54	93.6	48.1	47.2	47.6
marzo	128.89	44.66	86.8	89.5	52.1	70.8
abril	111.85	39.69	75.8	97.7	52.9	75.3
mayo	75.33	43.43	59.4	84.0	55.3	69.7
junio	4.53	42.83	23.7	3.4	51.0	27.2
julio	2.21	45.84	24.0	1.9	59.8	30.8
agosto	5.80	47.83	26.8	3.3	61.4	32.3
setiembre	37.59	42.24	39.9	45.7	59.3	52.5
octubre	66.80	43.42	55.1	52.2	64.5	58.4
noviembre	81.90	47.56	64.7	34.2	57.6	45.9
diciembre	129.94	48.87	89.4	83.6	59.4	71.5
			736.9			622.3

Elaboración propia en base a registros del CIAD – UNASAM

Teniendo los valores de evapotranspiración multianual para cada estación, se utilizó el software ArcGIS para generar isolíneas, utilizando la herramienta de interpolación espacial IDW, que permiten obtener las evapotranspiraciones areales en la microcuenca Auqui.

3.7.3.3. Estimación de la escorrentía superficial

Debido a la carencia de datos hidrometeorológicos para el área de estudio, el cálculo de la escorrentía se fundamentó en el balance estimado a partir de las variables precipitación y evapotranspiración (Córdoba, Zea, & Murillo, 2006).

De acuerdo a Ordoñez (2001) y SENAMHI, la escorrentía para áreas sin control hidrométrico, se determina mediante la siguiente ecuación:

$$E = P - ETR \quad (\text{ecuación 9})$$

Donde:

P = Precipitación en mm

ETR = Evapotranspiración en mm

E = Escorrentía en mm

Considerando la ecuación 9, se aplicó la diferencia de precipitación y evapotranspiración en la herramienta Raster Calculator del ArcGIS, para generar las isoyetas de escorrentía y sus respectivos valores areales.

3.7.4. Determinación del balance hídrico superficial de la microcuenca del río Auqui

La distribución de la precipitación anual (P), evapotranspiración anual (ETR) y escorrentía anual en el periodo 2013-2017, representa el balance hídrico areal de la microcuenca.

3.7.5. Determinación del caudal hídrico de la microcuenca del río Auqui

Debido a la carencia de datos hidrométricos, para el cálculo del caudal (m³/s) en la microcuenca Auqui se utilizó la expresión matemática que relaciona la escorrentía (mm) y el área de drenaje, fórmula utilizada por el SENAMHI para diversos estudios de balance hidrológico y también se encuentra en la Cartilla Técnica de Balance Hídrico Superficial, elaborada

por el Dr. Juan Julio Ordoñez Gálvez en el 2011, con el apoyo de la Sociedad Geográfica de Lima y Foro Peruano para el Agua - GWP Perú. La ecuación es la siguiente:

$$Q = \frac{E * A_d}{31.536} \quad (\text{ecuación 10})$$

Donde:

Q= Caudal en m³/s

E=Escorrentía en mm

A_d = Área de drenaje km²

3.7.6. Identificación de los ecosistemas degradados en la microcuenca del Río Auqui

Mediante la información brindada por el Parque Nacional Huascarán, se identificaron las especies degradadas en la microcuenca del río Auqui, que brindan servicios ecosistémicos hídricos. De igual manera, se identificaron las causas principales de la degradación de los ecosistemas naturales.

3.7.7. Planteamiento de acciones de conservación y restauración de ecosistemas degradados proveedores de servicios ecosistémicos hídricos (SEH)

Durante el proceso fue necesario elaborar un inventario de todas las acciones de conservación, restauración y/o uso sostenible que se implementaron, se vienen implementando o están en proyecto de implementación en la microcuenca. Esto con la finalidad de formular acciones de conservación y restauración más efectivas.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Delimitación de la microcuenca Auqui como fuente de aprovisionamiento de agua a favor de la EPS Chavín – Huaraz (parámetros hidrográficos de la microcuenca del río Auqui)

De acuerdo con Campos (1987), la microcuenca Auqui se clasifica como una cuenca pequeña porque su área es menor a 250 Km², donde la forma y la cantidad de escurrimiento está influenciado por las características físicas del suelo (tipo de suelo y vegetación). La cuenca pequeña responde a las lluvias de fuerte intensidad y pequeña duración (Cahuana & Yugar, 2009).

Según Aparicio (2001), desde el punto de vista de la salida de una cuenca, la microcuenca Auqui se clasifica como exorreica, debido a que el punto de aforo se encuentra en los límites de la cuenca.

Tabla 7. Parámetros importantes de la microcuenca Auqui

Área	Perímetro	Rango de altitudes	Longitud del cauce principal
169.824 km ²	78,632.128 ml	3095.91 – 6143.39	27.308 Km

Elaboración propia

4.2. Determinación del balance hídrico de la microcuenca del río Auqui como fuente de aprovisionamiento de agua a favor de la EPS Chavín – Huaraz

4.2.1 Parámetros de balance hídrico

4.2.1.1 Análisis de la precipitación

El gráfico N° 1 presenta las precipitaciones promedio mensuales y anuales en la microcuenca del río Auqui en el periodo 2013 - 2017, que indican que la época de lluvias es de noviembre - diciembre a mayo.

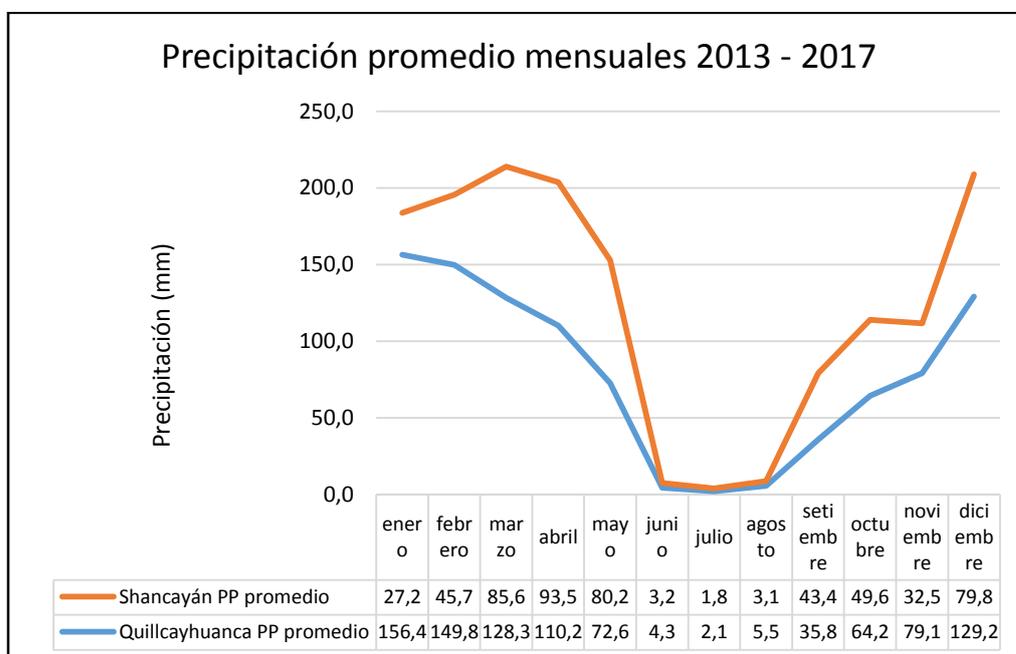


Gráfico N° 1. Precipitaciones promedio mensuales 2013 - 2017

Elaboración propia en base a los registros del CIAD – UNASAM

Isoyetas de la microcuenca Auqui

Considerando que las altas variaciones de precipitación en cada estación, y que la estación de Quillcayhuanca se encuentra a 3688 m.s.n.m y la estación de Shancayán a 2652 m.s.n.m, las precipitaciones son directamente proporcionales a la altitud (Vega & Acuña, 2011).

Por otro lado, la aplicación de la relación precipitación-altitud, donde se utilizó la ecuación lineal y el Modelo de Elevación Digital (DEM) en el software ArcGIS, permitió generar isoyetas para la microcuenca Auqui, que representan los valores areales de precipitaciones en la microcuenca, que permite asimismo comprender el aporte hídrico por precipitaciones en la microcuenca en el periodo 2013-2017.

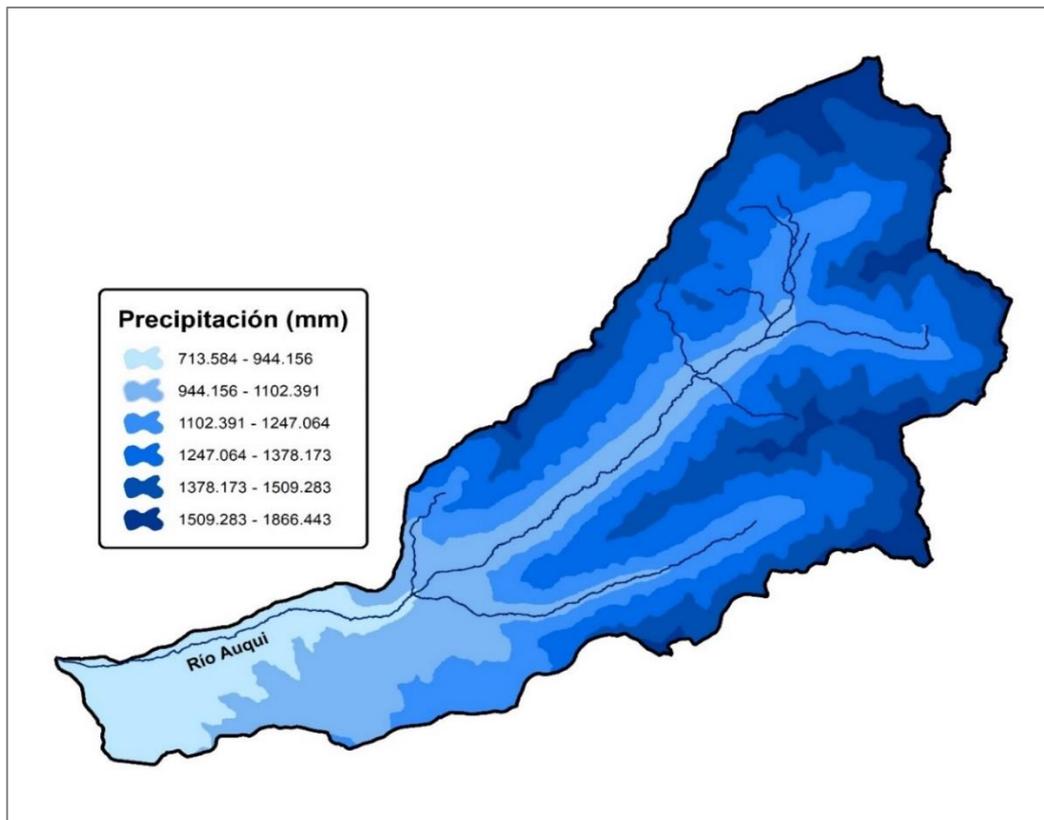


Figura 4. Isoyetas sobre la microcuenca del río Auqui

Elaboración propia en base a los registros del CIAD – UNASAM

Walter (1987), sostiene que el método más preciso para evaluar la precipitación espacial es el de isoyetas, aun siendo zonas montañosas. Asimismo, Córdoba, Zea & Murillo (2006), señalan que entre las cuatro técnicas aplicadas para el cálculo de la precipitación media en el área de estudio "cuenca del río Quito en el departamento del Chocó", se considera que la de mayor precisión corresponde a la basada en el método de isoyetas debido a que en este caso la localización de las estaciones en el área permite obtener una distribución de las cantidades de lluvia en la zona acordes con la realmente observada en la cuenca.

