



MINISTERIO DE AGRICULTURA
AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA
DIRECCION DE CONSERVACION Y PLANEAMIENTO DE RECURSOS HIDRICOS
ADMINISTRACION LOCAL DE AGUA ILAVE

EVALUACION DE LOS RECURSOS HIDRICOS EN LA CUENCA DEL RIO ILAVE

VOLUMEN I



Estudio Hidrológico



AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA



PUNO, ENERO 2,009



MINISTERIO DE AGRICULTURA
AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA
DIRECCION DE CONSERVACION Y PLANEAMIENTO DE RECURSOS HIDRICOS
ADMINISTRACION LOCAL DE AGUA ILAVE

PERSONAL DIRECTIVO

Ing. Abelardo De La Torre Villanueva
Ing. Juan Carlos Sevilla Gildemeister

Jefe de la Autoridad Nacional del Agua
Director de la Dirección de Conservación y
Planeamiento de Recursos Hídricos
Jefe de Proyectos Hidrológicos
Administrador Local de Agua Ilave

Ing. Víctor Leandro Silva
Ing. José Pitágoras Quispe Aragón

PERSONAL PARTICIPANTE

Ing. César Ancco Carita

Coordinador del Proyecto y Responsable del
Estudio Hidrológico

Ing. Vladimir Laura Quispe

Responsable del Proyecto Inventario de Recursos
Hídricos Superficiales

Ing. Carlos Edgar Cambillo Castro

Sistema de Información Geográfica (SIG)

Ing. Bach. Miriam Ticona Salazar

Asistente Inventario Recursos Hídricos Superficiales

Ing. Bach. René Huaycani Incacutipa

Técnico de Campo

Ing. Bach. Elmer Salvador Huarachi Quispe

Técnico de Campo

Ing. Bach. José Carlos Santander Tumi

Técnico de Campo

Ing. Bach. Félix Pari Carrión

Técnico de Campo

Ing. Bach. Oscar David Llerena Chipana

Técnico de Campo

Ing. Lourdes Vilma Quispe Vargas

Técnico de Campo



Proyecto:

Evaluación de los Recursos Hídricos en la Cuenca del Río Ilave

ALA Ilave
Puno, Enero 2,009

**Proyecto:***Evaluación de los Recursos Hídricos en la Cuenca del Río Ilave***RESUMEN**

El presente Reporte proporciona la información respecto al estudio hidrológico realizado en el ámbito de la Cuenca del río Ilave. La cuenca Ilave se ubica íntegramente dentro del Departamento de Puno, ocupa las superficies de las provincias de Puno, El Collao y Chucuito.

La cuenca del río Ilave está conformada básicamente por dos subcuencas principales de los ríos Huenque y Aguas Calientes. La superficie total de la cuenca Ilave es de 7,832.53 Km², su altitud máxima y mínima es de 5,400 msnm y 3,805 msnm, respectivamente, y su altitud media es de 4,309.31 msnm. La longitud de curso más largo es de 211.00 Km. con una pendiente media de 0.40%. Pluviométricamente es una cuenca con buen rendimiento hídrico. La precipitación total anual en la cuenca varía de 438.4 mm (Estación Coypa Coypa) a 764.8 mm (Estación Laraqueri). Los valores más altos se registran en el entorno del lago Titicaca y en la parte norte de la cuenca. Las temperaturas más bajas se producen en el mes de Julio, mientras que las más elevadas se registran de Noviembre a Marzo, por lo general centradas en Diciembre.

En el ámbito de la subcuenca del río Aguas Calientes se localiza el Proyecto de Sistema de Irrigación Integral Acora Totorani (se encuentra en etapa perfil de proyecto, la que será en el futuro el más relevante en la zona sur de la Región Puno). Su área total potencial de riego es de 13,776 Ha. y el área total disponible para bajo riego es de 12,398 Ha., el respectivo volumen de demanda hídrica total anual es de 50.0 MMC (embalse San Fernando proyectado).

Las fuentes de oferta hídrica en la cuenca del río Ilave está representada por el escurrimiento del área de drenaje de las subcuencas Alto Ilave (río Chichillapi), Llusta (río Llusta Baja), Ayupalca, Conduriri y Aguas Calientes, que aportan sus aguas en forma directa al cauce principal del río Ilave, el resto de las unidades hidrográficas son intercuencas. Según el inventario de fuentes hídricas hay 3244 fuentes hídricas en la cuenca del río Ilave, de los cuales 1836 son manantiales, 1300 quebradas, 67 ríos, 27 bofedales y 14 lagunas

Se ha desarrollado el balance hídrico, a nivel de subcuencas con usos actuales y futuras de agua, ello para conocer el déficit y exceso del recurso hídrico en las cuencas de interés. Según el balance hídrico con usos actuales de agua, la subcuenca Alto Ilave (río Chichillapi) presenta déficit de agua en los meses de octubre y noviembre; y en la subcuenca Conduriri en los meses de agosto a noviembre. Con usos futuros presentan déficit de agua en la subcuenca Alto Ilave (río Chichillapi) en los meses de agosto a diciembre; subcuenca Medio Alto Ilave (río Llusta Baja) en el mes de octubre, y en la subcuenca Uncallane en los meses de mayo a diciembre. En resto de las subcuencas no hay déficit del recurso hídrico. Además se ha realizado el análisis de eventos extremos, consistentes en máximas avenidas y sequía meteorológica (periodo 1987-1992, sequía largo de 6 años de duración).

Proyecto desarrollado en la Administración Local de Agua Ilave, en la Ciudad de Salcedo - Puno, Perú.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	iii
TABLA DE CONTENIDO	iv
CAPITULO 1	1
EL AGUA, UNA NECESIDAD BASICA	1
CAPITULO 2	4
ASPECTOS GENERALES	4
2.1.- INTRODUCCION AL ANALISIS HIDROLOGICO	4
2.2.- ANTECEDENTES	5
2.3.- JUSTIFICACION	5
2.4.- OBJETIVOS	6
2.4.1.- Objetivo General.....	6
2.4.2.- Objetivos Específicos	6
2.5.- METODOLOGIA.....	7
2.6.- INFORMACION BASICA.....	7
2.6.1.- Información Cartográfica.....	7
2.6.2.- Información Hidrometeorológica.....	7
2.6.2.1.- Información Hidrométrica.....	7
2.6.2.2.- Información Meteorológica.....	8
2.6.3.- Revisión y Antecedentes de Estudios Afines.....	10
CAPITULO 3	11
DESCRIPCION GENERAL DE LA CUENCA.....	11
3.1.- UBICACION	11
3.1.1.- Ubicación Geográfica	11
3.1.2.- Ubicación Hidrográfica.....	11
3.1.3.- Ubicación Política.....	11
3.1.4.- Límites Hidrográficos	11
3.1.5.- Ubicación Administrativa	16
3.2.- ASPECTO SOCIO-ECONOMICO	16
3.2.1.- Población	16
3.2.2.- Dinámica de la Estructura Económica	17
3.3.- ACCESIBILIDAD – VIAS DE COMUNICACION	18
3.4.- ASPECTOS FISIOGRAFICOS DEL AREA DEL PROYECTO.....	19
3.5.- CLIMATOLOGIA.....	22
3.5.1.- Precipitación	22
3.5.2.- Temperatura del Aire	33
3.5.3.- Humedad Relativa.....	44
3.5.4.- Evaporación	47
3.5.5.- Horas de Sol.....	51
3.5.6.- Viento	54
3.5.7.- Evapotranspiración Potencial.....	59
3.5.7.1.- Conceptos.....	59
3.5.7.2.- Selección del Método de Estimación de Evapotranspiración Potencial	65
3.5.7.3.- Evapotranspiración potencial en la cuenca del río Ilave	68
3.6.- ECOLOGIA.....	71
3.7.- GEOLOGIA.....	74
3.8.- USO MAYOR DE SUELOS	84
3.9.- GEOMORFOLOGIA	88
3.9.1.- Conceptos	88
3.9.2.- Descripción geomorfológica de la cuenca	88
3.10.- CUENCA HIDROGRAFICA DEL RIO ILAVE	90
3.10.1.- Subdivisión hidrográfica de la cuenca	92

3.10.2.-	Parámetros de forma de la cuenca.....	101
3.10.3.-	Parámetros de relieve de la cuenca	105
3.10.4.-	Parámetros de la red hidrográfica	114
3.10.5.-	Sistema hidrográfico	123
3.10.6.-	Esquema fluvial	124
3.11.-	RECURSOS HIDRICOS SUPERFICIALES	126
3.11.1.-	Ríos	128
3.11.2.-	Quebradas	129
3.11.3.-	Manantiales.....	130
3.11.4.-	Lagunas.....	130
3.11.5.-	Bofedales	131
CAPITULO 4		132
PLUVIOMETRIA		132
4.1.-	GENERALIDADES	132
4.2.-	RED DE ESTACIONES METEOROLOGICAS	133
4.3.-	ANALISIS DE CONSISTENCIA DE LA INFORMACION.....	133
4.4.-	COMPLETACION Y EXTENSION DE LA INFORMACION	150
4.5.-	PRECIPITACION AREAL DE LA CUENCA	151
CAPITULO 5		160
HIDROMETRIA		160
5.1.-	GENERALIDADES	160
5.2.-	ESTACIONES DE AFORO DE CAUDALES.....	161
5.2.1.-	Estación de aforo – Puente Ilave – Río Ilave	161
5.2.2.-	Estación de aforo – Llustacucho – Río Chichillapi.....	162
5.3.-	ANALISIS DE CONSISTENCIA DE LA INFORMACION.....	164
5.4.-	COMPETACION Y EXTENSION DE LA INFORMACION.....	172
CAPITULO 6		174
MODELAMIENTO HIDROLOGICO		174
6.1.-	GENERALIDADES	174
6.2.-	IMPORTANCIA DEL MODELAMIENTO	174
6.3.-	MODELO HIDROLOGICO DE LUTZ SCHOLZ.....	175
6.3.1.-	Descripción general del Modelo	176
6.3.1.1.-	Modelamiento hidrológico para el año promedio	176
6.3.1.2.-	Generación de caudales mensuales para períodos extendidos.....	181
6.3.2.-	Aplicación del Modelo.....	182
6.3.2.1.-	Calibración del Modelo en la cuenca del río Ilave	182
6.3.2.2.-	Calibración del Modelo en la subcuenca del río Chichillapi.....	188
6.3.3.-	Generación de caudales medios mensuales en los puntos de interés	194
CAPITULO 7		195
DETERMINACION DE LA DISPONIBILIDAD HIDRICA		195
7.1.-	GENERALIDADES	195
7.2.-	DISPONIBILIDAD HIDRICA EN LA CUENCA DEL RIO ILAVE	195
7.3.-	DISPONIBILIDAD HIDRICA EN LAS SUBCUENCAS.....	196
7.4.-	DISPONIBILIDAD HIDRICA DE LOS EMBALSES FUTUROS	203
CAPITULO 8		205
DEMANDAS DE AGUA.....		205
8.1.-	GENERALIDADES	205
8.2.-	DEMANDAS ACTUALES DE AGUA	205
8.3.-	DEMANDAS FUTURAS DE AGUA.....	208
CAPITULO 9		213
BALANCE HIDRICO		213
9.1.-	GENERALIDADES	213
9.2.-	BALANCE HIDRICO CON DEMANDAS ACTUALES DE AGUA.....	214
9.3.-	BALANCE HIDRICO CON DEMANDAS ACTUALES Y FUTURAS DE AGUA.....	222
CAPITULO 10		229
ANALISIS DE EVENTOS EXTREMOS		229
10.1.-	GENERALIDADES	229
10.2.-	ANALISIS DE MAXIMAS AVENIDAS	229

10.2.1.-	Análisis de máximas avenidas en el río Ilave	232
10.2.1.1.-	Información básica	232
10.2.1.2.-	Análisis de frecuencia de caudales máximos instantáneos	232
10.2.1.3.-	Caudales máximos instantáneos para diferentes periodos de retorno.....	236
10.2.2.-	Análisis de máximas avenidas en las subcuencas	237
10.2.2.1.-	Descripción del Método del Hidrograma Unitario del U.S. Soil Conservation Service (Método SCS)	237
10.2.2.2.-	Determinación de máximas avenidas	242
10.3.-	ANALISIS DE SEQUIAS	251
10.3.1.-	Introducción	251
10.3.2.-	Que es la Sequía?	252
10.3.3.-	Tipos de Sequía.....	252
10.3.4.-	Índices de Sequía	253
10.3.4.1.-	Índice de Severidad de la Sequía de Palmer (ISSP)	253
10.3.4.2.-	Índice de Precipitación Estandarizada (IPE)	254
10.3.5.-	Cálculo de las ocurrencias de sequía histórica de la precipitación.....	256
10.3.5.1.-	Sequía periodo 1964 - 1967.....	259
10.3.5.2.-	Sequía periodo 1969 - 1971.....	261
10.3.5.3.-	Sequía periodo 1979 - 1980.....	262
10.3.5.4.-	Sequía periodo 1982 - 1983.....	263
10.3.5.5.-	Sequía periodo 1987 - 1992.....	265
10.3.5.6.-	Sequía periodo 2003 - 2005.....	267
10.3.6.-	Sequía hidrológica	269
	CAPITULO 11	271
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	271
11.1.-	CONCLUSIONES	271
11.2.-	RECOMENDACIONES.....	274
	CAPITULO 12	275
	BIBLIOGRAFIA	275

CAPITULO 1

EL AGUA, UNA NECESIDAD BASICA

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.

Es difícil establecer generalizaciones acerca del agua. Aunque se puede afirmar que el agua es uno de los recursos más abundantes de la Tierra, se sabe que la proporción disponible con seguridad para el consumo humano no llega al 1 por ciento del total. El agua potable es sin duda indispensable para la supervivencia humana.

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.

El principal mensaje emanado de todas estas iniciativas es que el agua es un recurso cada vez más escaso y valioso. Lo más preocupante es que aún no se acepta que las reservas de agua no son infinitas. No cabe duda de que la creciente escasez y el mal aprovechamiento del agua dulce constituyen una grave amenaza para el desarrollo sostenible.

La competencia entre la agricultura, la industria y las ciudades por los limitados suministros de agua ya está restringiendo las actividades de desarrollo en muchos países. A medida que las poblaciones se expandan y las economías crezcan, la competencia por este escaso recurso se intensificará, y con ella, también los conflictos entre los usuarios del agua.

Pese a la escasez de agua, su utilización errónea es un fenómeno generalizado. Las pequeñas comunidades y las grandes urbes, los agricultores y las industrias, los países en desarrollo y las economías industrializadas, todos están manejando mal los recursos hídricos. La calidad del agua de superficie se está deteriorando en las principales cuencas a causa de los residuos urbanos e industriales. Las aguas freáticas se contaminan desde la superficie y se deterioran irreversiblemente con la intrusión de agua salada. Los acuíferos sobreexplotados están perdiendo su capacidad de contener agua, y las tierras se están hundiendo. Las ciudades no son capaces de atender debidamente las

necesidades de agua potable y saneamiento. El anegamiento y la salinización están reduciendo la productividad de las tierras regadas. Y con la merma de los caudales están disminuyendo asimismo la generación de energía hidroeléctrica, la asimilación de la contaminación y el hábitat de los peces y de la flora y fauna silvestres.

A primera vista, la mayoría de estos problemas hídricos no parecen estar directamente relacionados con el sector agrícola. Sin embargo, este sector es, con mucho, el que absorbe la mayor cantidad de agua a nivel mundial. Más de las dos terceras partes del agua extraída de los ríos, lagos y acuíferos del mundo se utilizan para el riego. Ante el aumento de la competencia, los conflictos, la escasez, el desperdicio, la utilización excesiva y la degradación de los recursos hídricos, los responsables de las políticas están volviendo cada vez más la vista hacia la agricultura como la válvula de seguridad del sistema.

La agricultura no sólo es el sector que consume más agua en el mundo en términos de volumen; también representa, en comparación con los otros, un uso de bajo valor, poco eficiente y muy subvencionado. Estos factores están forzando a los gobiernos y a los donantes a reconsiderar las repercusiones económicas, sociales y ambientales de los grandes proyectos de riego financiados y administrados por el sector público. En el pasado, el gasto interno en riego era la principal partida de los presupuestos agrícolas en países de todo el mundo.

Una parte importante de la asistencia internacional para el desarrollo se ha destinado a establecer sistemas de riego. En los años ochenta, el riego acaparó casi el 30 por ciento de los préstamos agrícolas del Banco Mundial.

Una vez establecidos, los proyectos de riego se convierten en una de las actividades económicas más subvencionadas del mundo. A mediados de los años ochenta, Repetto [3], estimó que las subvenciones medias al riego en seis países asiáticos cubrían el 90 por ciento de los costos totales de funcionamiento y mantenimiento. Los estudios de casos revelan que, por término medio, los derechos que se pagan por el riego representan menos del ocho por ciento del valor de los beneficios que esta actividad aporta.

No obstante las ingentes inversiones y subvenciones, los indicadores de los resultados del riego no alcanzan los niveles esperados en cuanto al aumento del rendimiento, la superficie regada y la eficiencia técnica en el aprovechamiento del agua. En algunos casos se desperdicia hasta el 60 por ciento del agua captada o bombeada para el riego. Aunque ciertas pérdidas son inevitables, con frecuencia el agua en exceso se vuelve a filtrar en el terreno, provocando anegamiento y salinidad. Una cuarta parte de todas las tierras regadas de los países en desarrollo está afectada por grados variables de salinización.

Hoy día, la agricultura no está, en muchos casos, en condiciones de competir económicamente por el agua escasa. Las ciudades y las industrias pueden pagar más por el agua, y su tasa de rentabilidad económica por unidad de agua es más alta que la del sector agrícola. (Para los economistas, el agua fluye cuesta arriba, hacia el dinero.)

Por primera vez en la historia de muchos países, la agricultura se está viendo obligada a ceder agua en favor de usos más valiosos en las ciudades e industrias. En algunas zonas, quienes riegan deben ahora pagar por el agua que reciben, incluido el costo total de su suministro. En otras partes, la nueva reglamentación exige que los agricultores paguen cuando contaminan ríos, lagos y acuíferos.

“Lo curioso es que se prevé que en el futuro la agricultura de regadío producirá mucho más, consumiendo menos agua que ahora...”

Muchos proyectos de riego han dado resultados decepcionantes debido a su concepción equivocada, a una construcción y ejecución insuficientes o a una gestión ineficaz. El mediocre desempeño del sector del riego está agravando asimismo muchos problemas socioeconómicos y ambientales; sin embargo, estos problemas no son ni inherentes a la tecnología ni inevitables, como algunos sostienen.

Este dilema que plantea el agua - *cómo producir más de manera sostenible y con menos agua* - pone de relieve la necesidad de establecer mecanismos de regulación de la demanda para reasignar los suministros disponibles, fomentar el aprovechamiento más eficiente y promover el acceso más equitativo. Los encargados de la formulación de políticas habrán de establecer una estructura de incentivos, normas, licencias, restricciones y multas que ayuden a orientar, influenciar y coordinar las formas en que las personas utilizan el agua, promoviendo, al mismo tiempo, las innovaciones en las tecnologías economizadoras de agua.

Hasta hace poco, las prácticas de ordenación de los recursos hídricos estaban dominadas por los criterios de la oferta. El agua se manejaba físicamente con medios técnicos y de ingeniería que la captaban, almacenaban, transportaban y trataban. Sin embargo, la era en que la creciente demanda se satisfacía explotando nuevas fuentes de suministro está llegando a su fin. En la economía hídrica de nuestros días, la ordenación de los recursos no está apuntando ya a captar más agua, sino más bien a formular criterios centrados en la demanda y en los usuarios, que modifiquen los comportamientos.

Referencias:

- [1] R. Bhatia y M. Falkenmark. 1992. *“Water Resource Policies and The Urban Poor: Innovative Approaches and Policy Imperatives”*. Documento de referencia de la ICWE, Dublín, Irlanda.
- [2] FAO. 1990. *“Programa de Acción Internacional sobre el Agua y el Desarrollo Agrícola Sostenible”*. Roma.
- [3] Instituto Internacional de Ordenación del Riego.

CAPITULO 2

ASPECTOS GENERALES

2.1.- INTRODUCCION AL ANALISIS HIDROLOGICO

Por lo general, el análisis hidrológico se basa en principios bien establecidos de hidrodinámica, termodinámica y estadísticas. Sin embargo, el problema central del análisis hidrológico es la aplicación de estos principios en un ambiente natural que no es homogéneo, del que se poseen muestras dispersas y que sólo se conoce parcialmente. Los eventos muestreados son en general imprevistos e incontrolados.

Los análisis se efectúan para obtener información espacial y temporal acerca de ciertas variables, generalizaciones regionales y relaciones entre las variables. Los componentes pertinentes, con frecuencia, no se miden directamente. Los análisis se pueden llevar a cabo a través de diferentes enfoques, como son el determinístico, paramétrico, probabilístico y estocástico.

El análisis que se basa en el enfoque determinístico sigue las leyes que describen los procesos físicos y químicos. En el enfoque paramétrico, el análisis se efectúa por intercomparación de datos hidrológicos registrados en diferentes lugares y tiempos. En el enfoque probabilístico, se analiza la frecuencia de la ocurrencia de diferentes magnitudes de las variables hidrológicas. En el enfoque estocástico, se analizan tanto el orden secuencial como la frecuencia de ocurrencia de las diferentes magnitudes.

Existen variables que se miden directamente, como el nivel y la velocidad del agua, o que se calculan directamente a partir de mediciones, como el caudal. Hay otras variables que se calculan a partir de una muestra de mediciones directas, por ejemplo la cantidad de precipitaciones en una cuenca. La evaluación de otras variables, como la evaporación de un lago, sólo se puede efectuar indirectamente.

Desde el punto de vista hidrológico se entiende por la disponibilidad hídrica a la cantidad de agua que se dispone en un sistema hidrológico para abastecer la demanda existente y futura. Esta cantidad puede provenir directamente de la lluvia o de los ríos, quebradas, lagunas y entre otros.

En cuanto el cálculo de la disponibilidad hídrica y máximas avenidas nos encontramos generalmente frente a dos situaciones: Primer caso, en que el río o fuente de agua cuenta con una serie de datos de caudales históricos y el Segundo caso es, en que la fuente de agua no tiene datos históricos de caudales. En el presente estudio, solo dispone cerca a la salida de la cuenca con registro histórico de descargas y carece en los ríos tributarios, por lo que se determinará la disponibilidad hídrica y máximas avenidas (puntos de interés) en base a precipitación mediante un Modelo Hidrológico de Precipitación - Escorrentía.

2.2.- ANTECEDENTES

Desde el año 2001, la Intendencia de Recursos Hídricos (ex Dirección General de Aguas y Suelos) del Instituto Nacional de Recursos Naturales, actualmente la Autoridad Nacional del Agua, viene desarrollando estudios hidrológicos en diversas cuencas del Perú, como es el caso de las cuencas de los ríos Cañete, Chancay-Huaral, Chili, Caplina, Pisco - Chincha, Acarí - Yauca, Casma - Huarney, Lampa, Cabanillas, Ramis, 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 del río Ilave 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 la cuenca del río Ilave 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 dos actividades principales socio-económicas en la cuenca son la agricultura y la ganadería, constituyéndose esta en un eje para el desarrollo de otras labores productivas como transporte, comercio y consumo.

En las zonas cercanas del cauce de los ríos y en la zona circunlacustre del lago Titicaca, la población vive principalmente de la agricultura y ganadería, mientras que en las zonas más alejadas se dedican mayormente a la ganadería por ser zonas con predominancia de pastos naturales y no ser apropiadas para cultivos de pan llevar por los riesgos inherentes al clima (ocurrencia de sequías, heladas por bajas temperaturas).

Por consiguiente, el agua superficial en la cuenca del río Ilave representa un “input” (entrada) económico de singular importancia para el desarrollo socioeconómico de la Región Puno.

2.3.- JUSTIFICACION

El presente Reporte denominado “Evaluación de los Recursos Hídricos en la Cuenca del Río Ilave”, proporciona la información básica con respecto a los estudios desarrollados y trabajos de campo realizados con el fin de evaluar y cuantificar las disponibilidades hídricas y requerimiento de las demandas hídricas de las cuencas materia del presente proyecto.

Los resultados obtenidos, permitirá disponer de información necesaria para optimizar el ordenamiento y gestión integral de los recursos hídricos para la autoridad de aguas dentro de la cuenca hidrográfica señalada.

El presente proyecto se ha desarrollado en dos componentes principales, como son: Estudio Hidrológico y el Inventario de Recursos Hídricos Superficiales.

El estudio hidrológico proporciona la información descriptiva de las características morfológicas y fisiográficas de una cuenca hidrográfica, además evalúa y cuantifica la oferta y demanda hídrica, finalmente permite entender el funcionamiento hidrológico de la cuenca en situación actual. Después de realizar los estudios sobre la hidrología de la cuenca en estudio, en el presente reporte, proporciona aportes sustanciales, como la caracterización geomorfológica y climatológica, modelación matemática 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.

El inventario de recursos hídricos superficiales, permitirá contar con la información sistematizada en el entorno del Sistema de Información Geográfica, a nivel de unidades hidrográficas, conteniendo toda la información básica sobre las diferentes fuentes del recurso hídrico superficial (ríos, quebradas, lagunas, manantiales, etc.) existentes en el ámbito de la cuenca del río Llave. En el presente estudio, el inventario presentará información general en forma resumida sobre las fuentes hídricas existentes en la cuenca. El contenido completo del componente, se presenta en el volumen del inventario de recursos hídricos superficiales, donde proporciona la información sobre las fuentes hídricas y usos actuales de los diferentes agentes consumidores de agua (uso agrícola, poblacional, pecuario, minero, etc.).

2.4.- OBJETIVOS

2.4.1.- Objetivo General

Generar las bases para la planificación y gestión integral de los recursos hídricos en la cuenca del río Llave, haciendo énfasis en el uso del agua para riego; promoviendo así su manejo eficiente, racional y equitativo.

2.4.2.- Objetivos Específicos

- Implementación y uso de programas modernos para la sistematización de la información hidrometeorológica, base para una adecuada Gestión de los Recursos Hídricos en la cuenca del río Llave.
- Diagnóstico de la hidrología en general de la cuenca del río Llave.
- Estudio de la precipitación en la cuenca, como una base para la modelación matemática precipitación – escorrentía.
- Estudio del almacenamiento en la cuenca y su aporte a la disponibilidad.
- Estudio de la escorrentía superficial del río Llave y su disponibilidad probabilística con series de datos históricos y generados mediante la modelación matemática de caudales.
- Identificar, evaluar y cuantificar los diferentes agentes consuntivos de agua superficial en la cuenca del río Llave.
- Cálculo del balance hídrico en la cuenca.
- Análisis de eventos extremos (máximas avenidas y sequías).
- Identificar y evaluar las fuentes de agua superficial en las cuencas a través de un inventario sustentado en trabajos de campo y mediciones puntuales.

2.5.- METODOLOGIA

La metodología a seguir para lograr los objetivos del presente proyecto, es la siguiente:

Fase I: Trabajos de Campo

- Reconocimiento de las cuencas en el campo.
- Evaluación hidrológica de las cuencas (delimitación hidrográfica de las cuencas).
- Evaluación de las estaciones hidrometeorológicas.

Fase II: Trabajos de Gabinete

- Procesamiento de la información (análisis y depuración de la información hidrometeorológica recopilada).

2.6.- INFORMACION BASICA

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 la realización del estudio hidrológico y la generación de mapas temáticos de la cuenca del río Ilave, así como para el inventario y evaluación de fuentes de agua superficial, consiste en:

- Mapas de Cartas Nacionales que abarca la cuenca del río Ilave 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.
- Mapa de Red de Estaciones Meteorológicas administradas por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), información proporcionada por el PELT.
- Información cartográfica complementaria existente en la Administración Local del Agua (ALA) Ilave: Mapa de delimitación administrativa con la demarcación de sectores de riego; mapa de ubicación de la ALA Ilave en la Región Puno.

2.6.2.- Información Hidrometeorológica

2.6.2.1.- Información Hidrométrica

En el ámbito de la cuenca del río Ilave existen dos estaciones hidrométricas, que son: Puente Ilave (controlada por Senamhi Puno) y Llustacucho – río Chichillapi (controlada por PET Tacna). Además existen estaciones hidrométricas de otras cuencas en la vertiente del Titicaca, dicha información servirá para el análisis y completación de registros de descargas

de los ríos Ilave y Chichillapi. En el siguiente cuadro se muestran la información y el período de registro de las descargas medias y descargas máximas de las estaciones hidrométricas.

Cuadro N° 2.1
Estaciones Hidrométricas en la cuenca del río Ilave y estaciones de apoyo

Nº	RIO	ESTACION	CODIGO	UBICACION POLITICA			UBICACION GEOGRAFICA			UBICACION HIDROGRAFICA Cuenca	PROPIETARIO
				Dpto	Provincia	Distrito	Longitud Oeste	Latitud Sur	Altitud (msnm)		
1	Ilave	Puente Ilave	ILAV	Puno	El Collao	Ilave	69°37'47"	16°05'04"	3,825.00	Ilave	Senamhi
2	Chichillapi	Llustacucho	CHIC	Puno	El Collao	Mazocruz	69°44'00"	16°56'00"	4,030.00	Ilave	Pet-Tacna
3	Coata	Puente Unocolla	COAT	Puno	San Román	Juliaca	70°11'28,8"	15°27'03,05"	3,835.00	Coata	Senamhi
4	Ramis	Puente Ramis	RAMI	Puno	Huancané	Taraco	69°52'17"	15°15'06"	3,813.00	Ramis	Senamhi
5	Huancané	Puente Huancané	HUAN	Puno	Huancané	Huancané	69°47'31"	15°12'50"	3,814.00	Huancané	Senamhi

Nº	RIO	ESTACION	CODIGO	AREA (Km2)	VARIABLES HIDROMETRICAS						
					Período de Registro						
					Qmedio	Qmáximo					
1	Ilave	Puente Ilave	ILAV	7,771.50	1960-2007	1960-2007					
2	Chichillapi	Llustacucho	CHIC	715.95	1964-1997	-					
3	Coata	Puente Unocolla	COAT	4,564.60	1965-2007	1965-2007					
4	Ramis	Puente Ramis	RAMI	14,867.00	1960-2007	1960-2007					
5	Huancané	Puente Huancané	HUAN	3,560.00	1960-2007	1960-2007					

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, velocidad y dirección del viento; se ha recopilado de las estaciones correspondientes a la cuenca del río Ilave y de las estaciones vecinas a la cuenca, además algunas estaciones complementarias para la completación de datos para aquellas estaciones que tienen registro de corto periodo.

En el siguiente cuadro se muestran la información y el período de registro de las variables meteorológicas de las estaciones recopiladas.

Cuadro N° 2.2
Estaciones Meteorológicas de la cuenca del río Ilave y cuencas vecinas

Nº	ESTACION	TIPO	CODIGO	UBICACION POLITICA			UBICACION GEOGRAFICA				UBICACION HIDROGRAFICA (cuenca)	PROPIETARIO	
				Dpto	Provincia	Distrito	Latitud Sur	Longitud Oeste	UTM (m)				Altitud (msnm)
									Este	Norte			
1	Capazo	CO	117041	Puno	El Collao	Capazo	17°11'15.8"	69°44'07.8"	421787.57	8099529.66	4530.00	Mauri	Senamhi
2	Vilacota	CO	S/C	Tacna	Tarata	Tarata	17°07'06.0"	70°03'03.0"	388211.12	8107052.51	4390.00	Mauri	Senamhi
3	Coypa Coypa	PLU	S/C	Puno	El Collao	Mazocruz	17°01'00.0"	69°56'00.0"	400658.10	8118364.42	4450.00	Ilave	Pet-Tacna
4	Chichillapi	PLU	S/C	Puno	El Collao	Mazocruz	16°55'00.0"	69°44'00"	421905.43	8129518.26	4050.00	Ilave	Pet-Tacna
5	Mazocruz	CO	110878	Puno	El Collao	Mazocruz	16°44'24.4"	69°42'21.9"	424737.79	8149061.24	4003.00	Ilave	Senamhi
6	Pizacoma	CO	116029	Puno	Chucuito	Pizacoma	16°54'25.3"	69°22'06.8"	460750.24	8130693.26	4060.00	Alto Desaguadero	Senamhi
7	Chilligua	PLU	116056	Puno	Chucuito	Juli	16°32'25.4"	69°40'11.5"	428524.93	8171169.36	3960.00	Ilave	Senamhi
8	Yorohoco	CO	S/C	Puno	Chucuito	Huacullani	16°33'54.0"	69°19'14.0"	465801.14	8168538.55	3845.00	Alto Desaguadero	Pelt
9	Desaguadero	CO	116060	Puno	Chucuito	Desaguadero	16°33'48.06"	69°02'19.8"	495857.00	8168747.95	3860.00	Alto Desaguadero	Senamhi
10	Pocochaque	CO	S/C	Puno	Chucuito	Pomata	16°22'49.0"	69°17'06.0"	469565.64	8188978.33	3850.00	Alto Desaguadero	Pelt
11	Juli	CO	110880	Puno	Chucuito	Juli	16°12'13.6"	69°27'35.7"	450842.53	8208468.60	3812.00	Titicaca	Senamhi
12	Ilave	CO	116027	Puno	El Collao	Ilave	16°05'17.7"	69°38'42.0"	431019.57	8221195.27	3880.00	Ilave	Senamhi
13	Rincón de la Cruz	CO	S/C	Puno	Acora	Acora	15°59'26.1"	69°48'39.0"	413241.13	8231937.13	3835.00	Titicaca	Senamhi
14	Laraqueri	CO	116033	Puno	Puno	Laraqueri	16°09'16.9"	70°03'59.7"	385967.18	8213657.74	3900.00	Ilave	Senamhi
15	Puno	CP	100110	Puno	Puno	Puno	15°49'34.5"	70°00'43.5"	391617.70	8250022.65	3820.00	Titicaca	Senamhi
16	Mañazo	CO	115051	Puno	Puno	Mañazo	15°48'00.0"	70°21'00.0"	355407.10	8252723.44	3920.00	Titicaca	Senamhi
17	Pampa Umalzo	CO	S/C	Moquegua	Mariscal Nieto	Moquegua	16°52'30.0"	70°25'24.8"	348358.99	8133726.09	4601.00	Tambo	Senamhi
18	Ichuña	CO	100059	Moquegua	Sanchez Cerro	Ichuña	16°07'57.4"	70°33'07.5"	334032.85	8215771.11	3800.00	Tambo	Senamhi

2.6.3.- Revisión y Antecedentes de Estudios Afines

Como parte preliminar para el inicio del desarrollo del presente reporte, se ha revisado algunos estudios antecedentes referidos al estudio del recurso hídrico en la cuenca del río Ilave, a continuación se muestran los estudios realizados por diferentes instituciones públicas y privadas.

- PELT (Proyecto Especial Lago Titicaca) – Puno: “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)”;
- 1,993.
- PELT (Proyecto Especial Lago Titicaca) – Puno: “Estudio de Factibilidad del Proyecto Integral Ilave – Resumen General”, 1997.
- PELT (Proyecto Especial Lago Titicaca) – Puno: “Proyecto Integral Ilave – Estudio Definitivo del Embalse Chihuane”, Anexo A - Hidrología, 1998, realizado por el Ing. Emilio Kocnim Mac, Consultor.
- PELT (Proyecto Especial Lago Titicaca) – Puno: “Estudio de Hidrología e Hidráulica Fluvial - Defensas Ribereñas Río Ilave, Proyecto de apoyo social y obras de emergencia”, realizado por el Consultor Ing. Walter Obando Licera, 2001.
- Wilmer César Medina Vizcarra: “Análisis Comparativo de Modelos de Estimación de Máximas Avenidas del Río Ilave”, Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería Agrícola, Universidad Nacional del Altiplano, Puno, 2004.
- ALT (Autoridad Binacional Autónoma del Sistema Hídrico TDPS): “Disponibilidad Hídrica de las cuencas afluentes al lago Titicaca”, Puno 2005.
- ALT (Autoridad Binacional Autónoma del Sistema Hídrico TDPS): “Balance Hídrico de la Cuenca Ilave, a nivel preliminar”, Puno 2006.
- Juan Velásquez Laura: “Análisis Regional de Intensidad de Precipitación de la Cuenca del Río Ilave”, Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería Agrícola, Universidad Nacional del Altiplano, Puno, 2006.
- PELT (Proyecto Especial Lago Titicaca) - Puno: “Estudio Hidrológico de la Subcuenca del Río Blanco”, 2007.
- PELT (Proyecto Especial Lago Titicaca) - Puno: “Estudio Hidrológico de la Subcuenca del Río Morocollo”, 2007.
- Lourdes Ticona Maquera: “Generación de Caudales Medios por Modelos Determinísticos Temez y Lutz Scholz en la Cuenca del Río Ilave”, Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería Agrícola, Universidad Nacional del Altiplano, Puno, 2007.
- ATDR Ilave (2007) “Plan de Cultivo y Riego 2007-2008”, Agencia Agraria Salcedo-Puno.
- PELT (Proyecto Especial Lago Titicaca) - Puno: Estudio de Perfil del Proyecto “Construcción y Ampliación del Sistema de Irrigación Integral Acora Totorani”, Dirección de Estudios, Puno – Perú, 2008.

CAPITULO 3

DESCRIPCION GENERAL DE LA CUENCA

3.1.- UBICACION

3.1.1.- Ubicación Geográfica

Geográficamente la cuenca del río Ilave se encuentra en coordenadas UTM (WGS84):

Este : 352,353.0 – 452,052.0

Norte : 8'104,770.0 – 8'248,751.0

Altitudinalmente se encuentra entre las altitudes: 3,805.00 – 5,400.00 m.s.n.m.

3.1.2.- Ubicación Hidrográfica

La cuenca del río Ilave, hidrográficamente se encuentra ubicada en:

Vertiente : Titicaca

Sistema Hídrico: TDPS

3.1.3.- Ubicación Política

La cuenca del río Ilave, políticamente se encuentra ubicada en:

Región : Puno

Provincia : Chucuito, El Collao y Puno.

Distrito : Huacullani, Juli, Capaso, Mazocruz, Conduriri, Ilave, Acora, Platería, Chucuito, Laraqueri, Puno y San Antonio.

Localidad : Varios

3.1.4.- Límites Hidrográficos

La cuenca del río Ilave, limita con las siguientes cuencas hidrográficas:

Este : Lago Titicaca, Cuencas río Zapatilla, Pusuma y Mauri Chico.

Oeste : Cuencas río Tambo y laguna Loriscota.

Norte : Cuenca río Illpa, zona Circunlacustre del lago Titicaca.

Sur : Cuenca río Maure.

Figura N° 3.1
Ubicación Geográfica de la Cuenca del río Ilave

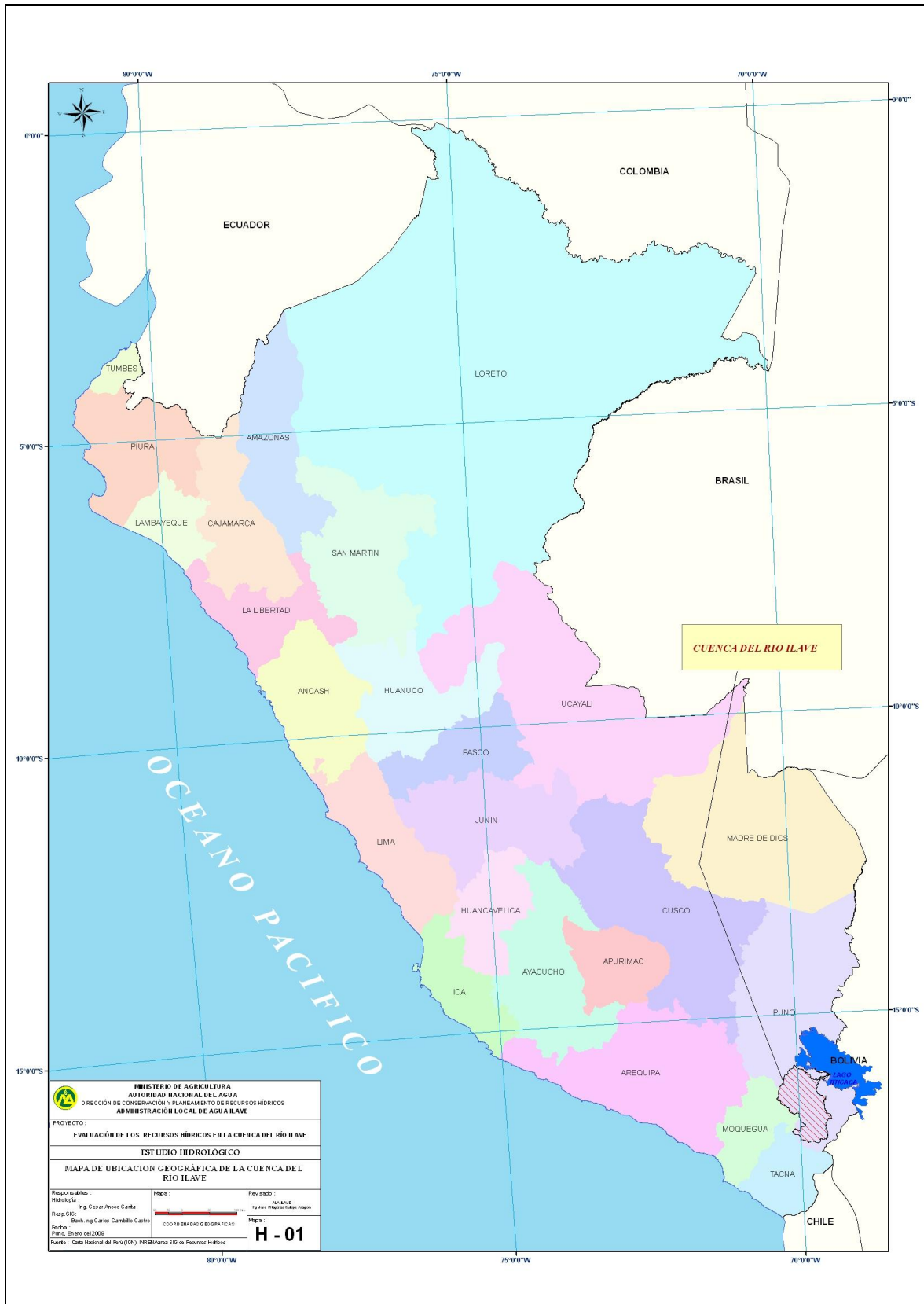


Figura N° 3.2
Ubicación Hidrográfica de la Cuenca del río Ilave

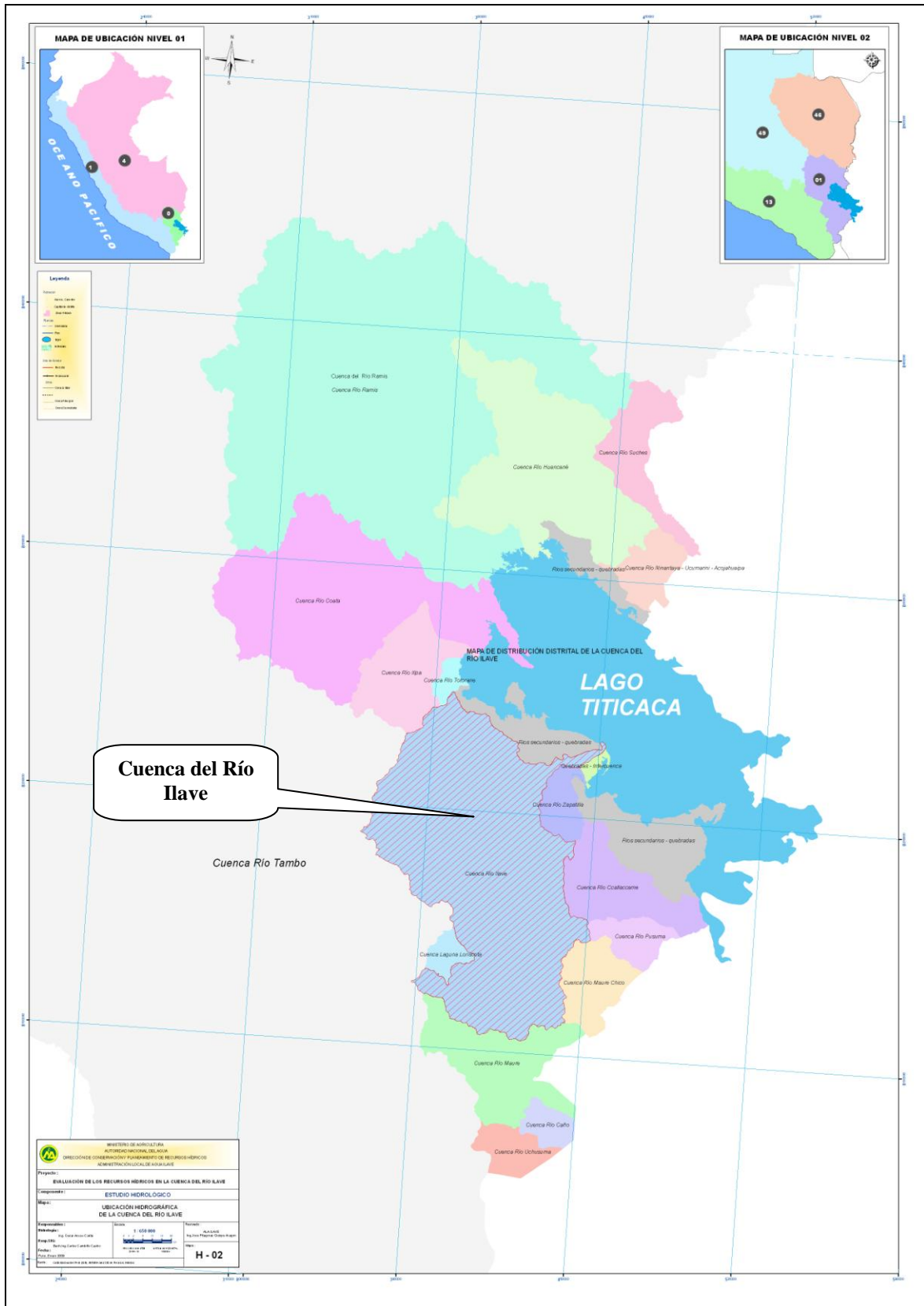
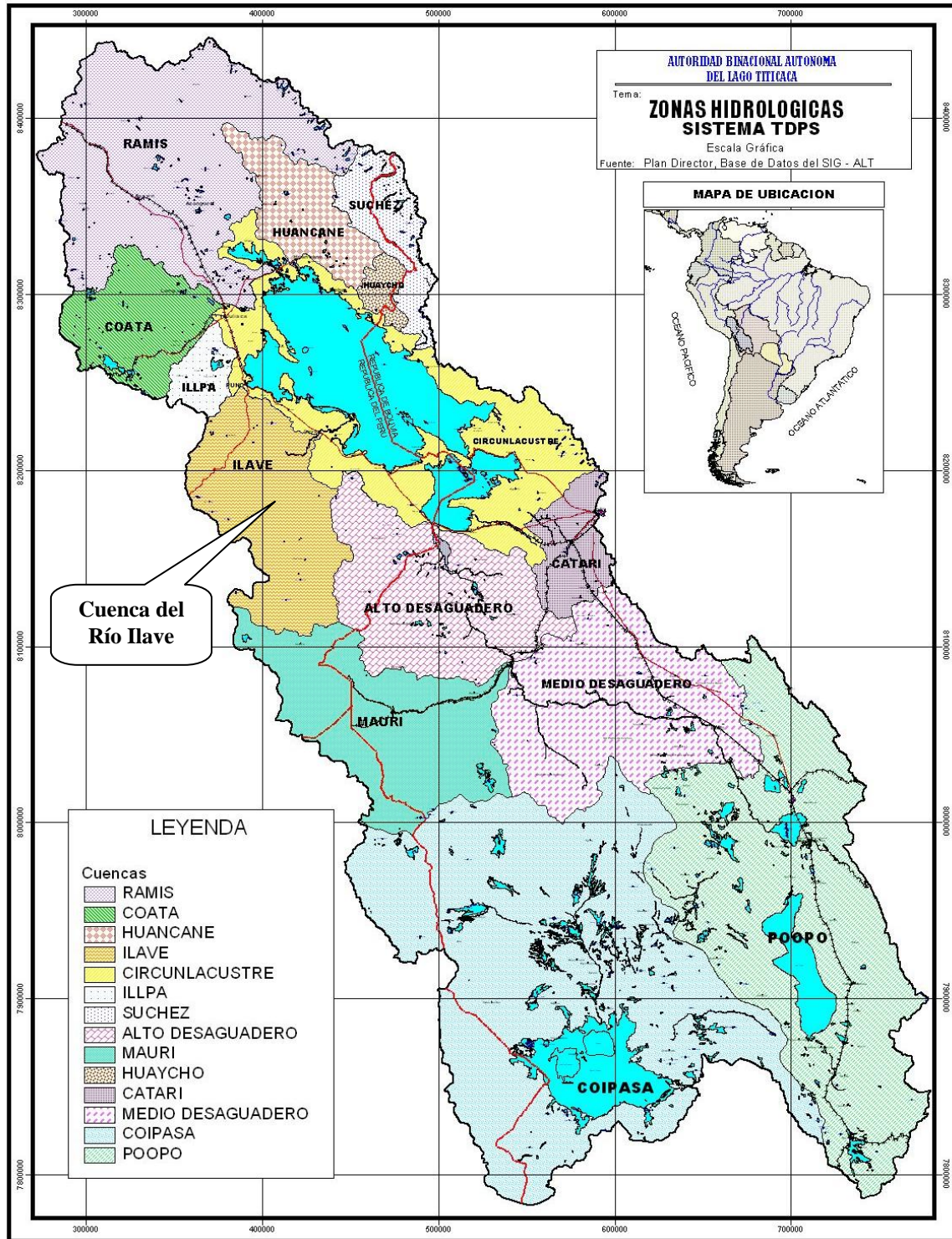
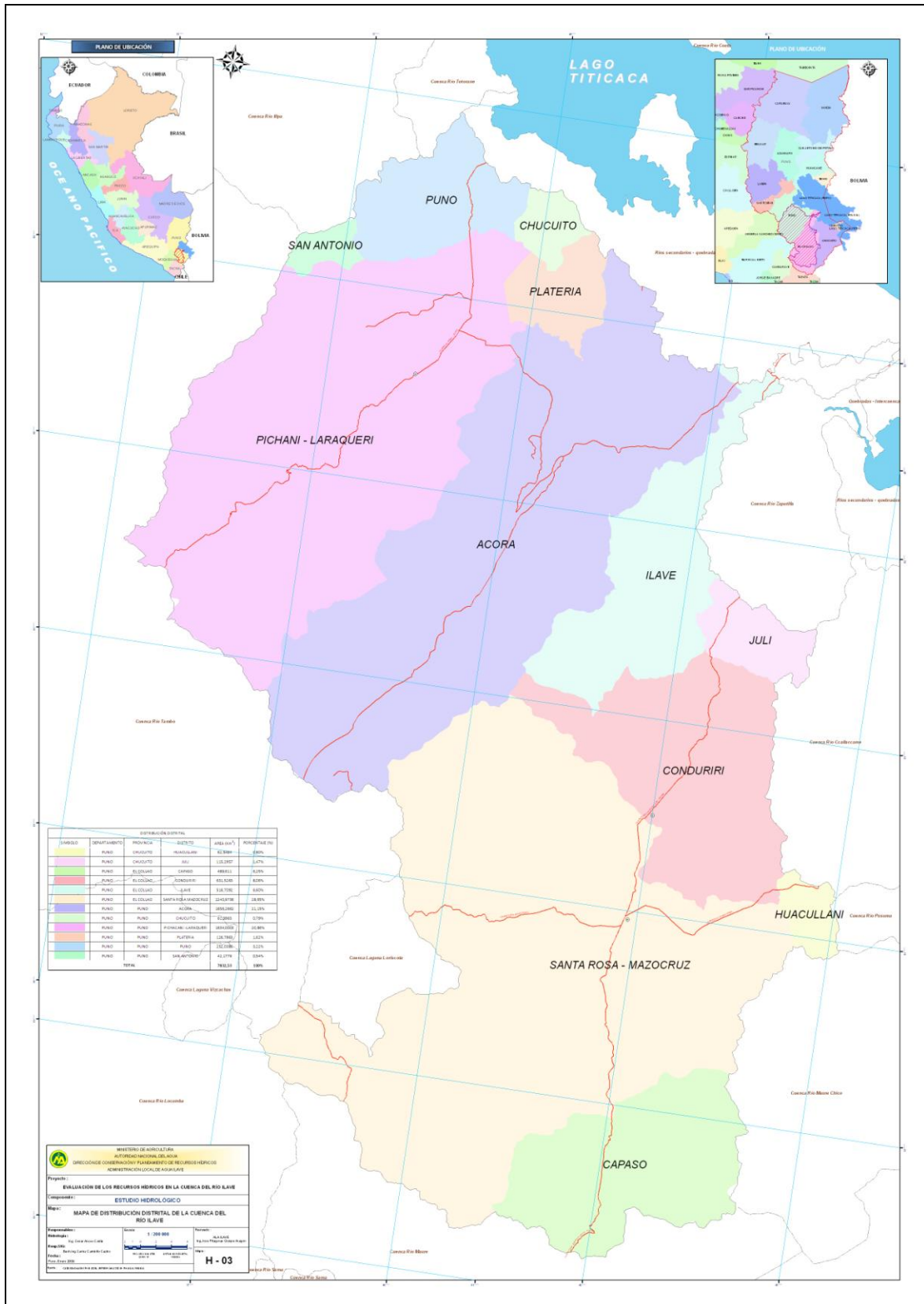


Figura N° 3.3
Ubicación Hidrográfica de la Cuenca del río Ilave en el Sistema TDPS



Fuente: Estudio: Disponibilidad Hídrica de las Cuencas Afluentes al Lago Titicaca, ALT – 2005.

