



Ministerio de Agricultura
Autoridad Nacional del Agua
Dirección de Conservación y Planeamiento de Recursos Hídricos
Área de Aguas Superficiales
Administración Local de Agua Huancané



Proyecto:
**Evaluación de los Recursos Hídricos en las Cuencas
de los Ríos Huancané y Suches**



Estudio Hidrológico de las Cuencas Huancané y Suches

Volumen I
Informe Final

Lima, diciembre 2010



Ministerio de Agricultura
Autoridad Nacional del Agua
Dirección de Conservación y Planeamiento de Recursos Hídricos
Área de Aguas Superficiales
Administración Local de Agua Huancané



Proyecto:
**Evaluación de los Recursos Hídricos en las Cuencas de los Ríos
Huancané y Suches**
Estudio Hidrológico

Personal Directivo

Ing. Carlos Pagador Moya
Ing. Óscar Ávalos Sanguinetti

Jefe de la Autoridad Nacional del Agua
Director de Conservación y Planeamiento de Recursos
Hídricos
Coordinador del Área de Aguas Superficiales
Administrador Local de Agua Huancané

Ing. Emilse Benavides Casanoa
Ing. José Pitágoras Quispe Aragón

Personal Participante

César Ancco Carita (Ing. Agrícola)
Profesional Especialista de la DCPRH-ANA

Estudio Hidrológico

Omar Velásquez Figueroa (Ing. Agrícola)
Miriam Glicet Ticona Salazar (Bach. Ing. Agrícola)
Efraín Lujano Laura (Bach. Ing. Agrícola)
Abraham G. Morales Chiara (Bach. Ing. Agrícola)
Erik Velásquez Calla (Bach. Ing. Agrícola)
Juan Quilla Chura (Bach. Ing. Agrícola)
Deyvi Cristian Pari Huaquisto (Bach. Ing. Agrícola)
Ernesto Ancco Carita (Bach. Ing. Agrícola)
Vladimir Mamani Arizapana (Bach. Ing. Agrícola)
Elvis Condori Condori (Bach. Ing. Agrícola)

Asistente de Hidrología
Asistente de Hidrología
Sistema de Información Geográfica (SIG)
Técnico de Campo
Técnico de Campo

Lima, diciembre 2010

RESUMEN

El presente reporte proporciona la información respecto al estudio hidrológico realizado en el ámbito de las cuencas Huancané y Suches. La cuenca Huancané políticamente se ubica en el departamento de Puno, ocupa las superficies de las provincias de Huancané, Moho, San Antonio de Putina y Azángaro. La cuenca Suches se ubica en el departamento de Puno (Perú) y La Paz (Bolivia), provincias de Huancané y San Antonio de Putina en el Perú y Franz Tamayo Camacho y Saavedra en Bolivia.

La superficie total de la cuenca Huancané es de 3,631.18 km², compuesto por nueve unidades hidrográficas de nivel 5 (subcuenca Bajo Huancané, Llache, Medio Bajo Huancané, Tuyto, Medio Huancané, Muñani, Medio Alto Huancané, Pistune y Alto Huancané). La superficie total de la cuenca Suches es de 2930.73 km² (1160.75 km² corresponde al territorio peruano y 1769.98 km² al territorio boliviano), las subcuencas correspondientes al lado peruano son Chueña Huata Jahuirá, Caylloma, Trapiche e intercuenca del río Suches.

Las fuentes de aguas superficiales se han identificado a través de los trabajos de inventario, según los resultados en la cuenca Huancané existen un total de 1695 fuentes hídricas (distribuidas en ríos, quebradas, manantiales y lagunas) y en la cuenca Suches (Perú) 482 fuentes hídricas (distribuidas en ríos, quebradas, manantiales, lagunas, bofedales y nevados).

Las variables climatológicas evaluadas son la precipitación, temperatura (media, máxima y mínima), humedad relativa, evaporación, horas de sol, velocidad y dirección del viento, y la evapotranspiración potencial. Según la clasificación climática las cuencas Huancané y Suches corresponden a la región de humedad de sub-húmedo a húmedo y a la región de temperatura de taiga a microtérmino.

La evaluación del comportamiento pluviométrico de las cuencas Huancané y Suches, se ha analizado la consistencia y completación de la información de precipitaciones mensuales de las 16 estaciones meteorológicas ubicadas en el ámbito de las cuencas de estudio. Además, con la información pluviométrica consistente y tratada, se ha calculado la serie mensual de las precipitaciones areales del período 1956-2009 para las subcuencas de interés.

La evaluación del comportamiento hidrológico de las cuencas Huancané y Suches, se ha analizado la consistencia y completación de la información de las descargas medias mensuales de los ríos Huancané, Suches y Ramis. Con la información consistente y tratada del período 1956-2009, se ha calculado la persistencia de caudales medios al 75% de persistencia para los ríos en estudio.

La modelación hidrológica de precipitación-escorrentía en las cuencas Huancané y Suches, se ha realizado para la generación de las descargas medias en las subcuencas de interés. Para ello se ha calibrado el modelo en los ríos Huancané (estación hidrométrica Puente Huancané) y Suches (estación hidrométrica Puente Escoma), con los parámetros calibrados en ambos ríos, se ha desarrollado el modelamiento hidrológico con la información de serie mensual de las precipitaciones areales y generación de caudales para las subcuencas de interés. Además, se ha desarrollado la modelación estocástica para la generación de series

sintéticas de caudales medios mensuales en las subcuencas del río Guanaco e Yaputira para el análisis de capacidad de almacenamiento de agua de los embalses propuestos Callatomaza e Yaputira.

La disponibilidad hídrica de las cuencas Huancané y Suches, se ha obtenido a partir del análisis de frecuencia de caudales al 75% de persistencia, para cada una de las subcuencas de interés. La fuente hídrica principal y único existente son aguas superficiales provenientes de los ríos de las cuencas Huancané y Suches.

La demanda hídrica total actual en la cuenca Huancané es de 35.87 hm³/año (33.83 hm³ de uso agrícola de una superficie de 2345.62 ha bajo riego y 2.04 hm³ de uso poblacional) y el caudal ecológico estimado es de 31.67 hm³. Mientras en la cuenca Suches (Perú) el uso actual es de 16.09 hm³/año (uso agrícola 14.55 hm³ cuya área es de 1358.43 ha, uso poblacional 0.23 hm³ y uso minero 1.31 hm³). La demanda hídrica futura solo existe proyectado en la cuenca Huancané para uso agrícola de 10.66 hm³. El uso agrícola es de mayor significancia en las cuencas de estudio.

El balance hídrico se ha desarrollado a nivel de subcuencas, con el propósito de conocer el déficit y exceso del recurso hídrico existente en las cuencas. Según el análisis del balance hídrico los resultados son: subcuenca Llache muestra déficit hídrico en los meses de agosto a octubre con ligera variación y el superávit en los meses de noviembre a julio con demanda atendida al 100%; en las subcuencas Tuyto, Muñani y Alto Huancané (río Puncune) existen superávit hídrico en todo el año y las demandas están atendidas al 100%; en la subcuenca Pistune existe el déficit hídrico en los meses de agosto y setiembre con ligera variación y el superávit en los meses de octubre a julio con demanda atendida al 100%; a nivel de la cuenca Huancané no existe déficit hídrico y las demandas están suministradas al 100%, cuyo superávit anual es de 341.78 hm³ de la diferencia existente entre la oferta hídrica total de 409.32 hm³ y la demanda hídrica total de 67.54 hm³. En la cuenca Suches (Perú) el balance hídrico se ha desarrollado en tres subcuencas que disponen de información básica, los resultados muestran que en la subcuenca Chueña Huata Jahuira no existe déficit hídrico y las demandas están satisfechas al 100%, en la subcuenca Caylloma el déficit hídrico existe en los meses de agosto y setiembre con ligera variación y exceso hídrico en los meses de octubre a julio con cobertura de las demandas al 100%, en la subcuenca Trapiche el déficit hídrico existe en los meses de agosto a octubre y el superávit en los meses de noviembre a julio con las demandas atendidas al 100%; el balance hídrico a nivel de la cuenca Suches (Perú-Bolivia) no se ha realizado por falta de la información de las demandas hídricas correspondiente a la zona de Bolivia.

En los eventos hidrológicos extremos, se ha analizado y evaluado las máximas avenidas y sequías, cuyos resultados obtenidos son los caudales máximos instantáneos para diferentes períodos de retorno para las subcuencas de interés y la sequías meteorológica e hidrológica a nivel de las cuencas Huancané y Suches.

Los volúmenes de almacenamiento de agua en los embalses propuestos es la siguiente: Embalse Callatomaza 16 hm³ de volumen total, 14 hm³ de volumen útil y 48.22 m de altura de la presa; Embalse Yaputira 17 hm³ de volumen total, 15 hm³ de volumen útil y 32.92 m de altura de la presa.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	1
TABLA DE CONTENIDO.....	3
CAPÍTULO I.....	7
EL RECURSO AGUA.....	7
CAPÍTULO II.....	10
ASPECTOS GENERALES.....	10
2.1 INTRODUCCIÓN.....	10
2.2 ANTECEDENTES.....	11
2.3 JUSTIFICACION.....	11
2.4 OBJETIVOS.....	12
2.4.1 Objetivo General.....	12
2.4.2 Objetivos Específicos.....	12
2.5 METODOLOGÍA DEL TRABAJO.....	12
2.5.1 Actividades preliminares.....	12
2.5.2 Método de recolección de la información.....	13
2.5.3 Trabajos de campo.....	13
2.5.4 Trabajos de gabinete.....	13
2.6 INFORMACIÓN BÁSICA.....	13
2.6.1 Información cartográfica.....	14
2.6.2 Información hidrometeorológica.....	14
2.6.2.1 Información hidrométrica.....	14
2.6.2.2 Información meteorológica.....	15
CAPÍTULO III.....	16
DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA CUENCA.....	16
3.1 UBICACIÓN DE LA CUENCA.....	16
3.1.1 Ubicación geográfica.....	16
3.1.2 Ubicación hidrográfica.....	16
3.1.3 Ubicación política.....	16
3.1.4 Ubicación administrativa.....	17
3.1.5 Límites hidrográficos.....	18
3.2 ACCESIBILIDAD - VÍAS DE COMUNICACIÓN.....	18
3.3 ASPECTO SOCIO-ECONÓMICO.....	25
3.3.1 Población - Demografía.....	25
3.3.2 Caracterización socio-económica.....	25
3.4 DELIMITACIÓN HIDROGRÁFICA DE LA CUENCA.....	27
3.4.1 Descripción de la cuenca.....	27
3.5 GEOMORFOLOGÍA.....	41
3.5.1 Generalidades.....	41
3.5.2 Descripción geomorfológica de la cuenca.....	41
3.5.3 Caracterización geomorfológica de la cuenca.....	45
3.5.3.1 Parámetros de forma de la cuenca.....	45
3.5.3.2 Parámetros de relieve de la cuenca.....	49
3.5.3.3 Parámetros de la red hidrográfica de la cuenca.....	56
3.6 ECOLOGÍA.....	65
3.7 GEOLOGÍA.....	69
3.8 SUELOS.....	80
3.8.1 Uso mayor de tierras.....	80
3.9 RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIALES.....	85
3.9.1 Cuenca Huancané.....	85
3.9.1.1 Río.....	87
3.9.1.2 Quebrada.....	88
3.9.1.3 Manantial.....	88
3.9.1.4 Laguna.....	89

3.9.2	Cuenca Suches (Perú).....	90
3.9.2.1	Río	91
3.9.1.2	Quebrada.....	92
3.9.1.3	Manantial	92
3.9.1.4	Laguna	93
3.9.1.5	Bofedal	93
3.9.1.6	Nevado.....	94
CAPÍTULO IV		95
CLIMATOLOGÍA DE LA CUENCA		95
4.1	PARÁMETROS CLIMATOLÓGICOS	96
4.1.1	Precipitación	96
4.1.2	Temperatura del aire.....	105
4.1.3	Humedad relativa	118
4.1.4	Evaporación.....	123
4.1.5	Horas de sol	128
4.1.6	Viento	131
4.1.7	Evapotranspiración potencial	137
4.1.7.1	Definición	137
4.1.7.2	Métodos de cálculo de evapotranspiración potencial	137
4.1.7.3	Selección del método de cálculo de evapotranspiración potencial	143
4.1.7.4	Evapotranspiración potencial de la cuenca	146
4.2	CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA	151
CAPÍTULO V		152
PLUVIOMETRÍA		152
5.1	GENERALIDADES.....	152
5.2	RED DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS	152
5.3	ANÁLISIS DE CONSISTENCIA DE LA INFORMACIÓN PLUVIOMÉTRICA	154
5.4	COMPLETACIÓN Y EXTENSIÓN DE LA INFORMACIÓN PLUVIOMÉTRICA.....	170
5.5	PRECIPITACIÓN AREAL DE LA CUENCA.....	173
CAPÍTULO VI		194
HIDROMETRÍA		194
6.1	GENERALIDADES.....	194
6.2	RED DE ESTACIONES HIDROMÉTRICAS.....	194
6.2.1	Estación hidrométrica Puente Huancané - Río Huancané	196
6.2.2	Estación hidrométrica Puente Escoma - Río Suches	198
6.2.3	Estación hidrométrica Puente Ramis - Río Ramis.....	198
6.3	ANÁLISIS DE CONSISTENCIA DE LA INFORMACIÓN HIDROMÉTRICA.....	200
6.4	COMPLETACIÓN Y EXTENSIÓN DE LA INFORMACIÓN HIDROMÉTRICA.....	207
6.5	PERSISTENCIA DE LAS DESCARGAS MEDIAS MENSUALES	210
CAPÍTULO VII.....		215
MODELACIÓN HIDROLÓGICA-GENERACIÓN DE DESCARGAS MEDIAS MENSUALES		215
7.1	GENERALIDADES.....	215
7.2	IMPORTANCIA DE LA MODELACIÓN HIDROLÓGICA	215
7.3	MODELO HIDROLÓGICO DE LUTZ SCHOLZ	216
7.3.1	Descripción general del modelo	217
7.3.1.1	Modelamiento hidrológico para el año promedio	217
7.3.1.2	Generación de caudales mensuales para períodos extendidos	222
7.4	APLICACIÓN DEL MODELO	223
7.4.1	Calibración del modelo en la cuenca del río Huancané.....	223
7.4.2	Calibración del modelo en la cuenca del río Suches	229
7.5	GENERACIÓN DE CAUDALES MEDIOS MENSUALES EN LOS PUNTOS DE INTERÉS	235
7.6	PERSISTENCIA DE LAS DESCARGAS MEDIAS MENSUALES	245
7.7	MODELACIÓN ESTOCÁSTICA	254
7.7.1	Modelo estocástico autorregresivo	254
7.7.2	Modelamiento estocástico de series mensuales	260
7.7.2	Generación de series sintéticas de caudales medios mensuales.....	272

CAPÍTULO VIII	277
DISPONIBILIDAD HÍDRICA	277
8.1 GENERALIDADES	277
8.2 AGUAS SUPERFICIALES	277
8.3 AGUAS SUBTERRÁNEAS	278
8.4 AGUAS DE RECUPERACIÓN	278
8.5 AGUAS DE ALMACENAMIENTO EN REPRESAS	278
8.6 AGUAS DE TRASVASE	279
8.7 OTRAS FUENTES DE AGUA	279
8.8 DISPONIBILIDAD HÍDRICA TOTAL DE LA CUENCA	279
CAPÍTULO IX	282
DEMANDA HÍDRICA	282
9.1 GENERALIDADES	282
9.2 DEMANDA HÍDRICA ACTUAL	283
9.2.1 Demanda agrícola	283
9.2.1.1 Uso actual de la tierra y superficie de la cedula de cultivo	283
9.2.1.2 Cedula de cultivo	289
9.2.1.3 Coeficiente de cultivo (Kc)	292
9.2.1.4 Evapotranspiración potencial (ETP)	294
9.2.1.5 Evapotranspiración de cultivo (ETc)	295
9.2.1.6 Precipitación efectiva (PE)	295
9.2.1.7 Demanda hídrica neta (lámina de riego neta)	296
9.2.1.8 Eficiencia de riego (Er)	297
9.2.1.9 Demanda hídrica bruta (lámina de riego bruta)	297
9.2.2 Demanda poblacional	303
9.2.3 Demanda hídrica de uso minero	307
9.2.4 Caudal ecológico	307
9.3 DEMANDA HÍDRICA FUTURA	309
9.4 ESQUEMA HIDRÁULICO	309
CAPÍTULO X	312
BALANCE HÍDRICO	312
10.1 GENERALIDADES	312
10.2 OFERTA HÍDRICA	313
10.3 DEMANDA HÍDRICA EN SITUACIÓN ACTUAL Y FUTURA	313
10.4 BALANCE HÍDRICO EN SITUACIÓN ACTUAL	313
10.5 BALANCE HÍDRICO EN SITUACIÓN FUTURA	323
CAPÍTULO XI	325
EVENTOS HIDROLÓGICOS EXTREMOS	325
11.1 GENERALIDADES	325
11.2 ANÁLISIS DE MÁXIMAS AVENIDAS	325
11.2.1 Análisis de máximas avenidas en el río Huancané	328
11.2.1.1 Información básica	328
11.2.1.2 Análisis de frecuencia de caudales máximos instantáneos	330
11.2.1.3 Caudales máximos instantáneos para diferentes períodos de retorno	332
11.2.2 Análisis de máximas avenidas en las subcuencas	334
11.2.2.1 Descripción del método del Hidrograma Unitario del U.S. Soil Conservation Service (SCS)	334
11.2.2.2 Determinación de máximas avenidas	338
11.3 ANÁLISIS DE SEQUÍAS	352
11.3.1 Generalidades	352
11.3.2 Sequía meteorológica	354
11.3.2.1 Información básica - Metodología de análisis	354
11.3.2.2 Cuantificación y descripción de las sequías críticas	355
11.3.3 Sequía hidrológica	365
11.3.3.1 Información básica - Metodología de análisis	365
11.3.3.2 Cuantificación y descripción de las sequías críticas	366
11.3.3.3 Análisis de períodos secos y húmedos	371

CAPÍTULO XII	375
PROPUESTA DE REPRESAMIENTO HÍDRICO EN LA CUENCA	375
12.1 GENERALIDADES.....	375
12.2 PROPUESTA DE EMBALSES DE REGULACIÓN DEL RECURSO HÍDRICO EN LA CUENCA	375
12.3 DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE EMBALSE	378
12.3.1 Método experimental - Rango ajustado.....	378
12.3.2 Resultados de la capacidad de embalse – Método experimental	384
12.3.3 Cálculo del volumen útil del embalse.....	389
12.3.4 Parámetros hidráulicos de la presa	398
CAPÍTULO XIII	408
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	408
13.1 CONCLUSIONES.....	408
13.2 RECOMENDACIONES	410
CAPÍTULO XIV	411
BIBLIOGRAFÍA	411
ANEXOS	413

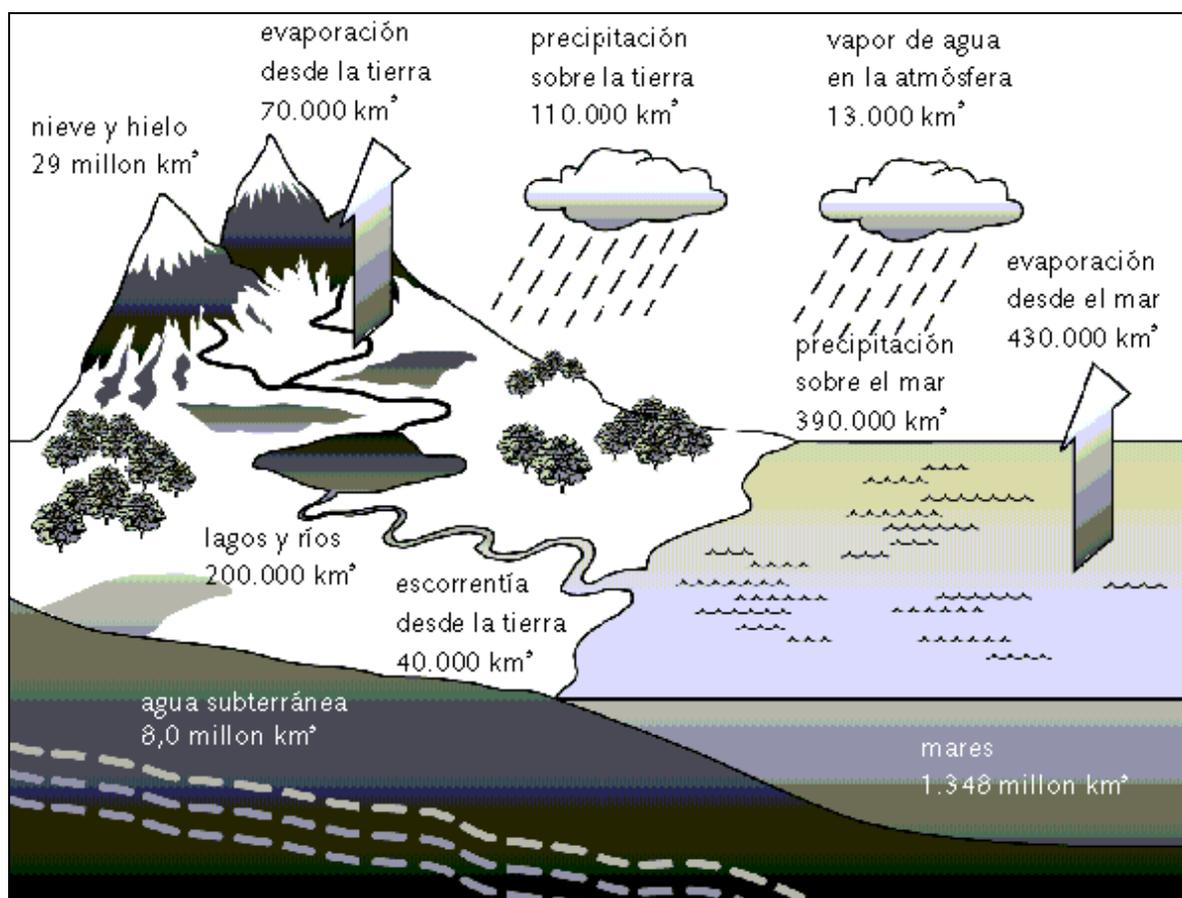
CAPÍTULO I

EL RECURSO AGUA

El agua es un recurso indispensable para los seres vivos (plantas, animales y humanos) en el planeta. El agua como recurso natural apareció en este mundo hace más de 3000 millones de años y desde entonces ha desempeñado un papel sumamente importante en la evolución del mismo. Por tal motivo, debemos pensar que el agua que bebemos no es agua nueva sino que ésta ha sido varias veces reciclada gracias al ciclo hidrológico que se encarga de llevar a cabo este proceso.

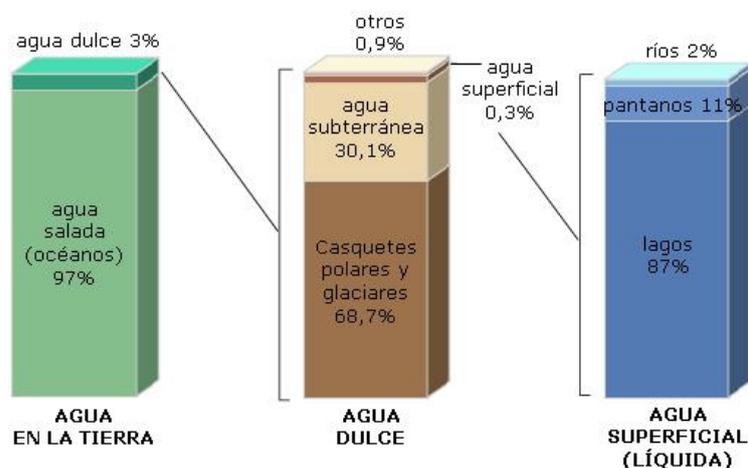
Ciclo hidrológico: el agua en la naturaleza está en movimiento constante, describiendo un circuito cerrado que se denomina ciclo hidrológico. La Figura N° 1.1 muestra una visión esquemática del ciclo hidrológico, donde la radiación solar produce la evaporación del agua existente y por los procesos atmosféricos (enfriamiento) el vapor de agua se condensa y luego se precipita en forma de lluvia.

Figura N° 1.1 Ciclo hidrológico del planeta Tierra



El agua cubre las $\frac{3}{4}$ partes (71%) de la superficie de la Tierra; el 97% de su volumen es agua salada que se encuentran en los océanos y mares, y sólo el 3% de su volumen es agua dulce que se encuentran en casquetes polares y glaciares, acuíferos, ríos, lagos y lagunas.

Figura N° 1.2 Distribución del agua en la Tierra



Su importancia se fundamenta en los siguientes aspectos: el agua es fuente de vida, sin ella no pueden vivir las plantas, animales ni el ser humano. Es indispensable en la vida diaria (uso doméstico, industrial, agrícola, pecuario, minero, energético, medicina, acuicultura, municipal, deporte-recreación, entre otros usos).

Problemas que ocasiona el agua: La distribución espacial y temporal irregular del recurso hídrico en las cuencas hidrográficas, en épocas de avenida genera problemas de inundaciones originados por el exceso de escurrimiento por altas precipitaciones, en épocas de estiaje genera problemas de sequía originados por la escasez de agua y anomalía de las precipitaciones. Por otro lado también se generan conflictos de los usuarios por escasez y por mal manejo del agua.

Las actividades humanas generan escasez de agua de tres maneras: por el crecimiento de la población, por la utilización errónea del agua y por la falta de equidad en el acceso a ella. El crecimiento de la población contribuye a la escasez de agua simplemente porque el suministro de agua disponible debe repartirse entre un número cada vez mayor de personas. Cada región tiene una cantidad más o menos fija de recursos hídricos internos, que se definen como el caudal medio anual de los ríos y acuíferos generado por la precipitación. Con el tiempo, esta reserva interna renovable va dividiéndose entre un número cada vez mayor de personas, hasta que sobreviene la escasez de agua.

En los últimos años, los problemas del agua han sido objeto de una preocupación y un debate crecientes en el plano internacional. En enero de 1992 tuvo lugar en Dublín (Irlanda) la Conferencia Internacional sobre el Agua y el Medio Ambiente (ICWE), patrocinada por el sistema de las Naciones Unidas. En 1993 el Banco Mundial publicó un exhaustivo documento de política en el que se definían sus nuevos objetivos en el sector de los recursos hídricos. La FAO, por su parte, ha establecido recientemente un Programa de Acción Internacional sobre el Agua y el Desarrollo Agrícola Sostenible (PAI-ADAS). En

el 2006, en México se realiza el IV Foro mundial del Agua. En el 2009, en Estambul de Turquía se realiza el V Foro mundial del agua; Naciones Unidas advertía en las vísperas del Foro que unos 1100 millones de personas en el planeta carecían de suministro adecuado de agua potable y que en el futuro la situación se agravaría de no modificarse las políticas actuales sobre el manejo del recurso hídrico.

En nuestro territorio nacional, la inobjetable realidad situacional de los recursos hídricos del país, cada vez más se escasea en la mayoría de las cuencas hidrográficas del Pacífico y en las cuencas alto andinas de la sierra peruana, generalmente en épocas de estiaje; afectados por los fenómenos físicos, como el calentamiento global, cambio climático, fenómenos sociales como la migración, crecimiento poblacional, nuevos asentamientos populares y entre otros factores influyentes. Frente a esta problemática de escasez del recurso agua máspreciado para la población del país, se debe conservarse almacenando en grandes represas para enfrentar en adelante la posible escasez del agua, y sensibilizar a los usuarios a través de la capacitación para el buen manejo y uso eficiente para lograr el desarrollo sostenible en la gestión integrada de los recursos hídricos en el país.



Nevado Ananea Grande - Subcuenca río Trapiche



Nevado Palomani – Subcuenca río Suches



Lagunas Salluyo-Cutini-Ccaccani-Pararani
Subcuenca río Suches

CAPÍTULO II

ASPECTOS GENERALES

2.1 INTRODUCCIÓN

Desde el año 2001, la Intendencia de Recursos Hídricos (Dirección General de Aguas y Suelos) del ex Instituto Nacional de Recursos Naturales, actualmente la Autoridad Nacional del Agua (ANA) como ente rector y máxima autoridad técnico-normativa del Sistema Nacional de Gestión de los Recursos Hídricos en el país, viene desarrollando estudios hidrológicos en diversas cuencas del Perú, como es el caso de las cuencas de los ríos Cañete, Chancay-Huaral, Caplina, Chicama, Chili, Chillón, Pisco, San Juan, Yauca, Acarí, Cabanillas y Lampa, Casma, Culebras, Mala, Ocoña, Ramis, Ilave, Lacramarca, Nepeña, Tablachaca, Urubamba, etc; y consiente de la necesidad del país de disponer del conocimiento integral y homogéneo de la potencialidad de sus recursos hídricos que conlleven a un uso racional y planificado, desde los puntos de vista social, económico, ecológico y considerando la participación de todos los agentes consumidores de agua de la cuenca, dentro de sus limitaciones existentes, prosigue con sus objetivos iniciales extendiendo estos estudios en otras cuencas, como es el presente caso de los ríos Huancané y Suches en la Región Puno.

Bajo este marco y objetivo integral de proporcionar información valiosa para el ordenamiento y gestión de los recursos hídricos; el presente estudio hidrológico de las cuencas Huancané y Suches se sustenta, no sólo en la necesidad de contar con una descripción, evaluación y cuantificación de su disponibilidad hídrica, sino también tener fundamentos que permitan entender el real funcionamiento hidrológico de la cuenca y de ello concluir en cuanto a las restricciones y bondades que nos ofrece este sistema natural como “generador” de agua superficial.

Las principales actividades socio-económicas en las cuencas son la agricultura y la ganadería, constituyéndose éstas en un eje para el desarrollo de otras labores productivas como transporte, comercio y consumo. La agricultura está acentuada más en la cuenca media y baja, debido a las condiciones favorables de clima, relieve, calidad agrologica de suelos y disponibilidad hídrica. La actividad pecuaria se concentra en toda la cuenca y con mayor incidencia en zonas con predominancia de pastos naturales. En la parte alta de las cuencas, no es apropiado realizar las actividades agrícolas de cultivos de pan llevar, por los riesgos inherentes al clima (ocurrencia de sequías y heladas por bajas temperaturas).

El uso de agua para fines poblacionales en las cuencas Huancané y Suches no implica mayor significado numérico si la comparamos con la agrícola. En las cuencas no se tiene otros usos consuntivos mayores, distinguiéndose como consumos menores, pero muy importantes el pecuario y ecológico.

Por consiguiente, el agua superficial de las cuencas Huancané y Suches representa un “input” (entrada) económico de singular importancia para el desarrollo socioeconómico de la población de las cuencas en estudio en la Región Puno.

2.2 ANTECEDENTES

Como parte preliminar para el inicio del desarrollo del presente estudio, se ha revisado los estudios antecedentes referidos al recurso hídrico en las cuencas Huancané y Suches, a continuación se muestran los estudios realizados por diferentes instituciones públicas, privadas y universidades.

- ONERN (Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales): “Inventario y evaluación de los recursos naturales alto andinos”, cuenca del río Huancané, 1992.
- PELT (Proyecto Especial Lago Titicaca): “Plan Director Global Binacional de Protección, Prevención de Inundaciones y Aprovechamiento de Recursos del Lago Titicaca, Río Desaguadero, Lago Poopó y Lago Salar de Coipasa (Sistema TDPS)”; Puno 1,993.
- PELT (Proyecto Especial Lago Titicaca) – Puno: “Estudio Hidrológico del Sistema Hídrico Huancané – Suches; 2001, determinándose los caudales y la disponibilidad hídrica en las cuencas mencionadas.
- ALT (Autoridad Binacional Autónoma del Sistema Hídrico TDPS): “Disponibilidad hídrica de las cuencas afluentes al lago Titicaca”, Puno 2005.
- ATDR Huancané (Administración Técnica del Distrito de Riego Huancané): “Inventario de infraestructura de riego y padrón de usuarios del distrito de riego Huancané, 2006.
- Carlos Nina Castro: “Balance Hídrico de la Cuenca del Rio Huancané”, Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería Agrícola, Universidad Nacional del Altiplano, Puno, 2008.
- PRORRIDRE (Programa Regional de Riego y Drenaje): “Estudio hidrológico del perfil del proyecto de irrigación Muñani”, Gobierno Regional de Puno, 2009.
- Efraín Lujano Laura: “Estudio hidrológico de la cuenca del río Huancané”, Informe de prácticas pre-profesionales, Administración Local de Agua Huancané, Facultad de Ingeniería Agrícola - UNA-Puno, 2010.

2.3 JUSTIFICACION

El “Estudio hidrológico de las cuencas Huancané y Suches” se ha realizado con la finalidad de evaluar y cuantificar la potencialidad de los recursos hídricos superficiales, requerimiento de las demandas hídricas y balance hídrico de las cuencas en estudio.

Los resultados obtenidos en el presente estudio, permitirá disponer de información básica necesaria para optimizar el ordenamiento y gestión integral de los recursos hídricos en las cuencas hidrográficas de estudio.

El estudio hidrológico proporcionará aportes sustanciales, como las características geomorfológicas de las cuencas, inventario de fuentes de recursos hídricos superficiales, climatología, pluviometría, hidrometría, modelación hidrológica y generación de las descargas medias mensuales a partir de la precipitación areal de la cuenca, la disponibilidad (oferta) y demanda hídrica, balance hídrico, las máximas avenidas y finalmente los episodios de sequía.

2.4 OBJETIVOS

2.4.1 Objetivo General

Realizar el estudio hidrológico de las cuencas Huancané y Suches, con la finalidad de evaluar y cuantificar la disponibilidad hídrica, para la planificación y gestión integral de los recursos hídricos de las cuencas en estudio. Haciendo énfasis en el uso del agua para riego, promoviendo así su manejo eficiente, racional y equitativo.

2.4.2 Objetivos Específicos

- Sistematizar la información cartográfica (mapas temáticas generadas) en un sistema de información geográfica (SIG).
- Determinar las características físicas y ecológicas de la cuenca.
- Identificar y evaluar las fuentes de agua superficial en las cuencas a través de un inventario sustentado en trabajos de campo y mediciones puntuales.
- Evaluación de las variables meteorológicas.
- Evaluación del comportamiento de la precipitación en las cuencas.
- Evaluación del comportamiento hidrológico de las cuencas.
- Realizar la modelación hidrológica en la cuenca, y generación de descargas medias mensuales en las sub-cuencas de interés.
- Determinar la disponibilidad hídrica en las cuencas y sub-cuencas de interés.
- Determinación de la demanda multisectorial (uso consuntivo) en situación actual y futura.
- Balance hidrológico de la cuenca en situación actual y para condiciones futuras.
- Evaluación de los eventos hidrológicos extremos (máximas avenidas y sequías).
- Estudio de almacenamiento de agua en la cuenca para determinar los volúmenes probables de embalse que podrían represarse.

2.5 METODOLOGÍA DEL TRABAJO

El presente estudio ha sido orientado y realizado mediante la ejecución secuencial de las siguientes actividades y con la participación de un equipo técnico-profesional en trabajos de esta naturaleza. La metodología a seguir para lograr los objetivos del estudio hidrológico de las cuencas Huancané y Suches, se describen a continuación.

2.5.1 Actividades preliminares

Se ha realizado las coordinaciones con la Administración Local de Agua Huancané, para la ejecución del Estudio Hidrológico de las Cuencas Huancané y Suches. Igualmente con el equipo técnico-profesional del inventario de fuentes hídricas superficiales de las cuencas en estudio.

Se ha realizado la revisión de estudios antecedentes sobre recursos hídricos realizados en las cuencas Huancané y Suches, por las entidades públicas, privadas y universidades; información base para el desarrollo del presente estudio.

2.5.2 Método de recolección de la información

Las técnicas de recolección de datos y manejo de información que han contribuido en el desarrollo del presente estudio, es la siguiente:

- Información documental
- Información bibliográfica
- Entrevista

2.5.3 Trabajos de campo

- Reconocimiento de las cuencas en campo.
- Evaluación hidrológica de las cuencas (delimitación hidrográfica de las cuencas, geomorfología, geología, cobertura vegetal, zonas potenciales de retención hídrica).
- Identificación de los principales agentes consumidores de agua.
- Inventario de fuentes de agua superficial.
- Evaluación de las estaciones hidrometeorológicas.

2.5.4 Trabajos de gabinete

- Procesamiento de la información (análisis y depuración de la información hidrometeorológica recopilada).
- Elaboración de mapas temáticos de las cuencas.
- Análisis de las variables climatológicas, meteorológicas e hidrológicas.
- Modelación y generación de las descargas medias en los puntos de interés.
- Determinación de la disponibilidad hídrica, demanda hídrica y balance hídrico de las cuencas.
- Análisis de eventos extremos (máximas avenidas y sequías).
- Volumen de almacenamiento de agua en los embalses propuestos.
- Redacción del informe del estudio.

Herramientas utilizadas en el presente estudio: Microsoft office, software ARGIS, software CropWat-4 para el cálculo de la evapotranspiración potencial, software hidrológico Hec4 para la completación y extensión de la información hidrometeorológica, software FLFREQ para el análisis de frecuencia de caudales máximos instantáneos y precipitaciones máximas en 24 horas, Software SCS para el cálculo de las máximas avenidas a partir de la precipitación.

2.6 INFORMACIÓN BÁSICA

Para el desarrollo del presente estudio se ha recurrido básicamente a la información cartográfica, hidrometeorológica (hidrométrica, pluviométrica y climatológica) y estudios antecedentes. A continuación se detalla cada una de estas informaciones en forma breve.

2.6.1 Información cartográfica

La información cartográfica básica para el desarrollo del estudio hidrológico y la generación de mapas temáticos de las cuencas Huancané y Suches, es la siguiente:

- Cartas Nacionales que abarca las cuencas Huancané y Suches a escala 1/100,000 del Instituto Geográfico Nacional (IGN) digitalizado bajo el entorno de SIG con equidistancia mínima entre curvas de nivel de 50 m. Fuente ANA.
- Información cartográfica complementaria existente en la Administración Local de Agua Huancané: Mapa de delimitación administrativa con la demarcación de sectores de riego; mapa de ubicación de la ALA Huancané en la Región Puno.
- Mapa Geológico del Perú. [Geological Map of Perú], del Instituto de Geología y Minería de 1975, a escala 1/100,000. Fuente Dirección General de Asuntos Ambientales del Ministerio de Agricultura.
- Mapa Ecológico del Perú. [Ecological Map of Perú], de la Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales (ONERN) de 1976, escala 1/100,000. Fuente Dirección General de Asuntos Ambientales del Ministerio de Agricultura.
- Mapa Geomorfológico del Perú, de la Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales (ONERN) de 1976, escala 1/100,000. Fuente Dirección General de Asuntos Ambientales del Ministerio de Agricultura.
- Mapa de Capacidad de Uso Mayor de las Tierras del Perú. [Land Use Map of Perú], de la Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales (ONERN) de 1981, escala 1/100,000.

2.6.2 Información hidrometeorológica

2.6.2.1 Información hidrométrica

En el ámbito de las cuencas Huancané y Suches existen dos estaciones hidrométricas, como el Puente Huancané (controlada por SENAMHI Puno) y Puente Escoma (controlada por SENAMHI Bolivia). Además existe una estación hidrométrica en la cuenca del río Ramis (Puente Ramis), dicha información servirá para el análisis y completación de registros de descargas de los ríos Huancané y Suches.

En el siguiente cuadro se muestran las características de las estaciones hidrométricas consideradas en el presente estudio.

Cuadro N° 2.1 Estaciones hidrométricas en las cuencas Huancané - Suches y estación de apoyo

N°	Río	Estación	Código	Ubicación Política			Ubicación Geográfica			Propiedad
				Dpto.	Provincia	Distrito	Latitud Sur	Longitud Oeste	Altitud (msnm)	
1	Huancané	Pte.Huancané	HUAN	Puno	Huancané	Huancané	15°12'57.1"	69°47'33.37"	3814.0	Senamhi Puno
2	Suches	Pte.Escoma	SUCH	La Paz	Camacho	-	15°39'33"	69°08'00"	3817.0	Senamhi Bolivia
3	Ramis	Pte.Ramis	RAMI	Puno	Huancané	Taraco	15°15'15"	69°52'52"	3813.0	Senamhi Puno

2.6.2.2 Información meteorológica

La información meteorológica, consistente en precipitación (total mensual y máxima en 24 horas), temperatura (media, máxima y mínima), humedad relativa, evaporación, horas de sol y viento (velocidad y dirección); se ha recopilado de las estaciones correspondientes a las cuencas Huancané, Suches y de las estaciones vecinas a éstas.

En el siguiente cuadro, se muestran las características generales de las estaciones meteorológicas consideradas en el presente estudio.

Cuadro N° 2.2 Estaciones meteorológicas de las cuencas Huancané, Suches y cuencas vecinas

N°	Estación	Tipo	Código	Ubicación Política			Ubicación Geográfica			Cuenca	Propiedad
				Dpto.	Provincia	Distrito	Latitud Sur	Longitud Oeste	Altitud (msnm)		
1	Huancané	CO	000786	Puno	Huancané	Huancané	69°45'29.7"	15°12'24.8"	3840.0	Huancané	Senamhi-Puno
2	Putina	CO	157414	Puno	San Antonio de Putina	Putina	69°52'25.7"	14°55'16.9"	3856.0	Huancané	Senamhi-Puno
3	Muñani	CO	000785	Puno	Azángaro	Muñani	69°57'6.07"	14°45'42.02"	3948.0	Huancané	Senamhi-Puno
4	Huaraya Moho	CO	000787	Puno	Moho	Moho	69°29'2.23"	15°23'17.14"	3832.0	Titicaca	Senamhi-Puno
5	Cojata	CO	000827	Puno	Huancané	Cojata	69°21'40.5"	15°00'42.4"	4327.0	Suches	Senamhi-Puno
6	Suches	PLU	SUC	La Paz	F.Tamayo	-	69°19'07.0"	14°47'27.0"	4655.0	Suches	Senamhi-Bolivia
7	Ananea	CO	000826	Puno	San Antonio de Putina	Ananea	69°32'4.30"	14°40'43.4"	4640.0	Azángaro	Senamhi-Puno
8	Crucero	CO	007415	Puno	Carabaya	Crucero	70°01'24.7"	14°21'44.4"	4130.0	Azángaro	Senamhi-Puno
9	Progreso	CO	000778	Puno	Azángaro	Asillo	70°21'55.0"	14°40'37.4"	3940.0	Azángaro	Senamhi-Puno
10	Azángaro	CO	000781	Puno	Azángaro	Azángaro	70°11'27.1"	14°54'52.2"	3848.0	Azángaro	Senamhi-Puno
11	Arapa	CO	000783	Puno	Azángaro	Arapa	70°07'10.6"	15°09'14.1"	3830.0	Titicaca	Senamhi-Puno
12	Taraco	CO	000816	Puno	Huancané	Taraco	69°58'20.9"	15°18'42.0"	3820.0	Ramis	Senamhi-Puno
13	Conima	C	157420	Puno	Moho	Conima	69°26'00"	15°27'00"	3860.0	Titicaca	Senamhi-Puno
14	Puerto Acosta	C	PUA	La Paz	Camacho	-	69°15'8.32"	15°32'30.66"	3835.0	Titicaca	Senamhi-Bolivia
15	Escoma	PLU	ESC	La Paz	Camacho	-	69°08'00"	15°40'00"	3828.0	Suches	Senamhi-Bolivia
16	Chahuaya	PLU	CHA	La Paz	Camacho	-	68°59'00"	15°45'00"	4500.0	Titicaca	Senamhi-Bolivia

Según el Cuadro N° 2.2, tres (03) estaciones corresponden a la cuenca Huancané, dos (02) estaciones a la cuenca Suches y siete (07) estaciones meteorológicas se ubican en las cuencas vecinas.

CAPÍTULO III

DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA CUENCA

3.1 UBICACIÓN DE LA CUENCA

3.1.1 Ubicación geográfica

La cuenca Huancané se encuentra ubicada en coordenadas UTM (WGS84):

Este : 376030 - 468557
 Norte : 8301965 - 8397410
 Altitud: 3,806 - 5,100 msnm

La cuenca Suches se encuentra ubicada en coordenadas UTM (WGS84):

Este : 439048 - 487155
 Norte : 8311924 - 8384770
 Altitud: 4,250 - 5,829 msnm

3.1.2 Ubicación hidrográfica

Las cuencas Huancané y Suches, hidrográficamente se encuentran ubicadas en:

Región Hidrográficas : Titicaca
 Sistema Hídrico : TDPS

3.1.3 Ubicación política

Las cuencas Huancané y Suches, políticamente se encuentran ubicadas en:

Cuenca Huancané

Región : Puno
 Provincia : Huancané, Moho, San Antonio de Putina y Azángaro.
 Distrito : Huancané, Moho, Huayrapata, Rosaspata, Vilque Chico, Cojata, Inchupalla, Huatasani, Pedro Vilca Apaza, Quilcapuncu, Putina, Muñani, Ananea y Potoni.
 Localidad : Varios

Cuenca Suches (transfronteriza)

Lado Perú

Región : Puno
 Provincia : Huancané y San Antonio de Putina.
 Distrito : Cojata, Ananea, Quilcapuncu e Inchupalla.
 Localidad : Varios

Lado Bolivia

Departamento : La Paz
 Provincia : Franz Tamayo, Camacho y Saavedra.
 Localidad : Varios

Cuadro N° 3.1 Distribución distrital en la cuenca del río Huancané

N°	Departamento	Provincia	Distrito	Área	
				(km ²)	(%)
1	Puno	San Antonio de Putina	Ananea	98.05	2.70
2	Puno	Huancané	Cojata	199.82	5.50
3	Puno	Huancané	Huancané	284.43	7.83
4	Puno	Huancané	Huatasani	106.13	2.92
5	Puno	Moho	Huayrapata	23.36	0.64
6	Puno	Huancané	Inchupalla	295.64	8.14
7	Puno	Moho	Moho	126.39	3.48
8	Puno	Azángaro	Muñani	618.93	17.04
9	Puno	San Antonio de Putina	Pedro Vilca Apaza	130.44	3.59
10	Puno	Azángaro	Potoni	1.47	0.04
11	Puno	San Antonio de Putina	Putina	578.13	15.92
12	Puno	San Antonio de Putina	Quilcapuncu	447.74	12.33
13	Puno	Huancané	Rosaspata	279.07	7.69
14	Puno	Huancané	Vilque Chico	441.59	12.16
Total				3631.19	100.00

Cuadro N° 3.2 Distribución distrital en la cuenca del río Suches

N°	Departamento	Provincia	Distrito	Área	
				(km ²)	(%)
1	Puno	San Antonio de Putina	Ananea	417.44	35.96
2	Puno	Huancané	Cojata	674.67	58.12
3	Puno	Huancané	Inchupalla	1.07	0.09
4	Puno	San Antonio de Putina	Quilcapuncu	67.57	5.82
Total				1160.75	100.00

3.1.4 Ubicación administrativa

Las cuencas de los ríos Huancané y Suches se enmarca dentro del ámbito jurisdiccional de la Administración Local de Agua Huancané, cuya dependencia técnica, funcional y administrativa es de la Autoridad Nacional del Agua (ANA), con sede en la ciudad de Lima. La ANA, como ente rector y máxima autoridad técnico-normativa del Sistema Nacional de Gestión de los Recursos Hídricos, está adscrito en el Ministerio de Agricultura. La sede administrativa se encuentra ubicado en la ciudad de Huancané, del distrito y provincia de Huancané en la región Puno.

3.1.5 Límites hidrográficos

Las cuencas Huancané y Suches, limitan con las siguientes cuencas hidrográficas:

Cuenca Huancané

- Este : Cuencas río Suches y río Huaycho.
- Oeste : Cuenca río Azángaro e intercuenca Ramis.
- Norte : Cuenca río Azángaro.
- Sur : Zona circunlacustre del lago Titicaca.

Cuenca Suches(Perú)

- Este : Cuenca río Suches (lado Bolivia).
- Oeste : Cuenca río Azángaro y Huancané.
- Norte : Cuenca río Inambari.
- Sur : Cuenca río Suches (lado Bolivia) y subcuenca río Huaycho.

A continuación se muestran los Mapas N° 3.1 al 3.6 correspondientes a la ubicación geográfica, hidrográfica y política de las cuencas Huancané y Suches.

3.2 ACCESIBILIDAD - VÍAS DE COMUNICACIÓN

La ciudad de Huancané es el centro urbano más relevante en las cuencas Huancané y Suches, prácticamente las vías de acceso en una unidad móvil desde la ciudad de Huancané hacia a cualquier lugar de las cuencas es accesible.

Los principales ejes de vías de acceso a la cuenca del río Huancané, desde la ciudad de Puno, es la siguiente:

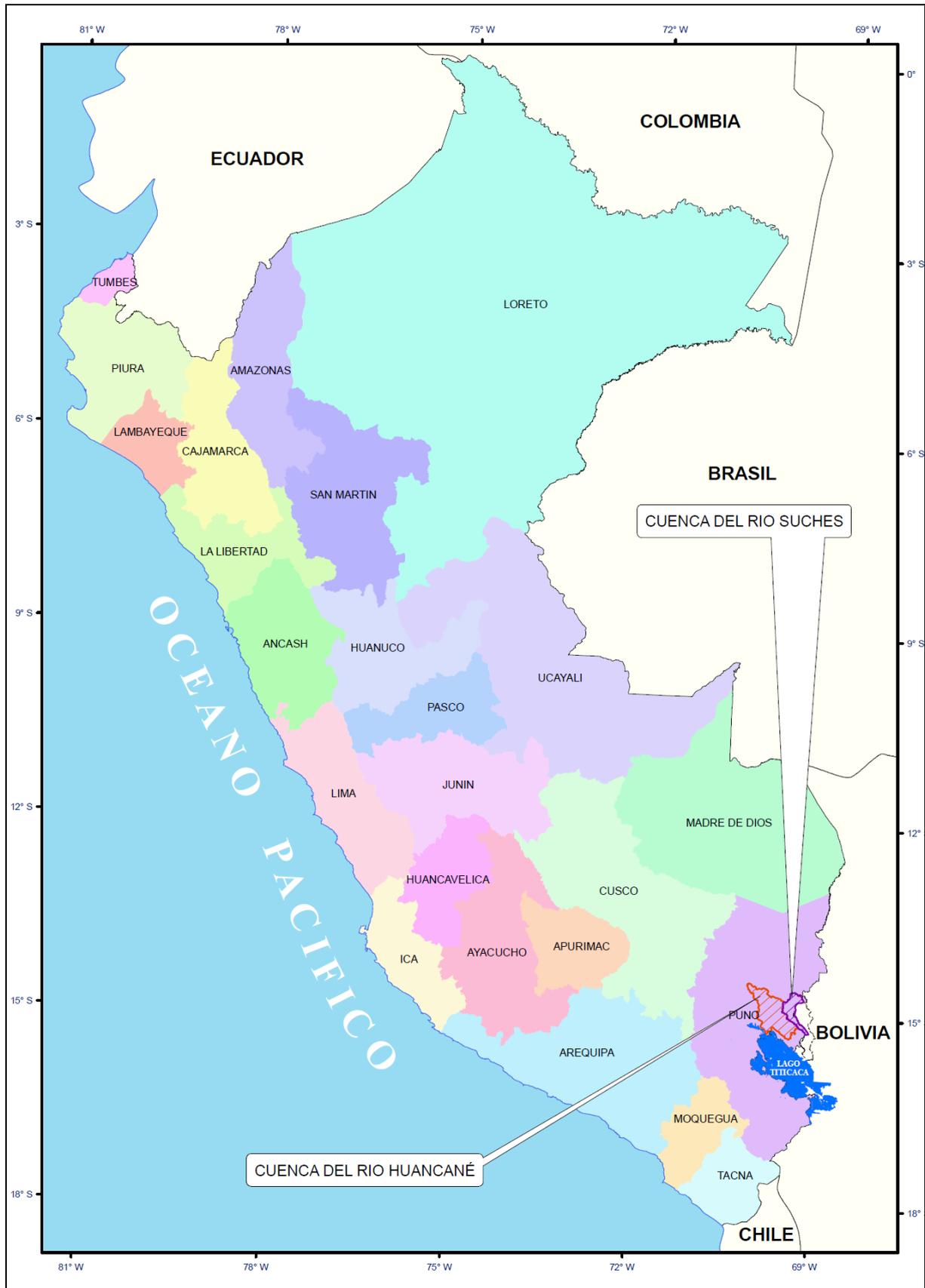
- 1) Puno-Paucarcolla-Caracoto-Juliaca-Caminaca-Samán-Taraco-Huancané-Vilque Chico-Rosaspata.
- 2) Puno-Paucarcolla-Caracoto-Juliaca-Caminaca-Samán-Taraco-Huancané-Ayrampuni.
- 3) Puno-Paucarcolla-Caracoto-Juliaca-Caminaca-Samán-Taraco-Huancané-Huatasani-Inchupalla-Quilacapuncu.
- 4) Puno-Paucarcolla-Caracoto-Juliaca-Caminaca-Samán-Taraco-Huancané-Huatasani-Putina-Muñani.

Los principales ejes de vías de acceso a la cuenca del río Suches, desde la ciudad de Puno, es la siguiente:

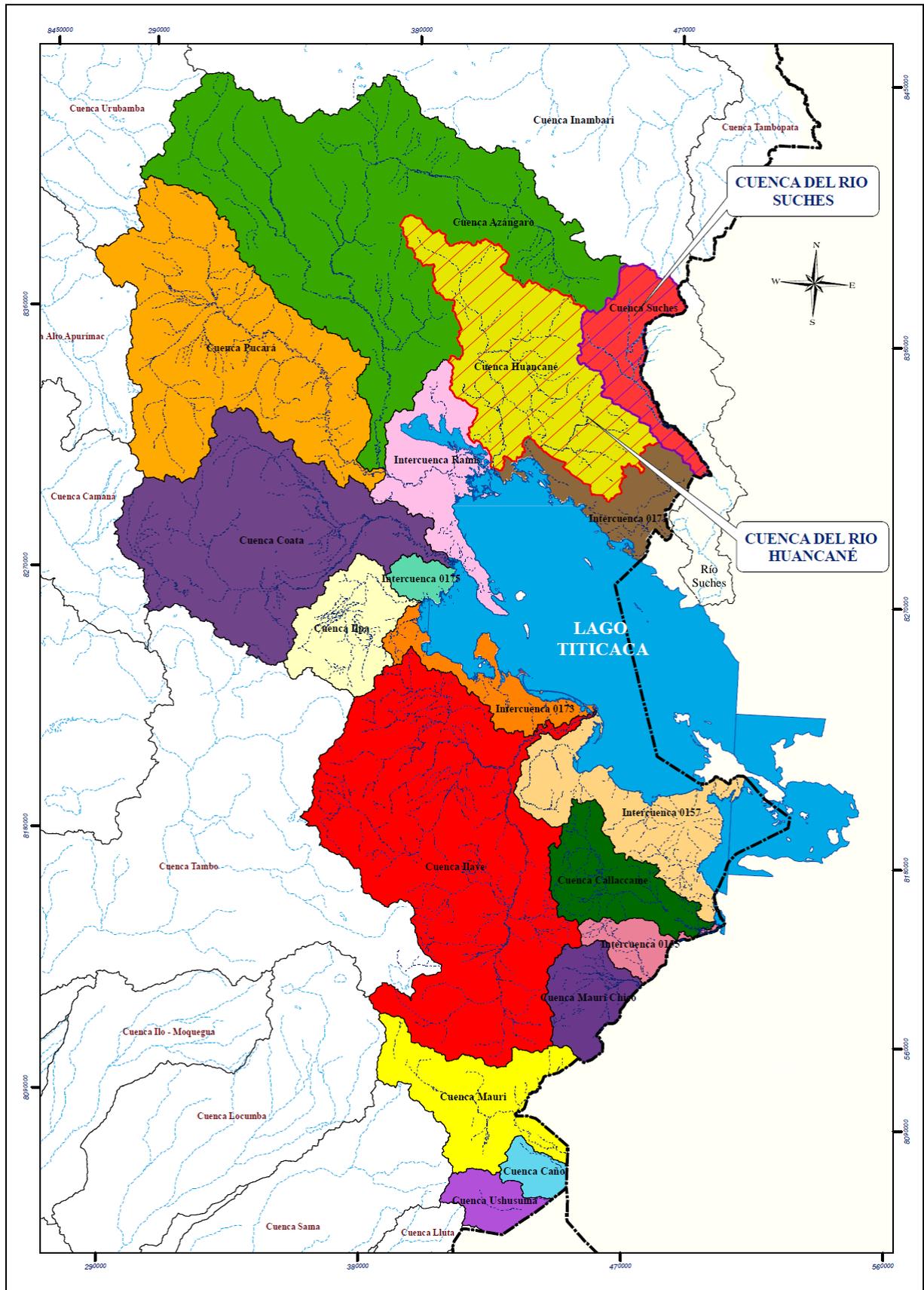
- 1) Puno-Paucarcolla-Caracoto-Juliaca-Caminaca-Samán-Taraco-Huancané-Vilque Chico-Cojata-Trapiche.
- 2) Puno-Paucarcolla-Caracoto-Juliaca-Calapuja-Azángaro-Progreso-San Antón-Crucero-Ananea-Trapiche-Cojata.

La distancia entre ciudades de las vías de acceso a las cuencas Huancané y Suches, se muestran en los Cuadros N° 3.3 y 3.4.

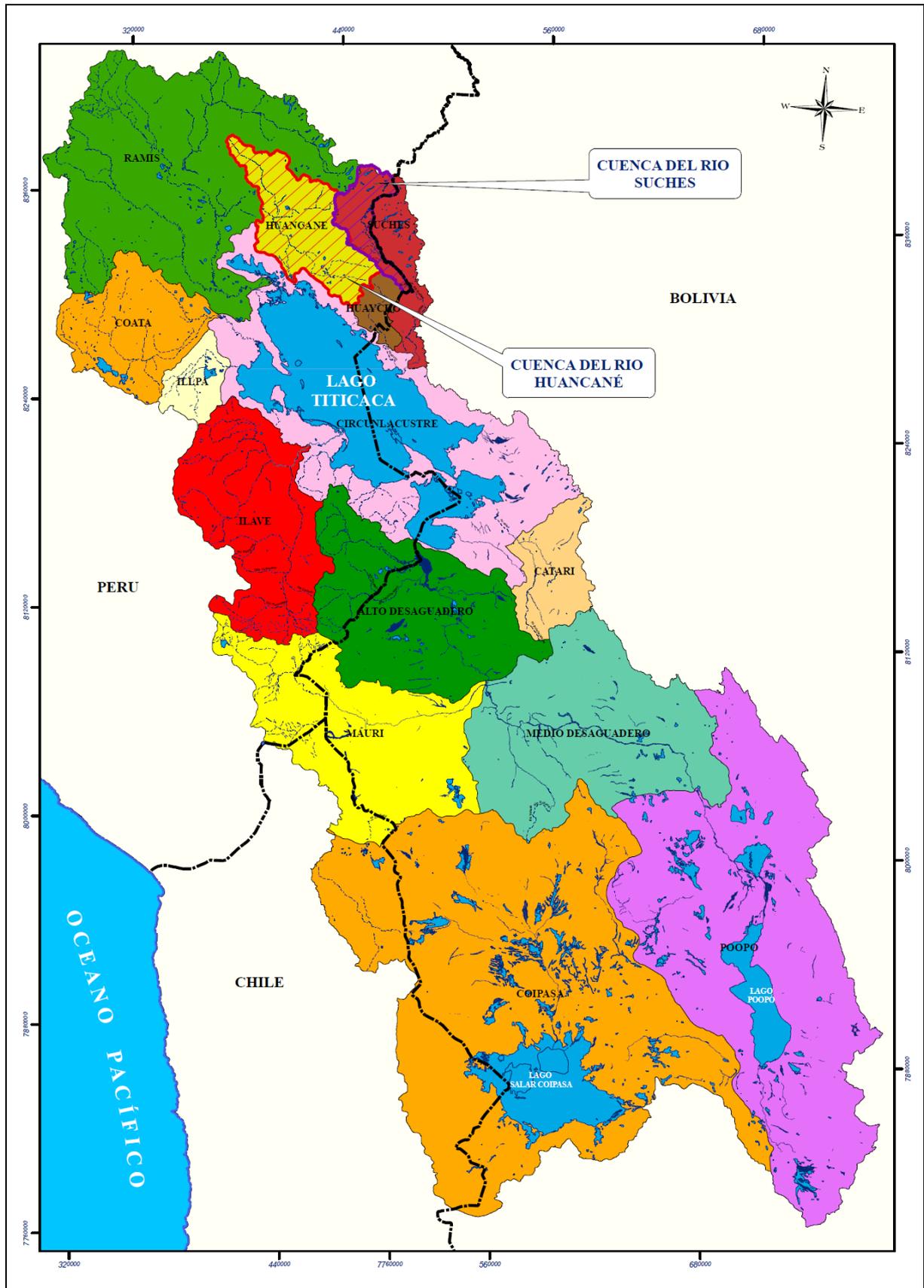
Mapa N° 3.1 Ubicación geográfica de las cuencas Huancané y Suches



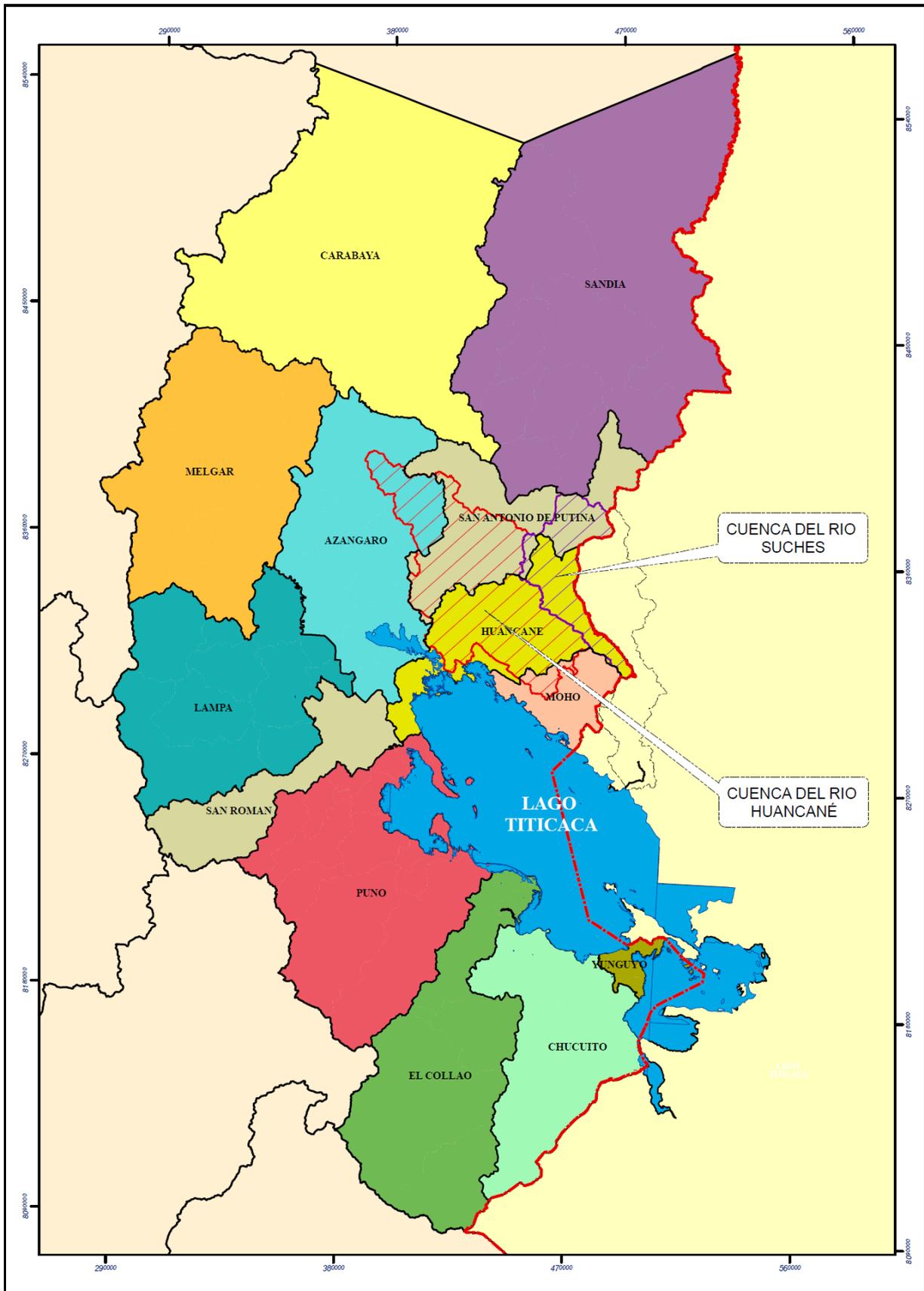
Mapa N° 3.2 Ubicación hidrográfica de las cuencas Huancané y Suches en la vertiente del Titicaca



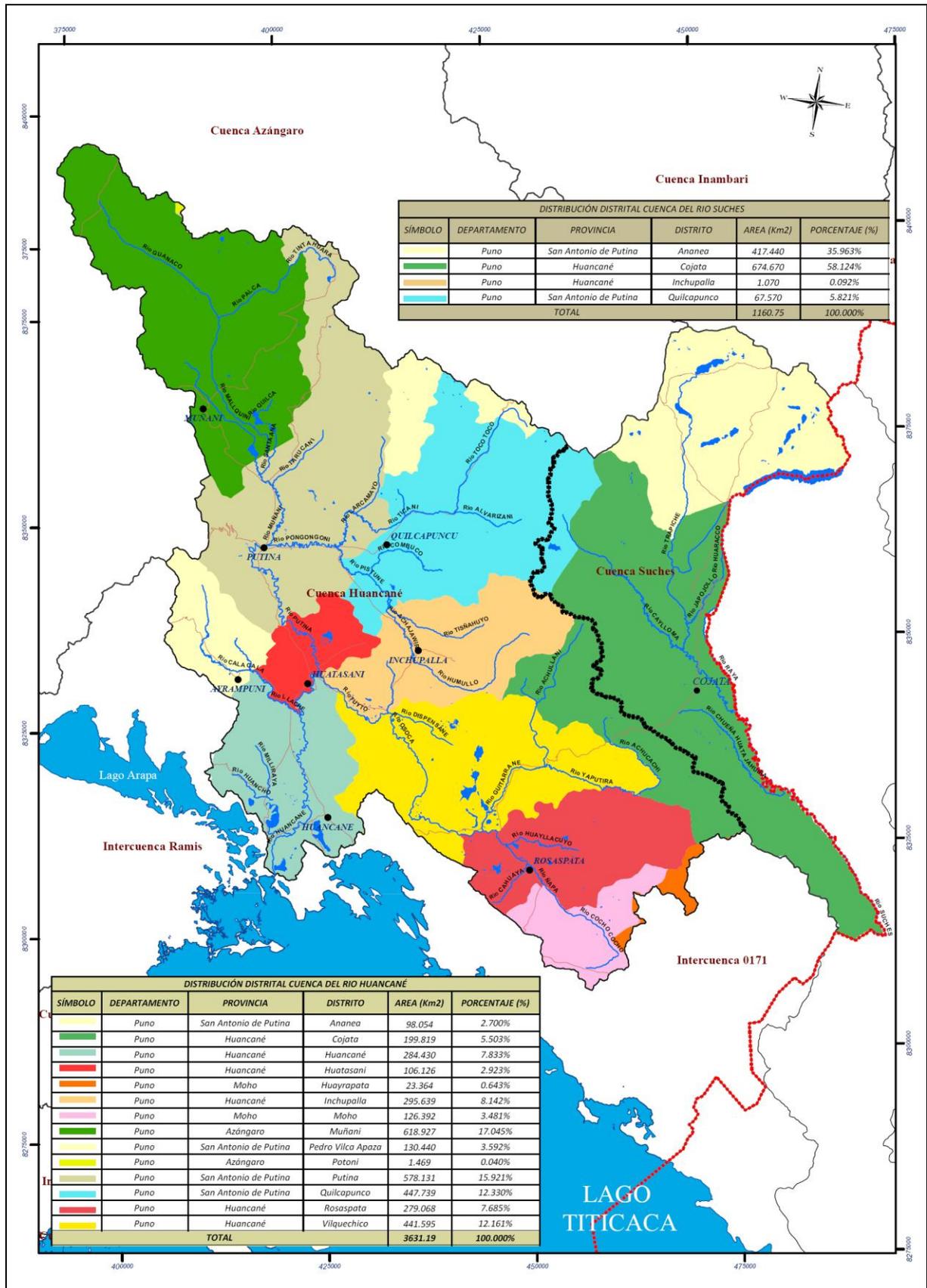
Mapa N° 3.3 Ubicación hidrográfica de las cuencas Huancané y Suches en el Sistema Hídrico TDPS



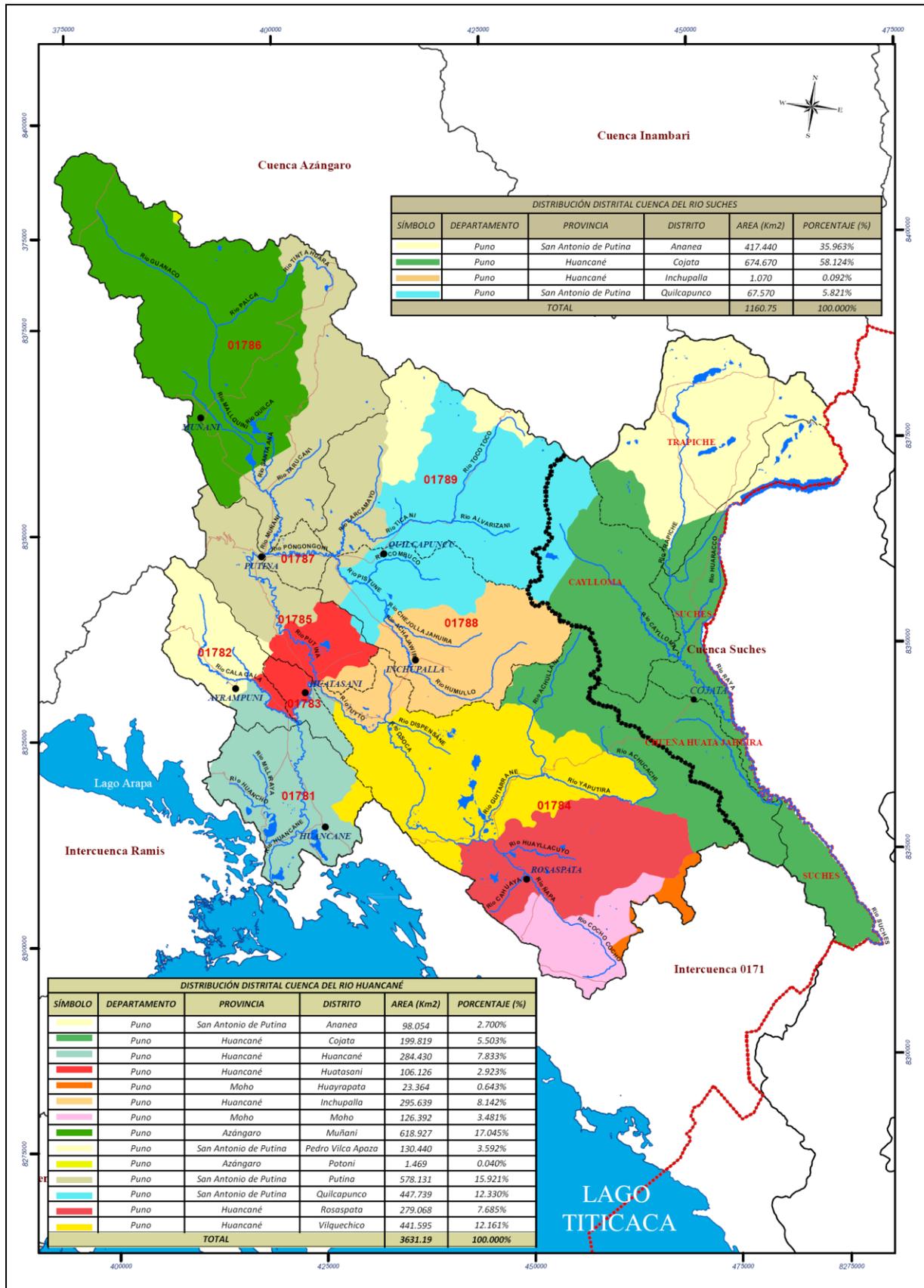
Mapa N° 3.4 Ubicación política de las cuencas Huancané y Suches



Mapa N° 3.5 Distribución Distrital de las cuencas Huancané y Suches



Mapa N° 3.6 Distribución Distrital de las cuencas Huancané y Suches (UH nivel 5)



Cuadro N° 3.3 Distancia de las vías de acceso en la cuenca del río Huancané

Primera Ruta			Segunda Ruta			Tercera Ruta			Cuarta Ruta		
Tramo	Dist.(km)	Tipo Vía	Tramo	Dist.(km)	Tipo Vía	Tramo	Dist.(km)	Tipo Vía	Tramo	Dist.(km)	Tipo Vía
Puno-Paucarcolla	13.82	Asfaltada	Puno-Paucarcolla	13.82	Asfaltada	Puno-Paucarcolla	13.82	Asfaltada	Puno-Paucarcolla	13.82	Asfaltada
Paucarcolla-Caracoto	20.45	Asfaltada	Paucarcolla-Caracoto	20.45	Asfaltada	Paucarcolla-Caracoto	20.45	Asfaltada	Paucarcolla-Caracoto	20.45	Asfaltada
Caracoto-Juliaca	9.10	Asfaltada	Caracoto-Juliaca	9.10	Asfaltada	Caracoto-Juliaca	9.10	Asfaltada	Caracoto-Juliaca	9.10	Asfaltada
Juliaca- Caminaca	20.92	Asfaltada	Juliaca- Caminaca	20.92	Asfaltada	Juliaca- Caminaca	20.92	Asfaltada	Juliaca- Caminaca	20.92	Asfaltada
Caminaca-Saman	10.26	Asfaltada	Caminaca-Saman	10.26	Asfaltada	Caminaca-Saman	10.26	Asfaltada	Caminaca-Saman	10.26	Asfaltada
Saman-Taraco	5.16	Asfaltada	Saman-Taraco	5.16	Asfaltada	Saman-Taraco	5.16	Asfaltada	Saman-Taraco	5.16	Asfaltada
Taraco-Huancane	26.85	Asfaltada	Taraco-Huancane	26.85	Asfaltada	Taraco-Huancane	26.85	Asfaltada	Taraco-Huancane	26.85	Asfaltada
Huancane-Vilquechico	11.34	Asfaltada	Huancane-Ayrumponi	23.92	Trocha	Huancane-Huatasani	17.91	Asfaltada	Huancane-Huatasani	17.91	Asfaltada
Vilquechico-Rosaspata	27.20	Trocha	-	-	-	Huatasani-Inchupalla	21.86	Trocha	Huatasani-Putina	19.21	Asfaltada
-	-	-	-	-	-	Inchupalla-Quicapunco	24.26	Trocha	Putina-Muñani	22.88	Trocha
Total	145.10		Total	130.48		Total	170.59		Total	166.56	

Cuadro N° 3.4 Distancia de las vías de acceso en la cuenca del río Suches (Perú)

Primera Ruta			Segunda Ruta		
Tramo	Dist.(km)	Tipo Vía	Tramo	Dist.(km)	Tipo Vía
Puno-Paucarcolla	13.82	Asfaltada	Puno-Paucarcolla	13.82	Asfaltada
Paucarcolla-Caracoto	20.45	Asfaltada	Paucarcolla-Caracoto	20.45	Asfaltada
Caracoto-Juliaca	9.10	Asfaltada	Caracoto-Juliaca	9.10	Asfaltada
Juliaca- Caminaca	20.92	Asfaltada	Juliaca- Calapuja	24.33	Asfaltada
Caminaca-Saman	10.26	Asfaltada	Calapuja-Azangaro	46.8	Asfaltada
Saman-Taraco	5.16	Asfaltada	Azangaro-Progreso	35.96	Asfaltada
Taraco-Huancane	26.85	Asfaltada	Progreso-San anton	16.35	Trocha
Huancane-Vilquechico	11.34	Asfaltada	San anron-Crucero	62.75	Trocha
Vilquechico-Cojata	52.15	Trocha	Crucero-Ananea	73.93	Trocha
Cojata-Trapiche	36.41	Trocha	Ananea-Trapiche	19.90	Trocha
-	-	-	Trapiche-Cojata	36.41	Trocha
Total	206.46		Total	359.80	

3.3 ASPECTO SOCIO-ECONÓMICO

3.3.1 Población - Demografía

En el Cuadro N° 3.5, se presenta la población total de los distritos involucrados en el ámbito del área de las cuencas Huancané y Suches, según los resultados del XI Censo Nacional de Población efectuada en el año 2007.

La población total involucrada en las cuencas Huancané y Suches es de 132,737 habitantes (66,904 hombres y 65,833 mujeres). En el Cuadro N° 3.5 se muestra la población, área y densidad de la población por distritos.

3.3.2 Caracterización socio-económica

A) Actividad agrícola

Una de las actividades más importantes en la cuenca del río Huancané es la agricultura; en la parte baja, media y alta de la cuenca, la campaña agrícola son de riego y régimen seco que generalmente depende por las precipitaciones pluviales. En cambio, en la cuenca del río Suches, el uso de agua en riego de pastos naturales se focalizan en la parte baja, media y alta de la cuenca. Los factores que afectan generalmente a los cultivos en las cuencas de estudio, son las ocurrencias de las inclemencias del clima (heladas y sequías).

Cuadro N° 3.5 Población total en las cuencas Huancané y Suches

N°	Distrito	Población			Área (km ²)	Densidad poblacional (hab/km ²)
		Hombres	Mujeres	Total		
1	Huancané	10,179	10,923	21,102	381.62	55.3
2	Moho	8,369	8,673	17,042	494.36	34.5
3	Huayrapata	2,092	2,062	4,154	388.35	10.7
4	Rosaspata	2,808	2,829	5,637	301.47	18.7
5	Vilque Chico	4,463	5,051	9,514	499.38	19.1
6	Cojata	2,150	2,204	4,354	881.18	4.9
7	Inchupalla	1,736	1,850	3,586	289.03	12.4
8	Huatasani	2,052	2,104	4,156	106.73	38.9
9	Pedro Vilca Apaza	1,252	1,271	2,523	565.81	4.5
10	Quilcapuncu	2,585	2,546	5,131	516.66	9.9
11	Putina	10,447	10,345	20,792	1,021.92	20.3
12	Muñani	3,714	3,868	7,582	764.49	9.9
13	Ananea	11,769	8,803	20,572	939.56	21.9
14	Potoni	3,288	3,304	6,592	602.95	10.9
Total		66,904	65,833	132,737	-	-

Fuente: Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) - Censo Nacional: XI de Población y VI de Vivienda, 2007.

Los cultivos principales, son: Papa, Cebada (grano y forrajera), Avena (grano y forrajera), Habas, Quinoa, Cañihua, Trigo, Olluco, Oca, Alfalfa, Pastos Cultivados y otros. La mayor parte de los cultivos son para consumo humano y subsistencia de los mismos y un mínimo porcentaje lo llevan al mercado para la venta o intercambio de alimentos.

B) Actividad Pecuaria

La ganadería es otra actividad principal en las cuencas Huancané y Suches, porque constituye fuente de ocupación e ingreso para el productor rural, representado por varias especies en menor cantidad en ganado ovino, porcino y otros, y en mayor cantidad ganado vacuno y los camélidos sudamericanos.

En cuanto se refiere a camélidos, dentro de la cuenca Huancané, en la subcuenca Llache parte alta existe la crianza y domesticación de vicuñas, que está encargado por el Centro Multicomunal Cala Cala, que es el patrimonio cultural del Perú.

La existencia de pastos naturales, cultivos de forrajes y pastos cultivados favorecen la crianza del ganado, siendo los vacunos de doble propósito (carne y leche), los ovinos para carne, porcinos (carne) y en cuanto a los camélidos (fibra).

En las cuencas Huancané y Suches, la problemática del productor andino es la escases de alimentos para los ganados en épocas de estiaje, (abril a noviembre), esto hace que los productores se dediquen a la siembra de forraje en la época de lluvia, para almacenar y alimentarlos en la época de estiaje.

3.4 DELIMITACIÓN HIDROGRÁFICA DE LA CUENCA

Para la delimitación de las unidades hidrográficas de las cuencas Huancané y Suches, se ha empleado la metodología de Pfafstetter.

El **Sistema de Codificación Pfafstetter** fue desarrollado por Otto Pfafstetter en 1989, difundido a partir de 1997 por Verdin y adoptado a partir de entonces por la United State Geological Survey (USGS - Servicio Geológico de los Estados Unidos), como estándar internacional.

Es una metodología para asignar Identificadores **Ids** a unidades de drenaje basado en la topología de la superficie del terreno; dicho de otro modo asigna Ids a una cuenca para relacionarla con sus cuencas vecinas, locales o internas.

El proceso de codificación consiste en subdividir una cuenca hidrográfica, cualquiera que sea su tamaño, identificando y delimitando los cuatro mayores afluentes del río principal, en función del área que comprenden sus respectivas unidades hidrográficas. Las cuencas correspondientes a esos tributarios son enumeradas o codificadas con los dígitos pares **2, 4, 6 y 8**, en el sentido de aguas abajo hacia aguas arriba es decir desde la desembocadura hacia la naciente del río principal. Los otros tributarios del río principal son agrupados en las áreas restantes, denominadas intercuenas, que se codifican, en el mismo sentido, con los dígitos impares **1, 3, 5, 7 y 9**.

Tabla 3.1 Unidades hidrográficas y rangos

Unidad hidrográfica	Área (km ²)	Nº de orden del río
Microcuenca (pequeña)	10 - 100	1º, 2º ó 3º
Subcuenca (mediana)	100 - 700	4º ó 5º
Cuenca (grande)	700 - 6000	6º a más

Fuente: DSMC-DGASI / Lima, 1983 – Metodología de Priorización de Cuencas.

3.4.1 Descripción de la cuenca

MEJIA M. A. (2001), Las características físicas y funcionales de una cuenca hidrográfica pueden ser definidas como los diversos factores que determinan la naturaleza de la descarga de un curso de agua. Según VIESSMAN, HARBAUGH, KNAPP (1977), la cuenca hidrográfica es toda el área drenada por un curso de agua o por un sistema de cursos de agua, cuyas aguas concurren a un punto de salida, en otras palabras se puede decir que cuenca de drenaje, es el área que contribuye a la escorrentía y que proporciona todo o parte del flujo del cauce principal y sus tributarios.

La denominación de las unidades hidrográficas circunscritas en el área de las cuencas Huancané y Suches se ha realizado en función de su extensión y nombre de sus cursos de agua finales o ríos; estableciéndose en base a una relación entre unidades hidrográficas y rangos (ver Tabla Nº 3.1) aplicando la metodología de Pfafstetter. La cuenca Huancané está conformado por nueve (9) unidades hidrográficas y la cuenca Suches (Perú) por cuatro (4) subcuencas. Para la delimitación de unidades hidrográficas en la cuenca Suches, no se ha aplicado la metodología de Pfafstetter, debido a la falta de información cartográfica de

la cuenca correspondiente a la república de Bolivia. Ver Cuadro N° 3.6 y 3.7. En el Mapa N° 3.8 y 3.10 se presenta la delimitación de las subcuencas.

A. Cuenca del río Huancané

La superficie total de la cuenca del río Huancané es de 3631.19 km². Sus características físicas principales que son materia de estudio, es la siguiente.

Perímetro de la cuenca	:	421.97 km
Longitud del río principal	:	142.05 km
Cota máxima de la cuenca	:	5100.00 msnm
Cota mínima de la cuenca	:	3806.00 msnm
Pendiente media de la cuenca	:	0.0067 m/m
Pendiente media del río principal	:	0.0070 m/m

La delimitación de la cuenca del río Huancané, toma como referencia la desembocadura donde entrega sus aguas al lago Titicaca. Ver Mapa N° 3.7.

El curso principal de la cuenca del río Huancané, nace desde el río Toco Toco-río Ticani-río Puncune-río Pongongoni-río Putina-río Huancané, hasta la desembocadura al lago Titicaca. Cuya longitud del cauce principal es de 142.05 km y tiene una pendiente media de 0.70%.

La cuenca del río Huancané está conformado por nueve (9) subcuencas de nivel cinco (5): Alto Huancané (río Puncune), Pistune (río Pistune), Muñani (río Muñani), Tuyto (río Tuyto), Llache (río Llache), Medio Alto Huancané (río Pongongoni), Medio Huancané (río Putina), Medio Bajo Huancané (tramo río Huancané) y Bajo Huancané (tramo río Huancané). Las cinco (5) primeras subcuencas tienen un aporte efectivo de caudal, las cuatro (4) últimas están definidas como intercuencas al recibir el aporte de agua de las subcuencas anteriores. Ver Mapa N° 3.8.

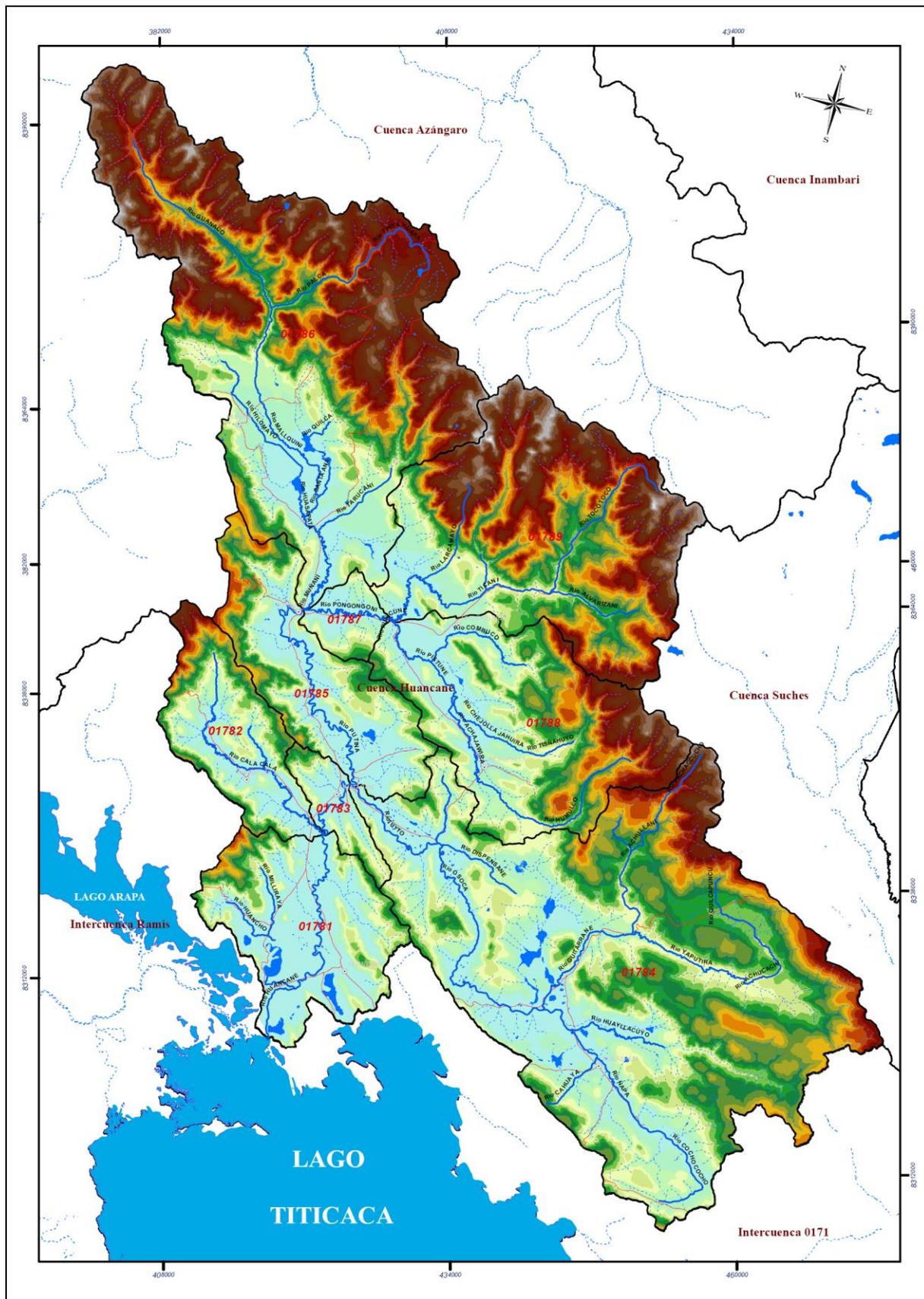
A continuación se describe cada una de las subcuencas de nivel cinco (5) correspondientes a la cuenca del río Huancané.

a.1 Subcuenca Bajo Huancané (UH 01781)

Políticamente la subcuenca se encuentra ubicada en los distritos de Huancané y Vilque Chico, provincia de Huancané, en el departamento de Puno. Hidrográficamente se localiza en la parte baja de la cuenca del río Huancané; por sus características hidrográficas es una intercuenca, que recibe el aporte de agua de los ríos afluentes. La subcuenca Bajo Huancané abarca una superficie de 246.41 km² y representa el 6.79% de la cuenca del río Huancané (3631.19 km²). El curso principal es el tramo río Huancané y cuya longitud es de 29.99 km, desde la confluencia con el río Llache hasta su desembocadura al lago Titicaca.

El cauce del tramo río Huancané presenta una pendiente media de 0.01%. El cauce en su recorrido presenta formas meándricas a consecuencia de la baja pendiente del río. Las vías de acceso en esta subcuenca son ejes viales principales y secundarios que comunica el distrito de Huatasani y centros poblados del entorno con la ciudad de Huancané.

Mapa N° 3.7 Cuenca hidrográfica del río Huancané



a.2 Subcuenca Llache (UH 01782)

Políticamente la subcuenca se encuentra ubicada en los distritos de Pedro Vilca Apaza y Huatasani, provincias de San Antonio de Putina y Huancané, en el departamento de Puno. Hidrográficamente se localiza en la parte media baja de la cuenca del río Huancané; por sus características hidrográficas es uno de los tributarios que aporta sus aguas en forma directa a la cuenca Huancané; teniendo el principal afluente el río Pichacane por la margen izquierda. La subcuenca Llache abarca una superficie de 161.93 km² y representa el 4.46% de la cuenca del río Huancané (3631.19 km²). El curso principal nace de la quebrada Juti Jutini - río Calacalario Llacho - río Cala Cala - río Llache y cuya longitud es de 40.42 km, desde la naciente del cauce principal quebrada Juti Jutini hasta la desembocadura al río Huancané.

El cauce del río Llache presenta una pendiente media de 2.04%. El cauce en la parte media y baja de su recorrido presenta formas meándricas a consecuencia de la baja pendiente del río. Las vías de acceso en esta subcuenca son ejes viales principales y secundarios que comunica los distritos de Huatasani y Pedro Vilca Apaza, y centros poblados del entorno con la ciudad de Huancané.

a.3 Subcuenca Medio Bajo Huancané (UH 01783)

Políticamente la subcuenca se encuentra ubicada en los distritos de Huatasani y Huancané, provincia de Huancané, en el departamento de Puno. Hidrográficamente se localiza en la parte media baja de la cuenca del río Huancané; por sus características hidrográficas es una intercuenca, que recibe el aporte de agua de los ríos afluentes. La subcuenca Medio Bajo Huancané abarca una superficie de 47.94 km² y representa el 1.32% de la cuenca del río Huancané (3631.19 km²). El curso principal es el tramo río Huancané y cuya longitud es de 11.09 km, desde la confluencia de los ríos Putina y Tuyto hasta la confluencia con el río Llache.

El cauce del tramo río Huancané presenta una pendiente media de 0.07%. El cauce en su recorrido presenta formas meándricas a consecuencia de la baja pendiente del río. Las vías de acceso en esta subcuenca son ejes viales principales y secundarios que comunica el distrito de Huatasani y centros poblados del entorno con la ciudad de Huancané.

a.4 Subcuenca Tuyto (UH 01784)

Políticamente la subcuenca se encuentra ubicada en los distritos de Huancané, Inchupalla, Vilque Chico, Rosaspata, Moho, Huayrapata y Cojata; provincias de Huancané y Moho, en el departamento de Puno. Hidrográficamente se localiza en la parte media baja de la cuenca del río Huancané; por sus características hidrográficas es uno de los tributarios principales que aporta sus aguas en forma directa a la cuenca Huancané; teniendo los principales afluentes los ríos Halla y Huayllacuyo por la margen izquierda, los ríos Camsane, Despansane y Pacchacuyo por la margen derecha. La subcuenca Tuyto abarca una superficie de 1107.11 km² y representa el 30.49% de la cuenca del río Huancané (3631.19 km²). El curso principal nace del río Chilluparje - río Achucachi - río Yaputira - río Guitarrane - río Quellocarca - río Osoca - río Tuyto y cuya longitud es de 94.17 km, desde la naciente del cauce principal hasta la confluencia con el río Putina.

El cauce del río Tuyto presenta una pendiente media de 0.49%. El cauce en la parte media y baja de su recorrido presenta formas meándricas a consecuencia de la baja pendiente del río. Las vías de acceso en esta subcuenca son ejes viales principales y secundarios que comunican los distritos de Huatasani, Vilque Chico, Rosaspata, Moho y Cojata, y centros poblados del entorno con la ciudad de Huancané.

a.5 Subcuenca Medio Huancané (UH 01785)

Políticamente la subcuenca se encuentra ubicada en los distritos de Huatasani, Inchupalla, Putina y Quilcapuncu, provincias de Huancané y San Antonio de Putina, en el departamento de Puno. Hidrográficamente se localiza en la parte media de la cuenca del río Huancané; por sus características hidrográficas es una intercuenca, que recibe el aporte de agua de los ríos afluentes. La subcuenca Medio Huancané abarca una superficie de 231.07 km² y representa el 6.36% de la cuenca del río Huancané (3631.19 km²). El curso principal es el río Putina y cuya longitud es de 36.46 km, desde la confluencia de los ríos Pongongoni y Muñani hasta la confluencia con el río Tuyto.

El cauce del río Putina presenta una pendiente media de 0.04%. El cauce en su recorrido presenta formas meándricas a consecuencia de la baja pendiente del río. Las vías de acceso en esta subcuenca son ejes viales principales y secundarios que comunican los distritos de Huatasani y Putina, y centros poblados del entorno con la ciudad de Huancané.

a.6 Subcuenca Muñani (UH 01786)

Políticamente la subcuenca se encuentra ubicada en los distritos de Putina, Muñani y Potoni; provincias de San Antonio de Putina y Azángaro, en el departamento de Puno. Hidrográficamente se localiza en la parte alta de la cuenca del río Huancané; por sus características hidrográficas es uno de los tributarios principales que aporta sus aguas en forma directa a la cuenca Huancané; teniendo los principales afluentes los ríos Palca y Tarucani por la margen izquierda. La subcuenca Muñani abarca una superficie de 889.44 km² y representa el 24.49% de la cuenca del río Huancané (3631.19 km²). El curso principal nace del río Huancollo - río Guanaco - río Mallquini - río Muñani y cuya longitud es de 71.58 km, desde la naciente del cauce principal hasta la confluencia con el río Pongongoni.

El cauce del río Muñani presenta una pendiente media de 1.26%. El cauce en la parte baja de su recorrido presenta formas meándricas a consecuencia de la baja pendiente del río. Las vías de acceso en esta subcuenca son ejes viales principales y secundarios que comunican los distritos de Huatasani, Putina y Muñani, y centros poblados del entorno con la ciudad de Huancané.

a.7 Subcuenca Medio Alto Huancané (UH 01787)

Políticamente la subcuenca se encuentra ubicada en el distrito de Putina, provincia de San Antonio de Putina, en el departamento de Puno. Hidrográficamente se localiza en la parte media alta de la cuenca del río Huancané; por sus características hidrográficas es una intercuenca, que recibe el aporte de agua de los ríos afluentes. La subcuenca Medio Alto Huancané abarca una superficie de 42.09 km² y representa el 1.16% de la cuenca del río

Huancané (3631.19 km²). El curso principal es el río Pongongoni y cuya longitud es de 16.17 km, desde la confluencia de los ríos Pistune y Puncune hasta la confluencia con el río Muñani.

El cauce del río Pongongoni presenta una pendiente media de 0.08%. El cauce en su recorrido presenta formas meándricas a consecuencia de la baja pendiente del río. Las vías de acceso en esta subcuenca son ejes viales principales y secundarios que comunica los distritos de Huatasani y Putina, y centros poblados del entorno con la ciudad de Huancané.

a.8 Subcuenca Pistune (UH 01788)

Políticamente la subcuenca se encuentra ubicada en los distritos de Putina, Quilcapuncu e Inchupalla; provincias de San Antonio de Putina y Huancané, en el departamento de Puno. Hidrográficamente se localiza en la parte media de la cuenca del río Huancané; por sus características hidrográficas es uno de los tributarios principales que aporta sus aguas en forma directa a la cuenca Huancané; teniendo los principales afluentes los ríos Humajalso, Chejolla Jahuira, Chaullanetira y Combuco por la margen derecha. La subcuenca Pistune abarca una superficie de 380.43 km² y representa el 10.48% de la cuenca del río Huancané (3631.19 km²). El curso principal nace del río Machaypunco - río Humullo - río Achajahuira - río Pistune y cuya longitud es de 52.53 km, desde la naciente del cauce principal hasta la confluencia con el río Puncune.

El cauce del río Pistune presenta una pendiente media de 1.68%. El cauce en la parte media y baja de su recorrido presenta formas meándricas a consecuencia de la baja pendiente del río. Las vías de acceso en esta subcuenca son ejes viales principales y secundarios que comunica los distritos de Huatasani, Putina, Inchupalla y Vilque Chico, y centros poblados del entorno con la ciudad de Huancané.

a.9 Subcuenca Alto Huancané (UH 01789)

Políticamente la subcuenca se encuentra ubicada en los distritos de Putina, Quilcapuncu y Ananea, provincia de San Antonio de Putina, en el departamento de Puno. Hidrográficamente se localiza en la parte alta de la cuenca del río Huancané; por sus características hidrográficas es uno de los tributarios principales que aporta sus aguas en forma directa a la cuenca Huancané; teniendo los principales afluentes los ríos Jarcapunco, Acuyo y Alvarizani por la margen izquierda, los ríos Choquene, Furcapunco y Larcamayo por la margen derecha. La subcuenca Alto Huancané abarca una superficie de 524.77 km² y representa el 14.45% de la cuenca del río Huancané (3631.19 km²). El curso principal nace del río Toco Toco - río Ticani - río Puncune y cuya longitud es de 49.34 km, desde la naciente del cauce principal hasta la confluencia con el río Pistune.

El cauce del río Puncune presenta una pendiente media de 1.89%. El cauce en la parte baja de su recorrido presenta formas meándricas a consecuencia de la baja pendiente del río. Las vías de acceso en esta subcuenca son ejes viales principales y secundarios que comunica los distritos de Huatasani, Putina, Quilcapuncu, Ananea, Cojata y Vilque Chico, y centros poblados del entorno con la ciudad de Huancané.

Mapa N° 3.8 Unidades hidrográficas de nivel cinco (subcuencas) - Cuenca Huancané

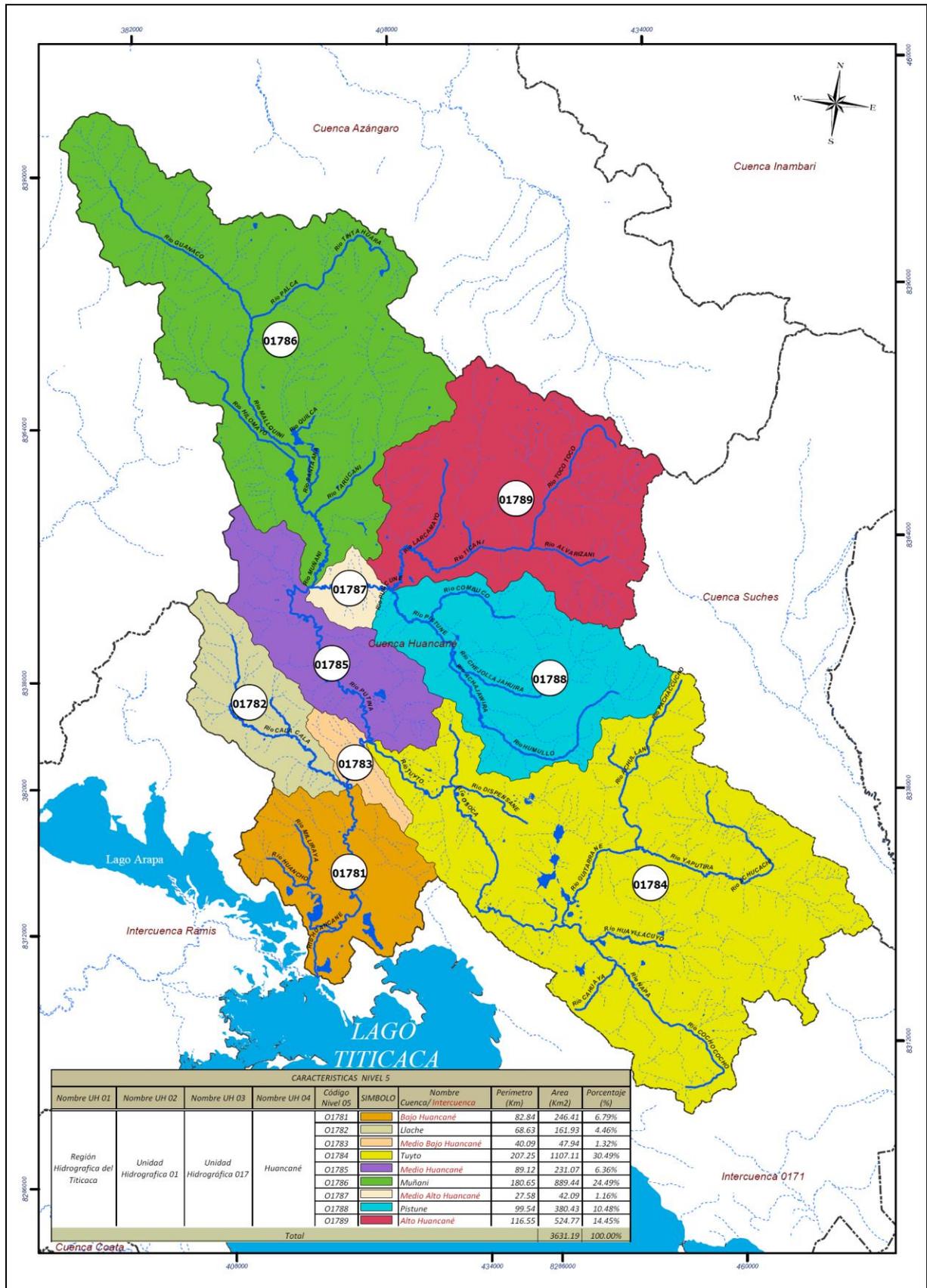
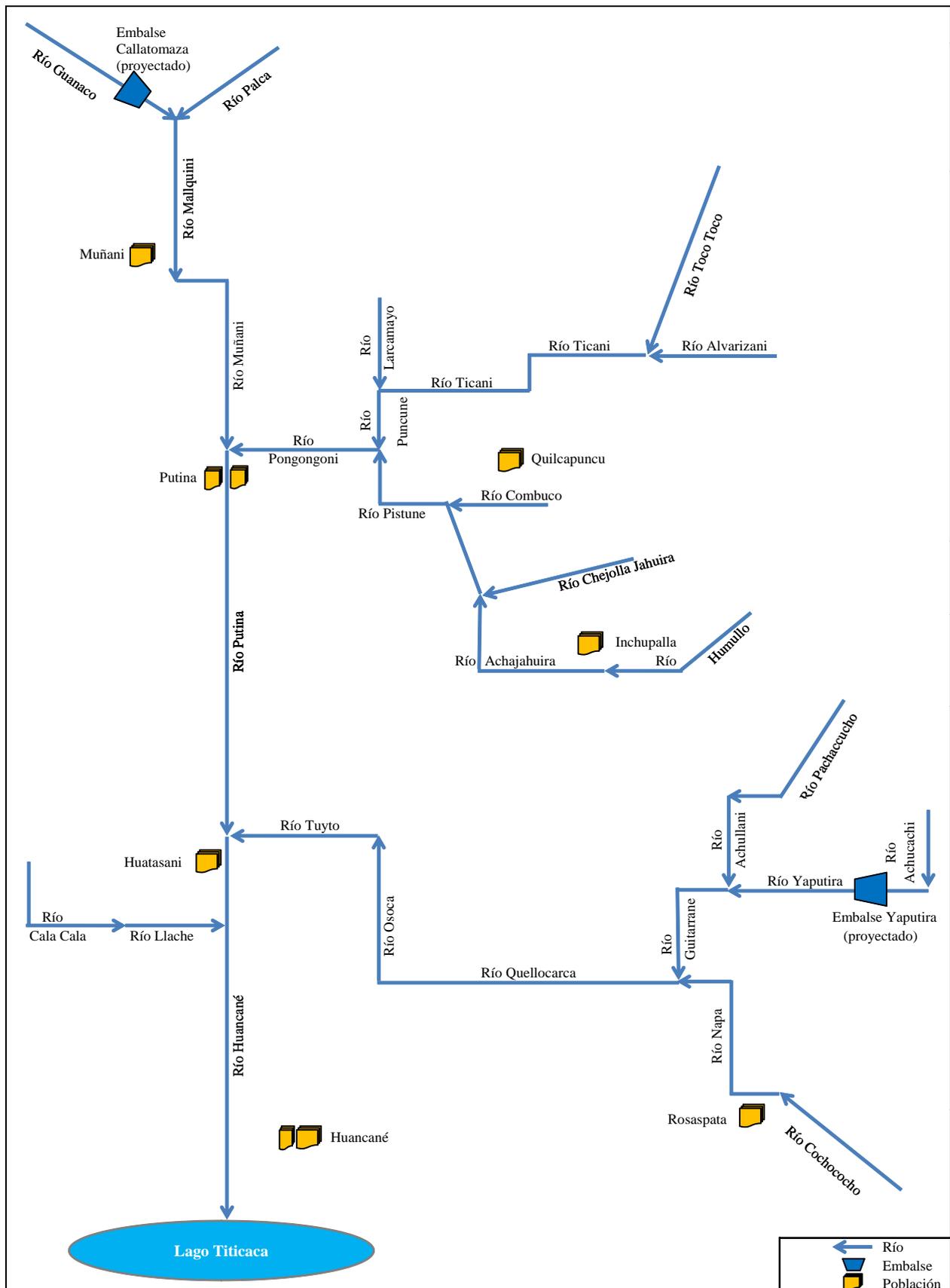


Figura N° 3.1 Esquema fluvial de la cuenca del río Huancané



Cuadro N° 3.6 Unidades hidrográficas de la cuenca del río Huancané (nivel 5)

N°	Código Pfafstetter	Nivel	Unidad hidrográfica	Río principal	Área de la cuenca		N° de orden del río
					(km ²)	(%)	
1	01781	5	Subcuenca Bajo Huancané	Tramo río Huancané	246.41	6.79	6
2	01782	5	Subcuenca Llache	Río Llache	161.93	4.46	4
3	01783	5	Subcuenca Medio Bajo Huancané	Tramo río Huancané	47.94	1.32	6
4	01784	5	Subcuenca Tuyto	Río Tuyto	1,107.11	30.49	5
5	01785	5	Subcuenca Medio Huancané	Río Putina	231.07	6.36	6
6	01786	5	Subcuenca Muñani	Río Muñani	889.44	24.49	5
7	01787	5	Subcuenca Medio Alto Huancané	Río Pongongoni	42.09	1.16	6
8	01788	5	Subcuenca Pistune	Río Pistune	380.43	10.48	5
9	01789	5	Subcuenca Alto Huancané	Río Puncune	524.77	14.45	5
	0178	4	Cuenca Huancané	Río Huancané	3,631.19	100.00	6

B. Cuenca del río Suches

El río Suches es una cuenca transfronteriza (Perú-Bolivia), que desemboca sus aguas al lago Titicaca, cuya superficie total delimitado hasta la estación hidrométrica Puente Escoma es de 2930.73 km²; de ésta los 1160.75 km² pertenece a Perú y 1769.98 km² a Bolivia. Sus características físicas principales que son materia de estudio, es la siguiente.

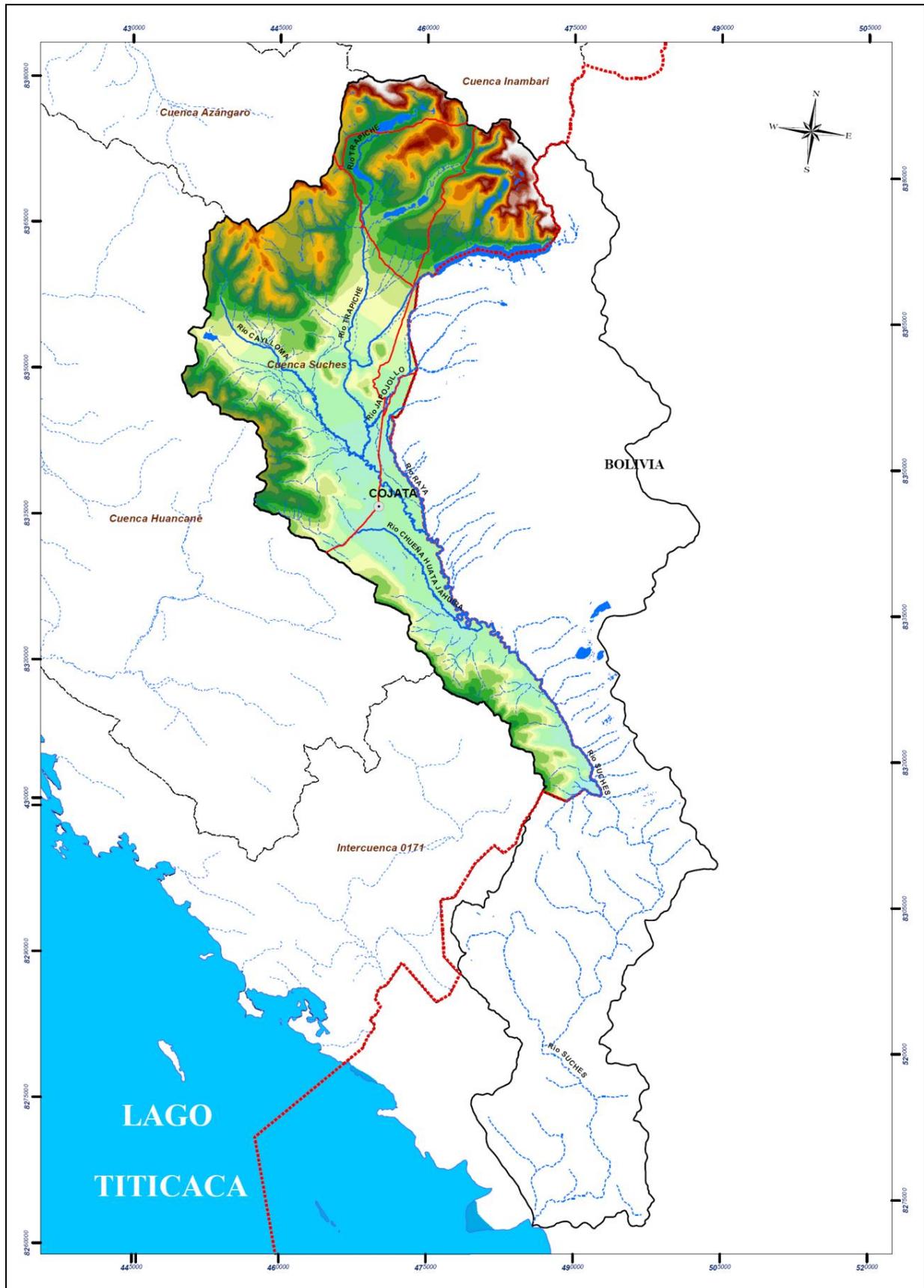
Perímetro de la cuenca	:	384.57 km
Longitud del río principal	:	188.00 km
Cota máxima del río principal	:	5031.00 msnm
Cota mínima del río principal	:	3817.00 msnm
Pendiente media del río principal	:	0.0065 m/m

El curso principal de la cuenca del río Suches (Perú-Bolivia), nace desde la laguna Cullumachayo - laguna Huayllatane - laguna Pararani - río Trapiche - laguna Lacayaqui - río Trapiche - río Suches, hasta la desembocadura al lago Titicaca, cuya longitud total es de 188.0 km y tiene una pendiente media de 0.65%. La parte peruana de la cuenca es hasta el cruce del río Suches con el límite internacional Perú-Bolivia (lugar Cuchaula), cuya longitud del río es de 118.96 km y una pendiente media de 0.66%. Ver Mapa N° 3.9.

En la cuenca del río Suches (Perú) se ha delimitado tres (3) subcuencas y una intercuenca, en este caso no se ha aplicado la metodología de Pfafstetter, debido por falta de la información cartográfica parte Boliviana de la cuenca, las unidades hidrográficas correspondientes son: Chueña Huata Jahuira, Caylloma, Trapiche y Suches (Perú). Las tres (3) primeras subcuencas tienen un aporte efectivo de caudal y la última está definida como intercuenca al recibir el aporte de agua de las subcuencas anteriores. Ver Mapa N° 3.10.

A continuación se describe cada una de las subcuencas correspondientes a la cuenca del río Suches (Perú).

Mapa N° 3.9 Cuenca hidrográfica del río Suches



b.1 Subcuenca río Chueña Huata Jahuirá

Políticamente la subcuenca se encuentra ubicada en el distrito de Cojata, provincia de Huancané, en el departamento de Puno. Hidrográficamente se localiza en la parte media baja de la cuenca del río Suches; por sus características hidrográficas es uno de los tributarios que aporta sus aguas en forma directa a la cuenca Suches; teniendo los afluentes de varias quebradas en ambos márgenes. La subcuenca Chueña Huata Jahuirá abarca una superficie de 162.18 km² y representa el 5.53% de la cuenca del río Suches (2930.73 km²). El curso principal nace de la laguna Sallapata - quebrada Parucane - río Carascollane - río Huilacarca - río Astupunco - río Chueña Huata Jahuirá y cuya longitud es de 36.76 km, desde la naciente del cauce principal hasta la desembocadura al río Suches.

El cauce del río Chueña Huata Jahuirá presenta una pendiente media de 1.03%. El cauce en la parte media y baja de su recorrido presenta formas meándricas a consecuencia de la baja pendiente del río. Las vías de acceso en esta subcuenca son ejes viales principales y secundarios que comunica los distritos de Vilque Chico y Cojata, y centros poblados del entorno con la ciudad de Huancané.

b.2 Subcuenca río Caylloma

Políticamente la subcuenca se encuentra ubicada en los distritos de Cojata, Inchupalla y Quilcapuncu, provincias de Huancané y San Antonio de Putina, en el departamento de Puno. Hidrográficamente se localiza en la parte media alta de la cuenca del río Suches; por sus características hidrográficas es uno de los tributarios principales que aporta sus aguas en forma directa a la cuenca Suches; teniendo los principales afluentes los ríos Charpucho, Quellutacuni y Pacahuacho por la margen derecha, y río Mosoni por la margen izquierda. La subcuenca Caylloma abarca una superficie de 289.22 km² y representa el 9.87% de la cuenca del río Suches (2930.73 km²). El curso principal nace de la quebrada Chullpapampa - río Huichacunca - río Caylloma y cuya longitud es de 40.24 km, desde la naciente del cauce principal hasta la confluencia con el río Suches.

El cauce del río Caylloma presenta una pendiente media de 1.26%. El cauce en la parte media y baja de su recorrido presenta formas meándricas a consecuencia de la baja pendiente del río. Las vías de acceso en esta subcuenca son ejes viales principales y secundarios que comunica los distritos de Vilque Chico y Cojata, y centros poblados del entorno con la ciudad de Huancané.

b.3 Subcuenca río Trapiche

Políticamente la subcuenca se encuentra ubicada en los distritos de Cojata y Ananea, provincias de Huancané y San Antonio de Putina, en el departamento de Puno. Hidrográficamente se localiza en la parte alta de la cuenca del río Suches; por sus características hidrográficas es uno de los tributarios principales que aporta sus aguas en forma directa a la cuenca Suches; teniendo los principales afluentes los ríos Cuybas y Ojonica por la margen izquierda. La subcuenca Alto Suches abarca una superficie de 405.45 km² y representa el 13.83% de la cuenca del río Suches (2930.73 km²). El curso principal nace de la laguna Cullumachayo - laguna Huayllatane - laguna Pararani - río

Trapiche - laguna Lacayaqui - río Trapiche y cuya longitud es de 38.63 km, desde la naciente del cauce principal hasta la confluencia con el río Suches.

El cauce del río Trapiche presenta una pendiente media de 1.64%. El cauce en su recorrido no presenta formas meándricas a consecuencia de la alta pendiente del río. Las vías de acceso en esta subcuenca son ejes viales principales y secundarios que comunica los distritos de Vilque Chico, Cojata y Ananea, y centros poblados del entorno con la ciudad de Huancané.

b.4 Subcuenca río Suches (Perú)

Políticamente la subcuenca se encuentra ubicada en el distrito de Ananea y Cojata, provincias de San Antonio de Putina y Huancané, en el departamento de Puno. Hidrográficamente se localiza en la parte media, baja y alta de la cuenca del río Suches; por sus características hidrográficas es una intercuenca, que recibe el aporte de agua de los ríos afluentes. Los principales afluentes por la margen izquierda son los ríos de la laguna Suches, Japojollo y Raya; por la margen derecha son los ríos Caylloma y Chueña Huata Jahuirá; y el río Trapiche como naciente de su cauce principal. La subcuenca Suches (Perú) abarca una superficie de 303.90 km² y representa el 10.37% de la cuenca del río Suches (2930.73 km²). El curso principal nace desde el río Trapiche y cuya longitud del tramo río Suches es de 80.33 km, desde la naciente de la subcuenca hasta el lugar Cuchauilla (límite internacional Perú-Bolivia).

El cauce del tramo río Suches presenta una pendiente media de 0.19%. El cauce en su recorrido presenta formas meándricas a consecuencia de la baja pendiente del río. Las vías de acceso en esta subcuenca son ejes viales principales y secundarios que comunica los distritos de Vilque Chico, Cojata y Ananea, y centros poblados del entorno con la ciudad de Huancané.

Cuadro N° 3.7 Unidades hidrográficas de la cuenca del río Suches (Perú)

N°	Unidad hidrográfica	Área de la cuenca (km ²)				N° de orden del río
		Perú	Bolivia	Total	(%)	
1	Subcuenca río Chueña Huata Jahuirá	162.18	-	162.18	5.53	4
2	Subcuenca río Caylloma	289.22	-	289.22	9.87	4
3	Subcuenca río Trapiche	405.45	-	405.45	13.83	4
4	Subcuenca Suches	303.90	-	303.90	10.37	5
5	Cuenca río Suches (Pte Ramón Castilla)	846.80	209.69	1,056.49	36.05	5
6	Cuenca río Suches (lugar Cuchauilla)	1,160.75	1,061.32	2,222.07	75.82	5
	Cuenca río Suches (Pte Escoma)	1,160.75	1,769.98	2,930.73		5

Mapa N° 3.10 Unidades hidrográficas (subcuencas) - Cuenca Suches

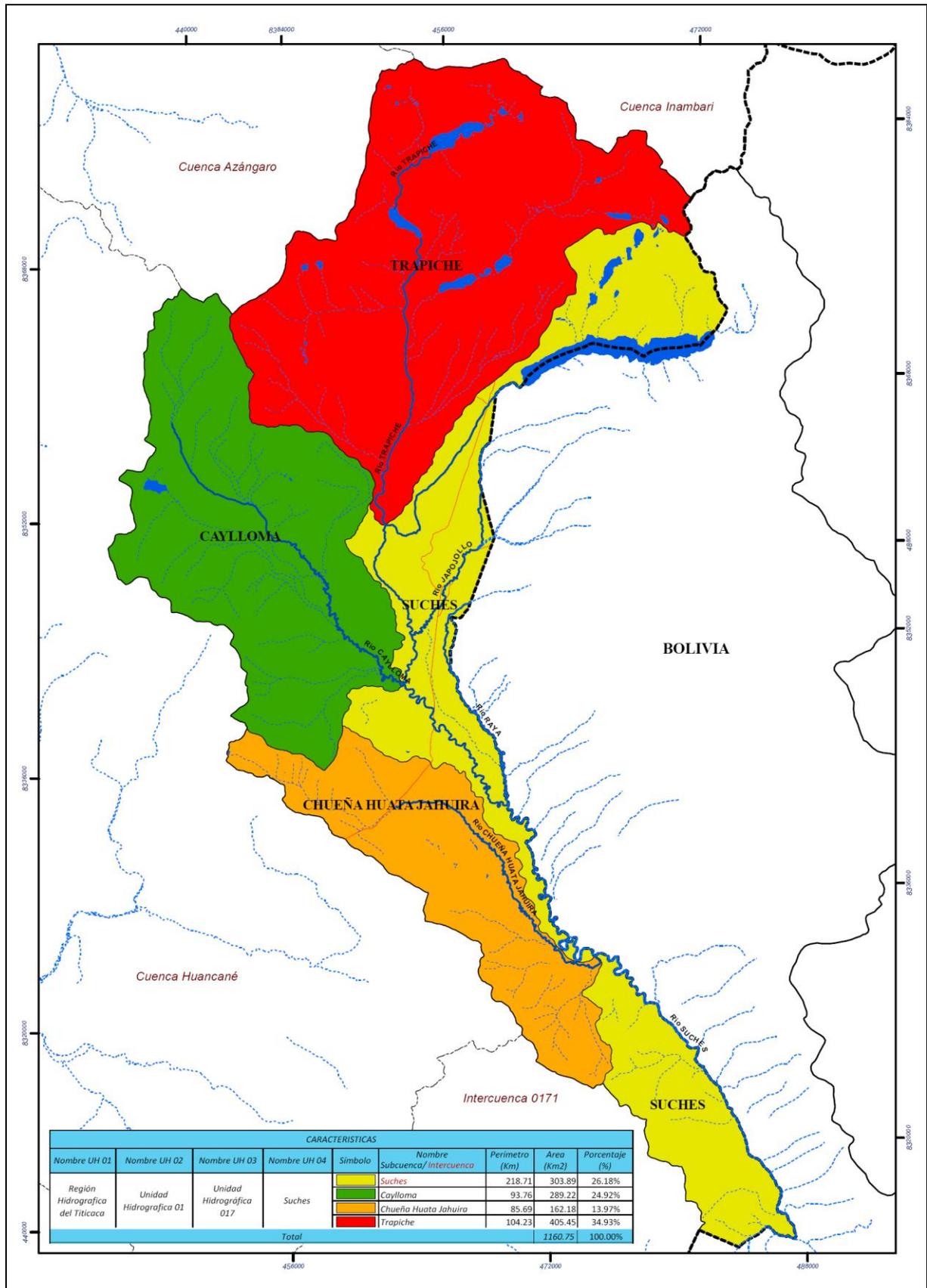
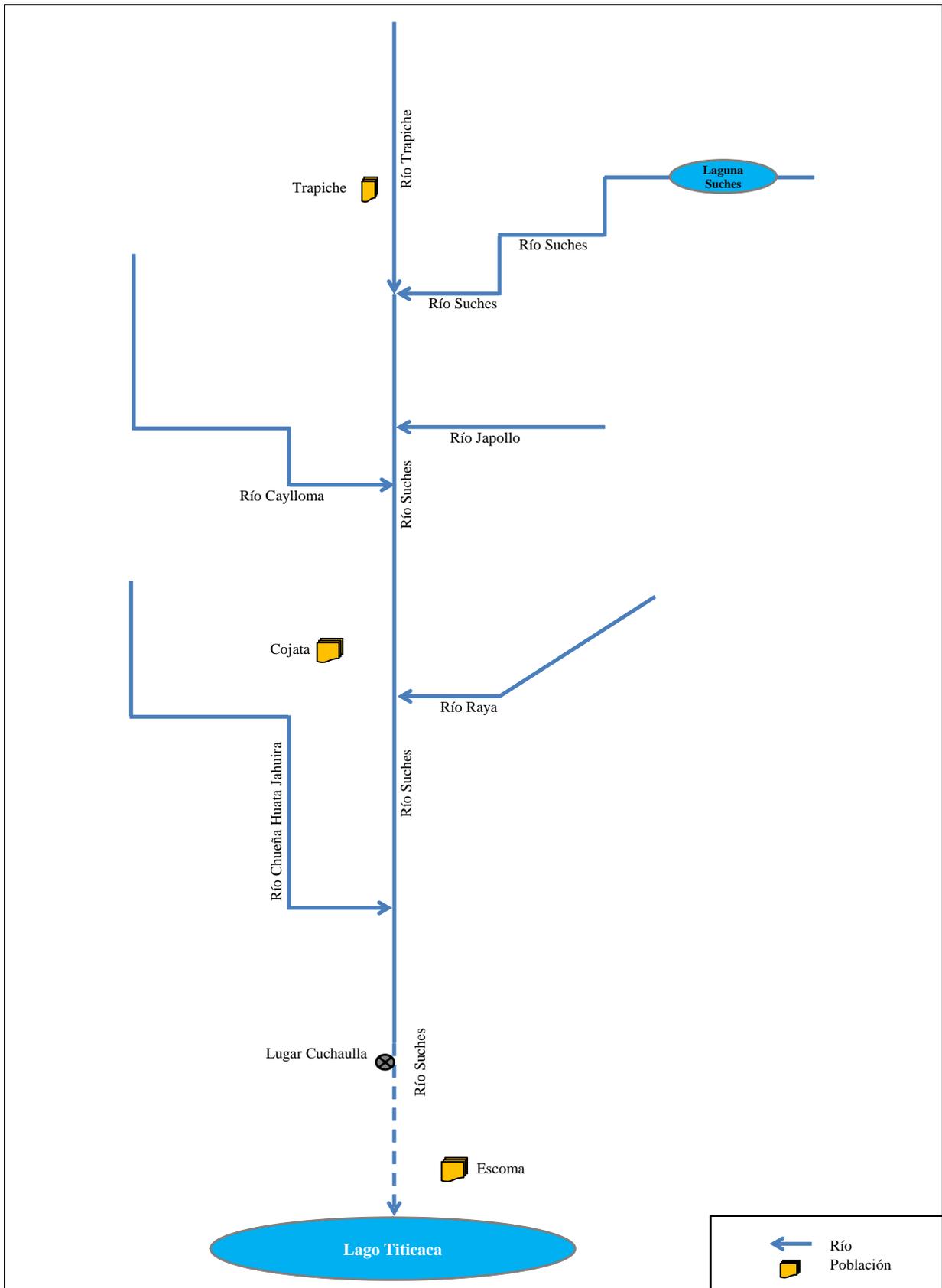


Figura N° 3.2 Esquema fluvial de la cuenca del río Suches



3.5 GEOMORFOLOGÍA

3.5.1 Generalidades

La *geomorfología* es la rama de la geografía física que estudia de manera descriptiva y explicativa el relieve de la Tierra, el cual es el resultado de un balance dinámico - que evoluciona en el tiempo - entre procesos constructivos y destructivos, dinámica que se conoce de manera genérica como ciclo geomorfológico.

Morfología de la cuenca.- La morfología de una cuenca queda definida por su forma, relieve y drenaje, para lo cual se han establecido una serie de parámetros, que a través de ecuaciones matemáticas, sirven de referencia para la clasificación y comparación de las cuencas. Para un mejor enfoque sobre el estudio de las cuencas se establece los parámetros de forma, parámetros de relieve y parámetros de la red hidrográfica, generalmente.

Las características físicas desempeñan un papel esencial en la respuesta hidrológica de una cuenca hidrográfica. Recíprocamente, el carácter hidrológico de la misma contribuye considerablemente a formar sus características físicas. Entonces, esta interrelación debería suministrar la base para predecir cuantitativamente la respuesta hidrológica, a partir de aquellos parámetros físicos que son fáciles de medir.

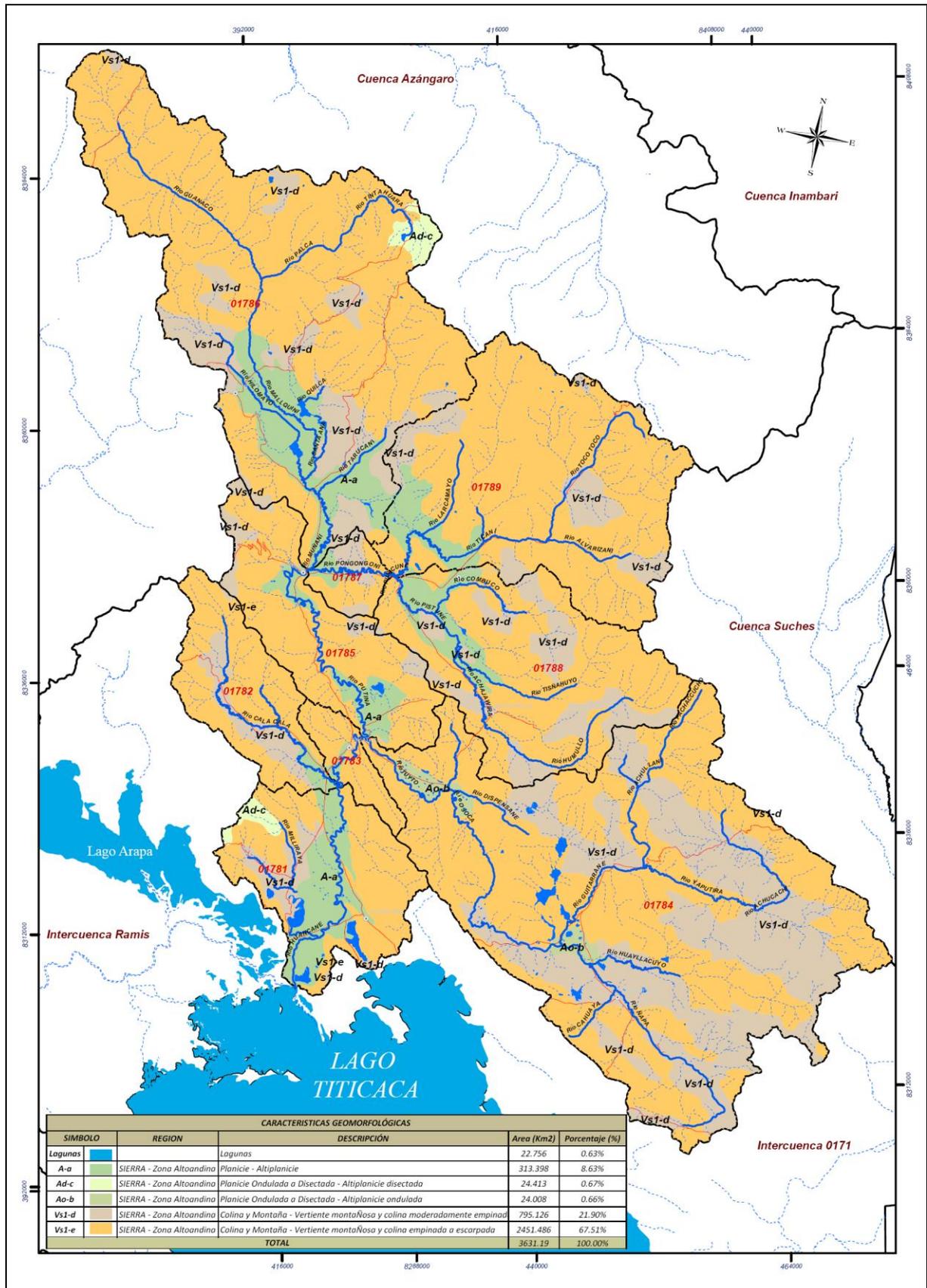
3.5.2 Descripción geomorfológica de la cuenca

Cuenca Huancané

La geomorfología de la cuenca del río Huancané, son cinco (5) características diferentes (Cuadro N° 3.8), que a continuación se describe en forma breve cada una de ellas:

- ✎ *Planicie–Altiplanicie (A-a).*- es la región de la sierra altoandina, y se localiza en diferentes zonas de la parte baja y media de la cuenca del río Huancané, abarca un superficie total de 313.40 km² (8.63%). En esta zona la pendiente de la cuenca es baja.
- ✎ *Planicie Ondulada a Disectada–Altiplanicie Disectada (Ad-c).*- se localiza en la parte alta de la subcuenca Muñani, abarcando un área de 24.41 km² (0.67%). En esta zona la pendiente de la cuenca es alta.
- ✎ *Planicie Ondulada a Disectada–Altiplanicie Ondulada (Ao-b).*- esta característica geomorfológica se localiza en la parte baja de la cuenca, abarca una superficie de 24.0 km² (0.66%). La pendiente de la cuenca en esta zona es moderada.
- ✎ *Colina y Montaña–Vertiente Montañosa y Colina Moderadamente Empinada (Vs1-d).*- es la segunda característica geomorfológica que ocupa mayor área de drenaje, localizada en toda parte de la cuenca y abarca una superficie de 795.13 km² (21.90%). En esta zona la pendiente de la cuenca es variable de baja a alta.
- ✎ *Colina y Montaña–Vertiente Montañosa y Colina Empinada a Escarpada (Vs1-e).*- es la primera característica geomorfológica de la cuenca que ocupa mayor área y abarca una superficie de 2451.49 km² (67.51%) y localizada en toda la cuenca Huancané. En esta zona la pendiente de la cuenca es alta.
- ✎ *Lagunas.*- en la cuenca existen áreas pequeñas ocupadas por lagunas naturales, que abarca una superficie de 22.76 km² y representa 0.63% del total de la cuenca Huancané.

Mapa N° 3.11 Mapa geomorfológico de la cuenca del río Huancané



Cuadro N° 3.8 Características geomorfológicas de la cuenca del río Huancané

Símbolo	Región	Descripción	Área	
			(km ²)	(%)
Lagunas	-	Lagunas	22.76	0.63
A-a	Sierra - Zona Altoandina	Planicie - Altiplanicie	313.40	8.63
Ad-c	Sierra - Zona Altoandina	Planicie Ondulada a Disectada - Altiplanicie disectada.	24.41	0.67
Ao-b	Sierra - Zona Altoandina	Planicie Ondulada a Disectada - Altiplanicie ondulada.	24.00	0.66
Vs1-d	Sierra - Zona Altoandina	Colina y Montaña - Vertiente montaÑosa y colina moderadamente empinada.	795.13	21.90
Vs1-e	Sierra - Zona Altoandina	Colina y Montaña - Vertiente montaÑosa y colina empinada a escarpada.	2451.49	67.51
Total			3631.19	100.00

Cuenca Suches (Perú)

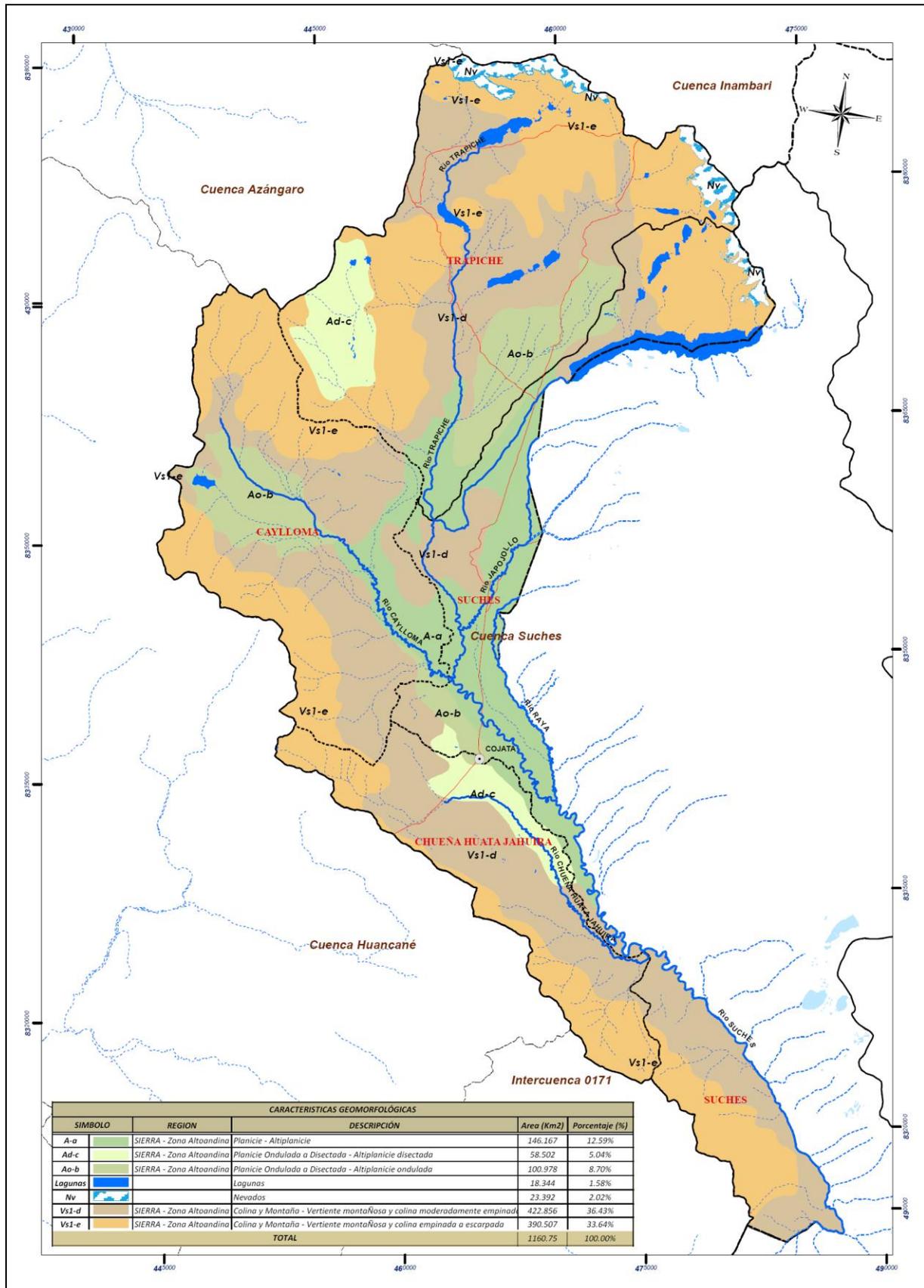
La geomorfología de la cuenca del río Suches, son cinco (5) características diferentes (Cuadro N° 3.9), que a continuación se describe en forma breve cada una de ellas:

- ✗ *Planicie–Altiplanicie (A-a)*.- es la región de la sierra altoandina, y se localiza en la parte media de la cuenca del río Suches, abarca una superficie total de 146.17 km² (12.59%). En esta zona la pendiente de la cuenca es baja.
- ✗ *Planicie Ondulada a Disectada–Altiplanicie Disectada (Ad-c)*.- se localiza en la parte media alta de la subcuenca Trapiche y zona baja de la subcuenca Chueña Huata Jahuira, abarcando un área de 58.50 km² (5.04%). La pendiente de la cuenca es baja y alta.
- ✗ *Planicie Ondulada a Disectada–Altiplanicie Ondulada (Ao-b)*.- esta característica geomorfológica se localiza en la parte media y media alta de la cuenca del río Suches, abarca una superficie de 100.98 km² (8.70%). La pendiente de la cuenca en esta zona es moderada.
- ✗ *Colina y Montaña–Vertiente MontaÑosa y Colina Moderadamente Empinada (Vs1-d)*.- es la primera característica geomorfológica que ocupa mayor área de drenaje, localizada en la zona baja, media y alta de la cuenca, y abarca una superficie de 422.86 km² (36.43%). En esta zona la pendiente es variable de baja a alta.
- ✗ *Colina y Montaña–Vertiente MontaÑosa y Colina Empinada a Escarpada (Vs1-e)*.- es la segunda característica geomorfológica de la cuenca que ocupa mayor área y abarca una superficie de 390.51 km² (33.64%), ésta característica geomorfológica se localiza en la zona alta en toda la cuenca Suches. La pendiente de la cuenca en esta zona es mayor.
- ✗ *Lagunas*.- en la cuenca existen áreas ocupadas por lagunas naturales, que abarca una superficie de 18.34 km² y representa 1.58% del total de la cuenca Suches.
- ✗ *Nevados*.- en la cuenca existen áreas ocupadas por nevados, que abarca una superficie de 23.39 km² y representa 2.02% del total de la cuenca Suches.

Cuadro N° 3.9 Características geomorfológicas de la cuenca del río Huancané

Símbolo	Región	Descripción	Área	
			(km ²)	(%)
A-a	Sierra - Zona Altoandina	Planicie - Altiplanicie	146.17	12.59
Ad-c	Sierra - Zona Altoandina	Planicie Ondulada a Disectada - Altiplanicie disectada.	58.50	5.04
Ao-b	Sierra - Zona Altoandina	Planicie Ondulada a Disectada - Altiplanicie ondulada.	100.98	8.70
Lagunas	-	Lagunas	18.34	1.58
Nv	-	Nevados	23.39	2.02
Vs1-d	Sierra - Zona Altoandina	Colina y Montaña - Vertiente montaÑosa y colina moderadamente empinada.	422.86	36.43
Vs1-e	Sierra - Zona Altoandina	Colina y Montaña - Vertiente montaÑosa y colina empinada a escarpada.	390.51	33.64
Total			1160.75	100.00

Mapa N° 3.12 Mapa geomorfológico de la cuenca del río Suches (Perú)



3.5.3 Caracterización geomorfológica de la cuenca

Los parámetros generales para la caracterización geomorfológica de una cuenca hidrográfica, son los parámetros de forma, relieve y de la red hidrográfica.

3.5.3.1 Parámetros de forma de la cuenca

Dada la importancia de la configuración de las cuencas, se trata de cuantificar estas características por medio de índices o coeficientes, los cuales relacionan el movimiento del agua y las respuestas de la cuenca a tal movimiento (hidrograma).

Existen varios índices para la determinación de la forma de una cuenca, relacionando sus parámetros y las características de la red de drenaje de la misma.

Los principales factores de forma de la cuenca son:

- Área de la cuenca (A).
- Perímetro de la cuenca (P).
- Longitud del río principal (L).
- Ancho promedio de la cuenca (A_p).
- Coeficiente de compacidad o índice de Gravelius (K_c).
- Factor de forma (Ff).
- Rectángulo equivalente (R_E).
- Radio de circularidad (Rc).

A.- Área de la cuenca (A)

Es la superficie de la cuenca comprendida dentro de la curva cerrada de divortium aquarum. La magnitud del área se obtiene mediante el planimetrado de la proyección del área de la cuenca sobre un plano horizontal.

Dependiendo de la ubicación de la cuenca, su tamaño influye en mayor o menor grado en el aporte de escorrentía, tanto directa como de flujo de base o flujo sostenido.

Su importancia radica en las siguientes razones:

- Es un valor que se utilizará para muchos cálculos en varios modelos hidrológicos.
- Para una misma región hidrológica o regiones similares, se puede decir que a mayor área mayor caudal o viceversa.
- Bajo las mismas condiciones hidrológicas, cuencas con áreas mayores producen hidrógrafas con variaciones en el tiempo más suaves y más llanas. Sin embargo, en cuencas grandes, se pueden dar hidrógrafas picudas cuando la precipitación fue intensa y en las cercanías, aguas arriba, de la estación de aforo.
- El crecimiento del área actúa como un factor de compensación de modo que es más común detectar crecientes instantáneas y de respuesta inmediata en cuencas pequeñas que en las grandes cuencas.

La superficie total de las cuencas de los ríos Huancané y Suches (Perú-Bolivia) son 3631.19 km² y 2930.73 km². El área de las unidades hidrográficas de nivel cinco (subcuencas) se presentan en los Cuadros N° 3.10 y 3.11.

B.- Perímetro de la cuenca (P)

Es la longitud de la línea de divortium aquarum. Se mide mediante el curvímetro o directamente se obtiene del Software en sistemas digitalizados.

El perímetro de las cuencas de los ríos Huancané y Suches son 421.97 km y 384.57 km. El perímetro de las unidades hidrográficas de nivel cinco (subcuencas) se presentan en los Cuadros N° 3.10 y 3.11.

C.- Longitud del río principal (L)

Es la longitud mayor de recorrido que realiza el río, desde la cabecera de la cuenca, siguiendo todos los cambios de dirección o sinuosidades, hasta un punto fijo de interés, puede ser una estación de aforo o desembocadura, expresado en unidades de longitud.

La longitud del río principal de las cuencas de los ríos Huancané y Suches son 142.05 km y 188.00 km. La longitud del río principal de las subunidades hidrográficas de nivel cinco (subcuencas) se presentan en los Cuadros N° 3.10 y 3.11.

D.- Ancho promedio de la cuenca (Ap)

Relación entre el área de la cuenca y la longitud del cauce principal, cuya expresión es la siguiente:

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

Donde:

A_p	=	Ancho promedio de la cuenca (km).
A	=	Área de la cuenca (km ²).
L	=	Longitud del cauce principal (km).

El ancho promedio de las cuencas de los ríos Huancané y Suches son 25.56 km y 15.59 km. El ancho promedio de las unidades hidrográficas de nivel cinco (subcuencas) se presentan en los Cuadros N° 3.10 y 3.11.

E.- Coeficiente de compacidad o índice de Gravelius (Kc)

Parámetro adimensional que relaciona el perímetro de la cuenca y el perímetro de un círculo de igual área que el de la cuenca. Este parámetro, al igual que el anterior, describe la geometría de la cuenca y está estrechamente relacionado con el tiempo de concentración de del sistema hidrológico.

Las cuencas redondeadas tienen tiempos de concentración cortos con gastos pico muy fuerte y recesiones rápidas, mientras que las alargadas tienen gastos pico más atenuado y recesiones más prolongadas.

$$Kc = 0.282 \left(\frac{P}{\sqrt{A}} \right)$$

Donde:

$$\begin{aligned} P &= \text{Perímetro de la cuenca (km).} \\ A &= \text{Área de la cuenca (km}^2\text{).} \end{aligned}$$

De la expresión se desprende que Kc siempre es mayor o igual a 1, y se incrementa con la irregularidad de la forma de la cuenca. Este factor adimensional constituye un índice indicativo de la tendencia de avenida en una cuenca.

Una cuenca de forma circular posee el coeficiente mínimo igual a 1 y tiene mayor tendencia a las crecientes en la medida que el valor de Kc se aproxima a la unidad; cuando se aleja de la unidad, presenta una forma más irregular con relación al círculo.

Cuando el $Kc = 1$: tiempo de concentración menor, cuenca circular, mayor tendencia a crecientes y $Kc = 2$: tiempo de concentración mayor, cuenca de forma alargada, menor tendencia a crecientes.

El coeficiente de compacidad de las cuencas de los ríos Huancané y Suches son 1.97 y 2.00, estos valores son más cercanos a 2 que a 1, indica que las cuencas son de forma alargada debiéndose estar menos expuesta a las crecientes que una cuenca de forma redondeada.

Las unidades hidrográficas de nivel cinco de las cuencas Huancané y Suches, que presentan valores del coeficiente de compacidad entre 1.20-1.49, están más cercanos a la unidad, lo que indica que las subcuencas son de forma circular debiéndose estar más expuesta a las crecientes que una cuenca de forma alargada. Similarmente las unidades hidrográficas de nivel cinco con coeficientes de compacidad entre 1.52-1.90, que están más cercanos a 2, indica que las subcuencas son de forma irregular y alargada, debiéndose estar moderadamente y menos expuesta a las crecientes. Ver Cuadros N° 3.10 y 3.11.

F.- Factor de forma (Ff)

Es la relación entre el área (A) de la cuenca y el cuadrado de la longitud máximo recorrido del cauce (L). Este parámetro mide la tendencia de la cuenca hacia las crecidas, rápidas y muy intensas a lentas y sostenidas, según que su factor de forma tienda hacia valores extremos grandes o pequeños, respectivamente. Es un parámetro adimensional que denota la forma redondeada o alargada de la cuenca.

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

Donde:

$$\begin{aligned} A &= \text{Área de la cuenca (km}^2\text{).} \\ L &= \text{Longitud del cauce principal (km).} \end{aligned}$$

Para un círculo $Ff = 0.79$, para un cuadrado con la salida en el punto medio de uno de los lados $Ff = 1$ y con la salida en una esquina $Ff = 0.5$ (Mintegui et al, 1993).

El Factor de Forma determinado para las cuencas de los ríos Huancané y Suches son 0.18 y 0.08, lo cual explica que las cuencas son de forma alargada, y estaría menos sujeta a crecientes continuas. Sin embargo en las subunidades hidrográficas de nivel cinco varían de 0.10-0.47, igualmente las subcuencas estarían menos expuesta a crecientes continuas. Ver Cuadros N° 3.10 y 3.11.

G.- Rectángulo equivalente (R_E)

Es la representación geométrica de una cuenca definida como un rectángulo que tenga la misma área de la cuenca. La longitud de sus lados esta dado por:

$$R_E = 0.25 \times P \pm \sqrt{\left(\frac{P}{4}\right)^2 - A}$$

Donde:

- L_L = Longitud de sus lados del rectángulo (mayor y menor) en km.
- P = Perímetro de la cuenca (km).
- A = Área de la cuenca (km²).

La longitud mayor y menor de la cuenca del río Huancané son 192.080 km y 18.905 km, para la cuenca del río Suches son 175.595 km y 16.690 km. La longitud del rectángulo equivalente de las unidades hidrográficas de nivel cinco se muestran en los Cuadros N° 3.10 y 3.11.

H.- Radio de circularidad (R_C)

Relaciona el área de la cuenca y la del círculo que posee una circunferencia de longitud igual al perímetro de la cuenca. Su valor es uno (1) para una cuenca circular y 0.785 para una cuenca cuadrada.

$$R_C = \frac{4\pi A}{P^2}$$

Donde:

- P = Perímetro de la cuenca (km).
- A = Área de la cuenca (km²).

Los valores del radio de circularidad de las cuencas Huancané y Suches son 0.26 y 0.25 denotan que las formas son alargadas, ya que los valores están por debajo de 0.785. En forma similar las unidades hidrográficas de nivel cinco (subcuencas) tienen de forma alargada, que sus radios de circularidad varían de 0.28-0.70 y son menores a 0.785. Ver los Cuadros N° 3.10 y 3.11.

3.5.3.2 Parámetros de relieve de la cuenca

El relieve posee una incidencia más fuerte sobre la escorrentía que la forma, dado que a una mayor pendiente corresponderá un menor tiempo de concentración de las aguas en la red de drenaje y afluentes al curso principal. Es así como a una mayor pendiente corresponderá una menor duración de concentración de las aguas de escorrentía en la red de drenaje y afluentes al curso principal.

Para describir el relieve de una cuenca existen numerosos parámetros que han sido desarrollados por varios autores; entre los más utilizados destacan:

- Curva hipsométrica.
- Polígono de frecuencias de áreas parciales.
- Altitud media de la cuenca (Hm).
- Altitud de frecuencia media.
- Altitud más frecuente.
- Pendiente media de la cuenca.
- Índice de pendiente de la cuenca (Ip).
- Coeficiente de masividad (Cm).
- Coeficiente orográfico (Co).
- Coeficiente de torrencialidad (Ct).
- Perfil altimétrico del cauce principal y su pendiente promedio.

A.- Curva hipsométrica

Es utilizada para representar gráficamente cotas de terreno en función de las superficies que encierran. Para su trazado se debe tener en cuenta que sobre la sección de control (altitud mínima de la cuenca), se tiene el cien por ciento de su superficie. Si se ubica en el punto más alto de la cuenca y se calcula a partir de cada curva de nivel, las áreas acumuladas por encima de ellas, se puede construir la curva hipsométrica (Martínez et al, 1996). En general, tanto las alturas como las superficies son definidas en términos porcentuales.

Llamada también Curva de Área – Elevación, representa gráficamente las elevaciones del terreno en función de las superficies correspondientes.

Se define como curva hipsométrica a la representación gráfica del relieve medio de la cuenca, construida llevando en el eje de las abscisas, longitudes proporcionales a las superficies proyectadas en la cuenca, en km^2 o en porcentaje, comprendidas entre curvas de nivel consecutivas hasta alcanzar la superficie total, llevando al eje de las ordenadas la cota de las curvas de nivel consideradas.

Las curvas hipsométricas también son asociadas con las edades de los ríos de las respectivas cuencas.

Las curvas hipsométricas para las cuencas de los ríos Huancané y Suches, se muestran en las Figuras N° 3.3 y 3.4.

B.- Polígono de frecuencias de áreas parciales

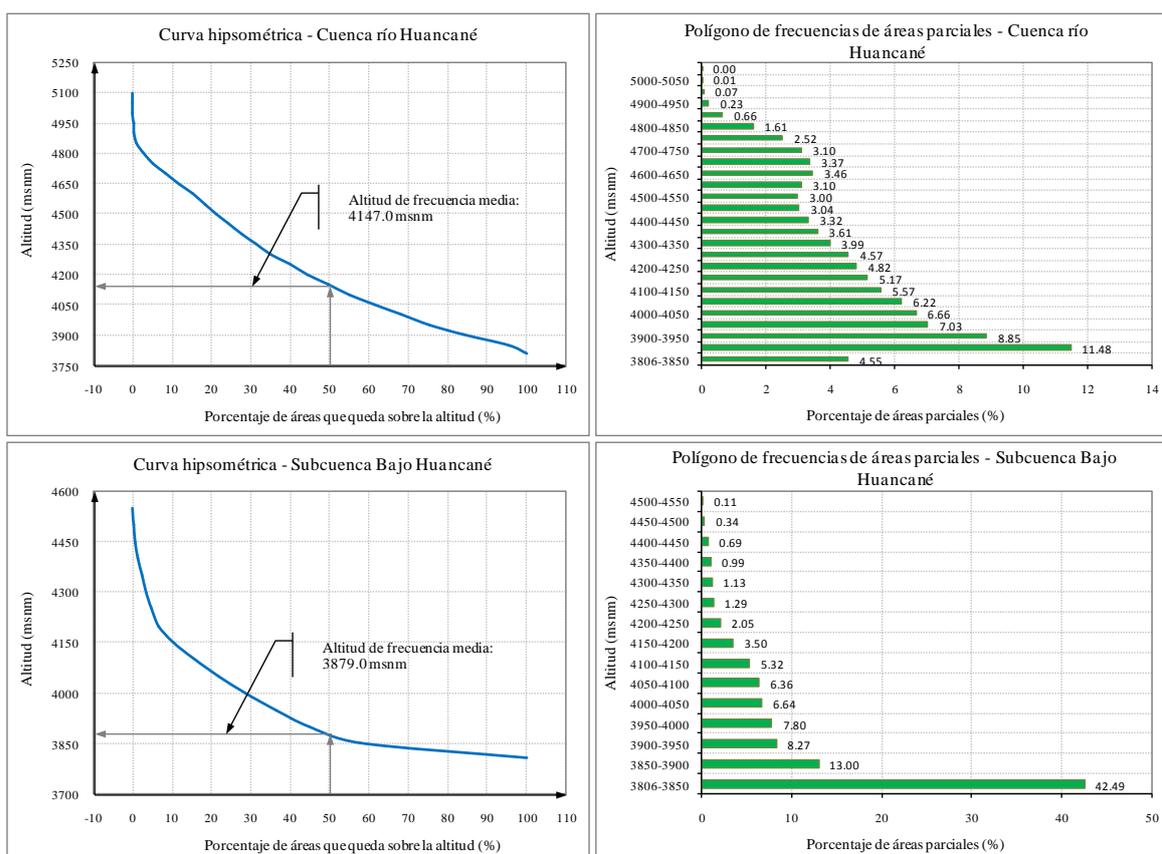
El *polígono de frecuencias* es un gráfico de barras de las áreas parciales (%) con respecto al intervalo de altitudes (msnm) que las encierran. Representa la variación de las áreas parciales comprendidas entre determinadas curvas de nivel consecutivas.

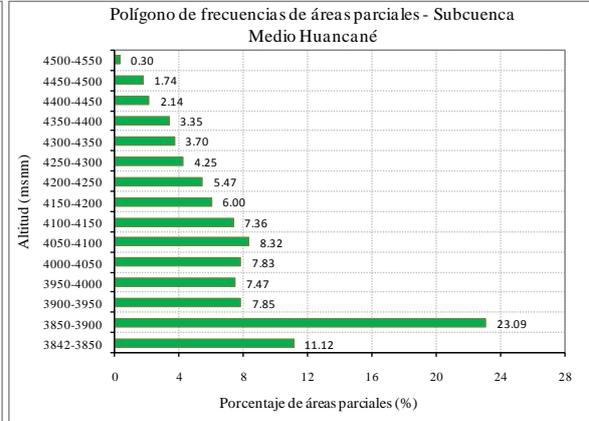
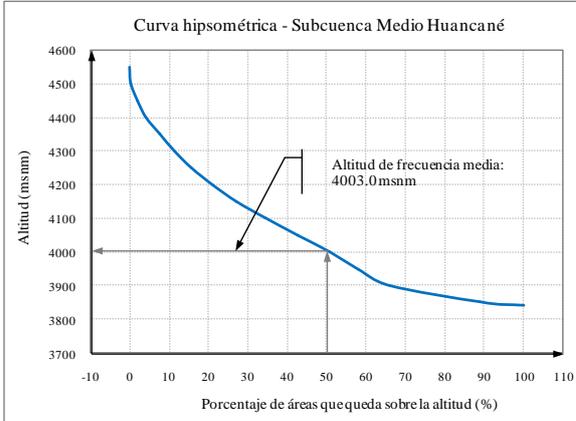
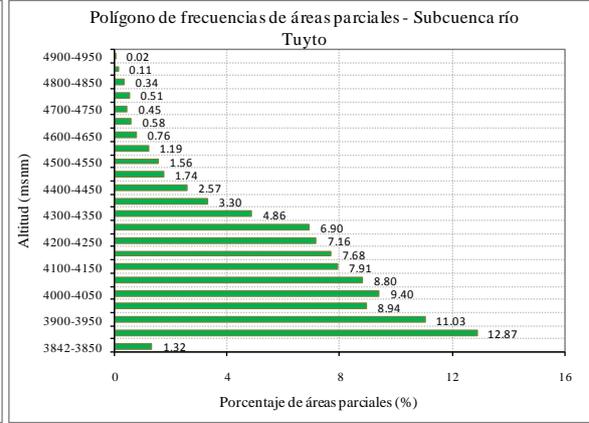
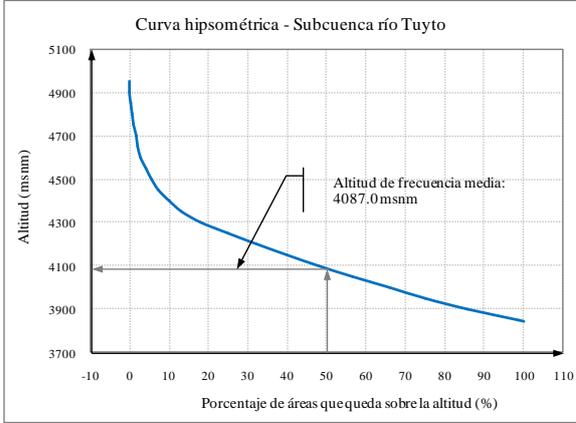
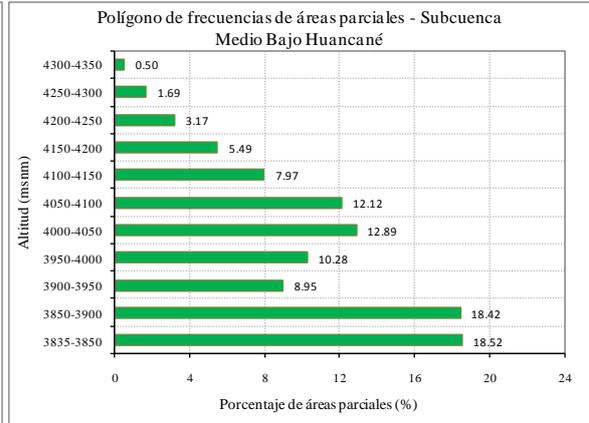
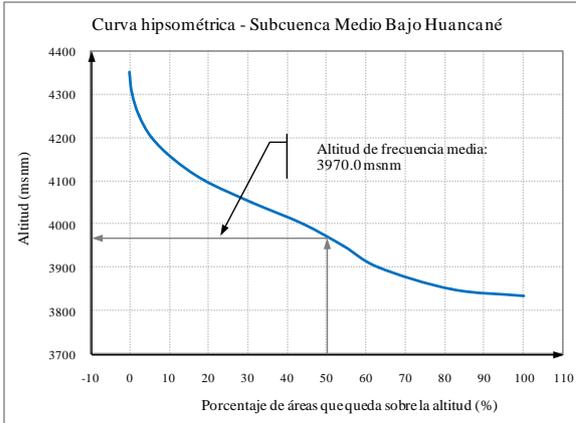
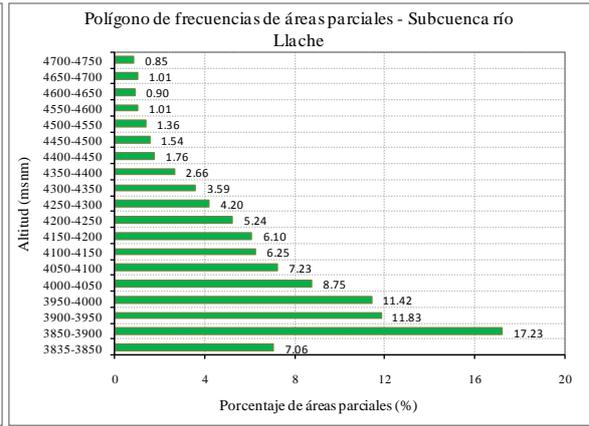
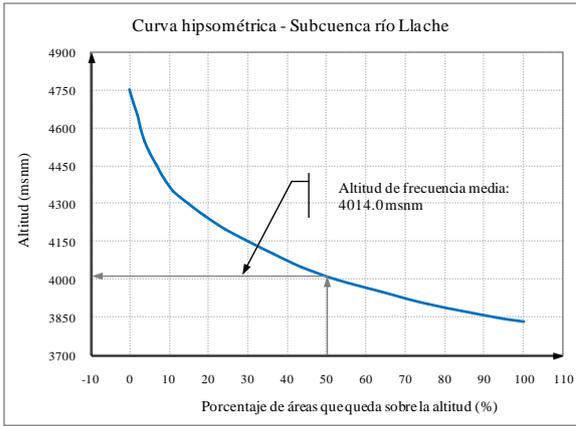
Del polígono de frecuencias se puede obtener valores representativos como: la altitud más frecuente, que es el polígono de mayor porcentaje o frecuencia de áreas parciales.

La distribución gráfica del porcentaje de áreas parciales ocupadas por diferentes rangos de altitud para las cuencas de los ríos Huancané y Suches, se distingue en las Figuras N° 3.3 y 3.4.

La cuenca del río Huancané presenta una tendencia de concentración de superficie en la parte baja y media de la cuenca. En forma similar la cuenca del río Suches.

Figura N° 3.3 Curva hipsométrica y polígono de frecuencias – Cuenca Huancané





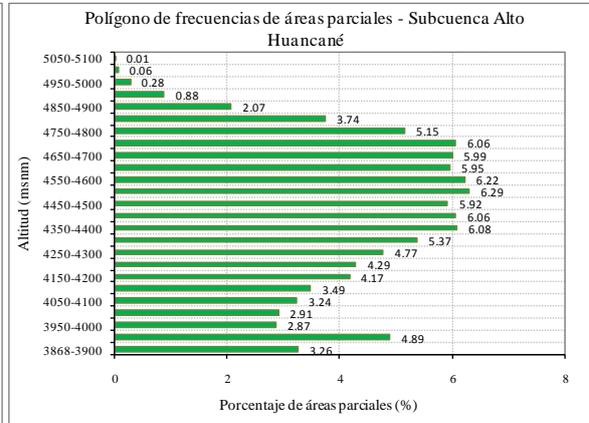
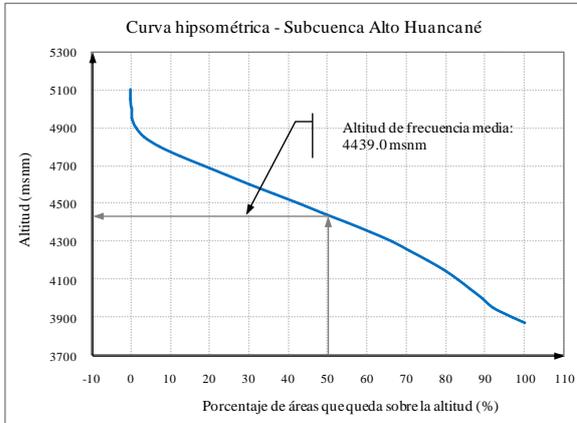
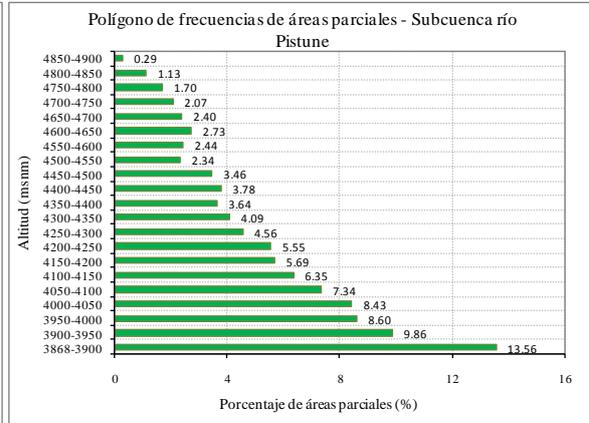
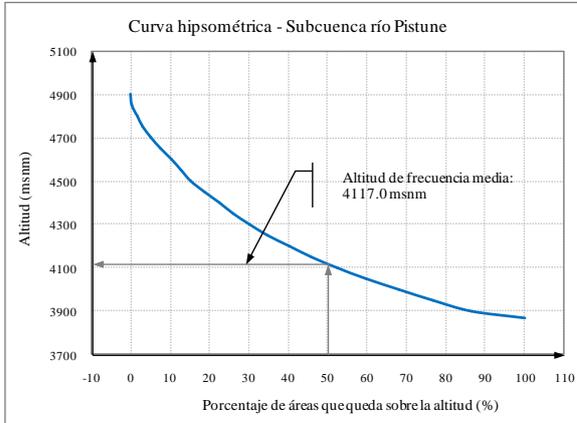
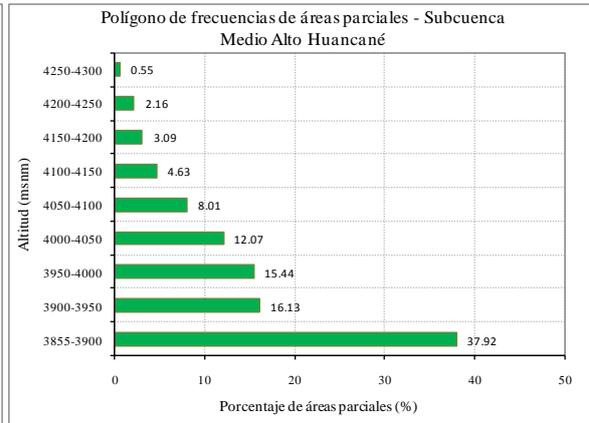
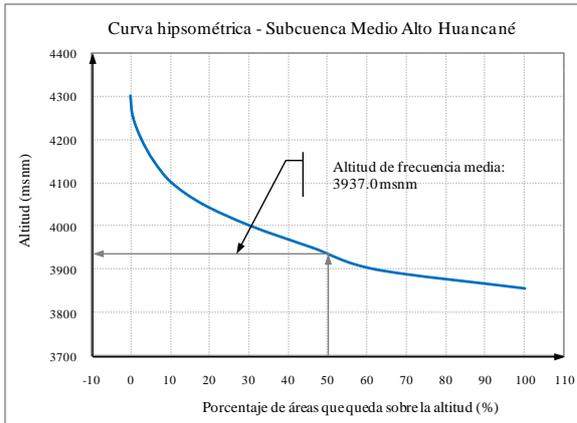
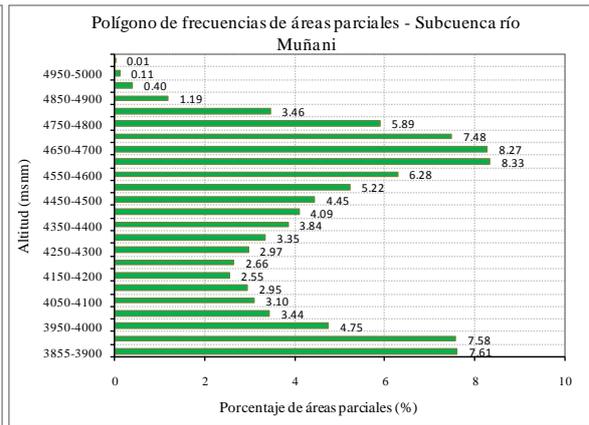
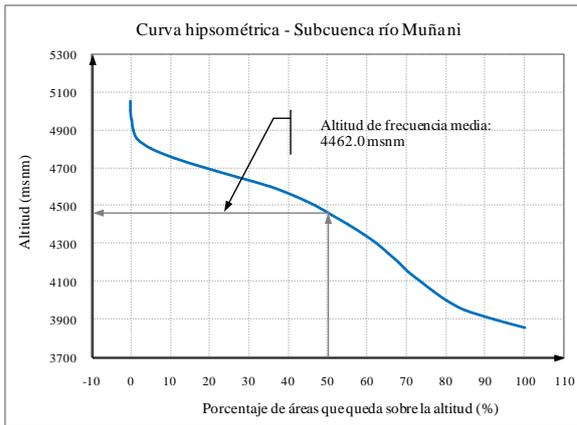
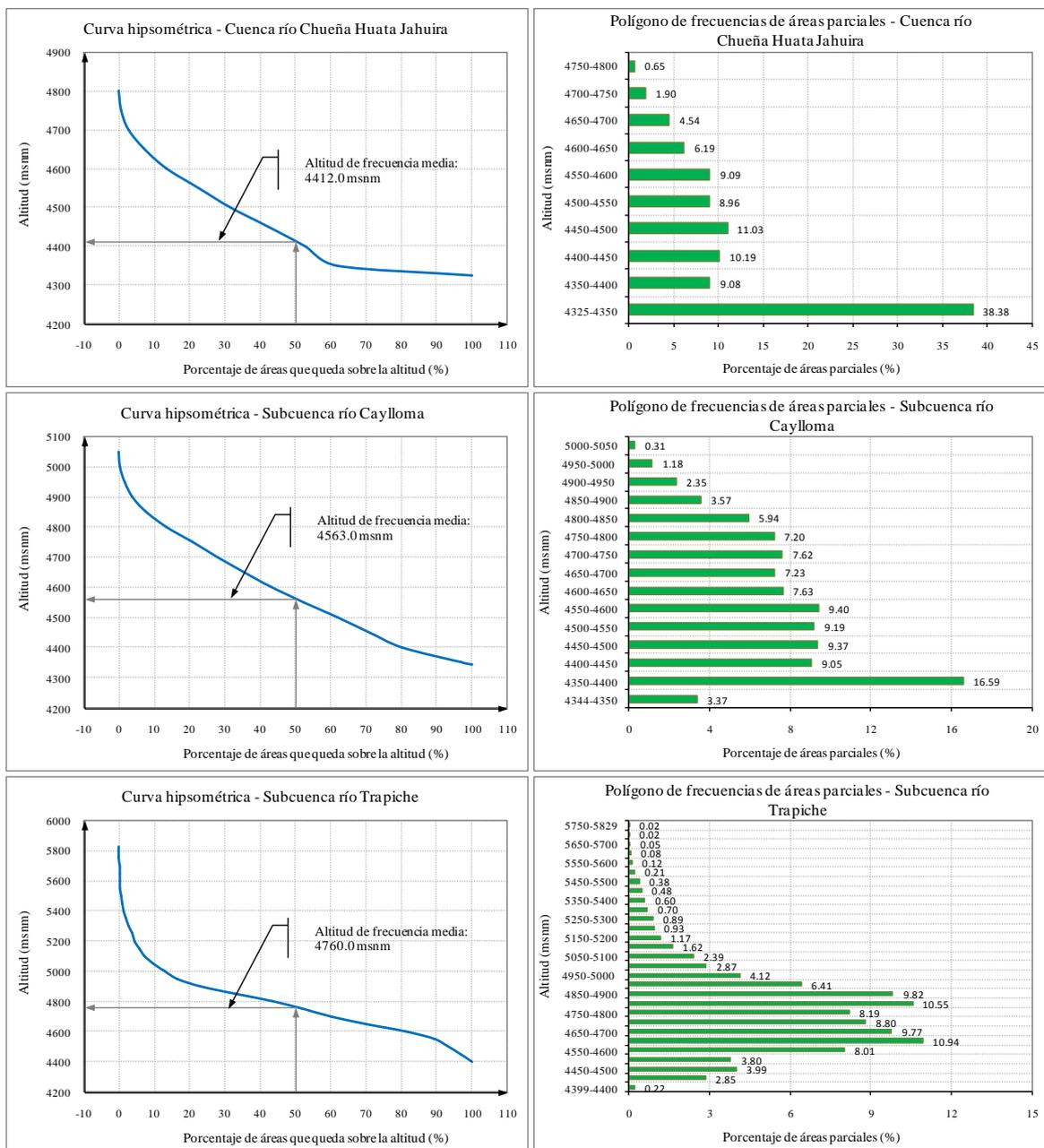


Figura N° 3.4 Curva hipsométrica y polígono de frecuencias – Cuenca Suches



Los cuadros de distribución de altitudes para la elaboración de las curvas hipsométricas, polígono de frecuencias de áreas parciales, cálculo de la altitud media, altitud de frecuencia media e índice de pendiente de las cuencas Huancané y Suches, se muestran en el anexo.

C.- Altitud media de la cuenca

Corresponde a la ordenada media de la curva hipsométrica, y su cálculo obedece a un promedio ponderado: elevación – área de la cuenca.

La altura o elevación media tiene importancia principalmente en zonas montañosas donde influye en el escurrimiento y en otros elementos que también afectan el régimen hidrológico, como el tipo de precipitación, la temperatura, etc. Para obtener la elevación media se aplica un método basado en la siguiente fórmula:

$$Hm = \frac{\sum_{i=1}^n (C_i \cdot a_i)}{A}$$

Donde:

- Hm = Elevación media de la cuenca (msnm).
- C_i = Cota media del área i, delimitada por 2 curvas de nivel (msnm).
- a_i = Área i entre curvas de nivel (km²).
- A = Área total de la cuenca (km²).

La altitud media de la cuenca del río Huancané es de 4212.0 msnm. Para las subunidades hidrográficas de nivel cinco (subcuencas) de las cuencas Huancané y Suches se presentan en los Cuadros N° 3.10 y 3.11.

D.- Altitud de frecuencia media

Es la altitud correspondiente al punto de abscisa media de la curva de frecuencia de altitudes, en ella, el 50% del área de la cuenca, está situado por encima de esa altitud y el 50% por debajo de ella.

La altitud de frecuencia media de la cuenca del río Huancané es de 4147.0 msnm, y el área por encima de esta cota es de 1815.60 km² que representa el 50% del total de la superficie de la cuenca. Para las unidades hidrográficas de nivel cinco (subcuencas) de las cuencas Huancané y Suches se muestran en los Cuadros N° 3.10 y 3.11.

E.- Altitud más frecuente

Es la altitud predominante con mayor porcentaje de área de la cuenca. En la Figura N° 3.3 para la cuenca del río Huancané, la altitud predominante se encuentra entre el intervalo de las cotas de 3850 a 3950 msnm, es donde se tiene mayor porcentaje de área de la cuenca. Para las unidades hidrográficas de nivel cinco (subcuencas) de las cuencas Huancané y Suches se presentan en los Cuadros N° 3.10 y 3.11.

F.- Pendiente media de la cuenca

Este parámetro de relieve es importante debido a su relación con el comportamiento hidráulico de drenaje de la cuenca, y tiene una importancia directa en relación a la

magnitud de las crecidas. Para su estimación se emplea el sistema del “Rectángulo Equivalente”.

$$Sm = \frac{H}{Lm}$$

Donde:

- Sm = Pendiente media de la cuenca.
 H = Desnivel total (cota en la parte más alta - cota en la parte más baja), en km.
 Lm = Lado mayor del rectángulo equivalente (km).

La cuenca del río Huancané tiene una pendiente media de 0.0067 m/m. Para las unidades hidrográficas de nivel cinco (subcuencas) de las cuencas Huancané y Suches se muestran en los Cuadros N° 3.10 y 3.11.

G.- Índice de pendiente de la cuenca (I_p)

El índice de pendiente representa la pendiente promedio de todas las áreas elementales de la cuenca y es importante para el estudio de la infiltración, recarga de acuíferos y clasificación de cuencas.

$$I_p = \sum_{i=1}^n \sqrt{\beta_i (a_i - a_{i-1})} \frac{1}{\sqrt{L}}$$

Donde:

- I_p = Índice de pendiente.
 n = Número de curvas de nivel existente en el rectángulo equivalente, incluido los extremos.
 $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$ = Cotas de las n curvas de nivel consideradas (km).
 β_i = Fracción de la superficie total de la cuenca comprendida entre las cotas $a_i - a_{i-1}$. ($\beta_i = A_i / A_T$)
 L = Longitud del lado mayor del rectángulo equivalente (km).

El índice de pendiente de la cuenca del río Huancané es de 0.0742. Para las unidades hidrográficas de nivel cinco (subcuencas) de las cuencas Huancané y Suches se presentan en los Cuadros N° 3.10 y 3.11.

H.- Coeficiente de masividad (C_m)

Es la relación entre la elevación media y el área de la cuenca.

$$C_m = \frac{E}{A}$$

Donde:

- E = Extensión media del escurrimiento superficial (km).
 A = Área de la cuenca (km²).

El coeficiente de masividad de la cuenca del río Huancané es 0.0004. Para las unidades hidrográficas de nivel cinco (subcuencas) de las cuencas Huancané y Suches se muestran en los Cuadros N° 3.10 y 3.11.

I.- Coeficiente orográfico (Co)

Es el producto del coeficiente de masividad y la elevación media de la cuenca, este valor permite determinar el relieve en distintos puntos de la cuenca.

$$Co = Cm(E)$$

Donde:

Cm = Coeficiente de masividad de la cuenca.

E = Extensión media del escurrimiento superficial (km).

El coeficiente orográfico para la cuenca del río Huancané es de 0.0006. Para las unidades hidrográficas de nivel cinco (subcuencas) de las cuencas Huancané y Suches se presentan en los Cuadros N° 3.10 y 3.11.

J.- Coeficiente de torrencialidad (Ct)

Este parámetro indica la relación entre el número de cursos de primer orden con el área de la cuenca.

$$Ct = \frac{N^{\circ} R_1}{A}$$

Donde:

$N^{\circ} R_1$ = Número de ríos de primer orden.

A = Área de la cuenca (km²).

La cuenca del río Huancané tiene un coeficiente de torrencialidad de 0.19. Para las unidades hidrográficas de nivel cinco (subcuencas) de las cuencas Huancané y Suches se muestran en los Cuadros N° 3.10 y 3.11.

3.5.3.3 Parámetros de la red hidrográfica de la cuenca

La red hidrográfica corresponde al drenaje natural, permanente o temporal, por el que fluyen las aguas de los escurrimientos superficiales, hipodérmicos y subterráneos de la cuenca. La red de drenaje es, probablemente, uno de los factores más importantes a la hora de definir un territorio. De ella se puede obtener información en lo que concierne a la roca madre y a los materiales del suelo, a la morfología y a la cantidad de agua que circula, entre otros.

Diversos autores coinciden en afirmar que mientras mayor sea el grado de bifurcación del sistema de drenaje de una cuenca, es decir, entre más corrientes tributarias presente, más rápida será la respuesta de la cuenca frente a una tormenta, evacuando el agua en menos

tiempo. En efecto, al presentar una densa red de drenaje, una gota de lluvia deberá recorrer una longitud de ladera pequeña, realizando la mayor parte del recorrido a lo largo de los cauces, donde la velocidad del escurrimiento es mayor.

En virtud de lo anterior, se han propuesto una serie de indicadores de dicho grado de bifurcación, como la densidad de corrientes y la densidad de drenaje. Para analizar la red hidrográfica superficial de una cuenca, se han utilizado los siguientes parámetros:

- Tipo de corriente.
- Número de orden de los ríos.
- Frecuencia de densidad de ríos (Fr).
- Densidad de drenaje (Dd).
- Extensión media del escurrimiento superficial (E).
- Pendiente media del río principal (Sm).
- Altura media del río principal (Hmed).
- Tiempo de concentración (Tc).

A.- Tipo de corriente

Una manera comúnmente usada para clasificar el tipo de corriente es tomar como base la permanencia del flujo en el cauce del río. Los tipos de corriente en una cuenca es la siguiente:

Ríos Perennes.- son ríos que contienen el agua permanentemente todo el año.

Ríos Intermitentes.- son ríos que en general contienen el agua sólo durante épocas de lluvia y se secan en épocas de estiaje.

Ríos Efímeros.- son ríos que contienen el agua, sólo cuando llueve, después se secan (quebradas).

Los ríos Huancané y Suches son de tipo Perenne, igualmente los ríos de las unidades hidrográficas de nivel cinco (subcuencas), por que los ríos contienen el agua durante todo el año.

B.- Número de orden de los ríos

Es el grado de ramificación de las corrientes de agua, para su determinación se considera el número de bifurcaciones que tienen los tributarios, asignándoles un orden a cada uno de ellos en forma creciente desde su nacimiento hasta su desembocadura. De manera que el orden atribuido al curso nos indique el grado de ramificación del sistema de drenaje. Es decir, los ríos del primer orden son las corrientes que no tienen tributarios, dos ríos del primer orden forman un río de segundo orden, dos ríos de segundo orden forman un río de tercer orden y así sucesivamente hasta llegar al curso principal y finalmente se obtiene el grado de ramificación del sistema de drenaje de una cuenca.

Los ríos Huancané y Suches son de orden 6 y 5, y las unidades hidrográficas de nivel cinco (subcuencas) varían de orden 4 - 6, respectivamente. Ver los Cuadros N° 3.10 y 3.11.

C.- Frecuencia de densidad de ríos (Fr)

Es el número de ríos por unidad de superficie de la cuenca. Se encuentra al dividir el número total del curso de agua (Nº ríos) entre el área total de la cuenca (A), es decir, que:

$$Dr = \frac{N^{\circ} \text{ ríos}}{A}$$

Donde:

$$\begin{aligned} N^{\circ} \text{ ríos} &= \text{Número de ríos de la cuenca.} \\ A &= \text{Área de la cuenca (km}^2\text{).} \end{aligned}$$

La densidad de ríos en la cuenca del río Huancané es de 0.25 ríos/km². Para las unidades hidrográficas de nivel cinco (subcuencas) de las cuencas Huancané y Suches se presentan en los Cuadros Nº 3.10 y 3.11.

D.- Densidad de drenaje (Dd)

Es la relación entre la longitud total de los cursos de agua: perennes, intermitentes o efímeros de la cuenca y el área total de la misma. Representa la cantidad de kilómetros de curso que existe por cada unidad de superficie.

$$Dd = \frac{L_T}{A}$$

Donde:

$$\begin{aligned} Dd &= \text{Densidad de drenaje (km/km}^2\text{).} \\ L_T &= \text{Longitud total de ríos de la cuenca (km).} \\ A &= \text{Área de la cuenca (km}^2\text{).} \end{aligned}$$

Según Monsalve S, G. [1999], la densidad de drenaje usualmente toma los valores siguientes:

- Entre 0.5 km/km², para hoyas con drenaje pobre.
- Hasta 3.5 km/km², para hoyas excepcionalmente bien drenadas.

La densidad de drenaje de la cuenca del río Huancané es de 0.71 km/km², el cual es mayor que 0.5 km/km² y menor que 3.5 km/km², lo que indica que la cuenca del río Huancané tendría drenaje regular y moderadamente propenso a las crecientes. Para las unidades hidrográficas de nivel cinco (subcuencas) de las cuencas Huancané y Suches se muestran en los Cuadros Nº 3.10 y 3.11.

E.- Extensión media del escurrimiento superficial (E)

Es la relación entre el área de la cuenca y la longitud total de la red hídrica de la misma cuenca.

También se puede definir como la distancia promedio en línea recta que el agua precipitada tendría que recorrer para llegar al lecho de un curso de agua. Su valor se calcula con la siguiente fórmula:

$$E = \frac{A}{L_T}$$

Donde:

$$\begin{aligned} A &= \text{área de la cuenca (km}^2\text{)}. \\ L_T &= \text{longitud total de ríos de la cuenca (km)}. \end{aligned}$$

Para la cuenca del río Huancané, la extensión media del escurrimiento superficial es de 1.42 km²/km. Para las unidades hidrográficas de nivel cinco (subcuencas) de las cuencas Huancané y Suches se presentan en los Cuadros N° 3.10 y 3.11.