La Tabla 8 presenta los datos de las 6 áreas resultantes del método de las isoyetas; la zona A4 es la de mayor área de representatividad con 42.603 km² y la región A6 tiene la menor área de representatividad con 13.386 km².

En cuanto a las precipitaciones medias resultantes, la zona A6 es la de mayor cantidad de precipitación media con 1687.863 mm de lluvia y además la de mayor intensidad, y la región A1 es la que presenta menor cantidad de precipitación con 828.870 mm de lluvia.

Aplicando la ecuación (1), utilizando áreas y las precipitaciones medias resultantes del método de isoyetas (Tabla 4), se obtuvo una precipitación media para la microcuenca del río Auqui de 1249.240 mm, que demuestra el buen aporte de agua debido a las precipitaciones, en el periodo 2013-2015.

Tabla 8. Precipitación media y áreas obtenidas a través del método de isoyetas.

N°	Rango de precipitaciones		Precipitación media	Área (Km ²)	Porcentaje de áreas entre curvas	P media microcuenca
A1	713.584	944.156	828.870	16.189	9.533	1249.240
A2	944.156	1102.391	1023.274	29.310	17.259	
A3	1102.391	1247.064	1174.728	31.295	18.428	
A4	1247.064	1378.173	1312.619	42.603	25.086	
A5	1378.173	1509.283	1443.728	37.031	21.806	
A6	1509.283	1866.443	1687.863	13.386	7.882	

Elaboración propia en base a los registros del CIAD – UNASAM

4.2.1.2 Análisis de la evapotranspiración

El Gráfico N° 2 muestra una ligera variedad de temperaturas a nivel mensual en el periodo 2013 – 2017, para ambas estaciones. Sin embargo, existe un ligero incremento de temperatura entre junio a octubre.

Considerando el gradiente térmico, las temperaturas en Quillcayhuanca y Shancayán varían en promedio en un 8.75 °C, y se encuentran a 3688 m.s.n.m y 2652 m.s.n.m. respectivamente. Esto demuestra que en la microcuenca Auqui, las temperaturas varían de acuerdo altitud (Seldiña, 2006).

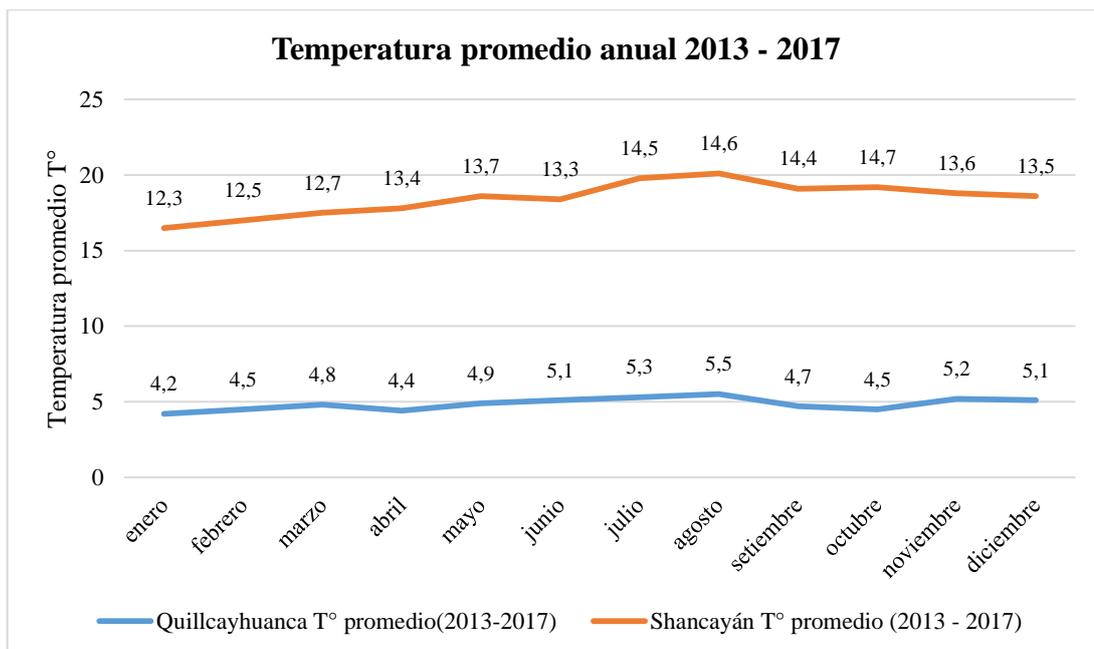


Gráfico N° 2. Precipitaciones promedio mensuales 2013 - 2017

Elaboración propia en base a los registros del CIAD – UNASAM

El Gráfico N° 3, muestra valores de evapotranspiraciones promedio mensual en el periodo 2013 – 2017, donde la mayor evapotranspiración es desde diciembre a abril, mientras que la menor evapotranspiración es desde julio a agosto.

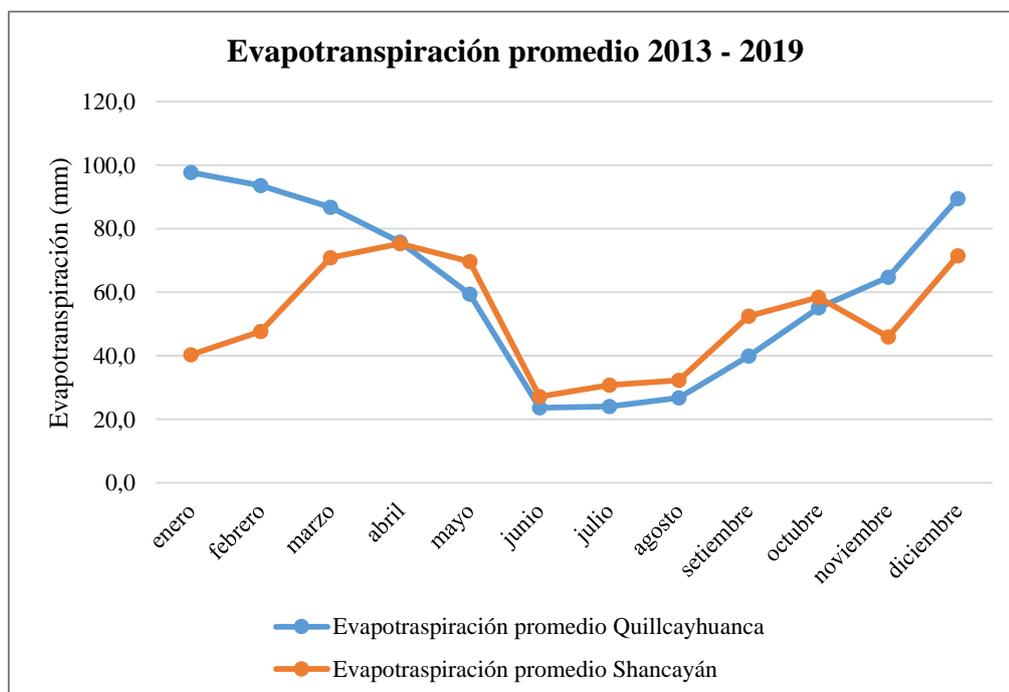


Gráfico N° 3. Evapotranspiraciones promedio anuales 2013 - 2017

Elaboración propia en base a registros del CIAD – UNASAM

Obteniéndose las evapotranspiraciones promedio anuales más representativas en cada estación (Tabla 6), se generaron isolíneas de evapotranspiración para la microcuenca Auqui, mediante la interpolación espacial de tipo IDW en el software ArcGIS, que permitió obtener las evapotranspiraciones areales en la microcuenca Auqui en el periodo 2013-2017.