Figura N° 3.4
Ubicación Política de la Cuenca del río Ilave



3.1.5.- Ubicación Administrativa

La entidad administrativa que regula el uso de los recursos hídricos en la cuenca del río Ilave, es la Administración Local de Agua Ilave, la que tiene una dependencia de orden administrativo del Ministerio de Agricultura a través de la Dirección de Conservación y Planeamiento de Recursos Hídricos de la Autoridad Nacional del Agua. Las entidades, en orden jerárquico, que enmarcan la gestión hídrica en la cuenca del río Ilave se mencionan a continuación:

Ministerio de Agricultura (MINAG)
 Autoridad Nacional del Agua (ANA)
 Dirección de Conservación y Planeamiento de Recursos Hídricos (DCPRH)
 Administración Local de Agua Ilave (ALA Ilave)

Los Mapas N° H-1 a H-3 de ubicación geográfica, hidrográfica y política de la cuenca del río Ilave, se presenta en el Anexo 2 (Volumen III) para ver a mayor detalle y a escala mayor.

3.2.- ASPECTO SOCIO-ECONOMICO

3.2.1.- Población

En el Cuadro N° 3.1, se presenta la población total de los distritos involucrados en el ámbito del área de la cuenca del río Ilave, según los resultados del IX Censo Nacional de Población efectuada en el año 2005.

La población total de la cuenca del río Ilave es de 275,435 habitantes (139,010 hombres y 136,425 mujeres). En el Cuadro N° 3.1, se muestra la población, área y densidad de población por distritos.

Cuadro N° 3.1
 Población Total – Cuenca del río Ilave
 (IX Censo Poblacional 2005)

N°	DISTRITO	POBLACION			AREA (Km2)	DENSIDAD (Hab/Km2)
		Hombre	Mujer	Total		
1	Acora	15,233	13,850	29,083	1,941.09	15.0
2	Capazo	829	751	1,580	1,039.25	1.5
3	Chucuito	4,712	4,654	9,366	121.18	77.3
4	Conduriri	1,863	1,813	3,676	1,005.67	3.7
5	Huacullani	5,464	5,146	10,610	705.28	15.0
6	Ilave	25,696	24,599	50,295	874.57	57.5
7	Juli	13,002	12,921	25,923	720.38	36.0
8	Laraqueri	3,037	3,097	6,134	1,633.48	3.8
9	Mazocruz	2,234	2,180	4,414	2,524.02	1.7
10	Platería	4,482	4,353	8,835	240.63	36.7
11	Puno	61,613	62,293	123,906	460.75	268.9
12	San Antonio	845	768	1,613	376.75	4.3
Total		139,010	136,425	275,435	-	-

Fuente: Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) - Censo Nacional:
 IX de Población y X de Vivienda, 2005.

3.2.2.- Dinámica de la Estructura Económica

A) Actividad Agrícola

La actividad agrícola es una de las actividades importantes, generalmente en la parte baja de la cuenca del río Ilave, la superficie cultivada es bajo el régimen de secano, es decir, que depende de las lluvias y en mínima proporción es bajo riego. Los cultivos están expuestos a las fuertes heladas es decir a las inclemencias del clima.

Los cultivos principales, son: Papa, Cebada (grano y forrajera), Avena (grano y forrajera), Habas grano, Quinua, Cañihua, Trigo, Arveja, Mashua, Olluco, Oca, Alfalfa, Pastos Cultivados y Hortalizas (cebolla, zanahoria y otros). La mayoría de los cultivos son de subsistencia, autoconsumo y un mínimo porcentaje se destina al mercado permitiendo la generación de escasos ingresos siendo necesario acudir a la producción de otros departamentos por no llegar a tener la cobertura de demanda interna de alimento; a excepción de la producción de quinua y cañihua.

B) Actividad Pecuaria

La ganadería en el ámbito de la cuenca del río Ilave, es la actividad la actividad principal en la parte media y alta de la cuenca, porque constituyen fuente de ocupación e ingreso para el productor rural, representado por varias especies en menor cantidad en ganado vacuno, ovino, porcino y otros, y en mayor cantidad los camélidos sudamericanos.

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 mayor magnitud los camélidos (carne y fibra).

En el ámbito de la cuenca Ilave, el problema que afronta el productor pecuario es la escasez de alimentos para animales en ciertas épocas del año, una característica del espacio andino es de ser una zona que se ve limitada por las variaciones climáticas, ya que tiene tres épocas bien establecidas: Verano de Lluvias (Diciembre a Marzo), Invierno seco (Mayo a Agosto) y Meses transitorios (Abril, Setiembre a Noviembre). Es precisamente durante los meses que dura el invierno, mas los meses transitorios, el periodo más crítico para el ganado en lo que representa a disponibilidad de alimento y a las bajas temperaturas que afecta, disminuyendo en peso (carne), producción de leche y fibra.

En la parte alta de la cuenca Ilave, subcuencas Alto Ilave (zonas Chichillapi, Coypa Coypa, Cuirare y otros), Llusta (zona baja, media y alta) y Conduriri (zona media y alta), existen en mayor extensión los bofedales, que actualmente se encuentran bajo riego en forma rústica, y abasteciendo para la alimentación del ganado de Camélidos Sudamericanos.

C) Actividad Piscicultura

Es otra actividad del poblador rural en la cuenca del río Ilave, generalmente se dedican a la crianza de alevinos y engorde de truchas, es rentable en cuanto a otras actividades, lo limitante es la calidad de agua, zona de crianza y la disponibilidad del recurso hídrico. Esta actividad se realiza en la subcuenca Alto Ilave (zona Chichillapi, Coypa Coypa y otros).

3.3.- ACCESIBILIDAD – VIAS DE COMUNICACION

La ciudad de Ilave es el centro urbano más relevante en la cuenca del río Ilave, prácticamente las vías de acceso en una unidad móvil desde la ciudad de Ilave hacia a cualquier lugar de la cuenca es accesible.

Las ejes principales de vías de acceso a la cuenca Ilave, es la siguiente:

- 1) Puno - Chucuito - Platería - Acora - Ilave - Juli - Pomata - Zepita - Desaguadero - Mazocruz - Capazo.
- 2) Puno - Chucuito - Platería - Acora - Ilave - Conduriri - Mazocruz - Capazo.
- 3) Puno - Chucuito - Platería - Acora - Ilave - Totorani - Ayrumas Carumas.
- 4) Puno - Laraqueri - Ayrumas Carumas.
- 5) Puno - San Antonio.

En el siguiente cuadro se muestran las distancias entre ciudades y/o localidades.

Cuadro N° 3.2
Distancia entre ciudades y/o localidades

VIA		Distancia (Km)	Tipo de Vía
DE	A		
Puno	Chucuito	19.0	Asfaltada
Chucuito	Platería	10.0	Asfaltada
Platería	Acora	4.0	Asfaltada
Acora	Ilave	22.0	Asfaltada
Ilave	Juli	25.0	Asfaltada
Juli	Pomata	25.0	Asfaltada
Pomata	Zepita	32.0	Asfaltada
Zepita	Desaguadero	10.0	Asfaltada
Desaguadero	Mazocruz	95.0	Asfaltada
Mazocruz	Capazo	50.0	Afirmada
Ilave	Conduriri	68.0	Afirmada
Conduriri	Mazocruz	16.0	Afirmada
Ilave	Totorani	20.0	Afirmada
Totorani	Ayrumas Carumas	30.0	Afirmada
Puno	Laraqueri	41.0	Asfaltada
Laraqueri	Ayrumas Carumas	42.0	Afirmada
Puno	San Antonio	86.0	Afirmada

La vía Puno - Desaguadero, es la carretera principal que comunica con el país vecino Bolivia, además con los departamentos de Tacna y Moquegua.

La carretera Puno - Laraqueri, comunica con el departamento de Moquegua.

Otra vía principal de Puno - Juliaca, comunican con los departamentos de Arequipa y Cuzco.

3.4.- ASPECTOS FISIOGRAFICOS DEL AREA DEL PROYECTO

El área del Proyecto está representada por el sistema hidrográfico de la cuenca del río llave, que a su vez formada por dos subcuencas principales llamados río Huenque y río Aguas Calientes, el cual desemboca en el lago Titicaca.

La región del Proyecto forma parte de la vertiente de la cuenca hidrográfica del lago Titicaca y Sistema TDPS (lado Peruano). Se caracteriza como un sistema de cuenca endorreica, ubicada entre las provincias de Puno, El Collao y Chucuito en el Departamento de Puno.

La superficie total de la cuenca del río llave es de 7,832.53 Km². Sus características fisiográficas principales que son materia de estudio son las siguientes:

Perímetro de la cuenca	:	631.97 Km.
Cota máxima de la cuenca	:	5,400.00 msnm.
Cota mínima de la cuenca	:	3,805.00 msnm.
Altitud media de la cuenca	:	4,309.31 msnm.
Pendiente media de la cuenca	:	0.0055 m/m
Índice de pendiente de la cuenca	:	0.0654
Cota máxima del cauce principal	:	4,640.00 msnm.
Cota mínima del cauce principal	:	3,805.00 msnm.
Altitud media del cauce principal	:	4,222.50 msnm.
Pendiente media del cauce principal:	:	0.0040 m/m
Longitud del cauce principal	:	211.00 Km.

Los valores anteriormente citados, toma como referencia la desembocadura al lago Titicaca, lugar donde entrega las aguas de la cuenca en estudio.

Caracterizar la cuenca del río llave, es básicamente caracterizar las subcuencas dentro de ella, ya que el área de drenaje cuyo cauce natural se denomina río llave se ubica en la parte baja desde la confluencia de los ríos Huenque y Aguas Calientes, con una longitud de cauce igual 52.20 Km hasta la desembocadura al lago Titicaca.

Sistema Hidrográfico

El sistema hidrográfico de la cuenca del río llave, se compone básicamente de los ríos Huenque y Aguas Calientes naturalmente. El cauce principal de la cuenca del río llave, nace desde el río Coypa Coypa - río Chichillapi - río Llusta baja - río Huenque - río llave, respectivamente. Las características hidrográficas en las subcuencas de los ríos Huenque y Aguas Calientes son similares.

El sistema hidrográfico de la subcuenca del río Aguas Calientes es: Quebrada Hualla Apacheta - Quebrada Taipicerca - Quebrada Mocsoma - Quebrada San Miguel - río Samigia - río Malcomayo - río Grande - río Aguas Calientes, este confluye con el río Huenque, los cuales forman el río llave.

A continuación se observan las siguientes características de la cuenca:

En las figuras siguientes se muestran las quebradas que son nacientes de los ríos y los manantiales, que dan fuente de agua en la cuenca.

Quebradas



Manantiales



En la parte alta de la cuenca, se encuentran en mayor extensión los bofedales, que son fuentes de agua para la alimentación del ganado de los camélidos sudamericanos, generalmente.

Bofedales Subcuenca Huenque



Bofedales subcuenca Aguas Calientes





En la parte alta de la cuenca se encuentran depósitos de agua en lagunas naturales, los cuales representan fuentes de agua permanente del sistema.



En las figuras siguientes se muestran los cauces principales de las subcuencas, en la cuenca del río Ilave.



3.5.- CLIMATOLOGIA

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 la cuenca del río Ilave tiene 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 es en torno a 4,300 msnm. Y la presión media es de 650 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 cúmulus 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 la cuenca del río Ilave. Estos parámetros provienen de los registros históricos de las distintas estaciones meteorológicas instaladas en la cuenca y zonas aledañas, esta red ha sido descrita en el Cuadro N° 2.2. (Capítulo 2). La ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas utilizadas se presentan en el **Mapa N° H-24** (Anexo 2 - Volumen III). Estas estaciones están a cargo del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), PELT y PET - Tacna. En el Anexo 1 (Volumen II) se presenta la información meteorológica histórica de las variables arriba indicados.

La información utilizada en el presente estudio, para caracterizar el clima en el área del proyecto, corresponde a las estaciones de Capazo, Vilacota, Coypa Coypa, Chichillapi, Mazocruz, Pizacoma, Chilligua, Yorohoco, Desaguadero, Pocoaque, Juli, Ilave, Rincón de la Cruz, Laraqueri, Puno, Mañazo, Pampa Umalzo e Ichuña. 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.

3.5.1.- 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 estacional

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

En el Cuadro N° 3.3 se presenta el promedio multimensual de la precipitación total mensual correspondiente al periodo 1960 – 2007 de cada una de las estaciones meteorológicas, asimismo en la Figura N° 3.5, se aprecia la uniformidad de variación 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 periodos 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 78.0% en promedio de la estaciones, de las precipitaciones totales anuales. El porcentaje de precipitación en las estaciones meteorológicas oscilan de 70.9 a 88.0%.

El período seco (invierno), comprende los meses de Mayo a Agosto, las precipitaciones con sus mínimos valores llegan a ser del 3.6% en promedio de la estaciones, de las precipitaciones totales anuales. El porcentaje de precipitación en la estaciones varían de 2.4 a 5.3%.

Los meses transitorios corresponden a Abril, Setiembre a Noviembre, presentan el 18.9% en promedio de las estaciones, de las precipitaciones totales anuales. El porcentaje de precipitación en las estaciones meteorológicas oscilan entre 9.5 a 24.3%, respectivamente.

En el Cuadro N° 3.4 se muestran la variación mensual de las precipitaciones totales mensuales en cada estación meteorológica.

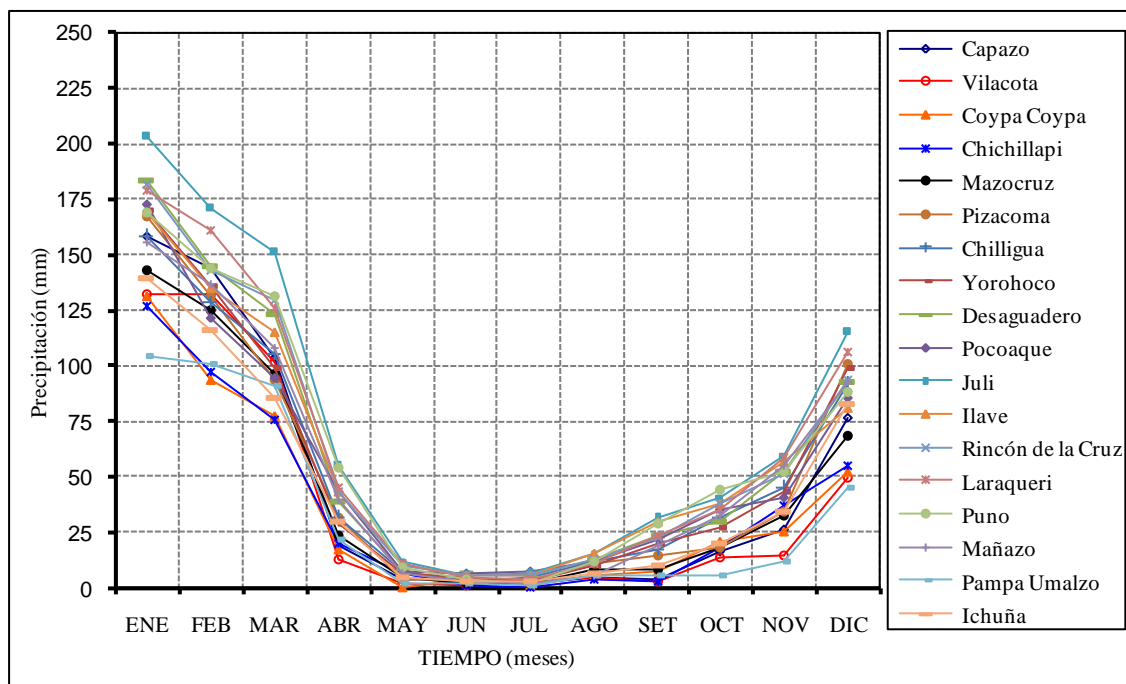
Cuadro N° 3.3
Precipitación total mensual – Promedio multimensual (1960-2007)
Estaciones de la Cuenca del río Ilave y Cuencas Vecinas

ESTACION	ALTITUD (msnm)	MESES												TOTAL ANUAL
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
Capazo	4530.00	158.4	144.1	103.2	19.0	3.8	3.7	1.8	4.5	3.4	16.4	26.5	76.7	561.3
Vilacota	4390.00	132.1	132.4	101.6	12.9	2.1	1.4	2.9	4.9	3.1	14.1	15.0	49.7	472.3
Coypa Coypa	4450.00	131.4	93.7	77.9	17.7	0.5	4.0	1.1	5.8	7.4	21.1	25.2	52.6	438.4
Chichillapi	4050.00	126.8	97.3	75.3	20.1	6.7	1.5	0.0	3.8	3.2	18.6	36.7	55.4	445.4
Mazocruz	4003.00	142.8	125.1	96.3	23.3	4.7	2.0	2.0	8.1	8.7	18.0	33.0	68.9	532.8
Pizacoma	4060.00	167.2	131.1	93.3	31.6	4.2	3.7	2.7	10.7	14.3	18.4	34.4	101.2	612.8
Chilligua	3960.00	158.0	129.1	105.3	31.3	7.6	2.8	5.2	11.6	17.1	31.5	44.9	91.6	636.0
Yorohoco	3845.00	170.2	135.9	99.4	28.9	6.2	4.8	3.4	10.4	19.8	26.9	43.3	98.8	648.1
Desaguadero	3860.00	183.7	144.8	123.4	38.6	7.9	6.9	5.7	13.2	23.5	30.3	52.3	93.2	723.4
Pocochaque	3850.00	173.1	121.6	94.3	43.0	7.9	6.6	7.3	11.8	21.8	35.3	40.8	85.3	648.8
Juli	3812.00	202.9	170.9	151.2	55.0	12.3	5.5	6.5	15.9	31.4	41.1	59.8	115.1	867.6
Ilave	3880.00	168.9	134.8	115.3	43.6	9.8	5.8	5.7	15.7	30.2	37.6	56.8	80.8	705.1
Rincón de la Cruz	3835.00	181.6	143.5	129.7	43.4	10.4	5.6	5.3	12.9	22.3	38.0	51.6	93.7	738.0
Laraqueri	3900.00	179.0	160.8	125.7	44.9	10.8	4.7	4.1	10.9	23.9	35.3	58.9	105.9	764.8
Puno	3820.00	168.8	143.6	131.1	54.5	9.5	4.0	2.4	11.9	28.6	44.5	52.1	88.2	739.1
Mañazo	3920.00	155.9	136.7	108.0	40.0	6.3	3.4	2.4	5.7	18.9	32.8	55.1	92.7	657.9
Pampa Umalzo	4601.00	104.6	100.7	91.0	21.6	2.1	1.8	0.9	5.4	5.5	6.1	12.4	45.0	397.0
Ichuña	3800.00	139.8	116.3	85.3	29.9	5.1	2.9	2.6	6.2	9.9	19.7	34.6	83.0	535.3

Cuadro N° 3.4
Porcentaje de variación de la precipitación total mensual(%)
Estaciones de la Cuenca del río Ilave y Cuencas Vecinas

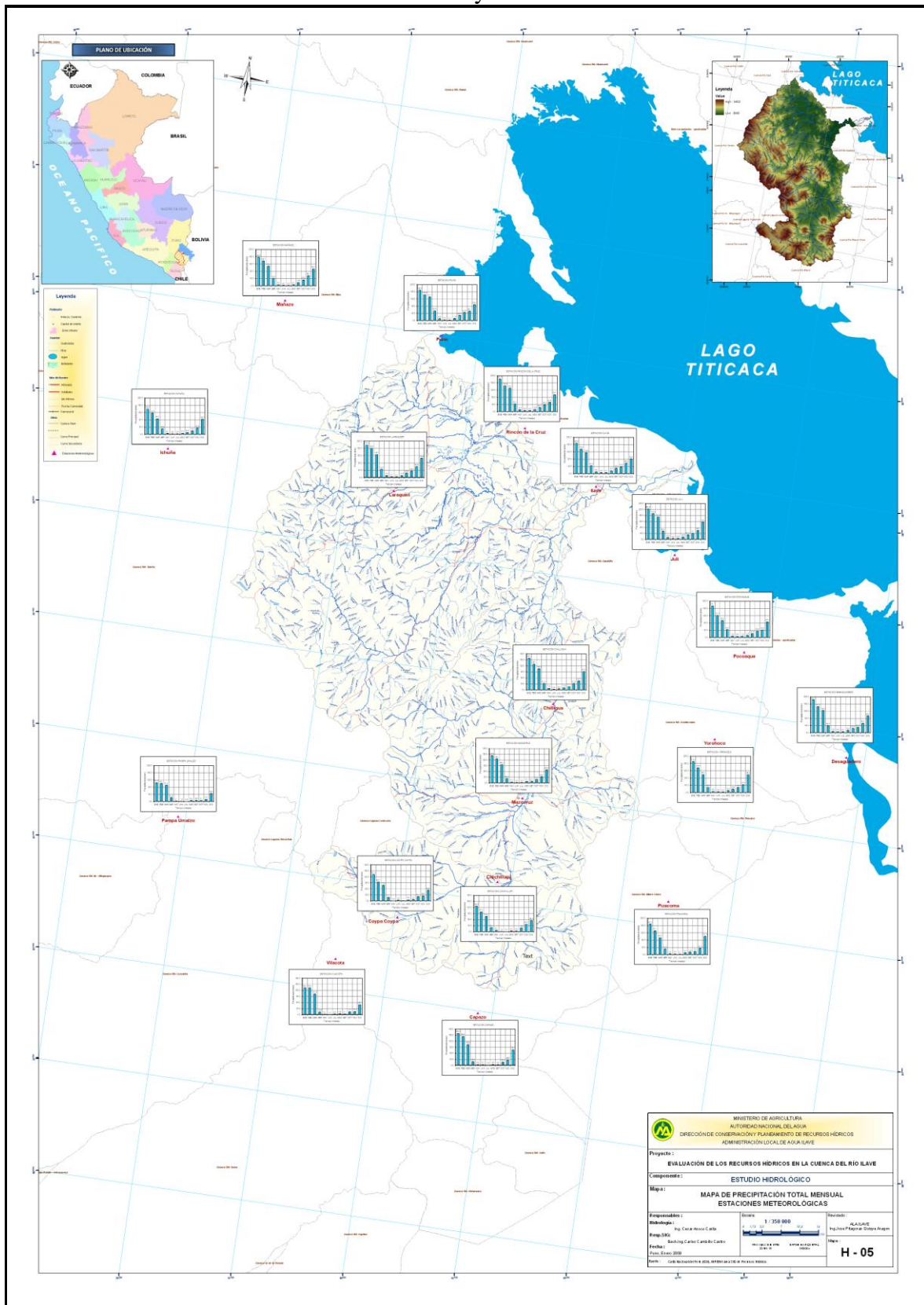
ESTACION	ALTITUD (msnm)	MESES												TOTAL ANUAL
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
Capazo	4530.00	28.2	25.7	18.4	3.4	0.7	0.7	0.3	0.8	0.6	2.9	4.7	13.7	100.0
Vilacota	4390.00	28.0	28.0	21.5	2.7	0.4	0.3	0.6	1.0	0.6	3.0	3.2	10.5	100.0
Coypa Coypa	4450.00	30.0	21.4	17.8	4.0	0.1	0.9	0.2	1.3	1.7	4.8	5.7	12.0	100.0
Chichillapi	4050.00	28.5	21.8	16.9	4.5	1.5	0.3	0.0	0.8	0.7	4.2	8.2	12.4	100.0
Mazocruz	4003.00	26.8	23.5	18.1	4.4	0.9	0.4	0.4	1.5	1.6	3.4	6.2	12.9	100.0
Pizacoma	4060.00	27.3	21.4	15.2	5.2	0.7	0.6	0.4	1.7	2.3	3.0	5.6	16.5	100.0
Chilligua	3960.00	24.8	20.3	16.6	4.9	1.2	0.4	0.8	1.8	2.7	4.9	7.1	14.4	100.0
Yorohoco	3845.00	26.3	21.0	15.3	4.5	1.0	0.7	0.5	1.6	3.1	4.2	6.7	15.2	100.0
Desaguadero	3860.00	25.4	20.0	17.1	5.3	1.1	0.9	0.8	1.8	3.2	4.2	7.2	12.9	100.0
Pocochaque	3850.00	26.7	18.7	14.5	6.6	1.2	1.0	1.1	1.8	3.4	5.4	6.3	13.1	100.0
Juli	3812.00	23.4	19.7	17.4	6.3	1.4	0.6	0.7	1.8	3.6	4.7	6.9	13.3	100.0
Ilave	3880.00	24.0	19.1	16.4	6.2	1.4	0.8	0.8	2.2	4.3	5.3	8.1	11.5	100.0
Rincón de la Cruz	3835.00	24.6	19.4	17.6	5.9	1.4	0.8	0.7	1.8	3.0	5.2	7.0	12.7	100.0
Laraqueri	3900.00	23.4	21.0	16.4	5.9	1.4	0.6	0.5	1.4	3.1	4.6	7.7	13.8	100.0
Puno	3820.00	22.8	19.4	17.7	7.4	1.3	0.5	0.3	1.6	3.9	6.0	7.0	11.9	100.0
Mañazo	3920.00	23.7	20.8	16.4	6.1	1.0	0.5	0.4	0.9	2.9	5.0	8.4	14.1	100.0
Pampa Umalzo	4601.00	26.4	25.4	22.9	5.4	0.5	0.5	0.2	1.4	1.4	1.5	3.1	11.3	100.0
Ichuña	3800.00	26.1	21.7	15.9	5.6	0.9	0.6	0.5	1.2	1.9	3.7	6.5	15.5	100.0

Figura N° 3.5
Variación Mensual de la Precipitación – Promedio multimensual (1960-2007)
Estaciones de la Cuenca del río Ilave y Cuencas Vecinas



En la Figura N° 3.6 se presentan la distribución mensual de la precipitación con el fin de observar todas sus características en toda la región. Se puede apreciar el carácter estacional de la misma y en forma uniforme en toda la región se presenta dos periodos en general, uno más lluvioso localizado en el verano (debido al descenso de la zona de convergencia intertropical), y otro con precipitaciones menores en el invierno (la dislocación hacia el norte de la zona de convergencia tropical ocasiona un movimiento de aire muy seco y estable).

Figura N° 3.6
Precipitación Total Mensual (promedio multimensual) en las Estaciones Meteorológicas
Cuenca del río Ilave y Cuencas Vecinas



B.- Régimen de la precipitación total anual

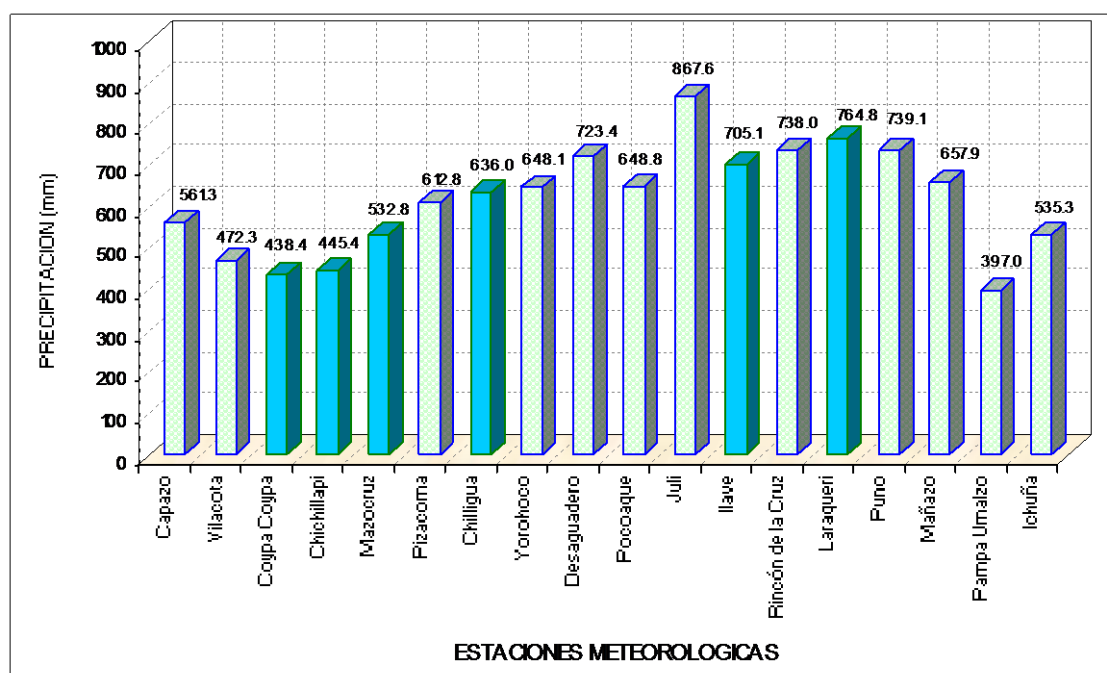
La precipitación es una de las variables climáticas más importantes que influyen en la producción agrícola, puesto que la precipitación pluvial es, normalmente, la única fuente de humedad proporcionada al suelo.

En el entorno de la cuenca del río Ilave, 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 18 estaciones meteorológicas (ver Capítulo 2, ítem 2.6.2.2), de los cuales 06 están ubicadas dentro de la cuenca Ilave y 12 fuera del ámbito de la cuenca (ver Figura N° 3.6).

En la Figura N° 3.7 se presenta en forma gráfica la distribución de precipitación total anual en la región de la cuenca del río Ilave. Se observa que la precipitación total anual en la cuenca varía de 438.4 mm (Coypa Coypa) a 764.8 mm (Laraqueri). Los valores más altos se registran en el entorno del lago Titicaca, en la parte baja y norte de la región. Esta particularidad es a consecuencia de la alta radiación, vientos generalmente más fuertes que a niveles más bajos, originan una intensa evaporación del lago, favoreciendo la formación de masas nubosas que precipitarán en el mismo lago o en zonas cercanas.

Figura N° 3.7
Precipitación Total Anual – Promedio Multianual (1960-2007)
Estaciones de la Cuenca del río Ilave y Cuencas Vecinas



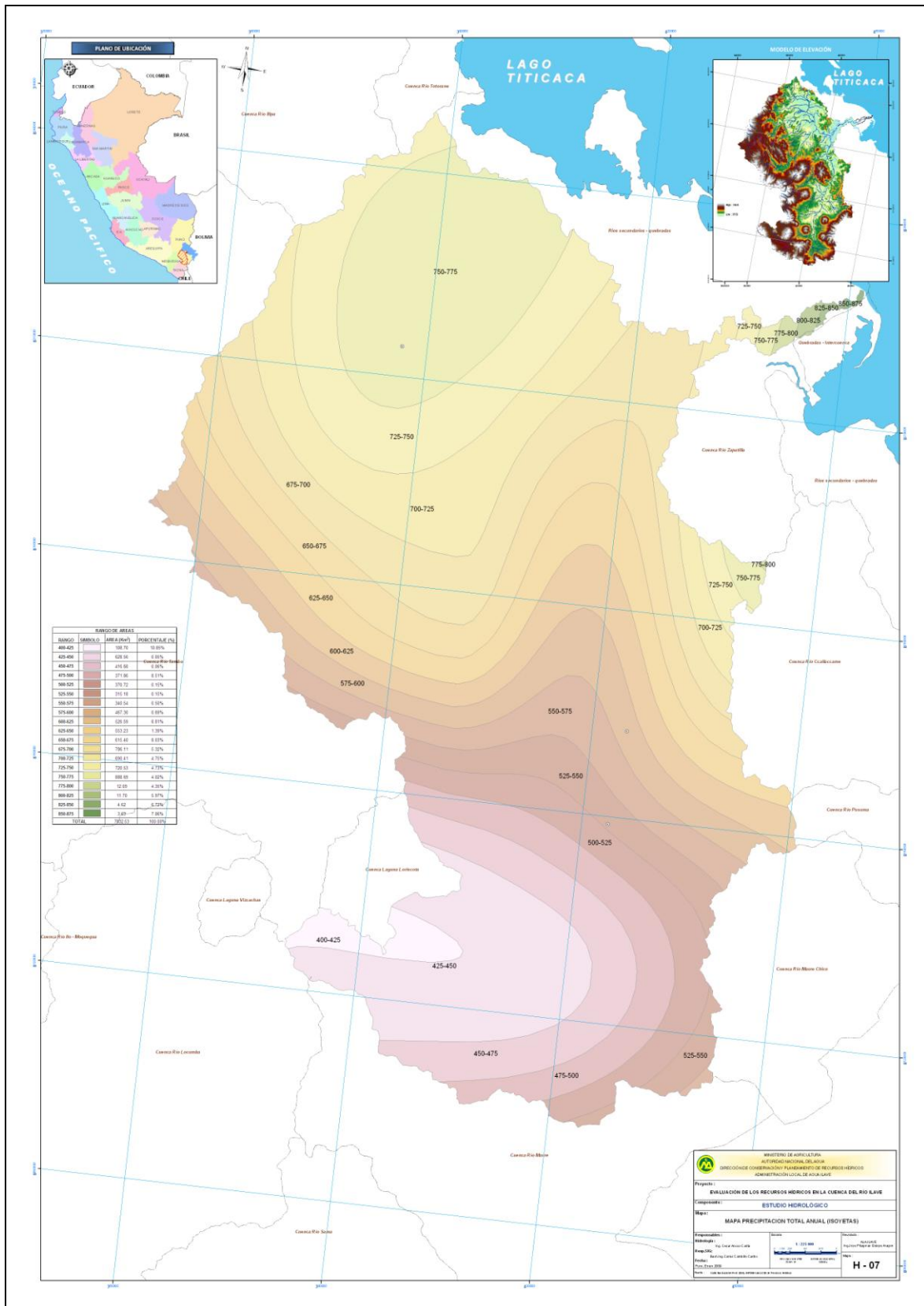
En la Figura N° 3.8, mediante el trazado de las isolíneas de precipitación (Isoyetas) se presenta la distribución espacial de la precipitación anual a nivel de la cuenca del río Ilave, se observa que los valores de la precipitación en la cuenca varían de 400 a 875 mm. Los valores altos se registran en el entorno del lago Titicaca, en la parte baja y norte de la cuenca; y los menores se registran en la parte sur de la cuenca. Según el plano de distribución espacial de la precipitación anual en la cuenca del río Ilave, muestra que la precipitación disminuye de norte a sur, ello muestra que la precipitación en la cuenca hidrográfica del Titicaca, proviene del Océano Atlántico, por tal razón la precipitación tiende a disminuir de norte a sur.

Sin embargo la variación de la precipitación en la cuenca, no es siempre dependiente 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.

En el mapa N° H-07 (Anexo 2, Volumen III) se muestra a escala mayor las isoyetas de la precipitación anual en la cuenca del río Ilave.

Figura N° 3.8
Distribución Espacial de la Precipitación Total Anual (mm) - Isoyetas
Cuenca del río Ilave



C.- Análisis de Precipitaciones Máximas en 24 horas

En este caso, se ha realizado el análisis de frecuencia de las precipitaciones máximas en 24 horas, para el cual se ha utilizado la información disponible de serie anual de precipitaciones máximas en 24 horas correspondientes al periodo de 1960 a 2007. La información pluviométrica proviene de 18 estaciones meteorológicas, tal como se presenta en el Cuadro N° 3.5, se podrá apreciar que la longitud de registro es homogéneo, para ello se ha completado los datos faltantes con las estaciones cercanas entre sí, esto debido a que en el proyecto se ha planteado trabajar con un registro de 48 años de información.

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 periodos de retorno, considerando las funciones de distribución de probabilidades como: La Log-Normal de 2 parámetros, Log-Normal de 3 parámetros, Gumbel y Log-Pearson III.

Para el presente estudio se ha planteado calcular las precipitaciones máximas para los periodos de retorno de 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500 y 1000 años, respectivamente.

Los cuadros de análisis de frecuencia de las precipitaciones máximas en 24 horas, de las estaciones meteorológicas de la cuenca del río Ilave y cuencas vecinas, se muestran en el Anexo 1 (Volumen II).

Según el análisis de frecuencia resulta que la serie de precipitaciones máximas en 24 horas de las estaciones de la cuenca del río Ilave y cuencas vecinas se ajustan mejor a la Distribución Gumbel – Método de Máxima Verosimilitud, por mostrar menor porcentaje de error estándar que otras distribuciones.

En el Cuadro N° 3.6, se muestran los resultados de análisis de frecuencia de las precipitaciones máximas para diferentes periodos de retorno de las estaciones de la cuenca del río Ilave y cuencas vecinas.

En las Figuras N° 3.9 y 3.10 se muestran en forma grafica. Se deduce que la mayor intensidad de las precipitaciones máximas en 24 horas sucede en el contorno y la parte norte de la cuenca Ilave.

Cuadro N° 3.5
Serie Anual de Precipitaciones Máximas en 24 horas
Estaciones de la cuenca del río Ilave y Cuencas Vecinas

AÑO	ESTACIONES METEOROLOGICAS														
	Capazo	Vilacota	Mazocruz	Pizacoma	Chilligua	Yorohoco	Desaguadero	Pocochaque	Juli	Ilave	Rincón de la Cruz	Laraqueri	Puno	Mañazo	Ichuña
1960	29.0	29.9	17.9	34.7	18.9	25.1	40.6	30.2	25.8	34.0	35.6	34.8	34.8	19.8	31.5
1961	28.4	25.8	23.5	28.1	20.8	31.4	27.0	21.8	34.4	33.1	27.2	36.5	41.7	42.6	31.1
1962	41.9	27.2	22.8	31.4	28.5	29.5	27.5	29.3	36.5	32.9	34.0	30.7	52.2	41.4	36.6
1963	45.0	29.7	28.9	14.9	21.8	31.9	30.5	15.9	45.1	35.6	32.1	37.7	29.1	22.1	35.0
1964	18.0	23.7	23.0	26.0	23.0	27.8	36.6	24.9	30.6	34.7	38.6	40.3	42.1	27.9	22.7
1965	23.4	21.1	16.0	12.8	30.1	24.8	40.9	20.4	36.2	21.0	32.1	39.6	34.3	21.1	27.7
1966	28.6	17.8	39.0	27.4	28.0	25.6	53.2	24.5	29.2	24.5	37.8	37.0	49.5	26.9	33.8
1967	30.0	29.7	18.0	27.8	30.3	26.6	29.7	25.4	49.8	34.2	32.4	30.3	36.2	27.7	34.4
1968	28.0	45.6	30.6	35.0	11.3	32.6	31.3	21.3	68.0	34.0	25.3	27.2	28.0	30.0	25.1
1969	19.2	17.0	35.6	37.8	11.4	20.6	38.0	18.2	33.2	45.5	26.4	21.6	29.9	35.5	54.3
1970	22.8	29.5	27.8	31.2	15.7	33.0	34.1	19.9	32.6	34.2	29.1	28.4	31.7	36.6	51.4
1971	37.0	37.3	47.4	32.8	21.0	32.2	25.8	27.0	48.0	36.8	50.6	31.8	45.2	33.7	39.7
1972	33.7	32.9	32.4	29.0	19.8	29.9	45.6	27.2	31.5	33.6	29.3	27.6	36.8	31.2	110.4
1973	24.8	12.4	22.0	28.4	19.0	35.1	50.5	23.4	41.1	40.5	44.8	25.2	41.0	43.2	20.4
1974	39.3	25.3	31.6	23.4	24.5	40.1	34.2	23.7	71.9	34.0	37.2	45.3	40.2	42.9	31.1
1975	28.3	32.2	26.6	29.4	23.0	35.9	44.2	25.7	66.1	27.0	21.7	30.0	33.7	49.2	30.4
1976	25.1	34.3	33.8	18.4	30.5	36.1	43.3	33.1	44.2	33.0	31.0	40.3	33.4	51.5	26.2
1977	48.4	41.2	24.4	21.1	32.1	26.2	37.0	41.3	46.3	41.0	45.9	25.9	36.9	57.4	43.7
1978	31.2	34.2	19.3	32.4	19.4	34.4	34.0	23.3	37.4	30.1	31.3	30.3	34.5	37.2	23.2
1979	26.9	32.3	31.3	25.4	17.2	22.3	37.8	27.3	34.8	26.5	27.6	45.3	26.4	30.2	32.4
1980	20.1	30.7	19.0	18.0	20.8	27.0	34.3	22.2	63.7	34.6	25.2	24.4	25.0	16.6	21.9
1981	27.6	28.6	26.4	17.3	22.2	29.4	34.0	30.2	29.4	28.7	30.8	29.8	27.6	30.1	33.8
1982	22.3	30.4	32.0	30.3	17.1	34.8	61.3	27.0	33.2	32.7	26.6	23.7	51.8	29.9	50.3
1983	38.4	13.2	13.4	23.7	16.7	22.2	30.9	13.4	34.6	25.9	48.0	30.4	38.6	26.8	48.2
1984	29.0	22.3	28.0	42.1	31.2	36.1	44.5	31.2	41.7	29.0	39.4	37.7	71.6	35.3	28.8
1985	21.3	23.5	51.9	29.3	25.2	23.3	39.1	23.9	34.2	37.0	41.8	44.6	48.5	31.8	34.0
1986	24.5	26.0	45.0	45.1	21.2	37.8	50.7	32.0	43.7	40.2	27.0	42.2	38.7	37.1	31.7
1987	32.4	15.0	21.8	27.0	18.7	32.9	40.0	28.2	47.3	29.0	30.1	29.3	55.7	59.0	39.7
1988	21.5	14.1	23.7	40.8	20.8	24.0	55.2	26.2	53.6	26.2	24.4	24.3	31.4	23.2	14.3
1989	20.0	21.9	30.4	34.7	18.7	33.4	38.7	27.0	36.4	39.5	28.3	53.5	24.5	43.6	19.9
1990	20.7	26.1	21.7	22.9	17.5	32.2	51.2	26.2	32.4	32.2	30.3	26.4	23.6	22.3	34.2
1991	25.7	25.7	30.4	35.6	13.4	31.4	25.3	16.5	37.2	25.8	26.5	24.8	24.2	25.7	27.6
1992	20.9	19.8	20.0	33.2	20.6	27.5	31.0	21.3	35.2	30.7	35.5	24.5	35.8	28.5	25.9
1993	35.5	26.6	26.8	41.5	25.5	32.0	38.9	22.2	34.1	28.8	24.8	39.9	26.8	34.7	36.0
1994	57.4	20.0	26.9	36.2	25.9	27.7	34.5	26.5	44.6	30.4	51.0	44.1	29.9	49.0	37.0
1995	17.9	20.2	17.8	24.1	22.4	34.6	39.1	23.4	25.4	24.0	36.5	38.7	29.0	30.9	32.6
1996	23.4	12.0	25.4	44.3	32.7	32.3	37.7	34.4	42.0	28.2	25.0	41.8	36.9	53.0	29.8
1997	28.2	24.4	35.4	34.5	28.5	28.4	37.0	27.2	42.5	36.9	40.2	49.5	32.4	29.1	26.3
1998	26.6	29.0	20.0	28.5	26.7	24.4	25.0	23.8	30.1	21.0	40.3	33.8	42.9	43.8	31.1
1999	22.0	28.0	29.0	29.0	27.5	38.8	51.0	27.4	45.6	39.7	37.0	24.2	38.2	31.9	30.2
2000	28.5	35.5	27.4	38.7	39.5	22.2	42.7	25.6	30.6	27.6	30.8	35.6	31.6	24.6	31.3
2001	39.6	28.9	25.8	41.7	28.5	34.6	43.9	33.4	38.4	36.2	30.8	51.6	39.4	54.0	34.7
2002	22.6	45.4	22.6	44.2	27.1	27.1	28.4	24.2	67.4	33.2	33.2	22.0	36.1	30.1	29.4
2003	22.3	37.2	21.6	34.4	31.4	35.4	38.2	23.6	32.7	26.1	26.1	25.6	35.6	24.1	29.2
2004	16.0	18.2	22.4	37.1	25.3	30.5	40.9	26.4	36.7	28.7	28.7	28.8	30.4	24.3	30.3
2005	21.7	26.7	37.0	45.5	31.6	27.2	42.7	28.6	33.4	23.2	23.2	54.8	30.1	31.5	25.7
2006	21.0	29.2	34.0	46.0	56.8	38.6	36.4	36.2	100.8	46.0	46.0	36.7	40.9	39.9	26.8
2007	19.4	21.9	18.8	44.6	19.8	26.5	38.5	25.6	41.5	29.3	32.8	35.6	67.2	30.2	84.5
Nº DATOS	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48
PROM.	27.8	26.7	27.2	31.6	24.2	30.3	38.6	25.8	41.9	32.0	33.1	34.3	37.1	34.4	34.7
DESVEST	8.6	7.9	8.0	8.5	7.7	5.0	8.2	5.2	14.2	5.8	7.4	8.7	10.2	10.3	15.7
MAXIMA	57.4	45.6	51.9	46.0	56.8	40.1	61.3	41.3	100.8	46.0	51.0	54.8	71.6	59.0	110.4
MINIMA	16.0	12.0	13.4	12.8	11.3	20.6	25.0	13.4	25.4	21.0	21.7	21.6	23.6	16.6	14.3

Cuadro N° 3.6
Precipitaciones Máximas en 24 horas (mm)
Estaciones de la cuenca del río Ilave y Cuencas Vecinas

ESTACION	ALTITUD (msnm)	PERIODOS DE RETORNO (años)							
		5	10	20	50	100	200	500	1000
Capazo	4530.00	33.0	37.5	41.7	47.2	51.4	55.5	60.9	65.0
Vilacota	4390.00	33.6	39.0	44.2	50.9	56.0	61.0	67.6	72.6
Mazocruz	4003.00	33.0	37.7	42.2	48.0	52.4	56.7	62.4	66.8
Pizacoma	4060.00	39.8	46.0	52.0	59.7	65.5	71.3	78.9	84.7
Chilligua	3960.00	29.8	34.2	38.5	44.1	48.2	52.4	57.9	62.0
Yorohoco	3845.00	34.7	38.1	41.4	45.7	48.9	52.1	56.3	59.5
Desaguadero	3860.00	45.2	50.4	55.4	61.8	66.7	71.5	77.9	82.7
Pocoaque	3850.00	30.8	34.5	38.1	42.7	46.2	49.7	54.3	57.7
Juli	3812.00	49.1	55.5	61.7	69.7	75.6	81.6	89.4	95.3
Ilave	3880.00	37.0	40.9	44.7	49.6	53.2	56.8	61.6	65.2
Rincón de la Cruz	3835.00	38.3	42.5	46.6	51.9	55.8	59.8	65.0	68.9
Laraqueri	3900.00	40.6	45.7	50.7	57.1	62.0	66.8	73.1	77.9
Puno	3820.00	43.5	48.9	54.1	60.8	65.8	70.8	77.4	82.4
Mañazo	3920.00	41.9	48.0	53.9	61.5	67.2	72.9	80.4	86.1
Ichuña	3800.00	42.1	48.6	54.8	62.8	68.8	74.8	82.7	88.7

Figura N° 3.9
Precipitaciones Máximas en 24 horas (mm)
Estaciones de la Cuenca del río Ilave y Cuencas Vecinas

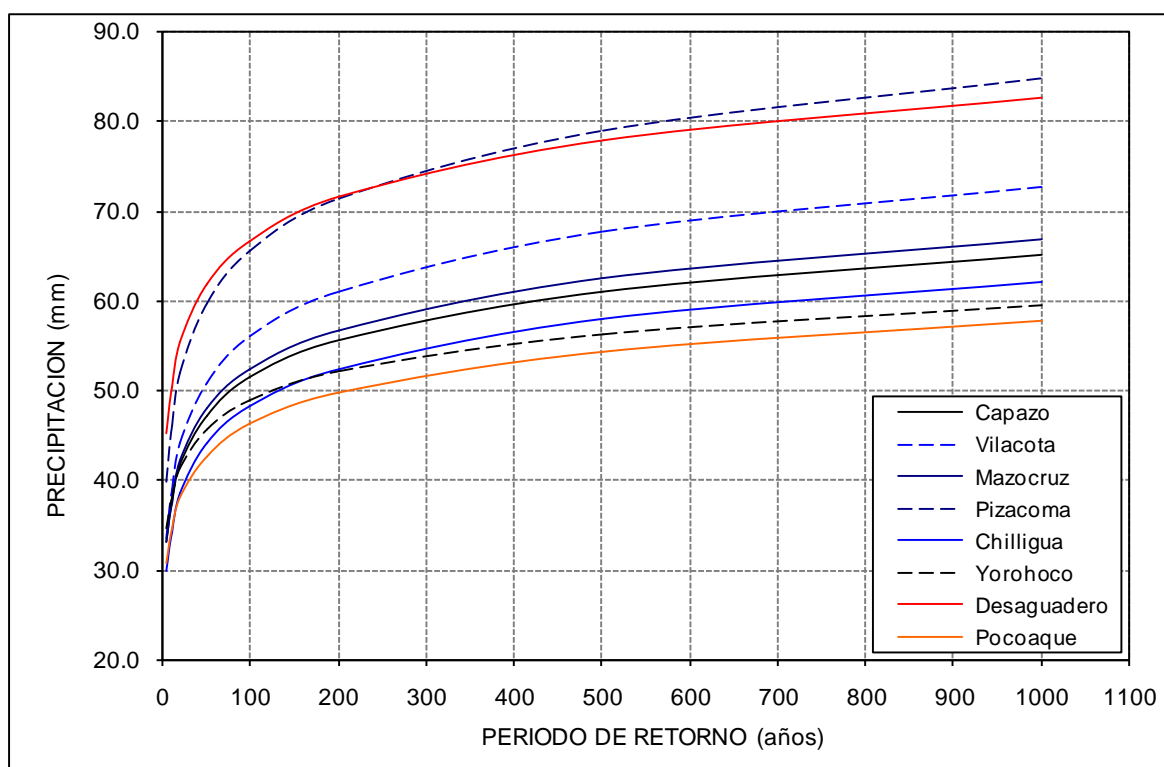
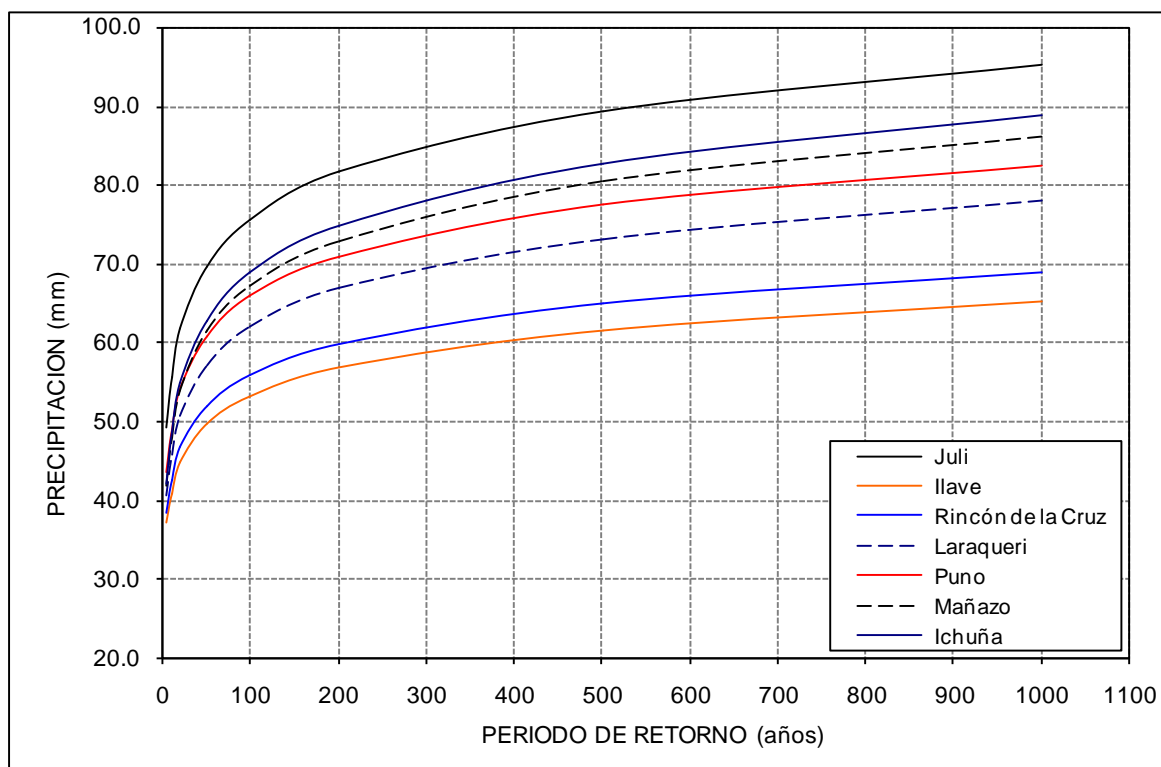


Figura N° 3.10
Precipitaciones Máximas en 24 horas (mm)
Estaciones de la Cuenca del río Ilave y Cuencas Vecinas



3.5.2.- Temperatura del Aire

La temperatura de aire en superficie es la temperatura comprendida entre 1.25 y 2 metros, 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.