F.- Pendiente media del río principal (Sm)

La velocidad de la escorrentía superficial de los cursos de agua depende de la pendiente de sus cauces fluviales; así a mayor pendiente habrá mayor velocidad de escurrimiento. La pendiente media del río es un parámetro empleado para determinar la declividad de una corriente de agua entre dos puntos extremos.

La pendiente media del cauce principal, según Taylor y Schwarz es la relación entre la diferencia de alturas y la longitud del curso principal.

$$S_m = \frac{(H_M - H_m)}{1000 \times L}$$

Donde:

$$\begin{aligned} S_m &= \text{Pendiente media del cauce principal (m/m)}. \\ L &= \text{Longitud del cauce principal (km)}. \\ H_M, H_m &= \text{Altura máxima y mínima del lecho del río principal, referidos al nivel medio de las aguas del mar (msnm)}. \end{aligned}$$

El río principal de las cuencas Huancané y Suches tienen una pendiente media de 0.0070 y 0.0065 m/m. Para las unidades hidrográficas de nivel cinco (subcuencas) de las cuencas Huancané y Suches se muestran en los Cuadro N° 3.10 y 3.11.

Los perfiles longitudinales de los ríos Huancané y Suches se muestran en las Figuras N° 3.5 y 3.6.

G.- Altura media del río principal (Hm)

Es el valor medio entre las alturas de los extremos del río principal.

$$H = \frac{H_{m\acute{a}x} + H_{m\acute{i}n}}{2}$$

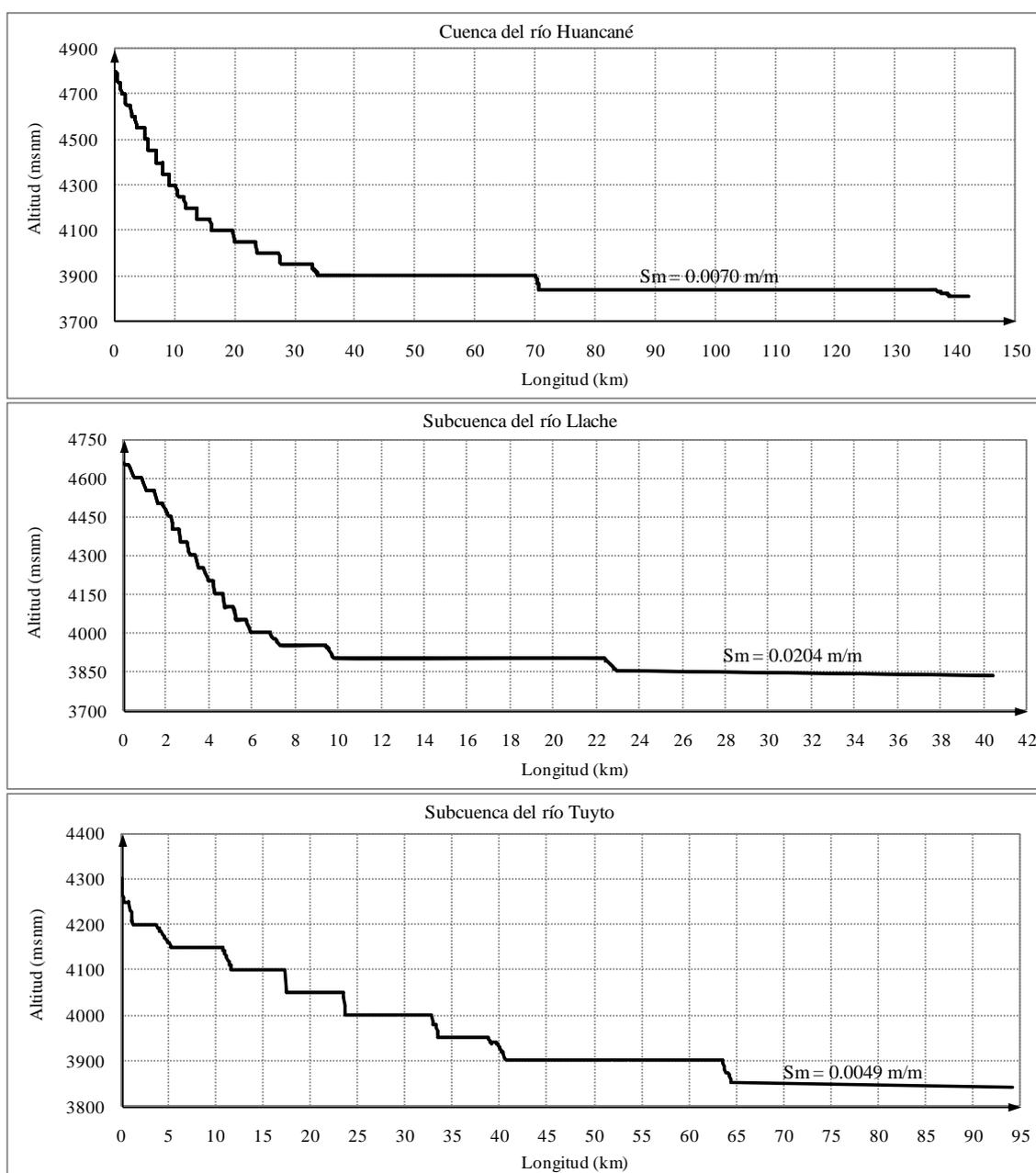
Donde:

$H_{máx.}$ = Altura máxima del lecho del río principal (msnm).

$H_{mín.}$ = Altura mínima del lecho del río principal (msnm).

La altura media del cauce principal de los ríos Huancané y Suches son 4303.0 y 4424.0 msnm. Para las unidades hidrográficas de nivel cinco (subcuencas) de las cuencas Huancané y Suches se presentan en los Cuadros N° 3.10 y 3.11.

Figura N° 3.5 Perfil longitudinal del cauce principal - Cuenca del río Huancané



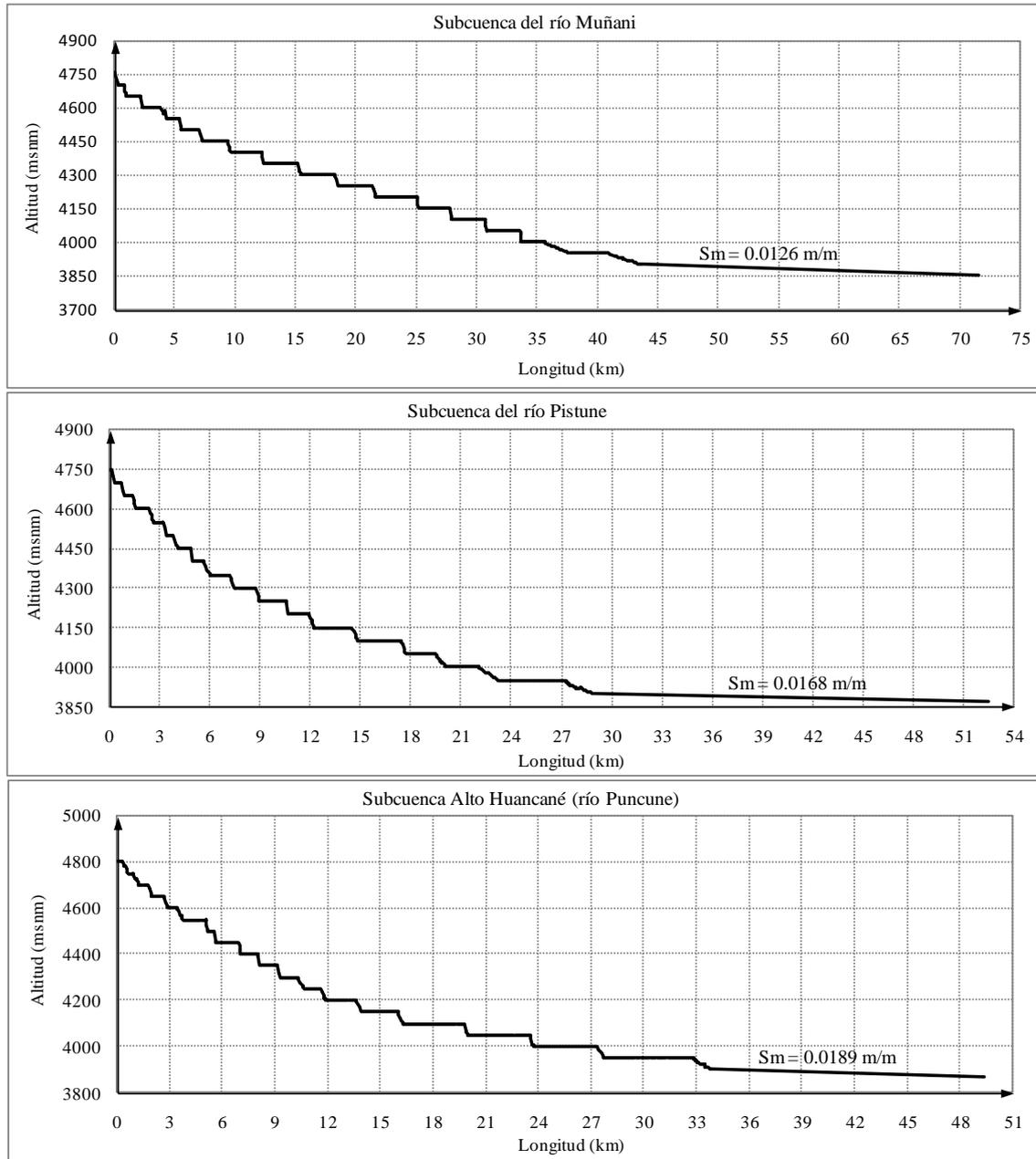
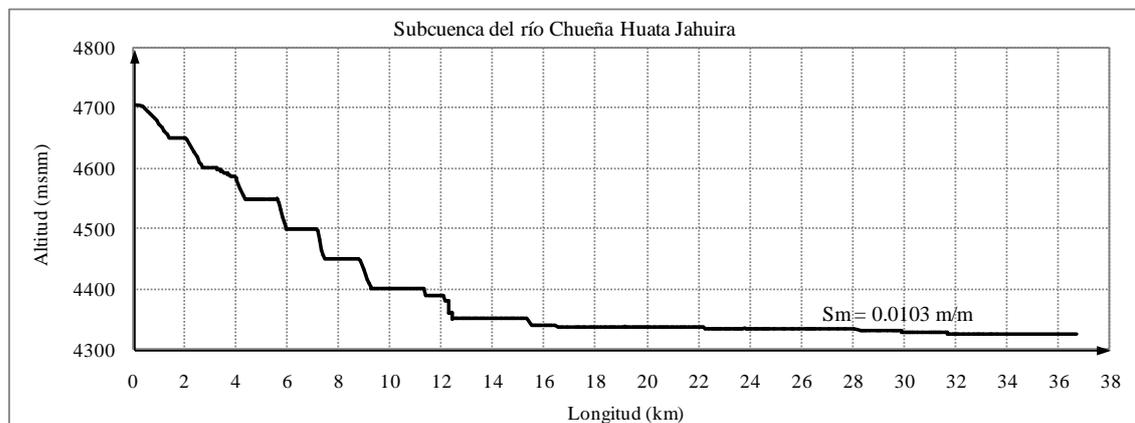
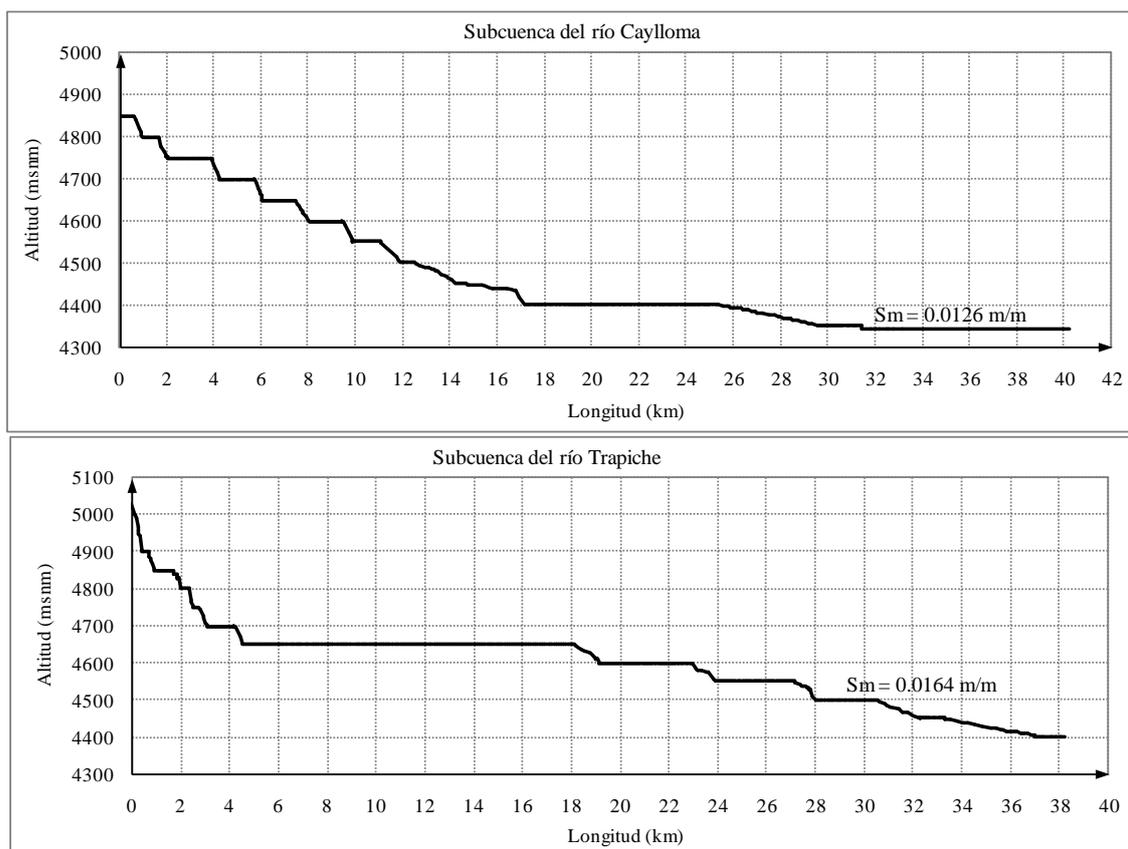


Figura N° 3.6 Perfil longitudinal del cauce principal - Cuenca del río Suches (Perú)





H.- Tiempo de concentración (T_c)

Este parámetro se refiere al tiempo que tarda el agua en su recorrido entre dos puntos determinados, los cuales son: en extremo superior de la cuenca y el punto donde se mide el flujo.

Para el cálculo del tiempo de concentración existen numerosas fórmulas empíricas, para el presente se ha utilizado la fórmula de **Kirpich**, cuya ecuación es la siguiente:

$$T_c = 0.0195 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

Donde:

- T_c = Tiempo de concentración (min).
- L = Longitud del curso principal (m).
- S = Pendiente media del curso principal (m/m).

El tiempo de concentración de las cuencas de los ríos Huancané y Suches son de 20.4 y 26.0 horas. Para las unidades hidrográficas de nivel cinco (subcuencas) de las cuencas Huancané y Suches se muestran en los Cuadros N° 3.10 y 3.11.

En los Cuadros N° 3.10 y 3.11 se presenta el resumen de los parámetros geomorfológicos de las cuencas de los ríos Huancané y Suches.

Cuadro N° 3.11 Parámetros geomorfológicos de la cuenca Suches

PARÁMETROS	UNIDAD DE MEDIDA	SUBCUENCA				CUENCA				
		Chueña Huata Jahuira	Caylloma	Trapiche	Suches (Perú)	Suches	Suches	Suches		
		Punto de control								
		Confluencia con río Suches	Confluencia con río Suches	Confluencia con río Suches	Lugar Cuchauilla	Puente Ramón Castilla	Lugar Cuchauilla	Puente Escoma		
PARÁMETROS DE FORMA DE LA CUENCA	Área total de la Cuenca	km ²	162.18	289.22	405.45	303.90	1056.49	2222.07	2930.73	
	Perímetro de la cuenca	km	85.69	93.76	104.23	218.71	176.60	262.24	384.57	
	Longitud del río principal	km	36.76	40.24	38.63	80.33	55.77	118.96	188.00	
	Longitud total de los ríos de diferentes grados	Orden 1	km	44.63	118.34	116.09	-	-	-	-
		Orden 2	km	21.77	53.73	47.72	-	-	-	-
		Orden 3	km	26.32	20.35	29.91	-	-	-	-
		Orden 4	km	3.65	9.95	18.66	-	-	-	-
		Orden 5	km	0.00	0.00	0.00	-	-	-	-
	Longitud total	km	96.37	202.37	212.38	-	-	-	-	
	Ancho promedio de la cuenca	km	4.41	7.19	10.50	3.78	18.94	18.68	15.59	
	Coefficiente de compacidad	-	1.90	1.55	1.46	3.54	1.53	1.57	2.00	
	Factor de forma	-	0.12	0.18	0.27	0.05	0.34	0.16	0.08	
	Rectángulo equivalente	Lado mayor	km	38.649	39.571	42.597	106.502	74.029	111.124	175.595
		Lado menor	km	4.196	7.309	9.518	2.853	14.271	19.996	16.690
Radio de Circularidad	km	0.28	0.41	0.47	0.08	0.43	0.41	0.25		
PARÁMETROS DE RELIEVE DE LA CUENCA	Curva hipsométrica	-	✓	✓	✓	-	-	-	-	
	Polígonos de frecuencia de altitudes	-	✓	✓	✓	-	-	-	-	
	Altitud media de la cuenca	msnm	4447.00	4583.00	4780.00	-	-	-	-	
	Altitud de frecuencia media	msnm	4412.00	4563.00	4760.00	-	-	-	-	
	Área por encima de frecuencia media	km ²	81.09	144.61	202.73	151.95	528.25	1111.04	1465.37	
	Altitud más frecuente	msnm	4325-4350	4350-4400	4550-4900	-	-	-	-	
	Pendiente media de la cuenca	Altitud máxima	msnm	4800.00	5050.00	5829.00	-	-	-	-
		Altitud mínima	msnm	4325.00	4344.00	4399.00	-	-	-	-
		Pendiente media	m/m	0.0123	0.0178	0.0336	-	-	-	-
	Índice de pendiente de la cuenca	-	0.0961	0.1254	0.1500	-	-	-	-	
	Coefficiente de masividad	-	0.0104	0.0049	0.0047	-	-	-	-	
	Coefficiente orográfico	-	0.0175	0.0070	0.0090	-	-	-	-	
	Coefficiente de torrencialidad	-	0.17	0.11	0.12	-	-	-	-	
	PARÁMETROS DE LA RED HIDROGRÁFICA DE LA CUENCA	Tipo de corriente	-	Perenne	Perenne	Perenne	Perenne	Perenne	Perenne	Perenne
Número de orden de los ríos		Número de ríos								
		Orden 1	-	28	33	49	-	-	-	-
		Orden 2	-	6	12	12	-	-	-	-
		Orden 3	-	3	2	4	-	-	-	-
		Orden 4	-	1	1	1	-	-	-	-
		Orden 5	-	0	0	0	-	-	-	-
		N° total de ríos	-	38	48	66	-	-	-	-
Grado de ramificación		-	4	4	4	5	5	5	5	
Frecuencia de densidad de los ríos		ríos/km ²	0.23	0.17	0.16	-	-	-	-	
Densidad de drenaje		km/km ²	0.59	0.70	0.52	-	-	-	-	
Extensión media del escurrimiento superficial		km ² /km	1.68	1.43	1.91	-	-	-	-	
Cotas del río principal		Altitud máxima	msnm	4704.00	4850.00	5031.00	4399.00	5031.00	5031.00	5031.00
		Altitud mínima	msnm	4325.00	4344.00	4399.00	4250.00	4339.00	4250.00	3817.00
Pendiente media del río principal	m/m	0.0103	0.0126	0.0164	0.0019	0.0124	0.0066	0.0065		
Altura media del río principal	msnm	4514.50	4597.00	4715.00	4324.50	4685.00	4640.50	4424.00		
Tiempo de concentración	horas	6.20	6.10	5.40	21.70	8.00	18.20	26.00		

Cuadro N° 3.12 Parámetros geomorfológicos de las subcuencas Guanaco y Yapurira

Parámetros físicos de la cuenca	Subcuenca	
	Río Guanaco (Vaso Callatomaza)	Río Yapurira (Vaso Yapurira)
Área (km ²)	216.75	228.24
Perímetro (km)	77.52	85.50
Longitud del río principal (km)	24.34	27.86
Altitud máxima del río principal (msnm)	4760.00	4300.00
Altitud mínima del río principal (msnm)	4154.00	3980.00
Pendiente media del río principal (m/m)	0.0249	0.0115

3.6 ECOLOGÍA

En las cuencas de los ríos Huancané y Suches se han identificado cuatro (4) y tres (3) zonas de vida ecológica, con predominio del páramo muy húmedo subalpino subtropical (pmh-SaS), que ocupa 52.41% del total de la superficie de la cuenca Huancané y 71.18% en la cuenca Suches (ver Cuadros N° 3.13 y 3.14). En los Mapas N° 3.13 y 3.14 se muestran la distribución espacial de las zonas de vida en la cuenca del río Huancané y Suches. A continuación se describen en forma breve cada una de las zonas de vida.

Cuenca Huancané

1) Nival Subtropical (NS)

Es la zona de vida de menor representatividad en la cuenca del río Huancané, que ocupa una extensión superficial de 34.80 km² y representa el 0.96% del área total de la cuenca. Se distribuye entre los 4,800 a 4,950 msnm de altitud, posee un clima súper húmedo muy frío, con temperatura media anual entre 4.5 a 5.2°C, precipitación media anual entre 650 a 700 mm, humedad relativa media anual entre 50 a 84% y la evapotranspiración potencial media anual entre 960 a 1440 mm. La cubierta vegetal es escasa, observándose en forma muy esparcida matas de gramíneas altoandinas, tayas y algunas cactáceas. Las condiciones topográficas y ecológicas son factores que limitan toda actividad antrópica dentro de esta zona de vida.

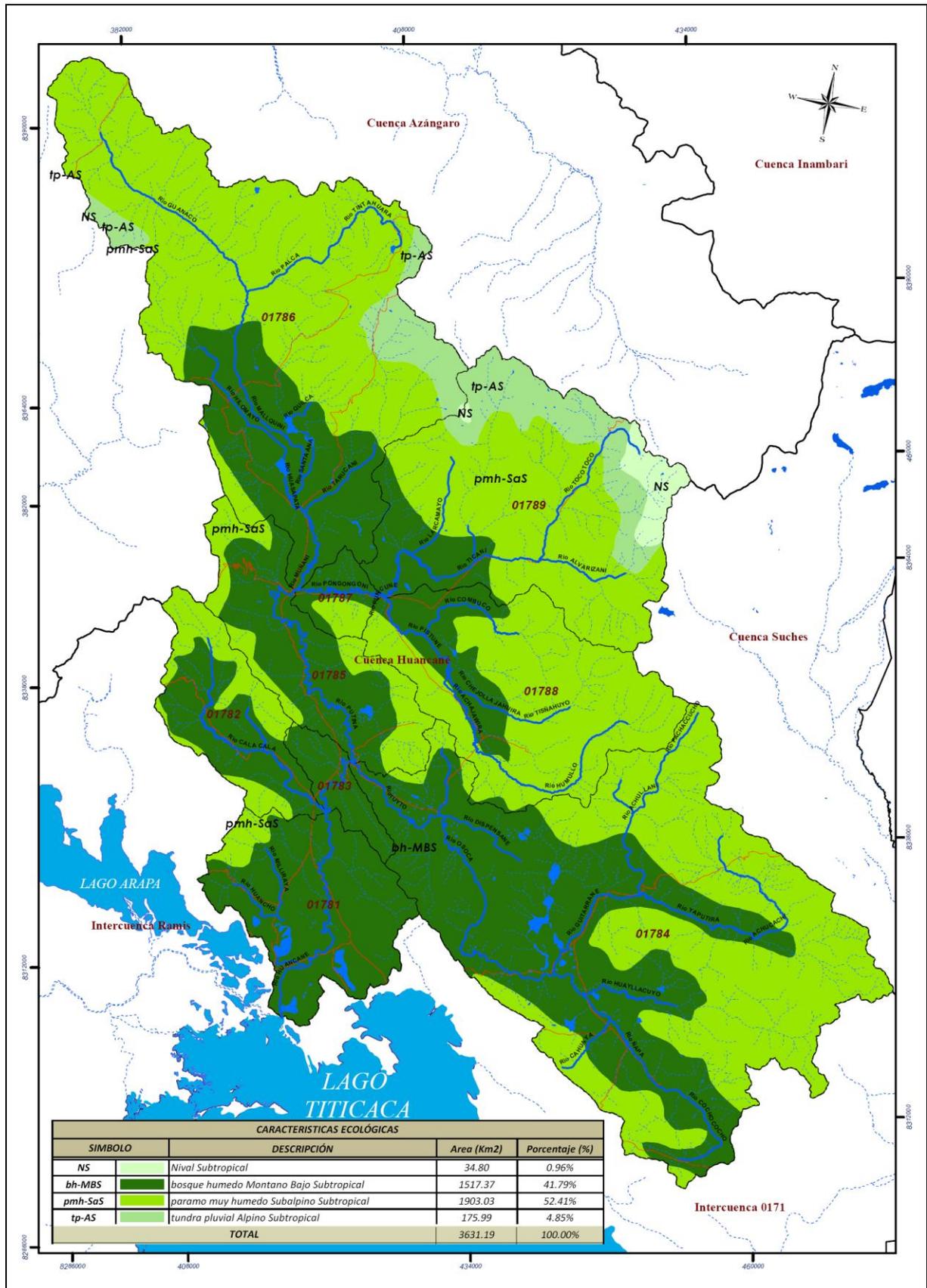
2) Bosque húmedo montano bajo subtropical (bh-MBS)

Es la segunda zona de vida representativa de la cuenca del río Huancané, ocupa una superficie de 1,517.37 km², representa el 41.79% del área total de la cuenca. Se distribuye entre las cotas 3,806 a 4,100 msnm, posee un clima semiárido- frío, con temperatura media anual entre 6 a 8.5°C, precipitación media anual entre 625 a 900 mm, humedad relativa media anual entre 52% a 78% y la evapotranspiración potencial media anual entre 1000 a 1440 mm. La cubierta vegetal está constituida por pastos naturales conformada por especies graminales altoandinas con una distribución regular, asociada con cactáceas. Las tierras de esta zona de vida son utilizadas para la actividad agrícola y el pastoreo del ganado vacuno, ovino y camélidos sudamericanos.

3) Páramo muy húmedo subalpino subtropical (pmh-SaS)

Es la primera zona de vida ecológica representativa de la cuenca del río Huancané, que ocupa una superficie de 1,903.03 km² y representa el 52.41% del área total de la cuenca. Se distribuye en los valles interandinos y laderas de la cuenca entre las altitudes de 3,900 a 5,050 msnm, posee un clima perhúmedo-frío, con temperatura media anual entre 5 a 8.5°C, precipitación media anual entre 675 a 900 mm, humedad relativa media anual entre 50 a 82% y la evapotranspiración potencial media anual entre 1000 a 1450 mm. La cubierta vegetal está conformada por una vegetación de pradera altoandina constituida por pastos naturales provenientes de diversas familias pero principalmente de la familia gramíneas; en general esta zona tiene una composición florística compleja y es más densamente poblada. Las tierras de esta zona de vida son utilizadas para el pastoreo del ganado ovino, vacuno y camélidos sudamericanos.

Mapa Nº 3.13 Mapa ecológico de la cuenca del río Huancané



4) Tundra pluvial alpino subtropical (tp-AS)

Esta zona de vida ocupa una extensión superficial de 175.99 km² y representa el 4.85% del área de la cuenca. Se distribuye entre las altitudes de 4,650 a 5,000 msnm, posee un clima súperhúmedo-muy frío, con temperatura media anual entre 5 a 8.5°C, precipitación media anual entre 650 a 710 mm, humedad relativa media anual entre 50 a 84% y la evapotranspiración potencial media anual entre 980 a 1450 mm. La cubierta vegetal lo conforma una vegetación típica de pradera altoandina, constituida por pastos naturales, principalmente de la familia de gramíneas con distribución regular. Las tierras de esta zona de vida son utilizadas para el pastoreo de auquénidos, ovinos y camélidos sudamericanos.

Cuadro N° 3.13 Características ecológicas de la cuenca del río Huancané

Símbolo	Descripción	Área	
		(km ²)	(%)
NS	Nival Subtropical	34.80	0.96
bh-MBS	bosque humedo Montano Bajo Subtropical.	1517.37	41.79
pmh-SaS	paramo muy humedo Subalpino Subtropical.	1903.03	52.41
tp-AS	tundra pluvial Alpino Subtropical.	175.99	4.85
Total		3631.19	100.00

Cuenca Suches

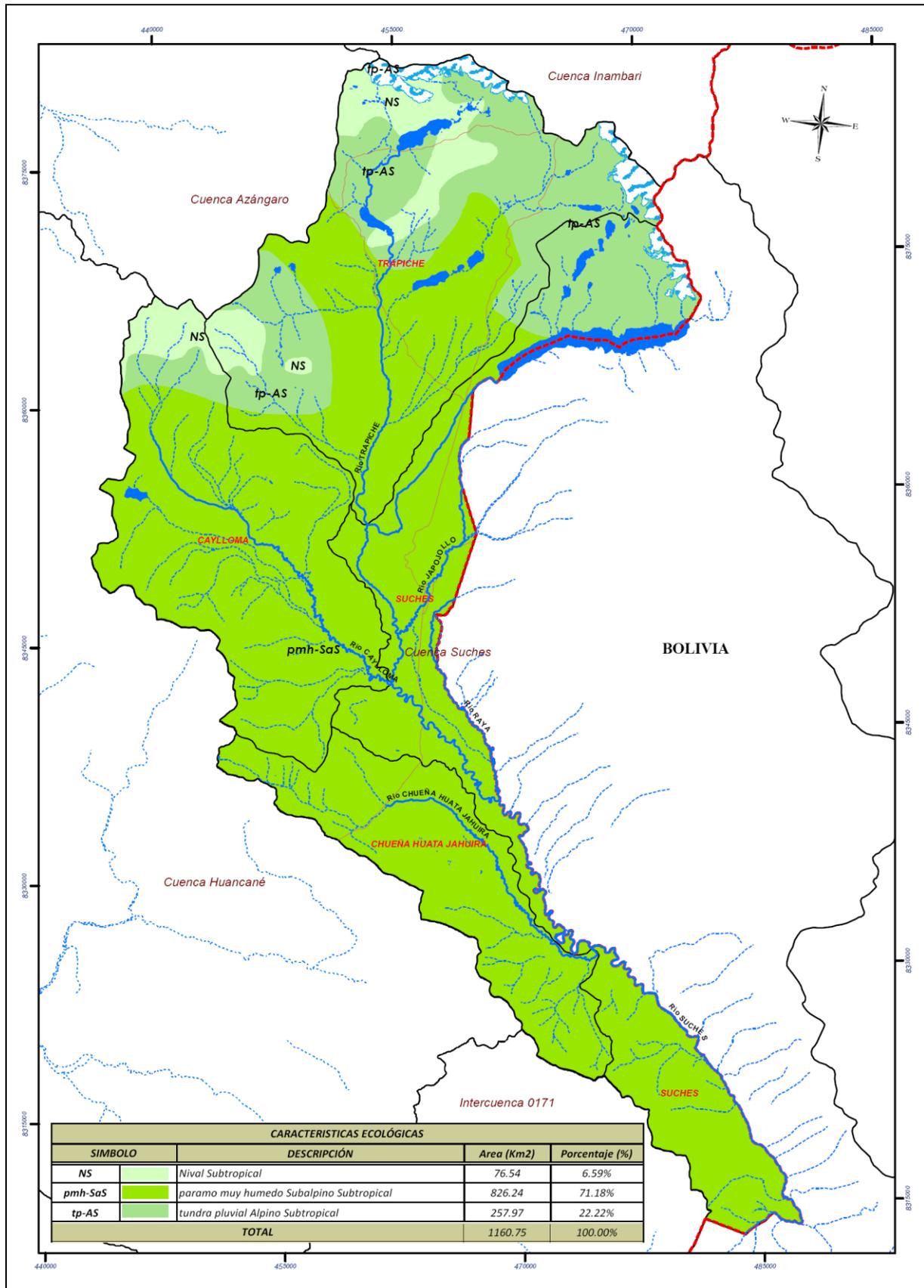
1) Nival Subtropical (NS)

Es la zona de vida de menor representatividad en la cuenca del río Suches, que ocupa una superficie de 75.54 km² y representa el 6.59% del área total de la cuenca. Se distribuye entre los 4,600 a 5,200 msnm de altitud, posee un clima súper húmedo muy frío, con temperatura media anual entre 3 a 5°C, precipitación media anual entre 475 a 675 mm, humedad relativa media anual entre 80 a 84% y la evapotranspiración potencial media anual entre 860 a 970 mm. La cubierta vegetal es escasa, observándose en forma muy esparcida matas de gramíneas altoandinas, tayas y algunas cactáceas. Las condiciones topográficas y ecológicas son factores que limitan toda actividad antrópica dentro de esta zona de vida.

2) Páramo muy húmedo subalpino subtropical (pmh-SaS)

Es la primera zona de vida ecológica representativa de la cuenca del río Suches, que ocupa una superficie de 826.24 km² y representa el 71.18% del área total de la cuenca. Se distribuye en los valles interandinos y laderas de la cuenca entre las altitudes de 4,250 a 5,150 msnm, posee un clima perhúmedo-frío, con temperatura media anual entre 3.3 a 9.0°C, precipitación media anual entre 500 a 925 mm, humedad relativa media anual entre 62 a 84% y la evapotranspiración potencial media anual entre 900 a 1280 mm. La cubierta vegetal está conformada por una vegetación de pradera altoandina constituida por pastos naturales provenientes de diversas familias pero principalmente de la familia gramíneas; en general esta zona tiene una composición florística compleja y es más densamente poblada. Las tierras de esta zona de vida son utilizadas para el pastoreo del ganado ovino, vacuno y camélidos sudamericanos.

Mapa N° 3.14 Mapa ecológico de la cuenca del río Suches (Perú)



3) Tundra pluvial alpino subtropical (tp-AS)

Es la segunda zona de vida representativa de la cuenca, que ocupa una extensión superficial de 257.97 km² y representa el 22.22% del área de la cuenca. Se distribuye entre las altitudes de 4,600 a 5,829 msnm, posee un clima súperhúmedo-muy frío, con temperatura media anual entre 2.5 a 5°C, precipitación media anual entre 400 a 700 mm, humedad relativa media anual entre 80 a 84%, y la evapotranspiración potencial media anual entre 840 a 980 mm. La cubierta vegetal lo conforma una vegetación típica de pradera altoandina, constituida por pastos naturales, principalmente de la familia de gramíneas con distribución regular. Las tierras de esta zona de vida son utilizadas para el pastoreo de auquénidos, ovinos y camélidos sudamericanos.

Cuadro N° 3.14 Características ecológicas de la cuenca del río Suches (Perú)

Símbolo	Descripción	Área	
		(km2)	(%)
NS	Nival Subtropical	76.54	6.59
pmh-SaS	paramo muy humedo Subalpino Subtropical.	826.24	71.18
tp-AS	tundra pluvial Alpino Subtropical.	257.97	22.22
Total		1160.75	100.00

3.7 GEOLOGÍA

Para la descripción geológica de las cuencas de los ríos Huancané y Suches, se ha tomado como referencia las cartas geológicas, del Instituto de Geología Minera de 1975 (Fuente: Dirección General de Asuntos Ambientales del Ministerio de Agricultura), para lo cual se han encontrado 19 y 12 tipos de geología para las cuencas Huancané y Suches, ubicadas en diferentes zonas de las cuencas de estudio, a continuación se describen en forma general.

En los Cuadros N° 3.15 y 3.16 se muestran las características geológicas, y en los Mapas N° 3.15 y 3.16 la distribución espacial de las formaciones geológicas en las cuencas de los ríos Huancané y Suches.

Cuenca Huancané

1) Formación Chupa (Ki.chu)

Se extiende en una superficie de 20.79 km² y representa el 0.57% del área total de la cuenca del río Huancané. Esta formación geológica se localiza en la zona alta de la cuenca Huancané, ubicados en su mayoría en la zona alta del río Palca y Guanaco en la subcuenca Muñani y una menor parte se ubica en la zona alta del río Toco Toco de la subcuenca Alto Huancané. La formación Chupa corresponde a la era mesozoico, sistema cretáceo y serie inferior.

2) Formación Huancané (Ki-hu)

El nombre de esta formación fue introducido por NEWELL (1945, 1949) dando una buena sección tipo.

La formación es dividida en tres unidades litológicas principales; conglomerados con estratificación de canal que generalmente yacen en la parte media de la secuencia; areniscas cuarzosas con estratificación cruzada, con conjuntos asintóticos arreglados en unidades de 2 a 5 m de grosor; y areniscas lajosadas con estratificación de canal con conjuntos de menos de 2 m de grosor. La presencia ubicua de capas cruzadas es usada para determinar la polaridad de las capas en la mayoría de la exposiciones.

Las capas de conglomerados contienen clastos bien redondeados de cuarcita blanca, gris y marrón y venas de cuarzo hasta de 3 cm de diámetro. Es más probable que se deriven del basamento paleozoico que de rocas jurásicas. Las areniscas son de grano medio a grueso, casi siempre bien sorteadas y varían de blanquecino a marrón anaranjado-marrón rojizo y rosado dependiendo, de la cantidad de óxido de hierro intersticial. Las rocas más ferruginosas son usualmente las de grano más fino y ocurren en los 100 m superiores de la formación. El cuarzo secundario como cemento tiene un efecto sobre las características debido a intemperismo: capas bien cementadas, usualmente en la parte basal de la secuencia, tiene un afloramiento peñascoso, mientras que las capas menos cementadas tienen una textura sacaroidea y se desgastan más fácilmente.

Las secciones delgadas de la Arenisca Huancané muestran que está constituida de cuarzo equigranular subredondeado a subangular con menores cantidades (menos del 5%) de microclina, fragmentos líticos de cuarzo microcristalino y granos de turmalina y zircón (menos de 1%). Algunas capas de carácter bimodal también contienen hasta 50% de cuarzo en granos muy bien redondeados hasta de 0.5 mm de diámetro de un probable origen eólico. En rocas con cuarzo secundario como cemento, los granos tienen sobrecrecimientos de cuarzo en continuidad óptica.

Esta formación geológica, abarca una superficie de 78.95 km² y representa 2.17% del área total de la cuenca del río Huancané. Se ubica en la zona alta y media de las subcuencas Bajo Huancané, Llache, Medio Bajo Huancané y Medio Huancané. La formación Huancané corresponde a la era mesozoico, sistema cretáceo y serie inferior.

3) Formación Muni (Ki-mun)

La formación Muni ocupa una superficie de 226.42 km² y representa 6.24% del área total de la cuenca del río Huancané. Esta formación geológica se localiza en la zona baja, media y alta de la margen derecha del cauce principal de la cuenca Huancané, ubicados en las subcuencas Bajo Huancané, Llache, Tuyto y Muñani. La formación Muni corresponde a la era mesozoico, sistema cretáceo y serie inferior.

4) Formación Moho (Km-mo)

Esta unidad de la sucesión fue designada como ‘Grupo Moho’, por NEWELL (1945, 1949). Esta formación descansa en conformidad sobre la Arenisca Huancané con un cambio marcado en la litología en unos 4 ó 5 m pasando de predominantemente areniscosa a una secuencia limolítica y fangolítica de color rojo.

La parte basal de la secuencia está dominada por sedimentos de color marrón rojizo de grano fino y en la parte media es mayormente de imolita y fangolita color caqui gris y

marrón. Fangolitas calcáreas delgadas con lignito alóctono, y capas con fósiles esparcidos se encuentran en esta parte media, aunque en muchas localidades los sedimentos de grano fino, parecen ser cortados por una gruesa secuencia de areniscas con estratificación cruzada. Al tope de la secuencia se retorna a una litología compuesta de fangolitas y limolitas rojas.

Fotogeológicamente no hay rasgos diagnósticos. Las características de las unidades areniscosas y fangolíticas de estratificación delgada están marcadas por colinas de una coloración ligeramente más clara que son muy persistentes, algunas de ellas se pueden trazar por varios kilómetros a lo largo del rumbo.

Esta formación geológica, abarca una superficie de 160.60 km² y representa 4.42% del área total de la cuenca del río Huancané. Se ubica en varias zonas en toda la cuenca, mas centradas en la zona medio bajo de la cuenca Huancané. La formación Moho corresponden a la era mesozoico, sistema cretáceo y serie medio.

5) Grupo Cotacucho (Ks-co)

Pertenece a las facies continentales sedimentarias, también a las formaciones de Vilquechico y Muñani, localmente con facies litoral. El área que abarca esta formación es de 735.67 km² y representa el 20.26% del total de la cuenca. Se localiza en varias zonas de la cuenca, más centrada en la subcuenca del río Tuyto. Su existencia corresponde a la era mesozoico, sistema cretáceo y serie superior.

6) Formación Muñani (Ks-mñ)

Se extiende en una superficie de 145.92 km² y representa el 4.02% del área total de la cuenca del río Huancané. Esta formación geológica se localiza generalmente en la zona alta de la cuenca Huancané, ubicados en su mayoría en la zona media y alta del río Guanaco en la subcuenca Muñani, una parte se ubica en la zona alta de la margen derecha del río principal de la subcuenca Medio Huancané y otra menor parte se ubica en la zona alta del río Achucachi de la subcuenca Tuyto. La formación Muñani corresponde a la era mesozoico, sistema cretáceo y serie superior.

7) Formación Vilquechico (Ks-vq)

Esta formación geológica ocupa una superficie de 727.12 km² y representa el 20.02% del área total de la cuenca del río Huancané. Se localiza en diferentes áreas de la zona baja, media y alta de la cuenca Huancané; centrada en su mayoría en la zona media y alta de la subcuenca del río Tuyto, zona alta de la margen izquierda del río principal de la subcuenca Bajo Huancané, una parte en la subcuenca Medio Huancané, margen izquierda de la subcuenca del río Pistune, zona alta entre los ríos Alvarizani y Toco Toco en la subcuenca Alto Huancané, mayor área cubierta en la subcuenca Medio Huancané (río Pongongoni) y una parte en la zona baja de la subcuenca del río Muñani. La formación Vilquechico corresponde a la era mesozoico, sistema cretáceo y serie superior.

8) Formación Ananea (Pi-a)

Abarca una superficie de 72.76 km² y representa el 2.0% del área total de la cuenca del río Huancané. Esta formación geológica se localiza generalmente en la zona alta de la cuenca Huancané, ubicado en su totalidad en la zona media de la subcuenca Alto Huancané, centrada la mayor área en la margen derecha del río Ticani. La formación Ananea corresponde a la era paleozoico y serie inferior.

9) Formación Chacrapí (Pi-ch)

Se extiende en una superficie de 85.85 km² y representa el 2.36% del área total de la cuenca del río Huancané. La formación geológica se localiza generalmente en la zona alta de la cuenca Huancané, ubicado en su totalidad en la zona alta de la subcuenca Muñani y en ésta centradas en la parte alta del río Hilamayo y zona media de la margen izquierda del río Guanaco. La formación Chacrapí corresponde a la era paleozoico y serie inferior.

10) Grupo Ambo (Ps-a)

Pertenciente a la facie continentales sedimentarias, que corresponde a la era paleozoico, sistema carbonífero y serie superior. Cuya extensión abarca 137.96 km² y representa 3.80 % del área total de la cuenca. Se localiza en la zona alta de la cuenca Huancané, ubicadas en las subcuencas Muñani (zona Alta) y Alto Huancané (zona Ananea).

11) Grupo Copacabana (Ps-co)

En la cuenca Huancané ocupa una superficie de 315.10 km² y representa el 8.68% del área total de la cuenca. La formación geológica se localiza generalmente en la zona alta de la cuenca Huancané; centradas en la zona alta del río Achullani en la subcuenca Tuyto, zona alta del río Humullo en la subcuenca Pistune, margen izquierda del río Alvarizani y zona media alta del río Toco Toco en la subcuenca Alto Huancané, y la mayor parte en la zona media alta entre los ríos Tarucani y Palca en la subcuenca Muñani. El grupo Copacabana corresponde a la era paleozoico, sistema pérmico y serie superior.

12) Diorita (Ps-di)

Abarca una pequeña área de 1.93 km² y representa el 0.05% del área total de la cuenca del río Huancané. Esta formación geológica se localiza en su totalidad en la zona alta de la margen derecha del río Cala Cala en la subcuenca Llache de la cuenca Huancané. La Diorita corresponde a la era paleozoico y serie superior.

13) Formación Lampa (Ps-la)

Esta formación deriva su nombre del pueblo de Lampa en el cuadrángulo de Juliaca. Esta formación presenta una expansión fotogeológica muy distintiva, siendo reconocida por dos criterios: soporta una cobertura constituida por vegetación de maleza y arbustos bajos llamados Queñuas.

Laubacher (1978) recolectó una fauna de scaphiocoelia sp. Crytonella y Australocoella tourteloti, indicativa de una edad Devoniano inferior para la formación lampa de aguas distintivamente frías con afinidades Malvino Caffré.

Esta formación geológica se extiende en una superficie de 7.99 km² y que representa 0.22% del área total de la cuenca del río Huancané. Se localiza en la zona alta de la margen derecha del cauce principal de la subcuenca Bajo Huancané. La formación Lampa corresponde a la era paleozoico y serie superior.

14) Grupo Tarma (Ps-t)

Se extiende en una superficie de 230.09 km² y representa el 6.34% del área total de la cuenca del río Huancané. La formación geológica se localiza generalmente en la zona alta de la cuenca Huancané; centradas en la zona alta de los ríos Humullo, Tisñahuyo y Combuco en la subcuenca Pistune; zona alta de los ríos Lacramayo, Alvarizani y Toco Toco en la subcuenca Alto Huancané y zona alta de los ríos Palca y Tarucani en la subcuenca Muñani. El grupo Tarma corresponde a la era paleozoico y serie superior.

15) Depósitos Glaciares (Qp-g)

Los depósitos glaciares, abarcan una superficie de 14.35 km² y representa el 0.40% del área total de la cuenca Huancané. Consisten en gran parte de derrubios estratificados, compuestos de gravas y arenas depositadas por agua de derretimiento, forman llanuras de depósitos Glaciares a altitudes media a alta las cuales, han sido alcanzados por hielos glaciares estas gravas tardías descansan en una superficie de erosión muy uniforme, suavemente inclinada desarrollada en la parte alta de la cuenca Huancané, generalmente localizados en la zona alta de Ananea de las subcuencas Muñani y Alto Huancané.

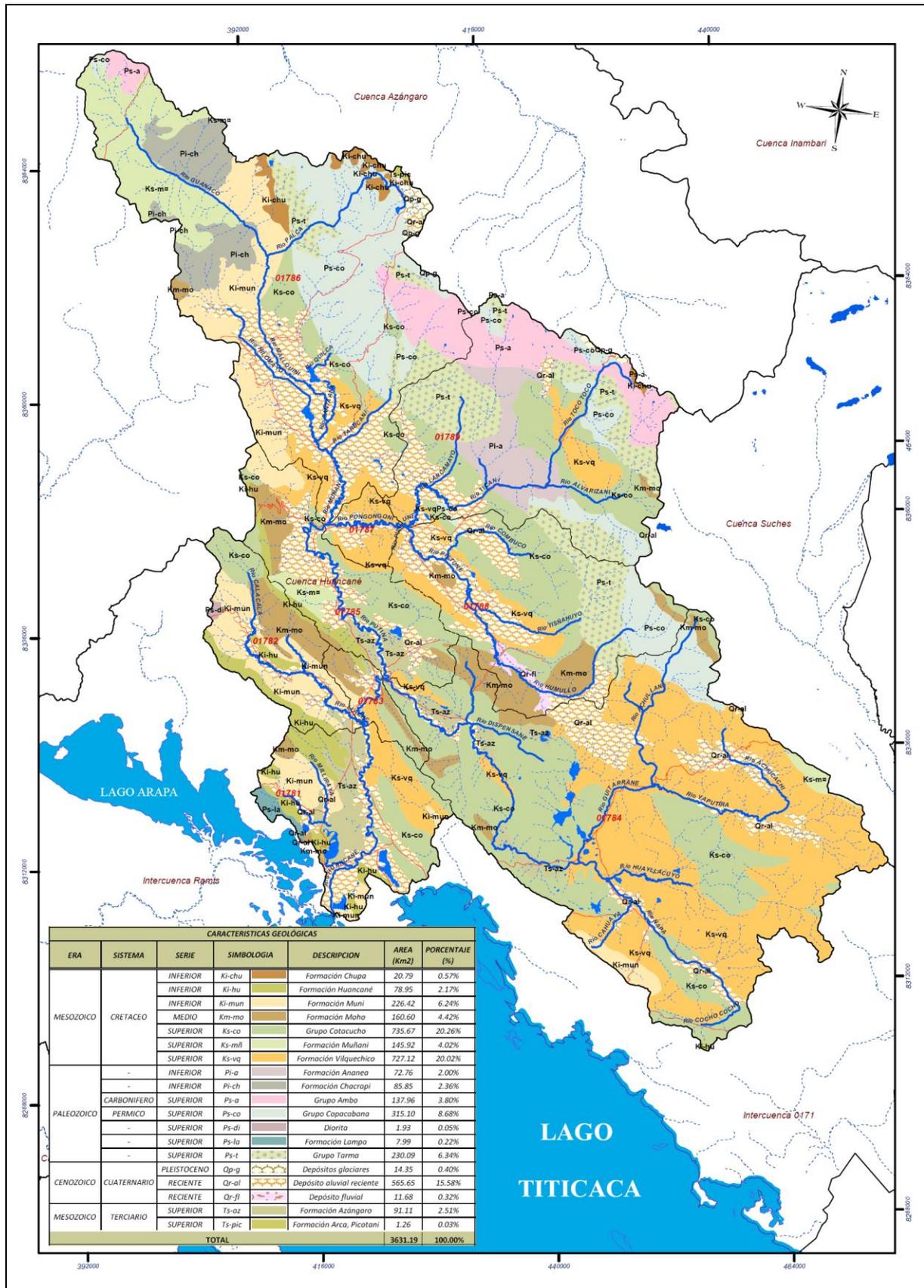
Los tamaños de los granos gruesos de los sedimentos aluviales preservados como terrazas en alguno de los valles principales, sugieren que estos fueron depósitos por derretimiento de aguas acompañado al retroceso de glaciares, pero como han sido bien diferenciados, en los mapas geológicos han sido relevados como aluviales. Los depósitos glaciares corresponden a la era cenozoico, sistema cuaternario y serie pleistoceno.

16) Depósito Aluvial Reciente (Qr-al)

Se extiende en una superficie de 565.65 km² y presenta 15.58% del área total de la cuenca Huancané. Se presentan esparcidas sobre el altiplano cerrando al lago Titicaca. Comprenden por arcillas y limos, arena, y gravas no consolidadas depositadas por la corriente de ríos, flujos de agua y corrientes laminares todas ellas incluyen sedimentos fluviales y coluviales. En los valles principales, los sedimentos coluviales y los depósitos fluviales jóvenes como los más antiguos, pueden distinguirse perfectamente.

Esta formación geológica, generalmente se localiza en la zona baja, media y media alta de la cuenca Huancané, generalmente ubicadas en zona baja y media en todas sus subcuencas. Los depósitos aluviales recientes corresponden a la era cenozoico, sistema cuaternario y serie reciente.

Mapa N° 3.15 Mapa geológico de la cuenca del río Huancané



17) Depósito Fluvial (Qr-fl)

Esta formación geológica abarca una superficie de 11.68 km² y representa el 0.32% del área total de la cuenca del río Huancané. Comprende suelos arenosos y limos arenosos, que se desplazan en la zona de playas de los ríos. La formación geológica se localiza en su totalidad en la zona media baja del río Humullo en la subcuenca Pistune de la cuenca Huancané. El Depósito Fluvial corresponde a la era cenozoico, sistema cuaternario y serie reciente.

18) Formación Azángaro (Ts-az)

Abarca una superficie de 91.11 km² y representa 2.51% del área total de la cuenca Huancané. La formación Azángaro fue descrita por Newell (1949) como depósitos lacustre del río Azángaro. La formación aflora en muchos lugares del altiplano en el cuadrángulo de Juliaca a lo largo del valle de Cabanillas, en los cuadrángulos de Puno y Juli.

Formación Azángaro consiste en canteras conglomeradas, unidades de arena con estratificación cruzada se intercalan se intercalan con conglomerados de poca matriz, los cantos exceden 10 cm de diámetro y se observan cóncavas. La formación Azángaro corresponden a la era mesozoico, sistema terciario y serie superior.

Se localizan en la zona baja de la cuenca del río Huancané, generalmente ubicadas en la zona baja de las subcuencas Bajo Huancané, Tuyto y Medio Huancané. La erosión a través de largos ríos a cortado a la formación re-depositando los materiales como aluviales resientes, la erosión en el borde del afloramiento es acelerada.

19) Formación Arca, Picotani (Ts-pic)

Ocupa una pequeña superficie de 1.26 km² y representa el 0.03% del área total de la cuenca del río Huancané. Esta formación geológica se localiza en su totalidad en la zona alta del río Palca en la subcuenca Muñani de la cuenca Huancané. La formación Arca, Picotani corresponde a la era mesozoico, sistema terciario y serie superior.

Cuadro N° 3.15 Características geológicas de la cuenca del río Huancané

Era	Sistema	Serie	Simbología	Descripción	Área	
					(km2)	(%)
Mesozoico	Cretáceo	Inferior	Ki-chu	Formación Chupa	20.79	0.57
		Inferior	Ki-hu	Formación Huancané	78.95	2.17
		Inferior	Ki-mun	Formación Muni	226.42	6.24
		Medio	Km-mo	Formación Moho	160.60	4.42
		Superior	Ks-co	Grupo Cotacucho	735.67	20.26
		Superior	Ks-mñ	Formación Muñani	145.92	4.02
		Superior	Ks-vq	Formación Vilquechico	727.12	20.02
Paleozoico	-	Inferior	Pi-a	Formación Ananea	72.76	2.00
	-	Inferior	Pi-ch	Formación Chacraipi	85.85	2.36
	Carbonífero	Superior	Ps-a	Grupo Ambo	137.96	3.80
	Pérmico	Superior	Ps-co	Grupo Copacabana	315.10	8.68
	-	Superior	Ps-di	Diorita	1.93	0.05
	-	Superior	Ps-la	Formación Lampa	7.99	0.22
		Superior	Ps-t	Grupo Tarma	230.09	6.34
Cenozoico	Cuaternario	Pleistoceno	Qp-g	Depósitos glaciares	14.35	0.40
		Reciente	Qr-al	Depósito aluvial reciente	565.65	15.58
		Reciente	Qr-fl	Depósito fluvial	11.68	0.32
Mesozoico	Terciario	Superior	Ts-az	Formación Azángaro	91.11	2.51
		Superior	Ts-pic	Formación Arca, Picotani	1.26	0.03
Total					3631.19	100.00

Cuenca Suches (Perú)

1) Formación Moho (Km-mo)

Esta unidad de la sucesión fue designada como ‘Grupo Moho’, por NEWELL (1945, 1949). Esta formación generalmente descansa en conformidad sobre la Arenisca Huancané con un cambio marcado en la litología en unos 4 ó 5 m pasando de predominantemente areniscosa a una secuencia limolítica y fangolítica de color rojo.

La parte basal de la secuencia está dominada por sedimentos de color marrón rojizo de grano fino y en la parte media es mayormente de imolita y fangolita color caquí gris y marrón. Fangolitas calcáreas delgadas con lignito alóctono, y capas con fósiles esparcidos se encuentran en esta parte media, aunque en muchas localidades los sedimentos de grano fino, parecen ser cortados por una gruesa secuencia de areniscas con estratificación cruzada. Al tope de la secuencia se retorna a una litología compuesta de fangolitas y limolitas rojas.

Fotogeológicamente no hay rasgos diagnósticos. Las características de las unidades areniscosas y fangolíticas de estratificación delgada están marcadas por colinas de una coloración ligeramente más clara que son muy persistentes, algunas de ellas se pueden trazar por varios kilómetros a lo largo del rumbo.

Esta formación geológica, abarca una superficie de 8.56 km² y representa 0.74% del área total de la cuenca del río Suches (Perú). Se localiza en pequeñas áreas de la cuenca Suches, centradas en la parte baja del río Suches, zona alta entre las subcuencas Chueña Huata Jahuira y Caylloma, y otra parte se localiza en la zona alta de la subcuenca Caylloma. La formación Moho corresponden a la era mesozoico, sistema cretáceo y serie medio.

2) Grupo Cotacucho (Ks-co)

Pertenece a las facies continentales sedimentarias, también a las formaciones de Vilquechico y Muñani, localmente con facies litoral. El área que abarca esta formación es de 92.34 km² y representa el 7.96% del total de la cuenca. Se localiza en la zona baja y media de la cuenca Suches, centradas en la zona baja del río Suches y zona alta de la margen derecha del río principal de la subcuenca Caylloma. Su existencia corresponde a la era mesozoico, sistema cretáceo y serie superior.

3) Formación Muñani (Ks-mñ)

Se extiende en una superficie de 65.74 km² y representa el 5.66% del área total de la cuenca del río Suches (Perú). Esta formación geológica se localiza en la zona media baja de la cuenca Suches, centrada en su mayoría en la zona alta de la margen derecha de la subcuenca Chueña Huata Jahuira y una parte en la zona alta de la subcuenca Caylloma centrada en el límite con la subcuenca anteriormente citada. La formación Muñani corresponde a la era mesozoico, sistema cretáceo y serie superior.

4) Formación Vilquechico (Ks-vq)

Esta formación geológica ocupa una superficie de 80.63 km² y representa el 6.95% del área total de la cuenca del río Suches (Perú). Se localiza en la zona baja de la margen derecha del río Suches y una parte en la zona sur de la subcuenca Chueña Huata Jahuirá. La formación Vilquechico corresponde a la era mesozoico, sistema cretáceo y serie superior.

5) Formación Ananea (Pi-a)

Abarca una superficie de 143.56 km² y representa el 12.37% del área total de la cuenca del río Suches (Perú). Esta formación geológica se localiza en su mayoría en la zona alta de la cuenca Suches, centrada en la zona alta de la subcuenca Trapiche y Laguna Suches. La formación Ananea corresponde a la era paleozoico y serie inferior.

6) Volcánico Sandia (Pi-sa)

Se extiende en una superficie de 22.42 km² y representa el 1.93% del área total de la cuenca del río Suches (Perú). La formación geológica se localiza en la zona alta de la cuenca Suches, centrada en su totalidad en la zona alta de la subcuenca Trapiche. El Volcánico Sandia corresponde a la era paleozoico, sistema ordovisico y serie inferior.

7) Grupo Ambo (Ps-a)

Pertenciente a la facie continentales sedimentarias, que corresponde a la era paleozoico, sistema carbonífero y serie superior. Cuya extensión abarca 111.42 km² y representa 9.6 % del área total de la cuenca. Se localiza en la zona media alta de la cuenca Suches (Perú); centrada en la zona media de la margen izquierda y zona alta de la subcuenca Caylloma, y otra parte se ubica en la zona media alta de la margen derecha de la subcuenca Trapiche.

8) Grupo Copacabana (Ps-co)

En la cuenca Suches (Perú) ocupa una superficie de 3.75 km² y representa el 0.32% del área total de la cuenca. La formación geológica se localiza en su totalidad, en la zona alta de la subcuenca Chueña Huata Jahuirá en el límite con la subcuenca Caylloma. El grupo Copacabana corresponde a la era paleozoico, sistema pérmico y serie superior.

9) Grupo Tarma (Ps-t)

Se extiende en una superficie de 60.79 km² y representa el 5.24% del área total de la cuenca del río Suches. La formación geológica se localiza en la zona alta de la cuenca Suches; centrada en la zona alta de la subcuenca Caylloma y zona alta de la margen derecha de la subcuenca Trapiche. El grupo Tarma corresponde a la era paleozoico y serie superior.

10) Depósitos Glaciares (Qp-g)

Los depósitos glaciares, abarcan una superficie de 119.92 km² y representa el 10.33% del área total de la cuenca Suches (Perú). Consisten en gran parte de derrubios estratificados,

compuestos de gravas y arenas depositadas por agua de derretimiento, forman llanuras de depósitos Glaciares a altitudes media a alta las cuales, han sido alcanzados por hielos glaciales estas gravas tardías descansan en una superficie de erosión muy uniforme, suavemente inclinada desarrollada en la zona alta de la cuenca Suches, localizadas en la zona baja, media y alta de la subcuenca Trapiche y otra parte en la zona alta de la margen derecha de la laguna Suches.

Los tamaños de los granos gruesos de los sedimentos aluviales preservados como terrazas en alguno de los valles principales, sugieren que estos fueron depósitos por derretimiento de aguas acompañado al retroceso de glaciares, pero como han sido bien diferenciados, en los mapas geológicos han sido relevados como aluviales. Los depósitos glaciares corresponden a la era cenozoico, sistema cuaternario y serie pleistoceno.

11) Depósito Aluvial Reciente (Qr-al)

Se extiende en una superficie de 449.29 km² y presenta 38.71% del área total de la cuenca Suches (Perú). Se presentan esparcidas sobre el altiplano cerrando al lago Titicaca. Comprenden por arcillas y limos, arena, y gravas no consolidadas depositadas por la corriente de ríos, flujos de agua y corrientes laminares todas ellas incluyen sedimentos fluviales y coluviales. En los valles principales, los sedimentos coluviales y los depósitos fluviales jóvenes como los más antiguos, pueden distinguirse perfectamente.

Esta formación geológica, generalmente se localiza en la zona baja, media y alta de la cuenca Suches, centradas en los márgenes de los cauces principales de las subcuencas Chueña Huata Jahuira, Caylloma, Trapiche y Suches. Los depósitos aluviales recientes corresponden a la era cenozoico, sistema cuaternario y serie reciente.

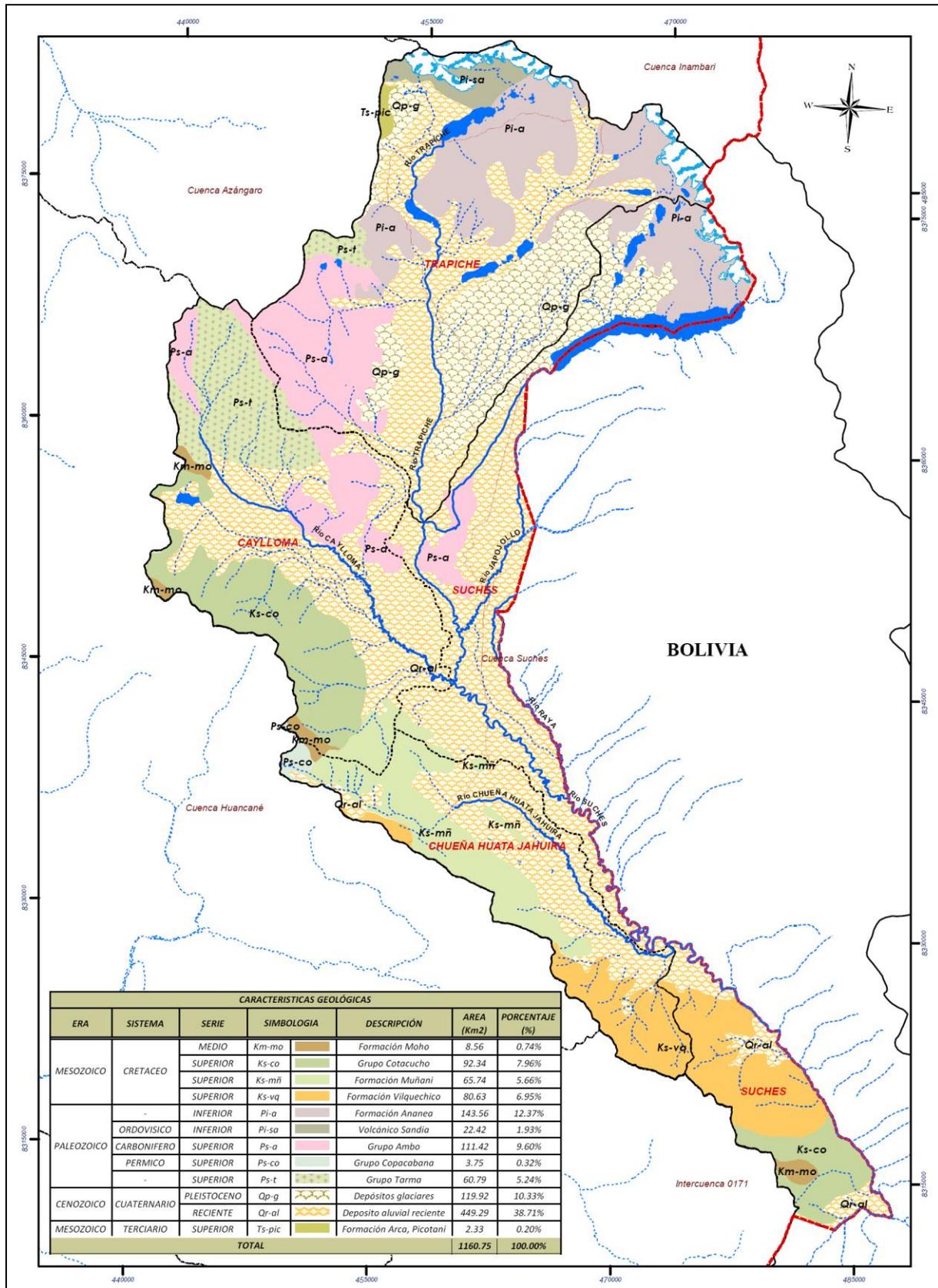
12) Formación Arca, Picotani (Ts-pic)

Ocupa una pequeña superficie de 2.33 km² y representa el 0.20% del área total de la cuenca del río Suches (Perú). Esta formación geológica se localiza en su totalidad en la parte alta de la subcuenca Trapiche (zona la Rinconada). La formación Arca, Picotani corresponde a la era mesozoico, sistema terciario y serie superior.

Cuadro N° 3.16 Características geológicas de la cuenca del río Suches (Perú)

Era	Sistema	Serie	Simbología	Descripción	Área	
					(km ²)	(%)
Mesozoico	Cretáceo	Medio	Km-mo	Formación Moho	8.56	0.74
		Superior	Ks-co	Grupo Cotacucho	92.34	7.96
		Superior	Ks-mñ	Formación Muñani	65.74	5.66
		Superior	Ks-vq	Formación Vilquechico	80.63	6.95
Paleozoico	-	Inferior	Pi-a	Formación Ananea	143.56	12.37
	Ordovisico	Inferior	Pi-sa	Volcánico Sandía	22.42	1.93
	Carbonífero	Superior	Ps-a	Grupo Ambo	111.42	9.60
	Pérmico	Superior	Ps-co	Grupo Copacabana	3.75	0.32
	-	Superior	Ps-t	Grupo Tarma	60.79	5.24
Cenozoico	Cuaternario	Pleistoceno	Qp-g	Depósitos glaciares	119.92	10.33
		Reciente	Qr-al	Deposito aluvial reciente	449.29	38.71
Mesozoico	Terciario	Superior	Ts-pic	Formación Arca, Picotani	2.33	0.20
Total					1160.75	100.00

Mapa N° 3.16 Mapa geológico de la cuenca del río Suches (Perú)



3.8 SUELOS

3.8.1 Uso mayor de tierras

Para la clasificación de uso mayor de tierras en las cuencas Huancané y Suches, se ha utilizado el mapa elaborado por la ONERN, donde muestra la calidad y sus características principales de suelos significativos.

En los Cuadros N° 3.17 y 3.18, y en los Mapas N° 3.17 y 3.18 se muestran las características de la capacidad de uso mayor de tierras en las cuencas Huancané y Suches.

A continuación se describe en forma general, cada una de las características de uso mayor de tierras en las cuencas Huancané y Suches.

Cuenca Huancané

1) Cultivos en Limpio (A3c - Plc)

Representa la máxima expresión de la agricultura, arable e intensiva y aptas para la fijación de cultivos diversificados, constituyendo las tierras de baja calidad agrologica para su capacidad productiva, se localiza en la zona baja de la cuenca Huancané, distribuida en las subcuencas Bajo Huancané, Llache, Tuyto y Pistune. Este tipo de suelo es de calidad agrologica baja y son aptos para cultivos permanentes, aptos para pastos con factores limitantes a la salinidad y al clima.

Esta clasificación de uso mayor de tierra ocupa una extensión de 414.04 km², que representa el 11.40% del área total de la cuenca, área que sirve para cultivo en limpio.

2) Aptas para Pastos (Plc)

Son tierras aptas para pastos de calidad agrologica alta, con factor limitante a la salinidad y al clima. Abarca una superficie de 568.93 km² y representa el 15.67% del área de la cuenca Huancané. Este tipo de suelo se localiza generalmente en la zona media de la cuenca Huancané, específicamente ubicadas en la zona baja de las subcuencas Medio Bajo Huancané, Tuyto, Medio Bajo Huancané, Tuyto, Medio Huancané, Muñani, Medio Alto Huancané, Pistune y Alto Huancané.

El uso de estas tierras requiere de prácticas intensas de conservación y manejo de suelos, para lo cual debe hacerse un uso racional de los pastos, evitando el sobre pastoreo, mediante las siguientes prácticas: instalación de cercos, poca carga animal, pastoreo distanciado para que se recuperen los pastos, etc.

3) Aptas para Pastos (P2e)

Este tipo de suelos son aptas para pastos de calidad agrologica media con factor limitante a la erosión, abarca un área de 30.94 km² y representa el 0.85% del total de la cuenca. Este tipo de suelo se encuentra en la zona alta del río Palca en la subcuenca Muñani.

Representa las tierras no aptas para fines agrícolas, pero reúnen características ecológicas para la propagación de pasturas naturales y cultivadas, son aptas para pastoreo y recomendable para medidas de protección por la posible erosión del suelo.

4) Tierras de Protección (X)

Representan las tierras de características inapropiadas para el desarrollo agropecuario y explotación forestal dentro de márgenes económicos. Pueden prestar gran valor económico para otros usos como el desarrollo de la actividad minera, este tipo de suelo se encuentra localizada en la zona alta de los ríos Alvarizani y Toco Toco en la subcuenca Alto Huancané, en la zona alta de los ríos Tarucani y Guanaco en la subcuenca Muñani.

Hay que notar que estos suelos tienen una cobertura vegetal muy pobre (zonas desnudas), por lo que se debería de conservar con el fin de proteger la cuenca y la biodiversidad de esta zona está descrita como tierras de protección. Abarca un área de 187.79 km² y representa el 5.17% del área de la cuenca.

5) Tierras de Protección (X-P2e)

Descrita como tierras aptas para pastos de calidad agrológica media con factor limitante a la erosión. Este tipo de suelo es la que abunda en toda la cuenca y abarca un área de 2406.80 km², que representa el 66.28% del área total de la cuenca Huancané. Se localiza en gran parte de la zona baja, media y alta de la cuenca Huancané, distribuidas en mayor área de sus subcuencas.

Cuadro N° 3.17 Características de la capacidad de uso mayor de tierra en la cuenca del río Huancané

Símbolo	Descripción	Área	
		(km ²)	(%)
Lagunas	Lagunas	22.69	0.62
A3c - P1c	Tierras aptas para cultivos en limpio de calidad agrológica baja - Tierras aptas para pastos, calidad agrológica alta, ambos con factor limitante al clima.	414.04	11.40
P1c	Tierras aptas para pastos, calidad agrológica alta con factor limitante al clima.	568.93	15.67
P2e	Tierras aptas para pastos de calidad agrológica media con factor limitante a la erosión.	30.94	0.85
X	Tierras de protección.	187.79	5.17
X - P2e	Tierras de protección - Tierras aptas para pastos de calidad agrológica media con factor limitante a la erosión.	2406.80	66.28
Total		3631.19	100.00

Cuenca Suches (Perú)

1) Aptas para Pastos (Plc)

Son tierras aptas para pastos de calidad agrológica alta, con factor limitante a la salinidad y al clima. Abarca una superficie de 458.44 km² y representa el 39.50% del área de la cuenca Suches. Este tipo de suelo se localiza generalmente en la zona media baja, media y alta de

la cuenca Suches, distribuidas en las subcuencas Chueña Huata Jahuira, Caylloma, Trapiche e intercuenca Suches.

El uso de estas tierras requiere de prácticas intensas de conservación y manejo de suelos, para lo cual debe hacerse un uso racional de los pastos, evitando el sobre pastoreo, mediante las siguientes prácticas: instalación de cercos, poca carga animal, pastoreo distanciado para que se recuperen los pastos, etc.

2) Tierras de Protección (X)

Representan las tierras de características inapropiadas para el desarrollo agropecuario y explotación forestal dentro de márgenes económicos. Pueden prestar gran valor económico para otros usos como el desarrollo de la actividad minera, este tipo de suelo se encuentra localizada en la zona alta de las subcuencas Caylloma y Trapiche.

Hay que notar que estos suelos tienen una cobertura vegetal muy pobre (zonas desnudas), por lo que se debería de conservar con el fin de proteger la cuenca y la biodiversidad de esta zona está descrita como tierras de protección. Abarca un área de 255.13 km² y representa el 21.98% del área de la cuenca.

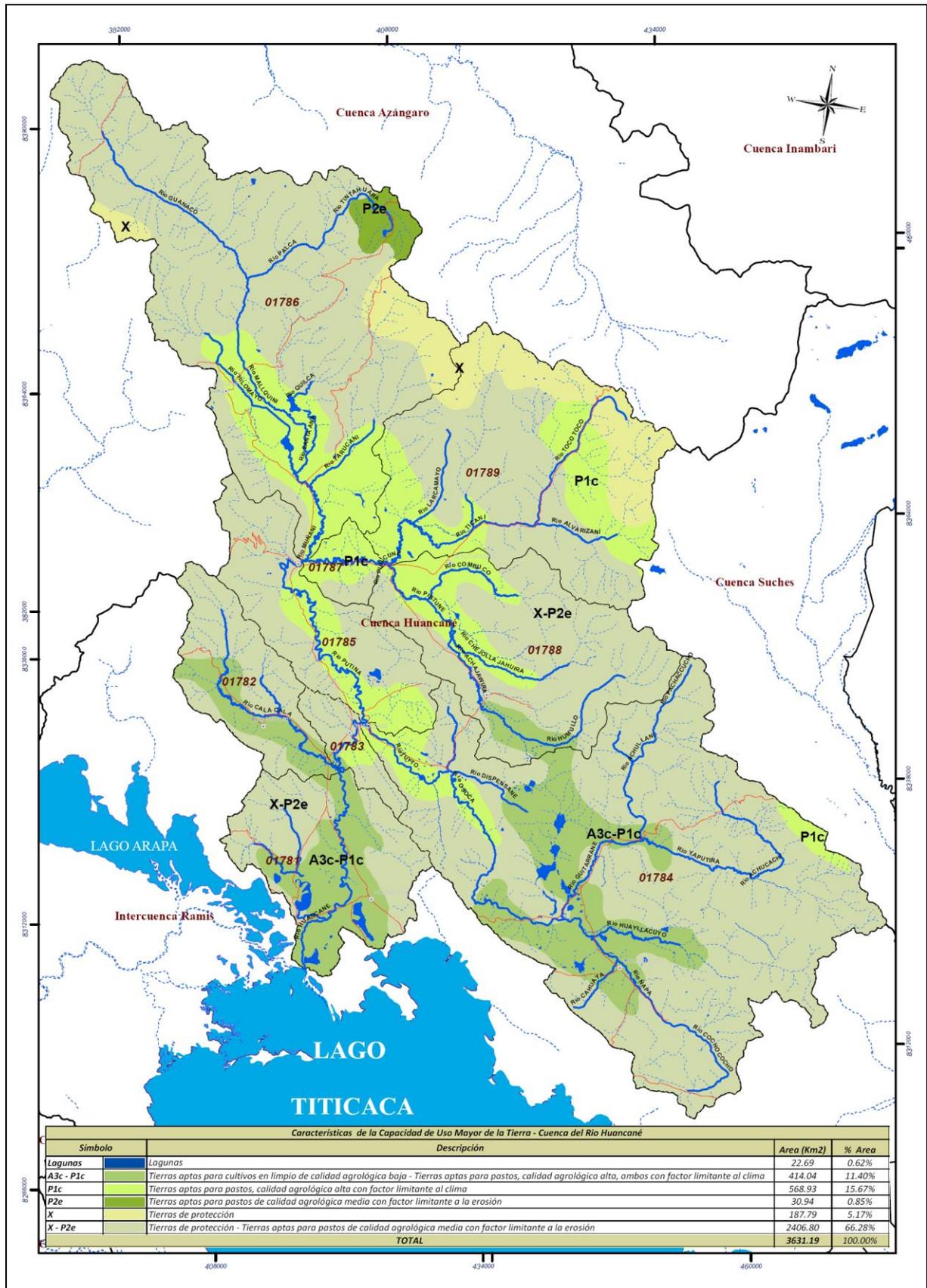
3) Tierras de Protección (X-P2e)

Descrita como tierras aptas para pastos de calidad agrológica media con factor limitante a la erosión. Este tipo de suelo abarca un área de 428.83 km² y representa el 36.94% del área total de la cuenca Suches. Se localiza en la zona baja, media y alta de la cuenca Suches, y distribuidas en todas las subcuencas.

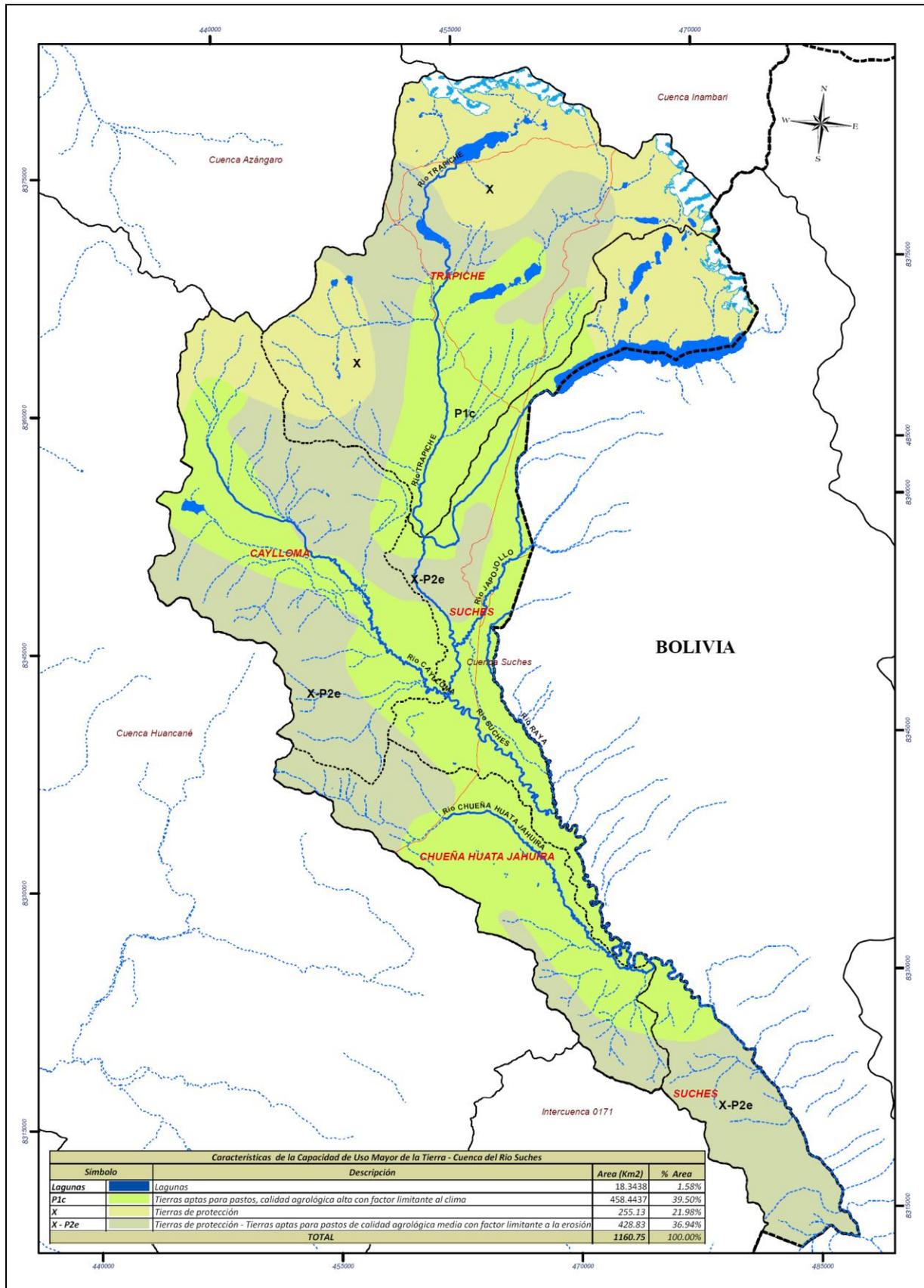
Cuadro N° 3.18 Características de la capacidad de uso mayor de tierra en la cuenca del río Suches (Perú)

Símbolo	Descripción	Área	
		(km ²)	(%)
Lagunas	Lagunas	18.35	1.58
P1c	Tierras aptas para pastos, calidad agrológica alta con factor limitante al clima.	458.44	39.50
X	Tierras de protección.	255.13	21.98
X - P2e	Tierras de protección - Tierras aptas para pastos de calidad agrológica media con factor limitante a la erosión.	428.83	36.94
Total		1160.75	100.00

Mapa N° 3.17 Mapa de uso mayor de tierras en la cuenca del río Huancané



Mapa N° 3.18 Mapa de uso mayor de tierras en la cuenca del río Suches (Perú)



3.9 RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIALES

La identificación de las distintas fuentes hídricas superficiales en las cuencas Huancané y Suches, se ha obtenido a través de los trabajos del inventario de fuentes de agua superficial desarrollados paralelamente al presente estudio.

Según el resumen del inventario de fuentes de agua superficial, existen 1695 fuentes hídricas en la cuenca del río Huancané y 482 fuentes hídricas en la cuenca del río Suches, distribuidas en ríos, quebradas, manantiales, lagunas, bofedales y nevados, tal como se detalla a continuación.

3.9.1 Cuenca Huancané

En la cuenca del río Huancané según el inventario realizado, existen un total de 1695 fuentes del recurso hídrico superficial, distribuidas en 49 ríos, 727 quebradas, 833 manantiales y 86 lagunas.

La distribución de las fuentes hídricas en unidades hidrográficas de nivel cinco (subcuencas) del total de la cuenca, es la siguiente: subcuenca Bajo Huancané 128 fuentes (7.55%), subcuenca Llache 105 fuentes (6.19%), subcuenca Medio Bajo Huancané 18 fuentes (1.06%), subcuenca Tuyto 487 fuentes (28.73%), subcuenca Medio Huancané 98 fuentes (5.78%), subcuenca Muñani 354 fuentes (20.88%), subcuenca Medio Alto Huancané 20 fuentes (1.18%), subcuenca Pistune 162 fuentes (9.56%) y subcuenca Alto Huancané 323 fuentes (19.06%). La mayor concentración de fuentes hídricas (lagunas) se dan en las subcuencas Tuyto, Muñani y Alto Huancané, lo que significa que las 66 lagunas existentes naturalmente almacenadas, tienen una importante contribución en la retención de la cuenca.

En el Cuadro N° 3.19 se muestra la cantidad de fuentes hídricas por subcuencas y en el Cuadro N° 3.20 se presenta cantidad de fuentes hídricas por el tipo de uso. En las Figuras N° 3.7 y 3.8 se aprecia la distribución de las fuentes de agua superficial en la cuenca Huancané y subcuencas.

Cuadro N° 3.19 Fuentes de agua superficial - Cuenca del río Huancané

N°	Unidad hidrográfica	Código Pfafstetter	Área (km ²)	Número de fuentes de agua superficial				Total
				Río	Quebrada	Manantial	Laguna	
1	Bajo Huancané	01781	246.41	4	26	89	9	128
2	Llache	01782	161.93	3	39	63		105
3	Medio Bajo Huancané	01783	47.94	1	7	9	1	18
4	Tuyto	01784	1107.11	17	272	161	37	487
5	Medio Huancané	01785	231.07	1	39	51	7	98
6	Muñani	01786	889.44	10	176	152	16	354
7	Medio Alto Huancané	01787	42.09	1	8	10	1	20
8	Pistune	01788	380.43	6	64	90	2	162
9	Alto Huancané	01789	524.77	6	96	208	13	323
Total			3631.19	49	727	833	86	1695

Figura N° 3.7 Fuentes de agua superficial en la cuenca del río Huancané

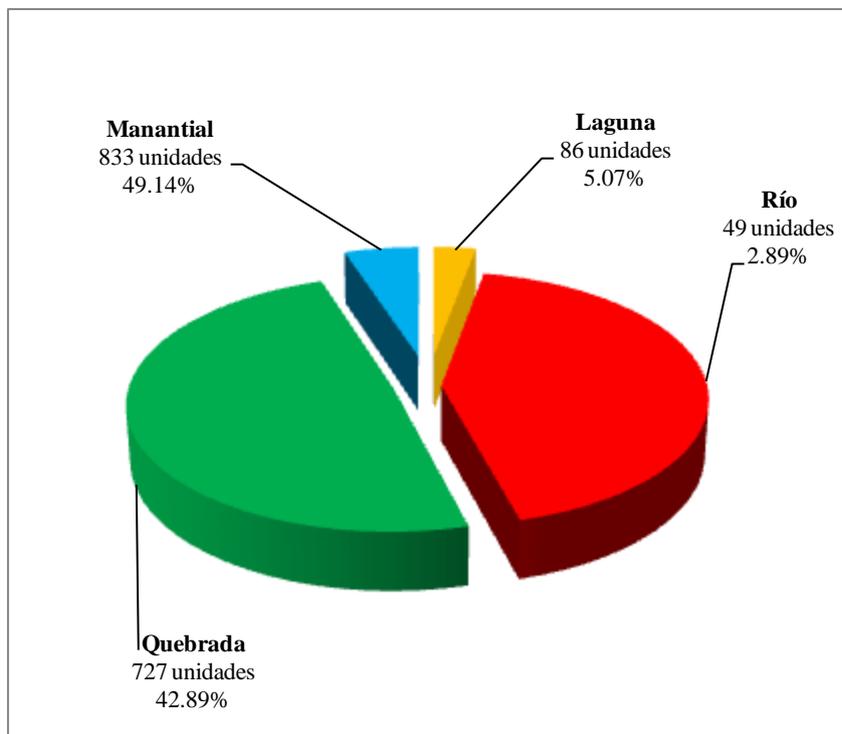
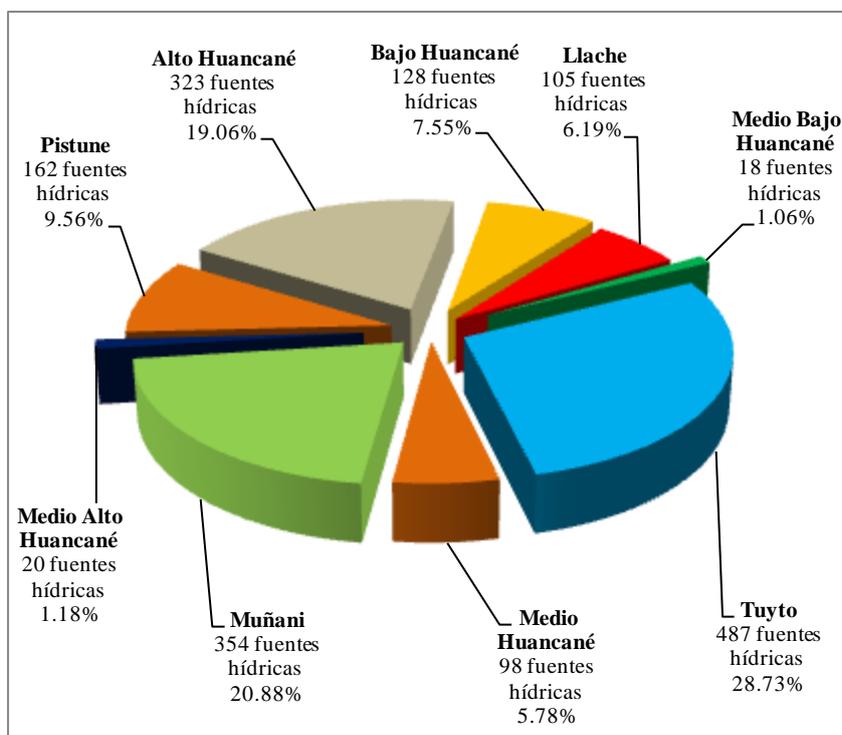


Figura N° 3.8 Fuentes de agua superficial por subcuencas en la cuenca del río Huancané



Cuadro N° 3.20 Fuentes de agua superficial por tipo de uso - Cuenca del río Huancané

N°	Unidad hidrográfica	Código Pfafstetter	Número de fuentes de agua superficial por tipo de uso											Total
			S/U	PO	PE	PI	AG	MIN	AG/PE	PO/PE	AG/PO	PE/PI	AG/PE/PO	
1	Bajo Huancané	01781	26	38	25		20		15	1	3			128
2	Llache	01782	17	6	18	1	34		24	1	2	1	1	105
3	Medio Bajo Huancané	01783	7	5	6									18
4	Tuyto	01784	217	19	90	1	145		13		2			487
5	Medio Huancané	01785	26	15	51		4		1	1				98
6	Muñani	01786	83	15	138		107		10	1				354
7	Medio Alto Huancané	01787	9	1	10									20
8	Pistune	01788	34	22	40		61		2		3			162
9	Alto Huancané	01789	62	3	159		89	1	7	1	1			323
Total			481	124	537	2	460	1	72	5	11	1	1	1695

Leyenda: S/U=Sin Uso, PO=Poblacional, PE=Pecuario, PI=Piscícola, AG=Agrícola, MI=Minero, AG/PE=Agrícola/Pecuario, PO/PE=Poblacional/Pecuario, PE/MI=Pecuario/Minero, AG/PO=Agrícola/Poblacional PE/PI=Pecuario/Piscícola, AG/PE/PO=Agrícola/Pecuario/Piscícola.

3.9.1.1 Río

El inventario de los ríos en la cuenca Huancané, se ha realizado considerando el concepto de que un río es un cauce natural donde el agua fluye con continuidad durante el todo el año hidrológico, los otros cauces endorreicos tienen la denominación de “quebradas”, que son una parte importante del sistema de drenaje de la cuenca durante la época de precipitaciones pluviales. Una primera descripción del sistema de drenaje de la cuenca, en la que se distingue los principales ríos, se ha realizado en el ítem 3.4 del presente capítulo.

La cuenca del río Huancané tiene cinco ríos afluentes principales, que aportan sus aguas en forma directa a la cuenca. Según el resumen del inventario de fuentes de agua, se han identificado 49 ríos, los cuales son de régimen continuo, distribuidas en las subcuencas Bajo Huancané 4 ríos, Llache 3, Medio Bajo Huancané 1, Tuyto 17, Medio Huancané 1, Muñani 10, Medio Alto Huancané 1, Pistune 6 y Alto Huancané 6 ríos. Además, la cuenca del río Huancané siendo de orden seis tiene 775 afluentes entre ríos y quebradas de diferentes grados de ramificación. En el Cuadro N° 3.19 se presenta la distribución de los ríos por subcuencas.



Río Huancané

3.9.1.2 Quebrada

Una quebrada es un área de drenaje de abertura estrecha y continua entre dos vertientes, que sirve de medio de escurrimiento hídrico y posee altas pendientes que causa la erosión de los suelos en sus márgenes. Los cauces de las quebradas en su mayor parte presentan altas pendientes, generalmente son cauces erosivos, el material producido en el lecho de estos cauces es transportado en forma de avalancha hacia la parte baja de la cuenca, quedando depositados en los cauces de pendiente baja. A consecuencia de este fenómeno, los terrenos de la cuenca media y baja son lechos aluviales.

Los cauces de la mayoría de las quebradas existentes en la cuenca del río Huancané, son cauces de drenaje de carácter endorreico y de régimen estacional.

Según el inventario realizado en el presente estudio, existen 727 quebradas en la cuenca Huancané y distribuidas en las subcuencas Bajo Huancané 26 quebradas, Llache 39, Medio Bajo Huancané 7, Tuyto 272, Medio Huancané 39, Muñani 176, Medio Alto Huancané 8, Pistune 64 y Alto Huancané 96 quebradas. En el Cuadro N° 3.19 se presenta la cantidad de quebradas por subcuencas.



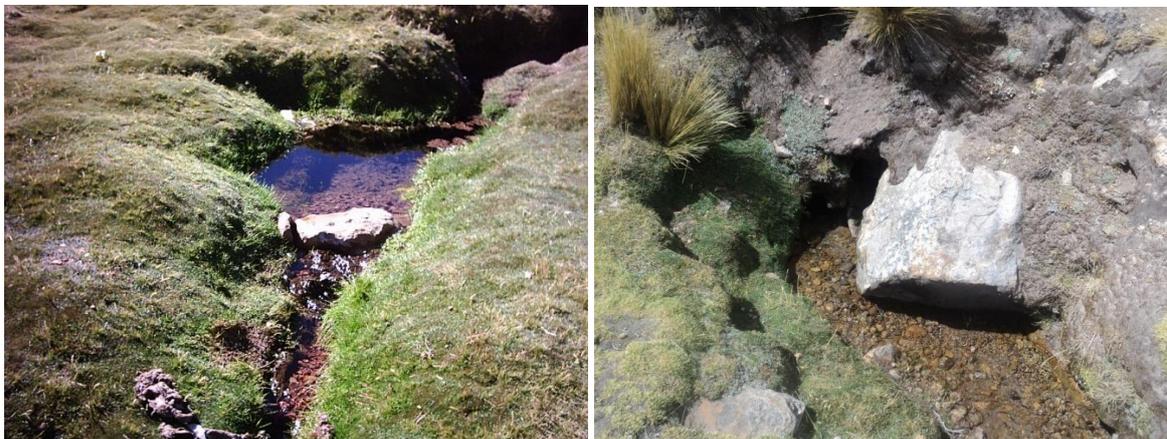
Quebradas de la cuenca Huancané

3.9.1.3 Manantial

Es una fuente natural de agua que aflora de la tierra o entre las rocas, puede ser permanente o temporal. Denominado también manante y en nuestro medio andino como puquio. Se origina de la filtración de agua, de lluvia o de nieve, que penetra en un área determinada y emerge en otra, de menor altitud, donde el agua no está confinada en un conducto impermeable.

Los manantiales recubren singular importancia en todo el ámbito de la cuenca, pues sus aguas, que generalmente son de buena calidad, son utilizadas para el consumo poblacional, pecuario, piscicultura y de riego. Esta fuente en mayor cantidad existe en las subcuencas Tuyto, Muñani y Alto Huancané. Esta fuente es vital para la subsistencia del medio biológico, ya que en muchos sectores es la única fuente que suministra el recurso hídrico en forma permanente.

De acuerdo al inventario realizado en el presente estudio, existen 833 manantiales en la cuenca Huancané y distribuidas en las subcuencas Bajo Huancané 89 manantiales, Llache 63, Medio Bajo Huancané 9, Tuyto 161, Medio Huancané 51, Muñani 152, Medio Alto Huancané 10, Pistune 90 y Alto Huancané 208 manantiales. En el Cuadro N° 3.19 se presenta la cantidad de manantiales por subcuencas.



Manantiales de la cuenca Huancané

3.9.1.4 Laguna

Depósito natural de agua de régimen temporal y permanente, se caracteriza por ser de dimensión menor que un lago.

En la cuenca del río Huancané, en depresiones de terreno se formaron los almacenamientos de agua o lagunas, ubicadas en la zona baja, media y alta de la cuenca.

Mediante el inventario de fuente hídricas realizado en el presente estudio, existen 86 lagunas en la cuenca Huancané y distribuidas en las subcuencas Bajo Huancané 9 lagunas, Medio Bajo Huancané 1, Tuyto 37, Medio Huancané 7, Muñani 16, Medio Alto Huancané 1, Pistune 2 y Alto Huancané 13 lagunas. En el Cuadro N° 3.18 se presenta la cantidad de lagunas por subcuencas.



Lagunas de la cuenca Huancané

3.9.2 Cuenca Suches (Perú)

En la cuenca del río Suches según el inventario realizado, existen un total de 482 fuentes del recurso hídrico superficial, distribuidas en 8 ríos, 157 quebradas, 207 manantiales, 65 lagunas, 38 bofedales y 7 nevados.

La distribución de las fuentes hídricas en las subcuencas del total de la cuenca, es la siguiente: subcuenca Suches 84 fuentes (17.43%), subcuenca Chueña Huata Jahuirá 58 fuentes (12.03%), subcuenca Caylloma 182 fuentes (37.76%) y subcuenca Trapiche 158 fuentes (32.78%). La mayor concentración de fuentes hídricas (lagunas) se dan en las subcuencas Suches, Chueña Huata Jahuirá y Trapiche, lo que significa que las 61 lagunas existentes naturalmente almacenadas, tienen una importante contribución en la retención de la cuenca.

En el Cuadro N° 3.21 se muestra la cantidad de fuentes hídricas por subcuencas y en el Cuadro N° 3.22 se presenta cantidad de fuentes hídricas por el tipo de uso. En las Figuras N° 3.9 y 3.10 se aprecia la distribución de las fuentes de agua superficial en la cuenca Suches y subcuencas.

Cuadro N° 3.21 Fuentes de agua superficial - Cuenca del río Suches (Perú)

N°	Unidad hidrográfica	Área (km ²)	Número de fuentes de agua superficial						Total
			Río	Quebrada	Manantial	Laguna	Bofedal	Nevado	
1	Suches	303.90	5	31	22	14	11	1	84
2	Chueña Huata Jahuirá	162.18	1	31	10	16	0	0	58
3	Caylloma	289.22	1	37	136	4	4	0	182
4	Trapiche	405.45	1	58	39	31	23	6	158
Total		1160.75	8	157	207	65	38	7	482

Figura N° 3.9 Fuentes de agua superficial en la cuenca del río Suches (Perú)

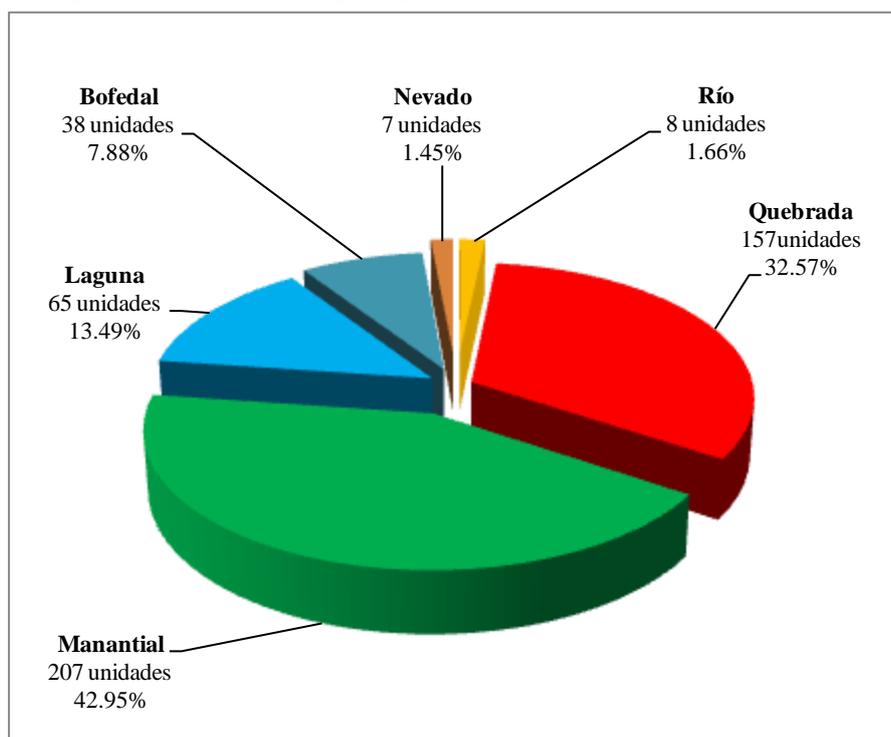
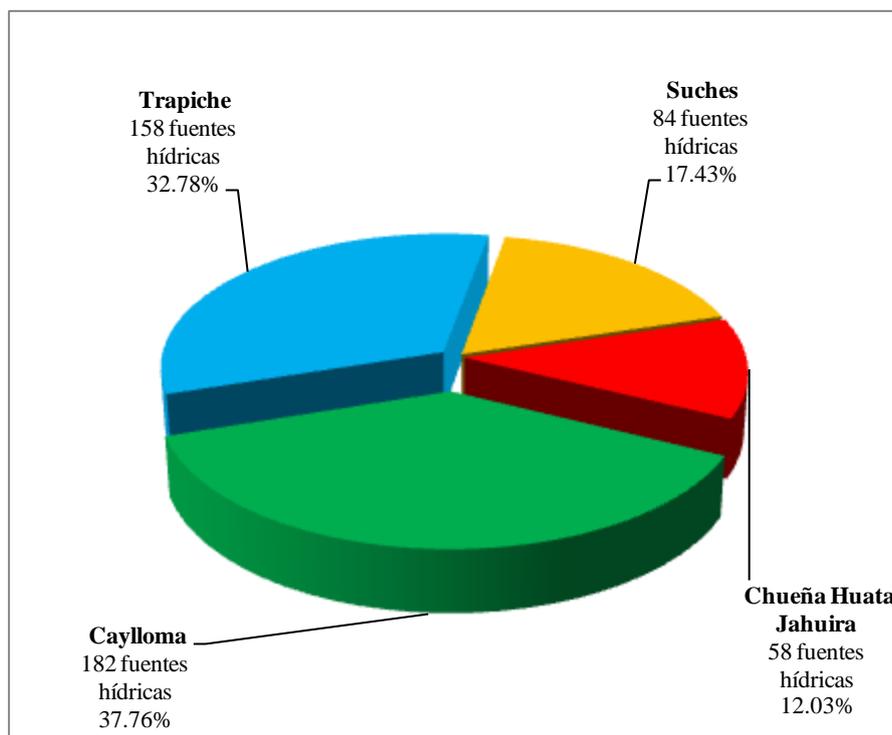


Figura N° 3.10 Fuentes de agua superficial por subcuencas en la cuenca del río Suches (Perú)



Cuadro N° 3.22 Fuentes de agua superficial por tipo de uso - Cuenca del río Suches (Perú)

N°	Unidad hidrográfica	Número de fuentes de agua superficial por tipo de uso										Total
		S/U	PO	PE	PI	AG	MIN	AG/PE	AG/PO	PO/PE	PE/MIN	
1	Suches	44	-	22	-	16	-	1	-	-	1	84
2	Chueña Huata Jahuira	34	1	12	-	11	-	-	-	-	-	58
3	Caylloma	29	-	65	1	47	-	40	-	-	-	182
4	Trapiche	72	-	41	-	34	1	9	1	-	-	158
Total		179	1	140	1	108	1	50	1	-	1	482

Leyenda: S/U=Sin Uso, PO=Poblacional, PE=Pecuario, PI=Piscícola, AG=Agrícola, MI=Minero, AG/PE=Agrícola/Pecuario, AG/PO=Agrícola/Poblacional, PO/PE=Poblacional/Pecuario, PE/MI=Pecuario/Minero.

A continuación se describe, en forma breve, cada una de las fuentes del recurso hídrico de la cuenca Suches (Perú).

3.9.2.1 Río

Según el inventario de fuentes de agua, se han identificado 8 ríos, los cuales son de régimen continuo. Además, la cuenca del río Suches siendo de orden cinco tiene 164 afluentes entre ríos y quebradas de diferentes grados de ramificación. En el Cuadro N° 3.21 se presenta la distribución de los ríos por subcuencas.



Río Suches

3.9.1.2 Quebrada

Los cauces de la mayoría de las quebradas existentes en la cuenca del río Suches (Perú), son cauces de drenaje de carácter endorreico y de régimen estacional.

En la cuenca Suches, según el inventario de fuentes hídricas existen 157 quebradas. En el Cuadro N° 3.21 se presenta la cantidad de quebradas por subcuencas.



Quebradas de la cuenca Suches (Perú)

3.9.1.3 Manantial

Los manantiales recubren singular importancia en todo el ámbito de la cuenca, pues sus aguas, que generalmente son de buena calidad, son utilizadas para el consumo poblacional, pecuario, piscicultura y de riego. Esta fuente en mayor cantidad existe en la subcuenca Caylloma. Esta fuente es vital para la subsistencia del medio biológico, ya que en muchos sectores son la única fuente que suministra el recurso hídrico en forma permanente.

De acuerdo al inventario de fuentes hídricas, existen 207 manantiales en la cuenca Suches. En el Cuadro N° 3.21 se presenta la cantidad de quebradas por subcuencas.



Manantiales de la cuenca Suches (Perú)

3.9.1.4 Laguna

En la cuenca del río Huancané, en depresiones de terreno se formaron los almacenamientos de agua o lagunas, ubicadas en la mayoría en la zona alta de la cuenca.

Mediante el inventario de fuente hídricas realizado en el presente estudio, existen 65 lagunas en la cuenca Suches. En el Cuadro N° 3.21 se presenta la cantidad de lagunas por subcuencas.



Lagunas de la cuenca Suches (Perú)

3.9.1.5 Bofedal

Zona húmeda con presencia de pastizales, generalmente se encuentra en zonas alto andinas. En las planicies almacenan aguas provenientes de precipitaciones pluviales, deshielo de glaciares y afloramientos superficiales de aguas subterráneas.

En la cuenca Suches existen 38 áreas cubiertas por bofedales, según el inventario de fuentes hídricas realizadas en el presente estudio. En el Cuadro N° 3.21 se muestran la cantidad de bofedales por subcuencas.



Bofedales de la cuenca Suches (Perú)

3.9.1.6 Nevado

El nevado es una masa gruesa de hielo, que se origina en la superficie terrestre por acumulación, compactación y recrystalización de la nieve, mostrando evidencias de flujo en el pasado o en la actualidad. Su existencia es posible cuando la precipitación anual de nieve supera la evaporada en verano, por lo cual la mayoría se encuentra en zonas cercanas a los polos, aunque existen en zonas montañosas.

Existen 7 áreas cubiertas por nevado en la cuenca Suches, localizada en la zona norte de la cuenca. En el Cuadro N° 3.21 se muestran la cantidad de nevados por subcuencas.



Nevado Ananea Grande
(pico más alto de la cuenca 5820
msnm, aguas de deshielo fluye
hacia el río Trapiche).

Nevado Palomani
(aguas de deshielo fluye hacia la
laguna Suches).



CAPÍTULO IV

CLIMATOLOGÍA DE LA CUENCA

El año se divide en cuatro estaciones astronómicas en función de la actividad atmosférica y de la circulación de masas de aire, no obstante desde el punto de vista climatológico, la región de las cuencas Huancané y Suches tienen una estación húmeda (diciembre a marzo), otra seca (mayo a agosto) y dos periodos de transición (abril y septiembre a noviembre).

En la estación primavera (setiembre-noviembre), verano (diciembre-febrero), otoño (marzo-mayo) e invierno (junio-agosto); el viento dominante viene del norte-este generalmente.

Otro aspecto localizado sobre la región es la anomalía depresionaria provocada por el fuerte calentamiento del suelo árido. En efecto, la altitud media de la cuenca Huancané es entorno a 4212 msnm, y cuya presión atmosférica media es de 604 mb. Esta situación provoca fuertes movimientos convectivos, a la que se añade la humedad producida por la evaporación del lago Titicaca, da como resultado la formación de grandes nubes cúmulos y cumulonimbos sobre la región.

Los principales parámetros climáticos que definen o caracterizan el clima en una cuenca hidrográfica es la siguiente: precipitación, temperatura, humedad relativa y evaporación; son los de mayor importancia en cuanto a la tipificación o caracterización de la climatología de las cuencas Huancané y Suches. Estos parámetros provienen de los registros históricos de las distintas estaciones meteorológicas instaladas en las cuencas y zonas aledañas (descritas en el Cuadro N° 2.2 en el Capítulo 2) y administradas por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI). En el Anexo 1 (Volumen II) se presenta la información meteorológica histórica de las variables arriba indicadas.

La información utilizada en el presente estudio, para caracterizar el clima en el área del proyecto, corresponde a las estaciones de Huancané, Putina, Muñani, Huaraya Moho, Cojata, Suches, Ananea, Crucero, Progreso, Azángaro, Arapa, Taraco, Conima, Puerto Acosta, Escoma y Chahuaya. Los parámetros analizados son precipitación, temperatura, humedad relativa, evaporación, horas de sol y viento, correspondiente a la información histórica generalmente, y evapotranspiración potencial generada en cada una de las estaciones meteorológicas consideradas en el presente estudio.

De acuerdo a la evaluación climatológica, los factores más importantes del clima son generalmente la altitud y la latitud, ellos definen las características particulares del clima, el efecto orográfico y las amplias oscilaciones de temperatura y los fuertes vientos.

4.1 PARÁMETROS CLIMATOLÓGICOS

4.1.1 Precipitación

La precipitación es la fase del ciclo hidrológico que da origen a todas las corrientes superficiales y profundas, debido a lo cual su evaluación y el conocimiento de su distribución, tanto en el tiempo como en el espacio, son problemas básicos en hidrología.

Se le puede llamar precipitación a cualquier tipo de agua que cae de las nubes sobre la superficie de la tierra, ya sea en estado sólido o en estado líquido, esto incluye lluvia, llovizna, nieve, granizo, generalmente, menos la neblina y rocío.

La precipitación se considera como la primera variable hidrológica y es la entrada natural de agua dentro del balance hídrico de los agro-ecosistemas y de las cuencas hidrográficas.

Las pequeñas gotas de agua que forman las nubes son de dimensiones tan diminutas que se necesita reunir unos cuantos de cientos de miles de estas gotitas para formar una gota de llovizna, y varios millones para formar una gota grande de lluvia, [Fuentes, 1989].

A.- Régimen de la precipitación mensual

Las características estacionales del clima en la región de las cuencas de los ríos Huancané y Suches, se manifiestan principalmente en la variación del régimen de las precipitaciones. Se sabe que los cultivos no sólo son afectados por la poca precipitación anual, sino también por su irregular distribución a lo largo de todo el año.

En el Cuadro N° 4.1 se presenta el promedio multimensual de la precipitación total mensual correspondiente al período 1956-2009 de cada una de las estaciones meteorológicas, asimismo en las Figuras N° 4.1 y 4.2 se aprecian la uniformidad de la variación mensual de la precipitación en todas las estaciones, lo que demuestra el carácter estacional de la precipitación en toda la región.

El comportamiento estacional de la precipitación de las estaciones meteorológicas consideradas en el presente estudio, de acuerdo a los períodos de lluvia, invierno y meses de transición, se detallan a continuación al respecto de su totalidad, de la siguiente forma:

El período de lluvias de mayor magnitud comienza a partir del mes de diciembre y se prolonga hasta marzo, corresponde el 66.92% en promedio de la estaciones, de las precipitaciones totales anuales. El porcentaje de precipitación en períodos de avenida en las estaciones meteorológicas oscilan entre 62.15 a 70.87%.

El período seco (invierno), comprende los meses de mayo a setiembre, las precipitaciones con sus mínimos valores llegan a ser del 10.15% en promedio de la estaciones, de las precipitaciones totales anuales. El porcentaje de precipitación en períodos de estiaje en las estaciones varían de 6.45 a 14.95%.

Los meses transitorios corresponden a abril, octubre y noviembre, presentan el 22.93% en promedio de las estaciones, de las precipitaciones totales anuales. El porcentaje de precipitación en períodos de transición en las estaciones meteorológicas oscilan entre 18.73 a 25.65%, respectivamente.

En el Cuadro N° 4.2 se muestra la variación porcentual de las precipitaciones totales mensuales de cada estación meteorológica.

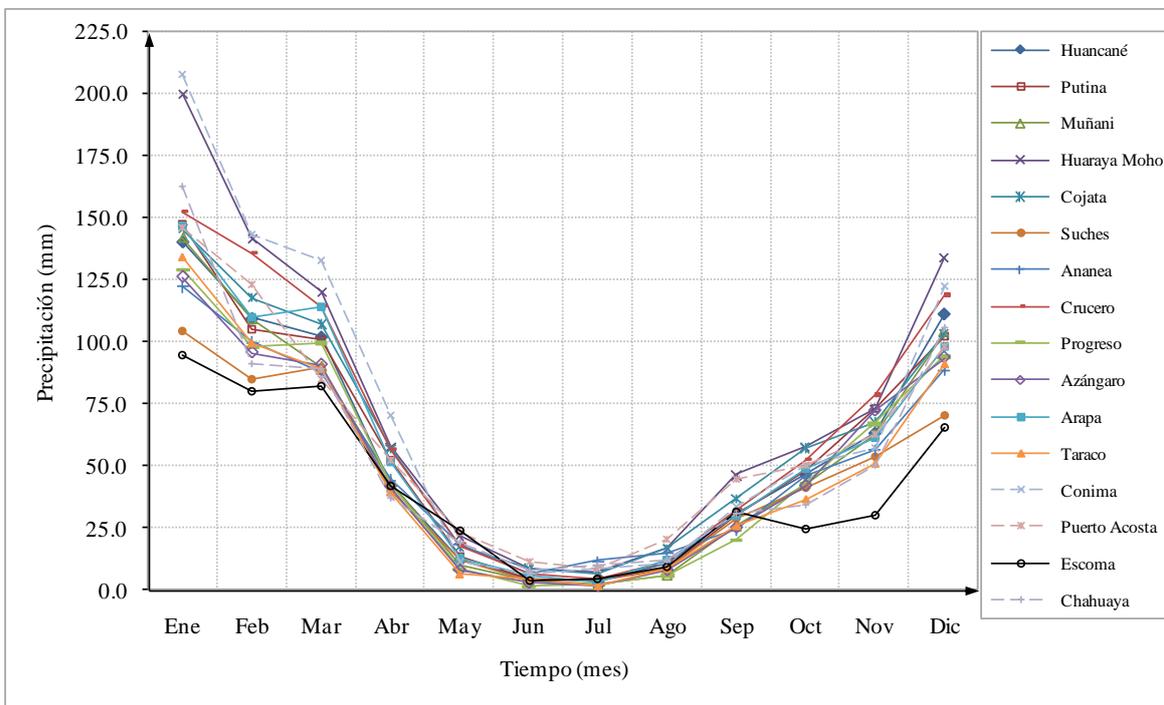
Cuadro N° 4.1 Precipitación total mensual (mm) – Promedio multimensual (1956-2009)
Estaciones de las cuencas Huancané, Suches y cuencas vecinas

Estación	Altitud (msnm)	Mes												Total Anual
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Huancané	3840.0	140.4	109.6	102.1	42.6	12.0	4.4	3.6	10.6	30.7	46.9	63.4	111.4	677.7
Putina	3856.0	147.8	105.3	101.5	52.5	13.4	4.9	3.9	8.7	30.6	48.3	73.5	102.8	693.2
Muñani	3948.0	142.3	109.5	90.4	43.8	9.8	3.7	2.4	6.2	25.9	43.1	63.0	104.3	644.4
Huaraya Moho	3832.0	200.2	141.7	120.5	57.8	21.8	8.1	7.0	16.5	46.3	57.8	73.0	134.4	885.1
Cojata	4327.0	145.7	118.2	107.3	57.1	17.3	8.8	6.5	16.9	37.1	57.3	67.8	103.6	743.6
Suches	4655.0	104.2	85.0	89.8	39.9	12.0	3.6	4.3	8.6	28.6	41.3	53.3	70.2	540.8
Ananea	4640.0	122.3	100.0	87.5	44.6	18.5	6.4	11.8	14.9	24.7	45.8	56.5	88.7	621.7
Crucero	4130.0	152.5	135.9	114.4	56.6	18.1	6.7	4.7	11.7	32.6	52.7	78.6	119.0	783.5
Progreso	3940.0	129.3	98.4	99.8	42.5	8.8	1.8	2.6	6.2	20.2	43.2	67.3	94.4	614.5
Azángaro	3848.0	126.2	95.8	90.9	41.8	8.1	3.0	1.9	8.1	25.3	42.1	72.4	93.8	609.4
Arapa	3830.0	146.8	109.8	114.5	52.0	12.7	5.9	3.2	12.2	30.2	49.0	61.3	98.2	695.8
Taraco	3820.0	134.6	99.8	89.5	39.7	6.6	4.7	1.9	8.8	26.1	36.9	51.3	91.4	591.3
Conima	3860.0	207.8	143.6	133.2	70.6	11.2	6.6	8.6	10.8	33.9	50.3	57.4	122.4	856.4
Puerto Acosta	3835.0	146.1	122.9	84.7	52.8	23.2	11.7	8.9	20.4	44.6	50.4	63.1	97.9	726.7
Escoma	3828.0	94.9	80.2	82.5	41.8	23.8	4.0	4.7	9.6	31.5	24.6	30.4	65.6	493.6
Chahuaya	4500.0	163.0	91.2	89.2	37.5	19.0	8.0	10.0	12.4	31.0	34.4	50.2	105.8	651.6

Cuadro N° 4.2 Porcentaje de variación de la precipitación total mensual (%)
Estaciones de las cuencas Huancané, Suches y cuencas vecinas

Estación	Altitud (msnm)	Mes												Total Anual
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Huancané	3840.0	20.72	16.17	15.07	6.29	1.77	0.65	0.53	1.56	4.53	6.92	9.35	16.44	100.00
Putina	3856.0	21.32	15.19	14.64	7.57	1.93	0.71	0.56	1.26	4.42	6.97	10.60	14.83	100.00
Muñani	3948.0	22.08	16.99	14.03	6.80	1.52	0.57	0.37	0.96	4.02	6.69	9.78	16.19	100.00
Huaraya Moho	3832.0	22.62	16.01	13.61	6.53	2.46	0.92	0.79	1.86	5.23	6.53	8.25	15.19	100.00
Cojata	4327.0	19.59	15.90	14.43	7.68	2.33	1.18	0.87	2.27	4.99	7.71	9.12	13.93	100.00
Suches	4655.0	19.260	15.720	16.60	7.38	2.22	0.66	0.80	1.59	5.29	7.64	9.86	12.98	100.00
Ananea	4640.0	19.67	16.08	14.07	7.17	2.98	1.03	1.90	2.40	3.97	7.37	9.09	14.27	100.00
Crucero	4130.0	19.46	17.35	14.60	7.22	2.31	0.86	0.60	1.49	4.16	6.73	10.03	15.19	100.00
Progreso	3940.0	21.04	16.01	16.24	6.92	1.43	0.29	0.43	1.01	3.29	7.03	10.95	15.36	100.00
Azángaro	3848.0	20.71	15.72	14.92	6.86	1.33	0.49	0.31	1.33	4.15	6.91	11.88	15.39	100.00
Arapa	3830.0	21.10	15.78	16.46	7.47	1.83	0.85	0.46	1.75	4.34	7.04	8.81	14.11	100.00
Taraco	3820.0	22.76	16.88	15.14	6.71	1.12	0.79	0.32	1.49	4.41	6.24	8.68	15.46	100.00
Conima	3860.0	24.26	16.77	15.55	8.24	1.31	0.77	1.01	1.26	3.96	5.88	6.70	14.29	100.00
Puerto Acosta	3835.0	20.10	16.91	11.66	7.27	3.19	1.61	1.22	2.80	6.13	6.94	8.69	13.48	100.00
Escoma	3828.0	19.22	16.25	16.72	8.48	4.82	0.80	0.96	1.94	6.38	4.98	6.16	13.29	100.00
Chahuaya	4500.0	25.01	14.00	13.70	5.75	2.91	1.23	1.53	1.90	4.76	5.28	7.70	16.23	100.00

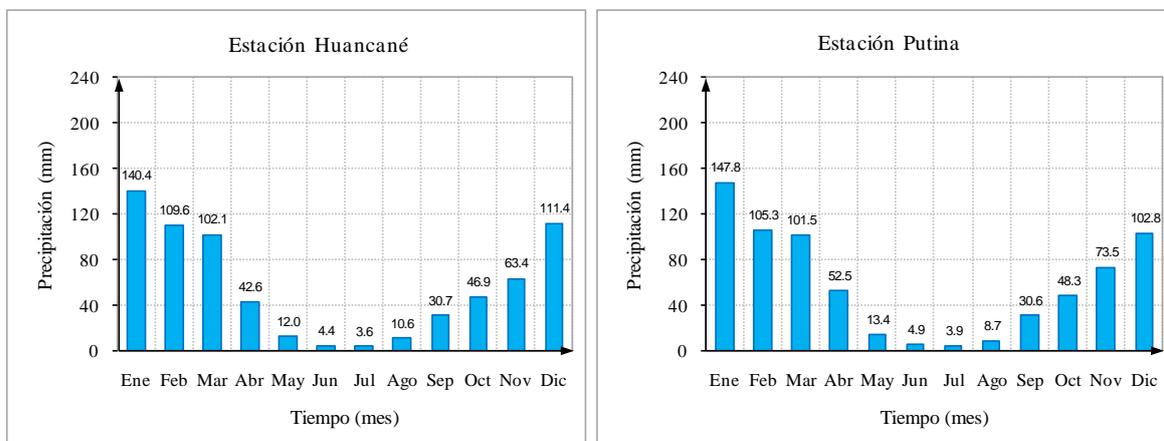
Figura N° 4.1 Variación mensual de la precipitación (mm) – Promedio multimensual (1956-2009)
Estaciones de las cuencas Huancané, Suches y cuencas vecinas



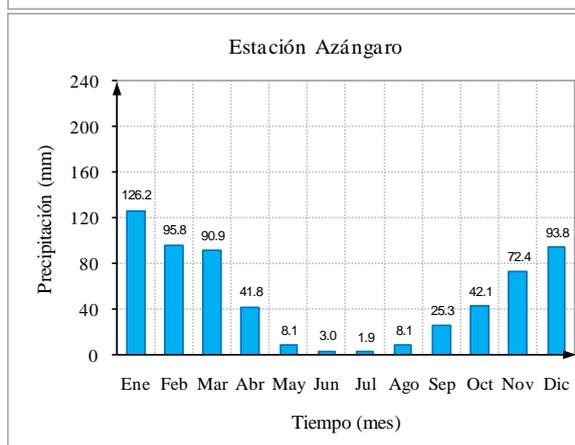
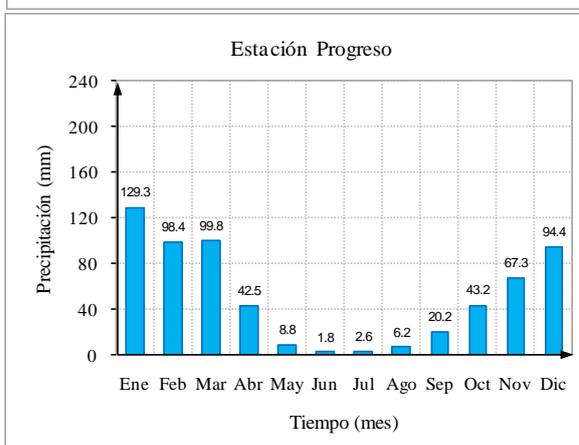
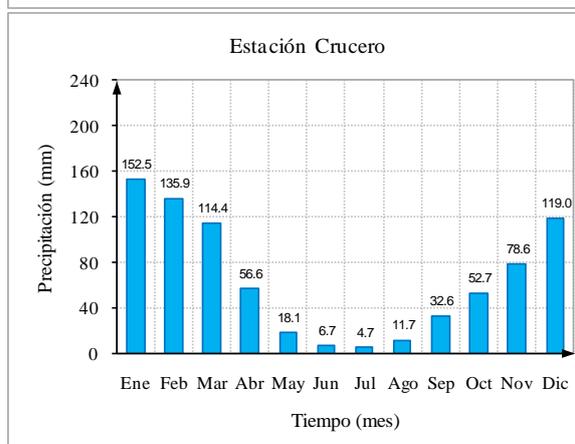
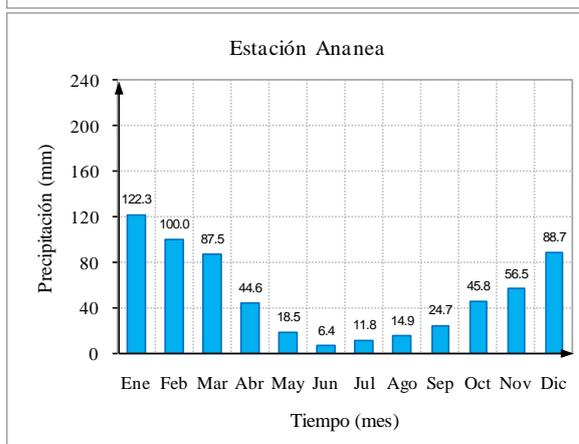
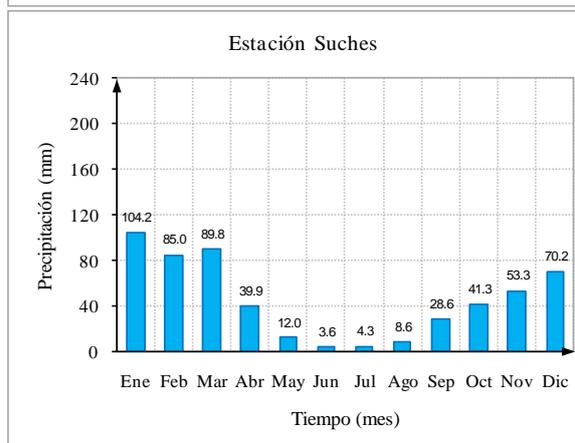
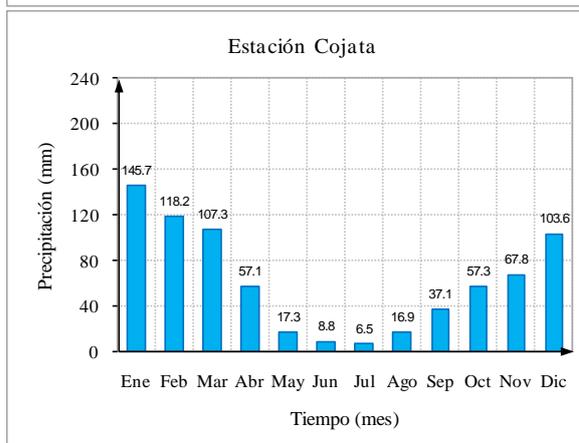
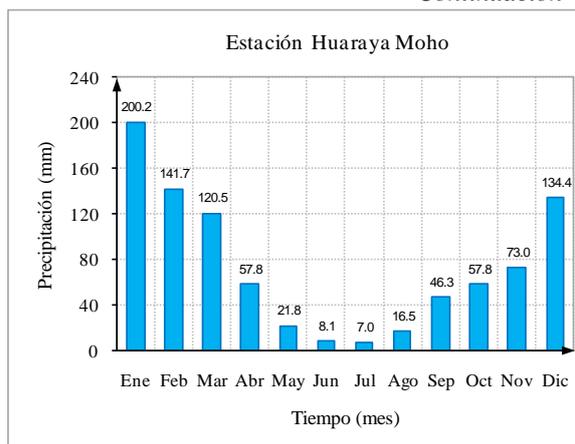
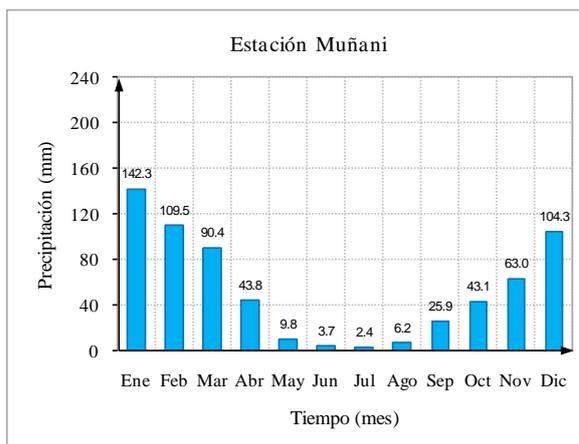
En la Figura N° 4.2 se muestra la variación mensual de las precipitaciones, de las estaciones meteorológicas consideradas en el presente estudio, donde se aprecia la tendencia de la época de lluvias, seco y transición.

Según los gráficos de las precipitaciones promedios multimensuales, se podría resaltar que, en todas las estaciones meteorológicas la precipitación tiene el mismo comportamiento.

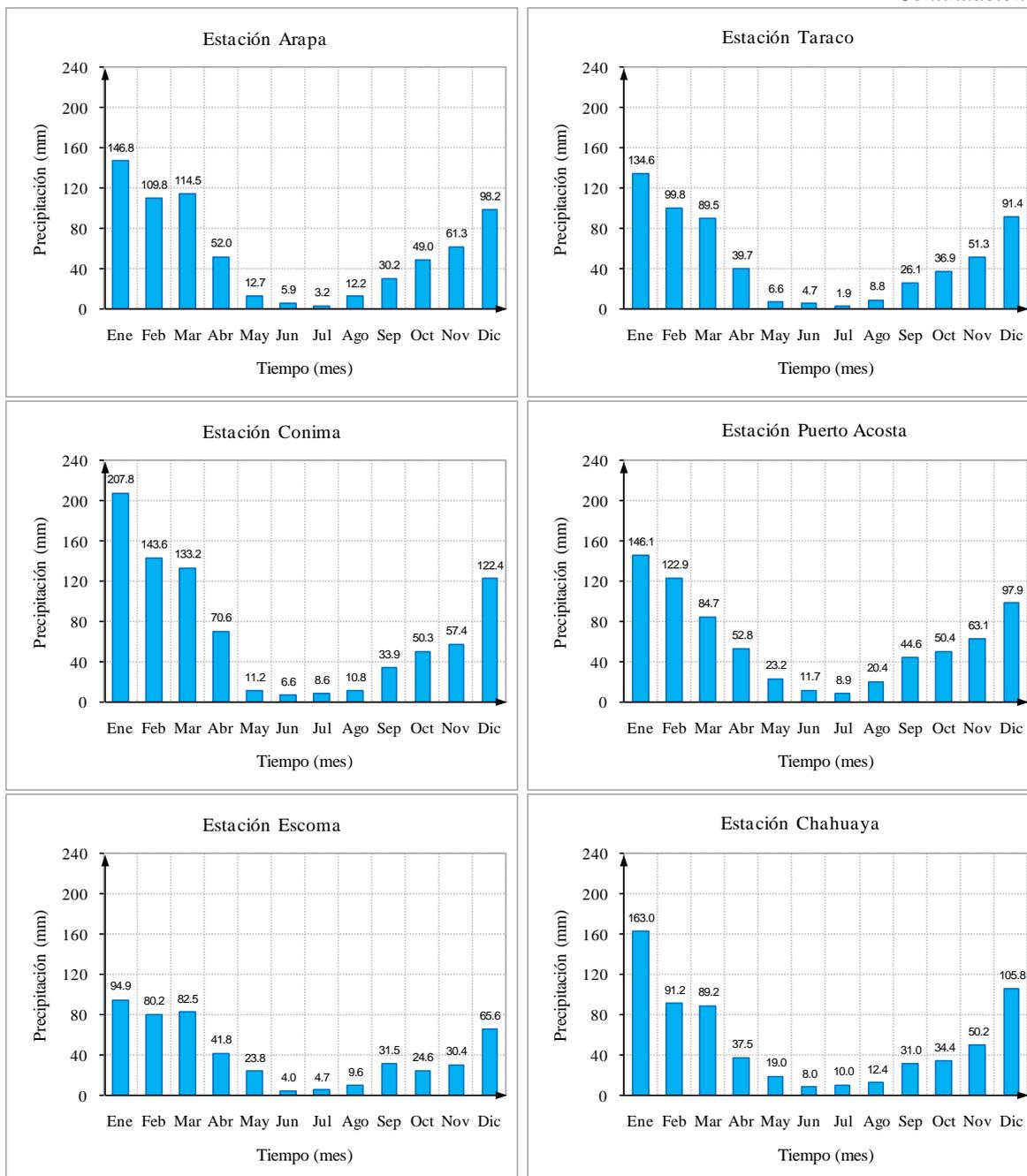
Figura N° 4.2 Variación mensual de la precipitación (mm) – Promedio multimensual (1956-2009)
Estaciones de las cuencas Huancané, Suches y cuencas vecinas



Continuación

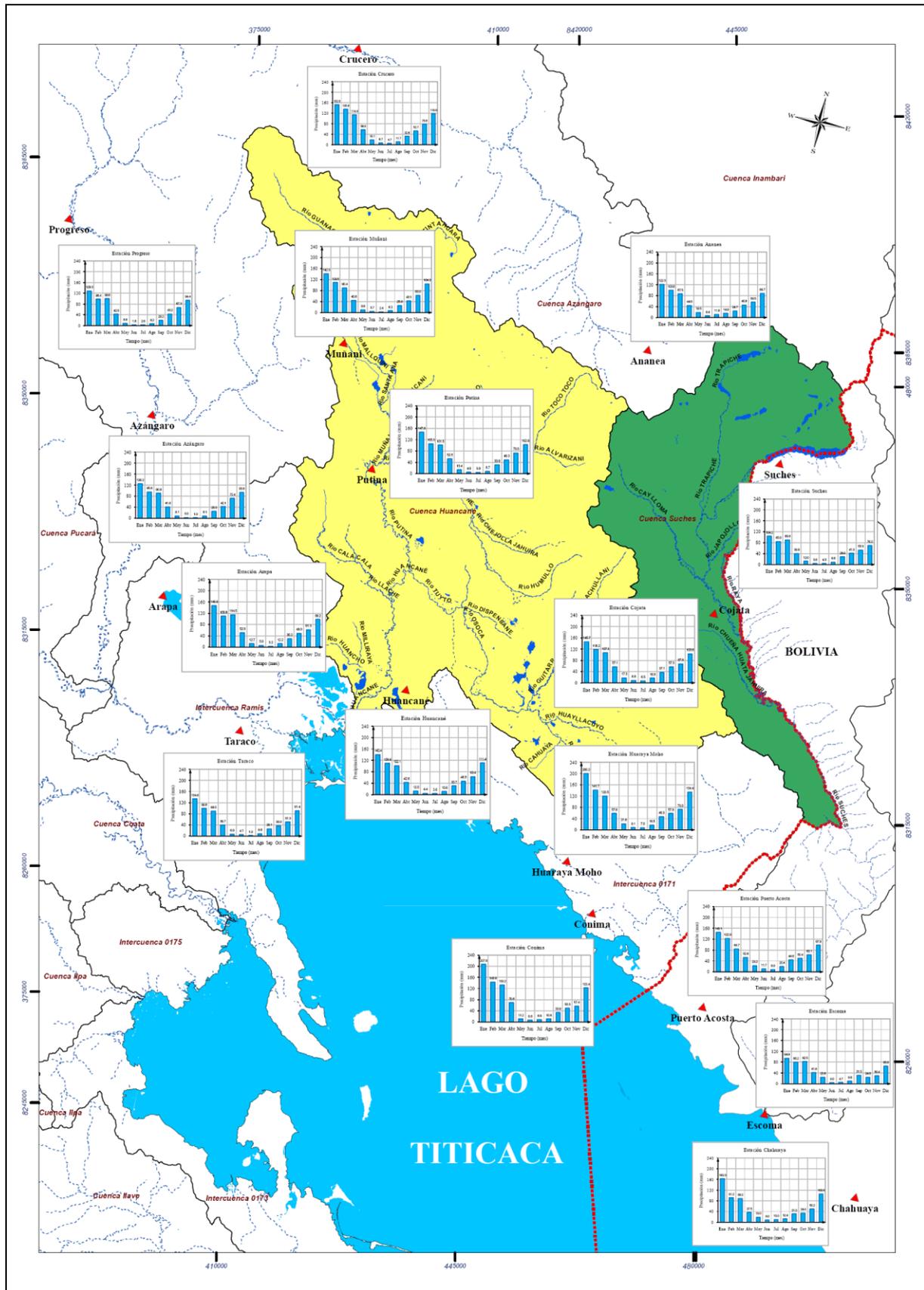


Continuación



En el Mapa N° 4.1 se muestra la variación mensual de la precipitación, de las estaciones meteorológicas ubicadas espacialmente en las cuencas Huancané, Suches y cuencas vecinas.

Mapa N° 4.1 Distribución de las precipitaciones mensuales en las cuencas Huancané y Suches



B.- Régimen de la precipitación anual

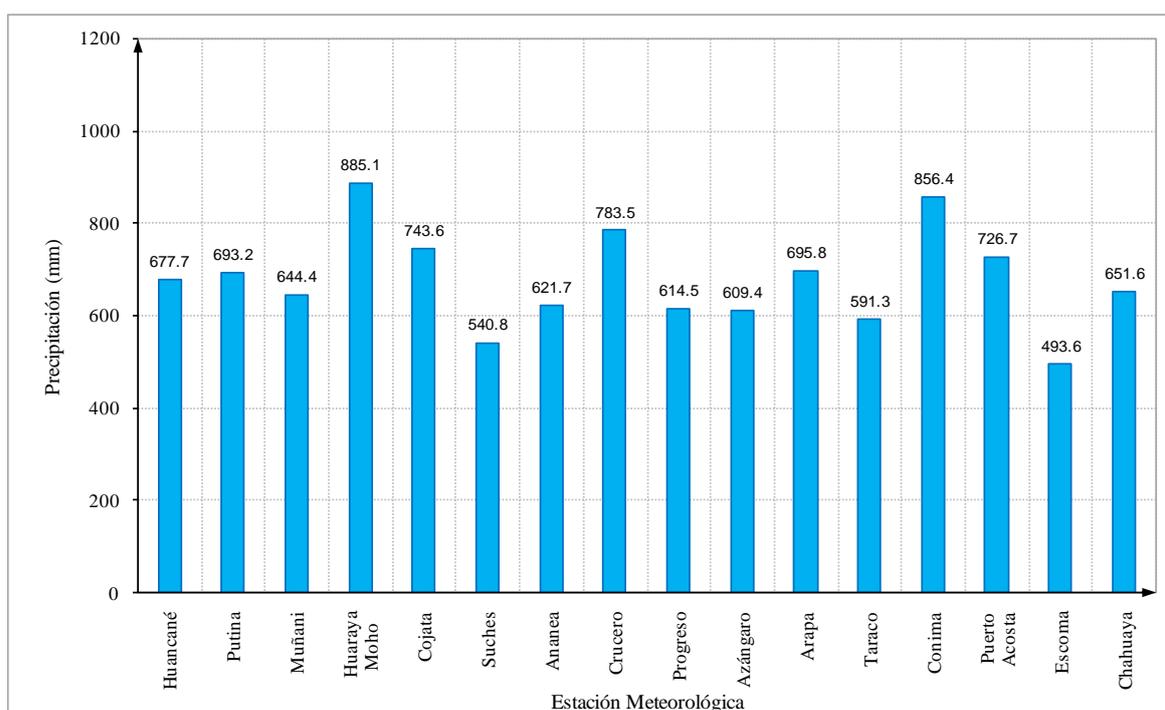
La precipitación es una de las variables climáticas más importantes que influyen en la producción agrícola, puesto que la precipitación pluvial es normalmente la única fuente de humedad proporcionada al suelo.

En el entorno de las cuencas de los ríos Huancané y Suches, la altitud tiene su influencia en la precipitación, asimismo la influencia de la proximidad al lago Titicaca (el lago constituye el elemento termorregulador del sistema y tiene un espejo de agua de 8400 km² de superficie en promedio y un volumen de 930 km³ a una altitud media de 3810 msnm y es considerado como el lago navegable más alto del mundo, además es una fuente de humedad extraordinaria a alturas en que las masas de aire no reciben normalmente ningún nuevo aporte).

La información pluviométrica utilizada en el presente estudio proviene de los registros de doce (16) estaciones meteorológicas (ver Capítulo 2, ítem 2.6.2.2), de los cuales tres (3) están ubicadas dentro de la cuenca Huancané, tres (3) en la cuenca Suches (Perú-Bolivia) y diez (10) fuera del ámbito de las cuencas en estudio.

En la Figura N° 4.3 se presenta en forma gráfica la distribución de precipitación total anual en la región de las cuencas de los ríos Huancané y Suches. Se observa que la precipitación total anual en la cuenca Huancané varía de 644.4 mm (Muñani) a 693.2 mm (Putina) y en la cuenca Suches varía de 493.6 mm (Escoma) a 743.6 mm (Cojata). Los valores más altos se registran en las zonas de Huaraya-Moho y Conima, donde muestra la influencia del efecto termorregulador del lago Titicaca.

Figura N° 4.3 Precipitación total anual (mm) – Promedio multianual (1956-2009)
Estaciones de las cuencas Huancané, Suches y cuencas vecinas



En el Mapa N° 4.2 se presenta la distribución espacial de la precipitación media anual (isoyetas) a nivel de las cuencas de los ríos Huancané y Suches. En la cuenca Huancané se observa que los valores de la precipitación varía de 650 a 900 mm, mientras en la cuenca Suches varía de 400 a 925 mm.

En la cuenca Huancané, los valores altos se registran en el entorno del lago Titicaca, localizada en la zona alta de la subcuenca del río Tuyto (zona Huaraya-Moho y Conima), y los menores se registran en la zona norte (subcuenca Muñani y Alto Huancané) y sur (subcuenca Bajo Huancané y Llache) de la cuenca.

En la cuenca Suches, los valores altos se registran en la zona fronteriza Perú-Bolivia lugar Cuchauilla, y los menores se registran en la zona norte (subcuenca Trapiche) y sur (entorno de lago Titicaca) de la cuenca.

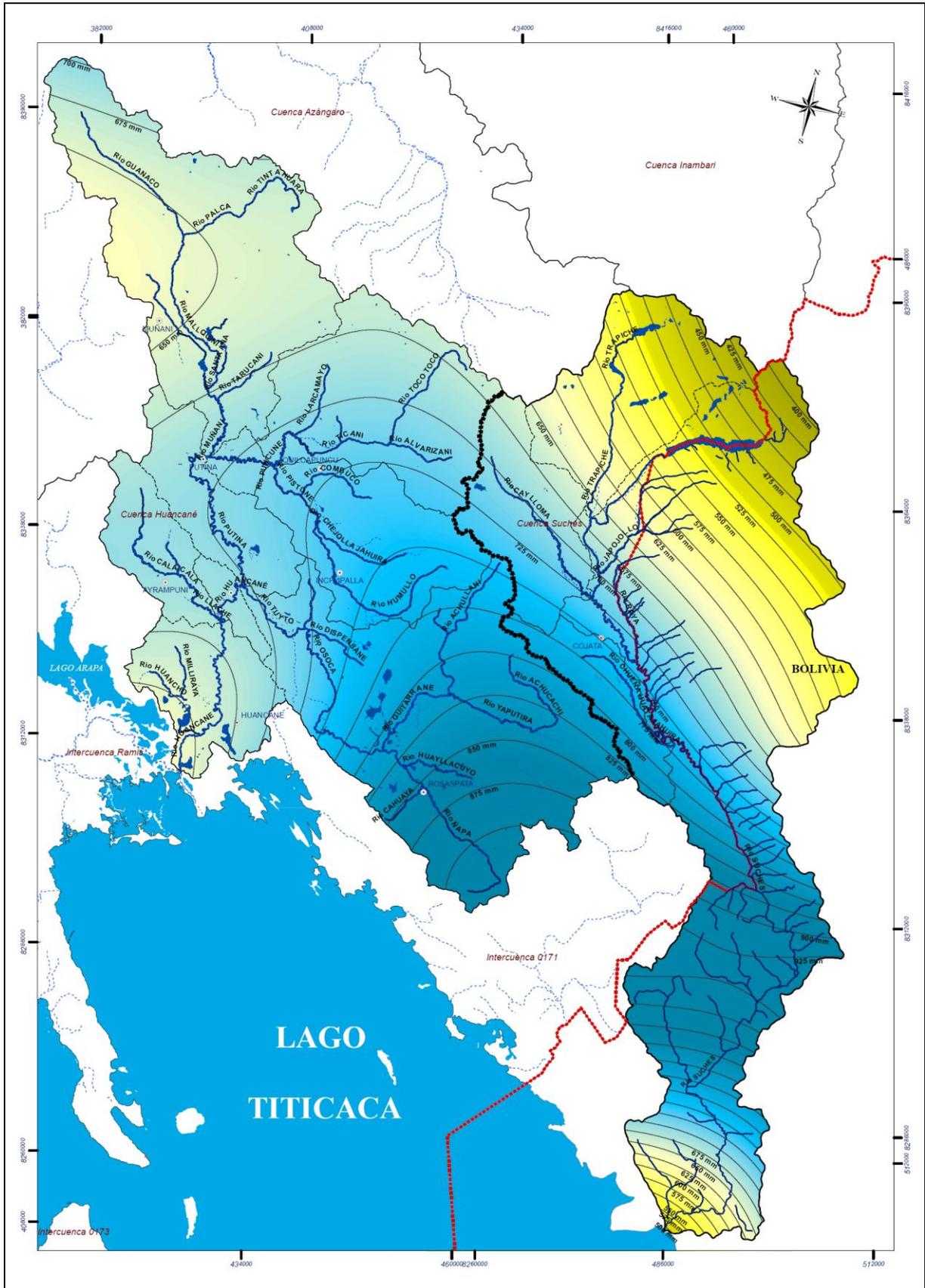
Según el mapa de distribución espacial de la precipitación anual en las cuencas Huancané y Suches, muestra que la precipitación en la cuenca hidrográfica del Titicaca, proviene del Océano Atlántico, además se aprecia la influencia del efecto termorregulador del lago en la parte baja de las cuencas (zona Huaraya-Moho y Conima).

Por otro lado, la variación de la precipitación en la cuenca, no es siempre dependiente de la tendencia positiva de la altitud, como en otras cuencas, sino que también varía de acuerdo a las coordenadas de latitud sur y longitud oeste.

Si bien los volúmenes totales del promedio anual, dan una buena visión de la distribución areal de la precipitación, hay que tener en cuenta que para las actividades agrícolas se hace necesario conocer la variación de la precipitación en forma estacional.

Cabe recalcar, que el número de las estaciones meteorológicas ubicadas dentro de las cuencas Huancané y Suches, es muy poco, debe instalarse más estaciones generalmente en la zona media de ambas cuencas, para que de esta manera obtener una distribución más adecuada.

Mapa N° 4.2 Distribución espacial de la precipitación media anual (isoyetas) en las cuencas Huancané y Suches



4.1.2 Temperatura del aire

La temperatura del aire en la superficie de la tierra, es la temperatura comprendida entre 1.25 y 2 m sobre el nivel del suelo y es diferente a la temperatura del suelo. Generalmente se admite que esta temperatura es representativa de las condiciones a que están sometidos los seres vivos en la superficie de la tierra.

La temperatura expresa numéricamente el efecto que en los cuerpos produce el calor originado por el balance entre la radiación emitida y recibida. El aire se calienta o enfría a partir del suelo por distintos métodos de transmisión y por los cambios de estado físico del agua atmosférica.

Es necesario subrayar que, la temperatura constituye un factor limitativo para el desarrollo de las plantas y en consecuencia de la agricultura, por lo que el estudio de esta variable merece una atención especial.

Los registros de temperatura utilizados en el presente estudio, es la información recopilada de instituciones de la región como el PELT y SENAMHI-Lima. La longitud del registro histórico de temperaturas es variable, los datos faltantes se ha completado mediante una correlación múltiple con estaciones cercanas, aplicando el software hidrológico Hec-4.

La temperatura del aire de las estaciones meteorológicas consideradas en el presente estudio, se manifiestan de tres niveles: temperatura media, temperatura media de las máximas diarias y temperatura media de las mínimas diarias.

A.- Régimen de temperatura media

Debido a las diferencias de altitud, exposición a los vientos y al sol e influencia del lago Titicaca, existen algunas variaciones en la distribución de la temperatura media del aire en las cuencas. En toda la región las temperaturas medias más bajas se producen en el mes de Julio, mientras que las más elevadas se registran en los meses de octubre a marzo, por lo general centradas en diciembre.

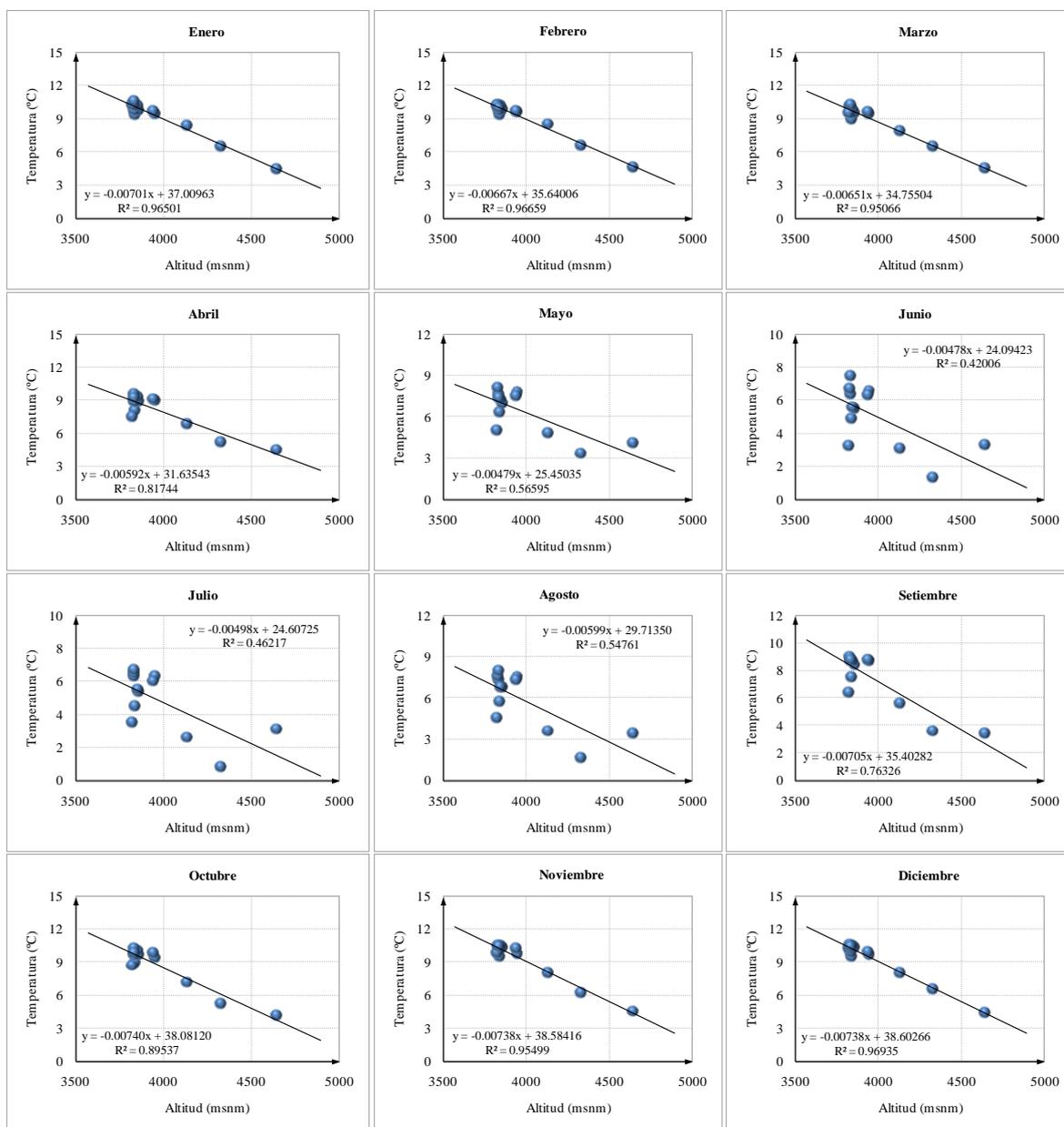
Debido a la carencia de estadísticas de temperatura media en las estaciones Suches, Conima, Escoma y Chahuaya, se ha estimado mediante el análisis de regresión lineal, correlacionando los datos de la altitud y temperatura de las estaciones con registros existentes.

Ecuación de relación: $T_{med} = a + bH$, donde H es la altitud en msnm.

En la Figura N° 4.4 se muestra los resultados del análisis de regresión lineal, donde se ha correlacionado la temperatura media mensual con la altitud. Los resultados del análisis entre las variables analizadas, dan una buena correlación.

En el Cuadro N° 4.3 se presenta los parámetros de la ecuación de regresión lineal, de la relación de temperatura media versus altitud y los coeficientes de correlación correspondiente.

Figura N° 4.4 Gráfico de análisis de regresión lineal de temperatura media versus altitud



Cuadro N° 4.3 Parámetros de la ecuación de regresión lineal (temperatura media-altitud)

Coeficiente	Mes											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
a	37.00963	35.64006	34.75504	31.63543	25.45035	24.09423	24.60725	29.71350	35.40282	38.08120	38.58416	38.60266
b	-0.00701	-0.00667	-0.00651	-0.00592	-0.00479	-0.00478	-0.00498	-0.00599	-0.00705	-0.00740	-0.00738	-0.00738
R (%)	98.23	98.32	97.50	90.41	75.23	64.81	67.98	74.00	87.36	94.62	97.72	98.46

En el Cuadro N° 4.4 y en la Figura N° 4.5, se presenta la temperatura media mensual de las dieciséis (16) estaciones meteorológicas consideradas en el presente estudio.

Cuadro N° 4.4 Temperatura media mensual (°C) – Promedio multimensual (1956-2009)
Estaciones de las cuencas Huancané, Suches y cuencas vecinas

Estación	Altitud (msnm)	Mes												Prom Anual
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Huancané	3840.0	9.3	9.3	9.0	8.1	6.3	4.9	4.5	5.7	7.5	8.9	9.5	9.5	7.7
Putina	3856.0	9.8	9.9	9.5	8.9	7.0	5.5	5.4	6.8	8.4	9.7	10.3	10.3	8.5
Muñani	3948.0	9.4	9.6	9.4	9.0	7.8	6.6	6.3	7.5	8.7	9.4	9.8	9.7	8.6
Huaraya Moho	3832.0	9.8	9.8	9.5	8.9	7.7	6.4	6.3	7.3	8.7	9.7	10.1	10.0	8.7
Cojata	4327.0	6.5	6.6	6.5	5.2	3.3	1.3	0.8	1.6	3.6	5.2	6.2	6.5	4.4
Suches	4655.0	4.4	4.6	4.5	4.1	3.2	1.8	1.4	1.8	2.6	3.6	4.2	4.2	3.4
Ananea	4640.0	4.4	4.6	4.5	4.5	4.1	3.3	3.1	3.4	3.4	4.2	4.5	4.4	4.0
Crucero	4130.0	8.4	8.5	7.9	6.9	4.8	3.1	2.6	3.6	5.6	7.2	8.0	8.0	6.2
Progreso	3940.0	9.7	9.7	9.6	9.1	7.5	6.3	6.0	7.3	8.8	9.9	10.2	10.0	8.7
Azángaro	3848.0	10.2	10.2	9.9	9.3	7.3	5.6	5.5	6.8	8.7	10.1	10.5	10.5	8.7
Arapa	3830.0	10.2	10.3	10.1	9.6	8.1	6.7	6.5	7.6	9.0	10.2	10.5	10.6	9.1
Taraco	3820.0	10.3	10.2	9.5	7.5	5.0	3.2	3.5	4.5	6.4	8.7	9.9	10.2	7.4
Conima	3860.0	10.0	9.9	9.6	8.8	7.0	5.6	5.4	6.6	8.2	9.5	10.1	10.1	8.4
Puerto Acosta	3835.0	10.6	10.0	10.3	9.2	7.4	7.5	6.7	8.0	8.8	9.9	10.4	10.4	9.1
Escoma	3828.0	10.2	10.1	9.8	9.0	7.1	5.8	5.5	6.8	8.4	9.8	10.3	10.4	8.6
Chahuaya	4500.0	5.5	5.6	5.5	5.0	3.9	2.6	2.2	2.8	3.7	4.8	5.4	5.4	4.4

En el Cuadro N° 4.4 y en la Figura N° 4.6, se aprecia la variación de la temperatura media anual, donde la zona más fría en la cuenca Huancané es la zona de la estación Ananea que registra una temperatura media anual de 4.0°C, mientras en la cuenca Suches es la zona de la estación Suches con 3.4°C.

Por el contrario las regiones más cálidas en la cuenca Huancané se encuentra en las zona de las estaciones Huaraya Moho 8.7°C, Muñani 8.6°C y Putina 8.5°C; mientras en la cuenca Suches es la zona de las estaciones Puerto Acosta 9.1°C y Escoma 8.6°C; lo que demuestra la gran capacidad de almacenamiento de energía y posterior efecto de regulación termal.

El gradiente térmico de la temperatura media en la cuenca Huancané es de 0.58°C por cada 100 m de altitud, mientras en la cuenca Suches es de 0.70°C por cada 100 m de altitud.

La variación espacial de la temperatura media anual (isotermas) en las cuencas Huancané y Suches, se muestra en el Mapa N° 4.3, donde se aprecia que en la cuenca Huancané la temperatura media anual varía de 5 a 8.5°C, mientras en la cuenca Suches varía de 3 a 9°C, respectivamente.

Figura N° 4.5 Variación mensual de la temperatura media (°C) – Promedio multimensual (1956-2009)
Estaciones de las cuencas Huancané, Suches y cuencas vecinas

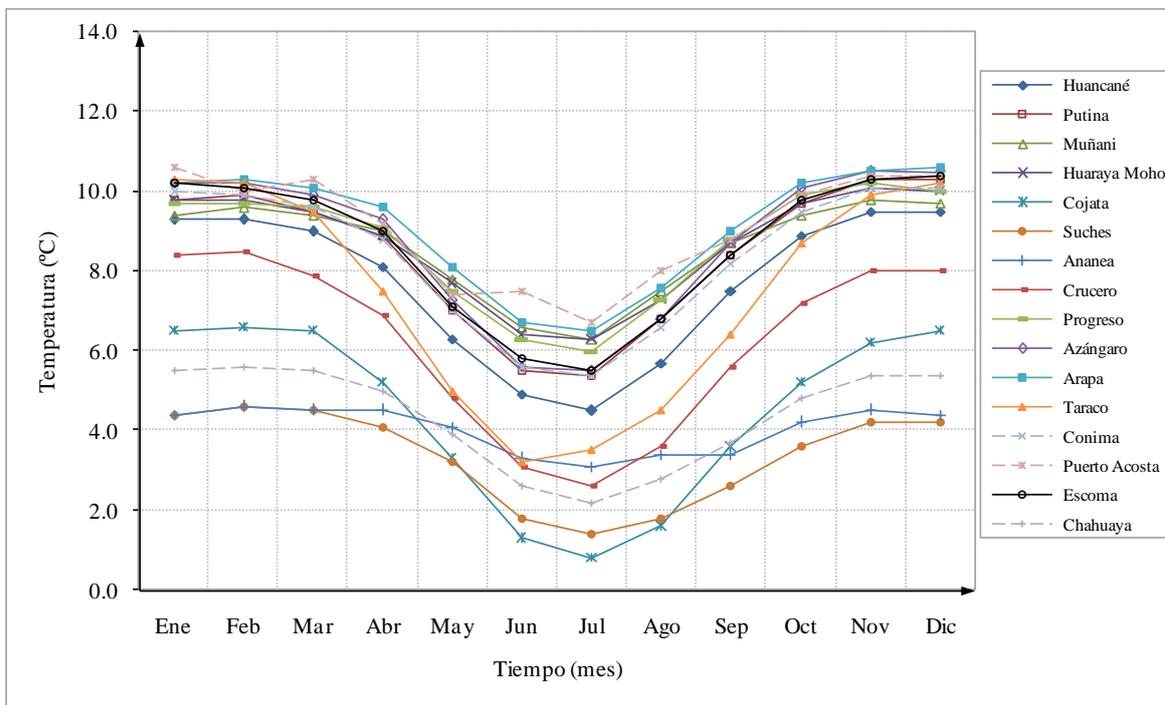
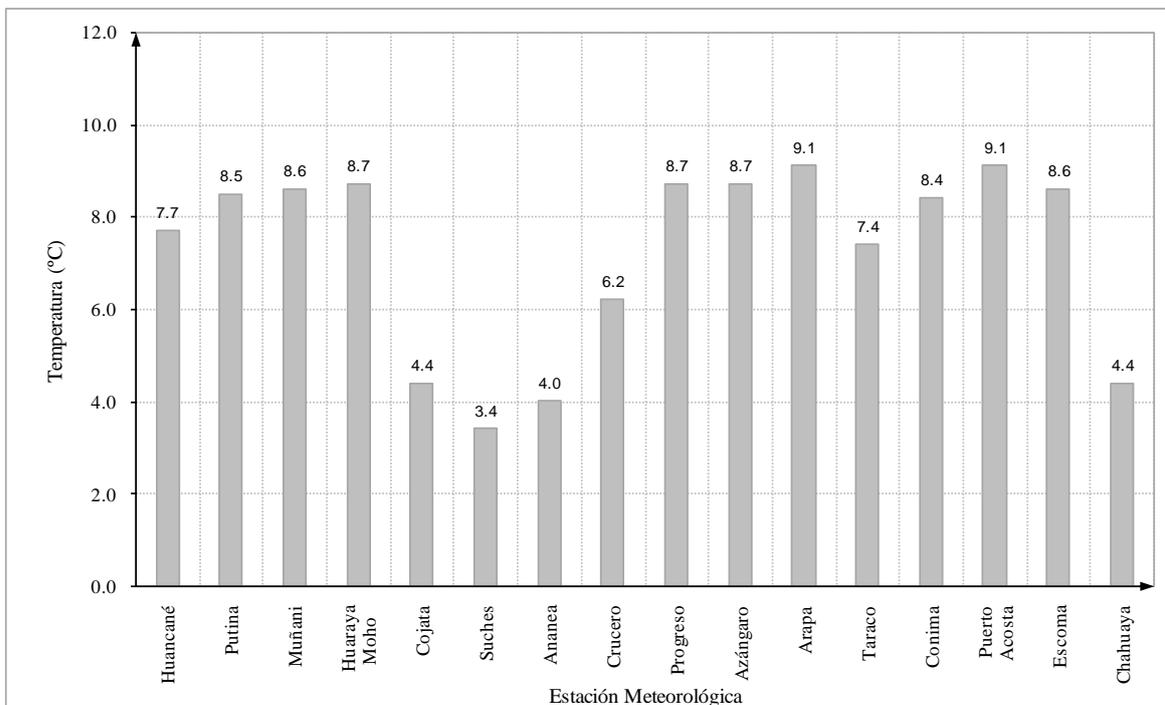
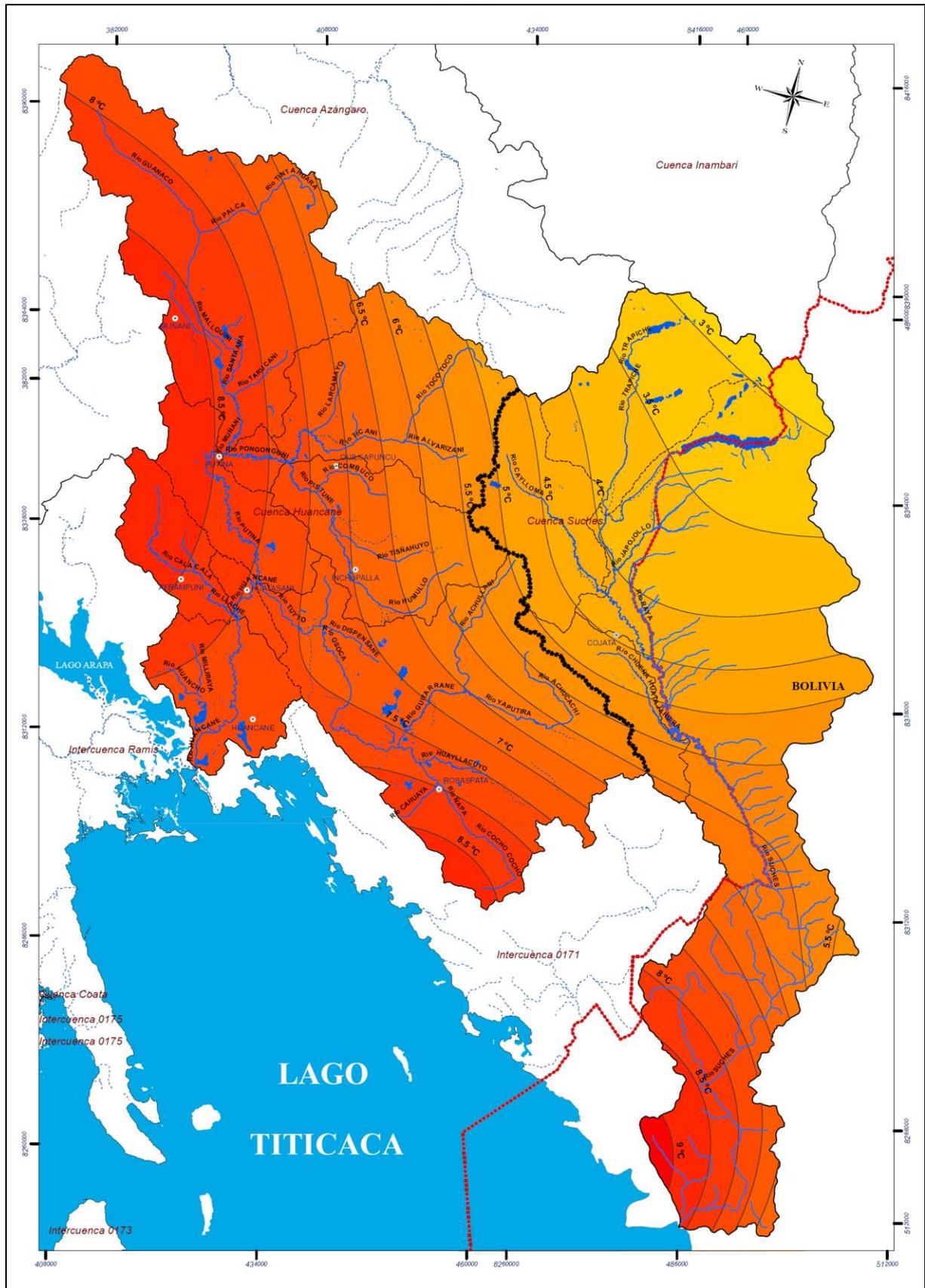


Figura N° 4.6 Variación anual de la temperatura media (°C) – Promedio multianual (1956-2009)
Estaciones de las cuencas Huancané, Suches y cuencas vecinas



Mapa N° 4.3 Distribución espacial de la temperatura media anual (isotermas) en las cuencas Huancané y Suches



B.- Régimen de temperatura máxima

La temperatura máxima, vendría ser en este caso, la temperatura media de las máximas diarias a nivel mensual.

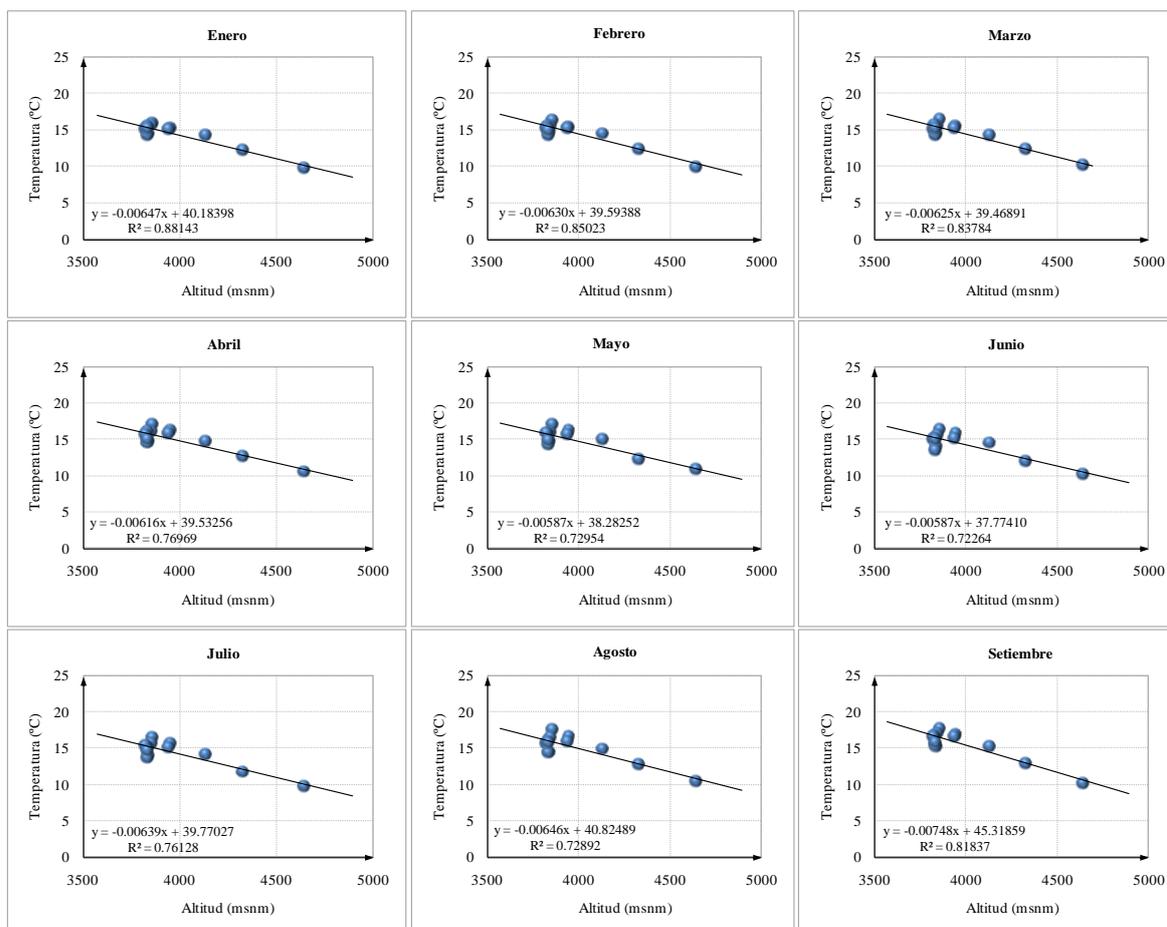
Al igual que las temperaturas medias, debido a la carencia de estadísticas de temperaturas máximas, para las estaciones Suches, Conima, Escoma y Chahuaya, se han estimado mediante el análisis de regresión lineal con los datos de las estaciones con registros existentes, correlacionando la altitud y la temperatura máxima.

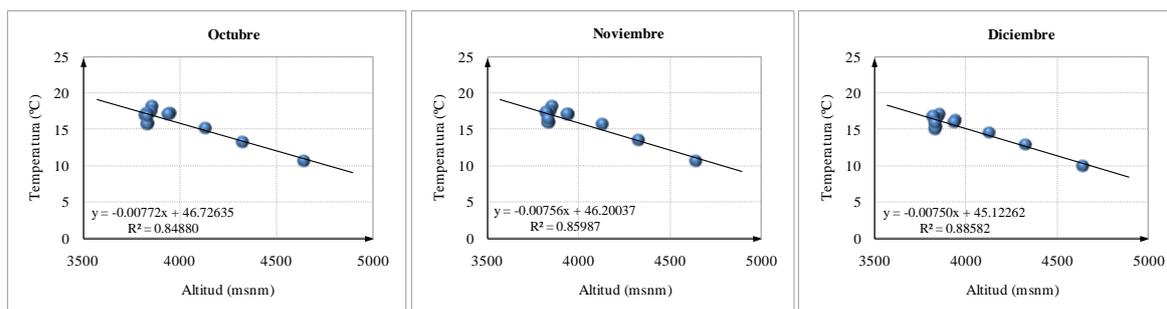
Ecuación de relación: $T_{\text{máx}} = a + bH$, donde H es la altitud en msnm.

En la Figura N° 4.7 se muestra los resultados del análisis de regresión lineal, donde se ha correlacionado la temperatura máxima mensual con la altitud. Los resultados del análisis entre las variables analizadas, dan una buena correlación.

En el Cuadro N° 4.5 se presenta los parámetros de la ecuación de regresión lineal, de la relación de temperatura máxima versus altitud y los coeficientes de correlación correspondiente.

Figura N° 4.7 Gráfico de análisis de regresión lineal de temperatura máxima versus altitud





Cuadro N° 4.5 Parámetros de la ecuación de regresión lineal (temperatura máxima-altitud)

Coeficiente	Mes											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
a	40.18398	39.59388	39.46891	39.53256	38.28252	37.77410	39.77027	40.82489	45.31859	46.72635	46.20037	45.12262
b	-0.00647	-0.00630	-0.00625	-0.00616	-0.00587	-0.00587	-0.00639	-0.00646	-0.00748	-0.00772	-0.00756	-0.00750
R (%)	93.88	92.21	91.53	87.73	85.41	85.01	87.25	85.38	90.46	92.13	92.73	94.12

En la Figura N° 4.8 se verifica que durante el año la mayor temperatura máxima se registra en el mes de noviembre, esto en forma general en todas las estaciones de las cuencas Huancané y Suches.

En la cuenca Huancané, la mayor temperatura máxima se presenta en la zona de la estación Putina con 17.0°C y la menor en la zona de la estación Ananea de 10.2°C. Mientras en la cuenca Suches, la mayor temperatura máxima se presenta en la zona de la estación Escoma con 16.0°C y la menor en la zona de la estación Suches de 10.5°C. Ver Cuadro N° 4.6 y la Figura N° 4.9.

El gradiente térmico de la temperatura máxima, en las cuencas Huancané y Suches es de 0.87°C y 0.67°C por cada 100 m de altitud.

Cuadro N° 4.6 Temperatura máxima mensual (°C) – Promedio multimensual (1956-2009)
Estaciones de las cuencas Huancané, Suches y cuencas vecinas

Estación	Altitud (msnm)	Mes												Prom Anual
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Huancané	3840.0	14.5	14.6	14.5	14.8	14.7	14.1	13.9	14.5	15.2	15.8	16.0	15.4	14.8
Putina	3856.0	15.9	16.3	16.5	17.1	17.0	16.5	16.5	17.6	17.7	18.2	18.1	17.1	17.0
Muñani	3948.0	15.2	15.4	15.6	16.3	16.3	15.8	15.7	16.6	16.9	17.2	17.1	16.3	16.2
Huaraya Moho	3832.0	14.3	14.3	14.3	14.5	14.2	13.5	13.6	14.4	15.3	15.7	15.9	15.0	14.6
Cojata	4327.0	12.2	12.3	12.3	12.7	12.3	11.9	11.7	12.7	12.9	13.2	13.5	12.9	12.6
Suches	4655.0	10.1	10.3	10.4	10.9	11.0	10.4	10.0	10.8	10.5	10.8	11.0	10.2	10.5
Ananea	4640.0	9.7	9.9	10.1	10.5	10.8	10.2	9.8	10.4	10.1	10.6	10.6	9.9	10.2
Crucero	4130.0	14.3	14.5	14.3	14.8	15.0	14.5	14.1	14.9	15.2	15.2	15.7	14.5	14.8
Progreso	3940.0	15.1	15.2	15.3	15.8	15.6	15.2	15.1	16.0	16.6	17.1	17.0	16.0	15.8
Azángaro	3848.0	15.7	15.6	15.6	16.2	16.0	15.5	15.6	16.4	17.1	17.6	17.5	16.6	16.3
Arapa	3830.0	15.5	15.6	15.7	16.1	15.9	15.2	15.2	16.0	16.7	17.3	17.3	16.6	16.1
Taraco	3820.0	15.1	15.2	15.1	15.7	15.9	15.1	15.3	15.7	16.6	16.9	17.4	16.7	15.9
Conima	3860.0	15.2	15.3	15.3	15.8	15.6	15.1	15.1	15.9	16.4	16.9	17.0	16.2	15.8
Puerto Acosta	3835.0	15.2	15.0	15.3	15.0	14.9	15.0	14.8	15.8	15.8	16.7	16.4	15.8	15.5
Escoma	3828.0	15.4	15.5	15.5	16.0	15.8	15.3	15.3	16.1	16.7	17.2	17.3	16.4	16.0
Chahuaya	4500.0	11.1	11.2	11.3	11.8	11.9	11.4	11.0	11.8	11.7	12.0	12.2	11.4	11.6

Figura N° 4.8 Variación mensual de la temperatura máxima (°C) – Promedio multimensual (1956-2009)
Estaciones de las cuencas Huancané, Suches y cuencas vecinas

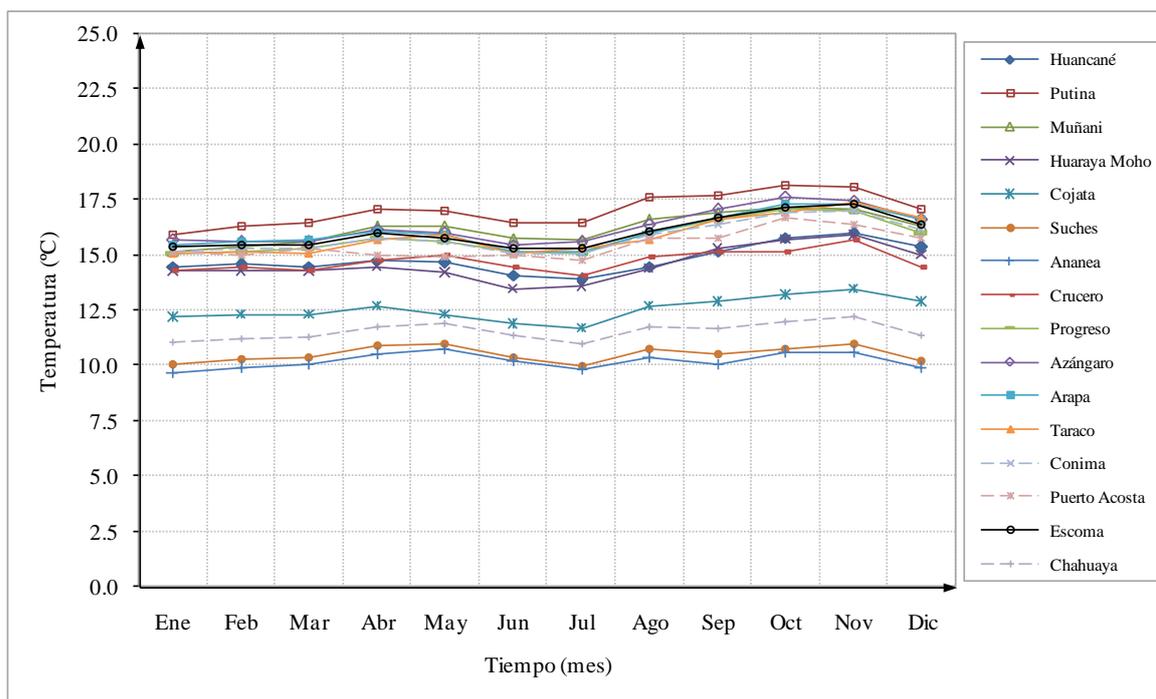
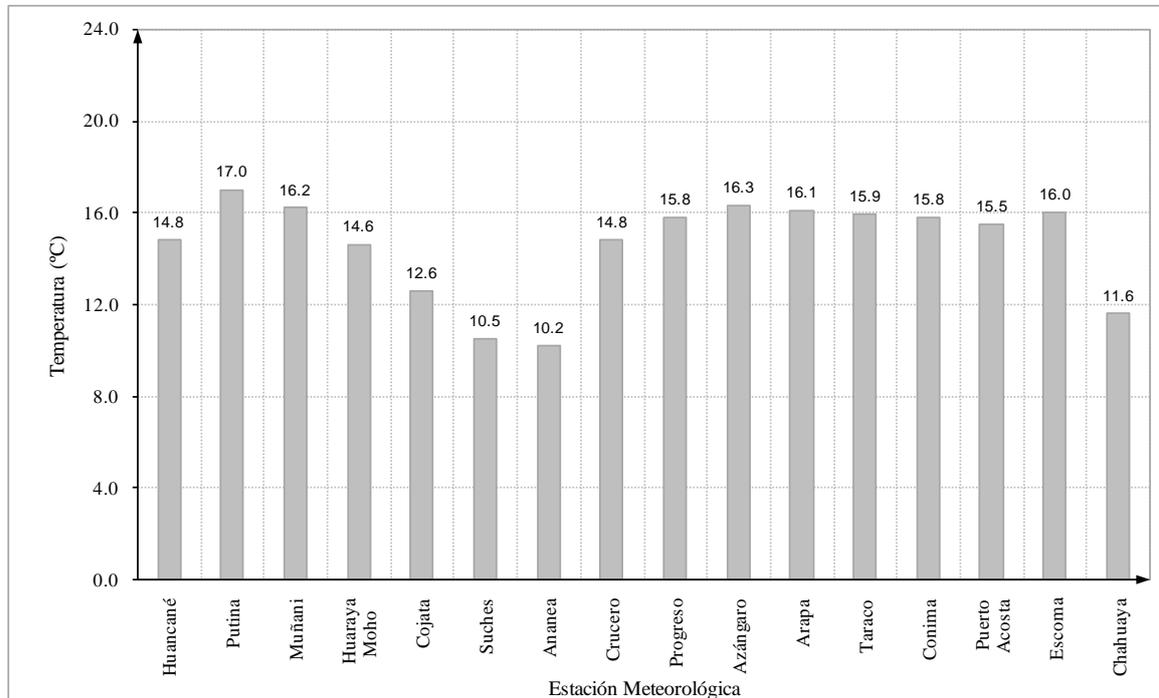


Figura N° 4.9 Variación anual de la temperatura máxima (°C) – Promedio multianual (1956-2009)
Estaciones de las cuencas Huancané, Suches y cuencas vecinas



La variación espacial de la temperatura máxima (isotermas) en las cuencas Huancané y Suches, se muestra en el Mapa N° 4.4, donde se aprecia que en la cuenca Huancané la temperatura máxima anual varía de 11.9 a 16.8°C, mientras en la cuenca Suches varía de 8.4 a 15.4°C, respectivamente.

C.- Régimen de temperatura mínima

La temperatura máxima, vendría ser en este caso, la temperatura media de las mínimas diarias a nivel mensual.

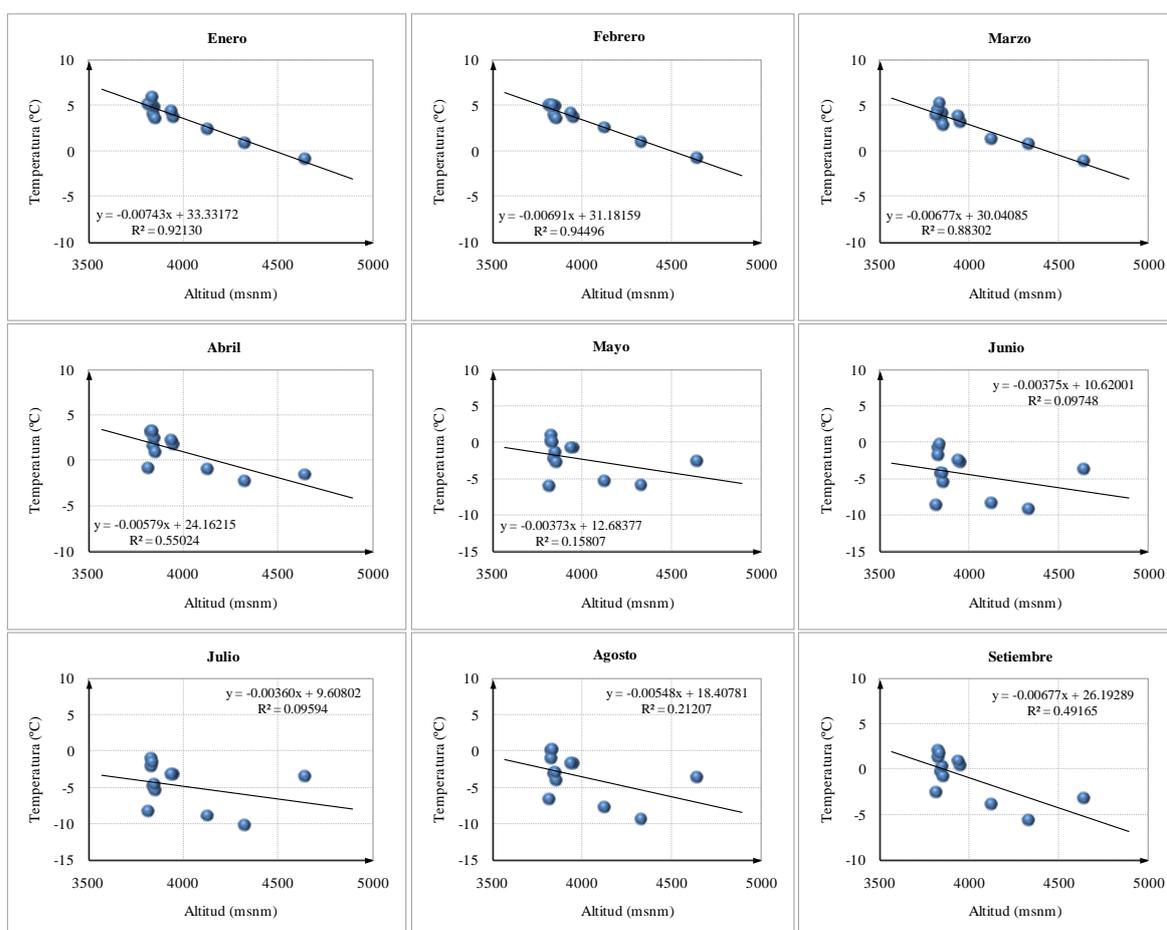
Al igual que las temperaturas medias, debido a la carencia de estadísticas de temperaturas mínimas, para las estaciones Suches, Conima, Escoma y Chahuaya, se han estimado mediante el análisis de regresión lineal con los datos de las estaciones con registros existentes, correlacionando la altitud y la temperatura mínima.