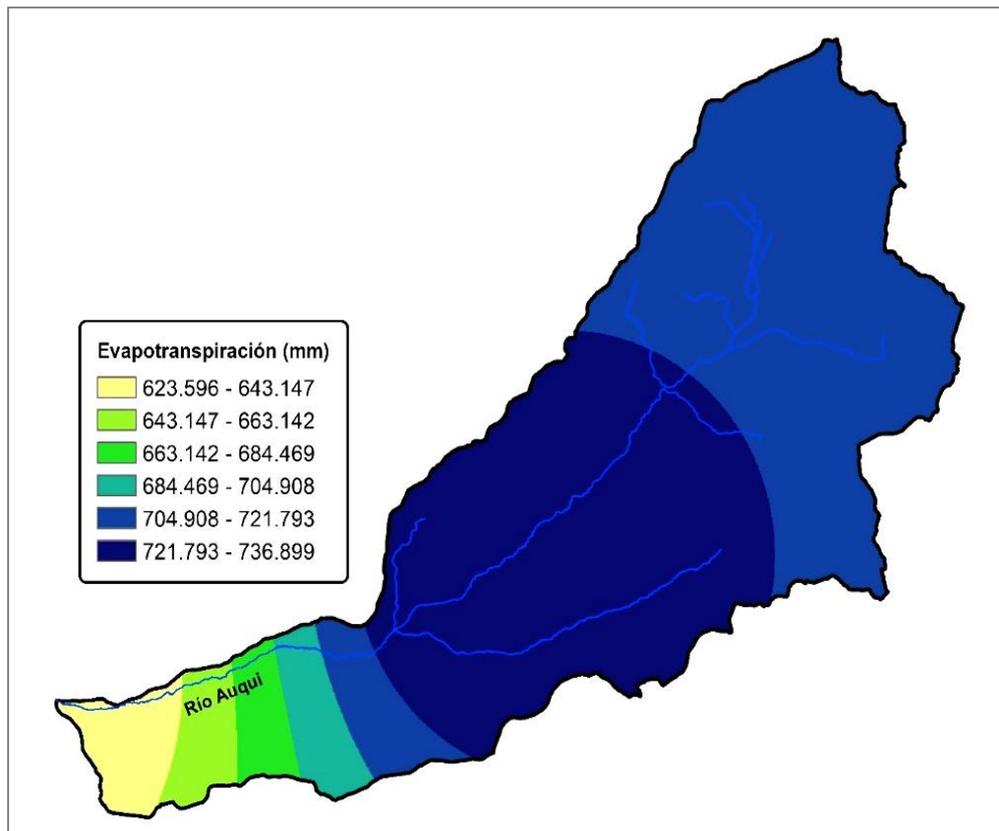


Figura 5. Isolíneas de evapotranspiración sobre la microcuenca del río Auqui 2013-2017

Elaboración propia en base a los registros del CIAD – UNASAM

La Tabla 9 presenta los datos de las 6 áreas resultantes de la generación de isolíneas de evapotranspiración; la zona A5 es la de mayor área de representatividad con 76.22 km² y la región A3 tiene la menor área de representatividad con 4.409 km².

Tabla 9. Evapotranspiración media y áreas obtenidas a través de las isolíneas

N°	Rango de evapotranspiración		Evapotranspiración media	ÁREA (Km ²)	Porcentaje de áreas entre curvas	ETP media microcuenca
A1	623.596	643.147	633.3715	6.627501	3.903	713.441
A2	643.147	663.142	653.1445	5.119415	3.015	
A3	663.142	684.469	673.8055	4.409573	2.597	
A4	684.469	704.908	694.6885	5.908952	3.479	
A5	704.908	721.793	713.3505	76.218722	44.881	
A6	721.793	736.899	729.346	71.531566	42.121	

Elaboración propia en base a los registros del CIAD – UNASAM

4.2.1.3 Análisis de la escorrentía

La microcuenca Auqui no cuenta con información hidrométrica ni suficientes datos hidrometeorológicos, por lo que, la escorrentía consiste en la diferencia de las variables precipitación y evapotranspiración (Córdoba, Zea, & Murillo, 2006). La Tabla 10 muestra la escorrentía promedio anual determinada a partir de la ecuación 9.

Considerando la ecuación 9, se aplicó la diferencia de precipitación y evapotranspiración en la herramienta Raster Calculator del ArcGIS, para generar las isoyetas de escorrentía y sus respectivos valores areales.

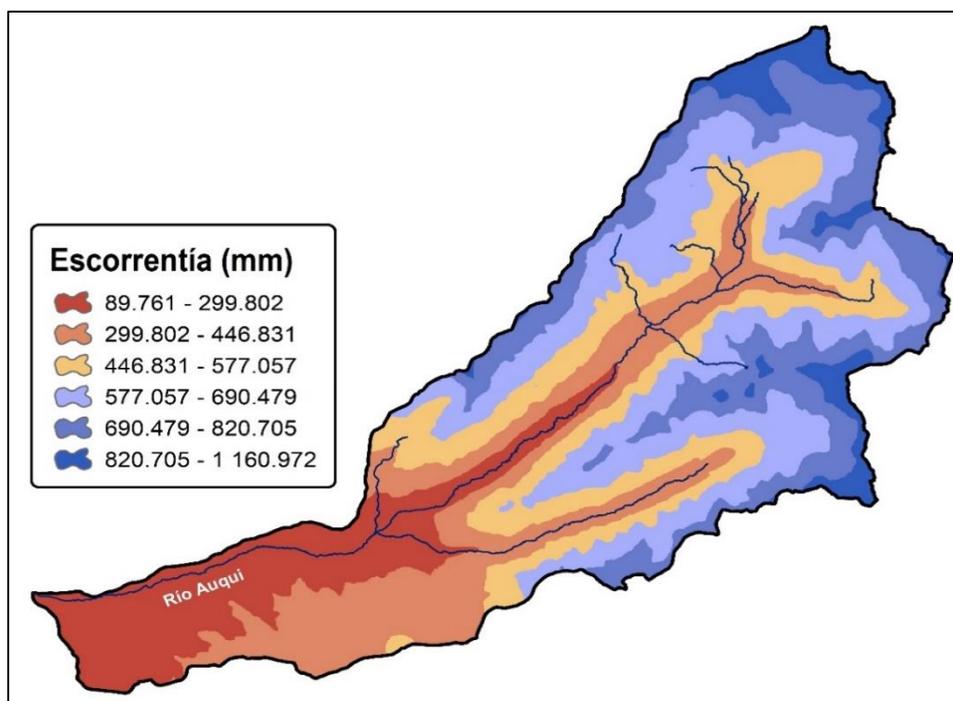


Figura 6. Escorrentías sobre la microcuenca del río Auqui 2013-2017

Elaboración propia en base a los registros del CIAD – UNASAM

La Tabla 10 presenta los datos de las 6 áreas resultantes de la generación de isolíneas de escorrentía; la zona A4 es la de mayor área de representatividad con 38.940 km² y la región A6 tiene la menor área de representatividad con 9.525 km².

Tabla 10. Escorrentía media y áreas obtenidas a través de las isolíneas

N°	Rango de escorrentías		Isoyeta promedio	ÁREA (Km2)	Porcentaje de áreas entre curvas	Esc media microcuenca
A1	89.761	299.802	194.7815	27.088	15.950	532.121
A2	299.802	446.831	373.3165	34.071	20.062	
A3	446.831	577.057	511.944	29.652	17.461	
A4	577.057	690.479	633.768	38.940	22.930	
A5	690.479	820.705	755.592	30.538	17.982	
A6	820.705	1160.972	990.8385	9.525	5.609	

Elaboración propia en base a registros del CIAD – UNASAM

4.2.2 Estimación del balance hídrico superficial en la microcuenca del río Auqui

El gráfico N°4, muestra el balance hídrico superficial de la microcuenca Auqui entre los años 2013.-2017, basada en la comparación de las variables precipitación, evapotranspiración y escorrentía obtenidas en las tablas 8, 9 y 10, para las distintas áreas de la cuenca, con la finalidad de analizar sus variaciones anuales y determinar si hubo déficit o superávit.

Asimismo, muestra que no existe déficit hídrico en la microcuenca Auqui, donde el mayor aporte de agua al sistema es la precipitación, a pesar de las pérdidas por evapotranspiración y escorrentía.

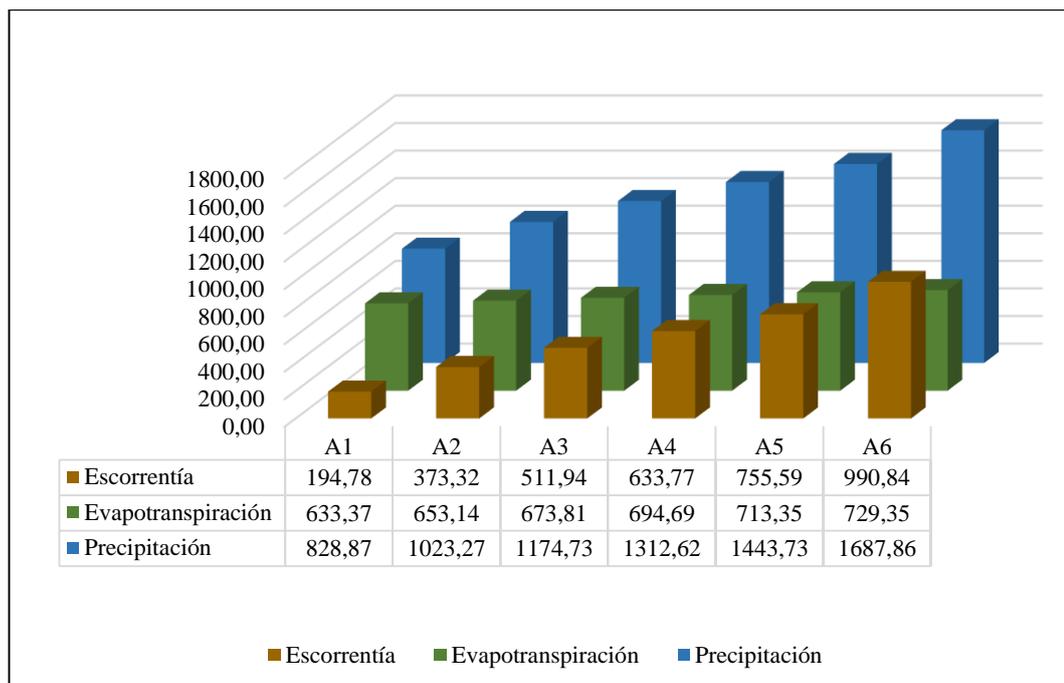


Gráfico 4. Balance hidrológico en la microcuenca del río Auqui, 2013 – 2017

Elaboración propia en base a los registros del CIAD – UNASAM

Tabla 11. Precipitación, evapotranspiración y escorrentía media y áreas obtenidas a través de las isolíneas.

P media microcuenca	1249.240	100 %
ET media microcuenca	713.441	57 %
Esc media microcuenca	532.121	43 %

Elaboración propia en base a registros del CIAD – UNASAM

El mayor aporte de agua al sistema está dado por la precipitación (1249.240 mm), el 57% de la precipitación se pierde del sistema hacia la atmósfera por la evapotranspiración (ET = 713.mm) y el 43 % se pierde por escorrentía superficial.

Se demuestra que no existe déficit de agua en la microcuenca, indicando un rendimiento hídrico alto de la microcuenca.