Los registros de temperatura utilizados en el presente estudio es la información recopilada y adquirida de instituciones de la región (PELT y ALT) y el SENAMHI, respectivamente. La longitud de registro de temperaturas es de 48 años, generalmente.

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 especial atención.

La temperatura del aire de las estaciones meteorológicas consideradas en el presente estudio, se manifiestan de tres niveles, como temperatura media, temperatura media de las máximas diarias y temperatura media de las mínimas diarias, que en adelante se detalla cada una de ellas.

En los Mapas N° H-08, H-09 y H-10 (Ver Anexo 2, Volumen III) se ha trazado las isotermas correspondientes a la distribución espacial de las temperaturas medias, máximas y mínimas en la cuenca Ilave, respectivamente.

A.- Régimen de Temperaturas Medias

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 la cuenca. 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 Noviembre a Marzo, por lo general centradas en Enero.

Debido a la carencia de estadísticas de temperatura media en algunas estaciones han sido estimados (ver Cuadro N° 3.8), los valores de temperatura media de las estaciones resaltadas en color canela han sido estimados mediante un análisis de regresión lineal de los datos de las estaciones con registros existentes, relacionándolo con la altitud de ubicación de cada estación respectiva. En el Cuadro N° 3.7 se presenta los parámetros de la ecuación de correlación Temperatura Media - Altitud, en forma mensual y promedio anual.

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

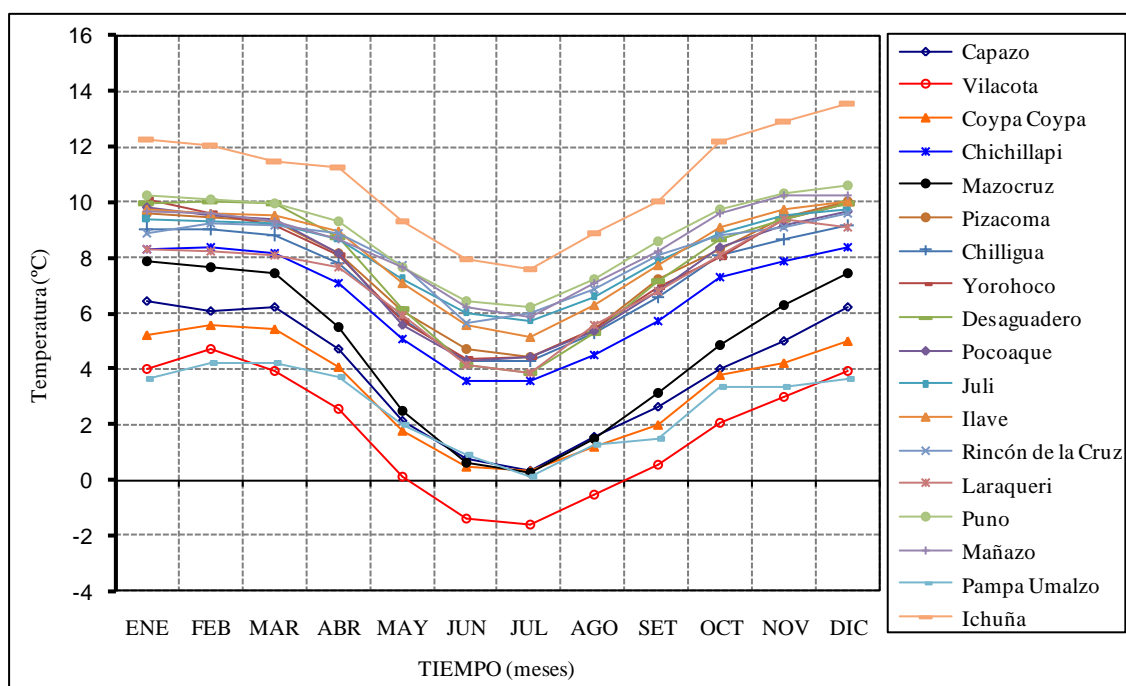
Cuadro N° 3.7
Parámetros de la Ecuación de Correlación Temperatura Media Mensual – Altitud

Coeficiente	Meses												Promedio Anual
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
a	39.4913	37.1659	36.5578	37.8746	38.2749	35.2342	37.1905	38.1440	42.9863	42.9218	44.7431	42.8522	39.4467
b	-0.0077	-0.0071	-0.0070	-0.0076	-0.0082	-0.0078	-0.0083	-0.0083	-0.0092	-0.0088	-0.0091	-0.0085	-0.0081
R ² (%)	78.91	81.70	80.14	76.51	70.11	64.61	68.94	69.04	76.95	74.55	78.89	77.58	77.26

Cuadro N° 3.8
Temperatura Media Mensual (°C) – Promedio Multimensual
Estaciones de la Cuenca del río Ilave y Cuencas Vecinas

ESTACION	ALTITUD (msnm)	MESES												PROM ANUAL
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
Capazo	4530.00	6.4	6.1	6.2	4.8	2.1	0.8	0.3	1.6	2.6	4.0	5.0	6.2	3.8
Vilacota	4390.00	4.0	4.7	4.0	2.6	0.1	-1.4	-1.6	-0.6	0.6	2.1	3.0	3.9	1.8
Coypa Coypa	4450.00	5.2	5.6	5.4	4.1	1.8	0.5	0.3	1.2	2.0	3.8	4.2	5.0	3.3
Chichillapi	4050.00	8.3	8.4	8.2	7.1	5.1	3.6	3.6	4.5	5.7	7.3	7.9	8.4	6.5
Mazocruz	4003.00	7.9	7.7	7.4	5.5	2.5	0.6	0.2	1.5	3.2	4.8	6.3	7.4	4.6
Pizacoma	4060.00	9.6	9.4	9.3	8.2	6.1	4.7	4.4	5.4	7.2	8.3	9.5	10.0	7.7
Chilligua	3960.00	9.0	9.0	8.8	7.8	5.8	4.3	4.3	5.3	6.6	8.1	8.7	9.2	7.2
Yorohoco	3845.00	10.1	9.6	9.2	8.1	5.7	4.4	4.4	5.4	6.9	8.0	9.4	10.0	7.6
Desaguadero	3860.00	10.0	10.0	10.0	8.7	6.2	4.1	3.8	5.3	7.1	8.7	9.4	10.0	7.8
Pocochaque	3850.00	9.8	9.6	9.4	8.2	5.6	4.3	4.4	5.3	6.8	8.4	9.2	9.7	7.5
Juli	3812.00	9.4	9.3	9.3	8.7	7.2	6.0	5.7	6.6	7.8	8.9	9.5	9.8	8.2
Ilave	3880.00	9.8	9.6	9.5	8.9	7.1	5.6	5.1	6.3	7.8	9.1	9.8	10.0	8.2
Rincón de la Cruz	3835.00	8.9	9.3	9.2	8.9	7.8	5.7	6.0	6.9	8.1	8.8	9.1	9.6	8.2
Laraqueri	3900.00	8.3	8.2	8.1	7.7	6.0	4.2	3.9	5.6	6.8	8.1	9.4	9.1	7.1
Puno	3820.00	10.3	10.1	9.9	9.3	7.7	6.4	6.2	7.3	8.6	9.7	10.4	10.6	8.9
Mañazo	3920.00	9.7	9.6	9.3	8.7	7.7	6.2	5.9	7.1	8.3	9.6	10.2	10.2	8.5
Pampa Umalzo	4601.00	3.7	4.2	4.2	3.7	2.0	0.9	0.1	1.3	1.5	3.3	3.3	3.6	2.7
Ichuña	3800.00	12.3	12.1	11.5	11.3	9.3	7.9	7.6	8.9	10.1	12.2	12.9	13.5	10.8

Figura N° 3.11
Variación Mensual de la Temperatura Media (°C) – Promedio Multimensual
Estaciones de la Cuenca del río Ilave y Cuencas Vecinas

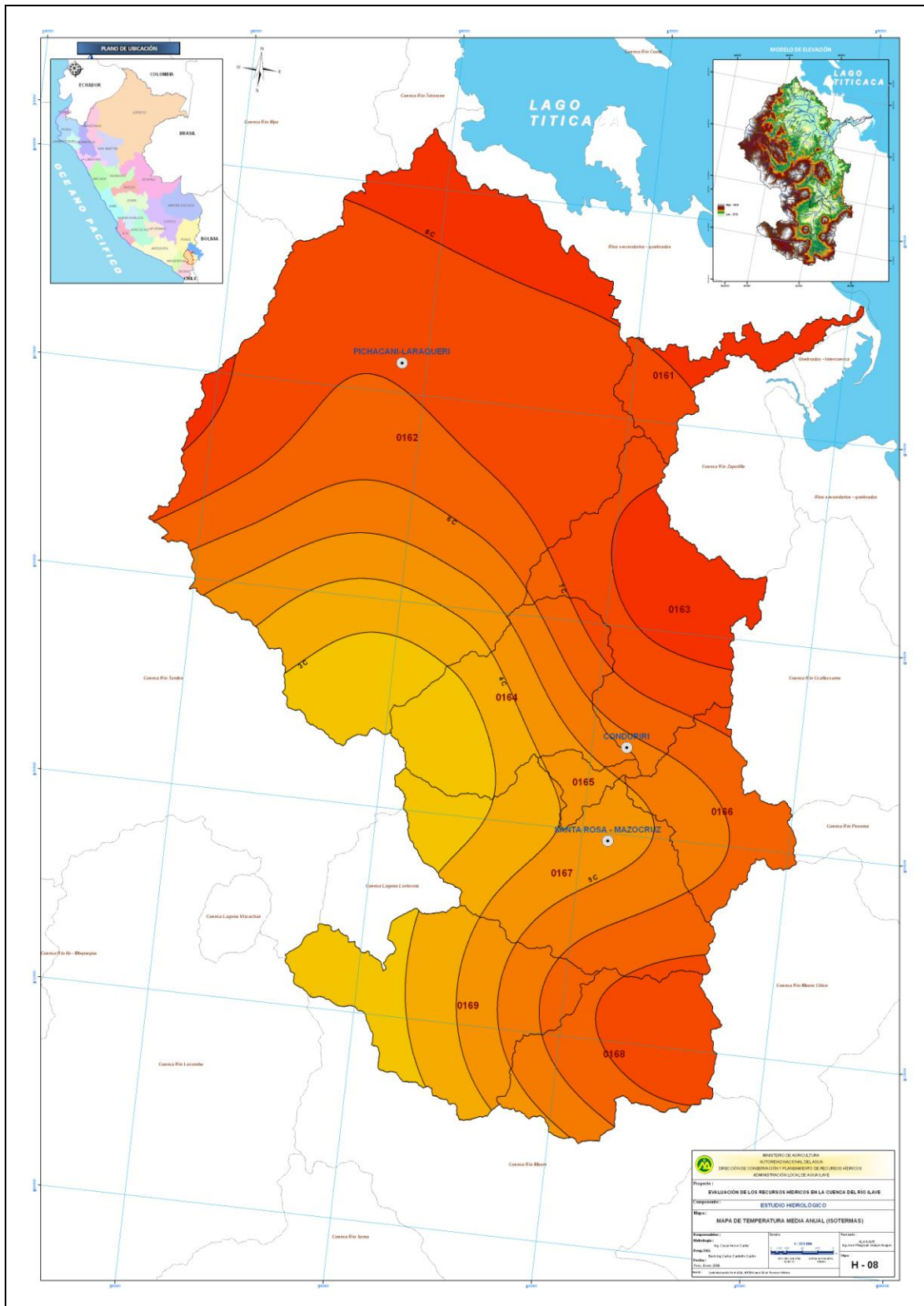


En la Figura N° 3.12 se ha trazado las isotermas, donde se presenta en forma gráfica la distribución espacial de temperatura media anual en la región de la cuenca del río Ilave. Se observa que la temperatura media en la cuenca varía de 3°C (zona sur) a 8°C (zona norte). Los valores más altos se registran en el entorno del lago Titicaca, en la parte baja y norte de la región. Esta particularidad es a consecuencia de la alta radiación, vientos generalmente bajos, originan una intensa insolación, favoreciendo el ascenso de la temperatura en la parte baja de la cuenca.

Además se puede observar en el Cuadro N° 3.8, la variación de la temperatura media anual, que la zona más fría de la cuenca es la parte de Coypa Coypa que registra una temperatura media anual de 3.3°C, seguido de Mazocruz con 4.6°C. El gradiente térmico para la temperatura media de la región corresponde a 0.86°C por cada 100 m de desnivel.

Por el contrario las regiones más cálidas de la cuenca Ilave se encuentran en los sectores de Puno con 8.9°C, Rincón de la Cruz e Ilave con 8.2°C; lugares que están cerca al lago Titicaca, lo que demuestra la gran capacidad de almacenamiento de energía y posterior efecto de regulación termal.

Figura N° 3.12
Distribución Espacial de la Temperatura Media Anual (°C) - Isothermas
Cuenca del río Ilave



B.- Régimen de Temperaturas Máximas

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

Dentro de la cuenca del río Ilave, las zonas más cálidas se presentan en los sectores de Laraqueri y Mazocruz con 15.7°C y Chilligua con 15.2°C de temperatura máxima media. Igual caso sucede en las zonas cercanas al lago Titicaca según como se puede apreciar en los valores del Cuadro N° 3.10 y en forma grafica en la Figura N° 3.13.

Al igual que las temperaturas medias, debido a la carencia de estadísticas de temperaturas máximas, los valores de temperaturas máximas de las estaciones pintadas en color canela (ver Cuadro N° 3.10) han sido estimados mediante un análisis de regresión lineal de los datos de las estaciones con registros existentes, relacionándolo con la altitud de ubicación de la estación meteorológica respectiva. En el Cuadro N° 3.9 se presenta los parámetros de la ecuación de correlación Temperatura Máxima Media – Altitud, en forma mensual y promedio anual.

Ecuación de relación: $T_{m\acute{a}x} = a + bH$, donde H es la Altitud en msnm.

En la Figura N° 3.13 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 la región.

El gradiente térmico para la temperatura máxima promedio de la región corresponde a 0.51°C por cada 100 m de desnivel.

En la Figura N° 3.14 se ha trazado las isotermas de temperatura máxima media anual, apreciándose la variación y localización de las zonas más cálidas dentro de la cuenca. Se observa que la temperatura máxima media en la cuenca varía de 12.5°C (zona sur) a 17.5°C (zona noroeste).

Cuadro N° 3.9

Parámetros de la Ecuación de Correlación Temperatura Máxima Media Mensual-Altitud

Coeficiente	Meses												Promedio Anual
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
a	37.5836	35.4490	33.2027	33.3463	35.6060	31.3343	32.9795	33.4220	37.0025	31.9013	34.8109	33.8860	34.1582
b	-0.0057	-0.0052	-0.0046	-0.0046	-0.0052	-0.0043	-0.0048	-0.0048	-0.0055	-0.0039	-0.0045	-0.0044	-0.0048
R ² (%)	57.24	59.38	52.37	44.60	50.00	35.46	48.90	43.40	45.41	27.06	28.49	32.10	44.09

Cuadro N° 3.10
Temperatura Máxima Media Mensual (°C) – Promedio Multimensual
Estaciones de la Cuenca del río Ilave y Cuencas Vecinas

ESTACION	ALTITUD (msnm)	MESES												PROM ANUAL
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
Capazo	4530.00	13.0	12.7	13.3	13.4	12.5	12.5	11.7	12.6	13.3	15.0	15.8	15.7	13.5
Vilacota	4390.00	12.0	11.9	12.0	12.5	11.6	11.4	10.6	11.4	12.3	13.8	14.2	14.0	12.3
Coypa Coypa	4450.00	12.2	12.3	12.7	12.9	12.5	12.2	11.6	12.1	12.5	14.5	14.8	14.3	12.9
Chichillapi	4050.00	14.5	14.4	14.6	14.7	14.5	13.9	13.5	14.0	14.7	16.1	16.6	16.1	14.8
Mazocruz	4003.00	15.2	15.0	15.3	15.8	15.3	14.4	14.3	15.3	16.1	17.4	17.8	16.8	15.7
Pizacoma	4060.00	16.2	16.1	16.3	16.6	16.4	15.7	15.3	15.9	17.3	18.0	18.7	17.7	16.7
Chilligua	3960.00	15.0	14.9	15.0	15.1	15.0	14.3	14.0	14.4	15.2	16.5	17.0	16.5	15.2
Yorohoco	3845.00	16.5	16.4	15.6	16.4	16.5	15.8	15.7	16.1	16.9	17.8	19.1	18.2	16.8
Desaguadero	3860.00	15.1	15.0	15.2	15.0	14.3	13.2	12.8	13.7	14.5	15.7	16.2	15.8	14.7
Pocoaque	3850.00	15.5	15.5	15.4	15.2	14.6	13.5	13.3	14.2	14.9	16.3	16.8	16.5	15.1
Juli	3812.00	13.8	13.9	13.9	14.0	13.5	12.7	12.4	13.0	13.7	14.5	14.8	14.5	13.7
Ilave	3880.00	14.8	14.6	14.6	15.0	14.6	13.7	13.5	14.2	15.0	16.0	16.4	15.9	14.9
Rincón de la Cruz	3835.00	14.3	14.6	14.3	15.1	14.8	13.4	13.6	14.1	14.3	15.2	15.0	15.1	14.5
Laraqueri	3900.00	14.6	14.8	14.9	15.4	15.3	15.1	14.8	15.4	16.2	17.0	17.6	17.0	15.7
Puno	3820.00	15.1	14.9	14.8	14.9	14.4	13.7	13.7	14.4	15.3	16.0	16.4	16.0	15.0
Mañazo	3920.00	15.2	15.1	14.9	15.4	15.7	15.2	14.8	15.6	16.5	17.1	17.5	16.7	15.8
Pampa Umalzo	4601.00	10.0	11.1	11.1	11.9	11.1	10.8	10.2	11.1	10.4	13.5	12.6	11.8	11.3
Ichuña	3800.00	19.0	18.6	18.5	19.8	19.1	18.8	17.1	18.8	19.5	21.7	22.2	21.3	19.5

Figura N° 3.13
Variación Mensual de la Temperatura Máxima Media (°C) – Promedio Multimensual
Estaciones de la Cuenca del río Ilave y Cuencas Vecinas

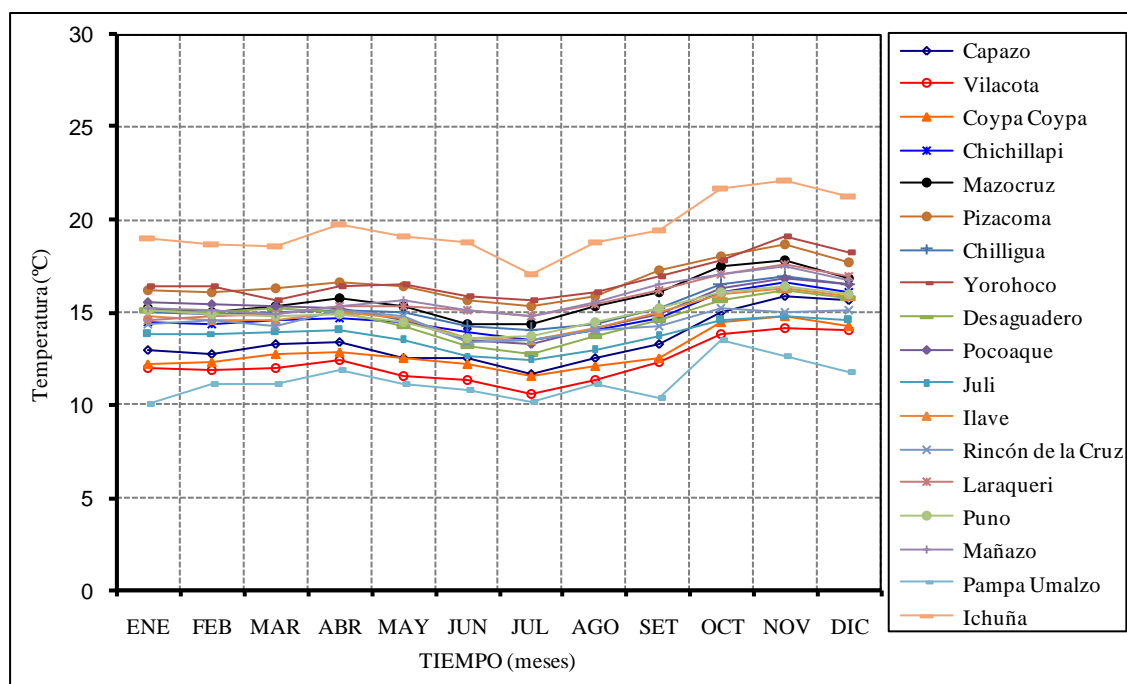
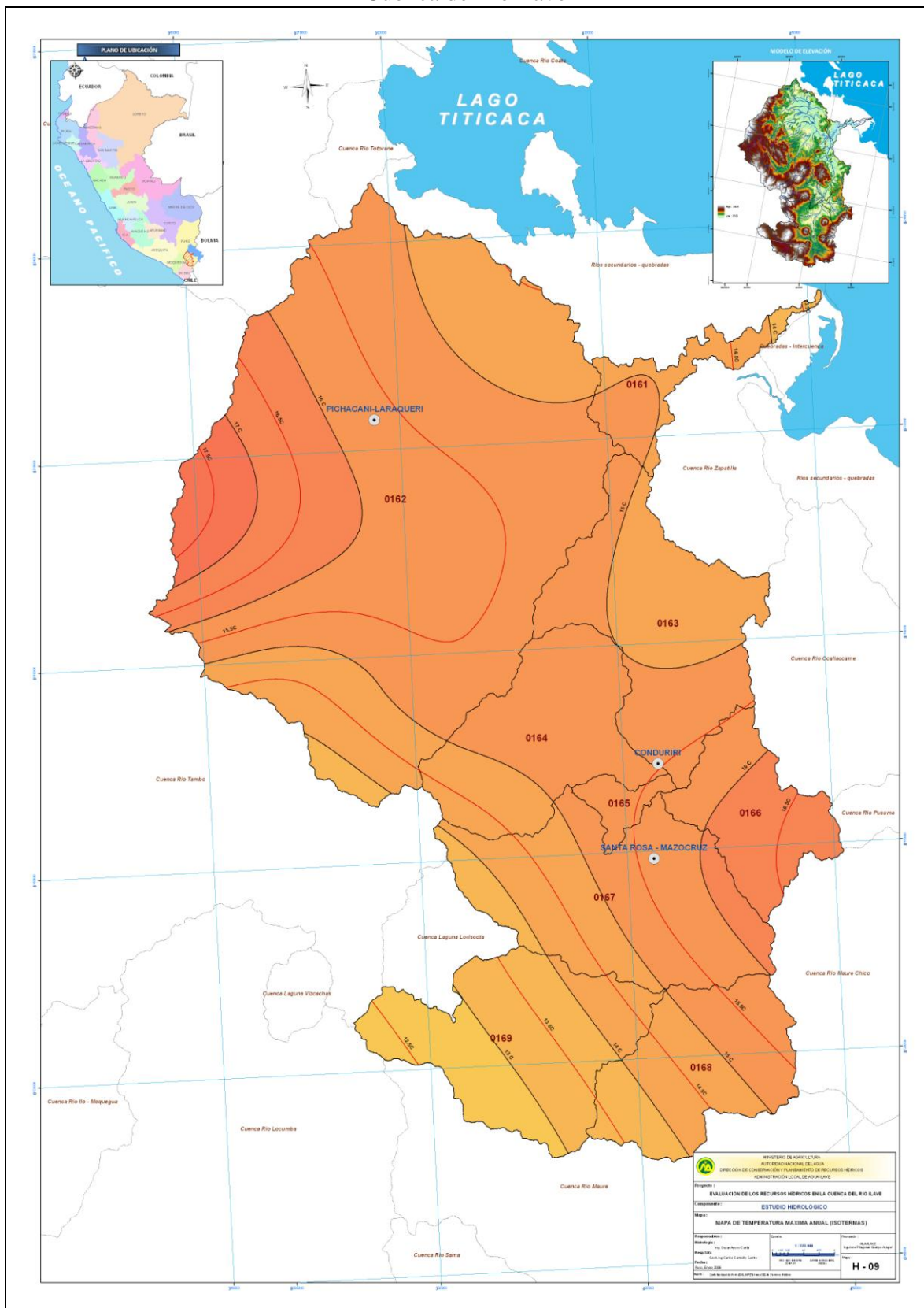


Figura N° 3.14
Distribución Espacial de la Temperatura Máxima Media Anual (°C) - Isotermas
Cuenca del río Ilave



C.- Régimen de Temperaturas Mínimas

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

En el caso de las temperaturas mínimas también se ha realizado un análisis de regresión lineal para los datos existentes, y consiguientemente se ha estimado los valores de temperaturas mínimas para las estaciones sin registro.

En el Cuadro N° 3.11 se presenta los parámetros de la ecuación de relación temperatura mínima media - altitud de las estaciones respectivas.

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

Cuadro N° 3.11

Parámetros de la Ecuación de Correlación Temperatura Mínima Media Mensual-Altitud

Coeficiente	Meses												Promedio Anual
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
a	41.2148	38.7327	39.8918	41.9035	40.8525	39.0133	41.4028	42.4979	48.5777	53.5064	54.3264	51.2033	44.5898
b	-0.0096	-0.0090	-0.0094	-0.0105	-0.0111	-0.0112	-0.0118	-0.0118	-0.0128	-0.0137	-0.0135	-0.0124	-0.0114
R ² (%)	77.65	80.26	76.30	67.16	53.57	50.03	53.14	54.41	61.87	68.11	75.24	78.45	67.27

En la parte alta de la cuenca del río Ilave se registra las temperaturas más bajas, específicamente en las zonas de Mazocruz (-6.6°C) y Coypa Coypa (-6.3°C), y los meses de mayor friaje dentro de la región es durante los meses de Mayo a Setiembre en la parte alta y Junio a Agosto en la parte baja de la cuenca, en el mes de Junio se registra las temperaturas más bajas en toda la región. Ver Cuadro N° 3.12 y en forma grafica en la Figura N° 3.15.

En la Figura N° 3.16 se ha trazado las isotermas de la temperatura mínima media anual, se verifica la distribución espacial de las temperaturas mínimas acentuándose más en las partes altas de la cuenca, con una variación de -10°C (zona alta - oeste) a 2°C (zona norte).

De las temperaturas mínimas registradas en la región, se deduce un gradiente de temperatura de -1.37°C por cada 100 m de desnivel.

D.- Variación de Temperaturas en las Estaciones Meteorológicas de la Región

En todas las estaciones de la cuenca y cuencas vecinas, el régimen de temperaturas medias, máximas y mínimas varían uniformemente durante todo el año. Por consiguiente la variación térmica en la cuenca debido a la poca diferencia de altitud entre la cota más alta y la más baja, tiene similares condiciones en cualquier punto localizado dentro de la cuenca.

En el Cuadro N° 3.13 y Figura N° 3.17, se muestran la distribución de temperaturas media , máxima y mínima media (promedio multimensual 1960-2007), para las estaciones representativas de la región. Ver Anexo 1 (volumen II) las figuras de la variación de las temperaturas para otras estaciones.

Cuadro N° 3.12
Temperatura Mínima Media Mensual (°C) – Promedio Multimensual
Estaciones de la Cuenca del río Ilave y Cuencas Vecinas

ESTACION	ALTITUD (msnm)	MESES												PROM ANUAL
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
Capazo	4530.00	-0.2	-0.6	-0.9	-3.9	-8.3	-11.0	-11.1	-9.5	-8.1	-7.0	-5.9	-3.3	-5.8
Vilacota	4390.00	-4.1	-2.4	-4.1	-7.3	-11.4	-14.2	-13.9	-12.5	-11.1	-9.7	-8.2	-6.2	-8.8
Coypa Coypa	4450.00	-1.5	-1.3	-1.9	-4.8	-8.5	-10.8	-11.1	-10.0	-8.4	-7.5	-5.7	-4.0	-6.3
Chichillapi	4050.00	2.3	2.3	1.8	-0.6	-4.1	-6.3	-6.4	-5.3	-3.3	-2.0	-0.3	1.0	-1.7
Mazocruz	4003.00	0.5	0.3	-0.5	-4.8	-10.4	-13.2	-13.9	-12.5	-9.9	-7.9	-5.3	-2.0	-6.6
Pizacoma	4060.00	3.0	2.8	2.2	-0.3	-4.3	-6.3	-6.5	-5.1	-2.9	-1.5	0.2	2.4	-1.4
Chilligua	3960.00	3.2	3.1	2.7	0.3	-3.1	-5.3	-5.3	-4.2	-2.1	-0.7	0.9	2.1	-0.7
Yorohoco	3845.00	3.7	2.9	2.7	-0.3	-5.1	-7.2	-6.8	-5.3	-3.1	-1.8	-0.3	1.8	-1.6
Desaguadero	3860.00	4.8	4.9	4.7	2.3	-2.0	-4.9	-5.2	-3.3	-0.4	1.5	2.5	4.1	0.8
Pocoaque	3850.00	4.1	3.6	3.4	1.1	-3.4	-5.3	-4.6	-3.5	-1.3	0.4	1.5	2.8	-0.1
Juli	3812.00	4.8	4.7	4.6	3.3	0.9	-0.7	-1.0	0.1	1.9	3.1	4.1	4.9	2.6
Ilave	3880.00	4.6	4.6	4.4	2.8	-0.5	-2.6	-3.2	-1.7	0.5	2.1	3.1	4.1	1.5
Rincón de la Cruz	3835.00	3.4	3.9	4.1	2.6	0.7	-2.1	-1.5	-0.3	1.9	2.4	3.1	4.1	1.9
Laraqueri	3900.00	1.9	1.6	1.2	-0.1	-3.4	-6.8	-7.1	-4.3	-2.7	-0.8	1.1	1.1	-1.5
Puno	3820.00	5.4	5.3	5.0	3.6	0.9	-0.8	-1.3	0.0	1.8	3.3	4.2	5.0	2.7
Mañazo	3920.00	4.2	4.2	3.7	2.0	-0.3	-2.7	-3.0	-1.4	0.0	2.1	2.9	3.8	1.3
Pampa Umalzo	4601.00	-2.7	-2.7	-2.7	-4.4	-7.2	-9.0	-9.9	-8.5	-7.4	-6.9	-6.0	-4.5	-6.0
Ichuña	3800.00	5.6	5.5	4.6	2.8	-0.5	-2.9	-1.9	-1.0	0.6	2.6	3.6	5.8	2.1

Figura N° 3.15
Variación Mensual de la Temperatura Mínima Media (°C) – Promedio Multimensual
Estaciones de la Cuenca del río Ilave y Cuencas Vecinas

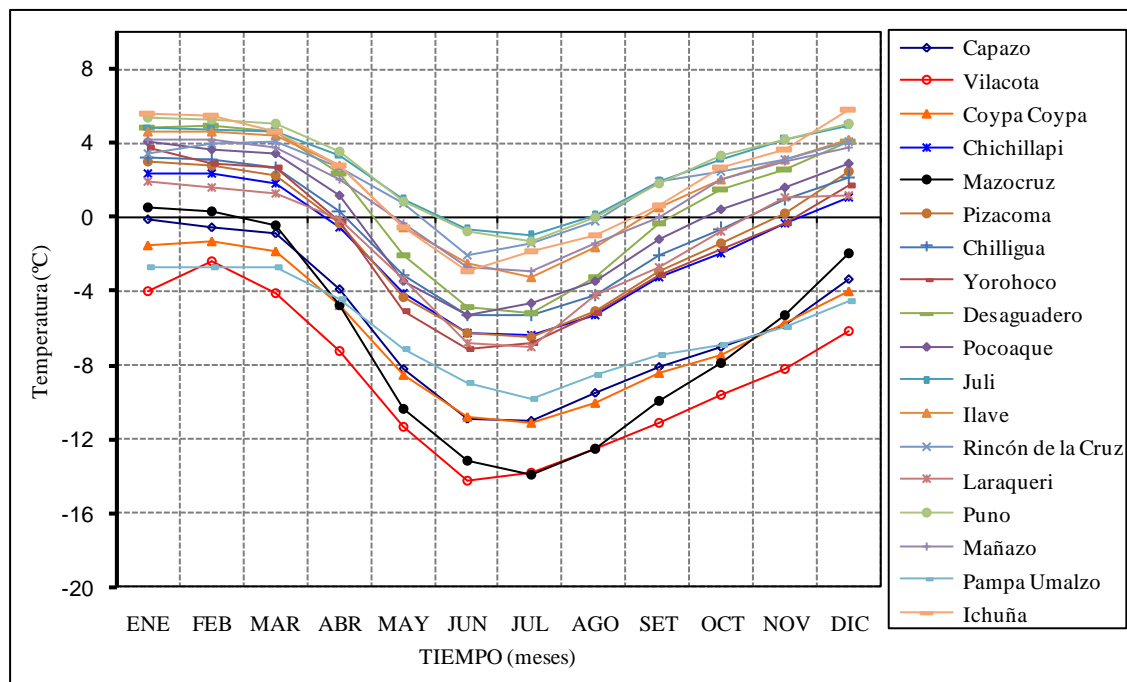
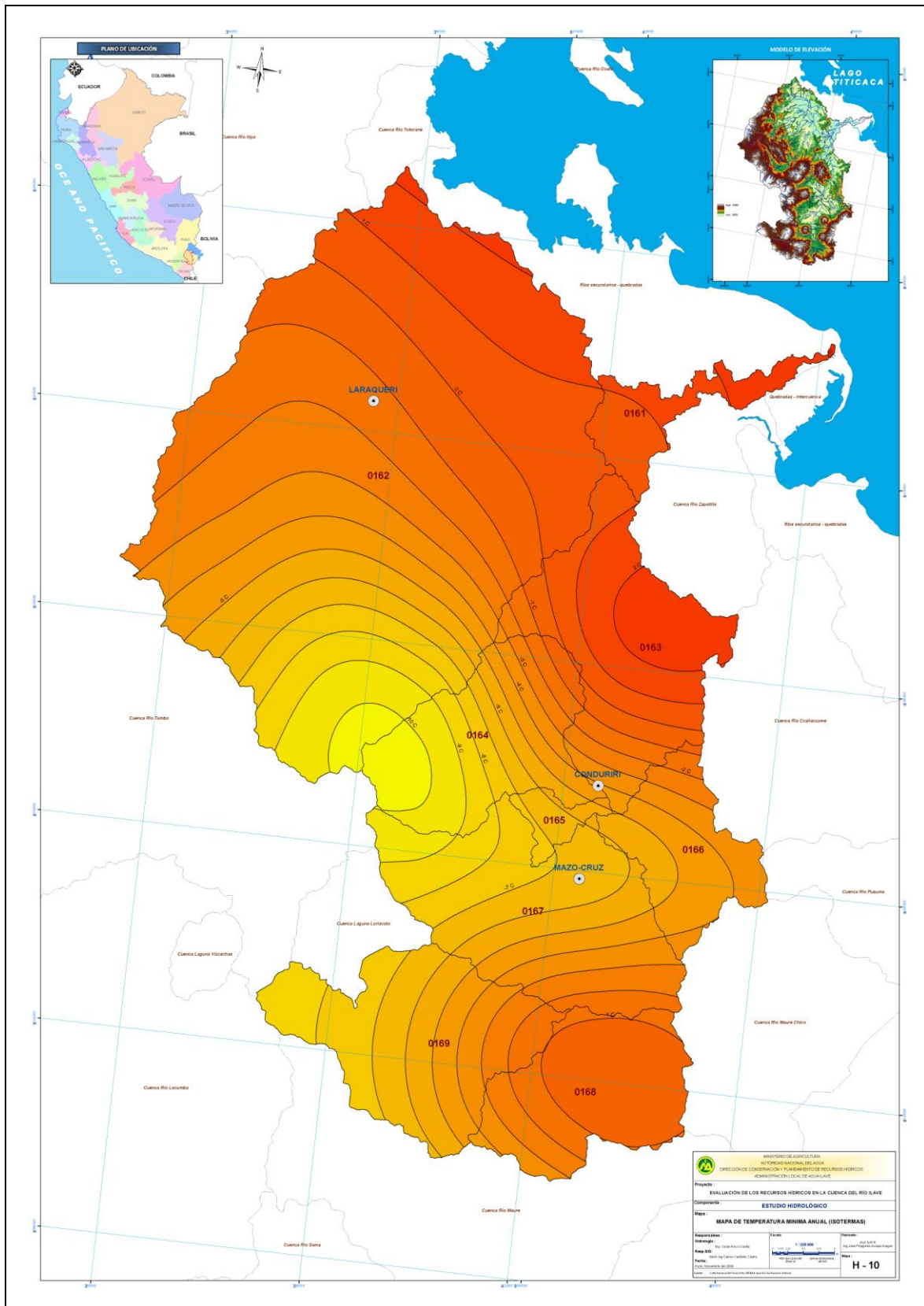


Figura N° 3.16
Distribución Espacial de la Temperatura Mínima Media Anual (°C) - Isotermas
Cuenca del río Ilave

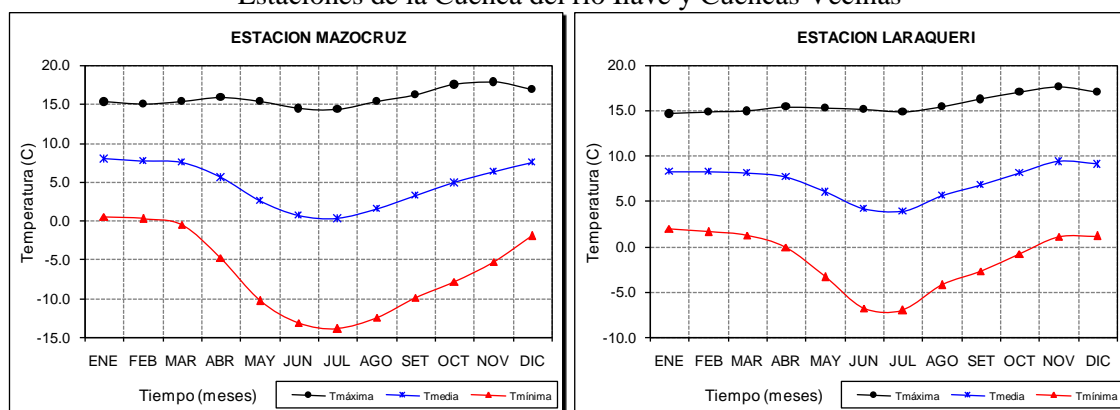


Cuadro N° 3.13
Temperaturas Media, Máxima y Mínima media Mensual (°C) – Promedio Multimensual
Estaciones de la Cuenca del río Ilave y Cuencas Vecinas

ESTACION	ALTITUD (msnm)	VARIABLES	MESES												PROM ANUAL
			ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
Capazo	4530.00	Tmedia	6.4	6.1	6.2	4.8	2.1	0.8	0.3	1.6	2.6	4.0	5.0	6.2	3.8
		Tmáxima	13.0	12.7	13.3	13.4	12.5	12.5	11.7	12.6	13.3	15.0	15.8	15.7	13.5
		Tmínima	-0.2	-0.6	-0.9	-3.9	-8.3	-11.0	-11.1	-9.5	-8.1	-7.0	-5.9	-3.3	-5.8
Vilacota	4390.00	Tmedia	4.0	4.7	4.0	2.6	0.1	-1.4	-1.6	-0.6	0.6	2.1	3.0	3.9	1.8
		Tmáxima	12.0	11.9	12.0	12.5	11.6	11.4	10.6	11.4	12.3	13.8	14.2	14.0	12.3
		Tmínima	-4.1	-2.4	-4.1	-7.3	-11.4	-14.2	-13.9	-12.5	-11.1	-9.7	-8.2	-6.2	-8.8
Coypa Coypa	4450.00	Tmedia	5.2	5.6	5.4	4.1	1.8	0.5	0.3	1.2	2.0	3.8	4.2	5.0	3.3
		Tmáxima	12.2	12.3	12.7	12.9	12.5	12.2	11.6	12.1	12.5	14.5	14.8	14.3	12.9
		Tmínima	-1.5	-1.3	-1.9	-4.8	-8.5	-10.8	-11.1	-10.0	-8.4	-7.5	-5.7	-4.0	-6.3
Chichillapi	4050.00	Tmedia	8.3	8.4	8.2	7.1	5.1	3.6	3.6	4.5	5.7	7.3	7.9	8.4	6.5
		Tmáxima	14.5	14.4	14.6	14.7	14.5	13.9	13.5	14.0	14.7	16.1	16.6	16.1	14.8
		Tmínima	2.3	2.3	1.8	-0.6	-4.1	-6.3	-6.4	-5.3	-3.3	-2.0	-0.3	1.0	-1.7
Mazocruz	4003.00	Tmedia	7.9	7.7	7.4	5.5	2.5	0.6	0.2	1.5	3.2	4.8	6.3	7.4	4.6
		Tmáxima	15.2	15.0	15.3	15.8	15.3	14.4	14.3	15.3	16.1	17.4	17.8	16.8	15.7
		Tmínima	0.5	0.3	-0.5	-4.8	-10.4	-13.2	-13.9	-12.5	-9.9	-7.9	-5.3	-2.0	-6.8
Pizacoma	4060.00	Tmedia	9.6	9.4	9.3	8.2	6.1	4.7	4.4	5.4	7.2	8.3	9.5	10.0	7.7
		Tmáxima	16.2	16.1	16.3	16.6	16.4	15.7	15.3	15.9	17.3	18.0	18.7	17.7	16.7
		Tmínima	3.0	2.8	2.2	-0.3	-4.3	-6.3	-6.5	-5.1	-2.9	-1.5	0.2	2.4	-1.4
Chilligua	3960.00	Tmedia	9.0	9.0	8.8	7.8	5.8	4.3	4.3	5.3	6.6	8.1	8.7	9.2	7.2
		Tmáxima	15.0	14.9	15.0	15.1	15.0	14.3	14.0	14.4	15.2	16.5	17.0	16.5	15.2
		Tmínima	3.2	3.1	2.7	0.3	-3.1	-5.3	-5.3	-4.2	-2.1	-0.7	0.9	2.1	-0.7
Yorohoco	3845.00	Tmedia	10.1	9.6	9.2	8.1	5.7	4.4	4.4	5.4	6.9	8.0	9.4	10.0	7.6
		Tmáxima	16.5	16.4	15.6	16.4	16.5	15.8	15.7	16.1	16.9	17.8	19.1	18.2	16.8
		Tmínima	3.7	2.9	2.7	-0.3	-5.1	-7.2	-6.8	-5.3	-3.1	-1.8	-0.3	1.8	-1.6
Desaguadero	3860.00	Tmedia	10.0	10.0	10.0	8.7	6.2	4.1	3.8	5.3	7.1	8.7	9.4	10.0	7.8
		Tmáxima	15.1	15.0	15.2	15.0	14.3	13.2	12.8	13.7	14.5	15.7	16.2	15.8	14.7
		Tmínima	4.8	4.9	4.7	2.3	-2.0	-4.9	-5.2	-3.3	-0.4	1.5	2.5	4.1	0.8
Pocochaque	3850.00	Tmedia	9.8	9.6	9.4	8.2	5.6	4.3	4.4	5.3	6.8	8.4	9.2	9.7	7.5
		Tmáxima	15.5	15.5	15.4	15.2	14.6	13.5	13.3	14.2	14.9	16.3	16.8	16.5	15.1
		Tmínima	4.1	3.6	3.4	1.1	-3.4	-5.3	-4.6	-3.5	-1.3	0.4	1.5	2.8	-0.1
Juli	3812.00	Tmedia	9.4	9.3	9.3	8.7	7.2	6.0	5.7	6.6	7.8	8.9	9.5	9.8	8.2
		Tmáxima	13.8	13.9	13.9	14.0	13.5	12.7	12.4	13.0	13.7	14.5	14.8	14.5	13.7
		Tmínima	4.8	4.7	4.6	3.3	0.9	-0.7	-1.0	0.1	1.9	3.1	4.1	4.9	2.6
Ilave	3880.00	Tmedia	9.8	9.6	9.5	8.9	7.1	5.6	5.1	6.3	7.8	9.1	9.8	10.0	8.2
		Tmáxima	14.8	14.6	14.6	15.0	14.6	13.7	13.5	14.2	15.0	16.0	16.4	15.9	14.9
		Tmínima	4.6	4.6	4.4	2.8	-0.5	-2.6	-3.2	-1.7	0.5	2.1	3.1	4.1	1.5
Rincón de la Cruz	3835.00	Tmedia	8.9	9.3	9.2	8.9	7.8	5.7	6.0	6.9	8.1	8.8	9.1	9.6	8.2
		Tmáxima	14.3	14.6	14.3	15.1	14.8	13.4	13.6	14.1	14.3	15.2	15.0	15.1	14.5
		Tmínima	3.4	3.9	4.1	2.6	0.7	-2.1	-1.5	-0.3	1.9	2.4	3.1	4.1	1.9
Laraqueri	3900.00	Tmedia	8.3	8.2	8.1	7.7	6.0	4.2	3.9	5.6	6.8	8.1	9.4	9.1	7.1
		Tmáxima	14.6	14.8	14.9	15.4	15.3	15.1	14.8	15.4	16.2	17.0	17.6	17.0	15.7
		Tmínima	1.9	1.6	1.2	-0.1	-3.4	-6.8	-7.1	-4.3	-2.7	-0.8	1.1	1.1	-1.5
Puno	3820.00	Tmedia	10.3	10.1	9.9	9.3	7.7	6.4	6.2	7.3	8.6	9.7	10.4	10.6	8.9
		Tmáxima	15.1	14.9	14.8	14.9	14.4	13.7	13.7	14.4	15.3	16.0	16.4	16.0	15.0
		Tmínima	5.4	5.3	5.0	3.6	0.9	-0.8	-1.3	0.0	1.8	3.3	4.2	5.0	2.7
Mañazo	3920.00	Tmedia	9.7	9.6	9.3	8.7	7.7	6.2	5.9	7.1	8.3	9.6	10.2	10.2	8.5
		Tmáxima	15.2	15.1	14.9	15.4	15.7	15.2	14.8	15.6	16.5	17.1	17.5	16.7	15.8
		Tmínima	4.2	4.2	3.7	2.0	-0.3	-2.7	-3.0	-1.4	0.0	2.1	2.9	3.8	1.3
Pampa Umalzo	4601.00	Tmedia	3.7	4.2	4.2	3.7	2.0	0.9	0.1	1.3	1.5	3.3	3.3	3.6	2.7
		Tmáxima	10.0	11.1	11.1	11.9	11.1	10.8	10.2	11.1	10.4	13.5	12.6	11.8	11.3
		Tmínima	-2.7	-2.7	-2.7	-4.4	-7.2	-9.0	-9.9	-8.5	-7.4	-6.9	-6.0	-4.5	-6.0
Ichuña	3800.00	Tmedia	12.3	12.1	11.5	11.3	9.3	7.9	7.6	8.9	10.1	12.2	12.9	13.5	10.8
		Tmáxima	19.0	18.6	18.5	19.8	19.1	18.8	17.1	18.8	19.5	21.7	22.2	21.3	19.5
		Tmínima	5.6	5.5	4.6	2.8	-0.5	-2.9	-1.9	-1.0	0.6	2.6	3.6	5.8	2.1

Figura N° 3.17

Variación Mensual de Temperaturas Media, Máxima y Mínima–Promedio multimensual
Estaciones de la Cuenca del río Ilave y Cuencas Vecinas



3.5.3.- Humedad Relativa

La humedad relativa es una expresión de lo máximo posible en términos relativos. La humedad relativa no dice nada de cuanto vapor hay en la masa, dice cuanto está ocupado de la masa por vapor. La temperatura es la que permite saber cuánto vapor de agua hay en la atmósfera; la expresión de la humedad relativa está dada por la tensión de vapor:

$$HR = [Ed/Ea] \times 100$$

Donde:

HR	=	humedad relativa (%).
Ed	=	tensión de vapor actual en milibares (mb).
Ea	=	tensión de vapor a saturación en milibares (mb).