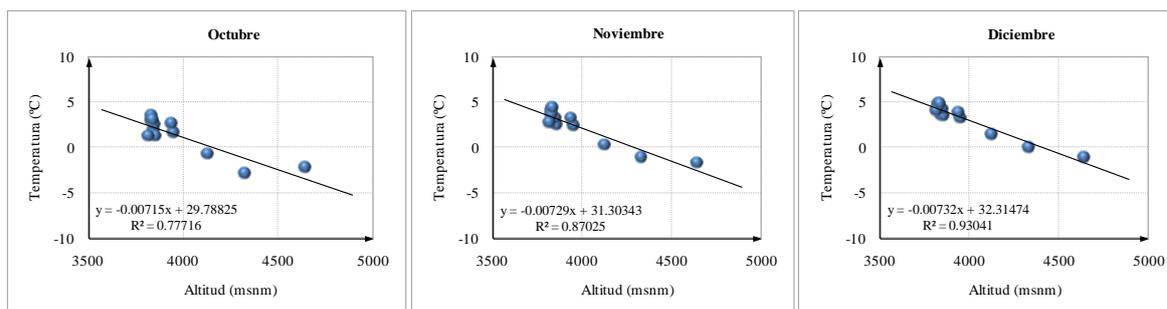
Ecuación de relación: $T_{mín} = a + bH$, donde H es la altitud en msnm.

En la Figura N° 4.10 se muestra los resultados del análisis de regresión lineal, donde se ha correlacionado la temperatura mínima mensual con la altitud. Los resultados del análisis entre las variables analizadas, dan una buena correlación.

En el Cuadro N° 4.7 se presenta los parámetros de la ecuación de regresión lineal, de la relación de temperatura mínima versus altitud y los coeficientes de correlación correspondiente.

Figura N° 4.10 Gráfico de análisis de regresión lineal de temperatura mínima versus altitud





Cuadro N° 4.7 Parámetros de la ecuación de regresión lineal (temperatura mínima-altitud)

Coeficiente	Mes											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
a	33.33172	31.18159	30.04085	24.16215	12.68377	10.62001	9.60802	18.40781	26.19289	29.78825	31.30343	32.31474
b	-0.00743	-0.00691	-0.00677	-0.00579	-0.00373	-0.00375	-0.00360	-0.00548	-0.00677	-0.00715	-0.00729	-0.00732
R (%)	95.98	97.21	93.97	74.18	39.76	31.22	30.97	46.05	70.12	88.16	93.29	96.46

En la Figura N° 4.11 se verifica que durante el año la menor temperatura mínima se registra en el mes de julio, esto en forma general en todas las estaciones de las cuencas Huancané y Suches.

En la cuenca Huancané, la mayor temperatura mínima se presenta en la zona de la estación Huaraya-Moho con 2.7°C y la menor en la zona de la estación Ananea de -2.2°C. Mientras en la cuenca Suches, la mayor temperatura mínima se presenta en la zona de la estación Puerto Acosta con 2.7°C y la menor en la zona de la estación Suches de -3.8°C. Ver Cuadro N° 4.8 y la Figura N° 4.12.

El gradiente térmico de la temperatura mínima, en las cuencas Huancané y Suches es de 0.61°C y 0.79°C por cada 100 m de altitud.

Cuadro N° 4.8 Temperatura mínima mensual (°C) – Promedio multimensual (1956-2009)
Estaciones de las cuencas Huancané, Suches y cuencas vecinas

Estación	Altitud (msnm)	Mes												Prom Anual
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Huancané	3840.0	4.1	4.0	3.4	1.6	-2.1	-4.3	-4.9	-3.1	-0.2	1.9	2.9	3.6	0.6
Putina	3856.0	3.6	3.6	2.8	0.9	-2.7	-5.5	-5.4	-4.0	-0.8	1.3	2.5	3.5	0.0
Muñani	3948.0	3.7	3.7	3.2	1.8	-0.8	-2.7	-3.2	-1.7	0.4	1.7	2.4	3.3	1.0
Huaraya Moho	3832.0	5.3	5.1	4.6	3.3	1.0	-0.7	-1.0	0.1	2.0	3.5	4.2	4.9	2.7
Cojata	4327.0	0.9	1.0	0.7	-2.3	-5.8	-9.3	-10.2	-9.4	-5.7	-2.8	-1.1	0.1	-3.7
Suches	4655.0	-1.3	-1.0	-1.5	-2.8	-4.7	-6.8	-7.1	-7.1	-5.3	-3.5	-2.6	-1.8	-3.8
Ananea	4640.0	-0.9	-0.7	-1.1	-1.6	-2.6	-3.7	-3.6	-3.7	-3.2	-2.2	-1.7	-1.1	-2.2
Crucero	4130.0	2.5	2.6	1.4	-0.9	-5.4	-8.3	-8.9	-7.7	-3.9	-0.7	0.3	1.4	-2.3
Progreso	3940.0	4.4	4.2	3.8	2.3	-0.7	-2.4	-3.2	-1.6	0.9	2.6	3.3	3.9	1.5
Azángaro	3848.0	4.8	4.9	4.2	2.4	-1.4	-4.3	-4.6	-2.9	0.3	2.5	3.3	4.3	1.1
Arapa	3830.0	4.9	4.9	4.4	3.1	0.2	-1.8	-2.2	-1.0	1.3	3.0	3.7	4.5	2.1
Taraco	3820.0	5.2	5.0	3.9	-0.8	-6.0	-8.7	-8.4	-6.6	-2.6	1.3	2.8	4.2	-0.9
Conima	3860.0	4.7	4.5	3.9	1.8	-1.7	-3.9	-4.3	-2.7	0.1	2.2	3.2	4.1	1.0
Puerto Acosta	3835.0	5.9	5.1	5.3	3.3	0.0	-0.2	-1.5	0.2	1.8	3.1	4.4	4.9	2.7
Escoma	3828.0	4.9	4.7	4.1	2.0	-1.6	-3.7	-4.2	-2.6	0.3	2.4	3.4	4.3	1.2
Chahuaya	4500.0	-0.1	0.1	-0.4	-1.9	-4.1	-6.3	-6.6	-6.3	-4.3	-2.4	-1.5	-0.6	-2.9

Figura N° 4.11 Variación mensual de la temperatura mínima (°C) – Promedio multimensual (1956-2009)
Estaciones de las cuencas Huancané, Suches y cuencas vecinas

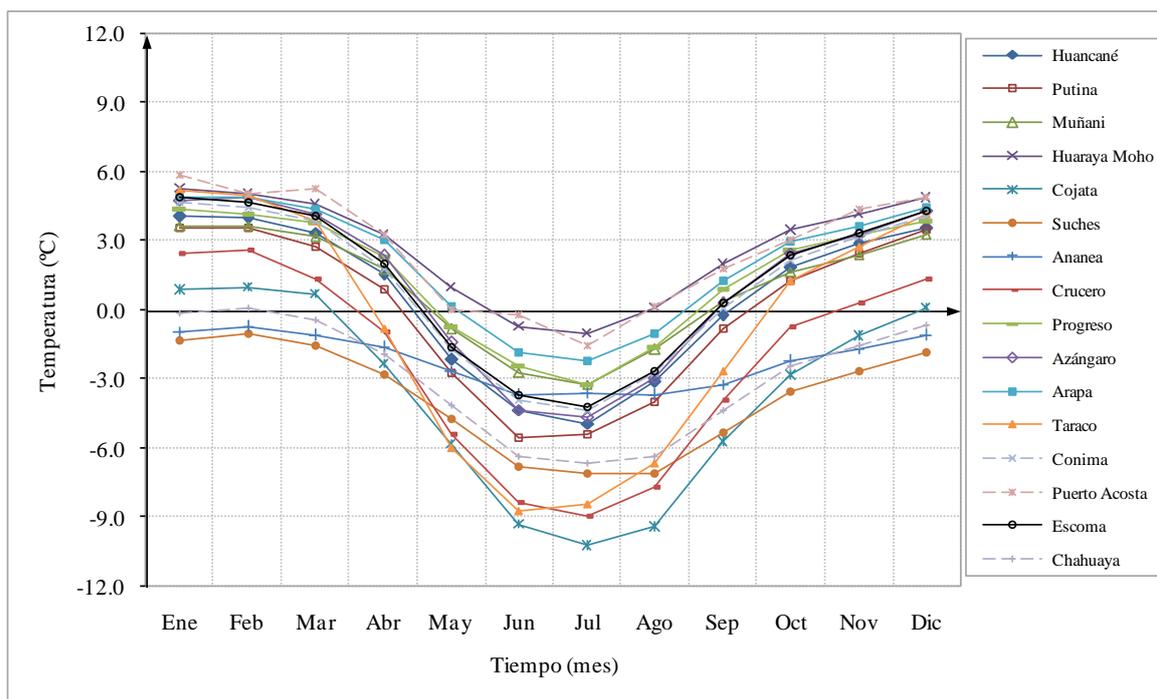
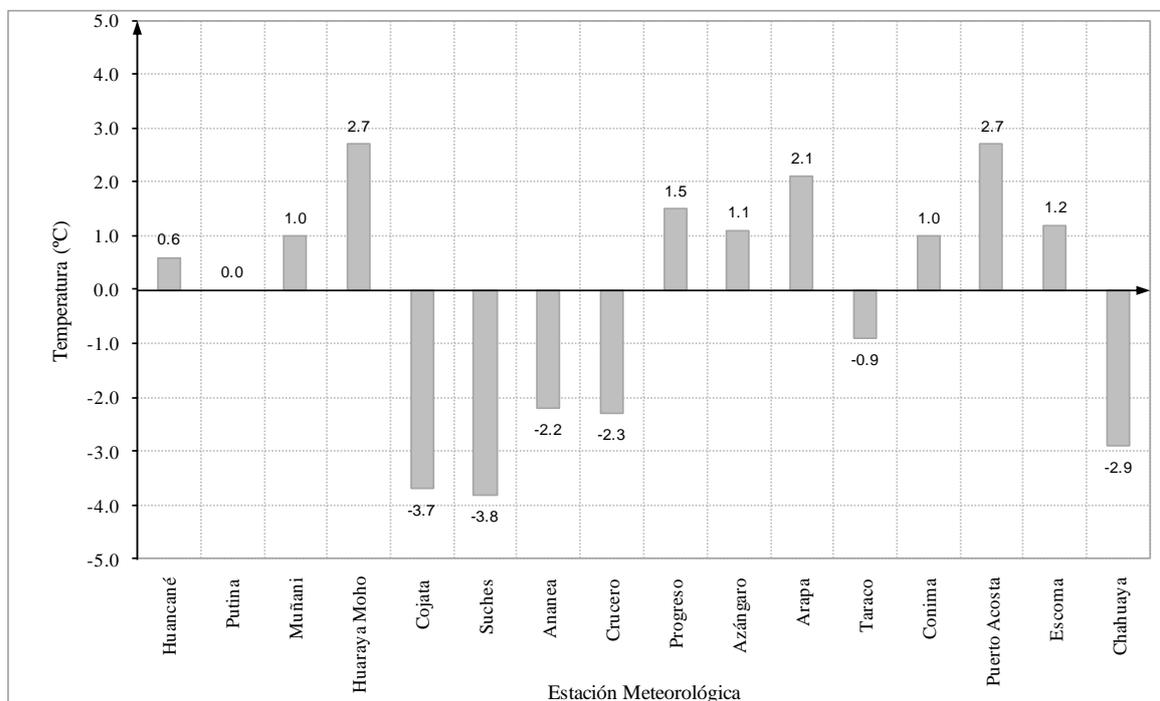
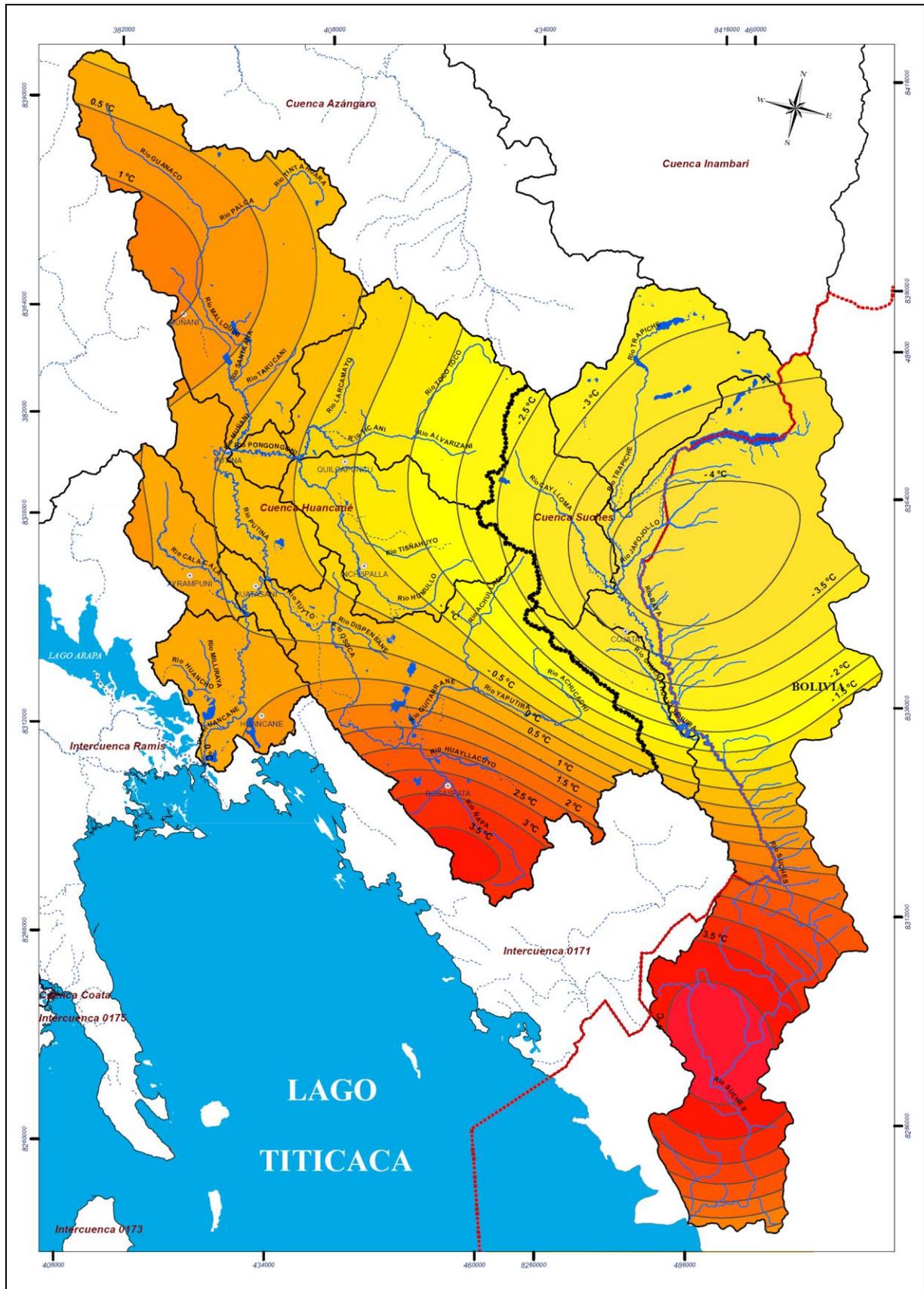


Figura N° 4.12 Variación anual de la temperatura mínima (°C) – Promedio multianual (1956-2009)
Estaciones de las cuencas Huancané, Suches y cuencas vecinas



La variación espacial de la temperatura mínima (isotermas) en las cuencas Huancané y Suches, se muestra en el Mapa N° 4.5, donde se aprecia que en la cuenca Huancané la temperatura mínima anual varía de -2.5 a 3.5°C, mientras en la cuenca Suches varía de -4.0 a 4.0°C, respectivamente.

Mapa N° 4.5 Distribución espacial de la temperatura mínima (isotermas) en las cuencas Huancané y Suches



4.1.3 Humedad relativa

Es la humedad que contiene la masa de aire, en relación con la máxima humedad absoluta que podría admitir sin producirse la condensación, conservando las mismas condiciones de temperatura y presión atmosférica. También se define como el porcentaje de saturación del aire con vapor de agua. El factor determinante de la humedad relativa es la temperatura, el cual permite saber cuánto de vapor de agua hay en la atmósfera. Se expresa en porcentaje.

La fórmula psicrométrica para el cálculo de la humedad relativa, está dada por la siguiente ecuación:

$$HR = \left(\frac{e'_s - \Delta e}{e_s} \right) \times 100$$

$$\Delta e = 0.00066 \times (1 + 0.00115 \times T_h) \times P \times (T_s - T_h)$$

$$e_s = 6.11 \times 10^{\left(\frac{7.5 \times T_s}{T_s + 237.3} \right)}$$

$$e'_s = 6.11 \times 10^{\left(\frac{7.5 \times T_h}{T_h + 237.3} \right)}$$

Donde:

- HR = Humedad relativa (%).
- T_h = Temperatura bulbo húmedo (°C).
- T_s = Temperatura bulbo seco (°C).
- P = Presión atmosférica de la estación (mb).
- H = Altitud de la estación (msnm).

$$P = 101.3 \times \left(\frac{293 - 0.00652 \times H}{293} \right)^{5.26} \times 10$$

En nuestro país, el SENAMHI realiza tres mediciones por día (a las 07, 13 y 19 horas), las temperaturas bulbo húmedo y seco. Con la ecuación de la humedad relativa se calcula para cada hora y con el promedio de las tres mediciones se obtiene la humedad relativa media diaria, de igual forma el promedio mensual se obtiene de las humedades relativas diarias correspondientes.

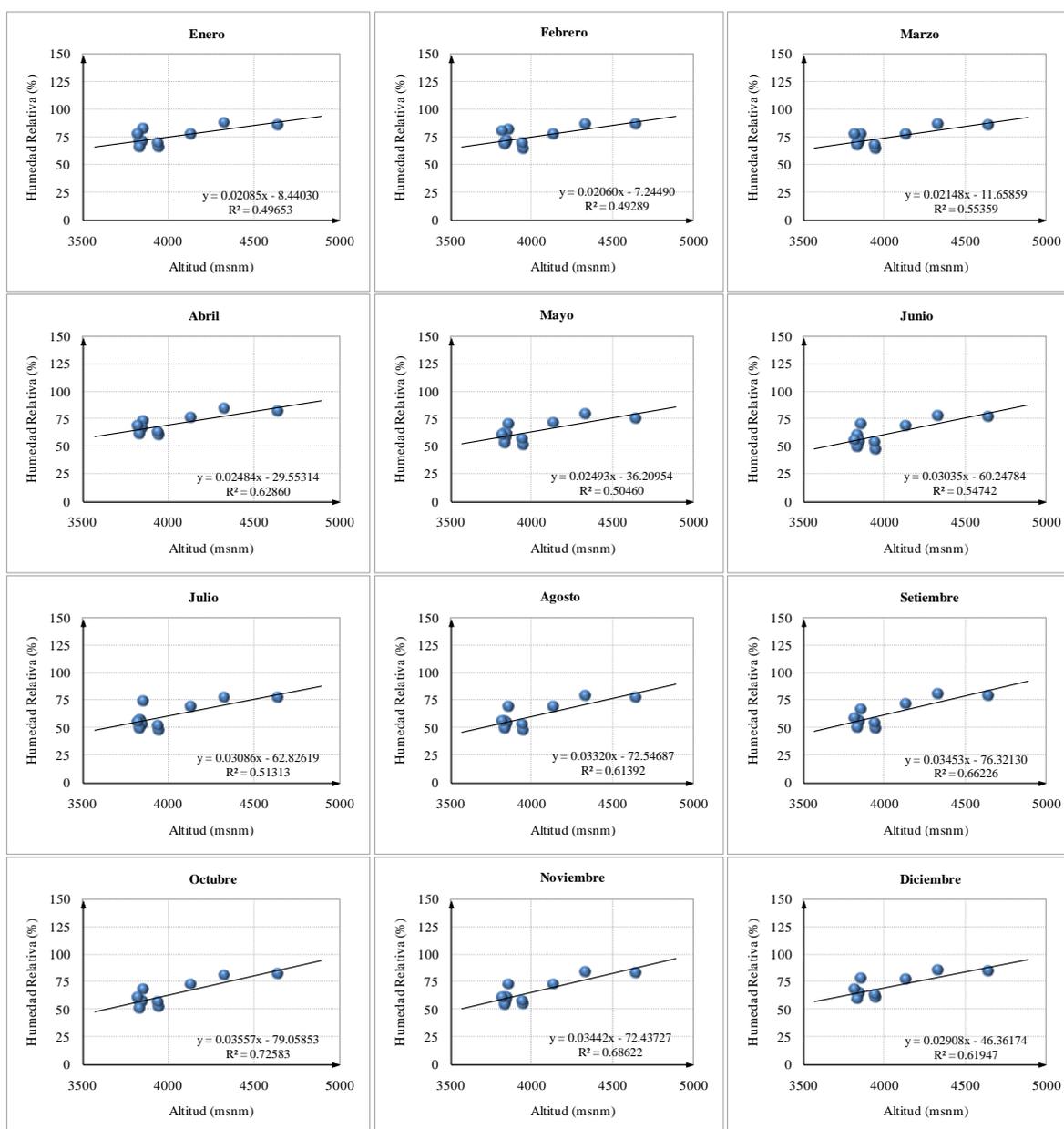
De las dieciséis estaciones meteorológicas, once (11) estaciones disponen el registro histórico de humedad relativa. Por lo tanto, debido a la carencia de estadísticas de humedad relativa, para las estaciones Suches, Conima, Puerto Acosta, Escoma y Chahuaya, se han estimado mediante el análisis de regresión lineal con los datos de las estaciones con registros existentes, correlacionando la altitud y la humedad relativa.

Ecuación de relación: **HR = a + bH**, donde H es la altitud en msnm.

En la Figura N° 4.13 se muestra los resultados del análisis de regresión lineal, donde se ha correlacionado la humedad relativa con la altitud. Los resultados del análisis entre las variables analizadas, dan una correlación buena.

En el Cuadro N° 4.9 se presenta los parámetros de la ecuación de regresión lineal, de la relación de humedad relativa versus altitud y los coeficientes de correlación correspondiente.

Figura N° 4.13 Gráfico de análisis de regresión lineal de humedad relativa versus altitud



Cuadro N° 4.9 Parámetros de la ecuación de regresión lineal (humedad relativa-altitud)

Coeficiente	Mes											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
a	-8.44030	-7.24290	-11.65859	-29.55314	-36.20954	-60.24784	-62.82619	-72.54687	-76.32130	-79.05853	-72.43727	-46.36174
b	0.02085	0.02060	0.02148	0.02484	0.02493	0.03035	0.03086	0.03320	0.03453	0.03557	0.03442	0.02908
R (%)	70.46	70.21	74.40	79.28	71.04	73.99	71.63	78.35	81.38	85.20	82.84	78.71

En la Figura N° 4.14 se verifica que durante el año la menor humedad relativa se registra en el mes de julio, esto en forma general en todas las estaciones de las cuencas Huancané y Suches. Además, se aprecia que la humedad relativa tiene la misma tendencia en todas las estaciones meteorológicas.

En la cuenca Huancané, la mayor humedad relativa se presenta en la zona de la estación Ananea con 81% y la menor en la zona de la estación Muñani de 55%. Mientras en la cuenca Suches, la mayor humedad relativa se presenta en la zona de la estación Suches con 85% y la menor en la zona de las estaciones Puerto Acosta y Escoma con 62%. Ver Cuadro N° 4.10 y la Figura N° 4.15.

Cuadro N° 4.10 Humedad relativa media mensual (%) – Promedio multimensual (1956-2009)
Estaciones de las cuencas Huancané, Suches y cuencas vecinas

Estación	Altitud (msnm)	Mes												Prom Anual
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Huancané	3840.0	70.0	70.0	71.0	66.0	58.0	57.0	57.0	54.0	56.0	56.0	58.0	64.0	61.0
Putina	3856.0	82.0	81.0	78.0	73.0	71.0	71.0	74.0	69.0	67.0	68.0	73.0	78.0	74.0
Muñani	3948.0	66.0	65.0	65.0	60.0	51.0	47.0	47.0	47.0	49.0	52.0	55.0	60.0	55.0
Huaraya Moho	3832.0	71.0	70.0	69.0	66.0	62.0	60.0	57.0	56.0	57.0	58.0	60.0	65.0	63.0
Cojata	4327.0	88.0	87.0	87.0	85.0	79.0	78.0	77.0	79.0	81.0	81.0	84.0	86.0	83.0
Suches	4655.0	89.0	89.0	88.0	86.0	80.0	81.0	81.0	82.0	84.0	87.0	88.0	89.0	85.0
Ananea	4640.0	86.0	87.0	86.0	82.0	75.0	77.0	77.0	77.0	79.0	82.0	83.0	85.0	81.0
Crucero	4130.0	78.0	78.0	78.0	76.0	72.0	69.0	69.0	69.0	72.0	73.0	73.0	77.0	74.0
Progreso	3940.0	69.0	69.0	67.0	63.0	57.0	54.0	52.0	53.0	54.0	57.0	58.0	63.0	60.0
Azángaro	3848.0	71.0	72.0	71.0	67.0	61.0	55.0	53.0	54.0	56.0	58.0	60.0	65.0	62.0
Arapa	3830.0	66.0	68.0	67.0	61.0	53.0	49.0	49.0	49.0	50.0	51.0	54.0	59.0	56.0
Taraco	3820.0	78.0	80.0	78.0	69.0	60.0	56.0	55.0	56.0	59.0	60.0	60.0	68.0	65.0
Conima	3860.0	72.0	72.0	71.0	66.0	60.0	57.0	56.0	56.0	57.0	58.0	60.0	66.0	63.0
Puerto Acosta	3835.0	72.0	72.0	71.0	66.0	59.0	56.0	56.0	55.0	56.0	57.0	60.0	65.0	62.0
Escoma	3828.0	71.0	72.0	71.0	66.0	59.0	56.0	55.0	55.0	56.0	57.0	59.0	65.0	62.0
Chahuaya	4500.0	85.0	85.0	85.0	82.0	76.0	76.0	76.0	77.0	79.0	81.0	82.0	84.0	81.0

La variación espacial de la humedad relativa (isolíneas) en las cuencas Huancané y Suches, se muestra en el Mapa N° 4.6, donde se aprecia que en la cuenca Huancané la humedad relativa media anual varía de 50 a 82%, mientras en la cuenca Suches varía de 62 a 98%, respectivamente.

Figura N° 4.14 Variación mensual de la humedad relativa (%) – Promedio multimensual (1956-2009)
Estaciones de las cuencas Huancané, Suches y cuencas vecinas

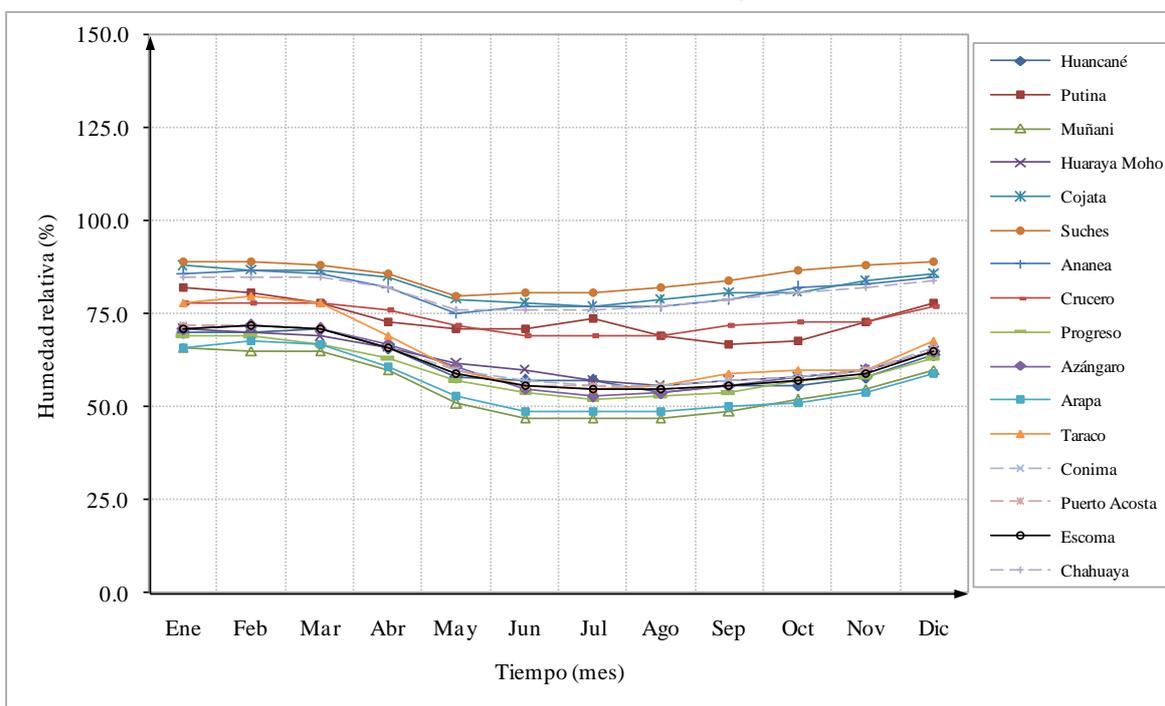
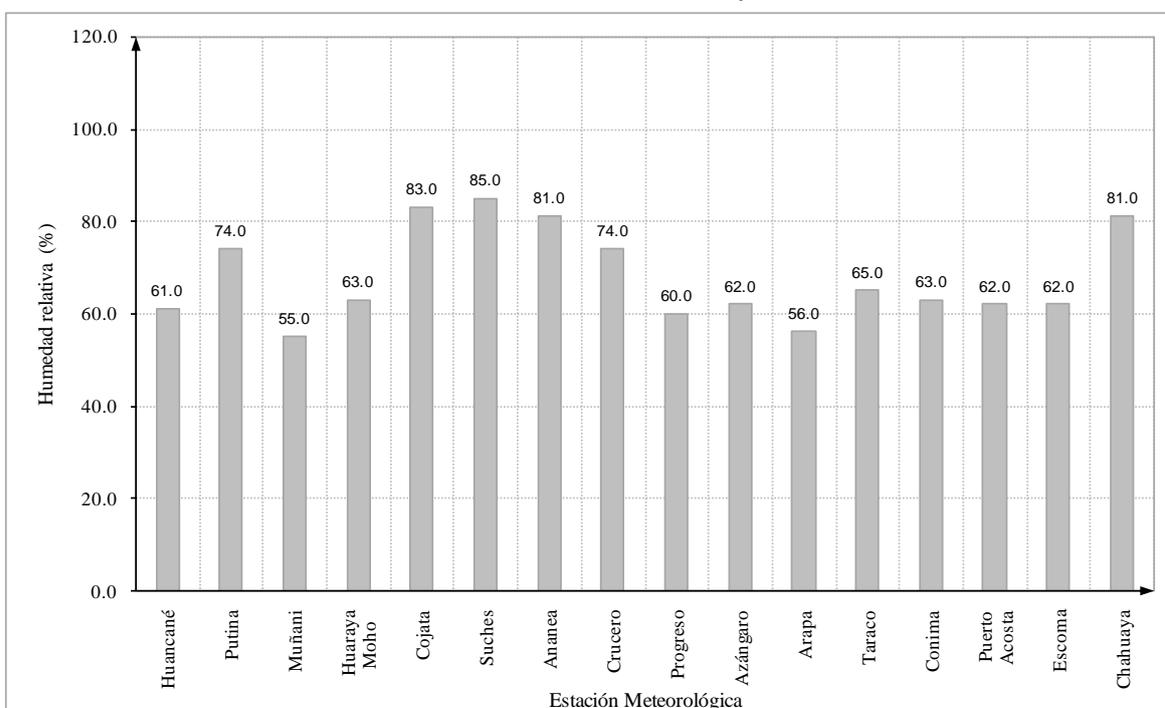
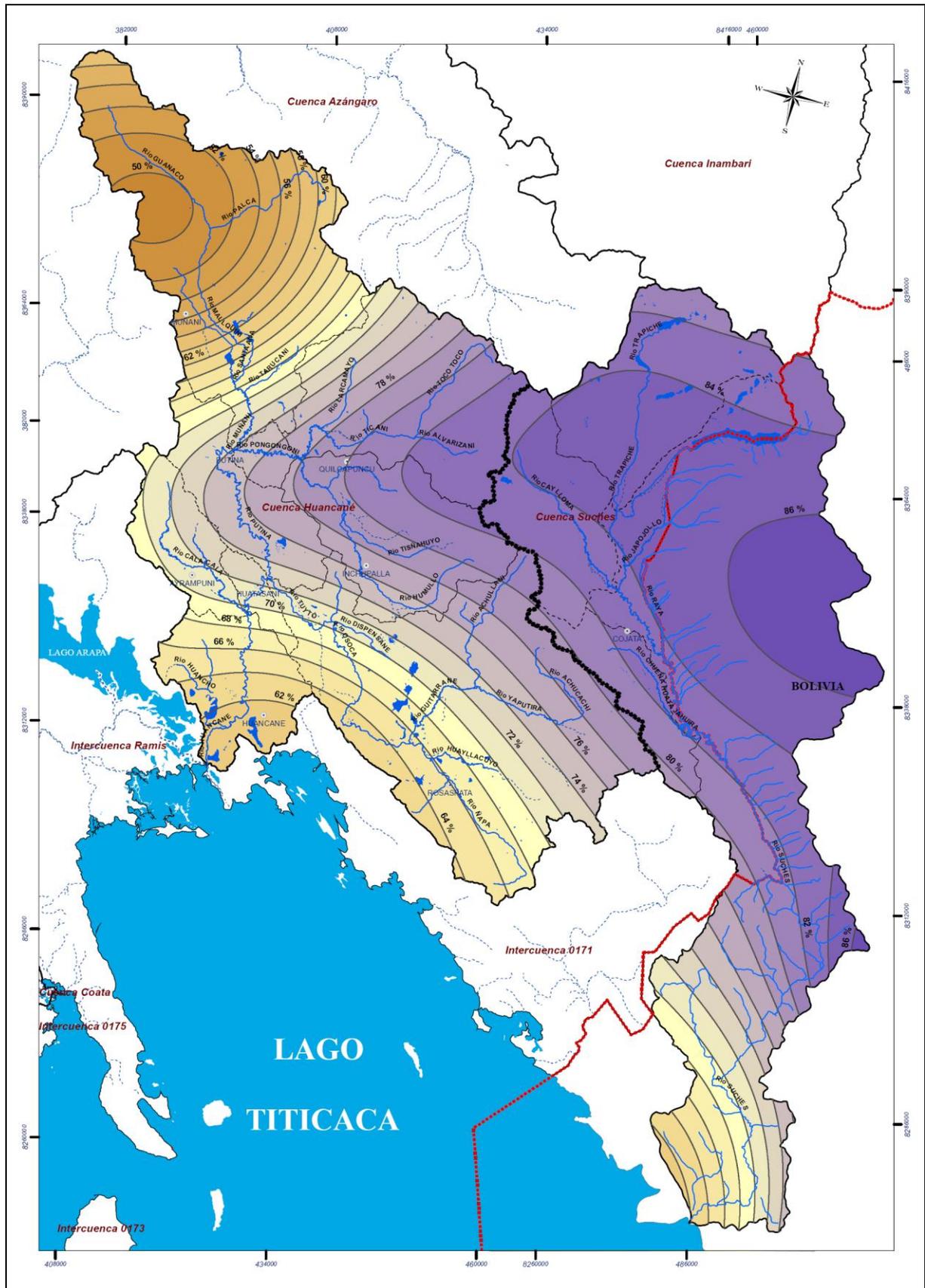


Figura N° 4.15 Variación anual de la humedad relativa (%) – Promedio multianual (1956-2009)
Estaciones de las cuencas Huancané, Suches y cuencas vecinas



Mapa N° 4.6 Distribución espacial de la humedad relativa (isolíneas) en las cuencas Huancané y Suches



4.1.4 Evaporación

La evaporación es el proceso físico mediante el cual el agua se convierte a su forma gaseosa. La evaporación del agua a la atmósfera ocurre en la superficie de ríos, lagos, suelos y vegetación. La evaporación es otro de los elementos principales de la fase del ciclo hidrológico.

Factores que influyen en la evaporación:

- a. *Humedad relativa*.- La relación es inversa, entre mayor sea el contenido de vapor en la atmósfera menor será la evaporación.
- b. *Temperatura del aire*.- Al aumentar la temperatura aumenta la evaporación, debido a que se aumenta la capacidad de la masa de aire de almacenar vapor de agua.
- c. *Viento*.- El viento lo que hace es remover las masas de vapor de agua, aumentando el déficit de vapor del aire o la demanda evaporativa.
- d. *Radiación solar*.- Es la fuente de energía del proceso, ya que él la que calienta el agua provocando el paso del estado líquido al estado de vapor.
- e. *Presión atmosférica*.- Su efecto sólo es apreciable cuando hay grandes diferencias en altitud, tanto menor sea la presión atmosférica mayor será la evaporación.
- f. *Salinidad del agua*.- La evaporación es inversamente proporcional a la salinidad del agua.

Metodología de cálculo de la evaporación: Métodos directos.

1) Tanque de Evaporación Clase A

Dentro de los métodos directos más empleados en el mundo, está el tanque de evaporación clase A, que consiste en la medida de la evaporación partiendo de una superficie de agua, ésta se hace estableciendo la medida de la disminución de una superficie de agua a partir de una superficie evaporante en milímetros (mm). El agua evaporada en un período, está dada determinada mediante la siguiente expresión:

$$E_v = L_i - L_f + P + A - R$$

Donde:

- | | | |
|-------|---|---|
| E_v | = | Evaporación en el período. |
| L_i | = | Lectura al inicio del período en el micrómetro. |
| L_f | = | Lectura al final del período en el micrómetro. |
| P | = | Precipitación en el período. |
| A | = | Abastecimiento de agua en el período. |
| R | = | Retiro de agua en el período. |

2) Lisímetros

También se puede conocer a partir de lisímetros instalados en suelo desnudo (libre de vegetación), el Lisímetro es una caja de fibra de vidrio o lámina galvanizada la cuál contiene el suelo "in situ". La muestra de suelo recibe las precipitaciones, las aguas

excedentes o de drenaje son medidas en su salida, por lo tanto las pérdidas por evaporación pueden ser conocidas a través del balance hídrico del sistema.

Para el presente estudio, los registros disponibles de evaporación, de las estaciones meteorológicas provienen de observaciones de Tanque de Evaporación Clase A.

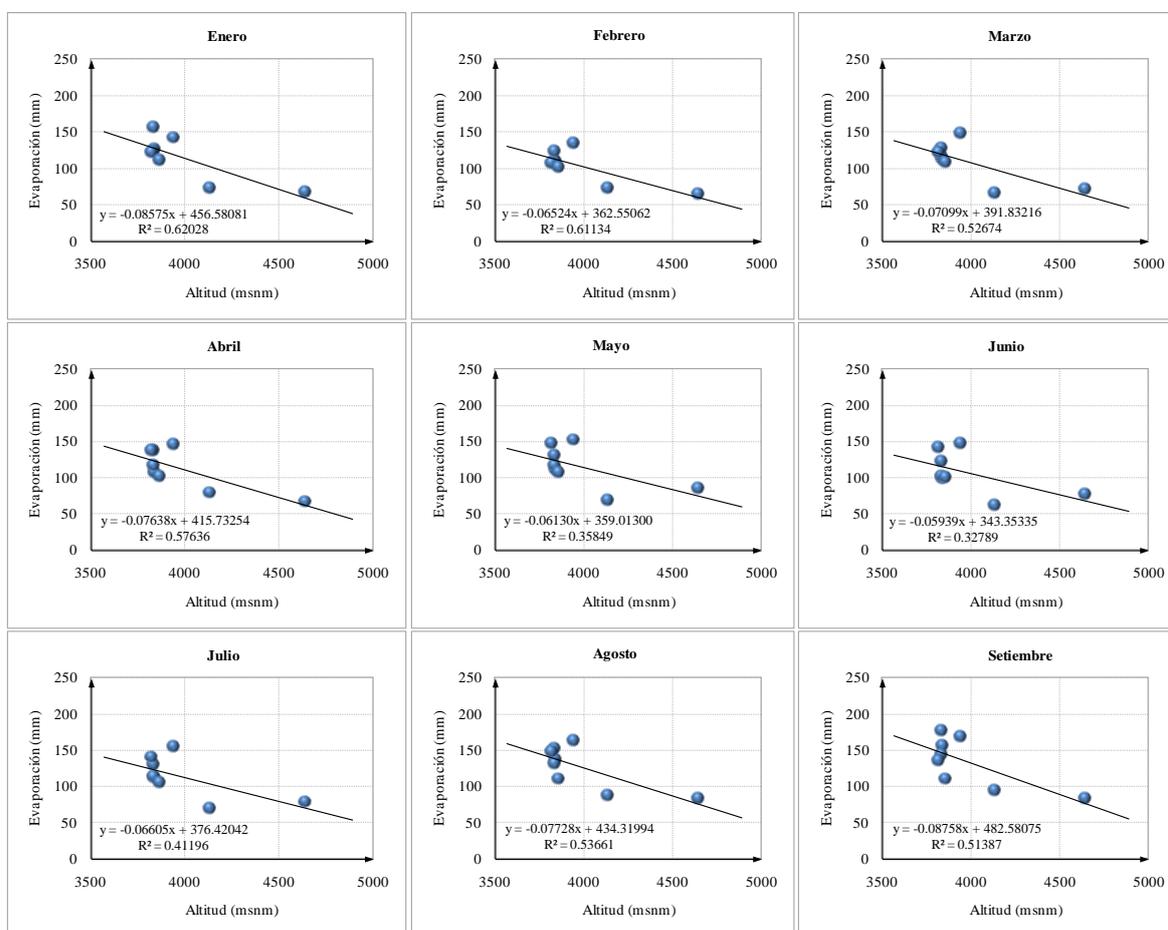
De las dieciséis (16) estaciones meteorológicas, ocho (8) estaciones disponen el registro histórico de evaporación total mensual y otras ocho (8) estaciones tienen escasa información. Por lo tanto, debido a la carencia de estadísticas de la evaporación, para las estaciones Putina, Muñani, Cojata, Suches, Azángaro, Puerto Acosta, Escoma y Chahuaya, se han estimado mediante el análisis de regresión lineal con los datos de las estaciones con registros existentes, correlacionando la altitud y la evaporación.

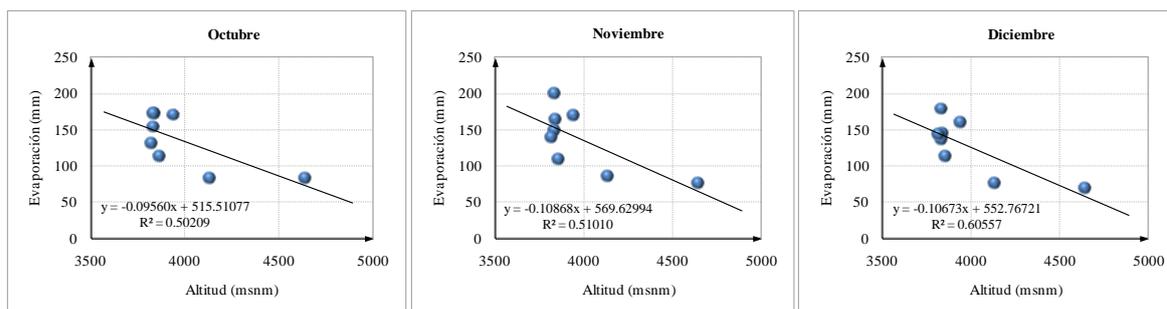
Ecuación de relación: $E_v = a + bH$, donde H es la altitud en msnm.

En la Figura N° 4.16 se muestra los resultados del análisis de regresión lineal, donde se ha correlacionado la evaporación con la altitud. Los resultados del análisis entre las variables analizadas, dan una correlación buena.

En el Cuadro N° 4.11 se presenta los parámetros de la ecuación de regresión lineal, de la relación de evaporación versus altitud y los coeficientes de correlación correspondiente.

Figura N° 4.16 Gráfico de análisis de regresión lineal de evaporación versus altitud





Cuadro N° 4.11 Parámetros de la ecuación de regresión lineal (evaporación-altitud)

Coeficiente	Mes											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
a	456.58081	362.55062	391.83216	415.73254	359.01300	343.35335	376.42042	434.31994	482.58075	515.51077	569.62994	552.76721
b	-0.08575	-0.06524	-0.07099	-0.07638	-0.06130	-0.05939	-0.06605	-0.07728	-0.08758	-0.09560	-0.10868	-0.10673
R (%)	78.76	78.19	72.58	75.92	59.87	57.26	64.18	73.25	71.68	70.86	71.42	77.82

En la Figura N° 4.17 se verifica que durante el año la menor evaporación se registra en el mes de febrero, en mayoría de las estaciones de las cuencas Huancané y Suches. Además, se aprecia que la evaporación tiene la misma tendencia en todas las estaciones meteorológicas.

En la cuenca Huancané, la mayor evaporación se presenta en la zona de la estación Putina con 1555 mm y la menor en la zona de la estación Ananea de 900 mm. Mientras en la cuenca Suches, la mayor evaporación se presenta en la zona de la estación Escoma con 1581 mm y la menor en la zona de la estación Suches con 787 mm. Ver Cuadro N° 4.12 y la Figura N° 4.18.

Cuadro N° 4.12 Evaporación total media mensual (mm) – Promedio multimensual (1956-2009)
Estaciones de las cuencas Huancané, Suches y cuencas vecinas

Estación	Altitud (msnm)	Mes												Total Anual
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Huancané	3840.0	125.8	109.9	112.8	106.9	111.7	99.3	111.8	137.0	156.0	171.7	164.1	144.1	1551.1
Putina	3856.0	126.0	111.0	118.0	121.0	123.0	114.0	122.0	136.0	145.0	147.0	151.0	141.0	1555.0
Muñani	3948.0	118.0	105.0	112.0	114.0	117.0	109.0	116.0	129.0	137.0	138.0	141.0	131.0	1467.0
Huaraya Moho	3832.0	123.0	109.9	116.8	115.5	115.9	102.5	113.0	131.1	144.1	153.2	149.5	135.7	1510.2
Cojata	4327.0	86.0	80.0	85.0	85.0	94.0	86.0	91.0	100.0	104.0	102.0	99.0	91.0	1103.0
Suches	4655.0	57.0	59.0	61.0	60.0	74.0	67.0	69.0	75.0	75.0	70.0	64.0	56.0	787.0
Ananea	4640.0	67.0	64.3	70.1	66.0	84.9	76.8	78.1	83.1	82.8	82.5	76.2	68.2	900.0
Crucero	4130.0	72.7	71.5	66.4	79.5	67.9	62.5	69.9	86.2	94.0	82.5	85.0	75.8	913.9
Progreso	3940.0	142.3	133.7	147.4	145.1	152.7	147.8	155.2	162.3	169.7	169.9	168.4	159.6	1854.1
Azángaro	3848.0	127.0	112.0	119.0	122.0	123.0	115.0	122.0	137.0	146.0	148.0	151.0	142.0	1564.0
Arapa	3830.0	155.1	122.5	127.4	137.5	130.1	122.9	130.7	151.9	176.2	171.9	199.7	178.4	1804.3
Taraco	3820.0	121.0	106.7	122.1	137.5	147.4	140.6	140.3	147.7	134.3	129.9	140.0	143.1	1610.6
Conima	3860.0	111.1	101.2	107.8	102.0	106.6	100.5	106.0	110.5	110.6	113.5	108.2	113.3	1291.3
Puerto Acosta	3835.0	128.0	112.0	120.0	123.0	124.0	116.0	123.0	138.0	147.0	149.0	153.0	143.0	1576.0
Escoma	3828.0	128.0	113.0	120.0	123.0	124.0	116.0	124.0	138.0	147.0	150.0	154.0	144.0	1581.0
Chahuaya	4500.0	71.0	69.0	72.0	72.0	83.0	76.0	79.0	87.0	88.0	85.0	81.0	72.0	935.0

Figura N° 4.17 Variación mensual de la evaporación (mm) – Promedio multimensual (1956-2009)
Estaciones de las cuencas Huancané, Suches y cuencas vecinas

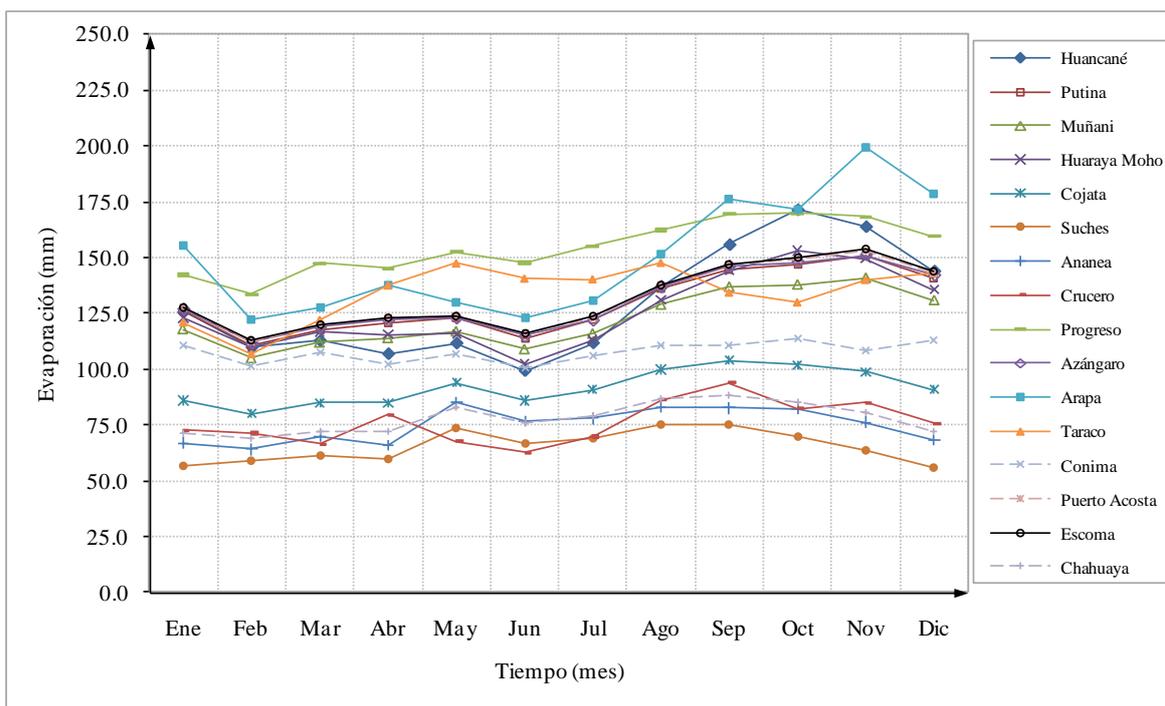
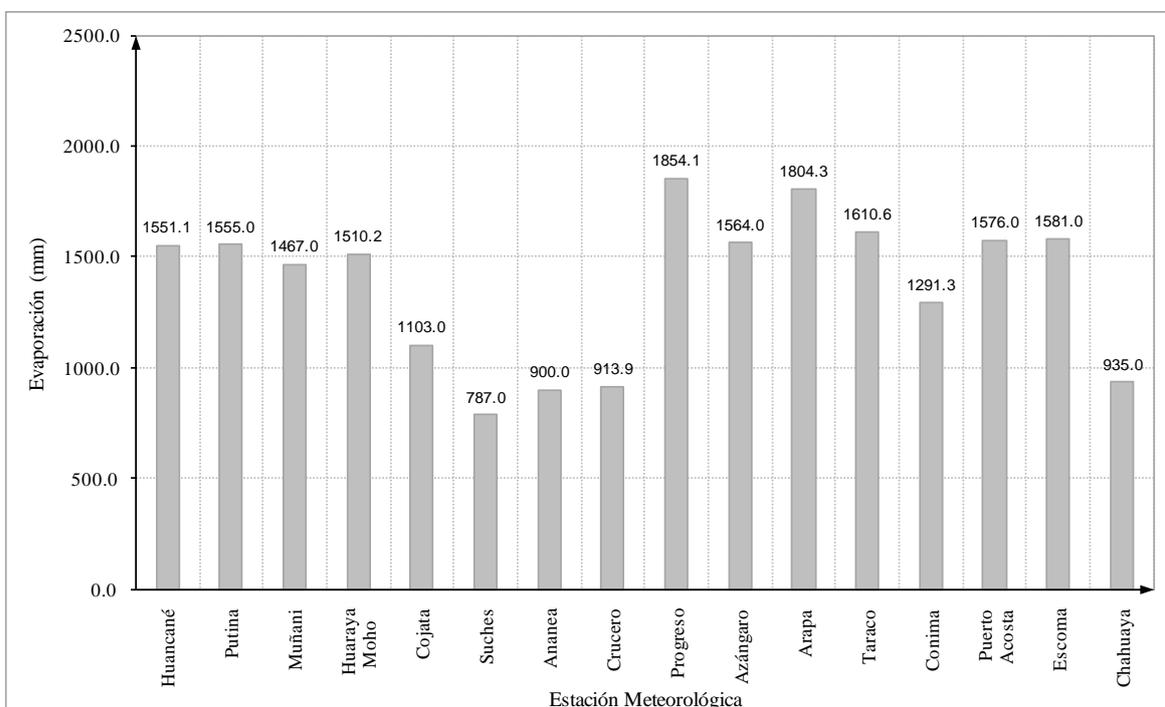
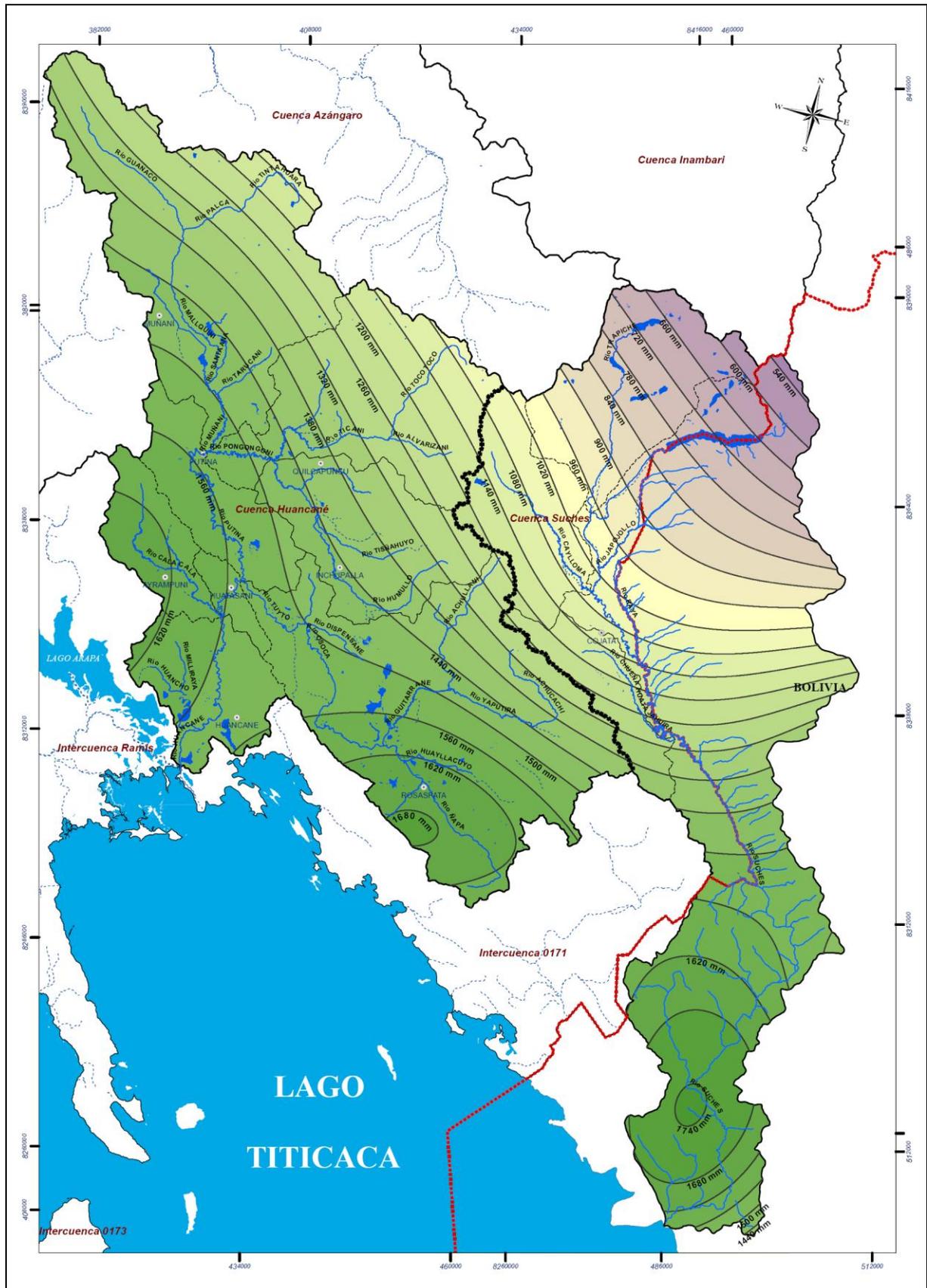


Figura N° 4.18 Variación anual de la evaporación (mm) – Promedio multianual (1956-2009)
Estaciones de las cuencas Huancané, Suches y cuencas vecinas



La variación espacial de la evaporación (isolíneas) en las cuencas Huancané y Suches, se muestra en el Mapa N° 4.7, donde se aprecia que en la cuenca Huancané la evaporación total media anual varía de 1020 a 1680 mm, mientras en la cuenca Suches varía de 540 a 1740 mm, respectivamente.

Mapa N° 4.7 Distribución espacial de la evaporación (isolíneas) en las cuencas Huancané y Suches



4.1.5 Horas de sol

Número de horas por día de luz solar brillante, también definida como la duración de trazas o quemaduras hechas en una carta hidrográfica por el registro de "Campbell Stokes".

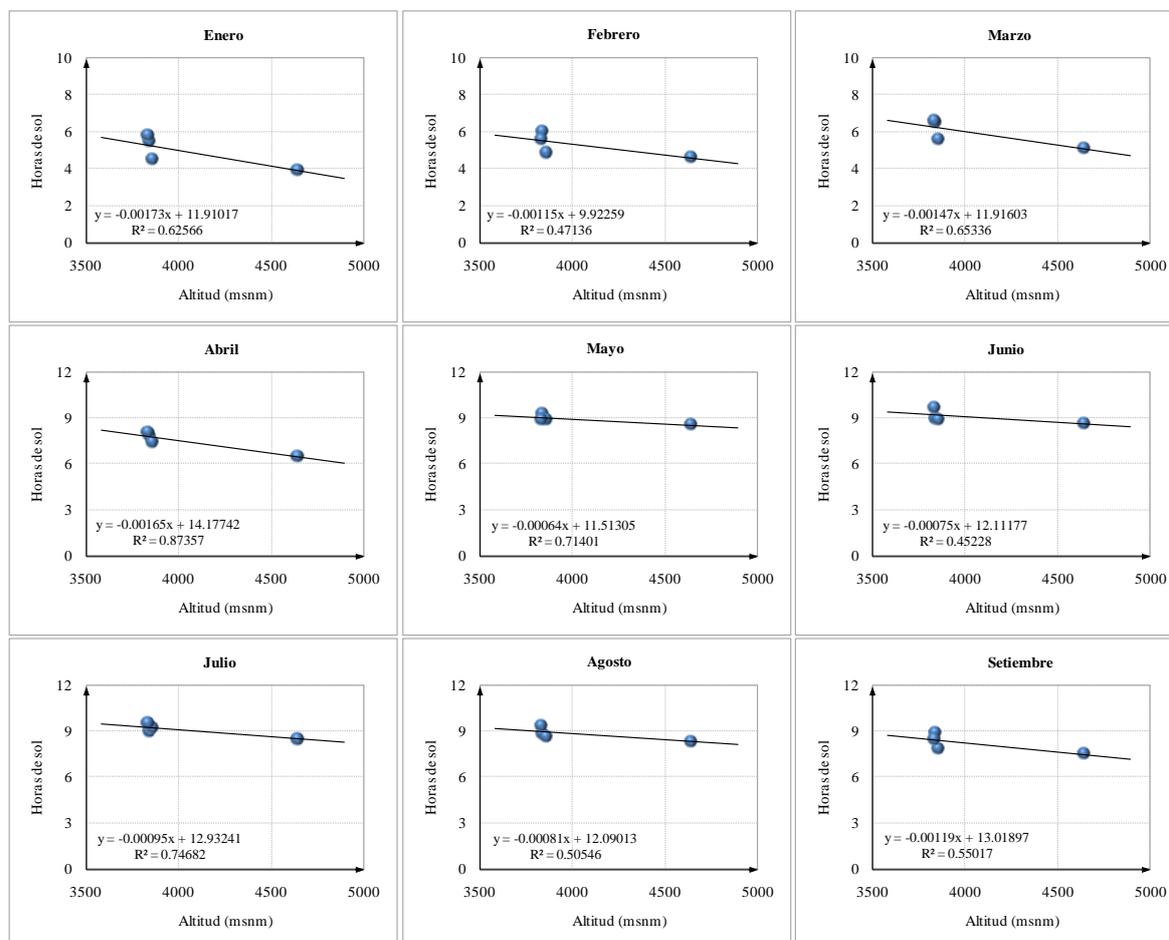
El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología – SENAMHI, mide la duración de insolación diaria con el aparato meteorológico llamado "Heliógrafo".

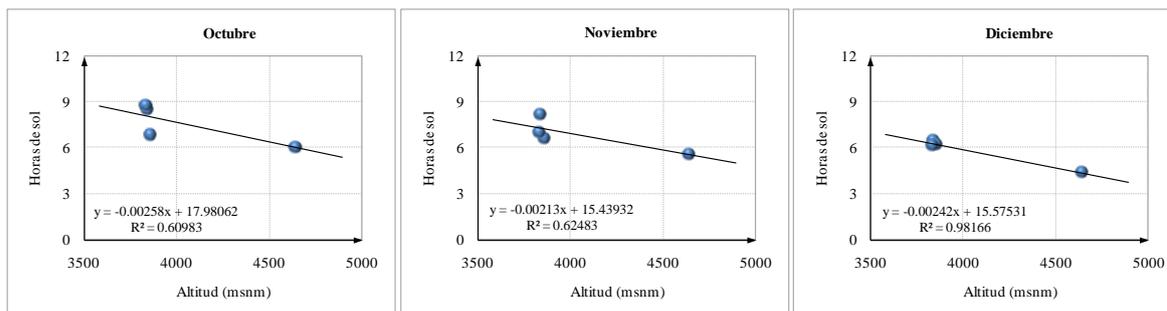
De las dieciséis (16) estaciones meteorológicas, cuatro (4) estaciones disponen el registro histórico de las horas de sol y otras doce (12) estaciones tienen escasa información. Por lo tanto, debido a la carencia de estadísticas de las horas de sol, para las estaciones Muñani, Cojata, Suches, Crucero, Progreso, Azángaro, Arapa, Taraco, Conima, Puerto Acosta, Escoma y Chahuaya, se han estimado mediante el análisis de regresión lineal con los datos de las estaciones con registros existentes, correlacionando la altitud y las horas de sol.

Ecuación de relación: $HS = a + bH$, donde H es la altitud en msnm.

En la Figura N° 4.19 se muestra los resultados del análisis de regresión lineal, donde se ha correlacionado las horas de sol con la altitud. Los resultados del análisis entre las variables analizadas, dan una correlación buena.

Figura N° 4.19 Gráfico de análisis de regresión lineal de horas de sol versus altitud





En el Cuadro N° 4.13 se presenta los parámetros de la ecuación de regresión lineal, de la relación de las horas de sol versus altitud y los coeficientes de correlación correspondiente.

Cuadro N° 4.13 Parámetros de la ecuación de regresión lineal (horas de sol-altitud)

Coeficiente	Mes											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
a	11.91017	9.92259	11.91603	14.17742	11.51305	12.11177	12.93241	12.09013	13.01897	17.98062	15.43932	15.57531
b	-0.00173	-0.00115	-0.00147	-0.00165	-0.00064	-0.00075	-0.00095	-0.00081	-0.00119	-0.00258	-0.00213	-0.00242
R (%)	79.10	68.66	80.83	93.46	84.50	67.25	86.42	71.10	74.17	78.09	79.05	99.08

En la Figura N° 4.20 se verifica que durante el año la menor horas de sol se registra en el mes de enero, en mayoría de las estaciones de las cuencas Huancané y Suches. Además, se aprecia que las horas de sol tienen la misma tendencia en todas las estaciones meteorológicas.

En la cuenca Huancané, la mayor horas de sol se presenta en la zona de la estación Huancané con 7.85 horas y la menor en la zona de la estación Ananea de 6.47 horas. Mientras en la cuenca Suches, la mayor horas de sol se presenta en la zona de la estación Escoma con 7.64 horas y la menor en la zona de la estación Suches con 6.44 horas. Ver Cuadro N° 4.14 y la Figura N° 4.21.

Cuadro N° 4.14 Horas de sol media mensual – Promedio multimensual (1956-2009)
Estaciones de las cuencas Huancané, Suches y cuencas vecinas

Estación	Altitud (msnm)	Mes												Prom Anual
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Huancané	3840.0	5.51	6.04	6.53	7.92	9.28	9.02	9.00	8.88	8.93	8.50	8.18	6.46	7.85
Putina	3856.0	4.51	4.85	5.63	7.45	8.94	8.94	9.25	8.64	7.86	6.87	6.62	6.22	7.15
Muñani	3948.0	5.08	5.38	6.11	7.66	8.99	9.15	9.18	8.89	8.32	7.79	7.03	6.02	7.47
Huaraya Moho	3832.0	5.79	5.63	6.60	8.08	8.93	9.69	9.55	9.42	8.49	8.80	6.99	6.16	7.84
Cojata	4327.0	4.42	4.95	5.56	7.04	8.74	8.87	8.82	8.59	7.87	6.82	6.22	5.10	6.92
Suches	4655.0	3.86	4.57	5.07	6.50	8.53	8.62	8.51	8.32	7.48	5.97	5.52	4.31	6.44
Ananea	4640.0	3.92	4.61	5.10	6.51	8.54	8.63	8.51	8.35	7.49	6.04	5.58	4.35	6.47
Crucero	4130.0	4.77	5.17	5.84	7.36	8.87	9.01	9.01	8.74	8.10	7.33	6.64	5.58	7.20
Progreso	3940.0	5.09	5.39	6.12	7.68	8.99	9.16	9.19	8.90	8.33	7.82	7.05	6.04	7.48
Azángaro	3848.0	5.25	5.50	6.26	7.83	9.05	9.23	9.28	8.97	8.44	8.05	7.24	6.26	7.61
Arapa	3830.0	5.28	5.52	6.29	7.86	9.06	9.24	9.29	8.99	8.46	8.10	7.28	6.31	7.64
Taraco	3820.0	5.30	5.53	6.30	7.87	9.07	9.25	9.30	9.00	8.47	8.13	7.30	6.33	7.65
Conima	3860.0	5.23	5.48	6.24	7.81	9.04	9.22	9.27	8.96	8.43	8.02	7.22	6.23	7.60
Puerto Acosta	3835.0	5.28	5.51	6.28	7.85	9.06	9.24	9.29	8.98	8.46	8.09	7.27	6.29	7.63
Escoma	3828.0	5.29	5.52	6.29	7.86	9.06	9.24	9.30	8.99	8.46	8.10	7.29	6.31	7.64
Chahuaya	4500.0	4.13	4.75	5.30	6.75	8.63	8.74	8.66	8.45	7.66	6.37	5.85	4.69	6.67

Figura N° 4.20 Variación mensual de las horas de sol – Promedio multimensual (1956-2009)
Estaciones de las cuencas Huancané, Suches y cuencas vecinas

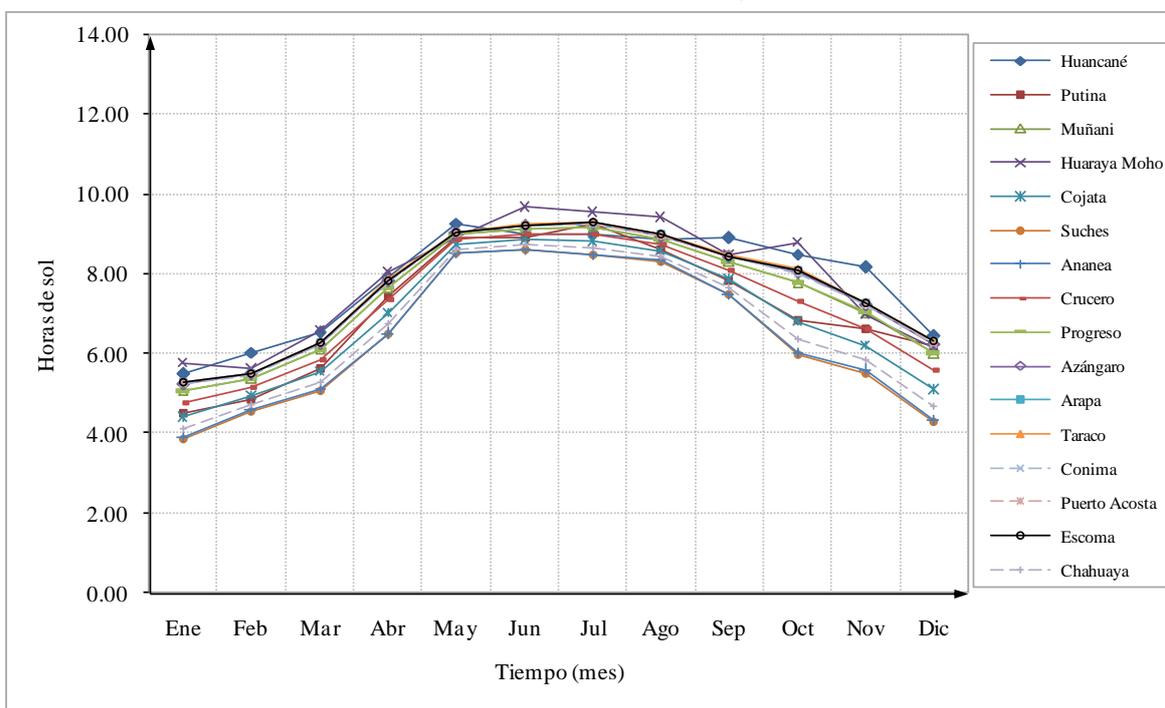
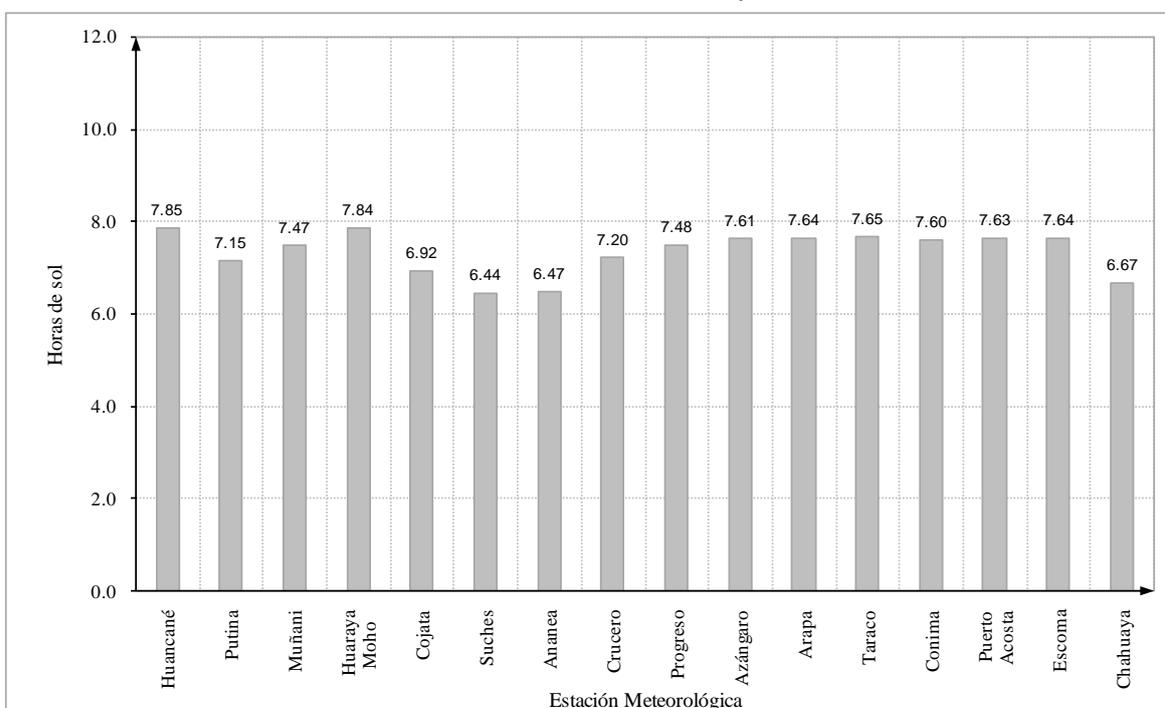


Figura N° 4.21 Variación anual de las horas de sol – Promedio multianual (1956-2009)
Estaciones de las cuencas Huancané, Suches y cuencas vecinas



4.1.6 Viento

El viento es el movimiento de aire en la superficie terrestre. Es generado por la acción de gradientes de presión atmosférica producida por el calentamiento diferencial de las superficies y masas de aire.

La superficie de la tierra se calienta por la radiación solar, esta radiación solar no se recibe con la misma intensidad en todas las zonas del planeta como lo observamos en el capítulo de radiación, lo que origina un calentamiento desigual de las masas de aire. El aire de las capas atmosféricas más bajas se calienta bajo la influencia de la superficie terrestre, siendo su calentamiento más o menos intenso según la temperatura que alcanza las diferentes zonas de la superficie terrestre con las que se mantiene en contacto.

En general existe la tendencia a que cualquier desequilibrio que exista a nivel de la atmósfera tiende a equilibrarse de manera natural. El desequilibrio creado por la diferencia de presión tiende a equilibrarse de una forma natural mediante el desplazamiento de aire de la zona de mayor presión a la de menor presión, este desplazamiento de aire horizontal recibe el nombre de *viento*.

Desde el punto de vista ecológico, un buen conocimiento del viento tiene implicaciones amplias en la agricultura y en el manejo de los suelos. Los vientos influyen en:

1. La remoción de CO₂.
2. Transferencia y/o remoción de vapor de agua.
3. Transporte de insectos, polen y esporas de enfermedades.
4. Desgarre de hojas.
5. Cambios en la humedad atmosférica local.
6. Aumento en las tasas de evapotranspiración.
7. Pérdidas en las aplicaciones de agroquímicos y en los sistemas de riego por aspersión.
8. Cambios térmicos en las primeras capas del suelo.
9. Pérdidas de suelos por erosión eólica.
10. Causa sequías.

Las dos características fundamentales del viento son la *Velocidad* y la *Dirección*.

Velocidad: espacio recorrido por unidad de tiempo (m/s; km/h).

Dirección: es el punto del horizonte de donde viene el viento.

Tabla N° 4.1 Valores generales de la velocidad del viento en términos mensuales

Descripción	Velocidad media mensual del viento a 2 m de altura
Vientos suaves	<= 1.0 m/s
Vientos suaves a moderados	1-3 m/s
Vientos moderados a fuertes	3-5 m/s
Vientos fuertes	>= 5.0 m/s

El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología – SENAMHI, mide la velocidad del viento con el aparato meteorológico “Anemómetro” y la dirección del viento con la “Veleta”.

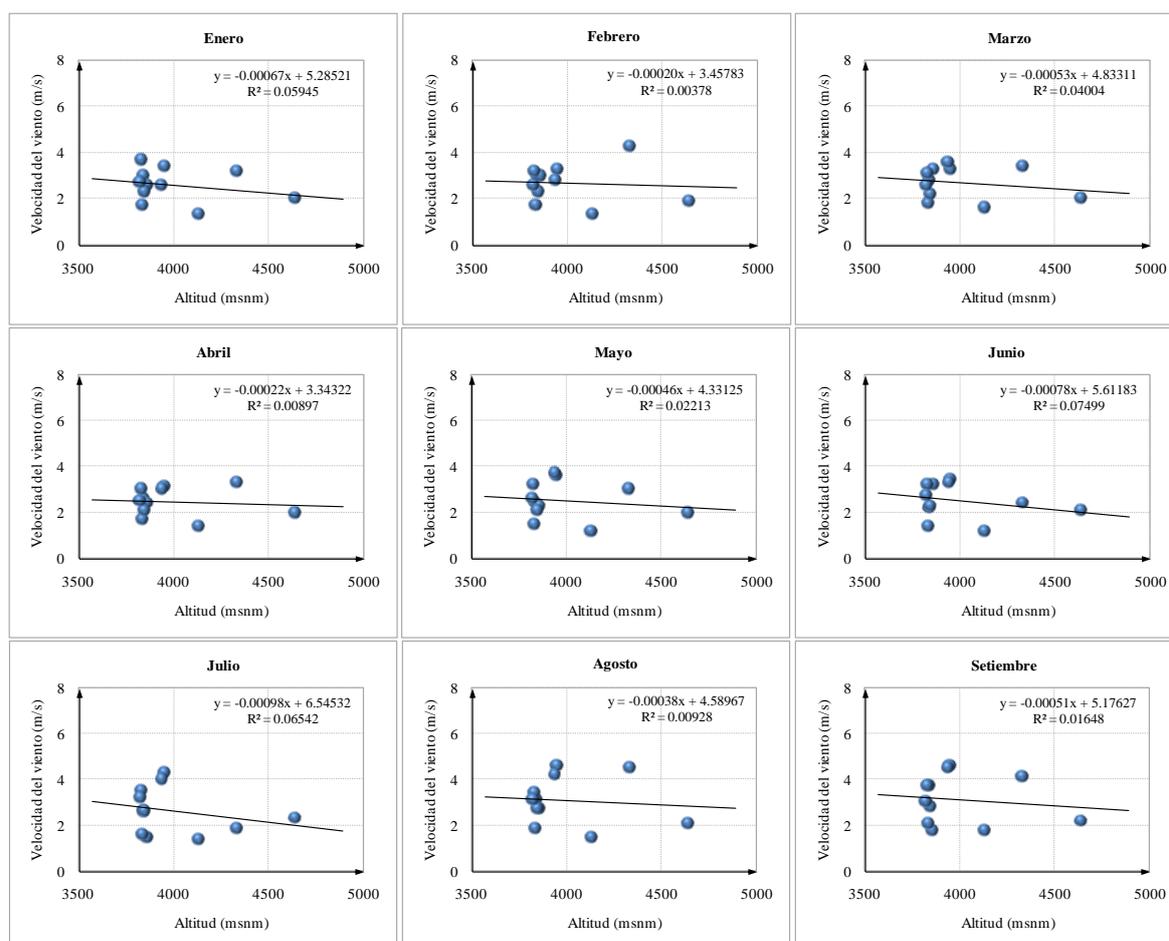
A.- Velocidad del viento

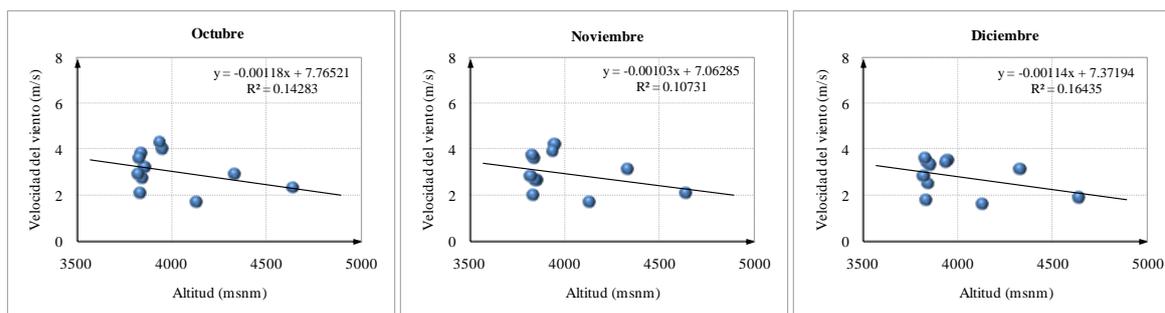
Para las cuencas en estudio, once (11) estaciones meteorológicas disponen del registro histórico de la velocidad del viento y las cinco (5) estaciones carecen de ésta información. Debido a la carencia de estadísticas de la velocidad del viento, para las estaciones Suches, Conima, Puerto Acosta, Escoma y Chahuaya, se han estimado mediante el análisis de regresión lineal con los datos de las estaciones con registros existentes, correlacionando la altitud y la velocidad del viento.

Ecuación de relación: $Vv = a + bH$, donde H es la altitud en msnm.

En la Figura N° 4.22 se muestra los resultados del análisis de regresión lineal, donde se ha correlacionado la velocidad del viento con la altitud. Los resultados del análisis entre las variables analizadas, dan una correlación regular.

Figura N° 4.22 Gráfico de análisis de regresión lineal de velocidad del viento versus altitud





En el Cuadro N° 4.15 se presenta los parámetros de la ecuación de regresión lineal, de la relación de la velocidad del viento versus altitud y los coeficientes de correlación correspondiente.

Cuadro N° 4.15 Parámetros de la ecuación de regresión lineal (velocidad del viento-altitud)

Coeficiente	Mes											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
a	5.28521	3.45783	4.83311	3.34322	4.33125	5.61183	6.54532	4.58967	5.17627	7.76521	7.06285	7.37194
b	-0.00067	-0.00020	-0.00053	-0.00022	-0.00046	-0.00078	-0.00098	-0.00038	-0.00051	-0.00118	-0.00103	-0.00114
R (%)	24.38	6.15	20.01	9.47	14.88	27.38	25.58	9.63	12.84	37.79	32.76	40.54

En la Figura N° 4.23 se aprecia que las velocidades del viento, tienen similar tendencia en todas las estaciones meteorológicas.

En la cuenca Huancané, la mayor velocidad del viento se presenta en la zona de la estación Muñani con 3.8 m/s (viento moderado a fuerte) y la menor en la zona de la estación Huaraya-Moho de 1.8 m/s (viento suave a moderado). Mientras en la cuenca Suches, la mayor velocidad del viento se presenta en la zona de la estación Cojata con 3.3 m/s (viento moderado a fuerte) y la menor en la zona de la estación Suches con 2.3 m/s (viento suave a moderado). Ver Cuadro N° 4.16 y la Figura N° 4.24.

Cuadro N° 4.16 Velocidad del viento media mensual (m/s) – Promedio multimensual (1956-2009)
Estaciones de las cuencas Huancané, Suches y cuencas vecinas

Estación	Altitud (msnm)	Mes												Prom Anual
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Huancané	3840.0	3.0	3.0	2.8	2.6	2.4	2.2	2.6	3.1	3.7	3.8	3.6	3.4	3.0
Putina	3856.0	2.6	3.0	3.3	2.4	2.3	3.2	1.5	2.7	1.8	3.2	2.6	3.3	2.7
Muñani	3948.0	3.4	3.3	3.3	3.1	3.6	3.4	4.3	4.6	4.6	4.0	4.2	3.5	3.8
Huaraya Moho	3832.0	1.7	1.7	1.8	1.7	1.5	1.4	1.6	1.9	2.1	2.1	2.0	1.8	1.8
Cojata	4327.0	3.2	4.3	3.4	3.3	3.0	2.4	1.9	4.5	4.1	2.9	3.1	3.1	3.3
Suches	4655.0	2.2	2.5	2.4	2.3	2.2	2.0	2.0	2.8	2.8	2.3	2.3	2.1	2.3
Ananea	4640.0	2.0	1.9	2.0	2.0	2.0	2.1	2.3	2.1	2.2	2.3	2.1	1.9	2.1
Crucero	4130.0	1.3	1.3	1.6	1.4	1.2	1.2	1.4	1.5	1.8	1.7	1.7	1.6	1.5
Progreso	3940.0	2.6	2.8	3.6	3.0	3.7	3.3	4.0	4.2	4.5	4.3	3.9	3.4	3.6
Azángaro	3848.0	2.3	2.3	2.2	2.1	2.1	2.3	2.6	2.7	2.8	2.7	2.6	2.5	2.4
Arapa	3830.0	3.7	3.2	3.1	3.0	3.2	3.2	3.5	3.4	3.7	3.6	3.7	3.6	3.4
Taraco	3820.0	2.7	2.6	2.6	2.5	2.6	2.7	3.2	3.1	3.0	2.9	2.8	2.8	2.8
Conima	3860.0	2.7	2.7	2.8	2.5	2.6	2.6	2.8	3.1	3.2	3.2	3.1	3.0	2.9
Puerto Acosta	3835.0	2.7	2.7	2.8	2.5	2.6	2.6	2.8	3.1	3.2	3.2	3.1	3.0	2.9
Escoma	3828.0	2.7	2.7	2.8	2.5	2.6	2.6	2.8	3.1	3.2	3.2	3.1	3.0	2.9
Chahuaya	4500.0	2.3	2.6	2.4	2.4	2.3	2.1	2.1	2.9	2.9	2.5	2.4	2.2	2.4

Figura N° 4.23 Variación mensual de la velocidad del viento (m/s) – Promedio multimensual (1956-2009)
Estaciones de las cuencas Huancané, Suches y cuencas vecinas

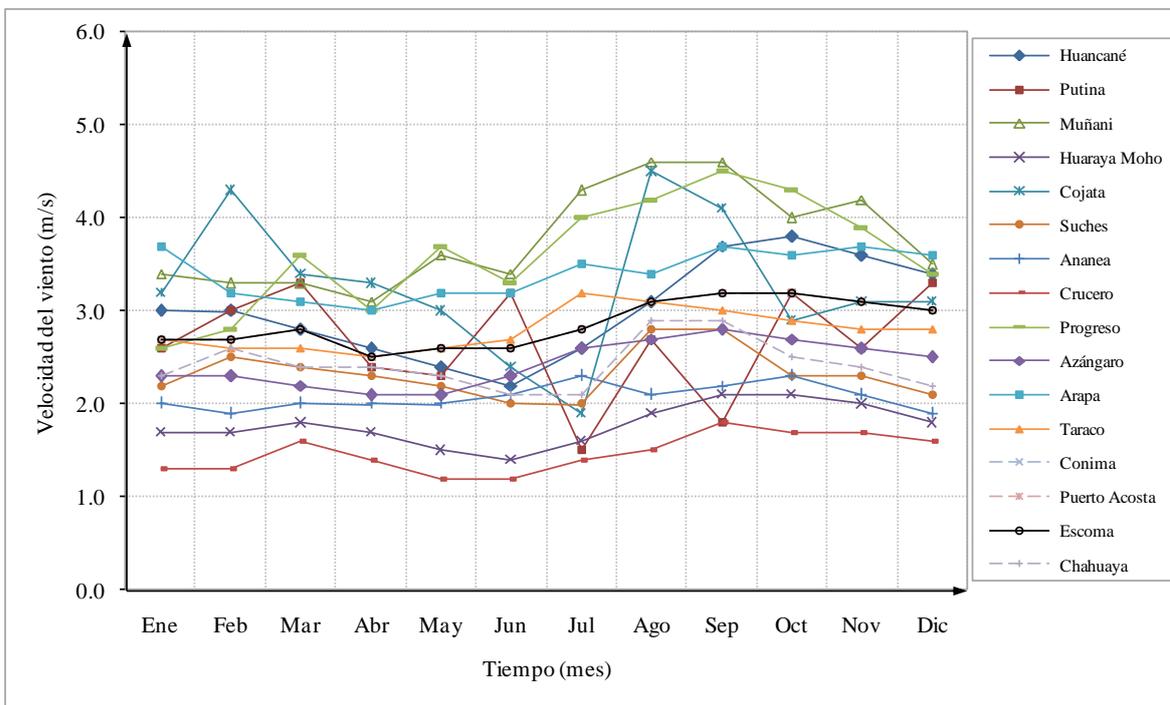
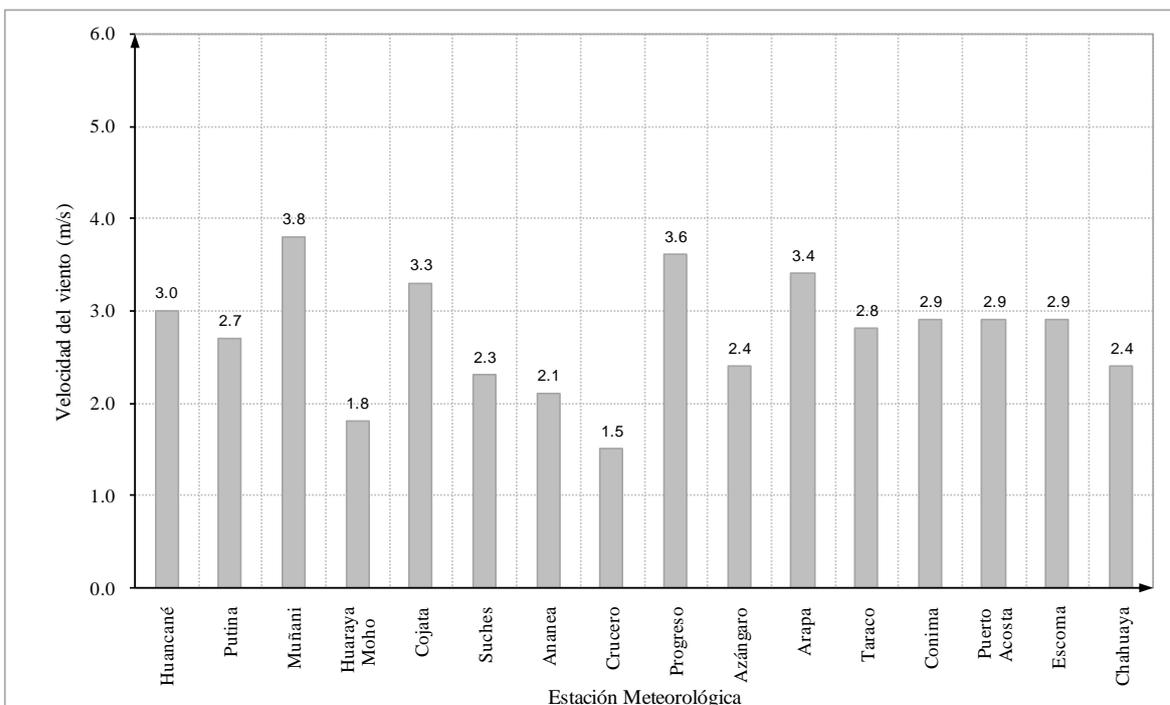


Figura N° 4.24 Variación anual de la velocidad del viento (m/s) – Promedio multianual (1956-2009)
Estaciones de las cuencas Huancané, Suches y cuencas vecinas



B.- Dirección del viento

El registro de la información de la dirección del viento, en las cuencas de estudio, sólo existen en seis (6) estaciones meteorológicas, tales como son Huancané, Muñani, Ananea, Azángaro, Arapa y Taraco.

Del registro mensual de la dirección del viento, de las estaciones meteorológicas ubicadas dentro y alrededor de las cuencas Huancané y Suches, se han obtenido la dirección del viento predominante a nivel mensual y anual, ver el Cuadro N° 4.17.

La dirección predominante del viento en las estaciones Huancané es de sudeste (SE), Muñani es de sudeste (SE) y sudoeste (SW), Ananea por el norte (N), Azángaro es por el noroeste (NW) y sudeste (SE), Arapa es por el noreste (NE), y en la estación Taraco la dirección del viento es por el este (E). Ver Figura N° 4.25.

Las rosas del viento se muestran en la Figura N° 4.25, donde se aprecia la dirección predominante del viento de las estaciones consideradas en el presente estudio.

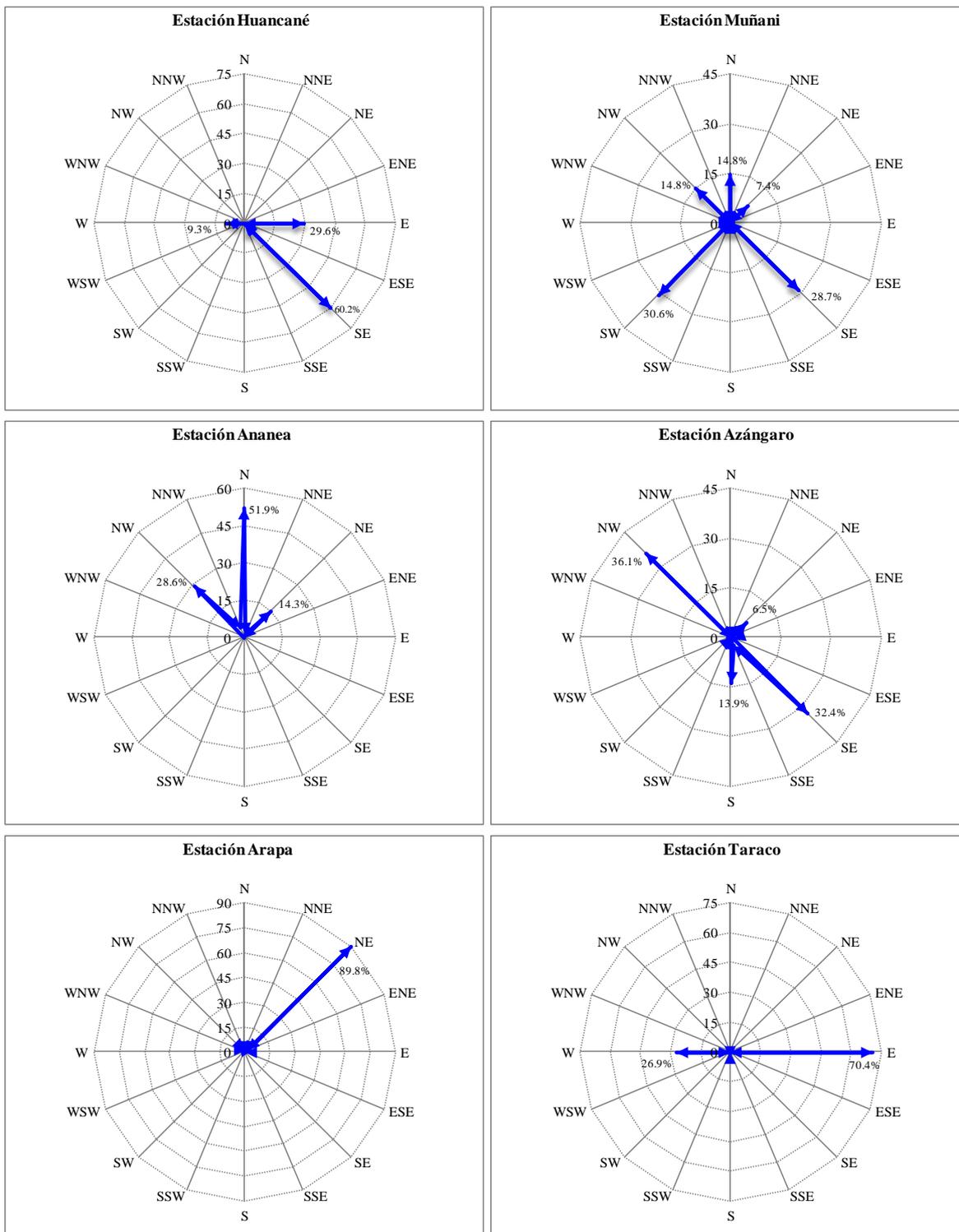
Cuadro N° 4.17 Dirección del viento predominante mensual y anual - Estaciones de la cuenca Huancané y cuencas vecinas

Estación	Altitud (msnm)	Mes												Anual
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Huancané	3840	SE	SE	SE	SE	SE	SE	W	E	E	SE	SE	SE	SE
Muñani	3948	NW	SE	SE	SW	SW	SE	SW	SW	SW	SW	SE	NW	SW
Ananea	4640	N	N	N	N	N	NW	NW	N	NW	N	N	N	N
Azángaro	3848	S	S	SE	SE	NW	NW	NW	NW	NW	NW	SE	SE	NW
Arapa	3830	NE												
Taraco	3820	E	E	E	E	E	W	W	E	E	E	E	E	E

Cuadro N° 4.18 Registro anual de la dirección del viento predominante - Cuenca Huancané y cuencas vecinas

Dirección	Estación Meteorológica											
	Huancané		Muñani		Ananea		Azángaro		Arapa		Taraco	
	n	(%)	n	(%)	n	(%)	n	(%)	n	(%)	n	(%)
N	0	0.0	16	14.8	40	51.9	3	2.8	1	0.9	0	0.0
NNE	0	0.0	0	0.0	1	1.3	0	0.0	0	0.0	0	0.0
NE	0	0.0	8	7.4	11	14.3	7	6.5	97	89.8	0	0.0
ENE	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	2	1.9	0	0.0
E	32	29.6	0	0.0	0	0.0	2	1.9	1	0.9	76	70.4
ESE	0	0.0	0	0.0	0	0.0	1	0.9	0	0.0	0	0.0
SE	65	60.2	31	28.7	0	0.0	35	32.4	0	0.0	0	0.0
SSE	1	0.9	0	0.0	0	0.0	3	2.8	0	0.0	0	0.0
S	0	0.0	2	1.9	0	0.0	15	13.9	0	0.0	3	2.8
SSW	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
SW	0	0.0	33	30.6	0	0.0	3	2.8	0	0.0	0	0.0
WSW	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
W	10	9.3	2	1.9	0	0.0	0	0.0	0	0.0	29	26.9
WNW	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
NW	0	0.0	16	14.8	22	28.6	39	36.1	6	5.6	0	0.0
NNW	0	0.0	0	0.0	3	3.9	0	0.0	1	0.9	0	0.0
C	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
Total	108	100.0	108	100.0	77	100.0	108	100.0	108	100.0	108	100.0

Figura N° 4.25 Rosas de la dirección del viento predominante (%) - Cuenca Huancané y cuencas vecinas



Los registros históricos completados de la información climatológica de las estaciones meteorológicas consideradas en el presente estudio, se muestran en el Anexo 1.

4.1.7 Evapotranspiración potencial

4.1.7.1 Definición

La evapotranspiración (ET) es la combinación de dos procesos: evaporación y transpiración. El término de evapotranspiración se utiliza para englobar tanto el proceso físico de pérdida de agua por evaporación como el proceso de evaporación del agua absorbida por las plantas (transpiración).

La evaporación, es el proceso físico mediante el cual el agua se convierte a su forma gaseosa. La evaporación del agua hacia la atmósfera ocurre desde la superficie de ríos, lagos, suelos y vegetación.

La transpiración, es el proceso mediante el cual el agua fluye desde el suelo hacia la atmósfera a través del tejido de la planta. La transpiración es básicamente un proceso de evaporación. El agua se evapora dentro de las hojas y el vapor resultante se difunde hacia el exterior a través de las estomas.

La evaporación, la transpiración y la evapotranspiración son importantes tanto para estimar los requisitos de riego y al programar éste. Para determinar los requisitos de riego es necesario estimar la ET por medidas directamente en el campo o utilizando datos meteorológicos. Las medidas directamente en el campo son muy costosas y se utilizan mayormente para calibrar los métodos que estiman la ET utilizando datos de clima.

La evapotranspiración potencial (ETP), es la pérdida de agua de una superficie cubierta completamente de vegetación. La evapotranspiración (ET) de un cultivo es determinada por los procesos meteorológicos. El cierre de las estomas y la reducción en transpiración usualmente son importantes sólo bajo condiciones de escasez de agua o condiciones de estrés de la planta. La evapotranspiración dependerá de tres factores: 1) vegetación, 2) disponibilidad de agua en el suelo y 3) comportamiento de las estomas.

4.1.7.2 Métodos de cálculo de evapotranspiración potencial

En la actualidad existen numerosos métodos indirectos para la estimación de la ETP, se basan principalmente en la aplicación de ecuaciones matemáticas, las cuales emplean datos de entrada como la temperatura, la radiación, la humedad relativa, y otros elementos climáticos que le permiten a las ecuaciones ciertos grados de ajuste y exactitud. ¿Cuál emplear?, Se recomienda emplear la que mayor número de elementos climáticos incluya para su cálculo, pero existe zonas donde no se cuenta con dicha información, entonces se trabaja con la que se ajusta a las condiciones, o la cantidad de información disponible.

La precisión y confiabilidad de los métodos de estimación de evapotranspiración potencial, varía de unos a otros, muchos sólo provee una aproximación. Cada técnica se ha desarrollado con los datos de clima disponibles para estimarlas.

Muchas de las investigaciones han dado lugar a modificaciones de las ecuaciones ya establecidas. Así encontramos modificaciones en las fórmulas de Blaney-Criddle, Hargreaves, Bandeja de evaporación, etc. Allen [1986] trabajó en la evaluación de trece

variaciones de la ecuación de Penman, encontrando como más precisa la fórmula de Penman-Monteith. Actualmente se recomiendan las ecuaciones modificadas por la FAO y el SCS como las más confiables.

Todas las investigaciones coinciden al señalar las ecuaciones de Penman, Bandeja ó Tanque de Evaporación Clase A, Blaney-Criddle y Hargreaves-Samani, como las fórmulas más confiables. En éstas, con una calibración local, se logra bastante precisión.

Cada investigador tiene su fórmula preferida que le ha dado buenos resultados. Así Hargreaves y Samani [1974] presentan su fórmula como el método más simple y práctico y llegan a decir que “no existe evidencia de que haya otro método superior”.

Cada investigador tiene un orden de preferencia que puede ser semejante o diferente a otro, pero todas las fórmulas, dependiendo del lugar en que se evalúen puede resultar en el primer o último lugar.

En el presente estudio, para el cálculo de la evapotranspiración potencial (ETP) en función de la información climatológica disponible, se ha empleado las siguientes fórmulas.

- Hargreaves
 - . Por Temperatura
 - . Por Radiación
- Hargreaves Modificado
- Thornthwaite
- Serruto
- Penman Monteith - FAO
- Tanque de Evaporación Clase A

A.- Método de Hargreaves

a) Por Temperatura

$$ETP = MF \times TMF \times CH \times CE$$

Donde:

ETP	=	Evapotranspiración potencial (mm/mes).
MF	=	Factor mensual de latitud (Tabla N° 4.2).
TMF	=	Temperatura media mensual (°F).
CH	=	Factor de corrección por la humedad relativa.
CH	=	$0.166(100 - HR)^{0.5}$, para $HR > 64\%$
CH	=	1, para $HR < 64\%$
HR	=	Humedad relativa media mensual (%).
CE	=	Factor de corrección por la altitud de la zona.
		$CE = 1.00 + \frac{0.04 E}{2000}$
E	=	Altitud o elevación de la zona en estudio (msnm).

b) Por Radiación

$$ETP = 0.0075 RSM \times TMF \times FA$$

Donde:

ETP = Evapotranspiración potencial (mm/mes).

0.0075 = Constante de interrelación entre ETP y radiación.

RSM = Radiación solar equivalente en mm de evaporación mensual (mm/mes).

$$RSM = 0.075 RMM (S)^{0.5}$$

RMM = Radiación extraterrestre equivalente en mm de evaporación mensual (mm/mes).

$$RMM = Ra(DM)$$

Ra = Radiación extraterrestre equivalente en mm de evaporación diaria (mm/día). Se obtiene de acuerdo a la latitud de la zona (Tabla N° 4.3).

DM = Número de días del mes.

S = Porcentaje de horas de insolación (%): $S = \left(\frac{n}{N}\right) 100$

n = Horas de sol media diaria de la zona.

N = Horas de sol máxima media diaria probable según la latitud (Tabla N° 4.4).

TMF = Temperatura media mensual (°F).

FA = Factor de corrección por altura.

$$FA = 1 + \frac{0.06 H}{1000}$$

H = Altitud de la zona en estudio (msnm).

Tabla N° 4.2 Factor de Evapotranspiración Potencial (MF) en mm por mes

Latitud Sur	MESES											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
14	2.680	2.317	2.340	1.959	1.733	1.536	1.648	1.895	2.144	2.490	2.566	2.706
15	2.707	2.328	2.334	1.937	1.700	1.500	1.612	1.867	2.131	2.496	2.588	2.738
16	2.734	2.339	2.317	1.914	1.666	1.464	1.576	1.838	2.117	2.500	2.610	2.769
17	2.760	2.348	2.319	1.891	1.632	1.427	1.540	1.809	2.103	2.504	2.631	2.799
18	2.785	2.359	2.311	1.867	1.598	1.391	1.504	1.780	2.088	2.508	2.651	2.830

Fuente: Absalón Vásquez Villanueva "Manejo de Cuencas Altoandinas" Tomo 1, Lima - Perú, 2000

Tabla N° 4.3 La Radiación Extraterrestre Ra, expresada en equivalentes de evaporación en mm/día

Latitud Sur	MESES											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
14	16.70	16.40	15.30	13.70	12.10	11.20	11.60	12.90	14.50	15.80	16.50	16.60
16	16.90	16.40	15.20	13.50	11.70	10.80	11.20	12.60	14.30	15.80	16.70	16.80
18	17.10	16.50	15.10	13.20	11.40	10.40	10.80	12.30	14.10	15.80	16.80	17.10
20	17.30	16.50	15.00	13.00	11.00	10.00	10.40	12.00	13.90	15.80	17.00	17.40

Fuente: ESTUDIO FAO: RIEGO Y DRENAJE N° 24 "Las necesidades de agua de los cultivos" Pág. 24.

Tabla N° 4.4 Número de horas de sol máxima media diaria probable para diferentes meses y latitud Sur (N)

Latitud Sur	MESES											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
10	12.60	12.40	12.10	11.80	11.60	11.50	11.60	11.80	12.00	12.30	12.60	12.70
15	12.90	12.60	12.20	11.80	11.40	11.20	11.30	11.60	12.00	12.50	12.80	13.00
20	13.20	12.80	12.30	11.70	11.20	10.90	11.00	11.50	12.00	12.60	13.10	13.30
25	13.50	13.00	12.30	11.60	10.90	10.60	10.70	11.30	12.00	12.70	13.30	13.70

Fuente: ESTUDIO FAO: RIEGO Y DRENAJE N° 24 "Las necesidades de agua de los cultivos" Pág. 25.

B.- Método de Hargreaves Modificado (Linacre, E.T., 1977).

$$ETP = 0.0023 Ra (T + 17.8)(TD)^{0.50}$$

Donde:

ETP = Evapotranspiración potencial (mm/día).

Ra = Radiación extraterrestre equivalente en mm de evaporación diaria (mm/día). Se obtiene de acuerdo a la latitud de la zona (Tabla N° 4.3).

T = Temperatura media mensual (°C).

TD = Temperatura máxima menos temperatura mínima (°C).

Esta ecuación sólo requiere datos de temperatura media, máxima y mínima, los cuales suelen estar generalmente disponibles. Además, esta fórmula ha probado ser precisa y confiable.

C.- Método de Thornthwaite

Fue desarrollado en los Estados Unidos, en experimentos realizados entre las latitudes 29° a 43° Norte, en tanques de 4 m² y nivel freático constante a medio metro de profundidad. Se puede aplicar con relativa confianza en regiones de clima similar, es decir regiones húmedas. Para su cálculo se requieren datos de temperaturas medias mensuales.

El procedimiento de cálculo de la evapotranspiración mensual, por este método es la siguiente:

- 1) Calcular la evapotranspiración potencial mensual ETP', en mm por mes de 30 días y 12 horas de duración.

$$ETP' = 16 \left(10 \frac{T}{I} \right)^a$$

Donde:

ETP' = Evapotranspiración potencial mensual (mm), por mes de 30 días y 12 horas de duración.

T = Temperatura media mensual (°C).

I = Índice térmico anual. $I = \sum i$ i = Índice térmico mensual. $i = \left(\frac{T}{5} \right)^{1.514}$

a = Exponente que varía con el índice anual de calor de la localidad.

$$a = 0.0000006751 I^3 - 0.0000771 I^2 + 0.01792 I + 0.49239$$

- 2) Corregir el valor calculado de ETP', de acuerdo el número real de días del mes considerado y a la latitud de la localidad que determina las horas de sol, cuyos valores se obtienen de la Tabla N° 4.5.

$$ETP = f.ETP'$$

Donde:

ETP = Evapotranspiración potencial mensual corregida (mm).

f = Factor de corrección.

ETP' = Evapotranspiración potencial mensual sin corregir (mm).

Tabla N° 4.5 Factor de corrección f, por duración media de las horas de sol expresada en unidades de 30 días, con 12 horas de sol cada una.

Latitud Sur	MESES											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
5	1.04	0.95	1.04	1.00	1.02	0.99	1.02	1.03	1.00	1.05	1.03	1.06
10	1.08	0.97	1.05	0.99	1.01	0.96	1.00	1.01	1.00	1.06	1.05	1.10
15	1.12	0.98	1.05	0.98	0.98	0.94	0.97	1.00	1.00	1.07	1.07	1.12
20	1.14	1.00	1.05	0.97	0.96	0.91	0.95	0.99	1.00	1.08	1.09	1.15

Fuente: Máximo Villón Bejar "Hidrología" Lima - Perú 2002, Pgá. 308

D.- Método de Serruto

$$ETP = 0.003(RS)^{2.5} + 0.16(T)^{0.88}$$

Donde:

ETP = Evapotranspiración potencial (mm/día).

RS = Radiación solar extraterrestre, expresada en equivalentes de evaporación (mm/día). Se obtiene de acuerdo a la latitud de la zona (Tabla N° 4.3).

T = temperatura media mensual (°C).

E.- Método de Penman Monteith - FAO

Un panel de expertos e investigadores en riego fue organizado por la FAO en mayo de 1990, en colaboración con la Comisión Internacional para el Riego y Drenaje y con la Organización Meteorológica Mundial, con el fin de revisar las metodologías previamente propuestas por la FAO para el cálculo de los requerimientos de agua de los cultivos y para elaborar recomendaciones sobre la revisión y la actualización de procedimientos a este respecto.

Como resultado de una consulta de expertos realizada en mayo de 1990, el método de FAO Penman-Monteith ahora se recomienda como el único método estándar para la definición y el cálculo de la evapotranspiración de referencia ETo. El método de FAO Penman-Monteith requiere datos meteorológicos, como la radiación, temperatura del aire, humedad atmosférica y velocidad del viento; datos de ubicación geográfica de la estación, como la latitud, longitud y altitud.

La ecuación Penman-Monteith FAO, fue derivada a partir de la ecuación original de Penman-Monteith y de las ecuaciones de resistencia aerodinámica y del cultivo, la ecuación es la siguiente:

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34 u_2)}$$

Donde:

ET_o	=	Evapotranspiración de referencia (mm/día).
R_n	=	Radiación neta en la superficie del cultivo ($MJ/m^2/día$).
R_a	=	Radiación extraterrestre ($mm/día$).
G	=	Flujo del calor de suelo ($MJ/m^2/día$).
T	=	Temperatura media del aire a 2 m de altura ($^{\circ}C$).
u_2	=	Velocidad del viento a 2 m de altura (m/s).
e_s	=	Presión de vapor de saturación (kPa).
e_a	=	Presión real de vapor (kPa).
$e_s - e_a$	=	Déficit de presión de vapor (kPa).
Δ	=	Pendiente de la curva de presión de vapor ($kPa/^{\circ}C$).
γ	=	Constante psicrométrica ($kPa/^{\circ}C$).

En el presente estudio, para el cálculo de evapotranspiración de referencia ET_o , mediante este método, se ha empleado el Software CropWat 4.3.

F.- Tanque de Evaporación Clase A

La bandeja o tanque de evaporación clase A, es uno de los instrumentos que más se utilizan en todo el mundo. La relación entre la ETP y la evaporación del tanque pueden ser expresadas como:

$$ETP = k \cdot E_v$$

Donde:

ETP	=	Evapotranspiración potencial (mm/mes).
k	=	Coeficiente de tanque. (Tabla N° 4.6).
E_v	=	Evaporación de tanque clase A.

El tanque de evaporación integra los factores de clima y provee un buen estimado de la ETP si se le da buen servicio de mantenimiento y manejo. Los coeficientes de tanque de evaporación clase A dados por Doorenbos y Pruitt [1977], para diferentes condiciones alrededor del tanque, aparecen en la Tabla N° 4.6.

Tabla N° 4.6 Coeficientes del Tanque de Evaporación Clase A (k) para diferentes cubiertas, niveles de humedad relativa media y velocidad media del viento

Tanque Clase A	Condición A Tanque situado en cubierta verde baja				Condición B Tanque situado en un suelo desnudo			
	HR media (%)	Baja < 40	Media 40 - 70	Alta > 70	Baja < 40	Media 40 - 70	Alta > 70	
Velocidad del viento (Km/día)	Distancia de cubierta verde a barlovento (m)				Distancia del barbecho a barlovento (m)			
Suave < 175	0	0.55	0.55	0.75	0	0.70	0.80	0.85
	10	0.65	0.75	0.85	10	0.60	0.70	0.80
	100	0.70	0.80	0.85	100	0.55	0.65	0.75
	1000	0.75	0.85	0.85	1000	0.50	0.60	0.70
Moderada 175-425	0	0.50	0.60	0.65	0	0.65	0.75	0.80
	10	0.60	0.70	0.75	10	0.55	0.65	0.70
	100	0.65	0.75	0.80	100	0.50	0.60	0.65
	1000	0.70	0.80	0.80	1000	0.45	0.55	0.60
Fuerte 425-700	0	0.45	0.50	0.60	0	0.60	0.65	0.70
	10	0.55	0.60	0.65	10	0.50	0.55	0.65
	100	0.60	0.65	0.70	100	0.45	0.45	0.60
	1000	0.65	0.70	0.75	1000	0.40	0.45	0.55
Muy Fuerte > 700	0	0.40	0.45	0.50	0	0.50	0.60	0.65
	10	0.45	0.55	0.60	10	0.45	0.50	0.55
	100	0.50	0.60	0.65	100	0.40	0.45	0.50
	1000	0.55	0.60	0.65	1000	0.35	0.40	0.45

Fuente: Estudio FAO – Riego y Drenaje N° 24 “Las necesidades de agua de los cultivos” pág. 57.

4.1.7.3 Selección del método de cálculo de evapotranspiración potencial

Para seleccionar el método apropiado para el cálculo de la evapotranspiración potencial de las cuencas Huancané y Suches, se ha calculado con todo los métodos anteriormente descritos para las estaciones Huancané y Progreso, con el fin de seleccionar el método apropiado mediante una comparación de los resultados con la ETP obtenida a partir del Tanque de Evaporación.

A.- Información básica

La información climatológica para el cálculo de la evapotranspiración potencial, depende de la necesidad de cada método. Para la aplicación de los métodos descritos en el ítem 4.1.7.2, las variables climatológicas necesarias a nivel mensual son la temperatura media mensual, temperatura media de las máximas diarias, temperatura media de las mínimas diarias, humedad relativa media mensual, velocidad de viento, horas de sol media diaria y evaporación de Tanque Clase A.

La información de las variables climatológicas para las estaciones Huancané y Progreso, se muestran en los Cuadros N° 4.19 y 4.20.

Cuadro N° 4.19 Información climatológica de la estación Huancané

Variable climatológica	Alitud: 3840 msnm Latitud S: 15.2° Longitud W: 69.76°											
	Mes											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Temperatura media mensual (°C)	9.3	9.3	9.0	8.1	6.3	4.9	4.5	5.7	7.5	8.9	9.5	9.5
Temperatura media de las máximas (°C)	14.5	14.6	14.5	14.8	14.7	14.1	13.9	14.5	15.2	15.8	16.0	15.4
Temperatura media de las mínimas (°C)	4.1	4.0	3.4	1.6	-2.1	-4.3	-4.9	-3.1	-0.2	1.9	2.9	3.6
Humedad relativa media mensual (%)	70.0	70.0	71.0	66.0	58.0	57.0	57.0	54.0	56.0	56.0	58.0	64.0
Velocidad media del viento (m/s)	3.0	3.0	2.8	2.6	2.4	2.2	2.6	3.1	3.7	3.8	3.6	3.4
Horas de sol media diaria	5.51	6.04	6.53	7.92	9.28	9.02	9.00	8.88	8.93	8.50	8.18	6.46
Evaporación de Tanque Clase A (mm)	125.8	109.9	112.8	106.9	111.7	99.3	111.8	137.0	156.0	171.7	164.1	144.1

Cuadro N° 4.20 Información climatológica de la estación Progreso

Variable climatológica	Alitud: 3940 msnm Latitud S: 14.68° Longitud W: 70.37°											
	Mes											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Temperatura media mensual (°C)	9.7	9.7	9.6	9.1	7.5	6.3	6.0	7.3	8.8	9.9	10.2	10.0
Temperatura media de las máximas (°C)	15.1	15.2	15.3	15.8	15.6	15.2	15.1	16.0	16.6	17.1	17.0	16.0
Temperatura media de las mínimas (°C)	4.4	4.2	3.8	2.3	-0.7	-2.4	-3.2	-1.6	0.9	2.6	3.3	3.9
Humedad relativa media mensual (%)	69.0	69.0	67.0	63.0	57.0	54.0	52.0	53.0	54.0	57.0	58.0	63.0
Velocidad media del viento (m/s)	2.6	2.8	3.6	3.0	3.7	3.3	4.0	4.2	4.5	4.3	3.9	3.4
Horas de sol media diaria	5.09	5.39	6.12	7.68	8.99	9.16	9.19	8.90	8.33	7.82	7.05	6.04
Evaporación de Tanque Clase A (mm)	142.3	133.7	147.4	145.1	152.7	147.8	155.2	162.3	169.7	169.9	168.4	159.6

B.- Resultados de cálculo de evapotranspiración potencial

Con la información climatológica disponible en las estaciones Huancané y Progreso, se ha calculado la evapotranspiración potencial empleando las fórmulas de Hargreaves (Temperatura y Radiación), Hargreaves Modificado, Thornthwaite, Serruto y Penman Monteith – FAO.

Por otro lado también, se ha calculado la ETP utilizando la evaporación del Tanque Clase A. Para la estación Huancané se ha utilizado el coeficiente de tanque (k) igual a 0.75 para los meses de abril a febrero y 0.80 para el mes de marzo (ver Tabla N° 4.6) para una velocidad del viento variable de 190.1-328.3 km/día y humedad relativa de 54-71%. Para la estación Progreso, el coeficiente de tanque es igual a 0.75 para todo los meses, velocidad del viento de 224.6-388.8 km/día y humedad relativa varía de 52-69%. En la mayoría de las estaciones meteorológicas existentes se ha observado de que el terreno que rodea a los instrumentos de medición esta descubierta, mayormente en el área de ubicación de los instrumentos el suelo está compuesto de una capa de grava gruesa. En la parte externa existen gramas y pastos de poca densidad y tamaño.

Los resultados de la evapotranspiración potencial calculadas para las estaciones Huancané y Progreso, se muestran a continuación.

Cuadro N° 4.21 Evapotranspiración potencial (mm/mes) – Estación Huancané

MÉTODO	MES											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Hargreaves-Por Temperatura	129.70	111.52	108.43	93.98	79.10	65.69	69.29	84.89	104.67	129.65	137.34	144.72
Hargreaves-Por Radiación	114.87	107.17	115.26	107.57	99.51	83.38	87.24	100.87	117.16	134.19	135.35	124.07
Hargreaves Modificado	104.78	93.24	97.03	88.20	83.39	73.50	78.43	89.28	98.40	112.22	113.40	111.91
Thornthwaite	60.00	52.50	54.64	46.47	37.24	28.62	27.40	34.79	44.31	55.14	58.40	61.13
Serruto	143.22	123.48	118.73	91.50	70.06	55.20	59.21	76.57	98.70	126.17	136.20	142.29
Penman Monteith - FAO	105.09	95.76	101.37	96.60	94.55	82.20	90.83	107.57	119.70	132.99	129.00	118.73
Tanque de Evaporación Clase A	94.35	82.43	90.24	80.18	83.78	74.48	83.85	102.75	117.00	128.78	123.08	108.08

Cuadro N° 4.22 Evapotranspiración potencial (mm/mes) – Estación Progreso

MÉTODO	MES											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Hargreaves-Por Temperatura	133.30	114.54	118.76	101.37	84.03	70.68	74.88	91.65	110.57	133.98	140.32	147.42
Hargreaves-Por Radiación	112.75	103.65	115.30	111.31	104.45	90.63	95.56	109.39	120.35	134.67	129.64	122.94
Hargreaves Modificado	107.57	96.32	101.06	93.00	87.11	77.10	83.08	96.10	105.00	118.73	118.50	115.01
Thornthwaite	58.28	51.00	54.11	48.01	39.96	32.50	32.02	39.75	47.45	56.77	58.40	60.00
Serruto	143.84	124.60	120.90	95.10	75.33	60.90	65.41	83.08	103.80	129.58	137.70	143.22
Penman Monteith - FAO	104.47	95.20	108.81	103.50	108.50	97.50	110.36	123.07	130.20	138.26	130.20	119.66
Tanque de Evaporación Clase A	106.73	100.28	110.55	108.83	114.53	110.85	116.40	121.73	127.28	127.43	126.30	119.70

Figura N° 4.26 Evapotranspiración potencial (mm/mes) – Estación Huancané

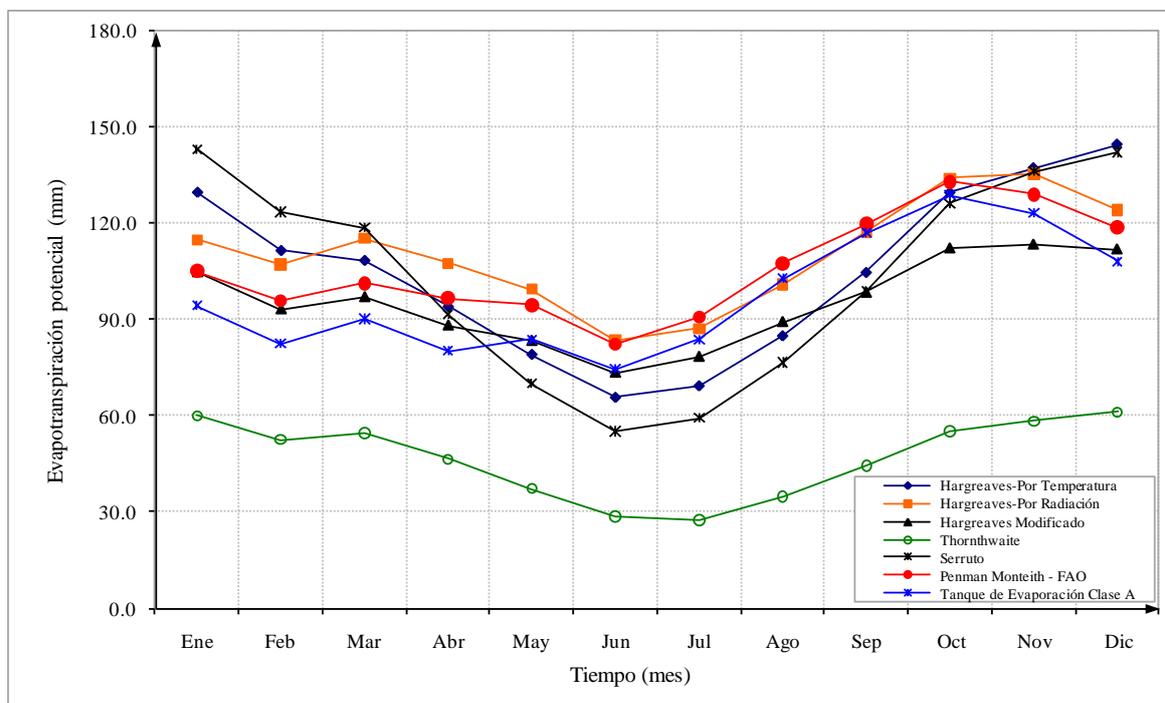
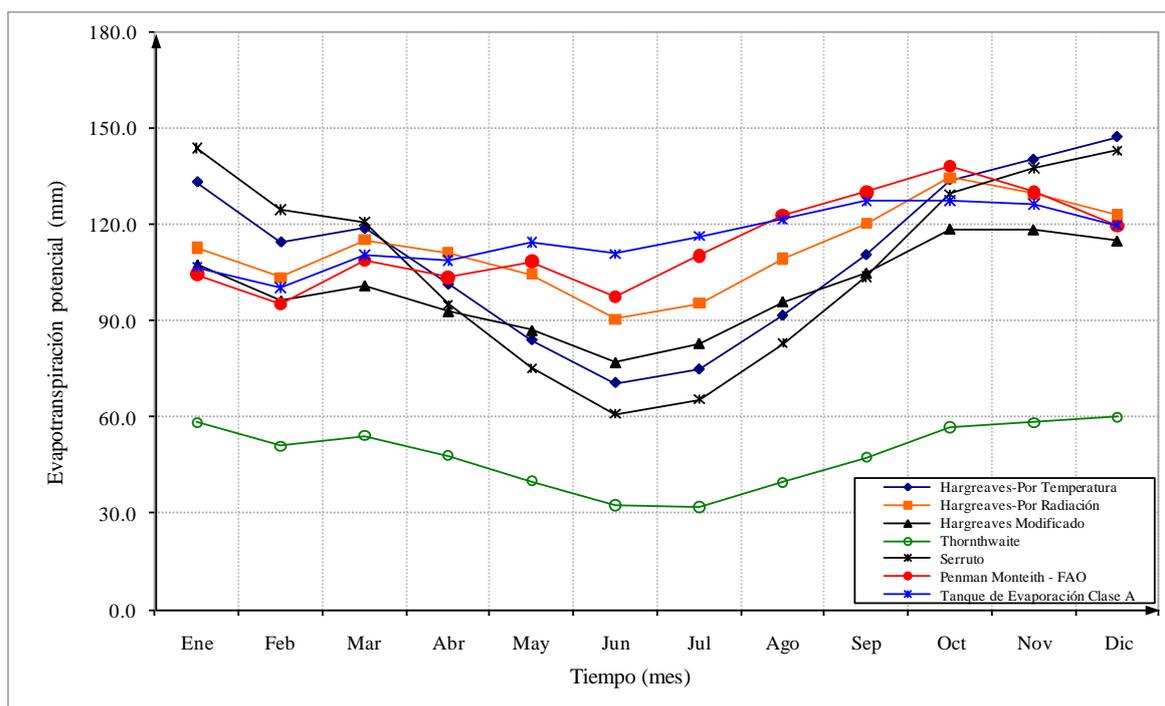


Figura N° 4.27 Evapotranspiración potencial (mm/mes) – Estación Progreso



En las Figuras N° 4.26 y 4.27 se observa la variación de la evapotranspiración potencial calculada para la estación de Huancané y Progreso, con los métodos de Hargreaves (por temperatura y radiación), Hargreaves Modificado, Thornthwaite, Serruto, Penman Monteith – FAO y Tanque de Evaporación Clase A.

En comparación, el método del Tanque de Evaporación Clase A, nos da una idea de la variación del fenómeno de la evapotranspiración; respecto a ello, se puede seleccionar un método adecuado para calcular la evapotranspiración potencial, para las otras estaciones meteorológicas de las cuencas Huancané y Suches. En conclusión, el método de Penman Monteith-FAO es el seleccionado, cuyos resultados se asemejan a la evapotranspiración potencial calculada a partir del Tanque de Evaporación Clase A, en ambas estaciones analizadas.

4.1.7.4 Evapotranspiración potencial de la cuenca

Con la aplicación del método seleccionado de Penman Monteith-FAO, se ha calculado la evapotranspiración potencial para cada una de las estaciones meteorológicas de las cuencas Huancané y Suches.

En el Cuadro N° 4.23 se muestra la información climatológica de las estaciones meteorológicas de las cuencas Huancané, Suches y cuencas vecinas.

En los Cuadros N° 4.24 y 4.25 se presenta los valores de la evapotranspiración potencial diaria y mensual de las estaciones de las cuencas Huancané, Suches y cuencas vecinas.

Los resultados de cálculo de evapotranspiración potencial con el software CropWat 4.3 se muestran en el Anexo 1.

En la Figura N° 4.28, la variación mensual de la evapotranspiración potencial muestra una tendencia similar en todas las estaciones meteorológicas de las cuencas Huancané, Suches y cuencas vecinas. Donde la mayor evapotranspiración potencial se presenta en el mes de octubre y la menor en el mes de junio.

En la cuenca Huancané, la mayor evapotranspiración potencial se presenta en la zona de la estación Muñani con 1435.4 mm y la menor en la zona de la estación Ananea de 917.2 mm. Mientras en la cuenca Suches, la mayor evapotranspiración se presenta en la zona de la estación Escoma con 1301.5 mm y la menor en la zona de la estación Suches con 915.7 mm. Ver Cuadro N° 4.25 y la Figura N° 4.29.

Cuadro N° 4.24 Evapotranspiración potencial (mm/día) - Estaciones de las cuencas Huancané, Suches y cuencas vecinas

Estación	Altitud (msnm)	Mes												Prom Anual
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Huancané	3840.0	3.39	3.42	3.27	3.22	3.05	2.74	2.93	3.47	3.99	4.29	4.30	3.83	3.49
Putina	3856.0	3.09	3.18	3.29	3.27	3.09	3.16	2.70	3.52	3.55	4.03	3.85	3.64	3.36
Muñani	3948.0	3.56	3.59	3.56	3.60	3.69	3.47	3.82	4.30	4.55	4.55	4.49	3.99	3.93
Huaraya Moho	3832.0	3.29	3.21	3.20	3.05	2.67	2.43	2.61	3.13	3.58	3.96	3.79	3.51	3.20
Cojata	4327.0	2.65	2.69	2.66	2.71	2.67	2.46	2.42	3.23	3.25	3.20	3.16	2.89	2.83
Suches	4655.0	2.44	2.51	2.47	2.45	2.41	2.17	2.21	2.64	2.77	2.75	2.77	2.52	2.51
Ananea	4640.0	2.45	2.52	2.48	2.45	2.41	2.17	2.22	2.56	2.75	2.79	2.81	2.55	2.51
Crucero	4130.0	2.99	3.03	2.96	2.88	2.64	2.41	2.55	2.96	3.33	3.44	3.48	3.17	2.99
Progreso	3940.0	3.37	3.40	3.51	3.45	3.50	3.25	3.56	3.97	4.34	4.46	4.34	3.86	3.75
Azángaro	3848.0	3.38	3.34	3.29	3.24	3.04	2.96	3.19	3.60	3.97	4.20	4.11	3.78	3.51
Arapa	3830.0	3.65	3.53	3.50	3.53	3.46	3.28	3.46	3.82	4.28	4.53	4.48	4.12	3.80
Taraco	3820.0	3.21	3.15	3.14	3.27	3.25	3.11	3.39	3.65	3.95	4.12	4.16	3.78	3.52
Conima	3860.0	3.35	3.35	3.31	3.29	3.14	2.97	3.13	3.61	3.96	4.21	4.16	3.79	3.52
Puerto Acosta	3835.0	3.36	3.32	3.32	3.20	3.07	2.92	3.06	3.58	3.90	4.22	4.10	3.78	3.49
Escoma	3828.0	3.41	3.37	3.34	3.31	3.17	2.99	3.16	3.64	4.02	4.28	4.24	3.85	3.57
Chahuaya	4500.0	2.61	2.66	2.59	2.58	2.50	2.27	2.32	2.79	2.97	2.99	3.01	2.75	2.67

Cuadro N° 4.25 Evapotranspiración potencial (mm/mes) - Estaciones de las cuencas Huancané, Suches y cuencas vecinas

Estación	Altitud (msnm)	Mes												Total Anual
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Huancané	3840.0	105.1	95.8	101.4	96.6	94.6	82.2	90.8	107.6	119.7	133.0	129.0	118.7	1274.4
Putina	3856.0	95.8	89.0	102.0	98.1	95.8	94.8	83.7	109.1	106.5	124.9	115.5	112.8	1228.1
Muñani	3948.0	110.4	100.5	110.4	108.0	114.4	104.1	118.4	133.3	136.5	141.1	134.7	123.7	1435.4
Huaraya Moho	3832.0	102.0	89.9	99.2	91.5	82.8	72.9	80.9	97.0	107.4	122.8	113.7	108.8	1168.9
Cojata	4327.0	82.2	75.3	82.5	81.3	82.8	73.8	75.0	100.1	97.5	99.2	94.8	89.6	1034.0
Suches	4655.0	75.6	70.3	76.6	73.5	74.7	65.1	68.5	81.8	83.1	85.3	83.1	78.1	915.7
Ananea	4640.0	76.0	70.6	76.9	73.5	74.7	65.1	68.8	79.4	82.5	86.5	84.3	79.1	917.2
Crucero	4130.0	92.7	84.8	91.8	86.4	81.8	72.3	79.1	91.8	99.9	106.6	104.4	98.3	1089.9
Progreso	3940.0	104.5	95.2	108.8	103.5	108.5	97.5	110.4	123.1	130.2	138.3	130.2	119.7	1369.7
Azángaro	3848.0	104.8	93.5	102.0	97.2	94.2	88.8	98.9	111.6	119.1	130.2	123.3	117.2	1280.8
Arapa	3830.0	113.2	98.8	108.5	105.9	107.3	98.4	107.3	118.4	128.4	140.4	134.4	127.7	1388.7
Taraco	3820.0	99.5	88.2	97.3	98.1	100.8	93.3	105.1	113.2	118.5	127.7	124.8	117.2	1283.6
Conima	3860.0	103.9	93.8	102.6	98.7	97.3	89.1	97.0	111.9	118.8	130.5	124.8	117.5	1285.9
Puerto Acosta	3835.0	104.2	93.0	102.9	96.0	95.2	87.6	94.9	111.0	117.0	130.8	123.0	117.2	1272.7
Escoma	3828.0	105.7	94.4	103.5	99.3	98.3	89.7	98.0	112.8	120.6	132.7	127.2	119.4	1301.5
Chahuaya	4500.0	80.9	74.5	80.3	77.4	77.5	68.1	71.9	86.5	89.1	92.7	90.3	85.3	974.4

Figura N° 4.28 Variación mensual de la evapotranspiración potencial (mm/mes) Estaciones de la cuenca Huancané, Suches y cuencas vecinas

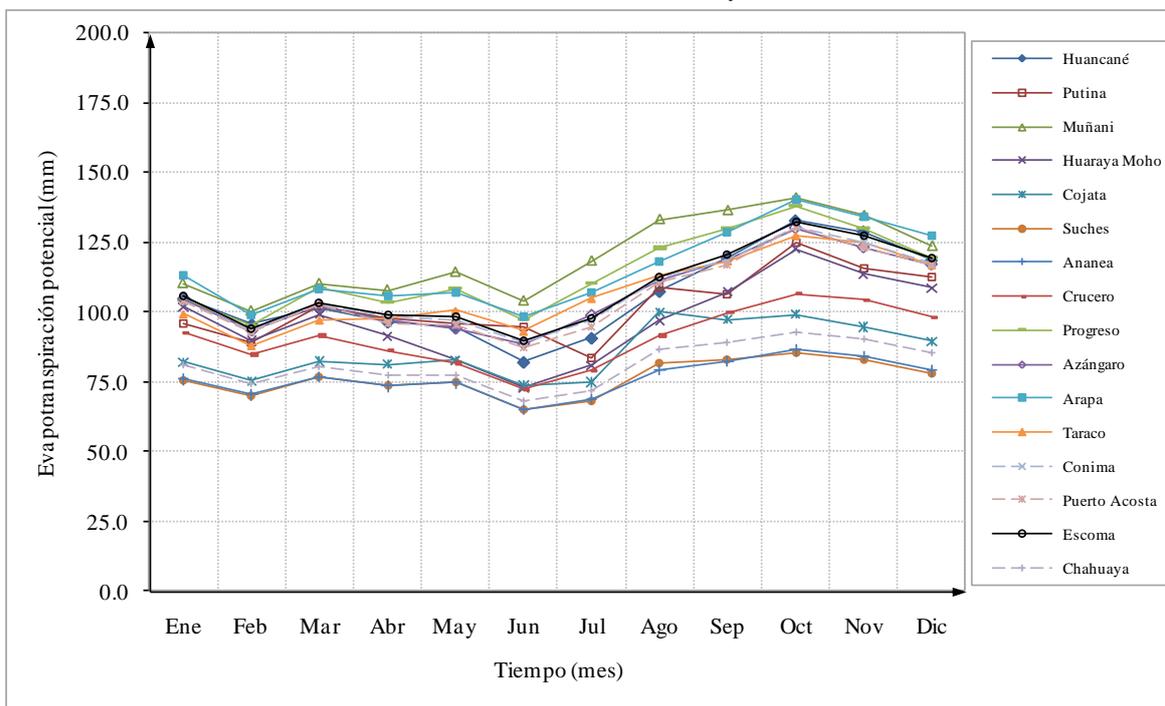
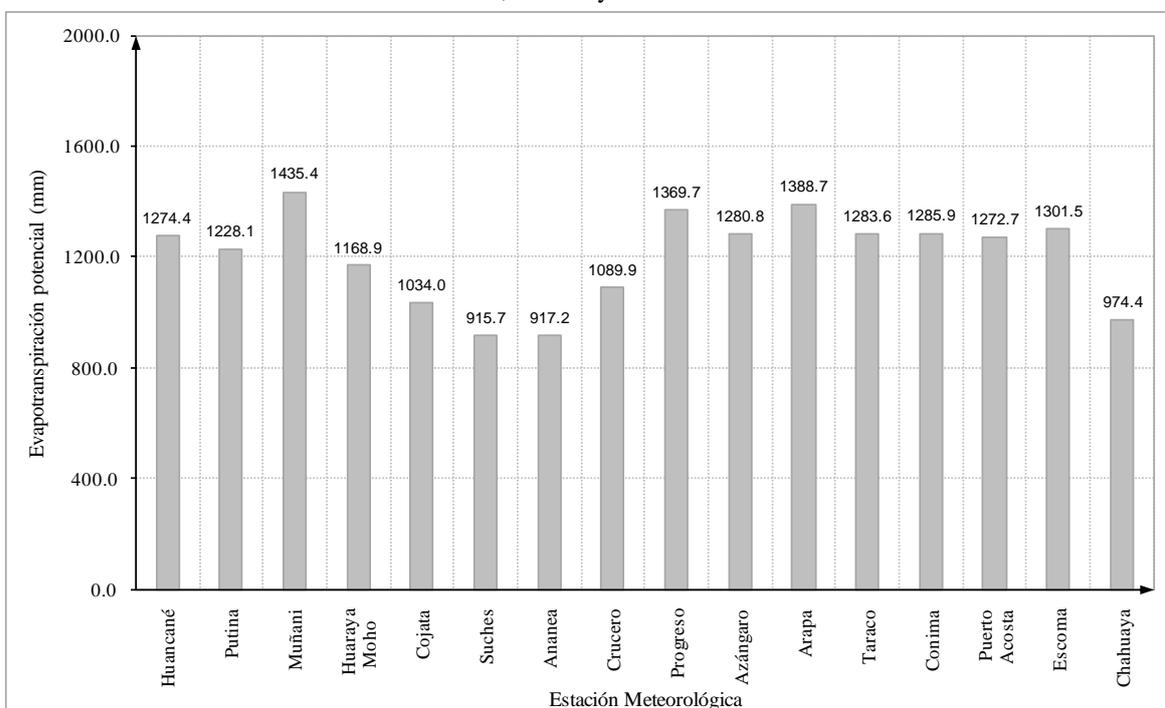
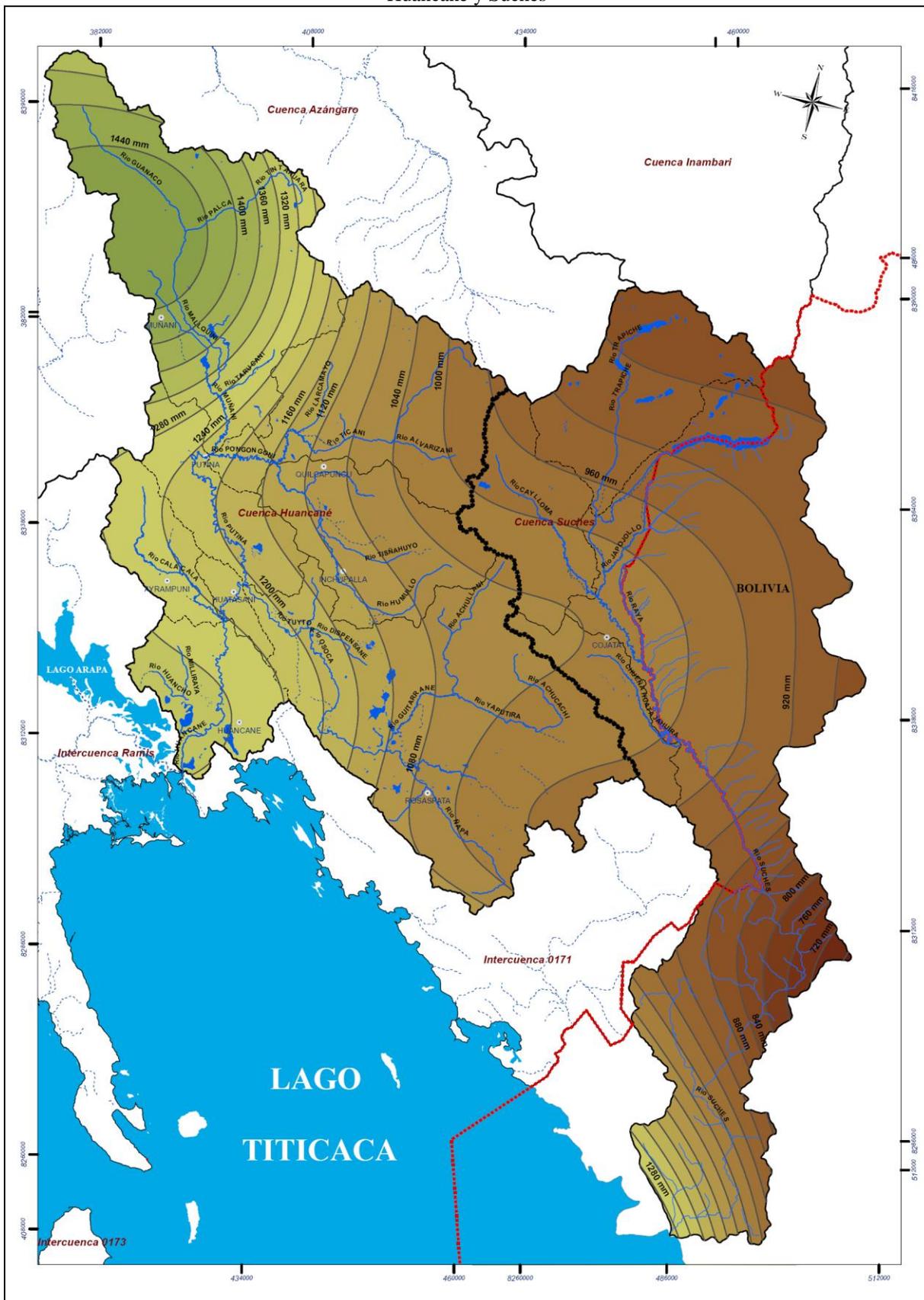


Figura N° 4.29 Variación anual de la evapotranspiración potencial (mm/año) Estaciones de las cuencas Huancané, Suches y cuencas vecinas



La distribución espacial de la evapotranspiración potencial (isolíneas) en las cuencas Huancané y Suches, se muestra en el Mapa N° 4.8, donde se aprecia que en la cuenca Huancané la evapotranspiración potencial media anual varía de 960 a 1440 mm, mientras que en la cuenca Suches varía de 680 a 1280 mm, respectivamente.

Mapa N° 4.8 Distribución espacial de la evapotranspiración potencial total anual (isolíneas) en las cuencas Huancané y Suches



4.2 CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA

Para la clasificación climática de las cuencas Huancané y Suches, se ha basado en el sistema de Thornthwaite. El sistema considera como variables de clasificación el índice de la precipitación efectiva (PE) y el índice de la temperatura efectiva (TE). Los índices correspondientes se obtienen a partir de la sumatoria de la relación entre la precipitación media mensual y la temperatura media mensual, cuyas ecuaciones con las siguientes:

$$PE = \sum_{i=1}^{12} \left[1.64 \left(\frac{P_i}{T_i + 12.2} \right)^{10/9} \right]$$

$$TE = \sum_{i=1}^{12} \left(\frac{9 T_i}{20} \right)$$

Donde:

P = Precipitación media mensual (mm).
T = Temperatura media mensual (°C).

En el presente estudio para la clasificación climática, se ha considerado ocho (8) estaciones meteorológicas que influyen directamente al área de las cuencas Huancané y Suches. Los resultados se muestran en el Cuadro N° 4.26. Las cuencas Huancané y Suches corresponden a la región de humedad de sub-húmedo a húmedo y la región de temperatura de microtérmino a taiga.

Cuadro N° 4.26 Clasificación climática de las cuencas Huancané y Suches

Sector	Altitud (msnm)	Parámetro	Mes												Característica del clima		
			Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Índice PE	Región de humedad	
Huancané	3840.0	P (mm)	140.4	109.6	102.1	42.6	12.0	4.4	3.6	10.6	30.7	46.9	63.4	111.4	Índice PE	Región de humedad	
		PE	13.2	10.0	9.4	3.7	1.0	0.4	0.3	0.9	2.7	4.0	5.4	10.1	61.1	Sub húmedo	C
		T (°C)	9.3	9.3	9.0	8.1	6.3	4.9	4.5	5.7	7.5	8.9	9.5	9.5	Índice TE	Región de temperatura	
		TE	4.2	4.2	4.1	3.6	2.8	2.2	2.0	2.6	3.4	4.0	4.3	4.3	41.7	Microtérmino	C'
Putina	3856.0	P (mm)	147.8	105.3	101.5	52.5	13.4	4.9	3.9	8.7	30.6	48.3	73.5	102.8	Índice PE	Región de humedad	
		PE	13.6	9.3	9.1	4.5	1.1	0.4	0.3	0.7	2.5	3.9	6.1	8.9	60.4	Sub húmedo	C
		T (°C)	9.8	9.9	9.5	8.9	7.0	5.5	5.4	6.8	8.4	9.7	10.3	10.3	Índice TE	Región de temperatura	
		TE	4.4	4.5	4.3	4.0	3.2	2.5	2.4	3.1	3.8	4.4	4.6	4.6	45.8	Microtérmino	C'
Muñani	3948.0	P (mm)	142.3	109.5	90.4	43.8	9.8	3.7	2.4	6.2	25.9	43.1	63.0	104.3	Índice PE	Región de humedad	
		PE	13.3	9.9	8.0	3.7	0.7	0.3	0.2	0.5	2.1	3.5	5.3	9.3	56.8	Sub húmedo	C
		T (°C)	9.4	9.6	9.4	9.0	7.8	6.6	6.3	7.5	8.7	9.4	9.8	9.7	Índice TE	Región de temperatura	
		TE	4.2	4.3	4.2	4.1	3.5	3.0	2.8	3.4	3.9	4.2	4.4	4.4	46.4	Microtérmino	C'
Huaraya Moho	3832.0	P (mm)	200.2	141.7	120.5	57.8	21.8	8.1	7.0	16.5	46.3	57.8	73.0	134.4	Índice PE	Región de humedad	
		PE	19.1	13.0	11.0	5.0	1.8	0.7	0.6	1.4	4.0	4.8	6.1	12.1	79.6	Húmedo	B
		T (°C)	9.8	9.8	9.5	8.9	7.7	6.4	6.3	7.3	8.7	9.7	10.1	10.0	Índice TE	Región de temperatura	
		TE	4.4	4.4	4.3	4.0	3.5	2.9	2.8	3.3	3.9	4.4	4.5	4.5	46.9	Microtérmino	C'
Cojata	4327.0	P (mm)	145.7	118.2	107.3	57.1	17.3	8.8	6.5	16.9	37.1	57.3	67.8	103.6	Índice PE	Región de humedad	
		PE	16.1	12.6	11.4	6.1	1.9	1.0	0.8	2.1	4.2	6.2	7.0	11.0	80.4	Húmedo	B
		T (°C)	6.5	6.6	6.5	5.2	3.3	1.3	0.8	1.6	3.6	5.2	6.2	6.5	Índice TE	Región de temperatura	
		TE	2.9	3.0	2.9	2.3	1.5	0.6	0.4	0.7	1.6	2.3	2.8	2.9	23.9	Taiga	D'
Suches	4655.0	P (mm)	104.2	85.0	89.8	39.9	12.0	3.6	4.3	8.6	28.6	41.3	53.3	70.2	Índice PE	Región de humedad	
		PE	12.6	9.9	10.6	4.4	1.2	0.4	0.5	1.0	3.4	4.8	6.1	8.3	63.2	Sub húmedo	C
		T (°C)	4.4	4.6	4.5	4.1	3.2	1.8	1.4	1.8	2.6	3.6	4.2	4.2	Índice TE	Región de temperatura	
		TE	2.0	2.1	2.0	1.8	1.4	0.8	0.6	0.8	1.2	1.6	1.9	1.9	18.1	Taiga	D'
Ananea	4640.0	P (mm)	122.3	100.0	87.5	44.6	18.5	6.4	11.8	14.9	24.7	45.8	56.5	88.7	Índice PE	Región de humedad	
		PE	15.1	11.9	10.3	4.9	1.9	0.6	1.2	1.6	2.7	5.1	6.4	10.6	72.3	Húmedo	B
		T (°C)	4.4	4.6	4.5	4.5	4.1	3.3	3.1	3.4	3.4	4.2	4.5	4.4	Índice TE	Región de temperatura	
		TE	2.0	2.1	2.0	2.0	1.8	1.5	1.4	1.5	1.5	1.9	2.0	2.0	21.7	Taiga	D'
Crucero	4130.0	P (mm)	152.5	135.9	114.4	56.6	18.1	6.7	4.7	11.7	32.6	52.7	78.6	119.0	Índice PE	Región de humedad	
		PE	15.2	13.3	11.3	5.5	1.8	0.7	0.5	1.2	3.2	5.0	7.4	11.8	76.9	Húmedo	B
		T (°C)	8.4	8.5	7.9	6.9	4.8	3.1	2.6	3.6	5.6	7.2	8.0	8.0	Índice TE	Región de temperatura	
		TE	3.8	3.8	3.6	3.1	2.2	1.4	1.2	1.6	2.5	3.2	3.6	3.6	33.6	Microtérmino	C'

CAPÍTULO V

PLUVIOMETRÍA

5.1 GENERALIDADES

Desde el punto de vista de la ingeniería hidrológica, la precipitación es la fuente primaria del agua de la superficie terrestre, y sus mediciones y análisis, forman el punto de partida de los estudios concernientes al uso y control del agua.

Para poder explicar de mejor forma el suceso de la escorrentía superficial en las cuencas de los ríos Huancané y Suches, es necesario relacionarla con la precipitación y de esta forma, no sólo validar la información histórica disponible, sino también practicar una modelación matemática que reproduzca el proceso precipitación – escorrentía, para lo cual se requiere previamente cuantificar la incidencia simultánea de la precipitación sobre la cuenca, a lo que denominamos cálculo de la precipitación areal utilizando métodos convencionales de cálculo.

5.2 RED DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS

La información pluviométrica disponible corresponde a una red de dieciséis (16) estaciones meteorológicas para el estudio de la precipitación, de los cuales tres (3) estaciones están ubicadas dentro de la cuenca Huancané, tres (3) estaciones en la cuenca Suches y diez (10) estaciones meteorológicas en el entorno externo de estas. La información histórica disponible de la precipitación total mensual se muestra en el Cuadro N° 5.1.

La ubicación de la red de estaciones meteorológicas en las cuencas Huancané y Suches, se muestran en el Mapa N° 5.1.

Las estaciones meteorológicas ubicadas en el ámbito de las cuencas Huancané, Suches y cuencas vecinas, es la siguiente:

Cuenca Huancané:

- Estación Huancané
- Estación Putina
- Estación Muñani

Cuenca Suches:

- Estación Cojata
- Estación Suches
- Estación Escoma

“saltos” y/o “tendencias”, los cuales se deben comprobarse si son fenómenos naturales que efectivamente han ocurrido o son producidos por errores sistemáticos, mediante un gráfico o hidrograma de las series de análisis, en coordenadas cartesianas ploteando la información histórica de la variable pluviométrica a nivel anual y mensual; en las ordenadas se ubica los valores anuales o mensuales de la serie pluviométrica en unidades respectivas y en las abscisas el tiempo en años y meses.

Para el presente estudio se ha formado en cuatro (4) grupos de estaciones pluviométricas para su análisis.

De las estaciones consideradas en el presente estudio, mediante este análisis resulta que no existe un período dudoso significativo en la serie de las precipitaciones mensuales y anuales, tal como se muestra en los hidrogramas correspondientes.

Figura N° 5.1 Hidrograma de precipitación total mensual y anual histórica - Grupo N° 1

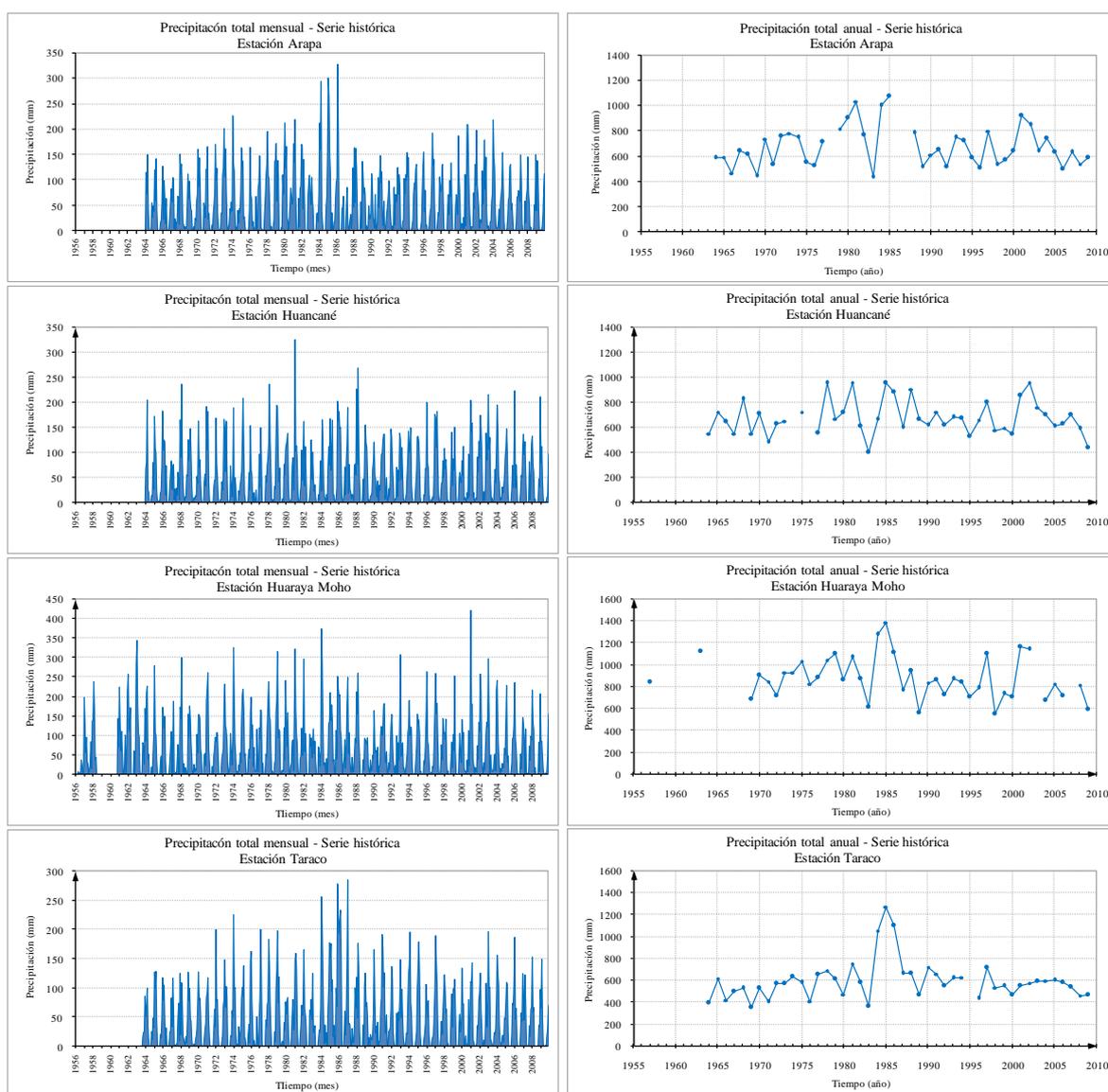


Figura N° 5.2 Hidrograma de precipitación total mensual y anual histórica - Grupo N° 2

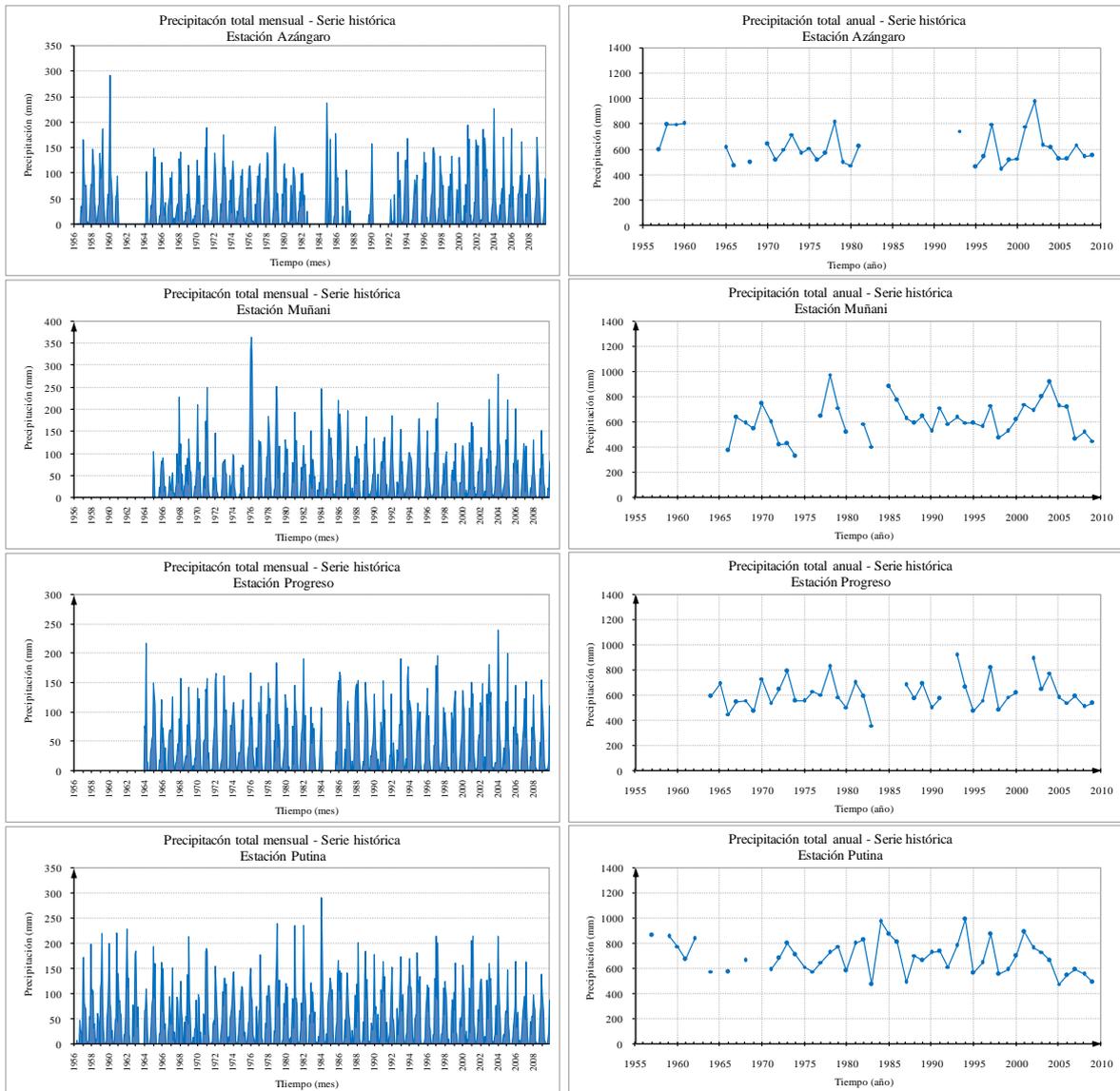
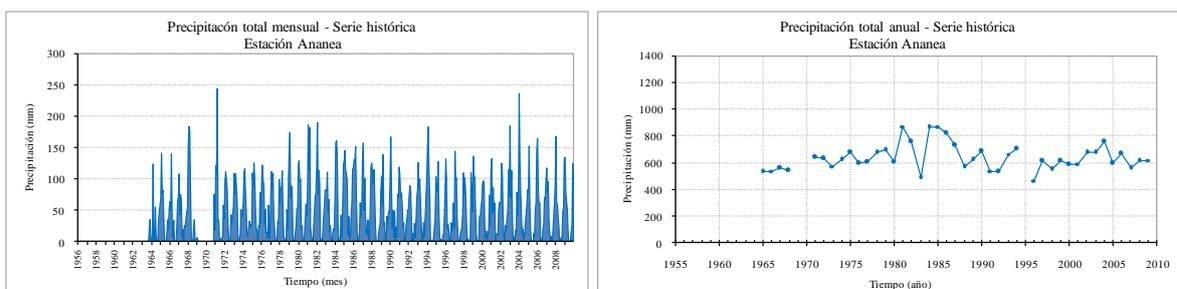


Figura N° 5.3 Hidrograma de precipitación total mensual y anual histórica - Grupo N° 3



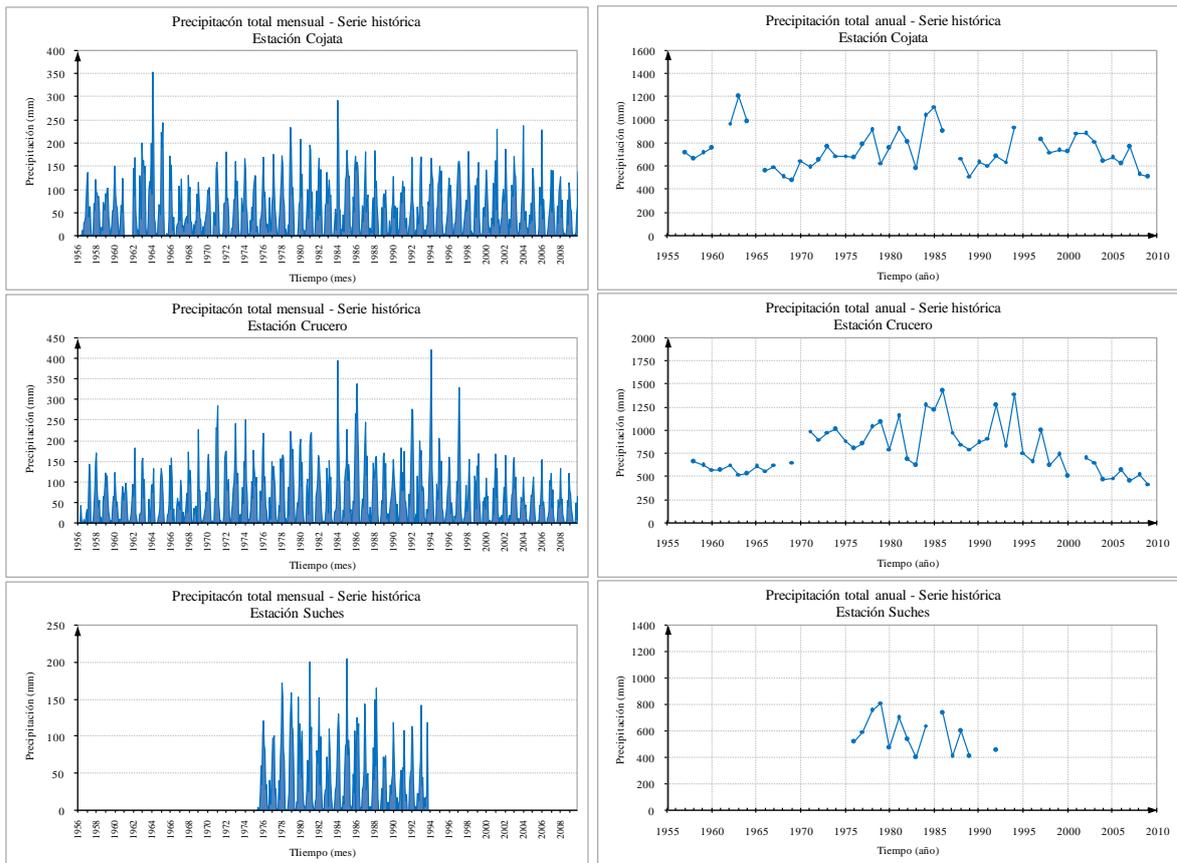
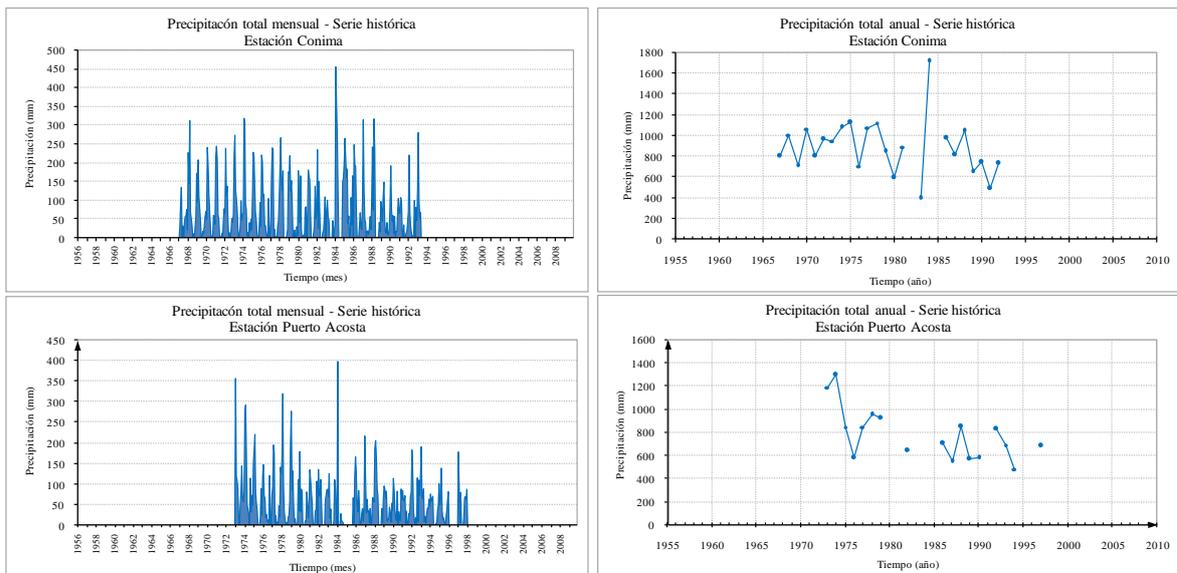
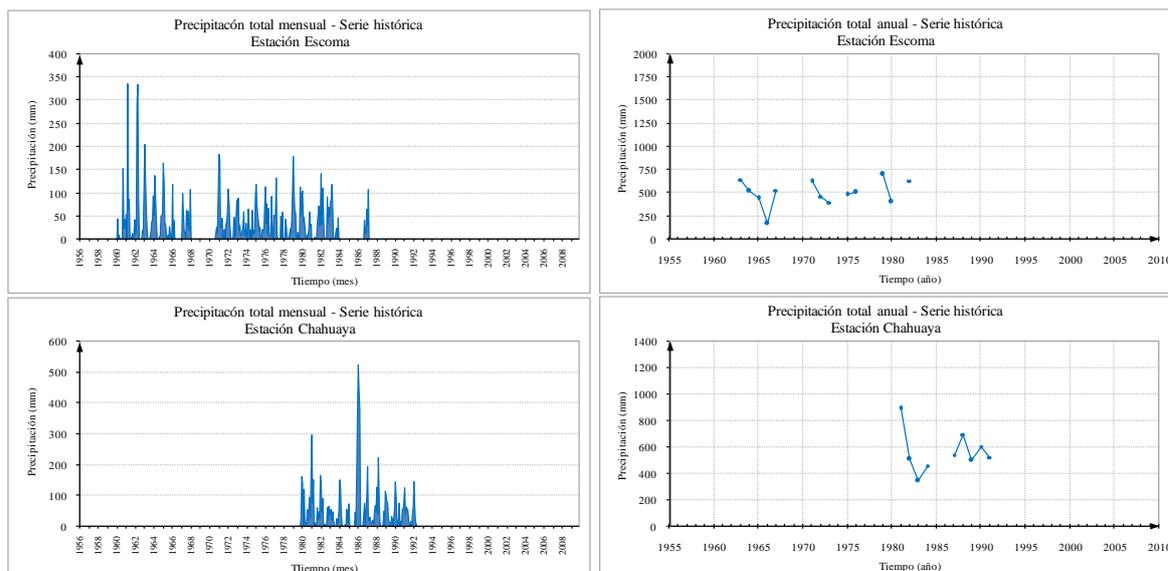


Figura N° 5.4 Hidrograma de precipitación total mensual y anual histórica - Grupo N° 4





B.- Análisis de doble masa

Después de haber analizado los hidrogramas de las series respectivas se realiza el análisis de doble masa. El diagrama de doble masa se obtiene planteando en el eje de las abscisas el volumen anual promedio acumulado de la variable pluviométrica de las estaciones en unidades respectivas y en el eje de las ordenadas los volúmenes anuales acumulados de la variable pluviométrica en unidades correspondientes de cada una de las estaciones consideradas en el estudio. De los gráficos de doble masa se selecciona una estación más confiable, la que presenta el menor número de quiebres, la cual se usará como estación base para el análisis de otras estaciones. En este análisis, los errores producidos por los fenómenos naturales y sistemáticos son detectados mediante los “quiebres” que se presentan en los diagramas y permite determinar el rango de los períodos dudosos y confiables para cada estación en estudio, la cual se debe corregirse utilizando ciertos criterios estadísticos.

En este caso, para el análisis de doble masa se ha formado cuatro (4) grupos de estaciones meteorológicas, con el fin obtener una comparación adecuada de las series de precipitaciones anuales, los cuadros y gráficos de análisis se muestran a continuación.

Grupo N° 1: Mediante el análisis de doble masa (ver Figura N° 5.5-a), la estación Huaraya-Moho es seleccionada como la estación base. La comparación de la serie de precipitaciones anuales de las estaciones Huancané, Arapa y Taraco con la estación base, no muestran quiebres significativos, las curvas de doble masa tienden a mantenerse la pendiente que muestra cada curva (ver Figura N° 5.5-b). Aunque muestran pequeños quiebres en el análisis de doble masa, dichos quiebres serán evaluados en el análisis estadístico.

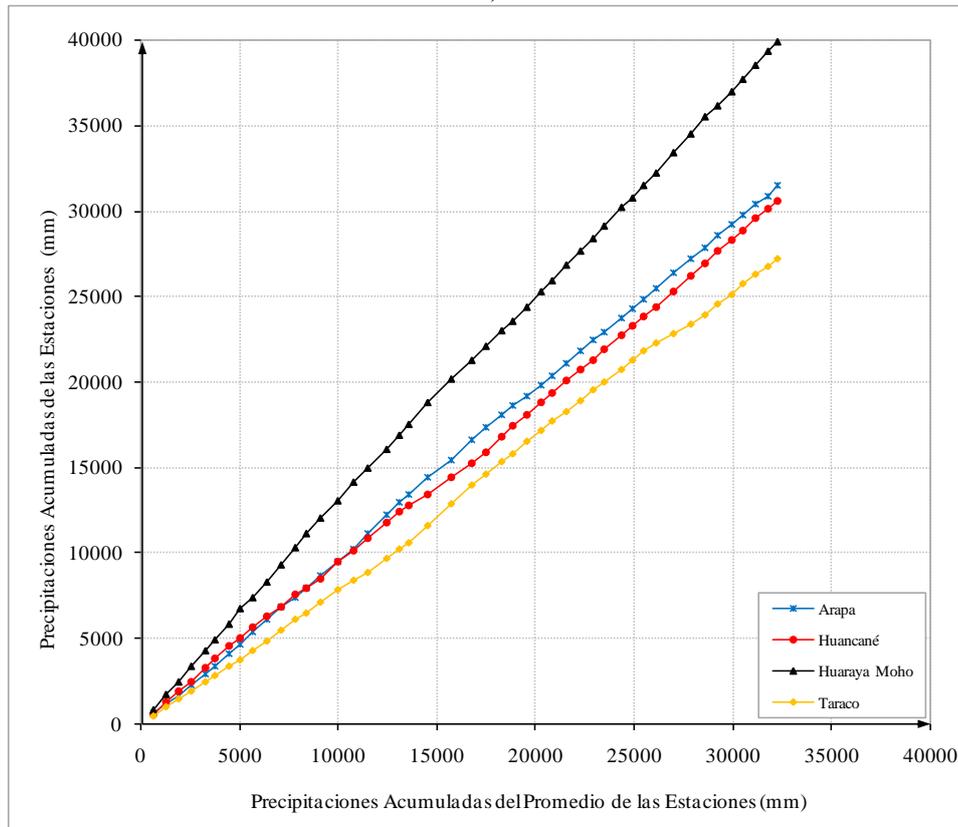
Los posibles períodos como dudosos y confiables de cada serie meteorológica de las estaciones en estudio, se muestran posteriormente en el análisis estadístico de saltos.

Cuadro N° 5.2 Análisis de doble masa de las precipitaciones anuales (mm) - Grupo N° 1

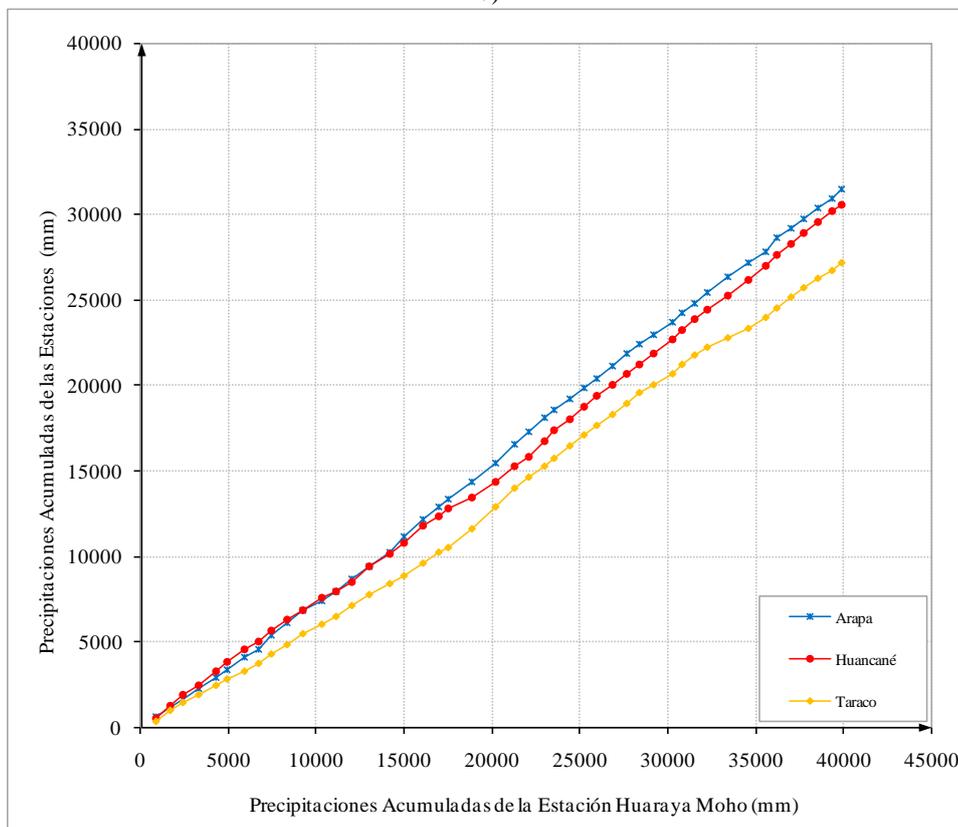
m	Año	Estaciones								Promedio	
		Arapa		Huancané		Huaraya Moho		Taraco			
		P	Pacumul	P	Pacumul	P	Pacumul	P	Pacumul	P	Pacumul
1	1964	585.2	585.2	546.2	546.2	836.1	836.1	392.3	392.3	590.0	590.0
2	1965	590.2	1175.4	719.8	1266.0	868.7	1704.8	612.7	1005.0	697.9	1287.9
3	1966	464.9	1640.3	643.2	1909.2	726.7	2431.5	416.1	1421.1	562.7	1850.6
4	1967	637.5	2277.8	545.3	2454.5	895.9	3327.4	496.4	1917.5	643.8	2494.4
5	1968	614.0	2891.8	821.2	3275.7	947.2	4274.6	525.5	2443.0	727.0	3221.4
6	1969	440.5	3332.3	544.5	3820.2	681.7	4956.3	347.4	2790.4	503.5	3724.9
7	1970	734.0	4066.3	702.3	4522.5	901.8	5858.1	527.8	3318.2	716.5	4441.4
8	1971	530.1	4596.4	477.4	4999.9	842.3	6700.4	402.9	3721.1	563.2	5004.6
9	1972	757.0	5353.4	625.1	5625.0	708.9	7409.3	567.9	4289.0	664.7	5669.3
10	1973	777.9	6131.3	645.9	6270.9	926.2	8335.5	563.7	4852.7	728.4	6397.7
11	1974	744.6	6875.9	593.5	6864.4	926.3	9261.8	630.1	5482.8	723.6	7121.3
12	1975	546.4	7422.3	717.7	7582.1	1030.9	10292.7	577.7	6060.5	718.2	7839.5
13	1976	524.4	7946.7	358.6	7940.7	820.1	11112.8	406.2	6466.7	527.3	8366.8
14	1977	711.0	8657.7	550.3	8491.0	881.7	11994.5	647.5	7114.2	697.6	9064.4
15	1978	778.2	9435.9	950.7	9441.7	1041.1	13035.6	684.7	7798.9	863.7	9928.1
16	1979	813.1	10249.0	665.3	10107.0	1094.3	14129.9	609.5	8408.4	795.6	10723.7
17	1980	898.4	11147.4	714.8	10821.8	860.7	14990.6	466.3	8874.7	735.1	11458.8
18	1981	1029.4	12176.8	956.0	11777.8	1064.4	16055.0	748.3	9623.0	949.5	12408.3
19	1982	766.2	12943.0	602.8	12380.6	870.7	16925.7	578.6	10201.6	704.6	13112.9
20	1983	434.0	13377.0	392.9	12773.5	607.3	17533.0	355.9	10557.5	447.5	13560.4
21	1984	1001.3	14378.3	660.5	13434.0	1274.3	18807.3	1049.8	11607.3	996.5	14556.9
22	1985	1069.7	15448.0	952.3	14386.3	1383.4	20190.7	1269.8	12877.1	1168.8	15725.7
23	1986	1132.4	16580.4	879.4	15265.7	1104.4	21295.1	1098.5	13975.6	1053.7	16779.4
24	1987	723.1	17303.5	596.1	15861.8	767.2	22062.3	659.6	14635.2	686.5	17465.9
25	1988	780.6	18084.1	902.0	16763.8	939.9	23002.2	662.7	15297.9	821.3	18287.2
26	1989	514.1	18598.2	660.2	17424.0	556.5	23558.7	465.2	15763.1	549.0	18836.2
27	1990	606.5	19204.7	616.1	18040.1	831.9	24390.6	717.4	16480.5	693.0	19529.2
28	1991	645.7	19850.4	719.0	18759.1	857.8	25248.4	655.3	17135.8	719.5	20248.7
29	1992	514.0	20364.4	616.8	19375.9	720.1	25968.5	542.3	17678.1	598.3	20847.0
30	1993	748.6	21113.0	678.8	20054.7	870.8	26839.3	616.7	18294.8	728.7	21575.7
31	1994	720.4	21833.4	669.0	20723.7	839.0	27678.3	622.4	18917.2	712.7	22288.4
32	1995	585.8	22419.2	522.6	21246.3	698.5	28376.8	653.1	19570.3	615.0	22903.4
33	1996	506.1	22925.3	654.1	21900.4	787.0	29163.8	432.1	20002.4	594.8	23498.2
34	1997	796.0	23721.3	799.1	22699.5	1098.9	30262.7	710.9	20713.3	851.2	24349.4
35	1998	532.0	24253.3	572.1	23271.6	548.1	30810.8	531.1	21244.4	545.8	24895.2
36	1999	565.3	24818.6	592.7	23864.3	731.2	31542.0	544.6	21789.0	608.5	25503.7
37	2000	640.8	25459.4	539.8	24404.1	698.3	32240.3	459.7	22248.7	584.7	26088.4
38	2001	917.3	26376.7	851.1	25255.2	1159.0	33399.3	546.2	22794.9	868.4	26956.8
39	2002	847.8	27224.5	955.7	26210.9	1142.3	34541.6	571.7	23366.6	879.4	27836.2
40	2003	641.0	27865.5	756.7	26967.6	988.8	35530.4	590.0	23956.6	744.1	28580.3
41	2004	740.9	28606.4	697.2	27664.8	671.5	36201.9	593.6	24550.2	675.8	29256.1
42	2005	633.1	29239.5	606.1	28270.9	822.2	37024.1	597.6	25147.8	664.8	29920.9
43	2006	496.4	29735.9	620.7	28891.6	711.4	37735.5	578.4	25726.2	601.7	30522.6
44	2007	630.3	30366.2	698.4	29590.0	770.5	38506.0	534.9	26261.1	658.5	31181.1
45	2008	535.8	30902.0	585.4	30175.4	810.4	39316.4	456.8	26717.9	597.1	31778.2
46	2009	583.5	31485.5	433.3	30608.7	587.8	39904.2	460.6	27178.5	516.3	32294.5

(Datos faltantes se completó por correlación con la información de las estaciones vecinas, sólo para el análisis de doble masa).

Figura N° 5.5 Diagrama de doble masa de las precipitaciones anuales - Grupo N° 1
a)



b)



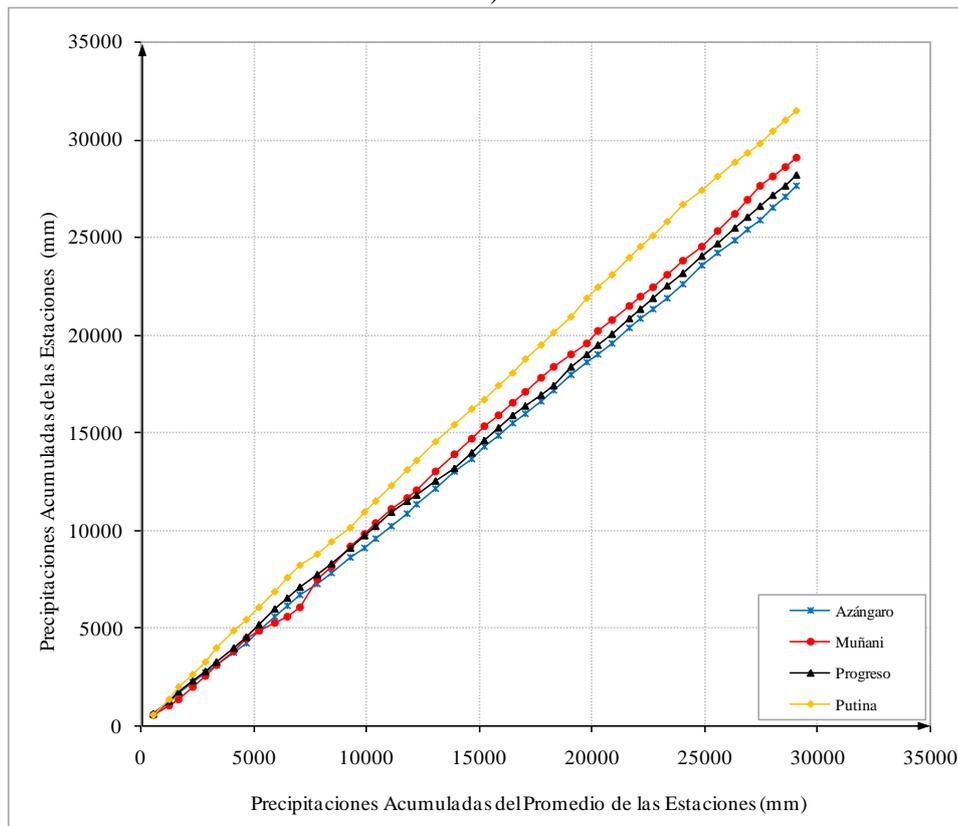
Grupo N° 2: Mediante el análisis de doble masa (ver Figura N° 5.6-a), la estación Azángaro es seleccionada como la estación base. La comparación de la serie de precipitaciones anuales de las estaciones Putina, Muñani y Progreso con la estación base, no muestran quiebres significativos, las curvas de doble masa tienden mantenerse la pendiente que muestra cada curva (ver Figura N° 5.6-b). Aunque muestran pequeños quiebres en el análisis de doble masa, dichos quiebres serán evaluadas en el análisis estadístico. Los posibles períodos como dudosos y confiables de cada serie meteorológica de las estaciones en estudio, se muestran posteriormente en el análisis estadístico de saltos.