4.3 Determinación del caudal en la microcuenca del río Auqui

Ante la carencia de información hidrométrica, se utilizó la expresión matemática que relaciona la escorrentía y el área de drenaje para calcular el caudal (ecuación 10).

$$E = 532.121 \text{ mm}$$

$$A_d = 0.497 \text{ km}^2$$

$$Q = \frac{E * A_d}{31.536} = \frac{(532.121 * 0.497)}{31.536} = 8.373 \text{ m}^3/\text{s}$$

El caudal promedio anual del río Auqui en el periodo 2013-2017 es de 8.373 m³/s, siendo la oferta hídrica suficiente para el aprovisionamiento de agua a favor de la EPS Chavín-Huaraz. Asimismo, según al Plan Maestro Optimizado de la EPS Chavín (2006 - 2035), en el año 2006 el caudal del río Auqui fue de 7.5 m³/s, que permitía abastecer de agua potable a la ciudad de Huaraz.

Por otro lado, se identifican problemas ambientales como la degradación de ecosistemas que cumplen con la regulación hídrica. Además, la influencia del calentamiento global en el retroceso de glaciares, generándose drenajes ácidos de roca que contaminan las aguas de la microcuenca Auqui. En el año 2006, la EPS Chavín dio a conocer que las aguas del río Auqui eran ácidas (pH promedio 4.00), presentan una turbiedad promedio 9 NTU, y contienen aluminio, manganeso y hierro disueltos.

4.4 Identificación de los servicios ecosistémicos hídricos (SEH) prioritarios para la EPS Chavín – Huaraz

Los servicios ecosistémicos hídricos prioritarios para la EPS Chavín – Huaraz son los que se describen a continuación:

4.4.1 Regulación hídrica

Es la capacidad de los ecosistemas de almacenar agua en los periodos de lluvia, para luego liberar lentamente durante el periodo seco o de estiaje. A mayor capacidad de regulación, entonces mayor será el caudal de regulación o caudales bases; así mismo los caudales de crecida serán controlados hasta cierto grado.

El servicio de regulación hídrica es importante en cuencas donde el régimen de precipitación es estacional; en estos casos, la regulación hídrica permite que las fuentes de agua se mantengan con caudal en los meses críticos del periodo de estiaje.

El servicio de regulación hídrica depende de factores como:

- ❖ **La intensidad de la precipitación;** una precipitación con alta intensidad lo que genera es mayor escorrentía superficial y por lo tanto menor infiltración en el suelo y subsuelo; mientras que una intensidad leve demora más tiempo en saturar el suelo y por lo tanto genera mayor infiltración.
- ❖ **El estado de conservación de la cobertura vegetal;** cuya función principal es proteger e suelo, también promueve la infiltración al evitar o disminuir la escorrentía superficial.
- ❖ **Tipo y profundidad de la capa superficial del suelo;** los suelos con alto contenido de materia orgánica tendrán mayor capacidad de retención y almacenamiento de agua.

4.4.2 Regulación Climática

Es la capacidad que tienen los ecosistemas de regular el clima mediante el almacenamiento de gases de efecto invernadero.

4.4.3 Control de sedimentos.

Es la capacidad que tienen los ecosistemas de amortiguar el golpe del agua de lluvia y de esa manera evitar la erosión del suelo y la producción de sedimentos. Este servicio ecosistémico es el responsable de mantener el agua con buena calidad física, es decir con niveles de turbiedad bajos que significan menor esfuerzo y costos en el tratamiento de agua con fines de consumo humano realizado por la EPS Chavín – Huaraz.

El control de sedimentos depende de factores como:

- ❖ **La intensidad de la precipitación;** una lluvia muy intensa tendrá mayor energía para erosionar el suelo y por lo tanto habrá mayor producción de sedimentos.
- ❖ **La cobertura vegetal del suelo;** es el principal factor para la retención de sedimentos, un ecosistema con buena cobertura vegetal tendrá mayor capacidad de amortiguar el golpe de la gota de lluvia y a la vez disminuir la velocidad de la escorrentía superficial, es decir a mayor cobertura el suelo estará mejor protegido.
- ❖ **La topografía;** principalmente la pendiente de inclinación del terreno, será un factor que determina la velocidad de la escorrentía superficial y por lo tanto determinará el poder erosivo del agua.

4.4.4 Mejora de la calidad del agua

Es la capacidad que tienen los ecosistemas para purificar el agua, lo cual depende de la filtración y absorción de partículas del suelo y de los organismos vivientes presentes en el agua y suelo. Los contaminantes como exceso de nutrientes, metales pesados y sólidos suspendidos son filtrados y procesados en la medida que el agua de transporta a través del suelo cubierto por coberturas naturales. Es decir, este servicio tiene una relación directa con la cobertura vegetal del suelo.

4.5 Identificación de ecosistemas degradados en la microcuenca del río Auqui

4.5.1 Bosques nativos

Brindan los servicios de regulación climática e hídrica, y son hábitats de avifauna silvestre del Parque Nacional Huascarán. Se encuentran en amenaza por el sobrepastoreo, la tala indiscriminada por los cambios de uso de suelo y los incendios forestales inducidos por los pobladores aledaños.

Destacan las especies del género *Polylepis* conocido localmente como “queñoal”, “quinual” o “quenual”, de las siguientes especies: *Polylepis canoi*, *P. flavipila*, *P. incana*, *P. incarum*, *P. lanata*, *P. microphylla*,

P. multijuga, *P. pauta*, *P. pepeii*, *P. racemosa*, *P. reticulata*, *P. rugulosa*, *P. sericea*, *P. subsericans*, *P. subtusalbida*, *P. tarapacana*, *P. tomentella*, *P. triacontandra* y *P. weberbaueri*.



Figura 7. *Polylepsis sericea* (PNH, 2010)



Figura 8. *Polylepsis weberbaueri* (PNH, 2010)

4.5.2 Matorrales

Los matorrales son muy comunes a lo largo del PNH, y cumplen con las funciones ecosistémicas de regulación climática e hídrica. Se encuentran amenazados por el sobrepastoreo y la tala descontrolada por los cambios de uso de suelo.

Los arbustos característicos de este tipo de formación son *Baccharis tricuneata*, *Gynoxys caracensis*, *Miconia salicifolia*, *Diplostegium*, *Alonsoa linearis*, *Calceolaria*, *Margyricarpus pinnatus* (Lam.) Kuntze (Canglla, Calish o Canlla queuña), *Baccharis* sp. (Tola arrosetada), *Hipericum laricifolium* (chinchango), *Berberis lutea*, *Calceolaria* spp., *Barnadesia dombeyana*, *Gynoxys caracensis*, *Lupinus* aff. *tarapacensis*, *Buddleia coriacea*, entre otros.



Figura 9. Arbustos de los géneros *Senna*, *Barnadesia*, *Gynoxis* (PNH, 2010)



Figura 10. Arbustos de los géneros *Senna*, *Barnadesia*, *Gynoxis* (PNH, 2010)

4.5.3 Pastizales

Este tipo de cobertura vegetal está conformado mayormente por herbazales ubicados en la porción superior de la cordillera de los Andes, aproximadamente entre 3800 y 4800 m.s.n.m. sobre terrenos que van desde casi planos hasta empinados o escarpados. Cumplen con las funciones de regulación hídrica y biorremediación. Se encuentran amenazados por el sobrepastoreo y la quema de pastos.

Destaca el dominio escénico de comunidades de *Poaceas* que alternan con herbáceas de otras familias como *Alchemilla*, *Alonsoa*, *Scrophulariaceae*, *Werneria*. En las zonas más altas, los pastizales están dominados por especies de *Calamagrostis* y *Stipa* hans-meyeri. En las laderas y pequeños espacios de los mismos terrenos se puede encontrar comunidades de *Calamagrostis* y *Stipa* hans-meyeri, además de una comunidad con escasa diversidad de especies dominada por *Festuca* weberbaueri.



Figura 11. Pajonal de puna: *Festuca*, *Stipa* y *Calamagrostis* (PNH, 2010)



Figura 12. Vegetación herbácea postrada que coexiste en el pajonal (PNH, 2010)

4.5.4 Bofedales

Se ubican en el fondo de valle fluvio-glaciar y se alimentan del agua proveniente del deshielo del circo glaciar de la quebrada, del afloramiento de agua subterránea y de la precipitación pluvial. Cumplen las funciones ecosistémicas de regulación hídrica y la mejora de la calidad del agua por la capacidad de secuestrar metales pesados y mejorar el pH.

Predominan miembros de las familias Ciperaceae, Juncaceae, Poaceae, Plantaginaceae, Briofitos y algunas Asteraceae y entre las especies flotantes tenemos a *Azolla filliculoides* (Azollaceae).

Se encuentran amenazados por el sobrepastoreo, la extracción, los cambios de uso de suelo y los drenajes ácidos de roca.



Figura 13. Bofedales más representativos de la zona (PNH, 2010)

4.5.5 Ecosistemas degradados y sus respectivos servicios ecosistémicos en la microcuenca Auqui

Los ecosistemas degradados en la microcuenca Auqui fueron identificados mediante el contraste de información entre los mapas de coberturas y uso de suelos elaborados a través del software ArcGIS y la información brindada por el Parque Nacional Huascarán, así mismo la identificación de servicios ecosistémicos se realizó a través de la revisión de información bibliográfica.

Tabla 12. Ecosistemas y servicios ecosistémicos en la microcuenca Auqui

ECOSISTEMAS DEGRADADOS	SERVICIOS ECOSISTÉMICOS
Bosques nativos	Regulación hídrica
	Regulación climática
Matorrales	Regulación hídrica
	Regulación climática
Pastizales	Regulación hídrica
	Mejora de la calidad del agua
	Control de sedimentos
Bofedales	Regulación hídrica
	Mejora de la calidad del agua

Fuente: Acosta, Peres, & Bievre (2010)

4.6 Acciones de conservación y restauración de ecosistemas degradados proveedores de servicios ecosistémicos hídricos (SEH) en la microcuenca Auqui.

Las acciones de conservación y restauración de ecosistemas degradados en la microcuenca se formularon de acuerdo a los servicios ecosistémicos que brindan y las problemáticas ambientales que atraviesan. Según Acosta & Gil (2015), se debe identificar los SEH prioritarios para la EPS, los ecosistemas proveedores de los SEH, el estado de conservación de los ecosistemas identificados y los actores involucrados, lo que permitirá la priorización de acciones para los mecanismos de retribución por servicios ecosistémicos (MRSE), definición de objetivos de conservación, validación de las acciones priorizadas, y finalmente la definición de indicadores y el monitoreo para la evaluación del impacto de las acciones de conservación sobre los SEH priorizados.