En forma similar que las temperaturas, se ha realizado el análisis de regresión lineal para estimar valores de humedad relativa para las estaciones sin registro.

En el Cuadro N° 3.14 se presenta los parámetros de la ecuación de relación humedad relativa – altitud.

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

Cuadro N° 3.14

Parámetros de la Ecuación de Correlación Humedad Relativa Media Mensual-Altitud

Coeficiente	Meses												Promedio Anual
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
a	48.7708	26.0039	26.9157	18.2786	-10.3901	-2.2384	2.7507	7.0373	42.0290	-5.7417	17.5370	39.8263	16.5403
b	0.0038	0.0095	0.0095	0.0096	0.0153	0.0125	0.0112	0.0105	0.0019	0.0132	0.0081	0.0038	0.0093
R ² (%)	3.96	21.41	27.15	11.20	15.44	12.62	8.23	10.36	0.59	15.74	10.94	4.04	13.65

Los datos que aparecen en color canela en el Cuadro N° 3.15 son valores estimados utilizando la ecuación de relación humedad relativa – altitud. En la Figura N° 3.18 se aprecia la variación estacional de la humedad relativa, registrándose en la estación de Coypa Coypa (marzo 69%), Mazocruz (febrero 67%) e llave (enero a marzo 67%) valores más altos, y los valores más bajos se registran en la estación de Laraqueri (julio 46%).

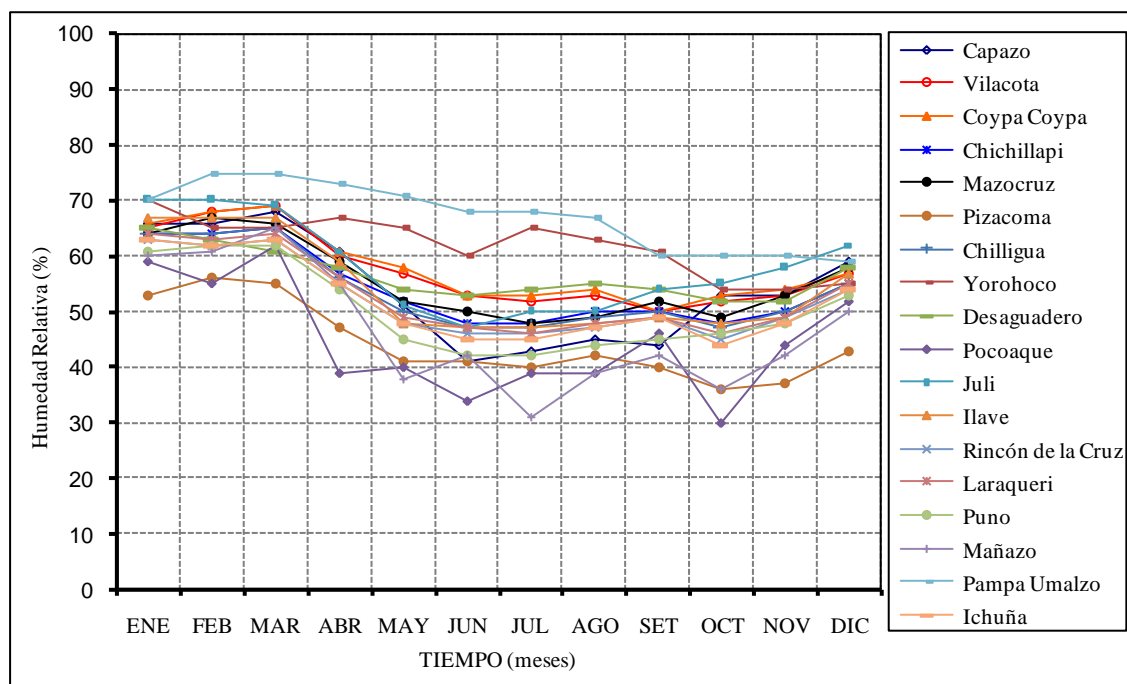
En base a la información disponible de once estaciones meteorológicas ubicadas en la cuenca llave (6) y cuencas vecinas (12) se ha realizado el análisis de la distribución espacial de este parámetro, tal como se muestra en la Figura N° 3.19.

La variación estacional y espacial es similar a la precipitación, por lo que registra los valores más altos durante el verano. También se verifica que la variación estacional de la humedad relativa en todas las estaciones es uniforme, excepto en las estaciones de Yorohoco y Pampa Umalzo de las cuencas vecinas, que se divergen en los meses de abril a setiembre. En las estaciones ubicadas en la parte alta de la cuenca y parte circunlacustre del lago Titicaca registran mayores valores con respecto a las estaciones ubicadas en la cuenca media.

Cuadro N° 3.15
 Humedad Relativa Media Mensual (%) – Promedio Multimensual
 Estaciones de la Cuenca del río Ilave y Cuencas Vecinas

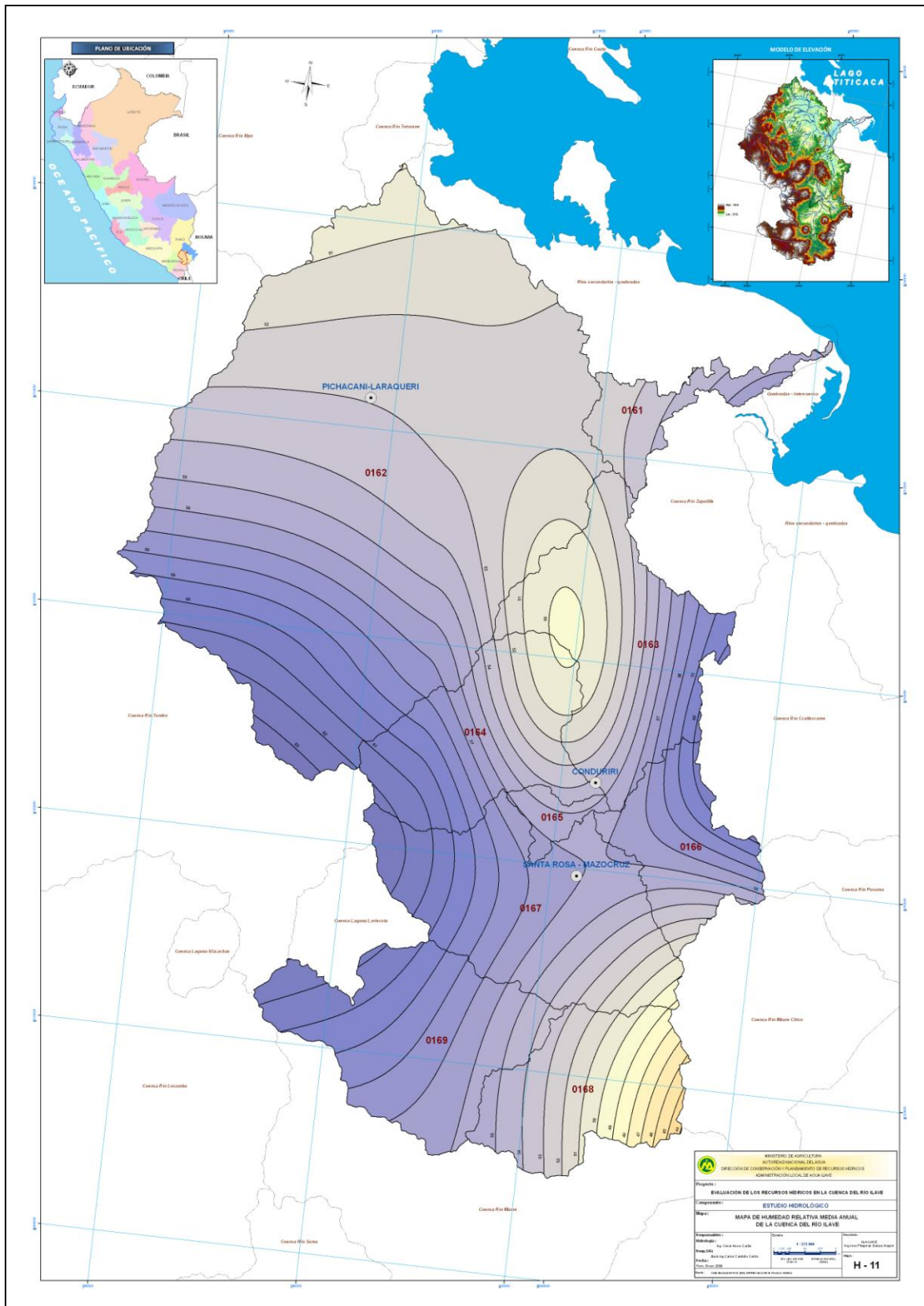
ESTACION	ALTITUD (msnm)	MESES												PROM ANUAL
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
Capazo	4530.00	66.0	66.0	68.0	61.0	51.0	41.0	43.0	45.0	44.0	53.0	53.0	59.0	54.0
Vilacota	4390.00	65.0	68.0	69.0	60.0	57.0	53.0	52.0	53.0	50.0	52.0	53.0	57.0	57.0
Coypa Coypa	4450.00	66.0	68.0	69.0	61.0	58.0	53.0	53.0	54.0	50.0	53.0	54.0	57.0	58.0
Chichillapi	4050.00	64.0	64.0	65.0	57.0	52.0	48.0	48.0	50.0	50.0	48.0	50.0	55.0	54.0
Mazocruz	4003.00	64.0	67.0	66.0	59.0	52.0	50.0	48.0	49.0	52.0	49.0	53.0	58.0	56.0
Pizacoma	4060.00	53.0	56.0	55.0	47.0	41.0	41.0	40.0	42.0	40.0	36.0	37.0	43.0	44.0
Chilligua	3960.00	64.0	64.0	65.0	56.0	50.0	47.0	47.0	49.0	50.0	47.0	50.0	55.0	54.0
Yorohoco	3845.00	70.0	65.0	65.0	67.0	65.0	60.0	65.0	63.0	61.0	54.0	54.0	55.0	62.0
Desaguadero	3860.00	65.0	63.0	61.0	58.0	54.0	53.0	54.0	55.0	54.0	52.0	52.0	58.0	57.0
Pocoaque	3850.00	59.0	55.0	62.0	39.0	40.0	34.0	39.0	39.0	46.0	30.0	44.0	52.0	45.0
Juli	3812.00	70.0	70.0	69.0	61.0	51.0	47.0	50.0	50.0	54.0	55.0	58.0	62.0	58.0
Ilave	3880.00	67.0	67.0	67.0	59.0	48.0	47.0	47.0	48.0	49.0	48.0	49.0	57.0	54.0
Rincón de la Cruz	3835.00	63.0	62.0	63.0	55.0	48.0	46.0	46.0	47.0	49.0	45.0	49.0	54.0	52.0
Laraqueri	3900.00	64.0	63.0	64.0	56.0	49.0	47.0	46.0	48.0	49.0	46.0	49.0	55.0	53.0
Puno	3820.00	61.0	62.0	62.0	54.0	45.0	42.0	42.0	44.0	45.0	46.0	48.0	53.0	50.0
Mañazo	3920.00	60.0	61.0	65.0	55.0	38.0	42.0	31.0	39.0	42.0	36.0	42.0	50.0	47.0
Pampa Umalzo	4601.00	70.0	75.0	75.0	73.0	71.0	68.0	68.0	67.0	60.0	60.0	60.0	59.0	67.0
Ichuña	3800.00	63.0	62.0	63.0	55.0	48.0	45.0	45.0	47.0	49.0	44.0	48.0	54.0	52.0

Figura N° 3.18
 Variación Mensual de la Humedad Relativa Media (%) – Promedio Multimensual
 Estaciones de la Cuenca del río Ilave y Cuencas Vecinas



En la Figura N° 3.19 se ha trazado las isóneas para describir la variación espacial de la humedad relativa media anual en la cuenca del río Ilave. En el Mapa N° H-11 (Ver Anexo 2, Volumen III) se puede ver a detalle y a mayor escala la distribución espacial de la humedad relativa media anual en la cuenca en estudio.

Figura N° 3.19
Distribución Espacial de la Humedad Relativa Media Anual (%) - Islóneas
Cuenca del río Ilave



3.5.4.- 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.

Cálculos 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 periodo es:

$$EV = Li - Lf + P + A - R$$

En donde:

- | | | |
|----|---|---|
| EV | = | Evaporación en el periodo. |
| Li | = | Lectura al inicio del periodo en el micrómetro. |
| Lf | = | Lectura al final del periodo en el micrómetro. |
| P | = | Precipitación en el periodo. |
| A | = | Abastecimiento de agua en el periodo. |
| R | = | Retiro de agua en el periodo. |

2) Lisímetros instalados en suelo libre de vegetación

También se puede conocer a partir de lisímetros instalados en suelo desnudo, 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.

En este caso, los registros disponibles de evaporación provienen de observaciones de Tanque de evaporación clase A.

De las 18 estaciones meteorológicas, solo 08 estaciones disponen el registro de evaporación total mensual y las 10 estaciones tienen escasa información, para el cual, se ha realizado el análisis de regresión lineal en base a la información disponible y se ha estimado los valores de evaporación en forma mensual para las estaciones sin información. En el Cuadro N° 3.16 se presenta los parámetros de la ecuación de relación evaporación – altitud.

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

Cuadro N° 3.16
Parámetros de la Ecuación de Correlación Evaporación Total Mensual-Altitud

Coeficiente	Meses												Promedio Anual
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
a	191.1758	116.5406	162.0595	167.0256	184.9590	118.3543	181.8556	349.7481	250.1109	230.8315	53.0818	169.9347	2175.6774
b	-0.0126	0.0029	-0.0072	-0.0108	-0.0149	-0.0016	-0.0161	-0.0536	-0.0235	-0.0112	0.0319	-0.0007	-0.1174
R ² (%)	4.14	0.20	1.31	2.48	6.78	0.10	7.28	58.29	8.27	2.56	21.61	0.02	4.26

Los datos que aparecen en color canela en el Cuadro N° 3.17 son valores estimados utilizando la ecuación de relación evaporación – altitud.

Observando la variación estacional de la evaporación en la región (Figura N° 3.20) y haciendo una comparación con la distribución de las temperaturas máximas descritas en la Figura N° 3.13, hay una relación directa entre estos dos parámetros. Los mayores valores de la evaporación media mensual se producen en los meses de octubre y noviembre.

Los mayores valores de la evaporación total anual en la región se producen en los sectores de Ilave (1900 mm), Mazocruz (1722.2 mm) y en las cercanías al lago Titicaca. Los valores más bajos se registran en la parte alta de la cuenca Ilave, tal es el caso de Coypa Coypa (1653.1mm) y Laraqueri (1600.3 mm).

En la Figura N° 3.21 se ha trazado las isolíneas de la distribución espacial de la evaporación regional en la cuenca del río Ilave.

En el Mapa N° H-12 (Ver Anexo 2, Volumen III) se muestra a detalle y a escala mayor las isolíneas de la distribución espacial de la evaporación total anual en la cuenca del río Ilave.

Cuadro N° 3.17
Evaporación Total Mensual (mm) – Promedio Multimensual
Estaciones de la Cuenca del río Ilave y Cuencas Vecinas

ESTACION	ALTITUD (msnm)	MESES												TOTAL ANUAL
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
Capazo	4530.00	141.4	137.2	130.9	119.9	123.3	116.0	115.2	110.9	154.4	185.2	205.0	170.9	1710.2
Vilacota	4390.00	135.9	129.3	130.5	119.6	119.5	111.3	111.2	114.4	146.9	181.7	193.1	166.9	1660.3
Coypa Coypa	4450.00	135.1	129.4	130.0	119.0	118.7	111.2	110.2	111.2	145.5	181.0	195.0	166.8	1653.1
Chichillapi	4050.00	140.1	128.3	132.9	123.3	124.6	111.9	116.7	132.7	154.9	185.5	182.3	167.1	1700.3
Mazocruz	4003.00	144.7	138.3	143.9	131.2	134.9	119.7	121.2	128.2	144.4	180.5	172.7	162.5	1722.2
Pizacoma	4060.00	118.4	100.7	128.2	120.2	98.8	91.5	93.5	118.0	120.4	163.6	164.3	157.7	1475.3
Chilligua	3960.00	141.3	128.0	133.5	124.3	126.0	112.0	118.1	137.5	157.1	186.5	179.4	167.2	1710.9
Yorohoco	3845.00	142.7	127.7	134.4	125.5	127.7	112.2	120.0	143.7	159.8	187.8	175.7	167.2	1724.4
Desaguadero	3860.00	154.0	137.0	143.9	135.2	132.8	122.8	127.9	137.2	153.5	172.3	172.9	172.1	1761.4
Pocoaque	3850.00	142.7	127.7	134.3	125.4	127.6	112.2	119.9	143.4	159.6	187.7	175.9	167.2	1723.6
Juli	3812.00	142.4	121.3	126.7	121.2	122.7	106.5	112.8	134.6	154.9	178.8	170.4	159.1	1651.4
Ilave	3880.00	154.9	134.4	138.0	131.9	140.8	123.5	138.4	157.9	180.2	210.2	203.0	186.6	1899.9
Rincón de la Cruz	3835.00	142.9	127.7	134.4	125.6	127.8	112.2	120.1	144.2	160.0	187.9	175.4	167.3	1725.5
Laraqueri	3900.00	119.5	111.3	103.9	89.0	115.8	96.2	105.8	150.7	179.6	209.6	165.5	153.3	1600.3
Puno	3820.00	153.4	144.9	152.4	142.8	135.4	119.0	127.6	151.2	164.9	189.7	186.8	175.8	1844.0
Mañazo	3920.00	141.8	127.9	133.8	124.7	126.6	112.1	118.7	139.6	158.0	186.9	178.1	167.2	1715.4
Pampa Umalzo	4601.00	133.2	129.9	128.9	117.3	116.4	111.0	107.8	103.1	142.0	179.3	199.9	166.7	1635.5
Ichuña	3800.00	143.3	127.6	134.7	126.0	128.3	112.3	120.7	146.1	160.8	188.3	174.3	167.3	1729.7

Figura N° 3.20
Variación Mensual de la Evaporación (mm) – Promedio Multimensual
Estaciones de la Cuenca del río Ilave y Cuencas Vecinas

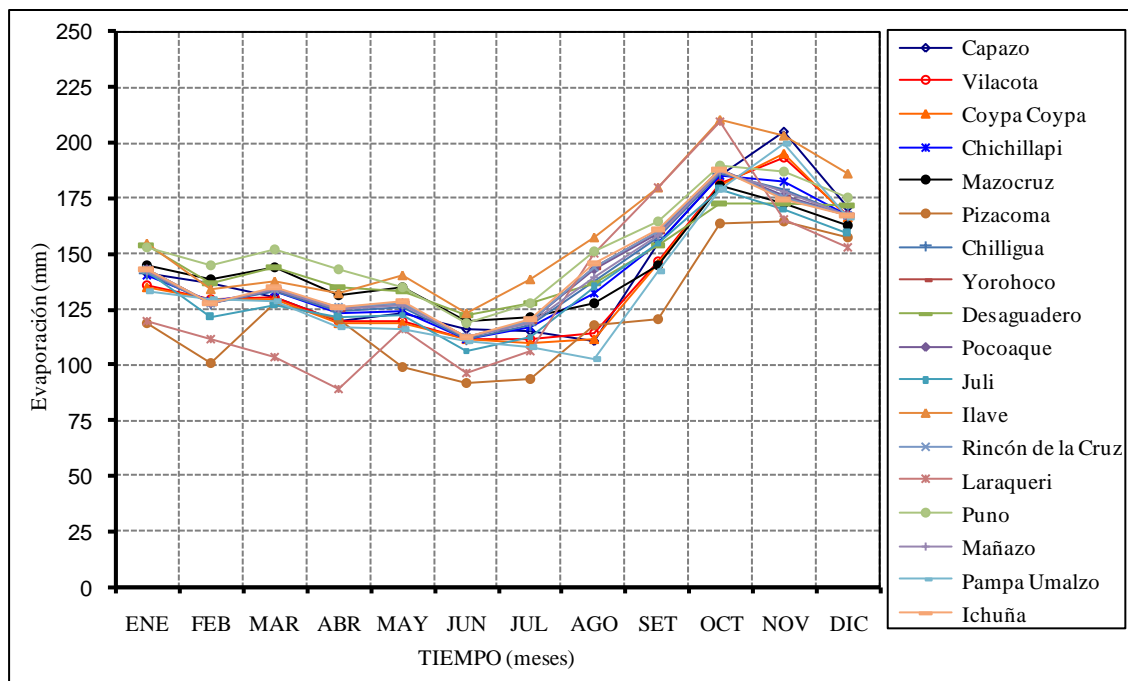
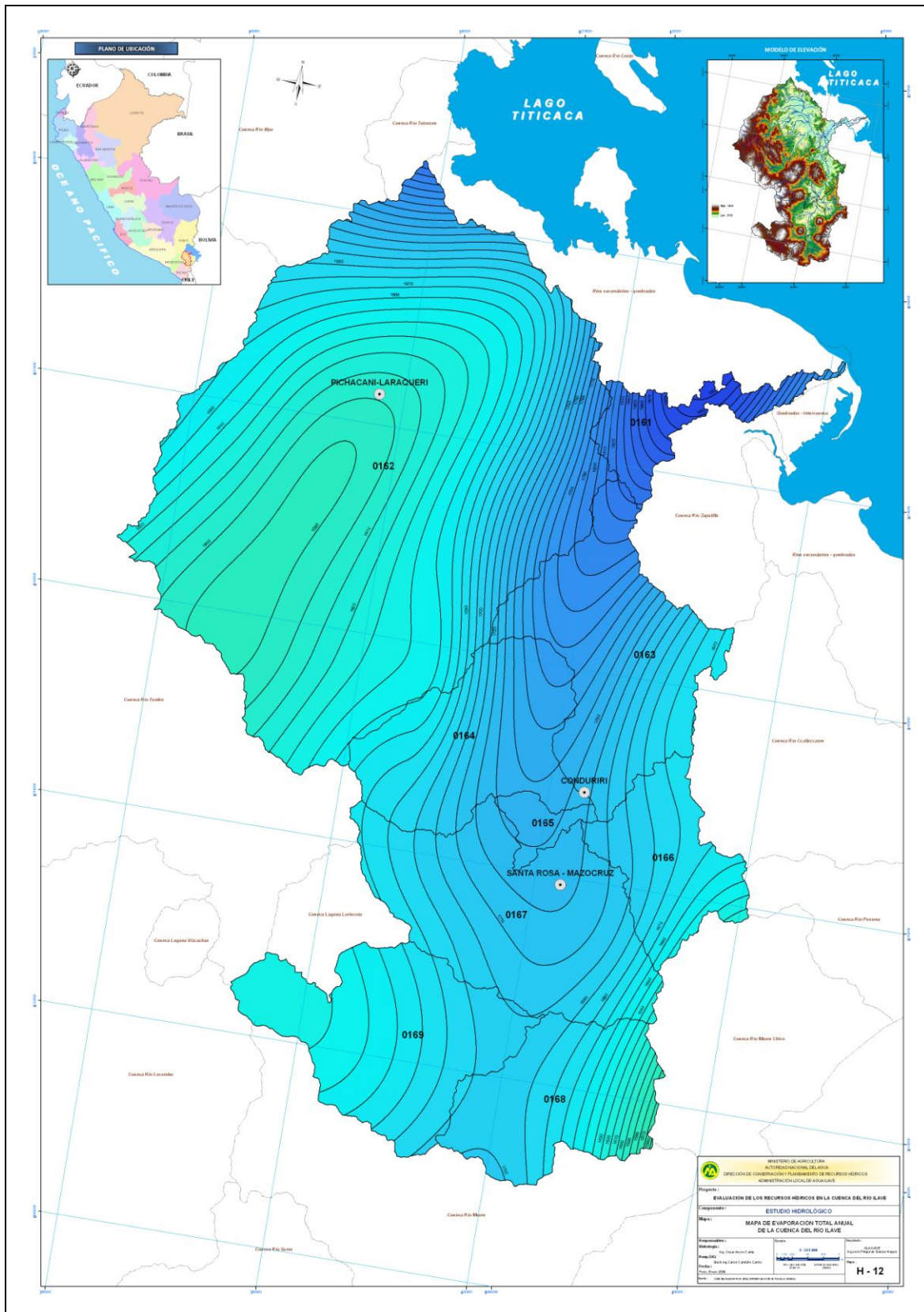


Figura N° 3.21
Distribución Espacial de la Evaporación Total Anual (mm) - Islóneas
Cuenca del río Ilave



3.5.5.- 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".

Para la cuenca en estudio, solo en las estaciones de Puno, Juli y Desaguadero se dispone de registros de este parámetro.

En forma similar que los casos anteriores, se ha realizado el análisis de regresión lineal en base a la información disponible, con bastante cuidado y los resultados muestran valores confiables solo para valores medios anuales y se ha estimado los valores de horas de sol en forma anual, utilizando ésta información media anual se ha estimado a nivel mensual para las estaciones sin información, utilizando los coeficientes de variación mensual promedio de las tres estaciones con información histórica de horas sol. En el Cuadro N° 3.18 se presenta los parámetros de la ecuación de relación horas sol – altitud.

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

Cuadro N° 3.18
Parámetros de la Ecuación de Correlación Horas Sol - Altitud

Coeficiente	Promedio Anual
a	15.1602
b	-0.0018
R ² (%)	31.62

Los datos que aparecen en color canela en el Cuadro N° 3.19 son valores estimados utilizando los coeficientes de variación mensual promedio de las tres estaciones con registro histórico.

En el Cuadro N° 3.19 y Figura N° 3.22, muestran la variación mensual de las horas de sol, donde la distribución de las horas de sol varía de mes a mes, acentuándose los valores más altos durante los meses de Abril hasta Noviembre.

Los mayores valores de horas de sol, se registran en la parte baja de la cuenca, centrado en estación Ilave (8.18 horas) y cercanías del lago Titicaca, y los valores menores en la parte alta de la cuenca del río Ilave, centrado en la estación Coypa Coypa (7.15 horas).

En la Figura N° 3.23 se ha trazado las isolíneas de la distribución espacial de las horas de sol media anual en la cuenca del río Ilave.

En el Mapa N° H-13 (Ver Anexo 2, Volumen III) se muestra a detalle y a escala mayor, las isolíneas de la distribución espacial de las horas de sol media anual en la cuenca del río Ilave.

Cuadro N° 3.19
Horas de Sol Media Mensual – Promedio Multimensual
Estaciones de la Cuenca del río Ilave y Cuencas Vecinas

ESTACION	ALTITUD (msnm)	MESES												PROM ANUAL
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
Capazo	4530.00	5.46	5.80	5.86	7.02	7.81	7.62	7.87	7.72	7.72	7.44	7.30	6.47	7.01
Vilacota	4390.00	5.65	6.01	6.07	7.27	8.09	7.89	8.15	8.00	8.00	7.71	7.56	6.70	7.26
Coypa Coypa	4450.00	5.57	5.92	5.98	7.16	7.97	7.77	8.02	7.88	7.88	7.59	7.45	6.60	7.15
Chichillapi	4050.00	6.13	6.52	6.58	7.88	8.77	8.56	8.83	8.67	8.67	8.36	8.20	7.26	7.87
Mazocruz	4003.00	6.19	6.58	6.65	7.96	8.86	8.64	8.92	8.76	8.76	8.44	8.28	7.34	7.95
Pizacoma	4060.00	6.11	6.50	6.57	7.86	8.75	8.53	8.81	8.65	8.65	8.34	8.18	7.24	7.85
Chilligua	3960.00	6.25	6.65	6.72	8.04	8.95	8.73	9.01	8.85	8.85	8.53	8.36	7.41	8.03
Yorohoco	3845.00	6.42	6.82	6.89	8.25	9.19	8.96	9.25	9.08	9.08	8.75	8.58	7.60	8.24
Desaguadero	3860.00	6.89	7.03	7.03	8.17	9.18	8.43	9.03	8.80	8.94	8.85	8.74	7.92	8.25
Pocochaque	3850.00	6.41	6.81	6.88	8.24	9.17	8.95	9.23	9.07	9.07	8.74	8.57	7.59	8.23
Juli	3812.00	6.49	6.93	6.93	8.32	9.35	9.24	9.32	9.26	9.32	8.70	8.70	7.90	8.37
Ilave	3880.00	6.37	6.77	6.84	8.19	9.12	8.89	9.18	9.01	9.01	8.69	8.52	7.55	8.18
Rincón de la Cruz	3835.00	6.43	6.84	6.91	8.27	9.21	8.98	9.27	9.10	9.10	8.77	8.60	7.62	8.26
Laraqueri	3900.00	6.34	6.74	6.81	8.15	9.07	8.85	9.13	8.97	8.97	8.64	8.48	7.51	8.14
Puno	3820.00	5.97	6.58	6.79	8.34	9.16	9.32	9.52	9.29	9.10	8.83	8.42	7.10	8.20
Mañazo	3920.00	6.31	6.71	6.77	8.11	9.03	8.81	9.09	8.92	8.92	8.60	8.44	7.47	8.10
Pampa Umalzo	4601.00	5.36	5.70	5.75	6.89	7.67	7.48	7.72	7.58	7.58	7.31	7.17	6.35	6.88
Ichuña	3800.00	6.48	6.89	6.96	8.33	9.28	9.05	9.34	9.17	9.17	8.84	8.67	7.68	8.32

Figura N° 3.22
Variación Mensual de las Horas de Sol – Promedio Multimensual
Estaciones de la Cuenca del río Ilave y Cuencas Vecinas

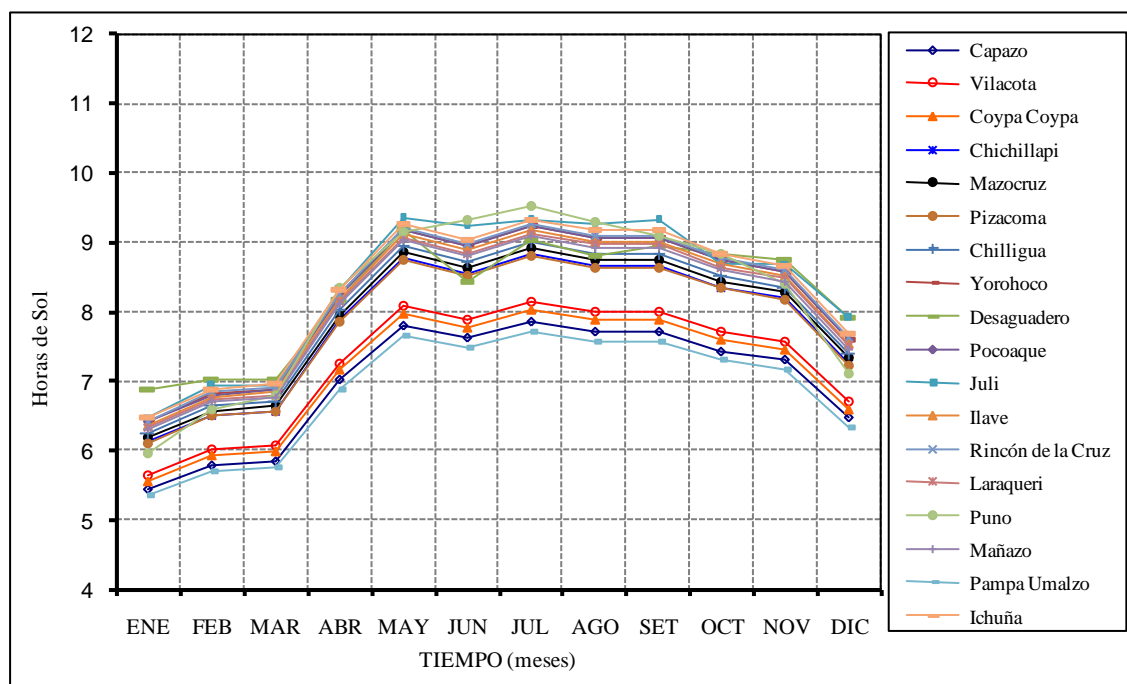
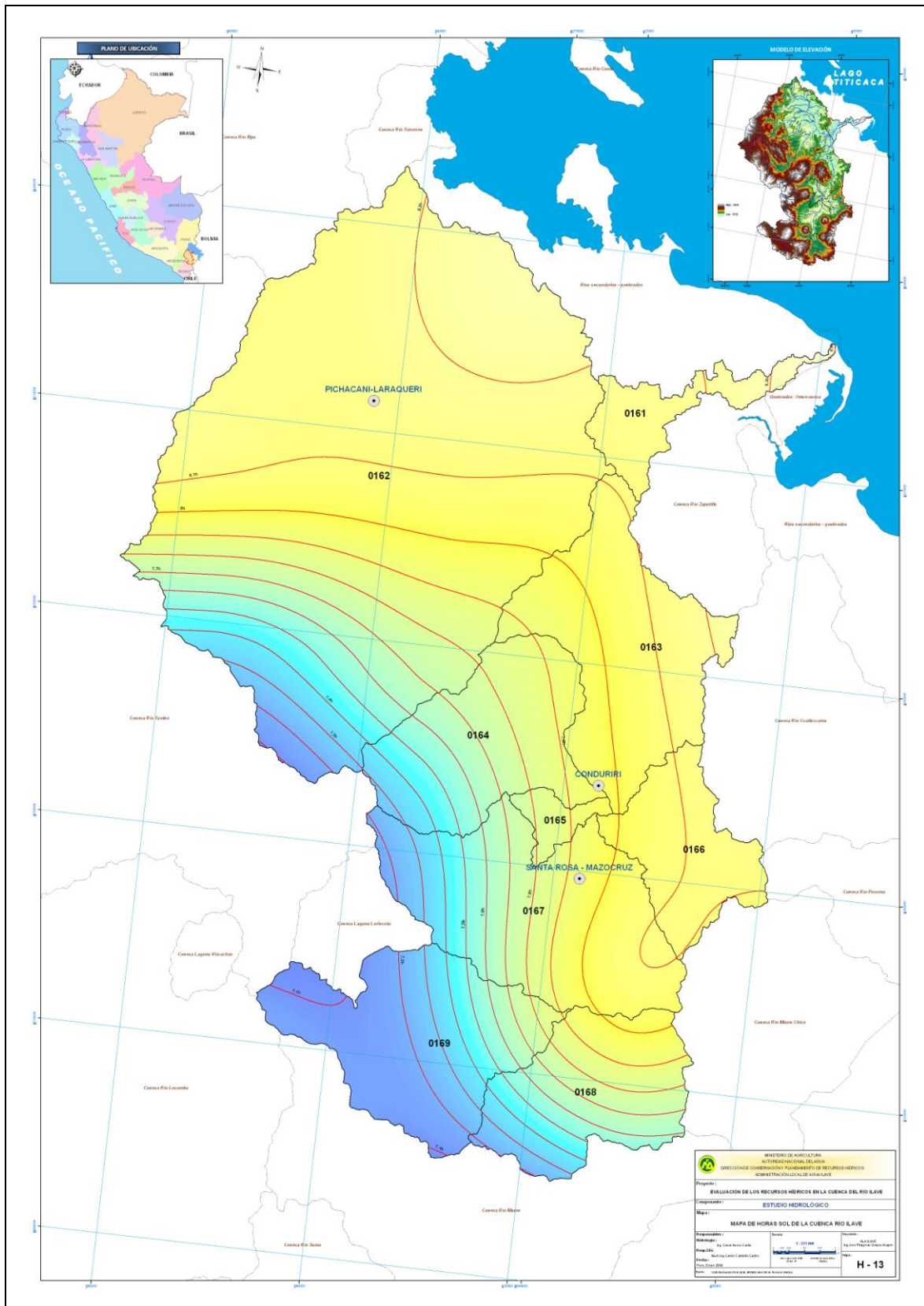


Figura N° 3.23
Distribución Espacial de las Horas de Sol Media Anual - Isolíneas
Cuenca del río Ilave



3.5.6.- 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 alcanzan 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.

A.- Velocidad del Viento

Para la cuenca en estudio, solo en 05 estaciones meteorológicas (Mazocruz, Desaguadero, Juli, Ilave y Puno) se dispone de registros de este parámetro.

En forma similar que los casos anteriores, se ha realizado el análisis de regresión lineal en base a la información disponible, con bastante cuidado y los resultados muestran valores confiables en las estaciones Chichillapi, Pizacoma, Chilligua, Yorohoco, Pocoaque, Rincón de la Cruz, Laraqueri, Mañazo e Ichuña, excepto en las estaciones Capazo, Vilacota, Coypa Coypa y Pampa Umalzo donde los valores de la velocidad de viento resultan muy bajos. En el Cuadro N° 3.20 se presenta los parámetros de la ecuación de relación velocidad de viento – altitud.

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

Cuadro N° 3.20
Parámetros de la Ecuación de Correlación Velocidad del Viento - Altitud

Coeficiente	Meses												Promedio Anual
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
a	16.2656	13.7584	13.4544	13.6896	8.2084	10.1456	14.1140	13.6308	18.5280	17.9340	18.4172	20.0372	15.4748
b	-0.0034	-0.0028	-0.0027	-0.0028	-0.0014	-0.0019	-0.0029	-0.0027	-0.0039	-0.0037	-0.0039	-0.0043	-0.0032
R ² (%)	8.27	6.20	6.76	6.44	2.06	4.36	6.92	4.96	6.30	6.62	10.77	10.77	7.24

Los datos que aparecen en color canela en el Cuadro N° 3.21 son valores estimados utilizando la ecuación de relación velocidad del viento – altitud.

En el Cuadro N° 3.21 y Figura N° 3.24, muestran la variación mensual de la velocidad del viento media mensual, donde la distribución de las velocidades del viento varía de mes a mes, acentuándose los valores más altos durante los meses de Agosto hasta Diciembre.

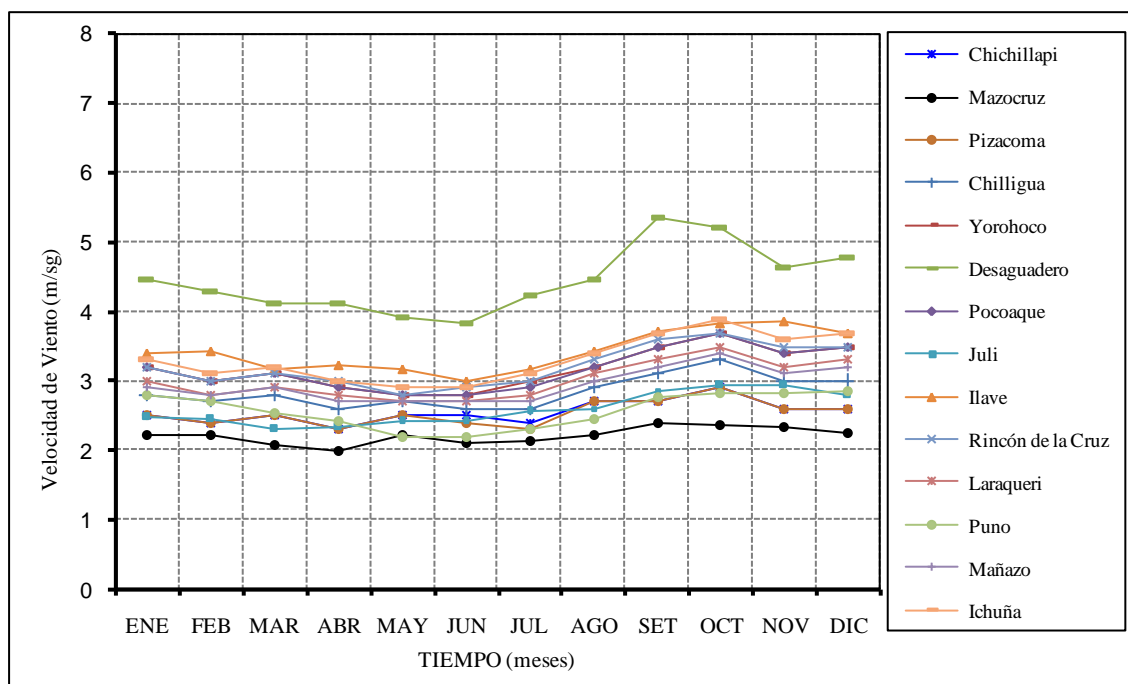
En la estación Desaguadero se registran valores mayores de la velocidad del viento, que en otras estaciones que varían uniformemente.

La mayor velocidad de viento media mensual, se ha registrado en la estación Desaguadero en el mes de Setiembre con 5.4 m/s y la menor se registra en la estación Mazocruz en el mes de Abril con 2.0 m/s.

Cuadro N° 3.21
Velocidad del Viento Media Mensual – Promedio Multimensual
Estaciones de la Cuenca del río Ilave y Cuencas Vecinas

ESTACION	ALTITUD (msnm)	MESES												PROM ANUAL
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
Chichillapi	4050.00	2.5	2.4	2.5	2.3	2.5	2.5	2.4	2.7	2.7	2.9	2.6	2.6	2.6
Mazocruz	4003.00	2.2	2.2	2.1	2.0	2.2	2.1	2.1	2.2	2.4	2.4	2.3	2.2	2.2
Pizacoma	4060.00	2.5	2.4	2.5	2.3	2.5	2.4	2.3	2.7	2.7	2.9	2.6	2.6	2.5
Chilligua	3960.00	2.8	2.7	2.8	2.6	2.7	2.6	2.6	2.9	3.1	3.3	3.0	3.0	2.8
Yorohoco	3845.00	3.2	3.0	3.1	2.9	2.8	2.8	3.0	3.2	3.5	3.7	3.4	3.5	3.2
Desaguadero	3860.00	4.5	4.3	4.1	4.1	3.9	3.8	4.2	4.5	5.4	5.2	4.6	4.8	4.4
Pocochaque	3850.00	3.2	3.0	3.1	2.9	2.8	2.8	2.9	3.2	3.5	3.7	3.4	3.5	3.2
Juli	3812.00	2.5	2.4	2.3	2.3	2.4	2.4	2.6	2.6	2.9	2.9	2.9	2.8	2.6
Ilave	3880.00	3.4	3.4	3.2	3.2	3.2	3.0	3.2	3.4	3.7	3.8	3.8	3.7	3.4
Rincón de la Cruz	3835.00	3.2	3.0	3.1	3.0	2.8	2.9	3.0	3.3	3.6	3.7	3.5	3.5	3.2
Laraqueri	3900.00	3.0	2.8	2.9	2.8	2.7	2.7	2.8	3.1	3.3	3.5	3.2	3.3	3.0
Puno	3820.00	2.8	2.7	2.6	2.4	2.2	2.2	2.3	2.4	2.8	2.8	2.8	2.8	2.6
Mañazo	3920.00	2.9	2.8	2.9	2.7	2.7	2.7	2.7	3.0	3.2	3.4	3.1	3.2	2.9
Ichuña	3800.00	3.3	3.1	3.2	3.0	2.9	2.9	3.1	3.4	3.7	3.9	3.6	3.7	3.3

Figura N° 3.24
Variación Mensual de la Velocidad del Viento – Promedio Multimensual
Estaciones de la Cuenca del río Ilave y Cuencas Vecinas



B.- Dirección del Viento

En este caso, para el análisis de la dirección del viento, en la cuenca del Ilave, solo en 05 estaciones meteorológicas (Mazocruz, Desaguadero, Juli, Ilave y Puno) se dispone de registros de este parámetro.

Del registro mensual de la dirección del viento, de las estaciones meteorológicas ubicadas dentro y alrededor de la cuenca del río Ilave, se ha obtenido el Cuadro N° 3.22, donde se aprecia que la dirección del viento predominante a nivel mensual y anual en la estación Mazocruz es de Sudoeste (SW), mientras en la estación Desaguadero es por Noreste (NE), en la estación Juli es por el Norte (N), estación Ilave es por el Noreste (NE) y en la estación Puno es por el Este (E).

Los valores de las direcciones del viento predominante, anteriormente descritos, indican que en la parte baja de la cuenca del río Ilave y en cercanías del lago Titicaca, la dirección del viento es generalmente entre por el Norte y Este; mientras en la zona sur y alta de la cuenca es por Sudoeste. Lo mismo que indica en el Cuadro N° 3.23 y en la Figura N° 3.25, la dirección del viento predominante en cada estación meteorológica.

En forma general, la dirección del viento predominante en la cuenca del río Ilave, es por Norte - Este.

Cuadro N° 3.22
Dirección del Viento Predominante Mensual y Anual
Estaciones de la Cuenca del río Ilave y Cuencas Vecinas

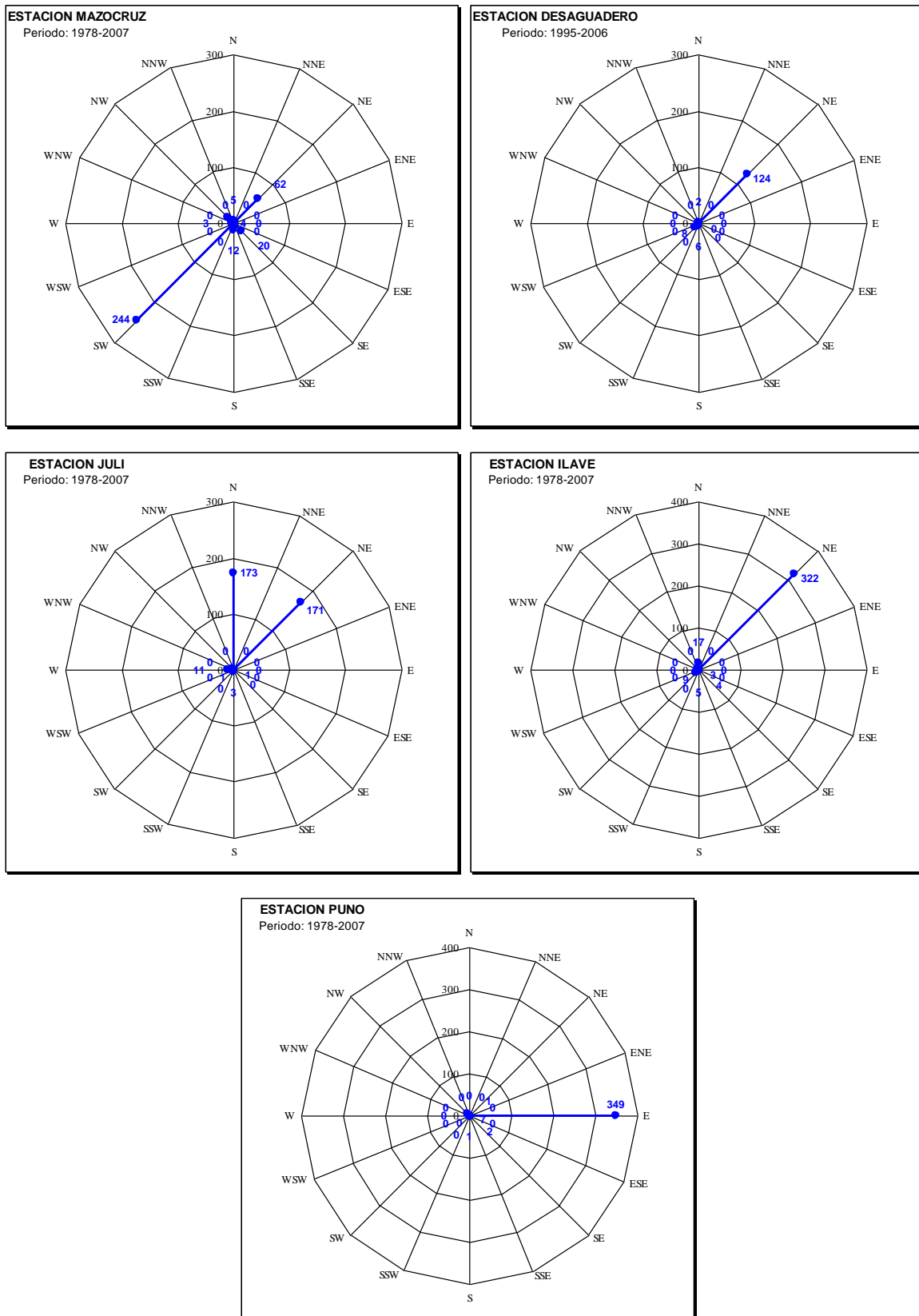
Estación	Altitud (msnm)	Meses												Anual	
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic		
Mazocruz	4003.0	NE	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW
Desaguadero	3860.0	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
Juli	3812.0	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Ilave	3880.0	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
Puno	3820.0	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E

Cuadro N° 3.23
Registro Anual de la Dirección del Viento (Meses)
Estaciones de la Cuenca del río Ilave y Cuencas Vecinas

DIRECCION	ESTACIONES METEOROLÓGICAS				
	Mazocruz (1978-2007)	Desaguadero (1995-2006)	Juli (1978-2007)	Ilave (1978-2007)	Puno (1978-2007)
N	5	2	173	17	0
NNE	0	0	0	0	0
NE	62	124	171	322	1
ENE	0	0	0	0	0
E	0	0	0	0	349
ESE	0	0	0	0	0
SE	20	0	0	4	2
SSE	0	0	0	0	0
S	12	6	3	5	1
SSW	0	0	0	0	0
SW	244	8	1	9	0
WSW	0	0	0	0	0
W	3	0	11	0	0
WNW	0	0	0	0	0
NW	14	0	1	3	7
NNW	0	0	0	0	0
C	0	0	0	0	0

Con la información disponible del Cuadro N° 3.23, registro anual de la dirección del viento en meses, se ha graficado las rosas de la dirección del viento, donde permite observar con mayor facilidad la dirección del viento en cada de una de las estaciones meteorológicas en estudio.