Cuadro N° 5.3 Análisis de doble masa de las precipitaciones anuales (mm) - Grupo N° 2

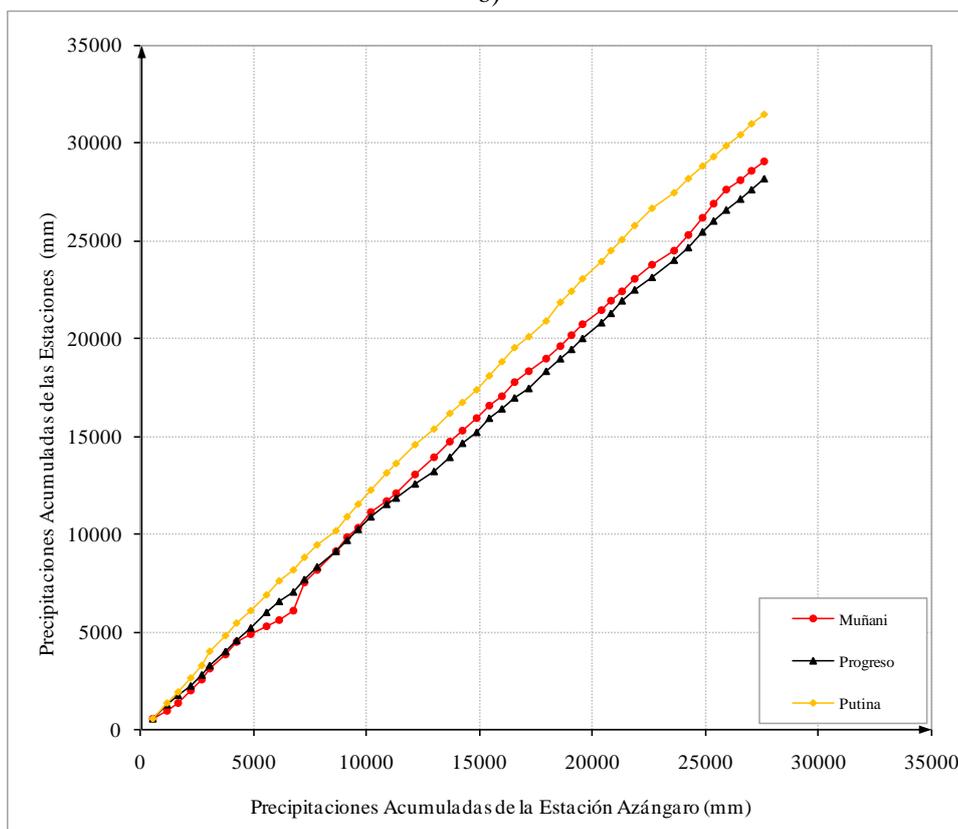
m	Año	Estaciones								Promedio	
		Azángaro		Muñani		Progreso		Putina		P	Pacumul
		P	Pacumul	P	Pacumul	P	Pacumul	P	Pacumul		
1	1964	568.4	568.4	520.8	520.8	586.0	586.0	574.0	574.0	562.3	562.3
2	1965	610.9	1179.3	463.4	984.2	687.1	1273.1	797.1	1371.1	639.6	1201.9
3	1966	469.4	1648.7	370.3	1354.5	445.2	1718.3	571.2	1942.3	464.0	1665.9
4	1967	565.0	2213.7	629.5	1984.0	541.0	2259.3	688.0	2630.3	605.9	2271.8
5	1968	492.8	2706.5	585.5	2569.5	555.9	2815.2	659.2	3289.5	573.4	2845.2
6	1969	377.8	3084.3	540.9	3110.4	468.2	3283.4	690.2	3979.7	519.3	3364.5
7	1970	641.5	3725.8	744.4	3854.8	727.3	4010.7	843.6	4823.3	739.2	4103.7
8	1971	510.9	4236.7	596.7	4451.5	537.8	4548.5	586.6	5409.9	558.0	4661.7
9	1972	599.7	4836.4	415.2	4866.7	639.9	5188.4	675.1	6085.0	582.5	5244.2
10	1973	716.8	5553.2	420.8	5287.5	784.2	5972.6	795.3	6880.3	679.3	5923.5
11	1974	569.7	6122.9	321.2	5608.7	552.4	6525.0	704.0	7584.3	536.8	6460.3
12	1975	607.9	6730.8	464.3	6073.0	553.3	7078.3	610.8	8195.1	559.1	7019.4
13	1976	512.2	7243.0	1452.1	7525.1	626.7	7705.0	573.4	8768.5	791.1	7810.5
14	1977	565.4	7808.4	640.9	8166.0	598.9	8303.9	645.5	9414.0	612.7	8423.2
15	1978	812.8	8621.2	973.4	9139.4	823.8	9127.7	723.4	10137.4	833.4	9256.6
16	1979	497.9	9119.1	709.4	9848.8	583.6	9711.3	772.5	10909.9	640.9	9897.5
17	1980	473.7	9592.8	512.2	10361.0	498.9	10210.2	577.1	11487.0	515.5	10413.0
18	1981	623.8	10216.6	731.8	11092.8	698.7	10908.9	794.5	12281.5	712.2	11125.2
19	1982	665.9	10882.5	581.8	11674.6	588.7	11497.6	824.2	13105.7	665.2	11790.4
20	1983	431.5	11314.0	399.9	12074.5	355.1	11852.7	466.7	13572.4	413.3	12203.7
21	1984	821.7	12135.7	973.3	13047.8	676.4	12529.1	967.1	14539.5	859.6	13063.3
22	1985	846.2	12981.9	880.2	13928.0	641.9	13171.0	866.5	15406.0	808.7	13872.0
23	1986	669.5	13651.4	768.9	14696.9	796.9	13967.9	804.4	16210.4	759.9	14631.9
24	1987	620.8	14272.2	621.5	15318.4	677.9	14645.8	489.2	16699.6	602.4	15234.3
25	1988	569.9	14842.1	589.4	15907.8	569.5	15215.3	699.4	17399.0	607.1	15841.4
26	1989	612.4	15454.5	643.5	16551.3	687.1	15902.4	658.8	18057.8	650.5	16491.9
27	1990	537.2	15991.7	522.9	17074.2	493.1	16395.5	723.3	18781.1	569.1	17061.0
28	1991	581.7	16573.4	710.0	17784.2	565.8	16961.3	731.2	19512.3	647.2	17708.2
29	1992	617.9	17191.3	583.6	18367.8	473.3	17434.6	610.8	20123.1	571.4	18279.6
30	1993	742.2	17933.5	632.2	19000.0	912.2	18346.8	777.0	20900.1	765.9	19045.5
31	1994	640.6	18574.1	591.9	19591.9	658.8	19005.6	985.9	21886.0	719.3	19764.8
32	1995	460.1	19034.2	587.6	20179.5	469.9	19475.5	556.4	22442.4	518.5	20283.3
33	1996	538.3	19572.5	558.5	20738.0	555.6	20031.1	641.6	23084.0	573.5	20856.8
34	1997	795.9	20368.4	728.3	21466.3	812.6	20843.7	869.1	23953.1	801.5	21658.3
35	1998	441.6	20810.0	467.6	21933.9	475.4	21319.1	552.0	24505.1	484.2	22142.5
36	1999	514.3	21324.3	520.3	22454.2	581.2	21900.3	585.6	25090.7	550.4	22692.9
37	2000	527.6	21851.9	614.5	23068.7	615.3	22515.6	693.0	25783.7	612.6	23305.5
38	2001	777.0	22628.9	737.3	23806.0	636.9	23152.5	887.2	26670.9	759.6	24065.1
39	2002	970.3	23599.2	686.3	24492.3	885.8	24038.3	760.4	27431.3	825.7	24890.8
40	2003	630.5	24229.7	794.8	25287.1	640.5	24678.8	728.1	28159.4	698.5	25589.3
41	2004	611.7	24841.4	913.6	26200.7	774.2	25453.0	660.6	28820.0	740.0	26329.3
42	2005	524.9	25366.3	721.3	26922.0	576.2	26029.2	473.9	29293.9	574.1	26903.4
43	2006	525.3	25891.6	714.4	27636.4	537.4	26566.6	541.6	29835.5	579.7	27483.1
44	2007	634.7	26526.3	461.1	28097.5	584.9	27151.5	586.4	30421.9	566.8	28049.9
45	2008	538.0	27064.3	515.3	28612.8	505.8	27657.3	549.1	30971.0	527.1	28577.0
46	2009	551.0	27615.3	445.2	29058.0	533.4	28190.7	486.9	31457.9	504.1	29081.1

(Datos faltantes se completó por correlación con la información de las estaciones vecinas, sólo para el análisis de doble masa).

Figura N° 5.6 Diagrama de doble masa de las precipitaciones anuales - Grupo N° 2
a)



b)



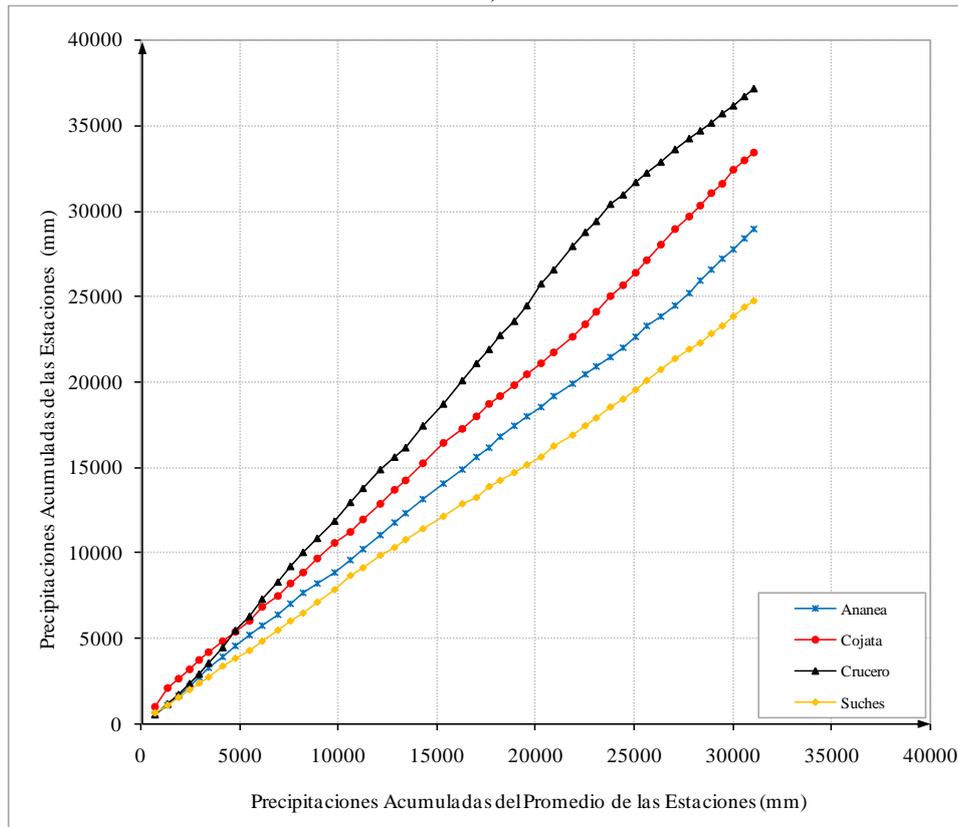
Grupo N° 3: Mediante el análisis de doble masa (ver Figura N° 5.7-a), la estación Ananea es seleccionada como la estación base. La comparación de la serie de precipitaciones anuales de las estaciones Cojata, Suches y Crucero con la estación base, no muestran quiebres significativos, las curvas de doble masa tienden a mantenerse la pendiente que muestra cada curva (ver Figura N° 5.7-b). Aunque muestran pequeños quiebres en el análisis de doble masa, dichos quiebres serán evaluados en el análisis estadístico. Los posibles períodos como dudosos y confiables de cada serie meteorológica de las estaciones en estudio, se muestran posteriormente en el análisis estadístico de saltos.

Cuadro N° 5.4 Análisis de doble masa de las precipitaciones anuales (mm) - Grupo N° 3

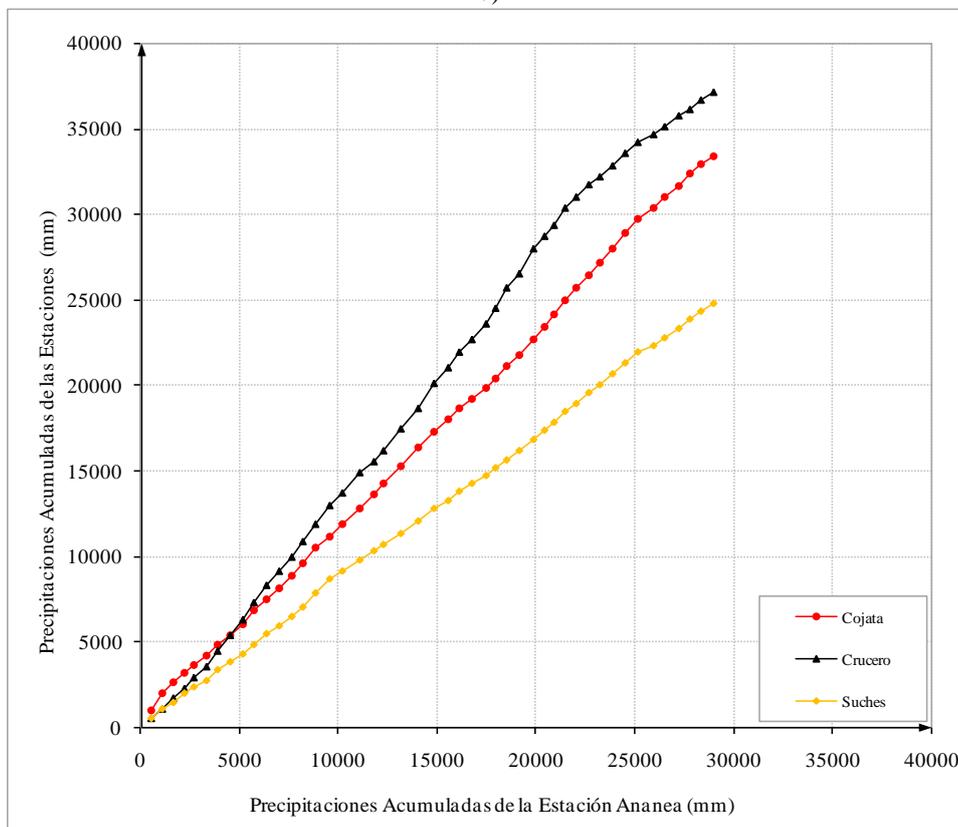
m	Año	Estaciones								Promedio	
		Ananea		Cojata		Crucero		Suches		P	Pacumul
		P	Pacumul	P	Pacumul	P	Pacumul	P	Pacumul		
1	1964	547.5	547.5	983.6	983.6	527.9	527.9	574.7	574.7	658.4	658.4
2	1965	533.4	1080.9	1064.6	2048.2	604.3	1132.2	541.4	1116.1	685.9	1344.3
3	1966	536.1	1617.0	552.8	2601.0	557.0	1689.2	381.4	1497.5	506.8	1851.1
4	1967	558.0	2175.0	591.8	3192.8	621.4	2310.6	523.0	2020.5	573.6	2424.7
5	1968	538.2	2713.2	500.8	3693.6	593.9	2904.5	343.0	2363.5	494.0	2918.7
6	1969	576.0	3289.2	471.8	4165.4	649.5	3554.0	347.5	2711.0	511.2	3429.9
7	1970	583.7	3872.9	643.7	4809.1	880.8	4434.8	632.2	3343.2	685.1	4115.0
8	1971	641.6	4514.5	588.0	5397.1	987.0	5421.8	465.9	3809.1	670.6	4785.6
9	1972	628.4	5142.9	647.7	6044.8	896.1	6317.9	479.3	4288.4	662.9	5448.5
10	1973	573.0	5715.9	765.6	6810.4	976.0	7293.9	544.3	4832.7	714.7	6163.2
11	1974	622.2	6338.1	684.5	7494.9	1010.0	8303.9	610.7	5443.4	731.9	6895.1
12	1975	673.2	7011.3	684.7	8179.6	881.9	9185.8	531.7	5975.1	692.9	7588.0
13	1976	596.2	7607.5	673.0	8852.6	802.8	9988.6	515.9	6491.0	647.0	8235.0
14	1977	603.0	8210.5	787.3	9639.9	852.6	10841.2	592.2	7083.2	708.8	8943.8
15	1978	672.2	8882.7	909.9	10549.8	1031.0	11872.2	750.8	7834.0	841.0	9784.8
16	1979	693.0	9575.7	622.1	11171.9	1082.7	12954.9	809.4	8643.4	801.8	10586.6
17	1980	605.9	10181.6	756.5	11928.4	790.8	13745.7	468.0	9111.4	655.3	11241.9
18	1981	869.2	11050.8	919.8	12848.2	1149.2	14894.9	694.9	9806.3	908.3	12150.2
19	1982	758.6	11809.4	808.1	13656.3	682.9	15577.8	532.4	10338.7	695.5	12845.7
20	1983	487.3	12296.7	576.2	14232.5	615.9	16193.7	395.5	10734.2	518.7	13364.4
21	1984	861.4	13158.1	1035.7	15268.2	1265.2	17458.9	638.3	11372.5	950.2	14314.6
22	1985	869.0	14027.1	1111.7	16379.9	1215.6	18674.5	730.8	12103.3	981.8	15296.4
23	1986	817.6	14844.7	902.1	17282.0	1422.6	20097.1	732.6	12835.9	968.7	16265.1
24	1987	729.1	15573.8	735.9	18017.9	975.7	21072.8	406.4	13242.3	711.8	16976.9
25	1988	570.0	16143.8	665.0	18682.9	845.0	21917.8	597.0	13839.3	669.3	17646.2
26	1989	623.7	16767.5	508.9	19191.8	794.1	22711.9	404.7	14244.0	582.9	18229.1
27	1990	683.6	17451.1	631.8	19823.6	865.6	23577.5	462.9	14706.9	661.0	18890.1
28	1991	536.7	17987.8	601.7	20425.3	910.3	24487.8	456.7	15163.6	626.4	19516.5
29	1992	532.3	18520.1	683.5	21108.8	1270.7	25758.5	449.2	15612.8	733.9	20250.4
30	1993	662.5	19182.6	634.4	21743.2	821.5	26580.0	587.9	16200.7	676.6	20927.0
31	1994	703.8	19886.4	937.1	22680.3	1389.1	27969.1	656.9	16857.6	921.7	21848.7
32	1995	527.6	20414.0	711.8	23392.1	753.7	28722.8	541.6	17399.2	633.7	22482.4
33	1996	462.7	20876.7	752.5	24144.6	652.0	29374.8	482.4	17881.6	587.4	23069.8
34	1997	610.2	21486.9	825.3	24969.9	990.3	30365.1	601.8	18483.4	756.9	23826.7
35	1998	551.3	22038.2	715.8	25685.7	619.0	30984.1	494.2	18977.6	595.1	24421.8
36	1999	614.1	22652.3	732.5	26418.2	733.7	31717.8	558.8	19536.4	659.8	25081.6
37	2000	586.1	23238.4	719.6	27137.8	500.8	32218.6	523.5	20059.9	582.5	25664.1
38	2001	590.9	23829.3	882.8	28020.6	678.8	32897.4	622.1	20682.0	693.7	26357.8
39	2002	677.3	24506.6	880.7	28901.3	698.2	33595.6	678.4	21360.4	733.7	27091.5
40	2003	675.1	25181.7	809.4	29710.7	650.0	34245.6	590.3	21950.7	681.2	27772.7
41	2004	753.8	25935.5	637.4	30348.1	462.2	34707.8	365.4	22316.1	554.7	28327.4
42	2005	592.4	26527.9	674.0	31022.1	479.7	35187.5	508.0	22824.1	563.5	28890.9
43	2006	668.8	27196.7	617.2	31639.3	560.7	35748.2	491.2	23315.3	584.5	29475.4
44	2007	558.9	27755.6	767.0	32406.3	445.8	36194.0	525.3	23840.6	574.3	30049.7
45	2008	613.9	28369.5	527.5	32933.8	513.8	36707.8	515.9	24356.5	542.8	30592.5
46	2009	616.1	28985.6	507.4	33441.2	416.6	37124.4	422.9	24779.4	490.8	31083.3

(Datos faltantes se completó por correlación con la información de las estaciones vecinas, sólo para el análisis de doble masa).

Figura N° 5.7 Diagrama de doble masa de las precipitaciones anuales - Grupo N° 3
a)



b)



Grupo N° 4: Mediante el análisis de doble masa (ver Figura N° 5.8-a), la estación Huaraya-Moho es seleccionada como la estación base. La comparación de la serie de precipitaciones anuales de las estaciones Conima, Puerto Acosta, Escoma y Chahuaya con la estación base, no muestran quiebres significativos, las curvas de doble masa tienden mantenerse la pendiente que muestra cada curva (ver Figura N° 5.8-b). Aunque muestran pequeños quiebres en el análisis de doble masa, dichos quiebres serán evaluadas en el análisis estadístico.

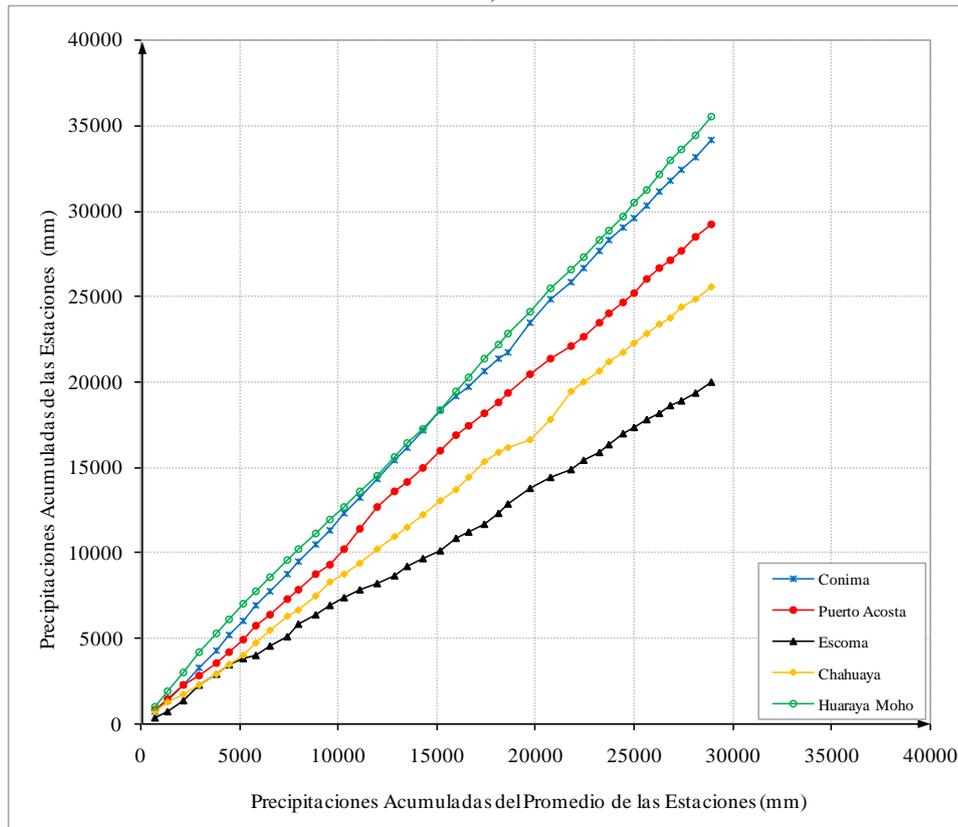
Los posibles períodos como dudosos y confiables de cada serie meteorológica de las estaciones en estudio, se muestran posteriormente en el análisis estadístico de saltos.

Cuadro N° 5.5 Análisis de doble masa de las precipitaciones anuales (mm) - Grupo N° 4

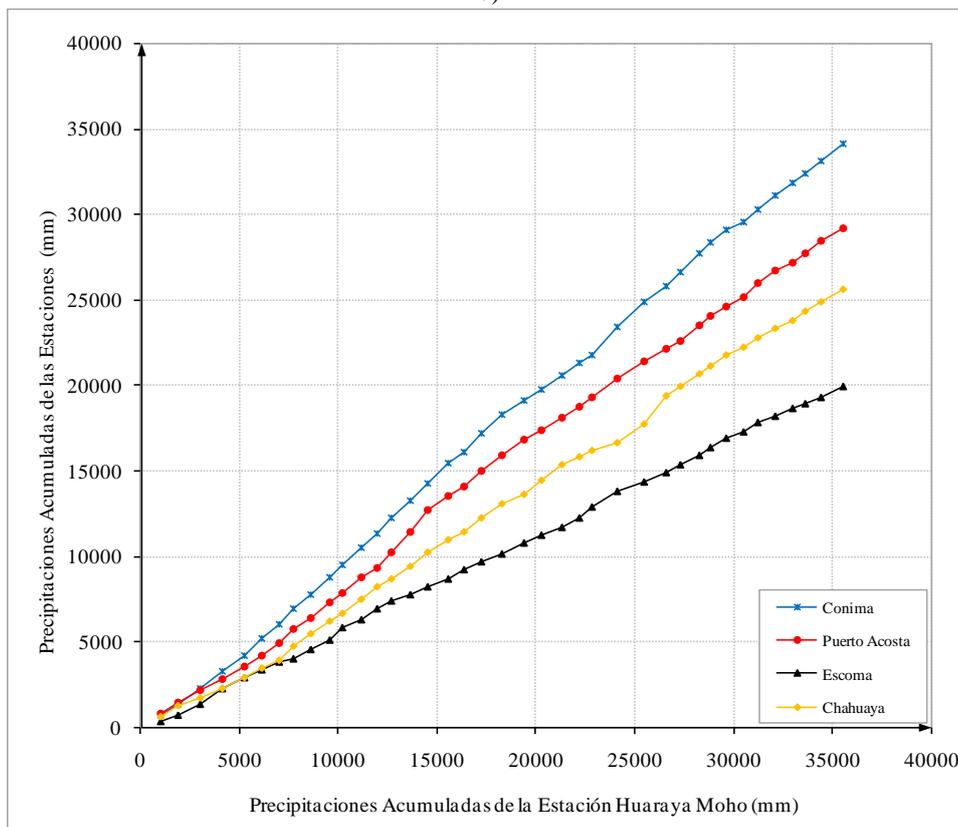
m	Año	Estaciones										Promedio	
		Conima		Puerto Acosta		Escoma		Chahuaya		Huaraya Moho			
		P	Pacumul	P	Pacumul	P	Pacumul	P	Pacumul	P	Pacumul	P	Pacumul
1	1959	739.5	739.5	794.1	794.1	309.6	309.6	666.2	666.2	993.0	993.0	700.5	700.5
2	1960	630.0	1369.5	664.2	1458.3	418.6	728.2	563.4	1229.6	896.5	1889.5	634.5	1335.0
3	1961	863.4	2232.9	764.2	2222.5	643.8	1372.0	479.2	1708.8	1120.2	3009.7	774.2	2109.2
4	1962	1027.3	3260.2	614.5	2837.0	893.0	2265.0	523.9	2232.7	1140.0	4149.7	839.7	2948.9
5	1963	985.4	4245.6	732.3	3569.3	636.0	2901.0	662.4	2895.1	1119.7	5269.4	827.2	3776.1
6	1964	923.2	5168.8	606.0	4175.3	511.0	3412.0	596.5	3491.6	836.1	6105.5	694.6	4470.7
7	1965	857.0	6025.8	766.7	4942.0	432.0	3844.0	465.6	3957.2	868.7	6974.2	678.0	5148.7
8	1966	940.1	6965.9	813.0	5755.0	162.0	4006.0	781.5	4738.7	726.7	7700.9	684.7	5833.4
9	1967	795.3	7761.2	610.2	6365.2	520.0	4526.0	715.1	5453.8	895.9	8596.8	707.3	6540.7
10	1968	999.4	8760.6	956.4	7321.6	584.1	5110.1	793.6	6247.4	947.2	9544.0	856.1	7396.8
11	1969	707.0	9467.6	500.2	7821.8	705.3	5815.4	422.0	6669.4	681.7	10225.7	603.2	8000.0
12	1970	1059.6	10527.2	920.2	8742.0	522.1	6337.5	802.7	7472.1	901.8	11127.5	841.3	8841.3
13	1971	800.0	11327.2	553.9	9295.9	620.4	6957.9	798.1	8270.2	842.3	11969.8	722.9	9564.2
14	1972	962.0	12289.2	935.5	10231.4	456.2	7414.1	452.8	8723.0	708.9	12678.7	703.1	10267.3
15	1973	942.9	13232.1	1185.6	11417.0	387.6	7801.7	673.9	9396.9	926.2	13604.9	823.2	11090.5
16	1974	1072.8	14304.9	1291.5	12708.5	412.9	8214.6	827.5	10224.4	926.3	14531.2	906.2	11996.7
17	1975	1118.9	15423.8	842.2	13550.7	476.9	8691.5	752.2	10976.6	1030.9	15562.1	844.2	12840.9
18	1976	702.0	16125.8	576.8	14127.5	504.0	9195.5	480.6	11457.2	820.1	16382.2	616.7	13457.6
19	1977	1069.9	17195.7	842.9	14970.4	476.1	9671.6	805.8	12263.0	881.7	17263.9	815.3	14272.9
20	1978	1115.0	18310.7	953.6	15924.0	447.1	10118.7	814.8	13077.8	1041.1	18305.0	874.3	15147.2
21	1979	847.0	19157.7	919.0	16843.0	698.3	10817.0	563.1	13640.9	1094.3	19399.3	824.3	15971.5
22	1980	589.2	19746.9	541.9	17384.9	397.1	11214.1	815.7	14456.6	860.7	20260.0	640.9	16612.4
23	1981	885.4	20632.3	761.5	18146.4	451.4	11665.5	887.4	15344.0	1064.4	21324.4	810.0	17422.4
24	1982	719.7	21352.0	637.6	18784.0	622.4	12287.9	502.6	15846.6	870.7	22195.1	670.6	18093.0
25	1983	391.0	21743.0	563.6	19347.6	582.0	12869.9	341.6	16188.2	607.3	22802.4	497.1	18590.1
26	1984	1712.9	23455.9	1077.8	20425.4	909.1	13779.0	455.9	16644.1	1274.3	24076.7	1086.0	19676.1
27	1985	1409.3	24865.2	969.8	21395.2	595.1	14374.1	1113.0	17757.1	1383.4	25460.1	1094.1	20770.2
28	1986	971.1	25836.3	705.0	22100.2	499.4	14873.5	1664.0	19421.1	1104.4	26564.5	988.8	21759.0
29	1987	808.9	26645.2	542.2	22642.4	516.5	15390.0	536.2	19957.3	767.2	27331.7	634.2	22393.2
30	1988	1044.5	27689.7	844.5	23486.9	497.3	15887.3	690.1	20647.4	939.9	28271.6	803.3	23196.5
31	1989	646.0	28335.7	566.9	24053.8	477.4	16364.7	497.1	21144.5	556.5	28828.1	548.8	23745.3
32	1990	742.1	29077.8	576.4	24630.2	605.5	16970.2	599.4	21743.9	831.9	29660.0	671.1	24416.4
33	1991	484.2	29562.0	537.8	25168.0	348.6	17318.8	518.8	22262.7	857.8	30517.8	549.4	24965.8
34	1992	730.0	30292.0	826.4	25994.4	513.0	17831.8	518.5	22781.2	720.1	31237.9	661.6	25627.4
35	1993	808.3	31100.3	685.2	26679.6	372.9	18204.7	587.0	23368.2	870.8	32108.7	664.8	26292.2
36	1994	717.7	31818.0	478.5	27158.1	426.7	18631.4	393.3	23761.5	839.0	32947.7	571.0	26863.2
37	1995	575.7	32393.7	540.9	27699.0	269.5	18900.9	579.1	24340.6	698.5	33646.2	532.7	27395.9
38	1996	780.7	33174.4	803.5	28502.5	448.6	19349.5	525.7	24866.3	787.0	34433.2	669.1	28065.0
39	1997	976.8	34151.2	683.1	29185.6	618.2	19967.7	732.1	25598.4	1098.9	35532.1	821.8	28886.8

(Datos faltantes se completó por correlación con la información de las estaciones vecinas, sólo para el análisis de doble masa).

Figura N° 5.8 Diagrama de doble masa de las precipitaciones anuales - Grupo N° 4
a)



b)



C.- Análisis estadístico

☞ Análisis de Saltos

Después de haber analizado los hidrogramas originales y los diagramas de doble masa se obtiene los períodos de posible corrección y los períodos de datos que se mantendrán con sus valores originales, se procede al análisis estadístico de *Saltos*, en los parámetros como la media y la desviación estándar.

La consistencia en la media se realiza mediante la prueba estadística "T" de Students y para la desviación estándar el análisis estadístico consiste en probar, mediante la prueba estadística de "F" de Fisher. Si los parámetros la media y la desviación estándar de los períodos considerados en el análisis son iguales estadísticamente, entonces no se corrige la información de lo contrario se debe corregirse. Después de todo el análisis respectivo la información es una serie homogénea, confiable y consistente al 95% de probabilidad.

En este caso, según el análisis realizado en forma mensual se obtiene que la serie mensual de precipitaciones de las estaciones consideradas en el presente estudio no muestran "Saltos" significativos en los parámetros analizados (media y desviación estándar) en todas las estaciones consideradas, para su posible corrección, sin embargo no se corrige dichas informaciones.

A continuación se muestran los cuadros del análisis respectivo.

Cuadro N° 5.6 Análisis de saltos de las precipitaciones mensuales - Grupo N° 1

ESTACIÓN	PERÍODO DE ANÁLISIS		NÚMERO DE DATOS, PROMEDIO Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR			CONSISTENCIA EN LA MEDIA				CONSISTENCIA EN LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR			
			N° Datos	Promedio	Desv.Est.	T calculada Tc	T tabla (95%) Tt	Comparación	Diferencia Significativa	F calculada Fc	F tabla (95%) Ft	Comparación	Diferencia Significativa
Arapa	n ₁ , PD	1964-1984	251	57.28	58.13	0.3295	1.9643	Tc < Tt	NO	1.0306	1.2206	Fc < Ft	NO
	n ₂ , PC	1985-2009	296	55.65	57.26								
Huancané	n ₁ , PD	1964-1983	236	53.29	58.20	-0.7768	1.9643	Tc < Tt	NO	1.0281	1.2211	Fc < Ft	NO
	n ₂ , PC	1984-2009	312	57.16	57.40								
Huaraya Moho	n ₁ , PC	1956-1984	302	77.07	78.56	1.1234	1.9639	Tc < Tt	NO	1.1709	1.2100	Fc < Ft	NO
	n ₂ , PD	1985-2009	298	70.13	72.60								
Taraco	n ₁ , PD	1963-1984	256	45.95	51.13	-1.3313	1.9643	Tc < Tt	NO	1.2198	1.2210	Fc < Ft	NO
	n ₂ , PC	1985-2009	299	52.08	56.47								

Cuadro N° 5.7 Análisis de saltos de las precipitaciones mensuales - Grupo N° 2

ESTACIÓN	PERÍODO DE ANÁLISIS		NÚMERO DE DATOS, PROMEDIO Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR			CONSISTENCIA EN LA MEDIA				CONSISTENCIA EN LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR			
			N° Datos	Promedio	Desv.Est.	T calculada Tc	T tabla (95%) Tt	Comparación	Diferencia Significativa	F calculada Fc	F tabla (95%) Ft	Comparación	Diferencia Significativa
Azángaro	n ₁ , PC	1956-1987	301	49.57	50.63	-0.1961	1.9646	Tc < Tt	NO	1.0740	1.2293	Fc < Ft	NO
	n ₂ , PD	1989-2009	215	50.47	52.47								
Muñani	n ₁ , PD	1965-1999	409	53.01	60.24	-0.3272	1.9645	Tc < Tt	NO	1.1284	1.2872	Fc < Ft	NO
	n ₂ , PC	2000-2009	120	55.03	56.71								
Progreso	n ₁ , PC	1964-1984	242	49.58	48.78	-0.6485	1.9645	Tc < Tt	NO	1.1961	1.2269	Fc < Ft	NO
	n ₂ , PD	1985-2009	289	52.48	53.35								
Putina	n ₁ , PD	1956-1983	320	56.37	55.66	-0.2162	1.9637	Tc < Tt	NO	1.0112	1.2038	Fc < Ft	NO
	n ₂ , PC	1984-2009	312	57.33	55.97								

Cuadro N° 5.8 Análisis de saltos de las precipitaciones mensuales - Grupo N° 3

ESTACIÓN	PERÍODO DE ANÁLISIS		NÚMERO DE DATOS, PROMEDIO Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR			CONSISTENCIA EN LA MEDIA				CONSISTENCIA EN LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR			
			N° Datos	Promedio	Desv.Est.	T calculada Tc	T tabla (95%) Tt	Comparación	Diferencia Significativa	F calculada Fc	F tabla (95%) Ft	Comparación	Diferencia Significativa
Ananea	n ₁ , PC	1963-1991	315	53.85	47.62	0.6769	1.9645	[Tc] < Tt	NO	1.0574	1.2324	Fc < Ft	NO
	n ₂ , PD	1992-2009	215	51.03	46.31								
Cojata	n ₁ , PC	1956-1983	314	61.59	58.00	0.0066	1.9638	[Tc] < Tt	NO	1.0816	1.2057	Fc < Ft	NO
	n ₂ , PD	1984-2009	309	61.56	55.77								
Crucero	n ₁ , PC	1956-1991	425	67.68	67.13	1.6059	1.9637	[Tc] < Tt	NO	1.0383	1.2207	Fc < Ft	NO
	n ₂ , PD	1992-2009	214	58.70	65.88								
Suches	n ₁ , PD	1975-1981	79	51.46	50.12	1.1471	1.9711	[Tc] < Tt	NO	1.3190	1.3811	Fc < Ft	NO
	n ₂ , PC	1982-1993	138	44.00	43.64								

Cuadro N° 5.9 Análisis de saltos de las precipitaciones mensuales - Grupo N° 4

ESTACIÓN	PERÍODO DE ANÁLISIS		NÚMERO DE DATOS, PROMEDIO Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR			CONSISTENCIA EN LA MEDIA				CONSISTENCIA EN LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR			
			N° Datos	Promedio	Desv.Est.	T calculada Tc	T tabla (95%) Tt	Comparación	Diferencia Significativa	F calculada Fc	F tabla (95%) Ft	Comparación	Diferencia Significativa
Conima	n ₁ , PD	1967-1979	156	78.15	81.00	0.6111	1.9676	[Tc] < Tt	NO	1.0665	1.3026	Fc < Ft	NO
	n ₂ , PC	1980-1993	158	72.47	83.65								
Puerto Acosta	n ₁ , PD	1973-1979	126	65.43	64.12	1.3709	1.9690	[Tc] < Tt	NO	1.2879	1.3310	Fc < Ft	NO
	n ₂ , PC	1980-1997	141	55.31	56.50								
Escoma	n ₁ , PD	1959-1967	94	31.07	40.66	-1.8896	1.9697	[Tc] < Tt	NO	1.0453	1.3506	Fc < Ft	NO
	n ₂ , PC	1970-1987	154	40.99	39.77								
Chahuaya	n ₁ , PD	1979-1985	67	56.88	71.04	0.0299	1.9772	[Tc] < Tt	NO	1.1280	1.4920	Fc < Ft	NO
	n ₂ , PC	1986-1992	74	56.51	75.45								

☞ Análisis de Tendencias

Una vez analizado los Saltos tanto en la media y desviación estándar de la información pluviométrica se procedió a evaluar las *Tendencias* en los dos parámetros determinísticos. Para saber si la tendencia es significativa o no, se analiza el coeficiente de correlación "R" mediante la prueba estadística de T de Students. Generalmente la tendencia en la desviación se presenta en los datos semanales o mensuales pero no en datos anuales.

En este caso, según el análisis realizado en forma mensual se obtiene que la serie mensual de precipitaciones de las estaciones consideradas en el presente estudio no muestran "Tendencias" significativas en los parámetros analizados (media y desviación estándar) en todas las estaciones consideradas, para su posible corrección, sin embargo no se corrige dichas informaciones.

Cuadro N° 5.10 Análisis de tendencias de las precipitaciones mensuales - Grupo N° 1

ESTACIÓN	TENDENCIA EN LA:	MEDIA, DESVEST, COEFICIENTES DE REGRESIÓN Y NÚMERO DE DATOS DE LAS TENDENCIAS EN LA MEDIA Y EN LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR							ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA TENDENCIA EN LA MEDIA Y EN LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR			
		Parámetros		Coeficientes de Regresión			Coeficiente de Correlación R	Número de Datos N	Estadístico T		Comparación	Tendencia Significativa
		Media	Desv.Est.	Am	Bm	Cm			T calculada Tc	T tabla (95%) Tt		
Arapa	Media (Tm)	56.40	57.62	57.2768	-0.0032	-	-0.0088	547	-0.2054	1.9643	[Tc] < Tt	NO
	Desv.Est (Ts)	55.45	14.69	54.6822	0.0349	-	0.0298	43	0.1909	2.0181	[Tc] < Tt	NO
Huancané	Media (Tm)	55.49	57.72	54.8312	0.0024	-	0.0067	548	0.1566	1.9643	[Tc] < Tt	NO
	Desv.Est (Ts)	58.17	12.21	60.1005	-0.0858	-	-0.0903	44	-0.5876	2.0167	[Tc] < Tt	NO
Huaraya Moho	Media (Tm)	73.62	75.68	81.3729	-0.0258	-	-0.0590	600	-1.4453	1.9639	[Tc] < Tt	NO
	Desv.Est (Ts)	73.84	19.31	76.4524	-0.1244	-	-0.0772	41	-0.4836	2.0211	[Tc] < Tt	NO
Taraco	Media (Tm)	49.25	54.11	47.6654	0.0057	-	0.0170	555	0.3998	1.9643	[Tc] < Tt	NO
	Desv.Est (Ts)	52.38	14.32	50.8643	0.0659	-	0.0604	45	0.3968	2.0154	[Tc] < Tt	NO

Cuadro N° 5.11 Análisis de tendencias de las precipitaciones mensuales - Grupo N° 2

ESTACIÓN	TENDENCIA EN LA:	MEDIA, DESVEST, COEFICIENTES DE REGRESIÓN Y NÚMERO DE DATOS DE LAS TENDENCIAS EN LA MEDIA Y EN LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR							ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA TENDENCIA EN LA MEDIA Y EN LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR			
		Parámetros		Coeficientes de Regresión			Coeficiente de Correlación R	Número de Datos N	Estadístico T		Comparación	Tendencia Significativa
		Media	Desv.Est.	Am	Bm	Cm			T calculada Tc	T tabla (95%) Tt		
Azángaro	Media (Tm)	49.95	51.36	49.6657	0.0011	-	0.0032	516	0.0725	1.9646	Tc < Tt	NO
	Desv.Est (Ts)	51.30	11.23	50.1588	0.0634	-	0.0579	35	0.3332	2.0322	Tc < Tt	NO
Muñani	Media (Tm)	53.47	59.41	52.6750	0.0030	-	0.0078	529	0.1791	1.9645	Tc < Tt	NO
	Desv.Est (Ts)	53.64	14.39	51.8442	0.0876	-	0.0712	40	0.4400	2.0227	Tc < Tt	NO
Progreso	Media (Tm)	51.16	51.29	50.3620	0.0030	-	0.0089	531	0.2047	1.9644	Tc < Tt	NO
	Desv.Est (Ts)	51.43	9.64	47.8390	0.1710	-	0.2125	41	1.3581	2.0211	Tc < Tt	NO
Putina	Media (Tm)	56.84	55.77	59.2454	-0.0076	-	-0.0249	632	-0.6252	1.9637	Tc < Tt	NO
	Desv.Est (Ts)	55.91	11.81	59.2604	-0.1396	-	-0.1621	47	-1.1020	2.0129	Tc < Tt	NO

Cuadro N° 5.12 Análisis de tendencias de las precipitaciones mensuales - Grupo N° 3

ESTACIÓN	TENDENCIA EN LA:	MEDIA, DESVEST, COEFICIENTES DE REGRESIÓN Y NÚMERO DE DATOS DE LAS TENDENCIAS EN LA MEDIA Y EN LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR							ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA TENDENCIA EN LA MEDIA Y EN LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR			
		Parámetros		Coeficientes de Regresión			Coeficiente de Correlación R	Número de Datos N	Estadístico T		Comparación	Tendencia Significativa
		Media	Desv.Est.	Am	Bm	Cm			T calculada Tc	T tabla (95%) Tt		
Ananea	Media (Tm)	52.71	47.07	52.3649	0.0013	-	0.0043	530	0.0988	1.9645	Tc < Tt	NO
	Desv.Est (Ts)	47.77	9.81	47.6948	0.0035	-	0.0044	42	0.0278	2.0195	Tc < Tt	NO
Cojata	Media (Tm)	61.57	56.86	64.6276	-0.0098	-	-0.0311	623	-0.7754	1.9638	Tc < Tt	NO
	Desv.Est (Ts)	55.34	14.12	53.8406	0.0612	-	0.0607	48	0.4124	2.0117	Tc < Tt	NO
Crucero	Media (Tm)	64.67	66.80	64.3820	0.0009	-	0.0026	639	0.0656	1.9637	Tc < Tt	NO
	Desv.Est (Ts)	63.09	22.51	64.0300	-0.0376	-	-0.0239	49	-0.1639	2.0106	Tc < Tt	NO
Suches	Media (Tm)	46.71	46.13	54.0130	-0.0670	-	-0.0912	217	-1.3429	1.9710	Tc < Tt	NO
	Desv.Est (Ts)	45.69	12.23	51.6630	-0.7964	-	-0.2722	14	-0.9799	2.1604	Tc < Tt	NO

Cuadro N° 5.13 Análisis de tendencias de las precipitaciones mensuales - Grupo N° 4

ESTACIÓN	TENDENCIA EN LA:	MEDIA, DESVEST, COEFICIENTES DE REGRESIÓN Y NÚMERO DE DATOS DE LAS TENDENCIAS EN LA MEDIA Y EN LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR							ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA TENDENCIA EN LA MEDIA Y EN LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR			
		Parámetros		Coeficientes de Regresión			Coeficiente de Correlación R	Número de Datos N	Estadístico T		Comparación	Tendencia Significativa
		Media	Desv.Est.	Am	Bm	Cm			T calculada Tc	T tabla (95%) Tt		
Conima	Media (Tm)	75.29	82.26	80.7553	-0.0347	-	-0.0383	314	-0.6770	1.9676	Tc < Tt	NO
	Desv.Est (Ts)	77.82	26.77	84.3700	-0.5240	-	-0.1384	24	-0.6555	2.0687	Tc < Tt	NO
Puerto Acosta	Media (Tm)	58.60	57.96	69.3996	-0.0812	-	-0.1074	265	-1.7519	1.9690	Tc < Tt	NO
	Desv.Est (Ts)	67.32	31.79	92.1986	-2.6188	-	-0.4399	18	-1.9594	2.1098	Tc < Tt	NO
Escoma	Media (Tm)	41.27	51.59	42.7501	-0.0117	-	-0.0165	252	-0.2609	1.9695	Tc < Tt	NO
	Desv.Est (Ts)	43.19	12.47	49.7448	-0.9364	-	-0.2921	13	-1.0130	2.1788	Tc < Tt	NO
Chahuaya	Media (Tm)	59.97	82.72	72.6756	-0.1777	-	-0.0884	142	-1.0501	1.9769	Tc < Tt	NO
	Desv.Est (Ts)	49.36	20.57	62.2725	-2.5825	-	-0.3440	9	-0.9693	2.3060	Tc < Tt	NO

En general, después de haber evaluado con los tres métodos de análisis, la información pluviométrica de precipitaciones mensuales históricas consideradas en el presente estudio, es libre de saltos y tendencias, es serie homogénea, consistente y confiable al 95% de probabilidad. Por lo tanto, se puede utilizar para su completación y extensión de registros, y su uso para propósitos múltiples.

5.4 COMPLETACIÓN Y EXTENSIÓN DE LA INFORMACIÓN PLUVIOMÉTRICA

La completación y extensión de la información pluviométrica, se realiza con el fin de obtener una serie completa y de un período uniforme.

Para la completación y extensión de la información pluviométrica, se ha utilizado el software hidrológico denominado Hec-4 Monthly Streamflow Simulation, desarrollado por el Hydrologic Engineering Center de los Estados Unidos de América.

La completación y extensión de registros de la información pluviométrica, se ha desarrollado utilizando la información consistente y confiable obtenida en el análisis anterior. Los registros de precipitaciones mensuales de las estaciones consideradas en el presente estudio, se han completado y extendido del período 1956-2009. En los Cuadros N° 5.14 y 5.15, se muestran la información del promedio multimensual y serie anual de las precipitaciones completadas y extendidas.

Cuadro N° 5.14 Precipitación total mensual (mm) – Promedio multimensual (1956-2009)
Estaciones de las cuencas Huancané, Suches y cuencas vecinas

Estación	Altitud (msnm)	Mes												Total Anual
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Huancané	3840.0	140.4	109.6	102.1	42.6	12.0	4.4	3.6	10.6	30.7	46.9	63.4	111.4	677.7
Putina	3856.0	147.8	105.3	101.5	52.5	13.4	4.9	3.9	8.7	30.6	48.3	73.5	102.8	693.2
Muñani	3948.0	142.3	109.5	90.4	43.8	9.8	3.7	2.4	6.2	25.9	43.1	63.0	104.3	644.4
Huaraya Moho	3832.0	200.2	141.7	120.5	57.8	21.8	8.1	7.0	16.5	46.3	57.8	73.0	134.4	885.1
Cojata	4327.0	145.7	118.2	107.3	57.1	17.3	8.8	6.5	16.9	37.1	57.3	67.8	103.6	743.6
Suches	4655.0	104.2	85.0	89.8	39.9	12.0	3.6	4.3	8.6	28.6	41.3	53.3	70.2	540.8
Ananea	4640.0	122.3	100.0	87.5	44.6	18.5	6.4	11.8	14.9	24.7	45.8	56.5	88.7	621.7
Crucero	4130.0	152.5	135.9	114.4	56.6	18.1	6.7	4.7	11.7	32.6	52.7	78.6	119.0	783.5
Progreso	3940.0	129.3	98.4	99.8	42.5	8.8	1.8	2.6	6.2	20.2	43.2	67.3	94.4	614.5
Azángaro	3848.0	126.2	95.8	90.9	41.8	8.1	3.0	1.9	8.1	25.3	42.1	72.4	93.8	609.4
Arapa	3830.0	146.8	109.8	114.5	52.0	12.7	5.9	3.2	12.2	30.2	49.0	61.3	98.2	695.8
Taraco	3820.0	134.6	99.8	89.5	39.7	6.6	4.7	1.9	8.8	26.1	36.9	51.3	91.4	591.3
Conima	3860.0	207.8	143.6	133.2	70.6	11.2	6.6	8.6	10.8	33.9	50.3	57.4	122.4	856.4
Puerto Acosta	3835.0	146.1	122.9	84.7	52.8	23.2	11.7	8.9	20.4	44.6	50.4	63.1	97.9	726.7
Escoma	3828.0	94.9	80.2	82.5	41.8	23.8	4.0	4.7	9.6	31.5	24.6	30.4	65.6	493.6
Chahuaya	4500.0	163.0	91.2	89.2	37.5	19.0	8.0	10.0	12.4	31.0	34.4	50.2	105.8	651.6

Figura N° 5.9 Variación mensual de la precipitación (mm) – Promedio multimensual (1956-2009)
Estaciones de las cuencas Huancané, Suches y cuencas vecinas

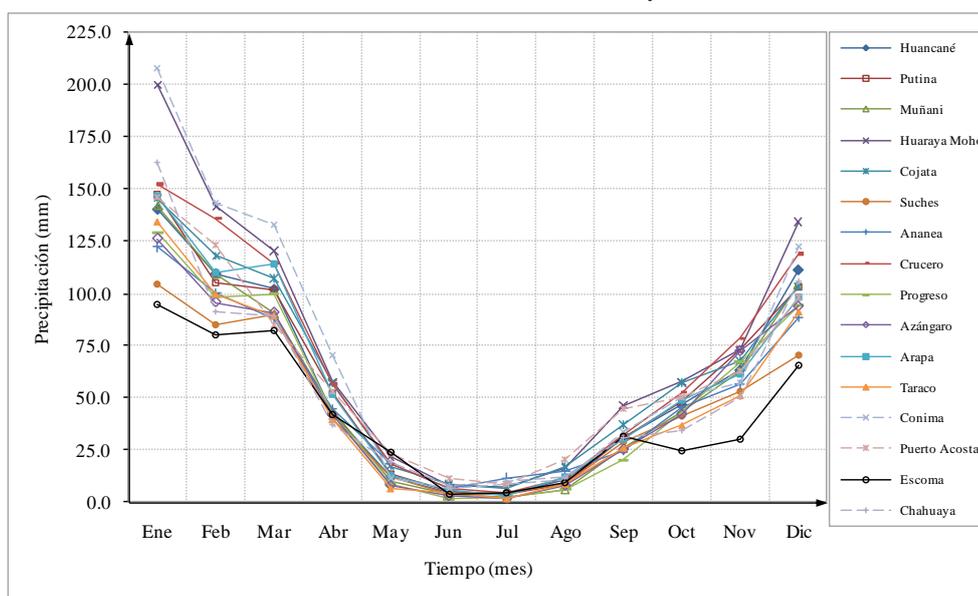
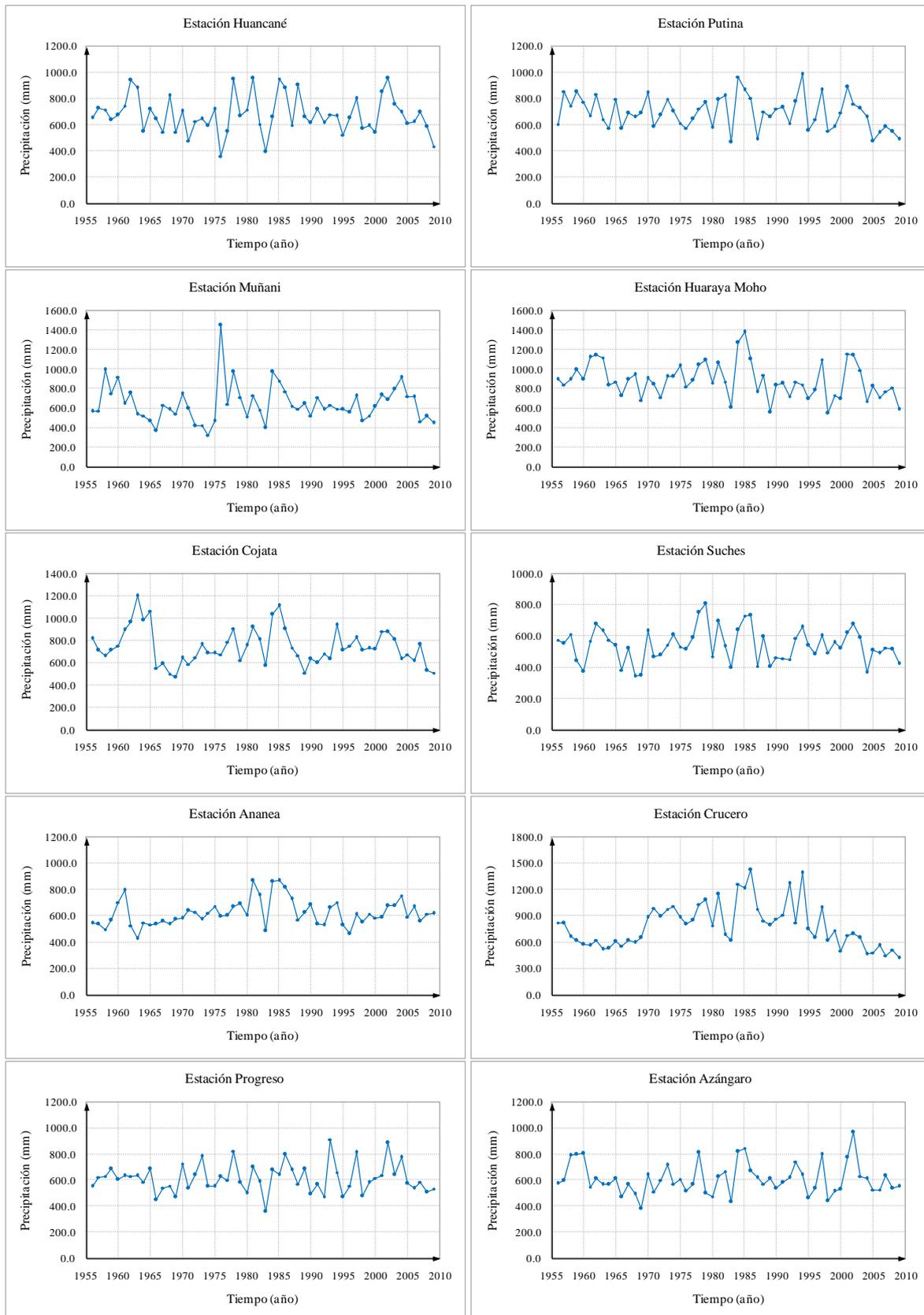
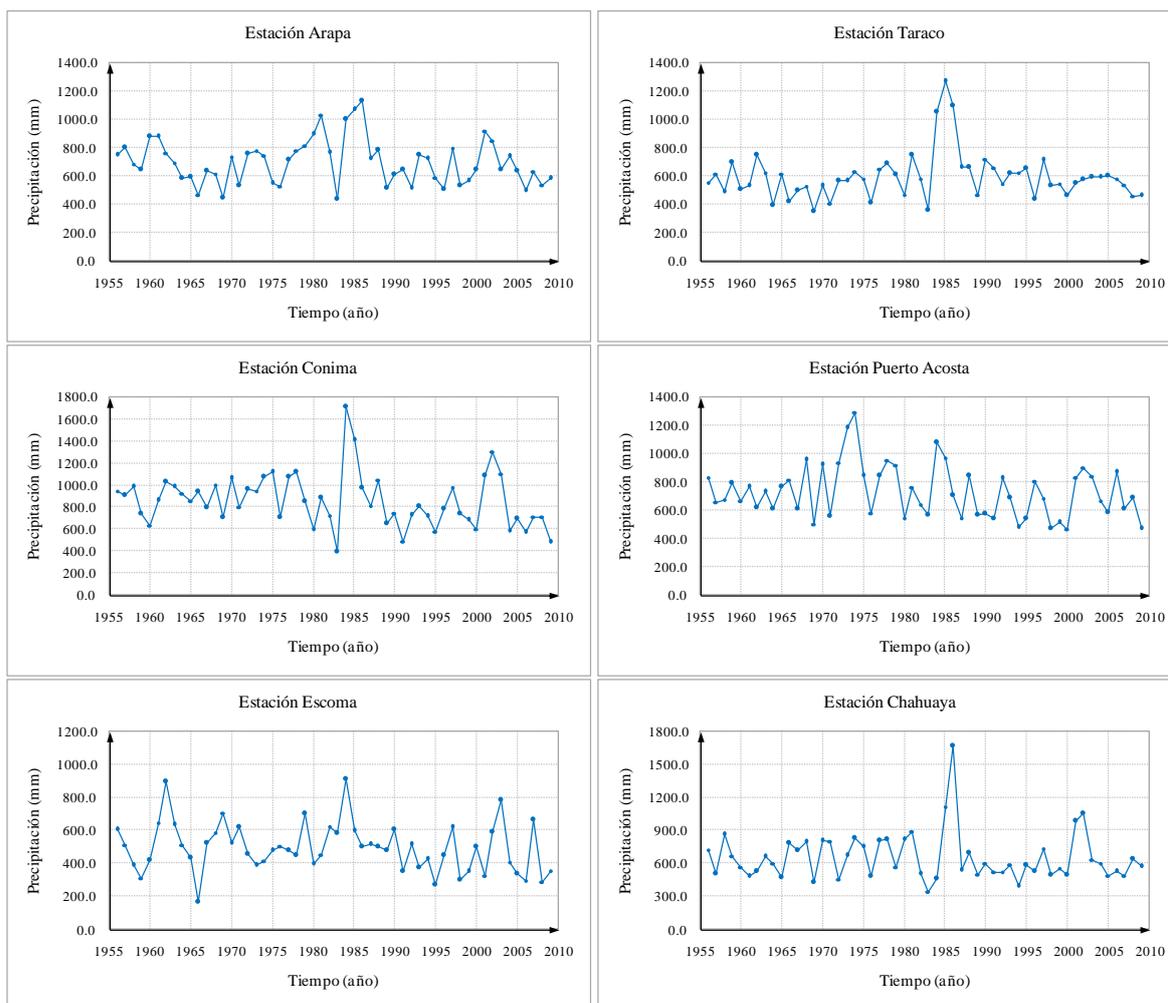


Figura N° 5.10 Serie anual de precipitaciones - Estaciones meteorológicas de las cuencas Huancané-Suches y cuencas vecinas





Los registros completados y extendidos de las precipitaciones mensuales de las estaciones meteorológicas consideradas en el presente estudio, se muestran en el Anexo 1.

5.5 PRECIPITACIÓN AREAL DE LA CUENCA

Es aquella precipitación hidrológica que cae sobre una cuenca determinada. Esta precipitación se puede calcular mediante los métodos de media aritmética, polígonos de Thiessen, las Isoyetas, polígonos de Thiessen modificado y el inverso de la distancia al cuadrado, los más usados en hidrología. A continuación se describe los métodos de Polígonos de Thiessen y Polígonos de Thiessen Modificado.

Método de Polígonos de Thiessen

Este método establece que en cualquier punto de la cuenca la precipitación es igual a la que se registra en el pluviómetro más cercano; luego la profundidad registrada en un pluviómetro dado se aplica hasta la mitad de la distancia a la siguiente estación pluviométrica en cualquier dirección. Los pesos relativos de cada pluviómetro se determinan de las correspondientes áreas de influencia en una red de *polígonos de Thiessen*, cuyas fronteras están formadas por los bisectores perpendiculares a las líneas que unen pluviómetros adyacentes.

$$P_m = \frac{1}{A_T} \sum_{i=1}^n A_i P_i$$

Donde:

P_m	=	Precipitación areal de la cuenca.
P_i	=	Precipitación registrada en la estación i.
A_i	=	Área de influencia de la estación i.
A_T	=	Área total de la cuenca.
n	=	Número de estaciones de análisis.

El método de Thiessen generalmente es más exacto que el método de la media aritmética, pero es inflexible, debido a que se tiene que construir una nueva red de Thiessen cada vez que haya un cambio en la red de pluviómetros, tal como ocurre cuando falta información en alguno de ellos. Además, el método de Thiessen no tiene en cuenta en forma directa las influencias de la orografía en la lluvia.

Método de Polígonos de Thiessen Modificado

Está basado en una composición del método de las Isoyetas y los Polígonos de Thiessen. Cabe recalcar, que la precipitación de un área de influencia definida por los Polígonos de Thiessen, no guarda relación estricta con la precipitación de la estación involucrada; sin embargo, es posible asumir que la variación temporal que presenta la precipitación del área y la precipitación de la estación pluviométrica, posee cierto grado de uniformidad, por lo cual, la relación entre estos valores de precipitación tiende a mantenerse constante.

La información necesaria para el método de Polígonos de Thiessen Modificado, es la existencia previa de isoyetas. Esta información condiciona bastante a este método, debido a que su exactitud dependerá fuertemente de la calidad de esta información pluvial, ya sea en el grado de semejanza a la realidad que posean o en la cantidad de datos utilizada en su construcción, entre otros aspectos.

$$P_m = \sum_{i=1}^n \left[\left(\frac{P_{mai}}{P_{mei}} \right) \times P_{eaij} \times \left(\frac{S_i}{S_t} \right) \right]$$

Donde:

P_m	=	Precipitación media del área de estudio (mm).
P_{mai}	=	Precipitación media del área de influencia de la estación i.
P_{mei}	=	Precipitación media de la estación i.
P_{eaij}	=	Precipitación de la estación del área de influencia i, en el período j.
S_i	=	Superficie del área de influencia de la estación i.
S_t	=	Superficie total del área de estudio.

$$P_m = \sum_{i=1}^n [K_i \times P_{eaij} \times R_i]$$

K_i = Constante de proporcionalidad de precipitaciones de la estación i .
 R_i = Constante de proporcionalidad de superficies de la estación i .

El valor de P_{mai} , se obtiene a partir de un mapa de isoyetas del área de estudio y el valor de P_{mei} , se obtiene como un promedio aritmético de los datos que posee la estación pluviométrica en análisis.

La constante K_i presenta valores mayor o igual a cero ($K_i \geq 0$), mientras la constante R_i , denota valores de $0 \leq R_i \leq 1$.

$$P_m = \sum_{i=1}^n [C_{ei} \times P_{eaij}]$$

C_{ei} = Coeficiente de la estación i .

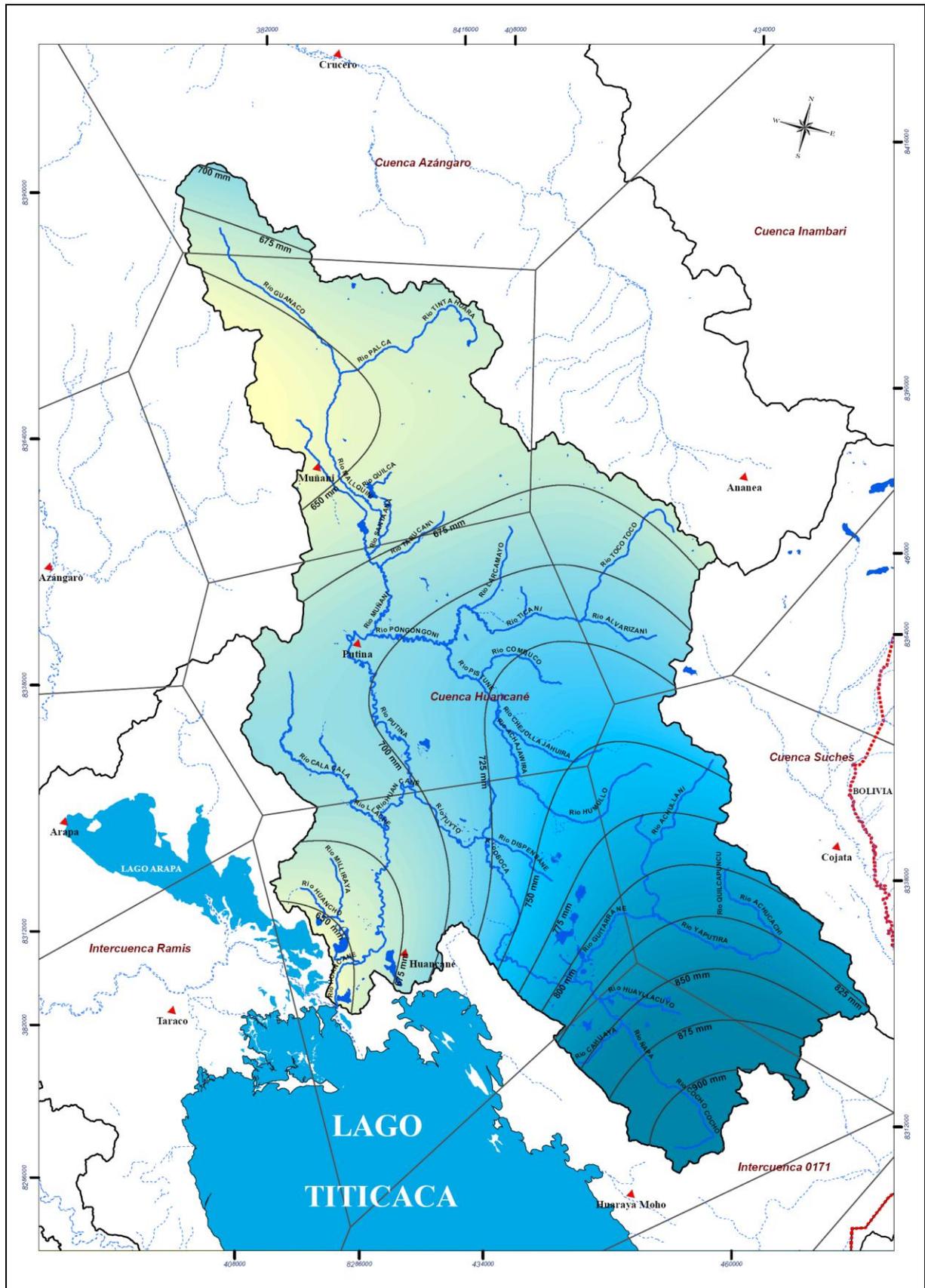
El coeficiente de la estación i (C_{pi}), se obtiene multiplicando la constante de proporcionalidad de la estación i (K_i) y la constante de proporcionalidad de superficies de la estación i (R_i).

En el plano hidrológico de las cuencas Huancané y Suches, con la ubicación de las estaciones meteorológicas se ha elaborado las isoyetas y los polígonos de Thiessen, tal como se muestra en los Mapas N° 5.2 a 5.5.

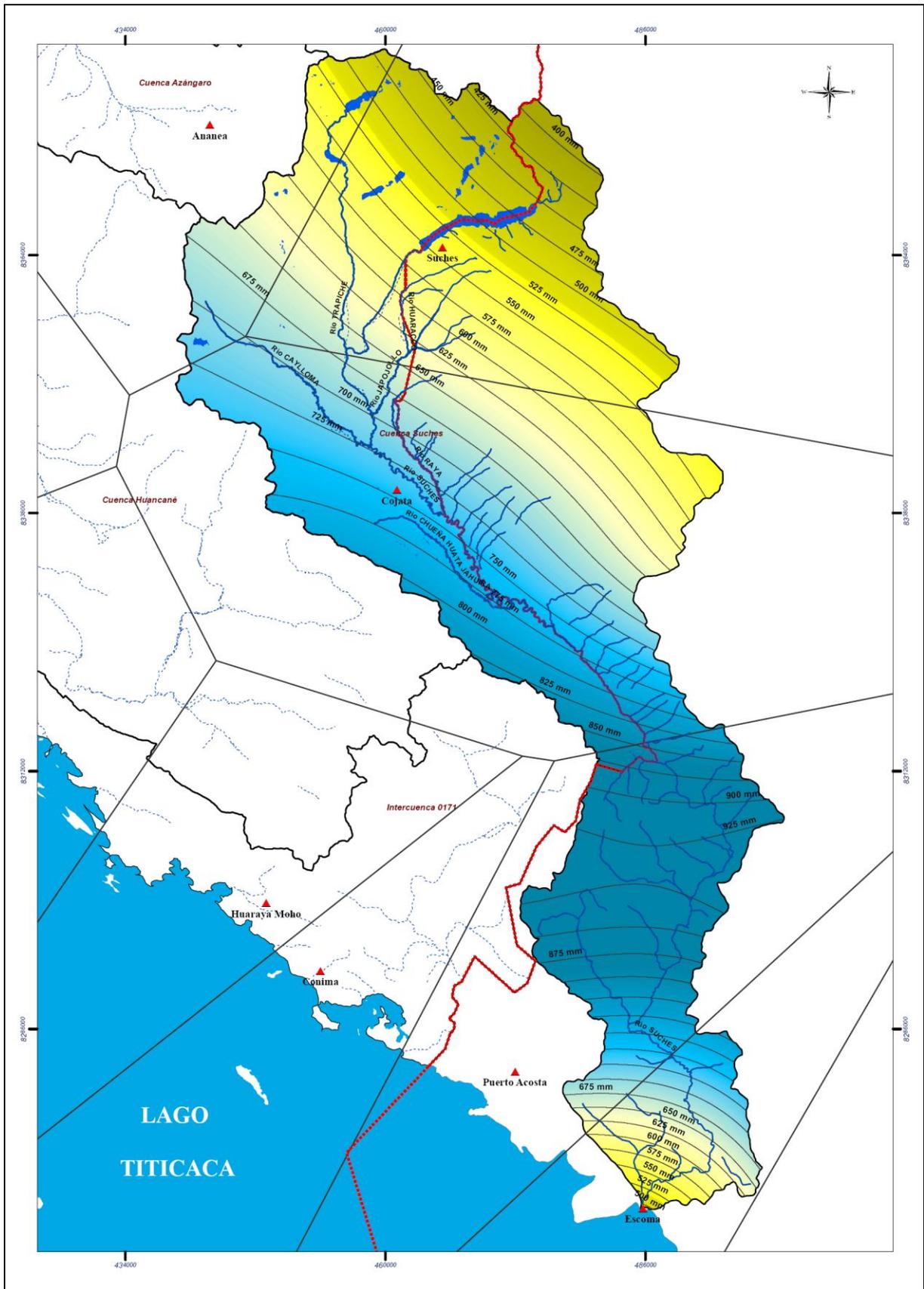
A partir de los mapas de isoyetas y polígonos de influencia de las estaciones meteorológicas, se ha obtenido los coeficientes de los métodos de Polígonos de Thiessen y Polígonos de Thiessen Modificado, tomando en consideración las subcuencas que aportan sus aguas en forma directa a las cuencas Huancané y Suches, y para las subcuencas de interés.

En los Cuadros N° 5.16 y 5.17, se muestran los coeficientes del método de Polígonos de Thiessen y Thiessen Modificado, de las estaciones meteorológicas de la cuenca del río Huancané y Suches.

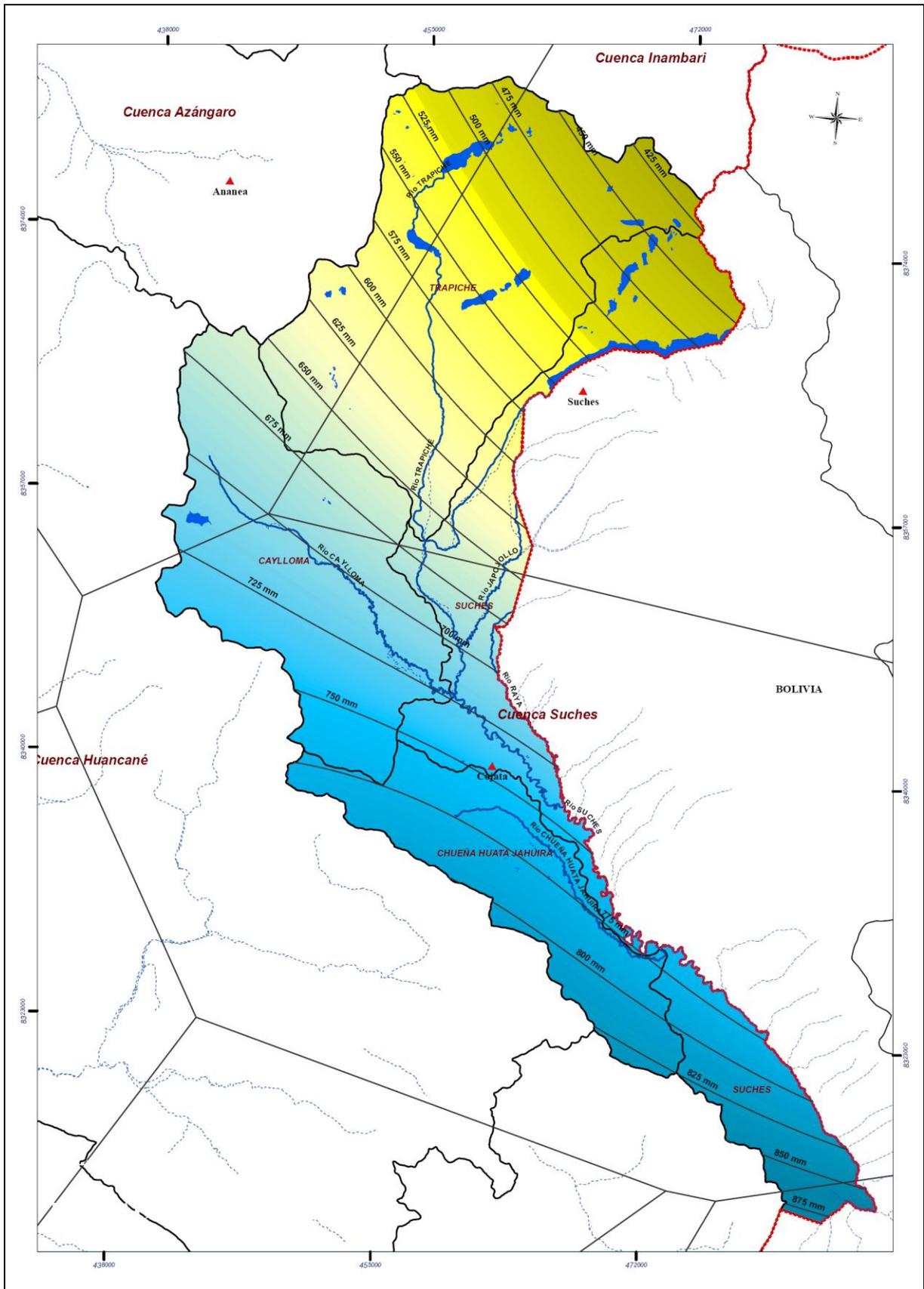
Mapa N° 5.2 Isoyetas y Polígonos de Thiessen – Cuenca Huancané



Mapa N° 5.4 Isoyetas y Polígonos de Thiessen – Cuenca Suches



Mapa N° 5.5 Isoyetas y Polígonos de Thiessen – Cuenca Suches (subcuencas)



Cuadro N° 5.16 Coeficientes del método de Polígonos de Thiessen y Thiessen Modificado de las estaciones meteorológicas de la cuenca del río Huancané

Cuenca del río Huancané (Puente Huancané)										
Superficie total de la cuenca (St) = 3511.10 km ²										
Estación	Isoyeta		Precipitación media entre isoyetas (mm)	Área entre isoyetas (km ²)	Pi*Si (mm*km ²)	Precipitación media del área de influencia de la estación (mm)	Precipitación media de la estación (mm)	Constante de proporcionalidad de precipitación de la estación	Constante de proporcionalidad de superficie de la estación	Coeficiente de la estación
	Inferior	Superior								
	(mm)	(mm)	Pi	Si	Sj	Pmai = Sj/Si	Pmei	Ki = Pmai/Pmei	Ri = Si/St	Cei = Ki*Ri
Crucero	650.0	675.0	662.5	37.36	24751.00	677.10	783.50	0.8642	0.02473	0.02137
	675.0	700.0	687.5	48.23	33158.13					
	700.0	725.0	712.5	1.24	883.50					
Sumatoria				86.83	58792.63					
Muñani	625.0	650.0	637.5	206.02	131337.75	656.10	644.40	1.01816	0.21182	0.21567
	650.0	675.0	662.5	521.50	345493.75					
	675.0	700.0	687.5	16.21	11144.38					
Sumatoria				743.73	487975.88					
Ananea	650.0	675.0	662.5	67.39	44645.88	694.10	621.70	1.11645	0.09384	0.10477
	675.0	700.0	687.5	137.11	94263.13					
	700.0	725.0	712.5	95.34	67929.75					
	725.0	750.0	737.5	29.65	21866.88					
Sumatoria				329.49	228705.64					
Putina	650.0	675.0	662.5	26.05	17258.13	703.60	693.20	1.01500	0.25816	0.26203
	675.0	700.0	687.5	432.79	297543.13					
	700.0	725.0	712.5	287.38	204758.25					
	725.0	750.0	737.5	156.86	115684.25					
	750.0	775.0	762.5	3.33	2539.13					
Sumatoria				906.41	637782.89					
Cojata	725.0	750.0	737.5	46.27	34124.13	806.70	743.60	1.08486	0.15723	0.17057
	750.0	775.0	762.5	101.14	77119.25					
	775.0	800.0	787.5	81.06	63834.75					
	800.0	825.0	812.5	124.14	100863.75					
	825.0	850.0	837.5	117.78	98640.75					
	850.0	875.0	862.5	68.21	58831.13					
	875.0	900.0	887.5	13.45	11936.88					
Sumatoria				552.05	445350.64					
Huancané	650.0	675.0	662.5	45.11	29885.38	735.70	677.70	1.08558	0.17088	0.18550
	675.0	700.0	687.5	138.38	95136.25					
	700.0	725.0	712.5	80.70	57498.75					
	725.0	750.0	737.5	95.94	70755.75					
	750.0	775.0	762.5	105.87	80725.88					
	775.0	800.0	787.5	70.61	55605.38					
	800.0	825.0	812.5	51.88	42152.50					
	825.0	850.0	837.5	11.50	9631.25					
Sumatoria				599.99	441391.14					
Huaraya Moho	800.0	825.0	812.5	0.25	203.13	881.90	885.10	0.99638	0.08334	0.08304
	825.0	850.0	837.5	39.68	33232.00					
	850.0	875.0	862.5	67.75	58434.38					
	875.0	900.0	887.5	104.05	92344.38					
	900.0	925.0	912.5	79.00	72087.50					
	925.0	950.0	937.5	1.87	1753.13					
Sumatoria				292.60	258054.52					
Área total de la cuenca = 3511.10 km ²										
Subcuenca Llache										
Superficie total de la cuenca (St) = 161.93 km ²										
Estación	Isoyeta		Precipitación media entre isoyetas (mm)	Área entre isoyetas (km ²)	Pi*Si (mm*km ²)	Precipitación media del área de influencia de la estación (mm)	Precipitación media de la estación (mm)	Constante de proporcionalidad de precipitación de la estación	Constante de proporcionalidad de superficie de la estación	Coeficiente de la estación
	Inferior	Superior								
	(mm)	(mm)	Pi	Si	Sj	Pmai = Sj/Si	Pmei	Ki = Pmai/Pmei	Ri = Si/St	Cei = Ki*Ri
Putina	650	675	662.5	0.06	39.75	687.50	693.20	0.99178	0.87958	0.87235
	675	700	687.5	142.37	97879.38					
Sumatoria				142.43	97919.13					
Huancané	675	700	687.5	19.50	13406.25	687.50	677.70	1.01446	0.12042	0.12216
Sumatoria				19.50	13406.25					
Área total de la cuenca = 161.93 km ²										

Subcuenca Tuyto										
Superficie total de la cuenca (S _T) = 1107.11 km ²										
Estación	Isoyeta		Precipitación media entre isoyetas (mm)	Área entre isoyetas (km ²)	Pi*Si (mm*km ²)	Precipitación media del área de influencia de la estación (mm)	Precipitación media de la estación (mm)	Constante de proporcionalidad de precipitación de la estación	Constante de proporcionalidad de superficie de la estación	Coeficiente de la estación
	Inferior	Superior								
	(mm)	(mm)	Pi	Si	Sj	Pmai = Sj/Si	Pmei	Ki = Pmai/Pmei	Ri = Si/St	Cei = Ki*Ri
Putina	675	700	687.5	0.76	522.50	719.70	693.20	1.03823	0.00617	0.00641
	700	725	712.5	3.33	2372.63					
	725	750	737.5	2.74	2020.75					
Sumatoria				6.83	4915.88					
Cojata	725	750	737.5	5.31	3916.13	819.33	743.60	1.10184	0.40403	0.44518
	750	775	762.5	38.08	29036.00					
	775	800	787.5	80.34	63267.75					
	800	825	812.5	124.14	100863.75					
	825	850	837.5	117.78	98640.75					
	850	875	862.5	68.21	58831.13					
875	900	887.5	13.45	11936.88						
Sumatoria				447.31	366492.39					
Huaraya - Moho	800	825	812.5	0.25	203.13	881.90	885.10	0.99638	0.26429	0.26333
	825	850	837.5	39.68	33232.00					
	850	875	862.5	67.75	58434.38					
	875	900	887.5	104.05	92344.38					
	900	925	912.5	79.00	72087.50					
925	950	937.5	1.87	1753.13						
Sumatoria				292.60	258054.52					
Huancané	675	700	687.5	13.73	9439.38	759.70	677.70	1.12100	0.32551	0.36490
	700	725	712.5	69.66	49632.75					
	725	750	737.5	69.02	50902.25					
	750	775	762.5	73.98	56409.75					
	775	800	787.5	70.61	55605.38					
	800	825	812.5	51.88	42152.50					
	825	850	837.5	11.49	9622.88					
Sumatoria				360.37	273764.89					
Área total de la cuenca = 1107.11 km ²										

Subcuenca Muñani										
Superficie total de la cuenca (S _T) = 889.44 km ²										
Estación	Isoyeta		Precipitación media entre isoyetas (mm)	Área entre isoyetas (km ²)	Pi*Si (mm*km ²)	Precipitación media del área de influencia de la estación (mm)	Precipitación media de la estación (mm)	Constante de proporcionalidad de precipitación de la estación	Constante de proporcionalidad de superficie de la estación	Coeficiente de la estación
	Inferior	Superior								
	(mm)	(mm)	Pi	Si	Sj	Pmai = Sj/Si	Pmei	Ki = Pmai/Pmei	Ri = Si/St	Cei = Ki*Ri
Crucero	650	675	662.5	37.36	24751.00	677.10	783.50	0.86420	0.09762	0.08436
	675	700	687.5	48.23	33158.13					
	700	725	712.5	1.24	883.50					
Sumatoria				86.83	58792.63					
Muñani	625	650	637.5	206.02	131337.75	655.40	644.40	1.01707	0.80887	0.82268
	650	675	662.5	511.43	338822.38					
	675	700	687.5	1.99	1368.13					
Sumatoria				719.44	471528.26					
Putina	650	675	662.5	14.05	9308.13	683.30	693.20	0.98572	0.09351	0.09217
	675	700	687.5	68.88	47355.00					
	700	725	712.5	0.24	171.00					
Sumatoria				83.17	56834.13					
Área total de la cuenca = 889.44 km ²										

Subcuenca Pistune										
Superficie total de la cuenca (St) = 380.43 km ²										
Estación	Isoyeta		Precipitación media entre isoyetas (mm)	Área entre isoyetas (km ²)	Pi*Si (mm*km ²)	Precipitación media del área de influencia de la estación (mm)	Precipitación media de la estación (mm)	Constante de proporcionalidad de precipitación de la estación	Constante de proporcionalidad de superficie de la estación	Coeficiente de la estación
	Inferior	Superior								
	(mm)	(mm)	Pi	Si	Sj	Pmai = Sj/Si	Pmei	Ki = Pmai/Pmei	Ri = Si/St	Cei = Ki*Ri
Ananea	725	750	737.5	2.69	1983.88	737.50	621.70	1.18626	0.00707	0.00839
Sumatoria				2.69	1983.88					
Putina	700	725	712.5	64.82	46184.25	730.40	693.20	1.05366	0.57030	0.60090
	725	750	737.5	148.81	109747.38					
	750	775	762.5	3.33	2539.13					
Sumatoria				216.96	158470.76					
Cojata	725	750	737.5	38.19	28165.13	753.30	743.60	1.01304	0.26804	0.27154
	750	775	762.5	63.06	48083.25					
	775	800	787.5	0.72	567.00					
Sumatoria				101.97	76815.38					
Huancané	725	750	737.5	26.92	19853.50	751.10	677.70	1.10831	0.15459	0.17133
	750	775	762.5	31.89	24316.13					
	Sumatoria				58.81					
Área total de la cuenca =				380.43						

Subcuenca Alto Huancané										
Superficie total de la cuenca (St) = 524.77 km ²										
Estación	Isoyeta		Precipitación media entre isoyetas (mm)	Área entre isoyetas (km ²)	Pi*Si (mm*km ²)	Precipitación media del área de influencia de la estación (mm)	Precipitación media de la estación (mm)	Constante de proporcionalidad de precipitación de la estación	Constante de proporcionalidad de superficie de la estación	Coeficiente de la estación
	Inferior	Superior								
	(mm)	(mm)	Pi	Si	Sj	Pmai = Sj/Si	Pmei	Ki = Pmai/Pmei	Ri = Si/St	Cei = Ki*Ri
Muñani	650	675	662.5	8.62	5710.75	678.10	644.40	1.05230	0.04354	0.04582
	675	700	687.5	14.23	9783.13					
Sumatoria				22.85	15493.88					
Ananea	650	675	662.5	67.39	44645.88	693.80	621.70	1.11597	0.62275	0.69497
	675	700	687.5	137.11	94263.13					
	700	725	712.5	95.34	67929.75					
	725	750	737.5	26.96	19883.00					
Sumatoria				326.80	226721.76					
Putina	675	700	687.5	70.88	48730.00	703.00	693.20	1.01414	0.32843	0.33307
	700	725	712.5	96.16	68514.00					
	725	750	737.5	5.31	3916.13					
Sumatoria				172.35	121160.13					
Cojata	725	750	737.5	2.77	2042.88	737.50	743.60	0.99180	0.00528	0.00524
Sumatoria				2.77	2042.88					
Área total de la cuenca =				524.77						

Subcuenca Río Guanaco (Vaso Callatomaza)										
Superficie total de la cuenca (St) = 216.75 km ²										
Estación	Isoyeta		Precipitación media entre isoyetas (mm)	Área entre isoyetas (km ²)	Pi*Si (mm*km ²)	Precipitación media del área de influencia de la estación (mm)	Precipitación media de la estación (mm)	Constante de proporcionalidad de precipitación de la estación	Constante de proporcionalidad de superficie de la estación	Coeficiente de la estación
	Inferior	Superior								
	(mm)	(mm)	Pi	Si	Sj	Pmai = Sj/Si	Pmei	Ki = Pmai/Pmei	Ri = Si/St	Cei = Ki*Ri
Crucero	650	675	662.5	37.36	24751.00	677.10	783.50	0.86420	0.40060	0.34620
	675	700	687.5	48.23	33158.13					
	700	725	712.5	1.24	883.50					
Sumatoria				86.83	58792.63					
Muñani	625	650	637.5	49.05	31269.38	653.10	644.40	1.01350	0.59940	0.60749
	650	675	662.5	80.87	53576.38					
Sumatoria				129.92	84845.76					
Área total de la cuenca =				216.75						

Subcuenca Río Yapotira (Vaso Yapotira)										
Superficie total de la cuenca (St) = 228.24 km ²										
Estación	Isoyeta		Precipitación media entre isoyetas (mm)	Área entre isoyetas (km ²)	Pi*Si (mm*km ²)	Precipitación media del área de influencia de la estación (mm)	Precipitación media de la estación (mm)	Constante de proporcionalidad de precipitación de la estación	Constante de proporcionalidad de superficie de la estación	Coeficiente de la estación
	Inferior	Superior								
	(mm)	(mm)	Pi	Si	Sj	Pmai = Sj/Si	Pmei	Ki = Pmai/Pmei	Ri = Si/St	Cei = Ki*Ri
Cojata	775	800	787.5	16.14	12710.25	828.80	743.60	1.11458	1.00000	1.11458
	800	825	812.5	87.29	70923.13					
	825	850	837.5	85.07	71246.13					
	850	875	862.5	39.74	34275.75					
				228.24	189155.26					
Área total de la cuenca = 228.24 km ²										

Cuenca Huancané (total)										
Superficie total de la cuenca (St) = 3631.19 km ²										
Estación	Isoyeta		Precipitación media entre isoyetas (mm)	Área entre isoyetas (km ²)	Pi*Si (mm*km ²)	Precipitación media del área de influencia de la estación (mm)	Precipitación media de la estación (mm)	Constante de proporcionalidad de precipitación de la estación	Constante de proporcionalidad de superficie de la estación	Coeficiente de la estación
	Inferior	Superior								
	(mm)	(mm)	Pi	Si	Sj	Pmai = Sj/Si	Pmei	Ki = Pmai/Pmei	Ri = Si/St	Cei = Ki*Ri
Crucero	650.0	675.0	662.5	37.36	24751.00	677.10	783.50	0.8642	0.02391	0.02066
	675.0	700.0	687.5	48.23	33158.13					
	700.0	725.0	712.5	1.24	883.50					
Sumatoria				86.83	58792.63					
Muñani	625.0	650.0	637.5	206.02	131337.75	656.10	644.40	1.01816	0.20482	0.20854
	650.0	675.0	662.5	521.50	345493.75					
	675.0	700.0	687.5	16.21	11144.38					
Sumatoria				743.73	487975.88					
Ananea	650.0	675.0	662.5	67.39	44645.88	694.10	621.70	1.11645	0.09074	0.10131
	675.0	700.0	687.5	137.11	94263.13					
	700.0	725.0	712.5	95.34	67929.75					
	725.0	750.0	737.5	29.65	21866.88					
Sumatoria				329.49	228705.64					
Putina	650.0	675.0	662.5	26.05	17258.13	703.60	693.20	1.01500	0.24962	0.25336
	675.0	700.0	687.5	432.79	297543.13					
	700.0	725.0	712.5	287.38	204758.25					
	725.0	750.0	737.5	156.86	115684.25					
	750.0	775.0	762.5	3.33	2539.13					
Sumatoria				906.41	637782.89					
Cojata	725.0	750.0	737.5	46.27	34124.13	806.70	743.60	1.08486	0.15203	0.16493
	750.0	775.0	762.5	101.14	77119.25					
	775.0	800.0	787.5	81.06	63834.75					
	800.0	825.0	812.5	124.14	100863.75					
	825.0	850.0	837.5	117.78	98640.75					
	850.0	875.0	862.5	68.21	58831.13					
	875.0	900.0	887.5	13.45	11936.88					
Sumatoria				552.05	445350.64					
Huancané	625.0	650.0	637.5	28.89	18417.38	722.70	677.70	1.06640	0.19830	0.21147
	650.0	675.0	662.5	129.58	85846.75					
	675.0	700.0	687.5	145.11	99763.13					
	700.0	725.0	712.5	80.70	57498.75					
	725.0	750.0	737.5	95.94	70755.75					
	750.0	775.0	762.5	105.87	80725.88					
	775.0	800.0	787.5	70.61	55605.38					
	800.0	825.0	812.5	51.88	42152.50					
	825.0	850.0	837.5	11.50	9631.25					
Sumatoria				720.08	520396.77					
Huaraya Moho	800.0	825.0	812.5	0.25	203.13	881.90	885.10	0.99638	0.08058	0.08029
	825.0	850.0	837.5	39.68	33232.00					
	850.0	875.0	862.5	67.75	58434.38					
	875.0	900.0	887.5	104.05	92344.38					
	900.0	925.0	912.5	79.00	72087.50					
925.0	950.0	937.5	1.87	1753.13						
Sumatoria				292.60	258054.52					
Área total de la cuenca = 3631.19 km ²										

Cuadro N° 5.17 Coeficientes del método de Polígonos de Thiessen y Thiessen Modificado de las estaciones meteorológicas de la cuenca del río Suches

Cuenca Suches - Puente Escoma										
Superficie total de la cuenca (St) =		2930.73 km ²								
Estación	Isoyeta		Precipitación media entre isoyetas (mm)	Área entre isoyetas (km ²)	Pi*Si (mm*km ²)	Precipitación media del área de influencia de la estación (mm)	Precipitación media de la estación (mm)	Constante de proporcionalidad de precipitación de la estación	Constante de proporcionalidad de superficie de la estación	Coeficiente de la estación
	Inferior	Superior								
	(mm)	(mm)	Pi	Si	Sj	Pmai = Sj/Si	Pmei	Ki = Pmai/Pmei	Ri = Si/St	Cei = Ki*Ri
Ananea	450.0	475.0	462.5	2.51	1160.88	618.00	621.70	0.99405	0.07127	0.07085
	475.0	500.0	487.5	9.42	4592.25					
	500.0	525.0	512.5	17.30	8866.25					
	525.0	550.0	537.5	21.19	11389.63					
	550.0	575.0	562.5	15.34	8628.75					
	575.0	600.0	587.5	12.11	7114.63					
	600.0	625.0	612.5	18.05	11055.63					
	625.0	650.0	637.5	19.14	12201.75					
	650.0	675.0	662.5	35.60	23585.00					
	675.0	700.0	687.5	39.24	26977.50					
	700.0	725.0	712.5	18.92	13480.50					
725.0	750.0	737.5	0.04	29.50						
Sumatoria				208.86	129082.27					
Suches	375.0	400.0	387.5	15.34	5944.25	536.60	540.80	0.99223	0.29423	0.29194
	400.0	425.0	412.5	41.64	17176.50					
	425.0	450.0	437.5	54.83	23988.13					
	450.0	475.0	462.5	75.23	34793.88					
	475.0	500.0	487.5	87.88	42841.50					
	500.0	525.0	512.5	111.09	56933.63					
	525.0	550.0	537.5	107.33	57689.88					
	550.0	575.0	562.5	100.19	56356.88					
	575.0	600.0	587.5	85.94	50489.75					
	600.0	625.0	612.5	71.64	43879.50					
	625.0	650.0	637.5	56.40	35955.00					
650.0	675.0	662.5	38.91	25777.88						
675.0	700.0	687.5	15.88	10917.50						
Sumatoria				862.30	462744.28					
Cojata	525.0	550.0	537.5	8.98	4826.75	711.80	743.60	0.95724	0.38736	0.37080
	550.0	575.0	562.5	33.35	18759.38					
	575.0	600.0	587.5	50.14	29457.25					
	600.0	625.0	612.5	65.85	40333.13					
	625.0	650.0	637.5	79.65	50776.88					
	650.0	675.0	662.5	94.93	62891.13					
	675.0	700.0	687.5	122.34	84108.75					
	700.0	725.0	712.5	156.94	111819.75					
	725.0	750.0	737.5	160.63	118464.63					
	750.0	775.0	762.5	127.71	97378.88					
	775.0	800.0	787.5	119.16	93838.50					
800.0	825.0	812.5	68.16	55380.00						
825.0	850.0	837.5	35.87	30041.13						
850.0	875.0	862.5	11.47	9892.88						
875.0	900.0	887.5	0.07	62.13						
Sumatoria				1135.25	808031.17					
Puerto Acosta	600.0	625.0	612.5	0.93	569.63	883.70	729.10	1.21204	0.18161	0.22012
	625.0	650.0	637.5	3.40	2167.50					
	650.0	675.0	662.5	6.65	4405.63					
	675.0	700.0	687.5	9.39	6455.63					
	700.0	725.0	712.5	8.66	6170.25					
	725.0	750.0	737.5	8.85	6526.88					
	750.0	775.0	762.5	10.93	8334.13					
	775.0	800.0	787.5	13.64	10741.50					
	800.0	825.0	812.5	19.17	15575.63					
	825.0	850.0	837.5	31.24	26163.50					
	850.0	875.0	862.5	51.51	44427.38					
875.0	900.0	887.5	74.71	66305.13						
900.0	925.0	912.5	102.37	93412.63						
925.0	950.0	937.5	181.50	170156.25						
950.0	975.0	962.5	9.30	8951.25						
Sumatoria				532.25	470362.92					
Escoma	475.0	500.0	487.5	0.10	48.75	657.90	493.30	1.33367	0.06554	0.08741
	500.0	525.0	512.5	3.97	2034.63					
	525.0	550.0	537.5	9.28	4988.00					
	550.0	575.0	562.5	14.63	8229.38					
	575.0	600.0	587.5	18.47	10851.13					
	600.0	625.0	612.5	20.90	12801.25					
	625.0	650.0	637.5	23.43	14936.63					
	650.0	675.0	662.5	23.50	15568.75					
	675.0	700.0	687.5	21.11	14513.13					
	700.0	725.0	712.5	17.54	12497.25					
	725.0	750.0	737.5	15.17	11187.88					
750.0	775.0	762.5	10.93	8334.13						
775.0	800.0	787.5	8.90	7008.75						
800.0	825.0	812.5	4.14	3363.75						
Sumatoria				192.07	126363.41					
Área total de la cuenca =				2930.73 km²						

Subcuenca Chueña Huata Jahuira										
Superficie total de la cuenca (St) = 162.18 km ²										
Estación	Isoyeta		Precipitación media entre isoyetas (mm)	Área entre isoyetas (km ²)	Pi*Si (mm*km ²)	Precipitación media del área de influencia de la estación (mm)	Precipitación media de la estación (mm)	Constante de proporcionalidad de precipitación de la estación	Constante de proporcionalidad de superficie de la estación	Coeficiente de la estación
	Inferior	Superior								
	(mm)	(mm)	Pi	Si	Sj	Pmai = Sj/Si	Pmei	Ki = Pmai/Pmei	Ri = Si/St	Cei = Ki*Ri
Cojata	725.0	750.0	737.5	2.92	2153.50	786.40	743.60	1.05756	1.00000	1.05756
	750.0	775.0	762.5	44.03	33572.88					
	775.0	800.0	787.5	78.90	62133.75					
	800.0	825.0	812.5	29.91	24301.88					
	825.0	850.0	837.5	6.42	5376.75					
Sumatoria				162.18	127538.76					
Área total de la cuenca = 162.18 km ²										

Subcuenca Caylloma										
Superficie total de la cuenca (St) = 289.22 km ²										
Estación	Isoyeta		Precipitación media entre isoyetas (mm)	Área entre isoyetas (km ²)	Pi*Si (mm*km ²)	Precipitación media del área de influencia de la estación (mm)	Precipitación media de la estación (mm)	Constante de proporcionalidad de precipitación de la estación	Constante de proporcionalidad de superficie de la estación	Coeficiente de la estación
	Inferior	Superior								
	(mm)	(mm)	Pi	Si	Sj	Pmai = Sj/Si	Pmei	Ki = Pmai/Pmei	Ri = Si/St	Cei = Ki*Ri
Ananea	650.0	675.0	662.5	20.82	13793.25	686.90	621.70	1.10487	0.27304	0.30167
	675.0	700.0	687.5	39.19	26943.13					
	700.0	725.0	712.5	18.92	13480.50					
	725.0	750.0	737.5	0.04	29.50					
Sumatoria				78.97	54246.38					
Suches	650.0	675.0	662.5	19.99	13243.38	673.60	540.80	1.24556	0.12402	0.15447
	675.0	700.0	687.5	15.88	10917.50					
Sumatoria				35.87	24160.88					
Cojata	650.0	675.0	662.5	0.00	0.00	725.00	743.60	0.97499	0.60293	0.58785
	675.0	700.0	687.5	22.54	15496.25					
	700.0	725.0	712.5	65.19	46447.88					
	725.0	750.0	737.5	63.23	46632.13					
750.0	775.0	762.5	23.42	17857.75						
Sumatoria				174.38	126434.01					
Área total de la cuenca = 289.22 km ²										

Subcuenca Trapiche										
Superficie total de la cuenca (St) = 405.45 km ²										
Estación	Isoyeta		Precipitación media entre isoyetas (mm)	Área entre isoyetas (km ²)	Pi*Si (mm*km ²)	Precipitación media del área de influencia de la estación (mm)	Precipitación media de la estación (mm)	Constante de proporcionalidad de precipitación de la estación	Constante de proporcionalidad de superficie de la estación	Coeficiente de la estación
	Inferior	Superior								
	(mm)	(mm)	Pi	Si	Sj	Pmai = Sj/Si	Pmei	Ki = Pmai/Pmei	Ri = Si/St	Cei = Ki*Ri
Ananea	450.0	475.0	462.5	2.50	1156.25	576.20	621.70	0.92681	0.32036	0.29691
	475.0	500.0	487.5	9.42	4592.25					
	500.0	525.0	512.5	17.30	8866.25					
	525.0	550.0	537.5	21.19	11389.63					
	550.0	575.0	562.5	15.34	8628.75					
	575.0	600.0	587.5	12.11	7114.63					
	600.0	625.0	612.5	18.05	11055.63					
	625.0	650.0	637.5	19.14	12201.75					
	650.0	675.0	662.5	14.78	9791.75					
	675.0	700.0	687.5	0.06	41.25					
Sumatoria				129.89	74838.14					
Suches	400.0	425.0	412.5	6.57	2710.13	544.00	540.80	1.00592	0.67964	0.68366
	425.0	450.0	437.5	19.12	8365.00					
	450.0	475.0	462.5	29.19	13500.38					
	475.0	500.0	487.5	28.24	13767.00					
	500.0	525.0	512.5	31.02	15897.75					
	525.0	550.0	537.5	31.40	16877.50					
	550.0	575.0	562.5	29.62	16661.25					
	575.0	600.0	587.5	28.51	16749.63					
	600.0	625.0	612.5	29.38	17995.25					
	625.0	650.0	637.5	31.35	19985.63					
650.0	675.0	662.5	11.16	7393.50						
Sumatoria				275.56	149903.02					
Área total de la cuenca = 405.45 km ²										

Cuenca Suches - Puente Ramón Castilla										
Superficie total de la cuenca (S) =		1056.49 km ²								
Estación	Isoyeta		Precipitación media entre isoyetas (mm)	Área entre isoyetas (km ²)	Pi*Si (mm*km ²)	Precipitación media del área de influencia de la estación (mm)	Precipitación media de la estación (mm)	Constante de proporcionalidad de precipitación de la estación	Constante de proporcionalidad de superficie de la estación	Coeficiente de la estación
	Inferior	Superior								
	(mm)	(mm)	Pi	Si	Sj	Pmai = Sj/Si	Pmei	Ki = Pmai/Pmei	Ri = Si/St	Cei = Ki*Ri
Ananea	450.0	475.0	462.5	2.50	1156.25	618.00	621.70	0.99405	0.19768	0.19650
	475.0	500.0	487.5	9.42	4592.25					
	500.0	525.0	512.5	17.30	8866.25					
	525.0	550.0	537.5	21.19	11389.63					
	550.0	575.0	562.5	15.34	8628.75					
	575.0	600.0	587.5	12.11	7114.63					
	600.0	625.0	612.5	18.05	11055.63					
	625.0	650.0	637.5	19.14	12201.75					
	650.0	675.0	662.5	35.60	23585.00					
	675.0	700.0	687.5	39.24	26977.50					
	700.0	725.0	712.5	18.92	13480.50					
725.0	750.0	737.5	0.04	29.50						
Sumatoria				208.85	129077.64					
Suches	375.0	400.0	387.5	15.34	5944.25	536.20	540.80	0.99149	0.60080	0.59569
	400.0	425.0	412.5	41.64	17176.50					
	425.0	450.0	437.5	52.73	23069.38					
	450.0	475.0	462.5	63.23	29243.88					
	475.0	500.0	487.5	60.49	29488.88					
	500.0	525.0	512.5	59.90	30698.75					
	525.0	550.0	537.5	59.12	31777.00					
	550.0	575.0	562.5	58.70	33018.75					
	575.0	600.0	587.5	59.10	34721.25					
	600.0	625.0	612.5	57.06	34949.25					
	625.0	650.0	637.5	52.64	33558.00					
650.0	675.0	662.5	38.91	25777.88						
675.0	700.0	687.5	15.88	10917.50						
Sumatoria				634.74	340341.27					
Cojata	625.0	650.0	637.5	0.52	331.50	717.70	743.60	0.96517	0.20152	0.19450
	650.0	675.0	662.5	13.95	9241.88					
	675.0	700.0	687.5	38.22	26276.25					
	700.0	725.0	712.5	71.43	50893.88					
	725.0	750.0	737.5	65.36	48203.00					
	750.0	775.0	762.5	23.42	17857.75					
Sumatoria				212.90	152804.26					
Área total de la cuenca =				1056.49	km²					

Cuenca Suches - Lugar Cuchaula										
Superficie total de la cuenca (St) = 2222.07 km ²										
Estación	Isoyeta		Precipitación media entre isoyetas (mm)	Área entre isoyetas (km ²)	Pi*Si (mm*km ²)	Precipitación media del área de influencia de la estación (mm)	Precipitación media de la estación (mm)	Constante de proporcionalidad de precipitación de la estación	Constante de proporcionalidad de superficie de la estación	Coeficiente de la estación
	Inferior	Superior								
	(mm)	(mm)	Pi	Si	Sj	Pmai = Sj/Si	Pmei	Ki = Pmai/Pmei	Ri = Si/St	Cei = Ki*Ri
Ananea	450.0	475.0	462.5	2.51	1160.88	618.00	621.70	0.99405	0.09399	0.09343
	475.0	500.0	487.5	9.42	4592.25					
	500.0	525.0	512.5	17.30	8866.25					
	525.0	550.0	537.5	21.19	11389.63					
	550.0	575.0	562.5	15.34	8628.75					
	575.0	600.0	587.5	12.11	7114.63					
	600.0	625.0	612.5	18.05	11055.63					
	625.0	650.0	637.5	19.14	12201.75					
	650.0	675.0	662.5	35.60	23585.00					
	675.0	700.0	687.5	39.24	26977.50					
700.0	725.0	712.5	18.92	13480.50						
725.0	750.0	737.5	0.04	29.50						
Sumatoria				208.86	129082.27					
Suches	375.0	400.0	387.5	15.34	5944.25	536.60	540.80	0.99223	0.38806	0.38504
	400.0	425.0	412.5	41.64	17176.50					
	425.0	450.0	437.5	54.83	23988.13					
	450.0	475.0	462.5	75.23	34793.88					
	475.0	500.0	487.5	87.88	42841.50					
	500.0	525.0	512.5	111.09	56933.63					
	525.0	550.0	537.5	107.33	57689.88					
	550.0	575.0	562.5	100.19	56356.88					
	575.0	600.0	587.5	85.94	50489.75					
	600.0	625.0	612.5	71.64	43879.50					
625.0	650.0	637.5	56.40	35955.00						
650.0	675.0	662.5	38.91	25777.88						
675.0	700.0	687.5	15.88	10917.50						
Sumatoria				862.30	462744.28					
Cojata	525.0	550.0	537.5	8.98	4826.75	711.70	743.60	0.95710	0.51071	0.48880
	550.0	575.0	562.5	33.35	18759.38					
	575.0	600.0	587.5	50.14	29457.25					
	600.0	625.0	612.5	65.85	40333.13					
	625.0	650.0	637.5	79.65	50776.88					
	650.0	675.0	662.5	94.93	62891.13					
	675.0	700.0	687.5	122.34	84108.75					
	700.0	725.0	712.5	156.94	111819.75					
	725.0	750.0	737.5	160.63	118464.63					
	750.0	775.0	762.5	127.71	97378.88					
	775.0	800.0	787.5	119.16	93838.50					
	800.0	825.0	812.5	67.75	55046.88					
	825.0	850.0	837.5	35.87	30041.13					
850.0	875.0	862.5	11.47	9892.88						
875.0	900.0	887.5	0.07	62.13						
Sumatoria				1134.84	807698.05					
Puerto Acosta	800.0	825.0	812.5	0.05	40.63	864.40	729.10	1.18557	0.00723	0.00857
	825.0	850.0	837.5	3.39	2839.13					
	850.0	875.0	862.5	7.94	6848.25					
	875.0	900.0	887.5	4.69	4162.38					
Sumatoria				16.07	13890.39					
Área total de la cuenca = 2222.07 km ²										

Aplicando los métodos de Polígonos de Thiessen y Polígonos de Thiessen Modificado, con sus coeficientes de cada estación meteorológica de influencia en la cuenca y en las subcuencas de estudio, se ha calculado la precipitación areal de la cuenca del período 1956-2009, dicha información se muestran a continuación en los Cuadros N° 5.18 a 5.21 y en las Figuras N° 5.11 a 5.14.

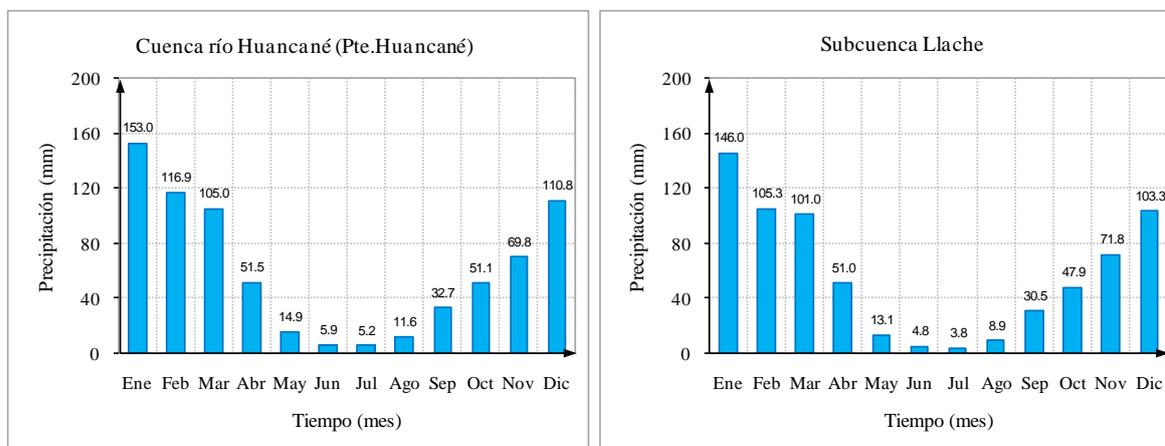
Cuadro N° 5.18 Precipitación areal de la cuenca (mm) – Promedio multimensual (1956-2009)
Cuenca Huancané – Método de Polígonos de Thiessen Modificado

Cuenca/subcuenca	Mes												Total Anual
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Huancané	153.0	116.9	105.0	51.5	14.9	5.9	5.2	11.6	32.7	51.1	69.8	110.8	728.5
Llache	146.0	105.3	101.0	51.0	13.1	4.8	3.8	8.9	30.5	47.9	71.8	103.3	687.4
Tuyto	169.8	130.6	117.4	56.5	17.9	7.7	6.1	15.8	40.1	58.2	73.0	122.8	815.8
Muñani	143.5	111.3	93.4	45.7	10.9	4.0	2.7	6.9	26.8	44.3	65.2	105.3	660.0
Pistune	153.4	115.0	108.4	54.7	14.9	6.1	4.8	11.8	33.9	53.0	73.9	109.7	739.7
Alto Huancané	141.5	110.2	99.3	50.8	17.8	6.3	9.7	13.6	28.8	50.2	67.0	101.2	696.5
Guanaco	139.2	113.6	94.5	46.2	12.3	4.6	3.1	7.8	27.0	44.4	65.5	104.6	662.6
Yaputira	162.4	131.8	119.6	63.6	19.3	9.8	7.3	18.9	41.3	63.9	75.6	115.4	828.9
Huancané (total)	152.4	116.5	104.8	51.2	14.8	5.8	5.2	11.6	32.6	51.0	69.5	110.7	726.2

Cuadro N° 5.19 Precipitación areal de la cuenca (mm) – Promedio multimensual (1956-2009)
Cuenca Huancané – Método de Polígonos de Thiessen

Cuenca/subcuenca	Mes												Total Anual
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Huancané	147.1	112.2	100.8	49.5	14.3	5.6	5.0	11.1	31.4	49.0	67.1	106.4	699.6
Llache	146.9	105.8	101.6	51.3	13.2	4.8	3.8	8.9	30.6	48.1	72.3	103.9	691.2
Tuyto	158.4	121.5	109.1	52.5	16.7	7.2	5.7	14.7	37.4	54.0	67.8	114.3	759.2
Muñani	143.8	111.7	93.8	45.9	11.0	4.1	2.8	6.9	27.0	44.5	65.5	105.6	662.4
Pistune	145.9	109.4	103.1	52.1	14.2	5.9	4.6	11.2	32.3	50.5	70.3	104.3	703.8
Alto Huancané	131.7	102.2	92.3	47.2	16.4	5.8	8.8	12.5	26.8	46.6	62.4	94.1	646.9
Guanaco	146.3	120.1	100.0	49.0	13.2	4.9	3.3	8.4	28.6	46.9	69.2	110.2	700.1
Yaputira	145.7	118.2	107.3	57.1	17.3	8.8	6.5	16.9	37.1	57.3	67.8	103.6	743.6
Huancané (total)	146.9	112.2	100.8	49.3	14.2	5.6	4.9	11.1	31.4	49.0	67.0	106.6	698.9

Figura N° 5.11 Variación mensual de la precipitación areal de la cuenca (mm) - Promedio multimensual (1956-2009) - Cuenca Huancané - Método de Polígonos de Thiessen Modificado



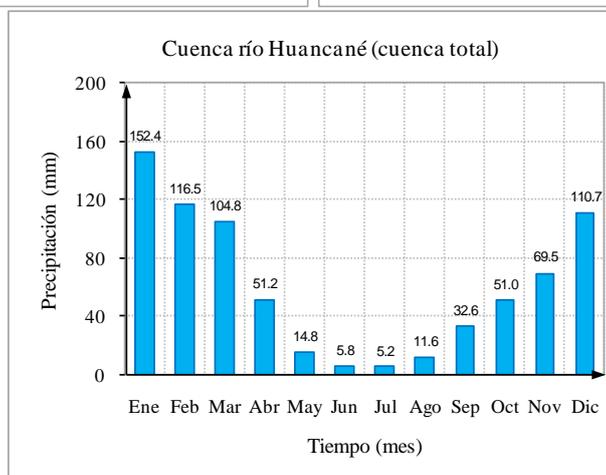
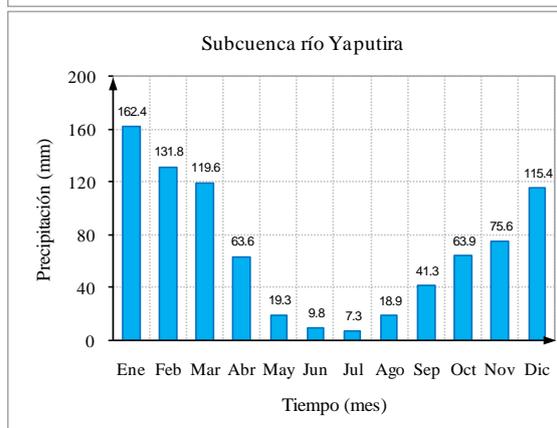
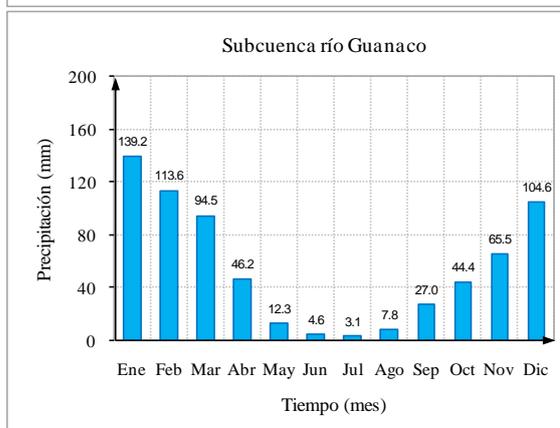
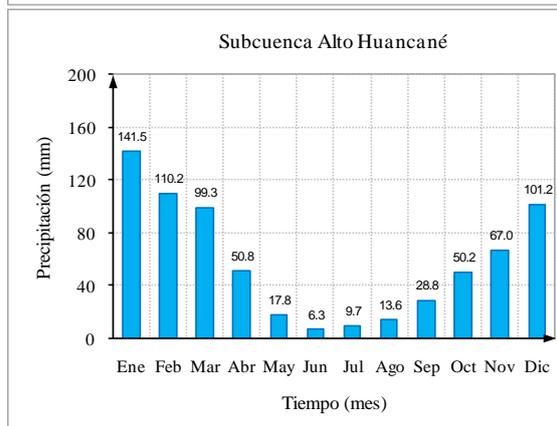
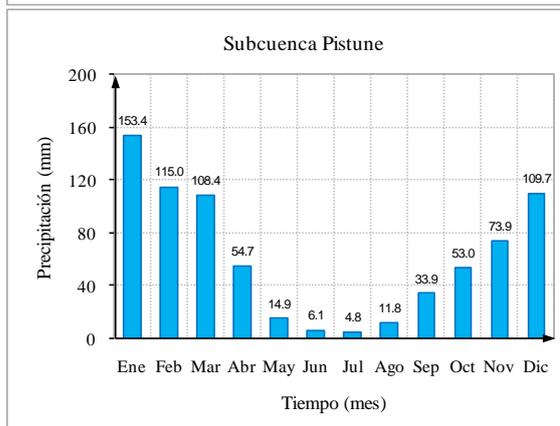
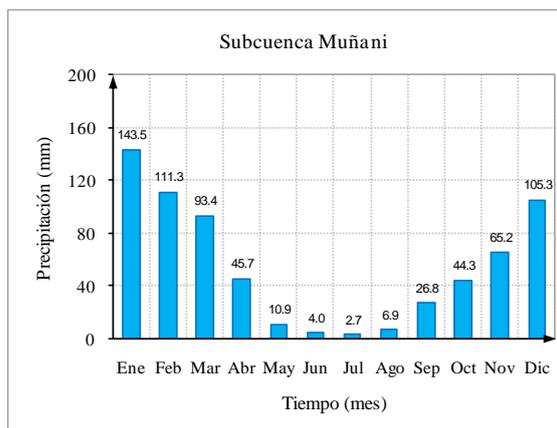
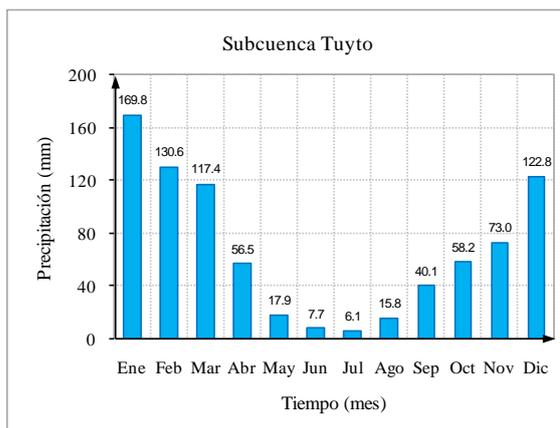
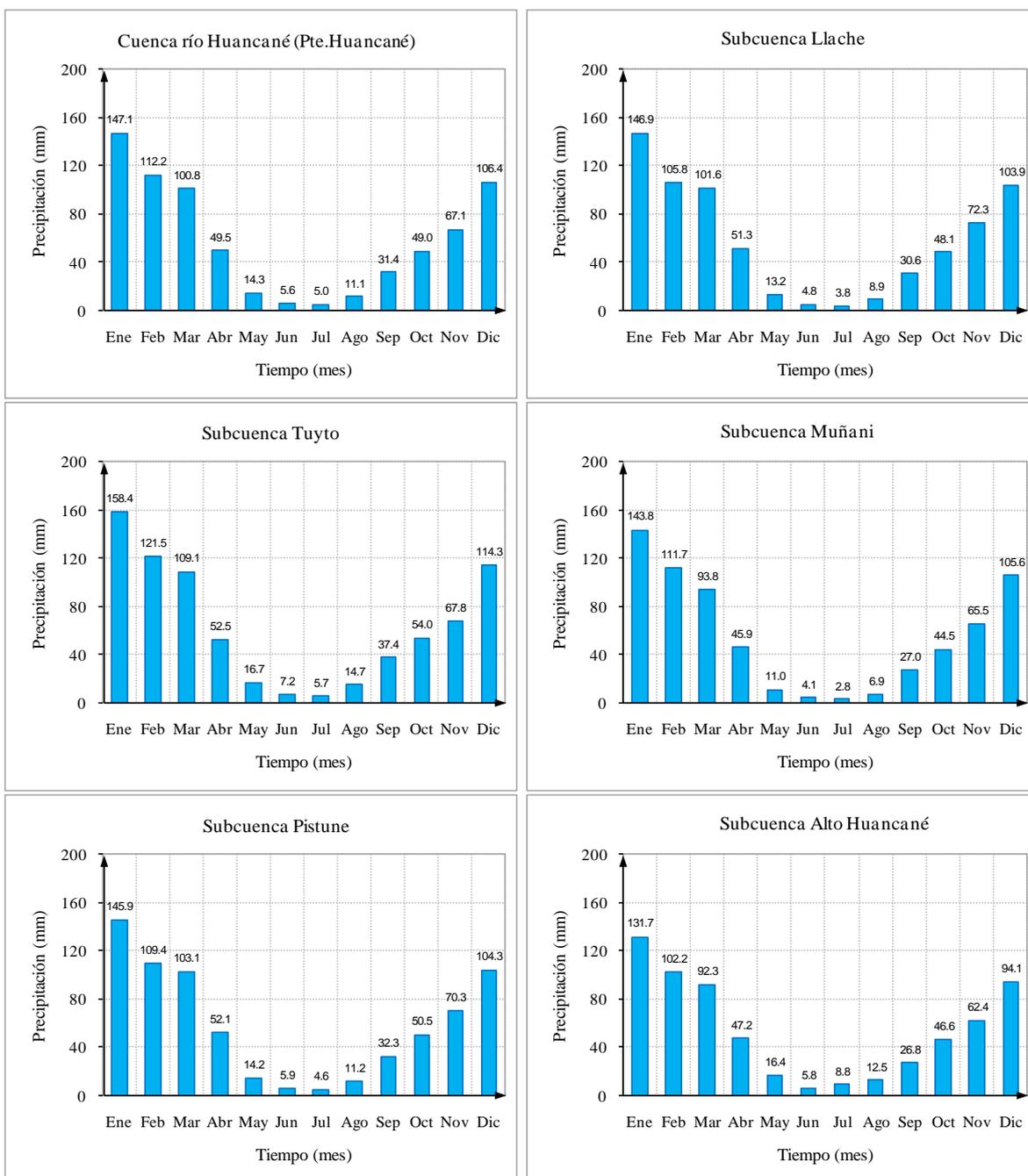
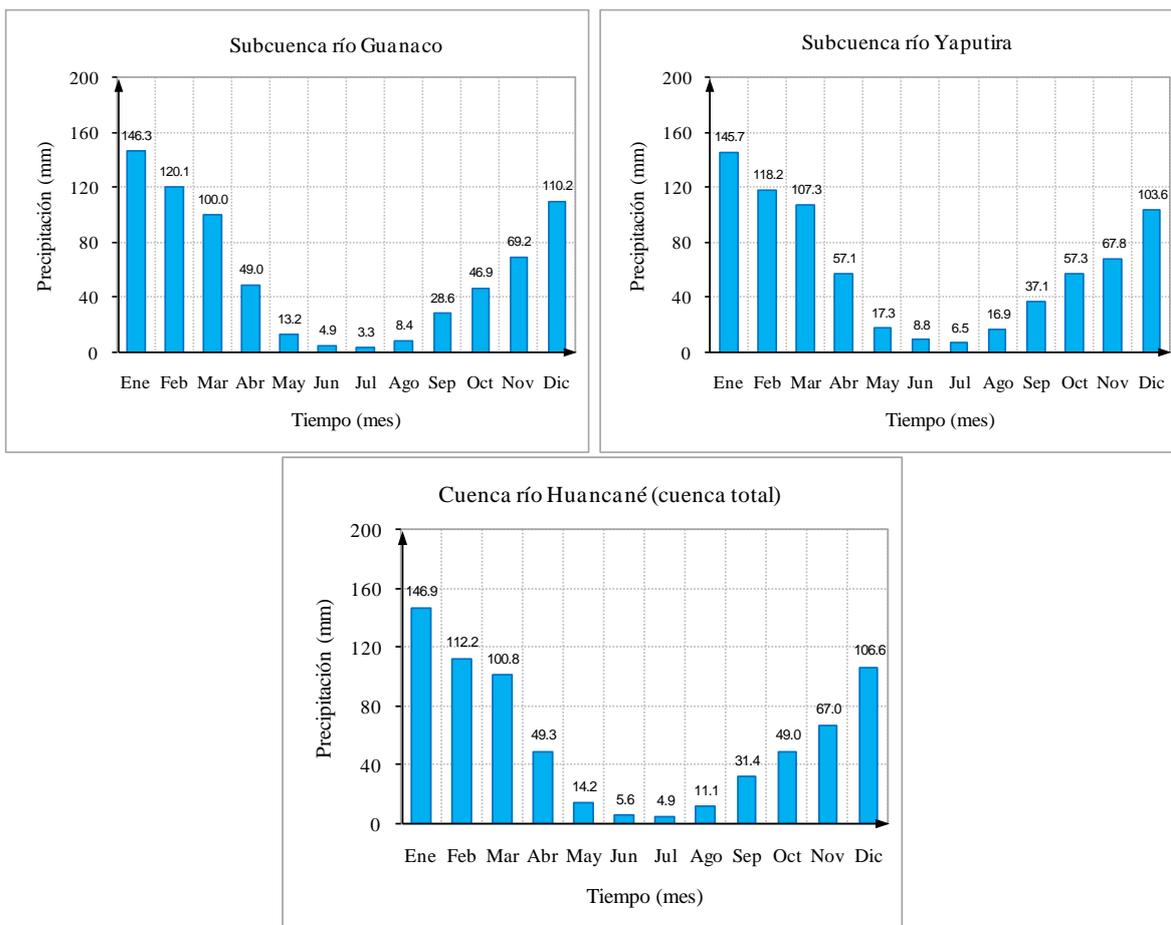


Figura N° 5.12 Variación mensual de la precipitación areal de la cuenca (mm) - Promedio multimensual (1956-2009) - Cuenca Huancané - Método de Polígonos de Thiessen





Cuadro N° 5.20 Precipitación areal de la cuenca (mm) – Promedio multimensual (1956-2009)
Cuenca Suches – Método de Polígonos de Thiessen Modificado

Cuenca/subcuenca	Mes												Total Anual
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Suches (Pte. Escoma)	133.6	109.8	98.1	51.3	18.4	7.7	6.9	15.2	36.4	49.8	61.3	92.5	680.8
Chueña Huata Jahuira	154.1	125.0	113.5	60.3	18.3	9.3	6.9	17.9	39.2	60.6	71.7	109.5	786.4
Caylloma	138.6	112.8	103.4	53.2	17.6	7.7	8.1	15.8	33.7	53.9	65.2	98.5	708.3
Trapiche	107.6	87.8	87.3	40.6	13.7	4.4	6.5	10.3	26.9	41.9	53.2	74.3	554.5
Suches (Pte. Ramón Castilla)	114.5	93.3	91.5	43.7	14.1	5.1	6.2	11.4	29.1	44.8	56.1	79.4	589.1
Suches (lugar Cuchaulla)	124.0	100.9	95.9	47.9	15.0	6.4	6.0	13.2	31.8	48.6	59.5	86.8	636.1

Cuadro N° 5.21 Precipitación areal de la cuenca (mm) – Promedio multimensual (1956-2009)
Cuenca Suches – Método de Polígonos de Thiessen

Cuenca/subcuenca	Mes												Total Anual
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Suches (Pte. Escoma)	128.6	105.5	95.0	49.4	17.3	7.3	6.6	14.5	34.7	48.4	59.5	89.2	655.9
Chueña Huata Jahuira	145.7	118.2	107.3	57.1	17.3	8.8	6.5	16.9	37.1	57.3	67.8	103.6	743.6
Caylloma	134.2	109.1	99.7	51.5	17.0	7.5	7.7	15.3	32.7	52.2	62.9	95.4	685.3
Trapiche	110.0	89.8	89.0	41.4	14.1	4.5	6.7	10.7	27.4	42.8	54.3	76.1	566.9
Suches (Pte. Ramón Castilla)	116.2	94.6	92.9	44.3	14.4	5.2	6.3	11.6	29.6	45.4	56.9	80.6	597.8
Suches (lugar Cuchaulla)	127.4	103.6	98.5	49.2	15.4	6.6	6.2	13.6	32.7	50.0	61.1	89.2	653.4

Figura N° 5.13 Variación mensual de la precipitación areal de la cuenca (mm) - Promedio multimensual (1956-2009) - Cuenca Suches - Método de Polígonos de Thiessen Modificado

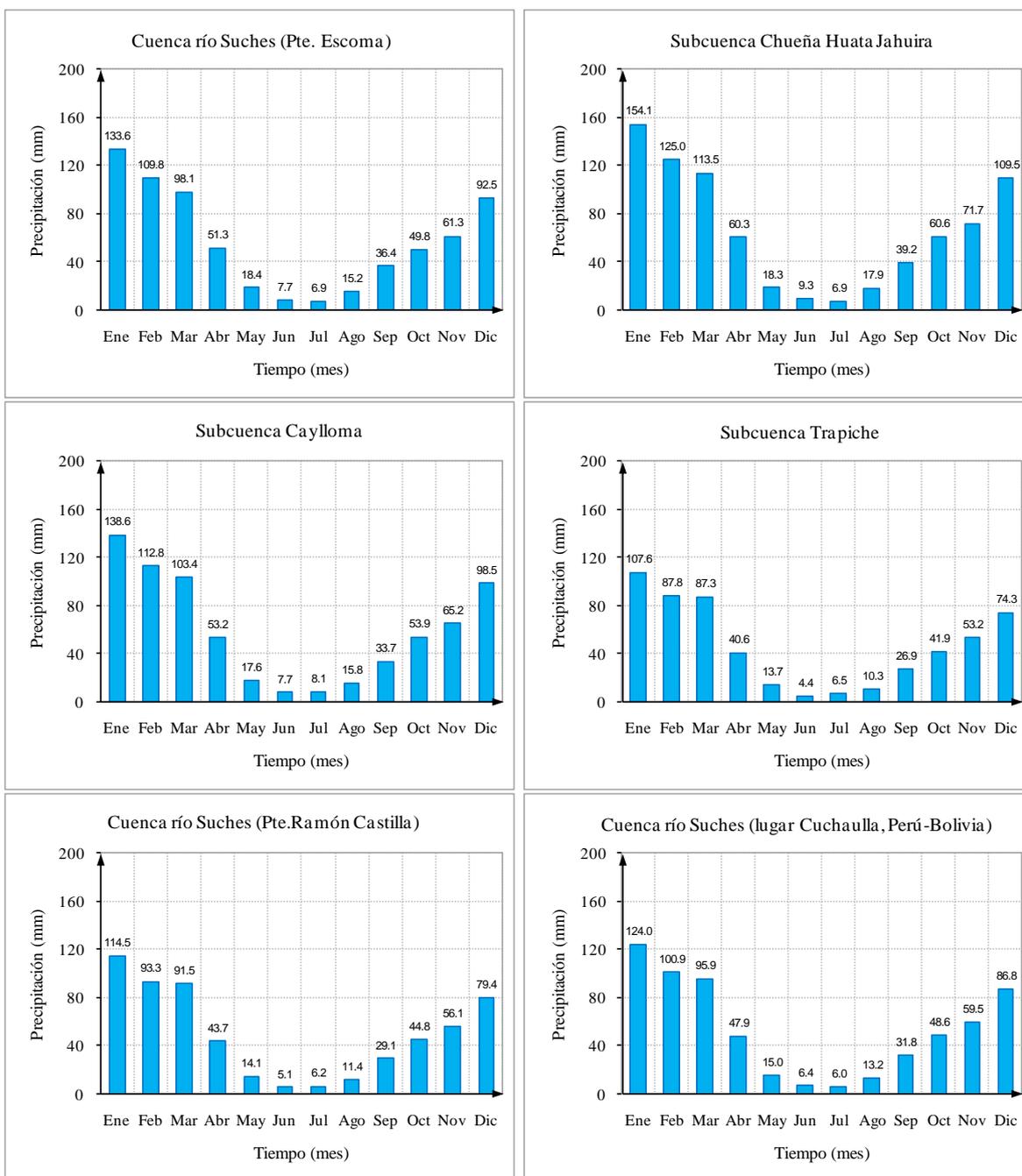
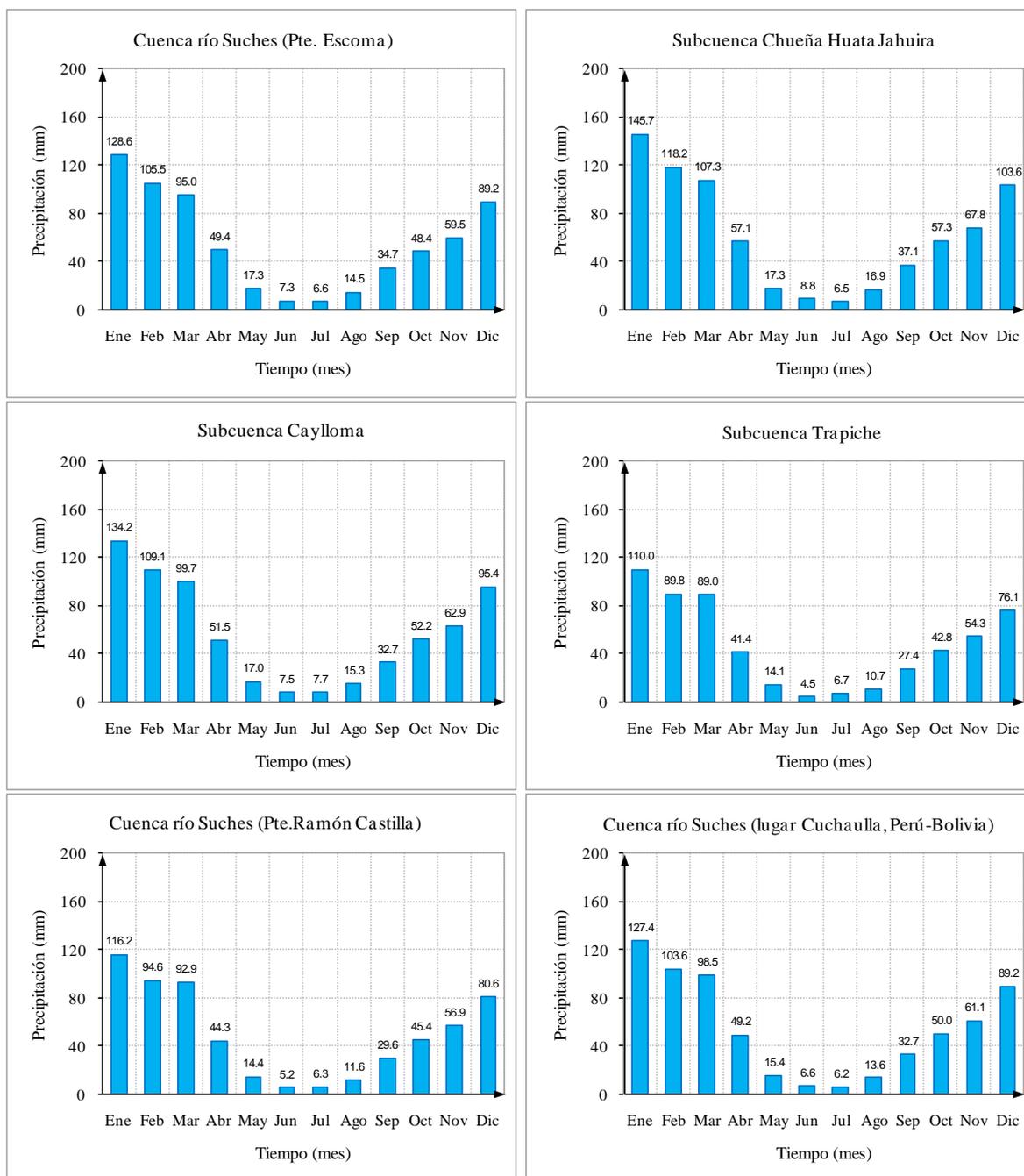


Figura N° 5.14 Variación mensual de la precipitación areal de la cuenca (mm) - Promedio multimensual (1956-2009) - Cuenca Suches - Método de Polígonos de Thiessen



La serie mensual de las precipitaciones areales calculadas para las subcuencas de las cuencas Huancané y Suches, se muestran en el Anexo 1.

CAPÍTULO VI

HIDROMETRÍA

6.1 GENERALIDADES

La hidrometría se encarga de medir, registrar, calcular y analizar los volúmenes de agua que circulan en una sección transversal de un río, canal o tubería en la unidad de tiempo.

Los escurrimientos en una cuenca se dividen en tres componentes: superficial, subsuperficial y subterráneo, en el presente se trata del primero.

El *superficial* es el que se manifiesta por encima del terreno natural, primariamente laminar hasta que luego se va concentrando en cauces, y sale finalmente de la cuenca. Se lo denomina rápido, por el tiempo es el primer escurrimiento que se manifiesta en la sección de control de la cuenca.

Sistema hidrométrico.- Es el conjunto de actividades y procedimientos que permiten conocer los caudales de agua que circulan en los cauces de los ríos y canales de un sistema de riego, con el fin de registrar, procesar y programar la distribución del agua. El sistema hidrométrico tiene como soporte físico la red hidrométrica.

Red hidrométrica.- Es el conjunto de puntos ubicados estratégicamente en el sistema hidrográfico. Los puntos de medición deben ser adecuadamente ubicados a fin de determinar el caudal que circula en toda la red hidrográfica.

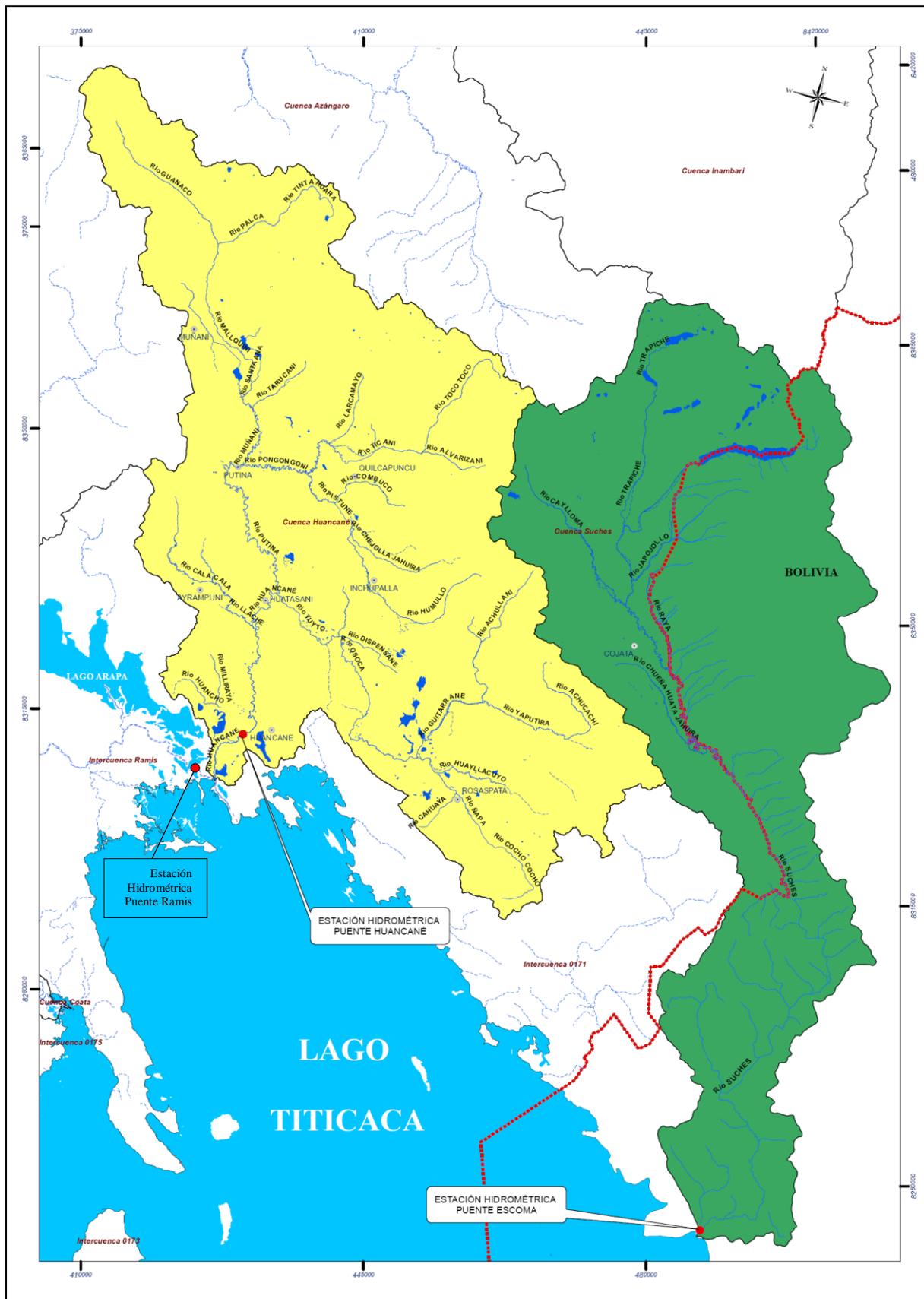
Puntos de control.- Son los lugares donde se registran los caudales de agua que circulan por una sección hidráulica que pueden ser: estaciones hidrométricas, estructuras hidráulicas, compuertas, caídas, vertederos, medidores Parshall, RBC, ASC (Aforador Sin Cuello), miras, etc.

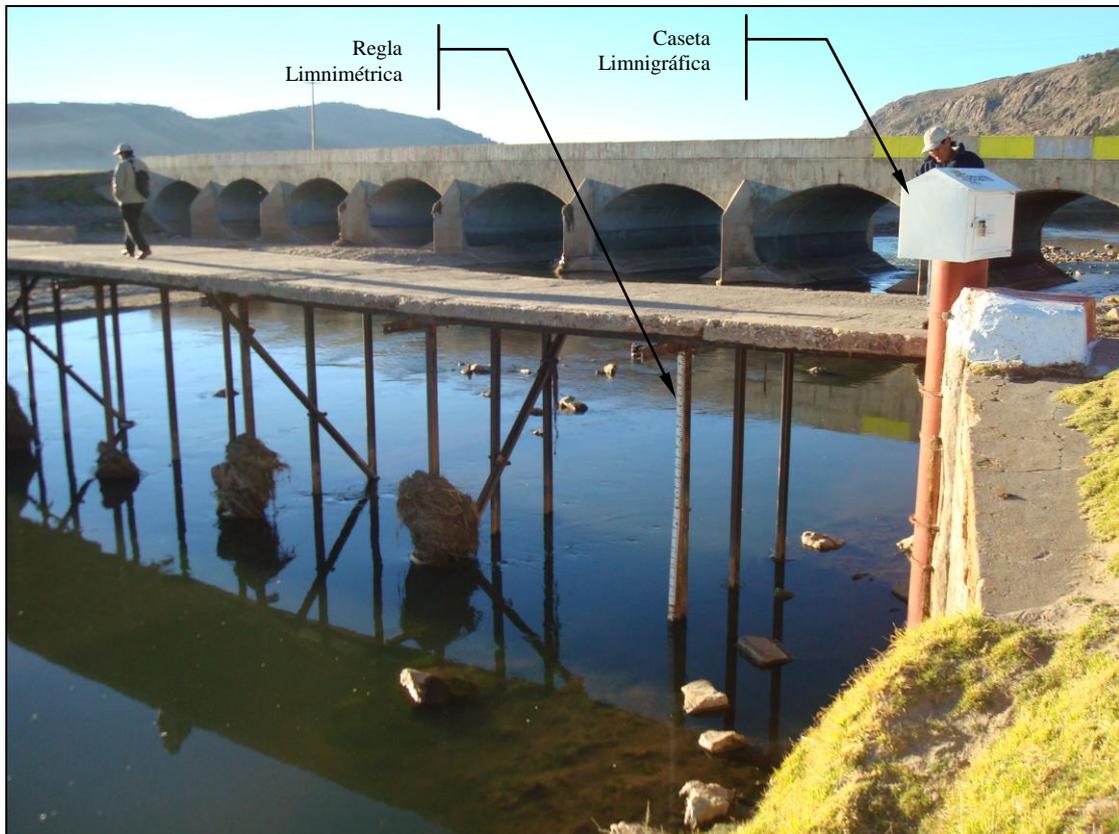
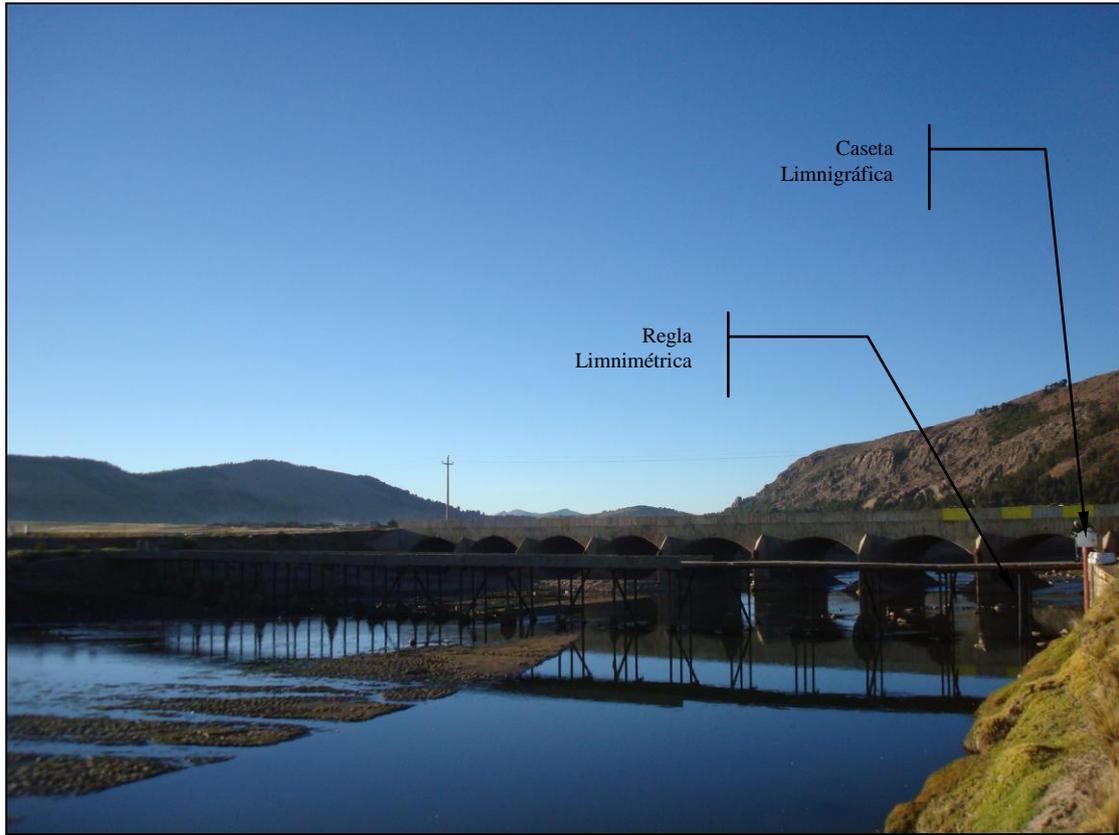
Caudal.- Es el volumen de agua por unidad de tiempo que pasa por una sección de un cauce. Sus unidades normales son m^3/s ó l/s .

6.2 RED DE ESTACIONES HIDROMÉTRICAS

Las estaciones hidrométricas en las cuencas hidrográficas del país, están ubicadas generalmente en la parte inferior de la cuenca húmeda, y muy pocas a nivel de subcuencas. El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), perteneciente al Ministerio del Ambiente, administra la mayor parte de las estaciones en las tres regiones hidrográficas del Perú.

Mapa N° 6.1 Ubicación de las estaciones hidrométricas – Cuencas Huancané y Suches





Estación hidrométrica Puente Huancané.

6.2.2 Estación hidrométrica Puente Escoma - Río Suches

La estación hidrométrica Puente Escoma, geográficamente se localiza en las coordenadas geográficas de 15°39'33" de latitud sur y 69°08'00" de longitud oeste, y a una altitud de 3,817 msnm.

La estación hidrométrica Puente Escoma de la cuenca del río Suches, políticamente se encuentra ubicada en:

- País : Bolivia
- Departamento : La Paz
- Provincia : Camacho

Se ubica en la parte baja de la cuenca del río Suches y mide todo el escurrimiento de la cuenca, cuya área de drenaje hasta la estación hidrométrica es de 2,930.73 km².

Este punto de aforo se ubica al final de las áreas donde existen las demandas hídricas, por lo tanto el caudal registrado en épocas de estiaje es un caudal remanente de las demandas hídricas. Por otro lado el sistema hidrográfico de la cuenca del río Suches aun no está regulado por represamientos.

El registro histórico disponible de descargas medias mensuales en la estación hidrométrica del Puente Escoma es continuo del período 1970/77-1982/84, con 11 años de información. La estación hidrométrica Puente Escoma es administrada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología - SENAMHI - Bolivia.

6.2.3 Estación hidrométrica Puente Ramis - Río Ramis

La estación hidrométrica Puente Ramis, geográficamente se localiza en las coordenadas geográficas de 15°15'15" de latitud sur y 69°52'52" de longitud oeste, y a una altitud de 3,813 msnm.

La estación hidrométrica Puente Ramis de la cuenca del río Ramis, políticamente se encuentra ubicada en:

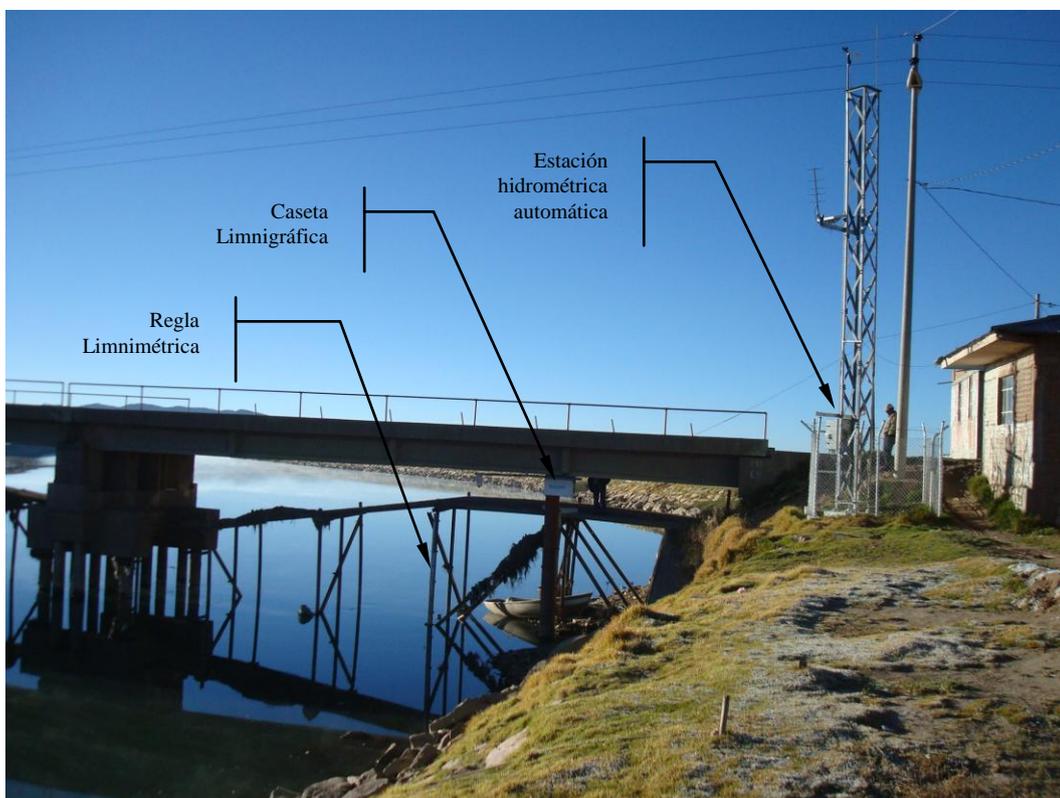
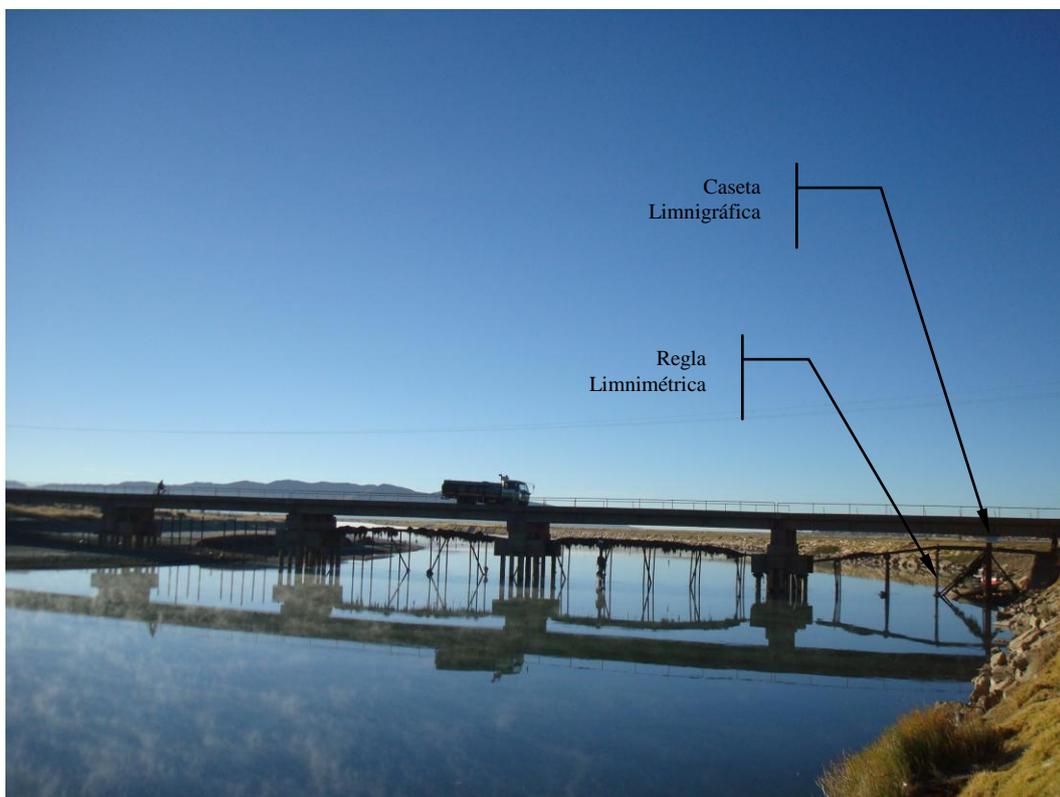
- País : Perú
- Región : Puno
- Provincia : Huancané
- Distrito : Taraco

Se ubica en la parte baja de la cuenca del río Suches y mide todo el escurrimiento de la cuenca, cuya área de drenaje hasta la estación hidrométrica es de 14,867.0 km².

Este punto de aforo se ubica al final de las áreas donde existen las demandas hídricas, por lo tanto el caudal registrado en épocas de estiaje es un caudal remanente de las demandas hídricas.

El registro histórico disponible de descargas medias mensuales en la estación hidrométrica del Puente Ramis es continuo del período 1956-2009, con 54 años de información. La

estación hidrométrica Puente Ramis es administrada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología - SENAMHI - Puno.



Estación hidrométrica Puente Ramis

6.3 ANÁLISIS DE CONSISTENCIA DE LA INFORMACIÓN HIDROMÉTRICA

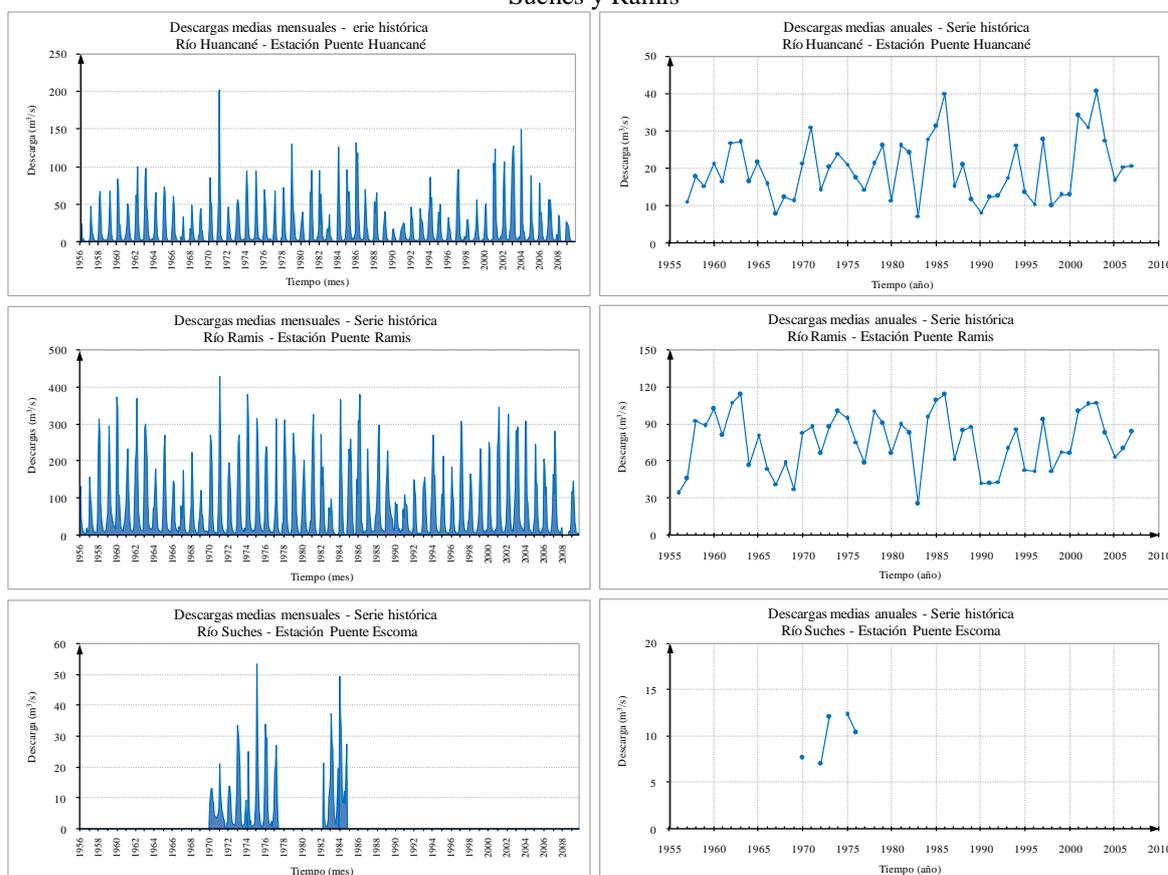
El análisis de consistencia de las descargas medias mensuales, se ha realizado similarmente con la misma metodología descrita en el análisis de la información pluviométrica. A continuación se muestran los análisis respectivos.

A.- Análisis visual de hidrogramas

Este análisis se realiza para detectar y identificar la inconsistencia de la información hidrométrica en forma visual, e indicar el período o los períodos en los cuales los datos son dudosos, lo cual se puede reflejar como “picos” muy altos o valores muy bajos, “saltos” y/o “tendencias”, los cuales se deben comprobarse si son fenómenos naturales que efectivamente han ocurrido o son producidos por errores sistemáticos, mediante un gráfico o hidrograma de las series de análisis, en coordenadas cartesianas ploteando la información histórica de la variable hidrométrica a nivel anual y mensual; en las ordenadas se ubica los valores anuales o mensuales de la serie hidrométrica en unidades respectivas y en las abscisas el tiempo en años y meses.

Para el presente estudio se ha formado un solo grupo de estaciones hidrométricas para su análisis. De las estaciones consideradas en el presente estudio, mediante este análisis resulta que no existe un período dudoso significativo en la serie de las descargas medias mensuales y anuales, tal como se muestra en los hidrogramas correspondientes.

Figura N° 6.1 Hidrograma de descargas medias mensuales y anuales - serie histórica - Ríos Huancané, Suches y Ramis



B.- Análisis de doble masa

Después de haber analizado los hidrogramas de las series respectivas se realiza el análisis de doble masa. El diagrama de doble masa se obtiene ploteando en el eje de las abscisas el volumen anual promedio acumulado de la variable hidrométrica de los ríos en unidades respectivas y en el eje de las ordenadas los volúmenes anuales acumulados de la variable hidrométrica en unidades correspondientes de cada una de los ríos considerados en el estudio. De los gráficos de doble masa se selecciona una estación más confiable, la que presenta el menor número de quiebres, la cual se usará como estación base para el análisis de otras estaciones. En este análisis, los errores producidos por los fenómenos naturales y sistemáticos son detectados mediante los “quiebres” que se presentan en los diagramas y permite determinar el rango de los períodos dudosos y confiables para cada estación en estudio, la cual se debe corregirse utilizando ciertos criterios estadísticos.

En el presente estudio, para el análisis de doble masa se ha formado dos (2) grupos de estaciones hidrométricas, según la longitud del registro de información histórica, con el fin obtener una comparación adecuada de las series de descargas medias mensuales, los cuadros y gráficos de análisis se muestran a continuación.

Grupo N° 1: Mediante el análisis de doble masa (ver Figura N° 6.2-a), la estación hidrométrica Puente Ramis (río Ramis) es seleccionada como la estación base. La comparación de la serie de descargas medias anuales de la estación Puente Huancané (río Huancané) con la estación base, no muestra quiebres significativos, la curva de doble masa tiende a mantenerse la pendiente predeterminada (ver Figura N° 6.2-b). Aunque muestran pequeños quiebres en el análisis de doble masa, dichos quiebres serán evaluadas en el análisis estadístico.

Grupo N° 2: Mediante el análisis de doble masa (ver Figura N° 6.3-a), la estación hidrométrica Puente Ramis (río Ramis) es seleccionada como la estación base. La comparación de la serie de descargas medias anuales de la estación Puente Escoma (río Huancané) con la estación base, no muestra quiebres significativos, la curva de doble masa tiende a mantenerse la pendiente predeterminada (ver Figura N° 6.3-b). Aunque muestran pequeños quiebres en el análisis de doble masa, dichos quiebres serán evaluadas en el análisis estadístico.

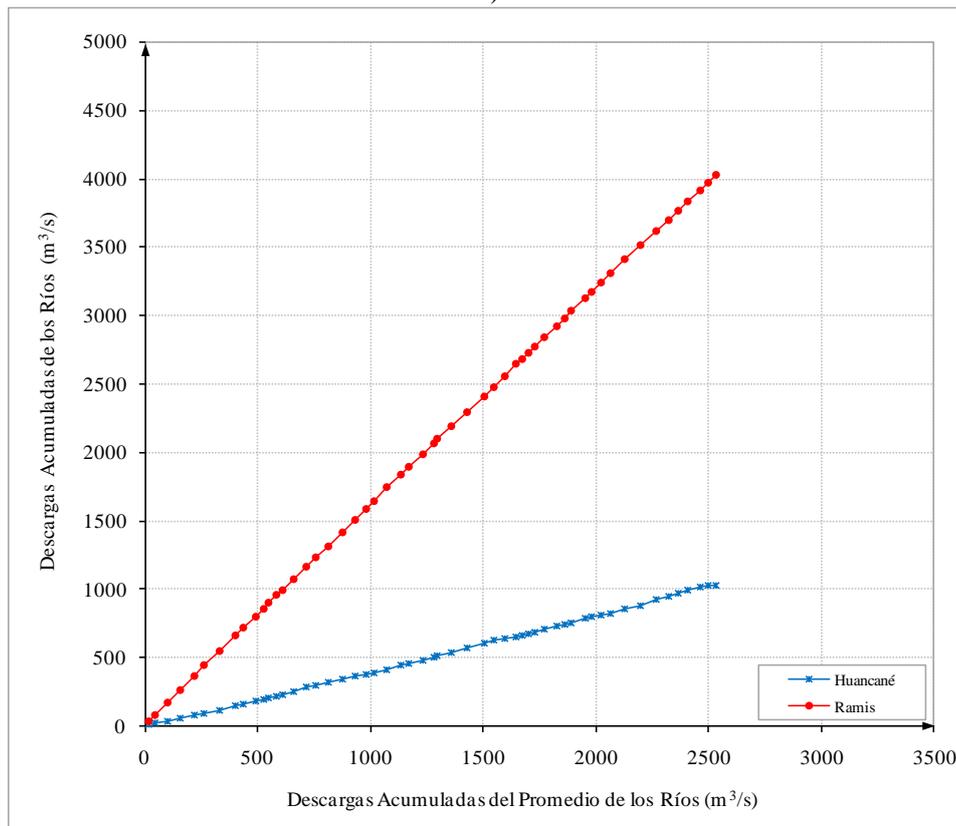
Los posibles períodos como dudosos y confiables de cada serie hidrológica de las estaciones en estudio, se muestran posteriormente en el análisis estadístico de saltos.

Cuadro N° 6.2 Análisis de doble masa de las descargas medias anuales (m³/s) - Grupo N° 1

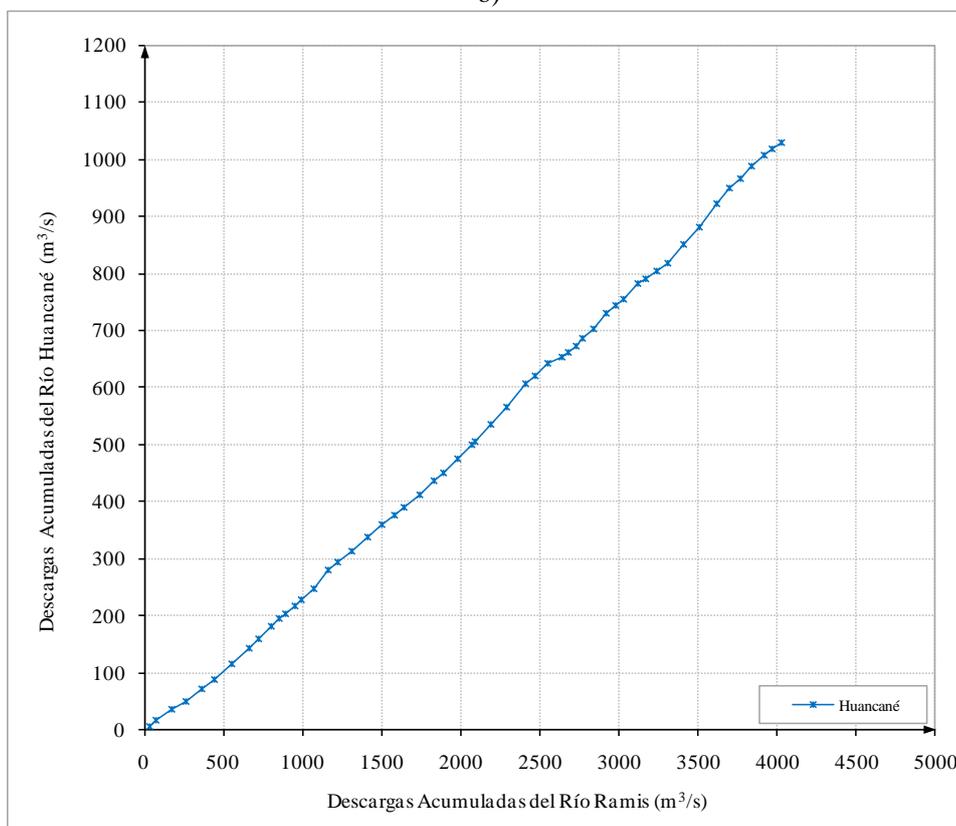
m	Año	Río				Promedio	
		Huancané		Ramis		Q	Qacumul
		Q	Qacumul	Q	Qacumul		
1	1956	6.15	6.15	33.31	33.31	19.73	19.73
2	1957	11.15	17.30	45.14	78.45	28.15	47.88
3	1958	17.67	34.97	92.59	171.04	55.13	103.01
4	1959	15.27	50.24	88.49	259.53	51.88	154.89
5	1960	21.36	71.60	102.14	361.67	61.75	216.64
6	1961	16.57	88.17	80.24	441.91	48.41	265.05
7	1962	26.82	114.99	107.40	549.31	67.11	332.16
8	1963	27.03	142.02	113.77	663.08	70.40	402.56
9	1964	16.31	158.33	56.18	719.26	36.25	438.81
10	1965	21.46	179.79	80.98	800.24	51.22	490.03
11	1966	15.83	195.62	53.54	853.78	34.69	524.72
12	1967	7.67	203.29	41.07	894.85	24.37	549.09
13	1968	12.19	215.48	57.84	952.69	35.02	584.11
14	1969	11.29	226.77	37.05	989.74	24.17	608.28
15	1970	21.41	248.18	82.93	1072.67	52.17	660.45
16	1971	31.02	279.20	87.27	1159.94	59.15	719.60
17	1972	14.16	293.36	65.53	1225.47	39.85	759.45
18	1973	20.17	313.53	87.29	1312.76	53.73	813.18
19	1974	23.96	337.49	100.12	1412.88	62.04	875.22
20	1975	21.03	358.52	94.03	1506.91	57.53	932.75
21	1976	17.39	375.91	75.22	1582.13	46.31	979.06
22	1977	14.33	390.24	57.90	1640.03	36.12	1015.18
23	1978	21.23	411.47	100.34	1740.37	60.79	1075.97
24	1979	26.12	437.59	90.23	1830.60	58.18	1134.15
25	1980	11.43	449.02	66.07	1896.67	38.75	1172.90
26	1981	25.96	474.98	89.39	1986.06	57.68	1230.58
27	1982	24.11	499.09	82.17	2068.23	53.14	1283.72
28	1983	7.23	506.32	24.92	2093.15	16.08	1299.80
29	1984	27.77	534.09	94.83	2187.98	61.30	1361.10
30	1985	31.20	565.29	108.83	2296.81	70.02	1431.12
31	1986	40.04	605.33	113.52	2410.33	76.78	1507.90
32	1987	15.02	620.35	61.54	2471.87	38.28	1546.18
33	1988	20.97	641.32	84.63	2556.50	52.80	1598.98
34	1989	11.68	653.00	87.86	2644.36	49.77	1648.75
35	1990	8.23	661.23	41.87	2686.23	25.05	1673.80
36	1991	12.15	673.38	41.10	2727.33	26.63	1700.43
37	1992	12.56	685.94	42.99	2770.32	27.78	1728.21
38	1993	17.51	703.45	70.01	2840.33	43.76	1771.97
39	1994	26.25	729.70	85.83	2926.16	56.04	1828.01
40	1995	13.61	743.31	52.58	2978.74	33.10	1861.11
41	1996	10.47	753.78	51.69	3030.43	31.08	1892.19
42	1997	27.57	781.35	93.04	3123.47	60.31	1952.50
43	1998	10.00	791.35	51.49	3174.96	30.75	1983.25
44	1999	12.85	804.20	67.24	3242.20	40.05	2023.30
45	2000	12.97	817.17	65.62	3307.82	39.30	2062.60
46	2001	34.11	851.28	99.74	3407.56	66.93	2129.53
47	2002	31.01	882.29	105.94	3513.50	68.48	2198.01
48	2003	40.50	922.79	107.25	3620.75	73.88	2271.89
49	2004	27.45	950.24	82.44	3703.19	54.95	2326.84
50	2005	16.74	966.98	63.51	3766.70	40.13	2366.97
51	2006	20.40	987.38	69.90	3836.60	45.15	2412.12
52	2007	20.69	1008.07	83.22	3919.82	51.96	2464.08
53	2008	11.47	1019.54	55.45	3975.27	33.46	2497.54
54	2009	10.77	1030.31	59.07	4034.34	34.92	2532.46

(Datos faltantes se completó por correlación con la información de las estaciones vecinas, sólo para el análisis de doble masa).

Figura N° 6.2 Diagrama de doble masa de las descargas medias anuales - Grupo N° 1
a)



b)



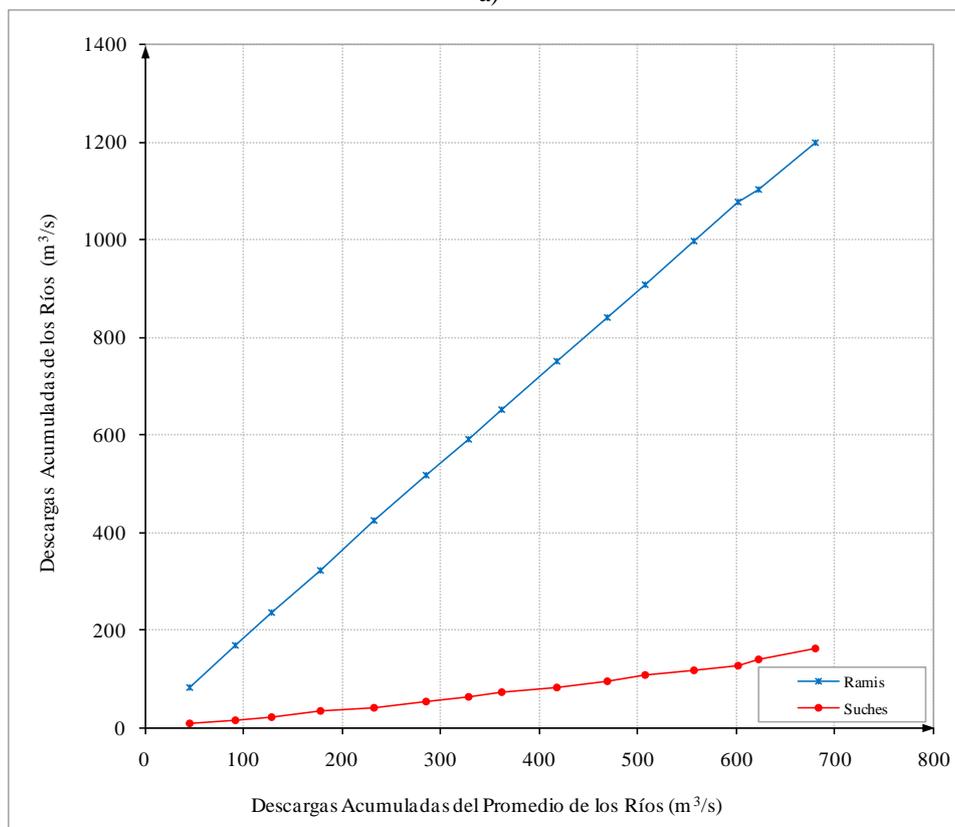
Cuadro N° 6.3 Análisis de doble masa de las descargas medias anuales (m³/s) - Grupo N° 2

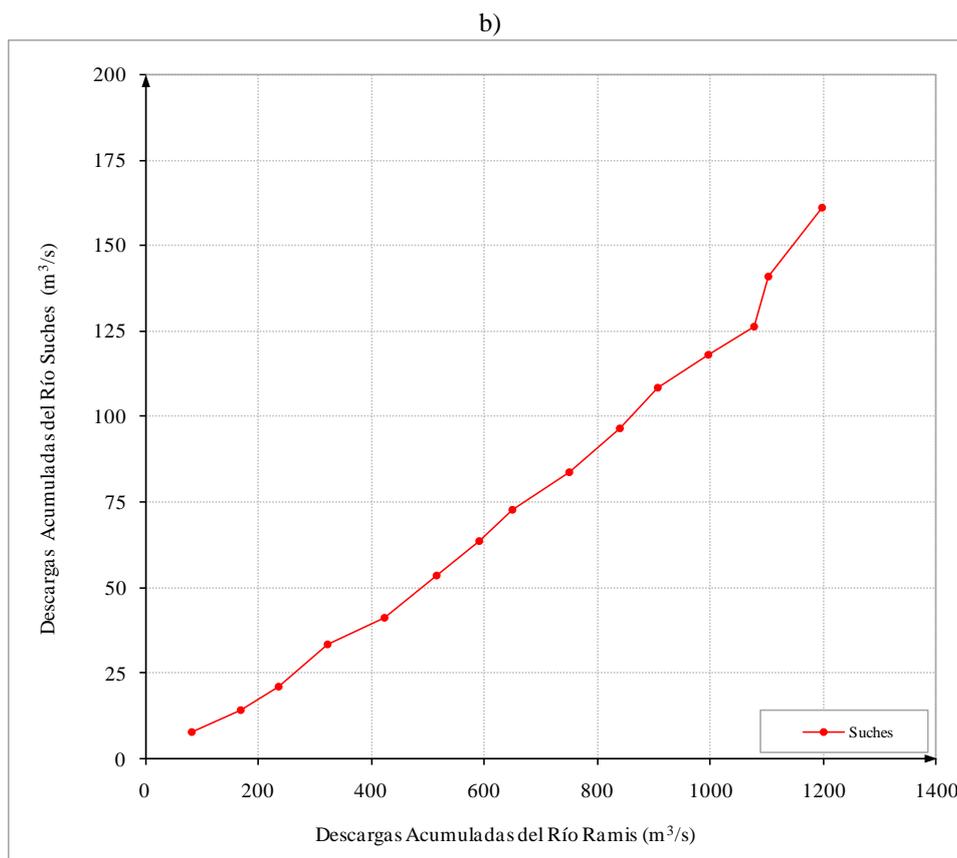
m	Año	Río				Promedio	
		Ramis		Suches		Q	Qacumul
		Q	Qacumul	Q	Qacumul		
1	1970	82.93	82.93	7.64	7.64	45.29	45.29
2	1971	87.27	170.20	6.58	14.22	46.93	92.22
3	1972	65.53	235.73	6.93	21.15	36.23	128.45
4	1973	87.29	323.02	11.99	33.14	49.64	178.09
5	1974	100.12	423.14	7.96	41.10	54.04	232.13
6	1975	94.03	517.17	12.26	53.36	53.15	285.28
7	1976	75.22	592.39	10.31	63.67	42.77	328.05
8	1977	57.90	650.29	9.11	72.78	33.51	361.56
9	1978	100.34	750.63	10.81	83.59	55.58	417.14
10	1979	90.23	840.86	12.85	96.44	51.54	468.68
11	1980	66.07	906.93	12.14	108.58	39.11	507.79
12	1981	89.39	996.32	9.42	118.00	49.41	557.20
13	1982	82.17	1078.49	8.41	126.41	45.29	602.49
14	1983	24.92	1103.41	14.36	140.77	19.64	622.13
15	1984	94.83	1198.24	20.29	161.06	57.56	679.69

(Datos faltantes se completó por correlación con la información de las estaciones vecinas, sólo para el análisis de doble masa).

Figura N° 6.3 Diagrama de doble masa de las descargas medias anuales - Grupo N° 2

a)





C.- Análisis estadístico

✍ Análisis de Saltos

Después de haber analizado los hidrogramas originales y los diagramas de doble masa se obtiene los períodos de posible corrección y los períodos de datos que se mantendrán con sus valores originales, se procede al análisis estadístico de *Saltos*, en los parámetros como la media y la desviación estándar.

La consistencia en la media se realiza mediante la prueba estadística "T" de Students y para la desviación estándar el análisis estadístico consiste en probar, mediante la prueba estadística de "F" de Fisher. Si los parámetros la media y la desviación estándar de los períodos considerados en el análisis son iguales estadísticamente, entonces no se corrige la información de lo contrario se debe corregirse. Después de todo el análisis respectivo la información es una serie homogénea, confiable y consistente al 95% de probabilidad.

En este caso, mediante el análisis realizado en forma mensual, se obtiene que la serie mensual de las descargas medias de los ríos considerados en el presente estudio, no muestran "Saltos" significativos en los parámetros analizados (media y desviación estándar) en todas las estaciones hidrométricas consideradas, para su posible corrección, sin embargo no se corrige dichas informaciones. Caso del río Suches, no se ha realizado el análisis de saltos, debido a poca información del registro de las descargas históricas.

A continuación se muestra el cuadro del análisis correspondiente:

Cuadro N° 6.4 Análisis de saltos de las descargas medias mensuales - serie histórica

ESTACIÓN	PERÍODO DE ANÁLISIS		NÚMERO DE DATOS, PROMEDIO Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR			CONSISTENCIA EN LA MEDIA				CONSISTENCIA EN LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR			
			N° Datos	Promedio	Desv.Est.	T calculada Tc	T tabla (95%) Tt	Comparación	Diferencia Significativa	F calculada Fc	F tabla (95%) Ft	Comparación	Diferencia Significativa
Huancané	n ₁ , PD	1956-1975	239	17.93	25.67	-0.9067	1.9637	Tc < Tt	NO	1.1352	1.2133	Fc < Ft	NO
	n ₂ , PC	1976-2009	402	19.91	27.35								
Ramis	n ₁ , PC	1956-1982	324	76.60	91.26	0.4476	1.9637	Tc < Tt	NO	1.1305	1.2037	Fc < Ft	NO
	n ₂ , PD	1983-2009	311	73.45	85.83								

✍ Análisis de Tendencias

Una vez analizado los Saltos tanto en la media y desviación estándar de la información hidrométrica se procedió a evaluar las *Tendencias* en los dos parámetros determinísticos. Para saber si la tendencia es significativa o no, se analiza el coeficiente de correlación "R" mediante la prueba estadística de T de Students.

Generalmente la tendencia en la desviación se presenta en los datos semanales o mensuales pero no en datos anuales.

En este caso, mediante el análisis realizado en forma mensual, se obtiene que la serie mensual de las descargas medias de las estaciones hidrométricas consideradas en el presente estudio no muestran "Tendencias" significativas en los parámetros analizados (media y desviación estándar) para su posible corrección, sin embargo no se corrige dichas informaciones. Al respecto del río Suches, no se ha realizado el análisis de tendencias, debido a poca información del registro histórico de las descargas medias.

Cuadro N° 6.5 Análisis de tendencias de las descargas medias mensuales - serie histórica

ESTACIÓN	TENDENCIA EN LA:	MEDIA, DESVEST, COEFICIENTES DE REGRESIÓN Y NÚMERO DE DATOS DE LAS TENDENCIAS EN LA MEDIA Y EN LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR							ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA TENDENCIA EN LA MEDIA Y EN LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR			
		Parámetros		Coeficientes de Regresión			Coeficiente de Correlación R	Número de Datos N	Estadístico T		Comparación	Tendencia Significativa
		Media	Desv.Est.	Am	Bm	Cm			T calculada Tc	T tabla (95%) Tt		
Huancané	Media (Tm)	19.17	26.74	17.5971	0.0049	-	0.0340	641	0.8600	1.9637	Tc < Tt	NO
	Desv.Est (Ts)	24.57	11.55	22.9008	0.0642	-	0.0826	51	0.5802	2.0086	Tc < Tt	NO
Ramis	Media (Tm)	75.06	88.58	76.9680	-0.0060	-	-0.0124	635	-0.3120	1.9637	Tc < Tt	NO
	Desv.Est (Ts)	85.12	28.95	84.1183	0.0378	-	0.0198	52	0.1400	2.0076	Tc < Tt	NO

En general, después de haber evaluado con los tres métodos de análisis, la información hidrométrica de las descargas medias mensuales históricas consideradas en el presente estudio, es libre de saltos y tendencias, es serie homogénea, consistente y confiable al 95% de probabilidad. Por lo tanto, se puede utilizar para su completación y extensión de registros, y su uso para propósitos múltiples.