4.6.1 Acciones de conservación

Acciones directas:

- ✓ Implementación de sistemas de guardaparques
- ✓ Fortalecimiento de áreas de conservación
- ✓ Patrullaje de áreas de conservación
- ✓ Sensibilización a los pobladores y visitantes

Acciones indirectas:

- ✓ Ecoturismo
- ✓ Silvicultura

4.6.2 Acciones de restauración

Acciones directas:

- ✓ Reforestación
- ✓ Agroforestería
- ✓ Exclusión de pastoreo en zonas vulnerables
- ✓ Pastoreo rotativo

Acciones indirectas:

- ✓ Intensificación de la ganadería fuera de los ecosistemas prioritarios
- ✓ Riego tecnificado
- ✓ Siembra de pastos cultivados
- ✓ Zanjas de infiltración (para el almacenamiento e infiltración del agua)
- ✓ Construcción de micro represas

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

1. A través de la delimitación de la microcuenca Auqui utilizando el modelo de elevación digital (DEM) en el software ArcGIS, se logró determinar los principales parámetros hidrográficos, tales como: área total (169.824 km²), perímetro (78,632.128 metros lineales), rango de altitudes (3095.91 – 6143.39) y la longitud del río Auqui (27.308 Km).
2. Según el balance hídrico superficial en la microcuenca Auqui durante el periodo 2013 – 2017, existe superávit hídrico en la microcuenca, debido que las pérdidas por evapotranspiración y escorrentía no superaron a la precipitación. El mayor aporte de agua al sistema está dado por la precipitación (1249.240 mm), el 57% de la precipitación se pierde del sistema hacia la atmósfera por evapotranspiración (ET = 713.mm) y el 43% se pierde por escorrentía superficial.
3. El caudal promedio anual del río Auqui en el periodo 2013-2017 fue de 8.373 m³/s, siendo la oferta hídrica suficiente para el aprovisionamiento de agua a favor de la EPS Chavín-Huaraz, en dicho periodo. Sin embargo, la alteración de la calidad del agua del río Auqui por drenajes ácidos de rocas y metales pesados, hicieron que en la actualidad la EPS Chavín no la siga aprovechando para abastecer de agua potable en la ciudad de Huaraz.
4. Los servicios ecosistémicos hídricos para la EPS Chavín Huaraz son regulación hídrica, regulación climática, control de sedimentos y mejora de la calidad del agua.

5. Los ecosistemas degradados en la microcuenca del río Auqui son principalmente: bosques nativos, matorrales, pastizales y bofedales.
6. Las acciones de conservación planteadas son principalmente: Sistema de guardaparques, fortalecimiento de áreas de conservación, patrullaje de áreas de conservación, sensibilización a los pobladores y visitantes, ecoturismo y silvicultura, mientras que las acciones de restauración planteadas son: reforestación, agroforestería, exclusión de pastoreo en zonas vulnerables, pastoreo rotativo, intensificación de la ganadería fuera de los ecosistemas prioritarios, riego tecnificado, siembra de pastos cultivados, zanjas de infiltración (para el almacenamiento e infiltración del agua) y construcción de micro represas; y restauración de los ecosistemas degradados pretenden erradicar los principales problemas ambientales de origen natural e inducidos por el hombre, así como evaluar el potencial aprovechamiento de agua a favor de la EPS-Chavín Huaraz con la aplicación de estas medidas.

5.2. Recomendaciones

- Realizar coordinaciones para realizar visitas con representantes de la EPS Chavín y el Parque Nacional Huascarán para identificar las acciones de conservación y restauración más urgentes en la microcuenca del río Auqui.
- Las entidades competentes deben realizar monitoreos anuales de calidad del agua en el río Auqui, post ejecución de las medidas de conservación y restauración.
- Promover investigaciones en materia de conservación y restauración de ecosistemas degradados en las cabeceras de cuenca.
- Utilizar tecnología de mayor resolución como los drones para mejorar la calidad de levantamiento de línea base para este tipo de estudios.
- Incrementar el periodo de estudio para realizar un diagnóstico más preciso.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Acosta, L., & Gil, J. (2015). *SUNASS*. Obtenido de SUNASS:
http://www.sunass.gob.pe/MRSE/1dhr_rioja_vfinal_21_12_15.pdf
- Acosta, L., Peres, K., & Bievre, B. (2010). *CONDESAN*. Obtenido de CONDESAN:
<http://www.sinia.com>
- Aparicio, F. (2001). *Fundamentos de Hidrología de Superficie*. México, D.F: Limusa.
- Cahuana, A., & Yugar, W. (2009). *MATERIAL DE APOYO DIDÁCTICO PARA LA ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE DE LA ASIGNATURA DE HIDROLOGÍA*. Cochabamba, Bolivia.
- Campos, D. (1987). *Procesos del ciclo hidrológico*. México: Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- CONDESAN. (Enero de 2016). *SIAR Junín*. Obtenido de SIAR Junín:
http://siar.regionjunin.gob.pe/sites/default/files/archivos/public/docs/estudio_base_dhr_mantaro.pdf
- Congreso de la República. (29 de Junio de 2014). *Ley de mecanismos de retribución por servicios ecosistémicos*. doi:Diario Oficial El Peruano
- Consortio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina. (Noviembre de 2015). *PACCPERÚ*. Obtenido de
http://www.sunass.gob.pe/MRSE/1dhr_rioja_vfinal_21_12_15.pdf
- Córdoba, S., Zea, A., & Murillo, W. (2006). *GEOCIENCIAS*. Obtenido de
http://www.geociencias.unal.edu.co/unciencias/data-file/user_23/file/Meteorolog%C3%ADa%20Colombiana%20N%C2%BA%2010/10-9.pdf
- Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos - Universidad da Coruña. (2018). *UDC*. Obtenido de UDC:
http://caminos.udc.es/info/asignaturas/grado_itop/415/pdfs/Capitulo%207.pdf
- Fernández, C. (2017). *SENAMHI*. Obtenido de
<https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01401SENA-44.pdf>

- Florida Blanca Medio Ambiente. (10 de Mayo de 2018). *Verde Natural*. Obtenido de Verde Natural:
<http://floridablancamedioambiente.com/2018/05/10/conservacion-ambiental/>
- Franklin. (14 de Abril de 2009). *Sistemas de Información Geográfica*. Obtenido de Sistemas de Información Geográfica: <http://franklinlmc.obolog.es/delimitacion-cuenca-hidrografica-233721>
- Gomez, W. (1987). *Primer curso nacional de recursos hídricos*. Lima, Perú.
- Gustavo, P. (2009). *Universidad Nacional de Córdoba*. Obtenido de <http://www.efn.uncor.edu/posgrado/rrhh/ asignaturaspdf/Tesis/Del%20Prete.pdf>
- Instituto Superior del Medio Ambiente. (s.f.). *ISM*. Obtenido de ISM:
<http://www.ismedioambiente.com/programas-formativos/restauracion-ambiental-de-espacios-degradados>
- Linsley, K., Kohler, A., & Paulhus, L. ((1990)). *Hidrología para ingenieros*. México: Editorial McGraw-Hill.
- Molina, J., & Espinoza, D. (Noviembre de 2005). *HYBAM*. Obtenido de HYBAM:
http://www.ore-hybam.org/index.php/eng/content/download/4234/23888/file/2005_Molina_Pilco_mayo_BilanHydrique.pdf
- Narváez, B., & Tataje, G. (2011). *SENAMHI*. Obtenido de <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/docTec-2013-balance-hidr-supe-titicaca-2011.pdf>
- Ordoñez, J. (2011). *Global Water Partnership*. Obtenido de Global Water Partnership:
https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/balance_hidrico.pdf
- Pladeyra. (2003). *Paisajes hidrológicos y balance hídrico de la cuenca Lerma Chapala*. México.
- Sediña, I. (2006). *Fundamentos de meteorología*. España: Universidad Santiago de Compostela.

Servicio Nacional de Estudios Territoriales. (Diciembre de 2005). *Snet*. Recuperado el 23 de Junio de 2018, de <http://www.snet.gob.sv/Documentos/balanceHidrico.pdf>

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú . (2011). *SENAMHI*. Obtenido de SENAMHI: <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/docTec-2013-balance-hidr-supe-titicaca-2011.pdf>

Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento. (17 de Setiembre de 2015). *SUNASS*. Obtenido de SUNASS: http://www.sunass.gob.pe/doc/ConversatorioInfra2015/dia3/25_Diagnostico%20hidrico%20basico%20y%20catalogo%20de%20intervenciones,%20Luis%20Acosta.pdf