Figura N° 3.25
Rosas de la Dirección del Viento – Dirección Predominante (meses)
Estaciones de la Cuenca del río Ilave y Cuencas Vecinas



3.5.7.- Evapotranspiración Potencial

3.5.7.1.- Conceptos

La evapotranspiración (ET) es la combinación de dos procesos: Evaporación y Transpiración. 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 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.

Evapotranspiración Potencial (ETP)

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.

Métodos de Estimación de la Evapotranspiración Potencial (ETP)

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 13 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 reporte, para la estimación de la evapotranspiración potencial (ETP) en función de la información básica disponible, se ha empleado las siguientes fórmulas, en función de los siguientes parámetros meteorológicos:

- 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° 3.1).
 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° 3.2).
- 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° 3.3).
- 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° 3.1
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° 3.2
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° 3.3
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° 3.2).
 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° 3.4.

$$ETP = f.ETP'$$

Donde:

- ETP = evapotranspiración potencial mensual corregida (mm).
 f = factor de corrección.
 ETP' = evapotranspiración potencial mensual sin corregir (mm).

Tabla N° 3.4
 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° 3.2).
 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.

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:

- ETo = evapotranspiración de referencia (mm/día).

Rn	=	radiación neta en la superficie del cultivo (MJ/m ² /día).
Ra	=	radiación extraterrestre (mm/día).
G	=	flujo del calor de suelo (MJ/m ² /día).
T	=	temperatura media del aire a 2 m de altura (°C).
u ₂	=	velocidad del viento a 2 m de altura (m/sg).
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/°C).
γ	=	constante psicrométrica (kPa/°C).

En el presente estudio, para el cálculo de evapotranspiración de referencia ETo, 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:

$$ETP = k \cdot Ev$$

Donde:

ETP	=	evapotranspiración potencial (mm/mes).
k	=	coeficiente de tanque. (Tabla N° 3.5).
Ev	=	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° 3.5.

Tabla N° 3.5
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	HR media (%)	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.

3.5.7.2.- Selección del Método de Estimación de Evapotranspiración Potencial

Para la selección del método apropiado, de la determinación de la evapotranspiración potencial en la cuenca del río Ilave, se ha calculado para las estaciones de Puno y Mazocruz, con el fin de calibrar y seleccionar utilizado los métodos anteriormente descritos.

A.- Información Básica

La información climatológica utilizada para el cálculo de la evapotranspiración potencial, está diferenciada según los propósitos de necesidad de este parámetro, y también en función a la disponibilidad de información de parámetros climáticos necesarios para la aplicación de una fórmula específica de evapotranspiración.

En este caso, las variables climatológicas a nivel mensual son: 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.

Cuadro N° 3.24
Información Climatológica de la Estación Puno

DESCRIPCION	MESES											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Temperatura media mensual (°C)	10.30	10.10	9.90	9.30	7.70	6.40	6.20	7.30	8.60	9.70	10.40	10.60
Temperatura media de las máximas (°C)	15.10	14.90	14.80	14.90	14.40	13.70	13.70	14.40	15.30	16.00	16.40	16.00
Temperatura media de las mínimas (°C)	5.40	5.30	5.00	3.60	0.90	-0.80	-1.30	0.00	1.80	3.30	4.20	5.00
Humedad relativa media mensual (%)	61.00	62.00	62.00	54.00	45.00	42.00	42.00	44.00	45.00	46.00	48.00	53.00
Velocidad media del viento (m/sg)	2.80	2.70	2.60	2.40	2.20	2.20	2.30	2.40	2.80	2.80	2.80	2.80
Horas de sol media diaria	5.97	6.58	6.79	8.34	9.16	9.32	9.52	9.29	9.10	8.83	8.42	7.10
Evaporación de Tanque Clase A (mm)	153.40	144.90	152.40	142.80	135.40	119.00	127.60	151.20	164.90	189.70	186.80	175.80

Cuadro N° 3.25
Información Climatológica de la Estación Mazocruz

DESCRIPCION	MESES											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Temperatura media mensual (°C)	7.90	7.70	7.40	5.50	2.50	0.60	0.20	1.50	3.20	4.80	6.30	7.40
Temperatura media de las máximas (°C)	15.20	15.00	15.30	15.80	15.30	14.40	14.30	15.30	16.10	17.40	17.80	16.80
Temperatura media de las mínimas (°C)	0.50	0.30	-0.50	-4.80	-10.40	-13.20	-13.90	-12.50	-9.90	-7.90	-5.30	-2.00
Humedad relativa media mensual (%)	64.00	67.00	66.00	59.00	52.00	50.00	48.00	49.00	52.00	49.00	53.00	58.00
Velocidad media del viento (m/sg)	2.20	2.20	2.10	2.00	2.20	2.10	2.10	2.20	2.40	2.40	2.30	2.20
Horas de sol media diaria	6.19	6.58	6.65	7.96	8.86	8.64	8.92	8.76	8.76	8.44	8.28	7.34
Evaporación de Tanque Clase A (mm)	144.70	138.30	143.90	131.20	134.90	119.70	121.20	128.20	144.40	180.50	172.70	162.50

B.- Resultados de cálculo de evapotranspiración potencial

Utilizando la información climatológica de las estaciones Puno y Mazocruz se ha calculado la evapotranspiración potencial empleando los métodos anteriormente descritos, cuyos resultados es la siguiente:

Cuadro N° 3.26
Evapotranspiración Potencial (mm/mes) – Estación Puno

METODO	MESES											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Hargreaves-Por Temperatura	149.01	126.81	124.83	101.07	82.71	69.09	73.65	89.70	108.71	133.54	142.97	152.26
Hargreaves-Por Radiación	124.24	115.07	121.14	115.09	103.56	89.44	95.63	109.52	122.89	140.76	142.15	135.61
Hargreaves Modificado	105.40	91.28	93.93	84.90	78.43	69.00	74.40	85.87	95.70	110.36	113.40	112.84
Thornthwaite	60.84	52.24	54.90	48.26	40.24	32.30	32.33	39.00	45.67	54.87	58.67	62.55
Serruto	147.56	125.72	121.21	94.50	73.78	59.40	63.86	81.22	101.70	128.96	140.10	146.94
Penman Monteith - FAO	115.63	103.60	108.81	102.60	96.10	85.80	92.69	105.71	120.60	135.16	133.80	128.96
Tanque de Evaporación Clase A	115.05	108.68	114.30	107.10	101.55	89.25	95.70	113.40	123.68	142.28	140.10	131.85

Cuadro N° 3.27
Evapotranspiración Potencial (mm/mes) – Estación Mazocruz

METODO	MESES											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Hargreaves-Por Temperatura	136.72	110.99	109.91	85.98	64.65	51.45	54.17	68.21	86.05	109.73	123.10	136.56
Hargreaves-Por Radiación	117.03	106.11	109.54	96.54	80.89	65.04	69.00	81.54	96.07	113.95	121.63	124.04
Hargreaves Modificado	119.35	103.60	108.19	97.80	84.94	71.10	75.33	90.52	105.00	128.03	133.80	131.75
Thornthwaite	67.07	57.72	59.54	45.15	25.74	9.10	4.35	18.56	31.54	44.82	54.71	64.07
Serruto	141.05	119.00	112.22	80.70	53.63	36.30	39.06	58.28	82.20	111.91	127.50	138.26
Penman Monteith - FAO	112.22	99.12	104.78	98.70	96.10	84.00	89.90	104.16	116.40	133.61	132.00	125.86
Tanque de Evaporación Clase A	108.53	103.73	107.93	98.40	101.18	89.78	90.90	96.15	108.30	135.38	129.53	121.88

Figura N° 3.26
Evapotranspiración Potencial (mm/mes) – Estación Puno

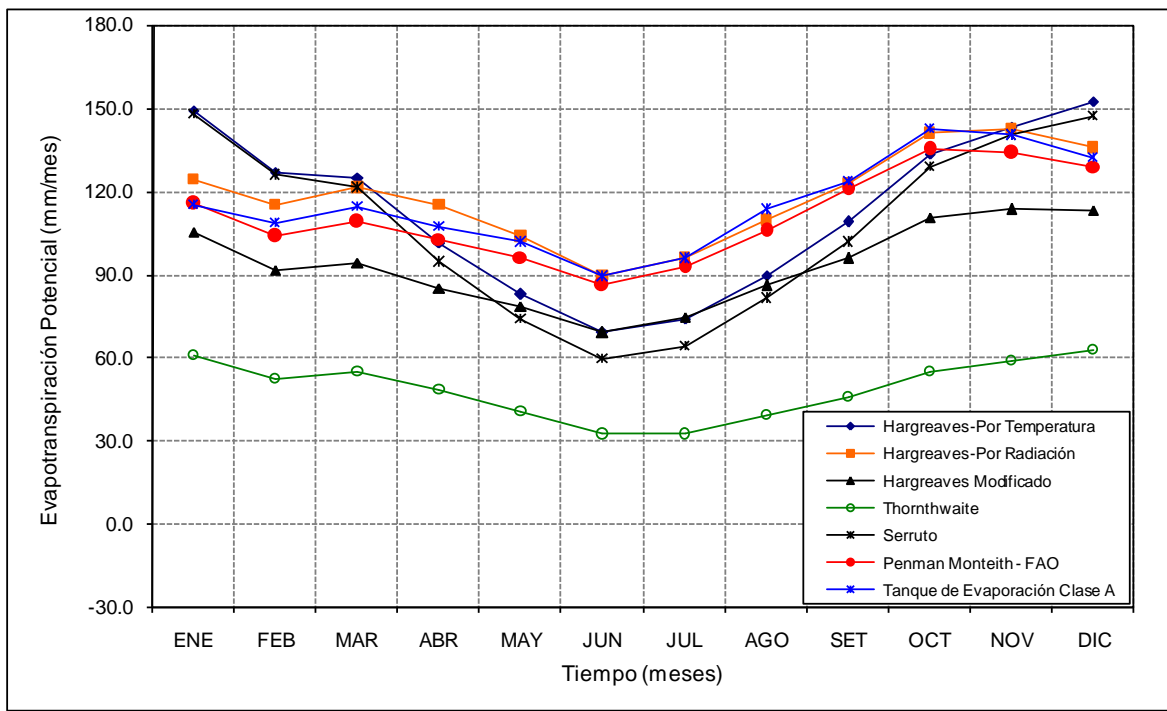
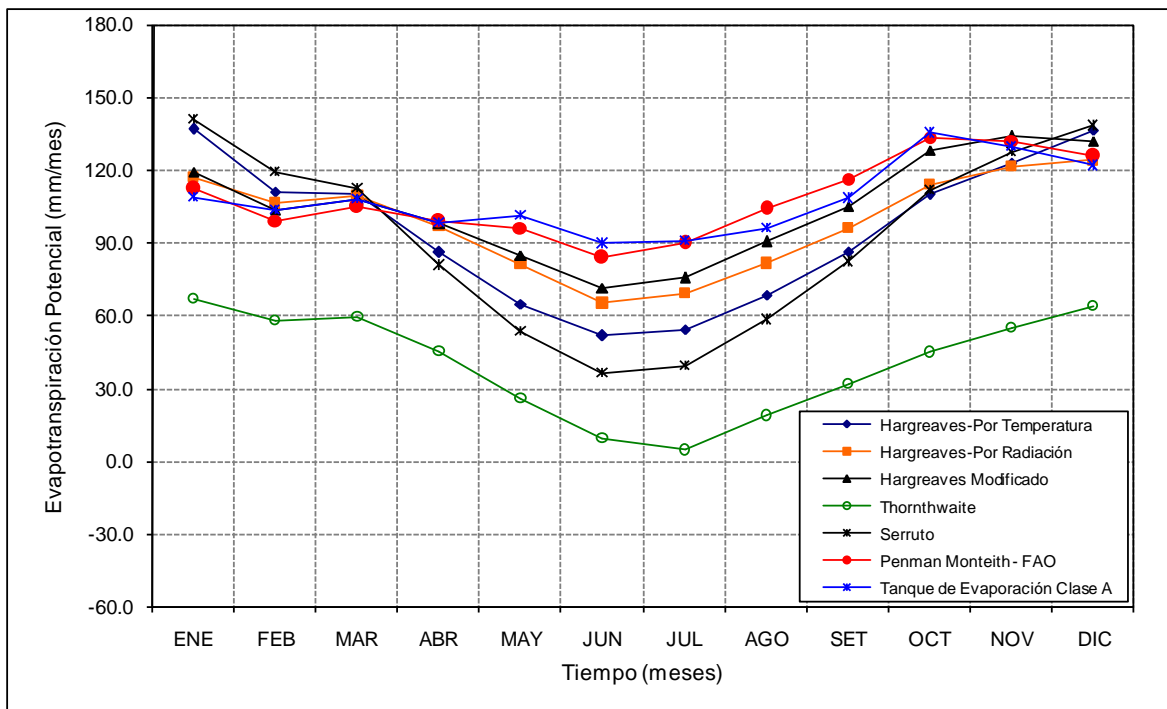


Figura N° 3.27
Evapotranspiración Potencial (mm/mes) – Estación Mazocruz



Con fines de verificar la variación de la evapotranspiración potencial estimada con las fórmulas de Hargreaves (Por Temperatura y Radiación), Hargreaves modificado, Thornthwaite, Serruto, Penman Monteith - FAO empleadas, se ha utilizado el método del tanque de evaporímetro clase A en función a la evaporación registrada disponible en algunas estaciones meteorológicas de la cuenca Ilave. Se ha utilizado un coeficiente de tanque (k) igual a 0.75 (ver Tabla N° 3.5) para una velocidad de viento variable de 190.1 – 241.90 Km/día en la estación Puno y 172.8 – 207.4 Km/día en la estación Mazocruz, una humedad relativa variable de 42 – 62% en la estación Puno y 48 – 67% en la estación Mazocruz, y en la mayor parte 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 en poca densidad y tamaño.

En las Figuras N° 3.26 y 3.27 se observan la variación de la evapotranspiración potencial calculada para la estación de Puno y Mazocruz con las fórmulas anteriormente descritos, los métodos Hargreaves - por Radiación, Hargreaves modificado y Penman Monteith - FAO describen una variación similar al descrito utilizando el método del Tanque evaporímetro clase A. Los métodos de Hargreaves – por Temperatura, Thornthwaite y Serruto muestran divergencias. Como se podrá concluir, el método del tanque evaporímetro clase A nos da una idea de la variación del fenómeno de la evapotranspiración, lo que sirve para seleccionar el método para calcular la evapotranspiración potencial, para otras estaciones meteorológicas de la cuenca del río Ilave. En este caso el método de Penman Monteith – FAO es el seleccionado, por dar resultados similares a la del tanque evaporímetro clase A.

3.5.7.3.- Evapotranspiración potencial en la cuenca del río Ilave

Con la aplicación del método de Penman Monteith – FAO, se ha calculado la evapotranspiración potencial para cada una de las estaciones de la cuenca del río Ilave. En el Cuadro N° 3.28 se presenta los valores de la evapotranspiración potencial en todas las estaciones de la Región (Cuenca del río Ilave y estaciones de apoyo correspondientes a las cuencas vecinas), consideradas en el presente estudio. En la Figura N° 3.28 se observa en forma gráfica la variación de evapotranspiración potencial de cada estación meteorológica.

En la Figura N° 3.29 se presenta la distribución espacial de la evapotranspiración potencial para los valores del total anual, dentro del ámbito de la cuenca del río Ilave. Se observa que los valores altos 1150 mm se registran en la parte norte y baja de la cuenca (cerca al lago Titicaca), y en lugares donde las temperaturas son más bajas con respecto a las zonas ubicadas en la parte alta de la cuenca es de 1490 mm.

En el Mapa N° H-14 (Ver Anexo 2, Volumen III) se muestra a detalle y a escala mayor, las isólineas de la distribución espacial de la evapotranspiración potencial total anual en la cuenca del río Ilave.

Cuadro N° 3.28
Evapotranspiración Potencial (mm/mes)
Estaciones de la Cuenca del río Ilave y Cuencas Vecinas

ESTACION	ALTITUD (msnm)	MESES												TOTAL ANUAL
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
Capazo	4530.00	103.54	91.56	97.34	90.30	87.73	82.50	83.70	97.96	108.00	123.69	123.90	122.45	1212.7
Vilacota	4390.00	101.99	89.04	93.93	89.70	84.94	78.00	79.67	93.00	103.80	120.90	119.40	118.11	1172.5
Coypa Coypa	4450.00	101.37	89.88	95.48	89.70	86.18	78.90	81.53	94.24	103.80	122.45	120.00	118.42	1182.0
Chichillapi	4050.00	111.29	99.40	104.47	97.50	94.55	85.20	88.66	102.61	113.10	132.99	130.80	128.03	1288.6
Mazocruz	4003.00	112.22	99.12	104.78	98.70	96.10	84.00	89.90	104.16	116.40	133.61	132.00	125.86	1296.9
Pizacoma	4060.00	123.07	108.36	115.63	107.40	104.47	91.20	95.17	111.91	126.00	145.70	144.30	139.81	1413.0
Chilligua	3960.00	114.70	102.76	107.57	102.00	99.51	88.20	93.31	106.95	118.80	138.88	136.20	132.37	1341.3
Yorohoco	3845.00	117.80	108.36	111.91	104.10	101.06	92.10	97.65	110.98	123.90	145.08	147.00	143.84	1403.8
Desaguadero	3860.00	122.76	110.32	118.42	110.40	105.40	92.40	99.51	111.91	126.00	144.46	142.50	138.26	1422.3
Pocoaque	3850.00	122.14	111.72	113.15	114.60	104.47	93.60	97.96	114.39	123.30	153.14	142.80	138.57	1429.8
Juli	3812.00	106.95	96.32	100.75	95.70	93.00	82.80	87.73	100.13	111.30	124.31	123.90	121.83	1244.7
Ilave	3880.00	114.08	102.48	106.95	105.00	104.47	90.90	98.27	111.29	123.30	140.74	140.40	133.30	1371.2
Rincón de la Cruz	3835.00	114.70	104.44	108.81	106.80	101.68	89.70	97.34	110.98	126.00	139.19	133.20	131.44	1358.9
Laraqueri	3900.00	114.08	103.32	109.12	105.30	101.99	93.30	99.82	113.77	125.40	143.84	141.00	136.71	1387.7
Puno	3820.00	115.63	103.60	108.81	102.60	96.10	85.80	92.69	105.71	120.60	135.16	133.80	128.96	1329.5
Mañazo	3920.00	118.42	105.56	108.50	105.30	108.19	94.80	104.16	117.49	129.30	150.04	143.70	138.26	1423.7
Pampa Umalzo	4601.00	92.07	83.44	87.42	81.60	76.26	69.30	72.23	85.25	92.10	114.70	109.20	107.26	1070.8
Ichuña	3800.00	133.30	118.44	124.93	123.30	117.80	108.00	110.67	130.82	143.40	172.05	166.50	159.96	1609.2

Figura N° 3.28
Evapotranspiración Potencial (mm/mes)
Estaciones de la Cuenca del río Ilave y Cuencas Vecinas

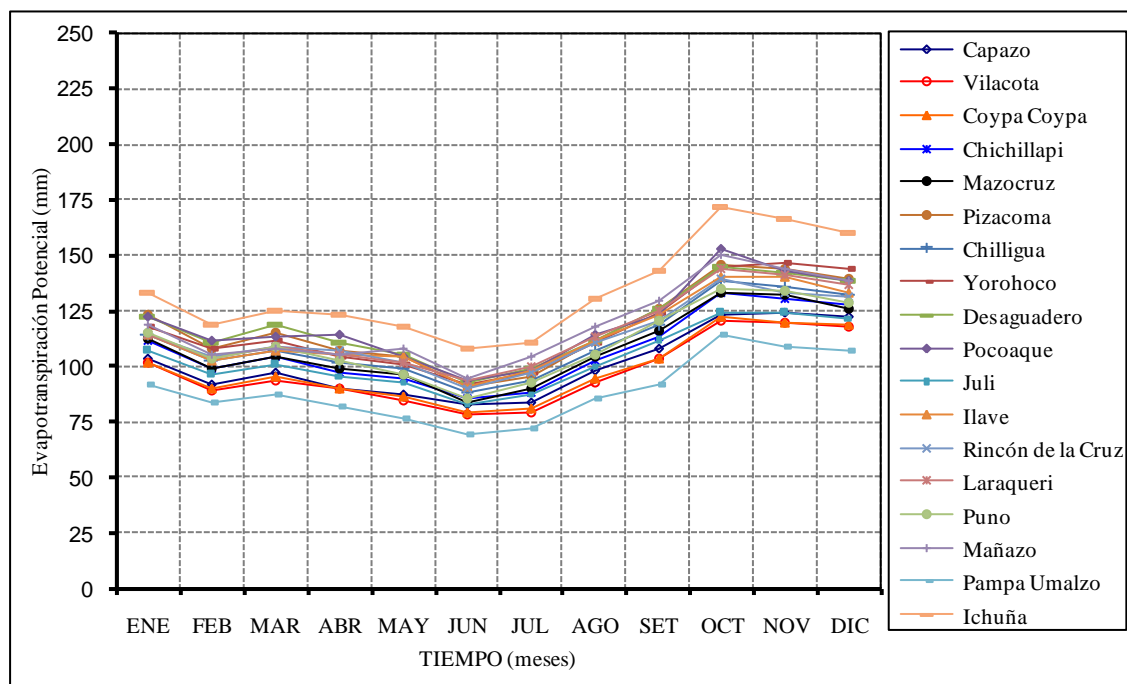
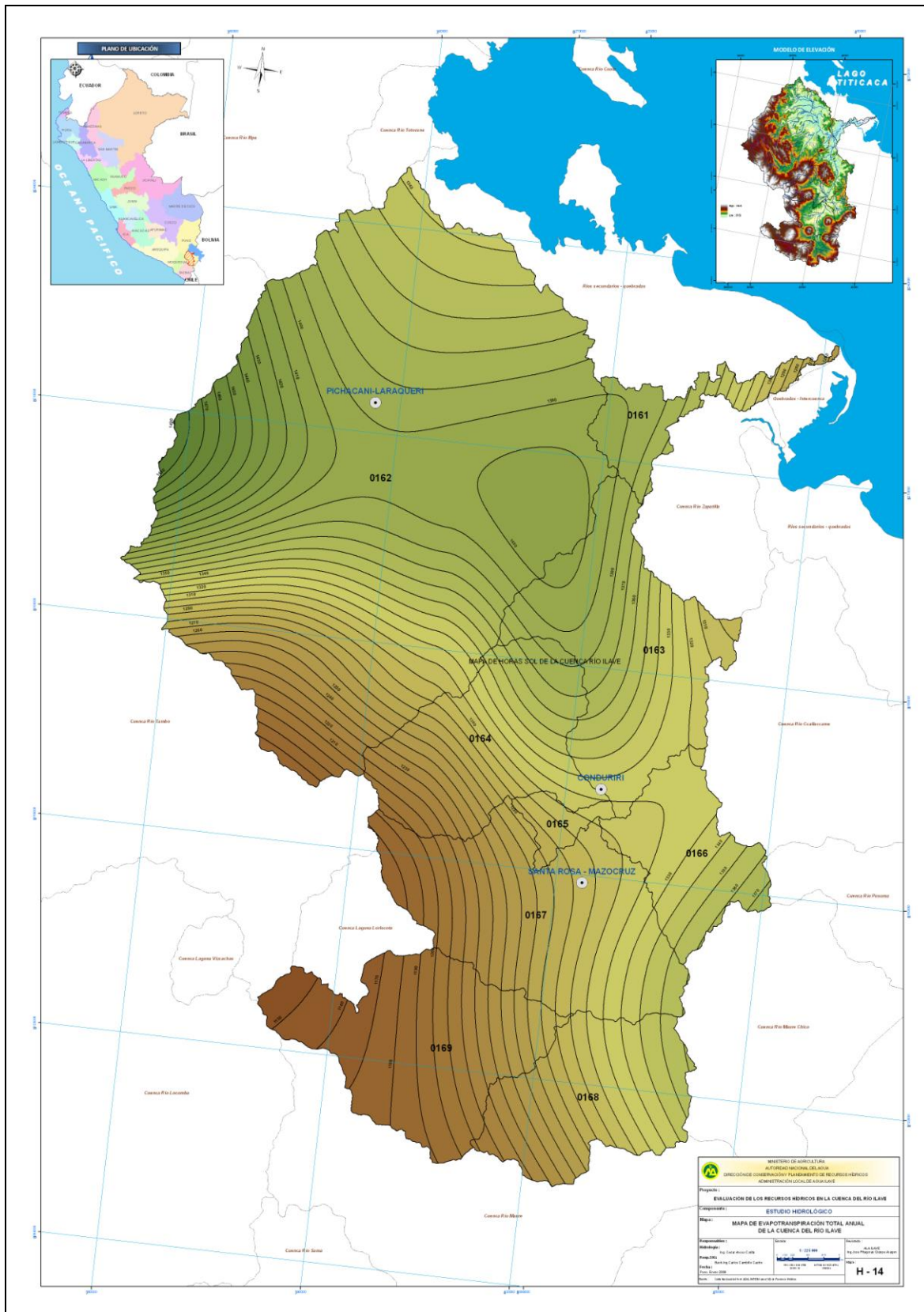


Figura N° 3.29
Distribución Espacial de la Evapotranspiración Potencial Total Anual
Cuenca del río Ilave



3.6.- ECOLOGIA

En la cuenca del río Ilave se han identificado y cartografiado seis (06) zonas de vida, comprendidas dentro de la región latitudinal subtropical y templada cálida, que en adelante se describe. En la Figura N° 3.30 se presenta la distribución espacial de las zonas de vida en la cuenca del río Ilave (Área = 7832.53 Km²). Se observa que las zonas de vida que predominan son el Páramo muy húmedo subalpino subtropical (34.03% de área en la cuenca), Páramo húmedo subalpino subtropical (24.75% de área), Tundra muy húmeda Alpino Subtropical (23.39% de área) y Bosque húmedo montano subtropical (14.07% de área).

Zonas de vida

1) Nival Subtropical (NS)

Se distribuye, entre los 4,500 y 5,400 msnm, sobre una extensión superficial de 225.91 Km², equivalente al 2.88% del área de la cuenca. Posee un clima súper húmedo muy frío, con temperatura media anual entre 3°C y 8°C; precipitación pluvial total, promedio anual, entre 430 mm y 720 mm; humedad relativa promedio anual entre 48% y 63%; y la evapotranspiración potencial promedio anual entre 1150 mm y 1490 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 subtropical (bh-MS)

Se distribuye generalmente entre los 3,805 y 4,300 msnm, sobre una extensión superficial de 1102.08 Km², equivalente al 14.07% del área de la cuenca. Posee un clima semiárido- frío, con temperatura media anual entre 5°C y 8°C; precipitación pluvial total, promedio anual, entre 450 mm y 870 mm; humedad relativa promedio anual entre 50% y 57%; y la evapotranspiración potencial promedio anual entre 1260 mm y 1400 mm. La cubierta vegetal lo conforma especies graminales altoandinas con una distribución muy dispersa, asociada con cactáceas. Las tierras de esta zona de vida son utilizadas para el pastoreo estacional o temporal.

3) Páramo húmedo subalpino subtropical (ph-SaS)

Se distribuye en los valles interandinos y laderas de la vertiente occidental de la Cordillera de los Andes, entre los 3,975 y 4,125 msnm, sobre una extensión superficial de 1938.27 Km², equivalente al 24.75% del área de la cuenca. Posee un clima húmedo-frío, con temperatura media anual entre 3°C y 8°C; precipitación pluvial total, promedio anual entre 430 mm y 660 mm; humedad relativa promedio anual entre 45% y 62%; y la evapotranspiración potencial promedio anual entre 1160 mm y 1370 mm. La cubierta vegetal lo conforma una vegetación típica de pradera altoandina constituida por pastos naturales principalmente de la familia Gramíneas más o menos densos con presencia de algunas cactáceas postradas del género *Opuntia* así como arbustos y especies arbóreas del género *Polylepis*, comúnmente llamado "quinual". Las tierras de esta zona de vida son utilizadas para el pastoreo del ganado lanar y vacuno.

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

Se distribuye en los valles interandinos y laderas de la vertiente occidental de la Cordillera de los Andes, entre los 3,850 y 4,850 msnm, sobre una extensión superficial de 2,665.10 Km², equivalente al 34.03% del área de la cuenca. Posee un clima perhúmedo-frío, con temperatura media anual entre 3°C y 8°C; precipitación pluvial total, promedio anual entre 580 mm y 770 mm; humedad relativa promedio anual entre 50% y 61%; y la evapotranspiración potencial promedio anual entre 1230 mm y 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 lanar y vacuno, y en menor proporción para pastoreo de camélidos sudamericanos.

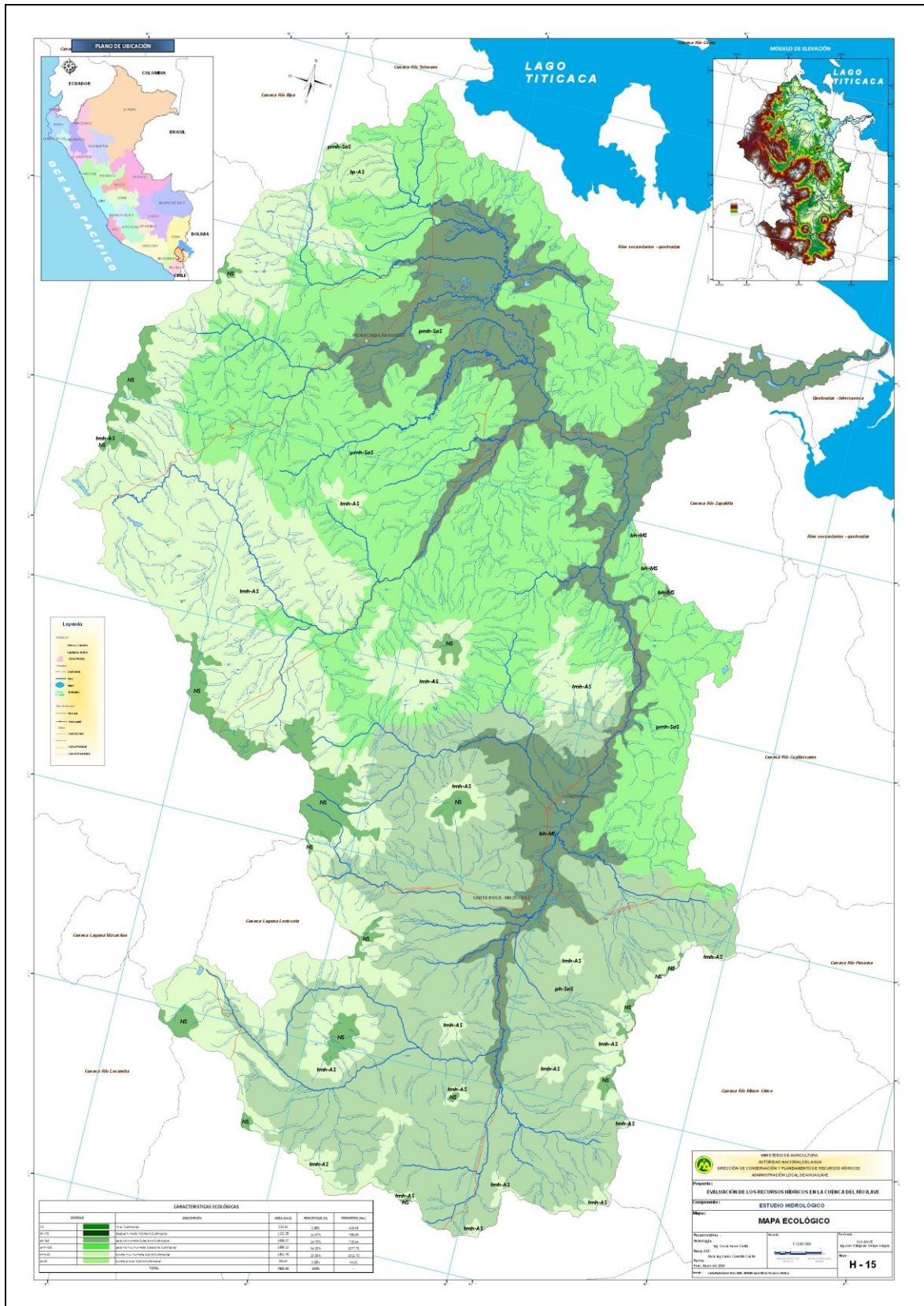
5) Tundra muy húmeda alpino subtropical (tmh-AS)

Se distribuye sobre la estepa espinosa entre los 4,000 y 5,300 msnm, sobre una extensión superficial de 1831.78 Km², equivalente al 23.39% del área de la cuenca. Posee un clima perhúmedo - muy frío, con temperatura media anual entre 3°C y 8°C; precipitación pluvial total, promedio anual entre 430 mm y 760 mm; humedad relativa promedio anual entre 44% y 63%; y la evapotranspiración potencial promedio anual entre 1150mm y 1480mm. La cubierta vegetal lo conforma una vegetación graminal de pradera altoandina algo dispersa asociado con cactáceas del género Opuntia. En las tierras de esta zona de vida.

6) Tundra pluvial alpino subtropical (tp-AS)

Se distribuye entre los 3,950 y 4,750 msnm. sobre una extensión superficial de 69.40 Km², equivalente al 0.89% del área de la cuenca. Posee un clima súperhúmedo-muy frío, con temperatura media anual alrededor de 8°C; y precipitación pluvial total, promedio anual, entre 740 y 760 milímetros; humedad relativa promedio anual alrededor de 51%; y la evapotranspiración potencial promedio anual entre 1360 mm y 1390 mm. La cubierta vegetal lo conforma una vegetación típica de pradera altoandina constituida por pastos naturales principalmente de la familia Gramíneas más o menos denso. Las tierras de esta zona de vida son utilizadas para el pastoreo de auquénidos y ovino.

Figura N° 3.30
Mapa Ecológica (distribución de las zonas de vida) - Cuenca del río Ilave



3.7.- GEOLOGIA

La descripción de las características geológicas de la cuenca del río Ilave se ha tomado de la bibliografía de referencia. Las características geológicas están relacionadas genéticamente con los principales eventos geológicos ocurridos en la región, destacando entre ellos movimientos tectónicos de tensión y compresión que han originado un intenso fallamiento y erosión siguiendo la orientación de la cordillera de los Andes.

En la cuenca de la río Ilave afloran rocas de diferente composición, cuyas edades van desde el Precámbrico al Cuaternario reciente, estando compuestas mayormente por rocas sedimentarias y metamórficas cubiertas por depósitos de rocas volcánicas y depósitos in consolidados modernos.

En la Figura N° 3.31 se presenta las características geológicas en la cuenca del río Ilave.

1) Depósitos Fluvioglaciares (Qp-fg)

Están referidos a materiales morrénicos poco consolidados y depositados en bancos irregulares, que han sido previamente transportados por las aguas a partir de depósitos glaciáricos más antiguos. Esta formación geológica, abarca una superficie de 737.51 Km², en el ámbito de la cuenca del río Ilave. Se ubican en la zona media y alta de la parte sur de la cuenca, generalmente localizados en las subcuencas Conduriri (zona baja), Ayupalca, Medio Alto Ilave (zona Mazocruz), Llusta (zona Viluta) y Alto Ilave (zonas Coypa Coypa, Cuirare y Chichillapi). Los depósitos fluvioglaciares corresponden a la edad cenozoico cuaternario pleistoceno.

2) Depósitos Glaciares (Qp-g)

Los depósitos glaciares, abarcan una superficie de 258.50 Km², en la cuenca Ilave. 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 media y alta de la cuenca Ilave, generalmente localizados en la zona alta de las subcuencas Conduriri y Aguas Calientes (zona río Blanco).

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 edad cenozoico cuaternario pleistoceno.

3) Deposito Aluvial Resiente (Qr-al)

Se extiende en una superficie de 772.50 Km² en la cuenca Ilave. 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 localizan en la zona baja y media en la subcuenca Aguas Calientes, una parte se ubica en la zona baja del río Huenque y una

parte pequeña en la zona sur de la cuenca llave (subcuencas Llusta y Alto llave). Los depósitos aluviales recientes corresponden a la edad cenozoico cuaternario reciente.

4) Grupo Puno (Ti-pu)

Esta formación geológica abarca una superficie de 33.62 Km² en la cuenca llave. Generalmente, en la unidad más baja, ocurren tobas con estratificación gradada, con frecuencia muestran en el tope, un banco de ignimbrita blanca con una extensión lateral amplia.

Se observa una gradación normal y una laminación de 1 a 5 mm., mientras que en la parte más alta puede estar inversamente gradada. También están presentes bloques de lava subangulares de rango de 1 metro de diámetro, siendo el promedio 30 cm. La matriz tobácea consiste de fragmentos líticos angulares (75%) de andesita vítrea con una mezcla de ceniza cristalizada la cual está localmente soldada.

El contacto con las principales secuencias de lavas suprayacentes, no es claro. Las lavas tienden a formar una superficie plana suavemente ondulada. Se ubica en la zona baja y alta de la cuenca llave, localizadas en la zona llave - zona circunlacustre del lago Titicaca y en la subcuenca Medio Alto llave (se ubica en los nacientes del río Santa Rosa, en el Centro Poblado de Santa Rosa, distrito de Mazocruz). La formación geológica grupo Puno corresponde a la edad cenozoico terciario inferior.

5) Grupo Tacaza (Tm-ta)

Se localiza en una superficie de 1030.14 Km² en la cuenca llave. El grupo consiste predominantemente de areniscas con menos conglomerados, los sedimentos parecen llegar a ser de grano fino.

Consiste generalmente en areniscas masivas interestratificadas (capa 1-9 m. de espesor) con algunos lentes de conglomerados, areniscas laminares bien estratificadas y mal clasificadas, areniscas limonititas que contienen granos de cuarzo subangular. La sucesión también contiene por lo menos tres horizontes de ignimbritas con varios metros de espesor cada uno estas unidades son grises pálido a verde rosado de grano fino y consistente de trizas de vidrio, parcialmente devitrificado, con algunos cristales (feldespato, cuarzo, biotitas, hornblendas). Horizontes de tufos también han sido identificados cerca de Pilcuyo en la península de Capachica, y en el área de Lagunillas. La formación geológica grupo Tacaza corresponde a la edad cenozoico terciario medio.

Esta formación geológica se localizan en la zona alta de las subcuencas Alto Aguas Calientes (río Malcomayo), Cutimbo, Lorigongo, en ellos ubicados en tramo Puno - Laraqueri, subcuenca Tunquipa, Uncallane (zonas San Fernando y Jilatamarca), Medio Bajo Aguas Calientes y una parte pequeña en la parte baja del río Huenque.

6) 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 lajosas con estratificación de canal con

conjuntos de menos de 2 m de grosor. La presencia ubícua 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 fierro 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 9.47 Km², en el ámbito de la cuenca del río Ilave. Se ubican en la zona alta de la subcuenca Ayupalca. La formación Huancané corresponde a la edad cenozoico cretácico inferior.

7) Formación Ayabaca (Km-ay)

Se extiende en una superficie de 421.34 Km² en la cuenca del río Ilave. Deriva su nombre de la localidad de Ayabacas en el cuadrángulo de Juliaca, en la carretera Juliaca-Taraco, el término fue introducido por Cabrera y Petersen (1936) para una secuencia de calizas y capas rojas. La unidad fue mapeada por Newell (1949).

Regionalmente y sobre todo la base, es un contacto tectónico por lo que las relaciones estratigráficas no son bien conocidas, sin embargo, se localiza en la parte baja de la cuenca Ilave, ubicadas en las subcuencas Medio Bajo Ilave, Bajo Aguas Calientes, Medio Bajo Aguas Calientes, Bajo Ilave y una pequeña parte en la zona alta de la subcuenca Alto Aguas Calientes (río Malcomayo), y además en el cuadrángulo de Puno al SO de Cabanillas y en la hacienda Taya-Taya, la formación parece descansar concordadamente sobre una secuencia delgada de transición sobre la formación arenisca angostura.

La mayoría de los afloramientos son grandes capas aloctonas sobre corridas en Klippe, como por ejemplo en el cuadrángulo de Ilave y lagunillas.

En términos generales, la formación consiste de una matriz fangolítica roja isótropa alrededor del bloque y escamas de caliza fallados y plegados complejamente. La formación Ayabaca corresponde a la edad cenozoico cretácico medio.

8) 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 11.23 Km², en el ámbito de la cuenca del río Ilave. Se ubican en la zona alta de la subcuenca Ayupalca. La formación Moho corresponden a la edad cenozoico cretácica media.

9) Formación Lagunillas (JKi-Ig)

Esta terminología fue introducida por Cabrera y Petersen (1936) para rocas de edad jurásica que afloran en el cuadrángulo de lagunillas, alrededor de la Maguana Lagunillas y laguna Sara Cocha, su empleo fue continuado por Newell (1949) y Portugal (1974) y ambos describen una sección en el lugar biotípico junto con exposiciones que se observan en el área de mañazo, en el cuadrángulo de Puno. También se encuentran dos exposiciones significativas en el cuadrángulo de pichacane. Se tiene en la base calizas sinumerianas cubiertas por lutitas negras, piritosas de edad Coluviana, con calizas delgadas intercalada cerca al tope, y finalmente areniscas cuarzosas con estratificación de corriente, con desechos de plantas en el techo e intercalaciones de limonitas rojas pertenecientes al jurásico superior a cretácico inferior. La base del grupo no se ve pero es probable que descansa sobre rocas paleozoicas puesto que ellas afloran a menos de 10 Km. al norte de Lagunillas. Se estima una potencia máxima del orden de los 100m aunque no hay una localidad que tenga la secuencia completa.

Se extiende en una superficie de 224.66 Km² en la cuenca Ilave. Se localiza en la zona media margen izquierda del río Blanco en la subcuenca Uncallane. La formación Lagunillas corresponde a la edad cenozoico jurásico superior.

10) Formación Azángaro(Ts-az)

Abarca una superficie de 111.26 Km² en la cuenca del río Ilave. 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 el cuadrángulo de Puno y en el cuadrángulo de Juli.

Se localizan en la zona baja de la subcuenca Aguas Calientes y río Huenque, y en la subcuenca Bajo Ilave, alrededor de la zona Ilave. La erosión a través de largos ríos a cortado a la formación re-depositando los materiales como aluviales recientes, la erosión en el borde del afloramiento es acelerada.

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

11) Formación Capillune (Ts-ca)

El nombre de esta formación se ha tomado del caserío homónimo ubicado a inmediaciones del río Viluta. En la margen izquierda de este río existen afloramientos de una serie sedimentaria lacustre, compuesta de conglomerados, areniscas, piroclásticos, limolitas, y arcillas, con coloraciones grises, blanco, amarillentas y ver dosas.

Los afloramientos más extensos de la formación quedan la parte septentrional de ambos cuadrángulos, especialmente en el de Antajave.

La litología de la formación consiste de una intercalación de arcillas, limolitas, areniscas, conglomerados y piroclásticos.

Las arcillas se encuentran en capas delgadas hasta laminares y predominantemente son de color blanquecino.

Las limolitas ocurren en capas medianas y gruesas, generalmente son de colores claros y ocasionalmente oscuros.

Las areniscas son muy abundantes, normalmente se encuentran en capas gruesas y medianas, contienen algunos lentes conglomerádicos; ofrecen poca compactación y en algunos casos son casi sueltas. La roca es de grano fino a grueso con coloraciones grises y amarillentas, su composición y matriz es variable, distinguiéndose areniscas arcillosas, tufáceas y conglomerádicas.

Los conglomerados también son abundantes y tienen una coloración gris amarillenta o gris verdosa, se muestran en estratos y bancos gruesos con algunos casos de lenticularidad, pero en general la estratificación no siempre es definida. Estos conglomerados están compuestos por elementos volcánicos redondeados, subredondeados y esporádicamente angulosos, de tamaño muy variable y se hallan en una matriz areniscosa o tufácea, y casi siempre ofrecen moderada compactación.

Entre los materiales piroclásticos existen algunos horizontes delgados o pequeños lentes de tufos, principalmente de composición riodacítica; con mayor frecuencia se presentan bancos de rufostetabajados de coloración blanquecina o rojiza, poco compactados y con abundantes inclusiones líticas, en su mayoría angulosas y sub angulosas. Igualmente, se hallan intercalaciones de bancos lapillíticos de lavas y especialmente de pómez.

La parte más alta de la formación consiste de mantos escoriáceos, de color negro o gris oscuro, y de bancos irregulares de brechas volcánicas.

Esta formación geológica, abarca una superficie de 542.89 Km², en el ámbito de la cuenca del río Ilave. Se ubican en la zona media y margen derecha de la subcuenca Conduriri, zona baja y media de la subcuenca Ayupalca, zona media de la subcuenca Medio Alto Ilave, margen derecha de la subcuenca Llusta y una menor parte en la zona alta de la subcuenca Alto Ilave. La formación Capillune corresponde a la edad cenozoico terciario superior.

12) Formación Maure (Ts-ma)

Se extiende en una superficie de 561.14 Km² en la cuenca del río Ilave. El término Formación Maure fue introducido por primera vez por Wilson y García (1962) para una secuencia de sedimentos y piro clásticos post- grupo Barroso, en el área de palca en el sur del Perú, derivado aparentemente del nombre Mauri usado previamente Douglas (1914) para rocas en el área del río Mauri en el norte de Bolivia.

Consistente de volcánicos interestratificados y sedimentos lacustre. Aparte de las lutita negras los sedimentos y piro plásticos son de color pálido aunque una coloración verde intensa debido al alto contenido de clorita es una característica distintiva de algunas unidades.

Se localizan en la zona alta - margen derecha del río Blanco en la subcuenca Uncallane, zona baja del río Huenque y zona alta subcuenca Bajo Aguas Calientes. La formación Maure corresponde a la edad cenozoico terciario superior.

13) Grupo Sillapaca (Ts-si)

Abarca una superficie de 17.83 Km² en la cuenca Ilave. El término se ha derivado de la cordillera Sillapaca al NO del cuadrángulo de Lagunillas, nominado por Jenks y Newell (1949) usando ambos el nombre de volcánicos Sillapata y "Grupo Sillapaca". Posteriormente Portugal (1948) introduce el término formación sillapaca, a lo largo de los volcánicos de la cordillera.

Las edades radio métricas de la secuencia tipo han sido establecidas en el grupo Sillapaca así como la secuencias volcánicas contemporáneas que no necesariamente poseen la misma litología o características morfológicas, la secuencia está dominada por lavas formando riscos, principalmente de composición dactílica a traquiandestica y alcalinas de Condorama y Ocuwiri, Callalli y Lagunillas y en pequeños afloramientos aislados en el cuadrángulo de Ilave.

Se localiza en la zona baja - margen derecha del río Huenque y en la zona alta - margen derecha de la subcuenca Bajo Ilave. La formación geológica grupo Sillapaca corresponde a la edad cenozoico terciario superior.

14) Grupo Barroso (TQ-ba)

Ocupa una superficie de 2865.25 Km² en la cuenca del río Ilave. La cordillera del barroso se encuentre en la esquina NO del cuadrángulo de palca, designada como área típica para la formación Barroso por Wilson y García (1962). La formación consiste en una serie erosionada de andesita y traquitas, proveniente de conos volcánicos por glaciación pre-pleistocénica donde las tobas dominan sobre las lavas. Posteriormente Mendivil (1965) eleva la formación barroso a la categoría de grupo, definiéndola como una secuencia que comprenden todas las rocas volcánicas posteriormente a la formación Caillune y anteriores a la última glaciación.

Se localiza en la zona baja, media y alta de la cuenca, se extiende casi en toda la cuenca del río Ilave, es la formación geológica mas predominante de la cuenca Ilave. La formación geológica grupo Barroso corresponde a la era cenozoico, sistema terciario y serie superior.

15) Volcánico Chila (TQ-chi)

Se denomina así al conjunto de coladas lávicas y piroclásticos que forman los conos volcánicos más antiguos del área, es decir aquellos que se hallan al Este y Noreste de la Cordillera del Barroso, donde destacan conspicuamente por sus formas imponentes en el paisaje del altiplano. El nombre deriva del cerro homónimo ubicado en la hoja de Maure, a poca distancia del puesto de la Guardia Civil de Challapalca. Estos conos volcánicos se diferencian nítidamente de otros de edad más reciente por sus formas regulares, bases amplias de contorno circular y fuerte erosión glaciaria.

Las relaciones de campo del volcánico Chila no son, muy claras, debido a la cubierta de morrenas y fluvioglaciares que cubren la mayor parte de los afloramientos. Queda cubierto por corrientes lávicas del volcánico Barroso con discordancia que muestra cierta angularidad por acumulación original; en cambio descansa discordantemente sobre la formación Capillune.

Litológicamente se compone de una alternancia de derrames piroclásticos. Los mantos de lavas son de andesita o traquiandesita con espesores que varían de 20 a 50 m., generalmente son de grano fino y a veces grueso, comúnmente están fracturadas y en algunos casos tienen estructura fluida marcada y abundantes vacuolas pequeñas. El color de la roca varía del gris claro al gris oscuro hasta negro; por alteración, en algunos casos, se vuelven rojizas.

Los piroclásticos están representados principalmente por bancos de brechas y aglomerados, cuyos elementos varían notoriamente de tamaño entre uno y otro banco, igualmente difieren en matriz y compactación.

Los aparatos volcánicos pertenecen al tipo de "estrato-volcanes". Los mantos de lavas y piroclásticos que forman la estructura del volcán tienen inclinaciones suaves en la periferie. En la actualidad se conservan bien las formas cónicas de los volcanes, estos tienen alturas que sobrepasan los 5,100 m.s.n.m, Los cráteres de los volcanes así como las coladas superiores están profundamente erosionadas, fundamentalmente por acción glaciaria, cosa que los diferencia de algunos volcanes más modernos cuya forma exterior no ha sido muy afectada.