6.4 COMPLETACIÓN Y EXTENSIÓN DE LA INFORMACIÓN HIDROMÉTRICA

La completación y extensión de la información hidrométrica, se realiza con el fin de obtener una serie completa y de un período uniforme.

Para la completación y extensión de la información hidrométrica, se ha utilizado el software hidrológico denominado Hec-4 Monthly Streamflow Simulation, desarrollado por el Hydrologic Engineering Center de los Estados Unidos de América.

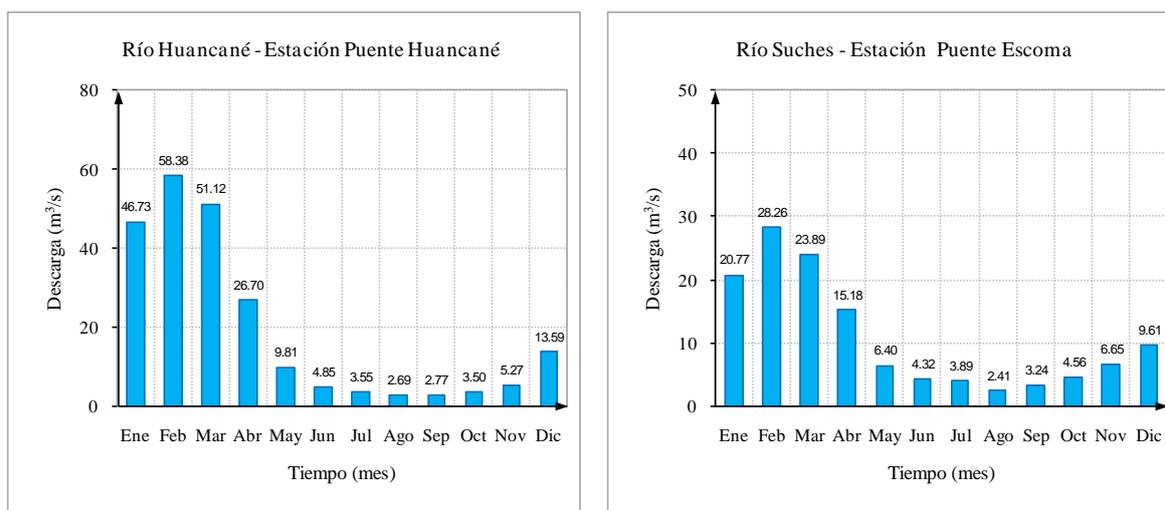
La completación y extensión de registros de la información hidrométrica, se ha desarrollado utilizando la información consistente y confiable obtenida en el análisis anterior. Los registros de las descargas medias mensuales de los ríos considerados en el presente estudio, se han completado y extendido del período 1956-2009. Los caudales completados y extendidos se muestran en el Anexo 1.

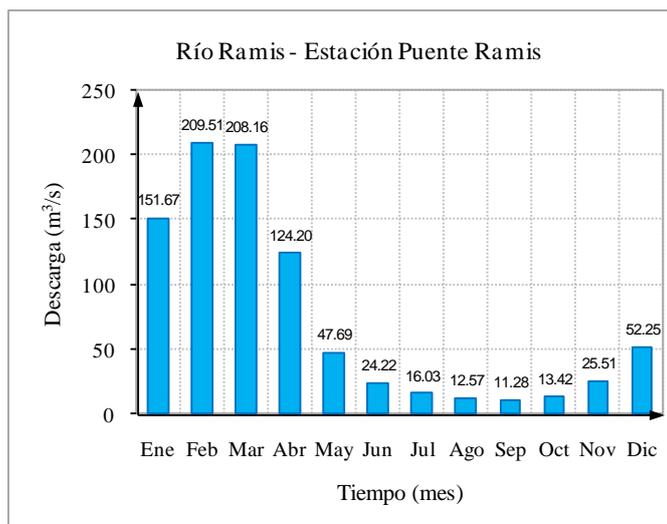
En el siguiente cuadro, se muestran la información del promedio multimensual de las descargas medias mensuales completadas y extendidas, de los ríos Huancané, Suches y Ramis.

Cuadro N° 6.6 Descargas medias mensuales (m³/s) – Promedio multimensual (1956-2009)
Estaciones hidrométricas de los ríos Huancané, Suches y Ramis

Río	Estación	Mes												Prom Anual
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Huancané	Pte.Huancané	46.73	58.38	51.12	26.70	9.81	4.85	3.55	2.69	2.77	3.50	5.27	13.59	19.08
Suches	Pte.Escoma	20.77	28.26	23.89	15.18	6.40	4.32	3.89	2.41	3.24	4.56	6.65	9.61	10.76
Ramis	Pte.Ramis	151.67	209.51	208.16	124.20	47.69	24.22	16.03	12.57	11.28	13.42	25.51	52.25	74.71

Figura N° 6.4 Variación mensual de las descargas medias (m³/s) – Promedio multimensual (1956-2009)





Las descargas medias anuales de los ríos Huancané, Suches y Ramis se muestran en el Cuadro N° 6.7 y en los Gráficos N° 6.5 a 6.7.

Cuadro N° 6.7 Descargas medias anuales (m³/s) - Ríos Huancané, Suches y Ramis

Año	Río			Año	Río		
	Huancané	Suches	Ramis		Huancané	Suches	Ramis
1956	6.15	12.86	33.31	1983	7.23	14.36	24.92
1957	11.15	12.09	45.14	1984	27.77	20.29	94.83
1958	17.67	12.38	92.59	1985	31.20	14.25	108.83
1959	15.27	8.53	88.49	1986	40.04	6.15	113.52
1960	21.36	9.79	102.14	1987	15.02	11.24	61.54
1961	16.57	8.67	80.24	1988	20.97	8.35	84.63
1962	26.82	7.65	107.40	1989	11.68	5.54	87.86
1963	27.03	6.21	113.77	1990	8.23	13.01	41.87
1964	16.31	8.86	56.18	1991	12.15	6.86	41.10
1965	21.46	7.57	80.98	1992	12.56	14.34	42.99
1966	15.83	9.30	53.54	1993	17.51	8.90	70.01
1967	7.67	14.21	41.07	1994	26.25	12.93	85.83
1968	12.19	15.94	57.84	1995	13.61	15.39	52.58
1969	11.29	8.97	37.05	1996	10.47	11.11	51.69
1970	21.41	7.64	82.93	1997	27.57	12.89	93.04
1971	31.02	6.58	87.27	1998	10.00	9.96	51.49
1972	14.16	6.93	65.53	1999	12.85	10.61	67.24
1973	20.17	11.99	87.29	2000	12.97	7.74	65.62
1974	23.96	7.96	100.12	2001	34.11	13.53	99.74
1975	21.03	12.26	94.03	2002	31.01	11.09	105.94
1976	17.39	10.31	75.22	2003	40.50	9.52	107.25
1977	14.33	9.11	57.90	2004	27.45	14.58	82.44
1978	21.23	10.81	100.34	2005	16.74	10.73	63.51
1979	26.12	12.85	90.23	2006	20.40	9.90	69.90
1980	11.43	12.14	66.07	2007	20.69	11.62	83.22
1981	25.96	9.42	89.39	2008	11.47	14.51	55.45
1982	24.11	8.41	82.17	2009	10.77	12.46	59.07

Descarga media multianual:	Río Huancané	=	19.08	m ³ /s
	Río Suches	=	10.76	m ³ /s
	Río Ramis	=	74.71	m ³ /s

Figura N° 6.5 Hidrograma de las descargas medias anuales - Río Huancané - Estación Puente Huancané

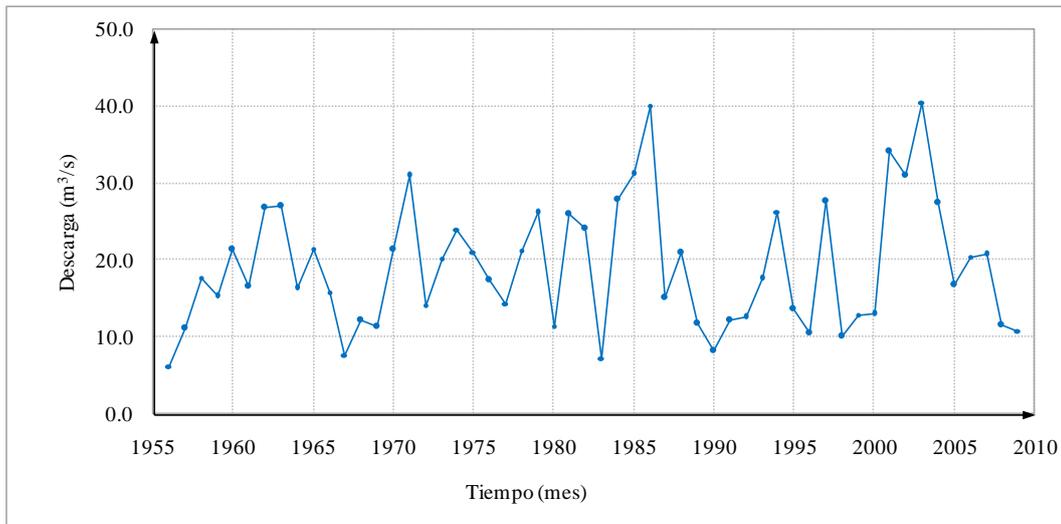


Figura N° 6.6 Hidrograma de las descargas medias anuales - Río Suches - Estación Puente Escoma

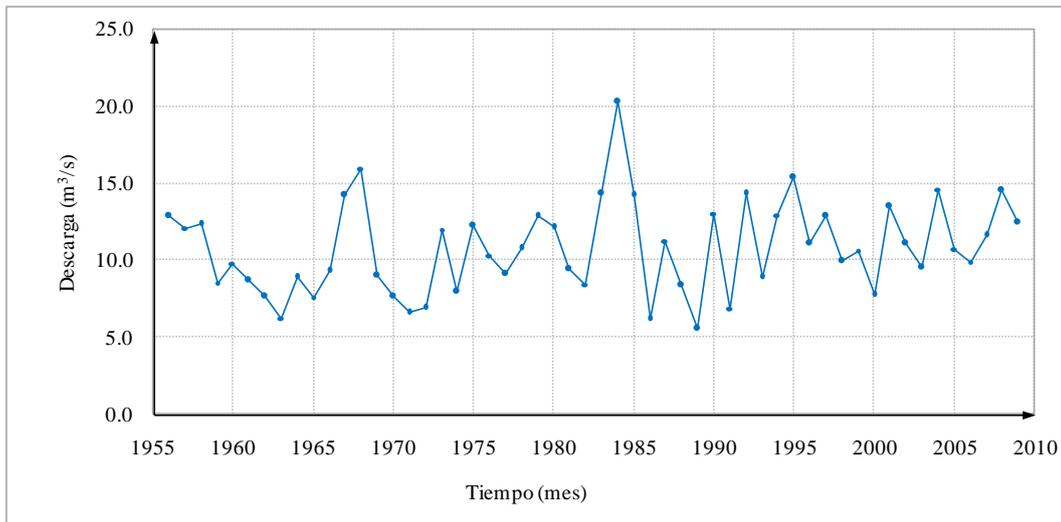
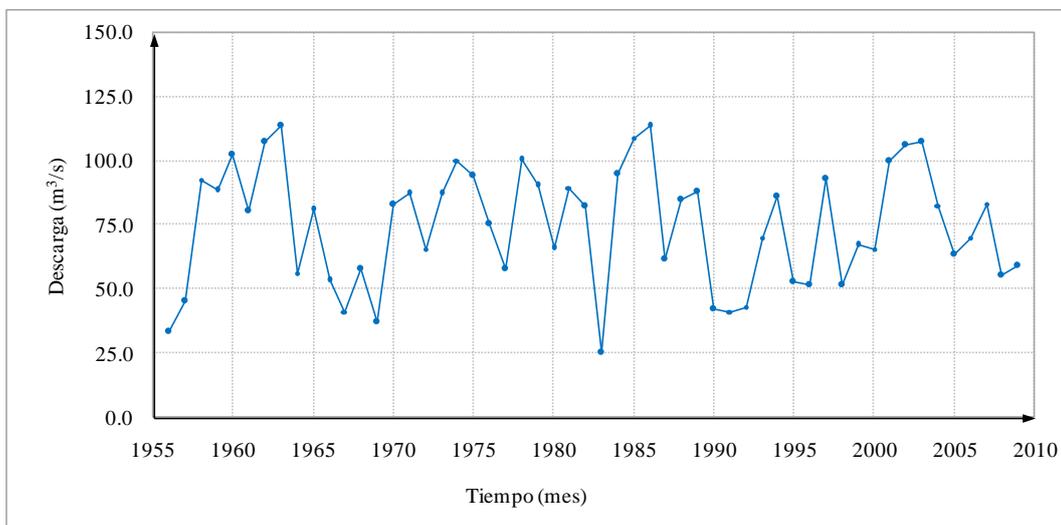


Figura N° 6.7 Hidrograma de las descargas medias anuales - Río Ramis - Estación Puente Ramis



6.5 PERSISTENCIA DE LAS DESCARGAS MEDIAS MENSUALES

Según las recomendaciones nacionales e internacionales, la disponibilidad de agua para atender las demandas de riego se deben determinar con un nivel de persistencia de 75% de probabilidad.

El análisis estadístico de probabilidad de ocurrencia de las descargas medias mensuales, para fines de riego, la fórmula de Weibull es universalmente utilizada, cuya ecuación es la siguiente:

$$P(X \geq x_m) = \left(\frac{m}{n+1} \right) \quad (1)$$

Donde:

- n : Número total de datos de la muestra.
m : Posición de un valor en una lista ordenada por magnitud descendente del respectivo valor de caudal al que se refiere la probabilidad P de excedencia.

Para el análisis de persistencia de las descargas medias mensuales de los ríos Huancané y Suches, se ha empleado la información consistente, completado y extendido del período 1956-2009.

Utilizando la información de las descargas medias de los ríos Huancané y Suches, y aplicando la ecuación (1), se ha realizado el análisis de persistencia al 75% de probabilidad. En los Cuadros N° 6.8 y 6.10 se muestran el análisis de persistencia de las descargas medias de los ríos en estudio.

Cuadro N° 6.8 Análisis de frecuencia de las descargas medias mensuales (m³/s)
Río Huancané – Estación Puente Huancané

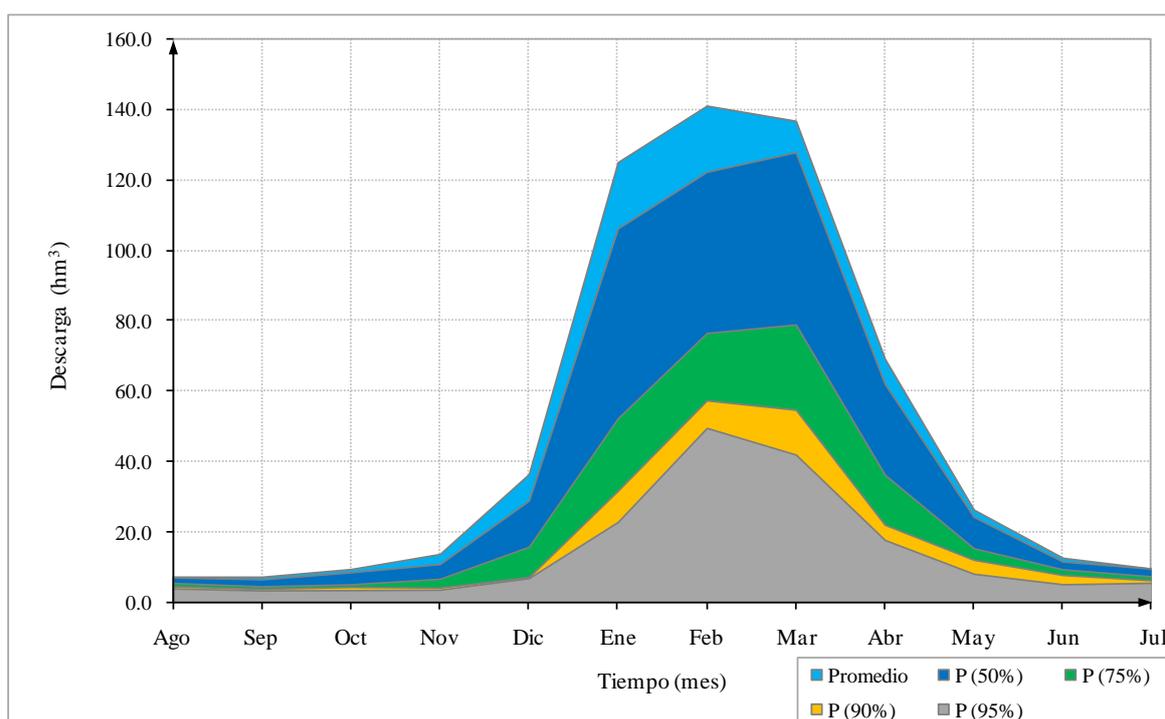
m	Mes												P (%)
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
1	149.64	201.62	127.67	80.16	25.63	13.77	5.94	4.63	6.63	14.47	18.20	52.47	1.8
2	132.10	126.32	123.75	67.65	24.61	8.73	5.72	4.25	5.64	8.18	17.43	48.38	3.6
3	130.19	121.64	118.89	66.32	20.99	8.17	5.55	4.12	4.82	7.77	11.09	35.68	5.5
4	105.21	98.41	107.20	59.53	20.12	7.92	5.30	4.07	4.59	7.53	10.12	34.79	7.3
5	98.00	95.08	100.34	48.97	19.01	7.60	5.24	3.86	4.49	6.47	9.80	31.65	9.1
6	96.18	94.95	96.95	47.72	17.37	7.54	5.21	3.77	4.48	5.60	9.63	27.72	10.9
7	95.48	94.84	95.74	45.27	14.25	7.31	5.20	3.73	4.44	5.50	9.49	23.60	12.7
8	86.87	92.19	80.08	42.70	14.11	6.39	4.89	3.72	4.29	5.01	8.50	23.36	14.5
9	84.07	90.31	68.21	42.56	13.87	5.94	4.57	3.71	4.23	4.81	8.29	21.92	16.4
10	78.88	88.71	68.19	40.86	13.37	5.87	4.46	3.52	4.17	4.70	7.89	21.87	18.2
11	70.52	86.62	66.43	38.99	13.37	5.77	4.42	3.49	4.13	4.37	7.75	19.60	20.0
12	70.02	86.00	66.41	36.20	13.34	5.75	4.39	3.45	4.07	4.30	7.72	18.87	21.8
13	66.51	82.46	66.35	34.72	13.29	5.74	3.98	3.45	3.85	4.22	7.72	18.81	23.6
14	62.65	77.37	64.32	33.63	13.01	5.59	3.96	3.35	3.47	4.14	7.43	17.29	25.5
15	60.21	73.93	64.03	33.52	11.95	5.56	3.89	3.28	3.42	4.13	7.08	17.06	27.3
16	57.35	73.54	61.32	33.17	11.68	5.46	3.85	3.15	3.42	4.09	6.76	17.05	29.1
17	57.06	72.86	60.21	32.35	11.35	5.21	3.82	3.03	3.28	3.99	6.67	16.64	30.9
18	56.61	67.99	56.65	32.03	11.27	5.19	3.81	2.98	3.06	3.98	6.02	16.56	32.7
19	55.25	67.47	56.61	29.39	11.08	5.12	3.70	2.92	3.04	3.91	5.67	16.07	34.5
20	54.22	66.12	54.04	29.10	10.97	5.01	3.66	2.84	2.85	3.80	5.62	14.41	36.4
21	54.18	63.65	53.58	27.14	10.92	4.98	3.62	2.82	2.77	3.76	5.59	12.79	38.2
22	48.06	61.38	53.30	27.06	10.72	4.97	3.59	2.80	2.76	3.67	5.49	12.57	40.0
23	47.23	57.53	53.21	27.05	9.83	4.90	3.56	2.78	2.67	3.66	4.76	12.53	41.8
24	47.14	56.97	51.99	25.85	9.70	4.81	3.54	2.69	2.63	3.60	4.71	12.43	43.6
25	46.01	53.43	50.78	25.07	9.49	4.69	3.53	2.68	2.62	3.39	4.51	11.99	45.5
26	45.17	52.26	48.46	24.29	9.23	4.49	3.52	2.68	2.57	3.25	4.43	11.52	47.3
27	40.43	51.38	47.96	24.11	9.18	4.44	3.52	2.59	2.50	3.21	4.24	11.08	49.1
28	38.82	49.68	47.47	23.70	8.86	4.39	3.52	2.59	2.44	3.07	4.04	10.39	50.9
29	35.73	48.13	47.15	23.09	8.16	4.39	3.50	2.56	2.39	2.79	4.03	9.74	52.7
30	34.44	47.17	41.22	22.81	8.08	4.31	3.40	2.52	2.26	2.74	4.03	8.76	54.5
31	34.02	47.10	41.13	22.28	7.92	4.30	3.36	2.43	2.13	2.56	3.87	8.69	56.4
32	26.51	45.22	40.58	21.31	7.67	4.26	3.36	2.42	2.13	2.55	3.83	8.07	58.2
33	25.38	44.80	40.22	19.85	7.33	4.24	3.32	2.42	2.13	2.55	3.68	7.98	60.0
34	22.76	39.19	39.91	18.80	7.27	4.19	3.29	2.36	2.07	2.47	3.61	7.92	61.8
35	22.47	38.47	38.42	17.22	6.82	4.12	3.17	2.34	2.07	2.34	3.40	7.86	63.6
36	21.56	37.39	34.47	16.72	6.70	4.02	3.12	2.24	1.99	2.25	3.23	7.41	65.5
37	21.08	37.05	32.89	16.61	6.53	3.97	3.10	2.19	1.98	2.16	3.17	7.03	67.3
38	20.90	36.33	31.24	15.71	6.41	3.77	3.05	2.19	1.97	2.11	3.14	6.54	69.1
39	20.55	35.99	30.97	15.59	6.31	3.73	3.02	2.17	1.94	1.95	2.85	6.42	70.9
40	20.48	33.55	30.31	14.83	6.05	3.73	2.77	2.13	1.74	1.94	2.58	6.09	72.7
41	19.63	31.73	30.28	14.52	5.75	3.61	2.73	2.03	1.73	1.89	2.56	5.95	74.5
42	19.32	31.67	27.45	12.53	5.62	3.55	2.72	1.98	1.72	1.85	2.52	5.67	76.4
43	17.93	31.55	27.18	11.96	5.31	3.51	2.64	1.91	1.72	1.84	2.47	5.55	78.2
44	15.31	31.10	26.11	11.80	5.21	3.46	2.61	1.87	1.68	1.84	2.42	5.25	80.0
45	15.27	30.54	25.17	11.65	5.11	3.40	2.56	1.87	1.63	1.82	2.17	4.76	81.8
46	14.37	28.68	24.94	11.26	5.02	3.37	2.53	1.86	1.63	1.80	2.10	4.11	83.6
47	13.48	24.68	22.93	11.21	4.95	3.17	2.50	1.86	1.61	1.68	2.00	3.05	85.5
48	12.48	24.14	21.71	10.86	4.54	3.00	2.42	1.76	1.60	1.66	1.86	2.97	87.3
49	12.04	24.02	20.59	9.37	4.50	2.99	2.40	1.72	1.53	1.63	1.73	2.67	89.1
50	11.70	23.58	20.40	7.64	4.50	2.97	2.23	1.62	1.36	1.56	1.45	2.63	90.9
51	10.59	22.45	17.94	7.36	4.08	2.79	2.13	1.50	1.31	1.35	1.43	2.61	92.7
52	8.53	21.33	17.42	7.30	3.01	1.99	2.06	1.46	1.27	1.30	1.35	2.60	94.5
53	8.49	18.21	10.84	5.48	2.96	1.82	1.97	1.39	1.27	1.14	1.34	2.37	96.4
54	4.12	13.87	8.74	5.16	1.36	1.77	1.73	1.30	1.22	0.76	0.85	2.32	98.2
Promedio	46.73	58.38	51.12	26.70	9.81	4.85	3.55	2.69	2.77	3.50	5.27	13.59	
P (50%)	39.63	50.53	47.72	23.91	9.02	4.42	3.52	2.59	2.47	3.14	4.14	10.74	
P (75%)	19.55	31.71	29.54	14.00	5.72	3.59	2.73	2.02	1.73	1.88	2.55	5.88	
P (90%)	11.87	23.80	20.50	8.51	4.50	2.98	2.32	1.67	1.45	1.60	1.59	2.65	
P (95%)	8.52	20.51	15.69	6.82	3.00	1.95	2.04	1.44	1.27	1.26	1.35	2.54	

En el Cuadro N° 6.9 y en la Figura N° 6.8, se muestra los volúmenes de descargas medias mensuales, calculados al 50, 75, 90 y 95% de probabilidad de ocurrencia para el río Huancané, estación hidrométrica Puente Huancané.

Cuadro N° 6.9 Volúmenes de descargas medias mensuales (hm³) al 75% de persistencia
Río Huancané - Estación Puente Huancané

Persistencia	Mes												Total Anual
	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	
Promedio	7.20	7.18	9.37	13.66	36.40	125.16	141.23	136.92	69.21	26.28	12.57	9.51	594.69
P (50%)	6.94	6.40	8.41	10.73	28.77	106.14	122.24	127.81	61.97	24.16	11.46	9.43	524.46
P (75%)	5.41	4.48	5.04	6.61	15.75	52.36	76.71	79.12	36.29	15.32	9.31	7.31	313.71
P (90%)	4.47	3.76	4.29	4.12	7.10	31.79	57.58	54.91	22.06	12.05	7.72	6.21	216.06
P (95%)	3.86	3.29	3.37	3.50	6.80	22.82	49.62	42.02	17.68	8.04	5.05	5.46	171.51

Figura N° 6.8 Variación mensual de los volúmenes de descargas medias
Río Huancané - Estación Puente Huancané



Cuadro N° 6.10 Análisis de frecuencia de las descargas medias mensuales (m³/s)
Río Suches – Estación Escoma

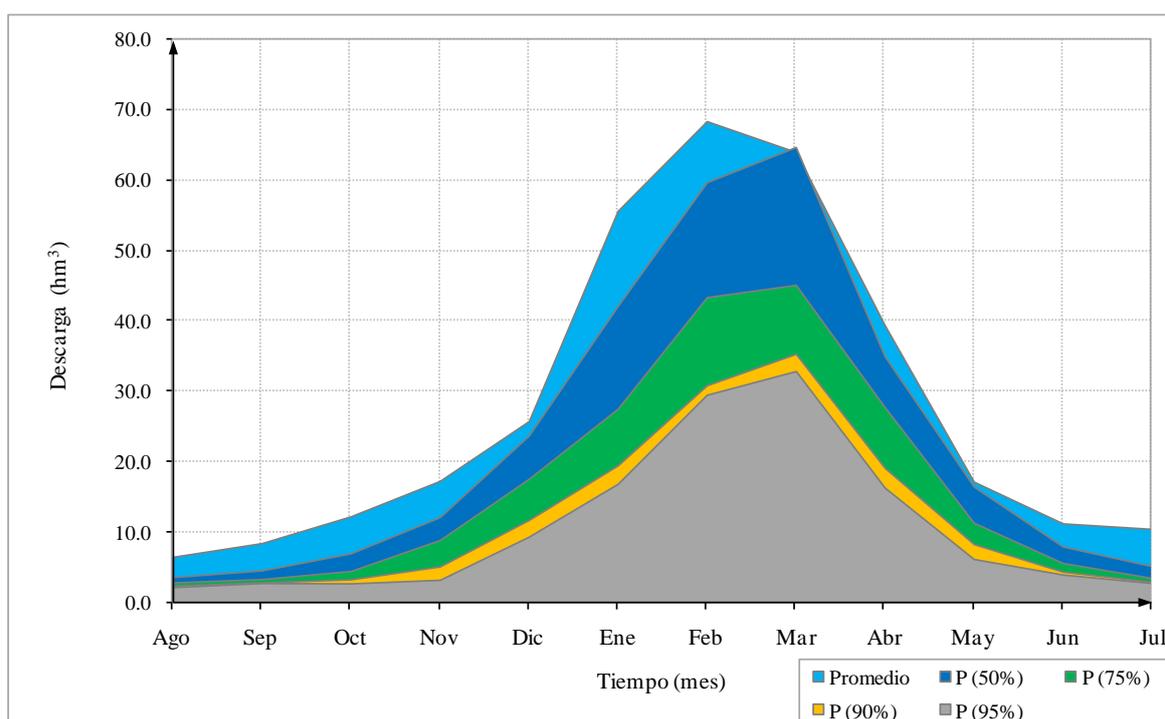
m	Mes												P (%)
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
1	66.66	61.01	37.62	39.63	14.75	16.17	33.87	11.42	32.46	51.34	34.45	24.61	1.8
2	64.19	60.98	35.12	34.90	13.62	14.23	25.71	11.38	18.13	27.74	23.81	18.13	3.6
3	63.09	60.58	34.61	30.36	11.35	12.95	14.48	10.53	8.80	13.22	19.96	17.81	5.5
4	59.91	53.70	34.39	26.43	11.17	9.22	13.30	10.29	7.91	11.50	19.79	17.52	7.3
5	49.69	52.07	33.75	26.37	11.17	8.91	12.47	8.40	7.35	7.22	17.06	16.75	9.1
6	40.72	48.47	32.47	24.27	9.71	8.76	7.42	4.44	6.43	6.78	15.66	15.85	10.9
7	36.37	46.18	32.25	24.10	9.50	8.02	7.05	3.75	4.98	6.30	13.38	15.76	12.7
8	34.20	44.86	32.07	22.46	9.44	7.52	4.82	3.26	4.78	6.29	10.69	15.38	14.5
9	33.79	42.64	32.03	21.64	9.09	6.65	4.66	3.02	3.97	5.38	10.65	14.48	16.4
10	33.22	40.77	31.78	21.20	9.00	6.20	4.64	2.99	3.80	4.93	9.57	12.84	18.2
11	31.79	38.83	31.54	20.41	8.90	5.94	3.97	2.91	3.28	4.89	9.52	12.73	20.0
12	28.76	38.61	31.05	20.04	8.34	5.66	3.62	2.62	3.27	4.69	7.04	12.33	21.8
13	27.20	38.39	30.75	20.04	8.03	5.52	3.09	2.34	3.26	4.57	6.80	12.19	23.6
14	26.60	37.64	30.42	19.81	7.97	5.37	2.92	2.24	3.09	4.10	6.78	12.17	25.5
15	25.33	37.62	30.09	18.52	7.91	4.94	2.89	2.19	2.88	4.07	6.74	11.31	27.3
16	24.06	33.37	30.00	17.20	7.67	4.76	2.80	2.11	2.79	3.91	6.48	10.83	29.1
17	20.75	32.54	29.81	16.76	7.48	4.68	2.78	2.10	2.78	3.80	5.94	10.68	30.9
18	20.40	32.29	29.68	16.31	7.39	4.58	2.78	1.99	2.76	3.77	5.90	10.58	32.7
19	19.51	31.37	29.29	15.81	7.36	4.48	2.77	1.90	2.60	3.52	5.80	10.51	34.5
20	18.82	29.96	28.54	15.25	7.24	4.38	2.65	1.78	1.99	3.17	5.75	10.46	36.4
21	18.32	29.89	28.30	14.30	6.97	4.00	2.45	1.69	1.97	3.12	5.66	10.26	38.2
22	17.84	26.97	27.85	14.24	6.91	3.90	2.35	1.61	1.90	2.99	5.38	10.15	40.0
23	17.14	26.08	27.55	13.91	6.89	3.80	2.33	1.58	1.81	2.98	5.26	9.69	41.8
24	16.78	25.81	27.37	13.89	6.71	3.80	2.28	1.55	1.80	2.97	5.13	9.63	43.6
25	16.12	25.81	25.35	13.61	6.43	3.29	2.21	1.52	1.78	2.95	4.85	9.14	45.5
26	16.05	25.16	25.15	13.60	6.42	3.16	2.03	1.46	1.75	2.67	4.83	9.01	47.3
27	15.83	24.76	24.76	13.50	6.24	3.05	1.91	1.35	1.74	2.66	4.67	8.98	49.1
28	15.61	24.58	23.54	13.43	6.01	3.05	1.90	1.31	1.74	2.52	4.64	8.70	50.9
29	14.76	23.96	23.10	13.18	5.93	3.02	1.82	1.29	1.72	2.30	4.49	8.51	52.7
30	14.57	23.77	22.72	13.17	5.58	2.92	1.75	1.27	1.69	2.20	4.34	8.38	54.5
31	13.72	23.47	22.22	12.98	5.50	2.91	1.63	1.19	1.63	2.18	4.29	8.30	56.4
32	13.36	23.10	21.89	12.34	5.41	2.84	1.57	1.18	1.50	2.12	3.88	8.27	58.2
33	12.62	21.89	21.82	12.23	5.32	2.78	1.56	1.17	1.49	2.11	3.72	8.20	60.0
34	12.46	21.71	21.54	11.90	5.28	2.62	1.55	1.15	1.49	2.04	3.71	7.94	61.8
35	12.22	21.41	21.27	11.78	5.26	2.57	1.46	1.14	1.47	1.99	3.69	7.68	63.6
36	11.92	21.27	20.83	11.72	5.16	2.39	1.45	1.13	1.43	1.97	3.62	7.45	65.5
37	11.62	20.80	20.65	11.49	5.15	2.38	1.41	1.08	1.42	1.94	3.54	7.11	67.3
38	11.47	20.54	19.25	11.16	4.89	2.36	1.39	1.08	1.29	1.86	3.53	7.10	69.1
39	11.28	19.46	17.22	10.96	4.30	2.35	1.33	1.08	1.29	1.69	3.51	6.94	70.9
40	10.82	19.10	17.21	10.89	4.26	2.24	1.27	1.05	1.26	1.66	3.44	6.91	72.7
41	10.38	17.93	16.89	10.70	4.20	2.16	1.27	1.03	1.26	1.64	3.40	6.57	74.5
42	9.89	17.82	16.64	10.58	4.19	2.03	1.27	1.03	1.23	1.64	3.36	6.42	76.4
43	9.79	17.18	16.43	9.82	3.85	1.99	1.26	1.02	1.17	1.64	3.16	6.07	78.2
44	9.17	16.15	15.82	9.18	3.83	1.97	1.25	0.97	1.17	1.56	2.85	6.04	80.0
45	8.84	15.04	15.10	8.93	3.76	1.89	1.20	0.95	1.14	1.54	2.70	6.00	81.8
46	8.83	14.14	14.15	8.76	3.43	1.83	1.18	0.90	1.14	1.32	2.69	5.19	83.6
47	8.03	14.13	14.08	8.57	3.40	1.74	1.17	0.90	1.11	1.31	2.24	5.10	85.5
48	7.66	13.37	13.38	7.60	3.40	1.69	1.15	0.89	1.08	1.30	2.08	4.60	87.3
49	7.29	12.80	13.37	7.60	3.15	1.69	1.08	0.89	1.08	1.22	2.03	4.54	89.1
50	7.28	12.79	13.10	7.18	3.02	1.64	1.08	0.84	1.08	1.20	1.89	4.22	90.9
51	6.68	12.71	12.89	6.54	2.54	1.60	1.06	0.82	1.08	1.16	1.70	3.77	92.7
52	6.33	12.54	12.53	6.29	2.43	1.52	1.04	0.80	1.07	1.02	1.30	3.71	94.5
53	6.22	11.33	11.65	6.29	1.90	1.47	0.93	0.77	0.97	0.92	1.01	2.83	96.4
54	5.36	6.88	7.01	5.66	1.00	1.44	0.85	0.65	0.77	0.92	0.82	2.61	98.2
Promedio	20.77	28.26	23.89	15.18	6.40	4.32	3.89	2.41	3.24	4.56	6.65	9.61	
P (50%)	15.72	24.67	24.15	13.47	6.13	3.05	1.91	1.33	1.74	2.59	4.66	8.84	
P (75%)	10.25	17.90	16.82	10.67	4.20	2.13	1.27	1.03	1.25	1.64	3.39	6.53	
P (90%)	7.29	12.80	13.24	7.39	3.09	1.67	1.08	0.87	1.08	1.21	1.96	4.38	
P (95%)	6.30	12.22	12.30	6.29	2.29	1.51	1.01	0.79	1.04	0.99	1.22	3.48	

En el Cuadro N° 6.11 y en la Figura N° 6.9, se muestra los volúmenes de descargas medias mensuales, calculados al 50, 75, 90 y 95% de probabilidad de ocurrencia para el río Suches, estación hidrométrica Puente Escoma.

Cuadro N° 6.11 Volúmenes de descargas medias mensuales (hm^3) al 75% de persistencia
Río Suches - Estación Puente Escoma

Persistencia	Mes												Total Anual
	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	
Promedio	6.45	8.40	12.21	17.24	25.74	55.63	68.37	63.99	39.35	17.14	11.20	10.42	336.14
P (50%)	3.56	4.51	6.94	12.08	23.68	42.10	59.68	64.68	34.91	16.42	7.91	5.12	281.59
P (75%)	2.76	3.24	4.39	8.79	17.49	27.45	43.30	45.05	27.66	11.25	5.52	3.40	200.30
P (90%)	2.33	2.80	3.24	5.08	11.73	19.53	30.97	35.46	19.15	8.28	4.33	2.89	145.79
P (95%)	2.12	2.70	2.65	3.16	9.32	16.87	29.56	32.94	16.30	6.13	3.91	2.71	128.37

Figura N° 6.9 Variación mensual de los volúmenes de descargas medias
Río Suches - Estación Puente Escoma



CAPÍTULO VII

MODELACIÓN HIDROLÓGICA-GENERACIÓN DE DESCARGAS MEDIAS MENSUALES

7.1 GENERALIDADES

En el presente estudio, para el modelamiento hidrológico se ha utilizado el método de la relación Lluvia-Escorrimento.

Las relaciones lluvia-escorrimento se utilizan principalmente para el diseño, los pronósticos y la evaluación. Si los datos de escurrimientos no están disponibles o son insuficientes para una interpretación o extrapolación fiables, las relaciones lluvia-escorrimento pueden ser muy útiles porque permiten extraer la información de escurrimiento a partir de los registros de precipitación. Como los datos de lluvia son relativamente fáciles y poco costosos de recoger, son generalmente más abundantes que los datos de escurrimiento. Si se puede establecer una relación estrecha entre lluvia y escurrimiento para una cuenca determinada, la relación lluvia-escorrimento, aplicada a los datos de lluvia, puede dar estimaciones más fiables de la frecuencia de grandes caudales que los que puede dar una relación regional entre las crecidas o una extrapolación basada en los datos de escurrimientos de la cuenca.

Las relaciones lluvia-escorrimento usualmente se establecen en dos etapas: la determinación del volumen de escurrimiento que resulta de un volumen de lluvia producido durante un período de tiempo dado, y la distribución del volumen de escurrimiento en función del tiempo. La primera etapa es necesaria debido a la división de la lluvia en evapotranspiración, infiltración y escurrimiento. La segunda se requiere para tomar en cuenta el tiempo de recorrido y la atenuación de la onda de escurrimiento que se genera por la lluvia.

Para el modelamiento hidrológico y la generación de descargas medias mensuales para los ríos en estudio, se ha empleado el modelo hidrológico de Lutz Scholz.

7.2 IMPORTANCIA DE LA MODELACIÓN HIDROLÓGICA

La necesidad de la aplicación de modelos matemáticos – hidrológicos de generación de caudales medios mensuales está sustentada en aspectos de sustancial importancia, como los que en seguida mencionamos.

- La necesidad de contar con información hidrológica en puntos específicos de una cuenca, y que en la realidad en dichos puntos no existe información observada de caudales.

- La información histórica disponible de caudales medios mensuales en la estaciones de aforo existentes no es totalmente confiable, puesto que en los periodos de lluvia no se efectúan mediciones hidrológicas estandarizadas, y en muchos casos se tiene conocimiento que se han realizado “estimaciones subjetivas” de datos de caudal, además de extrapolar en los periodos de máximo escurrimiento la curva altura-caudal.
- El hecho de contar con escasas estaciones de aforo dentro de una cuenca, nos sitúa en un punto de incertidumbre por contar solamente con información localizada y a veces discontinuas mediciones de caudal, no existiendo la real posibilidad de contrastar y validar la información disponible.
- Considerando la directa dependencia o relación de la escorrentía respecto a la precipitación en la cuenca, es importante distinguir que la información de precipitación es más confiable que la hidrométrica, aspecto que nos impulsa a realizar modelaciones matemáticas que simulen dicha relación, es decir se emplee modelos de transformación lluvia-escorrentía.

Los modelos de precipitación-escorrentía más extendidos en hidrología son aquellos que estiman el balance entre las entradas (precipitación) de agua al sistema y las salidas del mismo (evaporación, transpiración, escorrentía superficial y aporte a los acuíferos) reproduciendo simplificadaamente el proceso del ciclo hidrológico.

7.3 MODELO HIDROLÓGICO DE LUTZ SCHOLZ

El modelo hidrológico de Lutz Scholz, ha sido estudiado y calibrado en diecinueve (19) cuencas de la sierra peruana, ubicadas en las regiones de Cuzco, Huancavelica, Junín y Cajamarca, y es aplicable generalmente para pequeñas y medianas cuencas con escasa información hidrométrica.

El modelo de precipitación-escorrentía de Lutz Scholz fue propuesta por la Misión Técnica Alemana en 1980 para el Ex-Programa Nacional de Pequeñas y Medianas Irrigaciones-Plan Meris II.

El modelo se basa fundamentalmente en el balance hídrico y en parámetros parciales de tipo determinístico. Este método permite combinar los factores que producen e influyen en los caudales, tales como, la precipitación, evaporación, el almacenamiento y la función de agotamiento natural de la cuenca, para el cálculo de las descargas en forma de un modelo matemático.

El método es completo es su determinación final, vale decir analiza los acuíferos, los pantanos, los nevados, las lagunas, ríos, manantes, es decir todo el recurso hídrico que interviene en la cuenca, además de manera sustancial de la precipitación efectiva que cae en la cuenca.

Para la determinación del balance hídrico en un año promedio, se debe tener en cuenta, el ciclo hidrológico de la cuenca. Se establece para el desarrollo del presente modelo, que la sierra del Perú, específicamente la sierra altiplánica cuenta con dos épocas: época de avenidas o de lluvias y época de estiaje o de sequía; por lo que los componentes del

balance hídrico a nivel mensual serán diferentes para cada una de las épocas mencionadas, mostrándose el mismo en la ecuación de balance hídrico.

7.3.1 Descripción general del modelo

El elemento constitutivo del modelo es el cálculo en base a la precipitación mensual teniendo en cuenta las características de la cuenca. En base a los datos disponibles se ha establecido y calibrado modelos parciales para las influencias de mayor importancia al escurrimiento y la retención de la cuenca. El modelo comprende dos etapas:

Primero se establece el balance hídrico, para determinar la influencia de los parámetros meteorológicos de la cuenca durante el año promedio.

Posteriormente se determina los caudales para el período extendido, mediante un proceso Markoviano (de regresión triple) teniendo en cuenta la precipitación efectiva como variable de impulso para determinar los parámetros estadísticos de la distribución empírica tales como el promedio, la desviación estándar y sesgo.

7.3.1.1 Modelamiento hidrológico para el año promedio

A.- Precipitación areal de la cuenca

Es aquella precipitación hidrológica que cae sobre una cuenca determinada. Esta precipitación se puede calcular mediante los métodos de polígono de Thiessen, Thiessen Modificado, las Isoyetas y el aritmético, los más usados en hidrología.

En este caso la precipitación areal mensual en la cuenca se determina por el método de Thiessen Modificado, por polígonos de influencia de las estaciones meteorológicas dentro y alrededor de la cuenca, teniendo en cuenta la gradiente de la lluviosidad calculada a partir de datos de las mismas estaciones.

B.- Precipitación efectiva

Desde el punto de vista hidrológico, es aquella precipitación que genera el escurrimiento superficial de las aguas de lluvia a través de cuencas naturales llamados ríos. Para llegar a este tipo de escurrimiento la precipitación total sufre un decremento por evapotranspiración, infiltración, retención en acuíferos o abastecimiento de acuíferos, para finalmente la diferencia llegar al escurrimiento superficial.

La precipitación efectiva se calcula mediante la ecuación de un polinomio de quinto grado, elaborado por la Misión Técnica Alemana en 1980 para el ex-Programa Nacional de Pequeñas y Medianas Irrigaciones - Plan Meris II.

$$PE = a_0 + a_1P + a_2P^2 + a_3P^3 + a_4P^4 + a_5P^5 \quad (1)$$

Donde:

$$\begin{aligned} PE &= \text{Precipitación efectiva mensual (mm/mes).} \\ P &= \text{Precipitación total mensual (mm/mes).} \end{aligned}$$

a_1 = coeficiente del polinomio.
 $a_0 = 0$

Tabla A: Coeficientes para el cálculo de la precipitación efectiva

a_i	Curva I	Curva II	Curva III
a_0	(-0.018)	(-0.021)	(-0.028)
a_1	-0.01850	0.1358	0.2756
a_2	0.001105	-0.002296	-0.004103
a_3	-1204 E-8	4349 E-8	5534 E-8
a_4	144 E-9	-89.0 E-9	124 E-9
a_5	-285 E-12	-879 E-13	-142 E-11

Fuente: Generación de caudales mensuales en la sierra peruana – Programa nacional de pequeñas y medianas irrigaciones – Plan Meris II, Marzo 1980.

Para el cálculo de la precipitación efectiva mensual en la cuenca, se selecciona las curvas tipo I y II ó tipo II y III, siempre verificando que la curva PE este dentro de estos límites (no debe separarse mucho de las curvas). Escogiendo las curvas tipo I y II, la ecuación es la siguiente:

$$PE = C_1 PEI + C_2 PEII \quad (2)$$

Donde:

PE = Precipitación efectiva mensual.
 PEI = Precipitación efectiva mensual de la curva I.
 PEII = Precipitación efectiva mensual de la curva II.
 C_1 y C_2 = Coeficientes ($C_1 + C_2 = 1$).

Luego se determinan los coeficientes C_1 y C_2 de manera que la suma de ambas precipitaciones anuales multiplicados por sus coeficientes respectivos sea igual al producto del coeficiente de escurrimiento C y de la precipitación total anual P.

$$PE = C.P \quad (3)$$

Donde:

C = Coeficiente de escurrimiento.
 P = Precipitación total anual.

Igualando las ecuaciones (2) y (3), se tiene las ecuaciones correspondientes de C_1 y C_2 .

$$C_1 = \frac{C \cdot \sum P - \sum PEII}{\sum PEI - \sum PEII} \quad (4)$$

$$C_2 = \frac{C \cdot \sum P - \sum PEI}{\sum PEII - \sum PEI} \quad (5)$$

Límite superior para la precipitación efectiva es:

- Curva I : $P > 177.8$ mm/mes
 Curva II : $127.0 < P < 177.8$ mm/mes
 Curva III : $P < 127.0$ mm/mes

C.- Retención en la cuenca (contribución de la retención)

Suponiendo que para el año promedio existe un equilibrio entre el gasto y el abastecimiento de la reserva de la cuenca y admitiendo que el caudal total sea igual a la precipitación efectiva anual, se puede calcular la contribución de la reserva hídrica al caudal según la fórmula siguiente:

$$R_i = CM_i - PE_i \quad (6)$$

$$CM_i = PE_i + G_i - A_i \quad (7)$$

Donde:

- R_i = Retención de la cuenca (mm/mes).
 CM_i = Caudal mensual (mm/mes).
 PE_i = Precipitación efectiva mensual (mm/mes).
 G_i = Gasto de la retención de la cuenca (mm/mes).
 A_i = Abastecimiento de la retención de la cuenca (mm/mes).
 R_i = G_i para valores mayores de cero (mm/mes).
 R_i = A_i para valores menores de cero (mm/mes).

Sumando todo los valores de gasto o abastecimiento, se halla la retención total R de la cuenca para el año promedio en (mm/año). Por definición R es igual al gasto total G durante la estación seca y además igual al abastecimiento total A durante la estación lluviosa.

Al principio de la estación lluviosa el proceso de agotamiento de la reserva termina y parte de las lluvias más abundantes entra en los almacenes hídricos. El proceso de abastecimiento se muestra por un déficit entre la precipitación efectiva y el caudal real. Analizando los hidrogramas de la contribución de la retención a los caudales, se constata que el abastecimiento es más fuerte al principio de la estación lluviosa y cuando los almacenes naturales - lagunas, pantanos, nevados y los acuíferos ya están recargados parcialmente, la restitución acaba poco a poco.

1° Gasto de la retención de la cuenca (G)

Es el volumen de agua que descarga la cuenca durante la época de estiaje, llamado también agotamiento de la cuenca y alimenta al río en forma de caudal natural. Los parámetros para calcular el gasto de la retención de la cuenca se describe a continuación:

☞ Coeficiente de agotamiento (a)

Para el cálculo del coeficiente de agotamiento de la cuenca, hay cuatro ecuaciones para cuatro clases de cuencas según el modelo. Las ecuaciones se eligen según las características de la cuenca.

Agotamiento muy rápido, cuencas con temperatura elevada mayor de 10°C y retención reducida (50 mm/año) hasta retención mediana (80 mm/año).

$$a = -0.00252 \ln(AR) + 0.034 \quad (8)$$

Agotamiento rápido, por la retención en 50 y 80 mm/año y vegetación poco desarrollada (puna).

$$a = -0.00252 \ln(AR) + 0.030 \quad (9)$$

Agotamiento mediano, por retención mediana (alrededor de 80 mm/año) y vegetación mezclada (pastos, bosques y terrenos cultivados).

$$a = -0.00252 \ln(AR) + 0.026 \quad (10)$$

Agotamiento reducido, por alta retención (más de 100 mm/año) y vegetación mezclada.

$$a = -0.00252 \ln(AR) + 0.023 \quad (11)$$

Donde:

a	=	Coefficiente de agotamiento por día.
AR	=	Área de la cuenca (km ²).
Ln	=	Logaritmo natural o neperiano.

Se puede determinar el coeficiente de agotamiento real de la cuenca mediante varios aforos en el río durante la estación seca. Pero cuando no exista ningún aforo o solamente una observación, se utiliza una de las ecuaciones empíricas (8-11) según la predominancia de los criterios anteriormente mencionados.

Determinado el coeficiente de agotamiento de la cuenca en base de los datos hidrométricos. Se constata que el coeficiente de agotamiento no es constante durante toda la estación seca sino que disminuye poco a poco.

Para los ríos en la Sierra que han sido analizados, el valor del coeficiente de agotamiento "a" inicial es hasta dos veces más grande que el "a" final. Este fenómeno se explica por el agotamiento más rápido de los almacenes hídricos a corto plazo.

☞ **Coefficiente de gasto de la retención (b_i)**

Relación entre la descarga del mes actual y del mes anterior:

$$b_0 = \frac{Q_t}{Q_0} = e^{-a \cdot t} \quad (12)$$

Donde:

Q_t	=	Descarga en el tiempo t.
Q_0	=	Descarga inicial.
a	=	Coefficiente de agotamiento.
t	=	Tiempo (número de días del mes).

Por lo tanto el coeficiente de gasto de la retención de la cuenca b_i , es igual a:

$$b_i = b_0$$

$$b_i = e^{-a \cdot t} \quad (13)$$

Donde:

- t = Tiempo (número de días del mes, es acumulativo para los meses siguientes).
 e = Base del logaritmo neperiano.

☞ Cálculo de gasto de la retención (G)

La contribución mensual de la retención durante la estación seca se calcula mediante la siguiente relación:

$$G_i = \left(\frac{b_i}{\sum_{i=1}^m b_i} \right) \times R \quad (14)$$

Donde:

- G_i = Gasto de la retención para el mes i (mm/mes).
 R = Retención de la cuenca (mm/año).
 m = Número de meses de estiaje.
 b_i = Coeficiente de gasto de la retención.

2° Abastecimiento de la retención de la cuenca (A)

Es el volumen de agua que retiene la cuenca durante la época de lluvias, almacenando naturalmente en acuíferos, lagunas, pantanos y nevados como reserva hídrica. Para posteriormente alimentar al río en época de estiaje.

La lámina de agua A_i que entra en la reserva de la cuenca se muestra en forma de un déficit mensual de la precipitación efectiva mensual. Se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$A_i = a_i R \quad (15)$$

Donde:

- A_i = Abastecimiento de la retención en el mes i (mm/mes).
 a_i = Coeficiente de abastecimiento.
 R = Retención de la cuenca (mm/año).
 i = Mes del año, de 1 a 12.

El coeficiente de abastecimiento de la retención, es la proporción de retención hídrica de la cuenca durante la época de lluvias. Se puede estimar con la siguiente relación:

$$a_i = \frac{PE_i}{PE_T} \quad (16)$$

Donde:

- a_i = Coeficiente de abastecimiento.
 PE_i = Precipitación efectiva del mes i (mm/mes).
 PE_T = Precipitación efectiva total de la cuenca (mm/mes).

Se puede determinar el coeficiente de abastecimiento real de la cuenca mediante aforo de descargas en el río durante la estación lluviosa. Pero cuando no exista ningún aforo, se utiliza como referencia los valores obtenidos en las cuencas de las regiones de Cuzco, Huancavelica, Junín y Cajamarca, Tabla B, obtenido en el modelo.

Tabla B: Coeficientes de almacenamiento hídrico durante la época de lluvias.
(valores de “ a_i ” en %)

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

Fuente: Generación de caudales mensuales en la sierra peruana – Programa nacional de pequeñas y medianas irrigaciones – Plan Meris II, Marzo 1980.

La suma de los valores relativos del abastecimiento “ a_i ” es igual a 1 (100%) correspondiente a la restitución total de la retención R de la cuenca.

D.- Caudal mensual para el año promedio

La lámina de agua que corresponde al caudal mensual para el año promedio se calcula según la ecuación del balance hídrico a partir de los componentes descritos anteriormente.

$$CM_i = PE_i + G_i - A_i \quad (17)$$

Donde:

- CM_i = Caudal del mes i (mm/mes).
 PE_i = Precipitación efectiva del mes i (mm/mes).
 G_i = Gasto de la retención en el mes i (mm/mes).
 A_i = Abastecimiento de la retención en el mes i (mm/mes).

7.3.1.2 Generación de caudales mensuales para períodos extendidos

El método hidrológico presentado anteriormente permite determinar los caudales mensuales del año promedio con una precisión satisfactoria. Para determinar, además de los promedios, otros parámetros estadísticos, sobre todo la desviación tipo que se necesita para el cálculo de descargas sobre un nivel de probabilidad predeterminado, se requiere generar datos para un período extendido. Un método apropiado para la generación de descargas consiste en una combinación de un proceso *Markoviano de primer orden*.

$$Q_t = b_1 + b_2 Q_{t-1} + b_3 PE_t + S.Z_t \sqrt{1 - R^2} \quad (18)$$

Donde:

Q_t	=	Caudal del mes t.
Q_{t-1}	=	Caudal del mes anterior (t-1).
PE_t	=	Precipitación efectiva del mes t.
S	=	Error estándar del estimado.
Z_t	=	Variable aleatoria normal independiente (0,1) del mes t.
R^2	=	Coefficiente de determinación múltiple.
b_1, b_2, b_3	=	Coefficientes de regresión lineal múltiple.
b_1	=	Factor constante (caudal básico).

Procedimiento para la generación de descargas medias mensuales para períodos extendidos es la siguiente:

- Cálculo de los parámetros del modelo b_1 , b_2 , b_3 , S y R^2 ; con el resultado de la generación de caudales mensuales para el año promedio, efectuando la regresión lineal múltiple entre el caudal del mes t (Q_t) como variable dependiente, caudal del mes anterior (Q_{t-1}) y la precipitación efectiva del mes t (PE_t) como variables independientes.
- Cálculo de la precipitación efectiva mensual para el registro de la precipitación areal mensual de la cuenca.
- Generación de números aleatorios normales independientes con distribución normal con media cero y variancia unitaria (0,1).
- Generación de descargas medias mensuales para períodos extendidos con la información de los pasos anteriores mediante la ecuación (18).

7.4 APLICACIÓN DEL MODELO

El modelo hidrológico de Lutz Scholz, se ha aplicado en las cuencas de los ríos Huancané y Suches, debido a que estos ríos cuentan con información hidrométrica disponible para realizar el modelamiento y calibración del modelo.

7.4.1 Calibración del modelo en la cuenca del río Huancané

El modelamiento y calibración del modelo hidrológico de Lutz Scholz desarrollado para el río Huancané, debido a que este río dispone de información hidrométrica histórica, ello permite realizar la calibración de los parámetros del modelo, tales como: Coeficiente de gasto (b_i), coeficiente de abastecimiento (a_i), coeficiente de agotamiento (a), retención anual de la cuenca (R) y los coeficientes de la precipitación efectiva C_1 y C_2 , respectivamente.

La información utilizada para el modelamiento y calibración del modelo de Lutz Scholz, es la siguiente:

- Caudales promedios multimensuales y anuales del río Huancané.
- Precipitación areal de la cuenca del río Huancané.
- Área de la cuenca del río Huancané (3,511.10 km²).

Utilizando la información disponible y empleando la metodología descrita anteriormente, se realizó el modelamiento hidrológico, llegando a calibrarse los parámetros del modelo, tal como se muestra a continuación.

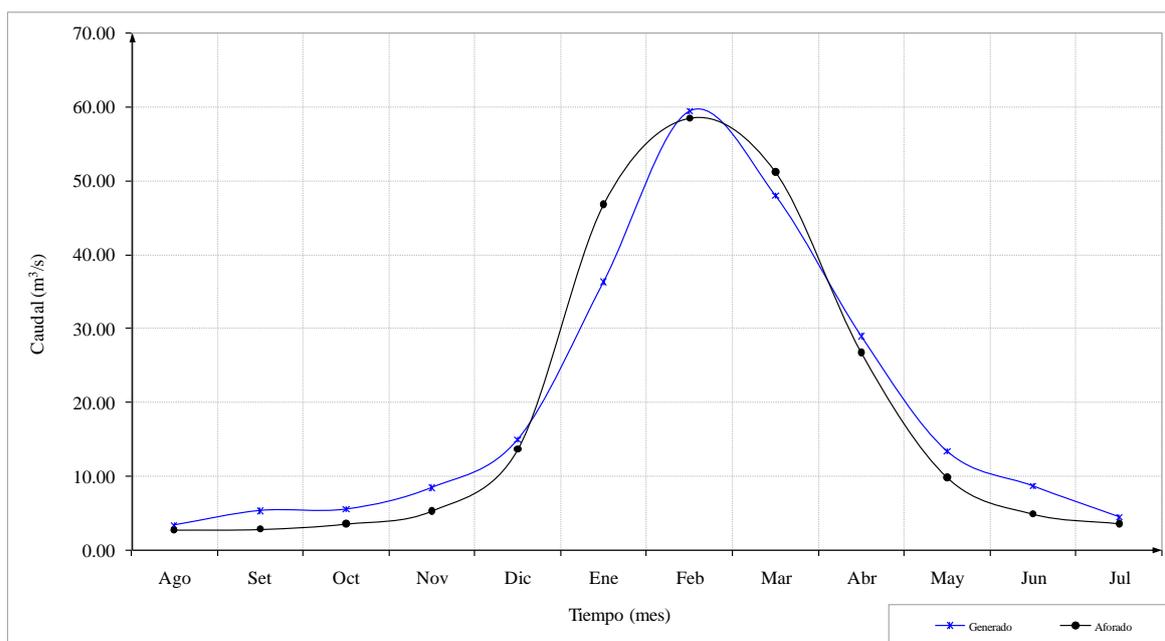
Cuadro N° 7.1 Modelo Hidrológico de Lutz Scholz – Río Huancané

Modelo Hidrológico de Lutz Scholz
 Generación de caudales mensuales para el año promedio - Río Huancané
 Estación hidrométrica Puente Huancané

Mes	Precipitación mensual					Contribución a la Retención				Caudal mensual			
	Total P (mm/mes)	Efectiva				Gasto		Abastecimiento		Generado		Aforado	
		PE - I (mm/mes)	PE - II (mm/mes)	PE - III (mm/mes)	PE (mm/mes)	b_i	G_i (mm/mes)	a_i	A_i (mm/mes)	(mm/mes)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(mm/mes)
Enero	147.10	30.70	61.00	88.20	58.10	0.000	0.00	0.680	30.40	27.70	36.31	46.73	35.65
Febrero	112.20	12.60	32.10	51.80	32.20	0.000	0.00	-0.195	-8.72	40.92	59.39	58.38	40.22
Marzo	100.80	8.90	24.80	40.80	25.40	0.000	0.00	-0.250	-11.18	36.58	47.95	51.12	39.00
Abril	49.50	1.10	5.80	10.60	6.30	0.526	21.77	0.150	6.71	21.36	28.93	26.70	19.71
Mayo	14.30	0.00	1.60	3.30	1.20	0.271	11.22	0.050	2.24	10.18	13.34	9.81	7.48
Junio	5.60	0.00	0.70	1.40	0.50	0.142	5.88	0.000	0.00	6.38	8.64	4.85	3.58
Julio	5.00	0.00	0.60	1.30	0.40	0.073	3.02	0.000	0.00	3.42	4.48	3.55	2.71
Agosto	11.10	0.00	1.30	2.60	1.00	0.038	1.57	0.000	0.00	2.57	3.37	2.69	2.05
Septiembre	31.40	0.30	3.30	6.40	3.10	0.020	0.83	0.000	0.00	3.93	5.32	2.77	2.04
Octubre	49.00	1.10	5.70	10.50	5.80	0.010	0.41	0.045	2.01	4.20	5.51	3.50	2.67
Noviembre	67.10	2.60	10.00	17.30	11.60	0.000	0.00	0.120	5.36	6.24	8.45	5.27	3.89
Diciembre	106.40	10.60	28.20	46.10	29.30	0.000	0.00	0.400	17.88	11.42	14.97	13.59	10.37
Total	699.50	67.90	175.10	280.30	174.90	1.080	44.70	1.000	44.70	174.90	19.72	19.08	169.37

Área de la cuenca	Retención de la cuenca	Coeficiente de agotamiento	
A = 3511.10 km ²	R = 44.70 mm/año	a = 0.02143	w = 0.04200
Precipitación efectiva	Coeficiente de escorrentía	Coeficientes	
PE = C ₁ * PE-I + C ₂ * PE-II	C = 0.242	C ₁ = 0.236	C ₂ = 0.764
		Comprobación	
		C ₁ + C ₂ = 1.00 OK'	

Figura N° 7.1 Comparación entre caudales generados y aforados – Río Huancané



Se ha realizado el análisis de regresión lineal múltiple para obtener los coeficientes b_1 , b_2 , b_3 , b_4 ; error estándar S y el coeficiente de correlación múltiple R , de la ecuación de generación estocástica. La ecuación original de generación estocástica no reproduce los parámetros estadísticos (media y desviación estándar) de la serie generada en comparación a la serie histórica del río Huancané, por lo que ha sido necesario introducir una variable más que viene ser el PE_{t-1} , con el que se ha logrado la generación de caudales medios mensuales en forma adecuada. A continuación se muestra los parámetros de la ecuación de generación de caudales medios mensuales.

Parámetros:

- Factor constante (caudal básico) :	$b_1 =$	0.62628
- Factor de influencia del valor de Q_{t-1} :	$b_2 =$	0.35029
- Factor de influencia del valor de PE_t :	$b_3 =$	0.19434
- Factor de influencia del valor de PE_{t-1} :	$b_4 =$	0.41240
- Error estándar del estimado Q'_t :	$S =$	2.08457
- Coeficiente de determinación múltiple :	$R^2 =$	0.97671
- Coeficiente de correlación múltiple :	$R =$	0.98829
- Valor de Q_{t-1} para el inicio de la generación (mm):	$Q_{t-1} =$	11.42
- Valor de PE_{t-1} para el inicio de la generación (mm):	$PE_{t-1} =$	11.60

Modelo Autorregresivo:

$$Q_t = b_1 + b_2 Q_{t-1} + b_3 PE_t + b_4 PE_{t-1} + S \cdot Z_t \sqrt{1 - R^2}$$

Donde:

- Q_t = Caudal del mes t.
- Q_{t-1} = Caudal del mes anterior (t-1).
- PE_t = Precipitación efectiva del mes t.
- PE_{t-1} = Precipitación efectiva del mes (t-1).
- S = Error estándar del estimado Q'_t .
- Z_t = Variable aleatoria normal independiente (0,1) del mes t.
- b_1, b_2, b_3, b_4 = Coeficientes de regresión lineal múltiple.

El procedimiento de generación de caudales mensuales para períodos extendidos es la siguiente:

- Generación de números aleatorios normales independientes con media cero y varianza unitaria (0,1).
- Precipitación efectiva mensual.
- Generación de caudales medios mensuales.

La comparación de la serie anual de caudales medios generados con respecto a la serie anual de caudales medios históricos del río Huancané, son similares, tal como se muestran en la Figura N° 7.2.

La comparación de caudales promedios multimensuales generados con respecto a los caudales promedios multimensuales históricos del río Huancané, son similares, tal como se muestran en la Figura N° 7.3.

Figura N° 7.2 Caudales medios anuales generados y aforados – Río Huancané

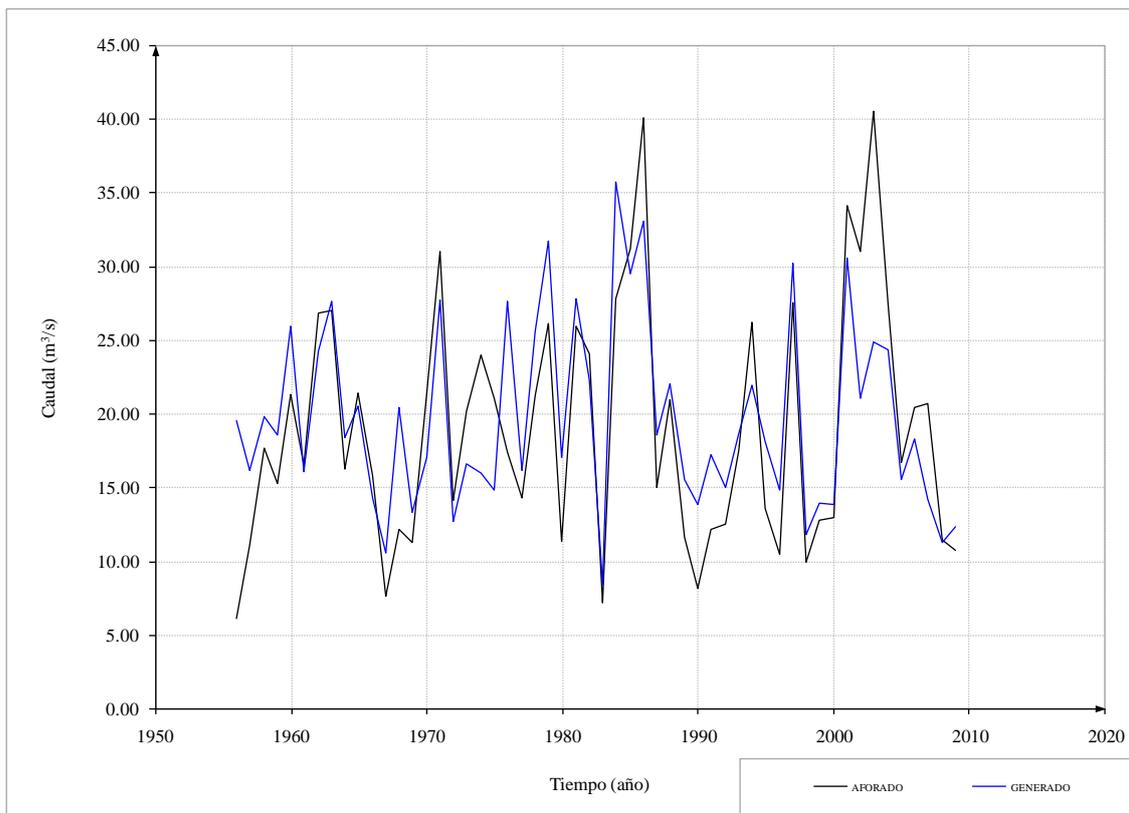
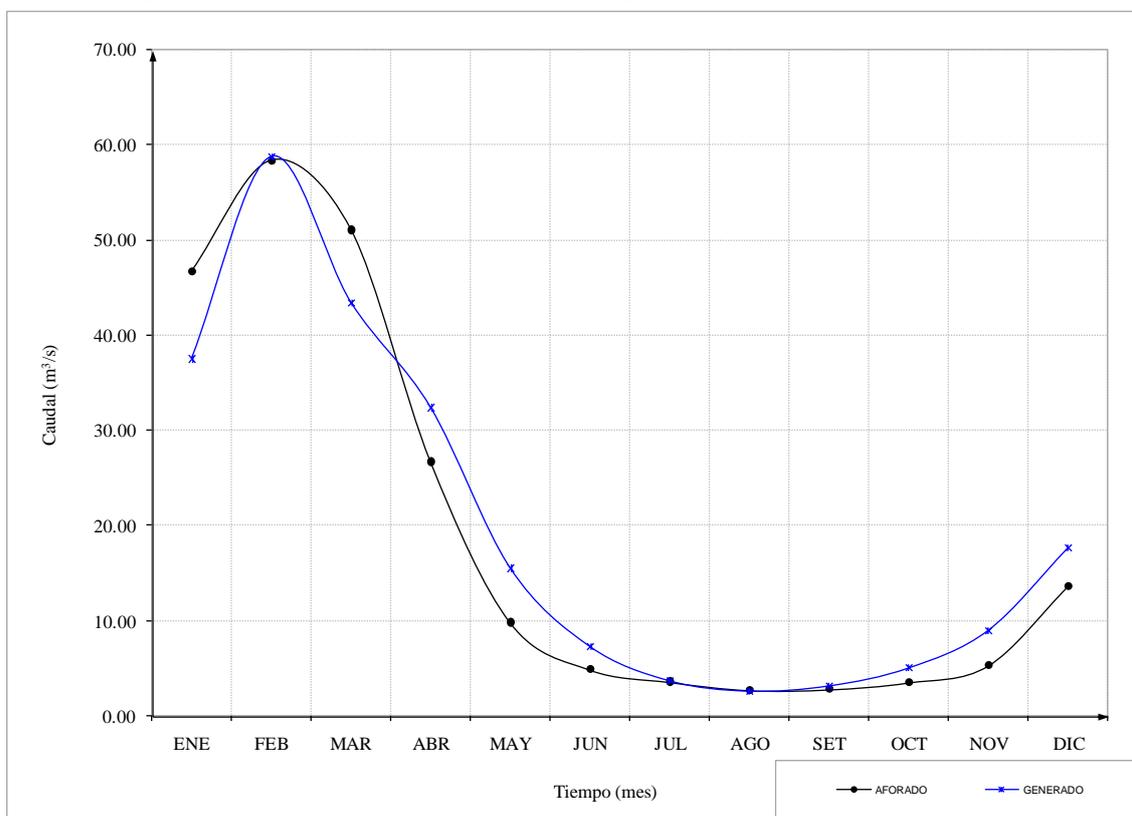


Figura N° 7.3 Variación mensual de caudales generados y aforados – Río Huancané

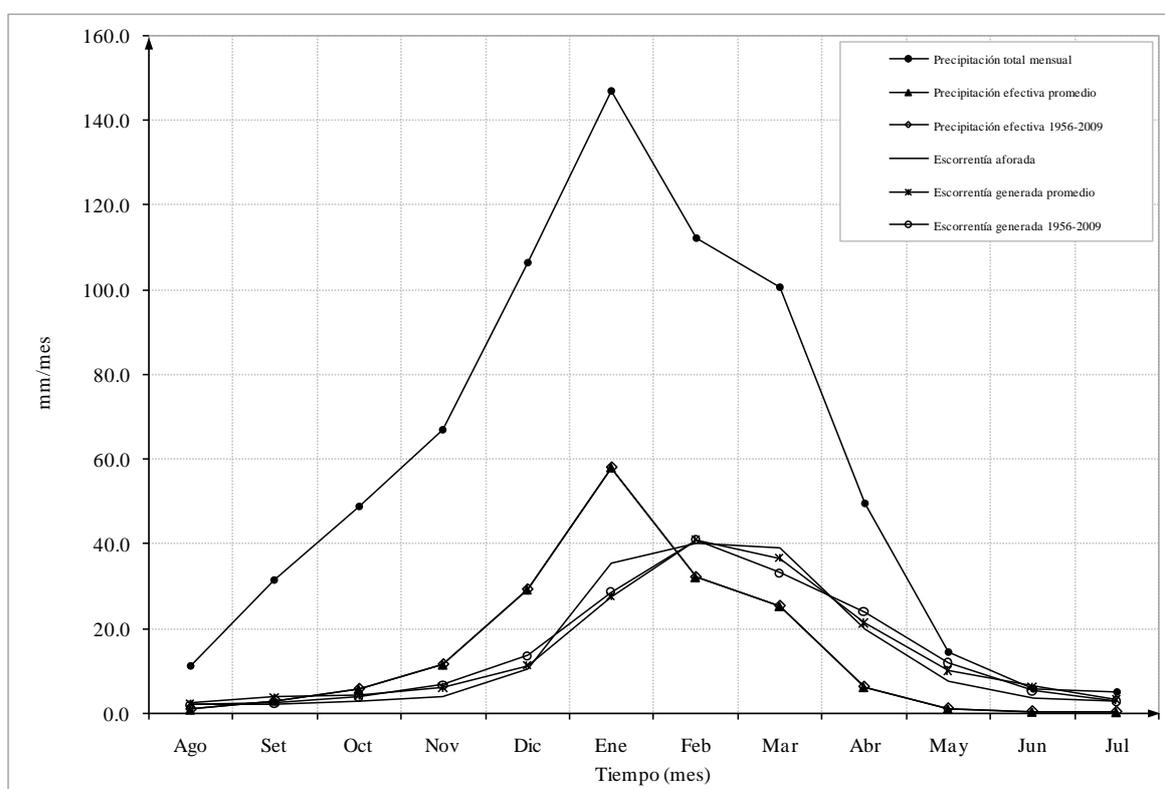


A continuación se muestra la comparación de hidrogramas de precipitación mensual, precipitación efectiva y escorrentías generadas y aforadas, con el fin conocer el comportamiento de los mismos.

Cuadro N° 7.2 Precipitación mensual, precipitación efectiva y escorrentías - Río Huancané

Variable	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul
Precipitación total mensual	11.10	31.40	49.00	67.10	106.40	147.10	112.20	100.80	49.50	14.30	5.60	5.00
Precipitación efectiva promedio	1.00	3.10	5.80	11.60	29.30	58.10	32.20	25.40	6.30	1.20	0.50	0.40
Precipitación efectiva 1956-2009	1.00	3.10	5.80	11.60	29.30	58.10	32.20	25.40	6.30	1.20	0.50	0.40
Escorrentía aforada	2.05	2.04	2.67	3.89	10.37	35.65	40.22	39.00	19.71	7.48	3.58	2.71
Escorrentía generada promedio	2.57	3.93	4.20	6.24	11.42	27.70	40.92	36.58	21.36	10.18	6.38	3.42
Escorrentía generada 1956-2009	2.00	2.30	3.80	6.60	13.50	28.60	40.90	33.10	23.90	11.90	5.40	2.80

Figura N° 7.4 Hidrograma de escorrentía - Río Huancané



Análisis de la bondad del modelo

Para el análisis de la bondad del modelo se comparan las medias y desviaciones estándar de los caudales multimensuales generados y históricos del río Huancané, estadísticamente deben ser iguales a una probabilidad de confianza, en este caso al 95% de probabilidad.

La comparación de las medias se realiza utilizando la prueba estadística "T" y para las desviaciones estándar se utiliza la prueba estadística "F".

De los resultados mostrados en el Cuadro N° 7.3, se deduce que las medias son iguales estadísticamente en los ocho (8) meses, excepto en los meses de mayo, junio, octubre y noviembre; las desviaciones estándar son iguales estadísticamente en los seis (6) meses, excepto en los meses de enero, febrero, marzo, mayo, junio y noviembre; por lo que las medias y desviaciones estándar de la serie generada son iguales estadísticamente a las medias y desviaciones estándar de la serie histórica al 95% de probabilidad, ya que los valores de "T" y "F" calculados resultan menores que los tabulados, respectivamente. Además, numéricamente en algunos meses no muestran mucha diferencia entre valores históricos y generados, concluyéndose que el Modelo si reproduce la media y desviación estándar, de la serie histórica en los meses de estiaje que es lo más importante y el Modelo es bueno.

Cuadro N° 7.3 Análisis de la bondad del modelo hidrológico de Lutz Scholz - Río Huancané

Mes	Parámetros estadísticos				Análisis estadístico					
	Serie histórica		Serie generada		Media			Desviación estándar		
	Media \bar{X}_h	Desvest S_h	Media \bar{X}_g	Desvest S_g	Tc	Tt	$\bar{X}_h = \bar{X}_g$	Fc	Ft	$S_h = S_g$
Enero	46.73	34.80	37.54	19.36	1.6958	1.9826	SI	3.2311	1.5777	NO
Febrero	58.38	33.91	58.75	26.38	-0.0633	1.9826	SI	1.6524	1.5777	NO
Marzo	51.12	28.64	43.45	18.58	1.6510	1.9826	SI	2.3760	1.5777	NO
Abril	26.70	16.62	32.42	15.16	-1.8685	1.9826	SI	1.2019	1.5777	SI
Mayo	9.81	5.31	15.54	7.10	-4.7492	1.9826	NO	1.7878	1.5777	NO
Junio	4.85	1.98	7.30	2.75	-5.3130	1.9826	NO	1.9290	1.5777	NO
Julio	3.55	1.01	3.69	1.16	-0.6689	1.9826	SI	1.3191	1.5777	SI
Agosto	2.69	0.82	2.60	0.98	0.5176	1.9826	SI	1.4283	1.5777	SI
Setiembre	2.77	1.24	3.15	1.51	-1.4292	1.9826	SI	1.4829	1.5777	SI
Octubre	3.50	2.27	5.03	2.41	-3.3960	1.9826	NO	1.1272	1.5777	SI
Noviembre	5.27	3.63	8.98	4.89	-4.4766	1.9826	NO	1.8147	1.5777	NO
Diciembre	13.59	11.08	17.63	11.27	-1.8785	1.9826	SI	1.0346	1.5777	SI

Número de datos		F calculado:	
$N_h =$	54	Probabilidad =	95%
$N_g =$	54	a =	0.05
T calculado:		G.L.N. = $N_h - 1 =$	53
Probabilidad =	95%	G.L.D. = $N_g - 1 =$	53
a =	0.05		$S_h^2 > S_g^2$
G.L. = $N_h + N_g - 2 =$	106	G.L.N. = $N_g - 1 =$	53
		G.L.D. = $N_h - 1 =$	53
			$S_h^2 < S_g^2$

Cabe recalcar, que para el modelamiento hidrológico de las descargas medias mensuales del río Huancané, se ha utilizado la precipitación areal calculada con el método de Polígonos de Thiessen, es a la que mejor se ajusta la serie histórica de las descargas medias, que al método de Polígonos de Thiessen Modificado.

7.4.2 Calibración del modelo en la cuenca del río Suches

El modelamiento y calibración del modelo hidrológico de Lutz Scholz desarrollado para el río Suches, debido a que este río dispone de información hidrométrica histórica, ello permite realizar la calibración de los parámetros del modelo, tales como: Coeficiente de gasto (b_i), coeficiente de abastecimiento (a_i), coeficiente de agotamiento (a), retención anual de la cuenca (R) y los coeficientes de la precipitación efectiva C_1 y C_2 , respectivamente.

La información utilizada para el modelamiento y calibración del modelo de Lutz Scholz, es la siguiente:

- Caudales promedios multimensuales y anuales del río Suches.
- Precipitación areal de la cuenca del río Suches.
- Área de la cuenca del río Huancané ($2,930.73 \text{ km}^2$).

Utilizando la información disponible y empleando la metodología descrita anteriormente, se realizó el modelamiento hidrológico, llegando a calibrarse los parámetros del modelo, tal como se muestra a continuación.

Cuadro N° 7.4 Modelo Hidrológico de Lutz Scholz – Río Suches

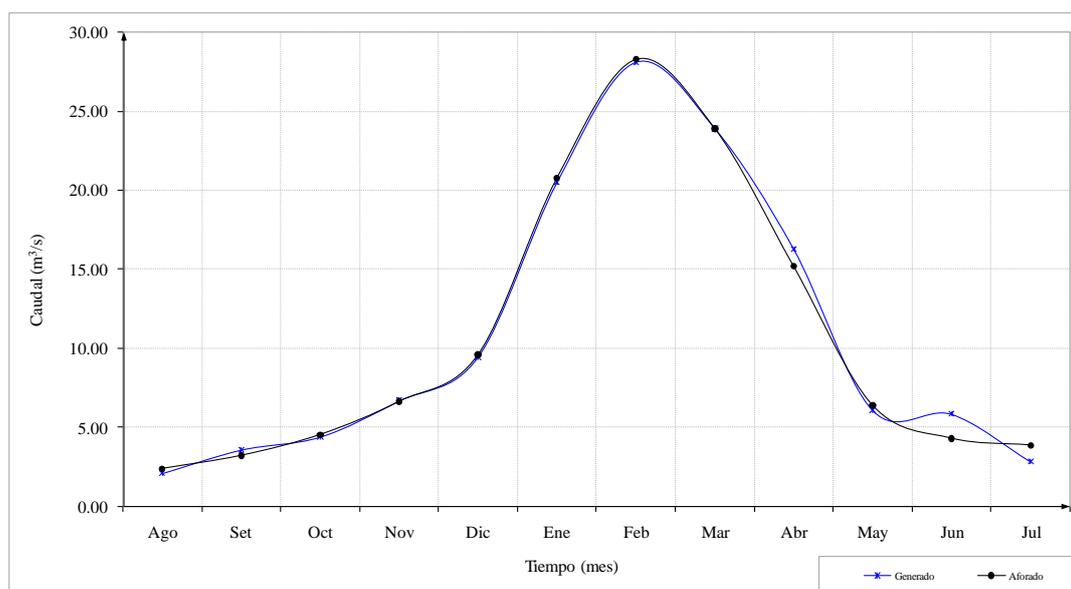
Modelo Hidrológico de Lutz Scholz

Generación de caudales mensuales para el año promedio - Río Suches
Estación hidrométrica Puente Escoma

Mes	Precipitación mensual					Contribución a la Retención				Caudal mensual			
	Total P (mm/mes)	Efectiva				Gasto		Abastecimiento		Generado		Aforado	
		PE - I (mm/mes)	PE - II (mm/mes)	PE - III (mm/mes)	PE (mm/mes)	b_i (mm/mes)	G_i (mm/mes)	a_i (mm/mes)	A_i (mm/mes)	(mm/mes)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(mm/mes)
Enero	128.60	19.60	44.60	69.30	36.80	0.000	0.00	0.448	18.10	18.70	20.46	20.77	18.98
Febrero	105.50	10.30	27.70	45.20	24.70	0.000	0.00	0.038	1.54	23.16	28.06	28.26	23.33
Marzo	95.00	7.40	21.50	35.70	17.50	0.000	0.00	-0.107	-4.32	21.82	23.88	23.89	21.83
Abril	49.40	1.10	5.80	10.60	4.40	0.474	21.71	0.290	11.72	14.39	16.27	15.18	13.43
Mayo	17.30	0.00	1.90	3.80	0.90	0.219	10.03	0.133	5.37	5.56	6.08	6.40	5.85
Junio	7.30	0.00	0.90	1.80	0.40	0.104	4.76	0.000	0.00	5.16	5.83	4.32	3.82
Julio	6.60	0.00	0.80	1.70	0.40	0.048	2.20	0.000	0.00	2.60	2.84	3.89	3.56
Agosto	14.50	0.00	1.60	3.30	0.90	0.022	1.01	0.000	0.00	1.91	2.09	2.41	2.20
Septiembre	34.70	0.40	3.60	7.00	2.70	0.010	0.46	0.000	0.00	3.16	3.57	3.24	2.87
Octubre	48.40	1.00	5.60	10.30	4.10	0.005	0.23	0.008	0.32	4.01	4.39	4.56	4.17
Noviembre	59.50	1.90	7.90	14.00	6.10	0.000	0.00	0.005	0.20	5.90	6.67	6.65	5.88
Diciembre	89.20	6.10	18.60	31.00	16.10	0.000	0.00	0.185	7.47	8.63	9.44	9.61	8.78
Total	656.00	47.80	140.50	233.70	115.00	0.882	40.40	1.000	40.40	115.00	10.80	10.77	114.70

Área de la cuenca	Retención de la cuenca	Coeficiente de agotamiento	
A = 2930.73 km ²	R = 40.40 mm/año	a = 0.02490	w = 0.04502
Precipitación efectiva	Coeficiente de escorrentía	Coeficientes	
PE = C ₁ * PE-I + C ₂ * PE-II	C = 0.175	C ₁ = 0.515	C ₂ = 0.485
		C ₁ + C ₂ = 1.00 OK'	

Figura N° 7.5 Comparación entre caudales generados y aforados – Río Suches



Se ha realizado el análisis de regresión lineal múltiple para obtener los coeficientes b_1 , b_2 , b_3 , b_4 ; error estándar S y el coeficiente de correlación múltiple R , de la ecuación de generación estocástica. La ecuación original de generación estocástica no reproduce los parámetros estadísticos (media y desviación estándar) de la serie generada en comparación a la serie histórica del río Suches, por lo que ha sido necesario introducir una variable más que viene ser el PE_{t-1} , con el que se ha logrado la generación de caudales medios mensuales en forma adecuada. A continuación se muestra los parámetros de la ecuación de generación de caudales medios mensuales.

Parámetros:

- Factor constante (caudal básico):	$b_1 =$	1.15924
- Factor de influencia del valor de Q_{t-1} :	$b_2 =$	0.33597
- Factor de influencia del valor de PE_t :	$b_3 =$	0.28227
- Factor de influencia del valor de PE_{t-1} :	$b_4 =$	0.26080
- Error estándar del estimado Q'_t :	$S =$	1.17015
- Coeficiente de determinación múltiple:	$R^2 =$	0.97754
- Coeficiente de correlación múltiple:	$R =$	0.98871
- Valor de Q_{t-1} para el inicio de la generación (mm):	$Q_{t-1} =$	8.63
- Valor de PE_{t-1} para el inicio de la generación (mm):	$PE_{t-1} =$	6.10

Modelo Autorregresivo:

$$Q_t = b_1 + b_2 Q_{t-1} + b_3 PE_t + b_4 PE_{t-1} + S Z_t \sqrt{1 - R^2}$$

Donde:

- Q_t = Caudal del mes t .
- Q_{t-1} = Caudal del mes anterior ($t-1$).
- PE_t = Precipitación efectiva del mes t .
- PE_{t-1} = Precipitación efectiva del mes ($t-1$).
- S = Error estándar del estimado Q'_t .
- Z_t = Variable aleatoria normal independiente (0,1) del mes t .
- b_1, b_2, b_3, b_4 = Coeficientes de regresión lineal múltiple.

El procedimiento de generación de caudales mensuales para períodos extendidos es la siguiente:

- Generación de números aleatorios normales independientes con media cero y varianza unitaria (0,1).
- Precipitación efectiva mensual.
- Generación de caudales medios mensuales.

La comparación de la serie anual de caudales medios generados con respecto a la serie anual de caudales medios históricos del río Suches, son similares, tal como se muestran en la Figura N° 7.6.

La comparación de caudales promedios multimensuales generados con respecto a los caudales promedios multimensuales históricos del río Suches, son similares, tal como se muestran en la Figura N° 7.7.

Figura N° 7.6 Caudales medios anuales generados y aforados – Río Suches

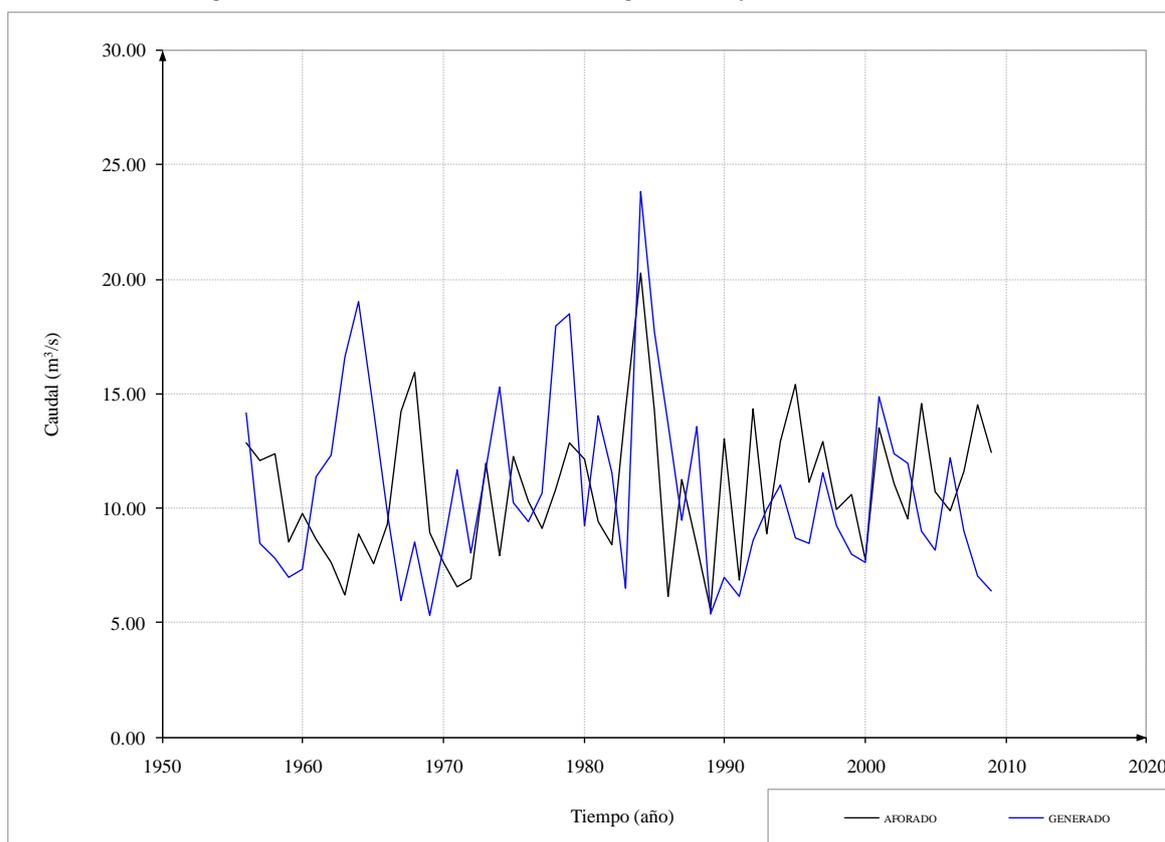
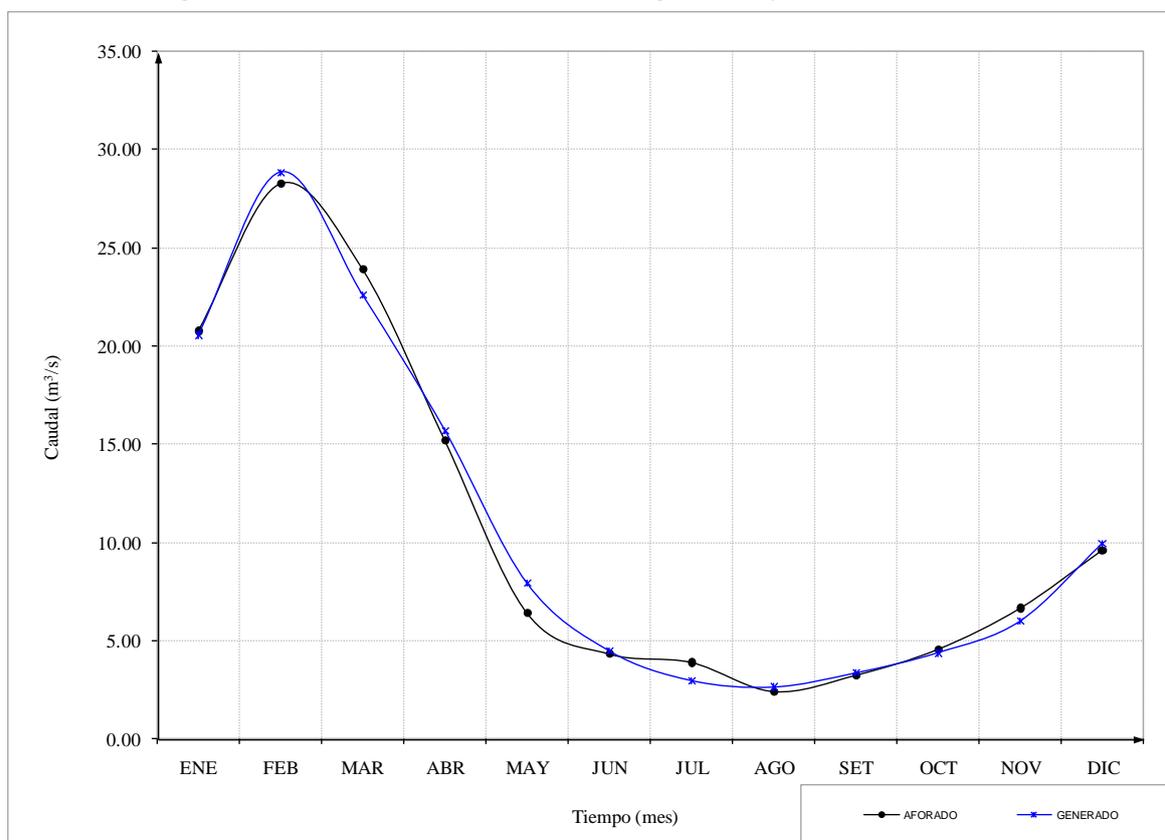


Figura N° 7.7 Variación mensual de caudales generados y aforados – Río Suches

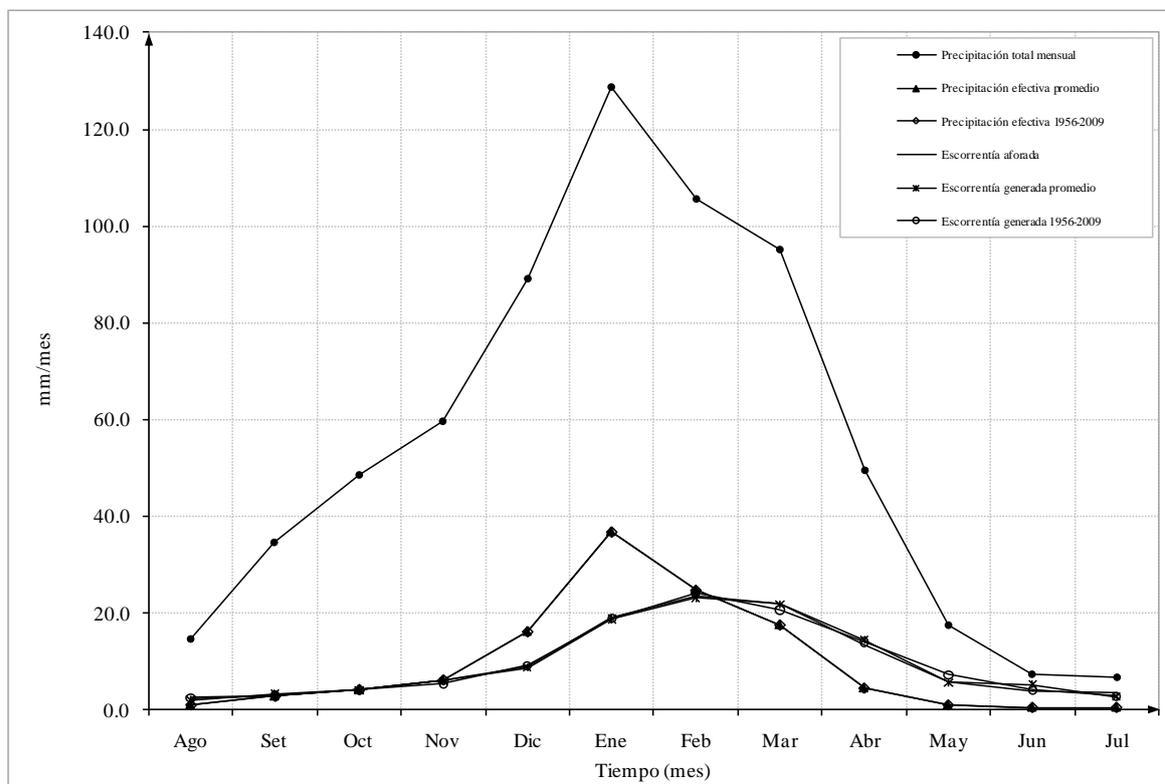


A continuación se muestra la comparación de hidrogramas de precipitación mensual, precipitación efectiva y escorrentías generadas y aforadas, con el fin conocer el comportamiento de los mismos.

Cuadro N° 7.5 Precipitación mensual, precipitación efectiva y escorrentías - Río Suches

Variable	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul
Precipitación total mensual	14.50	34.70	48.40	59.50	89.20	128.60	105.50	95.00	49.40	17.30	7.30	6.60
Precipitación efectiva promedio	0.90	2.70	4.10	6.10	16.10	36.80	24.70	17.50	4.40	0.90	0.40	0.40
Precipitación efectiva 1956-2009	0.90	2.70	4.10	6.10	16.10	36.80	24.70	17.50	4.40	0.90	0.40	0.40
Escorrentía aforada	2.20	2.87	4.17	5.88	8.78	18.98	23.33	21.83	13.43	5.85	3.82	3.56
Escorrentía generada promedio	1.91	3.16	4.01	5.90	8.63	18.70	23.16	21.82	14.39	5.56	5.16	2.60
Escorrentía generada 1956-2009	2.40	3.00	4.00	5.30	9.10	18.80	24.10	20.60	13.90	7.20	4.00	2.70

Figura N° 7.8 Hidrograma de escorrentía - Río Suches



Análisis de la bondad del modelo

Para el análisis de la bondad del modelo se comparan las medias y desviaciones estándar de los caudales multimensuales generados y históricos del río Suches, estadísticamente deben ser iguales a una probabilidad de confianza, en este caso al 95% de probabilidad.

La comparación de las medias se realiza utilizando la prueba estadística "T" y para las desviaciones estándar se utiliza la prueba estadística "F".

De los resultados mostrados en el Cuadro N° 7.6, se deduce que las medias son iguales estadísticamente en los once (11) meses, excepto en el mes de mayo; las desviaciones estándar son iguales estadísticamente en los tres (3) meses, excepto en los meses de enero, marzo, junio, julio, agosto, setiembre, octubre, noviembre y diciembre; por lo que las medias y desviaciones estándar de la serie generada son iguales estadísticamente a las medias y desviaciones estándar de la serie histórica al 95% de probabilidad, ya que los valores de "T" y "F" calculados resultan menores que los tabulados, respectivamente. Además, numéricamente en algunos meses no muestran mucha diferencia entre valores históricos y generados, concluyéndose que el Modelo si reproduce la media y desviación estándar, de la serie histórica en los meses de estiaje que es lo más importante y el Modelo es bueno.

Cuadro N° 7.6 Análisis de la bondad del modelo hidrológico de Lutz Scholz - Río Suches

Mes	Parámetros estadísticos				Análisis estadístico					
	Serie histórica		Serie generada		Media			Desviación estándar		
	Media	Desvest	Media	Desvest	Tc	Tt	$\bar{X}_h = \bar{X}_g$	Fc	Ft	$S_h = S_g$
	\bar{X}_h	S_h	\bar{X}_g	S_g						
Enero	20.77	15.59	20.56	11.80	0.0789	1.9826	SI	1.7455	1.5777	NO
Febrero	28.26	13.69	28.84	15.79	-0.2039	1.9826	SI	1.3303	1.5777	SI
Marzo	23.89	7.65	22.58	12.42	0.6599	1.9826	SI	2.6358	1.5777	NO
Abril	15.18	7.21	15.70	7.63	-0.3640	1.9826	SI	1.1199	1.5777	SI
Mayo	6.40	2.88	7.91	3.12	-2.6133	1.9826	NO	1.1736	1.5777	SI
Junio	4.32	3.23	4.47	1.17	-0.3209	1.9826	SI	7.6214	1.5777	NO
Julio	3.89	5.96	2.96	0.58	1.1413	1.9826	SI	105.5933	1.5777	NO
Agosto	2.41	2.72	2.63	0.62	-0.5795	1.9826	SI	19.2466	1.5777	NO
Setiembre	3.24	4.92	3.35	1.39	-0.1581	1.9826	SI	12.5285	1.5777	NO
Octubre	4.56	7.68	4.38	1.87	0.1673	1.9826	SI	16.8671	1.5777	NO
Noviembre	6.65	6.30	5.99	2.32	0.7224	1.9826	SI	7.3740	1.5777	NO
Diciembre	9.61	4.45	9.94	6.06	-0.3225	1.9826	SI	1.8545	1.5777	NO

Número de datos		F calculado:	
$N_h =$	54	Probabilidad =	95%
$N_g =$	54	a =	0.05
T calculado:		G.L.N. = $N_h - 1 =$	53
Probabilidad =	95%	G.L.D. = $N_g - 1 =$	53
a =	0.05		
G.L. = $N_h + N_g - 2 =$	106	G.L.N. = $N_g - 1 =$	53
		G.L.D. = $N_h - 1 =$	53

Cabe recalcar, que para el modelamiento hidrológico de las descargas medias mensuales del río Suches, se ha utilizado la precipitación areal calculada con el método de Polígonos de Thiessen, es a la que mejor se ajusta la serie histórica de las descargas medias, que al método de Polígonos de Thiessen Modificado.

7.5 GENERACIÓN DE CAUDALES MEDIOS MENSUALES EN LOS PUNTOS DE INTERÉS

Para la generación de las descargas medias mensuales, se ha realizado el modelamiento hidrológico de Lutz Scholz para cada subcuenca de interés, utilizando los parámetros del modelo calibrados en los ríos Huancané y Suches, en algunos casos se ha variado los parámetros del modelo debido a algunos ajustes realizados.

Para el modelamiento hidrológico de las descargas medias, se ha realizado utilizando la serie mensual de las precipitaciones areales calculadas para cada subcuenca en el ítem 5.5 y el área de las subcuencas de interés.

En los Cuadros N° 7.7 y 7.8, se muestran las subcuencas de interés en las cuencas Huancané y Suches, para la generación de las descargas medias mensuales.

Cuadro N° 7.7 Subcuencas de interés para la generación de las descargas medias – Cuenca Huancané

N°	Unidad Hidrográfica	Área (km ²)
1	Subcuenca río Llache	161.93
2	Subcuenca río Tuyto	1,107.11
3	Subcuenca río Muñani	889.44
4	Subcuenca río Pistune	380.43
5	Subcuenca Alto Huancané (río Puncune)	524.77
6	Subcuenca Guanaco (vaso Callatomaza)	216.75
7	Subcuenca Yaputira (vaso Yaputira)	228.24
8	Cuenca río Huancané (cuenca total)	3,631.19

Cuadro N° 7.8 Subcuencas de interés para la generación de las descargas medias – Cuenca Suches

N°	Unidad Hidrográfica	Área (km ²)
1	Subcuenca río Chueña Huata Jahuira	162.18
2	Subcuenca río Caylloma	289.22
3	Subcuenca río Trapiche	405.45
4	Cuenca río Suches (Puente Ramón Castilla)	1,056.49
5	Cuenca río Suches (lugar Cuchaulla, Perú-Bolivia)	2,222.07

Los cuadros de modelamiento hidrológico de las descargas medias mensuales, para las subcuencas de interés de las cuencas Huancané y Suches, se muestran en el Anexo 1. A continuación se presentan los parámetros y la ecuación de generación de las descargas medias mensuales, para cada una de las subcuencas de interés.

Subcuenca río Llache

Parámetros:

- Factor constante (caudal básico) :	$b_1 =$	0.63071
- Factor de influencia del valor de Q_{t-1} :	$b_2 =$	0.41238
- Factor de influencia del valor de PE_t :	$b_3 =$	0.35055
- Factor de influencia del valor de PE_{t-1} :	$b_4 =$	0.19258
- Error estándar del estimado Q'_t :	$S =$	3.83020
- Coeficiente de determinación múltiple :	$R^2 =$	0.90561
- Coeficiente de correlación múltiple :	$R =$	0.95164
- Valor de Q_{t-1} para el inicio de la generación (mm):	$Q_{t-1} =$	13.20
- Valor de PE_{t-1} para el inicio de la generación (mm):	$PE_{t-1} =$	14.00

Modelo Autorregresivo:

$$Q_t = b_1 + b_2 Q_{t-1} + b_3 PE_t + b_4 PE_{t-1} + S \cdot Z_t \sqrt{1 - R^2}$$

Donde:

- Q_t = Caudal del mes t.
 Q_{t-1} = Caudal del mes anterior (t-1).
 PE_t = Precipitación efectiva del mes t.
 PE_{t-1} = Precipitación efectiva del mes (t-1).
 S = Error estándar del estimado Q'_t .
 Z_t = Variable aleatoria normal independiente (0,1) del mes t.
 b_1, b_2, b_3, b_4 = Coeficientes de regresión lineal múltiple.

Subcuenca río Tuyto

Parámetros:

- Factor constante (caudal básico) :	$b_1 =$	0.71984
- Factor de influencia del valor de Q_{t-1} :	$b_2 =$	0.29136
- Factor de influencia del valor de PE_t :	$b_3 =$	0.28012
- Factor de influencia del valor de PE_{t-1} :	$b_4 =$	0.38755
- Error estándar del estimado Q'_t :	$S =$	1.86695
- Coeficiente de determinación múltiple :	$R^2 =$	0.98788
- Coeficiente de correlación múltiple :	$R =$	0.99392
- Valor de Q_{t-1} para el inicio de la generación (mm):	$Q_{t-1} =$	16.98
- Valor de PE_{t-1} para el inicio de la generación (mm):	$PE_{t-1} =$	12.50

Modelo Autorregresivo:

$$Q_t = b_1 + b_2 Q_{t-1} + b_3 PE_t + b_4 PE_{t-1} + S \cdot Z_t \sqrt{1 - R^2}$$

Donde:

- Q_t = Caudal del mes t.
 Q_{t-1} = Caudal del mes anterior (t-1).
 PE_t = Precipitación efectiva del mes t.
 PE_{t-1} = Precipitación efectiva del mes (t-1).
 S = Error estándar del estimado Q'_t .
 Z_t = Variable aleatoria normal independiente (0,1) del mes t.
 b_1, b_2, b_3, b_4 = Coeficientes de regresión lineal múltiple.

Subcuenca río Muñani

Parámetros:

- Factor constante (caudal básico) :	$b_1 =$	1.46549
- Factor de influencia del valor de Q_{t-1} :	$b_2 =$	0.27882
- Factor de influencia del valor de PE_t :	$b_3 =$	0.05818
- Factor de influencia del valor de PE_{t-1} :	$b_4 =$	0.56082
- Error estándar del estimado Q'_t :	$S =$	1.94021
- Coeficiente de determinación múltiple :	$R^2 =$	0.97949
- Coeficiente de correlación múltiple :	$R =$	0.98969
- Valor de Q_{t-1} para el inicio de la generación (mm):	$Q_{t-1} =$	14.88
- Valor de PE_{t-1} para el inicio de la generación (mm):	$PE_{t-1} =$	11.90

Modelo Autorregresivo:

$$Q_t = b_1 + b_2 Q_{t-1} + b_3 PE_t + b_4 PE_{t-1} + S \cdot Z_t \sqrt{1 - R^2}$$

Donde:

- Q_t = Caudal del mes t.
 Q_{t-1} = Caudal del mes anterior (t-1).
 PE_t = Precipitación efectiva del mes t.
 PE_{t-1} = Precipitación efectiva del mes (t-1).
 S = Error estándar del estimado Q'_t .
 Z_t = Variable aleatoria normal independiente (0,1) del mes t.
 b_1, b_2, b_3, b_4 = Coeficientes de regresión lineal múltiple.

Subcuenca río Pistune

Parámetros:

- Factor constante (caudal básico) :	$b_1 =$	1.02299
- Factor de influencia del valor de Q_{t-1} :	$b_2 =$	0.34428
- Factor de influencia del valor de PE_t :	$b_3 =$	0.23815
- Factor de influencia del valor de PE_{t-1} :	$b_4 =$	0.34841
- Error estándar del estimado Q'_t :	$S =$	4.39246
- Coeficiente de determinación múltiple :	$R^2 =$	0.88842
- Coeficiente de correlación múltiple :	$R =$	0.94256
- Valor de Q_{t-1} para el inicio de la generación (mm):	$Q_{t-1} =$	10.32
- Valor de PE_{t-1} para el inicio de la generación (mm):	$PE_{t-1} =$	13.30

Modelo Autorregresivo:

$$Q_t = b_1 + b_2 Q_{t-1} + b_3 PE_t + b_4 PE_{t-1} + S \cdot Z_t \sqrt{1 - R^2}$$

Donde:

- Q_t = Caudal del mes t.
 Q_{t-1} = Caudal del mes anterior (t-1).
 PE_t = Precipitación efectiva del mes t.
 PE_{t-1} = Precipitación efectiva del mes (t-1).
 S = Error estándar del estimado Q'_t .
 Z_t = Variable aleatoria normal independiente (0,1) del mes t.
 b_1, b_2, b_3, b_4 = Coeficientes de regresión lineal múltiple.

Subcuenca Alto Huancané (río Puncune)

Parámetros:

- Factor constante (caudal básico) :	$b_1 =$	0.51708
- Factor de influencia del valor de Q_{t-1} :	$b_2 =$	0.32772
- Factor de influencia del valor de PE_t :	$b_3 =$	0.06691
- Factor de influencia del valor de PE_{t-1} :	$b_4 =$	0.56083
- Error estándar del estimado Q'_t :	$S =$	2.39320
- Coeficiente de determinación múltiple :	$R^2 =$	0.95343
- Coeficiente de correlación múltiple :	$R =$	0.97644
- Valor de Q_{t-1} para el inicio de la generación (mm):	$Q_{t-1} =$	7.04
- Valor de PE_{t-1} para el inicio de la generación (mm):	$PE_{t-1} =$	9.50

Modelo Autorregresivo:

$$Q_t = b_1 + b_2 Q_{t-1} + b_3 PE_t + b_4 PE_{t-1} + S \cdot Z_t \sqrt{1 - R^2}$$

Donde:

- Q_t = Caudal del mes t.
 Q_{t-1} = Caudal del mes anterior (t-1).
 PE_t = Precipitación efectiva del mes t.
 PE_{t-1} = Precipitación efectiva del mes (t-1).
 S = Error estándar del estimado Q'_t .
 Z_t = Variable aleatoria normal independiente (0,1) del mes t.
 b_1, b_2, b_3, b_4 = Coeficientes de regresión lineal múltiple.

Subcuenca río Guanaco

Parámetros:

- Factor constante (caudal básico) :	$b_1 =$	1.90248
- Factor de influencia del valor de Q_{t-1} :	$b_2 =$	0.12566
- Factor de influencia del valor de PE_t :	$b_3 =$	-0.02314
- Factor de influencia del valor de PE_{t-1} :	$b_4 =$	0.77571
- Error estándar del estimado Q'_t :	$S =$	2.44222
- Coeficiente de determinación múltiple :	$R^2 =$	0.97706
- Coeficiente de correlación múltiple :	$R =$	0.98846
- Valor de Q_{t-1} para el inicio de la generación (mm):	$Q_{t-1} =$	16.72
- Valor de PE_{t-1} para el inicio de la generación (mm):	$PE_{t-1} =$	12.80

Modelo Autorregresivo:

$$Q_t = b_1 + b_2 Q_{t-1} + b_3 PE_t + b_4 PE_{t-1} + S \cdot Z_t \sqrt{1 - R^2}$$

Donde:

- Q_t = Caudal del mes t.
 Q_{t-1} = Caudal del mes anterior (t-1).
 PE_t = Precipitación efectiva del mes t.
 PE_{t-1} = Precipitación efectiva del mes (t-1).
 S = Error estándar del estimado Q'_t .
 Z_t = Variable aleatoria normal independiente (0,1) del mes t.
 b_1, b_2, b_3, b_4 = Coeficientes de regresión lineal múltiple.

Subcuenca río Yaputira

<u>Parámetros:</u>	
- Factor constante (caudal básico) :	$b_1 = 1.35692$
- Factor de influencia del valor de Q_{t-1} :	$b_2 = 0.09777$
- Factor de influencia del valor de PE_t :	$b_3 = 0.02414$
- Factor de influencia del valor de PE_{t-1} :	$b_4 = 0.79568$
- Error estándar del estimado Q'_t :	$S = 2.03393$
- Coeficiente de determinación múltiple :	$R^2 = 0.98481$
- Coeficiente de correlación múltiple :	$R = 0.99238$
- Valor de Q_{t-1} para el inicio de la generación (mm):	$Q_{t-1} = 11.06$
- Valor de PE_{t-1} para el inicio de la generación (mm):	$PE_{t-1} = 12.30$
Modelo Autorregresivo:	$Q_t = b_1 + b_2 Q_{t-1} + b_3 PE_t + b_4 PE_{t-1} + S \cdot Z_t \sqrt{1 - R^2}$
<u>Donde:</u>	
Q_t	= Caudal del mes t.
Q_{t-1}	= Caudal del mes anterior (t-1).
PE_t	= Precipitación efectiva del mes t.
PE_{t-1}	= Precipitación efectiva del mes (t-1).
S	= Error estándar del estimado Q'_t .
Z_t	= Variable aleatoria normal independiente (0,1) del mes t.
b_1, b_2, b_3, b_4	= Coeficientes de regresión lineal múltiple.

Cuenca río Huancané (cuenca total)

<u>Parámetros:</u>	
- Factor constante (caudal básico) :	$b_1 = 0.68165$
- Factor de influencia del valor de Q_{t-1} :	$b_2 = 0.34628$
- Factor de influencia del valor de PE_t :	$b_3 = 0.18796$
- Factor de influencia del valor de PE_{t-1} :	$b_4 = 0.41900$
- Error estándar del estimado Q'_t :	$S = 2.09968$
- Coeficiente de determinación múltiple :	$R^2 = 0.97628$
- Coeficiente de correlación múltiple :	$R = 0.98807$
- Valor de Q_{t-1} para el inicio de la generación (mm):	$Q_{t-1} = 11.62$
- Valor de PE_{t-1} para el inicio de la generación (mm):	$PE_{t-1} = 11.60$
Modelo Autorregresivo:	$Q_t = b_1 + b_2 Q_{t-1} + b_3 PE_t + b_4 PE_{t-1} + S \cdot Z_t \sqrt{1 - R^2}$
<u>Donde:</u>	
Q_t	= Caudal del mes t.
Q_{t-1}	= Caudal del mes anterior (t-1).
PE_t	= Precipitación efectiva del mes t.
PE_{t-1}	= Precipitación efectiva del mes (t-1).
S	= Error estándar del estimado Q'_t .
Z_t	= Variable aleatoria normal independiente (0,1) del mes t.
b_1, b_2, b_3, b_4	= Coeficientes de regresión lineal múltiple.

Subcuenca río Chueña Huata Jahuirá

<u>Parámetros:</u>	
- Factor constante (caudal básico) :	$b_1 = 0.97087$
- Factor de influencia del valor de Q_{t-1} :	$b_2 = 0.23214$
- Factor de influencia del valor de PE_t :	$b_3 = 0.26476$
- Factor de influencia del valor de PE_{t-1} :	$b_4 = 0.40698$
- Error estándar del estimado Q'_t :	$S = 2.93870$
- Coeficiente de determinación múltiple :	$R^2 = 0.92257$
- Coeficiente de correlación múltiple :	$R = 0.96051$
- Valor de Q_{t-1} para el inicio de la generación (mm):	$Q_{t-1} = 9.29$
- Valor de PE_{t-1} para el inicio de la generación (mm):	$PE_{t-1} = 5.30$
Modelo Autorregresivo:	$Q_t = b_1 + b_2 Q_{t-1} + b_3 PE_t + b_4 PE_{t-1} + S \cdot Z_t \sqrt{1 - R^2}$
<u>Donde:</u>	
Q_t	= Caudal del mes t.
Q_{t-1}	= Caudal del mes anterior (t-1).
PE_t	= Precipitación efectiva del mes t.
PE_{t-1}	= Precipitación efectiva del mes (t-1).
S	= Error estándar del estimado Q'_t .
Z_t	= Variable aleatoria normal independiente (0,1) del mes t.
b_1, b_2, b_3, b_4	= Coeficientes de regresión lineal múltiple.

Subcuenca río Caylloma

<u>Parámetros:</u>	
- Factor constante (caudal básico) :	$b_1 = 0.99252$
- Factor de influencia del valor de Q_{t-1} :	$b_2 = 0.32522$
- Factor de influencia del valor de PE_t :	$b_3 = 0.32599$
- Factor de influencia del valor de PE_{t-1} :	$b_4 = 0.25703$
- Error estándar del estimado Q'_t :	$S = 1.84281$
- Coeficiente de determinación múltiple :	$R^2 = 0.96183$
- Coeficiente de correlación múltiple :	$R = 0.98073$
- Valor de Q_{t-1} para el inicio de la generación (mm):	$Q_{t-1} = 11.03$
- Valor de PE_{t-1} para el inicio de la generación (mm):	$PE_{t-1} = 7.50$
Modelo Autorregresivo:	$Q_t = b_1 + b_2 Q_{t-1} + b_3 PE_t + b_4 PE_{t-1} + S \cdot Z_t \sqrt{1 - R^2}$
<u>Donde:</u>	
Q_t	= Caudal del mes t.
Q_{t-1}	= Caudal del mes anterior (t-1).
PE_t	= Precipitación efectiva del mes t.
PE_{t-1}	= Precipitación efectiva del mes (t-1).
S	= Error estándar del estimado Q'_t .
Z_t	= Variable aleatoria normal independiente (0,1) del mes t.
b_1, b_2, b_3, b_4	= Coeficientes de regresión lineal múltiple.

Subcuenca río Trapiche

Parámetros:

- Factor constante (caudal básico) :	$b_1 =$	0.28567
- Factor de influencia del valor de Q_{t-1} :	$b_2 =$	0.48105
- Factor de influencia del valor de PE_t :	$b_3 =$	0.17156
- Factor de influencia del valor de PE_{t-1} :	$b_4 =$	0.30803
- Error estándar del estimado Q'_t :	$S =$	2.03033
- Coeficiente de determinación múltiple :	$R^2 =$	0.88043
- Coeficiente de correlación múltiple :	$R =$	0.93831
- Valor de Q_{t-1} para el inicio de la generación (mm):	$Q_{t-1} =$	6.74
- Valor de PE_{t-1} para el inicio de la generación (mm):	$PE_{t-1} =$	5.30

Modelo Autorregresivo:

$$Q_t = b_1 + b_2 Q_{t-1} + b_3 PE_t + b_4 PE_{t-1} + S \cdot Z_t \sqrt{1 - R^2}$$

Donde:

- Q_t = Caudal del mes t.
 Q_{t-1} = Caudal del mes anterior (t-1).
 PE_t = Precipitación efectiva del mes t.
 PE_{t-1} = Precipitación efectiva del mes (t-1).
 S = Error estándar del estimado Q'_t .
 Z_t = Variable aleatoria normal independiente (0,1) del mes t.
 b_1, b_2, b_3, b_4 = Coeficientes de regresión lineal múltiple.

Cuenca río Suches (Puente Ramón Castilla)

Parámetros:

- Factor constante (caudal básico) :	$b_1 =$	0.86006
- Factor de influencia del valor de Q_{t-1} :	$b_2 =$	0.37005
- Factor de influencia del valor de PE_t :	$b_3 =$	0.13544
- Factor de influencia del valor de PE_{t-1} :	$b_4 =$	0.38855
- Error estándar del estimado Q'_t :	$S =$	2.24447
- Coeficiente de determinación múltiple :	$R^2 =$	0.88447
- Coeficiente de correlación múltiple :	$R =$	0.94046
- Valor de Q_{t-1} para el inicio de la generación (mm):	$Q_{t-1} =$	6.53
- Valor de PE_{t-1} para el inicio de la generación (mm):	$PE_{t-1} =$	5.80

Modelo Autorregresivo:

$$Q_t = b_1 + b_2 Q_{t-1} + b_3 PE_t + b_4 PE_{t-1} + S \cdot Z_t \sqrt{1 - R^2}$$

Donde:

- Q_t = Caudal del mes t.
 Q_{t-1} = Caudal del mes anterior (t-1).
 PE_t = Precipitación efectiva del mes t.
 PE_{t-1} = Precipitación efectiva del mes (t-1).
 S = Error estándar del estimado Q'_t .
 Z_t = Variable aleatoria normal independiente (0,1) del mes t.
 b_1, b_2, b_3, b_4 = Coeficientes de regresión lineal múltiple.

Cuenca río Suches (lugar Cuchauilla, límite Perú-Bolivia)

Parámetros:	
- Factor constante (caudal básico) :	$b_1 = 1.08369$
- Factor de influencia del valor de Q_{t-1} :	$b_2 = 0.31140$
- Factor de influencia del valor de PE_t :	$b_3 = 0.26086$
- Factor de influencia del valor de PE_{t-1} :	$b_4 = 0.31919$
- Error estándar del estimado Q'_t :	$S = 1.75294$
- Coeficiente de determinación múltiple :	$R^2 = 0.95620$
- Coeficiente de correlación múltiple :	$R = 0.97785$
- Valor de Q_{t-1} para el inicio de la generación (mm):	$Q_{t-1} = 9.53$
- Valor de PE_{t-1} para el inicio de la generación (mm):	$PE_{t-1} = 6.90$
Modelo Autorregresivo:	$Q_t = b_1 + b_2 Q_{t-1} + b_3 PE_t + b_4 PE_{t-1} + S Z_t \sqrt{1 - R^2}$
Donde:	
Q_t	= Caudal del mes t.
Q_{t-1}	= Caudal del mes anterior (t-1).
PE_t	= Precipitación efectiva del mes t.
PE_{t-1}	= Precipitación efectiva del mes (t-1).
S	= Error estándar del estimado Q'_t .
Z_t	= Variable aleatoria normal independiente (0,1) del mes t.
b_1, b_2, b_3, b_4	= Coeficientes de regresión lineal múltiple.

Con las ecuaciones del modelo establecidas para cada subcuenca de interés, se ha generado las descargas medias mensuales, utilizando la información de las precipitaciones areales calculadas con el método de Polígonos de Thiessen (se muestran en el Anexo 1). Las descargas medias mensuales generadas se muestran en el Anexo 1.

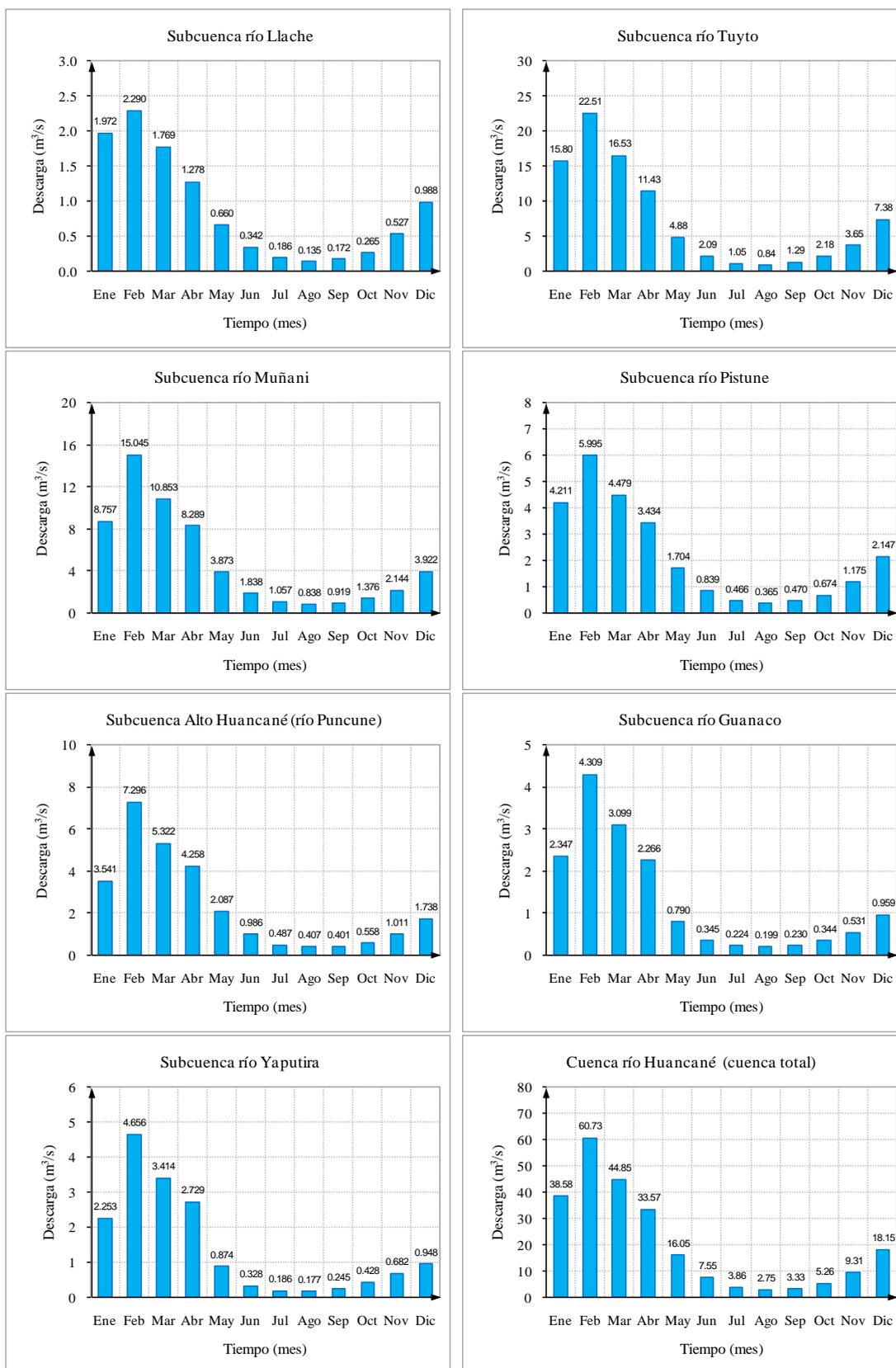
En el Cuadro N° 7.9 se presenta el resumen de las descargas medias mensuales (promedio multimensual) generadas para las subcuencas de la cuenca Huancané y en la Figura N° 7.9 muestra la variación mensual de los caudales medios.

Cuadro N° 7.9 Descargas medias mensuales generadas (m³/s) – Cuenca Huancané

Subcuenca/ cuenca	Punto de control	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom Anual
Río Llache	Confl.río Huancané	1.972	2.290	1.769	1.278	0.660	0.342	0.186	0.135	0.172	0.265	0.527	0.988	0.882
Río Tuyto	Confl.río Putina	15.800	22.510	16.530	11.430	4.880	2.090	1.050	0.840	1.290	2.180	3.650	7.380	7.470
Río Muñani	Confl.río Pongongoni	8.757	15.045	10.853	8.289	3.873	1.838	1.057	0.838	0.919	1.376	2.144	3.922	4.909
Río Pistune	Confl.río Puncune	4.211	5.995	4.479	3.434	1.704	0.839	0.466	0.365	0.470	0.674	1.175	2.147	2.163
Río Puncune	Confl.río Pistune	3.541	7.296	5.322	4.258	2.087	0.986	0.487	0.407	0.401	0.558	1.011	1.738	2.341
Río Guanaco	Vaso Callatomaza	2.347	4.309	3.099	2.266	0.790	0.345	0.224	0.199	0.230	0.344	0.531	0.959	1.304
Río Yaputira	Vaso Yaputira	2.253	4.656	3.414	2.729	0.874	0.328	0.186	0.177	0.245	0.428	0.682	0.948	1.410
Río Huancané	Desemb.lago Titicaca	38.580	60.730	44.850	33.570	16.050	7.550	3.860	2.750	3.330	5.260	9.310	18.150	20.330

En el Cuadro N° 7.10 se presenta el resumen de las descargas medias mensuales (promedio multimensual) generadas para las subcuencas de la cuenca Suches y en la Figura N° 7.10 muestra la variación mensual de los caudales medios.

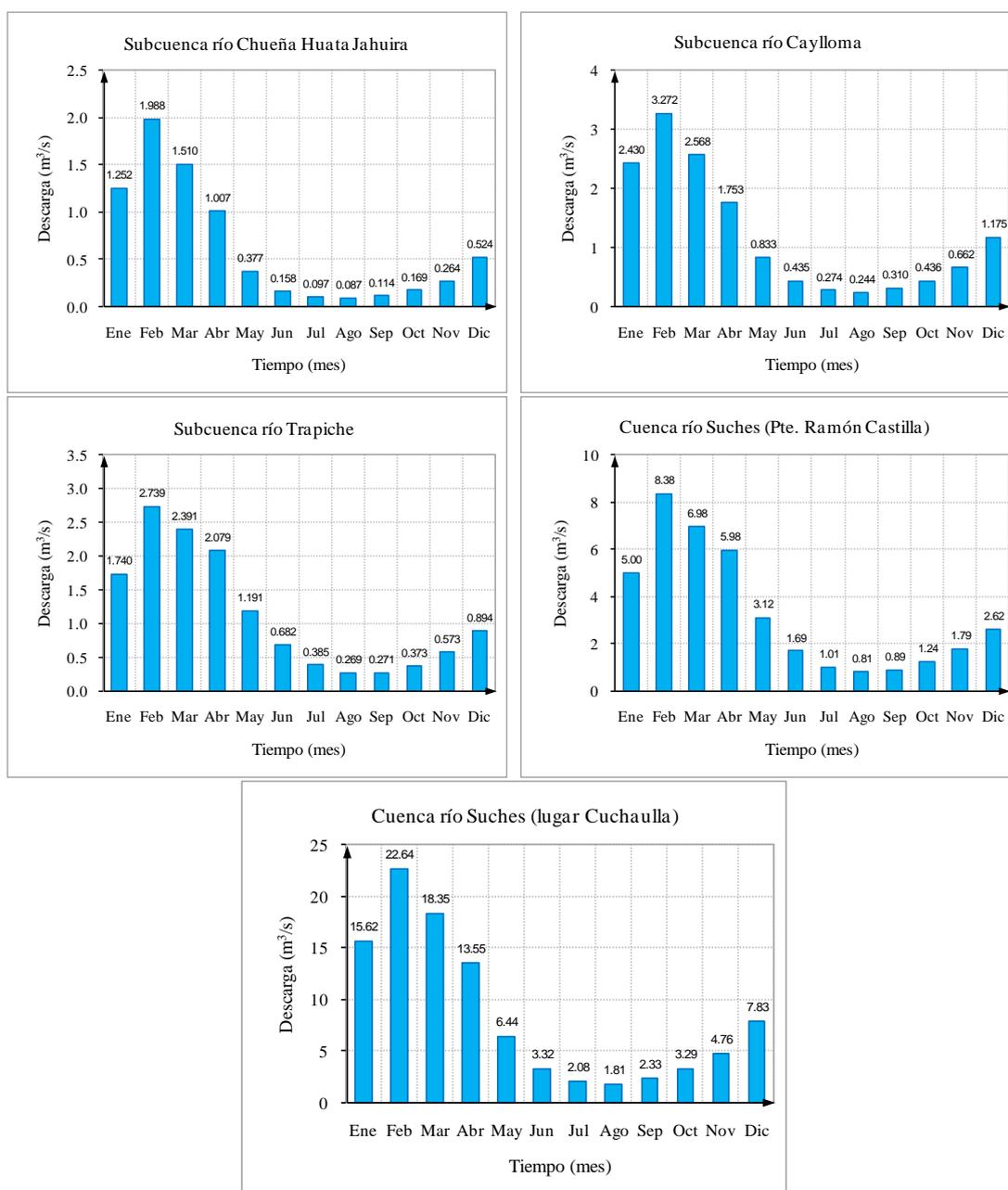
Figura N° 7.9 Variación mensual de las descargas medias generadas (m³/s)
Promedio multimensual (1956-2009) – Cuenca Huancané



Cuadro N° 7.10 Descargas medias mensuales generadas (m³/s) – Cuenca Suches

Subcuenca/ cuenca	Punto de control	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom Anual
Río Chueña Huata Jahuira	Confl.río Suches	1.252	1.988	1.510	1.007	0.377	0.158	0.097	0.087	0.114	0.169	0.264	0.524	0.629
Río Caylloma	Confl.río Suches	2.430	3.272	2.568	1.753	0.833	0.435	0.274	0.244	0.310	0.436	0.662	1.175	1.199
Río Trapiche	Confl.río Suches	1.740	2.739	2.391	2.079	1.191	0.682	0.385	0.269	0.271	0.373	0.573	0.894	1.132
Río Suches	Puente Ramón Castilla	5.000	8.380	6.980	5.980	3.120	1.690	1.010	0.810	0.890	1.240	1.790	2.620	3.290
Río Suches	Lugar Cuchauilla	15.620	22.640	18.350	13.550	6.440	3.320	2.080	1.810	2.330	3.290	4.760	7.830	8.500

Figura N° 7.10 Variación mensual de las descargas medias generadas (m³/s) Promedio multimensual (1956-2009) – Cuenca Suches



7.6 PERSISTENCIA DE LAS DESCARGAS MEDIAS MENSUALES

Según las recomendaciones nacionales e internacionales, la disponibilidad de agua para atender las demandas de riego se deben determinar con un nivel de persistencia de 75% de probabilidad.

El análisis estadístico de probabilidad de ocurrencia de las descargas medias mensuales, para fines de riego, la fórmula de Weibull es universalmente utilizada, cuya ecuación es la siguiente:

$$P(X \geq x_m) = \left(\frac{m}{n+1} \right) \quad (1)$$

Donde:

- n : Número total de datos de la muestra.
 m : Posición de un valor en una lista ordenada por magnitud descendente del respectivo valor de caudal al que se refiere la probabilidad P de excedencia.

Para el análisis de persistencia de los caudales de las subcuencas de interés, se ha empleado la serie mensual de las descargas medias generadas del período 1956-2009, dicha información se muestra en el Anexo 1.

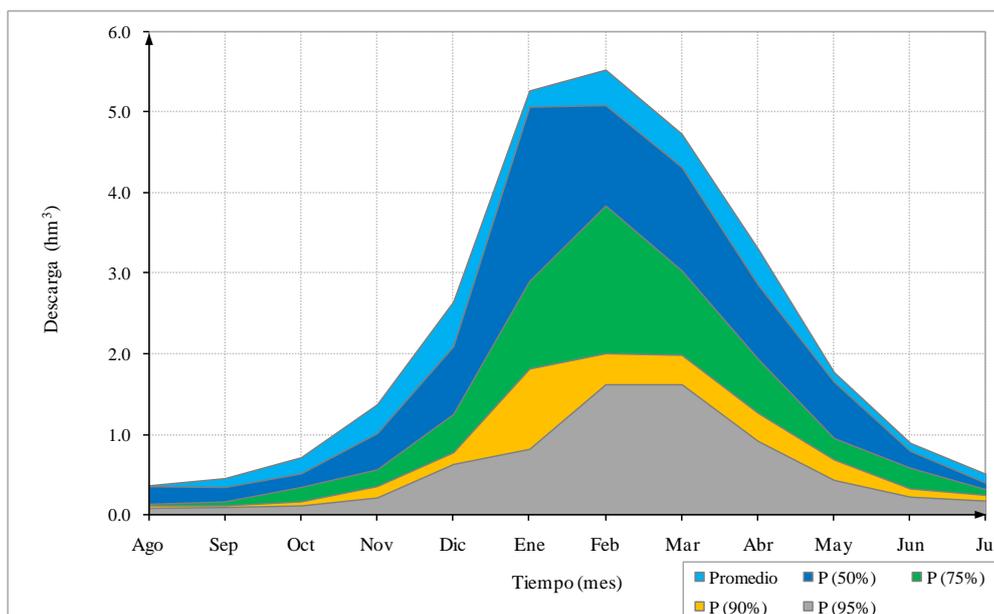
Utilizando la información de las descargas medias generadas para las subcuencas de interés y aplicando la ecuación (1), se ha analizado la persistencia al 50, 75, 90 y 95% de probabilidad, los cuadros de análisis de frecuencia de las descargas medias se muestran en el Anexo 1.

En los Cuadros N° 7.11 a 7.23 y en las Figuras N° 7.11 a 7.23, se presenta los volúmenes de descargas medias mensuales, calculados al 50, 75, 90 y 95% de probabilidad de persistencia para las subcuencas de las cuencas Huancané y Suches.

Cuadro N° 7.11 Volúmenes de descargas medias mensuales (hm³) al 75% de persistencia
Subcuenca río Llache

Persistencia	Mes												Total Annual
	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	
Promedio	0.36	0.45	0.71	1.37	2.65	5.28	5.54	4.74	3.31	1.77	0.89	0.50	27.57
P (50%)	0.35	0.34	0.51	1.01	2.09	5.07	5.09	4.32	2.86	1.65	0.79	0.39	24.47
P (75%)	0.13	0.16	0.34	0.56	1.25	2.91	3.85	3.04	1.94	0.95	0.58	0.31	16.02
P (90%)	0.11	0.11	0.16	0.35	0.77	1.81	2.00	1.98	1.26	0.68	0.32	0.24	9.79
P (95%)	0.08	0.09	0.11	0.21	0.63	0.82	1.63	1.63	0.92	0.43	0.22	0.17	6.94

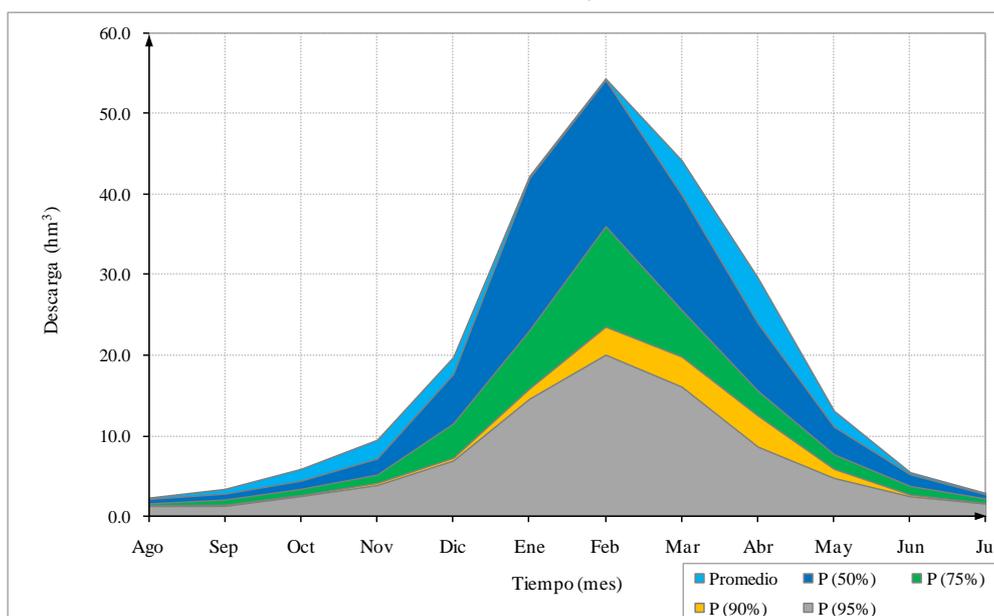
Figura N° 7.11 Variación mensual de los volúmenes de descargas medias Subcuenca río Llache



Cuadro N° 7.12 Volúmenes de descargas medias mensuales (hm³) al 75% de persistencia Subcuenca río Tuyto

Persistencia	Mes												Total Annual
	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	
Promedio	2.25	3.34	5.84	9.46	19.77	42.32	54.46	44.27	29.63	13.07	5.42	2.81	232.64
P (50%)	2.09	2.75	4.37	7.13	17.68	42.08	54.31	39.99	23.98	11.09	5.16	2.65	213.28
P (75%)	1.53	2.02	3.35	5.13	11.52	23.14	36.12	25.66	15.58	7.66	3.71	2.14	137.56
P (90%)	1.31	1.37	2.57	4.10	7.23	15.88	23.59	19.85	12.49	5.84	2.64	1.58	98.45
P (95%)	1.21	1.22	2.44	3.81	6.86	14.54	20.01	16.04	8.58	4.69	2.41	1.50	83.31

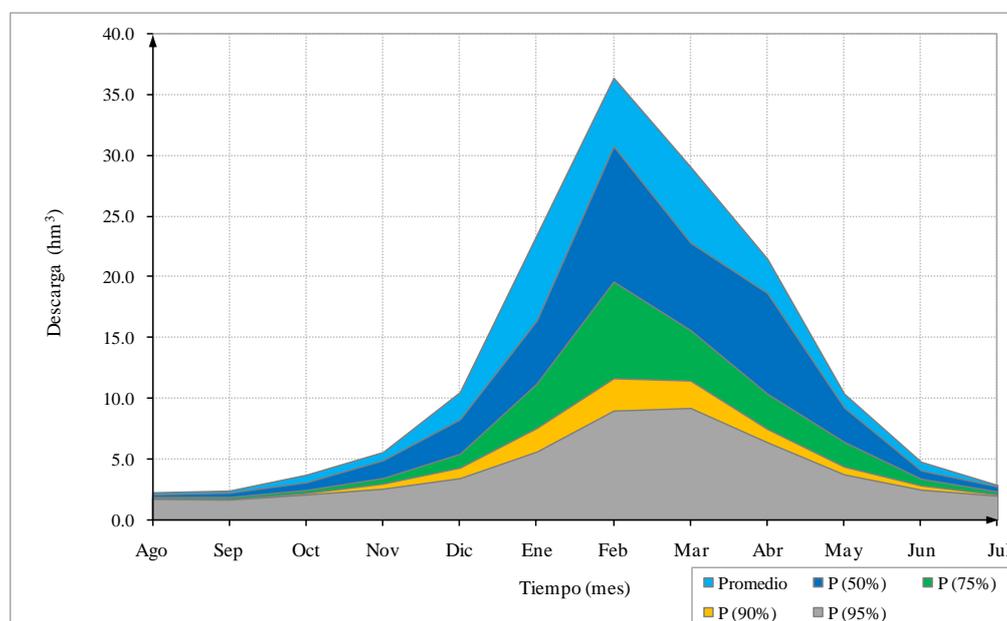
Figura N° 7.12 Variación mensual de los volúmenes de descargas medias Subcuenca río Tuyto



Cuadro N° 7.13 Volúmenes de descargas medias mensuales (hm^3) al 75% de persistencia Subcuenca río Muñani

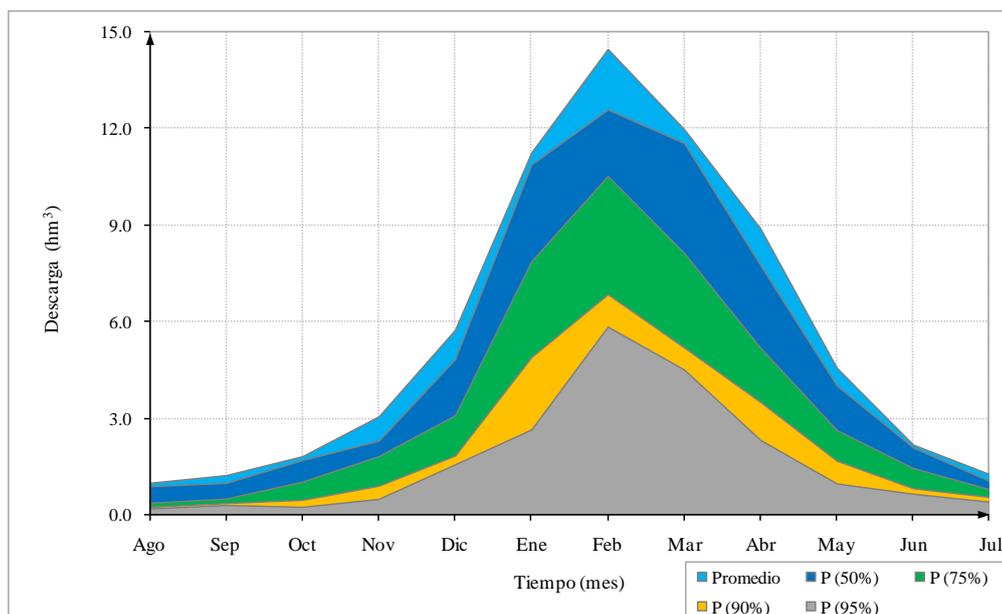
Persistencia	Mes												Total Anual
	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	
Promedio	2.24	2.38	3.69	5.56	10.50	23.45	36.40	29.07	21.49	10.37	4.76	2.83	152.74
P (50%)	2.07	2.21	3.07	4.89	8.26	16.41	30.78	22.83	18.68	9.24	4.05	2.72	125.21
P (75%)	1.87	1.86	2.44	3.43	5.43	11.24	19.67	15.66	10.40	6.42	3.37	2.31	84.10
P (90%)	1.76	1.67	2.19	2.97	4.29	7.57	11.68	11.49	7.49	4.37	2.82	2.06	60.36
P (95%)	1.70	1.64	2.06	2.54	3.41	5.60	8.98	9.20	6.37	3.72	2.46	1.96	49.64

Figura N° 7.13 Variación mensual de los volúmenes de descargas medias Subcuenca río Muñani

Cuadro N° 7.14 Volúmenes de descargas medias mensuales (hm^3) al 75% de persistencia Subcuenca río Pistune

Persistencia	Mes												Total Anual
	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	
Promedio	0.98	1.22	1.81	3.05	5.75	11.28	14.50	12.00	8.90	4.56	2.17	1.25	67.47
P (50%)	0.87	0.97	1.68	2.28	4.82	10.87	12.58	11.54	7.74	4.00	2.07	1.03	60.45
P (75%)	0.36	0.49	1.02	1.81	3.08	7.87	10.52	8.13	5.18	2.62	1.44	0.78	43.30
P (90%)	0.23	0.35	0.45	0.89	1.83	4.90	6.86	5.20	3.50	1.67	0.81	0.54	27.23
P (95%)	0.18	0.29	0.23	0.48	1.56	2.65	5.86	4.52	2.32	0.96	0.64	0.39	20.08

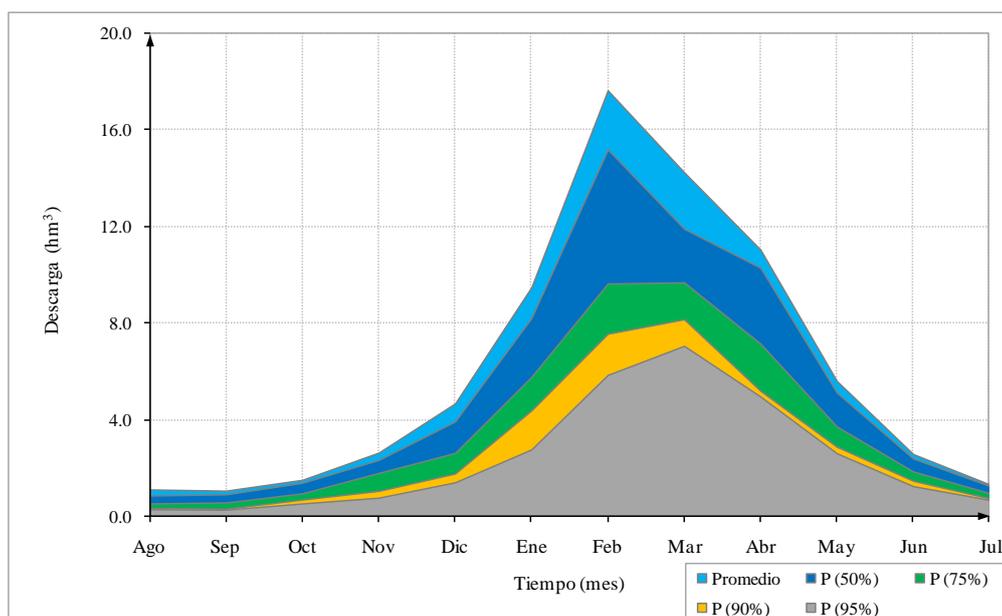
Figura N° 7.14 Variación mensual de los volúmenes de descargas medias Subcuenca río Pistune



Cuadro N° 7.15 Volúmenes de descargas medias mensuales (hm³) al 75% de persistencia Subcuenca Alto Huancané (río Puncune)

Persistencia	Mes												Total Annual
	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	
Promedio	1.09	1.04	1.49	2.62	4.66	9.48	17.65	14.25	11.04	5.59	2.56	1.30	72.77
P (50%)	0.84	0.89	1.37	2.32	3.92	8.22	15.23	11.93	10.31	5.12	2.38	1.24	63.77
P (75%)	0.51	0.55	0.93	1.78	2.61	5.77	9.65	9.70	7.15	3.71	1.84	0.94	45.14
P (90%)	0.32	0.29	0.67	1.03	1.75	4.37	7.55	8.15	5.18	2.86	1.45	0.72	34.34
P (95%)	0.27	0.25	0.51	0.75	1.39	2.76	5.86	7.07	4.96	2.60	1.23	0.66	28.31

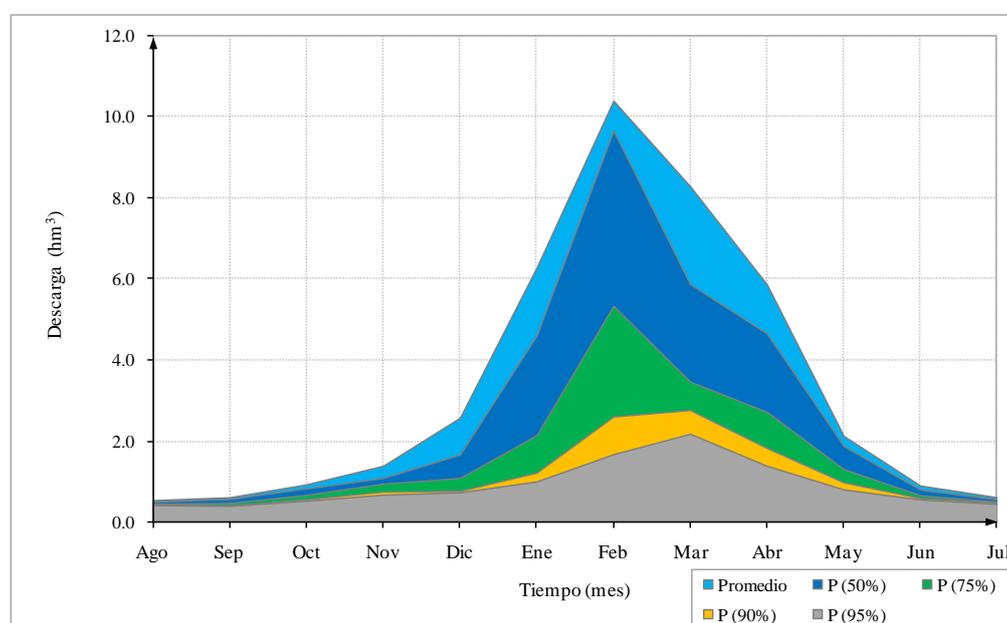
Figura N° 7.15 Variación mensual de los volúmenes de descargas medias Subcuenca Alto Huancané (río Puncune)



Cuadro N° 7.16 Volúmenes de descargas medias mensuales (hm^3) al 75% de persistencia Subcuenca río Guanaco (vaso Callatomaza)

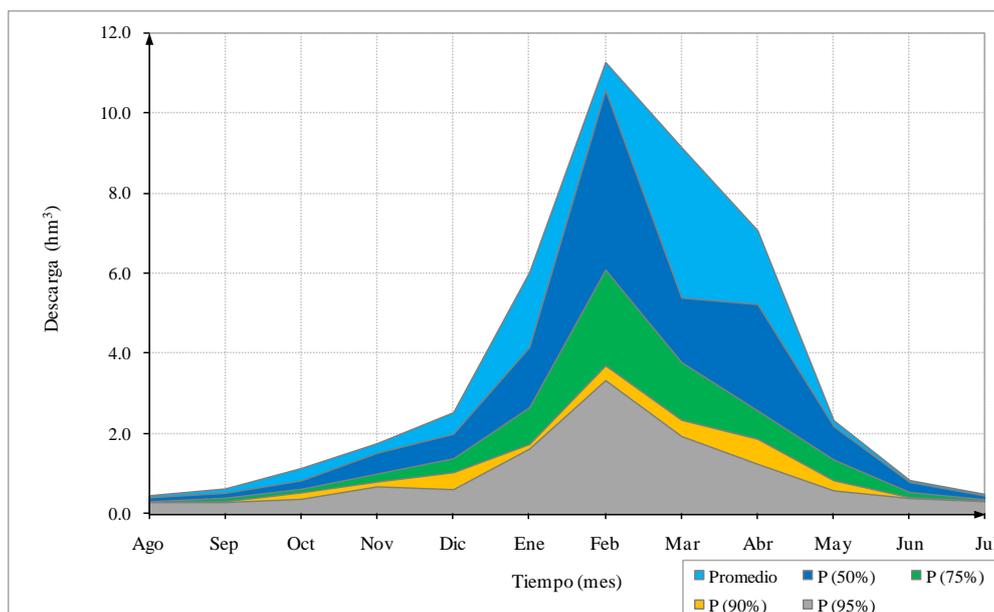
Persistencia	Mes												Total Anual
	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	
Promedio	0.53	0.60	0.92	1.38	2.57	6.29	10.42	8.30	5.87	2.12	0.89	0.60	40.49
P (50%)	0.49	0.56	0.82	1.08	1.66	4.61	9.69	5.88	4.66	1.87	0.79	0.55	32.66
P (75%)	0.44	0.46	0.66	0.94	1.08	2.14	5.35	3.47	2.72	1.30	0.65	0.49	19.70
P (90%)	0.42	0.40	0.55	0.74	0.76	1.21	2.60	2.76	1.82	0.97	0.58	0.47	13.28
P (95%)	0.41	0.39	0.52	0.67	0.73	1.00	1.68	2.19	1.39	0.80	0.55	0.44	10.77

Figura N° 7.16 Variación mensual de los volúmenes de descargas medias Subcuenca río Guanaco (vaso Callatomaza)

Cuadro N° 7.17 Volúmenes de descargas medias mensuales (hm^3) al 75% de persistencia Subcuenca río Yapotira (vaso Yapotira)

Persistencia	Mes												Total Anual
	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	
Promedio	0.47	0.64	1.15	1.77	2.54	6.03	11.26	9.14	7.07	2.34	0.85	0.50	43.76
P (50%)	0.42	0.53	0.84	1.53	2.00	4.16	10.56	5.39	5.23	2.19	0.80	0.46	34.11
P (75%)	0.32	0.41	0.63	1.01	1.39	2.66	6.08	3.78	2.58	1.36	0.55	0.37	21.14
P (90%)	0.31	0.32	0.54	0.81	1.04	1.74	3.69	2.34	1.87	0.84	0.42	0.34	14.26
P (95%)	0.30	0.30	0.38	0.69	0.62	1.63	3.33	1.94	1.25	0.59	0.40	0.32	11.75

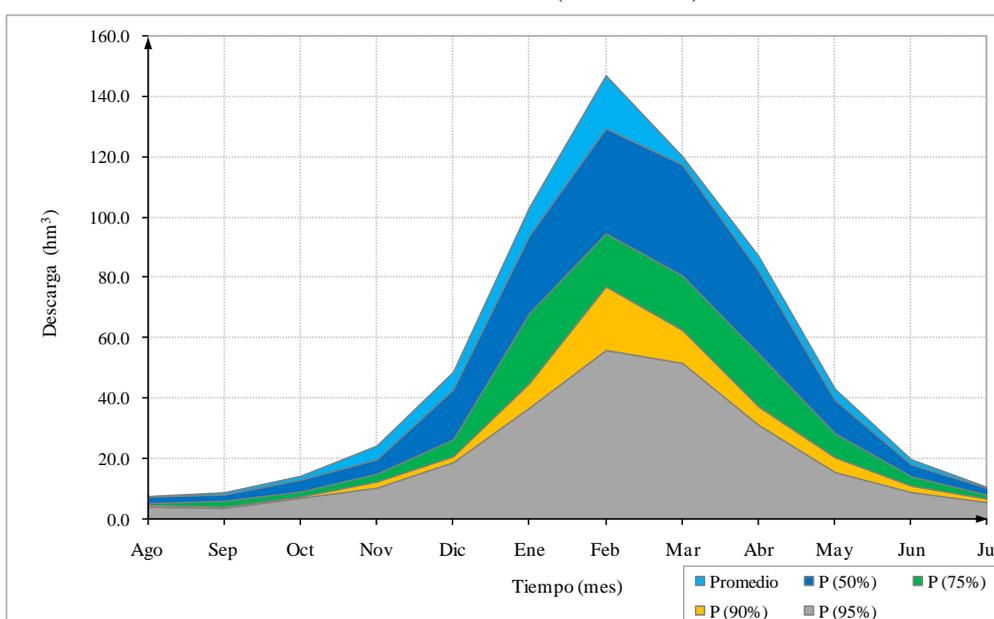
Figura N° 7.17 Variación mensual de los volúmenes de descargas medias Subcuenca río Yapotira (vaso Yapotira)



Cuadro N° 7.18 Volúmenes de descargas medias mensuales (hm³) al 75% de persistencia Cuenca río Huancané (cuenca total)

Persistencia	Mes												Total Annual
	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	
Promedio	7.37	8.63	14.09	24.13	48.61	103.33	146.92	120.13	87.01	42.99	19.57	10.34	633.12
P (50%)	7.29	7.98	12.91	19.65	42.83	93.99	129.40	117.47	82.24	39.40	17.96	10.12	581.24
P (75%)	5.09	5.86	8.92	14.83	26.22	68.19	94.66	80.70	54.74	28.26	14.00	7.85	409.32
P (90%)	4.47	3.89	7.26	12.23	20.62	45.05	77.10	62.65	37.17	20.30	10.86	6.54	308.14
P (95%)	3.88	3.47	6.86	10.24	18.72	36.94	56.13	51.83	31.16	15.45	8.76	5.38	248.82

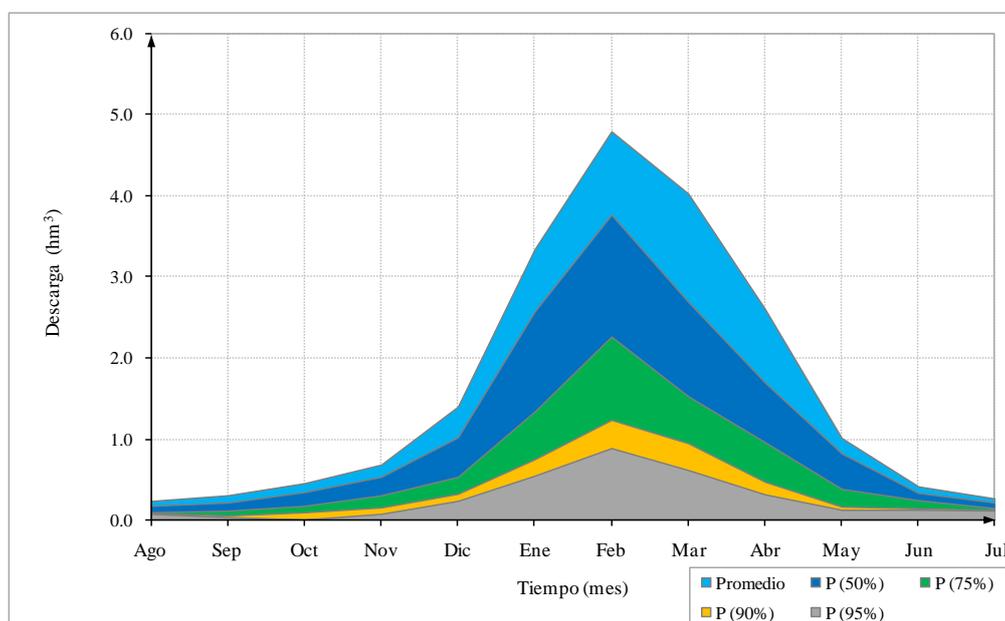
Figura N° 7.18 Variación mensual de los volúmenes de descargas medias Cuenca río Huancané (cuenca total)



Cuadro N° 7.19 Volúmenes de descargas medias mensuales (hm³) al 75% de persistencia Subcuenca río Chueña Huata Jahuira

Persistencia	Mes												Total Anual
	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	
Promedio	0.23	0.30	0.45	0.68	1.40	3.35	4.81	4.04	2.61	1.01	0.41	0.26	19.55
P (50%)	0.17	0.21	0.34	0.53	1.02	2.58	3.78	2.70	1.70	0.82	0.33	0.21	14.39
P (75%)	0.09	0.11	0.17	0.30	0.53	1.34	2.27	1.53	0.96	0.38	0.24	0.14	8.06
P (90%)	0.08	0.05	0.09	0.15	0.32	0.75	1.24	0.95	0.47	0.16	0.14	0.12	4.52
P (95%)	0.07	0.03	0.00	0.07	0.23	0.54	0.88	0.61	0.31	0.12	0.12	0.11	3.09

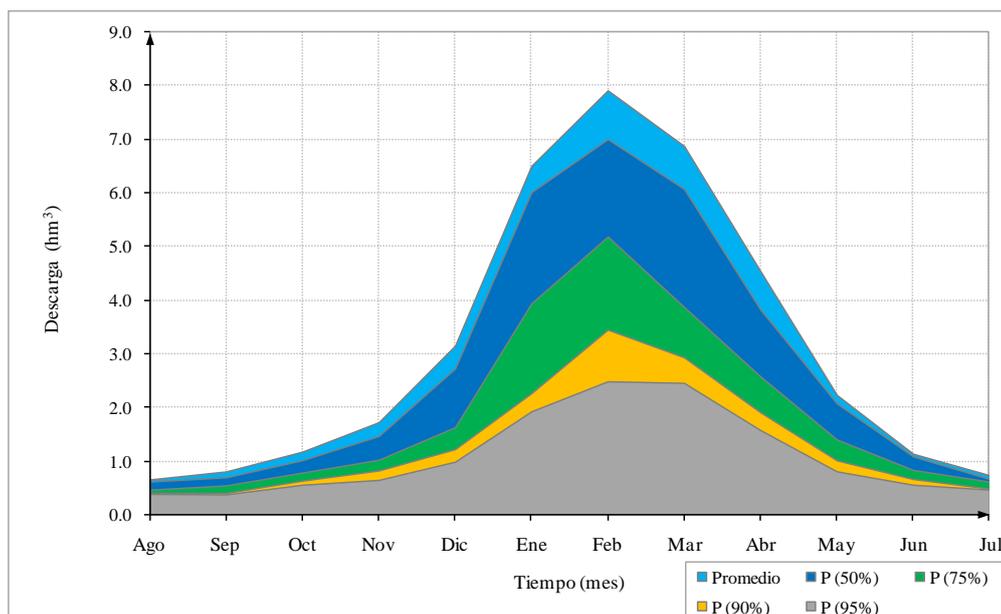
Figura N° 7.19 Variación mensual de los volúmenes de descargas medias Subcuenca río Chueña Huata Jahuira



Cuadro N° 7.20 Volúmenes de descargas medias mensuales (hm³) al 75% de persistencia Subcuenca río Caylloma

Persistencia	Mes												Total Anual
	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	
Promedio	0.65	0.80	1.17	1.72	3.15	6.51	7.92	6.88	4.54	2.23	1.13	0.73	37.43
P (50%)	0.61	0.69	1.01	1.46	2.72	6.01	7.00	6.07	3.82	2.07	1.08	0.66	33.20
P (75%)	0.46	0.54	0.78	1.02	1.63	3.95	5.20	3.88	2.58	1.40	0.83	0.61	22.88
P (90%)	0.40	0.40	0.63	0.82	1.22	2.27	3.46	2.94	1.91	1.01	0.66	0.48	16.20
P (95%)	0.38	0.37	0.55	0.64	0.98	1.92	2.48	2.45	1.57	0.80	0.55	0.46	13.15

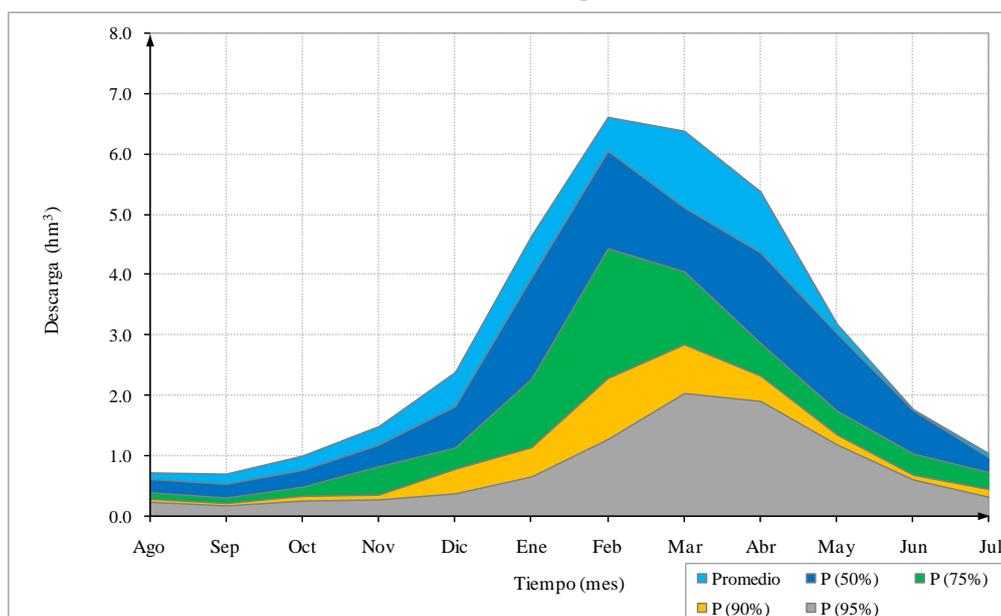
Figura N° 7.20 Variación mensual de los volúmenes de descargas medias Subcuenca río Caylloma



Cuadro N° 7.21 Volúmenes de descargas medias mensuales (hm³) al 75% de persistencia Subcuenca río Trapiche

Persistencia	Mes												Total Anual
	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	
Promedio	0.72	0.70	1.00	1.49	2.39	4.66	6.63	6.40	5.39	3.19	1.77	1.03	35.37
P (50%)	0.61	0.53	0.76	1.18	1.82	3.96	6.06	5.12	4.37	3.03	1.75	0.96	30.15
P (75%)	0.39	0.30	0.48	0.82	1.13	2.27	4.43	4.05	2.86	1.74	1.03	0.72	20.22
P (90%)	0.28	0.21	0.33	0.35	0.78	1.14	2.29	2.85	2.33	1.35	0.68	0.44	13.03
P (95%)	0.23	0.17	0.25	0.27	0.37	0.65	1.27	2.03	1.90	1.18	0.60	0.31	9.23

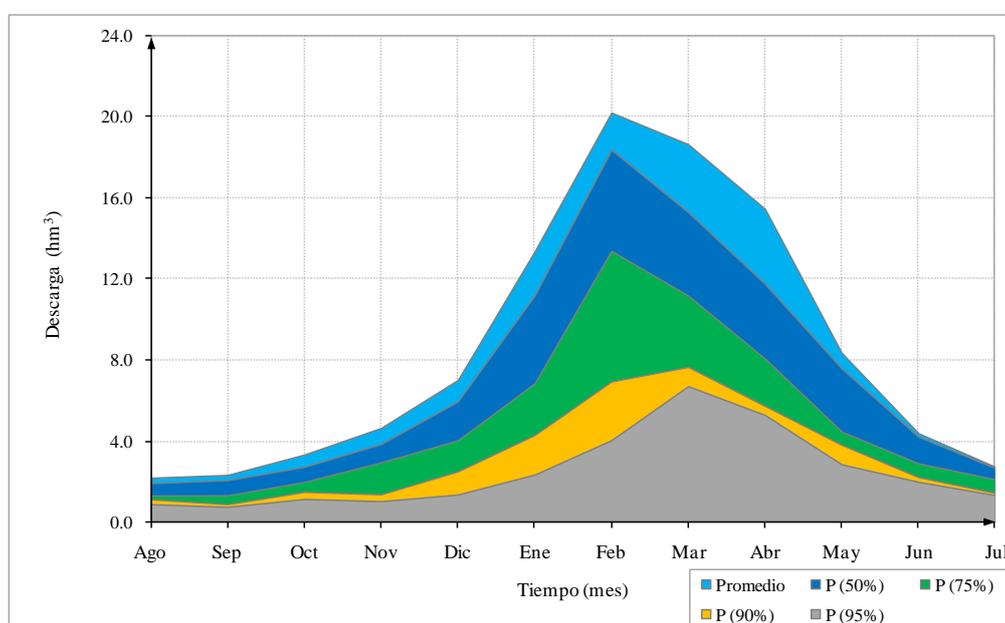
Figura N° 7.21 Variación mensual de los volúmenes de descargas medias Subcuenca río Trapiche



Cuadro N° 7.22 Volúmenes de descargas medias mensuales (hm^3) al 75% de persistencia Cuenca río Suches (Puente Ramón Castilla)

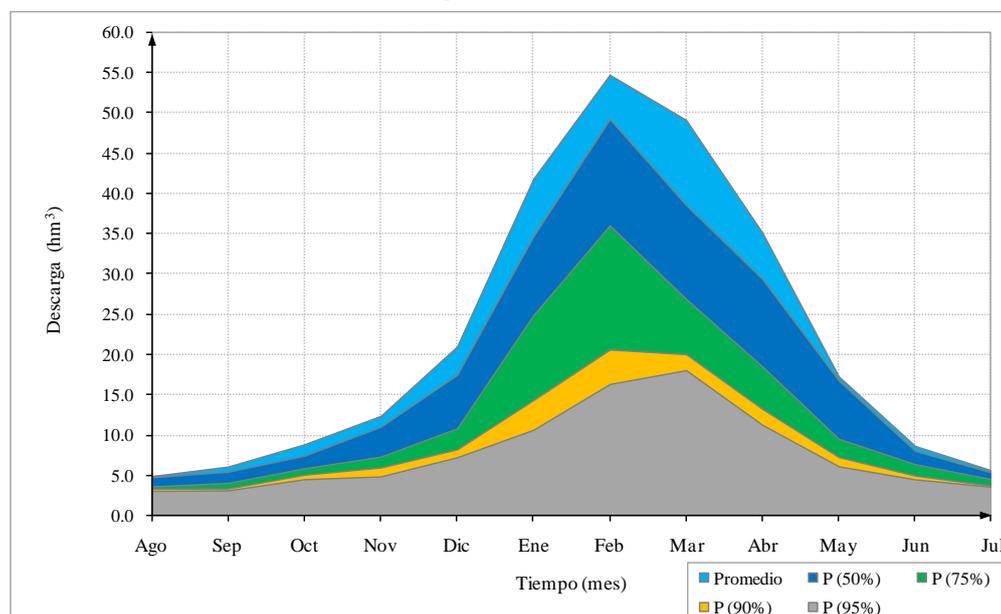
Persistencia	Mes												Total Anual
	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	
Promedio	2.17	2.31	3.32	4.64	7.02	13.39	20.27	18.70	15.50	8.36	4.38	2.71	102.77
P (50%)	1.90	2.05	2.71	3.84	5.95	11.20	18.41	15.32	11.77	7.58	4.20	2.65	87.58
P (75%)	1.29	1.30	1.96	2.93	4.02	6.83	13.38	11.17	8.06	4.45	2.88	2.09	60.36
P (90%)	1.10	0.86	1.47	1.35	2.49	4.29	6.94	7.66	5.73	3.80	2.20	1.42	39.31
P (95%)	0.86	0.73	1.12	1.01	1.34	2.33	4.04	6.72	5.29	2.84	1.97	1.31	29.56

Figura N° 7.22 Variación mensual de los volúmenes de descargas medias Cuenca río Suches (Puente Ramón Castilla)

Cuadro N° 7.23 Volúmenes de descargas medias mensuales (hm^3) al 75% de persistencia Cuenca río Suches (lugar Cuchaulla, límite Perú-Bolivia)

Persistencia	Mes												Total Anual
	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	
Promedio	4.85	6.04	8.81	12.34	20.97	41.84	54.77	49.15	35.12	17.25	8.61	5.57	265.32
P (50%)	4.69	5.39	7.39	10.99	17.46	34.74	49.33	38.62	29.39	16.74	7.98	5.30	228.02
P (75%)	3.56	3.99	5.81	7.26	10.79	24.88	36.05	26.89	18.48	9.48	6.32	4.45	157.96
P (90%)	3.27	3.29	5.01	5.91	8.17	14.30	20.59	20.01	13.19	7.20	4.90	3.64	109.48
P (95%)	3.00	3.06	4.45	4.80	7.18	10.61	16.31	18.03	11.22	6.05	4.43	3.51	92.65

Figura N° 7.23 Variación mensual de los volúmenes de descargas medias
Cuenca río Suches (lugar Cuchauilla, límite Perú-Bolivia)



7.7 MODELACIÓN ESTOCÁSTICA

La modelación estocástica en el presente estudio, se ha utilizado para generar las series sintéticas de caudales medios mensuales de los ríos Guanaco e Yapotira. Información básica para la determinación de la capacidad de embalse desde el punto de vista hidrológico. En las subcuencas del río Guanaco e Yapotira se han propuesto dos vasos de represamiento de agua.

7.7.1 Modelo estocástico autorregresivo

Los modelos estocásticos en la econometría contemporánea de recursos de agua está basado en la confianza de los modelos matemáticos de ingeniería para la toma de decisiones y evaluación de diversos proyectos de recurso hídrico. Estos modelos pueden ser hechos suficientemente confiables con el tiempo, únicamente por el desarrollo de descripciones matemáticas apropiadas de procesos hidrológicos de naturaleza estocástica.

Un modelo estocástico utiliza propiedades estadísticas de los registros existentes (muestra de datos) y leyes de probabilidad, junto con generador de números aleatorios para generar series sintéticas (eventos posibles) los cuales son usados en la resolución de problemas hidrológicos [Nuñez].

Según Salas citado por Villón [1983], hay varios modelos estocásticos que han sido propuestos para el modelamiento hidrológico de series de tiempo, de los cuales los modelos Markovianos se utilizarán en el presente estudio.

A.- Modelos Markovianos

Según Salas citado por Villón[1983], los modelos Markovianos llamado también modelos Autorregresivos(AR) han sido usados extensamente en hidrología y recursos de agua desde principios de los años 1960, para el modelamiento de series de tiempo hidrológica periódica (mensual, semanal y diaria) y anual. La aplicación de estos modelos en hidrología han sido atractivos principalmente porque:

1. La forma autorregresiva tiene un tipo intuitivo de dependencia en el tiempo (el valor de una variable en el tiempo presente depende de los valores de tiempos previos), y
2. Son modelos simples a usar .

Los Modelos Markovianos o Autorregresivos pueden tener parámetros constantes o periódicos que varían con el tiempo o una combinación de ambos. El primero es típicamente usado para el modelamiento de series de tiempo anuales, mientras el segundo es usado para el modelamiento de series de tiempo estacionales (mensuales, semanales o diarias).

En este trabajo se usarán los Modelos Estocásticos Markovianos de Series Mensuales, la metodología se basa en el análisis y modelamiento matemático de los diferentes componentes que se observan en las series hidrológicas históricas cuando se hace la descomposición de ella.

Modelos Markovianos de series mensuales

Yevjevich [1972], describe los modelos Markovianos de series no anuales (mensuales), presentan periodicidades en sus diferentes parámetros, a diferencia de los anuales que no presentan, lo que hace un poco más complicado su análisis.

El modelo estocástico general considerado para una serie mensual, tiene la forma de la ecuación general de series anuales, la misma que se describe para una serie mensual con parámetros periódicos.

$$X_{p,\tau} = M_{\tau} + S_{\tau} \cdot Z_{p,\tau} \quad (1)$$

Donde:

$X_{p,\tau}$	=	Serie hidrológica mensual.
M_{τ}	=	Media periódica para el período τ .
S_{τ}	=	Desviación estandar periódica para el período τ .
$Z_{p,\tau}$	=	Componente estocástica para el año p y el período τ .
p	=	1, 2, 3,....., m
m	=	Número total de años.
τ	=	1, 2, 3,....., w
w	=	12, si el análisis es mensual.

a.1.- Modelo Markoviano de primer orden

La suposición básica del análisis estocástico es que el proceso es estacionario, es decir, que las propiedades estadísticas del proceso no varían con el tiempo (tiempo invariante). Por esto las propiedades estadísticas del registro histórico pueden utilizarse para obtener una secuencia sintética larga, la cual puede usarse de manera más efectiva en la planeación de un registro histórico corto. Las secuencias sintéticas deben ser semejantes a la secuencia histórica, es decir deben poseer características estadísticas semejantes. [Linsley].

El modelo Markoviano de primer orden es llamado también Autorregresivo de primer orden AR(1), es la estructura más simple de dependencia, la ecuación es la siguiente:

$$Z_{p,\tau} = \alpha_{1,\tau-1} Z_{p,\tau-1} + (1 - \alpha_{1,\tau-1}^2)^{1/2} \times E_{p,\tau} \quad (2)$$

Donde :

$\alpha_{1,\tau-1} = \rho_{1,\tau-1}$ Primer coeficiente de autorregresión, que es igual al primer coeficiente de autocorrelación.

$E_{p,\tau}$ = Componente estocástica independiente.

Salas [1976], en la práctica, generalmente se utilizan los coeficientes de autocorrelación constantes como de los datos anuales.

$$\rho_{1,\tau-1} = \rho_1$$

y obteniendo la Ec.(2), como:

$$Z_{p,\tau} = \rho_1 Z_{p,\tau-1} + (1 - \rho_1^2)^{1/2} \times E_{p,\tau} \quad (3)$$

La estructura es similar al modelo Markoviano de primer orden de series anuales.

Los coeficientes de autorregresión $\alpha_{i,\tau-i}$ se estima en función de los coeficientes de autocorrelación $\rho_{k,\tau-i}$ para $k, i = 1, 2, 3$ y estas son estimados por $r_{k,\tau-i}$.

Si el modelo es adecuado para describir la dependencia de $Z_{p,\tau}$, entonces la variable $E_{p,\tau}$, se calcula despejando de la Ec.(3) y se tiene:

$$E_{p,\tau} = \frac{(Z_{p,\tau} - \rho_1 Z_{p,\tau-1})}{(1 - \rho_1^2)^{1/2}} \quad (4)$$

El cual debe ser una serie independiente.

b.2.- Pruebas del modelo

En el análisis estocástico de series hidrológicas, puede ocurrir que la componente estocástica $Z_{p,\tau}$ de la Ec.(1) sea independiente, por lo tanto, no será necesario ningún

modelo de dependencia, en este caso se debe usar el modelo Markov 0, y su coeficiente de autocorrelación es $\rho = 0$. En caso contrario hay que decidir por el modelo Markoviano más adecuado para describir la dependencia de la componente estocástica $Z_{p,\tau}$.

1.- Prueba de la forma del correlograma

Esta prueba se basa en la comparación de las formas del correlograma del modelo postulado y del correlograma calculado.

2.- Prueba de independencia de la variable residual

Esta prueba se basa en el hecho de que, si la componente estocástica $Z_{p,\tau}$ de la ecuación (1) es independiente, entonces $\rho_{k,\tau}(z_{p,\tau}) = 0$ para $k \neq 0$. Asimismo, si un modelo Markoviano de orden m es adecuado para representar la dependencia de $Z_{p,\tau}$, entonces la variable $E_{p,\tau}$ es independiente y por lo tanto $\rho_{k,\tau}(E_{p,\tau}) = 0$ para $k \neq 0$. En literal b.3 se indica el procedimiento de cálculo para este caso.

b.3.- Procedimiento general del modelamiento estocástico Markoviano

El procedimiento general para hallar el modelo estocástico Markoviano de datos mensuales, es la siguiente:

1° Dada la serie histórica $X_{p,\tau}$:

$$X_{1,1}, X_{1,2}, \dots, X_{n,\tau}$$

Donde: n es el número total de años y τ es el número de meses.

2° Planteo de hipótesis:

H_p (hipótesis planteada) : $Z_{p,\tau}$ es totalmente independiente.

H_a (hipótesis alterna) : $Z_{p,\tau}$ es totalmente dependiente.

3° Cálculo de los parámetros periódicos determinísticos del modelo, la media M_τ y la desviación estándar S_τ con las siguientes ecuaciones:

$$M_\tau = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_{p,\tau} \quad (5)$$

$$S_\tau = \left(\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_{p,\tau} - M_\tau)^2 \right)^{1/2} \quad (6)$$

4° Cálculo del componente estocástica dependiente $Z_{p,\tau}$. Según Aliaga [1985], la componente estocástica de una serie hidrológica puede ser dependiente o independiente. En las series mensuales por lo general son dependientes, y se tiene la siguiente expresión:

$$Z_{p,\tau} = \frac{(X_{p,\tau} - M_{\tau})}{S_{\tau}} \quad (7)$$

La componente estocástica $Z_{p,\tau}$, obtenido en la Ec.(7) usualmente tiene una dependencia en el tiempo, lo que se representa según los modelos Markovianos, en forma similar que en los datos anuales.

- 5° Cálculo de los coeficientes de autocorrelación ρ_k . En hidrología, se puede asumir en ciertos casos que los coeficientes de autocorrelación del proceso $Z_{p,\tau}$ son constantes.

El coeficiente de autocorrelación $\rho_{k,\tau}$ para la componente estocástica $Z_{p,\tau}$ es definido como:[Aliaga].

$$\rho_{k,\tau} = \frac{\text{COV}(Z_{p,\tau}, Z_{p,\tau+k})}{[\text{VAR}(Z_{p,\tau}) \times \text{VAR}(Z_{p,\tau+k})]^{1/2}} \quad (8)$$

ó

$$\rho_{k,\tau} = \frac{\overline{Z_{p,\tau} \cdot Z_{p,\tau+k}} - \overline{Z_{p,\tau}} \cdot \overline{Z_{p,\tau+k}}}{S_{Z_{p,\tau}} \cdot S_{Z_{p,\tau+k}}} \quad (9)$$

Donde: k = retardo o desfasaje.

- 6° Cálculo de los límites de confianza (LC) del correlograma. Al 95% de probabilidad de confianza y $\alpha = 0.05$ de nivel de significancia, con la siguiente ecuación:

$$LC = \left(\frac{-1 \pm 1.96(n - k - 2)^{1/2}}{(n - k - 1)} \right) \quad (10)$$

Donde:

$$\begin{aligned} n &= \text{Tamaño muestral.} \\ k &= \text{Retardo o desfasaje.} \end{aligned}$$

Los límites de confianza es igual para todos los modelos Markovianos de primer, segundo y tercer orden.

- 7° Probar si la componente estocástica $Z_{p,\tau}$ es independiente o no, para esto se aplica la prueba del correlograma, con el siguiente criterio de decisión:
- Si al menos el 95% de los valores del correlograma caen dentro de los límites de confianza, entonces se acepta la H_p , no siendo necesario calcular un modelo de dependencia para la serie. A este modelo se le denomina Markov 0 según Salas la Cruz [1975] citado por Aliaga.
 - Si más del 5% de los valores del correlograma caen fuera de los límites de confianza, entonces se rechaza la hipótesis planteada H_p , vale decir la componente estocástica $Z_{p,\tau}$ es dependiente. En este caso es necesario

determinar los parámetros de los modelos Markovianos para definir la dependencia de la componente estocástica.

- 8° Si $Z_{p,\tau}$ es independiente, no es necesario desarrollar ningún modelo de dependencia, y se denomina modelo Markov 0.

$$X_{p,\tau} = M_{\tau} + S_{\tau} \cdot Z_{p,\tau} \quad (11)$$

Para que el modelo quede definido, los valores obtenidos en el paso 4° se ajusta a diferentes funciones de distribución de probabilidades con las pruebas estadísticas de Chi-cuadrado, Smirnov-Kolmogorov, etc.

- 9° Si $Z_{p,\tau}$ es dependiente, asumir que el modelo Markoviano de primer orden es el adecuado.
- 10° Cálculo del primer coeficiente de autorregresión α_1 , que es igual al primer coeficiente de autocorrelación $\alpha_1 = \rho_1$, estimado con la Ec.(9) para $k=1$.
- 11° Cálculo del componente estocástica independiente (variable aleatoria independiente) $E_{p,\tau}$, con la Ec.(4).
- 12° Cálculo de los coeficientes de autocorrelación para la componente estocástica independiente (variable aleatoria independiente), con la Ec.(9).
- 13° Probar si la componente estocástica $E_{p,\tau}$ es independiente o no, para esto se aplica la prueba del correlograma.
- 14° Si $E_{p,\tau}$ es independiente, entonces el modelo Markoviano de primer orden es bueno para representar la dependencia de la serie analizada $Z_{p,\tau}$.