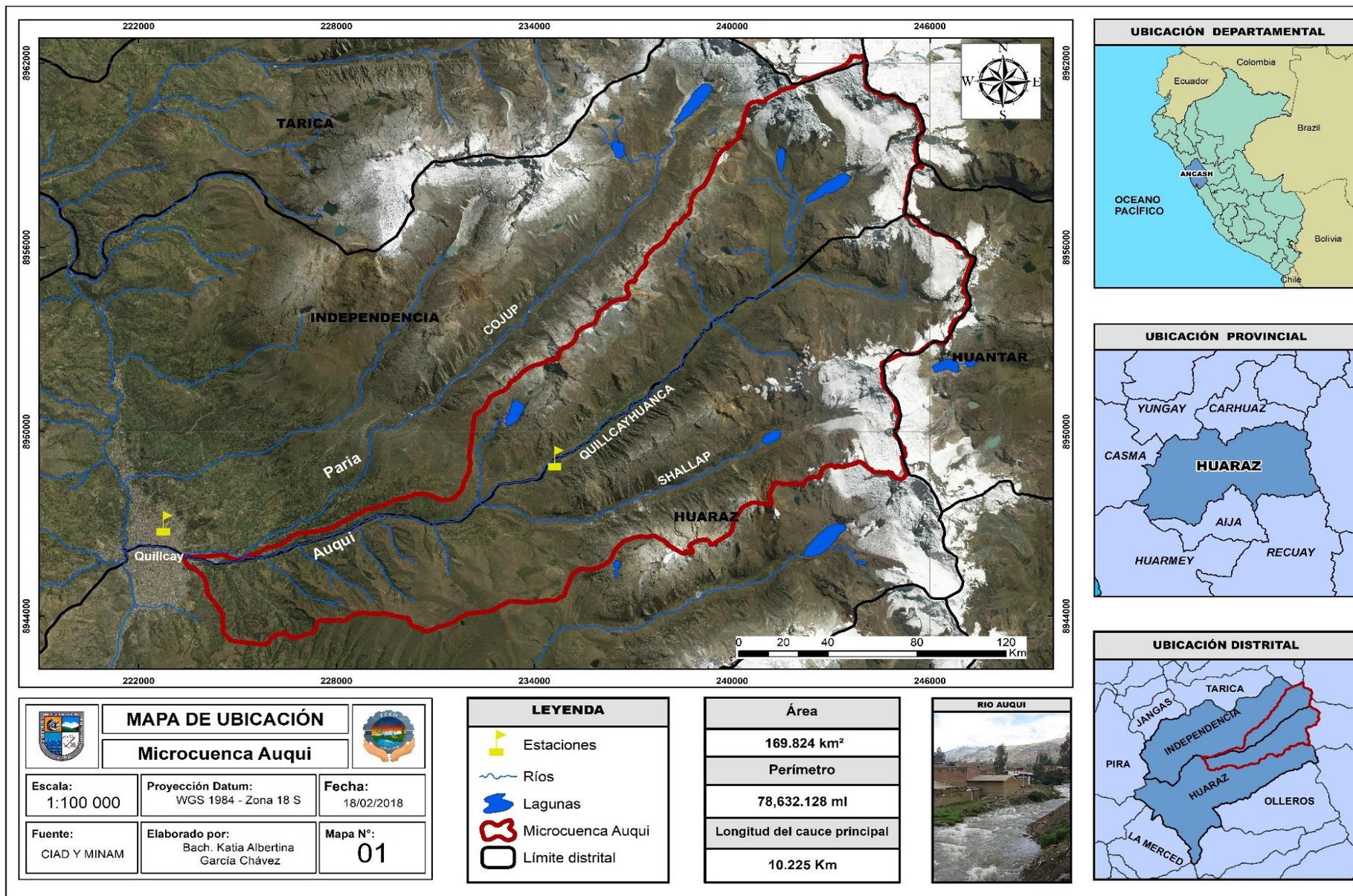
Umaña, E. (2002). *FUNDESYRAM*. Obtenido de FUNDESYRAM: <http://www.fundesyr.am.info/biblioteca.php?id=3669>

Vega, H., & Acuña, J. (2011). *SENAMHI*. Obtenido de <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01401SENA-44.pdf>

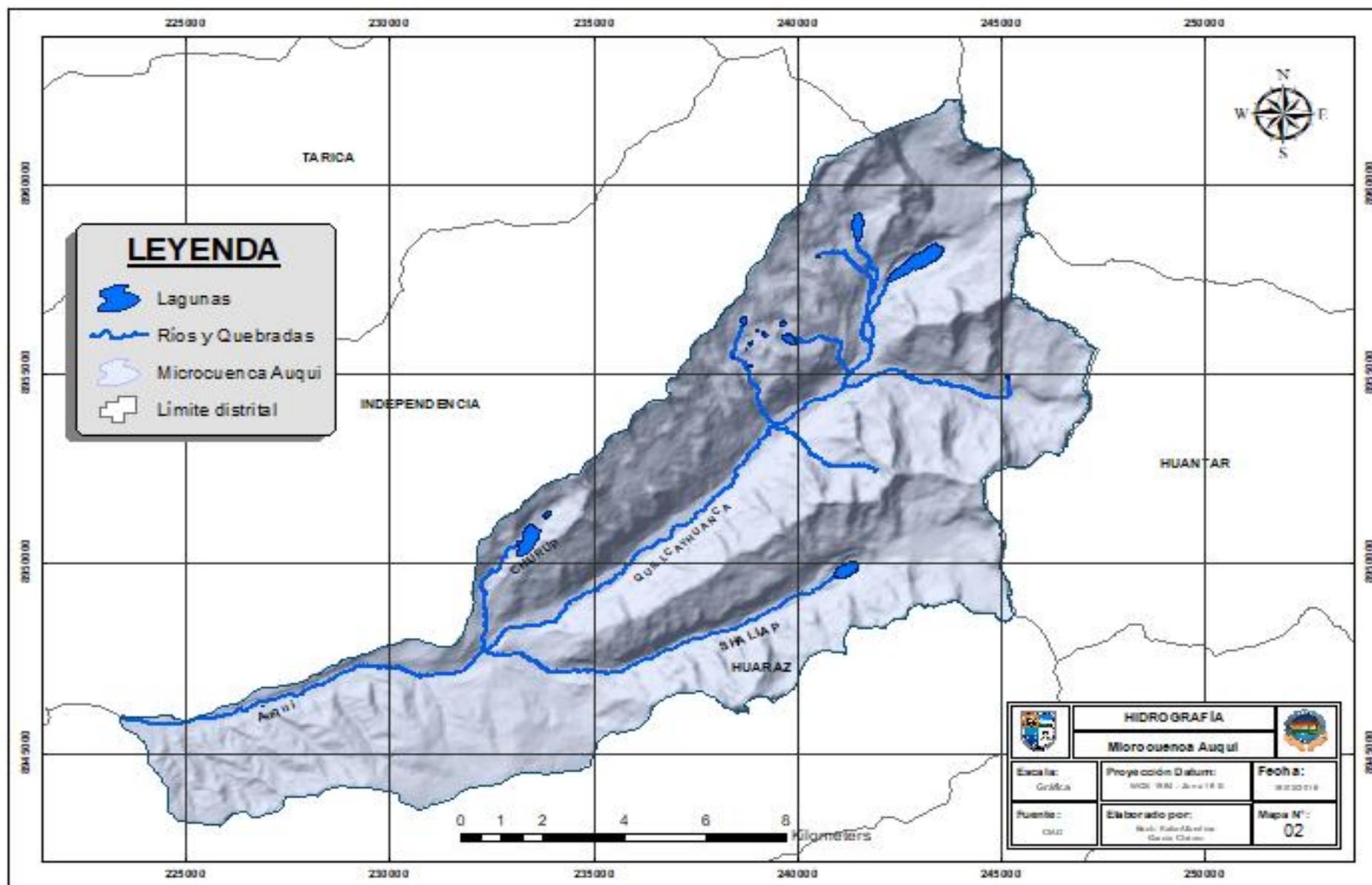
World Vision. (2013). *COLSAN*. Recuperado el 10 de Junio de 2018, de http://www.colsan.edu.mx/investigacion/aguaysociedad/proyectogro2/Biblioteca/Bibliografia/M%F3dulo%204/manual_manejo_de_cuencas_modulo_4-DIAGNOSTICO.pdf