En los volcanes del volcánico Chila son comunes los circos glaciares y sus flancos se hallan cubiertos en gran parte por depósitos morrénicos, destacando sólo la parte superior del volcán. Rocas volcánicas más modernas cubren en parte los flancos de dichos volcanes y en muchos casos quedan completamente tapados por productos de reactivaciones posteriores.

Otra de las características importantes aparte de la alternancia de derrames y piroclásticos, es la presencia de vetillas de plomo, cobre y mayormente pequeñas diseminaciones de minerales de hierro en los piroclásticos.

Esta formación geológica, abarca una superficie de 4.41 Km², en el ámbito de la cuenca del río Ilave. Se ubica en la zona alta de la subcuenca Llusta, zona Capazo. La formación geológica Volcánico Chila corresponde a la edad cenozoico terciario superior.

16) Volcánico Senca (Ts-vse)

Nombre designado por Mendivil a una secuencia de rocas volcánicas de facies piroclásticas, con tobas porfíricas y microconglomeráticas débilmente consolidadas con

feldespatos, epidotizados y caolinizados, clastos volcánicos subangulosos a subredondeados y cuarzo. Tienen poco peso y son generalmente de colores claro amarillentos; su composición varía entre riolítica y riodacítica y algunas tobas brechoides y aglomerados grises.

El grosor de la formación sencca se estima en 300 m y morfológicamente los afloramientos por la poca inclinación de los estratos constituyen mesetas suavemente onduladas, deformadas por valles de fondo plano y flancos de paredes escarpadas, con algunas superficies ruiformes en forma excepcional debido a la erosión.

Esta unidad se distribuye ampliamente en todo el departamento estando sus mejores afloramientos en los alrededores de la ciudad de Arequipa, Caravelí y al norte de Cotahuasi No se han encontrado fósiles en esta formación y solo por correlación estratigráfica se le asigna una edad como Plioceno medio.

En la cuenca del río Ilave, la formación geológica Volcánico Senca, abarca una superficie de 146.08 Km². Se localiza en la zona alta del río Blanco – Subcuenca Uncallane, zona media y alta de la subcuenca Conduriri y en la alta de la subcuenca Medio Alto Ilave, zona Santa Rosa. La formación geológica Volcánico Senca corresponde a la edad cenozoico terciario superior.

17) Dacitas (T-da)

Abarca una superficie de 45.54 Km² en la cuenca Ilave. Son pequeños stocks de andesitas subvolcánicas y de dasitas se encuentran en muchas áreas con el vulcanismo de Tacaza. Sillapaca y Barroso, ellos representan los conductos de chimeneas volcánicas para las lavas sobreyacientes. Las erosiones generalmente forman pequeños cerros subcirculares de lados escalonados, verticales los que con frecuencia presentan fracturas de enfriamiento hexagonal complejamente orientadas. Composicionalmente se distinguen de las lavas asociadas.

Se localiza en diferentes zonas en pequeñas áreas en la cuenca del río Ilave, y se encuentran ubicadas en la zona alta de la subcuenca Cutimbo, zona alta del río Blanco y zona alta de la subcuenca Bajo Aguas Calientes. La formación geológica Dacitas corresponde a la edad cenozoico terciario medio.

18) Granodiorita (T-gd)

Esta formación geológica se extiende en una superficie de 0.21 Km² en la cuenca Ilave. Este grupo aflora principalmente en los cuadrángulos de Ocuviere y Juliaca, forman una cadena de plutones, los cuales son paralelos a la faja de sobrecurrimiento del Mioceno.

Los rangos del color de la roca son de anaranjado, rosado verdoso a gris marrón claro. Se localiza en la zona alta de la subcuenca Alto Aguas Calientes (río Malcomayo). Esta formación geológica Granodiorita corresponde a la edad cenozoico terciario medio.

19) Porfiroides (T-pf)

Se extiende en una superficie de 12.09 Km² en la cuenca del río Ilave. Los porfidos intrusivos están asociados con la fase principal del vulcanismo y en algunos casos el porfido en el cuadrángulo de Callalli esta asociado con la Ignimbrita Confital, descrita con al sección de la unidad volcánica pertinente. Incluye un grupo variado de rocas porfiritica, de grano fino cuya composición alcanza el rango de diorita a monzogranita. Los

siguientes ejemplos sirven para ilustrar las diferentes composiciones y relaciones estructurales encontradas.

Se localiza en una franja de la zona alta - margen izquierda de las subcuencas Bajo Ilave y Bajo Aguas Calientes. Esta formación geológica Porfiroides corresponde a la edad cenozoico terciario medio.

20) Grupo Cabanillas, Formación Contaya (Pi-ca/c)

Esta formación geológica se extiende en una superficie de 28.86 Km² en la cuenca Ilave. La sección típica fue descrita por Newell (1949) en el área de Cabanillas 40 km. Al SO de Juliaca, los afloramientos principales del grupo Cabanillas indiviso, se encuentran en los cuadrángulos de Puno, Acora e Ilave, la cuarcita es de color marrón pálido, micácea, masiva, localmente, pasando a una fina estratificación lajosa, e interestratificada con limonitas lujosas.

En el área Acora e Ilave el grupo Cabanillas comprende Lutitas grises, verdosas claras a grises claras, intercaladas con subarcoas de grano fino a grueso con varios metros de grosor, su color es blanco, gris, marrón rojizo y verde oscuro. En sección delgada se puede ver que consisten de plagioclasa y cuarzo muy anguloso a sub anguloso, pobremente sorteados y como minerales accesorios clorita, moscovita, circón y manchas de sideritas secundarias.

Se localiza en la zona media - margen izquierda de la subcuenca Bajo Ilave - zona Ilave, y en la zona alta de la subcuenca Alto Aguas Calientes (río Malcomayo) - zona Acora. La formación geológica grupo Cabanillas - Formación Contaya corresponde a la edad paleozoico terciario inferior.

Figura N° 3.31
Mapa Geológico - Cuenca del río Ilave



3.8.- USO MAYOR DE SUELOS

Según la clasificación de suelos elaborada por ONERN se ha representado los suelos mediante una unidad cartográfica amplia: La Asociación de Suelos, utilizando como unidades taxonómicas los Grandes Grupos de Suelos significativos. Ver Figura N° 3.32 (Mapa de Capacidad de Uso de la Tierra).

Las asociaciones se identifican en el Mapa H-17 (Ver Anexo 2, Volumen III), Mapa de Grandes Grupos de Suelos y Capacidad de Uso mediante símbolos literales, complementariamente a la simbología edáfica, se ha añadido las Clases de Capacidad de Uso dominantes, expresados en números romanos, con el fin de señalar el potencial agropecuario de cada una de ellas. En algunos casos se ha recurrido al empleo de una fracción donde el numerador representa la clase dominante y el denominador la clase subdominante.

1) Cultivos en Limpio – Pastos (A3sc-P2s-Xs)

Agrupa tierras de calidad agrológica baja y media, por presentar severas limitaciones de carácter edáfico, salinidad y drenaje. Requieren de intensas labores de manejo y conservación de suelos a fin de evitar su degradación.

Está conformada por suelos moderadamente profundos a muy profundos, de textura media a moderadamente fina con drenaje de bueno a moderado y con una reacción extremada a moderadamente ácida.

Se reúnen en este grupo las tierras que aparecen aptas para cultivos temporales y permanentes. En esta clasificación la extensión es de 186.05 Km², que representa un 2.38% del área total de la cuenca, área que sirve para cultivo en limpio como fagáceas, poaceas. Limitada por el clima y el suelo, también apta para el pastoreo.

La clasificación es la siguiente: Calidad agrológica baja y media.

2) Pastoreo de Paramo (P2sc-Xse)

Apta para pastoreo, recomendable para medidas de protección por la posible erosión del suelo.

Está conformada por suelos muy superficiales a moderadamente profundos, de textura moderadamente fina, con drenaje moderado, con una reacción extremada a fuertemente ácida y una fertilidad de la capa arable baja, especialmente por los bajos contenidos de fósforo y potasio disponible.

Descrita como de calidad agrológica media – protección. Limitación por suelo y clima. Abarca un área de 3,740.61 Km², que representa un 47.76% de la cuenca.

El uso de estas tierras requiere de prácticas intensas de conservación y manejo de suelos, para manejar las áreas con drenaje imperfecto del suelo Gris, se recomienda 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. También se recomienda la incorporación de abonos orgánicos y de fertilizante sintéticos en forma racional y balanceada y también se recomienda realizar encladuras para elevar el pH del suelo.

Es recomendable mantener las especies nativas previamente seleccionadas asociados con pastos exóticos mejorados adaptadas a las condiciones adversas de acidez y toxicidad de aluminio intercambiable. La asociación de pasturas deberá contemplar gramíneas y leguminosas.

3) Pastoreo de Paramo (P2sec-Xse)

Está conformada por suelos superficiales a profundos, de textura moderadamente fina a fina, de drenaje bueno a imperfecto, con una reacción extremada a fuertemente ácida y una fertilidad de la capa arable baja, especialmente por los bajos contenidos de fósforo y potasio disponible.

Descrita como calidad agrológica media – protección. Limitada por suelo, erosión y clima. Abarca un área de 915.33 Km² la que representa un 11.69% del área de la cuenca.

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.

Es recomendable mantener las especies nativas previamente seleccionadas asociados con pastos exóticos mejorados adaptadas a las condiciones adversas de acidez y toxicidad de aluminio intercambiable. La asociación de pasturas deberá contemplar gramíneas y leguminosas.

4) Pastoreo de Paramo (P3sec-Xse)

Está conformada por suelos muy superficiales a moderadamente profundos, de textura moderadamente fina, con drenaje moderado, con una reacción extremada fuertemente ácida y una fertilidad de la capa arable baja, especialmente por los bajos contenidos de fósforo y potasio disponible.

Descrita como calidad agrológica baja-protección. Limitaciones por suelo y erosión. Abarca un área de 429.07 Km², la que representa un 5.48% del área de la cuenca.

La principal limitación de estos suelos es la pendiente empinada que presenta, la cual origina un riesgo a la erosión, que puede acelerar el proceso de pérdida de partículas del suelo y de nutrientes. Además, la fertilidad baja constituye otra limitación, debido a la deficiencia de ciertos nutrientes, especialmente el fósforo y potasio.

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.

Es recomendable mantener las especies nativas previamente seleccionadas asociados con pastos exóticos mejorados adaptadas a las condiciones adversas de acidez y toxicidad de aluminio intercambiable. La asociación de pasturas deberá contemplar gramíneas y leguminosas.

5) Protección (Xse (dd))

Comprende una superficie de 681.77 Km² equivalente al 8.70% del área total. Estas tierras están limitadas en su uso potencial, porque presentan fuerte pendiente y en algunos casos por la superficialidad de los suelos para practicar usos agropecuarios. Sin embargo, 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.

6) Protección (Xse (g))

Abarca una superficie de 249.25 Km², que representa 3.18% del área total de la cuenca Ilave. Estas tierras están limitadas en su uso potencial, por presentar pendientes mayores en las laderas de montañas glaciares.

7) Protección (Xse-P2sec)

Descrita como calidad agrológica media – protección. Limitaciones por suelo y erosión. Abarca un área de 908.44 Km², que representa 11.60% del área total de la cuenca Ilave.

8) Protección (Xse-P3sc)

Se localiza en una superficie de 60,71 Km², y representa 0.78% del área total del cuenca del río Ilave. Estas tierras presentan limitaciones en su uso potencial, por la degradación de suelos, y la calidad agrológica es baja.

9) Protección (Xse-P3se(t)-A3se(r*))

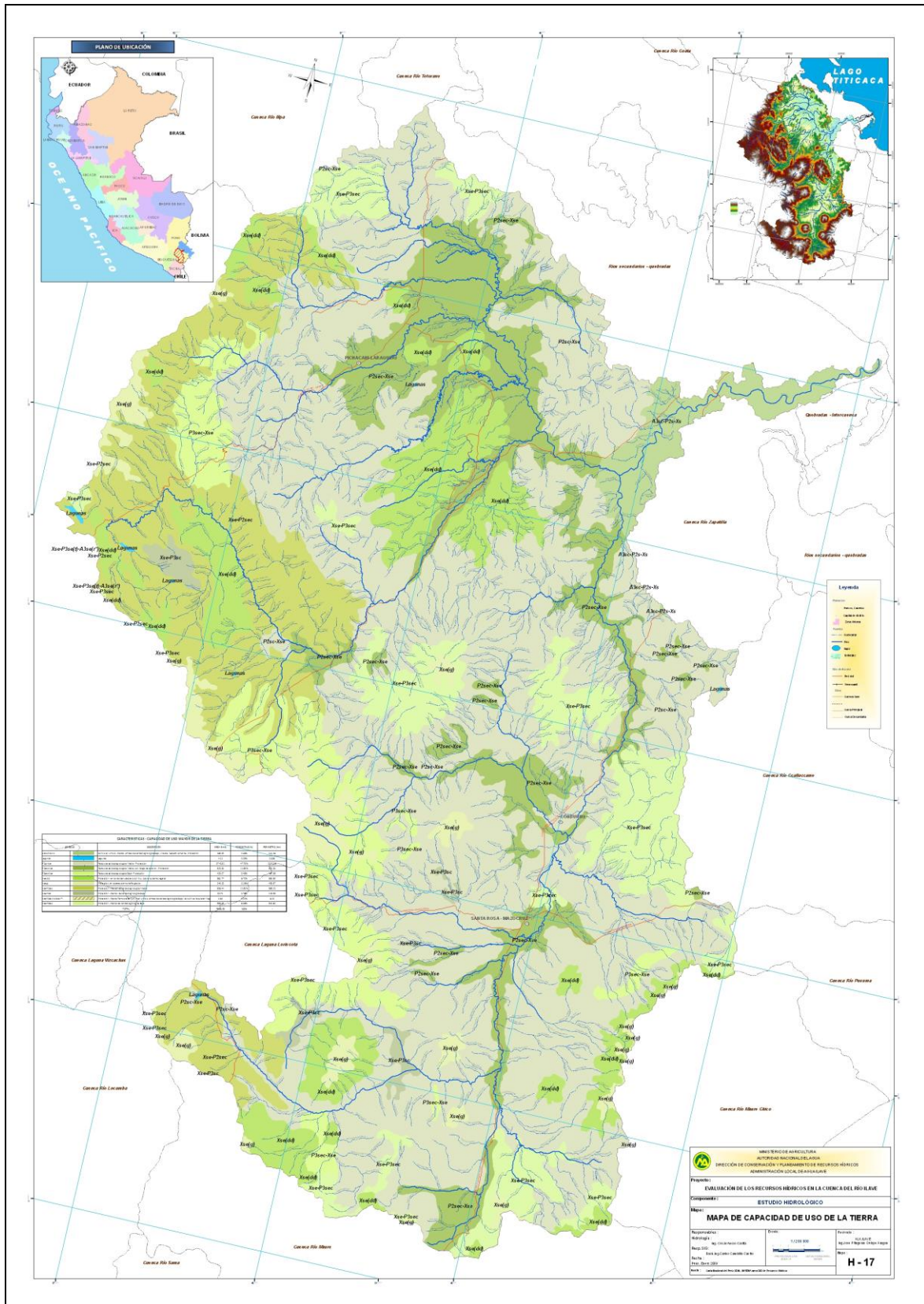
Comprende una superficie de 0.84 Km², equivalente al 0.01% del área total de la cuenca del río Ilave. Está constituida por pastos temporales, cultivos en limpio, ambas de calidad agrológica baja, y los cultivos requieren riego. Los pastos temporales dan una mayor susceptibilidad a riesgos de erosión hídrica.

Estas tierras están limitadas en su uso potencial, en algunos casos, porque presentan fuerte pendiente, y en otros porque además de su fuerte pendiente tienen un suelo superficial. Además en todos los casos tienen una baja fertilidad natural para practicar usos agropecuarios y forestales.

10) Protección (Xse-P3sec)

Está conformado en algunos casos por suelos moderadamente profundos a profundos, ubicados en pendiente muy empinada a extremadamente empinada, de textura moderadamente fina a moderadamente gruesa, de drenaje bueno a moderado y de reacción muy fuerte a extremadamente ácida (pH 4,5 a 6,2), donde la limitación principal está referida al riesgo de erosión, por la fuerte pendiente que presentan. Además, en algunos casos se adiciona la fertilidad baja por deficientes contenidos de fósforo y potasio disponibles. En otros casos a la ausencia del recurso edáfico como es la unidad de área miscelánea identificada como Afloramiento Lítico localizada en la zona de vida de estepa montano subtropical. Abarca un área de 656.36 Km², la que representa un 8.38% del área total de la cuenca. La calidad agrológica es baja.

Figura N° 3.32
Mapa de Uso Mayor de Suelos - Cuenca del río Ilave



3.9.- GEOMORFOLOGIA

3.9.1.- Conceptos

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.

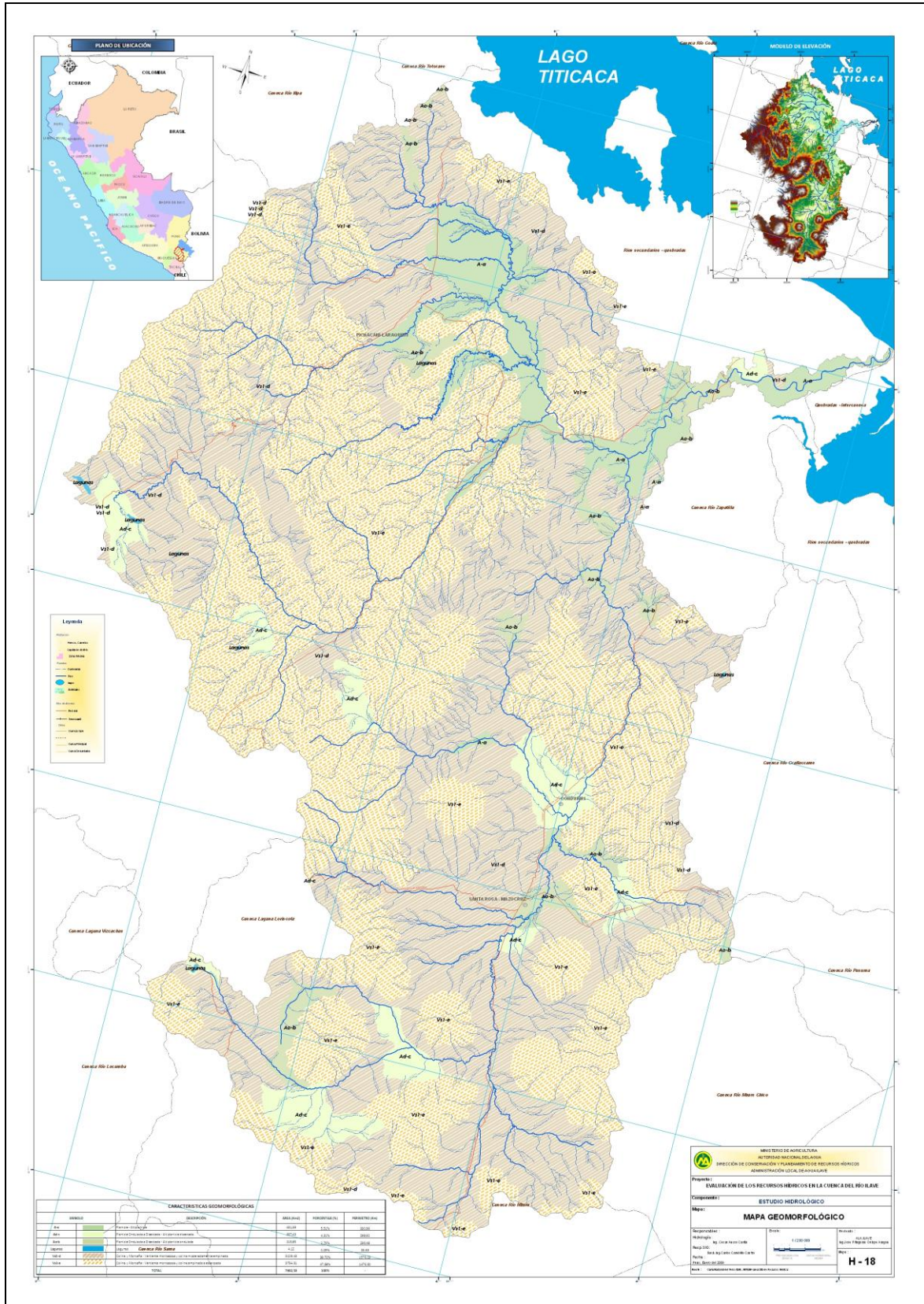
Las características físicas desempeñan un papel esencial en la respuesta hidrológica de una cuenca hidrográfica. Recíprocamente, el carácter hidrológico de la misma contribuye considerablemente a formar sus características físicas. Entonces, esta interrelación debería suministrar la base para predecir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

3.9.2.- Descripción geomorfológica de la cuenca

A nivel de la cuenca del río Ilave, se ha encontrado 06 características diferentes, que a continuación se describe en forma breve cada una de ellas:

- ✎ *Planicie - Altiplanicie (A-a).*- se caracteriza en la parte baja y se ubica en diferentes zonas de la cuenca del río Ilave, abarca en total los 431.39 Km² de superficie y representa 5.51% del total de la cuenca, además en esta zona la pendiente de la cuenca es muy pequeña.
- ✎ *Planicie Ondulada a Disectada - Altiplanicie Disectada (Ad-c).*- se caracteriza generalmente en la parte media y baja de la cuenca, y una parte en la zona baja, igualmente ubicadas en diferentes zonas, abarcando un área de 337.43 Km² y 4.31% del total de la cuenca, en estas zonas la pendiente es moderada.
- ✎ *Planicie Ondulada a Disectada – Altiplanicie Ondulada (Ac-b).*- esta característica se ubica en la parte baja, media y alta de la cuenca, abarca una superficie de 215.85 Km² y 2.76% del total de la cuenca del río Ilave, igualmente la pendiente en estas zonas es suave a moderada.
- ✎ *Colina y Montaña - Vertiente Montañosa y Colina Moderadamente Empinada (Vs1-d).*- es la segunda característica geomorfológica que ocupa mayor área de influencia, abarca la parte baja, media y alta de la cuenca, en una superficie de 3109.43 Km² y 39.70% del total de la cuenca, en estas zonas la pendiente es fuerte.
- ✎ *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 la parte alta, media y baja de la cuenca, en una superficie de 3734.31 Km² y 47.68% del total de la cuenca, en estas zonas la pendiente es muy fuerte.
- ✎ *Lagunas.*- en la cuenca existen áreas pequeñas ocupadas por lagunas naturales, que abarca una superficie de 4.12 Km² y 0.05% del total de la cuenca Ilave.

Figura N° 3.33
Mapa Geomorfológico - Cuenca del río Ilave



3.10.- CUENCA HIDROGRAFICA DEL RIO ILAVE

La cuenca del río Ilave presenta dos ejes principales de drenaje, como son ríos Huenque y Aguas Calientes, que se unen para formar el río Ilave y luego ésta a desembocar al lago Titicaca.

La cuenca posee una Superficie Total de 7,832.53 Km², a la que le corresponde una superficie de 3,934.00 Km² (50.23%) a la cuenca del río Huenque y una superficie de 3,693.03 Km² (47.15%) a la cuenca del río Aguas Calientes y la superficie restante de 205.50 Km² (2.62%) a la subcuenca del Bajo Ilave.

El curso principal de la cuenca del río Ilave, nace desde el río Coypa Coypa - Chichillapi - río Llusta Baja - río Huenque - río Ilave - hasta la desembocadura al lago Titicaca. La longitud del cauce principal es de 211.00 Km y tiene una pendiente media de 0.40%.

El altiplano y las cordilleras que lo rodean son el resultado de una evolución estructural larga e intensa, que llega hasta tiempos muy recientes, con fenómenos de levantamiento y vulcanismo muy activos.

En particular, el altiplano es el resultado del relleno de una fosa tectónica que puede ser localizada incluso en el cretáceo, que ha recibido grandes cantidades de materiales clásticos, en gran parte continentales y Vulcano – sedimentarios, acumulados en espesores fuertes y poco cementados.

La actividad estructural reciente ha deformado estos depósitos, creando las serranías que se encuentran en el interior del altiplano, constituidas por materiales fácilmente erosionables, y zonas endorreicas de acumulación, sujetas a inundaciones y embalses de agua.

La actividad de levantamiento reciente y todavía en curso ha determinado una dinámica laboriosa de la hidrografía superficial, con variaciones en la forma y localización de las zonas deprimidas; en consecuencia, los depósitos recientes, poco consolidados, se ven expuestos a un ataque intenso. La misma actividad de levantamiento ha favorecido el desarrollo de un retículo de drenaje bien organizado y bien denso, a lo largo del cual se realizan los fenómenos tanto erosivos como de deposición. En efecto, a lo largo de todos los tramos fluviales se notan trazas de una acción erosiva continua, asociadas con áreas de depósitos y embalse de agua. Esta situación es consecuencia del régimen fluvial, el cual, durante la estación húmeda, presenta crecidas que determinan el transporte veloz de grandes cantidades de materiales, mientras que en la estación seca el agua tiende a embalsarse en las zonas llanas, incluso en el interior de los valles.

El clima de todo el altiplano contribuye a acentuar los efectos de los fenómenos vinculados a la dinámica fluvial y a los procesos erosivos. En efecto, las lluvias son breves y violentas, concentradas en un periodo de poco más de tres meses. Esto determina una fuerte erosión y transporte sólido de los relieves e, igualmente, inundaciones y depósitos en las áreas deprimidas, resultado de eventos a menudo catastróficos. Durante el resto del año el clima es seco y frío, con heladas nocturnas, que favorecen la disgregación de las rocas, y viento fuerte y frecuente.” [7]

Figura N° 3.34
Cuenca del río Ilave



3.10.1.- Subdivisión hidrográfica de la cuenca

La denominación de las unidades hidrográficas circunscritas en el área de la cuenca del río Ilave 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, nueve (09) unidades hidrográficas básicas o subcuencas. Ver Tabla 3.6 y Cuadro N° 3.29 y 3.30. En la Figura N° 3.35 y 3.36 se presenta la divisoria de las subcuencas. Esta subdivisión se ha realizado utilizando el método de Pfafstetter.

La cuenca del río Ilave está conformado por nueve subcuencas de nivel 4: Subcuenca Alto Ilave (río Chichillapi), Llusta (río Llusta alta), río Ayupalca, río Conduriri, río Aguas Calientes, Medio Alto Ilave (río Llusta Baja), Medio Ilave (río Huenque zona alta), Medio Bajo Ilave (río Huenque) y Bajo Ilave (tramo río Ilave). Los cinco primeros tienen un aporte efectivo de caudal, los cuatro últimos están definidos como intercuencas al recibir el aporte de las anteriores. Y nueve subcuencas de nivel 5: Subcuenca Alto Aguas Calientes Ilave (río Malcomayo), río Cutimbo, río Loripongo, río Tunquipa, río Uncallane, Medio Alto Aguas Calientes (río Grande zona alta), Medio Aguas Calientes (río Grande zona media), Medio Bajo Aguas Calientes (río Grande zona baja) y Bajo Aguas Calientes (tramo río Aguas Calientes). Los cinco primeros tienen un aporte efectivo de caudal, los cuatro últimos están definidos como intercuencas al recibir el aporte de las anteriores

Tabla 3.6
Unidades Hidrográficas y Rangos

Unidad Hidrográfica	Area (Km ²)	Nº de Orden del Río
Microcuenca (pequeña)	10 - 100	1º, 2º ó 3º
Sub cuenca (mediana)	100 - 700	4º ó 5º
Cuenca (grande)	700 - 6000	6º a más

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

Cuadro N° 3.29
Sub Unidades Hidrográficas (subcuencas) - Cuenca del río Ilave

Nº	CODIGO	NIVEL	UNIDAD HIDROGRAFICA	NOMBRE	RIO PRINCIPAL	AREA		Nº ORDEN DEL RIO
						(Km ²)	(%)	
1	0161	4	Subcuenca	Bajo Ilave	Tramo Río Ilave	205.50	2.62	7
2	0162	4	Subcuenca	Aguas Calientes	Río Aguas Calientes	3,693.03	47.15	6
3	0163	4	Subcuenca	Medio Bajo Ilave	Río Huenque	764.32	9.76	6
4	0164	4	Subcuenca	Conduriri	Río Conduriri	606.15	7.74	5
5	0165	4	Subcuenca	Medio Ilave	Río Huenque (zona alta)	72.04	0.92	6
6	0166	4	Subcuenca	Ayupalca	Río Ayupalca	369.21	4.71	4
7	0167	4	Subcuenca	Medio Alto Ilave	Río Llusta Baja	869.90	11.11	6
8	0168	4	Subcuenca	Llusta	Río Llusta Alta	525.25	6.71	5
9	0169	4	Subcuenca	Alto Ilave	Río Chichillapi	727.13	9.28	4
	016	3	Cuenca	Ilave	Río Ilave	7,832.53	100.00	7

Cuadro N° 3.30
Sub Unidades Hidrográficas (subcuencas) – Subcuenca Aguas Calientes

Nº	CODIGO	NIVEL	UNIDAD HIDROGRAFICA	NOMBRE	RIO PRINCIPAL	AREA		Nº ORDEN DEL RIO
						(Km2)	(%)	
1	01621	5	Subcuenca	Bajo Aguas Calientes	Tramo Río Aguas Calientes	132.52	3.59	6
2	01622	5	Subcuenca	Uncallane	Río Uncallane	1,708.21	46.25	6
3	01623	5	Subcuenca	Medio Bajo Aguas Calientes	Río Grande (zona baja)	52.89	1.43	5
4	01624	5	Subcuenca	Tunquipa	Río Tunquipa	247.90	6.71	4
5	01625	5	Subcuenca	Medio Aguas Calientes	Río Grande (zona media)	109.90	2.98	5
6	01626	5	Subcuenca	Loripongo	Río Loripongo	624.59	16.91	4
7	01627	5	Subcuenca	Medio Alto Aguas Calientes	Río Grande (zona alta)	10.63	0.29	5
8	01628	5	Subcuenca	Cutimbo	Río Cutimbo	279.26	7.56	4
9	01629	5	Subcuenca	Alto Aguas Calientes	Río Malcomayo	527.13	14.27	4
	0162	4	Subcuenca	Aguas Calientes	Río Aguas Calientes	3,693.03	100.00	6

Unidades Hidrográficas de Nivel 4

1) Subcuenca BAJO ILAVE (UH 0161)

La subcuenca Bajo Ilave políticamente se encuentra ubicada en los distritos de Ilave y Acora, provincias El Collao y Puno, en el departamento de Puno. Hidrográficamente se localiza en la parte baja del río Ilave. La subcuenca Bajo Ilave abarca 205.50 Km², y representa el 2.62% de la cuenca del río Ilave (7,832.53 Km²). El curso principal es el tramo río Ilave y cuya longitud es de 52.20 Km., desde la confluencia de los ríos Aguas Calientes y Huenque hasta su desembocadura al lago Titicaca.

El cauce del río Bajo Ilave presenta una pendiente media de 0.09%. El cauce en su recorrido presenta formas meándricas y divagantes a consecuencia de la baja pendiente del cauce. Las vías de acceso en esta subcuenca son ejes viales principales y secundarios que comunican con los departamentos de Tacna y Moquegua, provincias y distritos del entorno a la Ciudad de Ilave.

2) Subcuenca AGUAS CALIENTES (UH 0162)

La subcuenca Aguas Calientes políticamente se encuentra ubicada en los distritos de Ilave, Acora, Platería, Chucuito, Puno, San Antonio y Pichacani-Laraqueri; provincias El Collao y Puno, en el departamento de Puno. Hidrográficamente es uno de los ejes principales de drenaje de la cuenca del río Ilave. La subcuenca Aguas Calientes ocupa una superficie de 3693.03 Km², representa el 47.15% del área total de la cuenca del río Ilave. Cuya longitud del cauce principal del río es de 127.53 Km., el río Aguas Calientes nace desde la quebrada Hualla Apacheta - quebrada Taipicerca - quebrada Mocsoma - quebrada San Miguel - río Malcomayo – río Grande – río Aguas Calientes, hasta la confluencia con el río Huenque, lugar donde nace el río Ilave.

El cauce del río Aguas Calientes presenta una pendiente media de 0.55%. El cauce en su recorrido presenta formas meándricas y divagantes a consecuencia de la baja pendiente del cauce. Las vías de acceso en esta subcuenca son ejes viales principales y secundarios que comunican con el departamento de Moquegua, provincias y distritos del entorno a la Ciudad de Ilave.

3) Subcuenca MEDIO BAJO ILAVE (UH 0163)

La subcuenca Medio Bajo Ilave políticamente se encuentra ubicada en los distritos de Ilave, Juli, Conduriri y Acora; provincias El Collao, Chucuito y Puno, en el departamento de Puno. Hidrográficamente es otro de los ejes principales de drenaje de la cuenca del río Ilave. La subcuenca Medio Bajo Ilave ocupa una superficie de 764.32 Km², representa el 9.76% del área total de la cuenca del río Ilave. El cauce principal es el río Huenque, cuya longitud del cauce es de 62.54 Km., desde la confluencia de las subcuencas río Conduriri y Medio Ilave, hasta la confluencia con el río Aguas Calientes.

El cauce del río Huenque presenta una pendiente media de 0.15%. El cauce en su recorrido presenta algunas formas meándricas y divagantes a consecuencia de la baja pendiente del cauce. Las vías de acceso en esta subcuenca son ejes viales principales y secundarios que comunican con el departamento de Tacna, provincias y distritos del entorno a la Ciudad de Ilave.

4) Subcuenca CONDURIRI (UH 0164)

La subcuenca Conduriri políticamente se encuentra ubicada en los distritos de Ilave, Conduriri y Mazocruz; provincia El Collao, en el departamento de Puno. Hidrográficamente es una de las subcuencas que aporta directamente al cauce principal de la cuenca del río Ilave. La subcuenca Conduriri abarca una superficie de drenaje de 606.15 Km², representa el 7.74% del área total de la cuenca del río Ilave. Cuya longitud del cauce principal del río es de 63.00 Km., el río principal nace desde la quebrada Chacacalaya - quebrada Chacacala - río Piaque - río Huanacamaya - río Conduriri, hasta la confluencia con el río Huenque.

El cauce del río Conduriri presenta una pendiente media de 1.64%. El cauce en su recorrido no presenta formas meándricas y divagantes a consecuencia de la alta pendiente del cauce. Las vías de acceso en esta subcuenca son ejes viales principales y secundarios que comunican con el departamento de Tacna, provincias y distritos del entorno a la Ciudad de Ilave.

5) Subcuenca MEDIO ILAVE (UH 0165)

La subcuenca Medio Ilave políticamente se encuentra ubicada en los distritos de Conduriri y Mazocruz; provincia El Collao, en el departamento de Puno. Hidrográficamente se localiza en la parte media del curso principal del río Ilave. La subcuenca Medio Ilave ocupa una superficie de 72.04 Km², representa el 0.92% del área total de la cuenca del río Ilave. El cauce principal es el río Huenque (zona alta), cuya longitud del cauce del río es de 3.16 Km., desde la confluencia de los ríos Ayupalca y Llusta Baja (subcuenca Medio Alto Ilave) hasta la confluencia con el río Conduriri.

El cauce del río Huenque (zona alta) presenta una pendiente media de 0.06%. El cauce en su recorrido no presenta formas meándricas. Las vías de acceso en esta subcuenca son ejes viales principales y secundarios que comunican con el departamento de Tacna, provincias y distritos del entorno a la Ciudad de Ilave.

6) Subcuenca AYUPALCA (UH 0166)

La subcuenca Ayupalca políticamente se encuentra ubicada en los distritos de Conduriri, Huacullani y Mazocruz; provincias El Collao y Chucuito, en el departamento de Puno. Hidrográficamente es otra de las subcuencas que aporta directamente al cauce principal

de la cuenca del río Ilave. La subcuenca Ayupalca ocupa un área de drenaje de 369.21 Km², representa el 4.71% del área total de la cuenca del río Ilave. Cuya longitud del cauce del río es de 55.82 Km., el río principal nace desde la quebrada Ccoota - quebrada Pusicuchune - río Ayupalca, hasta la confluencia con el río Llusta Baja (subcuenca Medio Alto Ilave).

El cauce del río Ayupalca presenta una pendiente media de 1.44%. El cauce en su recorrido no presenta formas meándricas y divagantes a consecuencia de la alta pendiente del cauce. Las vías de acceso en esta subcuenca son ejes viales principales y secundarios que comunican con el departamento de Tacna, provincias y distritos del entorno a la Ciudad de Ilave.

7) Subcuenca MEDIO ALTO ILAVE (UH 0167)

La subcuenca Medio Alto Ilave políticamente se encuentra ubicada en los distritos de Conduriri y Mazocruz; provincia El Collao, en el departamento de Puno. Hidrográficamente se localiza en la parte media alta del curso principal del río Ilave. La subcuenca Medio Alto Ilave abarca una superficie de 869.90 Km², representa el 11.11% del área total de la cuenca del río Ilave. El cauce principal es el río Llusta (zona baja), cuya longitud del cauce del río es de 41.80 Km., desde la confluencia de las subcuencas Llusta (río Llusta alta) y Alto Ilave (río Chichillapi) hasta la confluencia con el río Ayupalca.

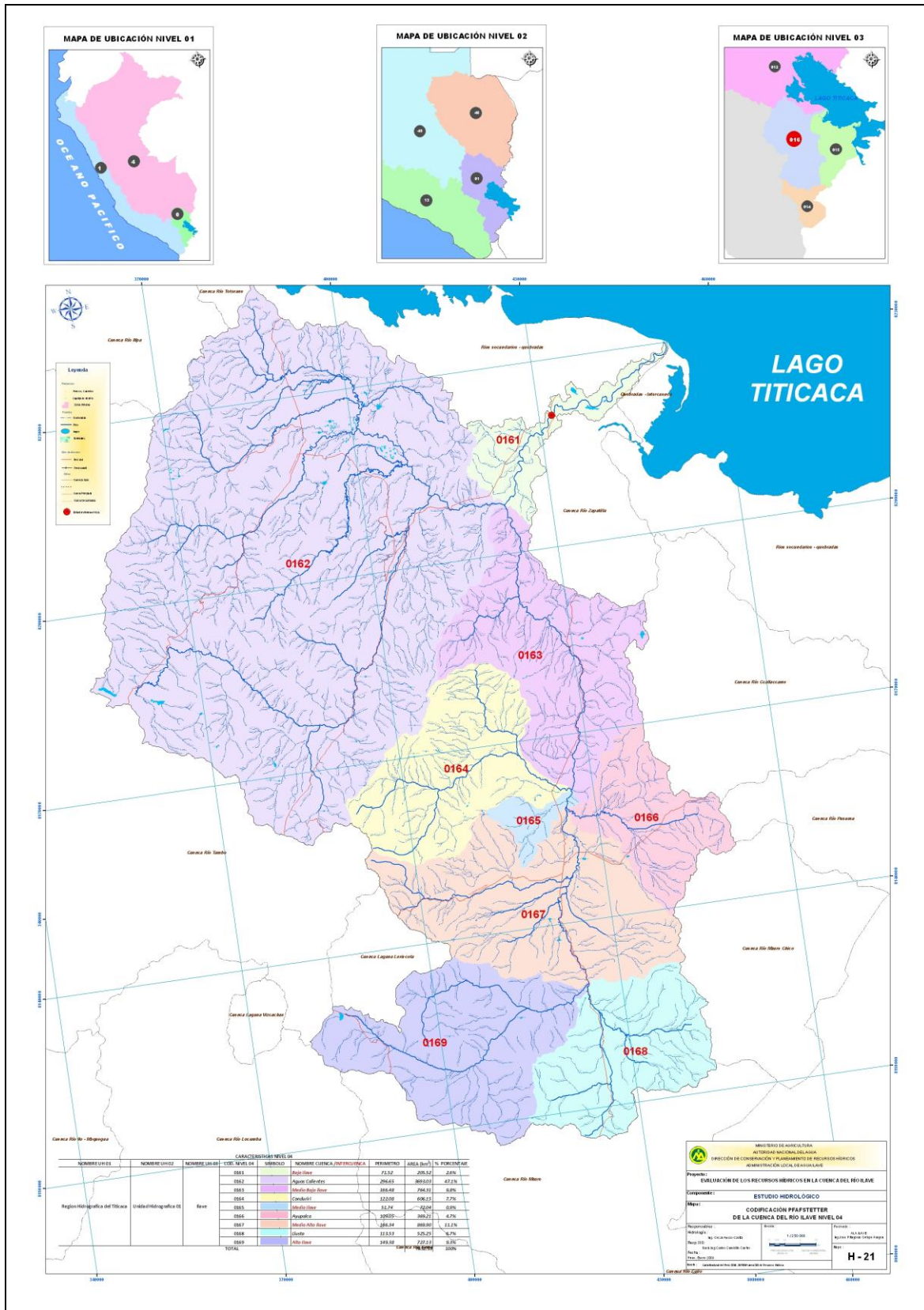
El cauce del río Llusta Baja presenta una pendiente media de 0.14%. El cauce en su recorrido no presenta formas meándricas. Las vías de acceso en esta subcuenca son ejes viales principales y secundarios que comunican con el departamento de Tacna, provincias y distritos del entorno a la Ciudad de Ilave.

8) Subcuenca LLUSTA (UH 0168)

La subcuenca Llusta políticamente se encuentra ubicada en los distritos de Capaso y Mazocruz; provincia El Collao, en el departamento de Puno. Hidrográficamente es otra de las subcuencas que aporta directamente al cauce principal de la cuenca del río Ilave y ubicada en la parte alta de esta cuenca. La subcuenca Llusta abarca una superficie de drenaje de 525.25 Km², representa el 6.71% del área total de la cuenca del río Ilave. Cuya longitud del cauce principal del río es de 38.14 Km., el río Llusta nace desde la quebrada Inchupalla Alta - quebrada Inchupalla - río Llaitire - río Viluta - río Humajalso - río Llusta, hasta la confluencia con el río Chichillapi (subcuenca Alto Ilave).

El cauce del río Llusta presenta una pendiente media de 2.27%. El cauce en su recorrido no presenta formas meándricas y divagantes a consecuencia de la alta pendiente del cauce. Las vías de acceso en esta subcuenca son ejes viales principales y secundarios que comunican con el departamento de Tacna, provincias y distritos del entorno a la Ciudad de Ilave.

Figura N° 3.35
Sub Unidades Hidrográficas (subcuencas) – Cuenca del río Ilave



9) Subcuenca ALTO ILAVE (UH 0169)

La subcuenca Alto Ilave políticamente se encuentra ubicada en el distrito de Mazocruz; provincia El Collao, en el departamento de Puno. Hidrográficamente es otra de las subcuencas que aporta directamente al cauce principal de la cuenca Ilave y se ubica en la parte alta donde nace el río Ilave. La subcuenca Alto Ilave ocupa una superficie de 727.13 Km², representa el 9.28% del área total de la cuenca del río Ilave. El cauce principal es el río Chichillapi, cuya longitud del cauce del río es de 51.30 Km., el curso principal de la subcuenca nace desde el río Coypa Coypa - río Chichilapi, hasta la confluencia con el río Llusta (zona alta).

El cauce del río Chichillapi presenta una pendiente media de 1.23%. El cauce en su recorrido no presenta formas meándricas a consecuencia de la alta pendiente del cauce. Las vías de acceso en esta subcuenca son ejes viales principales y secundarios que comunican con el departamento de Tacna, provincias y distritos del entorno a la Ciudad de Ilave.

Unidades Hidrográficas de Nivel 5

1) Subcuenca BAJO AGUAS CALIENTES (UH 01621)

La subcuenca Bajo Aguas Calientes políticamente se encuentra ubicada en los distritos de Ilave y Acora, provincias El Collao y Puno, en el departamento de Puno. Hidrográficamente se localiza en la parte baja del río Aguas Calientes. La subcuenca Bajo Aguas Calientes abarca 132.52 Km², y representa el 3.59% de la subcuenca del río Aguas Calientes (3,693.03 Km²). El cauce principal es el tramo río Aguas Calientes y cuya longitud es de 19.95 Km., desde la confluencia de los ríos Uncallane y Grande, hasta la confluencia con el río Huenque.

El cauce del tramo río Aguas Calientes presenta una pendiente media de 0.10%. El cauce en su recorrido presenta formas meándricas a consecuencia de la baja pendiente del cauce. Las vías de acceso en esta subcuenca son ejes viales principales y secundarios que comunican con los distritos y centros poblados del entorno a la Ciudad de Ilave y con el departamentos de Moquegua.

2) Subcuenca UNCALLANE (UH 01622)

La subcuenca Uncallane políticamente se encuentra ubicada en los distritos de Acora y Laraqueri; provincia y departamento de Puno. Hidrográficamente es uno de los ejes principales de drenaje de la cuenca del río Aguas Calientes. La subcuenca Uncallane ocupa una superficie de 1708.21 Km², representa el 46.25% del área total de la subcuenca del río Aguas Calientes. Cuya longitud del cauce principal del río es de 119.41 Km., el cauce principal nace desde la quebrada Ccautalaya - quebrada Jahuira - quebrada Carhuar - río Blanco - río Uncallane, hasta la confluencia con el río Grande, lugar donde nace el río Aguas Calientes.

El cauce del río Uncallane presenta una pendiente media de 0.82%, en su recorrido no presenta formas meándricas a consecuencia de que el cauce está bien formado. Las vías de acceso en esta subcuenca son ejes viales principales y secundarios que comunican con los distritos y centros poblados del entorno a la Ciudad de Ilave y con el Dpto de Moquegua.

3) Subcuenca MEDIO BAJO AGUAS CALIENTES (UH 01623)

La subcuenca Medio Bajo Aguas Calientes políticamente se encuentra ubicada en el distrito de Acora, provincia y departamento de Puno. Hidrográficamente se localiza en la

parte media del curso principal del río Aguas Calientes. La subcuenca Medio Bajo Aguas Calientes abarca 52.89 Km², y representa el 1.43% del área total de la subcuenca del río Aguas Calientes. El cauce principal es el río Grande (zona baja) y cuya longitud es de 5.28 Km., desde la confluencia de los ríos Tunquipa y Grande (subcuenca Medio Aguas Calientes), hasta la confluencia con el río Uncallane.

El cauce del río Grande, en este tramo presenta una pendiente media de 0.38%. El cauce en su recorrido presenta formas meándricas a consecuencia de la baja pendiente del cauce. Las vías de acceso en esta subcuenca son ejes viales principales y secundarios que comunican con los distritos y centros poblados del entorno a la Ciudad de Ilave y con el departamentos de Moquegua.

4) Subcuenca TUNQUIPA (UH 01624)

La subcuenca Tunquipa políticamente se encuentra ubicada en los distritos de Acora y Laraqueri; provincia y departamento de Puno. Hidrográficamente es otro de los ejes principales de drenaje de la cuenca del río Aguas Calientes. La subcuenca Tunquipa ocupa una superficie de 247.90 Km², representa el 6.71% del área total de la subcuenca del río Aguas Calientes. Cuya longitud del cauce principal del río es de 73.16 Km., el cauce principal nace desde la quebrada Morocachi - quebrada Timil - río Molla - río Tunquipa - río Sacuyo - río Tunquipa, hasta la confluencia con el río Grande (subcuenca Medio Aguas Calientes).

El cauce del río Tunquipa presenta una pendiente media de 1.07%, en su recorrido presenta formas meándricas a consecuencia de que el cauce tiene pendiente suave en la parte baja generalmente. Las vías de acceso en esta subcuenca son ejes viales principales y secundarios que comunican con los distritos y centros poblados del entorno a la Ciudad de Ilave y con el departamento de Moquegua.

5) Subcuenca MEDIO AGUAS CALIENTES (UH 01625)

La subcuenca Medio Aguas Calientes políticamente se encuentra ubicada en los distritos de Acora y Platería, provincia y departamento de Puno. Hidrográficamente se localiza en la parte media del curso principal del río Aguas Calientes. La subcuenca Medio Aguas Calientes abarca 109.90 Km², y representa el 2.98% del área total de la subcuenca del río Aguas Calientes. El cauce principal es el río Grande (zona media) y cuya longitud es de 13.62 Km., desde la confluencia de los ríos Loripongo y Grande (subcuenca Medio Alto Aguas Calientes), hasta la confluencia con el río Tunquipa.

El cauce del río Grande, en este tramo presenta una pendiente media de 0.04%. El cauce en su recorrido presenta formas meándricas y divagantes a consecuencia de la baja pendiente del cauce. Las vías de acceso en esta subcuenca son ejes viales principales y secundarios que comunican con los distritos y centros poblados del entorno a la Ciudad de Ilave y con el departamentos de Moquegua.

6) Subcuenca LORIPONGO (UH 01626)

La subcuenca Loripongo políticamente se encuentra ubicada en el distrito de Laraqueri, Acora y Platería; provincia y departamento de Puno. Hidrográficamente es otro de los ejes principales de drenaje de la cuenca del río Aguas Calientes. La subcuenca Loripongo ocupa una superficie de drenaje de 624.59 Km², representa el 16.91% del área total de la subcuenca del río Aguas Calientes. Cuya longitud del cauce principal del río es de 73.87 Km., el cauce principal nace desde la quebrada Apacheta - quebrada

Huañaraya - quebrada Challhuani - río Morocollo - río Loripongo, hasta la confluencia con el río Grande - zona alta (subcuenca Medio Alto Aguas Calientes).

El cauce del río Loripongo presenta una pendiente media de 1.12%, en su recorrido presenta formas meándricas y divagantes a consecuencia de que el cauce tiene pendiente suave en la parte baja generalmente. Las vías de acceso en esta subcuenca son ejes viales principales y secundarios que comunican con los distritos y centros poblados del entorno a la Ciudad de Ilave y con el departamento de Moquegua.

7) Subcuenca MEDIO ALTO AGUAS CALIENTES (UH 01627)

La subcuenca Medio Alto Aguas Calientes políticamente se encuentra ubicada en el distrito de Platería, provincia y departamento de Puno. Hidrográficamente se localiza en la parte media del curso principal del río Aguas Calientes. La subcuenca Medio Alto Aguas Calientes abarca una superficie de 10.63 Km², y representa el 0.29% del área total de la subcuenca del río Aguas Calientes. El cauce principal es el río Grande (zona alta) y cuya longitud es de 5.38 Km., desde la confluencia de los ríos Cutimbo y Malcomayo (subcuenca Alto Aguas Calientes), hasta la confluencia con el río Loripongo.