En este caso de las ecuaciones (1) y (3), se obtiene:

$$X_{p,\tau} = M_{\tau} + S_{\tau} \left(\rho_1 Z_{p,\tau-1} + (1 - \rho_1^2)^{1/2} \times E_{p,\tau} \right) \quad (12)$$

Para que el modelo quede definido, los valores obtenidos en el paso 11° se ajusta a diferentes funciones de distribución de probabilidades con las pruebas estadísticas de Chi-cuadrado, Smirnov-Kolmogorov, etc.

- 15° Si $E_{p,\tau}$ es dependiente, entonces el modelo Markoviano de primer orden no es el adecuado para esta serie y se plantea el modelo Markoviano de segundo orden.
- 16° Cálculo de los parámetros del modelo Markoviano de segundo orden y a su componente estocástica $E_{p,\tau}$ aplicar la prueba del correlograma, es decir repetir los pasos del 10° en adelante para el modelo Markoviano de segundo orden.

- 17° Si $E_{p,\tau}$ es independiente, entonces el modelo Markoviano de segundo orden es el adecuado para representar la dependencia de la serie analizada $Z_{p,\tau}$.

En este caso de las ecuaciones (1) y (9), se obtiene:

$$X_{p,\tau} = M_{\tau} + S_{\tau} (\alpha_1 Z_{p,\tau-1} + \alpha_2 Z_{p,\tau-2} + R \times E_{p,\tau}) \quad (13)$$

$$R = (1 - \alpha_1^2 - \alpha_2^2 - 2\alpha_1\alpha_2\rho_1)^{1/2}$$

Para que el modelo quede definido, los valores de la componente estocástica independiente $E_{p,\tau}$ se ajusta a diferentes funciones de distribución de probabilidades con las pruebas estadísticas de Chi-cuadrado, Smirnov-Kolmogorov, etc.

- 18° Si $E_{p,\tau}$ es dependiente, entonces el modelo Markoviano de segundo orden no es el adecuado y se plantea el modelo Markoviano de tercer orden.
- 19° Cálculo de los parámetros del modelo Markoviano de tercer orden y a su componente estocástica $E_{p,\tau}$ aplicar la prueba del correlograma, es decir, repetir los pasos del 10° en adelante para el modelo Markoviano de tercer orden.
- 20° Si $E_{p,\tau}$ es independiente, entonces el modelo Markoviano de tercer orden es el adecuado para representar la dependencia de la serie analizada $Z_{p,\tau}$.

En este caso de las ecuaciones (1) y (9), se obtiene:

$$X_{p,\tau} = M_{\tau} + S_{\tau} (\alpha_1 Z_{p,\tau-1} + \alpha_2 Z_{p,\tau-2} + \alpha_3 Z_{p,\tau-3} + R \cdot E_{p,\tau}) \quad (14)$$

$$R = [1 - (\alpha_1^2 + \alpha_2^2 + \alpha_3^2 + 2\alpha_1\alpha_2\rho_1 + 2\alpha_1\alpha_3\rho_2 + 2\alpha_2\alpha_3\rho_1)]^{1/2}$$

Para que el modelo quede definido, los valores de la componente estocástica independiente $E_{p,\tau}$ se ajusta a diferentes funciones de distribución de probabilidades con las pruebas estadísticas de Chi-cuadrado, Smirnov-Kolmogorov, etc, así sucesivamente.

7.7.2 Modelamiento estocástico de series mensuales

A.- Modelamiento estocástico de caudales medios mensuales – Subcuencas del río Guanaco e Yaputira

Aplicando la metodología descrita en los ítems anteriores, el modelamiento estocástico para las subcuencas del río Guanaco e Yaputira, se ha realizado, utilizando la información de caudales medios generados con el modelo hidrológico de Lutz Scholz. Los resultados del modelamiento se muestran en los Cuadros N° 7.24 al 7.26 y las Figuras N° 7.24 y 7.25.

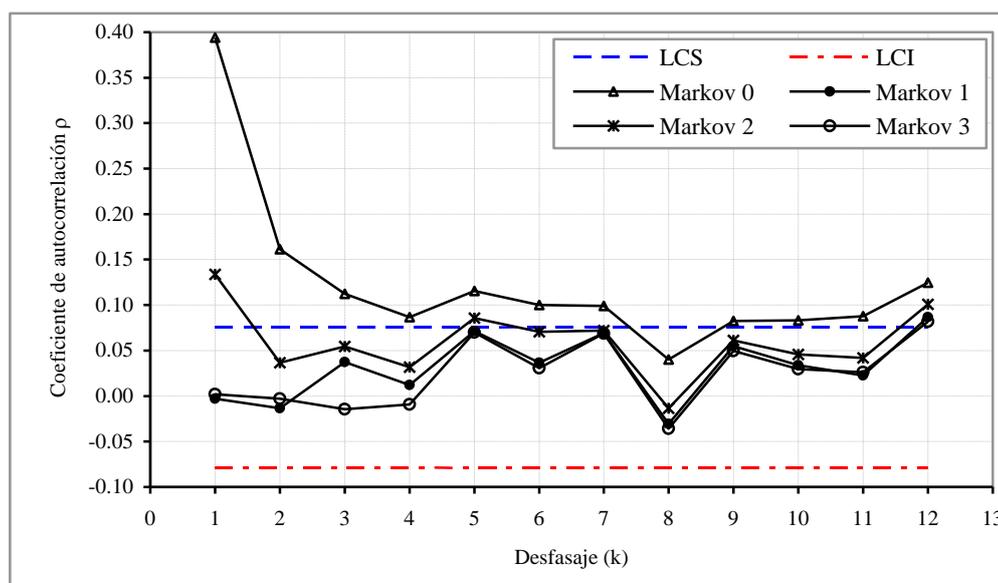
Para la generación de series sintéticas o hidrológicas, se requiere mucho del conocimiento del tipo de modelo estocástico Markoviano y así como de sus parámetros respectivos, vale decir seleccionar el modelo Markoviano representativo de un orden adecuado para representar la dependencia de la componente estocástica de la serie analizada y sus respectivos parámetros.

Los correlogramas de la serie residual dependiente, de la serie independiente resultante del modelo de primer, segundo y tercer orden, con sus respectivos límites de confianza al 95% de probabilidad, para cada subcuenca de interés, se dan en los Cuadros N° 7.24 y 7.25.

Cuadro N° 7.24 Coeficientes de autocorrelación y límites de confianza de la componente estocástica de caudales medios mensuales
Río Guanaco – Embalse Callatomaza

Desfasaje k	Límites de confianza		Coeficientes de autocorrelación ρ			
	LCI	LCS	Markov 0	Markov 1	Markov 2	Markov 3
1	-0.0786	0.0755	0.3942	-0.0028	0.1338	0.0019
2	-0.0787	0.0756	0.1614	-0.0135	0.0367	-0.0029
3	-0.0787	0.0756	0.1124	0.0375	0.0545	-0.0145
4	-0.0788	0.0757	0.0866	0.0121	0.0317	-0.0091
5	-0.0789	0.0757	0.1155	0.0713	0.0856	0.0698
6	-0.0789	0.0758	0.1001	0.0368	0.0707	0.0308
7	-0.0790	0.0759	0.0990	0.0693	0.0720	0.0689
8	-0.0790	0.0759	0.0400	-0.0306	-0.0136	-0.0359
9	-0.0791	0.0760	0.0826	0.0549	0.0611	0.0495
10	-0.0792	0.0760	0.0833	0.0340	0.0456	0.0298
11	-0.0792	0.0761	0.0877	0.0228	0.0420	0.0261
12	-0.0793	0.0761	0.1245	0.0868	0.1007	0.0818

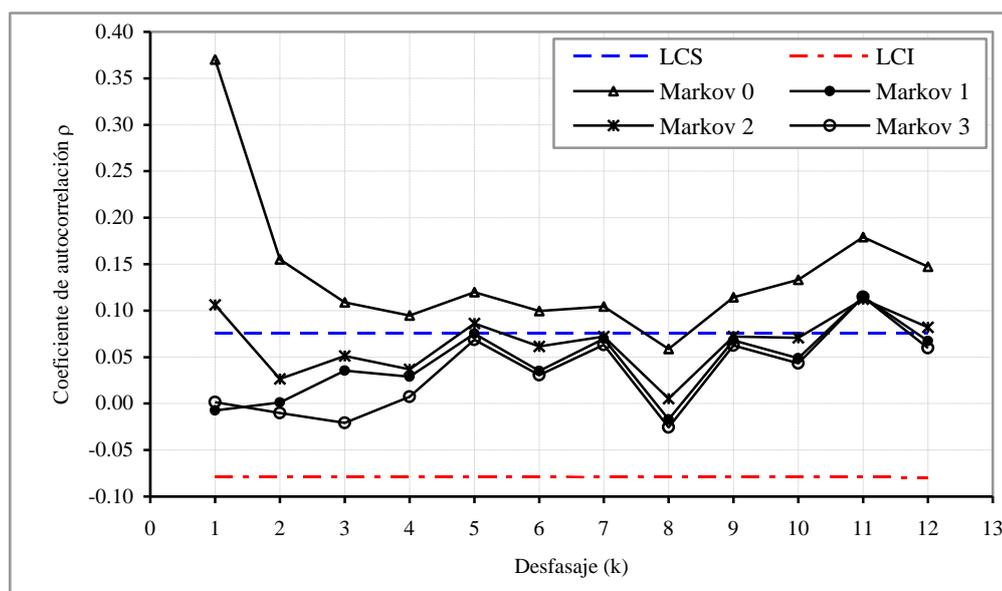
Gráfico N° 7.24 Correlogramas del modelo Markoviano – Río Guanaco



Cuadro N° 7.25 Coeficientes de autocorrelación y límites de confianza de la componente estocástica de caudales medios mensuales
Río Yapotira – Embalse Yapotira

Desfasaje k	Límites de confianza		Coeficientes de autocorrelación ρ			
	LCI	LCS	Markov 0	Markov 1	Markov 2	Markov 3
1	-0.0786	0.0755	0.3701	-0.0075	0.1060	0.0016
2	-0.0787	0.0756	0.1552	0.0012	0.0264	-0.0102
3	-0.0787	0.0756	0.1088	0.0354	0.0511	-0.0209
4	-0.0788	0.0757	0.0947	0.0288	0.0369	0.0075
5	-0.0789	0.0757	0.1199	0.0753	0.0862	0.0686
6	-0.0789	0.0758	0.0996	0.0351	0.0616	0.0305
7	-0.0790	0.0759	0.1044	0.0698	0.0721	0.0633
8	-0.0790	0.0759	0.0589	-0.0169	0.0053	-0.0255
9	-0.0791	0.0760	0.1143	0.0679	0.0722	0.0626
10	-0.0792	0.0760	0.1332	0.0488	0.0709	0.0434
11	-0.0792	0.0761	0.1793	0.1151	0.1124	0.1148
12	-0.0793	0.0761	0.1474	0.0673	0.0820	0.0598

Gráfico N° 7.25 Correlogramas del modelo Markoviano – Río Yapotira



De la prueba del correlograma se desprende que la componente estocástica $Z_{p,\tau}$ es dependiente y que el modelo más adecuado para representar la componente estocástica dependiente de los ríos Guanaco e Yapotira es el modelo MARKOVIANO DE PRIMER ORDEN. Observando el correlograma, el 95% de los valores del coeficiente de autocorrelación caen dentro de los límites de confianza, basándose en los criterios de la prueba del correlograma.

Cuadro N° 7.26 Valores del coeficiente de autocorrelación y autorregresión

Modelo	Subcuenca			
	Río Guanaco		Río Yapotira	
	Coeficiente de autocorrelación ρ_k	Coeficiente de autorregresión α_k	Coeficiente de autocorrelación ρ_k	Coeficiente de autorregresión α_k
Markov 0	$\rho_1 = 0.3942$ $\rho_2 = 0.1614$ $\rho_3 = 0.1124$		$\rho_1 = 0.3701$ $\rho_2 = 0.1552$ $\rho_3 = 0.1088$	
Markov 1		$\alpha_1 = 0.3942$		$\alpha_1 = 0.3701$
Markov 2		$\alpha_1 = 0.3914$ $\alpha_2 = 0.0071$		$\alpha_1 = 0.3623$ $\alpha_2 = 0.0211$
Markov 3		$\alpha_1 = 0.3910$ $\alpha_2 = -0.0144$ $\alpha_3 = 0.0550$		$\alpha_1 = 0.3612$ $\alpha_2 = 0.0023$ $\alpha_3 = 0.0519$

B.- Ajuste a una función de distribución de probabilidades teóricas de la componente estocástica independiente

Después de haber seleccionado el modelo de dependencia, se debe buscar el tipo de distribución de probabilidad que sigue la componente estocástica independiente $E_{p,\tau}$, con el cual se define el modelo matemático de la serie hidrológica estudiada.

En el presente se ajusta a la distribuciones de probabilidad normal y lognormal de 3 parámetros.

1° Distribución empírica o experimental

Se ha realizado cálculo de la distribución de probabilidad empírica de datos agrupados en intervalos de clase aplicados a la componente estocástica independiente de los ríos Guanaco e Yapotira.

Para el análisis de la distribución de probabilidad empírica de la componente estocástica independiente $E_{p,\tau}$, del Modelo Markoviano de Primer Orden, se obtuvo 10 intervalos de clase para agrupar los datos en estudio, con la siguiente fórmula:

$$NC = 1 + 1.33 \text{Ln}(n)$$

Donde: n = número de datos de la componente estocástica independiente $E_{p,\tau}$, en este caso son 647 valores.

El análisis de la distribución de probabilidad empírica de la componente estocástica independiente del Modelo Markoviano de Primer Orden de los ríos Guanaco e Yapotira, se muestran en los Cuadros N° 7.27 y 7.28.

Cuadro N° 7.27 Distribución de probabilidad empírica o experimental de la componente estocástica independiente – Río Guanaco

Intervalos NC	Límites de Clase		Marcas de Clase	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa	Frecuencia Relativa Acumulada	Función Densidad	Distribución Acumulada
	LCI 1	LCS 2						
1	-3.3156	-2.4218	-2.8687	2	0.00309	0.0031	0.00346	0.0031
2	-2.4218	-1.5279	-1.9749	8	0.01236	0.0155	0.01383	0.0155
3	-1.5279	-0.6341	-1.0810	127	0.19629	0.2117	0.21960	0.2117
4	-0.6341	0.2598	-0.1871	339	0.52396	0.7357	0.58617	0.7357
5	0.2598	1.1537	0.7067	102	0.15765	0.8934	0.17637	0.8934
6	1.1537	2.0476	1.6006	36	0.05564	0.9490	0.06225	0.9490
7	2.0476	2.9414	2.4945	20	0.03091	0.9799	0.03458	0.9799
8	2.9414	3.8353	3.3884	10	0.01546	0.9954	0.01729	0.9954
9	3.8353	4.7292	4.2822	0	0.00000	0.9954	0.00000	0.9954
10	4.7292	5.6230	5.1761	3	0.00464	1.0000	0.00519	1.0000
10				647				

Valor mínimo de la serie $E_p, \tau =$
 Valor máximo de la serie $E_p, \tau =$

-2.8687
 5.1761

Rango de la muestra: $R =$ 8.0448
 Amplitud de cada intervalo: $\Delta X =$ 0.89387

Cuadro N° 7.28 Distribución de probabilidad empírica o experimental de la componente estocástica independiente – Río Yapotira

Intervalos NC	Límites de Clase		Marcas de Clase	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa	Frecuencia Relativa Acumulada	Función Densidad	Distribución Acumulada
	LCI 1	LCS 2						
1	-2.3898	-1.5522	-1.9710	12	0.01855	0.0185	0.0221	0.0185
2	-1.5522	-0.7146	-1.1334	132	0.20402	0.2226	0.2436	0.2226
3	-0.7146	0.1230	-0.2958	276	0.42658	0.6491	0.5093	0.6491
4	0.1230	0.9606	0.5418	136	0.21020	0.8594	0.2510	0.8594
5	0.9606	1.7982	1.3794	55	0.08501	0.9444	0.1015	0.9444
6	1.7982	2.6358	2.2170	22	0.03400	0.9784	0.0406	0.9784
7	2.6358	3.4734	3.0546	8	0.01236	0.9907	0.0148	0.9907
8	3.4734	4.3110	3.8922	5	0.00773	0.9985	0.0092	0.9985
9	4.3110	5.1486	4.7298	0	0.00000	0.9985	0.0000	0.9985
10	5.1486	5.9862	5.5674	1	0.00155	1.0000	0.0018	1.0000
10				647				

Valor mínimo de la serie $E_p, \tau =$
 Valor máximo de la serie $E_p, \tau =$

-1.9710
 5.5674

Rango de la muestra: $R =$ 7.5384
 Amplitud de cada intervalo: $\Delta X =$ 0.8376

2° Distribución Normal y LogNormal de 3 parámetros

Estimación de los parámetros de las funciones de distribución de probabilidades de la componente estocástica independiente de los ríos Guanaco e Yapotira, se ha utilizado el método de momentos para la distribución normal y el método de máxima verosimilitud para la distribución de probabilidad lognormal de 3 parámetros.

A continuación se tiene los parámetros de cada función de distribución de probabilidades:

Río Guanaco

Distribución Normal: AN = 0.0008
 BN = 0.9917

Distribución LogNormal de 3 parámetros:	AL	=	3.2192
	BL	=	0.0385
	C	=	-25.0250

Río Yapotira

Distribución Normal:	AN	=	0.0008
	BN	=	0.9918
Distribución LogNormal de 3 parámetros:	AL	=	3.5046
	BL	=	0.0292
	C	=	-33.2812

En los Cuadros N° 7.29 y 7.30 se muestran las funciones de densidad y acumulada de las distribuciones de probabilidad de la componente estocástica independiente del Modelo Markoviano de Primer Orden de los ríos Guanaco e Yapotira.

Cuadro N° 7.29 Función de densidad y acumulada de la distribución de probabilidades de la componente estocástica independiente $E_{p,\tau}$ – Río Guanaco

NC	NORMAL			NC	LOG-NORMAL DE 3 PARAMETROS		
	Marcas de Clase	Función de Densidad	Distribución Acumulada		Marcas de Clase	Función de Densidad	Distribución Acumulada
1	-2.8687	0.0061	0.0027	1	-2.8687	0.0033	0.0015
2	-1.9749	0.0553	0.0302	2	-1.9749	0.0478	0.0243
3	-1.0810	0.2219	0.1541	3	-1.0810	0.2287	0.1479
4	-0.1871	0.3951	0.4298	4	-0.1871	0.4107	0.4336
5	0.7067	0.3122	0.7460	5	0.7067	0.3060	0.7540
6	1.6006	0.1095	0.9345	6	1.6006	0.1034	0.9370
7	2.4945	0.0170	0.9910	7	2.4945	0.0172	0.9909
8	3.3884	0.0012	0.9992	8	3.3884	0.0015	0.9992
9	4.2822	0.0000	0.9997	9	4.2822	0.0001	0.9999
10	5.1761	0.0000	0.9997	10	5.1761	0.0000	0.9999

Cuadro N° 7.30 Función de densidad y acumulada de la distribución de probabilidades de la componente estocástica independiente $E_{p,\tau}$ – Río Yapotira

NC	NORMAL			NC	LOG-NORMAL DE 3 PARAMETROS		
	Marcas de Clase	Función de Densidad	Distribución Acumulada		Marcas de Clase	Función de Densidad	Distribución Acumulada
1	-1.9710	0.0557	0.0233	1	-1.9710	0.0504	0.0211
2	-1.1334	0.2092	0.1343	2	-1.1334	0.2136	0.1317
3	-0.2958	0.3847	0.3830	3	-0.2958	0.3969	0.3873
4	0.5418	0.3466	0.6893	4	0.5418	0.3441	0.6976
5	1.3794	0.1531	0.8985	5	1.3794	0.1471	0.9033
6	2.2170	0.0331	0.9765	6	2.2170	0.0326	0.9786
7	3.0546	0.0035	0.9919	7	3.0546	0.0039	0.9939
8	3.8922	0.0002	0.9934	8	3.8922	0.0003	0.9956
9	4.7298	0.0000	0.9935	9	4.7298	0.0000	0.9957
10	5.5674	0.0000	0.9935	10	5.5674	0.0000	0.9957

3° Pruebas de ajuste

Ajuste gráfico

El ajuste gráfico se ha realizado comparando gráficamente la función de densidad y acumulada de la frecuencia empírica con la función de densidad y acumulada de la frecuencia teórica. Tal como se muestra en las Figuras N° 7.26 al 7.29.

Figura N° 7.26 Función de densidad de la componente estocástica independiente $E_{p,\tau}$ – Río Guanaco

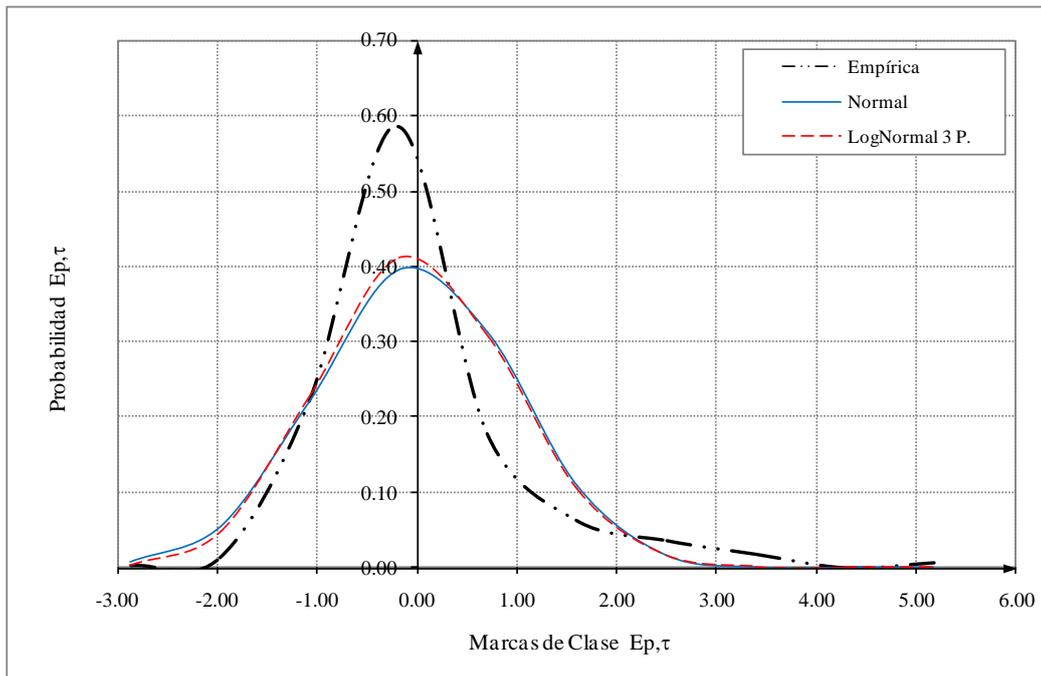


Figura N° 7.27 Función de distribución acumulada de probabilidades de la componente estocástica independiente $E_{p,\tau}$ – Río Guanaco

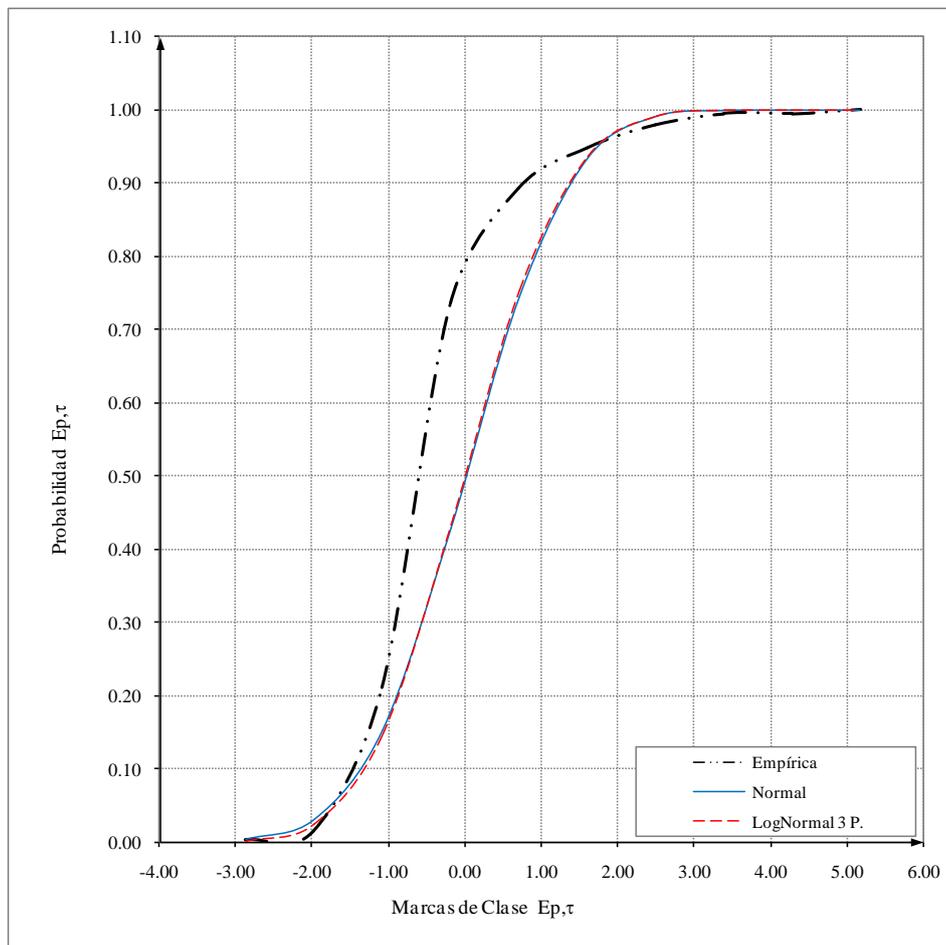


Figura N° 7.28 Función de densidad de la componente estocástica independiente $E_{p,\tau}$ – Río Yapotira

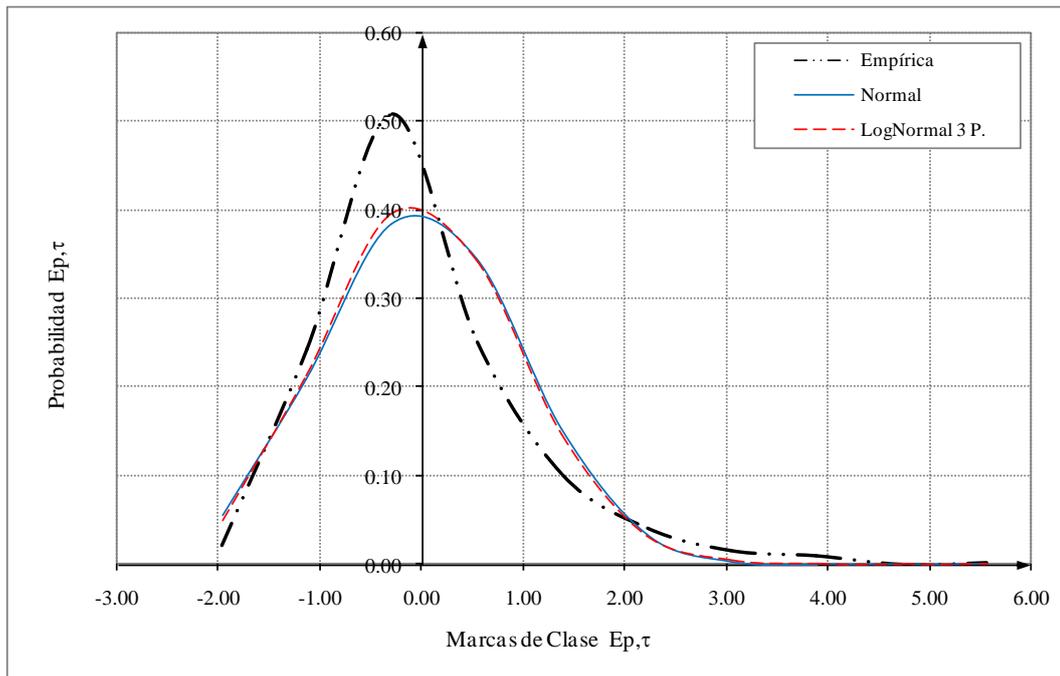
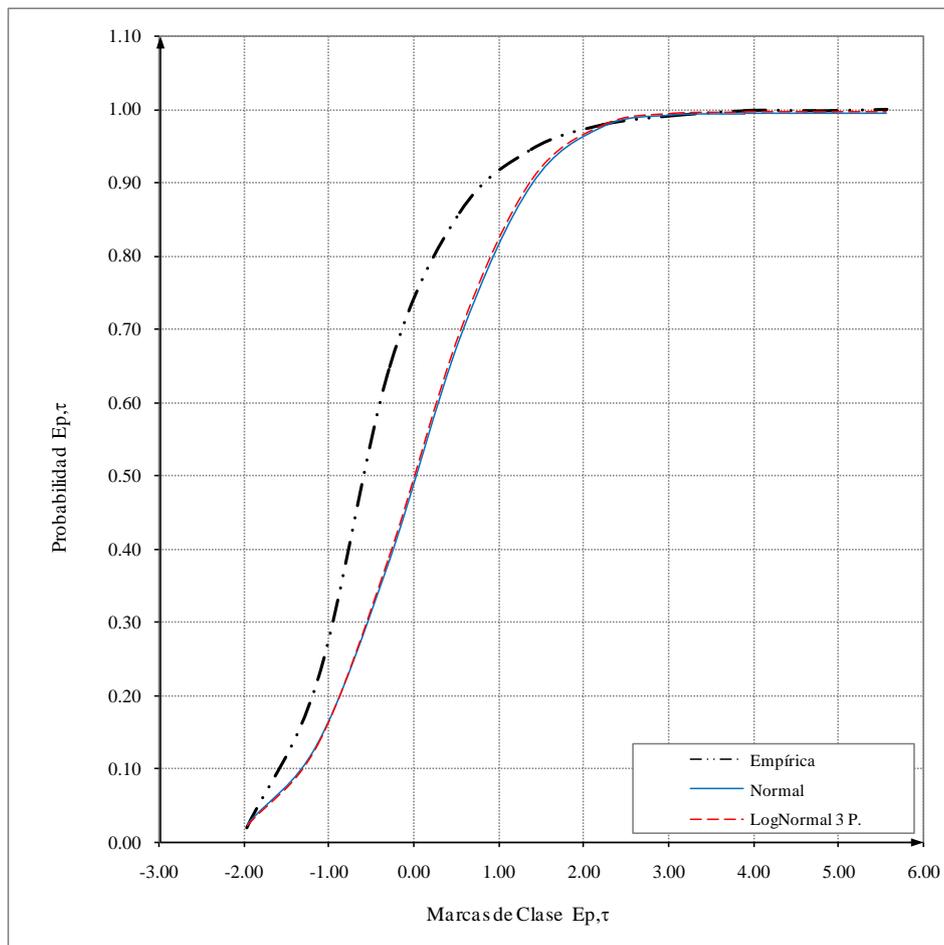


Figura N° 7.29 Función de distribución acumulada de probabilidades de la componente estocástica independiente $E_{p,\tau}$ – Río Yapotira



Prueba Chi-cuadrado

La prueba de Chi-cuadrado es la más comunmente usada para verificar la bondad de ajuste de la distribución empírica a una distribución teórica conocida.

En el presente estudio la fórmula utilizada es la acuación computacional de Markovic (1965) citado por Aliaga (1985).

$$\chi^2 = \frac{NC}{n} \sum_{i=1}^n N_i^2 - n \quad (1)$$

Donde:

NC	=	Número de intervalos de clase.
N_i	=	Número de observaciones que caen dentro de los límites de clase ajustadas del intervalo i.
n	=	Número total de observaciones de la muestra.
i	=	1,2,....., NC.

Cálculo de Chi-cuadrado χ_t^2 de las tablas con:

α	=	0.05
G.L.	=	NC - 1 - h

Donde:

α	=	nivel de significancia.
G.L.	=	grados de libertad.
h	=	número de parámetros a estimarse. h = 2 para la distribución normal. h = 3 para la distribución log-normal de 3 parámetros.

Criterio de decisión se fundamenta en la comparación del valor calculado de Chi-cuadrado con el valor tabular encontrado desde la tabla, esto es:

- Si Chi-cuadrado calculado es menor o igual que el valor tabular, entonces el ajuste es bueno al nivel de significación seleccionado.

$$\chi_c^2 \leq \chi_t^2$$

- Si Chi-cuadrado calculado es mayor que el valor tabular, entonces el ajuste es malo, siendo necesario probar con otra función de distribución teórica.

$$\chi_c^2 > \chi_t^2$$

Los resultados de ajuste de chi-cuadrado de la componente estocástica independiente a la distribución normal y lognormal de 3 parámetros de los ríos Guanaco e Yputira, se muestran en los Cuadros N° 7.31 al 7.34.

Cuadro N° 7.31 Prueba de ajuste de Chi-cuadrado χ^2 – Distribución normal de la componente estocástica independiente – Río Guanaco

Intervalo No	P_i	Pacum.	Z	Límites de Clase		N_i	N_i^2
				LC_1	LC_S		
1	0.20000	0.20000	-0.84162	<	-0.8338	3	9
2	0.20000	0.40000	-0.25335	-0.8338	-0.2504	0	0
3	0.20000	0.60000	0.25335	-0.2504	0.2520	1	1
4	0.20000	0.80000	0.84162	0.2520	0.8354	1	1
5	0.20000	1.00000	5.61200	0.8354	5.5662	5	25
5	Sumatoria:					10	36
Chi-cuadrado calculado				Chi-cuadrado tabular		Comparación	
$\chi^2_c = 8.0000$				$\chi^2_t = 5.9915$		$\chi^2_c > \chi^2_t$ No se ajusta	

Cuadro N° 7.32 Prueba de ajuste de Chi-cuadrado χ^2 – Distribución normal de la componente estocástica independiente – Río Yaputira

Intervalo No	P_i	Pacum.	Z	Límites de Clase		N_i	N_i^2
				LC_1	LC_S		
1	0.2000	0.2000	-0.8416	<	-0.8339	2	4
2	0.2000	0.4000	-0.2533	-0.8339	-0.2505	1	1
3	0.2000	0.6000	0.2533	-0.2505	0.2521	0	0
4	0.2000	0.8000	0.8416	0.2521	0.8355	1	1
5	0.2000	1.0000	5.9978	0.8355	5.9494	6	36
5	Sumatoria:					10	42
Chi-cuadrado calculado				Chi-cuadrado tabular		Comparación	
$\chi^2_c = 11.0000$				$\chi^2_t = 5.9915$		$\chi^2_c > \chi^2_t$ No se ajusta	

Cuadro N° 7.33 Prueba de ajuste de Chi-cuadrado χ^2 – Distribución lognormal 3 p. de la componente estocástica independiente – Río Guanaco

Intervalo No	P_i	Pacum.	Z	Límites de Clase		N_i	N_i^2
				LC_1	LC_S		
1	0.2000	0.2000	-0.8416	<	-0.8142	3	9
2	0.2000	0.4000	-0.2533	-0.8142	-0.2596	0	0
3	0.2000	0.6000	0.2533	-0.2596	0.2282	1	1
4	0.2000	0.8000	0.8416	0.2282	0.8067	1	1
5	0.2000	1.0000	5.1993	0.8067	5.5253	5	25
5	Sumatoria:					10	36
Chi-cuadrado calculado				Chi-cuadrado tabular		Comparación	
$\chi^2_c = 8.000$				$\chi^2_t = 3.8415$		$\chi^2_c > \chi^2_t$ No se ajusta	

Cuadro N° 7.34 Prueba de ajuste de Chi-cuadrado χ^2 – Distribución lognormal 3 p. de la componente estocástica independiente – Río Yaputira

Intervalo No	P_i	Pacum.	Z	Límites de Clase		N_i	N_i^2
				LC_1	LC_S		
1	0.2000	0.2000	-0.8416	<	-0.8207	2	4
2	0.2000	0.4000	-0.2533	-0.8207	-0.2583	1	1
3	0.2000	0.6000	0.2533	-0.2583	0.2340	0	0
4	0.2000	0.8000	0.8416	0.2340	0.8146	1	1
5	0.2000	1.0000	5.6120	0.8146	5.9107	6	36
5	Sumatoria:					10	42
Chi-cuadrado calculado				Chi-cuadrado tabular		Comparación	
$\chi^2_c = 11.000$				$\chi^2_t = 3.8415$		$\chi^2_c > \chi^2_t$ No se ajusta	

Prueba Smirnov-Kolmogorov

La prueba de ajuste de Smirnov-Kolmogorov consiste en comparar las diferencias existentes entre la probabilidad de los datos agrupados y la probabilidad ajustada, tomando la distancia más grande entre el valor observado y la recta del modelo, es decir:

$$\Delta = \text{máx}|F(E) - P(E)| \quad (1)$$

Donde:

- Δ = Estadístico de Smirnov-Kolmogorov, cuyo valor es igual a la diferencia máxima existente entre la probabilidad ajustada y la probabilidad empírica.
- $F(E)$ = Probabilidad de la distribución de ajuste o teórica.
- $P(E)$ = Probabilidad experimental o empírica de los datos agrupados, denominado también frecuencia acumulada.

El procedimiento para efectuar el ajuste, mediante el estadístico de Smirnov-Kolmogorov, es la siguiente:

- 1° Calcular la probabilidad empírica o experimental $P(E)$ de los datos observados, en el presente utilizar los valores obtenidos en los Cuadros N° 7.27 y 7.28.
- 2° Calcular la probabilidad ajustada o teórica $F(E)$.
- 3° Calcular las diferencias $|F(E) - P(E)|$ para todos los valores de E .
- 4° Seleccionar la máxima diferencia del estadístico de Smirnov-Kolmogorov, Δ de la serie analizada.
- 5° Calcular el valor crítico del estadístico Δ , es decir Δ_0 para un $\alpha = 0.05$ y n igual al número de datos.
- 6° Comparar el valor del estadístico Δ con el valor crítico Δ_0 de la tabla con los siguientes criterios de decisión:

Si $\Delta \leq \Delta_0 \rightarrow$ el ajuste es bueno.

Si $\Delta > \Delta_0 \rightarrow$ el ajuste no es bueno al nivel de significancia seleccionada.

Los resultados del ajuste estadístico de Smirnov-Kolmogorov de la componente estocástica independiente de los ríos Guanaco e Yabutira, se muestran en los Cuadros N° 7.35 y 7.36.

Cuadro N° 7.35 Prueba de ajuste de Smirnov-Kolmogorov de la componente estocástica independiente E_p, τ – Río Guanaco

m	Marcas de Clase E_p, τ	P(E_p, τ)	Normal		Log-Normal de 3 Parámetros	
			F(E)	F(E)-P(E)	F(E)	F(E)-P(E)
1	-2.8687	0.0031	0.0027	0.0004	0.0015	0.0016
2	-1.9749	0.0155	0.0302	0.0147	0.0243	0.0089
3	-1.0810	0.2117	0.1541	0.0577	0.1479	0.0639
4	-0.1871	0.7357	0.4298	0.3059	0.4336	0.3021
5	0.7067	0.8934	0.7460	0.1474	0.7540	0.1394
6	1.6006	0.9490	0.9345	0.0145	0.9370	0.0120
7	2.4945	0.9799	0.9910	0.0111	0.9909	0.0110
8	3.3884	0.9954	0.9992	0.0038	0.9992	0.0038
9	4.2822	0.9954	0.9997	0.0043	0.9999	0.0045
10	5.1761	1.0000	0.9997	0.0003	0.9999	0.0001
La diferencia máxima : $\Delta = \max F(X) - P(X) $				0.3059		0.3021

Cuadro N° 7.36 Prueba de ajuste de Smirnov-Kolmogorov de la componente estocástica independiente E_p, τ – Río Yaputira

m	Marcas de Clase E_p, τ	P(E_p, τ)	Normal		Log-Normal de 3 Parámetros	
			F(E)	F(E)-P(E)	F(E)	F(E)-P(E)
1	-1.9710	0.0185	0.0233	0.0048	0.0211	0.0026
2	-1.1334	0.2226	0.1343	0.0883	0.1317	0.0909
3	-0.2958	0.6491	0.3830	0.2662	0.3873	0.2618
4	0.5418	0.8594	0.6893	0.1701	0.6976	0.1617
5	1.3794	0.9444	0.8985	0.0458	0.9033	0.0410
6	2.2170	0.9784	0.9765	0.0018	0.9786	0.0002
7	3.0546	0.9907	0.9919	0.0011	0.9939	0.0031
8	3.8922	0.9985	0.9934	0.0050	0.9956	0.0028
9	4.7298	0.9985	0.9935	0.0050	0.9957	0.0027
10	5.5674	1.0000	0.9935	0.0065	0.9957	0.0043
La diferencia máxima : $\Delta = \max F(X) - P(X) $				0.2662		0.2618

Realizado las pruebas de ajuste de la componente estocástica independiente, a las distribuciones teóricas como la normal y la lognormal de 3 parámetros, los resultados se reune en el Cuadro N° 3.37.

Cuadro N° 7.37 Reumen del ajuste de la componente estocastica independiente a la función de distribución de probabilidades teóricas mediante las pruebas estadísticas Chi-cuadrado y Smirnov-Kolmogorov

Río	Distribución	Chi-cuadrado			Smirnov-Kolmogorov		
		χ^2_c calculado	$\chi^2_{\alpha=0.05}$ tabla	Ajuste	Δ calculado	$\Delta_{\alpha=0.05}$ tabla	Ajuste
Guanaco (Vaso Callatomaza)	Normal	8.0000	5.9915	No se ajusta	0.3059	0.4090	Se ajusta
	Log-Normal 3 P.	8.0000	3.8415	No se ajusta	0.3021	0.4090	Se ajusta
Yaputira (Vaso Yaputira)	Normal	11.0000	5.9915	No se ajusta	0.2662	0.4090	Se ajusta
	Log-Normal 3 P.	11.0000	3.8415	No se ajusta	0.2618	0.4090	Se ajusta

Según el Cuadro N° 7.37, ninguna de las distribuciones de probabilidad se ajustan con la prueba de Chi-cuadrado, en cambio con la prueba estadística de Smirnov-Kolmogorov se ajustan mejor a la serie de la componente estocástica independiente de los ríos Guanaco e Yapotira.

Determinada la función de distribución de mejor ajuste de la componente estocástica independiente, entonces el modelo queda definido y ya se puede utilizar en la generación de n series hidrológicas.

7.7.2 Generación de series sintéticas de caudales medios mensuales

La generación de series sintéticas con el modelo estocástico Markoviano, se realiza en dos partes: primero, la generación de n series sintéticas de un tamaño igual a la longitud de la serie histórica para el análisis de la bondad del modelo utilizado y el segundo es la generación de n series de una longitud igual a la vida económica del proyecto.

A- Análisis de la bondad del modelo Markoviano de primer orden

Para el análisis de la bondad del modelo Markoviano, se ha generado 10 series sintéticas de caudales medios mensuales de 54 años de información, utilizando el ajuste Normal y LogNormal de 3 parámetros para los ríos Guanaco e Yapotira. Las series sintéticas generadas se muestran en el Anexo 1.

En el análisis de la bondad del modelo, se comparan las medias y desviaciones estándar multimensuales de los caudales generados e históricos de los ríos Guanaco e Yapotira, los cuales estadísticamente deben ser iguales a una probabilidad de confianza, en este caso al 95% de probabilidad.

Para la comparación estadística de las medias de las series históricas y generadas, se utiliza la prueba estadística "T" y para las desviaciones estándar la prueba estadística "F".

De los resultados mostrados en los Cuadros N° 7.43 y 7.45, se deduce que las medias y desviaciones estándar de la serie generada son iguales estadísticamente a las medias y desviaciones estándar de la serie histórica al 95% de probabilidad, ya que los valores de "T" y "F" calculados resultan menores que los tabulados, respectivamente, concluyéndose que el modelo reproduce la media y desviación estándar de la serie histórica, y el modelo es bueno.

Cuadro N° 7.38 Resumen de las medias y desviaciones estándar de las 10 series generadas con distribución Normal de 54 años en m³/s – Río Guanaco

Serie	Parámetro	Mes											
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	Promedio	2.979	4.790	3.842	2.777	0.834	0.338	0.226	0.194	0.226	0.338	0.638	1.353
	Desv. Estándar	1.665	1.924	1.709	1.621	0.437	0.131	0.059	0.053	0.098	0.163	0.245	0.725
2	Promedio	2.836	4.199	3.527	2.651	0.882	0.345	0.222	0.188	0.235	0.381	0.594	1.306
	Desv. Estándar	1.793	2.287	2.026	1.350	0.409	0.143	0.067	0.053	0.090	0.157	0.272	0.738
3	Promedio	2.672	4.306	3.691	2.941	0.776	0.349	0.219	0.191	0.233	0.351	0.535	1.111
	Desv. Estándar	1.626	2.304	2.021	1.691	0.439	0.143	0.067	0.061	0.091	0.145	0.298	0.670
4	Promedio	2.774	4.734	3.731	2.402	0.847	0.323	0.231	0.194	0.214	0.368	0.624	1.220
	Desv. Estándar	1.747	2.415	2.013	1.602	0.459	0.149	0.064	0.061	0.111	0.148	0.291	0.659
5	Promedio	2.731	4.495	3.377	2.460	0.766	0.321	0.223	0.206	0.229	0.336	0.563	1.039
	Desv. Estándar	1.593	2.085	1.972	1.259	0.363	0.126	0.062	0.054	0.090	0.175	0.273	0.533
6	Promedio	3.027	5.029	4.250	2.997	0.910	0.367	0.235	0.199	0.223	0.335	0.561	1.195
	Desv. Estándar	1.691	2.347	2.439	1.927	0.390	0.111	0.051	0.060	0.109	0.167	0.215	0.667
7	Promedio	2.347	4.353	2.951	2.285	0.672	0.301	0.201	0.196	0.229	0.327	0.571	0.928
	Desv. Estándar	1.520	2.145	2.132	1.467	0.348	0.121	0.051	0.052	0.101	0.130	0.309	0.697
8	Promedio	2.608	4.420	3.424	2.611	0.796	0.369	0.229	0.193	0.221	0.356	0.568	1.154
	Desv. Estándar	1.365	2.469	1.899	1.369	0.437	0.124	0.053	0.046	0.088	0.150	0.273	0.520
9	Promedio	3.139	4.962	3.708	2.557	0.820	0.358	0.219	0.198	0.237	0.324	0.524	1.131
	Desv. Estándar	1.721	2.213	2.142	1.411	0.420	0.112	0.054	0.049	0.082	0.145	0.261	0.618
10	Promedio	2.941	4.661	3.628	2.713	0.837	0.357	0.232	0.197	0.219	0.357	0.584	1.034
	Desv. Estándar	1.728	2.250	1.852	1.312	0.435	0.155	0.058	0.051	0.073	0.148	0.332	0.587
Promedio de Promedio		2.805	4.595	3.613	2.639	0.814	0.343	0.224	0.196	0.227	0.347	0.576	1.147
Promedio de Desvest.		1.645	2.244	2.020	1.501	0.414	0.132	0.059	0.054	0.093	0.153	0.277	0.642

Cuadro N° 7.39 Resumen de las medias y desviaciones estándar de las 10 series generadas con distribución LogNormal 3 P. de 54 años en m³/s – Río Guanaco

Serie	Parámetro	Mes											
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	Promedio	2.728	4.664	3.721	2.674	0.784	0.317	0.213	0.195	0.233	0.379	0.509	1.124
	Desv. Estándar	1.652	2.490	2.361	1.236	0.390	0.127	0.055	0.048	0.074	0.185	0.270	0.673
2	Promedio	2.897	4.486	3.386	2.382	0.713	0.363	0.220	0.202	0.243	0.345	0.583	1.117
	Desv. Estándar	1.708	2.340	2.155	1.245	0.412	0.135	0.062	0.056	0.076	0.141	0.280	0.515
3	Promedio	3.062	4.636	4.352	2.804	0.909	0.364	0.229	0.199	0.235	0.327	0.548	1.226
	Desv. Estándar	1.724	2.437	2.558	1.457	0.448	0.121	0.058	0.043	0.076	0.131	0.261	0.756
4	Promedio	3.005	4.567	3.568	2.585	0.859	0.351	0.229	0.202	0.230	0.349	0.655	1.297
	Desv. Estándar	1.872	2.059	1.817	1.467	0.354	0.123	0.056	0.047	0.091	0.153	0.256	0.634
5	Promedio	3.039	4.896	3.622	2.618	0.819	0.318	0.218	0.186	0.207	0.343	0.563	1.198
	Desv. Estándar	1.951	2.254	1.768	1.396	0.445	0.127	0.061	0.051	0.080	0.147	0.254	0.691
6	Promedio	3.127	4.407	3.572	2.176	0.818	0.346	0.234	0.197	0.238	0.355	0.536	1.176
	Desv. Estándar	1.823	2.202	1.762	1.420	0.378	0.116	0.055	0.051	0.078	0.165	0.245	0.591
7	Promedio	3.067	5.134	3.580	2.575	0.814	0.324	0.225	0.211	0.255	0.342	0.557	1.184
	Desv. Estándar	1.506	2.194	2.103	1.419	0.374	0.136	0.059	0.049	0.083	0.128	0.258	0.727
8	Promedio	2.800	4.465	3.555	2.729	0.798	0.344	0.218	0.197	0.231	0.355	0.566	1.054
	Desv. Estándar	1.590	2.057	1.902	1.283	0.410	0.136	0.059	0.054	0.068	0.153	0.270	0.600
9	Promedio	2.827	4.591	3.319	2.853	0.843	0.332	0.220	0.185	0.206	0.299	0.557	1.132
	Desv. Estándar	1.711	2.537	1.930	1.642	0.425	0.129	0.055	0.046	0.085	0.119	0.310	0.679
10	Promedio	2.875	4.526	3.701	2.327	0.786	0.354	0.212	0.202	0.224	0.330	0.565	0.925
	Desv. Estándar	1.703	1.973	1.860	1.251	0.395	0.115	0.055	0.062	0.078	0.148	0.253	0.609
Promedio de Promedio		2.943	4.637	3.638	2.572	0.814	0.341	0.222	0.198	0.230	0.342	0.564	1.143
Promedio de Desvest.		1.724	2.254	2.022	1.382	0.403	0.126	0.058	0.051	0.079	0.147	0.266	0.648

Cuadro N° 7.40 Resumen de las medias y desviaciones estándar de las 10 series generadas con distribución Normal de 54 años en m³/s – Río Yapotira

Serie	Parámetro	Mes											
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	Promedio	2.928	5.429	4.538	3.072	0.943	0.336	0.190	0.191	0.254	0.449	0.773	1.029
	Desv. Estándar	1.720	2.283	2.730	1.619	0.466	0.144	0.055	0.077	0.103	0.270	0.338	0.508
2	Promedio	2.671	4.827	4.408	3.377	0.907	0.334	0.179	0.172	0.237	0.428	0.734	1.024
	Desv. Estándar	1.289	2.305	2.260	2.100	0.421	0.140	0.039	0.071	0.124	0.272	0.351	0.647
3	Promedio	2.442	5.531	4.038	3.008	0.873	0.325	0.190	0.174	0.235	0.454	0.668	1.045
	Desv. Estándar	1.340	2.650	2.637	1.957	0.380	0.139	0.043	0.064	0.142	0.248	0.387	0.543
4	Promedio	2.638	4.640	4.049	3.048	0.944	0.372	0.180	0.180	0.249	0.477	0.678	0.994
	Desv. Estándar	1.475	2.590	2.218	1.854	0.412	0.170	0.051	0.075	0.116	0.258	0.300	0.473
5	Promedio	2.836	5.048	4.160	3.161	0.885	0.323	0.184	0.168	0.252	0.490	0.729	1.002
	Desv. Estándar	1.543	2.118	2.307	2.009	0.468	0.142	0.060	0.062	0.126	0.300	0.360	0.517
6	Promedio	2.592	4.768	4.325	3.407	0.967	0.342	0.177	0.161	0.251	0.481	0.656	1.180
	Desv. Estándar	1.578	1.914	2.018	1.881	0.484	0.142	0.042	0.064	0.113	0.294	0.365	0.478
7	Promedio	2.654	5.137	4.253	3.424	0.871	0.299	0.181	0.167	0.242	0.413	0.696	1.031
	Desv. Estándar	1.723	3.015	2.450	1.934	0.421	0.129	0.051	0.056	0.125	0.237	0.283	0.553
8	Promedio	3.185	5.353	4.767	3.147	1.016	0.344	0.194	0.195	0.264	0.433	0.631	1.049
	Desv. Estándar	1.588	2.115	2.518	1.666	0.492	0.148	0.052	0.067	0.118	0.272	0.325	0.478
9	Promedio	2.782	4.596	4.105	3.008	0.897	0.346	0.191	0.182	0.256	0.470	0.646	1.046
	Desv. Estándar	1.279	1.976	2.575	1.988	0.406	0.133	0.053	0.069	0.110	0.241	0.338	0.492
10	Promedio	2.418	4.772	4.197	3.025	0.855	0.307	0.180	0.152	0.234	0.479	0.762	1.119
	Desv. Estándar	1.450	1.920	2.177	1.880	0.410	0.141	0.054	0.066	0.107	0.283	0.348	0.506
Promedio de Promedio		2.714	5.010	4.284	3.168	0.916	0.333	0.185	0.174	0.247	0.457	0.697	1.052
Promedio de Desvest.		1.499	2.289	2.389	1.889	0.436	0.143	0.050	0.067	0.118	0.267	0.340	0.520

Cuadro N° 7.41 Resumen de las medias y desviaciones estándar de las 10 series generadas con distribución LogNormal 3 P. de 54 años en m³/s – Río Yapotira

Serie	Parámetro	Mes											
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	Promedio	2.824	4.694	4.392	3.454	0.879	0.320	0.185	0.187	0.251	0.505	0.681	0.914
	Desv. Estándar	1.464	2.032	2.548	2.044	0.465	0.126	0.047	0.074	0.127	0.247	0.353	0.588
2	Promedio	2.608	5.012	3.945	3.047	0.847	0.315	0.185	0.177	0.228	0.406	0.684	1.072
	Desv. Estándar	1.490	2.354	2.537	1.690	0.403	0.124	0.057	0.067	0.101	0.208	0.308	0.613
3	Promedio	2.334	4.539	3.614	2.984	0.872	0.298	0.180	0.188	0.264	0.456	0.658	0.880
	Desv. Estándar	1.333	2.282	2.548	2.008	0.412	0.143	0.046	0.061	0.114	0.211	0.371	0.430
4	Promedio	2.313	4.117	3.365	2.864	0.816	0.315	0.185	0.165	0.227	0.512	0.664	0.952
	Desv. Estándar	1.313	1.793	2.237	1.877	0.424	0.124	0.053	0.067	0.124	0.233	0.293	0.568
5	Promedio	2.782	4.448	3.768	3.488	0.978	0.334	0.180	0.170	0.250	0.499	0.712	1.059
	Desv. Estándar	1.562	2.301	1.756	1.834	0.508	0.132	0.046	0.064	0.117	0.263	0.367	0.530
6	Promedio	2.953	4.603	4.144	3.542	0.839	0.323	0.188	0.184	0.249	0.466	0.751	1.028
	Desv. Estándar	1.786	2.290	2.088	2.169	0.417	0.116	0.056	0.066	0.125	0.274	0.412	0.482
7	Promedio	2.913	4.579	4.215	3.562	0.877	0.321	0.186	0.165	0.258	0.480	0.751	0.983
	Desv. Estándar	1.600	2.250	2.394	2.085	0.515	0.152	0.052	0.065	0.106	0.235	0.369	0.486
8	Promedio	2.215	4.469	4.110	3.189	0.846	0.295	0.185	0.189	0.249	0.469	0.702	1.077
	Desv. Estándar	1.094	2.406	2.079	1.856	0.475	0.139	0.055	0.063	0.104	0.230	0.361	0.542
9	Promedio	3.154	4.697	3.791	3.004	0.833	0.303	0.171	0.163	0.236	0.527	0.727	0.997
	Desv. Estándar	1.686	2.460	2.446	1.804	0.423	0.157	0.052	0.067	0.108	0.289	0.353	0.508
10	Promedio	2.415	5.216	4.810	3.584	0.850	0.316	0.171	0.159	0.255	0.454	0.718	1.014
	Desv. Estándar	1.604	2.509	2.754	1.904	0.443	0.161	0.055	0.067	0.108	0.247	0.324	0.535
Promedio de Promedio		2.651	4.637	4.015	3.272	0.864	0.314	0.182	0.175	0.247	0.477	0.705	0.998
Promedio de Desvest.		1.493	2.268	2.339	1.927	0.448	0.137	0.052	0.066	0.113	0.244	0.351	0.528

Cuadro N° 7.42 Promedio de las medias y desviaciones estándar de las series históricas y generadas en m³/s – Río Guanaco

Mes	Caudales medios mensuales en m ³ /s (Serie histórica)		Caudales medios mensuales en m ³ /s (10 series generadas)			
			Normal		LogNormal 3 parámetros	
	Media	Desv. Estándar	Media	Desv. Estándar	Media	Desv. Estándar
Enero	2.347	2.157	2.805	1.645	2.943	1.724
Febrero	4.309	2.531	4.595	2.244	4.637	2.254
Marzo	3.099	2.551	3.613	2.020	3.638	2.022
Abril	2.266	1.922	2.639	1.501	2.572	1.382
Mayo	0.790	0.485	0.814	0.414	0.814	0.403
Junio	0.345	0.134	0.343	0.132	0.341	0.126
Julio	0.224	0.060	0.224	0.059	0.222	0.058
Agosto	0.199	0.053	0.196	0.054	0.198	0.051
Septiembre	0.230	0.091	0.227	0.093	0.230	0.079
Octubre	0.344	0.158	0.347	0.153	0.342	0.147
Noviembre	0.531	0.308	0.576	0.277	0.564	0.266
Diciembre	0.959	0.861	1.147	0.642	1.143	0.648

Cuadro N° 7.43 Comparación estadística de las medias y desviaciones estándar de las series históricas y generadas – Río Guanaco

Mes	Distribución ajustada											
	Normal						LogNormal 3 parámetros					
	Media			Desv. Estándar			Media			Desv. Estándar		
	Tc	Tt	Dif. Sig.	Fc	Ft	Dif. Sig.	Tc	Tt	Dif. Sig.	Fc	Ft	Dif. Sig.
Enero	-0.7563	1.9990	NO	1.7194	2.7976	NO	-0.9781	1.9996	NO	1.5654	2.7976	NO
Febrero	-0.3938	1.9990	NO	1.2722	2.7976	NO	-0.4513	1.9996	NO	1.2609	2.7976	NO
Marzo	-0.7141	1.9990	NO	1.5948	2.7976	NO	-0.7488	1.9996	NO	1.5917	2.7976	NO
Abril	-0.6891	1.9990	NO	1.6396	2.7976	NO	-0.5711	1.9996	NO	1.9342	2.7976	NO
Mayo	-0.1735	1.9990	NO	1.3724	2.7976	NO	-0.1742	1.9996	NO	1.4483	2.7976	NO
Junio	0.0510	1.9990	NO	1.0305	2.7976	NO	0.1030	1.9996	NO	1.1310	2.7976	NO
Julio	0.0000	1.9990	NO	1.0342	2.7976	NO	0.1144	1.9996	NO	1.0702	2.7976	NO
Agosto	0.1923	1.9990	NO	1.0381	2.0620	NO	0.0648	1.9996	NO	1.0800	2.7976	NO
Septiembre	0.1119	1.9990	NO	1.0444	2.0620	NO	0.0000	1.9996	NO	1.3269	2.7976	NO
Octubre	-0.0651	1.9990	NO	1.0664	2.7976	NO	0.0438	1.9996	NO	1.1553	2.7976	NO
Noviembre	-0.5080	1.9990	NO	1.2364	2.7976	NO	-0.3750	1.9996	NO	1.3407	2.7976	NO
Diciembre	-0.7799	1.9990	NO	1.7986	2.7976	NO	-0.7624	1.9996	NO	1.7655	2.7976	NO

n1	=	54	n2	=	10
----	---	----	----	---	----

La diferencia no es significativo, por lo tanto las medias y desviaciones estandar son iguales estadísticamente y el Modelo es bueno.

Cuadro N° 7.44 Promedio de las medias y desviaciones estándar de las series históricas y generadas en m³/s – Río Yaputira

Mes	Caudales medios mensuales en m ³ /s (Serie histórica)		Caudales medios mensuales en m ³ /s (10 series generadas)			
			Normal		LogNormal 3 parámetros	
	Media	Desv. Estándar	Media	Desv. Estándar	Media	Desv. Estándar
Enero	2.253	1.976	2.714	1.499	2.651	1.493
Febrero	4.656	2.617	5.010	2.289	4.637	2.268
Marzo	3.414	3.221	4.284	2.389	4.015	2.339
Abril	2.729	2.438	3.168	1.889	3.272	1.927
Mayo	0.874	0.475	0.916	0.436	0.864	0.448
Junio	0.328	0.146	0.333	0.143	0.314	0.137
Julio	0.186	0.051	0.185	0.050	0.182	0.052
Agosto	0.177	0.071	0.174	0.067	0.175	0.066
Septiembre	0.245	0.122	0.247	0.118	0.247	0.113
Octubre	0.428	0.307	0.457	0.267	0.477	0.244
Noviembre	0.682	0.386	0.697	0.340	0.705	0.351
Diciembre	0.948	0.607	1.052	0.520	0.998	0.528

Cuadro N° 7.45 Comparación estadística de las medias y desviaciones estándar de las series históricas y generadas – Río Yaputira

Mes	Distribución ajustada											
	Normal						LogNormal 3 parámetros					
	Media			Desv. Estándar			Media			Desv. Estándar		
	Tc	Tt	Dif. Sig.	Fc	Ft	Dif. Sig.	Tc	Tt	Dif. Sig.	Fc	Ft	Dif. Sig.
Enero	-0.8315	1.9990	NO	1.7377	2.7976	NO	-0.7183	1.9996	NO	1.7517	2.7976	NO
Febrero	-0.4724	1.9990	NO	1.3071	2.7976	NO	0.0254	1.9996	NO	1.3314	2.7976	NO
Marzo	-0.9654	1.9990	NO	1.8178	2.7976	NO	-0.6686	1.9996	NO	1.8964	2.7976	NO
Abril	-0.6401	1.9990	NO	1.6657	2.7976	NO	-0.7896	1.9996	NO	1.6007	2.7976	NO
Mayo	-0.3063	1.9990	NO	1.1869	2.7976	NO	0.0726	1.9996	NO	1.1242	2.7976	NO
Junio	-0.1172	1.9990	NO	1.0424	2.7976	NO	0.3309	1.9996	NO	1.1357	2.7976	NO
Julio	0.0671	1.9990	NO	1.0404	2.7976	NO	0.2664	1.9996	NO	1.0396	2.0620	NO
Agosto	0.1457	1.9990	NO	1.1230	2.7976	NO	0.0974	1.9996	NO	1.1573	2.7976	NO
Septiembre	-0.0563	1.9990	NO	1.0689	2.7976	NO	-0.0567	1.9996	NO	1.1656	2.7976	NO
Octubre	-0.3302	1.9990	NO	1.3221	2.7976	NO	-0.5654	1.9996	NO	1.5831	2.7976	NO
Noviembre	-0.1356	1.9990	NO	1.2889	2.7976	NO	-0.2068	1.9996	NO	1.2094	2.7976	NO
Diciembre	-0.6004	1.9990	NO	1.3626	2.7976	NO	-0.2879	1.9996	NO	1.3216	2.7976	NO

n1	=	54	n2	=	10
----	---	----	----	---	----

La diferencia no es significativo, por lo tanto las medias y desviaciones estandar son iguales estadísticamente y el Modelo es bueno.

De acuerdo de los resultados obtenidos, la distribución LogNormal de 3 parámetros queda seleccionado como la distribución ajustada, para generar las variables aleatorias independientes en la generación de series sintéticas de caudales medios mensuales de los ríos Guanaco e Yaputira.

B.- Generación de series sintéticas

Para la determinación de la capacidad de embalse de los vasos propuestos en el presente estudio, para almacenamiento de agua en las subcuencas del río Guanaco e Yaputira, se han generado 50 series sintéticas de 50 años de información, con el Modelo Markoviano de Primer Orden para los ríos Guanaco e Yaputira. Los caudales generados en volúmenes se muestran en el Anexo 1.

CAPÍTULO VIII

DISPONIBILIDAD HÍDRICA

8.1 GENERALIDADES

La disponibilidad hídrica de una cuenca hidrográfica es la cantidad de volumen total de agua (oferta hídrica) que dispone la cuenca, provenientes de diferentes fuentes, tales como aguas superficiales, aguas subterráneas, aguas de recuperación, aguas de almacenamiento en represas, aguas de trasvase y otras fuentes hídricas.

Conocer la disponibilidad hídrica de la cuenca permite optimizar y utilizar el recurso hídrico en forma racional y eficiente, en aprovechamiento de uso poblacional, agrícola, pecuario, industria, minera, energético, entre otros usos.

En el presente capítulo, se presenta la disponibilidad hídrica para realizar el balance hídrico de las subcuencas de interés, donde existe requerimientos o demandas hídricas localizadas dentro del ámbito de las cuencas Huancané y Suches.

8.2 AGUAS SUPERFICIALES

Son las aguas continentales que se encuentran en la superficie de la tierra, donde escurren continuamente en los ríos y arroyos, o bien estancadas como en lagos, lagunas, charcas y pantanos. Esta fuente de agua es la que abunda más en la mayoría de las cuencas hidrográficas.

Las aguas superficiales proceden directamente de las precipitaciones que caen desde las nubes y discurren en la superficie de la tierra, generalmente son agua dulce, que es ahora el precioso e indispensable recurso natural para la existencia de los seres vivientes.

Una característica importante de los ríos de las cuencas Huancané y Suches, es su régimen temporal, los mismos que presentan irregularidad en sus descargas, con corto período de abundancia o avenida de 5 meses (diciembre a abril) y prolongado período de estiaje de 7 meses (mayo a noviembre), situación no favorable a las necesidades hídricas de la región.

La mayoría de los ríos de las cuencas Huancané y Suches se originan por las precipitaciones pluviales. En la cuenca Suches los ríos Trapiche y Suches se originan también de los deshielos de la cordillera de los Andes del Sur.

En la cuenca Huancané, la disponibilidad hídrica al 75% de persistencia (caudales medios anuales) de los ríos Llache son de 0.515 m³/s, Tuyto 4.428 m³/s, Muñani 2.702 m³/s, Pistune 1.391 m³/s, Puncune 1.449 m³/s y Huancané (cuenca total) 13.143 m³/s. Ver Cuadros N° 8.1 y 8.2.

En la cuenca Suches, la disponibilidad hídrica al 75% de persistencia (caudales medios anuales) de los ríos Chueña Huata Jahuirá son de 0.216 m³/s, Caylloma 0.734 m³/s y Trapiche de 0.649 m³/s. Ver Cuadros N° 8.3 y 8.4.

8.3 AGUAS SUBTERRÁNEAS

El agua subterránea se encuentra almacenada en acuíferos bajo la superficie de la tierra y ocupa los poros y las fisuras de las rocas más sólidas. La más profunda puede permanecer oculta durante miles y millones de años.

A nivel global, el agua subterránea representa unas veinte (20) veces más que el total de las aguas superficiales de todos los continentes e islas, de ahí la importancia de esta agua como reserva y como recurso de agua dulce. Además, tiene un importante papel en la naturaleza. El efecto de la gran reserva de agua respecto al flujo anual, es esencial para mantener el caudal de base de muchos ríos y la humedad del suelo en las riberas y áreas bajas.

La disponibilidad actual (reservas explotables) del agua subterránea aún no ha sido estudiada en las cuencas Huancané y Suches, por lo tanto no existe información respectiva.

8.4 AGUAS DE RECUPERACIÓN

Reciben ese nombre, las aguas que son producto de filtraciones procedentes de las irrigaciones, donde predominan suelos gruesos y baja eficiencia de riego; también de los embalses. Se encuentran en la parte baja de la cuenca y generalmente son recuperadas para uso agrícola. Este tipo de disponibilidad hídrica se genera en la mayoría de las cuencas costeras. En algunos casos es significativa como el caso de El Paraíso en la cuenca del río Huaura que, a partir de la irrigación Santa Rosa se obtienen aguas de recuperación no menores de 2 m³/s.

En las cuencas Huancané y Suches, no existe esta fuente de agua, carecen de embalses de agua y grandes irrigaciones.

8.5 AGUAS DE ALMACENAMIENTO EN REPRESAS

Son aguas almacenadas en represas durante el período de avenidas, para aumentar la disponibilidad de agua para diversos fines durante el período de estiaje.

Las presas de almacenamiento tienen la función del suministro de agua a una población, ya sea para uso doméstico, agrícola, pecuario, generación de energía, etc. Independientemente de cuál sea el uso que se le da a una presa de almacenamiento, su función principal es mantener el depósito lleno para asegurar la disponibilidad del recurso agua en tiempos de sequía. Para asegurar que esto ocurra, es necesario realizar un adecuado diseño hidrológico de una presa de almacenamiento.

En las cuencas de los ríos Huancané y Suches, no existen represas de almacenamiento de agua, por lo tanto carece esta información.

8.6 AGUAS DE TRASVASE

Son aguas provenientes de otra cuenca, se origina mediante el trasvase de una cuenca a otra a través de las obras hidráulicas, cuya finalidad es afianzar e incrementar la disponibilidad de agua en la cuenca con escasez del recurso hídrico.

En las cuencas Huancané y Suches, no existe las aguas de trasvase de una cuenca a otra.

8.7 OTRAS FUENTES DE AGUA

Una de las otras fuentes de agua, vendría ser el deshielo de glaciares.

Los glaciares, especialmente los tropicales, son excelentes indicadores de la evolución del clima, y ecosistemas vulnerables. Constituyen reservas sólidas de agua dulce utilizadas para el consumo y actividades productivas, tales como: agricultura, hidroelectricidad, industria, minería y proyectos agroindustriales; éstos juegan un rol vital en el desarrollo socio-económico de las poblaciones. La notable disminución y pérdida de estas reservas como consecuencia del acelerado proceso de deglaciación y sus repercusiones, actualmente son motivo de preocupación creciente en todo el mundo.

El 71% de los glaciares tropicales de los Andes Sudamericanos se encuentran en el Perú; 22% en Bolivia; 4% en Ecuador y 3% en Colombia (Glaciares y Cambio Climático en la Comunidad Andina - 2007).

En la cuenca Huancané no existe zonas de nevados. En cambio en la cuenca Suches si existe en la zona alta (nevados San Francisco, Callejón, Ananea Grande, Chapi, Riti Urmasca, Caballune y Palomani) y forma parte de la cordillera de los Andes del Sur, abarca una superficie de 23.40 km². En la actualidad no existe la información sobre la medición de caudales de deshielo de nevados que aporta a los ríos, por lo que es necesario monitorear en adelante, para obtener la información necesaria.

8.8 DISPONIBILIDAD HÍDRICA TOTAL DE LA CUENCA

Según la información existente, la disponibilidad hídrica total en las cuencas Huancané y Suches, corresponde a aguas superficiales. A continuación se presenta las descargas medias mensuales al 75% de persistencia de las subcuencas de interés.

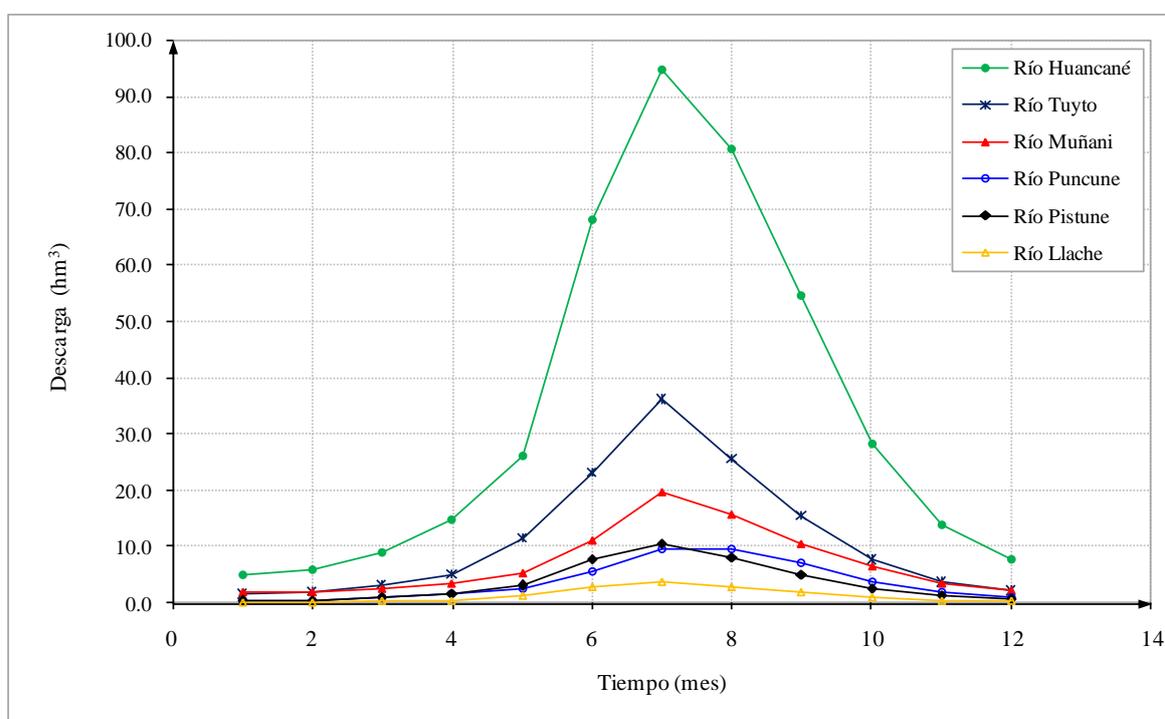
Cuadro N° 8.1 Descargas medias al 75% de persistencia (m³/s)
Subcuencas de la cuenca Huancané

Subcuenca/ cuenca	Punto de control	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Prom Anual
Río Llache	Confl.río Huancané	0.050	0.062	0.128	0.216	0.467	1.085	1.592	1.134	0.750	0.355	0.223	0.115	0.515
Río Tuyto	Confl.río Putina	0.570	0.780	1.250	1.980	4.300	8.640	14.930	9.580	6.010	2.860	1.430	0.800	4.428
Río Muñani	Confl.río Pongongoni	0.697	0.716	0.910	1.323	2.029	4.197	8.132	5.845	4.011	2.396	1.301	0.864	2.702
Río Pistune	Confl.río Puncune	0.135	0.189	0.379	0.697	1.150	2.940	4.347	3.034	1.999	0.980	0.554	0.292	1.391
Río Puncune	Confl.río Pistune	0.191	0.214	0.348	0.686	0.975	2.155	3.990	3.623	2.758	1.384	0.709	0.350	1.449
Río Huancané	Desemb.lago Titicaca	1.900	2.260	3.330	5.720	9.790	25.460	39.130	30.130	21.120	10.550	5.400	2.930	13.143

Cuadro N° 8.2 Volúmenes de las descargas medias al 75% de persistencia (hm^3)
Subcuencas de la cuenca Huancané

Subcuenca/ cuenca	Punto de control	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Total Anual
Río Llache	Confl.río Huancané	0.13	0.16	0.34	0.56	1.25	2.91	3.85	3.04	1.94	0.95	0.58	0.31	16.02
Río Tuyto	Confl.río Putina	1.53	2.02	3.35	5.13	11.52	23.14	36.12	25.66	15.58	7.66	3.71	2.14	137.56
Río Muñani	Confl.río Pongongoni	1.87	1.86	2.44	3.43	5.43	11.24	19.67	15.66	10.40	6.42	3.37	2.31	84.10
Río Pistune	Confl.río Puncune	0.36	0.49	1.02	1.81	3.08	7.87	10.52	8.13	5.18	2.62	1.44	0.78	43.30
Río Puncune	Confl.río Pistune	0.51	0.55	0.93	1.78	2.61	5.77	9.65	9.70	7.15	3.71	1.84	0.94	45.14
Río Huancané	Desemb.lago Titicaca	5.09	5.86	8.92	14.83	26.22	68.19	94.66	80.70	54.74	28.26	14.00	7.85	409.32

Figura N° 8.1 Variación mensual de los volúmenes de las descargas medias al 75% de persistencia (hm^3)
Subcuencas de la cuenca Huancané



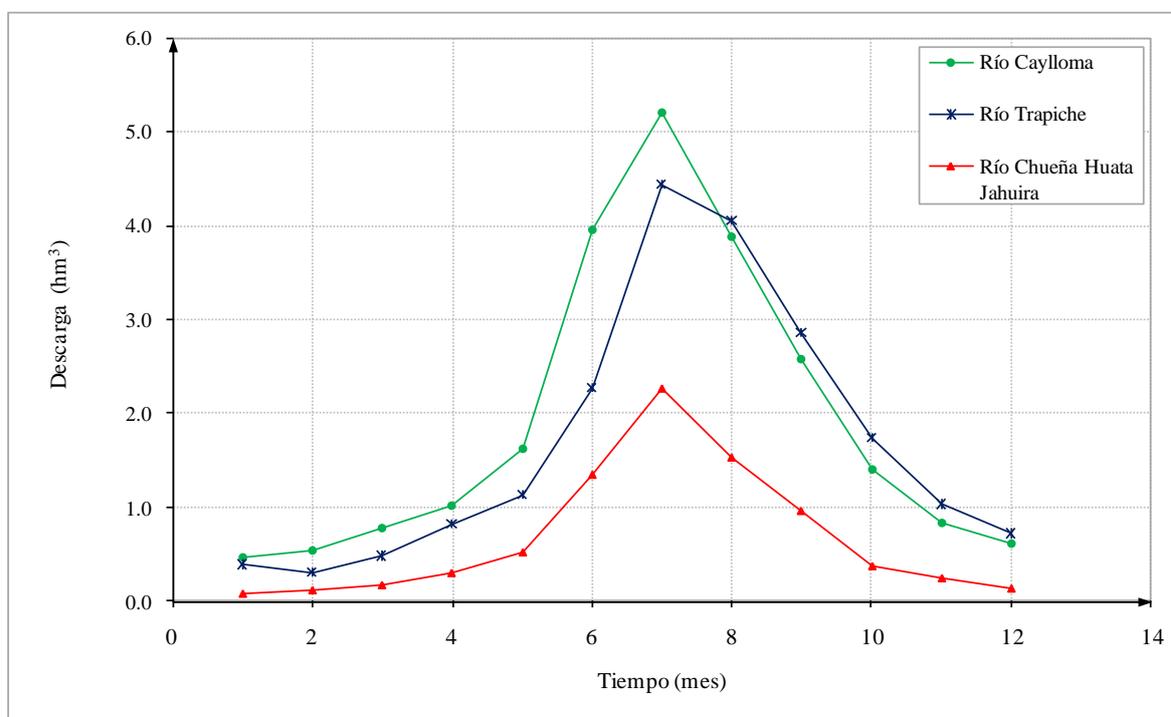
Cuadro N° 8.3 Descargas medias al 75% de persistencia (m^3/s)
Subcuencas de la cuenca Suches

Subcuenca/ cuenca	Punto de control	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Prom Anual
Río Chueña Huata Jahuirá	Confl.río Suches	0.035	0.043	0.065	0.116	0.197	0.501	0.938	0.573	0.370	0.142	0.093	0.054	0.261
Río Caylloma	Confl.río Suches	0.170	0.209	0.292	0.392	0.607	1.475	2.148	1.449	0.995	0.522	0.321	0.227	0.734
Río Trapiche	Confl.río Suches	0.146	0.117	0.180	0.316	0.422	0.848	1.833	1.512	1.104	0.648	0.398	0.267	0.649

Cuadro N° 8.4 Volúmenes de las descargas medias al 75% de persistencia (hm^3)
Subcuencas de la cuenca Suches

Subcuenca/ cuenca	Punto de control	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Total Anual
Río Chueña Huata Jahuira	Confl.río Suches	0.09	0.11	0.17	0.30	0.53	1.34	2.27	1.53	0.96	0.38	0.24	0.14	8.06
Río Caylloma	Confl.río Suches	0.46	0.54	0.78	1.02	1.63	3.95	5.20	3.88	2.58	1.40	0.83	0.61	22.88
Río Trapiche	Confl.río Suches	0.39	0.30	0.48	0.82	1.13	2.27	4.43	4.05	2.86	1.74	1.03	0.72	20.22

Figura N° 8.2 Variación mensual de los volúmenes de las descargas medias al 75% de persistencia (hm^3)
Subcuencas de la cuenca Suches



CAPÍTULO IX

DEMANDA HÍDRICA

9.1 GENERALIDADES

La demanda hídrica es la cantidad de agua necesaria de los usuarios para satisfacer las necesidades de agua en uso agrícola, uso poblacional, minero, industria, pecuario, energético, piscícolas, recreación, etc.

La demanda hídrica son de dos tipos, uso consuntivo y uso no consuntivo, a continuación se detalla lo siguiente:

Uso consuntivo

El uso consuntivo es aquel que consume o extrae el agua de su fuente de origen, por lo que, en general, este uso puede ser medido cuantitativamente. Los usos consuntivos más frecuentes vendrían ser lo siguiente:

- Sector agricultura (uso agrícola)
- Sector vivienda (uso poblacional)
- Sector minería (uso minero)
- Otros usos de agua (industria, pecuario, etc.)

Uso no consuntivo

El uso no consuntivo es aquel que no consume el agua de su fuente de origen, porque el agua es usada pero no consumida de su ambiente natural. Los usos no consuntivos resaltantes vendrían ser lo siguiente:

- Sector energía (uso hidroenergético)
- Sector pesquería (piscícolas)
- Otros usos de agua (recreación, caudal ecológico, etc.)

En las cuencas Huancané y Suches, se ha identificado el uso consuntivo en los sectores de agricultura, vivienda y minería; mientras el uso no consuntivo el caudal ecológico de los ríos en estudio.

En adelante se determinan los usos de agua identificados en las subcuencas pertenecientes a las cuencas Huancané y Suches.

9.2 DEMANDA HÍDRICA ACTUAL

Son demandas de agua actualmente utilizadas en diferentes tipos de usos en las cuencas Huancané y Suches.

Es necesario precisar que en las cuencas Huancané y Suches, se distingue varios tipos de usos actuales de agua superficial, siendo en orden de prioridad, por la magnitud de volumen consumido: uso agrícola, poblacional y minero.

El uso agrícola es de mayor significancia, no sólo por ser notablemente superior respecto a los otros, sino también por su importancia socio-económica.

9.2.1 Demanda agrícola

La demanda hídrica en agricultura se define como la cantidad de agua necesaria para que los cultivos desarrollen su máximo potencial productivo, en función de la cantidad de agua necesaria para el desarrollo de sus procesos fisiológicos (respiración y fotosíntesis), manteniendo los otros factores de producción constantes.

Par el cálculo de la demanda de agua de un proyecto se debe tener en cuenta, por lo tanto todas las pérdidas resultantes del sistema de distribución del agua de riego y de la eficiencia de aplicación del agua al cultivo.

Debido a la disponibilidad de extensiones de terreno, en las cuencas de los ríos Huancané y Suches, existen demandas actuales que están relacionados mayormente con la agricultura.

9.2.1.1 Uso actual de la tierra y superficie de la cedula de cultivo

En las cuencas Huancané y Suches el uso actual de las tierras agrícolas son trabajadas en parcelas familiares muy fraccionadas y cuya producción agrícola generalmente es de uso familiar. Las tierras de pastos (en su mayor extensión), en los casos de las comunidades, son de uso común, utilizando para el pastoreo de ganado que es de propiedad de la población. En los Cuadros N° 9.1 y 9.9 se presenta el resumen de la superficie total de las áreas de cultivo por subcuencas de las cuencas Huancané y Suches (Perú), información obtenida del Plan de Cultivo y Riego de la campaña agrícola 2010-2011 de la ALA Huancané.

Cuenca Huancané

Cuadro N° 9.1 Resumen de superficie de cedula de cultivo – Cuenca Huancané

N°	Subcuenca	N° Usuarios	Area Bajo Riego (ha)	Cultivos predominantes (ha)						
				Papa	Habas	Avena Forrajera	Cebada	Hortalizas	Pastos Naturales	Pastos Cultivados
1	Alto Huancané	425	313.90	3.30	-	4.80	2.20	-	292.90	10.70
2	Pistune	854	389.22	3.00	-	9.00	0.46	-	362.76	14.00
3	Muñani	1,207	751.00	14.50	-	20.00	3.50	-	645.00	68.00
4	Medio Huancané	334	172.50	7.20	-	8.00	-	0.80	142.30	14.20
5	Tuyto	1,341	525.00	50.00	14.10	29.70	-	1.50	316.80	112.90
6	Llache	534	152.00	10.50	0.50	7.00	-	2.70	91.90	39.40
7	Bajo Huancané	388	42.00	11.30	14.70	1.80	-	0.80	9.40	4.00
Total		5,083	2,345.62	99.80	29.30	80.30	6.16	5.80	1,861.06	263.20

Cuadro N° 9.2 Superficie de cedula de cultivo – Subcuenca Alto Huancané

N°	Comité de Riego	N° Usuarios	Area Bajo Riego (ha)	Cultivos predominantes (ha)							Comisión de Regantes
				Papa	Habas	Avena Forrajera	Cebada	Hortalizas	Pastos Naturales	Pastos Cultivados	
1	ANEXO HUANCHO TARUCANI	8	4.50	0.30	-	0.80	0.20	-	3.00	0.20	Putina
2	SAN FRANCISCO	20	3.00	-	-	-	-	-	2.50	0.50	Putina
3	SAN JUAN DE CHINQUILLA	37	5.00	-	-	-	-	-	5.00	-	Putina
4	SANTA CATALINA DE CHINQUILLA	31	18.00	-	-	-	-	-	16.00	2.00	Putina
5	SANTA ROSA DE UYUNI	55	30.00	2.00	-	2.00	1.00	-	20.00	5.00	Putina
6	SANTA RITA	32	21.00	-	-	-	-	-	21.00	-	Quicapunco-Inchupalla
7	TICANI	46	50.00	1.00	-	2.00	1.00	-	43.00	3.00	Quicapunco-Inchupalla
8	CONDORAQUE	12	15.00	-	-	-	-	-	15.00	-	Quicapunco-Inchupalla
9	VICTORIA ALVARIZANI	20	7.30	-	-	-	-	-	7.30	-	Quicapunco-Inchupalla
10	BUENOS AIRES	43	31.30	-	-	-	-	-	31.30	-	Quicapunco-Inchupalla
11	GRAN CHAPARRAL	43	36.80	-	-	-	-	-	36.80	-	Quicapunco-Inchupalla
12	ALTOS HILATA	47	29.00	-	-	-	-	-	29.00	-	Quicapunco-Inchupalla
13	ACCOCUNCA	10	4.00	-	-	-	-	-	4.00	-	Quicapunco-Inchupalla
14	QUISHUARANI TIQ. ANEXO CONDORAQUE	15	4.00	-	-	-	-	-	4.00	-	Quicapunco-Inchupalla
15	TUPAC AMARU QUILCA	-	20.00	-	-	-	-	-	20.00	-	Quicapunco-Inchupalla
USOS INDIVIDUALES											
1	PRUDENCIO VALENCIA MAMANI	1	1.00	-	-	-	-	-	1.00	-	Putina
2	BERNARDO LUQUE CONDORI	1	1.00	-	-	-	-	-	1.00	-	Quicapunco-Inchupalla
3	JOSE ANGEL REYES LUJAN (FUNDO CONDORAQUE)	1	30.00	-	-	-	-	-	30.00	-	Quicapunco-Inchupalla
4	FAM. COSI MAMANI DE CAJON HUYO	1	1.00	-	-	-	-	-	1.00	-	Quicapunco-Inchupalla
5	MARIA LIPE DE QUISPE	1	1.00	-	-	-	-	-	1.00	-	Quicapunco-Inchupalla
6	NICOLAS LIPE MAMANI	1	1.00	-	-	-	-	-	1.00	-	Quicapunco-Inchupalla
Total		425	313.90	3.30	-	4.80	2.20	-	292.90	10.70	

Cuadro N° 9.3 Superficie de cedula de cultivo – Subcuenca Pistune

N°	Comité de Riego	N° Usuarios	Area Bajo Riego (ha)	Cultivos predominantes (ha)							Comisión de Regantes
				Papa	Habas	Avena Forrajera	Cebada	Hortalizas	Pastos Naturales	Pastos Cultivados	
1	AZIRUNI ANDAMARCA	51	70.00	-	-	7.00	-	-	60.00	3.00	Quicapunco-Inchupalla
2	CAJON HUYO CENTRAL	56	35.00	2.00	-	-	-	-	33.00	-	Quicapunco-Inchupalla
3	CAJON HUYO KELENE SORAPAMPA	29	7.50	-	-	-	-	-	7.50	-	Quicapunco-Inchupalla
4	CHECTACOLLO - TIRAPUNCO	27	30.00	-	-	-	-	-	30.00	-	Quicapunco-Inchupalla
5	HUARACOYO - JANANSAYA	77	30.00	-	-	-	-	-	30.00	-	Quicapunco-Inchupalla
6	QUISUNI	20	1.50	-	-	-	-	-	1.50	-	Quicapunco-Inchupalla
7	TIRAPUNCO	63	20.00	-	-	-	-	-	18.00	2.00	Quicapunco-Inchupalla
8	SAN SALVADOR DE TARUCANI	35	26.00	-	-	-	-	-	25.00	1.00	Quicapunco-Inchupalla
9	TISNAHUYO	57	33.93	-	-	-	-	-	33.93	-	Quicapunco-Inchupalla
10	SANTIAGO MAYOR DE AZIRUNI	65	6.00	-	-	-	-	-	6.00	-	Quicapunco-Inchupalla
11	CHALANANI	32	10.00	-	-	-	-	-	10.00	-	Quicapunco-Inchupalla
12	CONTIHUYO-JANANSAYA	69	30.00	-	-	-	-	-	25.00	5.00	Quicapunco-Inchupalla
13	COMBUCO	93	20.46	-	-	2.00	0.46	-	15.00	3.00	Quicapunco-Inchupalla
14	ALTO LIBERTAD	37	33.83	-	-	-	-	-	33.83	-	Quicapunco-Inchupalla
15	UMAJALSO LLUCHULLUCHUNI	27	2.00	0.50	-	-	-	-	1.50	-	Quicapunco-Inchupalla
16	PERLAHUMANI SALTOPATA	36	2.00	0.50	-	-	-	-	1.50	-	Quicapunco-Inchupalla
17	TISMIÑA HUANCANRANI	17	16.00	-	-	-	-	-	16.00	-	Quicapunco-Inchupalla
18	PEÑA GRANDE INCHUPALLA	58	6.00	-	-	-	-	-	6.00	-	Quicapunco-Inchupalla
USOS INDIVIDUALES											
1	MIGUEL CHAVEZ FUENTES	1	8.00	-	-	-	-	-	8.00	-	Quicapunco-Inchupalla
2	VELENTIN GIL TICONA Y Fam. GIL CANAZA	4	1.00	-	-	-	-	-	1.00	-	Quicapunco-Inchupalla
Total		854	389.22	3.00	-	9.00	0.46	-	362.76	14.00	

Cuadro N° 9.4 Superficie de cedula de cultivo – Subcuenca Muñani

N°	Comité de Riego	N° Usuarios	Area Bajo Riego (ha)	Cultivos predominantes (ha)							Comisión de Regantes
				Papa	Habas	Avena Forrajera	Cebada	Hortalizas	Pastos Naturales	Pastos Cultivados	
1	ALIANZA LLANCACAHUA	38	30.00	1.00	-	2.00	-	-	25.00	2.00	Putina
2	JOSE CARLOS MARIATEGUI	34	50.00	-	-	-	-	-	50.00	-	Putina
3	SAN ANTONIO DE PEÑON	20	14.00	-	-	-	-	-	12.00	2.00	Putina
4	PEÑA GRANDE SAN FRANCISCO	21	50.00	-	-	-	-	-	46.00	4.00	Putina
5	SAN ISIDRO DE PAMPA GRANDE	48	22.50	-	-	-	-	-	22.50	-	Putina
6	SANTA ANA DE TARUCANI	111	80.00	4.00	-	4.00	-	-	60.00	12.00	Putina
7	SANTA CRUZ DE MIJANI	20	61.00	-	-	-	-	-	56.00	5.00	Putina
8	SANTA CRUZ DE CHOCALLACA	29	17.00	2.00	-	-	-	-	14.00	1.00	Putina
9	SANTISIMA TRINIDAD	26	53.50	-	-	-	-	-	53.50	-	Putina
10	CAMBRIA SUCHO	100	10.00	-	-	-	-	-	10.00	-	Putina
11	CHOQUECHAMBI CARPANI	164	50.00	-	-	2.00	-	-	45.00	3.00	Muñani
12	CONDOR CANQUE CALLATOMASA	19	13.00	-	-	-	-	-	13.00	-	Muñani
13	MUÑANI CHICO	136	61.00	1.00	-	1.00	1.00	-	55.00	3.00	Muñani
14	ÑEQUEÑEQUE	45	30.00	2.00	-	1.00	-	-	22.00	5.00	Muñani
15	HUARACHANI-C.P NEQUEÑEQUE (Parceleros)	6	3.00	-	-	-	-	-	3.00	-	Muñani
16	PEDRO VILCAPAZA DE CHECAYANI	42	30.00	-	-	2.00	-	-	20.00	8.00	Muñani
17	TUPAC AMARU-II MALLQUINI	33	22.50	0.50	-	-	-	-	14.00	8.00	Muñani
18	JUAN VELASCO ALVARADO	41	18.00	-	-	1.00	-	-	16.00	1.00	Muñani
19	MAMAYA	16	10.00	-	-	-	-	-	8.00	2.00	Muñani
20	HUASACONA	191	70.00	3.00	-	5.00	2.00	-	50.00	10.00	Muñani
21	HUAMBUYO MITA	9	14.50	-	-	-	-	-	14.50	-	Muñani
22	TOMA	45	15.00	-	-	-	-	-	15.00	-	Muñani
USOS INDIVIDUALES											
1	CARMEN ABDON LIPA ESTEVEZ	1	6.00	0.50	-	0.50	0.50	-	4.50	-	Muñani
2	JESUSA VDA. DE PALAZUELOS	1	1.00	-	-	-	-	-	1.00	-	Muñani
3	MARIA N. PALAZUELOS CHOQUE Y FAMILIA	5	3.00	0.50	-	0.50	-	-	2.00	-	Muñani
4	VITALIANO MALAGA SANCHEZ	1	3.00	-	-	-	-	-	2.00	1.00	Putina
5	JULIAN OCHOCHOQUE AGUIRRE	1	7.00	-	-	1.00	-	-	5.00	1.00	Putina
6	MARIA MAMANI TIPO	1	1.00	-	-	-	-	-	1.00	-	Putina
7	HERMOGENES COLQUE HUACANTARA	1	3.00	-	-	-	-	-	3.00	-	Putina
8	ANDRES CCUNO CCUNO	1	1.00	-	-	-	-	-	1.00	-	Putina
9	QUINTIN FLORES SACACA	1	1.00	-	-	-	-	-	1.00	-	Putina
Total		1207	751.00	14.50	-	20.00	3.50	-	645.00	68.00	

Cuadro N° 9.5 Superficie de cedula de cultivo – Subcuenca Medio Huancané

N°	Comité de Riego	N° Usuarios	Area Bajo Riego (ha)	Cultivos predominantes (ha)							Comisión de Regantes
				Papa	Habas	Avena Forrajera	Cebada	Hortalizas	Pastos Naturales	Pastos Cultivados	
1	CENTRAL HUASUNTA	10	10.00	1.00	-	2.00	-	-	6.00	1.00	Putina
2	SAN MARTIN	41	17.00	2.00	-	-	-	-	14.00	1.00	Putina
3	SANTIAGO DE BELLAVISTA	82	50.00	-	-	-	-	-	50.00	-	Putina
4	VILLA CANDELARIA DE CHURURA	62	50.00	2.00	-	5.00	-	-	40.00	3.00	Putina
5	SAN SALVADOR	40	10.00	0.50	-	-	-	-	6.60	2.90	Huancané
6	CCANCO	33	10.00	0.70	-	-	-	0.30	6.30	2.70	Huancané
7	CANCO A - CUPISCO	50	3.00	0.50	-	-	-	0.50	1.40	0.60	Huancané
USOS INDIVIDUALES											
1	HONORATO LAVILLA LAURA	1	3.00	-	-	-	-	-	2.00	1.00	Putina
2	MARIA MAMANI MINAYA	1	2.50	-	-	-	-	-	2.00	0.50	Putina
3	MARIA ISABEL LUJAN PAREDES	1	4.00	-	-	0.50	-	-	3.00	0.50	Putina
4	INES MINAYA VDA. DE LUJAN	1	4.00	-	-	0.50	-	-	3.00	0.50	Putina
5	FRANCISCO LUJAN PAREDES	1	1.00	-	-	-	-	-	1.00	-	Putina
6	MATIAS MOSCAIRO SACACA	1	3.00	-	-	-	-	-	3.00	-	Putina
7	NEMESIO SURCO Y FRANCISCO CARTA	2	1.00	-	-	-	-	-	1.00	-	Putina
8	MARCOS VILCAPAZA MAMANI	1	1.00	-	-	-	-	-	1.00	-	Putina
9	LUCIA URVIOLA QUISEP	1	1.00	-	-	-	-	-	1.00	-	Putina
10	BENITO, MIRANDA QUISEP Y FAMILIA	6	2.00	0.50	-	-	-	-	1.00	0.50	Huancané
Total		334	172.50	7.20	-	8.00	-	0.80	142.30	14.20	

Cuadro N° 9.6 Superficie de cedula de cultivo – Subcuenca Tuyto

N°	Comité de Riego	N° Usuarios	Area Bajo Riego (ha)	Cultivos predominantes (ha)							Comisión de Regantes
				Papa	Habas	Avena Forrajera	Cebada	Hortalizas	Pastos Naturales	Pastos Cultivados	
1	LOS ANDES	14	15.00	-	-	-	-	-	15.00	-	Cojata
2	SAN JORGE	21	20.00	-	-	-	-	-	20.00	-	Cojata
3	SORATIRA	16	6.00	-	-	-	-	-	6.00	-	Cojata
4	MILLICUYO TUYTO	39	21.00	-	-	-	-	-	14.70	6.30	Huancané
5	MUNAYPA LACAYRIA	39	25.00	5.00	1.00	10.00	-	-	6.30	2.70	Huancané
6	MUNAYPA - JACHA MUNAYPA	24	3.00	-	0.20	0.30	-	-	1.75	0.75	Huancané
7	PAICHACUYO	34	10.00	3.00	4.00	-	-	-	2.10	0.90	Huancané
8	LA PAMPILLA	24	2.00	-	-	-	-	-	1.40	0.60	Huancané
9	QUEJONI	83	3.00	-	-	-	-	-	2.10	0.90	Huancané
10	VILLA CANTUTANI	17	2.00	-	-	-	-	-	1.40	0.60	Huancané
11	YAPUTIRA	56	25.00	-	-	-	-	-	17.50	7.50	Huancané
12	JALSO HUERTAPATA - TUITO	12	1.00	-	-	-	-	-	0.70	0.30	Huancané
13	LA LIBERTAD	53	20.00	2.00	-	2.00	-	-	11.20	4.80	Huancané
14	TISNACOLLO	30	4.00	0.50	-	0.50	-	-	2.10	0.90	Huancané
15	NUEVO PROGRESO SOLITARIO	158	80.00	20.00	-	10.00	-	-	35.00	15.00	Huancané
16	CACERIO CALLEJON - LACAYPATA	33	10.00	-	-	-	-	-	7.00	3.00	Huancané
17	CCHACANI-CALAHUYO	13	6.00	-	-	-	-	-	4.20	1.80	Huancané
18	SOL SALIENTE - CALAHUYO	52	29.00	-	-	-	-	-	20.30	8.70	Huancané
19	PATACUCHO - CALAHUYO	21	4.00	-	-	-	-	-	2.80	1.20	Huancané
20	SOMBREUNI	46	6.00	-	-	-	-	-	4.20	1.80	Huancané
21	PICHACANI PARIANI CALAHUYO	20	17.00	-	-	-	-	-	11.90	5.10	Huancané
22	VILALACAYA	16	1.00	-	-	-	-	-	0.70	0.30	Huancané
23	GUITARRANI	45	4.00	0.70	-	-	-	0.30	2.10	0.90	Huancané
24	QUEJONI PUTINA CUCHO	21	2.00	0.50	-	0.50	-	-	0.70	0.30	Huancané
25	PAMPA LACAYA	15	5.00	0.70	-	0.30	-	-	2.80	1.20	Huancané
26	LACAYANE - PANASCACHI	-	4.00	-	-	-	-	-	4.00	-	Huancané
27	CARAHUTA - HUIPATA	-	5.00	-	-	-	-	-	5.00	-	Huancané
28	COM. CAMP. CATAHUI - III SECTOR	-	2.00	-	-	-	-	-	2.00	-	Huancané
29	CASTILLA UMA MALLCUSUCA MOHO	17	1.00	0.50	-	0.20	-	-	0.20	0.10	Rosaspata
30	HUARIHUMA	23	10.00	3.50	2.00	-	-	0.50	2.80	1.20	Rosaspata
31	MALLCOSUCA SECTOR CENTRO DE MOHO	30	2.00	1.00	-	0.40	-	-	0.40	0.20	Rosaspata
32	LLOCALLAMARCA SECTOR PALLAJAPA	9	4.00	1.00	0.50	2.00	-	-	0.40	0.10	Rosaspata
33	ANCO KARCA - ESQUERICA	94	50.00	-	-	-	-	-	35.00	15.00	Rosaspata
34	HALLA ALTO GRANDE	75	43.00	-	-	-	-	-	30.20	12.80	Rosaspata
35	LIZANI PAMPA	41	8.00	-	-	-	-	-	5.60	2.40	Rosaspata
36	HUAYLLACUYO	75	30.00	10.00	6.00	3.50	-	0.50	7.00	3.00	Rosaspata
37	FUNDO HUILACAYA DEL ISTPH.	1	3.00	-	-	-	-	-	2.10	0.90	Rosaspata
38	CHIASIPAMPA	9	6.00	-	-	-	-	-	4.20	1.80	Rosaspata
39	QUELLO QUELLO QUELLHUACOTA	47	10.00	-	-	-	-	-	7.00	3.00	Rosaspata
USUARIOS INDIVIDUALES											
1	Victor, CHURA TINTA	1	1.00	-	-	-	-	-	0.70	0.30	Rosaspata
2	Mariano, MAMANI PERALTA	1	3.00	-	-	-	-	-	2.10	0.90	Rosaspata
3	Mariano, MAMANI CHAMBI	1	1.00	-	-	-	-	-	0.70	0.30	Rosaspata
4	Juan, MAMANI MAMANI	1	1.00	-	-	-	-	-	0.70	0.30	Rosaspata
5	Juan, TITO TINTA	1	1.00	-	-	-	-	-	0.70	0.30	Rosaspata
6	Constantino MAMANI QUISPE	1	1.00	-	-	-	-	-	0.70	0.30	Rosaspata
7	Julian LIMACHI MAMANI	1	1.00	-	-	-	-	-	0.70	0.30	Huancané
8	Andres, GODOY MIRANDA	1	1.00	-	-	-	-	-	0.70	0.30	Huancané
9	Andres, ABREGON TERAN (Campiña Chatruma)	1	1.00	-	-	-	-	-	0.70	0.30	Huancané
10	Familia, MAMANI SAAVEDRA(Hachauts)	1	2.00	-	-	-	-	0.20	1.25	0.55	Huancané
11	Nicolás, VARGAS CONDORI (P. Ananiso-Vilq.)	1	3.00	1.00	-	-	-	-	1.40	0.60	Huancané
12	Pedro, MAMANI LLUNGO	1	1.00	-	-	-	-	-	0.70	0.30	Huancané
13	Cipriano, CAMA PINTO	1	2.00	-	-	-	-	-	1.40	0.60	Huancané
14	Casimiro, CARRIZALES QUEA Y Adofo ...	2	3.00	-	-	-	-	-	2.10	0.90	Huancané
15	ROGELIO MAYTA TITO	1	1.00	-	-	-	-	-	0.70	0.30	Huancané
16	JERONIMO VALERO MACEDO	1	1.00	0.30	0.20	-	-	-	0.40	0.10	Huancané
17	GLICERIO HERRERA CAMA Y OTROS	1	1.00	0.30	0.20	-	-	-	0.30	0.20	Huancané
18	ENRIQUE LARICO CAMA (CONCAPATA - CARAHUTA)	1	1.00	-	-	-	-	-	1.00	-	Huancané
Total		1341	525.00	50.00	14.10	29.70	-	1.50	316.80	112.90	

Cuadro N° 9.7 Superficie de cedula de cultivo – Subcuenca Llache

N°	Comité de Riego	N° Usuarios	Area Bajo Riego (ha)	Cultivos predominantes (ha)							Comisión de Regantes
				Papa	Habas	Avena Forrajera	Cebada	Hortalizas	Pastos Naturales	Pastos Cultivados	
1	SAN JOSE DE SANTA CRUZ	49	15.00	-	-	-	-	-	10.50	4.50	Huancané
2	SAN IGNACIO DE MAYAPUNCO	60	18.00	-	-	-	-	-	12.60	5.40	Huancané
3	CENTRAL HUILACUNCA	16	6.00	3.00	0.50	2.00	-	0.20	0.20	0.10	Huancané
4	SANTIAGO DE AJATIRA	96	51.00	4.00	-	3.00	-	2.00	29.40	12.60	Huancané
5	ALTO CUYO TUPAC AMARU	10	3.00	0.50	-	-	-	0.50	1.40	0.60	Huancané
6	TUPAC AMARU CALACALA	40	8.00	1.00	-	1.00	-	-	4.20	1.80	Huancané
7	CAQUEN	10	14.00	2.00	-	1.00	-	-	7.70	3.30	Huancané
8	TUNILA CAQUEN	20	8.00	-	-	-	-	-	5.60	2.40	Huancané
9	TUNILA HUATASANI	58	6.00	-	-	-	-	-	4.20	1.80	Huancané
10	CENTRO PECUARIO CALACALA DRAP	1	4.00	-	-	-	-	-	2.80	1.20	Huancané
11	JARDIN DE VICUÑAS CALACALA	170	15.00	-	-	-	-	-	10.50	4.50	Huancané
USOS INDIVIDUALES											
1	Angel Damian ZAPATA LARICO	1	1.00	-	-	-	-	-	0.70	0.30	Huancané
2	Gabino G. LARICO YUCRA/FLORENCIA/ GODOY	1	1.00	-	-	-	-	-	0.70	0.30	Huancané
3	Marcos, MAMANI CHIPANA	1	1.00	-	-	-	-	-	0.70	0.30	Huancané
4	Graciela, LARICO LARICO	1	1.00	-	-	-	-	-	0.70	0.30	Huancané
Total		534	152.00	10.50	0.50	7.00	-	2.70	91.90	39.40	

Cuadro N° 9.8 Superficie de cedula de cultivo – Subcuenca Bajo Huancané

N°	Comité de Riego	N° Usuarios	Area Bajo Riego (ha)	Cultivos predominantes (ha)							Comisión de Regantes
				Papa	Habas	Avena Forrajera	Cebada	Hortalizas	Pastos Naturales	Pastos Cultivados	
1	LLACHOJANI HUANCHO	49	6.00	2.00	3.00	0.30	-	0.30	0.30	0.10	Huancané
2	ACOCOLLO HUERTACUCHO	38	4.00	1.00	2.50	-	-	0.50	-	-	Huancané
3	ACOCOLO RINCONADA	34	6.00	2.00	3.00	-	-	-	0.70	0.30	Huancané
4	FUJUPAMPA - HUANCHO	35	8.00	1.00	2.00	1.50	-	-	2.40	1.10	Huancané
5	CAPARAYA	92	3.00	-	-	-	-	-	2.10	0.90	Huancané
6	HUANCHO LIMA	108	6.00	3.00	2.00	-	-	-	0.70	0.30	Huancané
7	PAJCHACUCHO - QUECHAYA	12	2.00	1.00	1.00	-	-	-	-	-	Huancané
8	HUAYLLACUYO TUTUNI MILLIRAYA	20	1.00	0.50	0.50	-	-	-	-	-	Huancané
USOS INDIVIDUALES											
1	Bartolomé LUQUE MAMANI	1	1.00	-	-	-	-	-	0.70	0.30	Huancané
2	ANTONIO, QUISPE MAYATA	1	1.00	-	-	-	-	-	0.70	0.30	Huancané
3	SEVERINO, SANCHO VARGAS Y FAMILIA	6	2.00	-	-	-	-	-	1.40	0.60	Huancané
4	LUIS INGALUQUE Y ERNESTO INGALUQUE	2	1.00	0.30	0.20	-	-	-	0.40	0.10	Huancané
5	GERARDO HILASACA Y FAMILIA VARGAS	5	1.00	0.50	0.50	-	-	-	-	-	Huancané
Total		388	42.00	11.30	14.70	1.80	-	0.80	9.40	4.00	

Cuenca Suches

Cuadro N° 9.9 Resumen de superficie de cedula de cultivo – Cuenca Suches (Perú)

N°	Subcuenca	N° Usuarios	Area Bajo Riego (ha)	Cultivos predominantes (ha)						
				Papa	Habas	Avena Forrajera	Cebada	Hortalizas	Pastos Naturales	Pastos Cultivados
1	Trapiche	115	392.30	-	-	-	-	-	392.30	-
2	Caylloma	323	532.36	-	-	-	-	-	532.36	-
3	Chueña Huata Jahuira	84	26.00	-	-	-	-	-	26.00	-
4	Suches	93	407.77	-	-	-	-	-	407.77	-
Total		615	1,358.43	-	-	-	-	-	1,358.43	-

Cuadro N° 9.10 Superficie de cedula de cultivo – Subcuenca Trapiche

N°	Comité de Riego	N° Usuarios	Area Bajo Riego (ha)	Cultivos predominantes (ha)							Comisión de Regantes
				Papa	Habas	Avena Forrajera	Cebada	Hortalizas	Pastos Naturales	Pastos Cultivados	
1	AURORA NORTE	10	70.00	-	-	-	-	-	70.00	-	Cojata
2	AURORA SECTOR NORTE	10	30.00	-	-	-	-	-	30.00	-	Cojata
3	MALLCUTIRA	19	10.08	-	-	-	-	-	10.08	-	Cojata
4	SANTA ROSA DE POKERA	40	60.00	-	-	-	-	-	60.00	-	Cojata
5	TRAPICHE	27	170.00	-	-	-	-	-	170.00	-	Cojata
6	CHOCÑACOTA - TRAPICHE	7	30.00	-	-	-	-	-	30.00	-	Cojata
7	COM.ADIUDICATORIA DE QUELOTACUNI-TRAPICHE	-	4.22	-	-	-	-	-	4.22	-	Cojata
USOS INDIVIDUALES											
1	JESUSA QUEA VDA DE MAMANI	1	8.00	-	-	-	-	-	8.00	-	Cojata
2	HILARIO FLORES CCAMA	1	10.00	-	-	-	-	-	10.00	-	Cojata
Total		115	392.30	-	-	-	-	-	392.30	-	

Cuadro N° 9.11 Superficie de cedula de cultivo – Subcuenca Caylloma

N°	Comité de Riego	N° Usuarios	Area Bajo Riego (ha)	Cultivos predominantes (ha)						Comisión de Regantes	
				Papa	Habas	Avena Forrajera	Cebada	Hortalizas	Pastos Naturales		Pastos Cultivados
1	CANTUMA	19	5.00	-	-	-	-	-	5.00	-	Quikapunco-Inchapalla
2	QUENAJANI - COTAPATA	5	9.50	-	-	-	-	-	9.50	-	Cojata
3	QUENAJANI - PALCA JAHUIRA	10	30.46	-	-	-	-	-	30.46	-	Cojata
4	QUENAJANI - QUENCHEJE JAHUIRA	14	48.00	-	-	-	-	-	48.00	-	Cojata
5	QUENAJANI - QUIRINE	7	7.00	-	-	-	-	-	7.00	-	Cojata
6	QUENAJANI - SIGANA WICHINCA	6	4.00	-	-	-	-	-	4.00	-	Cojata
7	CAYLLOMA - CALANAZA	15	19.69	-	-	-	-	-	19.69	-	Cojata
8	CAYLLOMA - S. CHOÑAPATA CHULL...	11	30.00	-	-	-	-	-	30.00	-	Cojata
9	CAYLLOMA - JICHAPALCA LETRERO PATA	7	45.00	-	-	-	-	-	45.00	-	Cojata
10	CAYLLOMA - JICHAPALCA WICHINCA PAMPA	4	21.00	-	-	-	-	-	21.00	-	Cojata
11	CAYLLOMA - VIZCACHANI	10	18.00	-	-	-	-	-	18.00	-	Cojata
12	SAN JUAN BAUTISTA DE CHAJANA	97	104.00	-	-	-	-	-	104.00	-	Cojata
13	JAPO	50	39.31	-	-	-	-	-	39.31	-	Cojata
14	KELLOTACUNI	11	9.00	-	-	-	-	-	9.00	-	Cojata
15	MALLCUNUTA	23	100.00	-	-	-	-	-	100.00	-	Cojata
16	OCCOPAMPA	16	16.00	-	-	-	-	-	16.00	-	Cojata
17	QUENAJANI QUILLCAPATA	8	9.00	-	-	-	-	-	9.00	-	Cojata
18	COM. CAMP. EN FORMACION BAJO JAPO	-	1.00	-	-	-	-	-	1.00	-	Cojata
USOS INDIVIDUALES											
1	MARCOS QUISPE CALLISAYA	1	8.00	-	-	-	-	-	8.00	-	Cojata
2	TOMAS YAMPARA TITO	1	2.00	-	-	-	-	-	2.00	-	Cojata
3	MANUEL MARIANO SUXSO CHURA	1	1.00	-	-	-	-	-	1.00	-	Cojata
4	JUANA VICTORIA LOPEZ VDA. DE YAMPARA	1	2.00	-	-	-	-	-	2.00	-	Cojata
5	GUILLERMO Y LEONIDAS LOPEZ CALIZAYA	3	2.00	-	-	-	-	-	2.00	-	Cojata
6	JUAN QUISPE, EMILIO E HILARIA BRAVO	3	1.40	-	-	-	-	-	1.40	-	Cojata
Total		323	532.36	-	-	-	-	-	532.36	-	

Cuadro N° 9.12 Superficie de cedula de cultivo – Subcuenca Chueña Huata Jahuira

N°	Comité de Riego	N° Usuarios	Area Bajo Riego (ha)	Cultivos predominantes (ha)						Comisión de Regantes	
				Papa	Habas	Avena Forrajera	Cebada	Hortalizas	Pastos Naturales		Pastos Cultivados
1	SORAYCUCHO UMABAMBA ABAJO	18	8.00	-	-	-	-	-	8.00	-	Cojata
2	TOMAPIRHUA	30	5.00	-	-	-	-	-	5.00	-	Cojata
3	TOMAPIRHUA HUANACUYAPU	12	5.00	-	-	-	-	-	5.00	-	Cojata
4	UYULLANI TIRA - UMABAMBA	18	2.00	-	-	-	-	-	2.00	-	Cojata
USOS INDIVIDUALES											
1	GREGORIO SUXSO MAMANI	1	1.00	-	-	-	-	-	1.00	-	Cojata
2	SATURNINO MAMANI RAMIREZ	1	1.00	-	-	-	-	-	1.00	-	Cojata
3	JULIO SABINO TITO MACHACA	1	1.00	-	-	-	-	-	1.00	-	Cojata
4	VICENTE APAZA ANCCO	1	1.00	-	-	-	-	-	1.00	-	Cojata
5	CECILIO MAMANI CHALCO	1	1.00	-	-	-	-	-	1.00	-	Cojata
6	VICENTE QUISPE MAMANI	1	1.00	-	-	-	-	-	1.00	-	Cojata
Total		84	26.00	-	-	-	-	-	26.00	-	

Cuadro N° 9.13 Superficie de cedula de cultivo – Subcuenca Suches

N°	Comité de Riego	N° Usuarios	Area Bajo Riego (ha)	Cultivos predominantes (ha)						Comisión de Regantes	
				Papa	Habas	Avena Forrajera	Cebada	Hortalizas	Pastos Naturales		Pastos Cultivados
1	AURORA PIÑUNI	7	24.00	-	-	-	-	-	24.00	-	Cojata
2	PERLAS DE ORO	17	105.00	-	-	-	-	-	105.00	-	Cojata
3	PIÑUNI	14	69.76	-	-	-	-	-	69.76	-	Cojata
4	RIO SUCHES	15	26.00	-	-	-	-	-	26.00	-	Cojata
5	ALTO PIÑUNI	9	15.00	-	-	-	-	-	15.00	-	Cojata
6	KISCACOLLO PULLAPULLANI - BELLAPAMPA	13	45.00	-	-	-	-	-	45.00	-	Cojata
7	ÑIQUEPATA PULLAPULLANI	18	47.85	-	-	-	-	-	47.85	-	Cojata
8	ÑIQUEPATA PULLAPULLANI SECTOR ARRIBA	-	40.00	-	-	-	-	-	40.00	-	Cojata
9	NIPTON ÑIQUEPATA	-	5.16	-	-	-	-	-	5.16	-	Cojata
USOS INDIVIDUALES											
1	BENITO QUISPE IQUISE	1	15.00	-	-	-	-	-	15.00	-	Cojata
2	HIPÓLITO LOPEZ CCALA (Aurora Chuaña)	1	15.00	-	-	-	-	-	15.00	-	Cojata
Total		93	407.77	-	-	-	-	-	407.77	-	

9.2.1.2 Cedula de cultivo

En base a las áreas de cultivo disponibles en cada una de las subcuencas, se ha programado la cedula de cultivo de acuerdo al período vegetativo de cada especie existente en las cuencas Huancané y Suches. Información obtenida del PCR 2010-2011 ALA Huancané.

Para las subcuencas Alto Huancané, Pistune, Muñani y Medio Huancané, la cedula de cultivo programado de acuerdo al período vegetativo de cada especie, es la siguiente:

Papa : noviembre - mayo.
 Avena forrajera y Cebada : noviembre - abril.
 Hortalizas, pastos naturales y cultivados: todo el año.

Para las subcuencas Tuyto, Llache, Bajo Huancané, la cedula de cultivo programado de acuerdo al período vegetativo de cada especie, es la siguiente:

Papa : setiembre - marzo.
 Habas : agosto - marzo.
 Avena forrajera : octubre - marzo.
 Hortalizas, pastos naturales y cultivados: todo el año.

Para las subcuencas Trapiche, Caylloma, Chueña Huata Jahuirá y Suches, la cedula de cultivo de pastos naturales el período vegetativo es todo el año.

En los Cuadros N° 9.14 a 9.20 se presentan la cedula de cultivo representativa, donde muestra el calendario de siembra y cosecha de los cultivos en las subcuencas de la cuenca Huancané. Igualmente para las subcuencas de la cuenca Suches (Perú) en los Cuadros N° 9.21 a 9.24.

Cuadro N° 9.14 Cedula de cultivo (calendario de siembra y cosecha) - Subcuenca Alto Huancané

Cultivo	Área (ha)	Mes											
		Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul
Papa	3.30												
Avena forrajera	4.80												
Cebada	2.20												
Pastos naturales	292.90												
Pastos cultivados	10.70												
Total	313.90												

Cuadro N° 9.15 Cedula de cultivo (calendario de siembra y cosecha) - Subcuenca Pistune

Cultivo	Área (ha)	Mes											
		Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul
Papa	3.00												
Avena forrajera	9.00												
Cebada	0.46												
Pastos naturales	362.76												
Pastos cultivados	14.00												
Total	389.22												

Cuadro N° 9.16 Cedula de cultivo (calendario de siembra y cosecha) - Subcuenca Muñani

Cultivo	Área (ha)	Mes											
		Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul
Papa	14.50												
Avena forrajera	20.00												
Cebada	3.50												
Pastos naturales	645.00												
Pastos cultivados	68.00												
Total	751.00												

Cuadro N° 9.17 Cedula de cultivo (calendario de siembra y cosecha) - Subcuenca Medio Huancané

Cultivo	Área (ha)	Mes											
		Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul
Papa	7.20												
Avena forrajera	8.00												
Hortalizas	0.80												
Pastos naturales	142.30												
Pastos cultivados	14.20												
Total	172.50												

Cuadro N° 9.18 Cedula de cultivo (calendario de siembra y cosecha) - Subcuenca Tuyto

Cultivo	Área (ha)	Mes											
		Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul
Papa	50.00												
Habas	14.10												
Avena forrajera	29.70												
Hortalizas	1.50												
Pastos naturales	316.80												
Pastos cultivados	112.90												
Total	525.00												

Cuadro N° 9.19 Cedula de cultivo (calendario de siembra y cosecha) - Subcuenca Llache

Cultivo	Área (ha)	Mes											
		Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul
Papa	10.50												
Habas	0.50												
Avena forrajera	7.00												
Hortalizas	2.70												
Pastos naturales	91.90												
Pastos cultivados	39.40												
Total	152.00												

Cuadro N° 9.20 Cedula de cultivo (calendario de siembra y cosecha) - Subcuenca Bajo Huancané

Cultivo	Área (ha)	Mes											
		Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul
Papa	11.30												
Habas	14.70												
Avena forrajera	1.80												
Hortalizas	0.80												
Pastos naturales	9.40												
Pastos cultivados	4.00												
Total	42.00												

Cuadro N° 9.21 Cedula de cultivo (calendario de siembra y cosecha) - Subcuenca Trapiche

Cultivo	Área (ha)	Mes											
		Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul
Papa													
Habas													
Avena forrajera													
Hortalizas													
Pastos naturales	392.30												
Pastos cultivados													
Total	392.30												

Cuadro N° 9.22 Cedula de cultivo (calendario de siembra y cosecha) - Subcuenca Caylloma

Cultivo	Área (ha)	Mes											
		Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul
Papa													
Habas													
Avena forrajera													
Hortalizas													
Pastos naturales	532.36												
Pastos cultivados													
Total	532.36												

Cuadro N° 9.23 Cedula de cultivo (calendario de siembra y cosecha) - Subcuenca Chueña Huata Jahuira

Cultivo	Área (ha)	Mes											
		Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul
Papa													
Habas													
Avena forrajera													
Hortalizas													
Pastos naturales	26.00												
Pastos cultivados													
Total	26.00												

Cuadro N° 9.24 Cedula de cultivo (calendario de siembra y cosecha) - Subcuenca Suches

Cultivo	Área (ha)	Mes											
		Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul
Papa													
Habas													
Avena forrajera													
Hortalizas													
Pastos naturales	407.77												
Pastos cultivados													
Total	407.77												

9.2.1.3 Coeficiente de cultivo (Kc)

Los coeficiente de uso consuntivo (Kc) de cada uno de los cultivos considerados en las cédulas de cultivo, corresponden a los mismos valores del Plan de Cultivo y Riego de la campaña agrícola 2010-2011, información proporcionada por la Administración Local de Agua Huancané, estos valores están previstos para las diferentes fases del período vegetativo de los cultivos.

En el presente estudio, se ha determinado el coeficiente de cultivo ponderado (Kcp) para el cálculo de la demanda de agua por subcuencas, el cual corresponde a la sumatoria de Kcp de cada cultivo en el mes. El Kcp para cada cultivo resulta al multiplicar el coeficiente Kc por el área de cada cultivo y dividido por el área total de riego correspondiente al mes, en forma similar se obtiene para otros meses del año.

En los Cuadros N° 9.25 a 9.31 se muestran los coeficientes de cultivo Kc y Kcp para cada mes, para las subcuencas de la cuenca del río Huancané. Igualmente para las subcuencas de la cuenca del río Suches (Perú) se muestran en los Cuadros N° 9.32 a 9.35.

Cuadro N° 9.25 Coeficientes de cultivo ponderado (Kcp) - Subcuenca Alto Huancané

Cultivo	Área (ha)	Mes																							
		Ago		Sep		Oct		Nov		Dic		Ene		Feb		Mar		Abr		May		Jun		Jul	
		Kc	Kcp																						
Papa	3.30							0.52	0.01	0.75	0.01	1.00	0.01	1.00	0.01	0.73	0.01	0.69	0.01	0.57	0.01				
Avena forrajera	4.80							0.64	0.01	0.84	0.01	1.04	0.02	1.07	0.02	0.80	0.01	0.18	0.00						
Cebada	2.20							0.58	0.00	0.83	0.01	1.05	0.01	1.07	0.01	0.67	0.00	0.16	0.00						
Pastos naturales	292.90	0.71	0.68	0.84	0.81	0.89	0.86	0.90	0.84	0.90	0.84	0.80	0.75	0.83	0.77	0.88	0.82	0.90	0.84	0.90	0.86	0.90	0.87	0.63	0.61
Pastos cultivados	10.70	0.83	0.03	0.96	0.03	1.01	0.04	1.00	0.03	0.98	0.03	0.80	0.03	0.84	0.03	0.95	0.03	0.99	0.03	1.01	0.04	0.98	0.03	0.77	0.03
Área y Kp	313.90	303.60	0.71	303.60	0.84	303.60	0.90	313.90	0.89	313.90	0.90	313.90	0.82	313.90	0.84	313.90	0.87	313.90	0.88	306.90	0.91	303.60	0.90	303.60	0.64

Cuadro N° 9.26 Coeficientes de cultivo ponderado (Kcp) - Subcuenca Pistune

Cultivo	Área (ha)	Mes																							
		Ago		Sep		Oct		Nov		Dic		Ene		Feb		Mar		Abr		May		Jun		Jul	
		Kc	Kcp																						
Papa	3.00							0.52	0.00	0.75	0.01	1.00	0.01	1.00	0.01	0.73	0.01	0.69	0.01	0.57	0.00				
Avena forrajera	9.00							0.64	0.01	0.84	0.02	1.04	0.02	1.07	0.02	0.80	0.02	0.18	0.00						
Cebada	0.46							0.58	0.00	0.83	0.00	1.05	0.00	1.07	0.00	0.67	0.00	0.16	0.00						
Pastos naturales	362.76	0.71	0.68	0.84	0.81	0.89	0.86	0.90	0.84	0.90	0.84	0.80	0.75	0.83	0.77	0.88	0.82	0.90	0.84	0.90	0.86	0.90	0.87	0.63	0.61
Pastos cultivados	14.00	0.83	0.03	0.96	0.04	1.01	0.04	1.00	0.04	0.98	0.04	0.80	0.03	0.84	0.03	0.95	0.03	0.99	0.04	1.01	0.04	0.98	0.04	0.77	0.03
Área y Kp	389.22	376.76	0.71	376.76	0.85	376.76	0.90	389.22	0.89	389.22	0.91	389.22	0.81	389.22	0.83	389.22	0.88	389.22	0.89	379.76	0.90	376.76	0.91	376.76	0.64

Cuadro N° 9.27 Coeficientes de cultivo ponderado (Kcp) - Subcuenca Muñani

Cultivo	Área (ha)	Mes																							
		Ago		Sep		Oct		Nov		Dic		Ene		Feb		Mar		Abr		May		Jun		Jul	
		Kc	Kcp																						
Papa	14.50							0.52	0.01	0.75	0.01	1.00	0.02	1.00	0.02	0.73	0.01	0.69	0.01	0.57	0.01				
Avena forrajera	20.00							0.64	0.02	0.84	0.02	1.04	0.03	1.07	0.03	0.80	0.02	0.18	0.00						
Cebada	3.50							0.58	0.00	0.83	0.00	1.05	0.00	1.07	0.00	0.67	0.00	0.16	0.00						
Pastos naturales	645.00	0.71	0.64	0.84	0.76	0.89	0.81	0.90	0.77	0.90	0.77	0.80	0.69	0.83	0.71	0.88	0.76	0.90	0.77	0.90	0.80	0.90	0.81	0.63	0.57
Pastos cultivados	68.00	0.83	0.08	0.96	0.09	1.01	0.10	1.00	0.09	0.98	0.09	0.80	0.07	0.84	0.08	0.95	0.09	0.99	0.09	1.01	0.09	0.98	0.09	0.77	0.07
Área y Kp	751.00	713.00	0.72	713.00	0.85	713.00	0.91	751.00	0.89	751.00	0.89	751.00	0.81	751.00	0.84	751.00	0.88	751.00	0.87	727.50	0.90	713.00	0.90	713.00	0.64

Cuadro N° 9.28 Coeficientes de cultivo ponderado (Kcp) - Subcuenca Medio Huancané

Cultivo	Área (ha)	Mes																							
		Ago		Sep		Oct		Nov		Dic		Ene		Feb		Mar		Abr		May		Jun		Jul	
		Kc	Kcp																						
Papa	7.20							0.52	0.02	0.75	0.03	1.00	0.04	1.00	0.04	0.73	0.03	0.69	0.03	0.57	0.02				
Avena forrajera	8.00							0.64	0.03	0.84	0.04	1.04	0.05	1.07	0.05	0.80	0.04	0.18	0.01						
Hortalizas	0.80	0.98	0.00	0.98	0.00	0.98	0.00	0.98	0.00	0.98	0.00	0.98	0.00	0.98	0.00	0.98	0.00	0.98	0.00	0.98	0.00	0.98	0.00	0.98	0.00
Pastos naturales	142.30	0.71	0.64	0.84	0.76	0.89	0.81	0.90	0.74	0.90	0.74	0.80	0.66	0.83	0.68	0.88	0.73	0.90	0.74	0.90	0.78	0.90	0.81	0.63	0.57
Pastos cultivados	14.20	0.83	0.07	0.96	0.09	1.01	0.09	1.00	0.08	0.98	0.08	0.80	0.07	0.84	0.07	0.95	0.08	0.99	0.08	1.01	0.09	0.98	0.09	0.77	0.07
Área y Kp	172.50	157.30	0.71	157.30	0.85	157.30	0.90	172.50	0.87	172.50	0.89	172.50	0.82	172.50	0.84	172.50	0.88	172.50	0.86	164.50	0.89	157.30	0.90	157.30	0.64

Cuadro N° 9.29 Coeficientes de cultivo ponderado (Kcp) - Subcuenca Tuyto

Cultivo	Área (ha)	Mes																							
		Ago		Sep		Oct		Nov		Dic		Ene		Feb		Mar		Abr		May		Jun		Jul	
		Kc	Kcp																						
Papa	50.00			0.52	0.05	0.75	0.07	1.00	0.10	1.00	0.10	0.73	0.07	0.69	0.07	0.57	0.05								
Habas	14.10	0.73	0.02	0.74	0.02	0.76	0.02	0.87	0.02	1.06	0.03	1.09	0.03	0.57	0.02	0.52	0.01								
Avena forrajera	29.70					0.64	0.04	0.84	0.05	1.04	0.06	1.07	0.06	0.80	0.05	0.18	0.01								
Hortalizas	1.50	0.98	0.00	0.98	0.00	0.98	0.00	0.98	0.00	0.98	0.00	0.98	0.00	0.98	0.00	0.98	0.00	0.98	0.00	0.98	0.00	0.98	0.00	0.98	0.00
Pastos naturales	316.80	0.71	0.51	0.84	0.54	0.89	0.54	0.90	0.54	0.90	0.54	0.80	0.48	0.83	0.50	0.88	0.53	0.90	0.66	0.90	0.66	0.90	0.66	0.63	0.46
Pastos cultivados	112.90	0.83	0.21	0.96	0.22	1.01	0.22	1.00	0.22	0.98	0.21	0.80	0.17	0.84	0.18	0.95	0.20	0.99	0.26	1.01	0.26	0.98	0.26	0.77	0.20
Área y Kp	525.00	445.30	0.74	495.30	0.83	525.00	0.89	525.00	0.93	525.00	0.94	525.00	0.81	525.00	0.82	525.00	0.80	431.20	0.92	431.20	0.92	431.20	0.92	431.20	0.66

Cuadro N° 9.30 Coeficientes de cultivo ponderado (Kcp) - Subcuenca Llache

Cultivo	Área (ha)	Mes																							
		Ago		Sep		Oct		Nov		Dic		Ene		Feb		Mar		Abr		May		Jun		Jul	
		Kc	Kcp																						
Papa	10.50			0.52	0.04	0.75	0.05	1.00	0.07	1.00	0.07	0.73	0.05	0.69	0.05	0.57	0.04								
Habas	0.50	0.73	0.00	0.74	0.00	0.76	0.00	0.87	0.00	1.06	0.00	1.09	0.00	0.57	0.00	0.52	0.00								
Avena forrajera	7.00					0.64	0.03	0.84	0.04	1.04	0.05	1.07	0.05	0.80	0.04	0.18	0.01								
Hortalizas	2.70	0.98	0.02	0.98	0.02	0.98	0.02	0.98	0.02	0.98	0.02	0.98	0.02	0.98	0.02	0.98	0.02	0.98	0.02	0.98	0.02	0.98	0.02	0.98	0.02
Pastos naturales	91.90	0.71	0.49	0.84	0.53	0.89	0.54	0.90	0.54	0.90	0.54	0.80	0.48	0.83	0.50	0.88	0.53	0.90	0.62	0.90	0.62	0.90	0.62	0.63	0.43
Pastos cultivados	39.40	0.83	0.24	0.96	0.26	1.01	0.26	1.00	0.26	0.98	0.25	0.80	0.21	0.84	0.22	0.95	0.25	0.99	0.29	1.01	0.30	0.98	0.29	0.77	0.23
Área y Kp	152.00	134.50	0.75	145.00	0.85	152.00	0.90	152.00	0.93	152.00	0.93	152.00	0.81	152.00	0.83	152.00	0.85	134.00	0.93	134.00	0.94	134.00	0.93	134.00	0.68

Cuadro N° 9.31 Coeficientes de cultivo ponderado (Kcp) - Subcuenca Bajo Huancané

Cultivo	Área (ha)	Mes																							
		Ago		Sep		Oct		Nov		Dic		Ene		Feb		Mar		Abr		May		Jun		Jul	
		Kc	Kcp																						
Papa	11.30			0.52	0.15	0.75	0.20	1.00	0.27	1.00	0.27	0.73	0.20	0.69	0.19	0.57	0.15								
Habas	14.70	0.73	0.37	0.74	0.27	0.76	0.27	0.87	0.30	1.06	0.37	1.09	0.38	0.57	0.20	0.52	0.18								
Avena forrajera	1.80					0.64	0.03	0.84	0.04	1.04	0.04	1.07	0.05	0.80	0.03	0.18	0.01								
Hortalizas	0.80	0.98	0.03	0.98	0.02	0.98	0.02	0.98	0.02	0.98	0.02	0.98	0.02	0.98	0.02	0.98	0.02	0.98	0.06	0.98	0.06	0.98	0.06	0.98	0.06
Pastos naturales	9.40	0.71	0.23	0.84	0.20	0.89	0.20	0.90	0.20	0.90	0.20	0.80	0.18	0.83	0.19	0.88	0.20	0.90	0.60	0.90	0.60	0.90	0.60	0.63	0.42
Pastos cultivados	4.00	0.83	0.11	0.96	0.10	1.01	0.10	1.00	0.10	0.98	0.09	0.80	0.08	0.84	0.08	0.95	0.09	0.99	0.28	1.01	0.28	0.98	0.28	0.77	0.22
Área y Kp	42.00	28.90	0.74	40.20	0.74	42.00	0.82	42.00	0.93	42.00	0.99	42.00	0.91	42.00	0.71	42.00	0.65	14.20	0.94	14.20	0.94	14.20	0.94	14.20	0.70

Cuadro N° 9.32 Coeficientes de cultivo ponderado (Kcp) - Subcuenca Trapiche

Cultivo	Área (ha)	Mes																							
		Ago		Sep		Oct		Nov		Dic		Ene		Feb		Mar		Abr		May		Jun		Jul	
		Kc	Kcp																						
Papa																									
Habas																									
Avena forrajera																									
Hortalizas																									
Pastos naturales	392.30	0.71	0.71	0.84	0.84	0.89	0.89	0.90	0.90	0.90	0.90	0.80	0.80	0.83	0.83	0.88	0.88	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.63	0.63
Pastos cultivados																									
Área y Kp	392.30	392.30	0.71	392.30	0.84	392.30	0.89	392.30	0.90	392.30	0.90	392.30	0.80	392.30	0.83	392.30	0.88	392.30	0.90	392.30	0.90	392.30	0.90	392.30	0.63

Cuadro N° 9.33 Coeficientes de cultivo ponderado (Kcp) - Subcuenca Caylloma

Cultivo	Área (ha)	Mes																							
		Ago		Sep		Oct		Nov		Dic		Ene		Feb		Mar		Abr		May		Jun		Jul	
		Kc	Kcp																						
Papa																									
Habas																									
Avena forrajera																									
Hortalizas																									
Pastos naturales	532.36	0.71	0.71	0.84	0.84	0.89	0.89	0.90	0.90	0.90	0.90	0.80	0.80	0.83	0.83	0.88	0.88	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.63	0.63
Pastos cultivados																									
Área y Kp	532.36	532.36	0.71	532.36	0.84	532.36	0.89	532.36	0.90	532.36	0.90	532.36	0.80	532.36	0.83	532.36	0.88	532.36	0.90	532.36	0.90	532.36	0.90	532.36	0.63

Cuadro N° 9.34 Coeficientes de cultivo ponderado (Kcp) - Subcuenca Chueña Huata Jahuirá

Cultivo	Área (ha)	Mes																							
		Ago		Sep		Oct		Nov		Dic		Ene		Feb		Mar		Abr		May		Jun		Jul	
		Kc	Kcp																						
Papa																									
Habas																									
Avena forrajera																									
Hortalizas																									
Pastos naturales	26.00	0.71	0.71	0.84	0.84	0.89	0.89	0.90	0.90	0.90	0.90	0.80	0.80	0.83	0.83	0.88	0.88	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.63	0.63
Pastos cultivados																									
Área y Kp	26.00	26.00	0.71	26.00	0.84	26.00	0.89	26.00	0.90	26.00	0.90	26.00	0.80	26.00	0.83	26.00	0.88	26.00	0.90	26.00	0.90	26.00	0.90	26.00	0.63

Cuadro N° 9.35 Coeficientes de cultivo ponderado (Kcp) - Subcuenca Suches

Cultivo	Área (ha)	Mes																							
		Ago		Sep		Oct		Nov		Dic		Ene		Feb		Mar		Abr		May		Jun		Jul	
		Kc	Kcp																						
Papa																									
Habas																									
Avena forrajera																									
Hortalizas																									
Pastos naturales	407.77	0.71	0.71	0.84	0.84	0.89	0.89	0.90	0.90	0.90	0.90	0.80	0.80	0.83	0.83	0.88	0.88	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.63	0.63
Pastos cultivados																									
Área y Kp	407.77	407.77	0.71	407.77	0.84	407.77	0.89	407.77	0.90	407.77	0.90	407.77	0.80	407.77	0.83	407.77	0.88	407.77	0.90	407.77	0.90	407.77	0.90	407.77	0.63

9.2.1.4 Evapotranspiración potencial (ETP)

Con la información de evapotranspiración potencial calculada para cada estación meteorológica en el capítulo 4, ítem 4.1.7.4, se ha calculado la evapotranspiración potencial areal para cada subcuenca de las cuencas Huancané y Suches, empleando el método de Polígonos de Thiessen. Ver Cuadros N° 9.36 y 9.37.

Cuadro N° 9.36 Evapotranspiración potencial areal (mm) - Cuenca Huancané

Subcuenca	Mes													Total anual
	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul		
Alto Huancané	91.6	92.8	101.6	96.8	92.1	84.0	78.0	86.6	83.1	83.4	76.6	75.9	1042.5	
Pistune	106.3	106.0	119.0	111.8	107.3	93.4	86.3	96.5	93.2	92.0	87.0	82.4	1181.2	
Muñani	127.0	130.1	136.2	129.9	120.2	107.3	97.9	107.8	105.0	109.5	100.1	111.3	1382.3	
Medio Huancané	109.1	106.5	124.9	115.5	112.8	95.8	89.0	102.0	98.1	95.8	94.8	83.7	1228.1	
Tuyto	101.8	107.4	116.6	111.1	104.3	94.9	85.9	93.2	89.1	86.7	76.4	81.8	1149.2	
Lache	108.9	108.1	125.9	117.1	113.5	96.9	89.8	101.9	97.9	95.6	93.3	84.6	1233.5	
Bajo Huancané	107.6	119.7	133.0	129.0	118.7	105.1	95.8	101.4	96.6	94.6	82.2	90.8	1274.4	

Cuadro N° 9.37 Evapotranspiración potencial areal (mm) - Cuenca Suches

Subcuenca	Mes												Total anual
	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	
Trapiche	81.0	82.9	85.6	83.5	78.4	75.7	70.4	76.7	73.5	74.7	65.1	68.6	916.1
Caylloma	92.2	91.6	94.0	90.5	85.3	79.6	73.4	80.2	78.2	79.6	70.3	72.5	987.4
Chueña Huata Jahuira	100.1	97.5	99.2	94.8	89.6	82.2	75.3	82.5	81.3	82.8	73.8	75.0	1034.1
Suches (lugar Cuchaulla)	91.2	90.6	92.8	89.5	84.3	79.2	73.0	79.8	77.6	79.0	69.7	72.1	978.8

9.2.1.5 Evapotranspiración de cultivo (ETc)

Llamado también evapotranspiración real de cultivo, se obtiene multiplicando el coeficiente de cultivo (Kcp) con la evapotranspiración potencial del mes correspondiente.

La ecuación de evapotranspiración de cultivo es la siguiente:

$$ETc = Kcp \times ETP$$

Donde:

ETc = Evapotranspiración de cultivo (mm).

Kcp = Coeficiente de cultivo ponderado.

ETP = Evapotranspiración potencial (mm).

Los resultados se muestran en adelante, en los cuadros de cálculo de demandas de agua para cada una de las subcuencas de estudio.

9.2.1.6 Precipitación efectiva (PE)

La precipitación efectiva es aquella fracción de la precipitación total que es aprovechada por las plantas. La otra fracción de la precipitación total que no es utilizada por el cultivo, se pierde por escorrentía, percolación profunda, evaporación, etc. Depende de múltiples factores como pueden ser la intensidad de la precipitación o la aridez del clima, y también de otros como la inclinación del terreno, contenido en humedad del suelo o velocidad de infiltración.

Para el cálculo de la precipitación efectiva se ha empleado el método del Water Power Resources Service (WPRS-USA), para ello se ha utilizado la precipitación areal mensual al 75% de persistencia determinadas con la fórmula de Weibull.

Tabla N° 9.1 Método de Water Power Resources Service (WPRS-USA) para determinar la precipitación efectiva

Incremento de la precipitación (mm)	Porcentaje de la precipitación efectiva
5	0
30	95
55	90
80	82
105	65
130	45
155	25
> 155	5

La precipitación mensual calculada al 75% de persistencia y la precipitación efectiva correspondiente para cada subcuenca de las cuencas Huancané y Suches, se muestran en los Cuadros N° 9.38 y 9.39.

Cuadro N° 9.38 Precipitación mensual al 75% de persistencia y precipitación efectiva (mm) - Cuenca Huancané

Subcuenca	Mes												Total anual
	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	
Subcuenca Alto Huancané													
Precipitación al 75% P.	1.8	14.8	30.2	40.0	74.6	100.8	81.5	72.8	30.5	6.2	0.1	0.2	453.5
Precipitación efectiva	0.0	9.3	23.9	32.8	62.3	80.3	67.7	60.8	24.2	1.1	0.0	0.0	362.4
Subcuenca Pistune													
Precipitación al 75% P.	2.6	18.3	35.4	45.9	74.0	115.2	81.7	70.9	25.9	3.4	0.2	0.4	473.9
Precipitación efectiva	0.0	12.6	28.6	38.1	61.8	87.6	67.9	59.3	19.9	0.0	0.0	0.0	375.8
Subcuenca Muñani													
Precipitación al 75% P.	0.4	9.9	29.4	36.9	63.2	105.9	76.7	65.9	24.4	2.3	0.0	0.0	415.0
Precipitación efectiva	0.0	4.7	23.2	30.0	53.0	83.4	64.0	55.2	18.4	0.0	0.0	0.0	331.9
Subcuenca Medio Huancané													
Precipitación al 75% P.	0.7	15.3	27.0	45.5	71.8	106.4	80.6	74.4	22.8	2.4	0.0	0.0	446.9
Precipitación efectiva	0.0	9.8	20.9	37.7	60.0	83.6	67.1	62.2	16.9	0.0	0.0	0.0	358.2
Subcuenca Tuyto													
Precipitación al 75% P.	2.8	20.4	37.6	44.5	83.1	124.0	86.8	76.9	30.3	6.0	0.5	0.1	513.0
Precipitación efectiva	0.0	14.6	30.6	36.8	68.8	91.6	71.2	64.2	24.0	1.0	0.0	0.0	402.8
Subcuenca Llache													
Precipitación al 75% P.	0.9	16.2	26.4	45.6	73.3	116.7	78.6	73.9	22.3	2.9	0.0	0.0	456.8
Precipitación efectiva	0.0	10.6	20.3	37.8	61.3	88.3	65.6	61.7	16.4	0.0	0.0	0.0	362.0
Subcuenca Bajo Huancané													
Precipitación al 75% P.	1.2	12.3	20.8	44.0	81.7	105.1	70.9	68.0	13.8	1.5	0.0	0.0	419.3
Precipitación efectiva	0.0	6.9	15.0	36.4	67.9	83.0	59.3	56.9	8.4	0.0	0.0	0.0	333.8

Cuadro N° 9.39 Precipitación mensual al 75% de persistencia y precipitación efectiva (mm) - Cuenca Suches

Subcuenca	Mes												Total anual
	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	
Subcuenca Trapiche													
Precipitación al 75% P.	1.2	16.1	25.7	33.7	50.5	87.7	65.9	66.1	24.2	5.3	0.3	0.3	377.0
Precipitación efectiva	0.0	10.5	19.7	27.1	42.2	71.8	55.2	55.4	18.2	0.3	0.0	0.0	300.4
Subcuenca Caylloma													
Precipitación al 75% P.	2.9	15.4	40.4	42.5	67.6	108.2	77.7	73.4	32.1	6.2	0.3	0.1	466.8
Precipitación efectiva	0.0	9.9	33.1	35.0	56.6	84.4	64.9	61.3	25.6	1.1	0.0	0.0	371.9
Subcuenca Chueña Huata Jahuira													
Precipitación al 75% P.	2.7	17.0	33.7	41.0	72.4	105.6	77.5	66.2	31.5	4.2	0.0	0.0	451.8
Precipitación efectiva	0.0	11.4	27.1	33.7	60.5	83.3	64.7	55.4	25.1	0.0	0.0	0.0	361.2
Subcuenca Suches (lugar Cuchaulla)													
Precipitación al 75% P.	2.3	17.1	35.0	43.4	62.6	104.8	68.7	69.0	30.6	6.3	0.5	0.3	440.6
Precipitación efectiva	0.0	11.5	28.3	35.8	52.5	82.9	57.5	57.7	24.3	1.2	0.0	0.0	351.7

9.2.1.7 Demanda hídrica neta (lámina de riego neta)

La lámina neta es la cantidad de agua que se debe aplicar durante el riego, con el fin de cubrir el agua que ha utilizado el cultivo durante la evapotranspiración. Se obtiene a través de la diferencia entre la evapotranspiración de cultivo (ETc) y la precipitación efectiva (PE).

$$L_n = ET_c - PE$$

Donde:

L_n = Lámina de riego neta o demanda hídrica neta (mm).

ET_c = Evapotranspiración de cultivo (mm).

PE = Precipitación efectiva (mm).

Los resultados se muestran en adelante, en los cuadros de cálculo de la demanda de agua para cada una de las subcuencas de estudio.

9.2.1.8 Eficiencia de riego (E_r)

La eficiencia del riego es la relación o porcentaje entre el volumen de agua efectivamente utilizado por las plantas y el volumen de agua de la fuente de captación. Del volumen de agua de la fuente de captación de un sistema de riego, una parte importante no es utilizada por las plantas. Las "pérdidas" pueden ser en el sistema de conducción, distribución y aplicación, por infiltración, evaporación, evapotranspiración, fugas y operación errada de compuertas que ocasiona pérdidas de agua; y las pérdidas de agua en el interior de la parcela pueden ser por las técnicas de riego utilizada y las características geomorfológicas de la parcela.

En el presente estudio, la eficiencia de riego se ha utilizado el 45% para todas las subcuencas de estudio, esta información es obtenida del Plan de Cultivo y Riego de la campaña agrícola 2010-2011, proporcionada por la Administración Local de Agua Huancané.

9.2.1.9 Demanda hídrica bruta (lámina de riego bruta)

La lámina bruta es la cantidad total de agua que se tiene que dotar durante el riego. Se obtiene a través de la relación entre la lámina de riego neta y la eficiencia de riego. Es importante recalcar que la eficiencia de riego incluye pérdidas posibles de agua en el sistema.

La ecuación que determina la lámina bruta es la siguiente:

$$L_b = \left(\frac{L_n}{E_r} \right) \times 100$$

Donde:

L_b = Lámina de riego bruta o demanda hídrica bruta (mm).

L_n = Lámina de riego neta o demanda hídrica neta (mm).

E_r = Eficiencia de riego del sistema (%).

Los resultados se muestran en adelante, en los cuadros siguientes para cada una de las subcuencas de las cuencas Huancané y Suches.

Cuadro N° 9.40 Cálculo de demanda de agua del proyecto - Subcuenca Alto Huancané

Descripción	Mes											
	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul
Área cultivada (ha)	303.60	303.60	303.60	313.90	313.90	313.90	313.90	313.90	313.90	306.90	303.60	303.60
Coefficiente de cultivo ponderado (Kcp)	-	0.71	0.84	0.90	0.89	0.90	0.82	0.84	0.87	0.88	0.91	0.90
Evapotranspiración Potencial (ETP) (mm)	91.60	92.80	101.60	96.80	92.10	84.00	78.00	86.60	83.10	83.40	76.60	75.90
Evapotranspiración Real (ETc) (mm)	65.04	77.95	91.44	86.15	82.89	68.88	65.52	75.34	73.13	75.89	68.94	48.58
Precipitación media mensual al 75% de P. (mm)	1.80	14.80	30.20	40.00	74.60	100.80	81.50	72.80	30.50	6.20	0.10	0.20
Precipitación efectiva (PE) (mm)	0.00	9.30	23.90	32.80	62.30	80.30	67.70	60.80	24.20	1.10	0.00	0.00
Ascensión capilar (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Lámina de riego neta (Ln) (mm)	65.04	68.65	67.54	53.35	20.59	-11.42	-2.18	14.54	48.93	74.79	68.94	48.58
Eficiencia de riego (Er) (%)	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00
Lámina de riego bruta (Lb) (mm)	144.53	152.56	150.09	118.56	45.76	-25.38	-4.84	32.31	108.73	166.20	153.20	107.96
Modulo de riego (24 horas) (lt/s/ha)	0.54	0.59	0.56	0.46	0.17	0.00	0.00	0.12	0.42	0.62	0.59	0.40
Requerimiento total de caudal (Q24horas) (lt/s)	163.94	179.12	170.02	144.39	53.36	0.00	0.00	37.67	131.84	190.28	179.12	121.44
Requerimiento total de caudal (Q24horas) (m3/s)	0.16	0.18	0.17	0.14	0.05	0.00	0.00	0.04	0.13	0.19	0.18	0.12
Días del mes (días)	31	30	31	30	31	31	28	31	30	31	30	31
Requerimiento total de volumen (hm3)	0.43	0.47	0.46	0.36	0.13	0.00	0.00	0.11	0.34	0.51	0.47	0.32
Requerimiento total de volumen anual = 3.60 hm3												

Cuadro N° 9.41 Cálculo de demanda de agua del proyecto - Subcuenca Pistune

Descripción	Mes											
	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul
Área cultivada (ha)	376.76	376.76	376.76	389.22	389.22	389.22	389.22	389.22	389.22	379.76	376.76	376.76
Coefficiente de cultivo ponderado (Kcp)	-	0.71	0.85	0.90	0.89	0.91	0.81	0.83	0.88	0.89	0.90	0.91
Evapotranspiración Potencial (ETP) (mm)	106.30	106.00	119.00	111.80	107.30	93.40	86.30	96.50	93.20	92.00	87.00	82.40
Evapotranspiración Real (ETc) (mm)	75.47	90.10	107.10	99.50	97.64	75.65	71.63	84.92	82.95	82.80	79.17	52.74
Precipitación media mensual al 75% de P. (mm)	2.60	18.30	35.40	45.90	74.00	115.20	81.70	70.90	25.90	3.40	0.20	0.40
Precipitación efectiva (PE) (mm)	0.00	12.60	28.60	38.10	61.80	87.60	67.90	59.30	19.90	0.00	0.00	0.00
Ascensión capilar (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Lámina de riego neta (Ln) (mm)	75.47	77.50	78.50	61.40	35.84	-11.95	3.73	25.62	63.05	82.80	79.17	52.74
Eficiencia de riego (Er) (%)	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00
Lámina de riego bruta (Lb) (mm)	167.71	172.22	174.44	136.44	79.64	-26.56	8.29	56.93	140.11	184.00	175.93	117.20
Modulo de riego (24 horas) (lt/s/ha)	0.63	0.66	0.65	0.53	0.30	0.00	0.03	0.21	0.54	0.69	0.68	0.44
Requerimiento total de caudal (Q24horas) (lt/s)	237.36	248.66	244.89	206.29	116.77	0.00	11.68	81.74	210.18	262.03	256.20	165.77
Requerimiento total de caudal (Q24horas) (m3/s)	0.24	0.25	0.24	0.21	0.12	0.00	0.01	0.08	0.21	0.26	0.26	0.17
Días del mes (días)	31	30	31	30	31	31	28	31	30	31	30	31
Requerimiento total de volumen (hm3)	0.64	0.65	0.64	0.54	0.32	0.00	0.02	0.21	0.54	0.70	0.67	0.46
Requerimiento total de volumen anual = 5.39 hm3												

Cuadro N° 9.42 Cálculo de demanda de agua del proyecto - Subcuenca Muñani

Descripción	Mes											
	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul
Área cultivada (ha)	713.00	713.00	713.00	751.00	751.00	751.00	751.00	751.00	751.00	727.50	713.00	713.00
Coefficiente de cultivo ponderado (Kcp)	-	0.72	0.85	0.91	0.89	0.89	0.81	0.84	0.88	0.87	0.90	0.90
Evapotranspiración Potencial (ETP) (mm)	127.00	130.10	136.20	129.90	120.20	107.30	97.90	107.80	105.00	109.50	100.10	111.30
Evapotranspiración Real (ETc) (mm)	91.44	110.59	123.94	115.61	106.98	86.91	82.24	94.86	91.35	98.55	90.09	71.23
Precipitación media mensual al 75% de P. (mm)	0.40	9.90	29.40	36.90	63.20	105.90	76.70	65.90	24.40	2.30	0.00	0.00
Precipitación efectiva (PE) (mm)	0.00	4.70	23.20	30.00	53.00	83.40	64.00	55.20	18.40	0.00	0.00	0.00
Ascensión capilar (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Lámina de riego neta (Ln) (mm)	91.44	105.89	100.74	85.61	53.98	3.51	18.24	39.66	72.95	98.55	90.09	71.23
Eficiencia de riego (Er) (%)	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00
Lámina de riego bruta (Lb) (mm)	203.20	235.31	223.87	190.24	119.96	7.80	40.53	88.13	162.11	219.00	200.20	158.29
Modulo de riego (24 horas) (lt/s/ha)	0.76	0.91	0.84	0.73	0.45	0.03	0.17	0.33	0.63	0.82	0.77	0.59
Requerimiento total de caudal (Q24horas) (lt/s)	541.88	648.83	598.92	548.23	337.95	22.53	127.67	247.83	473.13	596.55	549.01	420.67
Requerimiento total de caudal (Q24horas) (m3/s)	0.54	0.65	0.60	0.55	0.34	0.02	0.13	0.25	0.47	0.60	0.55	0.42
Días del mes (días)	31	30	31	30	31	31	28	31	30	31	30	31
Requerimiento total de volumen (hm3)	1.45	1.68	1.61	1.43	0.91	0.05	0.31	0.67	1.22	1.61	1.43	1.12
Requerimiento total de volumen anual = 13.49 hm3												

Cuadro N° 9.43 Cálculo de demanda de agua del proyecto - Subcuenca Medio Huancané

Descripción	Mes											
	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul
Área cultivada (ha)	157.30	157.30	157.30	172.50	172.50	172.50	172.50	172.50	172.50	164.50	157.30	157.30
Coefficiente de cultivo ponderado (Kcp)	-	0.71	0.85	0.90	0.87	0.89	0.82	0.84	0.88	0.86	0.89	0.90
Evapotranspiración Potencial (ETP) (mm)	109.12	106.50	124.93	115.50	112.84	95.79	89.04	101.99	98.10	95.79	94.80	83.70
Evapotranspiración Real (ETc) (mm)	77.48	90.53	112.44	100.49	100.43	78.55	74.79	89.75	84.37	85.25	85.32	53.57
Precipitación media mensual al 75% de P. (mm)	0.70	15.30	27.00	45.50	71.80	106.40	80.60	74.40	22.80	2.40	0.00	0.00
Precipitación efectiva (PE) (mm)	0.00	9.80	20.90	37.70	60.00	83.60	67.10	62.20	16.90	0.00	0.00	0.00
Ascensión capilar (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Lámina de riego neta (Ln) (mm)	77.48	80.73	91.54	62.79	40.43	-5.05	7.69	27.55	67.47	85.25	85.32	53.57
Eficiencia de riego (Er) (%)	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00
Lámina de riego bruta (Lb) (mm)	172.18	179.40	203.42	139.53	89.84	-11.22	17.09	61.22	149.93	189.44	189.60	119.04
Módulo de riego (24 horas) (lt/s/ha)	0.64	0.69	0.76	0.54	0.34	0.00	0.07	0.23	0.58	0.71	0.73	0.44
Requerimiento total de caudal (Q24horas) (lt/s)	100.67	108.54	119.55	93.15	58.65	0.00	12.08	39.68	100.05	116.80	114.83	69.21
Requerimiento total de caudal (Q24horas) (m3/s)	0.10	0.11	0.12	0.09	0.06	0.00	0.01	0.04	0.10	0.12	0.11	0.07
Días del mes (días)	31	30	31	30	31	31	28	31	30	31	30	31
Requerimiento total de volumen (hm3)	0.27	0.29	0.32	0.23	0.16	0.00	0.02	0.11	0.26	0.32	0.29	0.19
Requerimiento total de volumen anual = 2.46 hm3												

Cuadro N° 9.44 Cálculo de demanda de agua del proyecto - Subcuenca Tuyto

Descripción	Mes											
	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul
Área cultivada (ha)	445.30	495.30	525.00	525.00	525.00	525.00	525.00	525.00	431.20	431.20	431.20	431.20
Coefficiente de cultivo ponderado (Kcp)	-	0.74	0.83	0.89	0.93	0.94	0.81	0.82	0.80	0.92	0.92	0.92
Evapotranspiración Potencial (ETP) (mm)	101.80	107.40	116.60	111.10	104.30	94.90	85.90	93.20	89.10	86.70	76.40	81.80
Evapotranspiración Real (ETc) (mm)	75.33	89.14	103.77	103.32	98.04	76.87	70.44	74.56	81.97	79.76	70.29	53.99
Precipitación media mensual al 75% de P. (mm)	2.80	20.40	37.60	44.50	83.10	124.00	86.80	76.90	30.30	6.00	0.50	0.10
Precipitación efectiva (PE) (mm)	0.00	14.60	30.60	36.80	68.80	91.60	71.20	64.20	24.00	1.00	0.00	0.00
Ascensión capilar (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Lámina de riego neta (Ln) (mm)	75.33	74.54	73.17	66.52	29.24	-14.73	-0.76	10.36	57.97	78.76	70.29	53.99
Eficiencia de riego (Er) (%)	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00
Lámina de riego bruta (Lb) (mm)	167.40	165.64	162.60	147.82	64.98	-32.73	-1.69	23.02	128.82	175.02	156.20	119.98
Módulo de riego (24 horas) (lt/s/ha)	0.63	0.64	0.61	0.57	0.24	0.00	0.00	0.09	0.50	0.65	0.60	0.45
Requerimiento total de caudal (Q24horas) (lt/s)	280.54	316.99	320.25	299.25	126.00	0.00	0.00	47.25	215.60	280.28	258.72	194.04
Requerimiento total de caudal (Q24horas) (m3/s)	0.28	0.32	0.32	0.30	0.13	0.00	0.00	0.05	0.22	0.28	0.26	0.19
Días del mes (días)	31	30	31	30	31	31	28	31	30	31	30	31
Requerimiento total de volumen (hm3)	0.75	0.83	0.86	0.78	0.35	0.00	0.00	0.13	0.57	0.75	0.67	0.51
Requerimiento total de volumen anual = 6.20 hm3												

Cuadro N° 9.45 Cálculo de demanda de agua del proyecto - Subcuenca Llache

Descripción	Mes											
	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul
Área cultivada (ha)	134.50	145.00	152.00	152.00	152.00	152.00	152.00	152.00	134.00	134.00	134.00	134.00
Coefficiente de cultivo ponderado (Kcp)	-	0.75	0.85	0.90	0.93	0.93	0.81	0.83	0.85	0.93	0.94	0.93
Evapotranspiración Potencial (ETP) (mm)	108.90	108.10	125.90	117.10	113.50	96.90	89.80	101.90	97.90	95.60	93.30	84.60
Evapotranspiración Real (ETc) (mm)	81.68	91.89	113.31	108.90	105.56	78.49	74.53	86.62	91.05	89.86	86.77	57.53
Precipitación media mensual al 75% de P. (mm)	0.90	16.20	26.40	45.60	73.30	116.70	78.60	73.90	22.30	2.90	0.00	0.00
Precipitación efectiva (PE) (mm)	0.00	10.60	20.30	37.80	61.30	88.30	65.60	61.70	16.40	0.00	0.00	0.00
Ascensión capilar (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Lámina de riego neta (Ln) (mm)	81.68	81.29	93.01	71.10	44.26	-9.81	8.93	24.92	74.65	89.86	86.77	57.53
Eficiencia de riego (Er) (%)	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00
Lámina de riego bruta (Lb) (mm)	181.51	180.64	206.69	158.00	98.36	-21.80	19.84	55.38	165.89	199.69	192.82	127.84
Módulo de riego (24 horas) (lt/s/ha)	0.68	0.70	0.77	0.61	0.37	0.00	0.08	0.21	0.64	0.75	0.74	0.48
Requerimiento total de caudal (Q24horas) (lt/s)	91.46	101.50	117.04	92.72	56.24	0.00	12.16	31.92	85.76	100.50	99.16	64.32
Requerimiento total de caudal (Q24horas) (m3/s)	0.09	0.10	0.12	0.09	0.06	0.00	0.01	0.03	0.09	0.10	0.10	0.06
Días del mes (días)	31	30	31	30	31	31	28	31	30	31	30	31
Requerimiento total de volumen (hm3)	0.24	0.26	0.32	0.23	0.16	0.00	0.02	0.08	0.23	0.27	0.26	0.16
Requerimiento total de volumen anual = 2.23 hm3												

Cuadro N° 9.46 Cálculo de demanda de agua del proyecto - Subcuenca Bajo Huancané

Descripción	Mes											
	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul
Área cultivada (ha)	28.90	40.20	42.00	42.00	42.00	42.00	42.00	42.00	14.20	14.20	14.20	14.20
Coefficiente de cultivo ponderado (Kcp)	-	0.74	0.74	0.82	0.93	0.99	0.91	0.71	0.65	0.94	0.94	0.70
Evapotranspiración Potencial (ETP) (mm)	107.57	119.70	132.99	129.00	118.73	105.09	95.76	101.37	96.60	94.55	82.20	90.83
Evapotranspiración Real (ETc) (mm)	79.60	88.58	109.05	119.97	117.54	95.63	67.99	65.89	90.80	88.88	77.27	63.58
Precipitación media mensual al 75% de P. (mm)	1.20	12.30	20.80	44.00	81.70	105.10	70.90	68.00	13.80	1.50	0.00	0.00
Precipitación efectiva (PE) (mm)	0.00	6.90	15.00	36.40	67.90	83.00	59.30	56.90	8.40	0.00	0.00	0.00
Ascensión capilar (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Lámina de riego neta (Ln) (mm)	79.60	81.68	94.05	83.57	49.64	12.63	8.69	8.99	82.40	88.88	77.27	63.58
Eficiencia de riego (Er) (%)	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00
Lámina de riego bruta (Lb) (mm)	176.89	181.51	209.00	185.71	110.31	28.07	19.31	19.98	183.11	197.51	171.71	141.29
Módulo de riego (24 horas) (lt/s/ha)	0.66	0.70	0.78	0.72	0.41	0.10	0.08	0.07	0.71	0.74	0.66	0.53
Requerimiento total de caudal (Q24horas) (lt/s)	19.07	28.14	32.76	30.24	17.22	4.20	3.36	2.94	10.08	10.51	9.37	7.53
Requerimiento total de caudal (Q24horas) (m3/s)	0.02	0.03	0.03	0.03	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01
Días del mes (días)	31	30	31	30	31	31	28	31	30	31	30	31
Requerimiento total de volumen (hm3)	0.05	0.08	0.08	0.08	0.05	0.00	0.00	0.00	0.03	0.03	0.03	0.03
Requerimiento total de volumen anual = 0.46 hm3												

Cuadro N° 9.47 Cálculo de demanda de agua del proyecto - Subcuenca Trapiche

Descripción	Mes											
	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul
Área cultivada (ha)	392.30	392.30	392.30	392.30	392.30	392.30	392.30	392.30	392.30	392.30	392.30	392.30
Coefficiente de cultivo ponderado (Kcp)	-	0.71	0.84	0.89	0.90	0.90	0.80	0.83	0.88	0.90	0.90	0.63
Evapotranspiración Potencial (ETP) (mm)	81.00	82.90	85.60	83.50	78.40	75.70	70.40	76.70	73.50	74.70	65.10	68.60
Evapotranspiración Real (ETc) (mm)	57.51	69.64	76.18	75.15	70.56	60.56	58.43	67.50	66.15	67.23	58.59	43.22
Precipitación media mensual al 75% de P. (mm)	1.20	16.10	25.70	33.70	50.50	87.70	65.90	66.10	24.20	5.30	0.30	0.30
Precipitación efectiva (PE) (mm)	0.00	10.50	19.70	27.10	42.20	71.80	55.20	55.40	18.20	0.30	0.00	0.00
Ascensión capilar (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Lámina de riego neta (Ln) (mm)	57.51	59.14	56.48	48.05	28.36	-11.24	3.23	12.10	47.95	66.93	58.59	43.22
Eficiencia de riego (Er) (%)	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00
Lámina de riego bruta (Lb) (mm)	127.80	131.42	125.51	106.78	63.02	-24.98	7.18	26.89	106.56	148.73	130.20	96.04
Módulo de riego (24 horas) (lt/s/ha)	0.48	0.51	0.47	0.41	0.24	0.00	0.03	0.10	0.41	0.56	0.50	0.36
Requerimiento total de caudal (Q24horas) (lt/s)	188.30	200.07	184.38	160.84	94.15	0.00	11.77	39.23	160.84	219.69	196.15	141.23
Requerimiento total de caudal (Q24horas) (m3/s)	0.19	0.20	0.18	0.16	0.09	0.00	0.01	0.04	0.16	0.22	0.20	0.14
Días del mes (días)	31	30	31	30	31	31	28	31	30	31	30	31
Requerimiento total de volumen (hm3)	0.51	0.52	0.48	0.41	0.24	0.00	0.02	0.11	0.41	0.59	0.52	0.37
Requerimiento total de volumen anual = 4.18 hm3												

Cuadro N° 9.48 Cálculo de demanda de agua del proyecto - Subcuenca Caylloma

Descripción	Mes											
	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul
Área cultivada (ha)	532.36	532.36	532.36	532.36	532.36	532.36	532.36	532.36	532.36	532.36	532.36	532.36
Coefficiente de cultivo ponderado (Kcp)	-	0.71	0.84	0.89	0.90	0.90	0.80	0.83	0.88	0.90	0.90	0.63
Evapotranspiración Potencial (ETP) (mm)	92.20	91.60	94.00	90.50	85.30	79.60	73.40	80.20	78.20	79.60	70.30	72.50
Evapotranspiración Real (ETc) (mm)	65.46	76.94	83.66	81.45	76.77	63.68	60.92	70.58	70.38	71.64	63.27	45.68
Precipitación media mensual al 75% de P. (mm)	2.90	15.40	40.40	42.50	67.60	108.20	77.70	73.40	32.10	6.20	0.30	0.10
Precipitación efectiva (PE) (mm)	0.00	9.90	33.10	35.00	56.60	84.40	64.90	61.30	25.60	1.10	0.00	0.00
Ascensión capilar (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Lámina de riego neta (Ln) (mm)	65.46	67.04	50.56	46.45	20.17	-20.72	-3.98	9.28	44.78	70.54	63.27	45.68
Eficiencia de riego (Er) (%)	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00
Lámina de riego bruta (Lb) (mm)	145.47	148.98	112.36	103.22	44.82	-46.04	-8.84	20.62	99.51	156.76	140.60	101.51
Módulo de riego (24 horas) (lt/s/ha)	0.54	0.57	0.42	0.40	0.17	0.00	0.00	0.08	0.38	0.59	0.54	0.38
Requerimiento total de caudal (Q24horas) (lt/s)	287.47	303.45	223.59	212.94	90.50	0.00	0.00	42.59	202.30	314.09	287.47	202.30
Requerimiento total de caudal (Q24horas) (m3/s)	0.29	0.30	0.22	0.21	0.09	0.00	0.00	0.04	0.20	0.31	0.29	0.20
Días del mes (días)	31	30	31	30	31	31	28	31	30	31	30	31
Requerimiento total de volumen (hm3)	0.78	0.78	0.59	0.54	0.24	0.00	0.00	0.11	0.52	0.83	0.75	0.54
Requerimiento total de volumen anual = 5.68 hm3												

Cuadro N° 9.49 Cálculo de demanda de agua del proyecto - Subcuenca Chueña Huata Jahuirá

Descripción	Mes											
	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul
Área cultivada (ha)	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00
Coefficiente de cultivo ponderado (Kcp)	-	0.71	0.84	0.89	0.90	0.90	0.80	0.83	0.88	0.90	0.90	0.63
Evapotranspiración Potencial (ETP) (mm)	100.10	97.50	99.20	94.80	89.60	82.20	75.30	82.50	81.30	82.80	73.80	75.00
Evapotranspiración Real (ETc) (mm)	71.07	81.90	88.29	85.32	80.64	65.76	62.50	72.60	73.17	74.52	66.42	47.25
Precipitación media mensual al 75% de P. (mm)	2.70	17.00	33.70	41.00	72.40	105.60	77.50	66.20	31.50	4.20	0.00	0.00
Precipitación efectiva (PE) (mm)	0.00	11.40	27.10	33.70	60.50	83.30	64.70	55.40	25.10	0.00	0.00	0.00
Ascensión capilar (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Lámina de riego neta (Ln) (mm)	71.07	70.50	61.19	51.62	20.14	-17.54	-2.20	17.20	48.07	74.52	66.42	47.25
Eficiencia de riego (Er) (%)	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00
Lámina de riego bruta (Lb) (mm)	157.93	156.67	135.98	114.71	44.76	-38.98	-4.89	38.22	106.82	165.60	147.60	105.00
Módulo de riego (24 horas) (lt/s/ha)	0.59	0.60	0.51	0.44	0.17	0.00	0.00	0.14	0.41	0.62	0.57	0.39
Requerimiento total de caudal (Q24horas) (lt/s)	15.34	15.60	13.26	11.44	4.42	0.00	0.00	3.64	10.66	16.12	14.82	10.14
Requerimiento total de caudal (Q24horas) (m3/s)	0.02	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.01	0.01
Días del mes (días)	31	30	31	30	31	31	28	31	30	31	30	31
Requerimiento total de volumen (hm3)	0.05	0.05	0.03	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.05	0.03	0.03
Requerimiento total de volumen anual = 0.30 hm3												

Cuadro N° 9.50 Cálculo de demanda de agua del proyecto - Subcuenca Suches

Descripción	Mes											
	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul
Área cultivada (ha)	407.77	407.77	407.77	407.77	407.77	407.77	407.77	407.77	407.77	407.77	407.77	407.77
Coefficiente de cultivo ponderado (Kcp)	-	0.71	0.84	0.89	0.90	0.90	0.80	0.83	0.88	0.90	0.90	0.63
Evapotranspiración Potencial (ETP) (mm)	91.20	90.60	92.80	89.50	84.30	79.20	73.00	79.80	77.60	79.00	69.70	72.10
Evapotranspiración Real (ETc) (mm)	64.75	76.10	82.59	80.55	75.87	63.36	60.59	70.22	69.84	71.10	62.73	45.42
Precipitación media mensual al 75% de P. (mm)	2.30	17.10	35.00	43.40	62.60	104.80	68.70	69.00	30.60	6.30	0.50	0.30
Precipitación efectiva (PE) (mm)	0.00	11.50	28.30	35.80	52.50	82.90	57.50	57.70	24.30	1.20	0.00	0.00
Ascensión capilar (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Lámina de riego neta (Ln) (mm)	64.75	64.60	54.29	44.75	23.37	-19.54	3.09	12.52	45.54	69.90	62.73	45.42
Eficiencia de riego (Er) (%)	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00
Lámina de riego bruta (Lb) (mm)	143.89	143.56	120.64	99.44	51.93	-43.42	6.87	27.82	101.20	155.33	139.40	100.93
Módulo de riego (24 horas) (lt/s/ha)	0.54	0.55	0.45	0.38	0.19	0.00	0.03	0.10	0.39	0.58	0.54	0.38
Requerimiento total de caudal (Q24horas) (lt/s)	220.20	224.27	183.50	154.95	77.48	0.00	12.23	40.78	159.03	236.51	220.20	154.95
Requerimiento total de caudal (Q24horas) (m3/s)	0.22	0.22	0.18	0.15	0.08	0.00	0.01	0.04	0.16	0.24	0.22	0.15
Días del mes (días)	31	30	31	30	31	31	28	31	30	31	30	31
Requerimiento total de volumen (hm3)	0.59	0.57	0.48	0.39	0.21	0.00	0.02	0.11	0.41	0.64	0.57	0.40
Requerimiento total de volumen anual = 4.39 hm3												

En los Cuadros N° 9.51 y 9.52, se muestran el resumen de la demanda de agua de las subcuencas de la cuenca del río Huancané.

En los Cuadros N° 9.53 y 9.54, se muestran el resumen de la demanda de agua de las subcuencas de la cuenca del río Suches.

Cuadro N° 9.51 Demanda de agua (m³/s) - Cuenca Huancané

Subcuenca	Mes												Prom Anual
	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	
Alto Huancané	0.16	0.18	0.17	0.14	0.05	0.00	0.00	0.04	0.13	0.19	0.18	0.12	0.11
Pistune	0.24	0.25	0.24	0.21	0.12	0.00	0.01	0.08	0.21	0.26	0.26	0.17	0.17
Muñani	0.54	0.65	0.60	0.55	0.34	0.02	0.13	0.25	0.47	0.60	0.55	0.42	0.43
Medio Huancané	0.10	0.11	0.12	0.09	0.06	0.00	0.01	0.04	0.10	0.12	0.11	0.07	0.08
Tuyto	0.28	0.32	0.32	0.30	0.13	0.00	0.00	0.05	0.22	0.28	0.26	0.19	0.20
Llache	0.09	0.10	0.12	0.09	0.06	0.00	0.01	0.03	0.09	0.10	0.10	0.06	0.07
Bajo Huancané	0.02	0.03	0.03	0.03	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Cuenca Huancané	1.43	1.64	1.60	1.41	0.78	0.02	0.16	0.49	1.23	1.56	1.47	1.04	1.07

Cuadro N° 9.52 Demanda de agua (hm³) - Cuenca Huancané

Subcuenca	Mes												Total Anual
	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	
Alto Huancané	0.43	0.47	0.46	0.36	0.13	0.00	0.00	0.11	0.34	0.51	0.47	0.32	3.60
Pistune	0.64	0.65	0.64	0.54	0.32	0.00	0.02	0.21	0.54	0.70	0.67	0.46	5.39
Muñani	1.45	1.68	1.61	1.43	0.91	0.05	0.31	0.67	1.22	1.61	1.43	1.12	13.49
Medio Huancané	0.27	0.29	0.32	0.23	0.16	0.00	0.02	0.11	0.26	0.32	0.29	0.19	2.46
Tuyto	0.75	0.83	0.86	0.78	0.35	0.00	0.00	0.13	0.57	0.75	0.67	0.51	6.20
Llache	0.24	0.26	0.32	0.23	0.16	0.00	0.02	0.08	0.23	0.27	0.26	0.16	2.23
Bajo Huancané	0.05	0.08	0.08	0.08	0.05	0.00	0.00	0.00	0.03	0.03	0.03	0.03	0.46
Cuenca Huancané	3.83	4.26	4.29	3.65	2.08	0.05	0.37	1.31	3.19	4.19	3.82	2.79	33.83

Cuadro N° 9.53 Demanda de agua (m³/s) - Cuenca Suches

Subcuenca	Mes												Prom Anual
	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	
Trapiche	0.19	0.20	0.18	0.16	0.09	0.00	0.01	0.04	0.16	0.22	0.20	0.14	0.13
Caylloma	0.29	0.30	0.22	0.21	0.09	0.00	0.00	0.04	0.20	0.31	0.29	0.20	0.18
Chueña Huata Jahaira	0.02	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01
Suches (intercuenca)	0.22	0.22	0.18	0.15	0.08	0.00	0.01	0.04	0.16	0.24	0.22	0.15	0.14
Cuenca Suches (Cuchaulla)	0.72	0.74	0.59	0.53	0.26	0.00	0.02	0.12	0.53	0.79	0.72	0.50	0.46

Cuadro N° 9.54 Demanda de agua (hm³) - Cuenca Suches

Subcuenca	Mes												Prom Anual
	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	
Trapiche	0.51	0.52	0.48	0.41	0.24	0.00	0.02	0.11	0.41	0.59	0.52	0.37	4.18
Caylloma	0.78	0.78	0.59	0.54	0.24	0.00	0.00	0.11	0.52	0.83	0.75	0.54	5.68
Chueña Huata Jahaira	0.05	0.05	0.03	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.05	0.03	0.03	0.30
Suches (intercuenca)	0.59	0.57	0.48	0.39	0.21	0.00	0.02	0.11	0.41	0.64	0.57	0.40	4.39
Cuenca Suches (Cuchaulla)	1.93	1.92	1.58	1.37	0.69	0.00	0.04	0.33	1.37	2.11	1.87	1.34	14.55

9.2.2 Demanda poblacional

La demanda hídrica poblacional de las cuencas Huancané y Suches, se ha obtenido del registro de volúmenes de agua entregados a los usuarios de agua con fines no agrarios en el año 2009, para la cobranza de la retribución económica del año 2010, información proporcionada por la Administración Local de Agua Huancané.

En los Cuadros N° 9.55 al 9.65 se muestran los caudales otorgados a los usuarios de agua, consolidados por subcuencas correspondientes a las cuencas Huancané y Suches.

Cuadro N° 9.55 Demanda poblacional - Subcuenca Alto Huancané

N°	Nombre del Usuario /Razón Social	Caudal Otorgado (l/s)
1	DISTRITO DE QUILCA PUNCO	3.00
Total		3.00

Cuadro N° 9.56 Demanda poblacional - Subcuenca Pistune

N°	Nombre del Usuario /Razón Social	Caudal Otorgado (l/s)
1	JAAP HUATUHUYO	0.35
2	DISTRITO DE INCHUPALLA	0.60
3	JAAP IÑOCAPATA SECTOR HUARACUYO	0.10
4	JAAP SECTOR PUQUILMURI - QUISUNI	0.27
5	COMUNIDAD CAMPESINA DE CHECTACOLLO	0.50
6	COMUNIDAD URINSAYA HILATA	0.45
7	JAAP TIRAPUNCO	0.30
8	JAAP SANTA ROSA DE HUAYRAPATA	0.45
9	JAAP PARCIALIDAD HUACCOTONI	0.05
10	JAAP TISNAHUYO	0.42
Total		3.50

Cuadro N° 9.57 Demanda poblacional - Subcuenca Medio Alto Huancané

N°	Nombre del Usuario /Razón Social	Caudal Otorgado (l/s)
1	JAAPS DEL C.P. SANTIAGO GIRALDO	1.16
Total		1.16

Cuadro N° 9.58 Demanda poblacional - Subcuenca Muñani

N°	Nombre del Usuario /Razón Social	Caudal Otorgado (l/s)
1	JAAP MUÑANI CHICO	0.70
2	CENTRO POBLADO SAN ISIDRO	1.56
3	PARCIALIDAD DE CARASUPO GRANDE	0.22
4	C.P. VIRGEN COPACABANA NEQUENEQUE	0.40
5	DISTRITO DE MUÑANI	4.00
Total		6.88

Cuadro N° 9.59 Demanda poblacional - Subcuenca Medio Huancané

N°	Nombre del Usuario /Razón Social	Caudal Otorgado (l/s)
1	PARCIALIDAD VILACCARCA SAN ISIDRO	0.20
2	JAAP SAN SALVADOR	0.33
3	JAAP CAYACAYA	0.32
4	DISTRITO DE PUTINA	3.50
5	JAAP TOQUEPANI - HUATASANI	0.08
Total		4.43

Cuadro N° 9.60 Demanda poblacional - Subcuenca Tuyto

N°	Nombre del Usuario /Razón Social	Caudal Otorgado (l/s)
1	JAAP PARCIALIDAD VILUYO - MALLCOSUCA	0.18
2	PARCIALIDAD DE CENTRAL MALLCOSUCA	0.18
3	CENTRO POBLADO MALLCOSUCA COM. CASTILLUMA	0.25
4	JAAP. QUEQUESA DEL C.P. MALLCOSUCA	0.15
5	CENTRO POBLADO MALLCOSUCA SECTOR CENTRO	0.50
6	CENTRO POBLADO MALLCOSUCA SECTOR LAUCATA	0.27
7	COMUNIDAD CAMPESINA DE NIQUIRI	0.25
8	ESCUELA PRIMARIA N72365 MALLCOSUCA JARARANCUNI	0.13
9	JAAP PAMPA CAHUAYA	0.10
10	CENTRO POBLADO QUELLAHUYO POMAoca	0.40
11	JAAP ALTO CHALLAPA	0.30
12	PARCIALIDAD PARQUI CAHUAYA SECTOR HUANCANMITA	0.16
13	JAAP CHALLAPA CARIQUITA	0.22
14	JAAP ÑAPA SECTOR CENTRAL	0.50
15	ASOC. USUARIOS AG. POT. DISTRITO DE ROSASPATA	1.00
16	JAAP ÑAPA SECTOR QUERATA	0.30
17	COMUNIDAD ALTOS HUARAYA SECT. JACHA CARCA	0.11
18	COMUNIDAD DE JAROCOLLA	0.25
19	CENTRO POBLADO ALTOS HUAYRAPATA	0.25
20	COMUNIDAD SAN ANTONIO SECTOR ESQUERICA	0.25
21	COMUNIDAD QUELLO QUELLO Y ANCOCARCA	2.00
22	PARCIALIDAD DE LLOCALLAMARCA	0.20
23	JAAP CENTRO POBLADO SOLITARIO	0.50
24	PARCIALIDAD DE TUITO SECTOR CONDORIQUEÑA	0.22
25	JAAP. SILLUTA CHUCALLANI C.P. MUNAYPA	0.46
26	JAAS MILLICUYO TUYTO	0.35
27	COMUNIDAD DE MUNAYPA SECTOR JACHA MUNAYPA	0.30
28	JAAP ÑAPA SECTOR TOMAPIURA	0.10
29	JAAP CULACHATA	0.20
30	JAAP CRISTAL VIKAPAQUE – SOLITARIO	0.60
Total		10.68

Cuadro N° 9.61 Demanda poblacional – Subcuenca Medio Bajo Huancané

N°	Nombre del Usuario /Razón Social	Caudal Otorgado (l/s)
1	JAAP COMUNIDAD SUSTIA MUNAYPA	0.25
2	JAAP QUEALLI	0.15
3	DISTRITO DE HUATASANI	3.00
Total		3.40

Cuadro N° 9.62 Demanda poblacional - Subcuenca Llache

N°	Nombre del Usuario /Razón Social	Caudal Otorgado (l/s)
1	JASS HUILACUNCA	0.40
2	DISTRITO DE PEDRO VILCAPAZA - AYRAMPUNI	0.70
3	COMUNIDAD DE SAN IGNACIO DE MAYAPUNCO	0.30
4	ASOC.DE JAAP MULTICOMUNAL HUANCANE	2.25
5	JAAP. DE TUNILA	0.20
6	JAAP SANTIAGO DE AJJATIRA	0.73
7	JAAP SAN JOSE DE SANTA CRUZ	0.54
8	JAAP NAZACARA	0.30
Total		5.42

Cuadro N° 9.63 Demanda poblacional - Subcuenca Bajo Huancané

N°	Nombre del Usuario /Razón Social	Caudal Otorgado (l/s)
1	JAAP. SECTOR LARICO - QUECHAYA	0.25
2	JAAP. YANCANI HUYO - QUECHAYA	0.22
3	JAAP CENTRAL ROSASANI - QUECHAYA	0.10
4	JASAP COMUNIDAD CAMPESINA MUÑAPATA	0.30
5	JAAP MARCATACANA HUANCHO	0.17
6	JAAP. SECTOR QUECHUATA-HUANCHO	0.15
7	JAAP. ALPAHAQUE- HUANCHO	0.18
8	JAPP CHURURAYA-HUANCHO	0.13
9	SECT. MUCURAYA Y LACAYA - HUANCHO	0.52
10	JAAP AQUECUCHO Y QUEAPATA - HUANCHO	0.12
11	JAAP. SECTOR HUAYLLARAYA-HUANCHO	0.12
12	JAAP CARLOS CONDORENA - QUEÑCHA	0.30
13	JAAP CENTRAL MILLIRAYA	0.25
14	JAAP. SECTOR LLACHOJANI-HUANCHO	0.32
15	EPS. NOR PUNO S.A. ZONAL HUANCANE	18.00
16	JAAP. CUYURAYA PRIMER SECTOR	0.46
17	JASAP LACAR=A HUAYRAPATA ú TAURAHUTA	0.50
18	PARCIALIDAD ACOCOLLO 06 SECTORES	0.75
19	CENTRO POBLADO ACOCOLLO	0.72
20	PARC. (AZANGARILLO, CALLAPANI, HUAYRAPATA Y TOTORANI)	1.43
21	JAAP CHEJEPAMPA HUAYLLACUYO	0.20
22	JAAP SANTIAGUILLO	0.35
23	JAAP CUPISCO	0.10
24	JAAP SUCUNI	0.39
25	JAAP JAPISSE	0.92
Total		26.95

Cuadro N° 9.64 Demanda poblacional - Subcuenca Chueña Huata Jahuirá

N°	Nombre del Usuario /Razón Social	Caudal Otorgado (l/s)
1	MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE COJATA	2.00
Total		2.00

Cuadro N° 9.65 Demanda poblacional - Subcuenca Trapiche

N°	Nombre del Usuario /Razón Social	Caudal Otorgado (l/s)
1	CENTRO POBLADO RINCONADA ESAP-RINCONADA	3.00
2	ESAP Y SERV. MULT. "EL SOL" EIR Ltda	0.25
3	JUSTO TICONA OLAZABAL (SUMIN. AGUA POT C.P. RINCONADA)	0.50
Total		3.75

En base a la información disponible de los caudales otorgados a los usuarios de agua en las cuencas Huancané y Suches, se ha determinado los volúmenes de agua considerando los 24 horas de uso, información proporcionada por la Administración Local de Agua Huancané.