ANEXOS

ANEXO A
MAPA DE UBICACIÓN DE LA MICROCUENCA DEL RÍO AUQUI



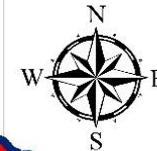
ANEXO B
MAPA HIDROGRÁFICO DE LA MICROCUENCA DEL RÍO AUQUI



ANEXO C

MAPA DE PENDIENTES DE LA MICROCUENCA DEL RÍO AUQUI

MAPA DE PENDIENTES DE LA MICROCUENCA AUQUI



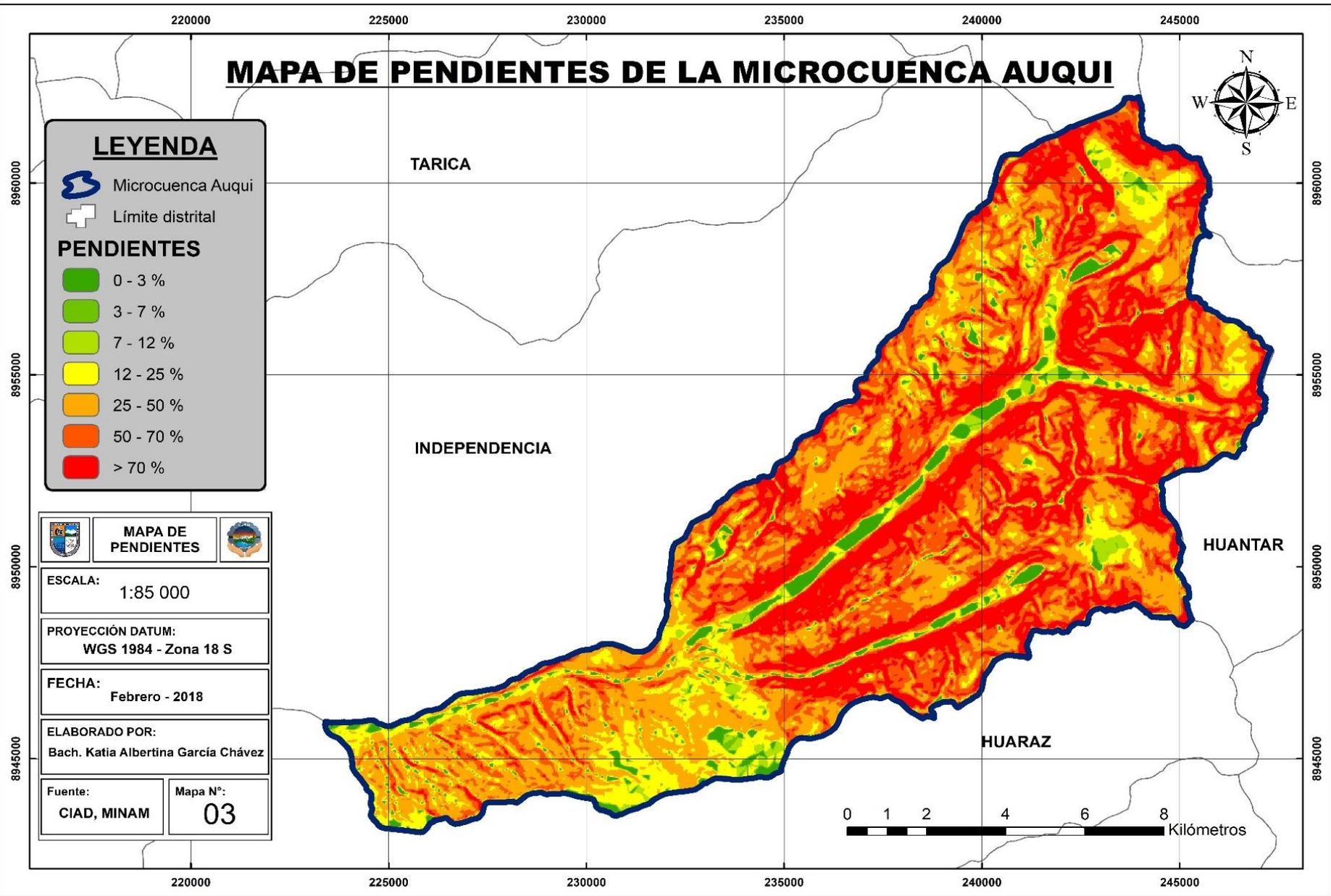
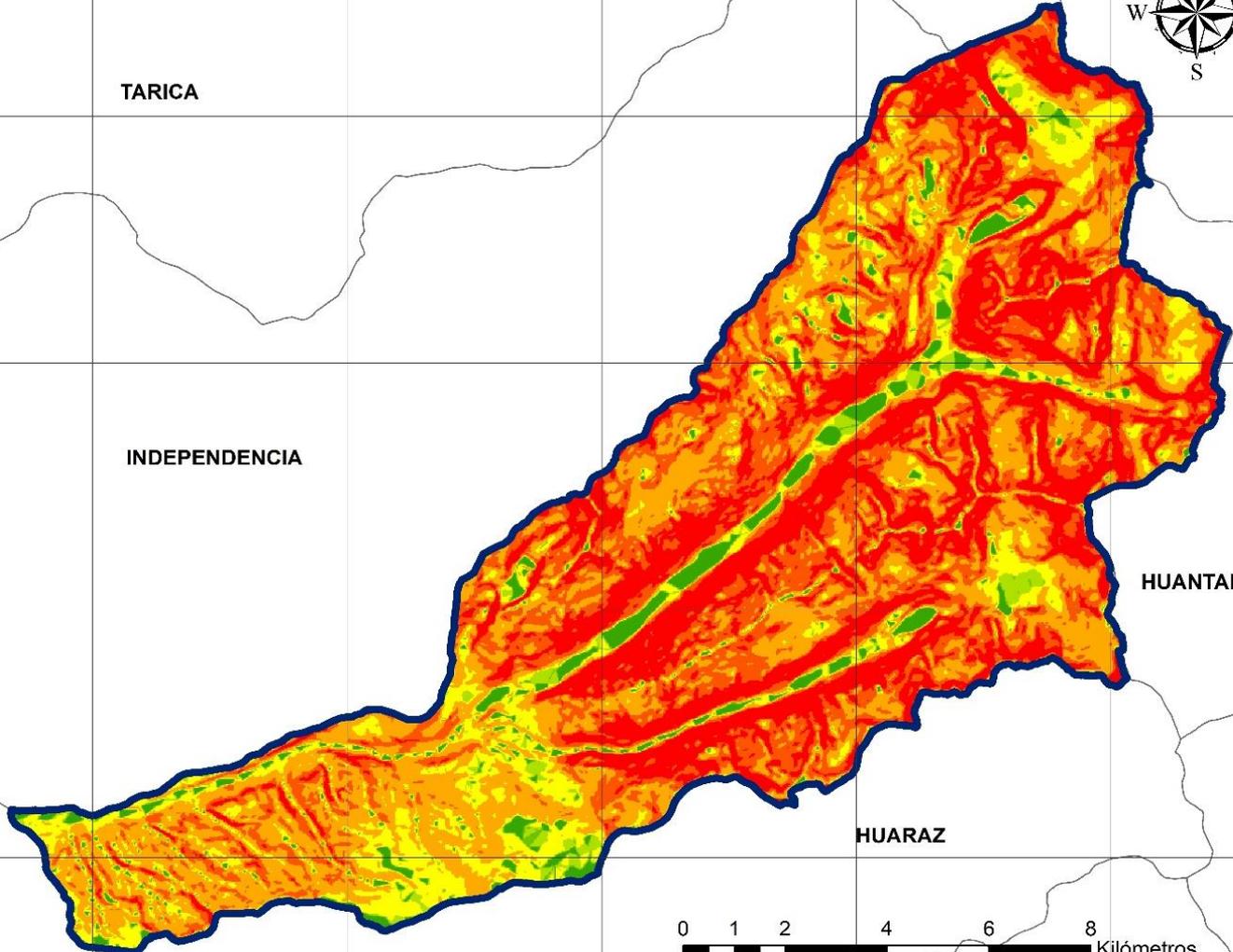
LEYENDA

- Microcuenca Auqui
- Límite distrital

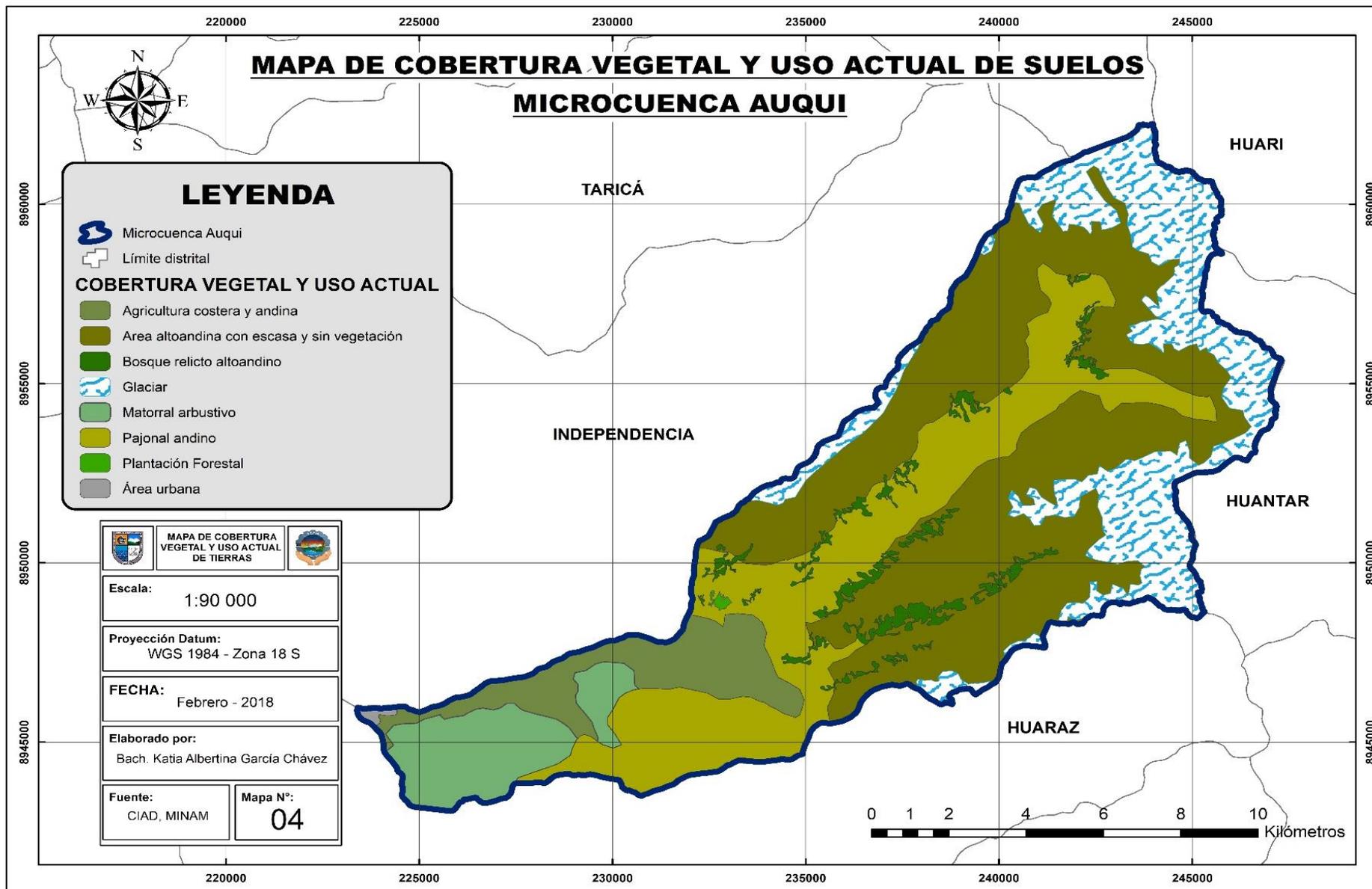
PENDIENTES

- 0 - 3 %
- 3 - 7 %
- 7 - 12 %
- 12 - 25 %
- 25 - 50 %
- 50 - 70 %
- > 70 %

	MAPA DE PENDIENTES	
ESCALA: 1:85 000		
PROYECCIÓN DATUM: WGS 1984 - Zona 18 S		
FECHA: Febrero - 2018		
ELABORADO POR: Bach. Katia Albertina García Chávez		
Fuente: CIAD, MINAM	Mapa N°: 03	