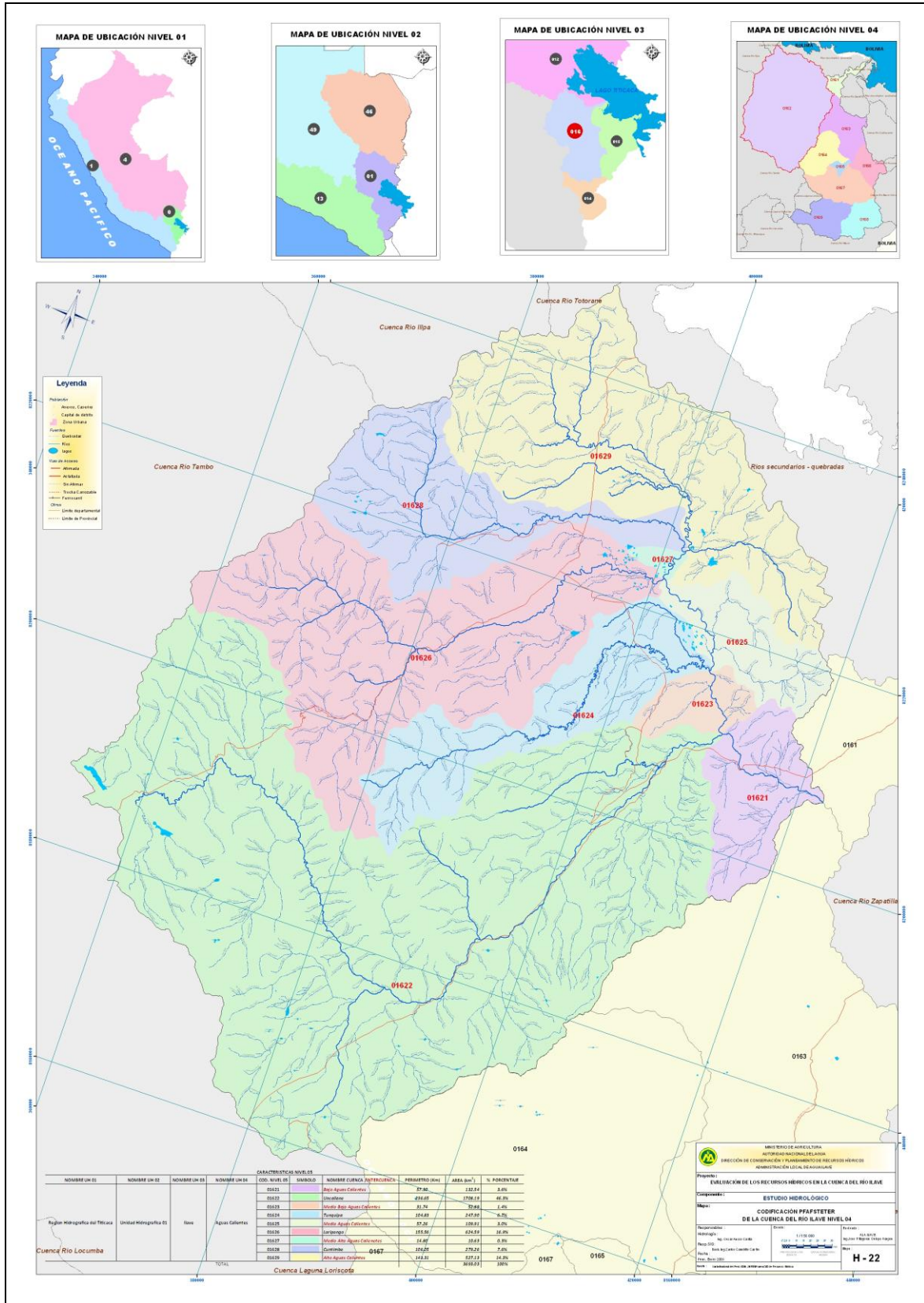
El cauce del río Grande, en este tramo presenta una pendiente media de 0.02%. El cauce en su recorrido presenta formas meándricas y divagantes a consecuencia de la baja pendiente del cauce. Las vías de acceso en esta subcuenca son ejes viales principales y secundarios que comunican con los distritos y centros poblados del entorno a la Ciudad de Ilave y con el departamentos de Moquegua.

8) Subcuenca CUTIMBO (UH 01628)

La subcuenca Cutimbo políticamente se encuentra ubicada en los distritos de Platería, Laraqueri y San Antonio; provincia y departamento de Puno. Hidrográficamente es otra de las subcuencas que aporta sus aguas directamente a la subcuenca Aguas Calientes. La subcuenca Cutimbo ocupa una superficie de drenaje de 279.26 Km², representa el 7.56% del área total de la subcuenca del río Aguas Calientes. Cuya longitud del cauce principal del río es de 79.29 Km., el cauce principal nace desde la quebrada Cacahuarane - quebrada Huasicara - quebrada Polacochi - río Santa Rosa - río Chullumpi - río Cutimbo, hasta la confluencia con el río Malcomayo (subcuenca Alto Aguas Calientes), lugar donde nace el río Grande.

El cauce del río Cutimbo presenta una pendiente media de 1.12%, en su recorrido presenta algunas formas meándricas a consecuencia de que el cauce tiene pendiente suave en la parte baja generalmente. Las vías de acceso en esta subcuenca son ejes viales principales y secundarios que comunican con los distritos y centros poblados del entorno a la Ciudad de Ilave y con el departamento de Moquegua.

Figura N° 3.36
Sub Unidades Hidrográficas (subcuencas) – Subcuenca Aguas Calientes



9) Subcuenca ALTO AGUAS CALIENTES (UH 01629)

La subcuenca Alto Aguas Calientes políticamente se encuentra ubicada en los distritos de Acora, Platería, Chucuito, Puno y Laraqueri; provincia y departamento de Puno. Hidrográficamente es otra de las subcuencas que aporta sus aguas directamente a la subcuenca Aguas Calientes. La subcuenca Alto Aguas Calientes ocupa una superficie de drenaje de 527.13 Km², representa el 14.27% del área total de la subcuenca del río Aguas Calientes. El cauce principal es el río Malcomayo y cuya longitud es de 83.30 Km., el cauce principal nace desde la quebrada Hualla Apacheta - quebrada Taipicerca - quebrada Mocsoma - quebrada San Miguel - río Samigia - río Malcomayo, hasta la confluencia con el río Cutimbo, lugar donde nace el río Grande.

El cauce del río Malcomayo presenta una pendiente media de 0.79%, en su recorrido presenta algunas formas meándricas a consecuencia de que el cauce tiene pendiente suave en la parte baja generalmente. Las vías de acceso en esta subcuenca son ejes viales principales y secundarios que comunican con las provincias, distritos y centros poblados del entorno a la Ciudad de Ilave y con el departamento de Moquegua.

3.10.2.- 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 (hidrógrafa).

Parece claro que existe una fuerte componente probabilística en la determinación de una cuenca mediante sus parámetros y las características de la red de drenaje. Por esta razón se han buscado relaciones de similitud geométrica entre las características medias de una cuenca y de su red de canales con esas de otras cuencas. Los principales factores de forma son:

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

A.- Area de la cuenca (A)

Es la superficie de la cuenca comprendida dentro de la curva cerrada de divortio 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 cuenca del río Ilave tiene una superficie total de 7,832.53 Km². De las subcuencas hidrográficas de nivel 4, la subcuenca del río Aguas Calientes tiene el mayor área y que representa el 47.15% del área total de la cuenca Ilave. Las subcuencas Medio Alto Ilave, Medio Bajo Ilave, Alto Ilave, Conduriri, Llusta, Ayupalca, Bajo Ilave y Medio Ilave tiene superficies equivalentes a 11.11%, 9.76%, 9.28%, 7.74%, 6.71%, 4.71%, 2.62% y 0.92%, respectivamente. Lo mismo que se muestra en el Cuadro N° 3.31. Similarmente las subunidades hidrográficas de nivel 5, como Uncallane, Lorigongo, Alto Aguas Calientes, Cutimbo, Tunquipa, Bajo Aguas Calientes, Medio Aguas Calientes Medio Bajo Aguas Calientes y Medio Alto Aguas Calientes, tienen superficies equivalentes a 46.25%, 16.91%, 14.27%, 7.56%, 6.71%, 3.59%, 2.98%, 1.43% y 0.29% con respecto al área de la subcuenca del río Aguas Calientes (nivel 4) de 3,693.03 Km²; ver Cuadro N° 3.32.

B.- Perímetro de la cuenca (P)

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

El perímetro de la cuenca del río Ilave es de 631.97 Km, igualmente en las subunidades hidrográficas (nivel 4) Aguas Calientes 296.65 Km, Conduriri 122.08 Km, Ayupalca 109.05 Km, Llusta 113.53 Km y Alto Ilave es de 149.38 Km, respectivamente; ver Cuadro N° 3.31. Similarmente en las subunidades hidrográficas (nivel 5) Uncallane 236.65 Km, Tunquipa 104.83 Km, Lorigongo 155.56 Km, Cutimbo 106.05 Km y Alto Aguas Calientes 143.31 Km; ver Cuadro N° 3.32.

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 la cuenca del río Ilave es de 211.00 Km, y en las subunidades hidrográficas (nivel 4) es la siguiente: Aguas Calientes 87.00 Km, Conduriri 46.00 Km, Ayupalca 36.59 Km, Llusta 31.68 Km y Alto Ilave 52.55 Km; ver Cuadro N° 3.31. Similarmente en las subunidades hidrográficas (nivel 5) Uncallane 119.41 Km, Tunquipa 73.16 Km, Lorigongo 73.87 Km, Cutimbo 79.29 Km y Alto Aguas Calientes 83.30 Km; ver Cuadro N° 3.32.

D.- Ancho promedio de la cuenca (A_p)

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 la cuenca del río Ilave es de 37.12 Km, y en las subunidades hidrográficas (nivel 4) es la siguiente: Aguas Calientes 28.96 Km, Conduriri 9.62 Km, Ayupalca 6.61 Km, Llusta 13.77 Km y Alto Ilave 14.17 Km; ver Cuadro N° 3.31. Similarmente en las subunidades hidrográficas (nivel 5) Uncallane 14.31 Km, Tunquipa 3.39 Km, Loripongo 8.46 Km, Cutimbo 3.52 Km y Alto Aguas Calientes 6.33 Km; ver Cuadro N° 3.32.

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

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.

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

Donde:

P	=	perímetro de la cuenca (Km).
A	=	área de la cuenca (Km ²).

De la expresión se desprende que K_c 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 K_c se aproxima a la unidad; cuando se aleja de la unidad, presenta una forma más irregular con relación al círculo.

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

El coeficiente de compacidad de la cuenca del río Ilave es de 2.01, este valor es más cercano a 2 que a 1, indica que la cuenca es de forma alargada debiéndose estar menos expuesta a las crecientes que una cuenca de forma redondeada.

Igualmente en las subunidades hidrográficas (nivel 4): Aguas Calientes 1.38, Conduriri 1.40, Ayupalca 1.60, Llusta 1.40 y Alto Ilave 1.56; ver Cuadro N° 3.31. Similarmente en las subunidades hidrográficas (nivel 5) Uncallane 1.61, Tunquipa 1.88, Loripongo 1.76, Cutimbo 1.79 y Alto Aguas Calientes 1.76; ver Cuadro N° 3.32.

Los valores del coeficiente de compacidad de 1.23 – 1.40, están más cercanos a la unidad, lo que indica que la cuenca es de forma circular debiéndose estar más expuesta a las crecientes que una cuenca de forma alargada. Similarmente las subcuencas con coeficientes de compacidad de 1.54 – 1.88, están más cercanos a 2, indica que las subcuencas es de forma irregular debiéndose estar moderadamente expuesta a las crecientes.

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:

A = área de la cuenca (Km²).
L = longitud del cauce principal (Km).

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 la cuenca del río Ilave es de 0.18, lo cual explica que la cuenca es de forma alargada, y estaría menos sujeta a crecientes continuas. Sin embargo en las subunidades hidrográficas (nivel 4 y 5) varía de 0.04 - 0.59, igualmente las subcuencas estarían menos expuesta a crecientes continuas, excepto las subcuencas Medio Ilave y Medio Bajo Aguas Calientes (intercuencas). Los valores respectivos se muestran en los Cuadros N° 3.31 y 3.32.

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 (Km^2).

La longitud mayor y menor de la cuenca del río Ilave son: 288.871 Km y 27.114 Km. Para las subunidades hidrográficas se muestran en los Cuadros N° 3.31 y 3.32.

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 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 = Area de la cuenca (Km^2).

Los valores del Radio de Circularidad de la cuenca Ilave y subcuencas denotan que las formas son alargadas, ya que todos los valores están por debajo de 0.785. Ver los Cuadros N° 3.31 y 3.32.

3.10.3.- 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.
- Altitud media de la cuenca (H_m).
- Altitud de frecuencia media.
- Altitud más frecuente.
- Pendiente media de la cuenca.
- Índice de pendiente de la cuenca (I_p).
- Coeficiente de masividad (C_m).
- Coeficiente orográfico (C_o).
- Coeficiente de torrencialidad (C_t).
- 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 Km² 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 la cuenca del río Ilave y las subunidades hidrográficas (nivel 4 y 5) se muestran en las Figuras N° 3.37 y 3.38.

B.- Polígonos de frecuencia

Se denomina así a la representación gráfica de la relación existente entre altitud y la relación porcentual del área a esa altitud con respecto al área total.

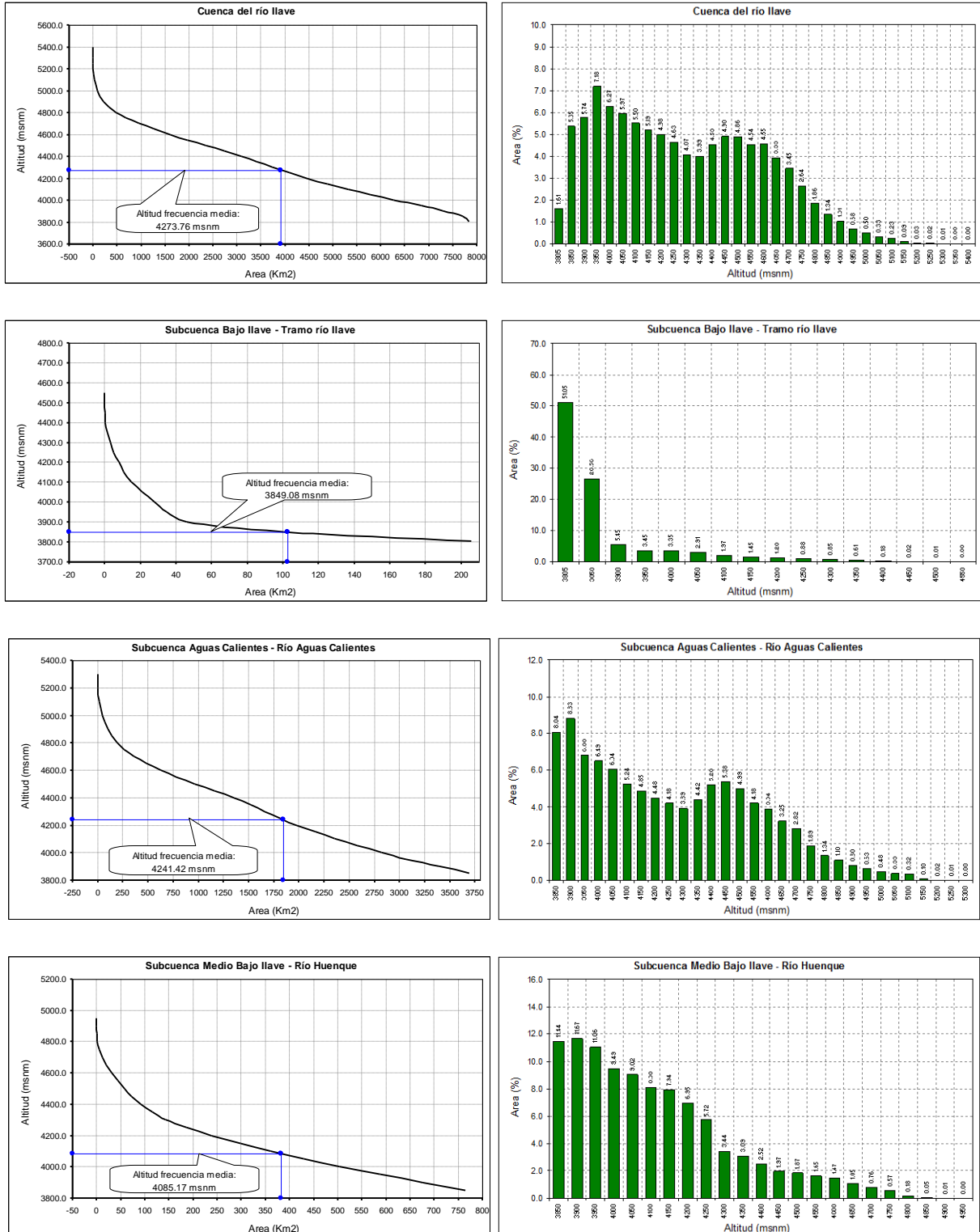
En el polígono de frecuencias existen valores representativos como: la altitud más frecuente, que es el polígono de mayor porcentaje o frecuencia.

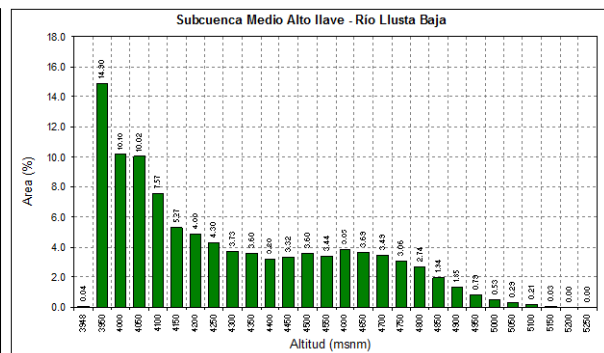
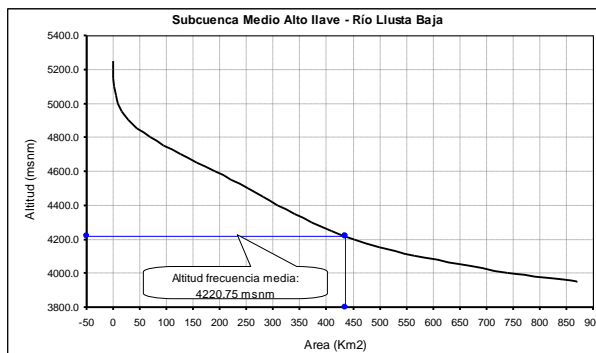
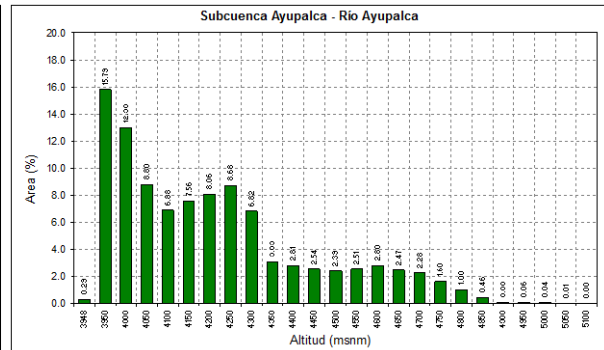
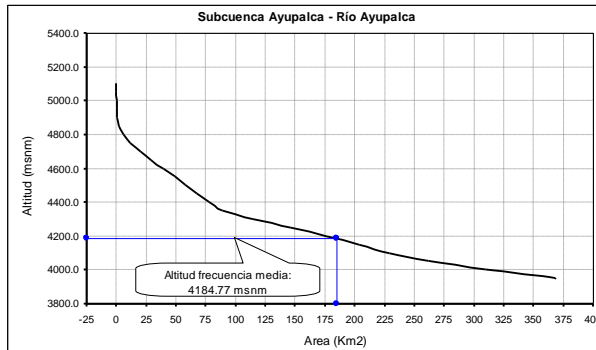
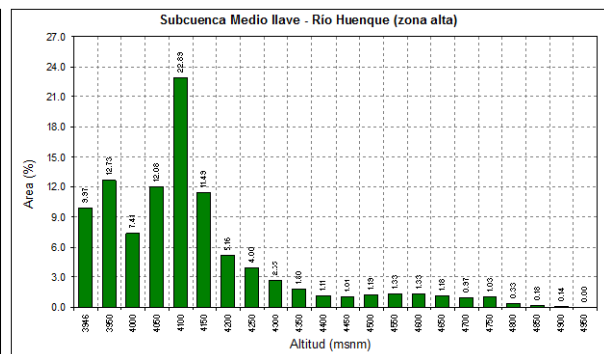
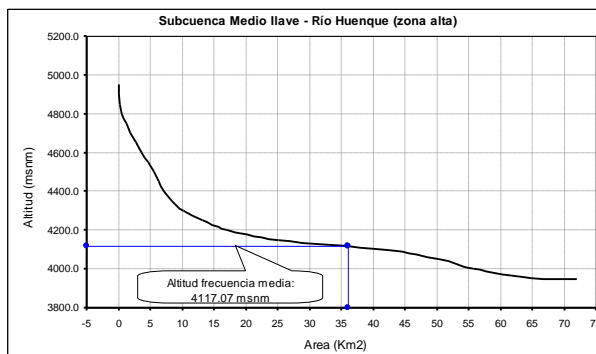
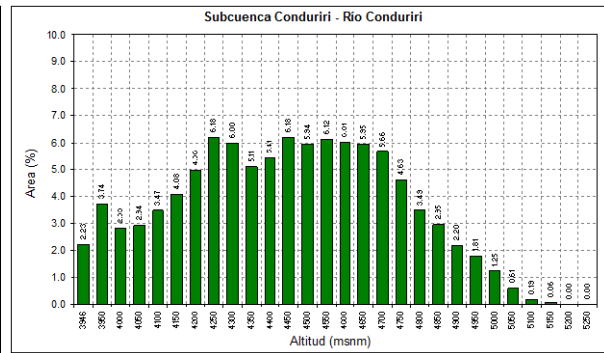
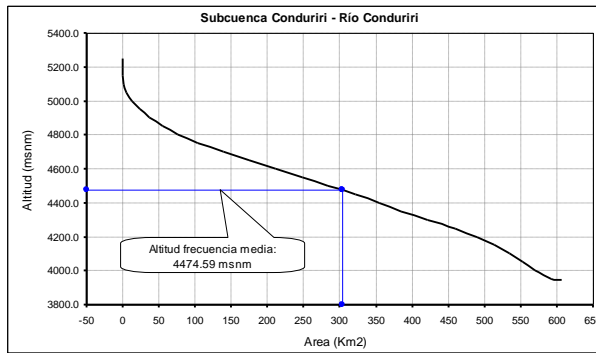
La distribución gráfica del porcentaje de superficies ocupadas por diferentes rangos de altitud para la cuenca y subcuencas del río Ilave, se distingue en las Figuras N° 3.37 y 3.38.

La subcuenca bajo llave (51.05%) concentra mayor porcentaje de área en la altitud 3805 msnm. La cuenca del río Ilave presenta una tendencia de concentración de superficie en la parte baja de la cuenca (60.49%) a partir de la altitud media de la cuenca (4309.31 msnm).

La mayor altitud se concentra en la parte alta de la cuenca, tomando la altitud media como punto de referencia.

Figura N° 3.37
Curva Hipsométrica y Polígonos de Frecuencia – Cuenca y Subcuencas (nivel 4)
del río Ilave





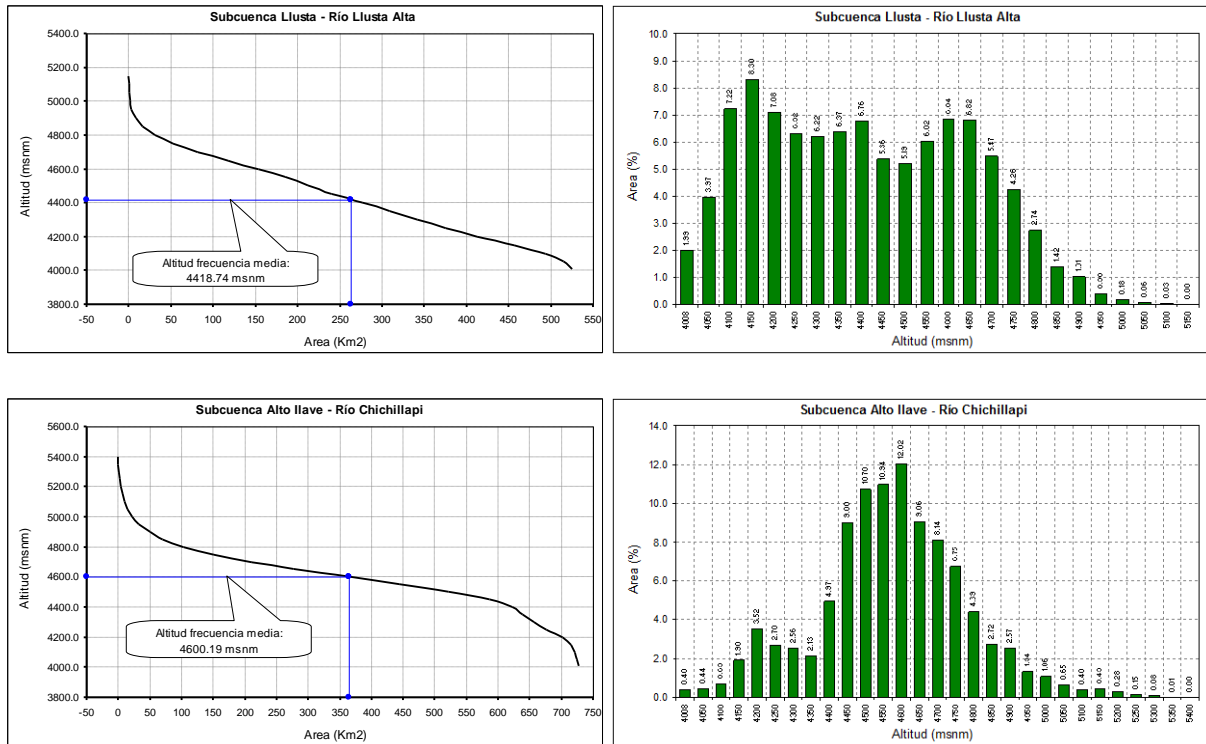
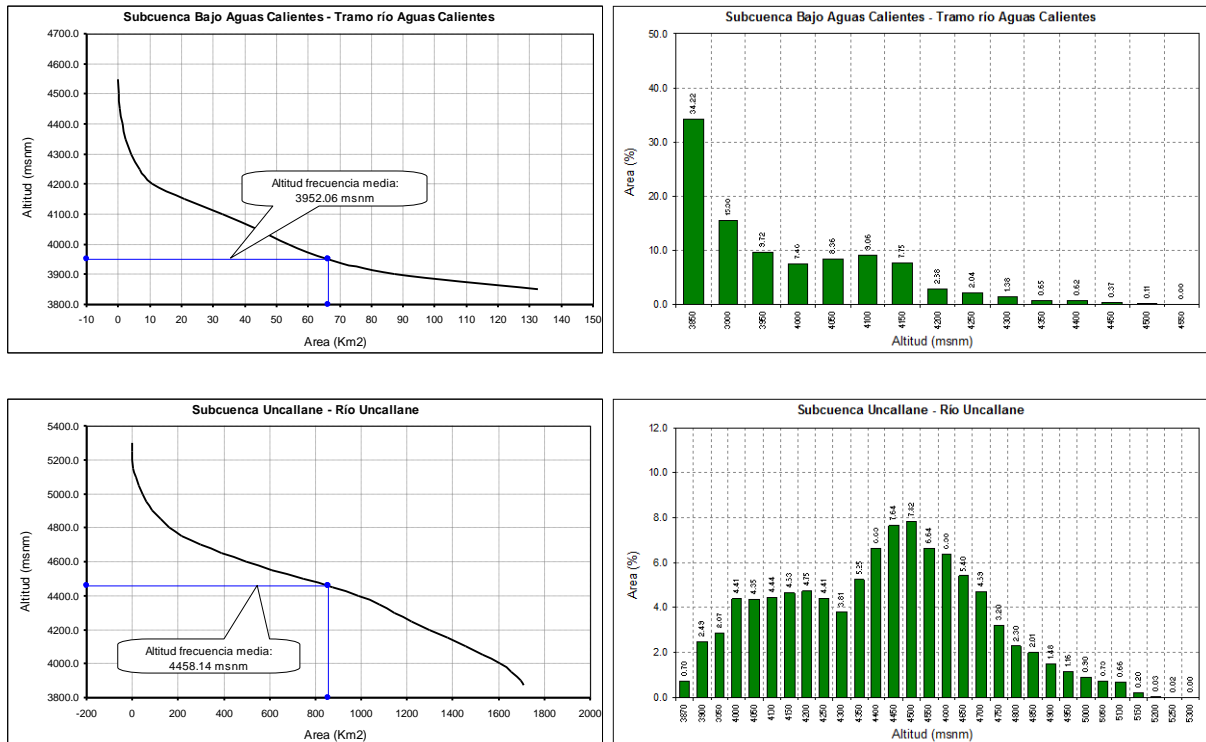
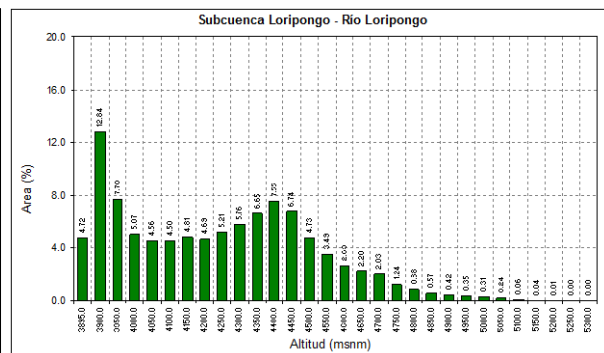
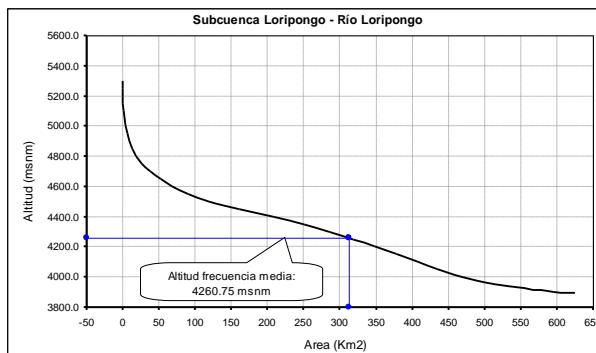
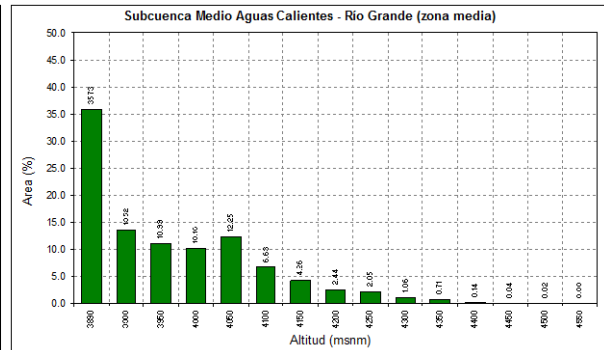
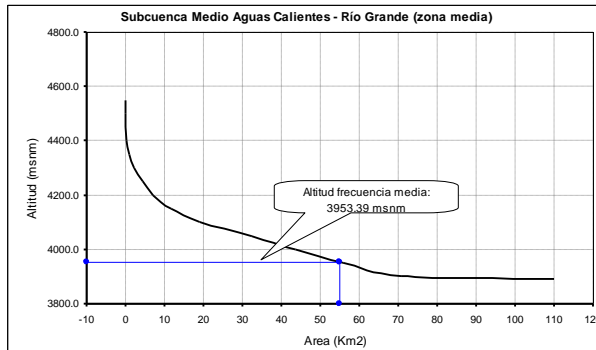
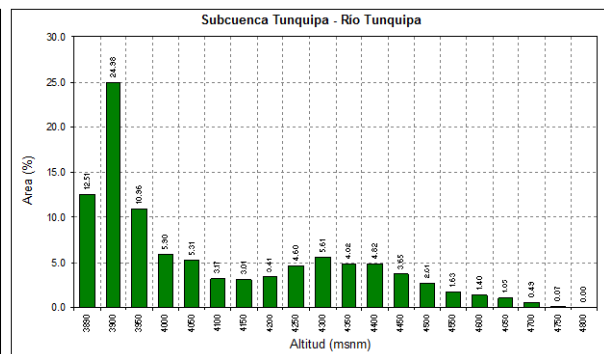
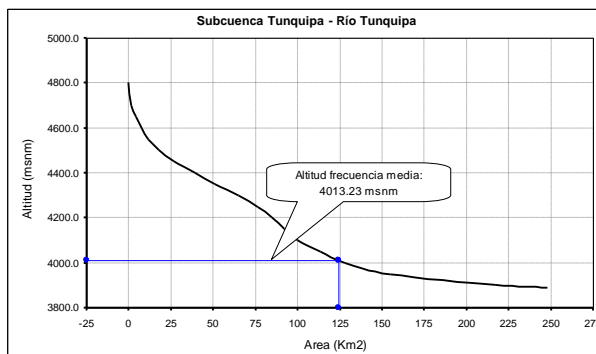
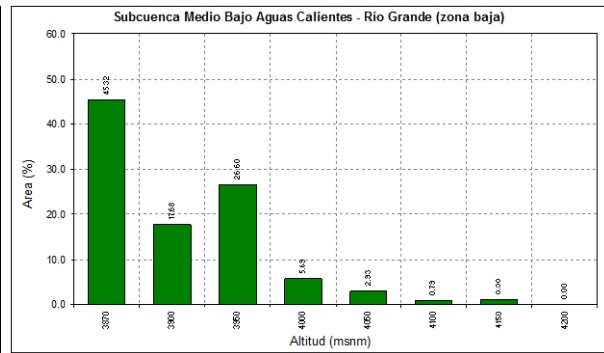
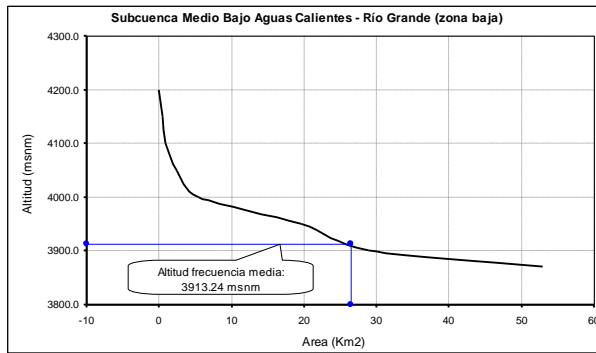
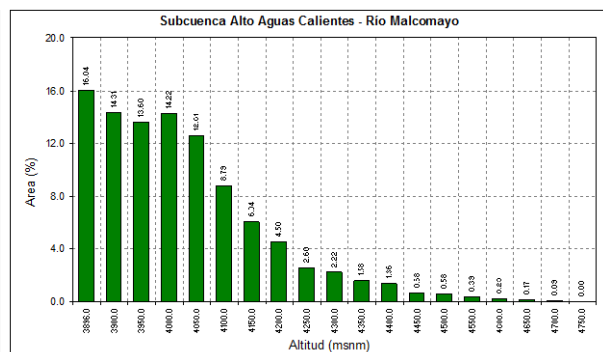
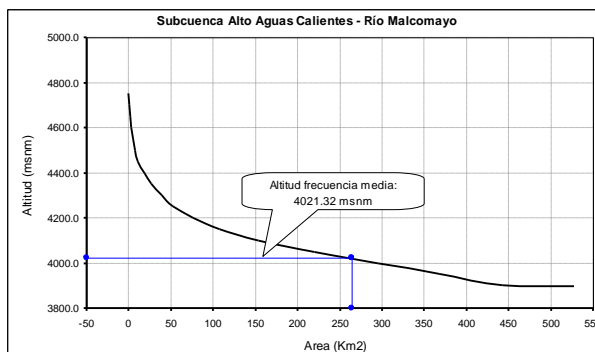
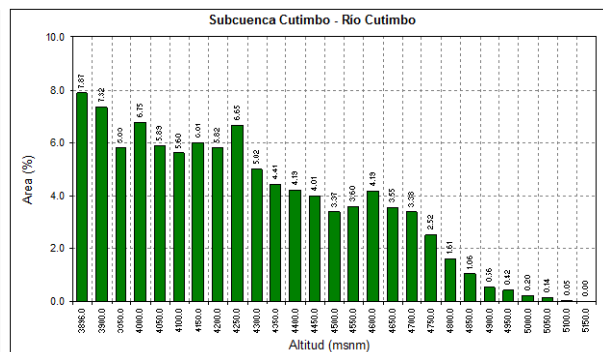
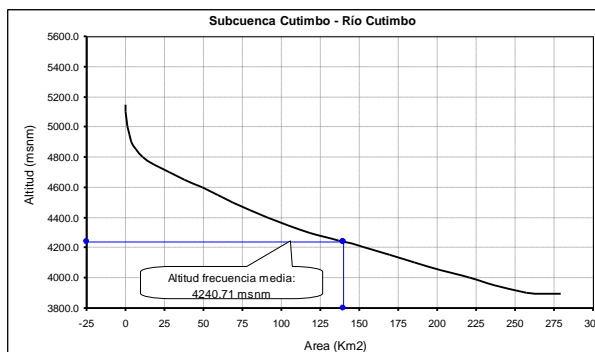
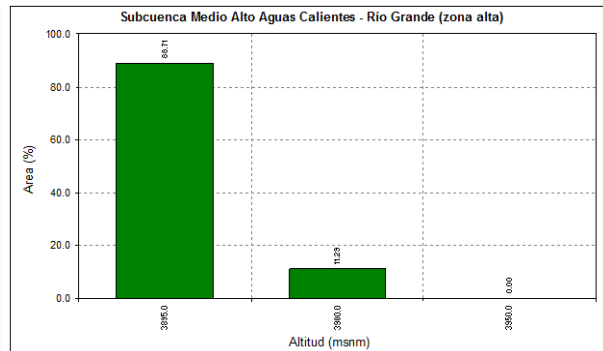
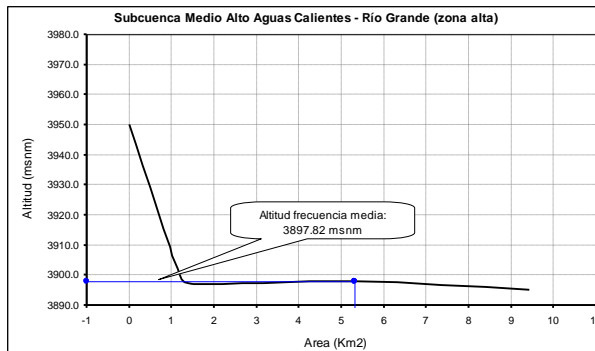


Figura N° 3.38
Curva Hipsométrica y Polígonos de Frecuencia – Subcuencas (nivel 5)
del río Aguas Calientes







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 (Km ²).
A	=	área total de la cuenca (Km ²).

La altitud media de la cuenca del río llave es de 4,309.31 msnm, para las subunidades hidrográficas (nivel 4 y 5) varían de 3893.06 msnm – 4597.63 msnm. Ver los Cuadros N° 3.31 y 3.32.

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 llave es de 4273.76 msnm y el área por encima de este cota es 3,916.27 Km², que representa el 50% del total de la superficie de la cuenca. Para las subunidades hidrográficas (nivel 4 y 5) se muestran en los Cuadros N° 3.31 y 3.32.

E.- Altitud más frecuente

Es la altitud predominante con mayor porcentaje de área de la cuenca. En la Figura N° 3.37 para la cuenca del río llave la altitud predominante se encuentra entre el intervalo de las cotas de 3850 a 4750 msnm, es donde se tiene mayor porcentaje de área de la cuenca del río llave. Para las subunidades hidrográficas (nivel 4 y 5) se muestran en los Cuadros N° 3.31 y 3.32.

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”.

$$S_m = \frac{H}{L_m}$$

Donde:

S_m	=	pendiente media de la cuenca.
H	=	desnivel total (cota en la parte más alta-cota en la parte más baja), en Km.
L_m	=	lado mayor del rectángulo equivalente (Km).

La cuenca del río llave tiene una pendiente media de 0.0055 m/m. Para las subunidades hidrográficas (nivel 4 y 5) varían de 0.0101 m/m a 0.0442 m/m. Ver los Cuadros N° 3.31 y 3.32.

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 llave es 0.0654. Para las subcuencas de nivel 4 y 5 varían de 0.0607 a 0.1690, respectivamente. Ver los Cuadros N° 3.31 y 3.32.

H.- Coeficiente de masividad (Cm)

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 llave es de 0.0002, y de las subcuencas de nivel 4 y 5, varían de 0.0003 – 0.1825, respectivamente. Ver los Cuadros N° 3.31 y 3.32.

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.

$$C_o = C_m(E)$$

Donde:

C_m = coeficiente de masividad de la cuenca.

E = extensión media del escurrimiento superficial (Km).

El coeficiente orográfico para la cuenca del río llave es de 0.0003, y de las subcuencas varían de 0.0004 a 0.3541, respectivamente. Ver los Cuadros N° 3.31 y 3.32.

J.- Coeficiente de torrencialidad (Ct)

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

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

Donde:

$N^{\circ} R_1$ = número de ríos de primer orden.
A = área de la cuenca (Km²).

La cuenca del río Ilave, tiene un coeficiente de torrencialidad de 0.17, y de las subcuencas de nivel 4 y 5, varían de 0.09 a 0.21, respectivamente. Ver los Cuadros N^o 3.31 y 3.32.

3.10.4.- Parámetros de la red hidrográfica

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 agua permanentemente todo el año.

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

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

El río Ilave es de tipo Perenne, igualmente los ríos de las 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.

El río Ilave es de orden 7, y las subcuencas varían de 4 - 7, respectivamente. Ver los Cuadros N° 3.31 y 3.32, y en la Figura N° 3.39.

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 (N° ríos) entre el área total de la cuenca (A), es decir, que:

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

Donde:

$N^{\circ} \text{ ríos}$ = número de ríos de la cuenca.
 A = área de la cuenca (Km²).

La densidad de ríos en cuenca del río Ilave es de 0.22 ríos/Km², y en las subunidades hidrográficas nivel 4 y 5, varían de 0.09 a 0.40 ríos/Km², respectivamente. Ver los Cuadros N° 3.31 y 3.32.

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:

Dd = densidad de drenaje (Km/Km²).
 L_T = longitud total de ríos de la cuenca (Km).
 A = área de la cuenca (Km²).

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 Ilave es de 0.75 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 Ilave

tendría drenaje regular y moderadamente propenso a las crecientes. Para las subunidades hidrográficas (nivel 4 y 5) varían de 0.51 Km/Km² a 0.94 Km/Km², el comportamiento de las subcuencas frente a las crecientes es similar que el caso del río Ilave, generalmente. Ver los Cuadros N° 3.31 y 3.32.

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:

A = área de la cuenca (Km²).

L_T = longitud total de ríos de la cuenca (Km).

Para la cuenca del río Ilave, la extensión media del escurrimiento superficial es de 1.33 Km²/Km, y de las subcuencas varían de 1.06 Km²/Km a 1.98 Km²/Km, respectivamente. Los valores se muestran en los Cuadros N° 3.31 y 3.32.

F.- Pendiente media del río principal (S_m)

La velocidad de la esorrentía 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:

S_m = pendiente media del cauce principal (m/m).

L = longitud del cauce principal (Km).

H_M, H_m = altura máxima y mínima del lecho del río principal, referidos al nivel medio de las aguas del mar (msnm).

El río principal del río Ilave tiene una pendiente media de 0.0040, y en los ríos de las subcuencas varían de 0.0002 a 0.0227, respectivamente. Los valores se muestran en los Cuadros N° 3.31 y 3.32. Los perfiles longitudinales de los ríos se muestran en la Figura N° 3.40.

G.- Altura media del río principal (H_m)

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

$$H = \frac{H_{\text{máx}} + H_{\text{mín}}}{2}$$

Donde:

$H_{\text{máx.}}$ = altura máxima del lecho del río principal (m.s.n.m.).

$H_{\text{mín.}}$ = altura mínima del lecho del río principal (m.s.n.m.).

La altura media del cauce principal del río Ilave es de 4,222.50 msnm, y de las subcuencas varían de 3,827.50 a 4,461.50 msnm, respectivamente. Ver los Cuadros N° 3.31 y 3.32.

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).

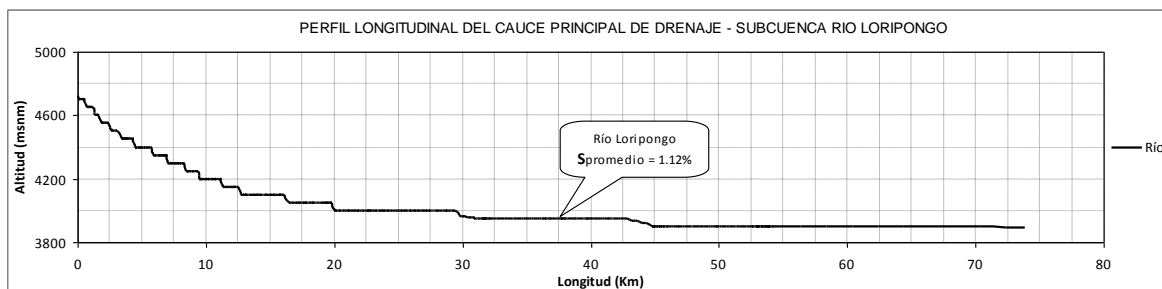
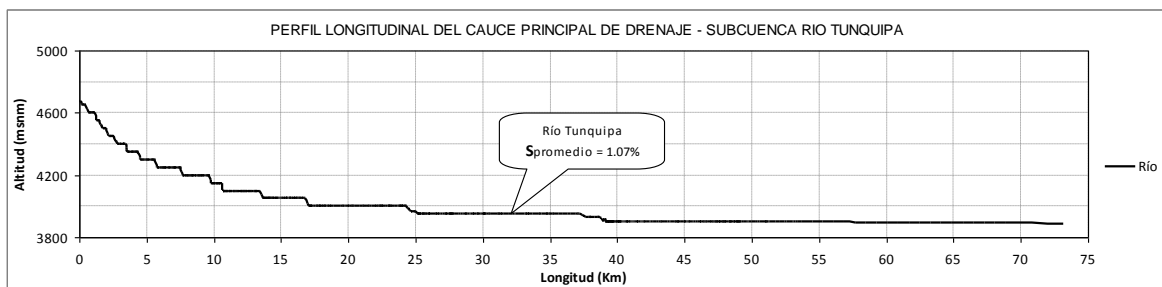
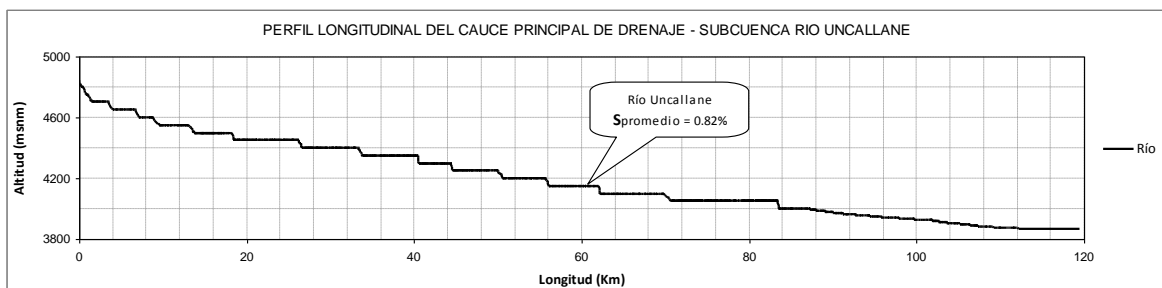
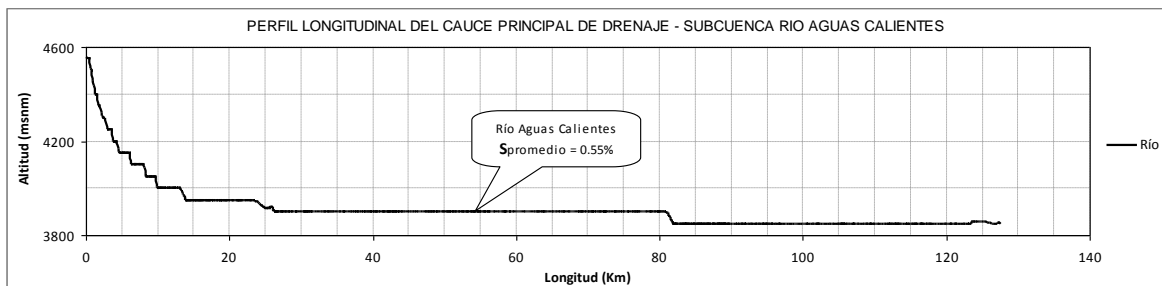
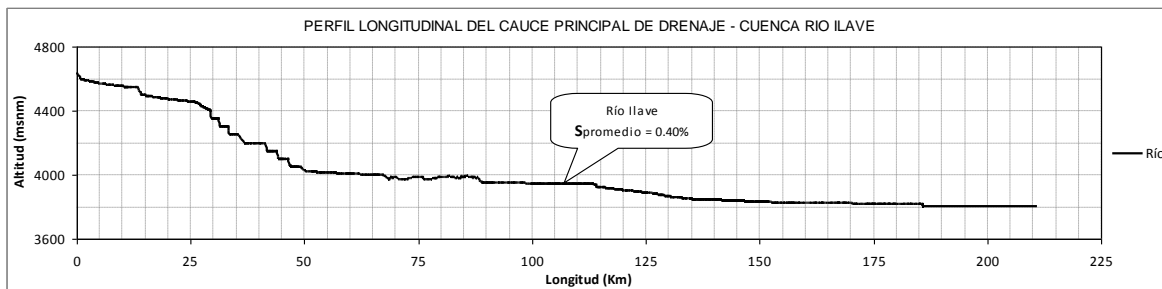
El tiempo de concentración de la cuenca del río Ilave es de 34.30 horas, y en las subcuencas varían de 2.00 – 20.80 horas, respectivamente.