En los Cuadros N° 9.66 y 9.67 se presenta lo volúmenes de agua mensualizados en hm³ para cada subcuencas de las cuencas Huancané y Suches.

Cuadro N° 9.66 Demanda poblacional - Cuenca Huancané

Subcuenca	Caudal (l/s)	Volumen de agua mensualizado (hm ³)												Total Anual
		Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	
Alto Huancané	3.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.12
Pistune	3.50	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.12
Medio Alto Huancané	1.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Muñani	6.88	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.24
Medio Huancané	4.43	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.12
Tuyto	10.68	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.36
Medio Bajo Huancané	3.40	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.12
Llache	5.42	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.12
Bajo Huancané	26.95	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.84
Cuenca Huancané	65.41	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	2.04

Cuadro N° 9.67 Demanda poblacional - Cuenca Suches

Subcuenca	Caudal (l/s)	Volumen de agua mensualizado (hm ³)												Total Anual
		Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	
Trapiche	2.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.11
Chueña Huata Jahaira	3.75	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.12
Cuenca Suches (Cuchaulla)	5.75	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.23

9.2.3 Demanda hídrica de uso minero

En la minería el agua es utilizada para separar y extraer los minerales de rocas y limpiar los materiales de desecho.

La demanda hídrica de uso minero en la cuenca Suches, se ha obtenido del registro de volúmenes de agua entregados a los usuarios de agua con fines no agrarios en el año 2009, para la cobranza de la retribución económica del año 2010, información proporcionada por la Administración Local de Agua Huancané. En la cuenca Huancané no existe uso de agua en explotación de minas.

En el Cuadro N° 9.68 se muestra los caudales otorgados a los usuarios de agua, en la subcuenca del río Trapiche correspondiente a la cuenca del río Suches.

Cuadro N° 9.68 Demanda hídrica de uso minero – Subcuenca Trapiche

N°	Nombre del Usuario /Razón Social	Caudal Otorgado (l/s)
1	JOSE LUIS, SUCSO RAMIREZ (MINERO ARTESANAL-PAMPA BLANCA)	0.75
2	PEQUEÑOS LAV. AURIFEROS SECTOR PAMPA BLANCA (SOSA)	2.00
3	CECOMSAP - ANANEA LTDA.	40.00
4	EMPRESA MINERA TITAN CONTRATISTAS GENERALES SAC.	0.18
Total		42.93

En el Cuadro N° 9.69 se muestra los volúmenes de agua mensualizados de uso minero, correspondiente a la subcuenca del río Trapiche en la cuenca Suches.

Cuadro N° 9.69 Demanda hídrica de uso minero – Cuenca Suches

Subcuenca	Caudal (l/s)	Volumen de agua mensualizado (hm ³)												Total Anual
		Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	
Trapiche	42.93	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.10	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	1.31
Cuenca Suches (Cuchaulla)	42.93	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.10	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	1.31

9.2.4 Caudal ecológico

Es el caudal mínimo que debe mantenerse en un curso de agua al construir una represa, una captación, o una derivación, de forma que no se alteren las condiciones naturales del biotopo y se garantice el desarrollo de una vida natural igual a la que existía anteriormente.

Los métodos más simples son los hidrológicos o estadísticos, que determinan el caudal mínimo ecológico a través del estudio de los datos de caudales. Un método matemático simple (Ley de Aguas Francesa) es definir el caudal mínimo ecológico como un 5% del caudal medio histórico, al menos hasta la fecha aplicados en otras cuencas del país, y es la que se ha utilizado en el presente estudio.

Los volúmenes de los caudales ecológicos calculados para cada subcuenca de las cuencas Huancané y Suches, se muestran en los Cuadros N° 9.71 y 9.73.

Cuadro N° 9.70 Caudal ecológico (m³/s) – Cuenca Huancané

Subcuenca/ cuenca	Punto de control	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom Anual
Río Llache	Confl.río Huancané	0.099	0.115	0.088	0.064	0.033	0.017	0.009	0.007	0.009	0.013	0.026	0.049	0.044
Río Tuyto	Confl.río Putina	0.790	1.126	0.827	0.572	0.244	0.105	0.053	0.042	0.065	0.109	0.183	0.369	0.374
Río Muñani	Confl.río Pongongoni	0.438	0.752	0.543	0.414	0.194	0.092	0.053	0.042	0.046	0.069	0.107	0.196	0.246
Río Pistune	Confl.río Puncune	0.211	0.300	0.224	0.172	0.085	0.042	0.023	0.018	0.024	0.034	0.059	0.107	0.108
Río Puncune	Confl.río Pistune	0.177	0.365	0.266	0.213	0.104	0.049	0.024	0.020	0.020	0.028	0.051	0.087	0.117
Río Huancané	Desemb.lago Titicaca	1.929	3.037	2.243	1.679	0.803	0.378	0.193	0.138	0.167	0.263	0.466	0.908	1.017

Cuadro N° 9.71 Caudal ecológico (hm³) – Cuenca Huancané

Subcuenca/ cuenca	Punto de control	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total Anual
Río Llache	Confl.río Huancané	0.27	0.28	0.24	0.17	0.09	0.04	0.02	0.02	0.02	0.03	0.07	0.13	1.38
Río Tuyto	Confl.río Putina	2.12	2.72	2.22	1.48	0.65	0.27	0.14	0.11	0.17	0.29	0.47	0.99	11.63
Río Muñani	Confl.río Pongongoni	1.17	1.82	1.45	1.07	0.52	0.24	0.14	0.11	0.12	0.18	0.28	0.52	7.62
Río Pistune	Confl.río Puncune	0.57	0.73	0.60	0.45	0.23	0.11	0.06	0.05	0.06	0.09	0.15	0.29	3.39
Río Puncune	Confl.río Pistune	0.47	0.88	0.71	0.55	0.28	0.13	0.06	0.05	0.05	0.07	0.13	0.23	3.61
Río Huancané	Desemb.lago Titicaca	5.17	7.35	6.01	4.35	2.15	0.98	0.52	0.37	0.43	0.70	1.21	2.43	31.67

Cuadro N° 9.72 Caudal ecológico (m³/s) – Cuenca Suches

Subcuenca/ cuenca	Punto de control	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom Anual
Río Chueña Huata Jahuira	Confl.río Suches	0.063	0.099	0.076	0.050	0.019	0.008	0.005	0.004	0.006	0.008	0.013	0.026	0.031
Río Caylloma	Confl.río Suches	0.122	0.164	0.128	0.088	0.042	0.022	0.014	0.012	0.016	0.022	0.033	0.059	0.060
Río Trapiche	Confl.río Suches	0.087	0.137	0.120	0.104	0.060	0.034	0.019	0.013	0.014	0.019	0.029	0.045	0.057

Cuadro N° 9.73 Caudal ecológico (hm³) – Cuenca Suches

Subcuenca/ cuenca	Punto de control	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total Anual
Río Chueña Huata Jahuira	Confl.río Suches	0.17	0.24	0.20	0.13	0.05	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.07	0.97
Río Caylloma	Confl.río Suches	0.33	0.40	0.34	0.23	0.11	0.06	0.04	0.03	0.04	0.06	0.09	0.16	1.89
Río Trapiche	Confl.río Suches	0.23	0.33	0.32	0.27	0.16	0.09	0.05	0.03	0.04	0.05	0.08	0.12	1.77

9.3 DEMANDA HÍDRICA FUTURA

Las demandas hídricas de usos futuros de agua correspondiente al Proyecto de Irrigación Muñani, se ha obtenido del estudio hidrológico del Perfil de Proyecto “Construcción Irrigación Muñani” ubicado en la subcuenca del río Muñani, ámbito de la cuenca del río Huancané, desarrollado por el Programa Regional de Riego y Drenaje (PRORRIDRE) y Gobierno Local de Muñani, en el año 2009.

Los cultivos principales de la cedula de cultivo del Proyecto de Irrigación Muñani, son: la papa dulce, papa amarga, quinua, cañihua, pastos cultivados, avena forrajera y cebada forrajera; cuya superficie total es de 500 ha y la eficiencia de riego es de 40%.

Cuadro N° 9.74 Cedula de cultivo (calendario de siembra y cosecha) - Irrigación Muñani - Subcuenca Muñani

Cultivo	Área (ha)	Mes											
		Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul
Papa dulce	17.30												
Papa amarga	3.75												
Quinua	9.60												
Cañihua	3.85												
Pastos cultivados	381.88												
Avena forrajera	75.42												
Cebada forrajera	8.20												
Total	500.00												

Cuadro N° 9.75 Demanda de agua - Irrigación Muñani - Subcuenca río Muñani

Demanda hídrica	Mes												Total Anual
	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	
Caudal (m3/s)	0.35	0.40	0.43	0.45	0.36	0.23	0.29	0.30	0.35	0.32	0.28	0.29	-
Volumen de agua (hm3)	0.94	1.04	1.15	1.17	0.96	0.62	0.70	0.80	0.91	0.86	0.73	0.78	10.66

Fuente: Perfil de Proyecto "Construcción Irrigación Muñani - Hidrología", Gobierno Local de Muñani y PRORRIDRE, 2009.

9.4 ESQUEMA HIDRÁULICO

El esquema hidráulico de las cuencas Huancané y Suches, se muestran en las Figuras N° 9.1 y 9.2; consiste en red hidrográfica de aguas superficiales a nivel de subcuencas para el desarrollo del balance hídrico de las ofertas y demandas hídricas. En las cuencas Huancané y Suches no existen captaciones de grandes irrigaciones para mostrar en el esquema, todos los usos actuales de agua tienen captaciones diferentes y muy esparcidas. Además, en la actualidad no existen almacenamientos de agua en represas en ambas cuencas de estudio.

Figura N° 9.1 Esquema hidráulico de la cuenca del río Huancané

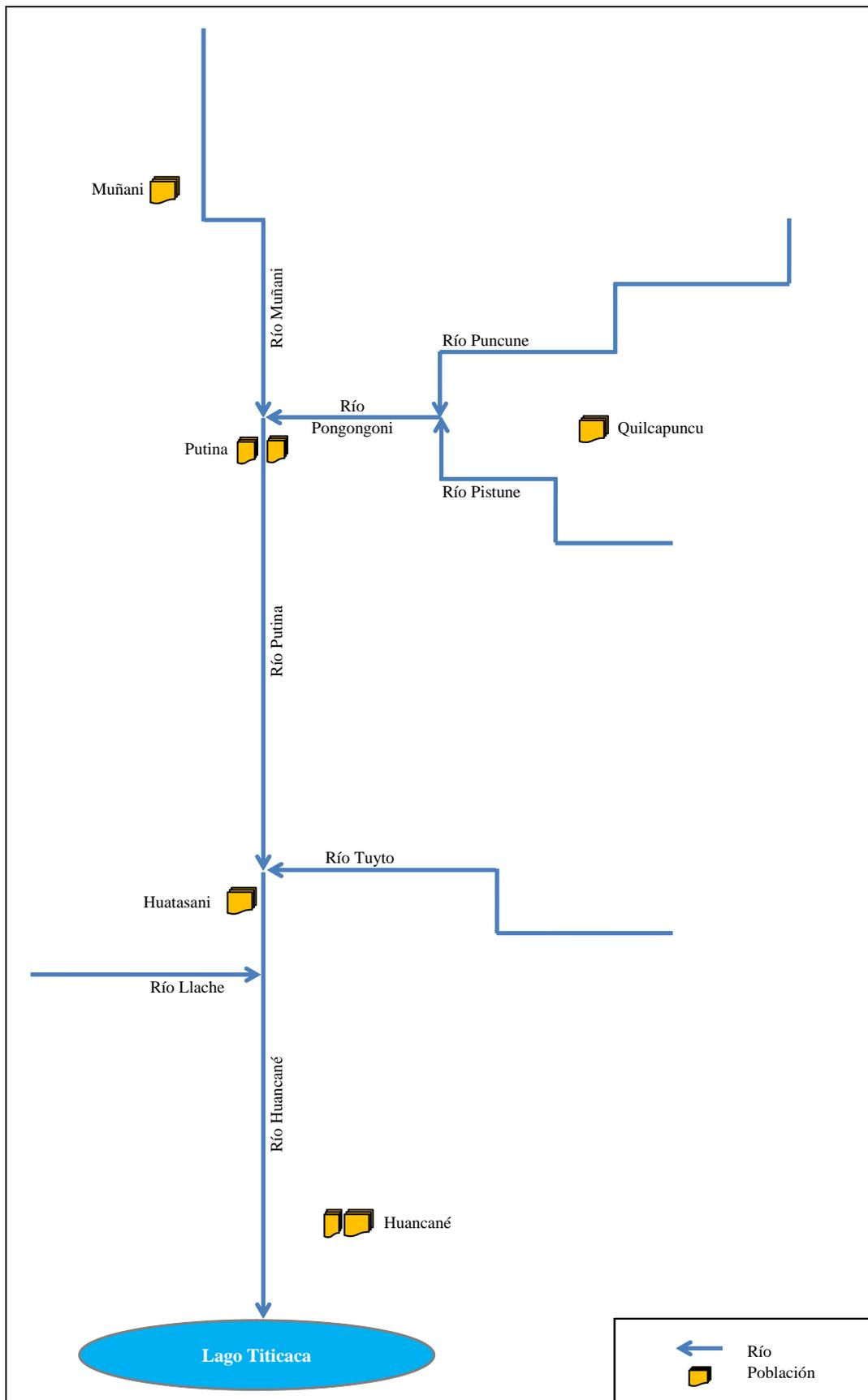
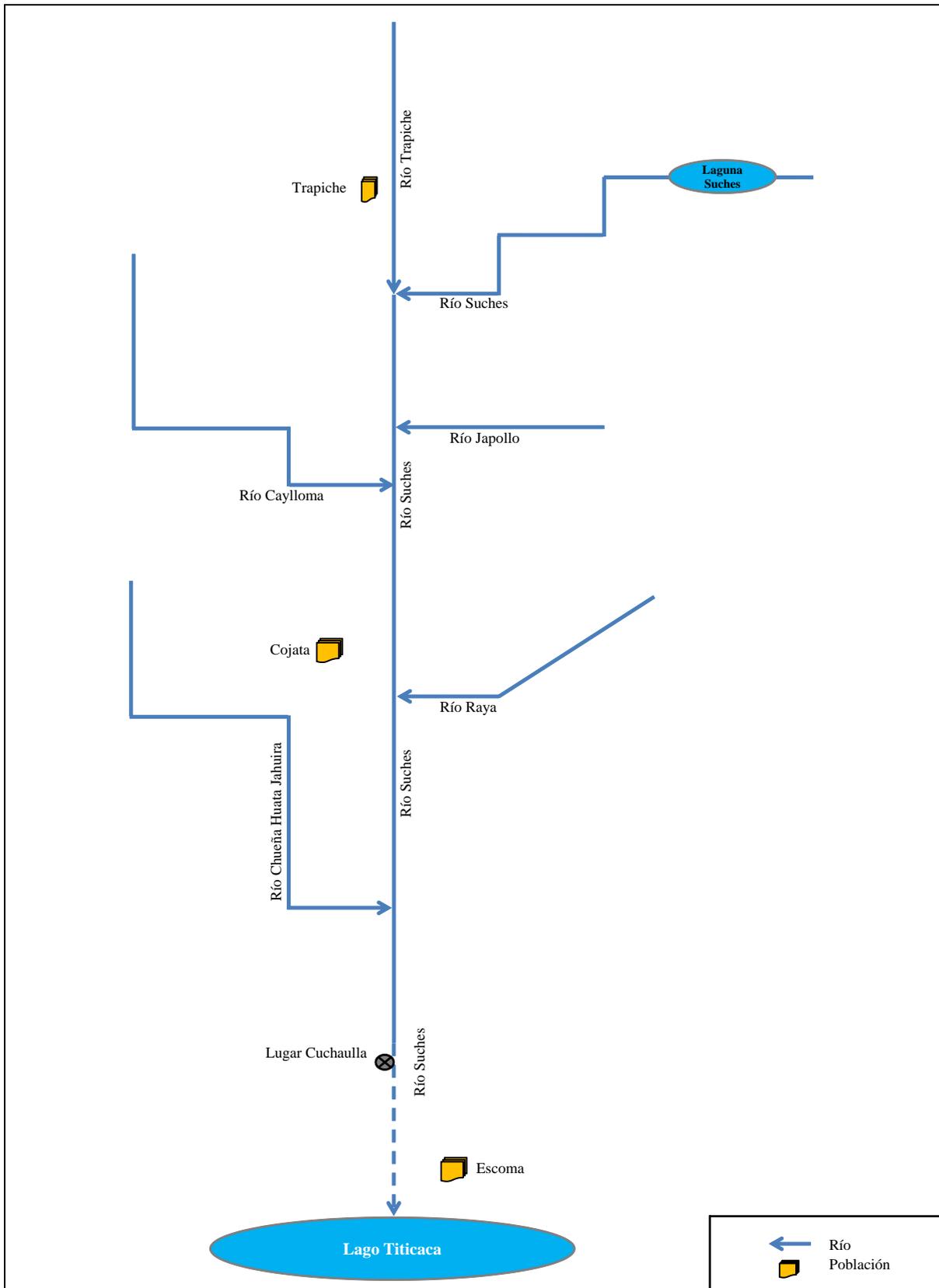


Figura N° 9.2 Esquema hidráulico de la cuenca del río Suches



CAPÍTULO X

BALANCE HÍDRICO

10.1 GENERALIDADES

El balance hídrico es la comparación entre la oferta y demanda hídrica de una cuenca, cuyo resultado permite conocer el déficit y/o exceso del recurso hídrico. En el presente estudio se ha realizado en balance hídrico por subcuencas de interés dentro de las cuencas Huancané y Suches (Perú).

El punto de referencia para desarrollar el balance hídrico de las subcuencas, es la “*Salida*” de las mismas, a partir de ese punto se contabilizan la oferta y la demanda hídrica. En el ámbito de las cuencas Huancané y Suches, actualmente no existen irrigaciones en funcionamiento con infraestructura de riego a mayor escala, generalmente son pequeñas irrigaciones con captaciones rústicas.

Ecuación del balance hídrico de la cuenca

La ecuación general del balance hídrico del río, es la siguiente:

$$\boxed{\text{Balance Hídrico} = Q - D}$$

Donde:

Q = Oferta hídrica (caudal) del río.

D = Demanda hídrica (usos de agua).

El caudal medido o generado en un punto del río, viene a ser la oferta hídrica en situación natural; donde la evapotranspiración, infiltración, aguas subterráneas y entre otras variables, ya están descontadas; razón por la que las variables del ciclo hidrológico mencionados anteriormente, no se consideran en la ecuación del balance hídrico descrito anteriormente.

Componentes del balance hídrico de la cuenca

Oferta hídrica (caudal).- Es la disponibilidad hídrica de un río en estado natural, se puede obtener a partir del registro histórico ó generación de las descargas medias utilizando un modelo de precipitación-escorrentía.

Demanda hídrica (usos de agua).- La demanda de agua es el requerimiento de los usuarios para satisfacer una necesidad. En tal sentido el agua se caracteriza no sólo por la diversidad de usos, sino por la multiplicidad de usuarios.

En demandas hídricas, debe obtenerse la información de usos actuales, proyectados y/o futuros, para desarrollar el balance hídrico en situación actual y futura. Los usos de agua pueden ser, de agrícola, poblacional, industrial, minería, piscicultura y entre otros usos.

En el presente estudio, el balance hídrico se ha desarrollado en dos partes, primero en situación actual y el segundo en situación futura.

Una vez definido la disponibilidad hídrica, las demandas hídricas actuales y futuras, a nivel de subcuencas, se desarrolla el balance hídrico a nivel mensual.

10.2 OFERTA HÍDRICA

Las ofertas hídricas potencial y disponible en las subcuencas de las cuencas Huancané y Suches se ha determinado en el Capítulo VIII, ítem 8.8. La oferta hídrica superficial proviene de los ríos y quebradas, que son afluentes al cauce principal de las unidades hidrográficas. Cabe recalcar que en las subcuencas de estudio, solo existe información de aguas superficiales.

Para el balance hídrico de las subcuencas, se ha considerado la oferta hídrica superficial disponible al 75% de persistencia, los valores correspondientes se presentaron en los Cuadros N° 8.2 y 8.4.

10.3 DEMANDA HÍDRICA EN SITUACIÓN ACTUAL Y FUTURA

La demanda hídrica actual corresponde básicamente al uso agrícola, que es la más relevante en cuanto a volumen de agua requerida. Las áreas de riego actuales se ha obtenido del Plan de Cultivo y Riego de la campaña agrícola 2010-2011, proporcionado por la Administración Local de Agua Huancané, cuya superficie de riego en la cuenca Huancané es de 2345.62 ha y en la cuenca Suches (Perú) 1358.43 ha.

Las demandas hídricas actuales por subcuencas se presentaron en el ítem 9.2, lo siguiente:

- Demanda agrícola, Cuadros N° 9.52 y 9.54.
- Demanda poblacional, Cuadros N° 9.66 y 9.67.
- Demanda minera, Cuadro N° 9.69.

El caudal ecológico para las subcuencas de las cuencas Huancané y Suches, se presentaron en el ítem 9.2.4, Cuadros N° 9.71 y 9.73.

La demanda hídrica futura corresponde básicamente al uso agrícola y se presentaron en el ítem 9.3, Cuadro N° 9.75.

10.4 BALANCE HÍDRICO EN SITUACIÓN ACTUAL

Para el desarrollo del balance hídrico de las subcuencas de interés, se ha utilizado la información de las demandas actuales de agua y caudales ecológicos, con el fin de determinar la situación actual del recurso hídrico de las subcuencas Llache, Tuyto, Muñani, Pistune y Alto Huancané en la cuenca Huancané y las subcuencas Chueña Huata Jahuirá, Caylloma y Trapiche en la cuenca Suches (Perú).

Con la información de la disponibilidad hídrica y demandas de agua establecidas, se ha desarrollado el balance hídrico mensual a nivel de subcuencas y/o unidades hidrográficas. En adelante se muestran los correspondientes cuadros de análisis, donde los excesos de agua aparecen con signo positivo y los déficit de agua con signo negativo, respectivamente.

Los resultados del balance hídrico con demandas actuales de agua, es la siguiente:

Subcuenca Llache

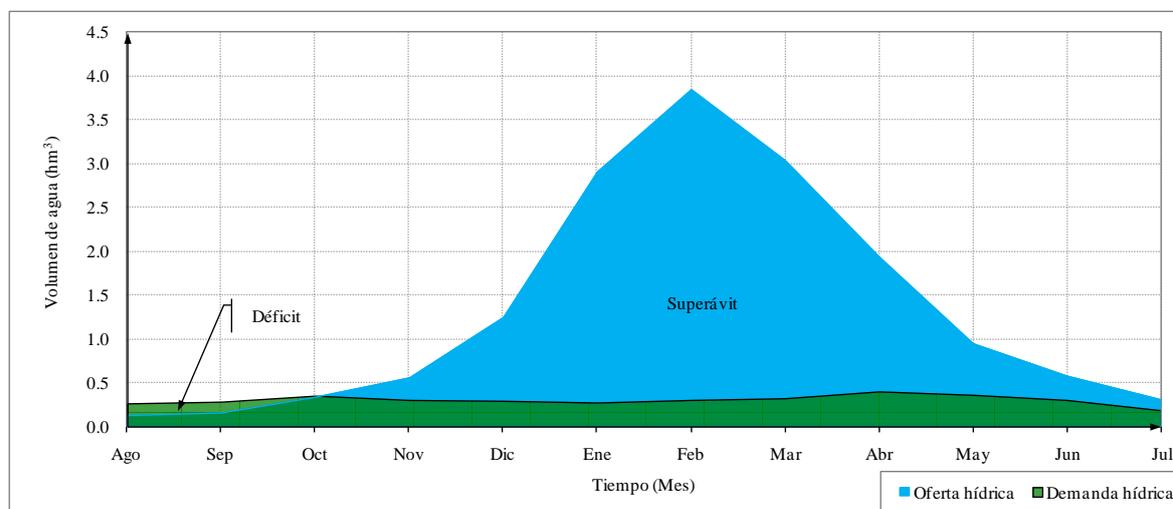
En el Cuadro N° 10.1 se ha desarrollado el balance hídrico mensual para la subcuenca Llache, cuyo resultado muestra que hay déficit del recurso hídrico en los meses de agosto a octubre, en los meses restantes la demanda se satisface al 100%. En la Figura N° 10.1 se muestra la comparación gráfica entre la oferta y la demanda hídrica correspondiente.

Cuadro N° 10.1 Balance hídrico de la subcuenca Llache - Situación actual

Componente	Variable	Volumen de agua mensualizada en hm ³												Total
		Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	
Oferta hídrica	Aguas superficiales al 75% P (río)	0.13	0.16	0.34	0.56	1.25	2.91	3.85	3.04	1.94	0.95	0.58	0.31	16.02
	Aguas subterráneas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aguas de recuperación	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aguas de almacenamiento en represas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aguas de trasvase	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Otros fuentes de agua	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Total	0.13	0.16	0.34	0.56	1.25	2.91	3.85	3.04	1.94	0.95	0.58	0.31	16.02
Demanda hídrica	Uso consuntivo	0.25	0.27	0.33	0.24	0.17	0.01	0.03	0.09	0.24	0.28	0.27	0.17	2.35
	Sector Agricultura (uso agrícola)	0.24	0.26	0.32	0.23	0.16	0.00	0.02	0.08	0.23	0.27	0.26	0.16	2.23
	Sector Vivienda (uso poblacional)	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.12
	Sector minería (uso minero)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Otros usos de agua	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Uso no consuntivo (caudal ecológico)	0.02	0.02	0.03	0.07	0.13	0.27	0.28	0.24	0.17	0.09	0.04	0.02	1.38
	Total	0.27	0.29	0.36	0.31	0.30	0.28	0.31	0.33	0.41	0.37	0.31	0.19	3.73
Balance hídrico	Demanda atendida	0.13	0.16	0.34	0.31	0.30	0.28	0.31	0.33	0.41	0.37	0.31	0.19	3.73
		48.1%	55.2%	94.4%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
	Superávit (+)	-	-	-	0.25	0.95	2.63	3.54	2.71	1.53	0.58	0.27	0.12	12.29
	-	-	-	44.6%	76.0%	90.4%	91.9%	89.1%	78.9%	61.1%	46.6%	38.7%	76.7%	
	Déficit (-)	-0.14	-0.13	-0.02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		51.9%	44.8%	5.6%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Balance hídrico = Oferta hídrica (total) - Demanda hídrica (total).

Figura N° 10.1 Comparación de oferta y demanda hídrica de la subcuenca Llache - Situación actual



Subcuenca Tuyto

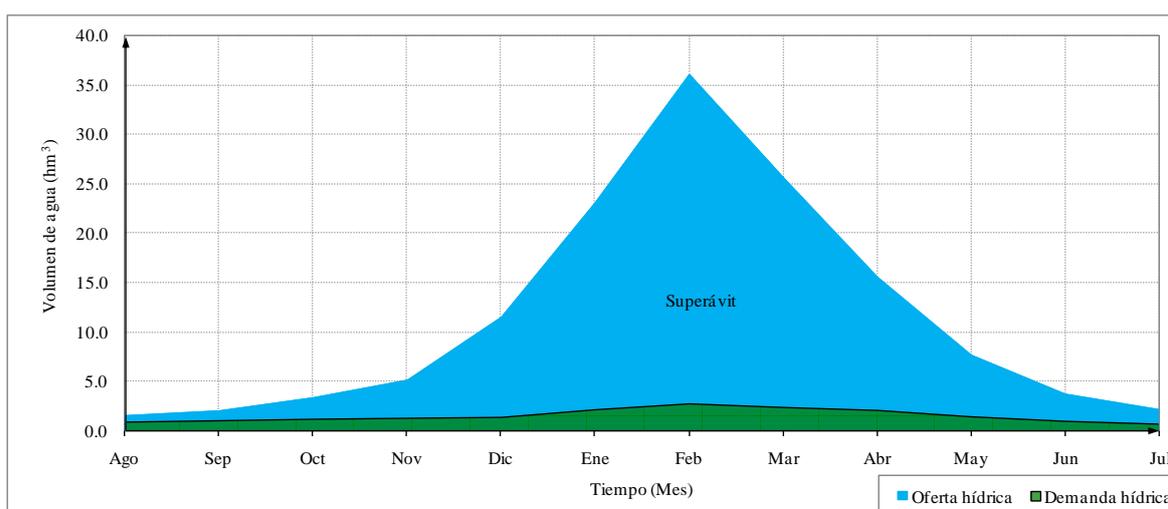
En el Cuadro N° 10.2 se ha desarrollado el balance hídrico mensual para la subcuenca del río Tuyto, cuyo resultado muestra que no hay déficit del recurso hídrico en todo los meses del año, por lo que la demanda se satisface al 100%. En la Figura N° 10.2 se muestra la comparación gráfica entre la oferta y la demanda hídrica correspondiente.

Cuadro N° 10.2 Balance hídrico de la subcuenca Tuyto - Situación actual

Componente	Variable	Volumen de agua mensualizada en hm ³												Total
		Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	
Oferta hídrica	Aguas superficiales al 75% P (río)	1.53	2.02	3.35	5.13	11.52	23.14	36.12	25.66	15.58	7.66	3.71	2.14	137.56
	Aguas subterráneas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aguas de recuperación	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aguas de almacenamiento en represas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aguas de trasvase	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Otros fuentes de agua	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Total	1.53	2.02	3.35	5.13	11.52	23.14	36.12	25.66	15.58	7.66	3.71	2.14	137.56
Demanda hídrica	Uso consuntivo	0.78	0.86	0.89	0.81	0.38	0.03	0.03	0.16	0.60	0.78	0.70	0.54	6.56
	Sector Agricultura (uso agrícola)	0.75	0.83	0.86	0.78	0.35	0.00	0.00	0.13	0.57	0.75	0.67	0.51	6.20
	Sector Vivienda (uso poblacional)	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.36
	Sector minería (uso minero)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Otros usos de agua	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Uso no consuntivo (caudal ecológico)	0.11	0.17	0.29	0.47	0.99	2.12	2.72	2.22	1.48	0.65	0.27	0.14	11.63
	Total	0.89	1.03	1.18	1.28	1.37	2.15	2.75	2.38	2.08	1.43	0.97	0.68	18.19
Balance hídrico	Demanda atendida	0.89	1.03	1.18	1.28	1.37	2.15	2.75	2.38	2.08	1.43	0.97	0.68	18.19
		100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
	Superávit (+)	0.64	0.99	2.17	3.85	10.15	20.99	33.37	23.28	13.50	6.23	2.74	1.46	119.37
		41.8%	49.0%	64.8%	75.0%	88.1%	90.7%	92.4%	90.7%	86.6%	81.3%	73.9%	68.2%	86.8%
	Déficit (-)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Balance hídrico = Oferta hídrica (total) - Demanda hídrica (total).

Figura N° 10.2 Comparación de oferta y demanda hídrica de la subcuenca Tuyto - Situación actual



Subcuenca Muñani

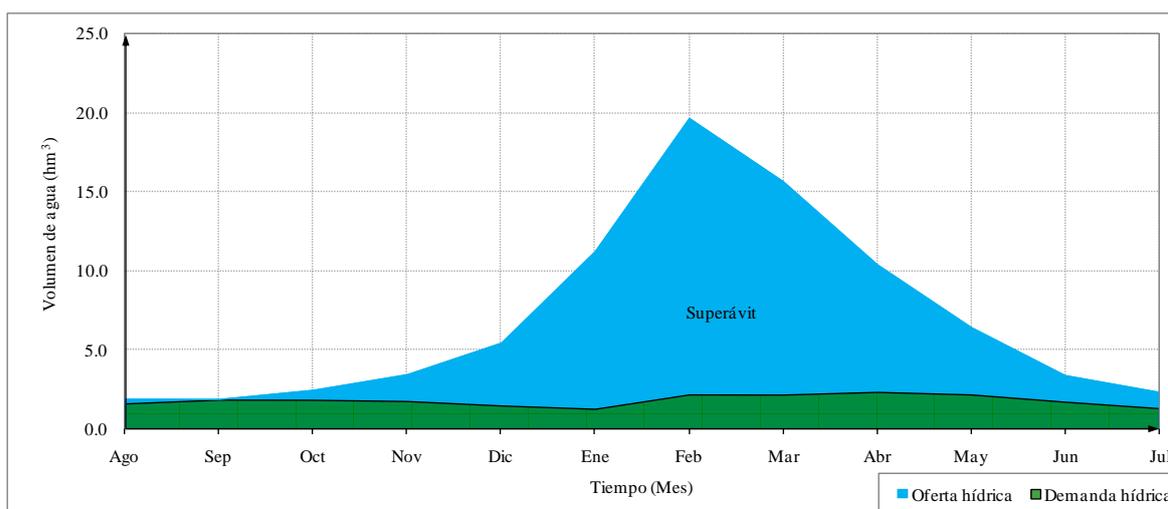
En el Cuadro N° 10.3 se ha desarrollado el balance hídrico mensual para la subcuenca del río Muñani, cuyo resultado muestra que no hay déficit del recurso hídrico en todo los meses del año, por lo que la demanda se satisface al 100%. En la Figura N° 10.3 se muestra la comparación gráfica entre la oferta y la demanda hídrica correspondiente.

Cuadro N° 10.3 Balance hídrico de la subcuenca Muñani - Situación actual

Componente	Variable	Volumen de agua mensualizada en hm ³												Total
		Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	
Oferta hídrica	Aguas superficiales al 75% P (río)	1.87	1.86	2.44	3.43	5.43	11.24	19.67	15.66	10.40	6.42	3.37	2.31	84.10
	Aguas subterráneas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aguas de recuperación	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aguas de almacenamiento en represas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aguas de trasvase	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Otros fuentes de agua	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Total	1.87	1.86	2.44	3.43	5.43	11.24	19.67	15.66	10.40	6.42	3.37	2.31	84.10
Demanda hídrica	Uso consuntivo	1.47	1.70	1.63	1.45	0.93	0.07	0.33	0.69	1.24	1.63	1.45	1.14	13.73
	Sector Agricultura (uso agrícola)	1.45	1.68	1.61	1.43	0.91	0.05	0.31	0.67	1.22	1.61	1.43	1.12	13.49
	Sector Vivienda (uso poblacional)	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.24
	Sector minería (uso minero)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Otros usos de agua	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Uso no consuntivo (caudal ecológico)	0.11	0.12	0.18	0.28	0.52	1.17	1.82	1.45	1.07	0.52	0.24	0.14	7.62
	Total	1.58	1.82	1.81	1.73	1.45	1.24	2.15	2.14	2.31	2.15	1.69	1.28	21.35
Balance hídrico	Demanda atendida	1.58	1.82	1.81	1.73	1.45	1.24	2.15	2.14	2.31	2.15	1.69	1.28	21.35
	Superávit (+)	0.29	0.04	0.63	1.70	3.98	10.00	17.52	13.52	8.09	4.27	1.68	1.03	62.75
		15.5%	2.2%	25.8%	49.6%	73.3%	89.0%	89.1%	86.3%	77.8%	66.5%	49.9%	44.6%	74.6%
	Déficit (-)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Balance hídrico = Oferta hídrica (total) - Demanda hídrica (total).

Figura N° 10.3 Comparación de oferta y demanda hídrica de la subcuenca Muñani - Situación actual



Subcuenca Pistune

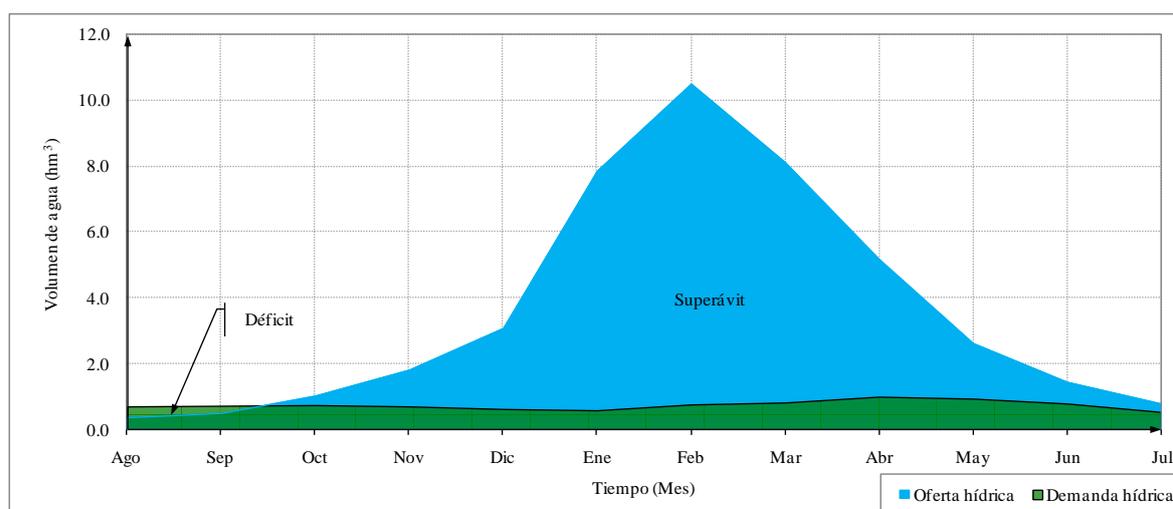
En el Cuadro N° 10.4 se ha desarrollado el balance hídrico mensual para la subcuenca del río Pistune, cuyo resultado muestra que hay déficit del recurso hídrico en los meses de agosto y setiembre, en los meses restantes la demanda se satisface al 100%. En la Figura N° 10.4 se muestra la comparación gráfica entre la oferta y la demanda hídrica correspondiente.

Cuadro N° 10.4 Balance hídrico de la subcuenca Pistune - Situación actual

Componente	Variable	Volumen de agua mensualizada en hm ³												Total
		Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	
Oferta hídrica	Aguas superficiales al 75% P (río)	0.36	0.49	1.02	1.81	3.08	7.87	10.52	8.13	5.18	2.62	1.44	0.78	43.30
	Aguas subterráneas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aguas de recuperación	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aguas de almacenamiento en represas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aguas de trasvase	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Otros fuentes de agua	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Total	0.36	0.49	1.02	1.81	3.08	7.87	10.52	8.13	5.18	2.62	1.44	0.78	43.30
Demanda hídrica	Uso consuntivo	0.65	0.66	0.65	0.55	0.33	0.01	0.03	0.22	0.55	0.71	0.68	0.47	5.51
	Sector Agricultura (uso agrícola)	0.64	0.65	0.64	0.54	0.32	0.00	0.02	0.21	0.54	0.70	0.67	0.46	5.39
	Sector Vivienda (uso poblacional)	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.12
	Sector minería (uso minero)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Otros usos de agua	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Uso no consuntivo (caudal ecológico)	0.05	0.06	0.09	0.15	0.29	0.57	0.73	0.60	0.45	0.23	0.11	0.06	3.39
	Total	0.70	0.72	0.74	0.70	0.62	0.58	0.76	0.82	1.00	0.94	0.79	0.53	8.90
Balance hídrico	Demanda atendida	0.36	0.49	0.74	0.70	0.62	0.58	0.76	0.82	1.00	0.94	0.79	0.53	8.90
	Superávit (+)	-	-	0.28	1.11	2.46	7.29	9.76	7.31	4.18	1.68	0.65	0.25	34.40
	Déficit (-)	-0.34	-0.23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		48.6%	31.9%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Balance hídrico = Oferta hídrica (total) - Demanda hídrica (total).

Figura N° 10.4 Comparación de oferta y demanda hídrica de la subcuenca Pistune - Situación actual



Subcuenca Alto Huancané (río Puncune)

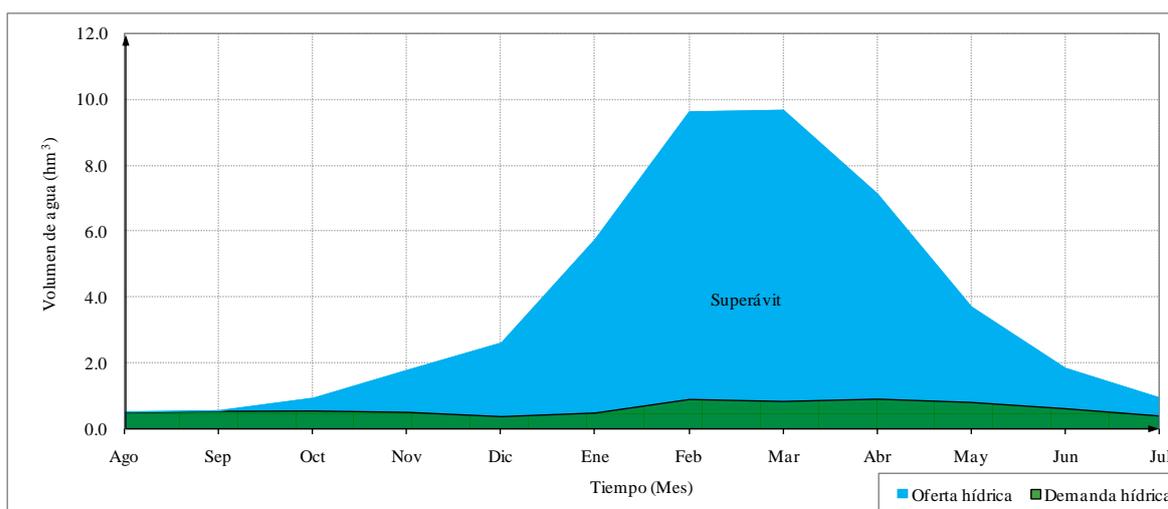
En el Cuadro N° 10.5 se ha desarrollado el balance hídrico mensual para la subcuenca Alto Huancané (río Puncune), cuyo resultado muestra que no hay déficit del recurso hídrico en todo los meses del año, por lo que la demanda se satisface al 100%. En la Figura N° 10.5 se muestra la comparación gráfica entre la oferta y la demanda hídrica correspondiente.

Cuadro N° 10.5 Balance hídrico de la subcuenca Alto Huancané (río Puncune) - Situación actual

Componente	Variable	Volumen de agua mensualizada en hm ³												Total
		Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	
Oferta hídrica	Aguas superficiales al 75% P (río)	0.51	0.55	0.93	1.78	2.61	5.77	9.65	9.70	7.15	3.71	1.84	0.94	45.14
	Aguas subterráneas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aguas de recuperación	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aguas de almacenamiento en represas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aguas de trasvase	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Otros fuentes de agua	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Total	0.51	0.55	0.93	1.78	2.61	5.77	9.65	9.70	7.15	3.71	1.84	0.94	45.14
Demanda hídrica	Uso consuntivo	0.44	0.48	0.47	0.37	0.14	0.01	0.01	0.12	0.35	0.52	0.48	0.33	3.72
	Sector Agricultura (uso agrícola)	0.43	0.47	0.46	0.36	0.13	0.00	0.00	0.11	0.34	0.51	0.47	0.32	3.60
	Sector Vivienda (uso poblacional)	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.12
	Sector minería (uso minero)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Otros usos de agua	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Uso no consuntivo (caudal ecológico)	0.05	0.05	0.07	0.13	0.23	0.47	0.88	0.71	0.55	0.28	0.13	0.06	3.61
	Total	0.49	0.53	0.54	0.50	0.37	0.48	0.89	0.83	0.90	0.80	0.61	0.39	7.33
Balance hídrico	Demanda atendida	0.49	0.53	0.54	0.50	0.37	0.48	0.89	0.83	0.90	0.80	0.61	0.39	7.33
		100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
	Superávit (+)	0.02	0.02	0.39	1.28	2.24	5.29	8.76	8.87	6.25	2.91	1.23	0.55	37.81
		3.9%	3.6%	41.9%	71.9%	85.8%	91.7%	90.8%	91.4%	87.4%	78.4%	66.8%	58.5%	83.8%
	Déficit (-)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Balance hídrico = Oferta hídrica (total) - Demanda hídrica (total).

Figura N° 10.5 Comparación de oferta y demanda hídrica de la subcuenca Alto Huancané - Situación actual



Cuenca Huancané (cuenca total)

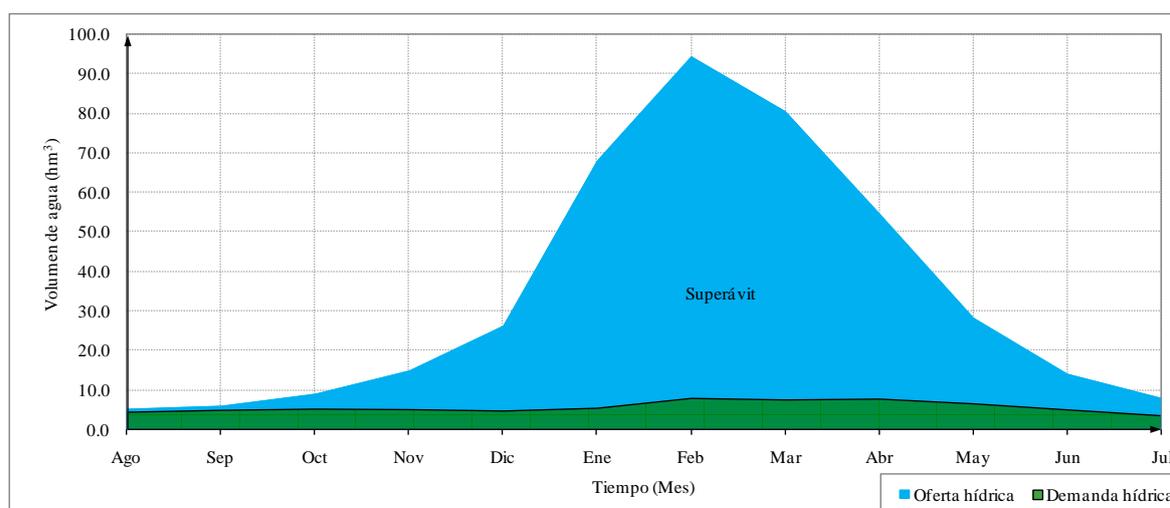
En el Cuadro N° 10.6 se ha desarrollado el balance hídrico mensual para la cuenca del río Huancané (cuenca total), cuyo resultado muestra que no hay déficit del recurso hídrico en todo los meses del año, por lo que la demanda se satisface al 100%. En la Figura N° 10.6 se muestra la comparación gráfica entre la oferta y la demanda hídrica correspondiente.

Cuadro N° 10.6 Balance hídrico de la cuenca Huancané (cuenca total) - Situación actual

Componente	Variable	Volumen de agua mensualizada en hm ³												Total
		Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	
Oferta hídrica	Aguas superficiales al 75% P (río)	5.09	5.86	8.92	14.83	26.22	68.19	94.66	80.70	54.74	28.26	14.00	7.85	409.32
	Aguas subterráneas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aguas de recuperación	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aguas de almacenamiento en represas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aguas de trasvase	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Otros fuentes de agua	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Total	5.09	5.86	8.92	14.83	26.22	68.19	94.66	80.70	54.74	28.26	14.00	7.85	409.32
Demanda hídrica	Uso consuntivo	4.00	4.43	4.46	3.82	2.25	0.22	0.54	1.48	3.36	4.36	3.99	2.96	35.87
	Sector Agricultura (uso agrícola)	3.83	4.26	4.29	3.65	2.08	0.05	0.37	1.31	3.19	4.19	3.82	2.79	33.83
	Sector Vivienda (uso poblacional)	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	2.04
	Sector minería (uso minero)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Otros usos de agua	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Uso no consuntivo (caudal ecológico)	0.37	0.43	0.70	1.21	2.43	5.17	7.35	6.01	4.35	2.15	0.98	0.52	31.67
	Total	4.37	4.86	5.16	5.03	4.68	5.39	7.89	7.49	7.71	6.51	4.97	3.48	67.54
Balance hídrico	Demanda atendida	4.37	4.86	5.16	5.03	4.68	5.39	7.89	7.49	7.71	6.51	4.97	3.48	67.54
	Superávit (+)	0.72	1.00	3.76	9.80	21.54	62.80	86.77	73.21	47.03	21.75	9.03	4.37	341.78
	Déficit (-)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Balance hídrico = Oferta hídrica (total) - Demanda hídrica (total).

Figura N° 10.6 Comparación de oferta y demanda hídrica de la cuenca Huancané (cuenca total) - Situación actual



Subcuenca Chueña Huata Jahuira

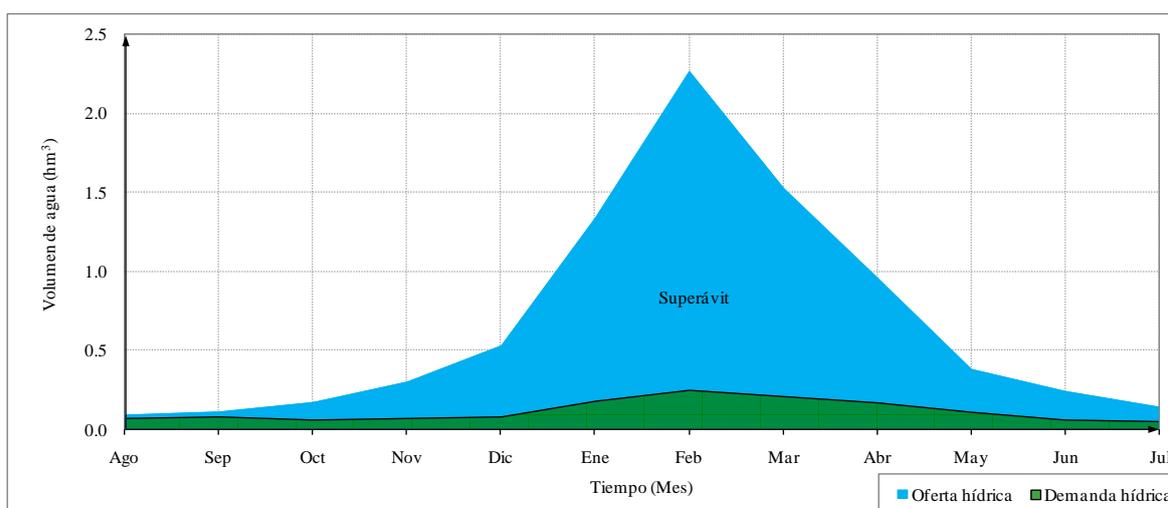
En el Cuadro N° 10.7 se ha desarrollado el balance hídrico mensual para la subcuenca del río Chueña Huata Jahuira, cuyo resultado muestra que no hay déficit del recurso hídrico en todo los meses del año, por lo que la demanda se satisface al 100%. En la Figura N° 10.7 se muestra la comparación gráfica entre la oferta y la demanda hídrica correspondiente.

Cuadro N° 10.7 Balance hídrico de la subcuenca Chueña Huata Jahuira - Situación actual

Componente	Variable	Volumen de agua mensualizada en hm ³												Total
		Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	
Oferta hídrica	Aguas superficiales al 75% P (río)	0.09	0.11	0.17	0.30	0.53	1.34	2.27	1.53	0.96	0.38	0.24	0.14	8.06
	Aguas subterráneas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aguas de recuperación	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aguas de almacenamiento en represas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aguas de trasvase	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Otros fuentes de agua	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Total	0.09	0.11	0.17	0.30	0.53	1.34	2.27	1.53	0.96	0.38	0.24	0.14	8.06
Demanda hídrica	Uso consuntivo	0.06	0.06	0.04	0.04	0.01	0.01	0.01	0.01	0.04	0.06	0.04	0.04	0.42
	Sector Agricultura (uso agrícola)	0.05	0.05	0.03	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.05	0.03	0.03	0.30
	Sector Vivienda (uso poblacional)	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.12
	Sector minería (uso minero)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Otros usos de agua	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Uso no consuntivo (caudal ecológico)	0.01	0.02	0.02	0.03	0.07	0.17	0.24	0.20	0.13	0.05	0.02	0.01	0.97
	Total	0.07	0.08	0.06	0.07	0.08	0.18	0.25	0.21	0.17	0.11	0.06	0.05	1.39
Balance hídrico	Demanda atendida	0.07	0.08	0.06	0.07	0.08	0.18	0.25	0.21	0.17	0.11	0.06	0.05	1.39
		100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
	Superávit (+)	0.02	0.03	0.11	0.23	0.45	1.16	2.02	1.32	0.79	0.27	0.18	0.09	6.67
		22.2%	27.3%	64.7%	76.7%	84.9%	86.6%	89.0%	86.3%	82.3%	71.1%	75.0%	64.3%	82.8%
	Déficit (-)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Balance hídrico = Oferta hídrica (total) - Demanda hídrica (total).

Figura N° 10.7 Comparación de oferta y demanda hídrica de la subcuenca Chueña Huata Jahuira - Situación actual



Subcuenca Caylloma

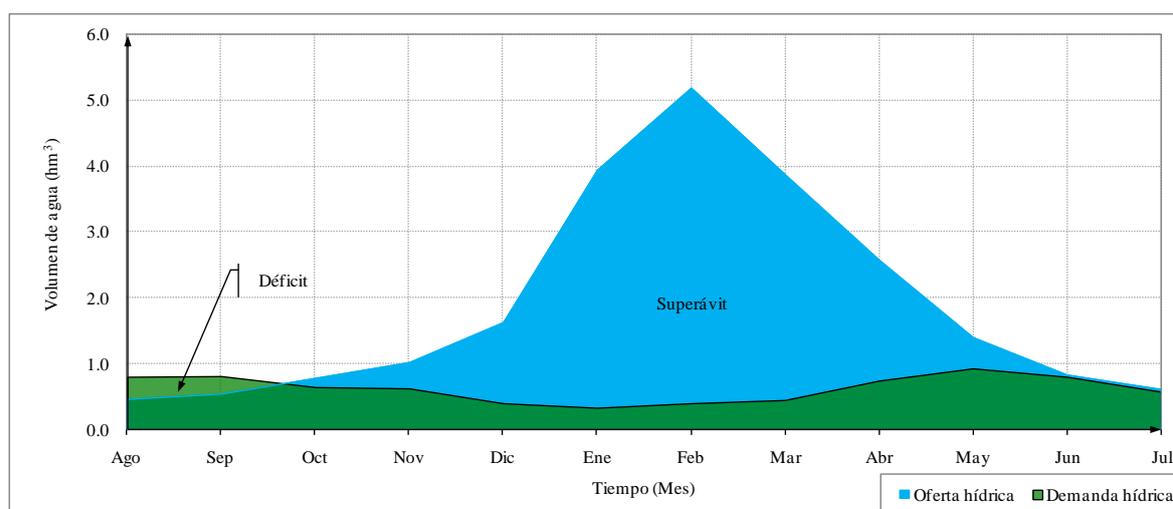
En el Cuadro N° 10.8 se ha desarrollado el balance hídrico mensual para la subcuenca del río Caylloma, cuyo resultado muestra que hay déficit del recurso hídrico en los meses de agosto y setiembre, en los meses restantes la demanda se satisface al 100%. En la Figura N° 10.8 se muestra la comparación gráfica entre la oferta y la demanda hídrica correspondiente.

Cuadro N° 10.8 Balance hídrico de la subcuenca Caylloma - Situación actual

Componente	Variable	Volumen de agua mensualizada en hm ³												Total
		Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	
Oferta hídrica	Aguas superficiales al 75% P (río)	0.46	0.54	0.78	1.02	1.63	3.95	5.20	3.88	2.58	1.40	0.83	0.61	22.88
	Aguas subterráneas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aguas de recuperación	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aguas de almacenamiento en represas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aguas de trasvase	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Otros fuentes de agua	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Total	0.46	0.54	0.78	1.02	1.63	3.95	5.20	3.88	2.58	1.40	0.83	0.61	22.88
Demanda hídrica	Uso consuntivo	0.78	0.78	0.59	0.54	0.24	0.00	0.00	0.11	0.52	0.83	0.75	0.54	5.68
	Sector Agricultura (uso agrícola)	0.78	0.78	0.59	0.54	0.24	0.00	0.00	0.11	0.52	0.83	0.75	0.54	5.68
	Sector Vivienda (uso poblacional)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Sector minería (uso minero)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Otros usos de agua	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Uso no consuntivo (caudal ecológico)	0.03	0.04	0.06	0.09	0.16	0.33	0.40	0.34	0.23	0.11	0.06	0.04	1.89
	Total	0.81	0.82	0.65	0.63	0.40	0.33	0.40	0.45	0.75	0.94	0.81	0.58	7.57
Balance hídrico	Demanda atendida	0.46	0.54	0.65	0.63	0.40	0.33	0.40	0.45	0.75	0.94	0.81	0.58	7.57
	Superávit (+)	56.8%	65.9%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
	Déficit (-)	-	-	0.13	0.39	1.23	3.62	4.80	3.43	1.83	0.46	0.02	0.03	15.31
		-	-	16.7%	38.2%	75.5%	91.6%	92.3%	88.4%	70.9%	32.9%	2.4%	4.9%	66.9%
		-0.35	-0.28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		43.2%	34.1%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Balance hídrico = Oferta hídrica (total) - Demanda hídrica (total).

Figura N° 10.8 Comparación de oferta y demanda hídrica de la subcuenca Caylloma - Situación actual



Subcuenca Trapiche

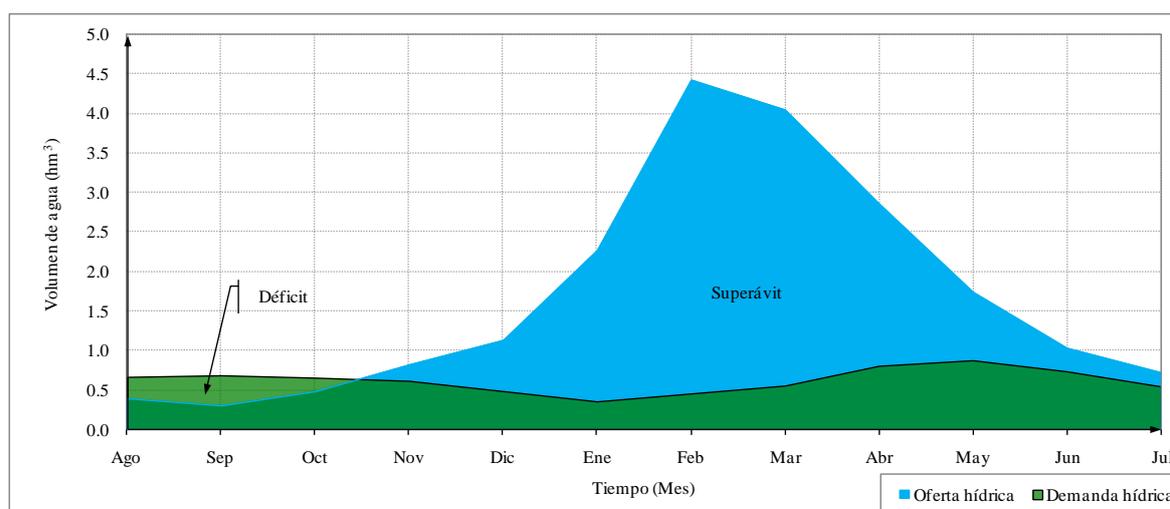
En el Cuadro N° 10.9 se ha desarrollado el balance hídrico mensual para la subcuenca del río Trapiche, cuyo resultado muestra que hay déficit del recurso hídrico en los meses de agosto a octubre, en los meses restantes la demanda se satisface al 100%. En la Figura N° 10.9 se muestra la comparación gráfica entre la oferta y la demanda hídrica correspondiente.

Cuadro N° 10.9 Balance hídrico de la subcuenca Trapiche - Situación actual

Componente	Variable	Volumen de agua mensualizada en hm ³												Total
		Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	
Oferta hídrica	Aguas superficiales al 75% P (río)	0.39	0.30	0.48	0.82	1.13	2.27	4.43	4.05	2.86	1.74	1.03	0.72	20.22
	Aguas subterráneas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aguas de recuperación	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aguas de almacenamiento en represas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aguas de trasvase	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Otros fuentes de agua	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Total	0.39	0.30	0.48	0.82	1.13	2.27	4.43	4.05	2.86	1.74	1.03	0.72	20.22
Demanda hídrica	Uso consuntivo	0.63	0.64	0.60	0.53	0.36	0.12	0.12	0.23	0.53	0.71	0.64	0.49	5.60
	Sector Agricultura (uso agrícola)	0.51	0.52	0.48	0.41	0.24	0.00	0.02	0.11	0.41	0.59	0.52	0.37	4.18
	Sector Vivienda (uso poblacional)	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.11
	Sector minería (uso minero)	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.10	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	1.31
	Otros usos de agua	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Uso no consuntivo (caudal ecológico)	0.03	0.04	0.05	0.08	0.12	0.23	0.33	0.32	0.27	0.16	0.09	0.05	1.77
	Total	0.66	0.68	0.65	0.61	0.48	0.35	0.45	0.55	0.80	0.87	0.73	0.54	7.37
Balance hídrico	Demanda atendida	0.39	0.30	0.48	0.61	0.48	0.35	0.45	0.55	0.80	0.87	0.73	0.54	7.37
	Superávit (+)	-	-	-	0.21	0.65	1.92	3.98	3.50	2.06	0.87	0.30	0.18	12.85
	Déficit (-)	-0.27	-0.38	-0.17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		40.9%	55.9%	26.2%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Balance hídrico = Oferta hídrica (total) - Demanda hídrica (total).

Figura N° 10.9 Comparación de oferta y demanda hídrica de la subcuenca Trapiche - Situación actual



10.5 BALANCE HÍDRICO EN SITUACIÓN FUTURA

Para el desarrollo del balance hídrico de las subcuencas de interés, se ha utilizado la información de las demandas actuales, caudales ecológicos y demandas futuras, con el fin de determinar la situación futura del recurso hídrico de las subcuencas. En este caso la demanda futura solo existe en la subcuenca del río Muñani, por lo tanto el balance hídrico se ha desarrollado para la subcuenca Muñani y la cuenca Huancané. Cabe recalcar que la demanda de agua utilizada para el balance hídrico en situación futura, es la total de la suma de las demandas actuales y demandas futuras.

Con la información de la disponibilidad hídrica y demandas de agua establecidas, se ha desarrollado el balance hídrico mensual para la subcuenca del río Muñani y la cuenca Huancané. En adelante se muestran los correspondientes cuadros de análisis, donde los excesos de agua aparecen con signo positivo y los déficit de agua con signo negativo, respectivamente.

Subcuenca Muñani

En el Cuadro N° 10.10 se ha desarrollado el balance hídrico mensual para la subcuenca del río Muñani, cuyo resultado muestra que hay déficit del recurso hídrico en los meses de agosto a octubre en situación futura, en los meses restantes la demanda se satisface al 100%. En la Figura N° 10.10 se muestra la comparación gráfica entre la oferta y la demanda hídrica correspondiente.

Cuenca Huancané

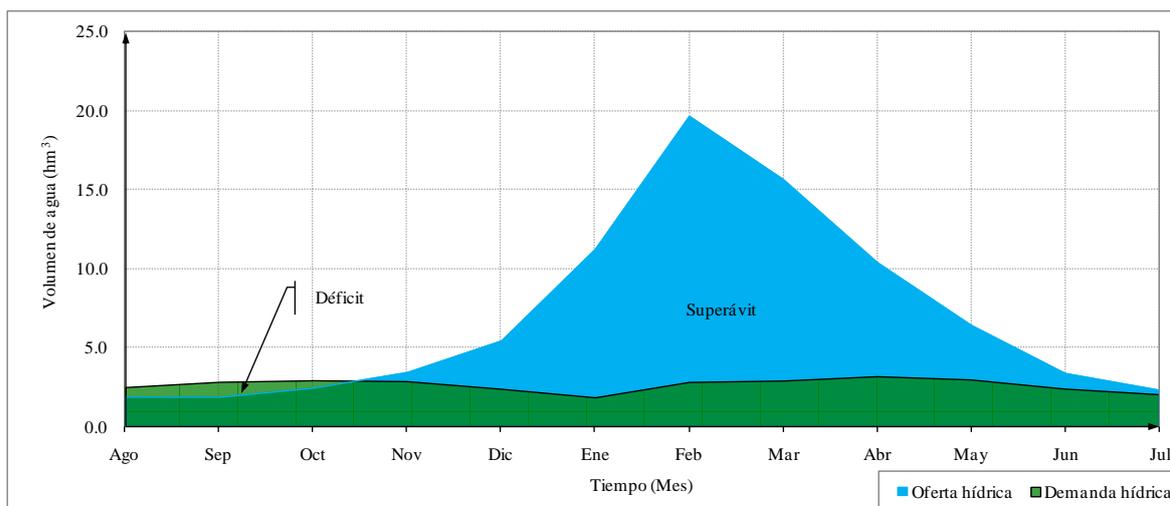
En el Cuadro N° 10.11 se ha desarrollado el balance hídrico mensual para la cuenca del río Huancané, cuyo resultado muestra que hay déficit del recurso hídrico en los meses de agosto y setiembre en situación futura, en los meses restantes la demanda se satisface al 100%. En la Figura N° 10.11 se muestra la comparación gráfica entre la oferta y la demanda hídrica correspondiente.

Cuadro N° 10.10 Balance hídrico de la subcuenca Muñani - Situación futura

Componente	Variable	Volumen de agua mensualizada en hm ³												Total
		Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	
Oferta hídrica	Aguas superficiales al 75% P (río)	1.87	1.86	2.44	3.43	5.43	11.24	19.67	15.66	10.40	6.42	3.37	2.31	84.10
	Aguas subterráneas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aguas de recuperación	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aguas de almacenamiento en represas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aguas de trasvase	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Otros fuentes de agua	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Total	1.87	1.86	2.44	3.43	5.43	11.24	19.67	15.66	10.40	6.42	3.37	2.31	84.10
Demanda hídrica	Uso consuntivo	2.41	2.74	2.78	2.62	1.89	0.69	1.03	1.49	2.15	2.49	2.18	1.92	24.39
	Sector Agricultura (uso agrícola)	2.39	2.72	2.76	2.60	1.87	0.67	1.01	1.47	2.13	2.47	2.16	1.90	24.15
	Sector Vivienda (uso poblacional)	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.24
	Sector minería (uso minero)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Otros usos de agua	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Uso no consuntivo (caudal ecológico)	0.11	0.12	0.18	0.28	0.52	1.17	1.82	1.45	1.07	0.52	0.24	0.14	7.62
	Total	2.52	2.86	2.96	2.90	2.41	1.86	2.85	2.94	3.22	3.01	2.42	2.06	32.01
Balance hídrico	Demanda atendida	1.87	1.86	2.44	2.90	2.41	1.86	2.85	2.94	3.22	3.01	2.42	2.06	32.01
	Superávit (+)	-	-	-	0.53	3.02	9.38	16.82	12.72	7.18	3.41	0.95	0.25	52.09
	Déficit (-)	-0.65	-1.00	-0.52	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		25.8%	35.0%	17.6%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Balance hídrico = Oferta hídrica (total) - Demanda hídrica (total).

Figura N° 10.10 Comparación de oferta y demanda hídrica de la subcuenca Trapiche - Situación futura

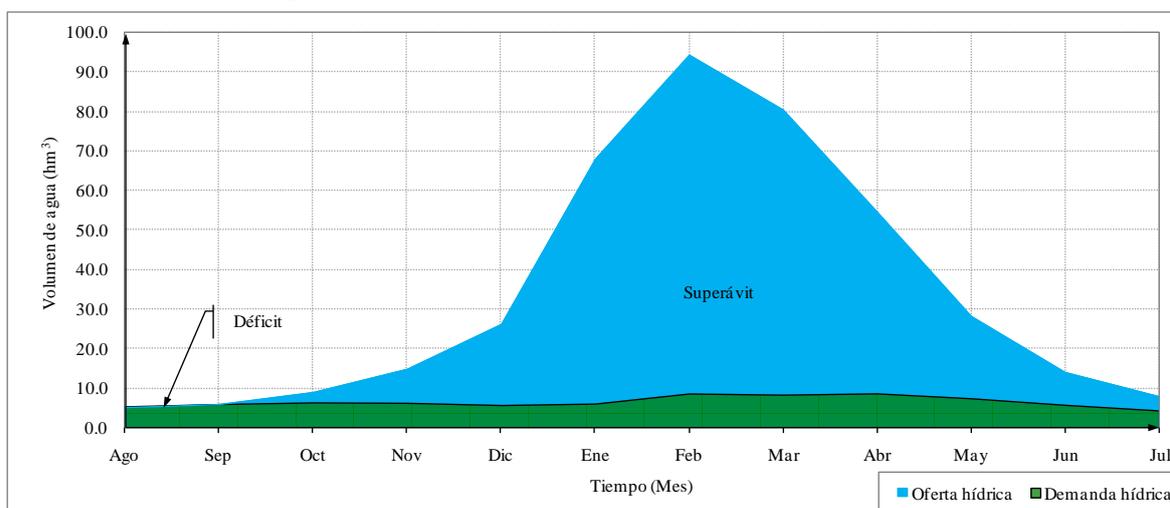


Cuadro N° 10.11 Balance hídrico de la cuenca Huancané (cuenca total) - Situación futura

Componente	Variable	Volumen de agua mensualizada en hm³												Total
		Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	
Oferta hídrica	Aguas superficiales al 75% P (río)	5.09	5.86	8.92	14.83	26.22	68.19	94.66	80.70	54.74	28.26	14.00	7.85	409.32
	Aguas subterráneas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aguas de recuperación	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aguas de almacenamiento en represas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aguas de trasvase	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Otros fuentes de agua	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Total	5.09	5.86	8.92	14.83	26.22	68.19	94.66	80.70	54.74	28.26	14.00	7.85	409.32
Demanda hídrica	Uso consuntivo	4.94	5.47	5.61	4.99	3.21	0.84	1.24	2.28	4.27	5.22	4.72	3.74	46.53
	Sector Agricultura (uso agrícola)	4.77	5.30	5.44	4.82	3.04	0.67	1.07	2.11	4.10	5.05	4.55	3.57	44.49
	Sector Vivienda (uso poblacional)	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	2.04
	Sector minería (uso minero)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Otros usos de agua	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Uso no consuntivo (caudal ecológico)	0.37	0.43	0.70	1.21	2.43	5.17	7.35	6.01	4.35	2.15	0.98	0.52	31.67
	Total	5.31	5.90	6.31	6.20	5.64	6.01	8.59	8.29	8.62	7.37	5.70	4.26	78.20
Balance hídrico	Demanda atendida	5.09	5.86	6.31	6.20	5.64	6.01	8.59	8.29	8.62	7.37	5.70	4.26	78.20
		95.9%	99.3%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
	Superávit (+)	-	-	2.61	8.63	20.58	62.18	86.07	72.41	46.12	20.89	8.30	3.59	331.12
		-	-	29.3%	58.2%	78.5%	91.2%	90.9%	89.7%	84.3%	73.9%	59.3%	45.7%	80.9%
	Déficit (-)	-0.22	-0.04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		4.1%	0.7%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Balance hídrico = Oferta hídrica (total) - Demanda hídrica (total).

Figura N° 10.11 Comparación de oferta y demanda hídrica de la cuenca Huancané - Situación futura



CAPÍTULO XI

EVENTOS HIDROLÓGICOS EXTREMOS

11.1 GENERALIDADES

En el presente capítulo se ha realizado el análisis de eventos extremos de naturaleza hidrometeorológica como exceso de escorrentías (avenidas) y escasez de lluvias (sequías) en el ámbito de las cuencas Huancané y Suches.

Las máximas avenidas para el río Huancané, se ha determinado a través del análisis de frecuencia de las descargas máximas instantáneas. Para las subcuencas de interés, se ha determinado las máximas avenidas en función de la información de precipitaciones máximas en 24 horas, aplicando el método del hidrograma unitario sintético del Servicio de Conservación de Suelos (SCS).

Con respecto al análisis de sequías, se ha identificado los períodos de déficit de precipitación en el ámbito y entorno de las cuencas Huancané y Suches, en base a la información disponible de registros de precipitación total anual y mensual.

11.2 ANÁLISIS DE MÁXIMAS AVENIDAS

Uso del análisis de frecuencia en hidrología

En el ámbito de la hidrología, numerosos fenómenos extremos no pueden pronosticarse en base a una información determinística, con la suficiente destreza y tiempo de antelación, para poder tomar las decisiones pertinentes a su ocurrencia. En dichos casos, se requiere un enfoque probabilístico con el fin de incorporar los efectos de esos fenómenos en las decisiones. Si se puede suponer que las ocurrencias son temporalmente independientes, esto es, el tiempo y la magnitud de un evento no tiene relación con los eventos anteriores, entonces se puede usar el análisis de frecuencias para describir la probabilidad de cualquier evento o de una combinación de ellos, durante el intervalo de tiempo necesario para una decisión. Los fenómenos hidrológicos que se describen en general mediante el análisis de frecuencias son las precipitaciones y las crecidas anuales máximas.

El análisis de frecuencias puede ser gráfico o matemático. En el enfoque gráfico, las observaciones históricas de la variable de interés se ordenan en orden ascendente o descendente, y se traza un gráfico de las magnitudes de los eventos en función de su frecuencia de excedencia o intervalo de repetición. Después, se ajusta una curva a través de los puntos representados gráficamente para describir la probabilidad de ocurrencia futura de cualquier evento. Se dispone de un papel especial para gráficos, que puede usarse para ilustrar la curva suave como una línea recta.

El enfoque matemático para el análisis de frecuencias se basa en la suposición de una descripción matemática específica, conocida como distribución de probabilidades, para definir el equivalente de la curva del enfoque gráfico. Los parámetros de la distribución de probabilidades se definen como funciones de las estadísticas de las observaciones hidrológicas.

El análisis de frecuencia es una herramienta utilizada, para predecir el comportamiento futuro de las descargas de un río, a partir de la información histórica de las descargas máximas. Es un método basado en procedimientos estadísticos que permite calcular la magnitud del caudal asociado a un período de retorno. Su confiabilidad depende de la longitud y calidad de la serie histórica, además de la incertidumbre propia de la distribución de probabilidades seleccionada.

Series estadísticas y período de retorno

En el análisis probabilístico, una serie es una secuencia conveniente de datos, como son las observaciones horarias, diarias, estacionales o anuales de una variable hidrológica. Si el registro de estas observaciones contiene todos los eventos que ocurrieron dentro de un período dado, a la serie se le llama serie de duración completa.

Por razones de conveniencia, el registro contiene frecuentemente sólo los eventos cuya magnitud es superior a una base preseleccionada. A esta serie se le llama serie de duración parcial. Una serie que contiene sólo el evento con la magnitud más grande que ocurrió en cada año se denomina serie de máximos anuales.

El uso de las series de máximos anuales es muy común en el análisis probabilístico por dos razones. La primera es por conveniencia, ya que la mayoría de los datos se procesan de manera que la serie anual está fácilmente disponible. La segunda es que hay una base teórica para extrapolar los datos de series anuales más allá de las posibilidades de observación, pero esa teoría hace falta para datos de series parciales.

Una razón de la ausencia de una teoría estadística para las series de duración parcial es la falta de independencia de los eventos que podrían seguirse uno a otro en secuencia contigua.

Una limitación de los datos de series anuales, es que cada año está representado por sólo un evento. El segundo evento más alto en un año en particular puede ser más alto que los más altos de otros años, y aun así no estaría contenido en la serie. Por tanto, un evento de una magnitud dada tendría una frecuencia de ocurrencia diferente para cada una de las dos series.

Las series de duración completa pueden requerirse para el enfoque estocástico en el cual no se requiere la independencia. También pueden servir para el análisis probabilístico de datos en regiones áridas, donde los eventos son raros y casi independientes.

El período de retorno (TR) de un evento dado, es el número promedio de años dentro del cual se espera que el evento sea igualado o excedido sólo una vez. El evento que se espera sea igualado o excedido cada n años, es el evento de n años (X_{TR}). Ambos términos se

refieren a la frecuencia de ocurrencia promedio esperada de un evento durante un largo período de años. El período de retorno es igual al inverso de la probabilidad de excedencia de un evento dado.

Distribución de probabilidades usadas en hidrología

La distribución de probabilidades se usan en una amplia variedad de estudios hidrológicos, por ejemplo los estudios de recursos hídricos, de caudales extremos altos y bajos, de sequías, de volúmenes en embalses, de cantidades de lluvia y de modelos de series cronológicas.

Los totales anuales, como los volúmenes de escurrimiento o la cantidad de lluvia, tienden a estar distribuidos normalmente o casi debido al teorema estadístico del límite central. Los totales semanales y mensuales son menos simétricos (asimetría casi siempre positiva) y, por lo general, no se pueden modelar con la distribución normal.

Las funciones de distribución de probabilidades usadas en hidrología, específicamente para el análisis de máximas avenidas, se muestran en adelante. Sus definiciones matemáticas figuran en las bibliografías citadas en el presente estudio.

- Distribución LogNormal de 2 parámetros.
- Distribución LogNormal de 3 parámetros.
- Distribución Gumbel.
- Distribución Pearson Tipo III.
- Distribución LogPearson Tipo III.

Estimación de parámetros

Además de la elección de una distribución, el método de estimación de parámetros que se usa con la distribución puede tener un efecto en los resultados. Tradicionalmente, el método de momentos ordinarios (MMO) y el método de máxima verosimilitud (MMV) han sido muy usados en hidrología.

Homogeneidad de datos

La homogeneidad de los datos hidrológicos es indispensable para una aplicación estadística válida. Existen muchas razones por las cuales una serie de datos pudiera no ser homogénea, por ejemplo:

- a) Una serie cronológica de caudales máximos, puede contener caudales procedentes de nieve derretida y de lluvia;
- b) Una serie cronológica puede contener datos de caudales medidos antes de la construcción de una estructura hidráulica, en condiciones inalteradas, y después de la construcción, cuando el régimen de escurrimiento está controlado; o
- c) Una serie cronológica puede contener datos de caudales que incluyen mezclas de errores sistemáticos y aleatorios.

La homogeneidad de los datos también puede ser alterada por los cambios antropógenos del clima.

11.2.1 Análisis de máximas avenidas en el río Huancané

En el río Huancané se dispone de la información hidrométrica, consistente en caudales máximos promedios diarios del período de 1956-2009 (53 años con información), ésta información se ha utilizado para el análisis de máximas avenidas, empleando los métodos probabilísticos se determinarán los caudales máximos para diferentes períodos de retorno.

11.2.1.1 Información básica

La información faltante en el registro de caudales máximos promedios diarios del río Huancané, se ha completado a través de la correlación con los caudales máximos del río Ramis, utilizando el Software Hidrológico HEC-4.

Según la información del SENAMHI, los caudales máximos del río Huancané, son caudales máximos promedios diarios, vale decir, promedio de las lecturas diarias, y por lo tanto no son datos instantáneos, por esta razón se convirtieron a caudales máximos instantáneos mediante la aplicación del **Método de Fuller**, que se fundamenta en función del área de la cuenca. La información de caudales máximos instantáneos, es la que se utiliza para el análisis de máximas avenidas.

$$\text{Fórmula de Fuller:} \quad Q_{\text{inst}} = Q_{\text{máx}} \left(1 + \frac{2.66}{A^{0.3}} \right)$$

$$\begin{aligned} \text{Donde:} \quad Q_{\text{inst}} &= \text{Caudal máximo instantáneo (m}^3\text{/s).} \\ Q_{\text{máx}} &= \text{Caudal máximo medio diario (m}^3\text{/s).} \\ A &= \text{Área de la cuenca de interés (km}^2\text{).} \end{aligned}$$

Reemplazando el área de la cuenca del río Huancané (3511.10 km², área de influencia de la estación hidrométrica), se obtiene un factor de 1.23 aproximadamente y por lo tanto la ecuación queda de la siguiente forma:

$$Q_{\text{inst}} = 1.23 Q_{\text{máx}}$$

Para el diseño de estructuras hidráulicas, la información hidrométrica deben ser valores máximos instantáneos, no los valores medios diarios, sabiendo que una estructura hidráulica construida en el río debe soportar a la máxima avenida instantánea.

El registro de la información de la serie anual de caudales máximos instantáneos del río Huancané, corresponde al período de 1956-2009 (54 años de información). Esta información proviene de una selección de valores máximos del registro histórico-completado de las descargas máximas de la estación hidrométrica de Puente Huancané.

En el Cuadro N° 11.1 se presenta la serie anual de las descargas máximas instantáneas diarias del río Huancané, cuyo caudal máximo histórico registrado es de 447.72 m³/s en el año 1971 y el mínimo es de 56.33 m³/s en el año 1990.

**Cuadro N° 11.1 Registro de la serie anual de caudales máximos diarios
Río Huancané – Estación Puente Huancané**

Longitud W: 69°47'33.37" ; Latitud S: 15°12'57.10" ; Altitud: 3814.00 msnm ; Área: 3,511.10 km²

No	Año	Caudales máximos diarios anuales (m ³ /s)			
		Históricos (1)	Generados (2)	Completados (3)	Instantáneos (4)
1	1956	111.80		111.80	137.51
2	1957	133.00		133.00	163.59
3	1958	117.90		117.90	145.02
4	1959	155.30		155.30	191.02
5	1960	156.40		156.40	192.37
6	1961	96.40		96.40	118.57
7	1962	191.00		191.00	234.93
8	1963	183.40		183.40	225.58
9	1964	150.00		150.00	184.50
10	1965	147.00		147.00	180.81
11	1966	147.70		147.70	181.67
12	1967	93.00		93.00	114.39
13	1968	77.40		77.40	95.20
14	1969	82.30		82.30	101.23
15	1970	155.00		155.00	190.65
16	1971	364.00		364.00	447.72
17	1972	93.40		93.40	114.88
18	1973	145.40		145.40	178.84
19	1974	210.50		210.50	258.92
20	1975	163.00		163.00	200.49
21	1976	111.2		111.20	136.78
22	1977	132.1		132.10	162.48
23	1978	130.4		130.40	160.39
24	1979	243.9		243.90	300.00
25	1980	89.60		89.60	110.21
26	1981	170.10		170.10	209.22
27	1982	159.10		159.10	195.69
28	1983	64.00		64.00	78.72
29	1984	179.20		179.20	220.42
30	1985	155.00		155.00	190.65
31	1986	212.00		212.00	260.76
32	1987	141.60		141.60	174.17
33	1988	155.00		155.00	190.65
34	1989	79.50		79.50	97.79
35	1990	45.80		45.80	56.33
36	1991	66.80		66.80	82.16
37	1992	56.60		56.60	69.62
38	1993	128.50		128.50	158.06
39	1994	203.30		203.30	250.06
40	1995	109.30		109.30	134.44
41	1996	98.80		98.80	121.52
42	1997	200.00		200.00	246.00
43	1998	102.70		102.70	126.32
44	1999	176.80		176.80	217.46
45	2000	123.70		123.70	152.15
46	2001	187.20		187.20	230.26
47	2002	150.00		150.00	184.50
48	2003	206.10		206.10	253.50
49	2004	246.00		246.00	302.58
50	2005	160.30		160.30	197.17
51	2006	139.10		139.10	171.09
52	2007	97.10		97.10	119.43
53	2008		175.40	175.40	215.74
54	2009	66.80		66.80	82.16
Caudal máximo de la serie:		364.00	175.40	364.00	447.72

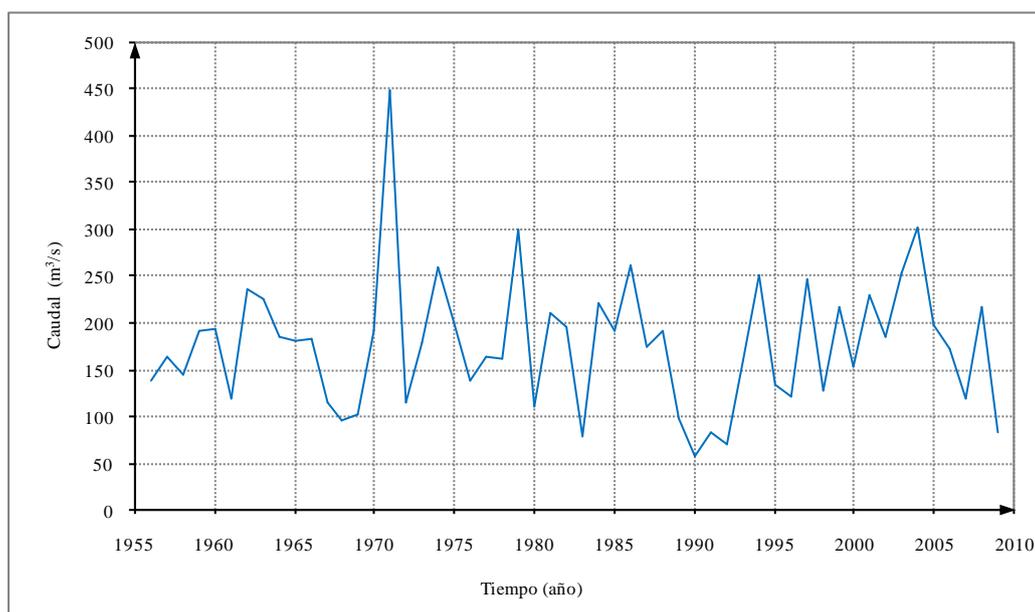
(1) Caudales máximos diarios promedios históricos.

(3) Caudales completados con la información generada.

(2) Caudales generados con Hec-4 con el Río Ramis.

(4) Caudales máximos instantáneos (Fuller-1.23).

Figura N° 11.1 Hidrograma de caudales máximos instantáneos
Río Huancané – Estación Puente Huancané



11.2.1.2 Análisis de frecuencia de caudales máximos instantáneos

El análisis de frecuencia consiste en determinar los parámetros de las distribuciones de probabilidad y determinar la magnitud del evento para un período de retorno dado.

Para realizar el análisis de frecuencia de las descargas máximas instantáneas del río Huancané, se ha utilizado el Software Hidrológico de Eventos Extremos FLFREQ, es un programa que permite calcular las descargas máximas para diferentes períodos de retorno, considerando las funciones de distribución de probabilidades de LogNormal de 2 parámetros, LogNormal de 3 parámetros, Gumbel I y LogPearson III.

En los Cuadros N° 11.2 a 11.4, se muestran el resultado del análisis de frecuencia de las descargas máximas instantáneas del río Huancané.

Cuadro N° 11.2 Análisis de frecuencia de caudales máximos instantáneos
Río Huancané – Estación Puente Huancané

YEAR	DATA	ORDERED	RANK	PROB.	RET. PERIOD
1956	137.5	447.7	1	.011	90.333
1957	163.6	302.6	2	.030	33.875
1958	145.0	300.0	3	.048	20.846
1959	191.0	260.8	4	.066	15.056
1960	192.4	258.9	5	.085	11.783
1961	118.6	253.5	6	.103	9.679
1962	234.9	250.1	7	.122	8.212
1963	225.6	246.0	8	.140	7.132
1964	184.5	234.9	9	.159	6.302
1965	180.8	230.3	10	.177	5.646
1966	181.7	225.6	11	.196	5.113
1967	114.4	220.4	12	.214	4.672
1968	95.2	217.5	13	.232	4.302
1969	101.2	215.7	14	.251	3.985
1970	190.6	209.2	15	.269	3.712
1971	447.7	200.5	16	.288	3.474
1972	114.9	197.2	17	.306	3.265
1973	178.8	195.7	18	.325	3.080
1974	258.9	192.4	19	.343	2.914
1975	200.5	191.0	20	.362	2.765
1976	136.8	190.6	21	.380	2.631
1977	162.5	190.6	22	.399	2.509
1978	160.4	190.6	23	.417	2.398
1979	300.0	184.5	24	.435	2.297
1980	110.2	184.5	25	.454	2.203
1981	209.2	181.7	26	.472	2.117
1982	195.7	180.8	27	.491	2.038
1983	78.7	178.8	28	.509	1.964
1984	220.4	174.2	29	.528	1.895
1985	190.6	171.1	30	.546	1.831
1986	260.8	163.6	31	.565	1.771
1987	174.2	162.5	32	.583	1.715
1988	190.6	160.4	33	.601	1.663
1989	97.8	158.1	34	.620	1.613
1990	56.3	152.1	35	.638	1.566
1991	82.2	145.0	36	.657	1.522
1992	69.6	137.5	37	.675	1.481
1993	158.1	136.8	38	.694	1.441
1994	250.1	134.4	39	.712	1.404
1995	134.4	126.3	40	.731	1.369
1996	121.5	121.5	41	.749	1.335
1997	246.0	119.4	42	.768	1.303
1998	126.3	118.6	43	.786	1.272
1999	217.5	114.9	44	.804	1.243
2000	152.1	114.4	45	.823	1.215
2001	230.3	110.2	46	.841	1.189
2002	184.5	101.2	47	.860	1.163
2003	253.5	97.8	48	.878	1.139
2004	302.6	95.2	49	.897	1.115
2005	197.2	82.2	50	.915	1.093
2006	171.1	82.2	51	.934	1.071
2007	119.4	78.7	52	.952	1.050
2008	215.7	69.6	53	.970	1.030
2009	82.2	56.3	54	.989	1.011

Cuadro N° 11.3 Parámetros estadísticos de la muestra y de las distribuciones teóricas

```

-----
SAMPLE STATISTICS
MEAN = 176. S.D. = 69.5 C.S. = 1.0788 C.K. = 6.2986
SAMPLE STATISTICS (LOGS)
MEAN = 5.0951 S.D. = .4052 C.S. = -.3977 C.K. = 3.4610
SAMPLE MIN = 56. SAMPLE MAX = 448. N = 54
PARAMETERS FOR GUMBEL I A = .017652 U = 145.
PARAMETERS FOR LOGNORMAL M = 5.0951 S = .4052
PARAMETERS FOR THREE PARAMETER LOGNORMAL A = -76. M = 5.4948 S = .2684
STATISTICS OF LOG(X-A)
MEAN = 5.4948 S.D. = .2684 C.S. = .0046 C.K. = 3.4783
PARAMETERS FOR LOG PEARSON III BY MOMENTS A = -.0806 B = .2529E+02
LOG(M) = 7.1331 M = .1253E+04
PARAMETERS FOR LOG PEARSON III BY MAXIMUM LIKELIHOOD A = -.0639
B = .3930E+02 LOG(M) = 7.6056 M = .2009E+04
DISTRIBUTION STATISTICS MEAN = 5.0951 S.D. = .4005 C.S. = -.3190
-----

```

Cuadro N° 11.4 Caudales máximos instantáneos (m³/s) para diferentes distribuciones de probabilidad
Río Huancané – Estación Puente Huancané

TR (años)	Gumbel		LogNormal 2P		LogNormal 3P		LogPearson Tipo III			
	Caudal	% Error Estándar	Caudal	% Error Estándar	Caudal	% Error Estándar	Verosimilitud		Momentos	
							Caudal	% Error Estándar	Caudal	% Error Estándar
1.005	50.10		57.50		45.90		51.60		49.40	
1.05	81.50		83.80		80.60		81.60		80.30	
1.25	118.00		116.00		118.00		117.00		117.00	
2	165.00		163.00		167.00		167.00		168.00	
5	230.00	6.05	230.00	6.42	229.00	5.67	230.00	5.81	231.00	5.75
10	272.00	6.55	274.00	7.44	267.00	6.50	268.00	6.41	269.00	6.28
20	313.00	6.97	318.00	8.46	303.00	7.69	304.00	7.51	303.00	7.51
50	366.00	7.42	375.00	9.72	347.00	9.49	347.00	9.52	344.00	9.86
100	405.00	7.69	419.00	10.60	379.00	10.90	377.00	11.30	372.00	11.90
200	445.00	7.92	464.00	11.50	410.00	12.30	407.00	13.20	399.00	14.20
500	497.00	8.18	524.00	12.50	451.00	14.20	444.00	15.90	433.00	17.20
1000	536.00	8.35	573.00	13.30	483.00	15.60	472.00	18.00	458.00	19.60
2000	575.00	8.49	621.00	14.00	514.00	17.00	499.00	20.00	482.00	22.00
5000	627.00	8.66	685.00	14.90	554.00	18.70	532.00	22.70	510.00	25.00
10000	666.00	8.77	737.00	15.50	585.00	20.00	557.00	24.80	532.00	27.30

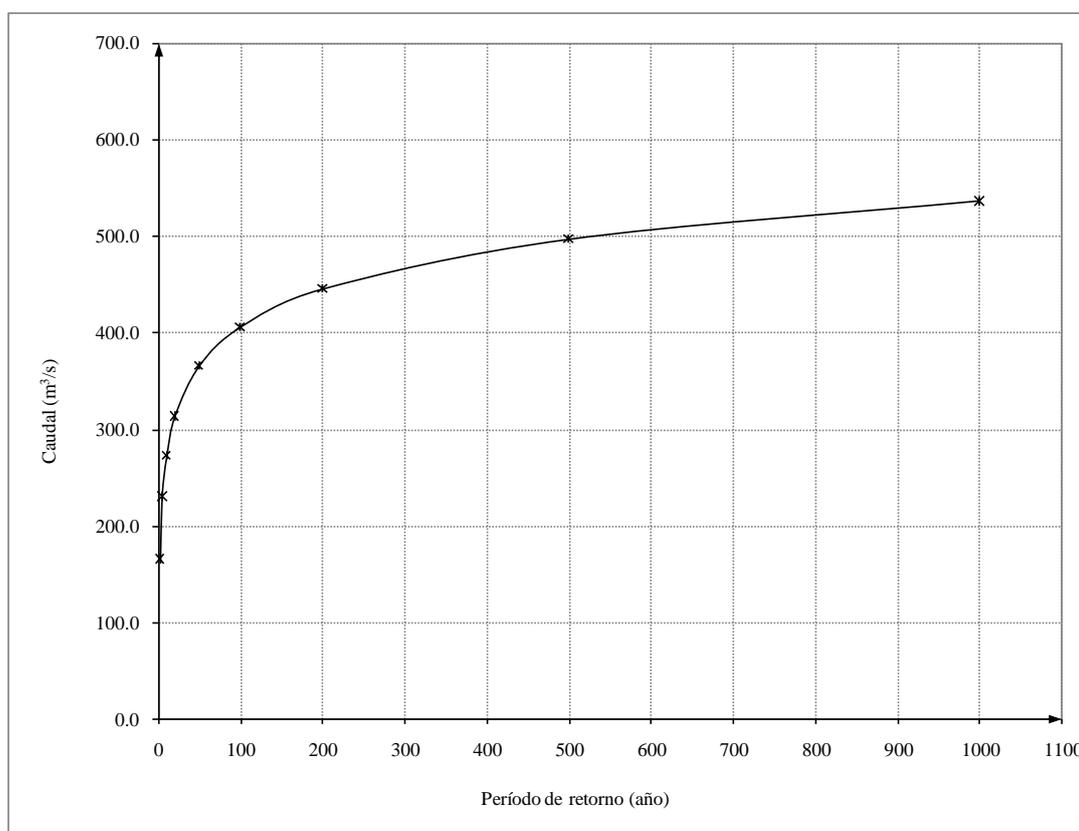
11.2.1.3 Caudales máximos instantáneos para diferentes períodos de retorno

Según el análisis de frecuencia resulta que la serie anual de caudales máximos instantáneos del río Huancané se ajusta mejor a la distribución Gumbel (método de máxima verosimilitud), por mostrar menor porcentaje de error estándar que otras distribuciones teóricas. A continuación se muestran los caudales máximos instantáneos de diseño para diferentes períodos de retorno.

Cuadro N° 11.5 Caudales máximos instantáneos para diferentes períodos de retorno
Río Huancané – Estación Puente Huancané
(ajuste distribución Gumbel - Método de máxima verosimilitud)

Período de retorno (TR) (años)	Caudales Máximos Instantáneos (m ³ /s)
2	165.0
5	230.0
10	272.0
20	313.0
50	366.0
100	405.0
200	445.0
500	497.0
1000	536.0

Figura N° 11.2 Curva de frecuencia de caudales máximos instantáneos
Río Huancané - Puente Huancané
(ajuste distribución Gumbel - Método de máxima verosimilitud)



11.2.2 Análisis de máximas avenidas en las subcuencas

Para el análisis de máximas avenidas de las subcuencas correspondientes a las cuencas Huancané y Suches, no existen la información hidrométrica, pero dispone la información meteorológica consistente en precipitación máxima en 24 horas de las estaciones ubicadas en el ámbito de las cuencas de estudio. Por lo tanto según la información disponible, para la determinación de caudales máximos instantáneos de los ríos en estudio, se ha empleado el método del Hidrograma Unitario Sintético del Servicio de Conservación de Suelos (SCS), el método consiste en calcular las descargas máximas apartir de los datos de la precipitación máxima en 24 horas y datos geomorfológicos de la cuenca.

Las subcuencas de interés para el análisis de máximas avenidas, es la siguiente:

- *Cuenca Huancané*: subcuencas Llache, Tuyto, Muñani, Pistune, Alto Huancané, Guanaco y Yaputira.
- *Cuenca Suches*: subcuencas Chueña Huata Jahuira, Caylloma, Trapiche y Suches (Puente Ramón Castilla).

11.2.2.1 Descripción del método del Hidrograma Unitario del U.S. Soil Conservation Service (SCS)

A.- Introducción

El Método SCS (Soil Conservation Service) en 1982, fue desarrollado inicialmente para estimar avenidas e hidrogramas de avenidas de cuencas pequeñas; sin embargo, desarrollos posteriores permiten aplicar a cuencas mayores, al incorporar los efectos del almacenamiento del cauce.

El Método es utilizado para la estimación de la lluvia en exceso ocasionada por una tormenta, y es la consolidación de diversos procedimientos, se aplica principalmente en los estudios de máximas avenidas en cuencas sin aforos.

En el Método SCS, se denomina Complejo Hidrológico Suelo-Vegetación, a una combinación específica de suelo, uso del terreno y su tratamiento, y se designa con las letras CN.

El valor de CN es un parámetro hidrológico de una cuenca o zona determinada e indica el potencial para generar escurrimiento cuando los suelos no están congelados, de manera que un alto valor de CN (se obtiene de las tablas) produciría gran escurrimiento y viceversa.

B.- Definición de parámetros del hidrograma unitario - método SCS

Básicamente el método consiste en estimar un hidrograma unitario triangular a partir de las características físicas de la cuenca y el perfil de precipitación para una duración determinada, las cuales convolucionan para producir un hidrograma compuesto de la avenida.

A continuación se muestra la geometría del hidrograma unitario triangular.

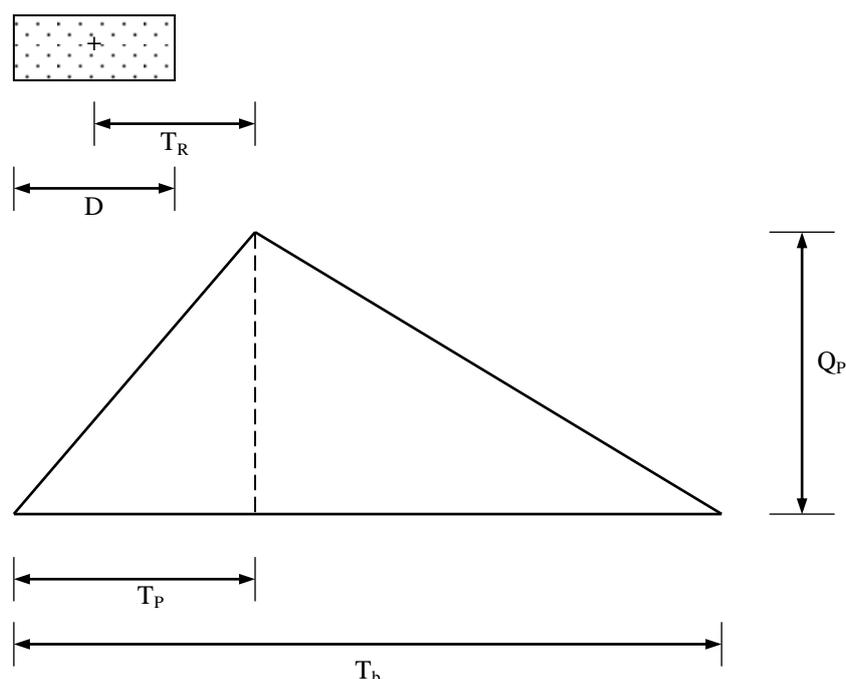


Figura N° 11.3 Hidrograma unitario triangular del Soil Conservation Service (SCS).

Donde:

- T_R = Tiempo de retardo entre el centro de la precipitación efectiva y el caudal pico del hidrograma (horas).
 D = Duración del incremento unitario de precipitación efectiva (horas).
 T_P = Tiempo pico del hidrograma (horas).
 T_b = Tiempo base del hidrograma (horas).
 Q_P = Caudal pico del hidrograma unitario ($m^3/s.mm$).

Las relaciones básicas del hidrograma unitario triangular, para el cálculo del caudal pico del hidrograma unitario para una lámina unitaria de precipitación de 1 mm, es la siguiente:

$$T_C = \frac{L^{0.80} \left(\frac{1000}{CN} - 9 \right)^{1.67}}{8.34 \sqrt{S_m}}$$

$$T_R = 0.60 T_C$$

$$D = 0.40 T_R$$

$$T_P = \frac{D}{2} + T_R = 3D$$

$$T_b = 2.67 T_P$$

$$Q_P = \frac{0.208 P_e A}{T_P}$$

Donde:

T_C	=	Tiempo de concentración (horas).
T_R	=	Tiempo de retardo (horas).
L	=	Longitud del cauce principal (km).
S_m	=	Pendiente media del cauce principal (%).
CN	=	Número de curva del SCS.
D	=	Duración del incremento unitario de precipitación efectiva (horas).
T_P	=	Tiempo pico del hidrograma (horas).
T_b	=	Tiempo base del hidrograma (horas).
A	=	Área de la cuenca (km ²).
Q_P	=	Caudal pico del hidrograma (m ³ /s).
P_e	=	Precipitación efectiva o escorrentía directa (mm).

La estimación de CN es un paso importante del método, por su influencia sobre el resultado final. Su valor se obtiene a partir de las tablas elaboradas por el US – SCS o por calibración.

Es aconsejable, cuando se cuenta con información suficiente, estimar dicho valor a partir de una calibración, partiendo de una precipitación efectiva para determinado período de retorno y comparando el resultado con el valor de la avenida calculada por el análisis de frecuencias para el mismo período.

En general, el caudal pico calculado por el Método SCS corresponde al período de retorno de la precipitación utilizada para su aplicación. De esta manera pueden calcularse avenidas para diferentes períodos de retorno.

La precipitación utilizada en el método es aquella con duración de 24 horas, dato obtenible con un simple pluviómetro.

En el análisis de máximas avenidas con el método del Hidrograma Unitario Sintético del SCS, se utilizan dos tipos de perfiles de precipitación de 24 horas (Figura N° 11.5), la de Tipo I corresponde a tormentas frontales y la de Tipo II a tormentas convectivas, el segundo que son más intensas y que mejor se adaptaría al tipo de precipitación en las subcuencas de las cuencas Huancané, Suches y al contexto regional.

Para obtener el perfil real de la tormenta en cualquier punto basta multiplicar la precipitación total de 24 horas por las ordenadas del perfil seleccionado.

El Método SCS asume que la escorrentía es producida por la precipitación efectiva, vale decir, luego de descontar las pérdidas por abstracción inicial I_a y por las pérdidas continuas F durante el resto de la tormenta, tal como se muestra en la figura siguiente.

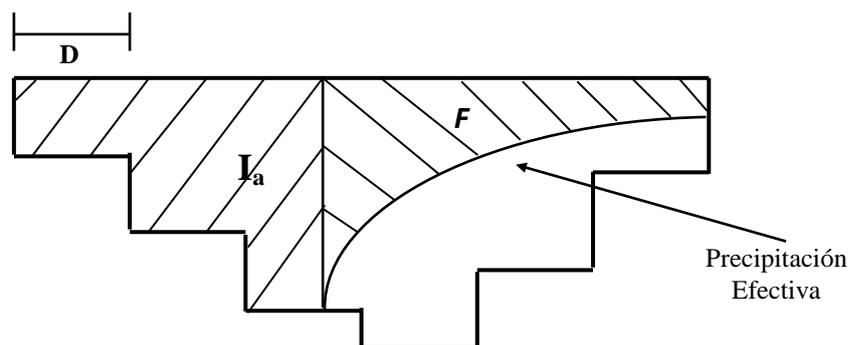


Figura N° 11.4 Variables del método SCS para abstracciones.

La escorrentía se inicia cuando la precipitación excede a I_a , asumiéndose que la $I_a = 5.08 S$ mm.

La escorrentía directa en mm, está dada por la siguiente expresión:

$$Pe_i = \frac{\left(P_i - \frac{5080}{CN} + 50.8 \right)^2}{\left(P_i + \frac{20320}{CN} - 203.2 \right)}$$

Donde:

- Pe_i = Precipitación efectiva o escorrentía directa en el período i (mm).
- P_i = Precipitación acumulada en el período i (mm).
- CN = Número de curva o curva estándar.

El incremento de escorrentía en el período i será entonces:

$$\Delta Pe_i = Pe_i - Pe_{i-1}$$

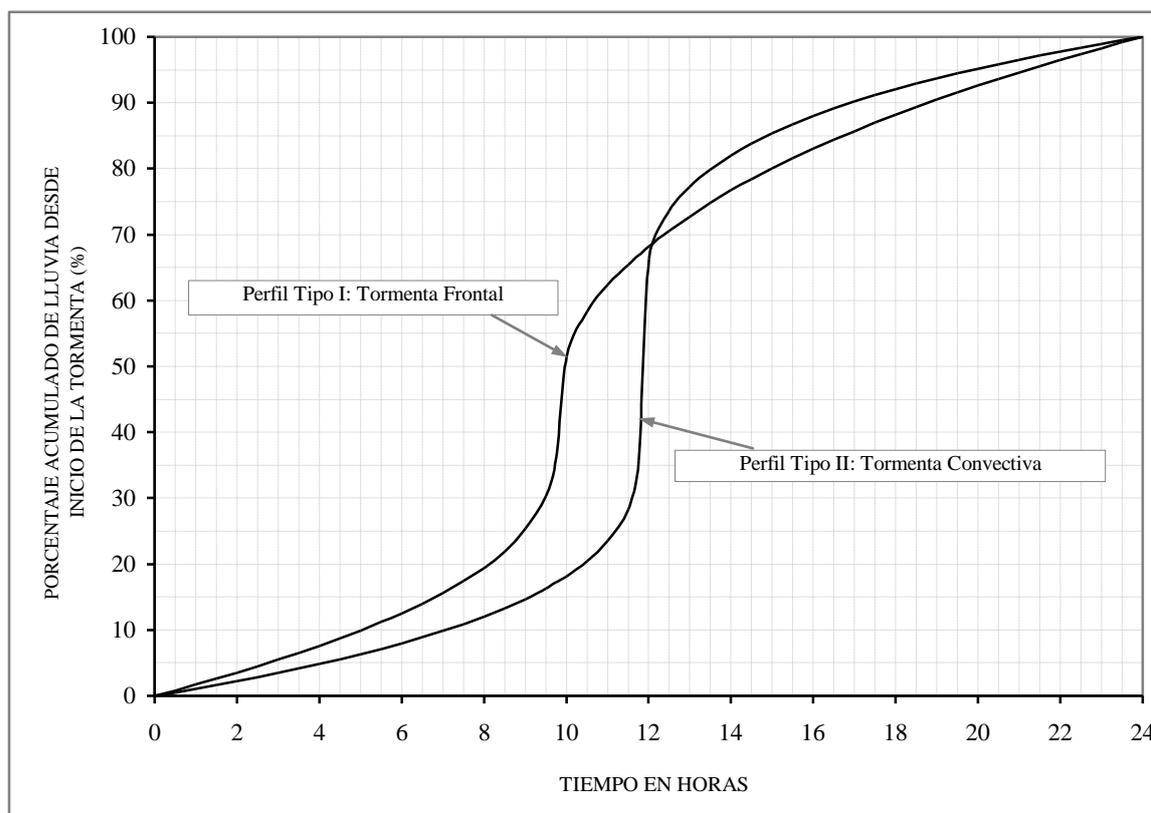
El caudal pico del hidrograma que comienza en el período i será igual a:

$$Q_{pi} = \frac{0.208 \Delta Pe_i A}{T_p}$$

Donde:

- Q_{pi} = Caudal pico del hidrograma (m^3/s).
- ΔPe_i = Incremento del volumen de escorrentía directa entre períodos sucesivos, como consecuencia de la precipitación efectiva (mm).
- A = Área de la cuenca (km^2).
- T_p = Tiempo pico del hidrograma (horas).

Figura N° 11.5 Perfiles de lluvia para 24 horas



Fuente: Programa del método SCS (Soil Conservation Service).

11.2.2.2 Determinación de máximas avenidas

Para la determinación de máximas avenidas instantáneas de diseño en las subcuencas de interés, se ha utilizado el Método del Hidrograma Unitario Sintético del U.S. Soil Conservation Service (SCS), anteriormente expuesto.

La aplicación del Método SCS requiere de los siguientes pasos:

- Análisis de frecuencia de la precipitación máxima en 24 horas.
- Elección del valor de la Curva Número CN.
- Cálculo de las avenidas y los hidrogramas de diseño para diversos períodos de retorno.

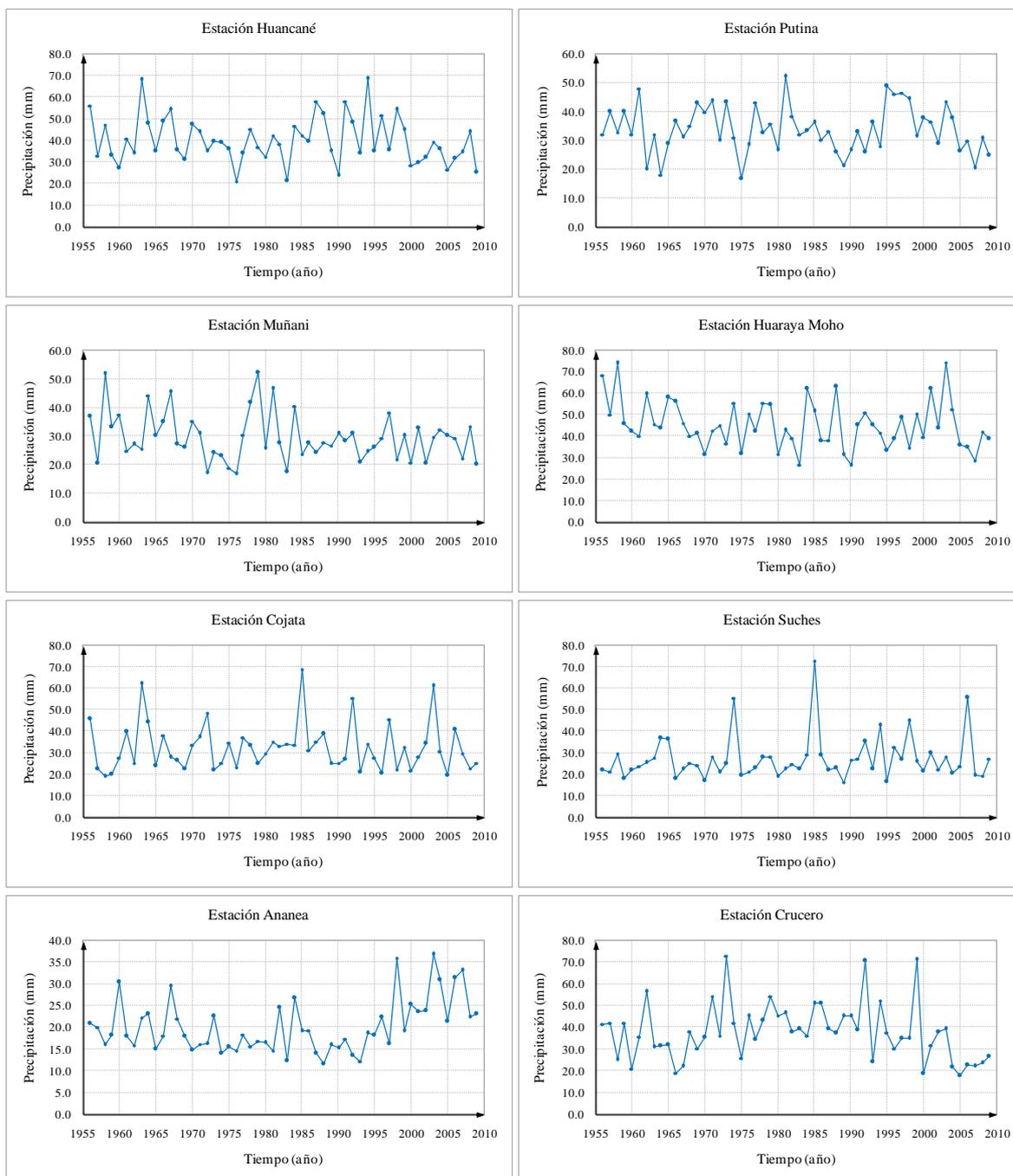
A.- Análisis de frecuencia de la precipitación máxima en 24 horas

Para el análisis de frecuencia de la precipitación máxima en 24 horas, se ha utilizado la información de las estaciones meteorológicas que influyen el área de las subcuencas de interés en el ámbito de las cuencas Huancané y Suches. El registro mensual de las precipitaciones máximas, se ha completado con la misma metodología que de las precipitaciones totales mensuales y grupos de estaciones correspondientes, la información completada y extendida se muestra en el Anexo 1. El registro de la serie anual de las precipitaciones máximas en 24 horas se muestran en el Cuadro N° 11.6.

Cuadro N° 11.6 Serie anual de precipitaciones máximas en 24 horas (mm)
Estaciones meteorológicas de las cuencas Huancané, Suches y cuencas vecinas

Año	Estación Meteorológica							
	Huancané	Putina	Munani	Huaraya Moho	Cojata	Suches	Ananea	Crucero
1956	56.1	32.0	37.0	68.3	45.8	21.9	20.8	41.4
1957	32.9	40.0	20.5	50.0	22.3	21.1	20.0	41.9
1958	47.2	32.8	51.8	74.0	19.0	29.5	15.9	25.0
1959	33.2	40.0	33.2	45.7	20.0	18.0	18.2	42.0
1960	27.2	32.0	37.5	42.1	27.5	21.9	30.5	20.8
1961	40.8	48.0	24.8	40.0	39.7	23.6	17.9	35.5
1962	34.0	20.0	27.3	59.8	25.0	25.3	15.8	56.3
1963	68.1	32.0	25.5	45.5	62.0	27.6	22.2	31.0
1964	48.0	18.0	44.2	43.6	44.1	36.6	23.0	31.5
1965	35.0	28.9	30.3	58.3	23.7	36.2	15.0	31.8
1966	49.0	36.7	35.1	56.2	38.0	17.8	18.0	18.9
1967	54.2	31.0	45.4	46.0	27.9	22.5	29.4	22.0
1968	35.4	35.0	27.3	40.0	26.4	25.1	22.0	38.0
1969	31.2	43.0	26.2	41.2	22.3	24.0	17.9	30.2
1970	47.5	39.8	35.2	31.3	33.5	16.9	14.7	35.2
1971	44.0	43.8	31.0	42.5	37.3	28.1	16.1	54.3
1972	35.0	30.0	17.2	45.0	48.4	21.0	16.2	36.1
1973	39.5	43.4	24.2	36.5	22.0	24.9	22.6	72.9
1974	39.0	30.9	23.2	55.4	25.0	55.5	14.0	41.9
1975	36.0	16.7	18.8	31.7	34.6	19.3	15.4	25.7
1976	21.0	28.4	16.7	50.5	23.0	21.1	14.6	45.2
1977	34.1	43.2	30.4	42.2	37.0	22.9	18.3	34.4
1978	45.2	32.7	41.8	55.4	33.4	27.8	15.6	43.2
1979	36.8	35.7	52.2	54.7	24.8	28.0	16.8	54.2
1980	32.4	26.6	25.8	31.6	29.6	18.7	16.5	45.4
1981	42.2	52.2	46.7	42.6	35.0	22.5	14.6	46.7
1982	38.2	38.3	27.5	39.0	33.1	24.6	24.5	37.8
1983	21.2	32.0	17.6	26.6	34.0	22.3	12.2	39.3
1984	46.6	33.4	40.4	62.0	33.6	29.0	26.7	36.0
1985	42.2	36.3	23.6	51.6	68.9	72.8	19.1	51.1
1986	39.4	30.2	27.6	37.8	31.0	28.7	19.3	51.0
1987	58.0	33.2	24.3	38.0	35.1	21.7	14.0	39.1
1988	52.4	25.8	27.7	63.2	38.6	22.7	11.6	37.4
1989	35.2	21.2	26.6	31.4	24.8	16.2	16.0	45.2
1990	23.8	26.7	31.0	26.4	25.0	26.6	15.2	45.0
1991	58.0	33.0	28.3	45.2	26.7	27.1	17.3	38.7
1992	48.5	26.0	31.0	51.0	55.5	35.3	13.5	70.7
1993	34.2	36.4	20.8	45.3	20.7	22.2	12.1	24.0
1994	68.7	28.0	24.5	41.5	34.0	42.7	18.6	52.3
1995	35.0	48.9	26.0	33.4	27.5	16.5	18.2	37.5
1996	51.6	46.1	29.2	38.7	20.2	32.5	22.4	30.1
1997	35.6	46.5	38.2	48.7	45.4	26.8	16.2	35.0
1998	54.5	44.5	21.8	34.5	22.1	44.8	36.0	34.8
1999	45.0	31.6	30.2	50.5	32.5	25.9	19.2	71.3
2000	28.4	37.7	20.7	39.5	21.6	21.5	25.2	18.5
2001	29.7	36.5	32.7	62.0	28.1	29.8	23.6	31.7
2002	32.0	29.0	20.4	43.8	34.4	22.1	23.8	37.8
2003	39.2	43.5	29.6	74.3	61.1	28.0	36.9	39.4
2004	35.9	37.9	32.2	52.4	30.6	20.3	31.0	21.7
2005	26.4	26.2	30.1	35.8	19.2	23.6	21.4	17.6
2006	31.6	29.8	29.2	34.8	40.9	55.8	31.5	22.4
2007	34.6	20.4	22.2	28.5	29.6	19.2	33.1	22.0
2008	43.9	30.8	33.4	42.0	22.6	19.1	22.4	23.7
2009	25.3	24.9	20.0	38.6	25.0	27.1	23.0	26.4
Nº datos	54	54	54	54	54	54	54	54
Prom	40.0	33.8	29.6	45.3	32.4	27.1	20.1	37.8
Desvest	10.8	8.1	8.4	11.3	11.2	10.5	6.1	12.9
Máx	68.7	52.2	52.2	74.3	68.9	72.8	36.9	72.9
Mín	21.0	16.7	16.7	26.4	19.0	16.2	11.6	17.6

Cuadro N° 11.6 Hidrograma de serie anual de precipitaciones máximas en 24 Horas
Estaciones meteorológicas de las cuencas Huancané, Suches y cuencas vecinas



Para el análisis de frecuencia de la precipitación máxima en 24 horas, se ha empleado el Software Hidrológico de Eventos Extremos FLFREQ, es un programa que permite calcular la precipitación máxima en 24 horas para diferentes períodos de retorno, considerando las funciones de distribución de probabilidades de LogNormal de 2 parámetros, LogNormal de 3 parámetros, Gumbel I y LogPearson III.

Los cuadros de análisis de frecuencia de la precipitación máxima en 24 horas, para cada una de las estaciones consideradas en el presente estudio, se muestran en el Anexo 1.

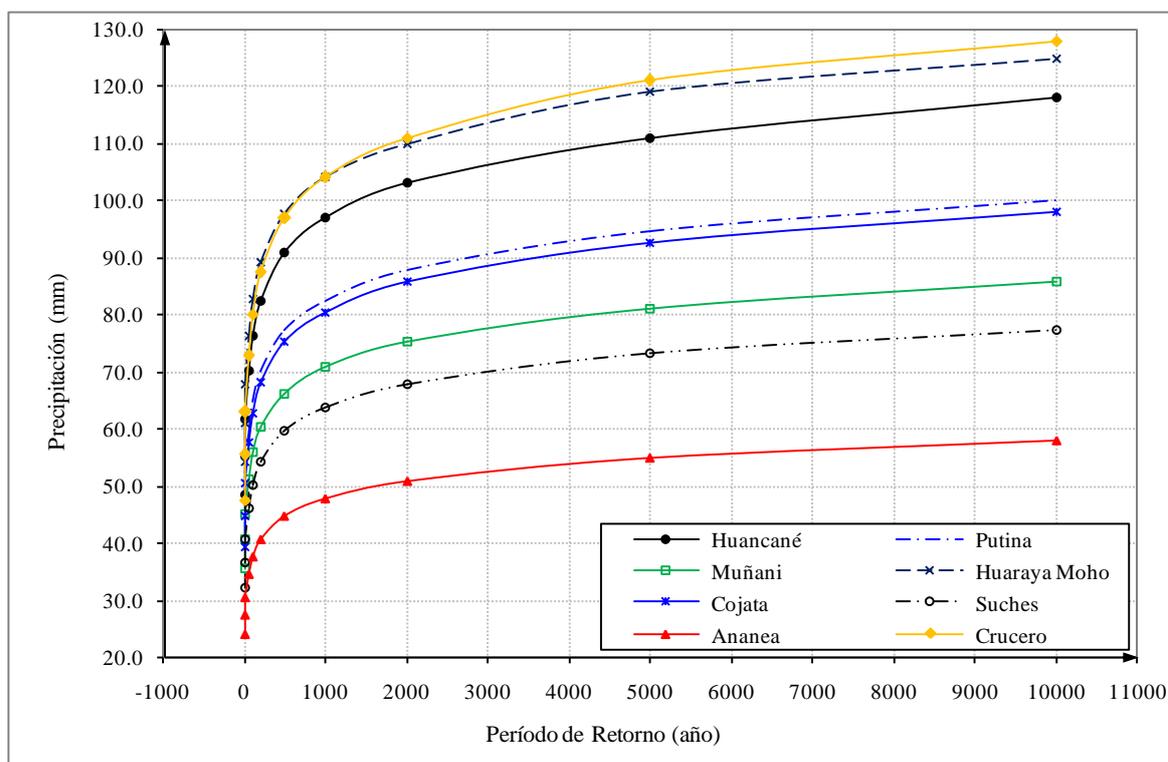
Según el análisis de frecuencia, resulta que las series anuales de precipitaciones máximas en 24 horas de las estaciones Huancané, Putina, Muñani, Huaraya Moho, Cojata, Suches, Ananea y Crucero, se ajustan mejor a la distribución Gumbel (método de máxima verosimilitud), por mostrar menor porcentaje de error estándar que otras distribuciones teóricas.

En el Cuadro N° 11.7 se muestra las precipitaciones máximas para diferentes períodos de retorno de las estaciones meteorológicas consideradas en el presente estudio, asimismo en la Figura N° 11.7 se muestra las curvas de frecuencia de las precipitaciones máximas en 24 horas.

Cuadro N° 11.7 Precipitaciones máximas en 24 horas para diferentes periodos de retorno
Estaciones de las cuencas Huancané, Suches y cuencas vecinas
(ajuste distribución Gumbel - Método de máxima verosimilitud)

N°	Estación	Altitud (msnm)	Período de Retorno (año)										
			5	10	20	50	100	200	500	1000	2000	5000	10000
1	Huancané	3840	48.4	55.2	61.6	70.0	76.3	82.5	90.7	97.0	103.0	111.0	118.0
2	Putina	3856	41.3	47.0	52.5	59.5	64.9	70.1	77.1	82.4	87.7	94.6	99.9
3	Muñani	3948	35.5	40.4	45.1	51.1	55.7	60.2	66.2	70.7	75.2	81.1	85.7
4	Huaraya Moho	3832	54.0	60.9	67.6	76.2	82.7	89.1	97.6	104.0	110.0	119.0	125.0
5	Cojata	4327	39.1	44.8	50.3	57.4	62.8	68.1	75.1	80.4	85.7	92.7	98.0
6	Suches	4655	32.0	36.4	40.6	46.0	50.1	54.2	59.6	63.6	67.7	73.1	77.1
7	Ananea	4640	24.0	27.3	30.4	34.5	37.6	40.6	44.6	47.7	50.7	54.7	57.8
8	Crucero	4130	47.5	55.4	62.9	72.7	80.0	87.3	96.9	104.0	111.0	121.0	128.0

Figura N° 11.7 Curva de frecuencia de las precipitaciones máximas en 24 horas
Estaciones de las cuencas Huancané, Suches y cuencas vecinas
(ajuste distribución Gumbel - Método de máxima verosimilitud)



En base a la información del análisis de frecuencia de precipitaciones máximas en 24 horas de las estaciones consideradas en el presente estudio, se ha calculado las precipitaciones máximas de diseño para las subcuencas de interés, mediante las áreas de influencia de cada estación, empleando el método de Polígonos de Thiessen.

En los Cuadros N° 11.8 y 11.9 se muestran los coeficientes del área de influencia de las estaciones meteorológicas en las subcuencas de las cuencas Huancané y Suches.

En los Cuadros N° 11.10 y 11.11 se presentan las precipitaciones máximas en 24 horas calculadas para diferentes períodos de retorno para las subcuencas de las cuencas Huancané y Suches.

Cuadro N° 11.8 Coeficientes del área de influencia de las estaciones meteorológicas
Subcuencas de la cuenca Huancané

Subcuenca	Estación Meteorológica							
	Huancané	Putina	Muñani	Huaraya Moho	Cojata	Suches	Ananea	Crucero
Llache	0.12042	0.87958						
Tuyto	0.32551	0.00617		0.26429	0.40403			
Muñani		0.09351	0.80887					0.09762
Pistune	0.15459	0.57030			0.26804		0.00707	
Alto Huancané		0.32843	0.04354		0.00528		0.62275	
Guanaco			0.59940					0.40060
Yaputira					1.00000			

Cuadro N° 11.9 Coeficientes del área de influencia de las estaciones meteorológicas
Subcuencas de la cuenca Suches

Subcuenca	Estación Meteorológica							
	Huancané	Putina	Muñani	Huaraya Moho	Cojata	Suches	Ananea	Crucero
Chueña Huata Jahuirá					1.00000			
Caylloma					0.60293	0.12402	0.27304	
Trapiche						0.67964	0.32036	
Suches (Pte Ramón Castilla)					0.20152	0.60080	0.19768	

Cuadro N° 11.10 Precipitaciones máximas en 24 horas (mm) - Subcuencas de la cuenca Huancané

Subcuenca	Período de retorno (año)							
	5	10	20	50	100	200	500	1000
Llache	42.2	48.0	53.6	60.8	66.3	71.6	78.7	84.2
Tuyto	46.1	52.5	58.6	66.5	72.5	78.3	86.1	92.1
Muñani	37.2	42.5	47.5	54.0	58.9	63.8	70.2	75.0
Pistune	41.7	47.5	53.2	60.4	65.9	71.3	78.4	83.9
Alto Huancané	30.3	34.4	38.4	43.6	47.5	51.3	56.4	60.3
Guanaco	40.3	46.4	52.2	59.8	65.4	71.1	78.5	84.0
Yaputira	39.1	44.8	50.3	57.4	62.8	68.1	75.1	80.4

Cuadro N° 11.11 Precipitaciones máximas en 24 horas (mm) - Subcuencas de la cuenca Suches

Subcuenca	Período de retorno (año)							
	5	10	20	50	100	200	500	1000
Chueña Huata Jahuira	39.1	44.8	50.3	57.4	62.8	68.1	75.1	80.4
Caylloma	34.1	39.0	43.7	49.7	54.3	58.9	64.8	69.4
Trapiche	29.4	33.5	37.3	42.3	46.1	49.8	54.8	58.5
Suches (Pte Ramón Castilla)	31.8	36.3	40.5	46.0	50.2	54.3	59.8	63.8

B.- Elección del valor de la curva número CN

La elección de la curva número (CN), se obtiene del grupo hidrológico de suelos, en base a las características del complejo suelo-vegetación de la cuenca y de la experiencia regional. Es preferible la estimación a partir de una calibración, cuando se dispone de registros de máximas avenidas en alguna estación hidrométrica local o del entorno regional.

La CN a partir de las tablas del Método SCS (al no ser posible la calibración por aforos, caso del presente estudio) podría ser para los ríos en estudio la condición II y grupo de suelo hidrológico C a D, es decir un valor de CN comprendido en un rango de 78 a 84.

Las CN con valores igual o mayores a 80 corresponderían en el Perú, a cuencas de las regiones de sierra y costa (Aplicaciones de ELECTROPERU).

Por las características de las subcuencas, pluviosidad, experiencias anteriores y el marco teórico, se optó para las subcuencas en estudio, por un valor de CN = 80.

C.- Avenidas e hidrogramas de diseño

Para la determinación de las avenidas de diseño se ha aplicado el método del Hidrograma Unitario Sintético del Servicio de Conservación de Suelos (SCS). Para ello se ha utilizado las precipitaciones máximas en 24 horas para diferentes períodos de retorno, presentados en los Cuadros N° 11.10 y 11.11, y los parámetros geomorfológicos de las subcuencas en estudio.

Cuenca Huancané:

Subcuenca río Llache:	Area de la cuenca	=	161.93 km ²
	Longitud del cauce principal	=	40.42 km
	Pendiente media del cauce principal	=	2.04 %
	Curva Número (CN)	=	80.00

Subcuenca río Tuyto:	Area de la cuenca	=	1107.11 km ²
	Longitud del cauce principal	=	94.17 km
	Pendiente media del cauce principal	=	0.50 %
	Curva Número (CN)	=	80.00

Subcuenca río Muñani:	Area de la cuenca	=	889.44 km ²
	Longitud del cauce principal	=	71.58 km
	Pendiente media del cauce principal	=	1.26 %
	Curva Número (CN)	=	80.00

Subcuenca río Pistune:	Area de la cuenca	=	380.43 km ²
	Longitud del cauce principal	=	52.53 km
	Pendiente media del cauce principal	=	1.68 %
	Curva Número (CN)	=	80.00
Subcuenca Alto Huancané: (río Puncune)	Area de la cuenca	=	524.77 km ²
	Longitud del cauce principal	=	49.34 km
	Pendiente media del cauce principal	=	1.89 %
	Curva Número (CN)	=	80.00
Subcuenca río Guanaco: (Vaso Callatomaza)	Area de la cuenca	=	216.75 km ²
	Longitud del cauce principal	=	24.34 km
	Cota máxima del río principal	=	4760.00 msnm
	Cota mínima del río principal	=	4154.00 msnm
	Pendiente media del cauce principal	=	2.49 %
	Curva Número (CN)	=	80.00
Subcuenca río Yapotira: (Vaso Yapotira)	Area de la cuenca	=	228.24 km ²
	Longitud del cauce principal	=	27.86 km
	Cota máxima del río principal	=	4300.00 msnm
	Cota mínima del río principal	=	3980.00 msnm
	Pendiente media del cauce principal	=	1.15 %
	Curva Número (CN)	=	80.00
Cuenca Suches:			
Subcuenca río Chueña Huata Jahuira:	Area de la cuenca	=	162.18 km ²
	Longitud del cauce principal	=	36.76 km
	Pendiente media del cauce principal	=	1.03 %
	Curva Número (CN)	=	80.00
Subcuenca río Caylloma:	Area de la cuenca	=	289.22 km ²
	Longitud del cauce principal	=	40.24 km
	Pendiente media del cauce principal	=	1.26 %
	Curva Número (CN)	=	80.00
Subcuenca río Trapiche:	Area de la cuenca	=	405.45 km ²
	Longitud del cauce principal	=	38.63 km
	Pendiente media del cauce principal	=	1.64 %
	Curva Número (CN)	=	80.00
Cuenca río Suches: (Pte. Ramón Castilla)	Area de la cuenca	=	1056.49 km ²
	Longitud del cauce principal	=	55.77 km
	Pendiente media del cauce principal	=	1.24 %
	Curva Número (CN)	=	80.00

Con la información establecida, se calculan las máximas avenidas de diseño para diferentes períodos de retorno, para las subcuencas en estudio. En el Cuadro N° 11.12 se muestra el resultado de cálculo de caudales máximos instantáneos para el río Llache, para el período de retorno de 50 años; para otros períodos de retorno y subcuencas se muestran en el Anexo 1.

Cuadro N° 11.12 Análisis de Máximas Avenidas – Subcuenca río Llache
Método SCS

NOMBRE DE LA CUENCA *RIO LLACHE*													
DURACION LLUVIA = 3.15 HRS				TIEMPO PICO = 9.45 HRS				TIEMPO BASE = 25.22 HRS					
LONGITUD = 40.42 KMS				AREA CUENCA = 161.93 KM2				COEFICI. CN = 80.00					
PRECIPITACION = 60.80 MM				ABS.INICIAL = 12.70 MM				PER.RETORNO = 50.00 AÑOS					
				PENDIENTE = 2.04 O/O									
TIEMPO DESDE INICIO DE LA TORMENTA (HORAS)	TIEMPO DESDE INICIO DE LA ESCORRENTIA (HORAS)	PRECIPITACION ACUMULADA		ESCORRENTIA ACUMULADA		INCREMENTO DE ESCORRENTIA (MM)		CAUDAL PICO DEL HIDROGRAMA M3/SEG					
		O/O	MM	(MM)	(MM)								
10.58	.00	20.89	12.7	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00		
13.72	3.15	80.82	49.1	13.29	13.29	13.29	47.38						
16.87	6.30	89.92	54.7	16.70	16.70	3.42	12.18						
20.02	9.45	95.22	57.9	18.79	18.79	2.09	7.44						
23.17	12.59	99.11	60.3	20.36	20.36	1.57	5.61						
24.00	15.74	100.00	60.8	20.73	20.73	.37	1.31						
HIDROGRAMAS INCREMENTALES PARA SIGUIENTES TIEMPOS DESDE EL INICIO DE LA ESCORRENTIA													
TIEMPO DE INICIO DE LA ESCORRENTIA													
.0	3.1	6.3	9.4	12.6	15.7	18.9	22.0	25.2	28.3	31.5	34.6	37.8	40.9
.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
.0	.0	15.6	31.7	47.4	37.9	28.4	19.0	9.5	.0	.0	.0	.0	.0
.0	.0	.0	4.0	8.2	12.2	9.7	7.3	4.9	2.4	.0	.0	.0	.0
.0	.0	.0	.0	2.5	5.0	7.4	6.0	4.5	3.0	1.5	.0	.0	.0
.0	.0	.0	.0	.0	1.9	3.8	5.6	4.5	3.4	2.2	1.1	.0	.0
.0	.0	.0	.0	.0	.0	.4	.9	1.3	1.0	.8	.5	.3	.0
.0	.0	15.6	35.8	58.0	56.9	49.8	38.7	24.6	9.8	4.5	1.6	.3	.0

En forma similar se calcula para otros períodos de retorno y para cada subcuenca en estudio. A continuación se tiene el resumen del resultado de las máximas avenidas de diseño y sus respectivas hidrogramas para los ríos en estudio, calculadas para diferentes períodos de retorno, ver Cuadro N° 11.13 y las Figuras N° 11.8 al 11.18.

Cuadro N° 11.13 Caudales máximos instantáneos (m³/s)
Subcuencas de las cuencas Huancané y Suches

TR (año)	Cuenca río Huancané							Cuenca río Suches				
	Subcuenca											
	Llache	Tuyto	Muñani	Pistune	Alto Huancané (río Puncune)	Guanaco	Yaputira	Chueña Huata Jahaira	Caylloma	Trapiche	Suches (Pte. Ramón Castilla)	
5	26.4	70.6	62.0	48.6	29.4	44.1	30.7	18.1	22.6	22.7	54.9	
10	35.8	93.8	86.9	66.2	43.2	63.0	43.5	25.5	32.8	33.5	80.3	
20	45.3	117.5	112.7	84.5	58.6	81.3	56.3	32.9	43.7	45.5	106.9	
50	58.0	150.1	148.4	108.7	81.0	106.4	73.8	43.2	58.4	63.3	145.4	
100	67.9	176.0	176.7	127.7	98.7	127.6	87.5	51.3	70.4	77.8	176.4	
200	77.4	201.9	206.2	146.8	116.6	155.9	100.9	59.4	82.6	92.3	208.4	
500	91.5	237.7	245.9	172.0	141.6	195.0	119.7	70.2	98.8	112.8	252.7	
1000	103.5	265.9	276.4	191.5	161.3	216.4	135.1	78.5	111.7	128.2	286.2	

Figura N° 11.8 Hidrogramas unitarios sintéticos - Método SCS
Subcuenca río Llache

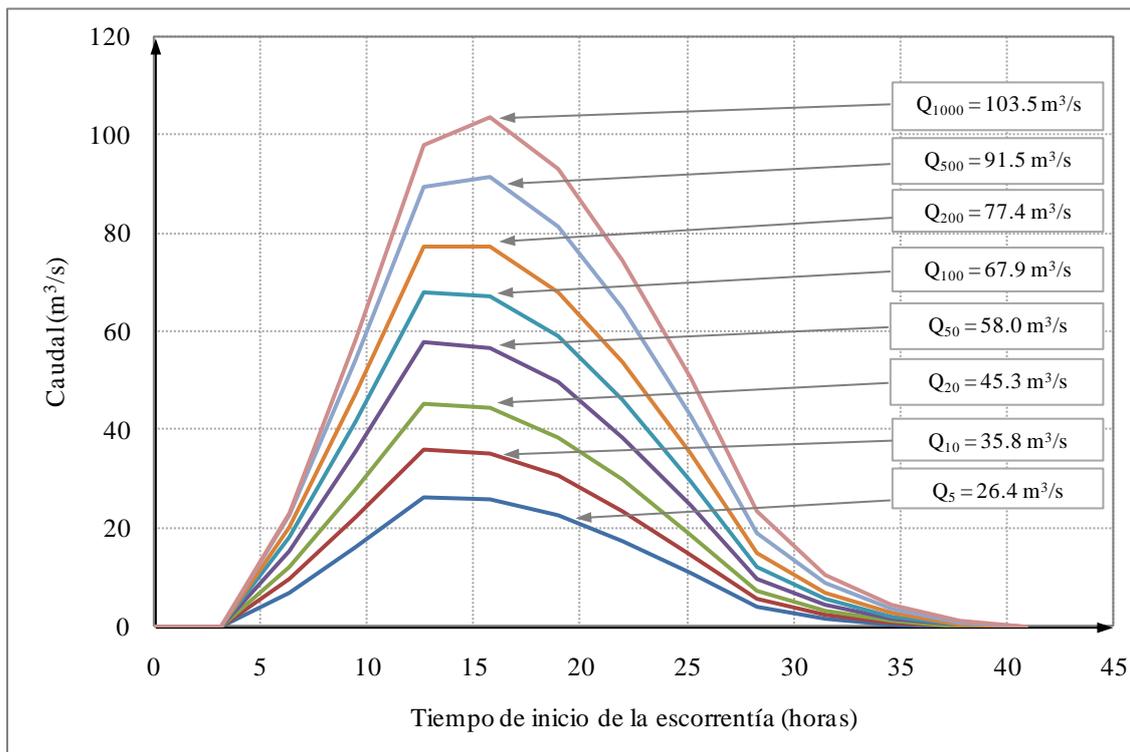


Figura N° 11.9 Hidrogramas unitarios sintéticos - Método SCS
Subcuenca río Tuyto

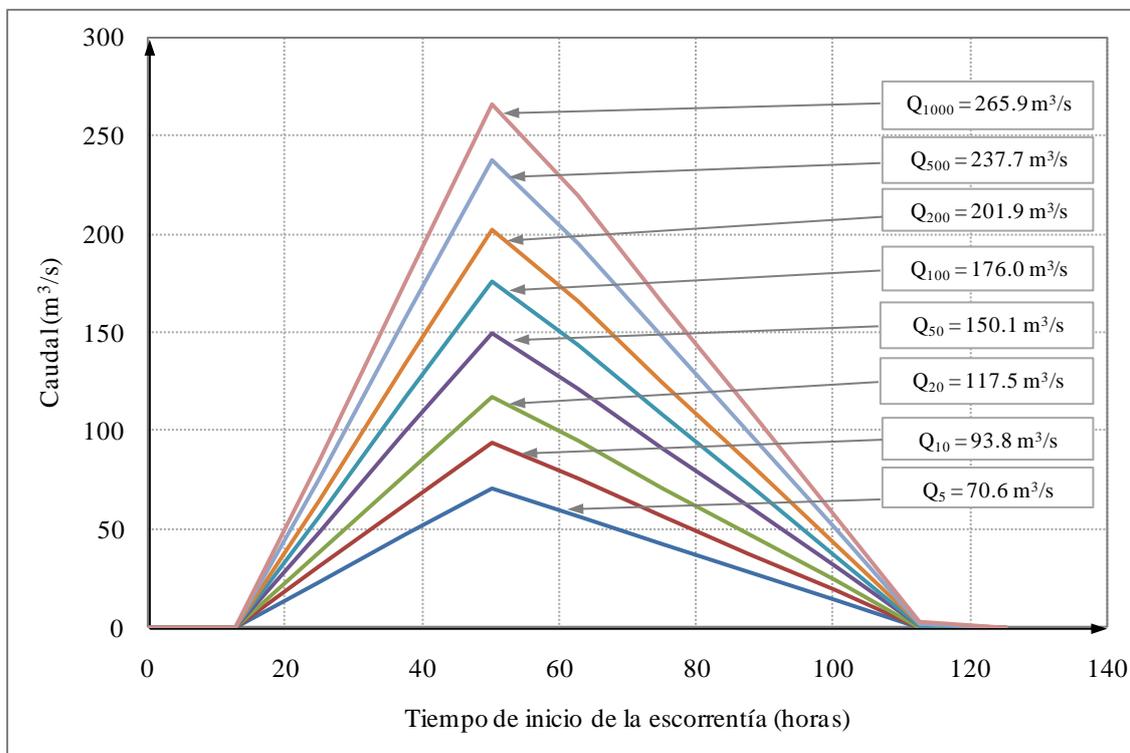


Figura N° 11.10 Hidrogramas unitarios sintéticos - Método SCS
Subcuenca río Muñani

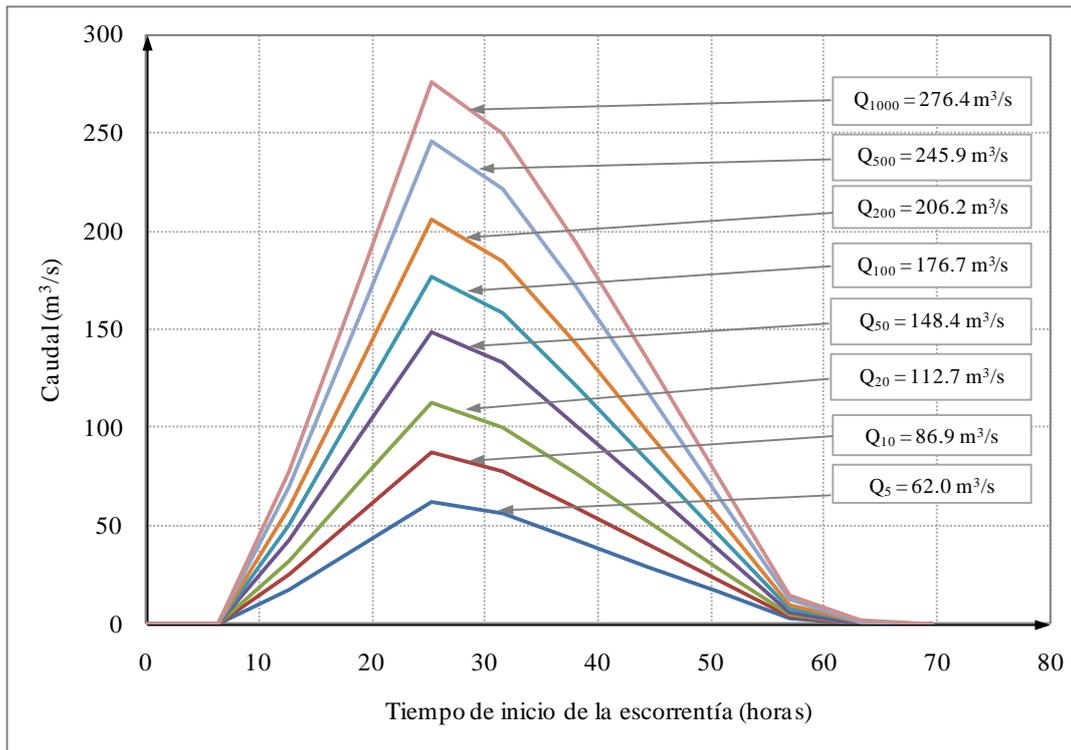


Figura N° 11.11 Hidrogramas unitarios sintéticos - Método SCS
Subcuenca río Pistune

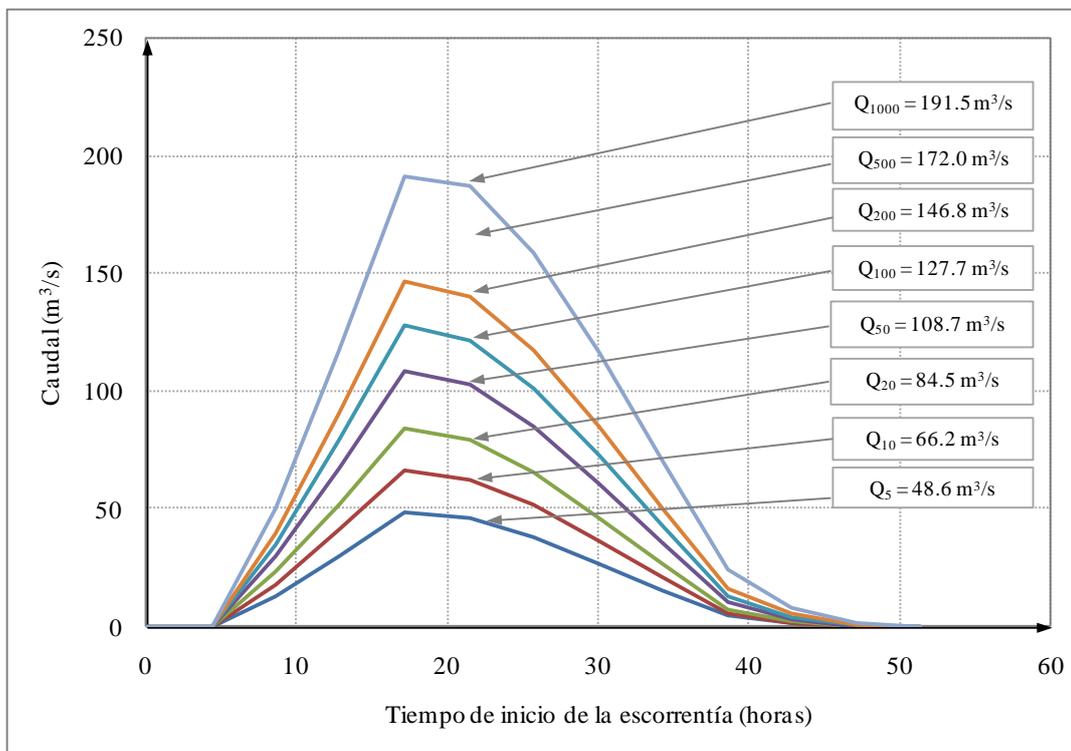


Figura N° 11.12 Hidrogramas unitarios sintéticos - Método SCS
Subcuenca Alto Huancané (río Puncune)

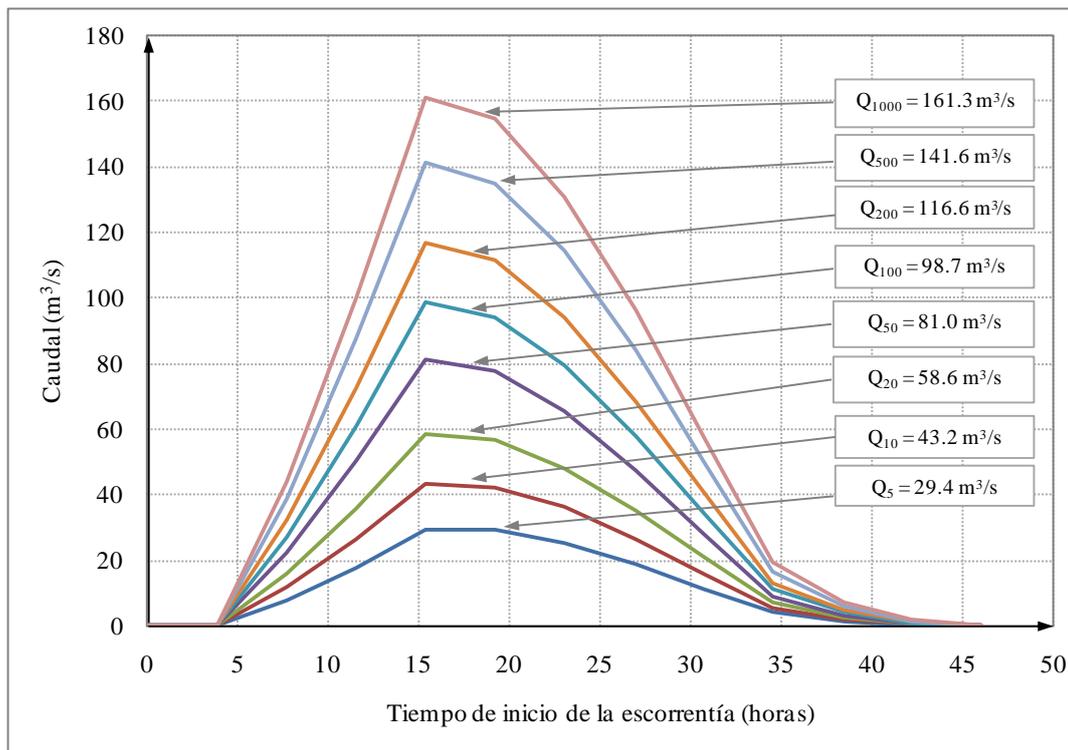


Figura N° 11.13 Hidrogramas unitarios sintéticos - Método SCS
Subcuenca río Guanaco

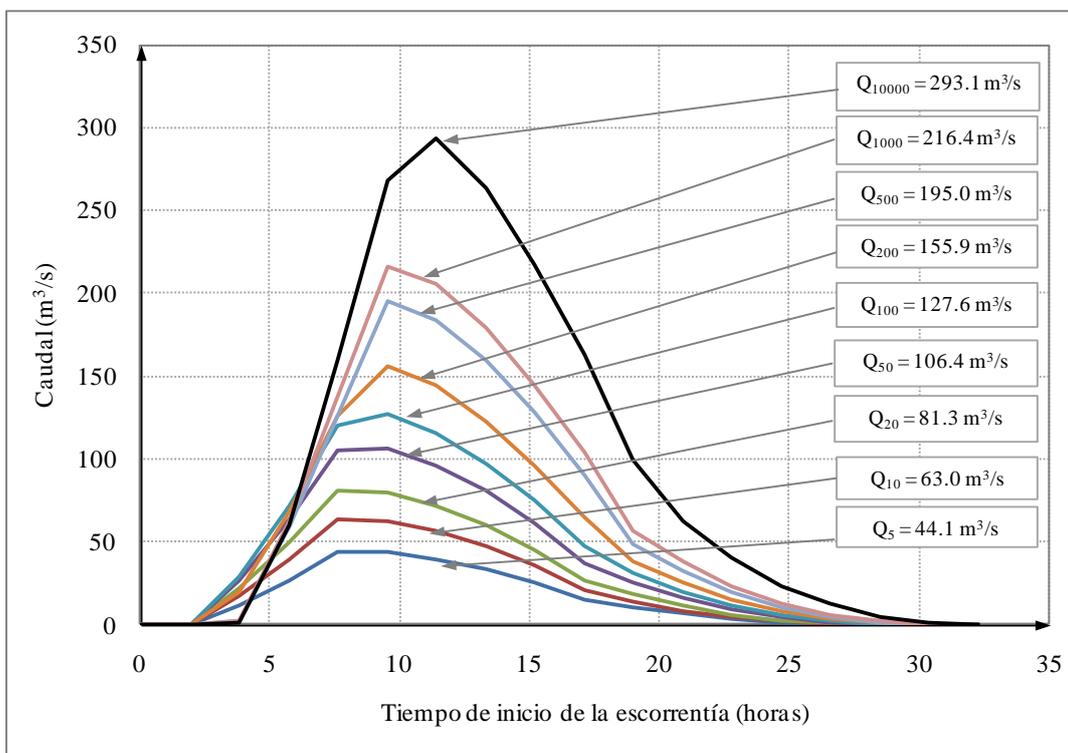


Figura N° 11.14 Hidrogramas unitarios sintéticos - Método SCS
Subcuenca río Yapotira

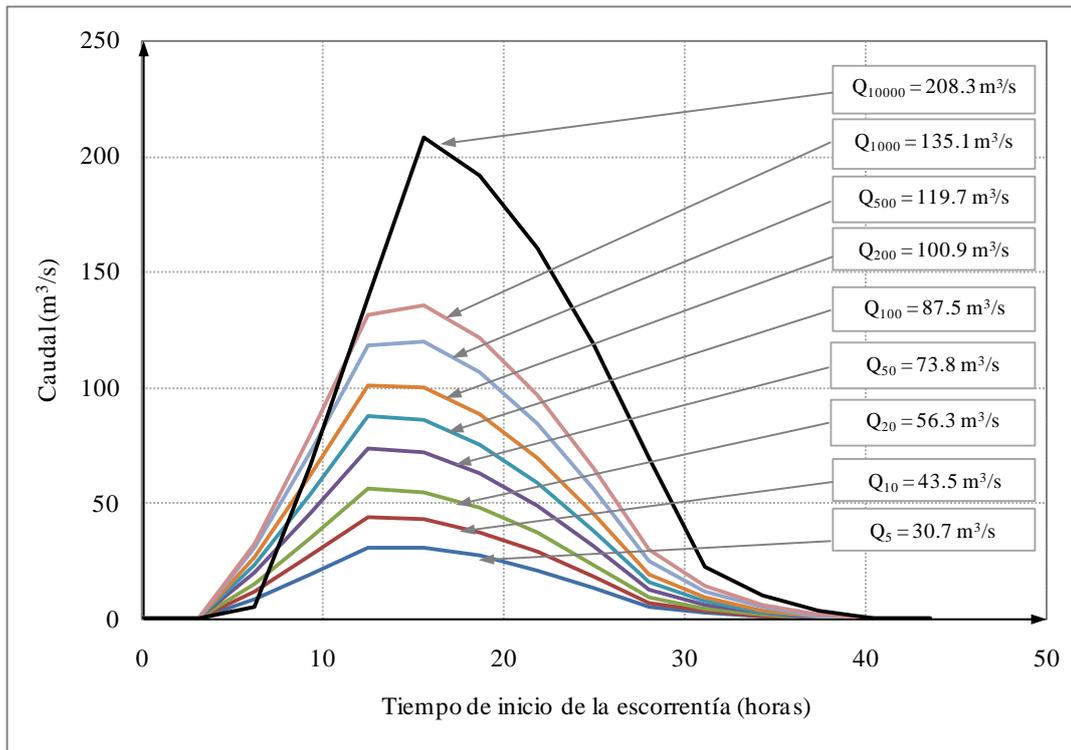


Figura N° 11.15 Hidrogramas unitarios sintéticos - Método SCS
Subcuenca río Chueña Huata Jahuira

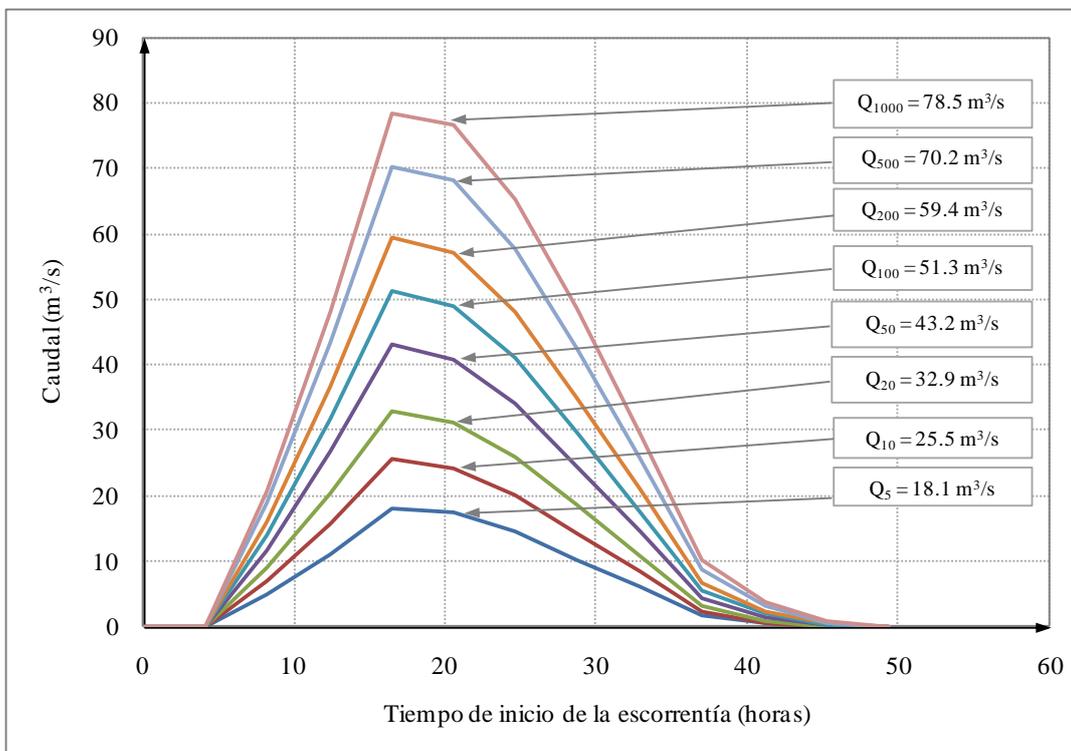


Figura N° 11.16 Hidrogramas unitarios sintéticos - Método SCS
Subcuenca río Caylloma

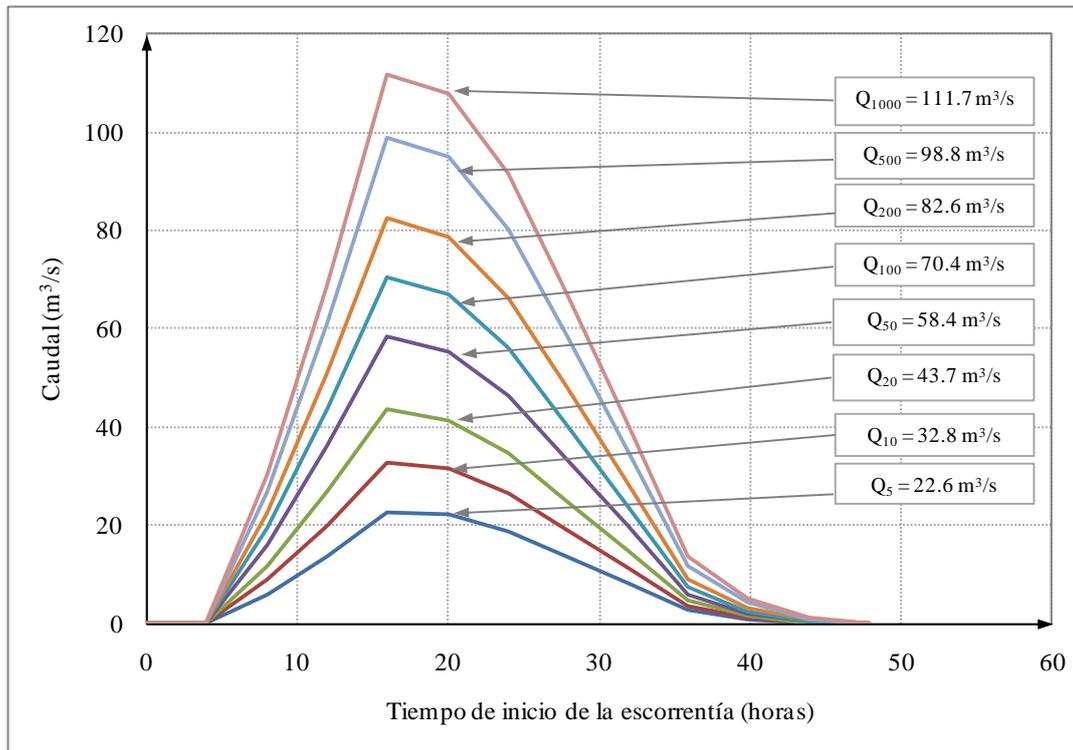


Figura N° 11.17 Hidrogramas unitarios sintéticos - Método SCS
Subcuenca río Trapiche

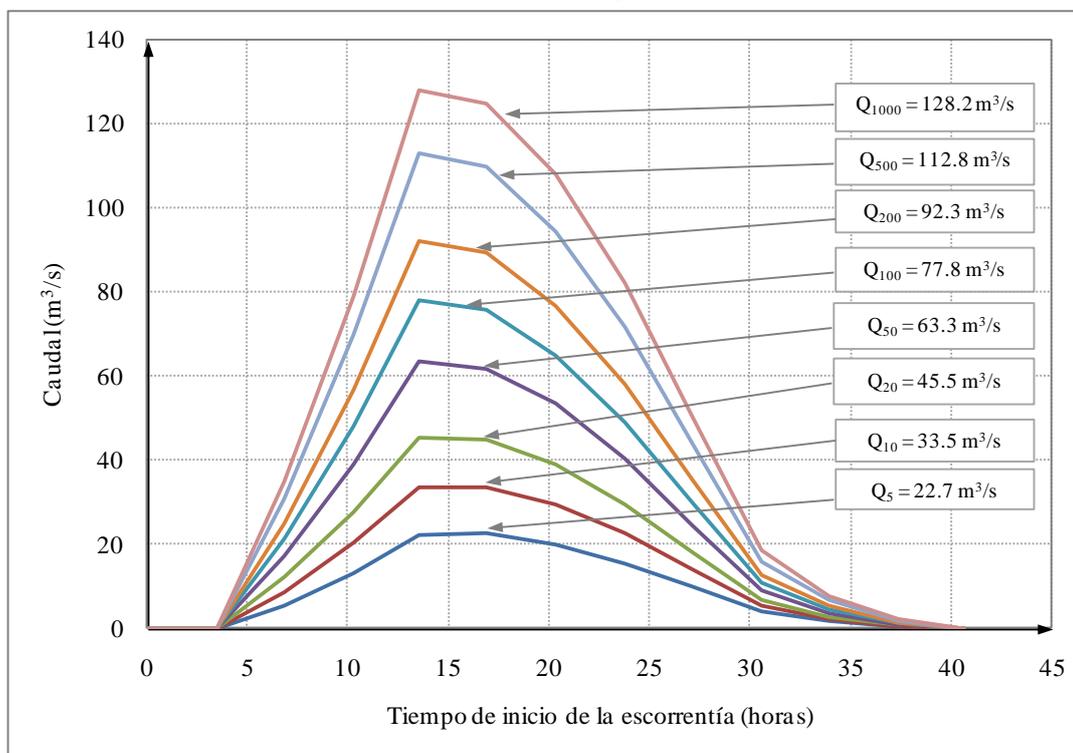
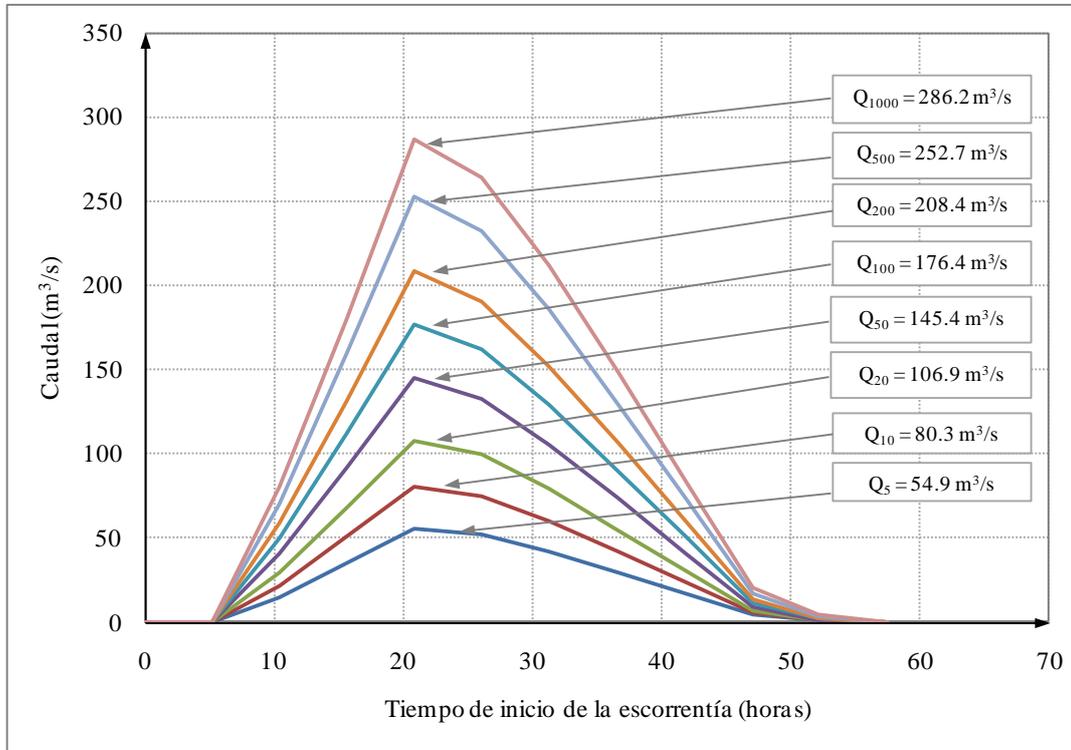


Figura N° 11.18 Hidrogramas unitarios sintéticos - Método SCS
Cuenca río Suches (Puente Ramón Castilla)



11.3 ANÁLISIS DE SEQUÍAS

11.3.1 Generalidades

La sequía en una cuenca hidrográfica se comporta como un evento extremo mínimo, el cual se origina de la carencia de lluvias que provoca el déficit del recurso hídrico en el abastecimiento de agua para las plantas, animales, población, industrias, etc. Bajo este contexto, se considera de suma importancia realizar en el presente estudio, el análisis de sequía determinando su magnitud, duración e intensidad de ocurrencia.

Sequía

En términos generales, la sequía es un fenómeno natural extremo relacionado con el tiempo atmosférico, cuya característica es la disminución temporal notable de agua disponible, por debajo de la cantidad normal en un período determinado y varía en el espacio y tiempo; afecta a extensas regiones por meses o años.

La sequía difiere de la aridez en que la sequía es temporal; la aridez es una característica permanente de regiones con baja lluvia.

La severidad de una sequía depende no solamente del grado de reducción de la lluvia, de su duración o de su extensión geográfica, sino también de las demandas del recurso hídrico para la permanencia de los sistemas naturales y para el desarrollo de las actividades humanas, razón por la cual es posible expresar el grado de severidad de la sequía en términos de sus impactos sociales y económicos.

Tipos de sequía

Se distinguen diferentes tipos de sequía, los cuales son: meteorológica, hidrológica, agrícola y socioeconómica. De estos tipos de sequía, los dos primeros describen fenómenos físicos, mientras que el tercero describe el impacto de los dos primeros en la producción agrícola.

- **Sequía meteorológica.-** Desde el punto de vista meteorológico, la sequía puede definirse como una condición anormal y recurrente del clima que ocurre en todas las regiones climáticas de la tierra. Este fenómeno se caracteriza por una marcada reducción de la cantidad de precipitación que se presenta en una zona, y puede producir serios desbalances hidrológicos. Describe una situación en la cual hay una disminución en la caída de lluvias durante un período específico por debajo de una cantidad específica. Su definición sólo comprende datos de precipitación.
- **Sequía hidrológica.-** En términos hidrológicos, la sequía ocurre cuando se presenta una precipitación menor a la media estacional en escala regional, lo que se traduce en un nivel de suministro anormal de los cursos de agua y de los reservorios de agua superficial o subterránea. Es decir, existe una disminución de los recursos hídricos por debajo de un nivel determinado durante un período de tiempo dado. Su definición incorpora datos de disponibilidad y tasas de consumo basadas en el suministro normal del sistema (uso doméstico, agrícola, industrial, etc).

La sequía hidrológica puede durar meses y años, desde el inicio de la escasez pluviométrica o, si las precipitaciones retornan en poco tiempo y no llega a manifestarse. Por tanto, la secuencia temporal de sequía es: meteorológica-agrícola- hidrológica.

- **Sequía agrícola.-** Por ser el primer sector económico que resulta afectado por la escasez de precipitaciones, la agricultura adquiere una especial relevancia en relación con la sequía. Por tanto, la sequía agrícola se produce cuando no hay suficiente humedad en el suelo para permitir el desarrollo de un determinado cultivo en cualquiera de sus fases de crecimiento. Dado que la

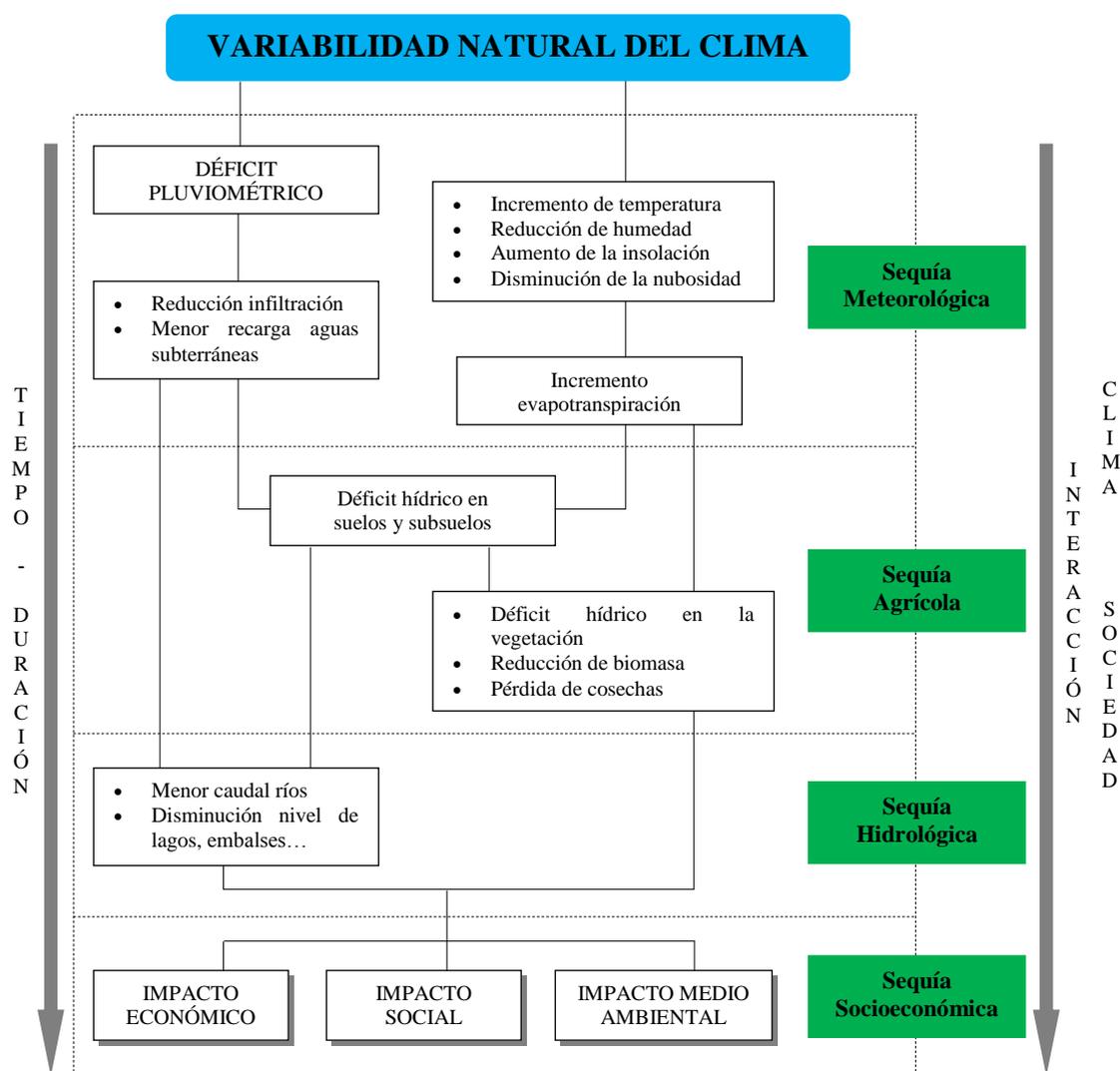
cantidad de agua es diferente para cada tipo de cultivo, e incluso puede variar a lo largo del crecimiento de una misma planta, no es posible establecer umbrales de sequía agrícola válidos ni tan siquiera para una única área geográfica.

Este tipo de sequía, por depender no sólo de las condiciones meteorológicas, sino también de las características biológicas del cultivo y las propiedades del suelo, no es equivalente a la sequía meteorológica. Si los niveles de humedad en el subsuelo son suficientes para proporcionar agua a un determinado tipo de cultivo durante el período que dure la sequía meteorológica, no llegará a producirse una sequía agrícola.

- **Sequía socioeconómica.**- La sequía en el sector socio-económico ocurre cuando las lluvias son insuficientes y tienen un efecto significativo sobre las comunidades y su economía (energía hidroeléctrica, suministro de agua potable, industria, etc).

Los cuatro tipos de evento seco analizados reflejan un proceso de evolución de la sequía, determinado tanto por la variabilidad natural del clima, como por la duración del evento, y por la interacción entre clima y sociedad, ver la siguiente figura.

Figura N° 11.19 Secuencia de evolución de los diversos tipos de sequía operacional



Fuente: Investigaciones Geográficas, n° 26 (2001) pp. 59-80
 Instituto Universitario de Geografía
 Universidad de Alicante (Fuente: Basado en NDMC, 1995).

11.3.2 Sequía meteorológica

11.3.2.1 Información básica - Metodología de análisis

A.- Información básica

La información utilizada para el análisis de sequía meteorológica en el presente estudio, es la serie anual de la precipitación areal del período 1956-2009 calculadas para las cuencas Huancané y Suches. La información fueron presentados en el Capítulo V, ítem 5.5.

B.- Método de análisis de sequía

Para cuantificar la sequía se han desarrollado diferentes índices de sequía, cada uno con sus aciertos y desaciertos. Dos de los más comúnmente usados son el Índice de Severidad de la Sequía de Palmer (PDSI) y el Índice Estándar de Precipitación (IPE). Las condiciones de sequía son monitorizadas constantemente usando estos índices para proveer información actual sobre regiones afectadas por la sequía.

En el presente estudio la sequía meteorológica en las cuencas Huancané y Suches, se ha evaluado con el Índice de Precipitación Estandarizada, de acuerdo a la información disponible.

b.1.- Índice de Precipitación Estandarizada (IPE)

Internacionalmente muy conocido por las siglas en ingles SPI (Standard Precipitation Index).

El Índice de Precipitación Estandarizada (IPE) cuantifica las condiciones de déficit o exceso de precipitación en un lugar, para un lapso determinado de tiempo el cual varía, generalmente, entre 1 y 24 meses. Fue desarrollado por McKee y otros en 1993, con la finalidad de mejorar la detección del inicio de las sequías meteorológicas (definición de sequía en función de la precipitación, únicamente, sin considerar la temperatura ni las variables del suelo) y su posterior monitoreo.

El índice estandarizado de precipitación puede ser considerado como el número de desviaciones estándar que el valor de la precipitación de interés sería lejos de la media, para una distribución normal equivalente y la elección adecuada de la distribución teórica preparado para los datos reales. En efecto, el método consiste en una transformación de una distribución de frecuencia a otra de distribución de frecuencias, en este caso el ampliamente utilizado es la distribución normal o de Gauss, con media cero y desviación estándar unitaria. Cuya ecuación de la estandarización se muestra a continuación.

$$Z_t = \frac{X_t - \bar{X}}{S}$$

Donde: Z_t variable estandarizada, X_t variable pluviométrica, \bar{X} media y S desviación estándar.

Los valores negativos del IPE, indican los años de déficit de precipitación, y estas son la materia del análisis de sequías.

La sequía puede clasificarse según los índices del IPE mostrados en la Tabla N° 11.1.

Tabla N° 11.1 Clasificación del IPE

IPE	Categorías	Frecuencia Teórica de Ocurrencia
-2.00 o menor	Extremadamente Seco (sequía extrema)	1 en 50 años
-1.50 a -1.99	Muy Seco (sequía severa)	1 en 20 años
-1.00 a -1.49	Moderadamente Seco (sequía moderada)	1 en 10 años
-0.50 a -0.99	Ligeramente Seco	}
0.49 a -0.49	Normal	
0.50 a 0.99	Ligeramente Húmedo	1 en 3 años
1.00 a 1.49	Moderadamente Húmedo (exceso moderado)	1 en 10 años
1.50 a 1.99	Muy Húmedo (exceso severo)	1 en 20 años
2.00 o mayor	Extremadamente Húmedo (exceso extremo)	1 en 50 años

b.2.- Ventajas y desventajas del IPE

Ventajas:

- La primera es su simplicidad de cálculo, dado que está basado solamente en la precipitación.
- La segunda es que puede ser calculado para escalas de tiempo variables, lo cual lo hace aplicable en el ámbito de la meteorología, agricultura e hidrología superficial y subterránea. Esta versatilidad temporal es particularmente útil en el análisis de la dinámica de la sequía (al igual que la de los períodos con excesos hídricos), especialmente en la determinación del comienzo y el fin de estos episodios, lo que es difícil de reconocer por medio de otros índices.
- La tercera proviene de la estandarización, lo que asegura que la frecuencia de los eventos extremos en cualquier localidad y en cualquier escala de tiempo es consistente.

Desventajas:

- La primera depende de la calidad de los datos de precipitación utilizados. Datos erróneos conducen a IPE erróneos.
- Una segunda limitación del IPE surge de la naturaleza estandarizada del mismo índice, es decir que los eventos extremos (secos o húmedos) tienen la misma probabilidad de ocurrencia en cualquier lugar. Luego, el IPE no es capaz de identificar regiones que son más propensas que otras a la ocurrencia de estos tipos de episodios.
- Un tercer problema puede surgir cuando el IPE es empleado en las escalas de tiempo más cortas (1, 2 ó 3 meses), en regiones de baja precipitación estacional. En estos casos, pueden ocurrir valores positivos (o negativos) altos que son susceptibles de ser erróneamente interpretados. En estas situaciones, un acabado conocimiento de la climatología de estas regiones mejora la interpretación del IPE.

11.3.2.2 Cuantificación y descripción de las sequías críticas

Con la información de la precipitación areal de las cuencas Huancané y Suches, se ha desarrollado la caracterización meteorológica de las sequías históricas ocurridas durante el período de 1956 a 2009, mediante la aplicación del Índice de Precipitación Estandarizada.

Cuenca Huancané

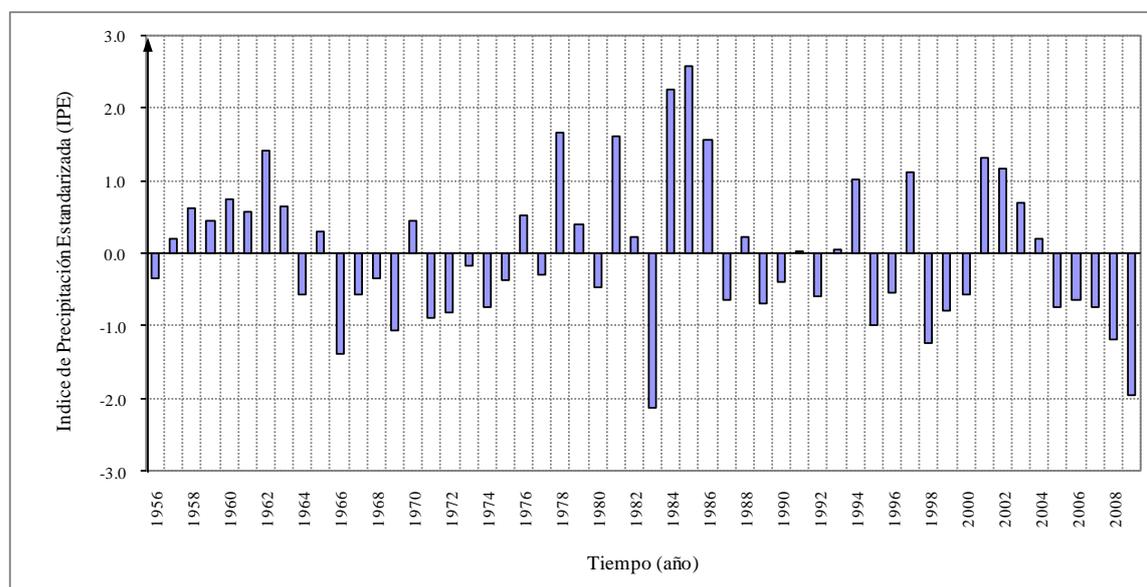
En el Cuadro N° 11.14 se muestra el cálculo del Índice de Precipitación Estandarizada (IPE) y clasificación de la sequía meteorológica de la cuenca Huancané.

Cuadro N° 11.14 Análisis de sequía meteorológica (precipitación areal anual)
Cuenca del río Huancané

N°	Año	Precipitación Anual (mm)	Índice de Precipitación Estandarizada (IPE)	Clasificación del IPE
1	1956	661.3	-0.35	Normal
2	1957	719.5	0.19	Normal
3	1958	764.6	0.61	Ligeramente húmedo
4	1959	746.2	0.44	Normal
5	1960	779.1	0.75	Ligeramente húmedo
6	1961	759.0	0.56	Ligeramente húmedo
7	1962	849.8	1.41	Moderadamente húmedo
8	1963	767.7	0.64	Ligeramente húmedo
9	1964	637.4	-0.57	Ligeramente seco
10	1965	731.2	0.30	Normal
11	1966	550.6	-1.39	Moderadamente seco
12	1967	636.6	-0.58	Ligeramente seco
13	1968	662.8	-0.34	Normal
14	1969	585.5	-1.06	Moderadamente seco
15	1970	746.8	0.45	Normal
16	1971	602.4	-0.90	Ligeramente seco
17	1972	611.6	-0.82	Ligeramente seco
18	1973	679.3	-0.18	Normal
19	1974	618.7	-0.75	Ligeramente seco
20	1975	659.2	-0.37	Normal
21	1976	753.2	0.51	Ligeramente húmedo
22	1977	667.2	-0.30	Normal
23	1978	876.3	1.66	Muy húmedo
24	1979	741.6	0.40	Normal
25	1980	648.7	-0.47	Normal
26	1981	869.6	1.60	Muy húmedo
27	1982	722.5	0.22	Normal
28	1983	471.7	-2.12	Extremadamente seco
29	1984	940.3	2.26	Extremadamente húmedo
30	1985	973.9	2.57	Extremadamente húmedo
31	1986	867.1	1.57	Muy húmedo
32	1987	630.8	-0.64	Ligeramente seco
33	1988	722.8	0.22	Normal
34	1989	624.9	-0.69	Ligeramente seco
35	1990	655.7	-0.40	Normal
36	1991	701.7	0.03	Normal
37	1992	634.9	-0.60	Ligeramente seco
38	1993	704.4	0.05	Normal
39	1994	807.1	1.01	Moderadamente húmedo
40	1995	593.3	-0.99	Ligeramente seco
41	1996	639.6	-0.55	Ligeramente seco
42	1997	817.6	1.11	Moderadamente húmedo
43	1998	564.9	-1.25	Moderadamente seco
44	1999	613.8	-0.80	Ligeramente seco
45	2000	636.8	-0.58	Ligeramente seco
46	2001	838.7	1.31	Moderadamente húmedo
47	2002	823.9	1.17	Moderadamente húmedo
48	2003	774.1	0.70	Ligeramente húmedo
49	2004	720.7	0.20	Normal
50	2005	620.2	-0.74	Ligeramente seco
51	2006	629.8	-0.65	Ligeramente seco
52	2007	619.5	-0.74	Ligeramente seco
53	2008	572.3	-1.18	Moderadamente seco
54	2009	489.0	-1.96	Muy seco
Promedio		698.9	0.00	
Desvest		107.0	1.00	

Para su mejor visualización se presenta en forma gráfica la variación anual del IPE, ver Figura N° 11.20.