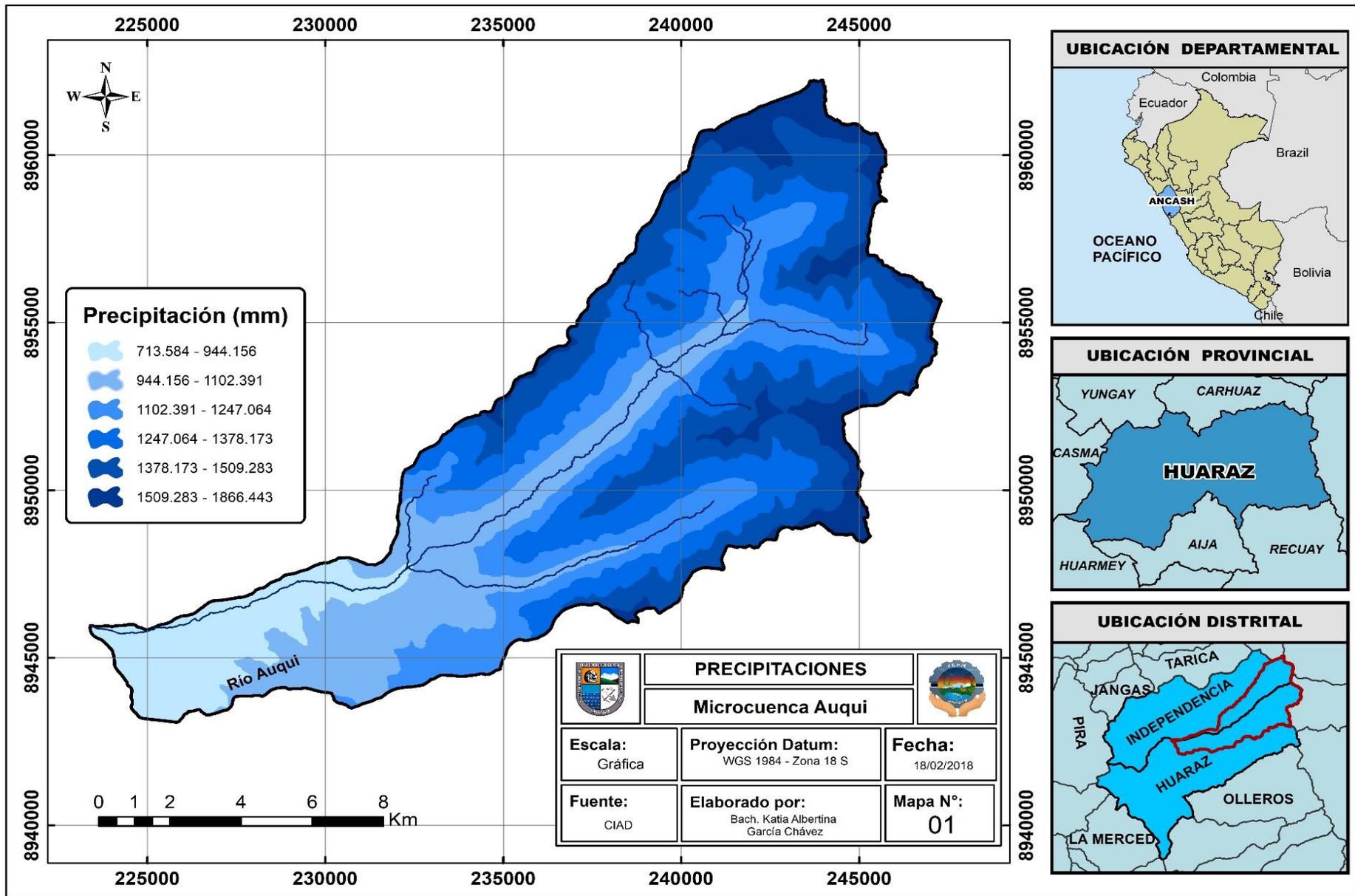


**ANEXO D: MAPA DE COBERTURA VEGETAL Y USO ACTUAL DE SUELOS DE
LA MICROCUENCA DEL RÍO AUQUI**



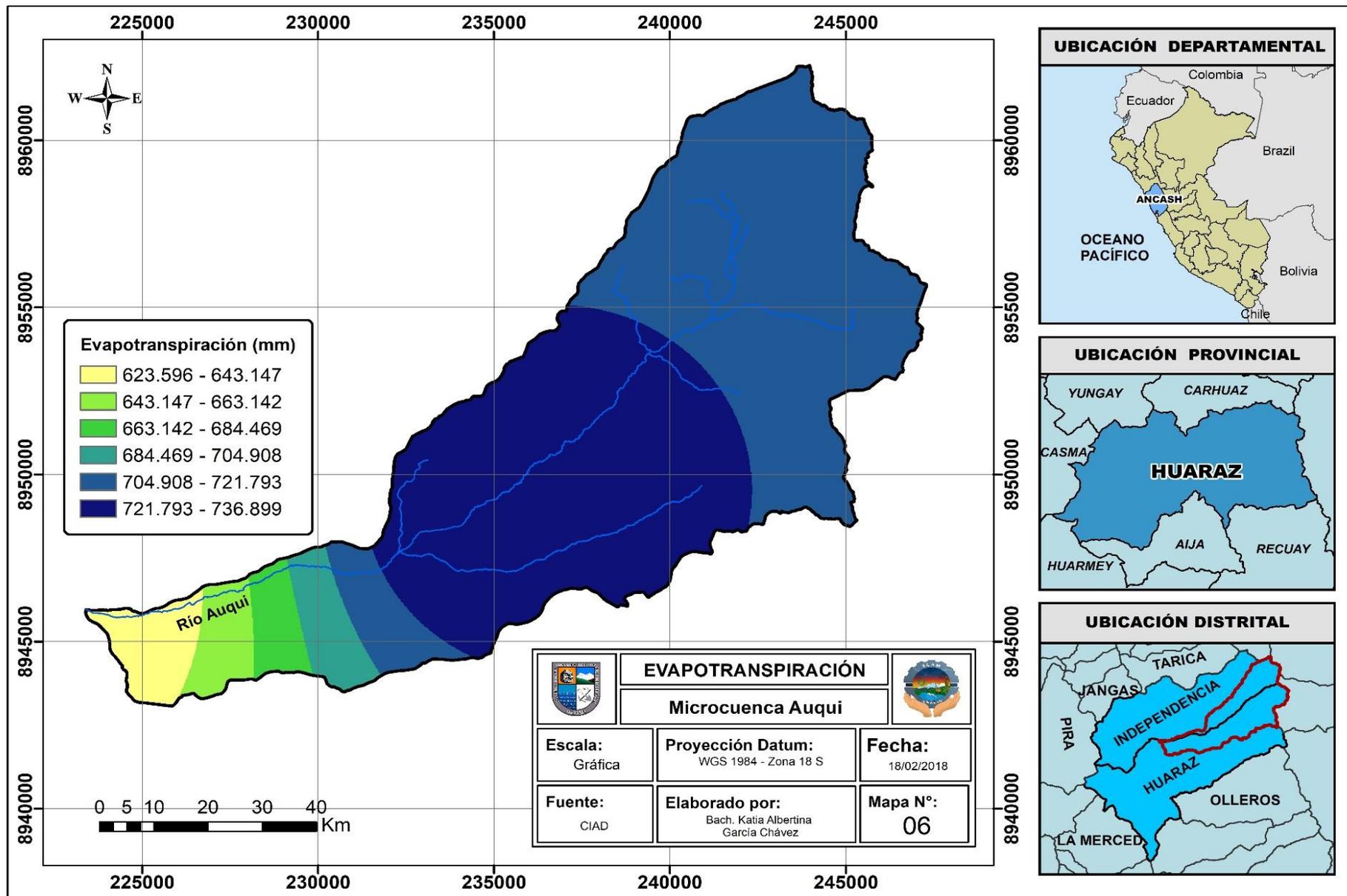
ANEXO E

MAPA DE PRECIPITACIÓN DE LA MICROCUENCA DEL RÍO AUQUI

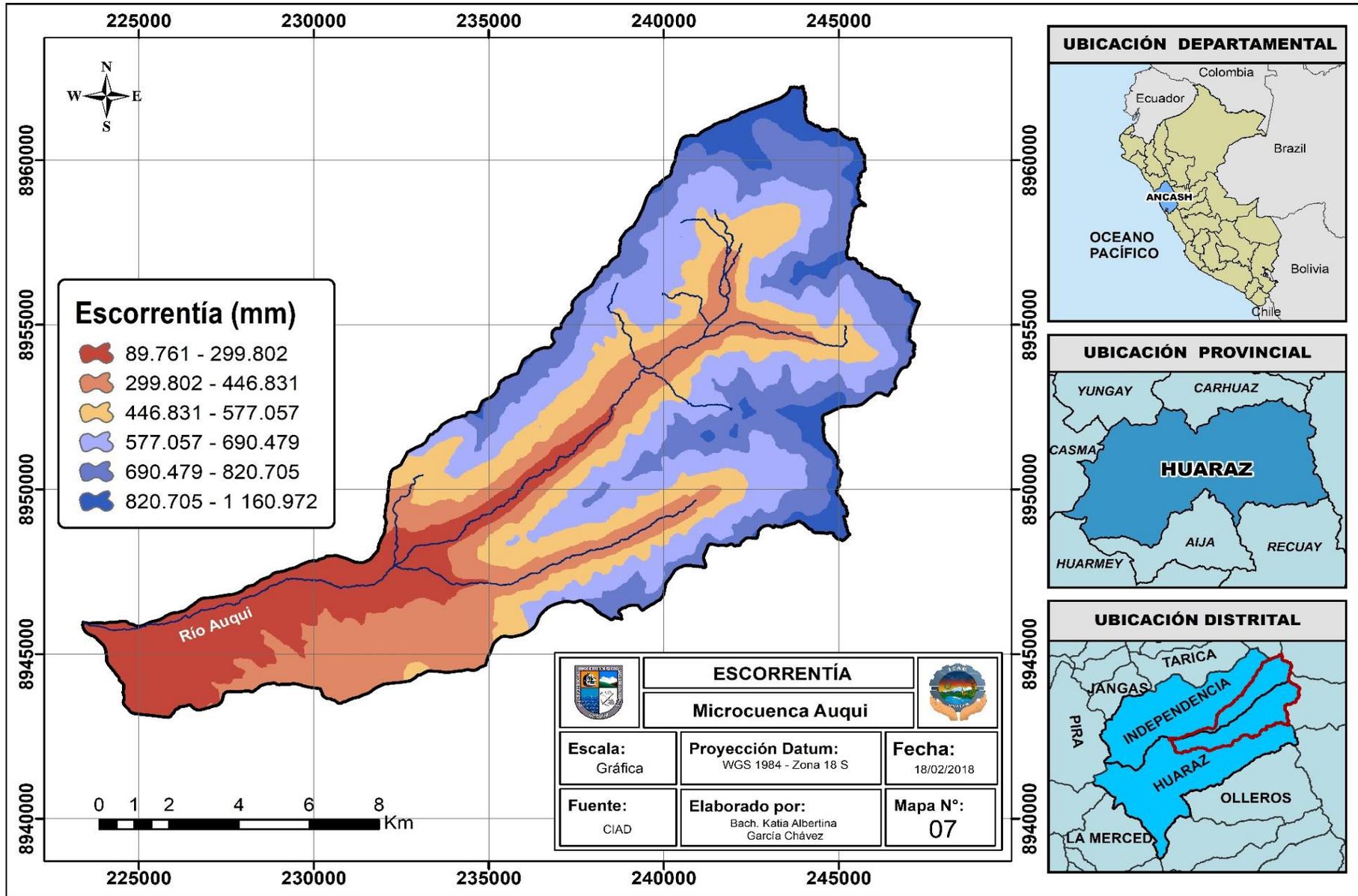


ANEXO F

MAPA DE EVAPOTRANSPIRACIÓN DE LA MICROCUENCA DEL RÍO AUQUI



ANEXO G
MAPA DE ESCORRENTÍA DE LA MICROCUENCA DEL RÍO AUQUI



ANEXO H
MAPA DE ECOSISTEMAS Y SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