Figura N° 11.20 Índice de Precipitación Estandarizada (IPE) - Cuenca del río Huancané



Mediante el análisis de sequía de la precipitación anual de la cuenca del río Huancané, se ha encontrado siete (7) períodos de sequía con mayor duración e intensidad, donde cinco (5) períodos son de sequía extremadamente seco, un (1) período de sequía muy seco y un (1) período de sequía moderadamente seco, ver Cuadro N° 11.15.

Cuadro N° 11.15 Períodos de sequía meteorológica - Cuenca del río Huancané

Períodos de sequía	Duración de la sequía (años)	Magnitud de la sequía (Σ IPE)	Intensidad de sequía	Categoría de la sequía
1 Sequía de 1966 - 1969	4	-3.37	-0.84	Extremadamente seco
2 Sequía de 1971 - 1975	5	-3.02	-0.60	Extremadamente seco
3 Sequía de 1983	1	-2.12	-2.12	Extremadamente seco
4 Sequía de 1989 - 1990	2	-1.09	-0.55	Moderadamente seco
5 Sequía de 1995 - 1996	2	-1.54	-0.77	Muy seco
6 Sequía de 1998 - 2000	3	-2.63	-0.88	Extremadamente seco
7 Sequía de 2005 - 2009	5	-5.27	-1.05	Extremadamente seco

Según el Cuadro N° 11.15, se observa que la sequía más intensa ocurrieron en los períodos de 1971-1975 y 2005-2009, con una duración de cinco (5) años consecutivos. La sequía más crítica ha ocurrido en el período de 1983 con una intensidad de -2.12.

La sequía meteorológica ocurrida en el año de 1983, fue un año extremadamente seco en la cuenca Huancané y a nivel de la región hidrográfica del Titicaca, la escasez de la precipitación pluvial ha afectado en mayor magnitud a la producción agrícola y pecuaria, generando la disminución de la economía de la población rural y de la región. La agricultura en general en la región hidrográfica del Titicaca es bajo lluvia, por lo que es importante construir represas de almacenamiento de agua en épocas de avenida para suplir el déficit del recurso hídrico en la época de estiaje o sequía.

Cuenca Suches

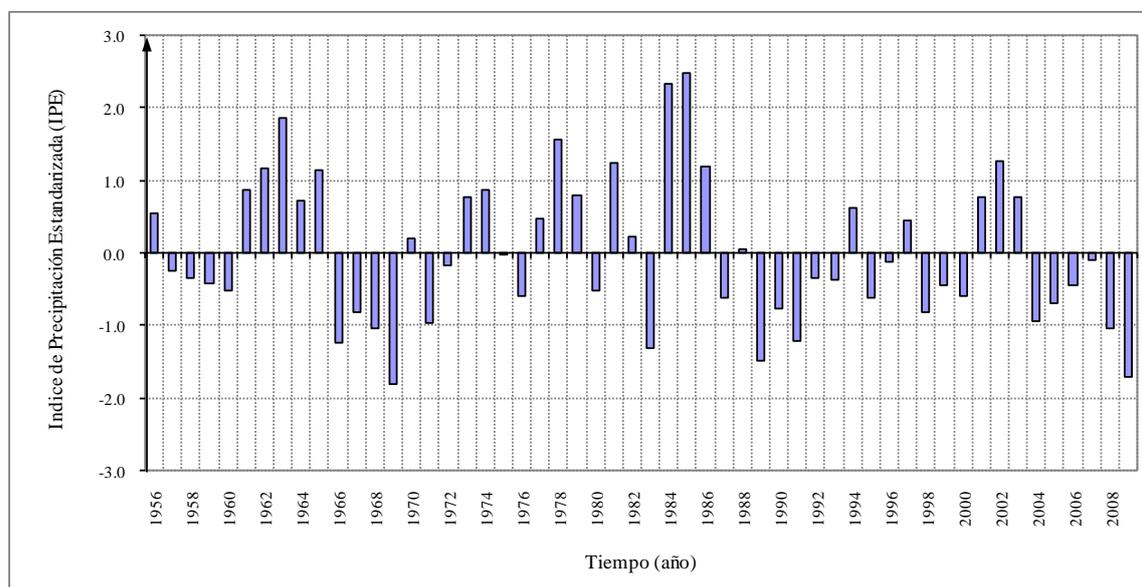
En el Cuadro N° 11.16 se muestra el cálculo del Índice de Precipitación Estandarizada (IPE) y clasificación de la sequía meteorológica de la cuenca Suches.

Cuadro N° 11.16 Análisis de sequía meteorológica (precipitación areal anual)
Cuenca del río Suches

N°	Año	Precipitación Anual (mm)	Índice de Precipitación Estandarizada (IPE)	Clasificación del IPE
1	1956	714.9	0.55	Ligeramente húmedo
2	1957	630.5	-0.24	Normal
3	1958	618.6	-0.35	Normal
4	1959	609.2	-0.43	Normal
5	1960	599.8	-0.52	Ligeramente seco
6	1961	750.9	0.88	Ligeramente húmedo
7	1962	781.4	1.17	Moderadamente húmedo
8	1963	856.0	1.86	Muy húmedo
9	1964	732.7	0.72	Ligeramente húmedo
10	1965	777.3	1.13	Moderadamente húmedo
11	1966	522.8	-1.24	Moderadamente seco
12	1967	567.8	-0.82	Ligeramente seco
13	1968	545.4	-1.03	Moderadamente seco
14	1969	463.0	-1.80	Muy seco
15	1970	678.3	0.21	Normal
16	1971	551.8	-0.97	Ligeramente seco
17	1972	636.4	-0.18	Normal
18	1973	738.2	0.77	Ligeramente húmedo
19	1974	750.9	0.88	Ligeramente húmedo
20	1975	653.8	-0.02	Normal
21	1976	592.8	-0.59	Ligeramente seco
22	1977	706.6	0.47	Normal
23	1978	823.7	1.56	Muy húmedo
24	1979	741.2	0.79	Ligeramente húmedo
25	1980	598.5	-0.53	Ligeramente seco
26	1981	790.6	1.25	Moderadamente húmedo
27	1982	680.3	0.23	Normal
28	1983	514.9	-1.31	Moderadamente seco
29	1984	905.7	2.33	Extremadamente húmedo
30	1985	922.8	2.49	Extremadamente húmedo
31	1986	784.1	1.19	Moderadamente húmedo
32	1987	588.9	-0.62	Ligeramente seco
33	1988	659.9	0.04	Normal
34	1989	495.0	-1.50	Muy seco
35	1990	574.0	-0.76	Ligeramente seco
36	1991	526.2	-1.21	Moderadamente seco
37	1992	618.5	-0.35	Normal
38	1993	614.9	-0.38	Normal
39	1994	721.2	0.61	Ligeramente húmedo
40	1995	588.6	-0.63	Ligeramente seco
41	1996	641.8	-0.13	Normal
42	1997	704.7	0.45	Normal
43	1998	566.9	-0.83	Ligeramente seco
44	1999	607.9	-0.45	Normal
45	2000	591.8	-0.60	Ligeramente seco
46	2001	739.3	0.78	Ligeramente húmedo
47	2002	791.2	1.26	Moderadamente húmedo
48	2003	738.8	0.77	Ligeramente húmedo
49	2004	555.7	-0.93	Ligeramente seco
50	2005	580.5	-0.70	Ligeramente seco
51	2006	608.7	-0.44	Normal
52	2007	645.7	-0.09	Normal
53	2008	542.9	-1.05	Moderadamente seco
54	2009	473.7	-1.70	Muy seco
Promedio		655.9	0.00	
Desvest		107.4	1.00	

Para su mejor visualización se presenta en forma gráfica la variación anual del IPE, ver Figura N° 11.21.

Figura N° 11.21 Índice de Precipitación Estandarizada (IPE) - Cuenca del río Suches



Mediante el análisis de sequía de la precipitación anual de la cuenca del río Suches, se ha encontrado ocho (8) períodos de sequía con mayor duración e intensidad, donde tres (3) períodos son de sequía extremadamente seco, dos (2) períodos de sequía muy seco, dos (2) períodos de sequía moderadamente seco y un (1) período de sequía ligeramente seco, ver Cuadro N° 11.17.

Cuadro N° 11.17 Períodos de sequía meteorológica - Cuenca del río Suches

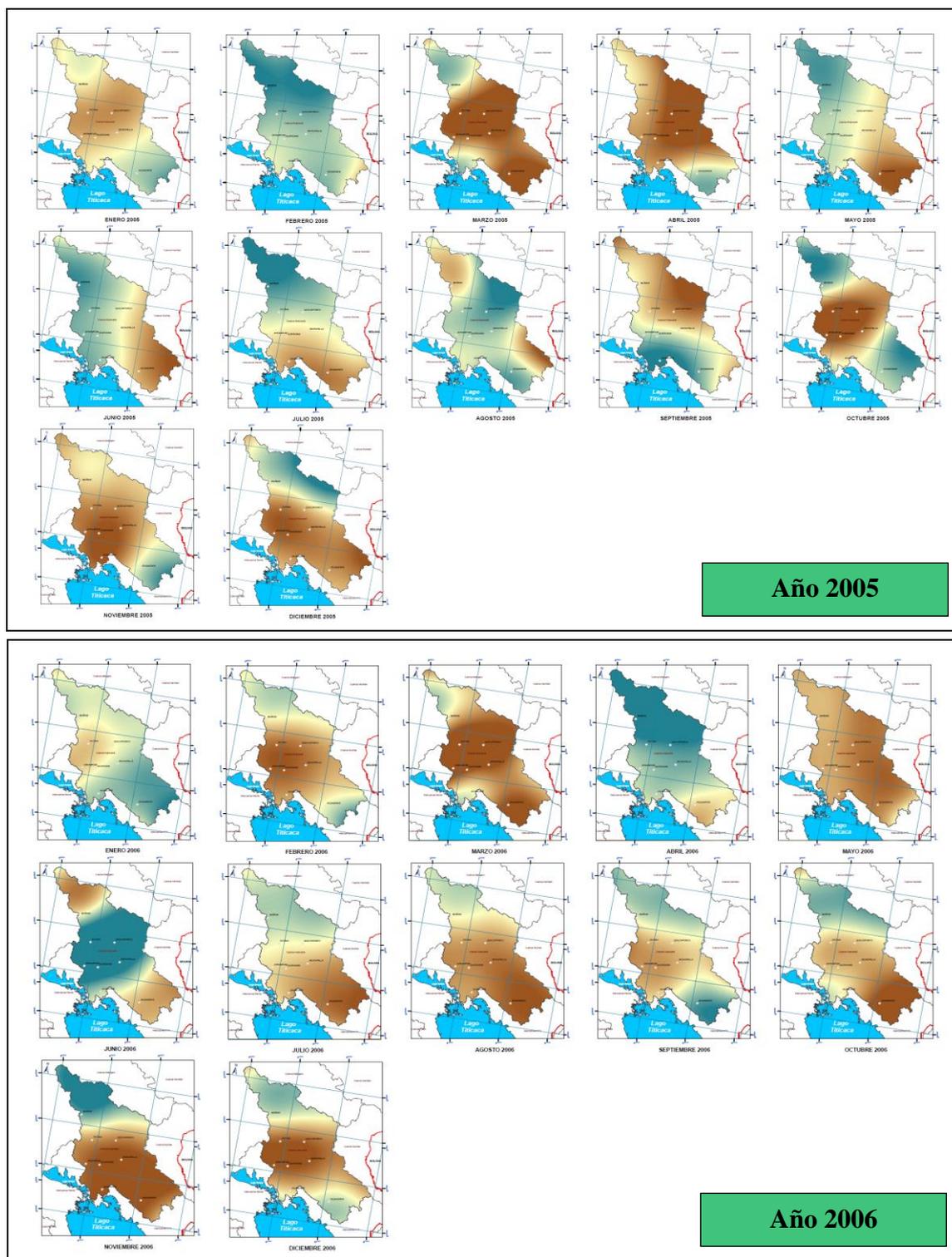
Períodos de sequía	Duración de la sequía (años)	Magnitud de la sequía (Σ IPE)	Intensidad de sequía	Categoría de la sequía
1 Sequía de 1957 - 1960	4	-1.54	-0.39	Muy seco
2 Sequía de 1966 - 1969	4	-4.89	-1.22	Extremadamente seco
3 Sequía de 1971 - 1972	2	-1.15	-0.58	Moderadamente seco
4 Sequía de 1983	1	-1.31	-1.31	Moderadamente seco
5 Sequía de 1989 - 1993	5	-4.20	-0.84	Extremadamente seco
6 Sequía de 1995 - 1996	2	-0.76	-0.38	Ligeramente seco
7 Sequía de 1998 - 2000	3	-1.88	-0.63	Muy seco
8 Sequía de 2004 - 2009	6	-4.91	-0.82	Extremadamente seco

Según el Cuadro N° 11.17, se observa que la sequía más intensa ocurrieron en el período de 2004-2009, con una duración de seis (6) años consecutivos. La sequía más crítica ha ocurrido en el período de 1983 con una intensidad de -1.31.

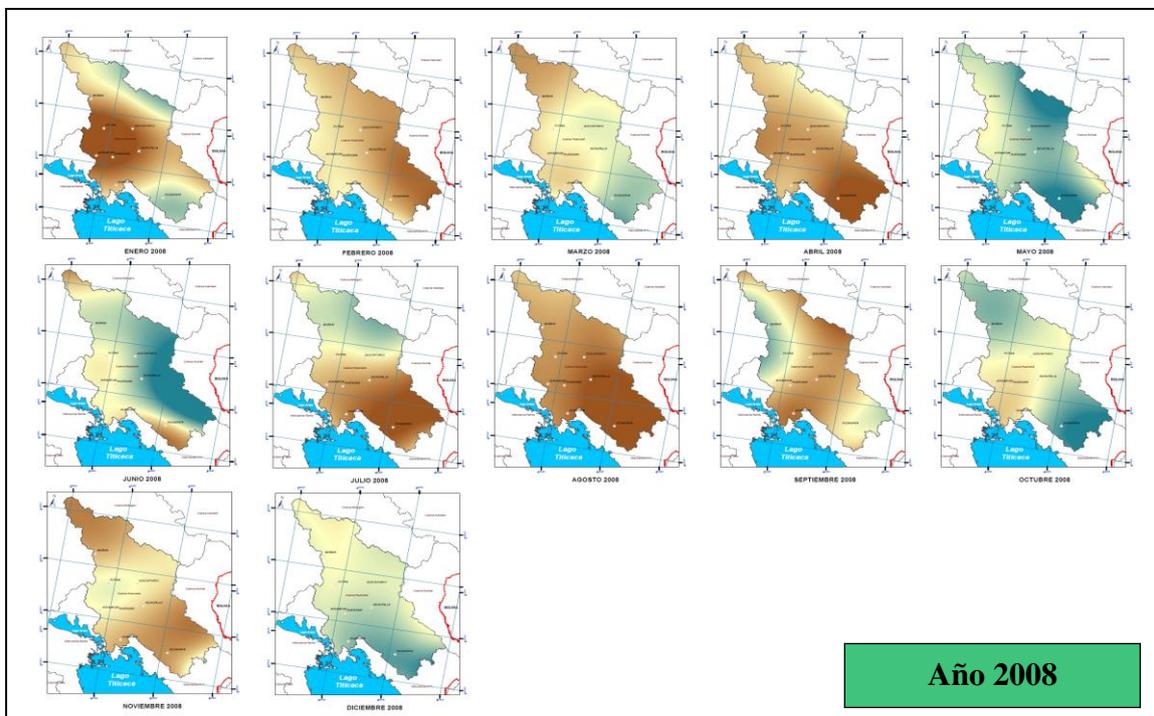
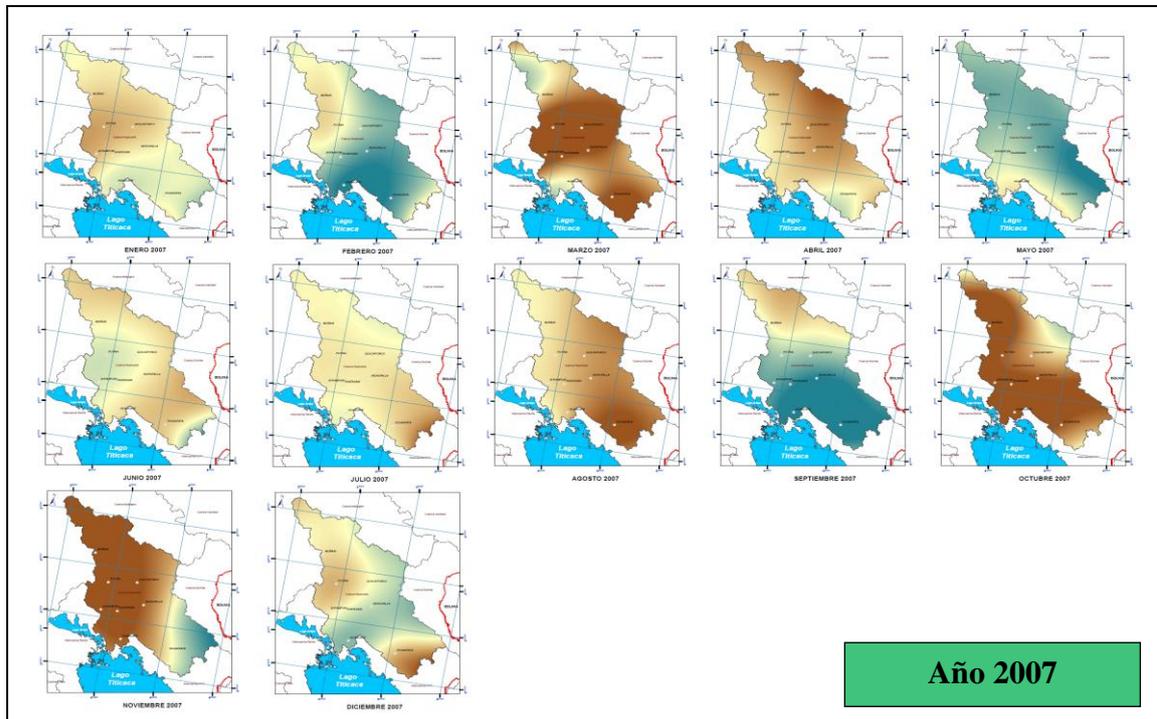
La sequía meteorológica ocurrida en el año de 1983, fue un año extremadamente seco en la cuenca Suches y a nivel de la región hidrográfica del Titicaca, la escasez de la precipitación pluvial ha afectado en mayor magnitud a la producción agrícola y pecuaria, generando la disminución de la economía de la población rural y de la región. La agricultura en general en la región hidrográfica del Titicaca es bajo lluvia, por lo que es importante construir represas de almacenamiento de agua en épocas de avenida para suplir el déficit del recurso hídrico en la época de estiaje o sequía.

Para la elaboración del mapa de la variación espacial de sequía meteorológica, se ha calculado el IPE para cada una de las estaciones meteorológicas y con ayuda del software de Sistema de Información Geográfica (Arc Gis) se obtuvo los mapas de sequía a nivel mensual en las cuencas Huancané (Figura N° 11.22) y Suches (Figura N° 11.23), donde la variación de la sequía se muestra espacialmente en las cuencas de estudio.

Figura N° 11.22 Variación espacial de la sequía meteorológica (período 2005-2009) – Cuenca Huancané



Continuación



Continuación

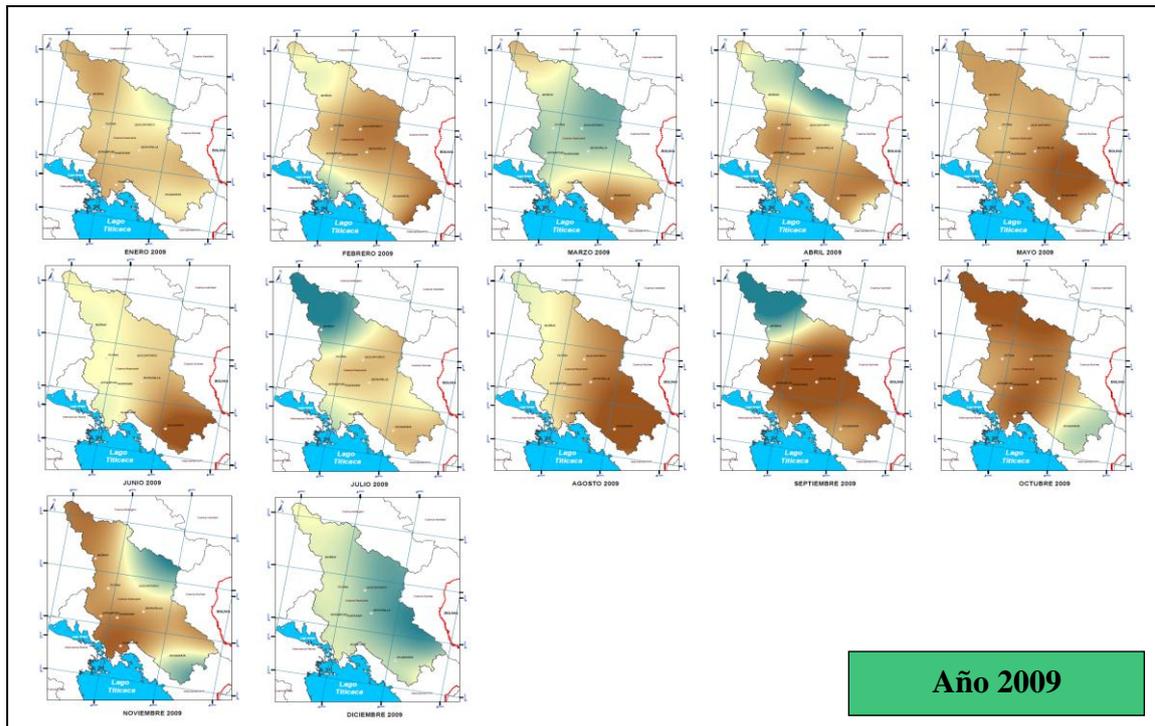
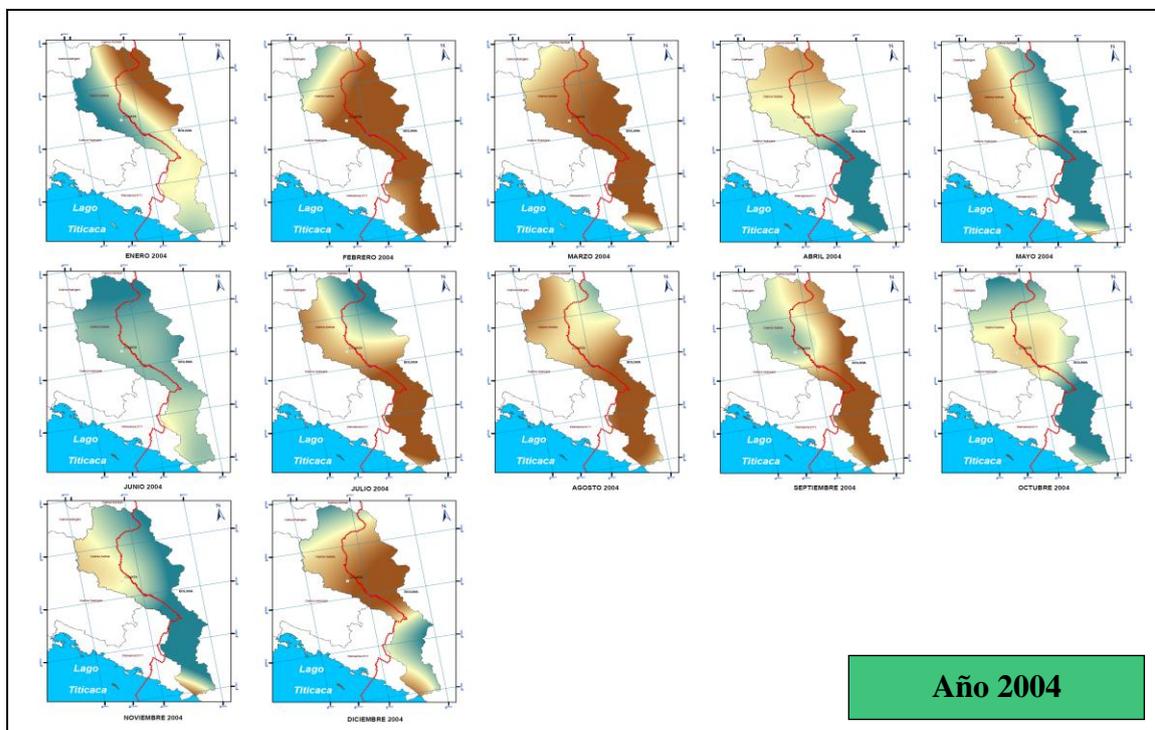
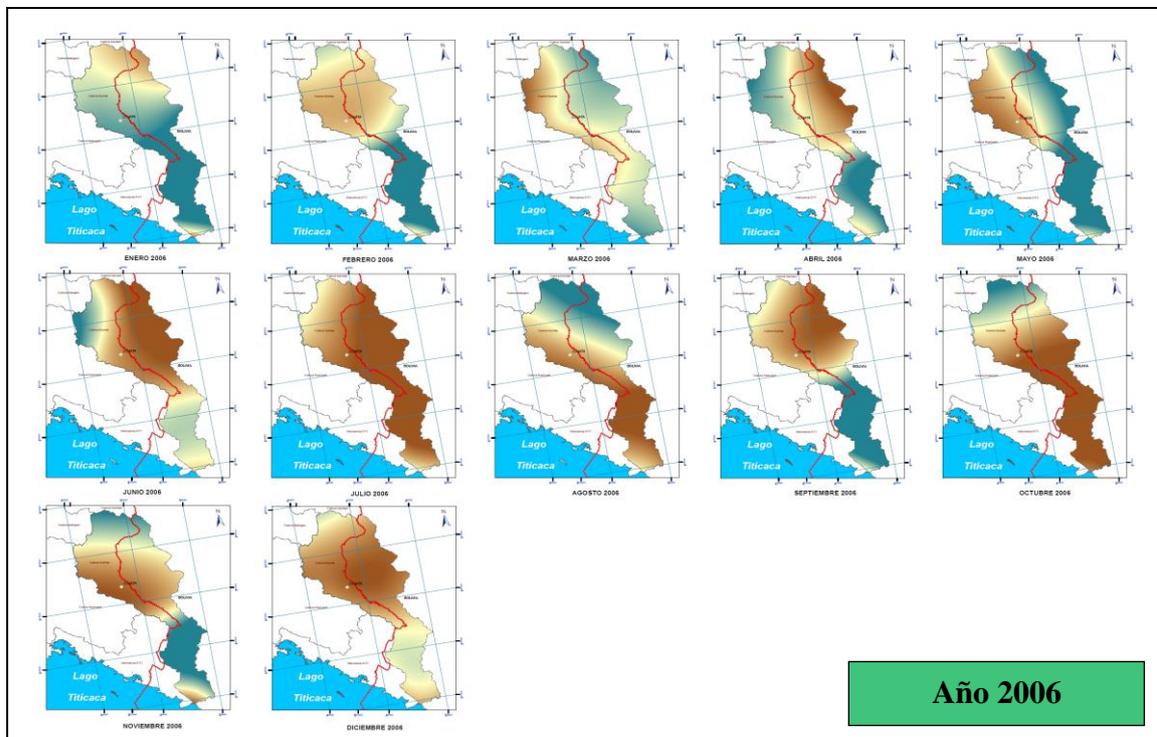
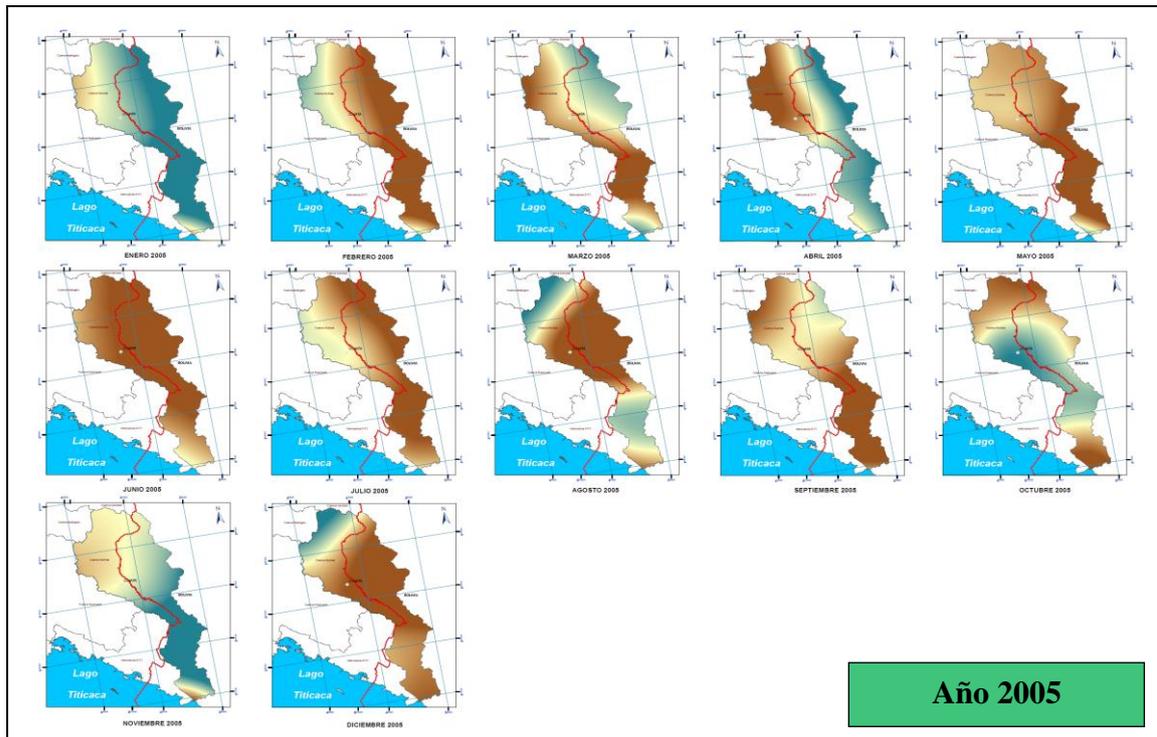


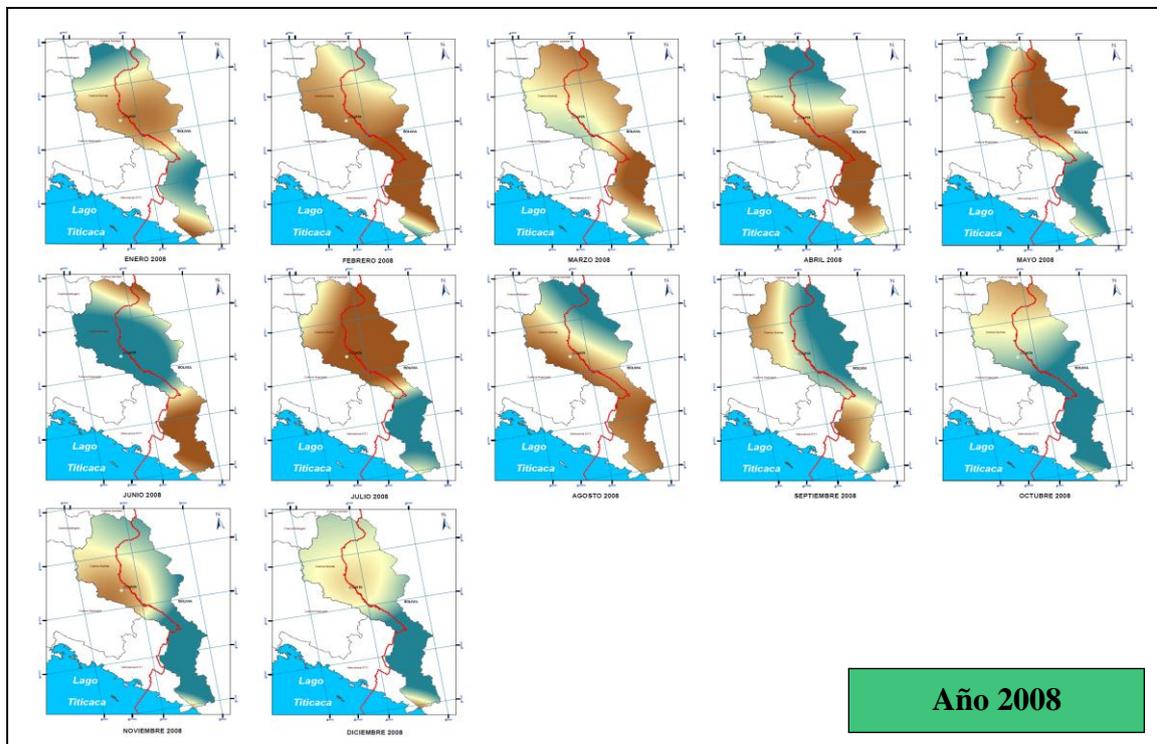
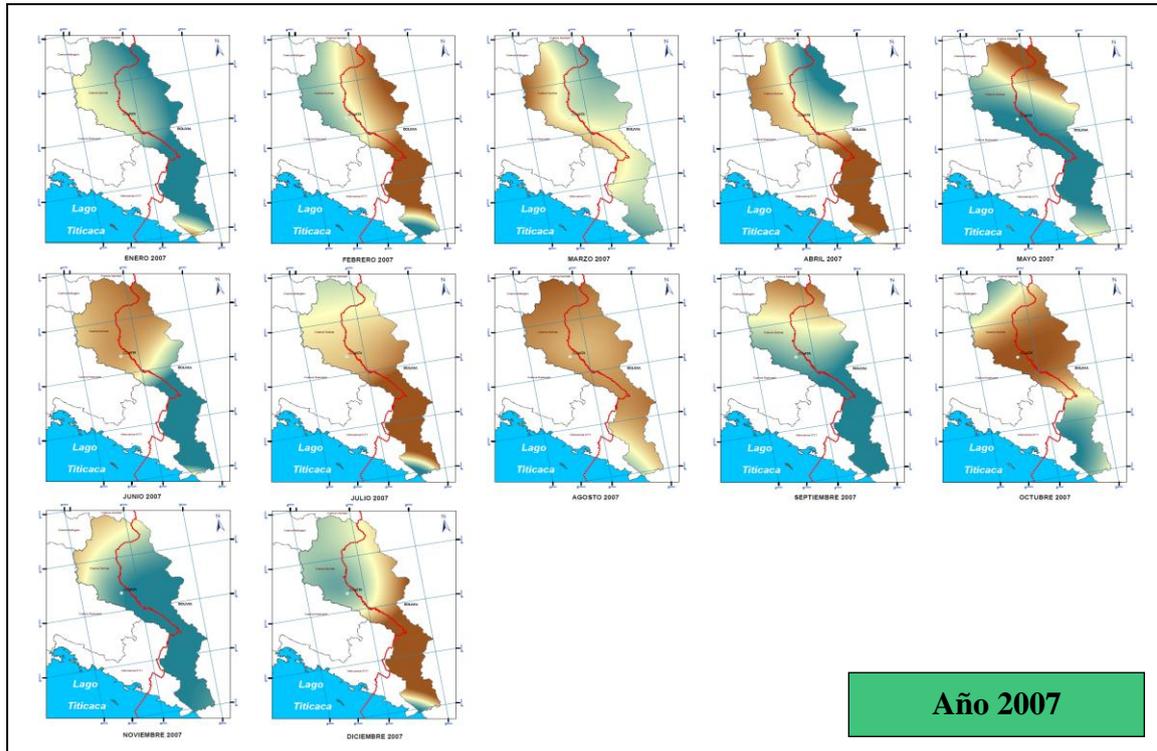
Figura N° 11.23 Variación espacial de la sequía meteorológica (período 2004-2009) – Cuenca Suches



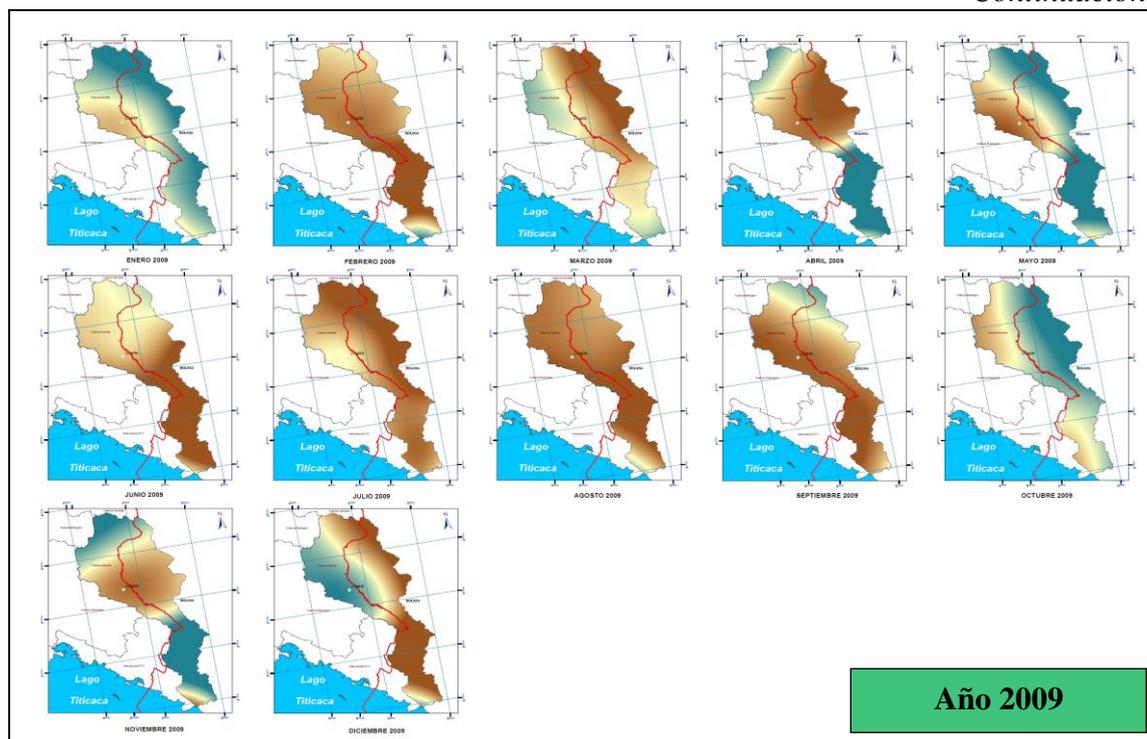
Continuación



Continuación



Continuación



11.3.3 Sequía hidrológica

11.3.3.1 Información básica - Metodología de análisis

A.- Información básica

La información utilizada para el análisis de sequía hidrológica en el presente estudio, es la serie anual de las descargas medias del período 1956-2009, correspondiente a las cuencas Huancané y Suches. La información fueron presentados en el Capítulo VI, ítem 6.4.

B.- Método de análisis de sequía

Para el análisis de sequía hidrológica de las cuencas Huancané y Suches, se ha empleado el Método de RUN para caracterizar la sequía crítica de la serie analizada.

Un **RUN** es definido como una sucesión de eventos similares precedidos y sucedidos por eventos diferentes, con el número de elementos en un run referido en toda su longitud.

Las características principales que define la sequía, es la siguiente:

Duración de la sequía.- Llamado también longitud del run negativo, es definido como el número de intervalos de tiempo consecutivos (tiempo total), durante el cual Z_t es negativo.

Magnitud de la sequía.- Llamado también suma del run negativo, es la suma de déficits individuales para una duración ininterrumpida de sequía dada. Saldarriaga (1970) y Millán (1972).

Intensidad de la sequía.- Severidad de la sequía, es la razón de la magnitud entre la duración respectiva.

$$I = \frac{M}{D}$$

Donde: I = Intensidad de la sequía
 M = Magnitud de la sequía
 D = Duración de la sequía

Sequía crítica.- Es definido como el período para el cual el abastecimiento histórico es el más crítico con respecto a la demanda requerida de un sistema de agua.

El problema básico en diseño y operación, usando la sequía crítica histórica es que, no se conoce su probabilidad de ocurrencia, lo que significa que una sequía crítica para un abastecimiento de un record histórico de una longitud dada, puede ser mayor ó menor que la sequía crítica durante el siguiente período de la misma longitud.

Ecuación de estandarización de caudales

La metodología descrita ha sido utilizada en varias cuencas del Perú, cuyo procedimiento de cálculo en forma resumida es la siguiente:

$$Z_t = \frac{X_t - \bar{X}}{S}$$

Donde: Z_t = Variable estandarizada
 X_t = Variable hidrológica
 \bar{X} = Media
 S = Desviación estándar

Los datos calculados de Z_t se plotea en el eje de las ordenadas y el tiempo en el eje de las abscisas, lo cual permite determinar la duración y magnitud de la sequía histórica.

11.3.3.2 Cuantificación y descripción de las sequías críticas

Con la información de las descargas medias anuales de las cuencas Huancané y Suches, se ha desarrollado la caracterización hidrológica de las sequías históricas ocurridas durante el período de 1956 a 2009, mediante la aplicación del Método de RUN.

Cuenca Huancané

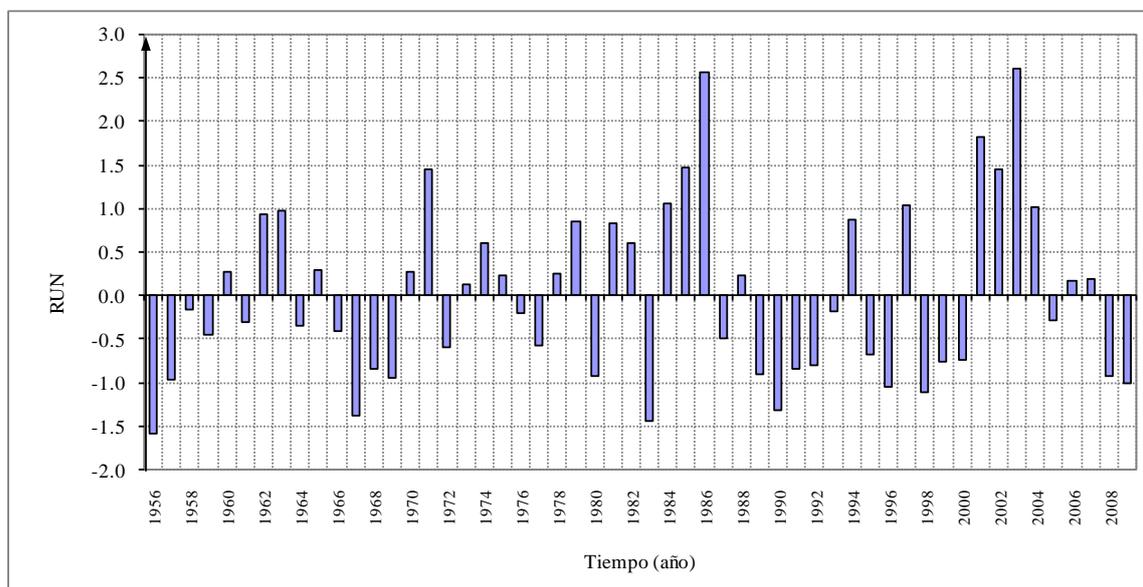
En el Cuadro N° 11.18 se muestra el cálculo del RUN de las descargas medias anuales de la cuenca Huancané.

Cuadro N° 11.18 Análisis de sequía hidrológica (descargas medias anuales)
Cuenca del río Huancané

N°	Año	Descarga media anual (m ³ /s)	RUN
1	1956	6.15	-1.58
2	1957	11.15	-0.97
3	1958	17.67	-0.17
4	1959	15.27	-0.46
5	1960	21.36	0.28
6	1961	16.57	-0.31
7	1962	26.82	0.94
8	1963	27.03	0.97
9	1964	16.31	-0.34
10	1965	21.46	0.29
11	1966	15.83	-0.40
12	1967	7.67	-1.39
13	1968	12.19	-0.84
14	1969	11.29	-0.95
15	1970	21.41	0.28
16	1971	31.02	1.46
17	1972	14.16	-0.60
18	1973	20.17	0.13
19	1974	23.96	0.60
20	1975	21.03	0.24
21	1976	17.39	-0.21
22	1977	14.33	-0.58
23	1978	21.23	0.26
24	1979	26.12	0.86
25	1980	11.43	-0.93
26	1981	25.96	0.84
27	1982	24.11	0.61
28	1983	7.23	-1.45
29	1984	27.77	1.06
30	1985	31.20	1.48
31	1986	40.04	2.56
32	1987	15.02	-0.50
33	1988	20.97	0.23
34	1989	11.68	-0.90
35	1990	8.23	-1.32
36	1991	12.15	-0.85
37	1992	12.56	-0.80
38	1993	17.51	-0.19
39	1994	26.25	0.87
40	1995	13.61	-0.67
41	1996	10.47	-1.05
42	1997	27.57	1.04
43	1998	10.00	-1.11
44	1999	12.85	-0.76
45	2000	12.97	-0.75
46	2001	34.11	1.83
47	2002	31.01	1.45
48	2003	40.50	2.61
49	2004	27.45	1.02
50	2005	16.74	-0.29
51	2006	20.40	0.16
52	2007	20.69	0.20
53	2008	11.47	-0.93
54	2009	10.77	-1.01
Promedio		19.08	0.00
Desvest		8.20	1.00

Para su mejor visualización se presenta en forma gráfica la variación anual del RUN, ver Figura N° 11.24.

Figura N° 11.24 Valores de RUN de las descargas medias anuales - Cuenca del río Huancané



Mediante el análisis de sequía hidrológica de la cuenca del río Huancané, se ha encontrado ocho (8) períodos de sequía con mayor duración e intensidad, ver Cuadro N° 11.19.

Cuadro N° 11.19 Períodos de sequía hidrológica - Cuenca del río Huancané

Períodos de sequía		Duración de la sequía (años)	Magnitud de la sequía (Σ RUN)	Intensidad de la sequía
1	Sequía de 1956 - 1959	4	-3.18	-0.80
2	Sequía de 1966 - 1969	4	-3.58	-0.90
3	Sequía de 1976 - 1977	2	-0.79	-0.40
4	Sequía de 1983	1	-1.45	-1.45
5	Sequía de 1989 - 1993	5	-4.06	-0.81
6	Sequía de 1995 - 1996	2	-1.72	-0.86
7	Sequía de 1998 - 2000	3	-2.62	-0.87
8	Sequía de 2008 - 2009	2	-1.94	-0.97

Según el Cuadro N° 11.19, se observa que la sequía más intensa ocurrieron en los períodos de 1956-1959 y 1966-1969, cada período con una duración de cuatro (4) años consecutivos. La sequía más crítica ha ocurrido en el período de 1983 con una intensidad de -1.45.

Cuenca Suches

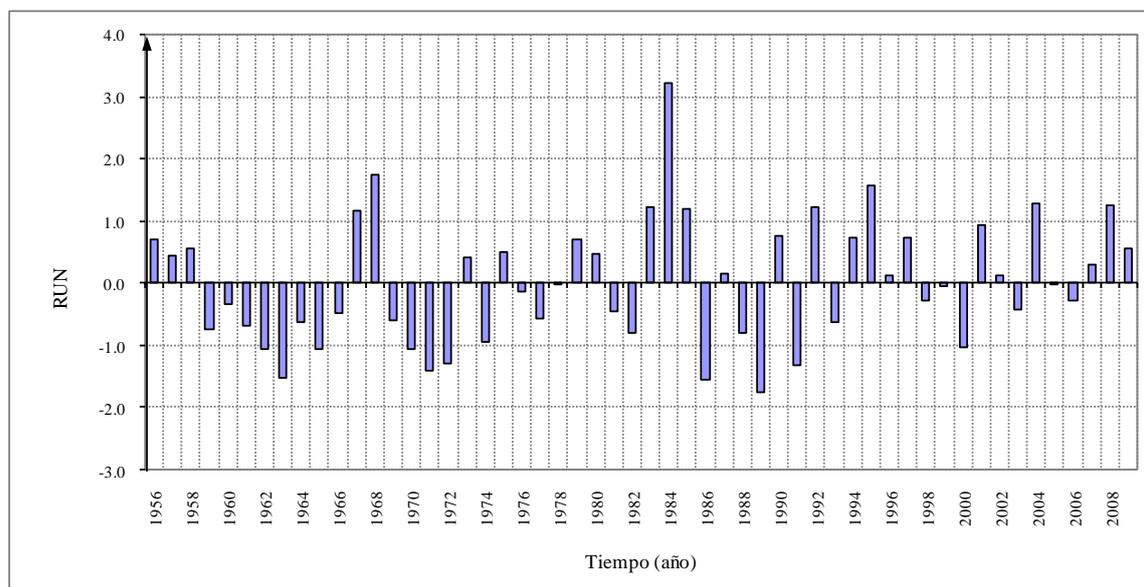
En el Cuadro N° 11.20 se muestra el cálculo del RUN de las descargas medias anuales de la cuenca Suches.

Cuadro N° 11.20 Análisis de sequía hidrológica (descargas medias anuales)
Cuenca del río Suches

N°	Año	Descarga media anual (m ³ /s)	RUN
1	1956	12.86	0.71
2	1957	12.09	0.45
3	1958	12.38	0.55
4	1959	8.53	-0.75
5	1960	9.79	-0.33
6	1961	8.67	-0.70
7	1962	7.65	-1.05
8	1963	6.21	-1.53
9	1964	8.86	-0.64
10	1965	7.57	-1.07
11	1966	9.30	-0.49
12	1967	14.21	1.16
13	1968	15.94	1.74
14	1969	8.97	-0.60
15	1970	7.64	-1.05
16	1971	6.58	-1.41
17	1972	6.93	-1.29
18	1973	11.99	0.41
19	1974	7.96	-0.94
20	1975	12.26	0.51
21	1976	10.31	-0.15
22	1977	9.11	-0.56
23	1978	10.81	0.02
24	1979	12.85	0.70
25	1980	12.14	0.46
26	1981	9.42	-0.45
27	1982	8.41	-0.79
28	1983	14.36	1.21
29	1984	20.29	3.21
30	1985	14.25	1.18
31	1986	6.15	-1.55
32	1987	11.24	0.16
33	1988	8.35	-0.81
34	1989	5.54	-1.76
35	1990	13.01	0.76
36	1991	6.86	-1.31
37	1992	14.34	1.21
38	1993	8.90	-0.63
39	1994	12.93	0.73
40	1995	15.39	1.56
41	1996	11.11	0.12
42	1997	12.89	0.72
43	1998	9.96	-0.27
44	1999	10.61	-0.05
45	2000	7.74	-1.02
46	2001	13.53	0.93
47	2002	11.09	0.11
48	2003	9.52	-0.42
49	2004	14.58	1.29
50	2005	10.73	-0.01
51	2006	9.90	-0.29
52	2007	11.62	0.29
53	2008	14.51	1.26
54	2009	12.46	0.57
Promedio		10.76	0.00
Desvest		2.97	1.00

Para su mejor visualización se presenta en forma gráfica la variación anual del RUN, ver Figura N° 11.25.

Figura N° 11.25 Valores de RUN de las descargas medias anuales - Cuenca del río Suches



Mediante el análisis de sequía hidrológica de la cuenca del río Suches, se ha encontrado ocho (8) períodos de sequía con mayor duración e intensidad, ver Cuadro N° 11.21.

Cuadro N° 11.21 Períodos de sequía hidrológica - Cuenca del río Suches

Períodos de sequía		Duración de la sequía (años)	Magnitud de la sequía (Σ RUN)	Intensidad de la sequía
1	Sequía de 1959 - 1966	8	-6.56	-0.82
2	Sequía de 1969 - 1972	4	-4.35	-1.09
3	Sequía de 1976 - 1977	2	-0.71	-0.36
4	Sequía de 1981 - 1982	2	-1.24	-0.62
5	Sequía de 1986	1	-1.55	-1.55
6	Sequía de 1988 - 1989	2	-2.57	-1.29
7	Sequía de 1991	1	-1.31	-1.31
8	Sequía de 1998 - 2000	3	-1.34	-0.45

Según el Cuadro N° 11.21, se observa que la sequía más intensa ocurrieron en el período de 1959-1966, con una duración de ocho (8) años consecutivos. La sequía más crítica ha ocurrido en el período de 1986 con una intensidad de -1.55, seguido el período 1991 con -1.31, período 1988-1989 con -1.29 y el período 1969-1972 con -1.09.

11.3.3.3 Análisis de períodos secos y húmedos

Para el análisis de los períodos secos y húmedos, se ha utilizado la información de las descargas medias anuales del período de 1956-2009 correspondiente a las cuencas Huancané y Suches. Mediante este análisis se identifican los períodos secos, normales y húmedos.

Para identificar tipo de los años hidrológicos, se determinan los límites entre los períodos seco-normal y normal-húmedo, luego se cuantifican los años secos que es la materia del presente estudio, tomando los valores que se encuentran por debajo del límite del período seco-normal.

Cuenca Huancané

Durante el período de 1956-2009 se han identificado siete (7) años secos; de los cuales cuatro años han sido muy secos (1956, 1967, 1983 y 1990) y sus caudales medios anuales registrados son de 6.15, 7.67, 7.23 y 8.23 m³/s, respectivamente. En forma similar los otros tres años (1996, 1998 y 2009) han sido ligeramente secos, donde sus caudales medios anuales registrados son de 10.47, 10.00 y 10.77 m³/s.

En el Cuadro N° 11.22 se presenta el análisis de períodos secos y húmedos, y la Figura N° 11.26 se muestran visualmente los períodos secos, normales y húmedos en la cuenca del río Huancané.

Cuenca Suches

Durante el período de 1956-2009 se han identificado diez (10) años secos; de los cuales tres años han sido muy secos (1963, 1986 y 1989) y sus caudales medios anuales registrados son de 6.21, 6.15 y 5.54 m³/s, respectivamente. Los años moderadamente secos fueron 1971, 1972 y 1991, con 6.58, 6.93 y 6.86 m³/s de caudales medios anuales. En forma similar los otros cuatro años (1962, 1965, 1970 y 2000) han sido ligeramente secos, donde sus caudales medios anuales registrados son de 7.65, 7.57, 7.64 y 7.74 m³/s.

En el Cuadro N° 11.23 se presenta el análisis de períodos secos y húmedos, y la Figura N° 11.27 se muestran visualmente los períodos secos, normales y húmedos en la cuenca del río Suches.

Cuadro N° 11.22 Análisis de los períodos secos y húmedos de la serie anual de las descargas medias
Cuenca del río Huancané

N°	Año	Descargas medias anuales (m ³ /s)	Límite entre el período seco y normal (m ³ /s)	Límite entre el período húmedo y normal (m ³ /s)	Clasificación hidrológica del año
1	1956	6.15	10.88	27.28	Seco
2	1957	11.15	10.88	27.28	Normal
3	1958	17.67	10.88	27.28	Normal
4	1959	15.27	10.88	27.28	Normal
5	1960	21.36	10.88	27.28	Normal
6	1961	16.57	10.88	27.28	Normal
7	1962	26.82	10.88	27.28	Normal
8	1963	27.03	10.88	27.28	Normal
9	1964	16.31	10.88	27.28	Normal
10	1965	21.46	10.88	27.28	Normal
11	1966	15.83	10.88	27.28	Normal
12	1967	7.67	10.88	27.28	Seco
13	1968	12.19	10.88	27.28	Normal
14	1969	11.29	10.88	27.28	Normal
15	1970	21.41	10.88	27.28	Normal
16	1971	31.02	10.88	27.28	Húmedo
17	1972	14.16	10.88	27.28	Normal
18	1973	20.17	10.88	27.28	Normal
19	1974	23.96	10.88	27.28	Normal
20	1975	21.03	10.88	27.28	Normal
21	1976	17.39	10.88	27.28	Normal
22	1977	14.33	10.88	27.28	Normal
23	1978	21.23	10.88	27.28	Normal
24	1979	26.12	10.88	27.28	Normal
25	1980	11.43	10.88	27.28	Normal
26	1981	25.96	10.88	27.28	Normal
27	1982	24.11	10.88	27.28	Normal
28	1983	7.23	10.88	27.28	Seco
29	1984	27.77	10.88	27.28	Húmedo
30	1985	31.20	10.88	27.28	Húmedo
31	1986	40.04	10.88	27.28	Húmedo
32	1987	15.02	10.88	27.28	Normal
33	1988	20.97	10.88	27.28	Normal
34	1989	11.68	10.88	27.28	Normal
35	1990	8.23	10.88	27.28	Seco
36	1991	12.15	10.88	27.28	Normal
37	1992	12.56	10.88	27.28	Normal
38	1993	17.51	10.88	27.28	Normal
39	1994	26.25	10.88	27.28	Normal
40	1995	13.61	10.88	27.28	Normal
41	1996	10.47	10.88	27.28	Seco
42	1997	27.57	10.88	27.28	Húmedo
43	1998	10.00	10.88	27.28	Seco
44	1999	12.85	10.88	27.28	Normal
45	2000	12.97	10.88	27.28	Normal
46	2001	34.11	10.88	27.28	Húmedo
47	2002	31.01	10.88	27.28	Húmedo
48	2003	40.50	10.88	27.28	Húmedo
49	2004	27.45	10.88	27.28	Húmedo
50	2005	16.74	10.88	27.28	Normal
51	2006	20.40	10.88	27.28	Normal
52	2007	20.69	10.88	27.28	Normal
53	2008	11.47	10.88	27.28	Normal
54	2009	10.77	10.88	27.28	Seco
Promedio		19.08			
Desvest		8.20			

Figura N° 11.26 Años secos y húmedos de la serie anual de las descargas medias Cuenca del río Huancané

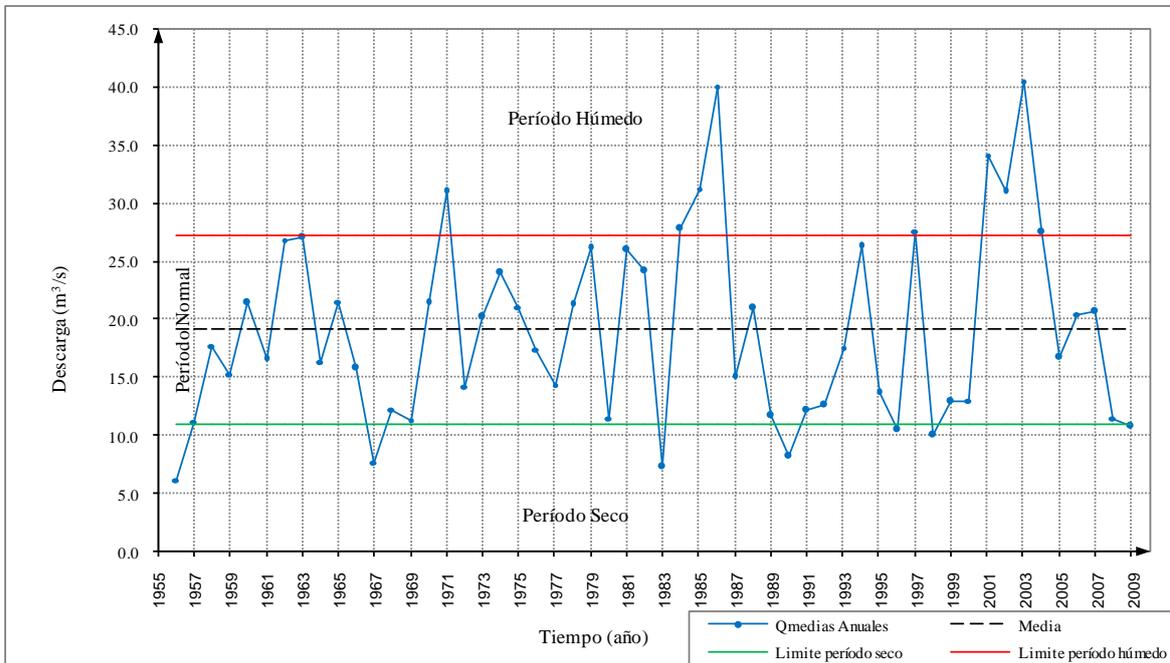
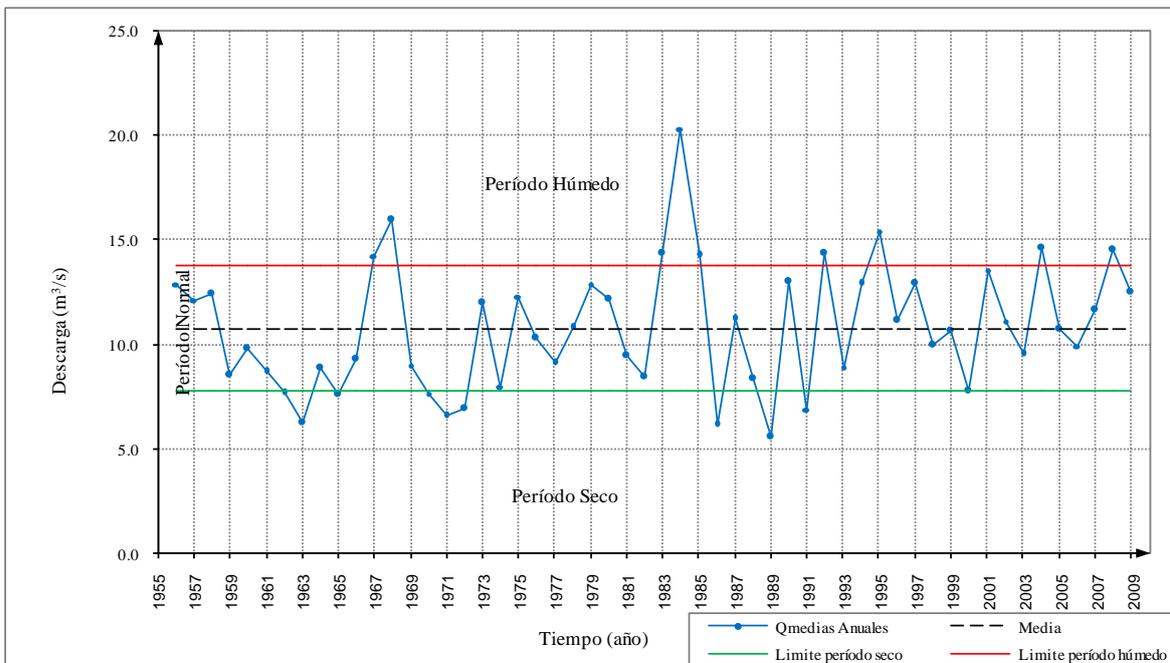


Figura N° 11.27 Años secos y húmedos de la serie anual de las descargas medias Cuenca del río Suches



Cuadro N° 11.23 Análisis de los períodos secos y húmedos de la serie anual de las descargas medias
Cuenca del río Suches

N°	Año	Descargas medias anuales (m ³ /s)	Límite entre el período seco y normal (m ³ /s)	Límite entre el período húmedo y normal (m ³ /s)	Clasificación hidrológica del año
1	1956	12.86	7.79	13.73	Normal
2	1957	12.09	7.79	13.73	Normal
3	1958	12.38	7.79	13.73	Normal
4	1959	8.53	7.79	13.73	Normal
5	1960	9.79	7.79	13.73	Normal
6	1961	8.67	7.79	13.73	Normal
7	1962	7.65	7.79	13.73	Seco
8	1963	6.21	7.79	13.73	Seco
9	1964	8.86	7.79	13.73	Normal
10	1965	7.57	7.79	13.73	Seco
11	1966	9.30	7.79	13.73	Normal
12	1967	14.21	7.79	13.73	Húmedo
13	1968	15.94	7.79	13.73	Húmedo
14	1969	8.97	7.79	13.73	Normal
15	1970	7.64	7.79	13.73	Seco
16	1971	6.58	7.79	13.73	Seco
17	1972	6.93	7.79	13.73	Seco
18	1973	11.99	7.79	13.73	Normal
19	1974	7.96	7.79	13.73	Normal
20	1975	12.26	7.79	13.73	Normal
21	1976	10.31	7.79	13.73	Normal
22	1977	9.11	7.79	13.73	Normal
23	1978	10.81	7.79	13.73	Normal
24	1979	12.85	7.79	13.73	Normal
25	1980	12.14	7.79	13.73	Normal
26	1981	9.42	7.79	13.73	Normal
27	1982	8.41	7.79	13.73	Normal
28	1983	14.36	7.79	13.73	Húmedo
29	1984	20.29	7.79	13.73	Húmedo
30	1985	14.25	7.79	13.73	Húmedo
31	1986	6.15	7.79	13.73	Seco
32	1987	11.24	7.79	13.73	Normal
33	1988	8.35	7.79	13.73	Normal
34	1989	5.54	7.79	13.73	Seco
35	1990	13.01	7.79	13.73	Normal
36	1991	6.86	7.79	13.73	Seco
37	1992	14.34	7.79	13.73	Húmedo
38	1993	8.90	7.79	13.73	Normal
39	1994	12.93	7.79	13.73	Normal
40	1995	15.39	7.79	13.73	Húmedo
41	1996	11.11	7.79	13.73	Normal
42	1997	12.89	7.79	13.73	Normal
43	1998	9.96	7.79	13.73	Normal
44	1999	10.61	7.79	13.73	Normal
45	2000	7.74	7.79	13.73	Seco
46	2001	13.53	7.79	13.73	Normal
47	2002	11.09	7.79	13.73	Normal
48	2003	9.52	7.79	13.73	Normal
49	2004	14.58	7.79	13.73	Húmedo
50	2005	10.73	7.79	13.73	Normal
51	2006	9.90	7.79	13.73	Normal
52	2007	11.62	7.79	13.73	Normal
53	2008	14.51	7.79	13.73	Húmedo
54	2009	12.46	7.79	13.73	Normal
Promedio		10.76			
Desvest		2.97			

CAPÍTULO XII

PROPUESTA DE REPRESAMIENTO HÍDRICO EN LA CUENCA

12.1 GENERALIDADES

Los recursos hídricos en las cuencas Huancané y Suches, en los últimos años viene disminuyendo paulatinamente, afectado por el cambio climático y calentamiento global del medio ambiente, por lo que en años venideros se generaría el déficit del recurso hídrico en las cuencas y es de suma importancia realizar el represamiento de agua en embalses en épocas de avenida para suplir el déficit hídrico en épocas de estiaje, y así garantizar el suministro del recurso preciado para uso agrícola, poblacional, pecuario, etc.

Bajo este contexto, en el presente estudio se ha planteado realizar la propuesta de represamiento de agua, en embalses de regulación en las subcuencas con las condiciones topográficas y geológicas favorables para el almacenamiento de agua.

12.2 PROPUESTA DE EMBALSES DE REGULACIÓN DEL RECURSO HÍDRICO EN LA CUENCA

Mediante los trabajos de campo realizados en las cuencas Huancané y Suches, se ha identificado dos (2) vasos con condiciones topográficas y geológicas favorables para el almacenamiento de agua. Estos vasos se encuentran ubicadas en las subcuencas del río Muñani y Tuyto, correspondientes a la cuenca Huancané.

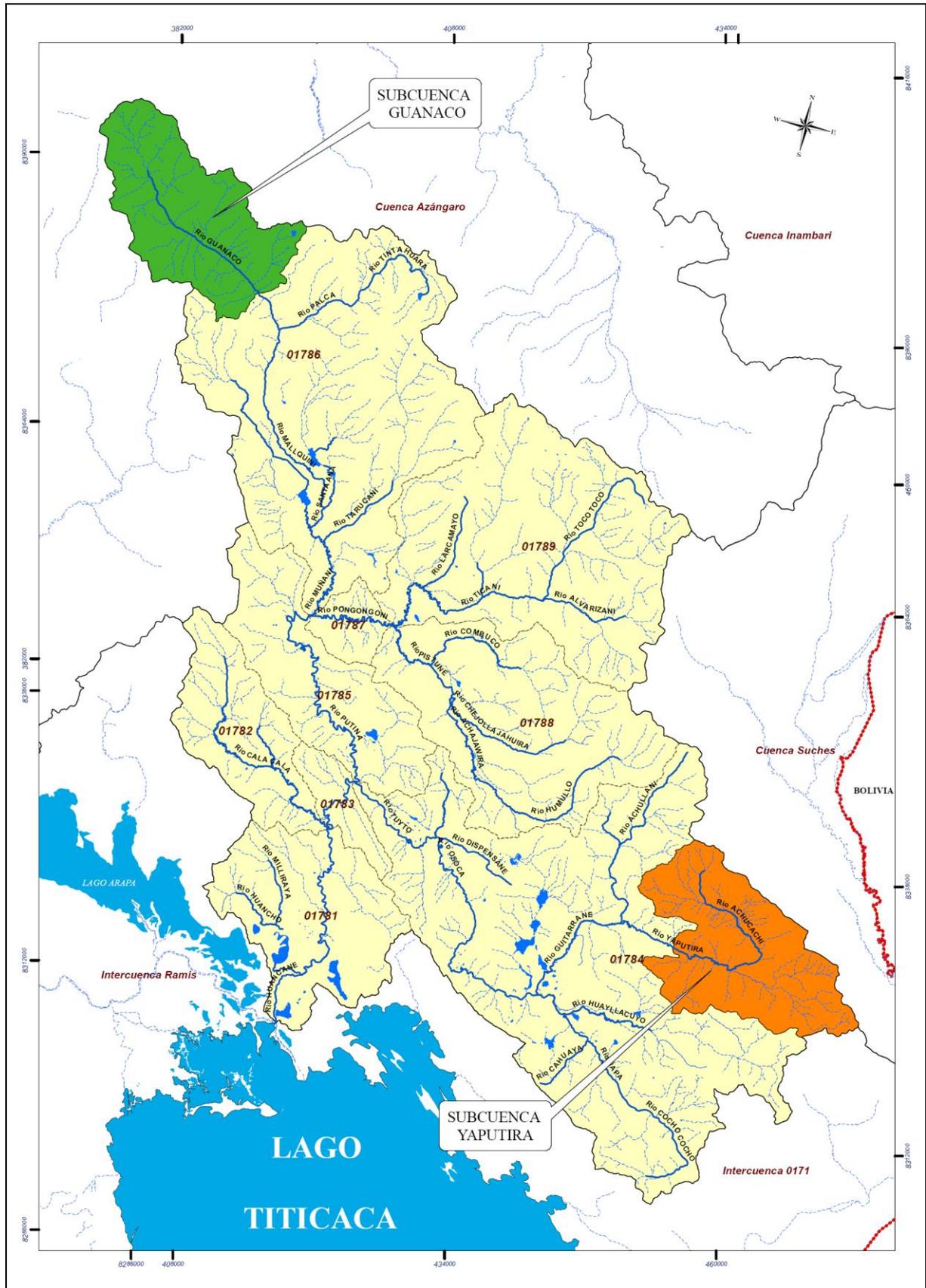
Las coordenadas (UTM WGS 84) de ubicación del eje de los vasos, es la siguiente:

Vaso Callatomaza:	Este	:	394889
	Norte	:	8381226
	Altitud	:	4154.0 msnm
	Río	:	Guanaco
Vaso Yaputira:	Este	:	449094
	Norte	:	8327251
	Altitud	:	3980.0 m
	Río	:	Yaputira

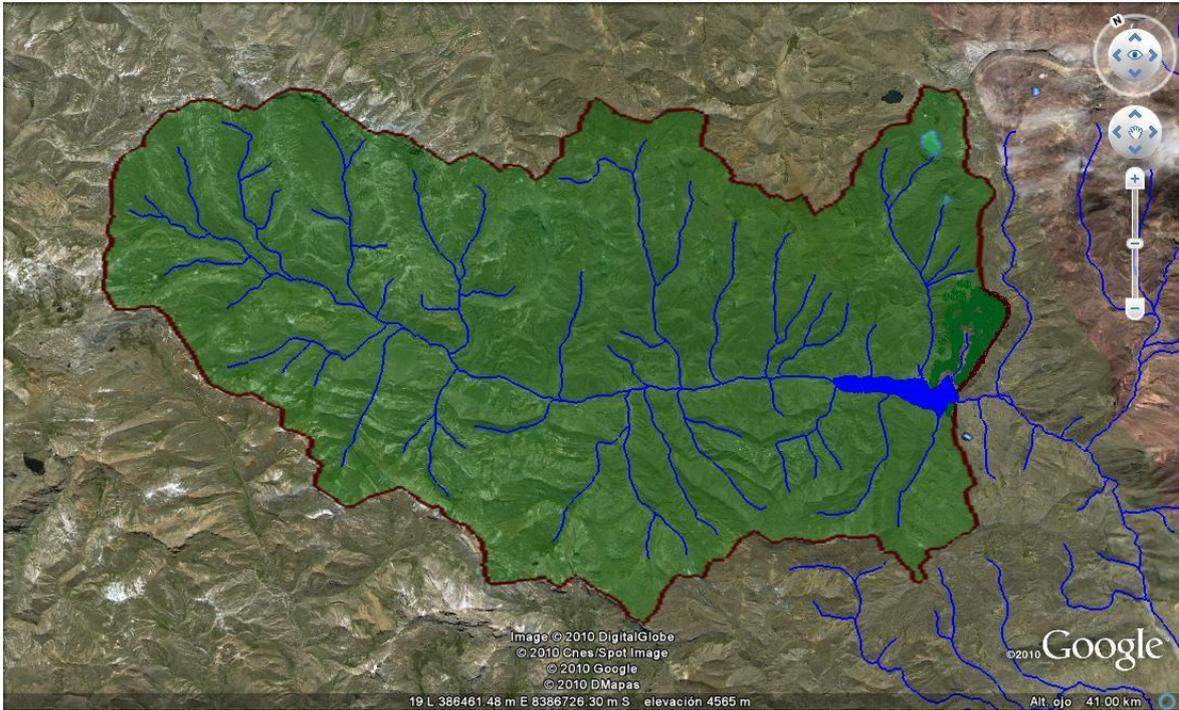
Los parámetros físicos de las subcuencas del río Guanaco y Yaputira, se presentaron en el Capítulo 3, ítem 3.5.3.

Los Vasos Callatomaza y Yaputira, se ha priorizado para realizar estudios de almacenamiento de agua, que consiste en determinar la capacidad de embalse desde el punto de vista hidrológico y topográfico. Ver Mapas N° 12.2 y 12.3.

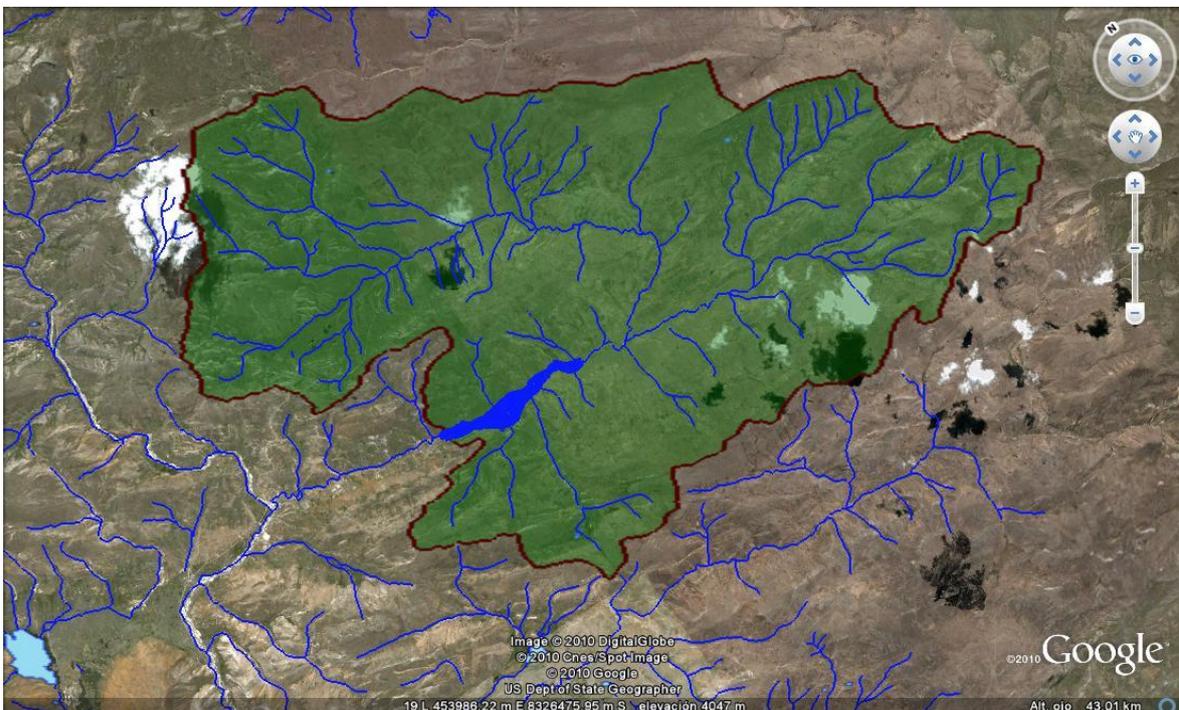
Mapa N° 12.1 Ubicación de las subcuencas del río Guanaco y Yaputira en la cuenca Huancané



Mapa N° 12.2 Ubicación del embalse Callatomaza en la subcuenca del río Guanaco



Mapa N° 12.3 Ubicación del embalse Yaputira en la subcuenca del río Yaputira



12.3 DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE EMBALSE

En realidad, un problema general en la planificación de los recursos hídricos es la determinación de las capacidades de almacenamiento de los embalses que lo componen.

Desde el punto de vista hidrológico, la determinación de la capacidad de embalse, no incluye los aspectos de topografía, geología, selección del tipo de presa (de tierra, gravedad, arco, etc.), ni el cálculo estructural de la misma; es decir, la función principal es almacenar el agua en épocas o períodos que se presentan excesos (en que no hay demandas), para entregar en épocas de alta necesidad.

El método adecuado es el método experimental - rango ajustado, que a continuación se detalla en forma breve.

12.3.1 Método experimental - Rango ajustado

El método experimental ó generación de series sintéticas, trata de resolver el problema de embalses por medio de la generación de varias muestras de secuencias de caudales estadísticamente semejantes a los registros históricos y a partir de las cuales se determinan los momentos (media, desviación estándar, etc) y las funciones de distribución de probabilidades de las variables relacionadas con la determinación de la capacidad óptima de un embalse. Estadísticamente es llamado el Método de Monte Carlo e hidrológicamente se conoce como hidrología sintética o generación de datos, y como simulación estocástica.

A.- Características del método experimental

Según Aliaga [1985], las características del método experimental es la siguiente:

1. Se basa en la generación de series sintéticas.
2. Usa cualquier ecuación diferencial de almacenamiento.
3. Se determina experimentalmente el valor esperado y la varianza de la capacidad de almacenamiento.
4. Se determina m capacidades de embalse como series generadas se dispone.
5. Se determina la capacidad de almacenamiento para una longitud igual a la vida útil del proyecto.
6. Los procesos de entrada son tratados como proceso periódico -estocástico.
7. Permite la extracción regional óptima de información con los modelos matemáticos y análisis regional de parámetros.
8. Permite una mayor condensación de la información:
 - Por un conjunto de ecuaciones matemáticas del proceso.
 - Conservación del índice de parsimonia en el número de parámetros.
 - Modelos regionales para los parámetros.

B.- Ventajas del método

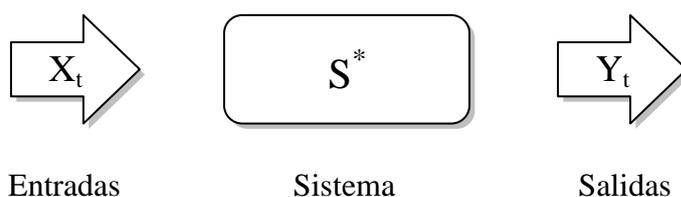
La principal ventaja del método experimental es que se obtienen varias capacidades de almacenamiento, lo cual permite una mayor flexibilidad en la toma de decisiones y se

puede optimizar dicha capacidad combinándolo con los demás aspectos de ingeniería y con los costos y beneficios respectivos.

C.- Definición de términos

El método experimental denominado también método del “RANGE”, se presenta para determinar la capacidad de un embalse de regulación no anual, el cual está definido por las variables Rango o Rango Ajustado que a continuación se definen.

En un almacenamiento el problema físico que se genera puede representarse esquemáticamente como:



Esquema N° 1

La relación básica entre el caudal de entrada, la salida y el almacenamiento es expresada por la ecuación matemática de almacenamiento (ecuación de diferencias):

$$X_t - Y_t = \frac{\Delta S^*}{\Delta t} \quad (1)$$

Donde:

- X_t = Caudal de entrada neta (secuencia de gastos disponibles).
- Y_t = Caudal de salida (secuencia de demanda).
- S^* = Capacidad de almacenamiento del embalse.
- t = Tiempo.

Si el incremento de tiempo $\Delta t = 1$, en este caso un mes, la Ec.(1), puede ser expresada como:

$$\begin{aligned} X_t - Y_t &= \Delta S^* = \Delta S_t^* - \Delta S_{t-1}^* \\ \text{ó} \\ S_t^* &= S_{t-1}^* + (X_t - Y_t) \end{aligned} \quad (2)$$

La Ec.(2), constituye la ecuación general estocástica de almacenamiento.

Como se trata de una regulación no anual (mensual), X_t es una secuencia de caudales mensuales e Y_t puede ser valores medios de X_t , esto significa que se va entregar cada mes una cantidad periódica de igual a la media poblacional μ_x o media muestral (δ_n). La forma general de Y_t , se puede escribirse como:

$$Y_t = \alpha \cdot \delta_n \quad (3)$$

Donde:

- Y_t = Variable de salida del sistema.
 δ_t = Promedio de las entradas al sistema.
 α = Factor de regulación.
 $\alpha \leq 1$

Si $\alpha = 1$, entonces es una regulación total.

Si $\alpha < 1$, entonces es una regulación parcial.

Si $Y_t = \delta_n$, es decir, se disponen de datos de una muestra y es regulación total ($\alpha = 1$), los términos son expresados con asteriscos (*) y se denominan variables ajustadas, en caso contrario se nombra en forma simple, así S^* representa la suma parcial ajustada y S representa la suma parcial. Para este caso la Ec.(2) se puede representar por:

$$S_t^* = S_{t-1}^* + (X_t - \bar{X}_n) \quad (4)$$

Donde:

- S_t^* = Capacidad del embalse ó suma parcial ajustada en el tiempo t .
 X_t = Entradas al sistema.
 \bar{X}_n = Salidas del sistema.
 t = 1, 2, ..., n

El valor del Rango Ajustado (R^*) se determina según:

$$R_n^* = M_n^* - m_n^* \quad (5)$$

Donde:

- R_n^* = Rango ajustado.
 M_n^* = Valor máximo de las sumas parciales ajustadas (máximo exceso).
 $M_n^* = \max(S_0^*, S_1^*, S_2^*, \dots, S_n^*)$
 m_n^* = Valor mínimo de las sumas parciales ajustadas (máximo déficit).
 $m_n^* = \min(S_0^*, S_1^*, S_2^*, \dots, S_n^*)$

La variable R_n^* se denomina el "Rango Ajustado" y representa la mínima capacidad de almacenamiento requerida de manera que el embalse no se rebalse ni se queda seco durante el período de n años.

Por lo tanto la capacidad de embalse, en una regulación total no anual (mensual) es igual al Rango Ajustado, esta variable proporciona o mide la capacidad del embalse necesario y el valor de las salidas es igual al promedio de las entradas.

$$X_t = \bar{X}_n, \quad \alpha = 1 \text{ (regulación total).}$$

Entonces la capacidad de embalse es:

$$\text{CAP.EMB.} = R_n^* \quad (6)$$

En la Figura N° 12.1, se presenta gráficamente los términos del Rango Ajustado en caso de regulaciones totales.

D.- Valor esperado y varianza de la capacidad de un embalse

Debido a que hay infinitas posibles secuencias de caudales $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$; entonces hay infinitas posibles secuencias de $S_1^*, S_2^*, S_3^*, \dots, S_n^*$, las cuales producen infinitos posibles valores de la capacidad de almacenamiento R_n^* . Por lo tanto se necesita considerar la distribución de probabilidad de la variable R_n^* de manera que se pueda usar para el diseño. El valor esperado $E(R_n^*)$ y la varianza $\text{VAR}(R_n^*)$ han sido obtenidos en forma exacta y aproximada con las siguientes expresiones:

$$E[R_n^*] = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m R_i^* \quad (7)$$

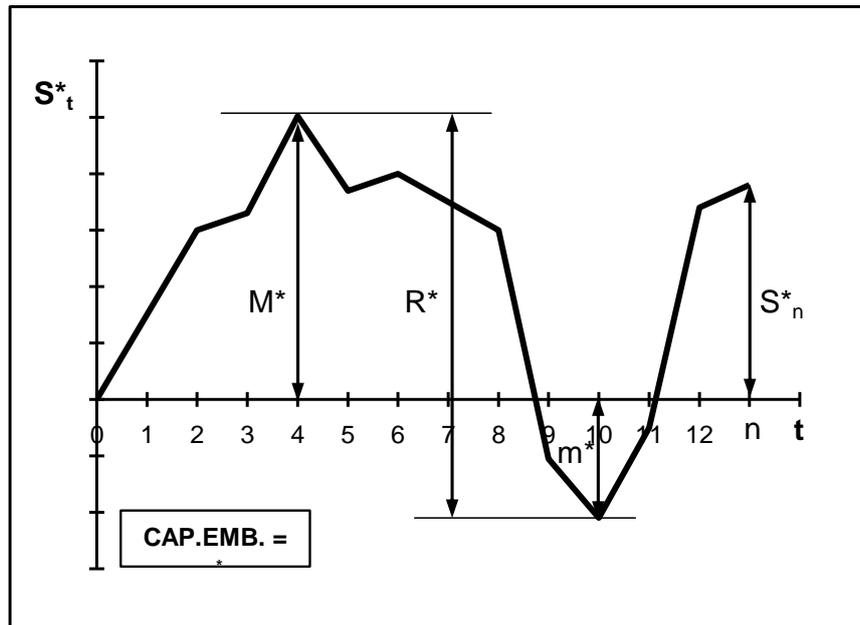
$$\text{VAR}[R_n^*] = \frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m [R_i^* - E(R_n^*)]^2 \quad (8)$$

Donde:

$E[R_n^*]$	=	Valor esperado de la capacidad del embalse.
$\text{VAR}[R_n^*]$	=	Varianza de la capacidad del embalse.
i	=	1, 2, ..., m
m	=	Total de valores del rango ajustado.

El método experimental es el más adecuado para el cálculo de la capacidad de almacenamiento y es el que se ha utilizado fundamentalmente en este trabajo. También puede usarse en forma combinada el método experimental con el analítico.

Figura N° 12.1 Método del rango ajustado para determinar la capacidad de embalse en regulación total



En este caso, teniendo la serie mensual de descargas $X_{P,t}$, generadas por un modelo hidrológico; la expresión de almacenamiento del embalse es el siguiente:

$$X_t - Y_t = \frac{\Delta S^*}{\Delta t} \tag{9}$$

Donde:

- X_t = Gasto de entrada (secuencia de gastos disponibles).
- Y_t = Gasto de salida (secuencia de demandas).
- S^* = Almacenamiento del embalse.
- t = Tiempo.

Considerando el incremento de tiempo $\Delta t = 1$, la Ec.(9) toma la forma:

$$\begin{aligned} X_t - Y_t &= S^* - S_{t-1}^* \\ \text{ó} \\ S^* &= S_{t-1}^* + (X_t - Y_t) \end{aligned} \tag{10}$$

Además:

$$M_n^* = \text{máx}(0, S_1^*, S_2^*, \dots, S_n^*) \tag{11}$$

$$m_n^* = \text{mín}(0, S_1^*, S_2^*, \dots, S_n^*) \tag{12}$$

$$R_n^* = M_n^* - m_n^* \tag{13}$$

Donde:

- $S_0^* = 0$
 $R_n^* =$ Rango ajustado y representa la mínima capacidad de almacenamiento requerida de manera que el embalse no se rebalse ni queda seco durante el período de n años de análisis proporcionando la demanda requerida.
 $S_n^* =$ Sumas parciales ajustadas.
 $M_n^* =$ Valor máximo de las sumas parciales ajustadas.
 $m_n^* =$ Valor mínimo de las sumas parciales ajustadas.

En la Figura N° 12.1 se muestra éstas variables.

El procedimiento de cálculo es el siguiente:

- 1° Disponer de las series generadas o históricas $X_{P,\tau}$, $P=1,2,\dots,n$, con n igual al número total de años; $\tau=1,2,\dots,w$, con w igual a los 12 meses del año.
- 2° Considerar la regulación total no anual y que las salidas son iguales al promedio de las entradas, es decir, $Y_t = \delta_n$.
- 3° Calcular las diferencias $X_t - Y_t$ ó $X_t - \delta_n$.
- 4° Calcular las sumas parciales ajustadas de la serie, según.

$$\begin{aligned}
 S_0^* &= 0 \\
 S_1^* &= S_0^* + (X_1 - \delta_n) \\
 S_2^* &= S_1^* + (X_2 - \delta_n) \\
 S_3^* &= S_2^* + (X_3 - \delta_n) \\
 &\vdots \\
 S_n^* &= S_{n-1}^* + (X_n - \delta_n)
 \end{aligned} \tag{14}$$

- 5° Hallar los valores máximos y mínimos de las sumas parciales ajustadas: M_n^* y m_n^* .
- 6° Calcular el rango ajustado para ésta serie según:

$$R_n^* = M_n^* - m_n^*$$
- 7° Graficar S_t^* vs t.
- 8° Repetir los pasos desde (1°) hasta (6°) para todas las m series generadas, obteniendo m valores del rango ajustado, es decir:

$$R_1^*, R_2^*, R_3^*, \dots, R_m^*$$
- 9° Encontrar la distribución de probabilidades de R_m^* .
- 10° Determinar el valor esperado y la varianza del R_m^* con las Ecs.(7) y (8).

12.3.2 Resultados de la capacidad de embalse – Método experimental

En este caso, la capacidad de embalse desde el punto de vista hidrológico se ha calculado empleando el Método experimental – Rango ajustado, utilizando las series de caudales generados por el modelo hidrológico de Lutz Scholz y modelo estocástico Markoviano de series mensuales del río Guanaco (Embalse Callatomaza) y río Yapotira (Embalse Yapotira).

La capacidad de embalse desde el punto de vista hidrológico calculado, significa que es la cantidad total de agua que responde la cuenca en términos de escorrentía directa.

La capacidad de embalse se ha calculado utilizando el criterio de la regulación total de la cuenca, con el objeto de conocer la cantidad total de agua que responde la cuenca en términos de escorrentía.

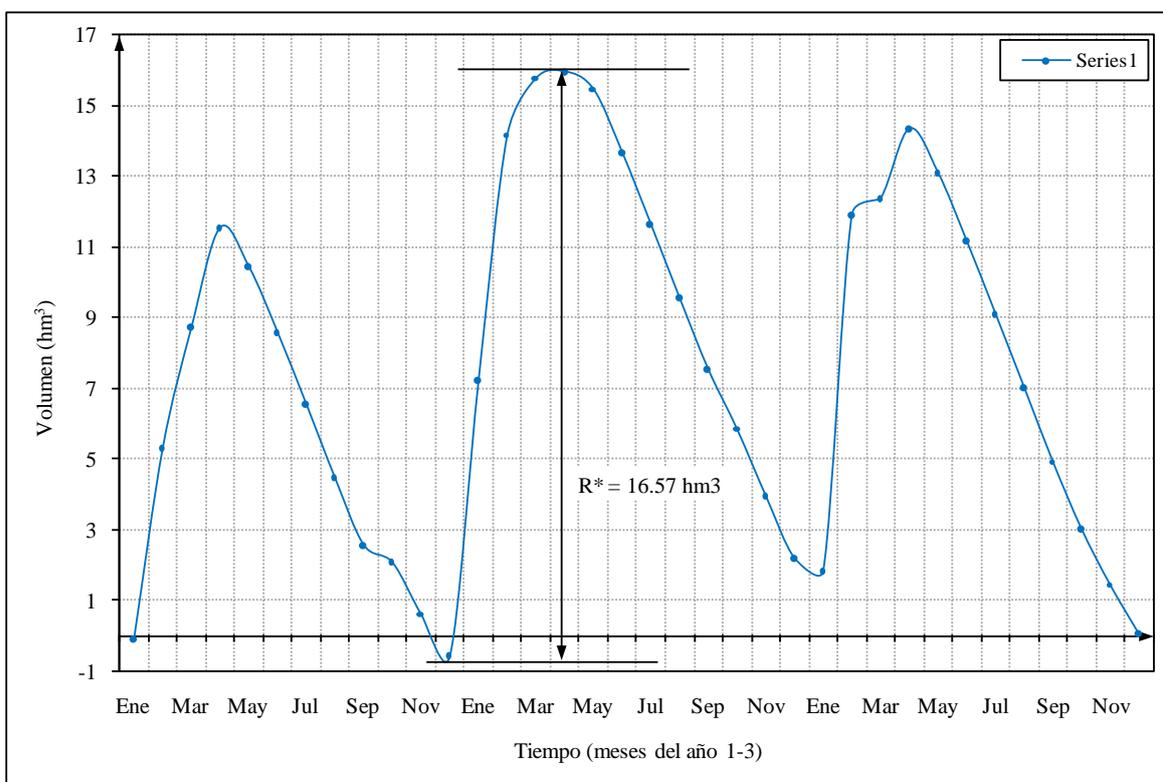
En adelante se muestran el resumen de cálculo de la capacidad de embalse desde el punto de vista hidrológico, obtenido mediante el método experimental – rango ajustado, para los Embalses Callatomaza e Yapotira.

Las sumas parciales y el rango ajustado de la capacidad de embalse, para la serie 1 de 48 años de información de las descargas medias en volúmenes generadas con el modelo hidrológico de Lutz Scholz, se muestra en el Cuadro N° 12.1 para el Embalse Callatomaza.

Cuadro N° 12.1 Sumas parciales y el rango ajustado, serie generada - modelo hidrológico de Lutz Scholz
Método experimental - Rango ajustado (R*) – **Embalse Callatomaza**

m	Qprom. (hm ³)	Sumas parciales		Rango ajustado (R*)
		Máx	Mín	
1	2.50	15.95	-0.62	16.57
2	1.57	10.09	-0.72	10.82
3	3.01	22.63	-1.46	24.09
4	3.66	49.87	0.00	49.87
5	4.23	24.19	-50.63	74.81
6	4.74	26.70	-19.96	46.66
7	3.71	26.74	-5.69	32.43
8	3.87	13.60	-29.65	43.25
9	5.14	64.79	0.00	64.79
10	3.03	21.52	-2.66	24.19
11	4.49	33.02	-8.57	41.59
12	4.17	25.26	-23.24	48.50
13	1.99	8.55	-2.41	10.96
14	3.27	20.65	-7.81	28.46
15	3.11	21.63	-0.15	21.78
16	1.78	9.45	-1.49	10.95
Promedio	3.39			34.36

Gráfico N° 12.2 Diagrama de volúmenes acumulados del rango ajustado - Embalse Callatomaza
(Serie generada con modelo hidrológico de Lutz Scholz)



En el Cuadro N° 12.2 se muestran el resumen de capacidades de embalse calculados por el método experimental – rango ajustado, empleando las series de caudales medios mensuales generados por el modelo hidrológico de Lutz Scholz y el modelo estocástico Markoviano de series mensuales, en el río Guanaco (Embalse Callatomaza) y río Yaputira (Embalse Yaputira).

Con la información de capacidades de embalse obtenidas en el Cuadro N° 12.2, se ha desarrollado el análisis de persistencia al 75 % de probabilidad de las capacidades de embalse, empleando el método de análisis de frecuencia con la fórmula de Weibull; además se muestra la capacidad de embalse máxima y mínima, valor esperado (promedio) y varianza del rango ajustado (R^*), tal como se muestra en el Cuadro N° 12.3.

En las Figuras N° 12.3 y 12.4 se muestra la curva de frecuencia de las capacidades de embalse y el volumen al 75% de persistencia para los Embalses Callatomaza e Yaputira.

Cuadro N° 12.2 Resumen de capacidad de embalse - Método Experimental - Rango Ajustado

EMBALSE CALLATOMAZA			EMBALSE YAPUTIRA		
N° Serie generada	Capacidad de embalse (hm3)		N° Serie generada	Capacidad de embalse (hm3)	
	Descargas generadas			Descargas generadas	
	Modelo Hidrológico de Lutz Scholz	Modelo Estocástico Markoviano de primer orden		Modelo Hidrológico de Lutz Scholz	Modelo Estocástico Markoviano de primer orden
1	34.36	34.56	1	33.45	33.05
2		29.80	2		38.32
3		31.51	3		34.30
4		27.58	4		38.52
5		31.58	5		32.35
6		29.88	6		36.76
7		33.04	7		29.68
8		27.75	8		39.26
9		32.59	9		41.51
10		37.42	10		35.10
11		35.60	11		40.52
12		31.66	12		40.49
13		35.38	13		33.24
14		32.44	14		34.00
15		30.86	15		39.44
16		37.59	16		33.32
17		34.47	17		37.83
18		31.75	18		31.44
19		34.08	19		38.02
20		34.55	20		33.92
21		31.41	21		35.16
22		31.76	22		35.31
23		31.54	23		33.58
24		30.98	24		37.55
25		31.03	25		32.29
26		33.31	26		39.25
27		33.55	27		37.35
28		38.19	28		31.13
29		31.00	29		34.82
30		30.49	30		39.36
31		35.07	31		39.59
32		35.85	32		32.66
33		32.62	33		34.94
34		32.43	34		35.58
35		36.16	35		37.51
36		29.32	36		38.26
37		29.10	37		37.52
38		34.70	38		36.91
39		30.51	39		36.19
40		32.46	40		37.44
41		33.25	41		35.63
42		28.53	42		37.46
43		32.86	43		36.83
44		32.82	44		36.44
45		33.33	45		34.75
46		33.43	46		36.59
47		35.45	47		34.74
48		32.88	48		38.33
49		30.83	49		37.29
50		34.94	50		35.65

Cuadro N° 12.3 Análisis de persistencia de las capacidades de embalse

EMBALSE CALLATOMAZA				EMBALSE YAPUTIRA			
m	Volumen (hm ³)	Volumen ordenado en forma decreciente	Probabilidad (Weibull) %	m	Volumen (hm ³)	Volumen ordenado en forma decreciente	Probabilidad (Weibull) %
1	34.36	38.19	1.90	1	33.45	41.51	1.90
2	34.56	37.59	3.80	2	33.05	40.52	3.80
3	29.80	37.42	5.80	3	38.32	40.49	5.80
4	31.51	36.16	7.70	4	34.30	39.59	7.70
5	27.58	35.85	9.60	5	38.52	39.44	9.60
6	31.58	35.60	11.50	6	32.35	39.36	11.50
7	29.88	35.45	13.50	7	36.76	39.26	13.50
8	33.04	35.38	15.40	8	29.68	39.25	15.40
9	27.75	35.07	17.30	9	39.26	38.52	17.30
10	32.59	34.94	19.20	10	41.51	38.33	19.20
11	37.42	34.70	21.20	11	35.10	38.32	21.20
12	35.60	34.56	23.10	12	40.52	38.26	23.10
13	31.66	34.55	25.00	13	40.49	38.02	25.00
14	35.38	34.47	26.90	14	33.24	37.83	26.90
15	32.44	34.36	28.80	15	34.00	37.55	28.80
16	30.86	34.08	30.80	16	39.44	37.52	30.80
17	37.59	33.55	32.70	17	33.32	37.51	32.70
18	34.47	33.43	34.60	18	37.83	37.46	34.60
19	31.75	33.33	36.50	19	31.44	37.44	36.50
20	34.08	33.31	38.50	20	38.02	37.35	38.50
21	34.55	33.25	40.40	21	33.92	37.29	40.40
22	31.41	33.04	42.30	22	35.16	36.91	42.30
23	31.76	32.88	44.20	23	35.31	36.83	44.20
24	31.54	32.86	46.20	24	33.58	36.76	46.20
25	30.98	32.82	48.10	25	37.55	36.59	48.10
26	31.03	32.62	50.00	26	32.29	36.44	50.00
27	33.31	32.59	51.90	27	39.25	36.19	51.90
28	33.55	32.46	53.80	28	37.35	35.65	53.80
29	38.19	32.44	55.80	29	31.13	35.63	55.80
30	31.00	32.43	57.70	30	34.82	35.58	57.70
31	30.49	31.76	59.60	31	39.36	35.31	59.60
32	35.07	31.75	61.50	32	39.59	35.16	61.50
33	35.85	31.66	63.50	33	32.66	35.10	63.50
34	32.62	31.58	65.40	34	34.94	34.94	65.40
35	32.43	31.54	67.30	35	35.58	34.82	67.30
36	36.16	31.51	69.20	36	37.51	34.75	69.20
37	29.32	31.41	71.20	37	38.26	34.74	71.20
38	29.10	31.03	73.10	38	37.52	34.30	73.10
39	34.70	31.00	75.00	39	36.91	34.00	75.00
40	30.51	30.98	76.90	40	36.19	33.92	76.90
41	32.46	30.86	78.80	41	37.44	33.58	78.80
42	33.25	30.83	80.80	42	35.63	33.45	80.80
43	28.53	30.51	82.70	43	37.46	33.32	82.70
44	32.86	30.49	84.60	44	36.83	33.24	84.60
45	32.82	29.88	86.50	45	36.44	33.05	86.50
46	33.33	29.80	88.50	46	34.75	32.66	88.50
47	33.43	29.32	90.40	47	36.59	32.35	90.40
48	35.45	29.10	92.30	48	34.74	32.29	92.30
49	32.88	28.53	94.20	49	38.33	31.44	94.20
50	30.83	27.75	96.20	50	37.29	31.13	96.20
51	34.94	27.58	98.10	51	35.65	29.68	98.10
Promedio E[R _d ⁺]	32.71			Promedio E[R _d ⁺]	36.09		
VAR [R _n ⁺]	5.92			VAR [R _n ⁺]	7.05		
Máx	38.19			Máx	41.51		
Mín	27.58			Mín	29.68		
Persistencia al 75 % de probabilidad				Persistencia al 75 % de probabilidad			
V _{75%} = 31.00 hm ³				V _{75%} = 34.00 hm ³			

Gráfico N° 12.3 Curva de frecuencia de las capacidades de embalse - Embalse Callatomaza

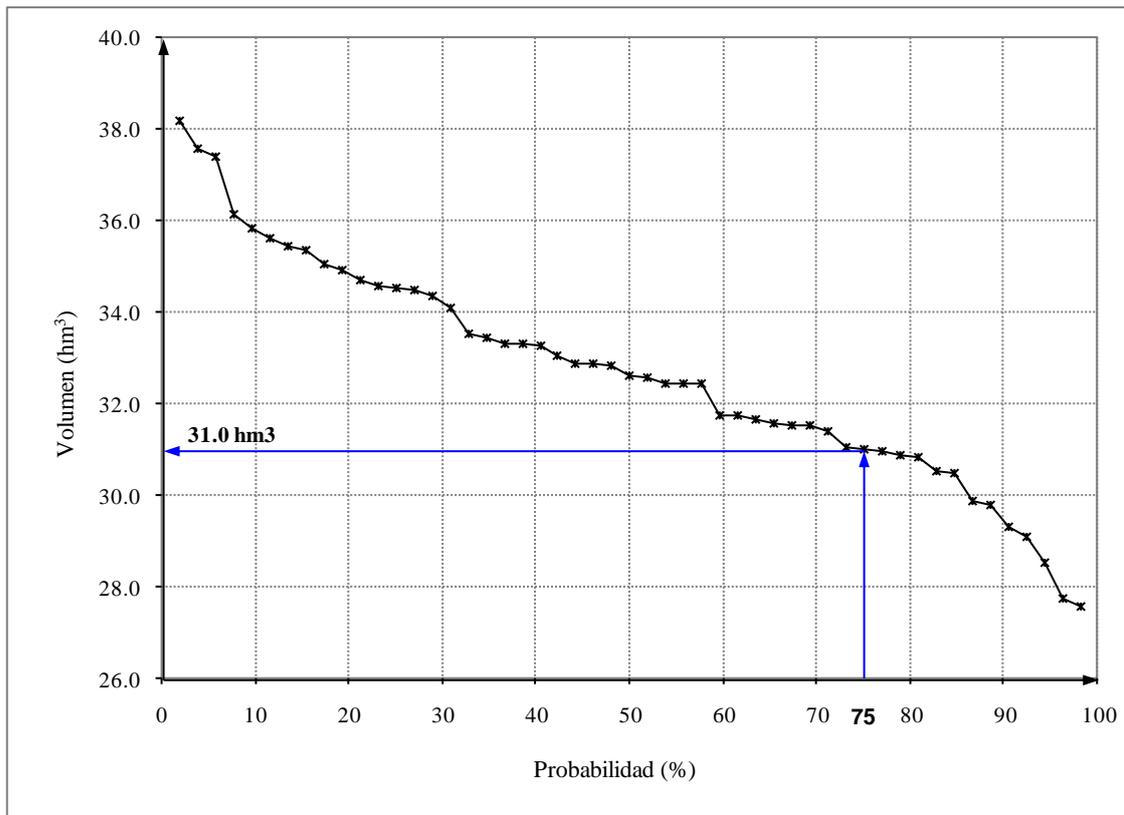
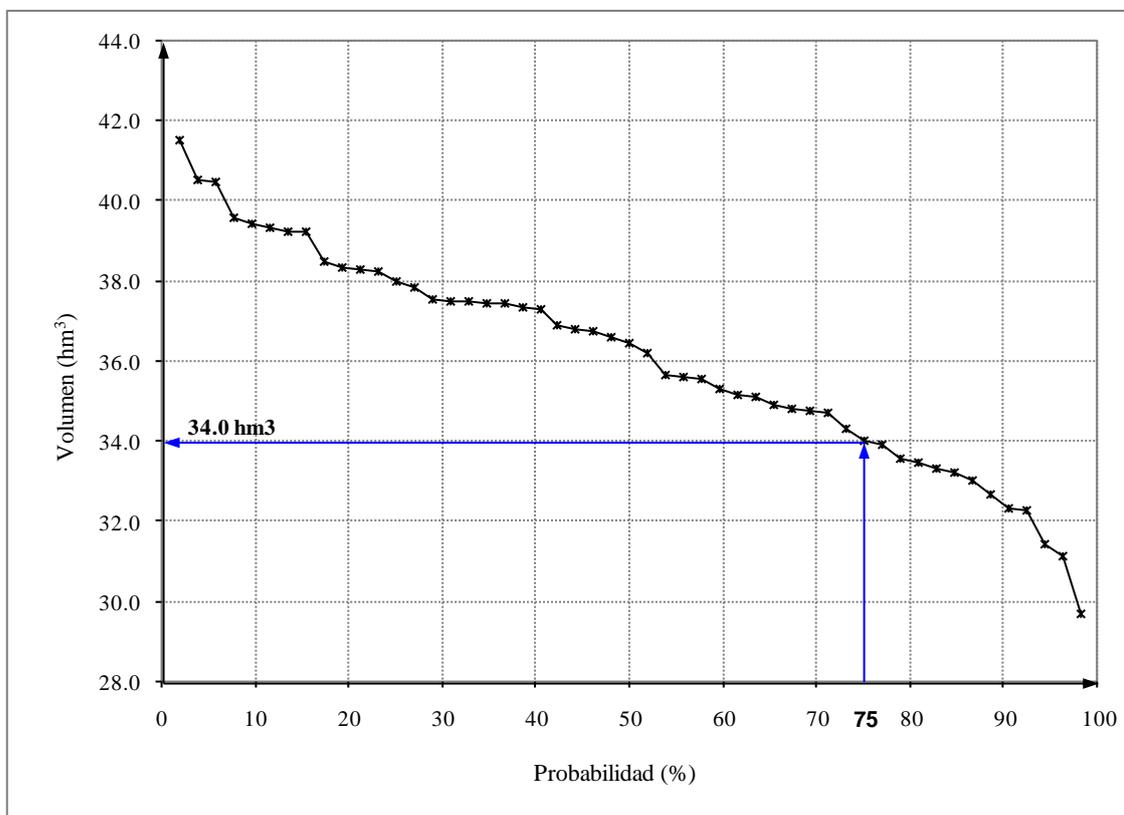


Gráfico N° 12.4 Curva de frecuencia de las capacidades de embalse - Embalse Yaputira



Del Cuadro N° 12.3 se obtiene resultados de los valores de la capacidad de embalse mínima y máxima, valor esperado y varianza del rango ajustado, y al 75% de persistencia.

Cuadro N° 12.4 Capacidades de embalse (hm³) – Embalses Callatomaza e Yaputira

Capacidad de embalse	Embalse	
	Callatomaza	Yaputira
Mínima	27.58	29.68
Valor esperado E(R*)	32.71	36.09
Máxima	38.19	41.51
75% de persistencia	31.00	34.00
Varianza (R*)	5.92	7.05

En resumen, la capacidad de embalse para una regulación total de las subcuencas del río Guanaco e Yaputira, corresponde al valor calculado al 75% de persistencia.

$$\begin{aligned} \text{Embalse Callatomaza} &= 31.0 \text{ hm}^3 \\ \text{Embalse Yaputira} &= 34.0 \text{ hm}^3 \end{aligned}$$

12.3.3 Cálculo del volumen útil del embalse

El volumen útil es el necesario para suministrar las demandas y las pérdidas de aguas durante el funcionamiento del embalse.

Para el cálculo del volumen útil del embalse, generalmente es necesario conocer el volumen total y el transporte de sedimentos. Para determinar el volumen del suministro de las demandas hídricas, es necesario calcular el volumen de precipitación, las pérdidas por evaporación e infiltración en el embalse.

A.- Volumen total del embalse

Desde el punto de vista topográfico, la capacidad máxima de los embalses Callatomaza e Yaputira, son menores a los volúmenes de agua calculados al 75% de persistencia como rendimiento de la cuenca, hidrológicamente.

Por lo tanto, en el presente estudio se ha considerado los siguientes volúmenes totales de almacenamiento de agua para cada embalse.

$$\begin{aligned} \text{Embalse Callatomaza} &= 16.0 \text{ hm}^3 \\ \text{Embalse Yaputira} &= 17.0 \text{ hm}^3 \end{aligned}$$

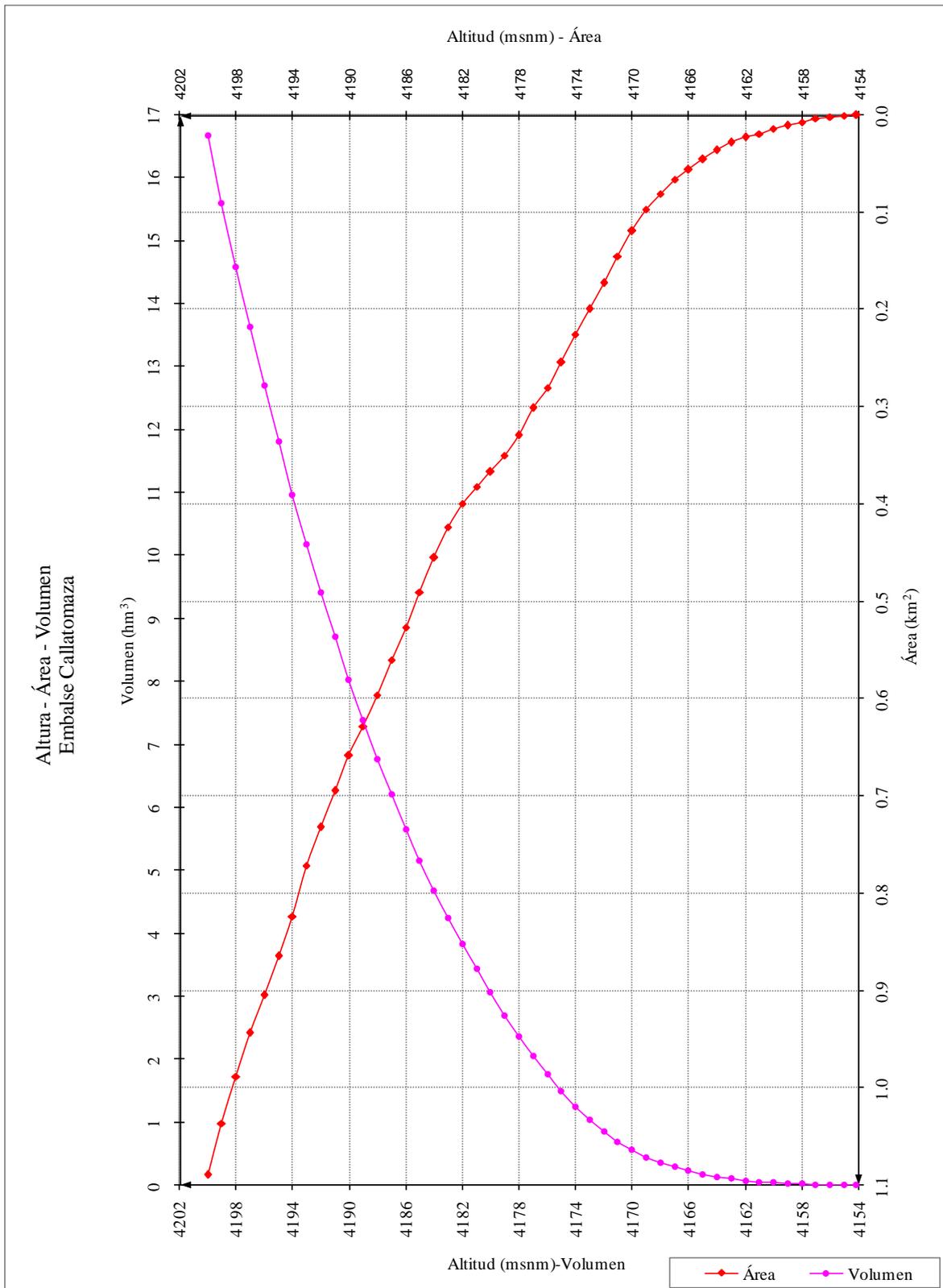
La información de la relación Altura-Área-Volumen para los embalses Callatomaza e Yaputira se muestran en los Cuadros N° 12.5 y 12.6, y en las Figuras N° 12.5 y 12.6. Esta información se ha obtenido a partir de los trabajos topográficos de la batimetría de los embalses en estudio.

En las Figuras N° 12.7 y 12.8 se muestran las secciones transversales del eje de presa Callatomaza e Yaputira.

Cuadro N° 12.5 Altura-Área-Volumen – Embalse Callatomaza

Cota	Área (m ²)	Área (ha)	Área (km ²)	Volumen Parcial (hm ³)	Volumen Acumulado (hm ³)	Observaciones
4154.15	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000	
4155.00	466.4	0.0	0.000	0.000	0.000	
4156.00	2003.2	0.2	0.002	0.001	0.001	
4157.00	3632.5	0.4	0.004	0.003	0.004	
4158.00	7226.4	0.7	0.007	0.005	0.010	
4159.00	10622.1	1.1	0.011	0.009	0.019	
4160.00	14011.6	1.4	0.014	0.012	0.031	
4161.00	19192.3	1.9	0.019	0.017	0.048	
4162.00	22613.5	2.3	0.023	0.021	0.068	
4163.00	27962.3	2.8	0.028	0.025	0.094	
4164.00	36015.1	3.6	0.036	0.032	0.126	
4165.00	45802.5	4.6	0.046	0.041	0.167	
4166.00	56434.3	5.6	0.056	0.051	0.218	
4167.00	66729.3	6.7	0.067	0.062	0.279	
4168.00	81085.0	8.1	0.081	0.074	0.353	
4169.00	96867.1	9.7	0.097	0.089	0.442	
4170.00	118996.6	11.9	0.119	0.108	0.550	
4171.00	145079.4	14.5	0.145	0.132	0.682	
4172.00	172818.0	17.3	0.173	0.159	0.841	
4173.00	199508.7	20.0	0.200	0.186	1.027	
4174.00	225757.4	22.6	0.226	0.213	1.240	
4175.00	254362.1	25.4	0.254	0.240	1.480	
4176.00	280854.6	28.1	0.281	0.268	1.748	
4177.00	301224.4	30.1	0.301	0.291	2.039	
4178.00	329271.3	32.9	0.329	0.315	2.354	
4179.00	350311.2	35.0	0.350	0.340	2.694	
4180.00	366762.1	36.7	0.367	0.359	3.052	
4181.00	382660.0	38.3	0.383	0.375	3.427	
4182.00	400140.5	40.0	0.400	0.391	3.818	
4183.00	423580.8	42.4	0.424	0.412	4.230	
4184.00	455119.0	45.5	0.455	0.439	4.670	
4185.00	490944.6	49.1	0.491	0.473	5.143	
4186.00	527015.7	52.7	0.527	0.509	5.652	
4187.00	560543.1	56.1	0.561	0.544	6.195	
4188.00	596259.3	59.6	0.596	0.578	6.774	
4189.00	628303.5	62.8	0.628	0.612	7.386	
4190.00	658720.6	65.9	0.659	0.644	8.030	
4191.00	695041.0	69.5	0.695	0.677	8.706	
4192.00	732379.9	73.2	0.732	0.714	9.420	
4193.00	772314.0	77.2	0.772	0.752	10.172	
4194.00	823677.1	82.4	0.824	0.798	10.970	
4195.00	864790.5	86.5	0.865	0.844	11.815	
4196.00	904950.8	90.5	0.905	0.885	12.700	
4197.00	943848.9	94.4	0.944	0.924	13.624	
4198.00	988762.7	98.9	0.989	0.966	14.590	
4199.00	1036539.9	103.7	1.037	1.013	15.603	
4200.00	1089847.7	109.0	1.090	1.063	16.666	

Figura N° 12.5 Curva Altura-Área-Volumen – Embalse Callatomaza



Cuadro N° 12.6 Altura-Área-Volumen – Embalse Yapurira

Cota	Área (m ²)	Área (ha)	Área (km ²)	Volumen Parcial (hm ³)	Volumen Acumulado (hm ³)	Observaciones
3979.96	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000	
3980.00	188.6	0.0	0.000	0.000	0.000	
3981.00	4633.2	0.5	0.005	0.002	0.002	
3982.00	25120.0	2.5	0.025	0.015	0.017	
3983.00	45895.4	4.6	0.046	0.036	0.053	
3984.00	71796.5	7.2	0.072	0.059	0.112	
3985.00	97301.9	9.7	0.097	0.085	0.196	
3986.00	123197.9	12.3	0.123	0.110	0.306	
3987.00	148128.6	14.8	0.148	0.136	0.442	
3988.00	177669.3	17.8	0.178	0.163	0.605	
3989.00	219640.3	22.0	0.220	0.199	0.804	
3990.00	257975.1	25.8	0.258	0.239	1.042	
3991.00	300844.1	30.1	0.301	0.279	1.322	
3992.00	352255.0	35.2	0.352	0.327	1.648	
3993.00	406155.1	40.6	0.406	0.379	2.028	
3994.00	459511.8	46.0	0.460	0.433	2.460	
3995.00	504633.0	50.5	0.505	0.482	2.943	
3996.00	561974.1	56.2	0.562	0.533	3.476	
3997.00	621823.2	62.2	0.622	0.592	4.068	
3998.00	675335.2	67.5	0.675	0.649	4.716	
3999.00	743784.1	74.4	0.744	0.710	5.426	
4000.00	818541.9	81.9	0.819	0.781	6.207	
4001.00	881405.7	88.1	0.881	0.850	7.057	
4002.00	950550.4	95.1	0.951	0.916	7.973	
4003.00	1003878.1	100.4	1.004	0.977	8.950	
4004.00	1056545.7	105.7	1.057	1.030	9.980	
4005.00	1107240.3	110.7	1.107	1.082	11.062	
4006.00	1154125.3	115.4	1.154	1.131	12.193	
4007.00	1197721.8	119.8	1.198	1.176	13.369	
4008.00	1238430.1	123.8	1.238	1.218	14.587	
4009.00	1282410.4	128.2	1.282	1.260	15.847	
4010.00	1332843.1	133.3	1.333	1.308	17.155	

Figura N° 12.6 Curva Altura-Área-Volumen – Embalse Yaputira

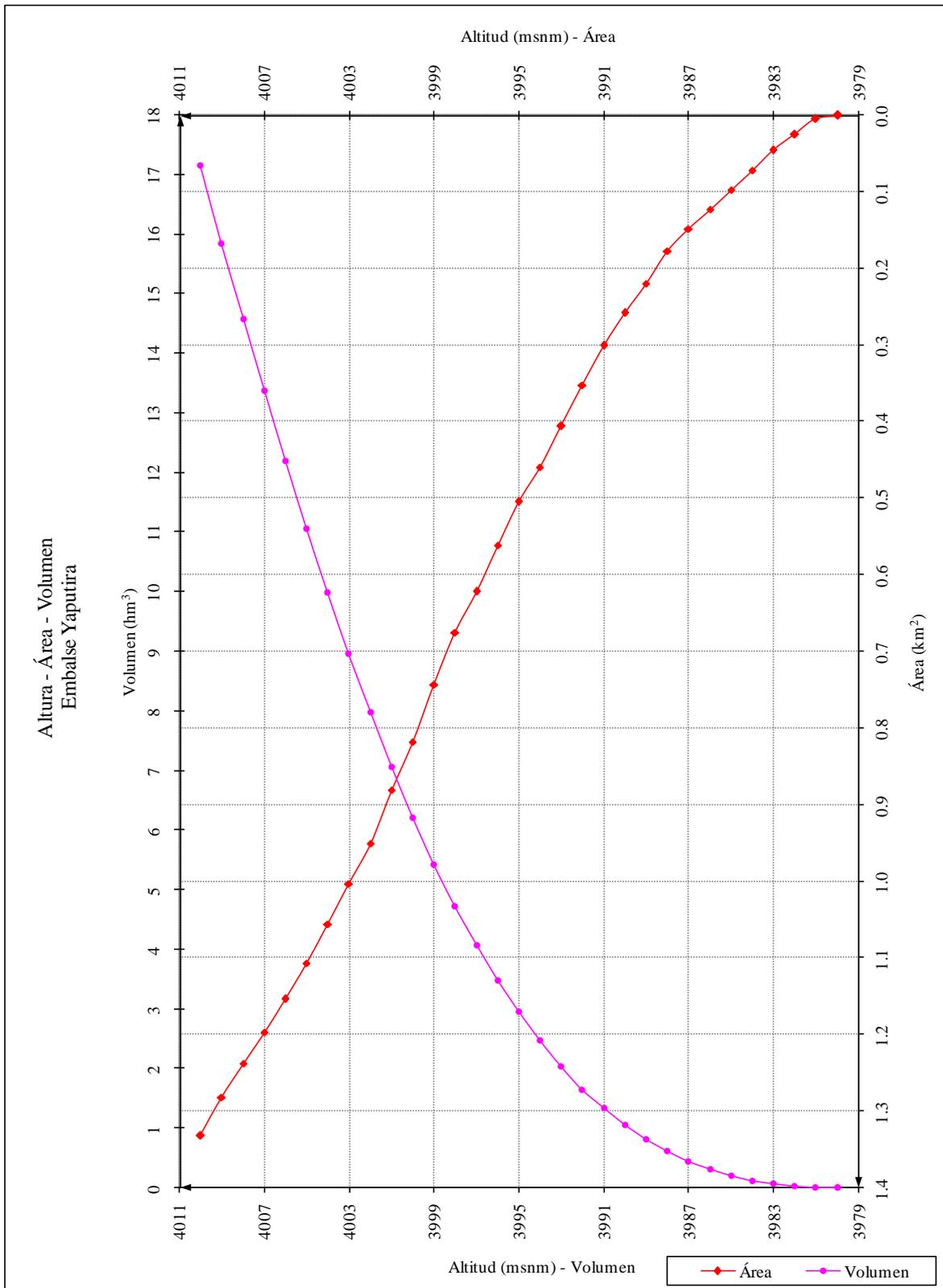


Figura N° 12.7 Sección transversal del eje de presa Callatomaza

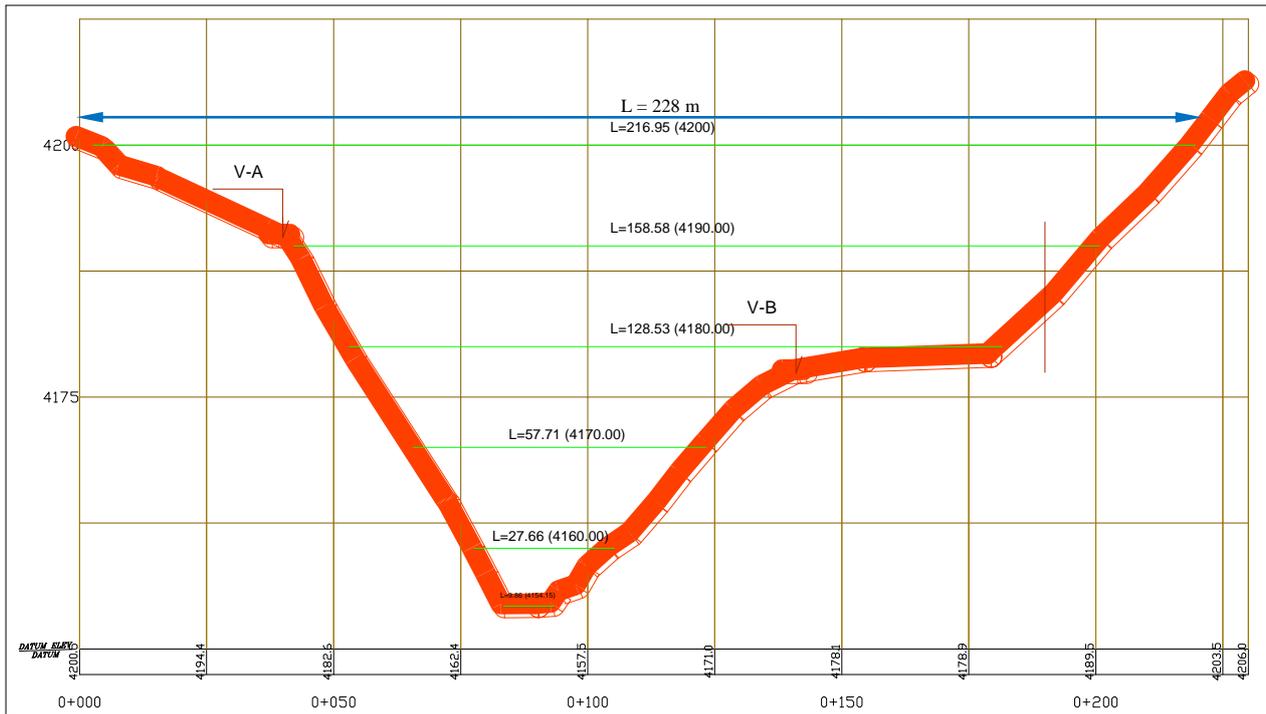
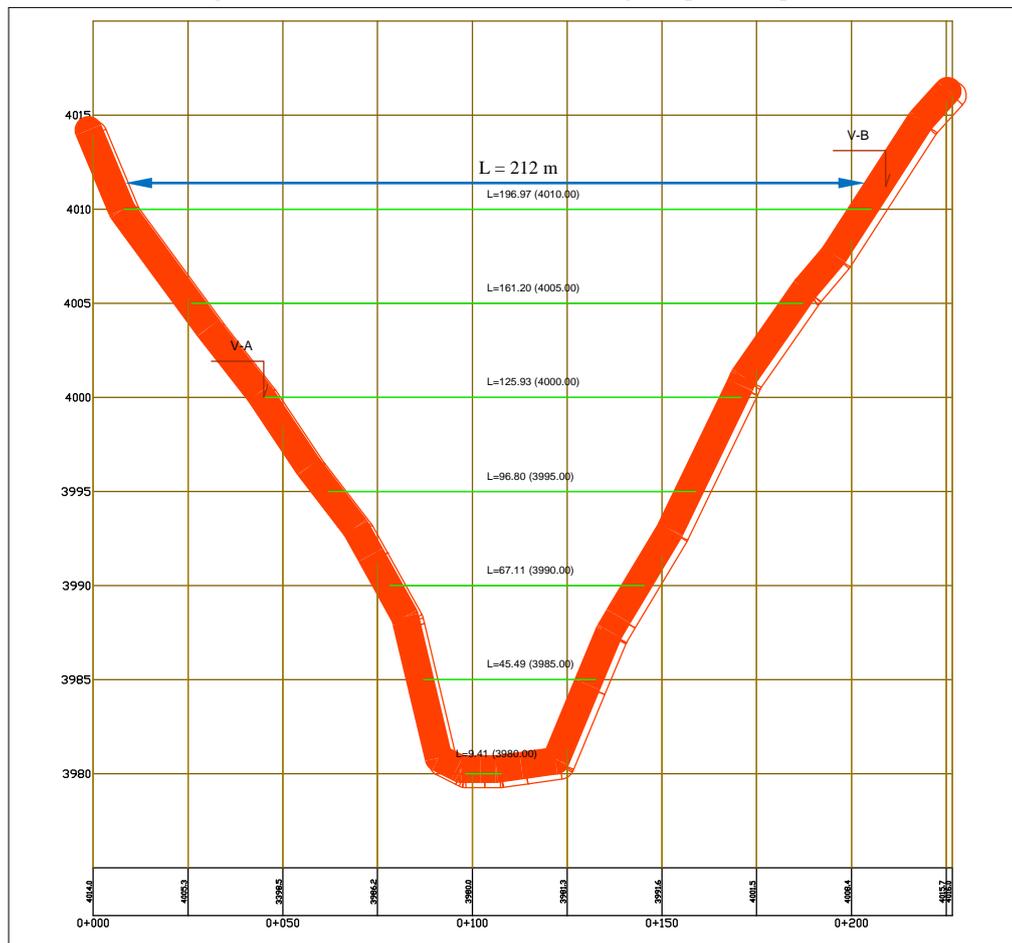


Figura N° 12.8 Sección transversal del eje de presa Yapurita



B.- Transporte de sedimentos

El estudio del transporte de sólidos resulta muy importante para la adecuación de los diseños de estructuras de regulación, captación y desarenamiento en proyectos hidráulicos. En el presente estudio se ha analizado el transporte de sedimentos para calcular el volumen de sedimentos en el embalse que durante la vida útil del proyecto podría sedimentarse, al cual se considera como el volumen muerto del embalse.

La teoría general de sedimentos fluviales involucra los procesos de erosión, iniciación del movimiento, transporte, depósitos y compactación de las partículas sólidas.

Los sedimentos se originan por la erosión de la cuenca. La erosión es un proceso que se desarrolla continuamente desde los tiempos geológicos, determina y modela la forma de la corteza terrestre. La erosión se debe a la acción producida de los agentes externos, como el agua es uno de los principales agentes de erosión y el vehículo principal de transporte del material erosionado. Entre otros factores que controlan la tasa de erosión están como el régimen de las lluvias, la cobertura vegetal, el tipo de suelo y la pendiente del terreno.

Las partículas son transportadas fundamentalmente de dos maneras diferentes: las de mayor tamaño ruedan sobre el fondo constituyendo el transporte de sólido de fondo; las más finas van en suspensión. Es posible que ciertas partículas se transporten de un modo especial: a saltos, no constituyen propiamente material de fondo ni material en suspensión, a esta modalidad se le denomina transporte por saltación.

El transporte total de sedimentos, es la suma de sedimentos de arrastre y suspensión.

La información básica para el cálculo de transporte de sedimentos, es la granulometría del lecho del río de la cuenca estudiada, en el presente no se cuenta con esta información, sin embargo para calcular el volumen de sedimentos se ha utilizado un método empírico relacionado al área de la cuenca, a continuación se describe el método correspondiente.

Criterio del área de la cuenca

La relación establecida por el U.S. Bureau of Reclamation y ajustada en base a los registros de la cuenca del río Mantaro, permite aproximar la siguiente relación:

$$Q_s = 780.7 \times A^{-0.26}$$

Donde:

$$\begin{array}{ll} Q_s & = \text{Transporte de sedimentos (m}^3\text{/km}^2\text{/año).} \\ A & = \text{Área de la cuenca (km}^2\text{).} \end{array}$$

Aplicando la ecuación anterior, se obtiene los volúmenes de sedimentos para los embalses Callatomaza e Yapatira, ver Cuadro N° 12.7.

Cuadro N° 12.7 Cálculo de volumen de sedimentos

Parámetros	Unidad de medida	Embalse	
		Callatomaza	Yaputira
Área cuenca	(km ²)	216.75	228.24
Caudal sólido Qs	(m ³ /km ² /año)	192.81	190.24
Caudal sólido Qs	(m ³ /año)	41792.07	43420.43
Vida útil embalse	(años)	50.00	50.00
Caudal sólido Qs	(m ³)	2089603.67	2171021.30
Caudal sólido Qs	(hm ³)	2.09	2.17

Los volúmenes de sedimentos calculados en el Cuadro N° 12.7, representa transporte total de sedimentos.

En el presente estudio, se asume **2 hm³** de volumen de sedimentos como la primera aproximación, para ser considerado como volumen muerto en los embalses Callatomaza e Yaputira. El volumen de sedimentos asumido, podría reajustarse con los resultados recalculados en base a la información de la granulometría del lecho del río de las cuencas en estudio.

C.- Volumen de precipitación en el embalse

El volumen de precipitación en los embalses Callatomaza e Yaputira, se ha calculado con la información de precipitación areal de las subcuencas y el área promedio de los embalses en estudio. Los resultados se muestran en el Cuadro N° 12.8.

Cuadro N° 12.8 Volumen de precipitación en el embalse

Area promedio del embalse: Callatomaza = 0.624 km² e Yaputira = 0.863 km²

Mes	N° días	Embalse			
		Callatomaza		Yaputira	
		Pp (mm)	Vol. (hm ³)	Pp (mm)	Vol. (hm ³)
Enero	31	146.3	0.09	145.7	0.13
Febrero	28	120.1	0.07	118.2	0.10
Marzo	31	100.0	0.06	107.3	0.09
Abril	30	49.0	0.03	57.1	0.05
Mayo	31	13.2	0.01	17.3	0.01
Junio	30	4.9	0.00	8.8	0.01
Julio	31	3.3	0.00	6.5	0.01
Agosto	31	8.4	0.01	16.9	0.01
Septiembre	30	28.6	0.02	37.1	0.03
Octubre	31	46.9	0.03	57.3	0.05
Noviembre	30	69.2	0.04	67.8	0.06
Diciembre	31	110.2	0.07	103.6	0.09
Total anual		700.1	0.43	743.6	0.64
Asumido: Volumen de Precipitación (hm ³) =			0.40		0.60

D.- Volumen de evaporación en el embalse

El volumen de evaporación en los embalses Callatomaza e Yaputira, se ha calculado con la información de evaporación areal de las subcuencas y el área promedio de los embalses en estudio. Los resultados se muestran en el Cuadro N° 12.9.

Cuadro N° 12.9 Volumen de evaporación en el embalse

Area promedio del embalse: Callatomaza = 0.624 km² e Yaputira = 0.863 km²

Mes	N° días	Embalse			
		Callatomaza		Yaputira	
		Ev (mm)	Vol. (hm ³)	Ev (mm)	Vol. (hm ³)
Enero	31	74.9	0.05	64.50	0.06
Febrero	28	68.7	0.04	60.00	0.05
Marzo	31	70.3	0.04	63.80	0.06
Abril	30	75.2	0.05	63.80	0.06
Mayo	31	73.0	0.05	70.50	0.06
Junio	30	67.8	0.04	64.50	0.06
Julio	31	73.1	0.05	68.30	0.06
Agosto	31	83.9	0.05	75.00	0.06
Septiembre	30	89.9	0.06	78.00	0.07
Octubre	31	86.9	0.05	76.50	0.07
Noviembre	30	89.0	0.06	74.30	0.06
Diciembre	31	81.7	0.05	68.30	0.06
TOTAL ANUAL		934.4	0.59	827.50	0.73
Asumido: Volumen de Evaporación (hm ³) =			0.60		0.70

E.- Volumen de infiltración en el embalse

En el presente estudio, el volumen de infiltración se ha asumido el 5% del volumen total del embalse, cuyos respectivos valores son: embalse Callatomaza 0.80 hm³ y embalse Yaputira 0.90 hm³.

F.- Volumen útil del embalse

$$VU = VT - VM$$

Donde: VU = Volumen útil.
 VT = Volumen total.
 VM = Volumen muerto (volumen de sedimentos).

Con la información disponible del volumen total y volumen muerto, se ha calculado el volumen útil para los embalses Callatomaza e Yaputira. Ver el Cuadro N° 12.10.

Cuadro N° 12.10 Volumen útil (hm³) - Embalses Callatomaza e Yaputira

Variables	Embalse	
	Callatomaza	Yaputira
Volumen total del embalse (VT)	16.00	17.00
Volumen de sedimentos o volumen muerto (VM)	2.00	2.00
Volumen útil del embalse (VU)	14.00	15.00

Los volúmenes útiles obtenidos en el Cuadro N° 12.10, incluye las cantidades de agua para el suministro de las demandas y las pérdidas durante el funcionamiento de los embalses. Bajo este contexto, se ha calculado el volumen de agua que serán utilizadas para la demanda hídrica de las subcuencas en estudio, considerando los volúmenes de la precipitación, evaporación e infiltración del embalse, cuyos resultados se muestran en el Cuadro N° 12.11.

Cuadro N° 12.11 Volumen de agua para la demanda hídrica (hm³) – Embalses Callatomaza e Yaputira

Variables	Embalse	
	Callatomaza	Yaputira
Volumen útil del embalse (VU)	14.00	15.00
Volumen de precipitación sobre el embalse (VP)	0.40	0.60
Volumen de evaporación del embalse (VEv)	0.60	0.70
Volumen de infiltración del embalse (VI)	0.80	0.90
Volumen de agua para la demanda hídrica: VD = VU+VP-VEv-VI	13.00	14.00

12.3.4 Parámetros hidráulicos de la presa

Algunos parámetros del embalse ya están definidos en los cálculos anteriores, lo que faltaría es el caudal máximo de salida del embalse, longitud de la cresta del vertedero, altura de la lámina vertiente, borde libre y el ancho de la corona de la presa.

A.- Tránsito de avenida en el embalse

El tránsito de caudales es un procedimiento para determinar el tiempo y la magnitud del caudal de salida (vale decir, el hidrograma de caudal) en un embalse de detención, utilizando hidrogramas conocidos o supuestos de entrada al embalse.

Cuando el embalse se encuentra lleno, los excesos del hidrograma de entrada al embalse deben ser evacuadas por el aliviadero o el vertedero de demasías, en un tiempo determinado del tránsito de avenidas. Para este efecto se diseñan las estructuras de vertimiento, las cuales deben tener capacidad para conducir los picos de las crecientes extraordinarias en forma segura hasta entregarlos aguas abajo de la presa.

Tránsito de Piscina Nivelada

El tránsito de piscina nivelada es un procedimiento para calcular el hidrograma de flujo de salida desde un embalse con una superficie de agua horizontal, dado su hidrograma de entrada y sus características de almacenamiento – caudal de salida.

El horizonte de tiempo se divide en intervalos de duración Δt , indexados por j , es decir, $t = 0, \Delta t, 2\Delta t, \dots, j\Delta t, (j+1)\Delta t, \dots$, y la ecuación de continuidad ($dS/dt = I(t) - Q(t)$, donde: $I(t)$ = la entrada, $Q(t)$ = la salida y $S(t)$ = almacenamiento de un sistema hidrológico) se integra sobre cada intervalo de tiempo, como se muestra en la Figura N° 12.9. Para el j -ésimo intervalo de tiempo.

$$\int_{S_j}^{S_{j+1}} dS = \int_{j\Delta t}^{(j+1)\Delta t} I(t) dt - \int_{j\Delta t}^{(j+1)\Delta t} Q(t) dt \quad (1)$$

Los valores del flujo de entrada al inicio y al final del j -ésimo intervalo son I_j e I_{j+1} , respectivamente, y los correspondientes valores del caudal de salida son Q_j y Q_{j+1} . Aquí, tanto el caudal de entrada como el caudal de salida son tasas de flujo medidas como información por muestra, en lugar de que el caudal de entrada sea información por pulso y el caudal de salida sea información por muestra como ocurría con el hidrograma unitario. Si la variación de los caudales de entrada y de salida a lo largo del intervalo es aproximadamente lineal, el cambio en el almacenamiento en el intervalo $S_{j+1} - S_j$, puede encontrarse reescribiendo (1) como:

$$S_{j+1} - S_j = \frac{I_j + I_{j+1}}{2} \Delta t - \frac{Q_j + Q_{j+1}}{2} \Delta t \quad (2)$$

Los valores de I_j e I_{j+1} se conocen debido a que han pre especificados. Los valores de Q_j y S_j se conocen en el intervalo de tiempo j -ésimo a partir de los cálculos hechos durante el intervalo de tiempo previo. Por consiguiente, la ecuación (2) contiene dos incógnitas Q_{j+1} y S_{j+1} , las cuales pueden aislarse multiplicando (2) por $2/\Delta t$, y reordenando el resultado para producir:

$$\left(\frac{2S_{j+1}}{\Delta t} + Q_{j+1} \right) = (I_j + I_{j+1}) + \left(\frac{2S_j}{\Delta t} - Q_j \right) \quad (3)$$

Con el fin de calcular el caudal de salida Q_{j+1} , a partir de la ecuación (3), se necesita una *función almacenamiento-caudal de salida* que relacione $2S/\Delta t + Q$ y Q . El método para desarrollar esta función utilizando las relaciones elevación-almacenamiento y elevación-caudal de salida se muestra en la Figura N° 12.10. La relación entre la elevación de la superficie de agua y el almacenamiento en el embalse puede determinarse planimetrando mapas topográficos o mediante estudios topográficos de campo. La relación elevación-caudal se deduce de las ecuaciones hidráulicas que relacionan cabeza y caudal, como las que se muestran en la Tabla N° 12.1 para varios tipos de vertederos y de estructuras de salida. El valor de Δt se toma como el intervalo de tiempo del hidrograma de caudal de entrada. Para un valor dado de la elevación de la superficie de agua, se determinan los valores de almacenamiento S y del caudal de salida Q [partes a) y b) de la Figura N° 12.10], luego se calcula el valor de $2S/\Delta t + Q$ y se dibuja en el eje horizontal de una gráfica con el valor del caudal de salida Q en el vertical [parte c) de la Figura N° 12.10].

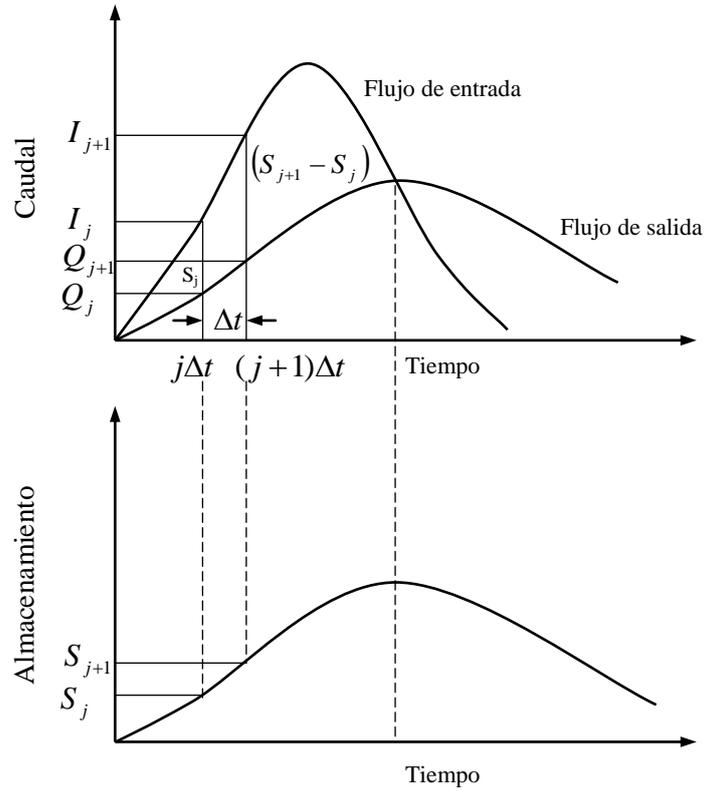


Figura N° 12.9: Cambio de almacenamiento durante un período de tránsito Δt .

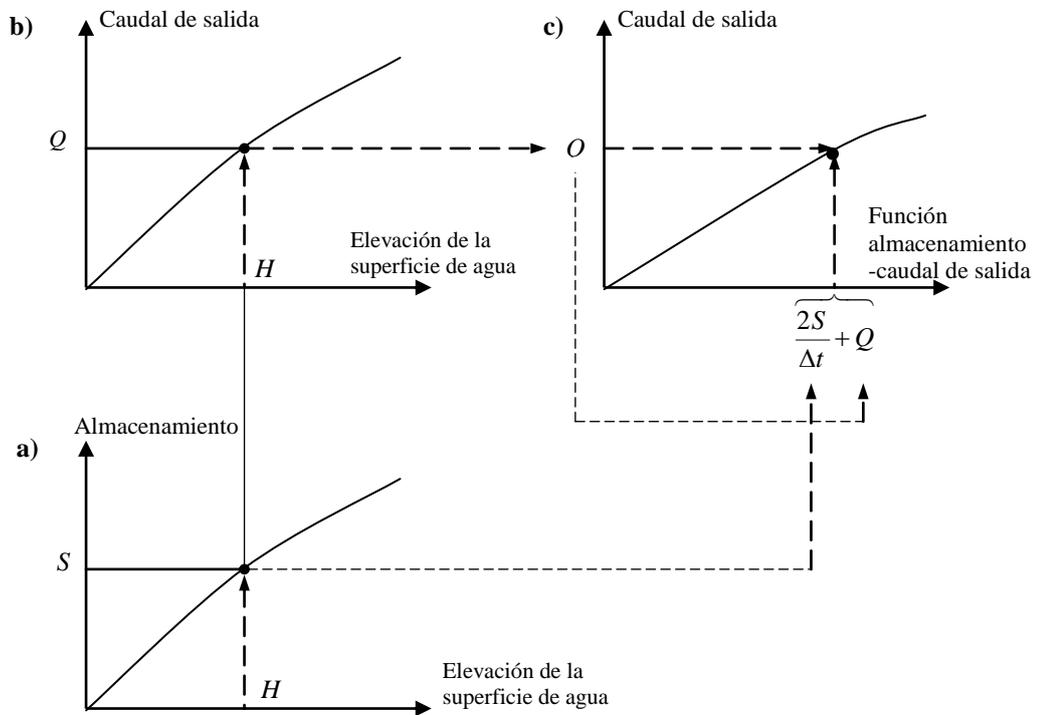


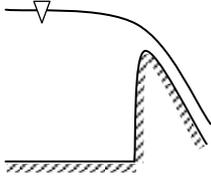
Figura N° 12.10 Desarrollo de una función almacenamiento-caudal de salida para tránsito de piscina nivelada con base en las curvas almacenamiento-elevación y elevación-caudal de salida.

Durante el tránsito de flujo a través del intervalo de tiempo j , todos los términos de la parte derecha de la ecuación (3) se conocen, luego el valor de $2S_{j+1}/\Delta t + Q_{j+1}$ puede calcularse. El valor correspondiente de Q_{j+1} puede determinarse a partir de la función almacenamiento-caudal de salida $2S/\Delta t + Q$ versus Q , ya sea gráficamente o por interpolación lineal de unos valores dados en forma tabular, el valor de $2S_{j+1}/\Delta t - Q_{j+1}$ se calcula utilizando la siguiente ecuación.

$$\left(\frac{2S_{j+1}}{\Delta t} - Q_{j+1} \right) = \left(\frac{2S_{j+1}}{\Delta t} + Q_{j+1} \right) - 2Q_{j+1} \quad (4)$$

Este cálculo se repite para los subsiguientes períodos de tránsito.

Tabla N° 12.1 Ecuación de caudal de salida del vertedero

Tipo de vertedero	Ecuación	Notación
Cresta Libre no controlada 	$Q = C.L.H^{3/2}$	<p>Q = caudal del vertedero (m^3/s).</p> <p>C = coeficiente de descarga.</p> <p>L = longitud de la cresta vertedora (m).</p> <p>H = altura de la lámina vertiente (m).</p>

a.2.- Resultados de tránsito de avenida en los embalses Callatomaza e Yaputira

Los caudales transitados utilizando el *Método de Piscina Nivelada*, han permitido definir los caudales necesarios para ser evacuados por el vertedero de demasías en cada uno de los embalses en estudio.

Los valores asumidos para el cálculo son: $C = 2.5$, longitud de cresta del vertedero $L = 50$ m y la altura de la lámina vertiente es variable.

En los Cuadros N° 12.12 al 12.16 y en las Figuras N° 12.11 y 12.12, se presentan los cálculos y sus hidrogramas de entrada y salida de los embalses Callatomaza e Yaputira, para una avenida de 10,000 años de período de retorno.

Cabe recalcar que el período de retorno seleccionado, se debe a que la estructura de vertimiento de avenidas evacue con seguridad sin riesgo de falla, donde en aguas abajo de la represa se encuentran asentadas la población rural, centros educativos, postas de salud, áreas agrícolas y entre otras.

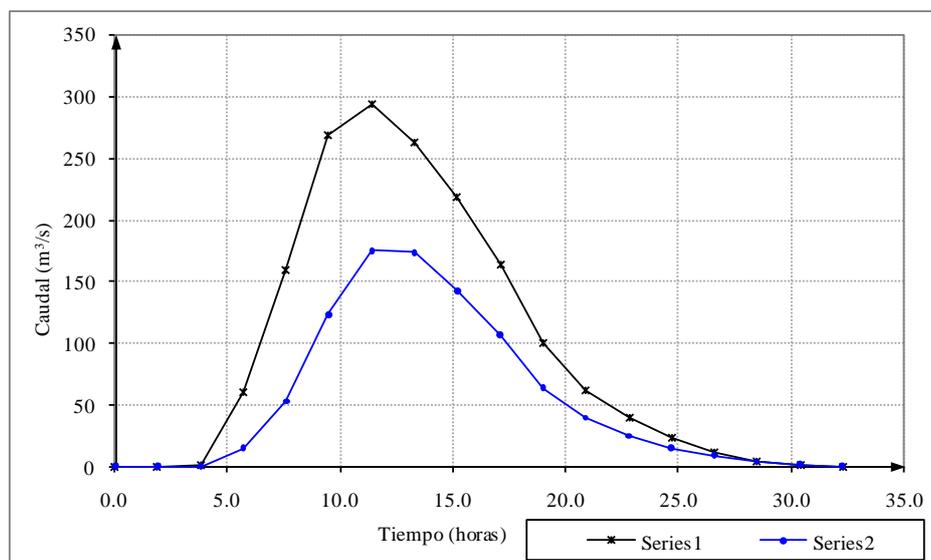
Cuadro N° 12.12 Valores de elevación, área, almacenamiento y caudal de salida
Embalse Callatomaza

Elevación H (m)	Area A (km ²)	Almacenamiento S		Y	X
		(hm ³)	(m ³)	Caudal Q (m ³ /s)	(2S/Dt) + Q
				(m ³ /s)	(m ³ /s)
0.00	1.060	0.000	0.00	0.0	0.0
0.63	1.090	0.666	666,000.00	62.5	257.2
1.13	1.114	1.195	1,195,000.00	150.2	499.6
1.63	1.138	1.723	1,723,000.00	260.1	763.9

Cuadro N° 12.13 Tránsito de avenida a través del embalse Callatomaza - Método de Piscina Nivelada
Período de retorno de 10000 años

Período de Tránsito j(h)		Caudal de entrada al embalse (m ³ /sg)	$I_j + I_{j+1}$ (m ³ /sg)	$\frac{2S_j}{\Delta t} - Q_j$ (m ³ /sg)	$\frac{2S_{j+1}}{\Delta t} - Q_{j+1}$ (m ³ /sg)	Caudal de salida del embalse (m ³ /sg)
1	0.0	0.0		0.0		0.0
2	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	3.8	1.4	1.4	0.8	1.4	0.3
4	5.7	59.8	61.2	32.2	62.0	14.9
5	7.6	158.8	218.6	144.6	250.8	53.1
6	9.5	267.8	426.6	323.6	571.2	123.8
7	11.4	293.1	560.9	533.1	884.5	175.7
8	13.3	262.6	555.7	741.8	1088.8	173.5
9	15.2	217.3	479.9	935.5	1221.7	143.1
10	17.1	162.8	380.1	1101.6	1315.6	107.0
11	19.0	99.8	262.6	1236.6	1364.2	63.8
12	20.9	62.2	162.0	1319.8	1398.6	39.4
13	22.8	40.3	102.5	1372.5	1422.3	24.9
14	24.7	23.6	63.9	1405.4	1436.4	15.5
15	26.6	12.2	35.8	1423.8	1441.2	8.7
16	28.5	4.9	17.1	1432.5	1440.9	4.2
17	30.4	1.0	5.9	1435.6	1438.4	1.4
18	32.3	0.0	1.0	1436.2	1436.6	0.2
19			0.0	1436.2	1436.2	0.0

Figura N° 12.11 Hidrograma de entrada y salida del embalse Callatomaza (TR=10000 años)



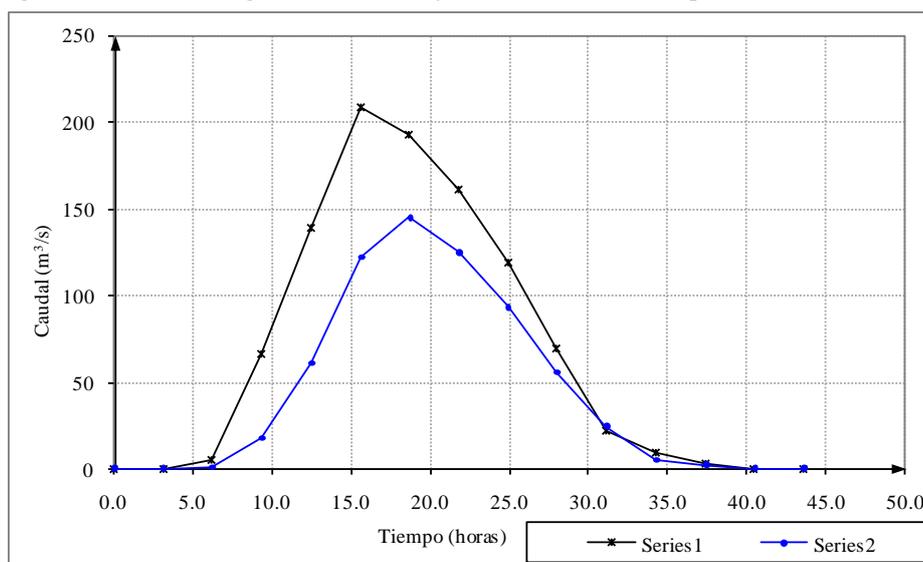
Cuadro N° 12.14 Valores de elevación, área, almacenamiento y caudal de salida
Embalse Yaputira

Elevación H (m)	Area A (km2)	Almacenamiento S		Y	X
		(hm3)	(m3)	Caudal Q (m3/s)	(2S/Dt) + Q
				(m3/s)	(m3/s)
0.00	1.330	0.000	0.00	0.0	0.0
0.12	1.333	0.155	155,000.00	5.2	33.0
0.62	1.335	0.801	801,000.00	61.0	204.5
1.12	1.338	1.447	1,447,000.00	148.2	407.5

Cuadro N° 12.15 Tránsito de avenida a través del embalse Yaputira - Método de Piscina Nivelada
Período de retorno de 10000 años

Período de Tránsito j(h)		Caudal de entrada al embalse (m3/sg)	$I_j + I_{j+1}$ (m3/sg)	$\frac{2S_j}{\Delta t} - Q_j$ (m3/sg)	$\frac{2S_{j+1}}{\Delta t} - Q_{j+1}$ (m3/sg)	Caudal de salida del embalse (m3/sg)
1	0.0	0.0		0.0		0.0
2	3.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	6.2	4.8	4.8	3.2	4.8	0.8
4	9.3	66.1	70.9	39.1	74.1	17.5
5	12.5	138.6	204.7	121.6	243.8	61.1
6	15.6	208.3	346.9	224.1	468.5	122.2
7	18.7	192.1	400.4	334.1	624.5	145.2
8	21.8	160.6	352.7	437.4	686.8	124.7
9	24.9	118.8	279.4	530.4	716.8	93.2
10	28.0	69.3	188.1	607.1	718.5	55.7
11	31.1	22.5	91.8	650.3	698.9	24.3
12	34.3	9.9	32.4	672.5	682.7	5.1
13	37.4	3.0	12.9	681.4	685.4	2.0
14	40.5	0.1	3.1	683.5	684.5	0.5
15	43.6	0.0	0.1	683.6	683.6	0.0

Figura N° 12.12 Hidrograma de entrada y salida del embalse Yaputira (TR=10000 años)



Los caudales transitados, utilizando el *Método de Piscina Nivelada*, han permitido definir los caudales necesarios para ser evacuados por el vertedero de demasías, en cada una de los embalses en estudio para las máximas avenidas de 100, 1000 y 10000 años de período de retorno.

Los caudales máximos de entrada y salida del embalse se muestran en el siguiente cuadro.

Cuadro N° 12.16 Caudales máximos instantáneos de entrada y salida de los embalses Callatomaza e Yaputira

TR (años)	Embalse Callatomaza		Embalse Yaputira	
	Qentrada (m3/s)	Qsalida (m3/s)	Qentrada (m3/s)	Qsalida (m3/s)
100	127.60	60.30	87.50	50.90
1,000	216.40	122.20	135.10	87.50
10,000	293.10	175.70	208.30	145.20

B.- Longitud de la cresta del vertedero

Para la determinación de la longitud de la cresta del vertedero se hará uso de la siguiente ecuación:

$$Q = C.L.H^{3/2} \quad (a)$$

Donde:

- Q = Caudal del vertedero (m³/s).
- C = Coeficiente de descarga.
- L = Longitud de la cresta vertedora (m).
- H = Altura de la lámina vertiente (m).

Los valores de altura de la lámina para cada longitud de cresta, se muestran en el Cuadro N° 12.17 siguiente:

Cuadro N° 12.17 Descarga de la presa vertedora
Caudal máximo 10000 años: Callatomaza = 293.1 m³/s, Yaputira = 208.3 m³/s
Caudal del vertedero: Callatomaza = 175 m³/s, Yaputira = 145 m³/s

H (m)	Longitud de la Cresta (m) , C = 2.50							
	30	40	50	60	70	80	90	100
0.10	2.4	3.2	4.0	4.7	5.5	6.3	7.1	7.9
0.25	9.4	12.5	15.6	18.8	21.9	25.0	28.1	31.3
0.50	26.5	35.4	44.2	53.0	61.9	70.7	79.5	88.4
0.75	48.7	65.0	81.2	97.4	113.7	129.9	146.1	162.4
1.00	75.0	100.0	125.0	150.0	175.0	200.0	225.0	250.0
1.25	104.8	139.8	174.7	209.6	244.6	279.5	314.4	349.4
1.50	137.8	183.7	229.6	275.6	321.5	367.4	413.4	459.3

En el presente estudio se ha seleccionado la longitud del vertedero de 50 m para los embalses Callatomaza e Yaputira.

C.- Altura de la lámina vertiente

Despejando de la ecuación (a) se obtiene la altura de la lámina vertiente.

$$H = \left(\frac{Q}{C.L} \right)^{2/3} \quad (b)$$

Con la información disponible se calcula la lámina vertiente para los embalses Callatomaza e Yaputira.

Cuadro N° 12.18 Altura de la lámina vertiente de los embalses Callatomaza e Yaputira

Descripción	Embalse	
	Callatomaza	Yaputira
Caudal máxima de salida (Q)	175.0	145.0
Longitud del vertedero (L)	50.0	50.0
Coefficiente de descarga (C)	2.5	2.5
Altura de la lámina vertiente (H)	1.25	1.10

Para fines de diseño se adopta 1.50 m de altura de la lámina vertiente para ambos embalses.

D.- Borde libre

El borde libre o distancia vertical entre la coronación y el nivel de aguas máximas extraordinarias, es decir, el nivel del embalse cuando el vertedor trabaja a su máxima capacidad, será calculado siguiendo la recomendación de la Instrucción Española, cuya expresión es la siguiente:

$$a = 0.76 + 0.34(Fe)^{0.5} - 0.26(Fe)^{0.25} \quad (c)$$

Donde:

a = altura de la ola (m).

Fe = Fetch efectivo (longitud del espejo de agua del embalse (km)).

Cuadro N° 12.19 Altura de la ola en los embalses Callatomaza e Yaputira

Descripción	Embalse	
	Callatomaza	Yaputira
Longitud del espejo de agua del embalse (Fe)	3.188	4.85
Altura de la ola (a)	1.02	1.12

Para fines de diseño se adopta el borde libre de 1.50 m para ambos embalses.

E.- Ancho de corona de la presa

Existen diversas expresiones empíricas para determinar el ancho de la corona en función de la altura "H" de la presa. La expresión Mexicana es la siguiente:

$$B = 0.5 (H)^{0.5} \quad (d)$$

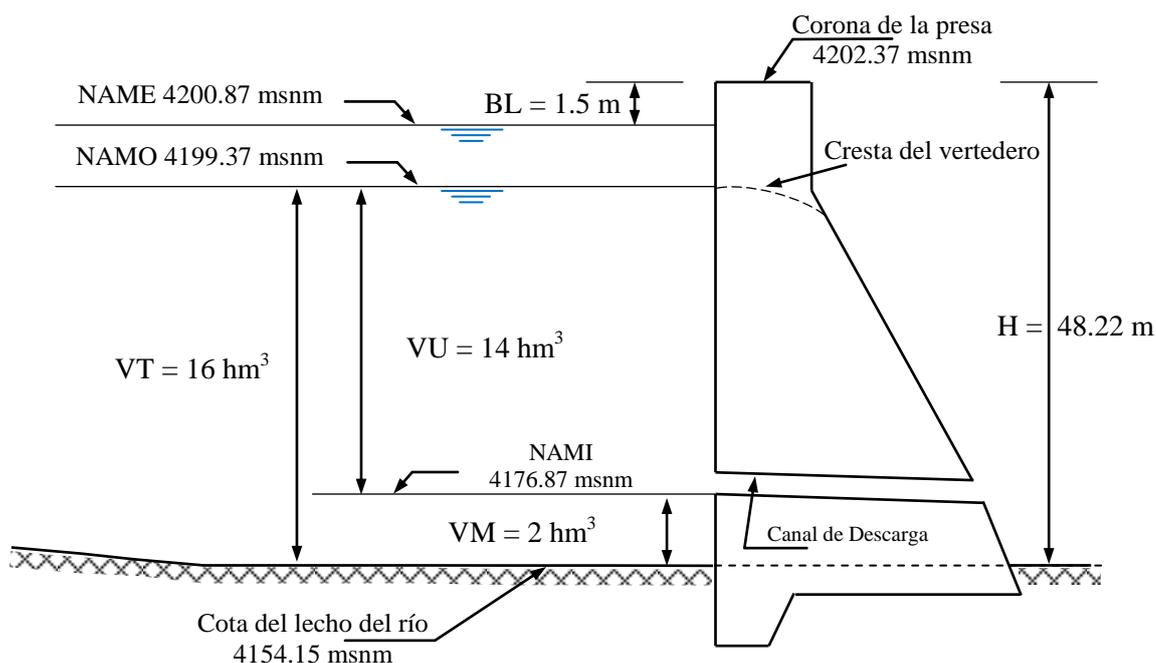
Los resultados son: Presa Callatomaza B = 3.47 m y Presa Yaputira B = 2.87 m.

Considerando que el dimensionamiento del ancho de la corona deberá tener en cuenta entre otros factores, la sismicidad de la zona y la posibilidad de uso de ésta como una vía para el paso de vehículos, se adopta: B = 4 m para las presas Callatomaza y Yaputira.

E.- Parámetros hidráulicos de la represa

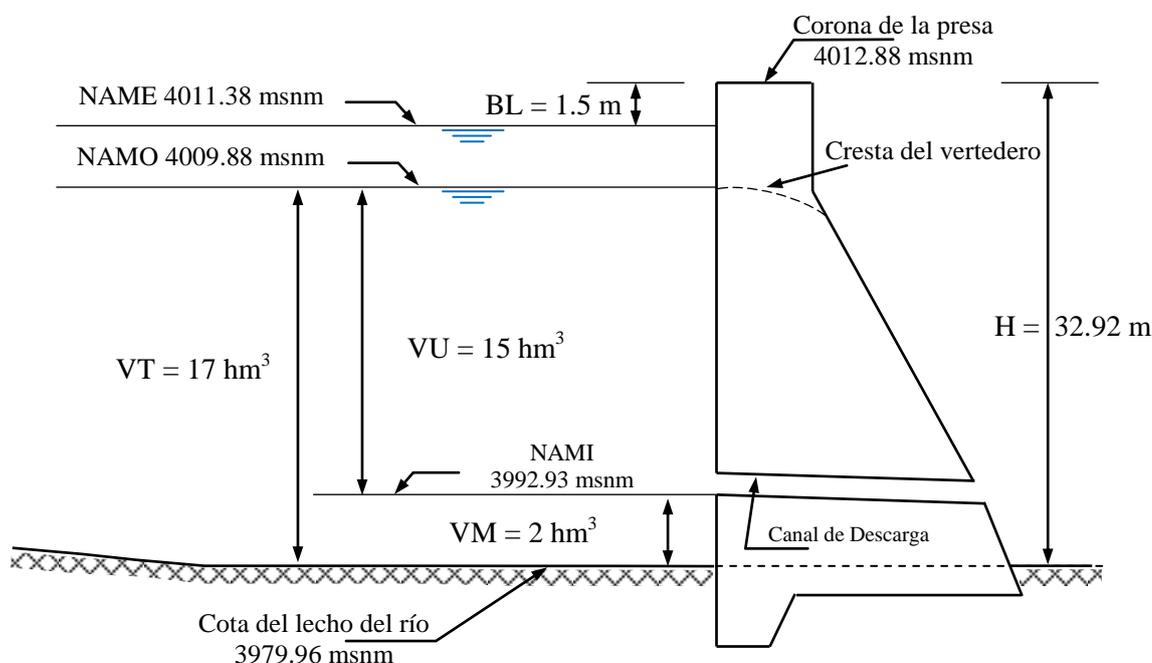
Embalse Callatomaza:

- Nivel de aguas máximas extraordinarias (NAME)	=	4200.87 msnm
- Nivel de aguas máximas ordinarias o de operación (NAMO)	=	4199.37 msnm
- Nivel de aguas mínimas de operación (NAMI)	=	4176.87 msnm
- Cota del lecho del río	=	4154.15 msnm
- Cota de la corona de la presa	=	4202.37 msnm
- Borde libre (BL)	=	1.50 m
- Altura de la presa (H)	=	48.22 m
- Volumen útil del embalse (VU)	=	14.00 hm ³
- Volumen muerto del embalse (VM)	=	2.00 hm ³
- Volumen total del embalse (VT)	=	16.00 hm ³
- Longitud de coronación	=	228.00 m
- Longitud de la cresta del vertedero	=	50.00 m
- Ancho de la corona de la presa	=	4.00 m
- Área del embalse	=	1.06 km ²



Embalse Yaputira:

- Nivel de aguas máximas extraordinarias (NAME)	=	4011.38 msnm
- Nivel de aguas máximas ordinarias o de operación (NAMO)	=	4009.88 msnm
- Nivel de aguas mínimas de operación (NAMI)	=	3992.93 msnm
- Cota del lecho del río	=	3979.96 msnm
- Cota de la corona de la presa	=	4012.88 msnm
- Borde libre (BL)	=	1.50 m
- Altura de la presa (H)	=	32.92 m
- Volumen útil del embalse (VU)	=	15.00 hm ³
- Volumen muerto del embalse (VM)	=	2.00 hm ³
- Volumen total del embalse (VT)	=	17.00 hm ³
- Longitud de coronación	=	212.00 m
- Longitud de la cresta del vertedero	=	50.00 m
- Ancho de la corona de la presa	=	4.00 m
- Área del embalse	=	1.33 km ²



En presas de regulación de agua para irrigaciones, el NAMI (nivel de aguas mínimas de operación) es el nivel más bajo con el que puede operar la presa y coincide con el nivel al que se encuentra la entrada del canal de descarga (toma). En el caso de presas para generación de energía eléctrica, el NAMI vendría ser NAMINO (nivel de aguas mínimas de operación) se fija de acuerdo con la carga mínima necesaria para que las turbinas operen en condiciones óptimas.

CAPÍTULO XIII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

13.1 CONCLUSIONES

- Se ha sistematizado la información cartográfica de las cuencas Huancané y Suches (Perú), en el Sistema de Información Geográfica (SIG), para la elaboración de los mapas de ubicación geográfica, hidrográfica, política, mapas temáticos de la geomorfología, ecología, geología y suelos.
- Las características geomorfológicas de las cuencas Huancané y Suches, se ha determinado con los parámetros de forma, relieve y red hidrográfica de la cuenca. Las áreas de las cuencas Huancané y Suches son de 3631.19 km² y 2930.73 km² (1160.75 km² corresponde al territorio peruano).
- La identificación y evaluación de las fuentes de agua superficiales, se ha obtenido a través de los trabajos de inventario realizados en el campo; en total existen 1695 fuentes de agua en la cuenca Huancané y 482 fuentes de agua en la cuenca Suches (Perú), distribuidas en ríos, quebradas, manantiales, lagunas, bofedales y nevados.
- Las variables climatológicas evaluadas en el presente estudio, son la precipitación, temperatura (media, máxima y mínima), humedad relativa, evaporación, horas de sol, velocidad y dirección del viento, y la evapotranspiración potencial. Según la clasificación climática las cuencas Huancané y Suches corresponden a la región de humedad de sub-húmedo a húmedo y a la región de temperatura de taiga a microtérnico.
- La evaluación del comportamiento pluviométrico de las cuencas Huancané y Suches, se ha analizado la consistencia y completación de la información de precipitaciones mensuales de las 16 estaciones meteorológicas ubicadas en el ámbito de las cuencas de estudio. Además, con la información pluviométrica consistente y tratada, se ha calculado la serie mensual de las precipitaciones areales del período 1956-2009 para las subcuencas de interés.
- La evaluación del comportamiento hidrológico de las cuencas Huancané y Suches, se ha analizado la consistencia y completación de la información de las descargas medias mensuales de los ríos Huancané, Suches y Ramis. Con la información consistente y tratada del período 1956-2009, se ha calculado la persistencia de caudales medios al 75% de persistencia para los ríos en estudio.
- La modelación hidrológica de precipitación-escorrentía en las cuencas Huancané y Suches, se ha realizado para la generación de las descargas medias en las subcuencas de interés. Para ello se ha calibrado el modelo en los ríos Huancané (estación hidrométrica Puente Huancané) y Suches (estación hidrométrica Puente Escoma), con los parámetros calibrados en

ambos ríos, se ha desarrollado el modelamiento hidrológico con la información de serie mensual de las precipitaciones areales y generación de caudales para las subcuencas de interés. Además, se ha desarrollado la modelación estocástica para la generación de series sintéticas de caudales medios mensuales en las subcuencas del río Guanaco e Yaputira para el análisis de capacidad de almacenamiento de agua de los embalses propuestos en ambas subcuencas.

- La disponibilidad hídrica de las cuencas Huancané y Suches, se ha obtenido a partir del análisis de frecuencia de caudales al 75% de persistencia, para cada una de las subcuencas de interés. La fuente hídrica principal y único existente son aguas superficiales provenientes de los ríos de las cuencas Huancané y Suches.
- La demanda hídrica total actual en la cuenca Huancané es de 35.87 hm³/año (33.83 hm³ de uso agrícola de una superficie de 2345.62 ha bajo riego y 2.04 hm³ de uso poblacional) y el caudal ecológico estimado es de 31.67 hm³. Mientras en la cuenca Suches (Perú) el uso actual es de 16.09 hm³/año (uso agrícola 14.55 hm³ cuya área es de 1358.43 ha, uso poblacional 0.23 hm³ y uso minero 1.31 hm³). La demanda hídrica futura solo existe proyectado en la cuenca Huancané para uso agrícola de 10.66 hm³. El uso agrícola es de mayor significancia en las cuencas de estudio.
- El balance hídrico se ha desarrollado a nivel de subcuencas, con el propósito de conocer el déficit y exceso del recurso hídrico existente en las cuencas. Según el análisis del balance hídrico los resultados son: subcuenca Llache muestra déficit hídrico en los meses de agosto a octubre con ligera variación y el superávit en los meses de noviembre a julio con demanda atendida al 100%; en las subcuencas Tuyto, Muñani y Alto Huancané (río Puncune) existen superávit hídrico en todo el año y las demandas están atendidas al 100%; en la subcuenca Pistune existe el déficit hídrico en los meses de agosto y setiembre con ligera variación y el superávit en los meses de octubre a julio con demanda atendida al 100%; a nivel de la cuenca Huancané no existe déficit hídrico y las demandas están suministradas al 100%, cuyo superávit anual es de 341.78 hm³ de la diferencia existente entre la oferta hídrica total de 409.32 hm³ y la demanda hídrica total de 67.54 hm³. En la cuenca Suches (Perú) el balance hídrico se ha desarrollado en tres subcuencas que disponen de información básica, los resultados muestran que en la subcuenca Chueña Huata Jahuirá no existe déficit hídrico y las demandas están satisfechas al 100%, en la subcuenca Caylloma el déficit hídrico existe en los meses de agosto y setiembre con ligera variación y exceso hídrico en los meses de octubre a julio con cobertura de las demandas al 100%, en la subcuenca Trapiche el déficit hídrico existe en los meses de agosto a octubre y el superávit en los meses de noviembre a julio con las demandas atendidas al 100%; el balance hídrico a nivel de la cuenca Suches (Perú-Bolivia) no se ha realizado por falta de la información de las demandas hídricas correspondiente a la zona de Bolivia.
- La evaluación de los eventos hidrológicos extremos, se ha analizado y evaluado las máximas avenidas y sequías, cuyos resultados obtenidos son los caudales máximos instantáneos para diferentes períodos de retorno para

las subcuencas de interés y la sequía meteorológica e hidrológica a nivel de las cuencas Huancané y Suches.

- Los volúmenes de agua necesarios a ser almacenados en los embalses propuestos es la siguiente: Embalse Callatomaza 16 hm³ de volumen total, 14 hm³ de volumen útil y 48.22 m de altura de la presa; Embalse Yabutira 17 hm³ de volumen total, 15 hm³ de volumen útil y 32.92 m de altura de la presa.

13.2 RECOMENDACIONES

- Para la elaboración del estudio hidrológico de las cuencas Huancané y Suches, se ha utilizado 16 estaciones meteorológicas, de los cuales solamente 4 estaciones están ubicados dentro de las cuencas de estudio. Esta cantidad de observatorios es insuficiente para la magnitud de la cuenca. Se recomienda implementar las estaciones meteorológicas en las subcuencas Guanaco, Alto Huancané (río Puncune), Pistune, Tuyto, Llache, Trapiche y Caylloma.
- Se debe instalar las estaciones hidrométricas a nivel de subcuencas con equipos hidrológicos modernos (limnimetro y limnógrafo), información que servirá posteriormente para reajustar los caudales medios mensuales generados con el modelo hidrológico de precipitación-escorrentía.
- En la entrada de los embalses proyectados se debe instalar una estación hidrométrica (limnimetro y limnógrafo) para reajustar los cálculos realizados del análisis de la capacidad de embalse y las máximas avenidas.
- La Administración Local de Agua Huancané, debe realizar la campaña de aforo de caudales a nivel de subcuencas y cabeceras de riego en las cuencas Huancané y Suches. Además, realizar la campaña de muestreo de sedimentos en suspensión en épocas de avenida en los embalses propuestos para reajustar el volumen de sedimentos estimados.

CAPÍTULO XIV

BIBLIOGRAFÍA

1. **Aliaga A., Segundo Vito** “Tratamiento de datos hidrometeorológicos”, Lima-Perú, 1983.
2. _____ “Hidrología Estadística”, Lima-Perú, 1985.
3. _____ “Elementos de Econometría Aplicada”, Primera Edición, Cujajone-Perú, 1993.
4. **ALA Huancané** “Plan de Cultivo y Riego 2010-2011”, Huancané-Puno, 2010.
5. **ALT (Autoridad Binacional Autónoma del Sistema Hídrico TDPS):** “Disponibilidad hídrica de las cuencas afluentes al lago Titicaca”, 2005.
6. **Aparicio M., Francisco Javier** “Fundamentos de Hidrología de Superficie”, Editorial Limusa, México, 1997.
7. **ATDR Huancané** “Inventario de infraestructura de riego y padrón de usuarios del distrito de riego Huancané, 2006.
8. **Bae, Deg-Hyo; Georgakako, Konstantine P. and Nanda, S.K.** “Operational Forecasting With Real-Databases”, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 121, paper No 5388, 1995.
9. **Chereque M., Wendor** “Hidrología para Estudiantes de Ingeniería Civil”, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima-Perú, 1989.
10. **Chow, Ven Te; Maidment, David R. and Mays, Larry W.** “Hidrología Aplicada”, Editorial McGraw-Hill, Interamericana S.A.(Traduc). Impreso D'vinni Editorial Ltda. Santafé de Bogotá, Colombia, 1994.
11. **FAO** “Estudio de Riego y Drenaje – Evapotranspiración del Cultivo”, Manual N° 56.
12. **Fontaine, Thomas A.** “Rainfall-Runoff Model Accuracy for an Extreme Flood”, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, paper No 4723, 1995.
13. **Guevara Pérez, Edilberto y Cartaya Di Lena, Humberto** “Hidrología Ambiental”, Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo, Venezuela, 2004.
14. **Haan, Charles J.** “Statistical Methods in Hydrology”, Iowa State University Press. USA, 1977.
15. **Hotchkiss, Rollin H. and McCallum, Brain E.** “Peak Discharge for Small Agricultural Watersheds”, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 121, paper No 5502, 1995.
16. **Infante G., Said** “Métodos Estadísticos”, Editorial Trillas, S.A. de C.V. México, 1984.
17. **Kite, G.W.** “Frequency and Risk Analyses in Hydrology”, Water Resources Publications. Fort Collins Colorado, USA, 1977.
18. **Linsley, Kohler y Paulhus** “Hidrología para Ingenieros”, Editorial McGraw-Hill, Interamericana de México, S.A. de C.V., Segunda Edición, 1988.
19. **Lujano Laura, Efraín** “Estudio hidrológico de la cuenca del río Huancané”, Informe de prácticas pre-profesionales, Administración Local de Agua Huancané, Facultad de Ingeniería Agrícola - UNA - Puno, 2010.
20. **Lutz Scholz** "Generación de Caudales Mensuales en la Sierra Peruana", Programa Nacional de Pequeñas y Medianas Irrigaciones- Plan Meris II, 1980.
21. **Mejía M., Abel** “Métodos Estadísticos en Hidrología”, UNA La Molina, Concytec, Lima-Perú, 1991.
22. **Mejía M., Abel** “Hidrología Aplicada”, UNA La Molina, CIP-FIA, Lima-Perú, 2001.

23. **Monsalve S., Germán** “Hidrología en la Ingeniería”, Segunda Edición, Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería - Alfaomega, Colombia, 1999.
24. **Nina Castro, Carlos** “Balance Hídrico de la Cuenca del Río Huancané”, Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería Agrícola, Universidad Nacional del Altiplano- Puno, 2008.
25. **Organización Meteorológica Mundial - OMM** “Guía de Prácticas Hidrológicas”, No 168, Quinta Edición, 1994.
26. **PELT** (Proyecto Especial Lago Titicaca) - Puno, “Plan Director Binacional de Protección, Prevención de Inundaciones y Aprovechamiento de Recursos del Lago Titicaca, Río Desaguadero, Lago Poopó y Lago Salar de Coipasa (Sistema TDPS)”, 1993.
27. **PELT** (Proyecto Especial Lago Titicaca) - Puno: “Estudio Hidrológico del Sistema Hídrico Huancané-Suches, 2001.
28. **ONERN** (Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales): “Inventario y evaluación de los recursos naturales alto andinos”, cuenca del río Huancané, 1992.
29. **PRORRIDRE** (Programa Regional de Riego y Drenaje) “Estudio hidrológico del perfil del proyecto de irrigación Muñani”, Gobierno Regional de Puno, 2009.
30. **Remenieras, G.** “Tratado de Hidrología Aplicada”, Segunda Edición, Editores Técnicos Asociados S.A., Barcelona-España, 1974.
31. **Serruto C., A.R.** "Balance Hidrológico del Lago Titicaca", Tesis presentada para optar el Grado de Magister Scientiae, UNA - La Molina, Lima-Perú, 1984.
32. **Titmarsh, G.W.; Cordery, I. and Pilgrim, D.H.** “Calibration Procedures for Rational and USSCS Design Flood Methods”, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, paper No 5023, 1995.
33. **US Army Corps of Engineers** “*HEC-HMS* Hydrologic Modeling System”, Technical Reference Manual, Hydrologic Engineering Center, Davis, CA-USA, 2000.
34. **Varas C., Eduardo y Bois, Philippe** “Hidrología Probabilística”, Ediciones Universidad Católica de Chile, 2002.
35. **Vásquez V., Absalón** “Manejo de Cuencas Altoandinas”, Tomo I y II, UNA La Molina, Lima-Perú, 2000.
36. **Villón B., Máximo** “Hidrología Estadística”, Escuela de Ingeniería Agrícola, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Segunda Edición, Editorial Villón, Lima-Perú, 2002.
37. **Villón B., Máximo** “Hidrología”, Escuela de Ingeniería Agrícola, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Segunda Edición, Editorial Villón, Lima-Perú, 2002.
38. **Yevjevich, V.** “Probability and Statistics in Hydrology”, Water Resources Publications, Fort Collins, Colorado, USA, 1972.

ANEXOS

VOLUMEN II - ANEXO 1

Información hidrometeorológica y cálculos justificatorios.

CAPÍTULO IV

CLIMATOLOGÍA DE LA CUENCA

- 4.1 Registro histórico completado de la temperatura media, máxima y mínima.
- 4.2 Registro histórico completado de la humedad relativa.
- 4.3 Registro histórico completado de la evaporación.
- 4.4 Registro histórico completado de horas de sol.
- 4.5 Registro histórico completado de la velocidad del viento.
- 4.6 Registro histórico de la dirección del viento.
- 4.7 Resultados de cálculo de evapotranspiración potencial – Software CropWat.

CAPÍTULO V

PLUVIOMETRÍA

- 5.1 Registro histórico completado y extendido de la precipitación mensual.
- 5.2 Precipitación areal de la cuenca.

CAPÍTULO VI

HIDROMETRÍA

- 6.1 Registro histórico completado y extendido de las descargas medias mensuales.

CAPÍTULO VII

MODELACIÓN HIDROLÓGICA-GENERACIÓN DE DESCARGAS MEDIAS MENSUALES

- 7.1 Cuadros de modelamiento hidrológico de Lutz Scholz de las descargas medias mensuales.
- 7.2 Descargas medias mensuales generadas con modelo hidrológico de Lutz Scholz.
- 7.3 Persistencia de las descargas medias mensuales generadas.
- 7.4 Series sintéticas generadas de las descargas medias mensuales – Modelo Estocástico.

CAPÍTULO XI

EVENTOS HIDROLÓGICOS EXTREMOS

- 11.1 Registro histórico completado de caudales máximos del río Huancané.
- 11.2 Registro histórico completado y extendido de las precipitaciones máximas en 24 horas.
- 11.3 Resultados del análisis de frecuencia de las precipitaciones máximas en 24 horas.
- 11.4 Resultados del análisis de máximas avenidas – Método SCS.

CAPÍTULO XII

PROPUESTA DE REPRESAMIENTO HÍDRICO EN LA CUENCA

- 12.1 Resultados del tránsito de avenida en el embalse.

VOLUMEN III - ANEXO 2

Mapas temáticos del estudio hidrológico de las cuencas Huancané y Suches.

VOLUMEN IV - ANEXO 3

Inventario de fuentes de agua superficiales de las cuencas Huancané y Suches.

Volumen IV - Anexo 3.1 Fichas de Campo.

Volumen IV - Anexo 3.2 Álbum de Fotos y Mapas.