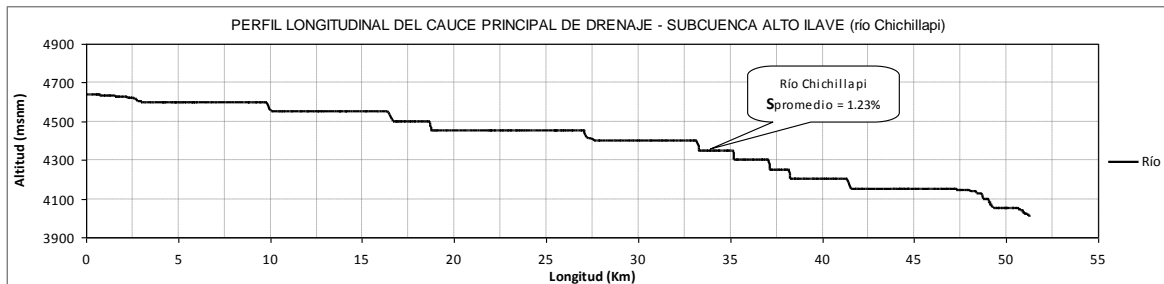
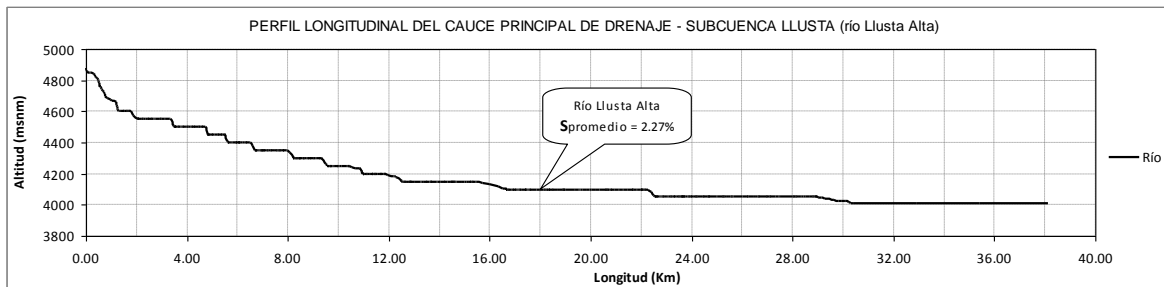
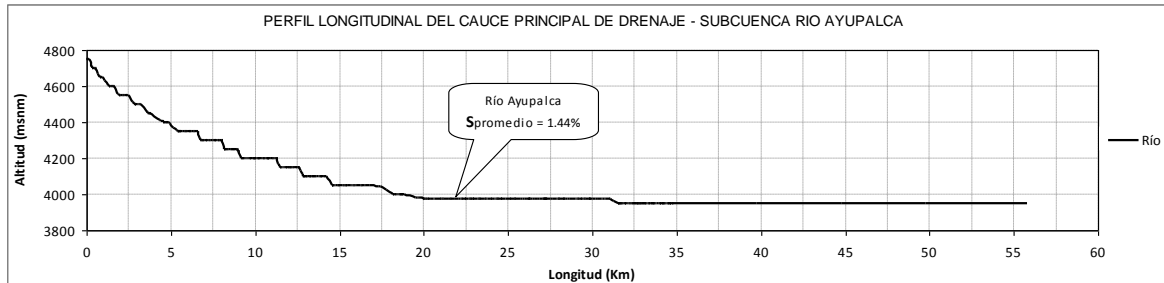
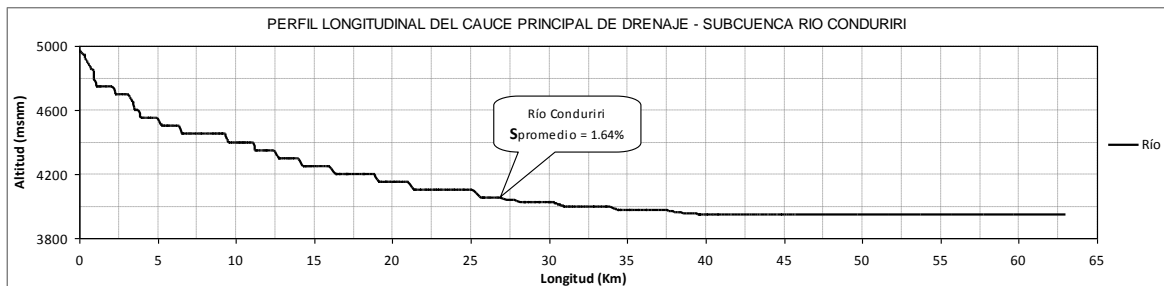
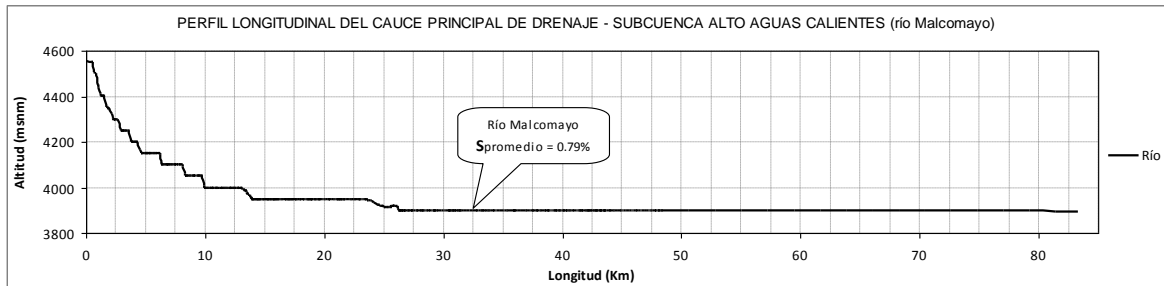
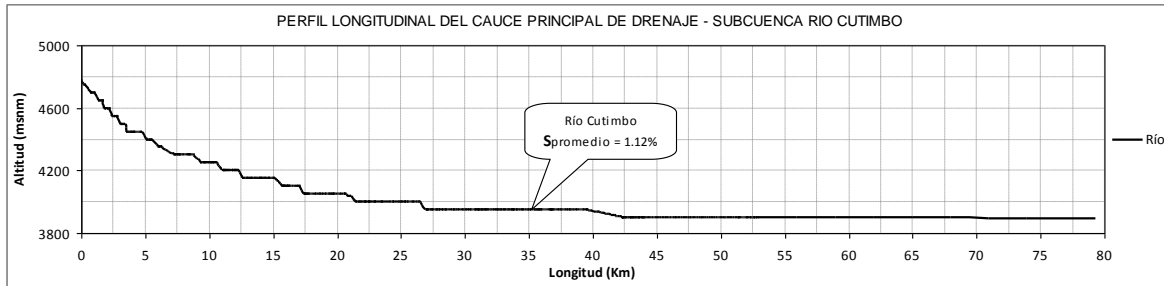
En los Cuadros N° 3.31 y 3.32 se muestran el resumen de parámetros geomorfológicos de la cuenca del río Ilave y de las subcuencas.

Figura N° 3.39
 Mapa de Clasificación de ríos – Cuenca y Subcuencas del río Ilave



Figura N° 3.40
 Perfil longitudinal del cauce principal – Cuenca y Subcuencas del río Ilave





Cuadro N° 3.31
Parámetros Geomorfológicos de la Cuenca y Subcuencas (nivel 4) del río Ilave

PARAMETROS	UNIDAD DE MEDIDA	CUENCA		SUBCUENCAS								
		Ilave	Bajo Ilave	Aguas Calientes	Medio Bajo Ilave	Conduriri	Medio Ilave	Ayupalca	Medio Alto Ilave	Llusta	Alto Ilave	
		Río Ilave	Tramo Río Ilave	Río Aguas Calientes	Río Huacque	Río Conduriri	Río Huacque (zona alta)	Río Ayupalca	Río Llusta Baja	Río Llusta Alta	Río Chichilapi	
Código Pfafstetter	-	016	0161	0162	0163	0164	0165	0166	0167	0168	0169	
Area total de la cuenca	Km2	7,832.53	205.50	3,693.03	764.32	606.15	72.04	369.21	869.90	525.25	727.13	
Perímetro de la cuenca	Km	631.97	71.52	296.65	166.48	122.08	51.74	109.05	166.34	113.53	149.38	
Longitud del río principal	Km	211.00	52.20	127.53	62.54	63.00	3.16	55.82	41.80	38.14	51.30	
Longitud total de los ríos de diferentes grados	Orden 1	Km	3500.59	65.26	1631.64	415.93	311.48	27.39	192.17	369.19	190.96	296.58
	Orden 2	Km	1227.09	22.90	688.47	127.35	84.99	10.40	50.51	109.53	74.59	58.36
	Orden 3	Km	595.63	2.27	356.84	31.32	28.12	6.68	40.64	54.98	30.48	44.28
	Orden 4	Km	271.70	0.00	164.02	9.02	25.32	0.00	8.77	18.26	20.06	26.26
	Orden 5	Km	123.50	0.00	68.21	0.00	12.04	0.00	0.00	36.86	6.39	0.00
	Orden 6	Km	101.91	0.00	26.59	57.87	0.00	3.00	0.00	14.45	0.00	0.00
	Orden 7	Km	52.20	52.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Longitud total	Km	5,872.61	142.63	2,935.78	641.49	461.94	47.47	292.08	603.26	322.48	425.48	
Ancho promedio de la cuenca	Km	37.12	3.94	28.96	12.22	9.62	22.80	6.61	20.81	13.77	14.17	
Coefficiente de compacidad	-	2.01	1.41	1.38	1.70	1.40	1.72	1.60	1.59	1.40	1.56	
Factor de forma	-	0.18	0.08	0.23	0.20	0.15	7.21	0.12	0.50	0.36	0.28	
Rectángulo equivalente	Lado mayor	Km	288.871	28.566	116.672	72.731	48.557	22.696	46.602	70.901	45.125	63.181
	Lado menor	Km	27.114	7.194	31.653	10.509	12.483	3.174	7.923	12.269	11.640	11.509
Radio de circularidad	Km	0.25	0.50	0.53	0.35	0.51	0.34	0.39	0.40	0.51	0.41	
Curva hipsométrica	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Polígonos de frecuencia de altitudes	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Altitud media de la cuenca	msnm	4309.31	3893.06	4280.91	4129.05	4467.24	4149.64	4231.51	4310.46	4432.91	4597.63	
Altitud de frecuencia media	msnm	4273.76	3849.08	4241.42	4085.17	4474.59	4117.07	4184.77	4220.75	4418.74	4600.19	
Area por encima de frecuencia media	Km2	3916.27	102.75	1846.52	382.16	303.08	36.02	184.61	434.95	262.63	363.57	
Altitud más frecuente	msnm	3850-4750	3805-3900	3850-4650	3850-4300	3950-4900	3946-4200	3950-4350	3950-4750	4050-4800	4400-4850	
Pendiente media de la cuenca	Altitud máxima	msnm	5400.00	4550.00	5300.00	4950.00	5250.00	4950.00	5100.00	5250.00	5150.00	5400.00
	Altitud mínima	msnm	3805.00	3805.00	3850.00	3850.00	3946.00	3946.00	3948.00	3948.00	4008.00	4008.00
	Pendiente media	m/m	0.0055	0.0261	0.0124	0.0151	0.0269	0.0442	0.0247	0.0184	0.0253	0.0220
Índice de pendiente de la cuenca	-	0.0654	0.1117	0.0997	0.1068	0.1517	0.1690	0.1346	0.1204	0.1453	0.1258	
Coefficiente de masividad	-	0.0002	0.0070	0.0003	0.0016	0.0022	0.0211	0.0034	0.0017	0.0031	0.0024	
Coefficiente orográfico	-	0.0003	0.0101	0.0004	0.0019	0.0029	0.0321	0.0043	0.0024	0.0051	0.0041	
Coefficiente de torrencialidad	-	0.17	0.11	0.19	0.20	0.16	0.17	0.16	0.13	0.10	0.11	
Tipo de corriente	-	Perenne	Perenne	Perenne	Perenne	Perenne	Perenne	Perenne	Perenne	Perenne	Perenne	
Número de orden de los ríos	Número de ríos:	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Orden 1	-	1301	22	708	155	100	12	58	111	53	82
	Orden 2	-	295	5	175	31	21	3	12	25	12	11
	Orden 3	-	74	1	42	7	5	1	3	7	5	3
	Orden 4	-	18	0	9	1	2	0	1	2	2	1
	Orden 5	-	13	0	9	0	1	0	0	2	1	0
	Orden 6	-	5	0	2	1	0	1	0	1	0	0
	Orden 7	-	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
N° total de ríos	-	1707	29	945	195	129	17	74	148	73	97	
Grado ramificación	-	7	7	6	6	5	6	4	6	5	4	
Frecuencia de densidad de ríos	ríos/Km2	0.22	0.14	0.26	0.26	0.21	0.24	0.20	0.17	0.14	0.13	
Densidad de drenaje	Km/Km2	0.75	0.69	0.79	0.84	0.76	0.66	0.79	0.69	0.61	0.59	
Extensión media del escurrimiento superficial	Km2/Km	1.33	1.44	1.26	1.19	1.31	1.52	1.26	1.44	1.63	1.71	
Cotas del cauce principal	Altitud mínima	msnm	3805.00	3805.00	3850.00	3850.00	3946.00	3946.00	3948.00	3948.00	4008.00	4008.00
	Altitud máxima	msnm	4640.00	3850.00	4550.00	3946.00	4977.00	3948.00	4750.00	4008.00	4875.00	4640.00
Pendiente media del río principal	m/m	0.0040	0.0009	0.0055	0.0015	0.0164	0.0006	0.0144	0.0014	0.0227	0.0123	
Altura media del río principal	msnm	4,222.50	3,827.50	4,200.00	3,898.00	4,461.50	3,947.00	4,349.00	3,978.00	4,441.50	4,324.00	
Tiempo de concentración	horas	34.30	20.80	20.60	19.60	7.80	2.80	7.50	14.80	4.70	7.50	

Cuadro N° 3.32
Parámetros Geomorfológicos de las Subcuencas (nivel 5) del río Aguas Calientes

PARAMETROS	UNIDAD DE MEDIDA	SUBCUENCAS										
		Aguas Calientes	Bajo Aguas Calientes	Uncallane	Medio Bajo Aguas Calientes	Tunquipa	Medio Aguas Calientes	Loripongo	Medio Alto Aguas Calientes	Cutimbo	Alto Aguas Calientes	
		Río principal										
		Río Aguas Calientes	Tramo Río Aguas Calientes	Río Uncallane	Río Grande (zona baja)	Río Tunquipa	Río Grande (zona media)	Río Loripongo	Río Grande (zona alta)	Río Cutimbo	Río Malcomayo	
Código Pfafstetter	-	0162	01621	01622	01623	01624	01625	01626	01627	01628	01629	
Area total de la cuenca	Km2	3,693.03	132.52	1,708.21	52.89	247.90	109.90	624.59	10.63	279.26	527.13	
Perímetro de la cuenca	Km	296.65	57.30	236.65	31.74	104.83	57.26	155.56	14.80	106.05	143.31	
Longitud del río principal	Km	127.53	19.95	119.41	5.28	73.16	13.62	73.87	5.38	79.29	83.30	
Longitud total de los ríos de diferentes grados	Orden 1	Km	1631.64	73.81	763.77	20.17	109.46	40.58	287.51	0.00	110.59	225.76
	Orden 2	Km	688.47	17.67	303.83	12.91	59.17	12.82	114.61	0.00	45.50	121.96
	Orden 3	Km	356.84	11.41	160.75	0.79	56.67	11.47	32.09	0.00	19.44	64.21
	Orden 4	Km	164.02	0.00	53.32	0.00	8.73	0.00	47.60	0.00	26.96	27.42
	Orden 5	Km	68.21	0.00	41.32	7.89	0.00	13.62	0.00	5.38	0.00	0.00
	Orden 6	Km	26.59	14.83	11.76	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Orden 7	Km	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Longitud total	Km	2,935.78	117.72	1,334.74	41.77	234.02	78.48	481.81	5.38	202.49	439.35
Ancho promedio de la cuenca	Km	28.96	6.64	14.31	10.02	3.39	8.07	8.46	1.98	3.52	6.33	
Coefficiente de compacidad	-	1.38	1.40	1.61	1.23	1.88	1.54	1.76	1.28	1.79	1.76	
Factor de forma	-	0.23	0.33	0.12	1.90	0.05	0.59	0.11	0.37	0.04	0.08	
Rectángulo equivalente	Lado mayor	Km	116.672	22.851	101.494	11.109	47.158	24.063	68.687	5.449	47.095	63.332
	Lado menor	Km	31.653	5.799	16.831	4.761	5.257	4.567	9.093	1.951	5.930	8.323
Radio de circularidad	Km	0.53	0.51	0.38	0.66	0.28	0.42	0.32	0.61	0.31	0.32	
Curva hipsométrica	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Polígonos de frecuencia de altitudes	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Altitud media de la cuenca	msnm	4280.91	4000.24	4437.22	3934.31	4117.60	3995.15	4262.17	3900.60	4278.19	4052.01	
Altitud de frecuencia media	msnm	4241.42	3952.06	4458.14	3913.24	4013.23	3953.39	4260.75	3897.82	4240.71	4021.32	
Area por encima de frecuencia media	Km2	1846.52	66.26	854.11	26.45	123.95	54.95	312.30	5.32	139.63	263.57	
Altitud más frecuente	msnm	3850-4650	3850-4200	4000-4750	3870-4000	3890-4450	3890-4100	3895-4550	3895-3900	3896-4750	3896-4150	
Pendiente media de la cuenca	Altitud máxima	msnm	5300.00	4550.00	5300.00	4200.00	4800.00	4550.00	5300.00	3950.00	5150.00	4750.00
	Altitud mínima	msnm	3850.00	3850.00	3870.00	3870.00	3890.00	3890.00	3895.00	3895.00	3896.00	3896.00
	Pendiente media	m/m	0.0124	0.0306	0.0141	0.0297	0.0193	0.0274	0.0205	0.0101	0.0266	0.0135
Índice de pendiente de la cuenca	-	0.0997	0.1456	0.1088	0.1379	0.1201	0.1210	0.1209	0.0607	0.1465	0.0910	
Coefficiente de masividad	-	0.0003	0.0085	0.0007	0.0240	0.0043	0.0127	0.0021	0.1863	0.0049	0.0023	
Coefficiente orográfico	-	0.0004	0.0096	0.0009	0.0305	0.0046	0.0178	0.0027	0.3689	0.0068	0.0028	
Coefficiente de torrencialidad	-	0.19	0.21	0.19	0.21	0.19	0.16	0.21	0.09	0.15	0.20	
Tipo de corriente	-	Perenne	Perenne	Perenne	Perenne	Perenne	Perenne	Perenne	Perenne	Perenne	Perenne	
Número de orden de los ríos	Número de ríos:	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Orden 1	-	708	28	320	11	47	18	134	0	43	107
	Orden 2	-	175	7	78	4	12	3	30	0	11	30
	Orden 3	-	42	2	21	1	2	1	5	0	1	9
	Orden 4	-	9	0	5	0	1	0	1	0	1	1
	Orden 5	-	9	0	2	5	0	1	0	1	0	0
	Orden 6	-	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	Orden 7	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	N° total de ríos	-	945	38	427	21	62	23	170	1	56	147
	Grado ramificación	-	6	6	6	5	4	5	4	5	4	4
Frecuencia de densidad de ríos	ríos/Km2	0.26	0.29	0.25	0.40	0.25	0.21	0.27	0.09	0.20	0.28	
Densidad de drenaje	Km/Km2	0.79	0.89	0.78	0.79	0.94	0.71	0.77	0.51	0.73	0.83	
Extensión media del escurrimiento superficial	Km2/Km	1.26	1.13	1.28	1.27	1.06	1.40	1.30	1.98	1.38	1.20	
Cotas del cauce principal	Altitud mínima	msnm	3850.00	3850.00	3870.00	3870.00	3890.00	3890.00	3895.00	3895.00	3896.00	3896.00
	Altitud máxima	msnm	4550.00	3870.00	4845.00	3890.00	4675.00	3895.00	4725.00	3896.00	4787.00	4550.00
Pendiente media del río principal	m/m	0.0055	0.0010	0.0082	0.0038	0.0107	0.0004	0.0112	0.0002	0.0112	0.0079	
Altura media del río principal	msnm	4,200.00	3,860.00	4,357.50	3,880.00	4,282.50	3,892.50	4,310.00	3,895.50	4,341.50	4,223.00	
Tiempo de concentración	horas	20.60	9.50	16.80	2.00	10.40	10.10	10.30	6.40	10.80	12.90	

3.10.5.- Sistema hidrográfico

En el Perú existe tres vertientes hidrográficas, la vertiente u hoya del lago Titicaca, las vertientes del océano Atlántico y océano Pacífico, definidas estas últimas por la cordillera de los Andes (divisoria continental de las aguas). La cuenca del río Ilave se ubica en la vertiente del lago Titicaca.

La cuenca endorreica del lago Titicaca tiene forma algo elipsoidal, se ubica al Sureste del territorio Peruano y abarca los territorios de Perú y Bolivia, ocupa una alta meseta andina, conocida como meseta del Collao o del Titicaca, limita por el Norte con la vertiente del Atlántico, por el Sur con Cuenca Maure y Alto Desaguadero, por el Este ocupa el territorio Boliviano y por el Oeste con la vertiente del Pacífico.

La vertiente del lago Titicaca tiene una extensión de 56,493.00 Km² (incluye el área del espejo del Lago de 8,400 Km² en promedio), en esta existen cinco ríos principales (Ramis, Coata, Ilave, Huancané y Suhez) que desembocan al lago Titicaca, el río desaguadero es el único cauce natural de salida del lago Titicaca.

El lago Titicaca constituye el elemento termorregulador del sistema y tiene un espejo de agua de 8,400 Km² de superficie en promedio y un volumen de 930 Km³ a una altitud media de 3,810.0 m.s.n.m. y es considerado como el lago navegable más alto del mundo. Cerca de las tres partes pertenecen al Perú y el resto a Bolivia. Ambos países dependen de los recursos naturales de la cuenca específicamente del recurso hídrico, la mayoría de los habitantes viven de agricultura y ganadería actividades que dependen del recurso hídrico de esta cuenca.

La cuenca del río Ilave por su extensión – 7,832.53 Km² – es la segunda en importancia de las que vierten sus aguas al lago Titicaca, solamente precedida por el río Ramis. Sin embargo, según estudios del TDPS, en cuanto a sus aportaciones se ubica en tercer lugar, convirtiéndose en el tercer tributario principal y siendo además el de mayor aportación hídrica específica. Ello es debido fundamentalmente a la moderada pluviosidad que soportan los macizos montañosos que establecen la divisoria con la cuenca del río Maure.

Se encuentra situado a una altitud de 3,805 a 5,400 msnm. La configuración de la cuenca del río Ilave es la de una hoya hidrográfica variable en cuanto a su fisiografía general, en la parte alta de la cuenca la pendiente es mayor, con régimen de flujo supercrítico, en la parte baja de la cuenca las pendientes de los ríos son bajas, presentando regímenes de flujo subcrítico, en esta zona baja de la cuenca los cauces de los ríos son de mayor profundidad, meándricos, divagantes y el cauce está ocupado por material sólido transportado de la parte alta de la cuenca.

En la cuenca se encuentra pequeños cuerpos de agua superficial (Lagunas) con volúmenes de almacenamiento de menor importancia, los cuales son alimentados principalmente por la escorrentía superficial y precipitaciones pluviales, antes de calentamiento global del medio ambiente existían nevados en la parte alta de la cuenca, pero sin embargo por el cambio climático se desaparecieron y por ende muestra la ausencia de aporte de agua de los deshielos de los nevados.

La cuenca del río Ilave básicamente se compone de las subcuencas de los ríos Huenque y Aguas Calientes.

La subcuenca del río Huenque, tiene una superficie de drenaje total de 3,934.00 Km² hasta la confluencia con el río Aguas Calientes, lo que equivale al 50.23% del área total de la cuenca Ilave.

La subcuenca del río Aguas Calientes tiene una extensión de 3,693.03 Km² lo que equivale al 47.15% del área total de la cuenca Ilave.

El río Huenque tiene sus principales afluentes como: río Chichillapi (subcuenca Alto Ilave), río Llusta Alta (subcuenca Llusta), río Ayupalca y río Conduriri, que aportan sus aguas en forma directa. La escorrentía en los cauces indicados es de régimen sostenido durante todo el año. El cauce principal nace desde el río Coypa Coypa – río Chichillapi – río Llusta Baja – río Huenque, cuya longitud del cauce es de 158.80 Km hasta la confluencia con el río Aguas Calientes.

El río Aguas Calientes tiene sus principales afluentes como: río Malcomayo (subcuenca Alto Aguas Calientes), río Cutimbo, río Lloripongo, río Tunquipa y río Uncallane, que aportan sus aguas en forma directa. La escorrentía en los cauces indicados es de régimen sostenido durante todo el año. El cauce principal nace desde la Quebrada Huallata Apacheta - Quebrada Taipicerca - Quebrada Mocsoma - Quebrada San Miguel - río Samigia - río Malcomayo - río Grande - río Aguas Calientes, cuya longitud del cauce es de 127.53 Km hasta la confluencia con el río Huenque.

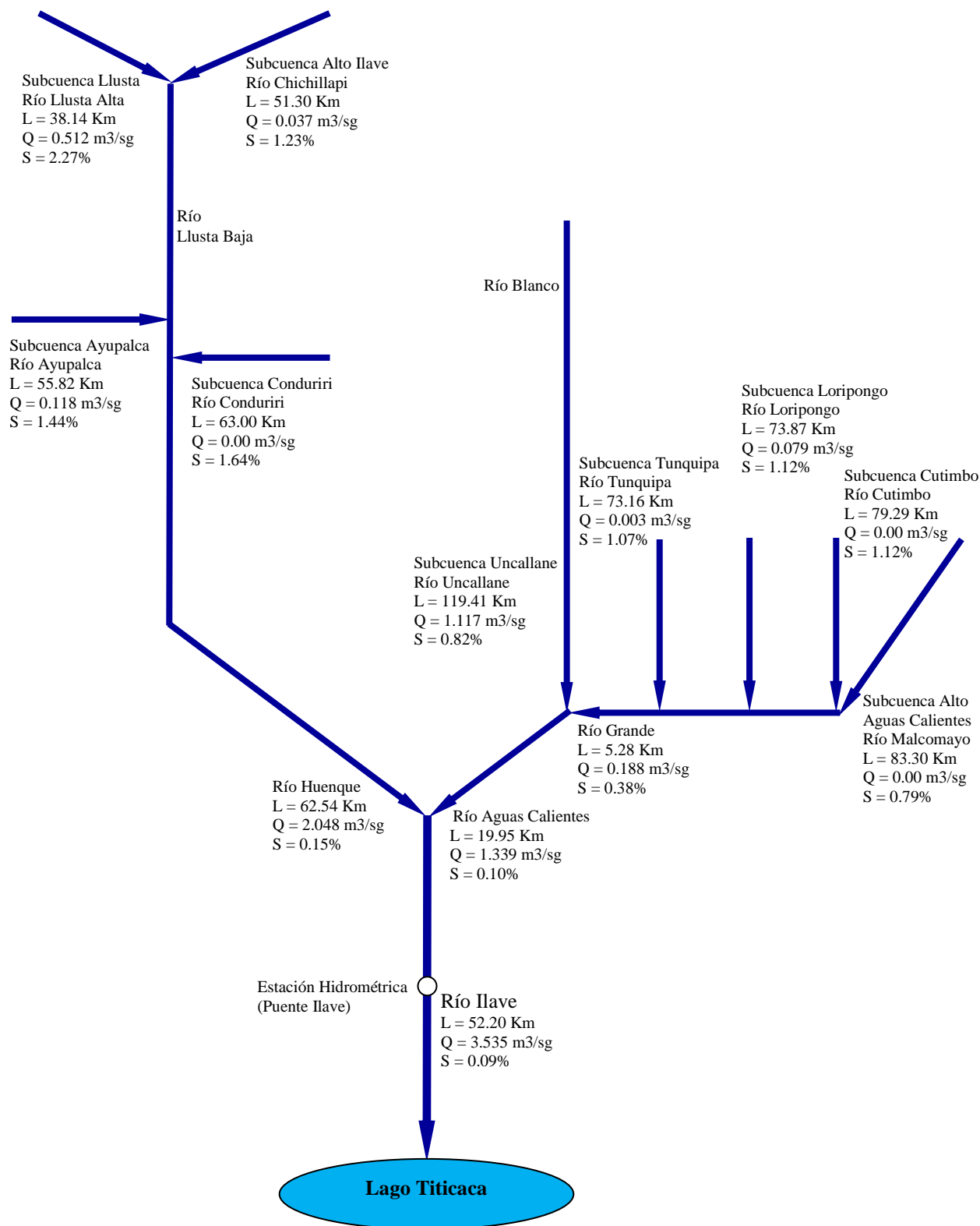
El carácter hidrográfico de esta cuenca es endorreica, por lo tanto es de bajo rendimiento hídrico durante la mayor parte del año.

3.10.6.- Esquema fluvial

En la Figura N° 3.41, se presenta el esquema fluvial general de la cuenca del río Ilave, donde se muestra las subunidades hidrográficas de nivel 4 (subcuencas Alto Ilave, Llusta, Ayupalca, Conduriri y Aguas Calientes) y nivel 5 (subcuencas Alto Aguas Calientes, Cutimbo, Lloripongo, Tunquipa y Uncallane). Estas subcuencas son las que aportan sus aguas en forma directa a la cuenca del río Ilave, durante todo el periodo del ciclo hidrológico.

En el esquema siguiente, se muestran nombre de la sub unidad hidrográfica, río principal, longitud del cauce, caudal y pendiente media del río. Los caudales son valores obtenidos en el aforo de ríos, realizado en el mes de Noviembre del año 2008; caso de los ríos Conduriri, Cutimbo y Malcomayo, resultaron cero, debido a que en aguas arriba del punto de aforo, existen usos actuales de agua, además en caso de los dos últimos ríos el agua fluye por debajo del lecho del río, por presentar material suelto (gravas) en el lecho. El aforo se realizó en los puntos de salida en cada subcuenca, con el fin de conocer el caudal de salida en tiempo de estiaje.

Figura N° 3.41
Esquema Fluvial – Cuenca del río Ilave



3.11.- RECURSOS HIDRICOS SUPERFICIALES

La identificación de las distintas fuentes hídricas superficiales en la cuenca del río Ilave a través de los trabajos del componente “Inventario de recursos hídricos superficiales de la cuenca del río Ilave” del presente proyecto, trabajos desarrollados paralelamente al desarrollo del presente estudio, y cuyo informe final se detalla en adelante.

Las fuentes de agua en la cuenca del río Ilave son:

- Ríos
- Quebradas
- Manantiales
- Lagunas
- Bofedales

En lo que respecta a la distribución espacial, según el inventario realizado en la cuenca del río Ilave, existen en total los 3244 fuentes del recurso hídrico superficial distribuidas en ríos, quebradas, manantiales, lagunas y bofedales. La distribución de las fuentes hídricas en unidades hidrográficas de nivel 4 del total de la cuenca, es la siguiente: subcuenca Aguas Calientes 1933 fuentes y representa 59.59% del total de la cuenca, en ésta subcuenca se concentra el mayor número de fuentes; subcuenca Medio Bajo Ilave 295 fuentes (9.09%); subcuenca Llusta 239 fuentes (7.37%); subcuenca Conduriri 234 fuentes (7.21%); subcuenca Medio Alto Ilave 218 fuentes (6.72% del total); el porcentaje restante (10.02%) de fuentes se ubica en las subcuencas Alto Ilave, Ayupalca, Bajo Ilave y Medio Ilave. Similarmente en las unidades hidrográficas de nivel 5: en la subcuenca Uncallane 905 fuentes (46.82%), subcuenca Alto Aguas Calientes 509 fuentes (26.33%), subcuenca Loripongo 164 fuentes (8.48%), subcuenca Cutimbo 137 fuentes (7.09%) y el porcentaje restante de 11.28% corresponde a las subcuencas Tunquipa, Bajo Aguas Calientes, Medio Aguas Calientes, Medio Bajo Aguas Calientes y Medio Alto Aguas Calientes. La mayor concentración de fuentes hídricas se da en la parte alta de la cuenca Ilave (subcuenca del río Aguas Calientes), lo que significa que las 11 lagunas existentes naturalmente almacenadas de agua en esta subcuenca, tienen una importante contribución en la retención de la cuenca.

En los Cuadros N° 3.33 y 3.34, se presenta el consolidado del inventario de fuentes de agua superficial por unidades hidrográficas, según número total de cada tipo de fuente. En la Figura N° 3.42 se aprecia la distribución del número total de fuentes de agua superficial en la cuenca Ilave. Y en la Figura N° 3.43, el número total de fuentes de agua superficial por cada subcuenca.

En la Figura N° 3.42, se observa que, de los 3244 unidades de fuentes hídricas en la cuenca del río Ilave, las manantiales existen en mayor cantidad de 1836 unidades y representa 56.60% del total de la cuenca, seguido por quebradas (1300 unidades y 40.07%), ríos (67 unidades y 2.07%), bofedales (27 unidades y 0.83%) y lagunas (14 unidades y 0.43%) en el ámbito de la cuenca..

Cuadro N° 3.33
Consolidado del Inventario de Recursos Hídricos Superficiales – Cuenca del río Ilave
(Unidades Hidrográficas nivel 4)

Subcuenca	Código	Número de Fuentes de Agua Superficial					Total
		Ríos	Quebradas	Manantiales	Lagunas	Bofedales	
Bajo Ilave	0161	1	22	12	0	0	35
Aguas Calientes	0162	32	737	1149	11	4	1933
Medio Bajo Ilave	0163	3	148	143	0	1	295
Conduriri	0164	9	93	127	0	5	234
Medio Ilave	0165	1	9	11	0	0	21
Ayupalca	0166	1	59	31	0	4	95
Medio Alto Ilave	0167	10	100	103	2	3	218
Llusta	0168	7	55	172	0	5	239
Alto Ilave	0169	3	77	88	1	5	174
Total		67	1300	1836	14	27	3244

Cuadro N° 3.34
Consolidado del Inventario de Recursos Hídricos Superficiales – Subcuenca Aguas Calientes
(Unidades Hidrográficas nivel 5)

Subcuenca	Código	Número de Fuentes de Agua Superficial					Total
		Ríos	Quebradas	Manantiales	Lagunas	Bofedales	
Bajo Aguas Calientes	01621	1	28	44	0	0	73
Uncallane	01622	7	344	543	7	4	905
Medio Bajo Aguas Calientes	01623	1	11	6	0	0	18
Tunquipa	01624	4	44	32	0	0	80
Medio Aguas Calientes	01625	1	19	26	0	0	46
Loripongo	01626	5	133	26	0	0	164
Medio Alto Aguas Calientes	01627	1	0	0	0	0	1
Cutimbo	01628	4	50	81	2	0	137
Alto Aguas Calientes	01629	8	108	391	2	0	509
Total		32	737	1149	11	4	1933

Figura N° 3.42
Distribución del Número de Fuentes de Agua Superficial – Cuenca Ilave

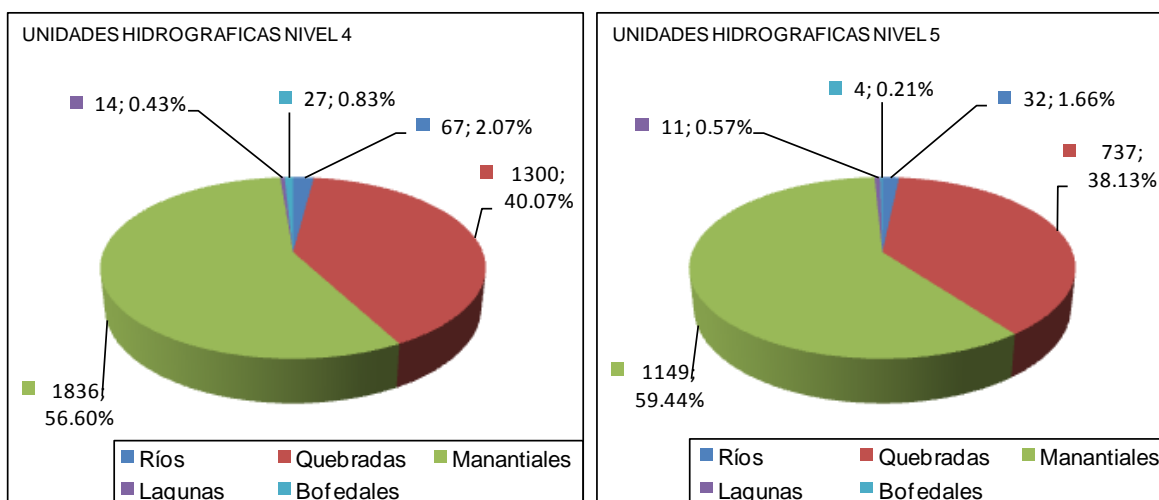
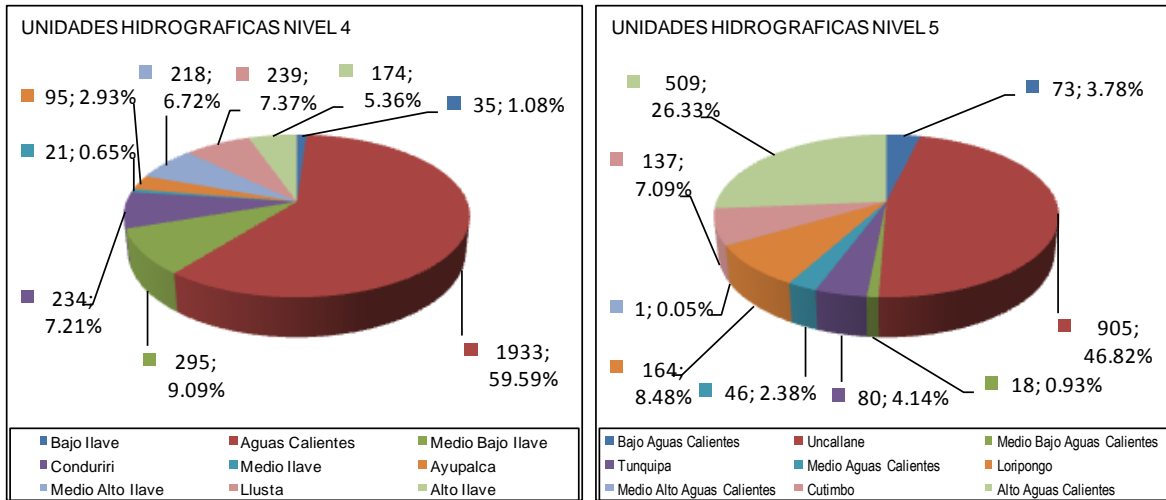


Figura N° 3.43
Distribución del Número de Fuentes de Agua Superficial por Subcuencas

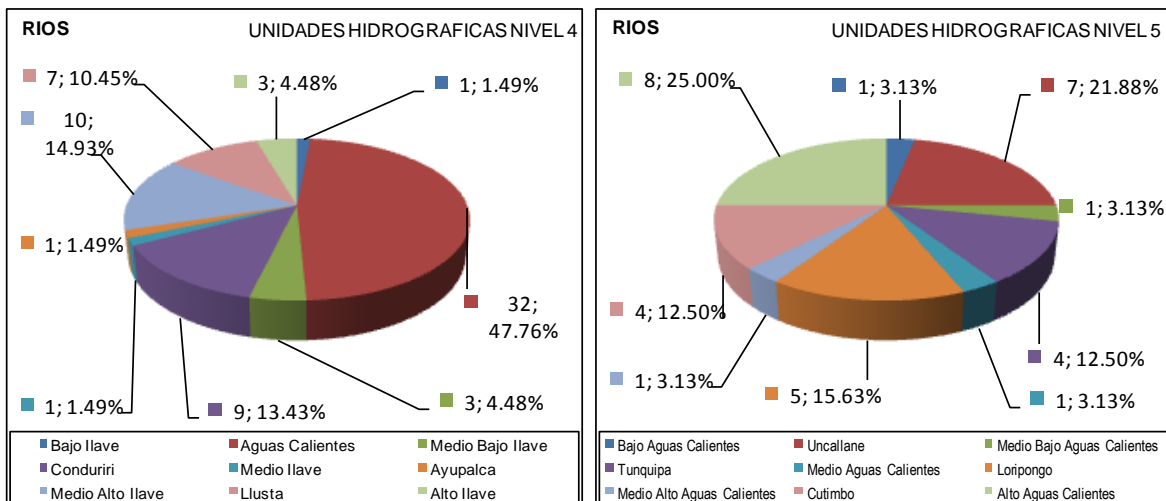


3.11.1.- Ríos

El inventario de ríos en la cuenca del río Ilave se ha realizado considerando el concepto de que un río es un cauce natural con agua durante un 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 de esta, se ha realizado en el ítem 3.10.1 del presente capítulo.

La fuente de escorrentía superficial más importante en la cuenca Ilave es el río Huenque y el río Aguas Calientes, siendo el río Ilave como un dren final hacia el lago Titicaca. El río Ilave como río de orden 7, posee 1367 afluentes, entre ríos y quebradas según el trabajo de inventario. Se ha identificado 67 ríos, los cuales son de régimen continuo. En los Cuadros N° 3.33 y 3.34 se presenta la distribución de ríos por cada subcuenca (nivel 4 y 5).

Figura N° 3.44
Distribución del Número de Ríos por Subcuencas



En la Figura N° 3.44, según la distribución de los ríos, se ve que la subcuenca Aguas Calientes (nivel 4) presenta la mayor cantidad de ríos 47.76% del total, seguido por las subcuencas Medio Alto Ilave (14.93%), Conduriri (13.43%) y el 23.88% corresponde a las subcuencas restantes, en el ámbito de la cuenca Ilave.

Similarmente para las unidades hidrográficas de nivel 5, en la Figura N° 3.44 de la distribución de ríos, se ve que la subcuenca Alto Aguas Calientes presenta la mayor cantidad de ríos, 25.00% del total, en las subcuencas Uncallane y Loripongo presentan el 21.88% y 15.63%, y el 37.50% corresponde a las sub unidades hidrográficas restantes en el ámbito de la subcuenca Aguas Calientes.

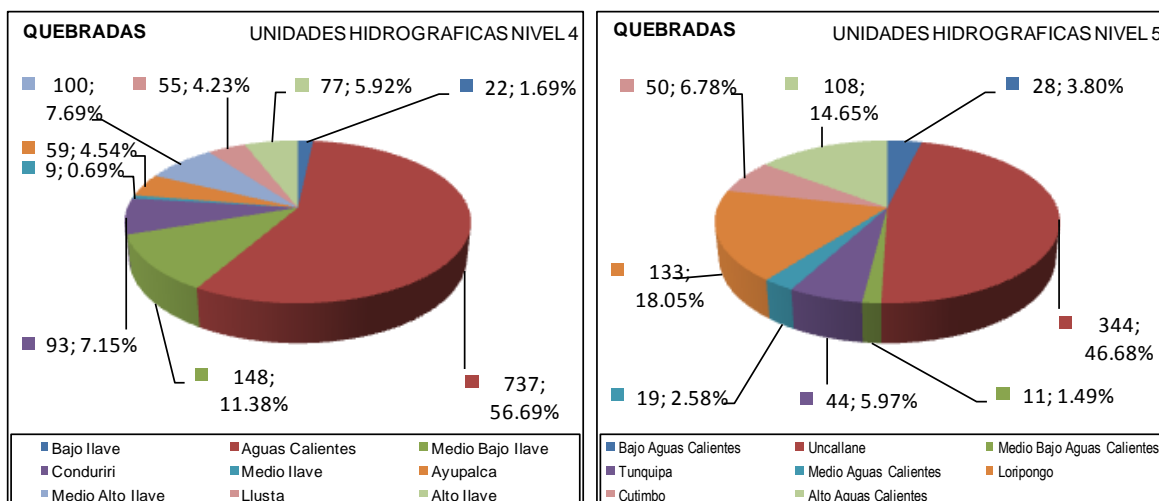
3.11.2.- Quebradas

Los cauces de la mayoría de quebradas existentes son cauces de drenaje de carácter endorreico. Según el inventario realizado existen 1300 quebradas en la cuenca Ilave, y se distribuye lo siguiente en las subcuencas (nivel 4): Aguas Calientes (56.69%), Medio Bajo Ilave (11.38%) y Medio Alto Ilave (7.69%), y en las subcuencas (nivel 5) Uncallane (46.68%), Loripongo (18.05%) y Alto Aguas Calientes (14.65%), es donde se ubican en mayor porcentaje el número de quebradas del total de la cuenca. En los Cuadros N° 3.33 y 3.34 se presenta la cantidad de quebradas contenidas en cada subcuenca de nivel 4 y 5.

Los cauces de las quebradas en su mayor parte presentan altas pendientes. Generalmente son cauces erosivos, y 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.

En la Figura N° 3.45, según la distribución de las quebradas, se ve que la subcuenca Aguas Calientes (nivel 4) presenta la mayor cantidad de quebradas el 56.69% del total, en resto de las subcuencas varían de 0.69% a 11.35% del total de la cuenca Ilave; en forma similar para las unidades hidrográficas (nivel 5), la subcuenca Uncallane presenta mayor cantidad de quebradas 46.68% y en resto de las subcuencas varían de 1.49% a 18.05% del total de la subcuenca Aguas Calientes, respectivamente.

Figura N° 3.45
Distribución del Número de Quebradas por Subcuencas

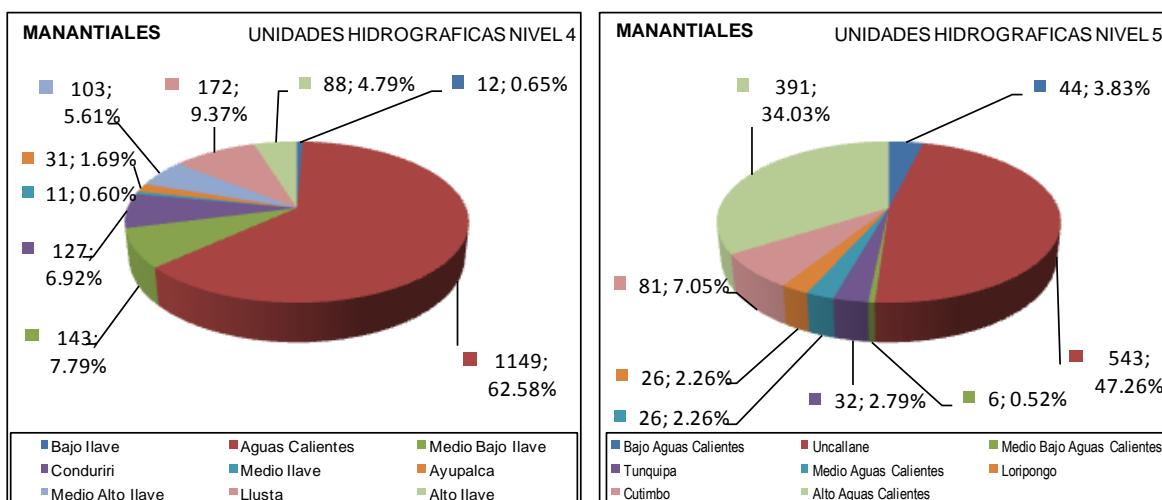


3.11.3.- Manantiales

Los manantiales revisten 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. Estas fuentes se presentan con mayor frecuencia en las subcuencas ubicadas en la parte alta y media de la cuenca. Estas fuentes son vitales para la subsistencia del medio biológico, ya que en muchos sectores son las únicas fuentes que suministran el recurso hídrico en forma permanente.

En el inventario efectuado, existen 1836 manantes en el ámbito de la cuenca llave, de ésta se distribuye en las subcuencas (nivel 4) de la siguiente forma: Aguas Calientes (62.58%), Llusta (9.37%) y Medio Bajo Ilave (7.79%), y en forma similar en las unidades hidrográficas (nivel 5) la subcuenca Uncallane (47.26%), Alto Aguas Calientes (34.03%) y Cutimbo (7.05% del total de la subcuenca Aguas Calientes), es donde se ubican la mayor cantidad de manantiales en la cuenca llave. En los Cuadros N° 3.33 y 3.34, y la Figura N° 3.46 se presentan la cantidad y distribución de manantiales contenidas en cada subcuenca.

Figura N° 3.46
Distribución del Número de Manantiales por Subcuencas

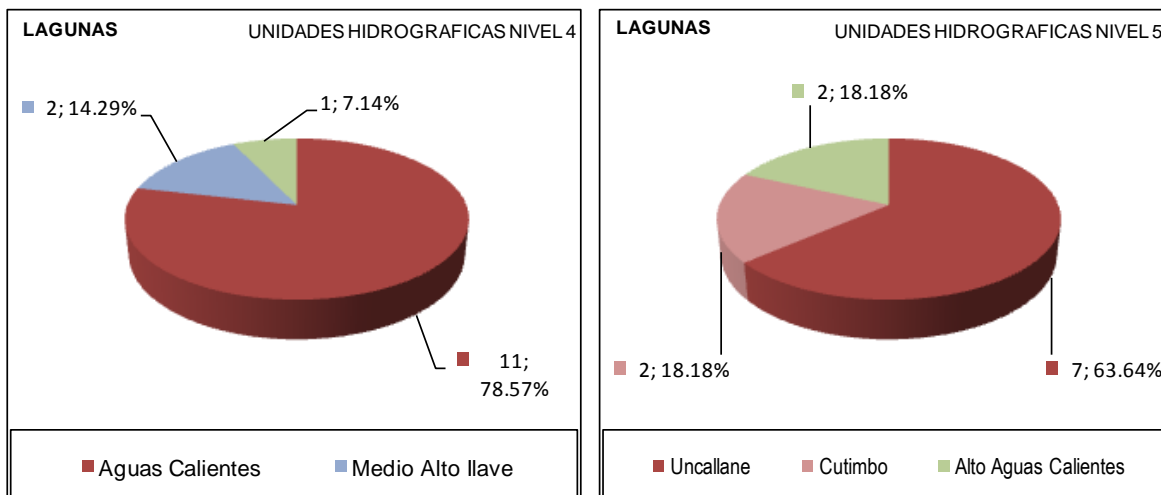


3.11.4.- Lagunas

La cuenca alta del río llave presenta, como la mayoría de casos, depresiones de terreno en las que se han formado almacenamientos de agua o lagunas, que se ubican entre las altitudes 3,937 y 4,902 msnm. Se ha inventariado un total de 14 lagunas naturales. La totalidad de estos almacenamientos de agua permanecen en estado natural, representando un potencial hídrico para futuras demandas de la cuenca.

Como se aprecia en los Cuadros N° 3.33 y 3.34, y en la Figura N° 3.47 existen solo en las subcuencas Aguas Calientes (11 lagunas, 78.57% del total), Medio Alto Ilave (2 lagunas, 14.29% del total) y Alto Ilave (1 lagunas, 7.14% del total) en la cuenca llave, mientras que en otras subcuencas no existen lagunas. En forma similar para las subcuencas de nivel 5, solo existe en las subcuencas Uncallane (7 lagunas, 63.64% del total), subcuenca Cutimbo (2 lagunas, 18.18% del total) y subcuenca Alto Aguas Calientes (2 lagunas, 18.18% del total) en la subcuenca Aguas Calientes.

Figura N° 3.47
Distribución del Número de Lagunas por Subcuencas

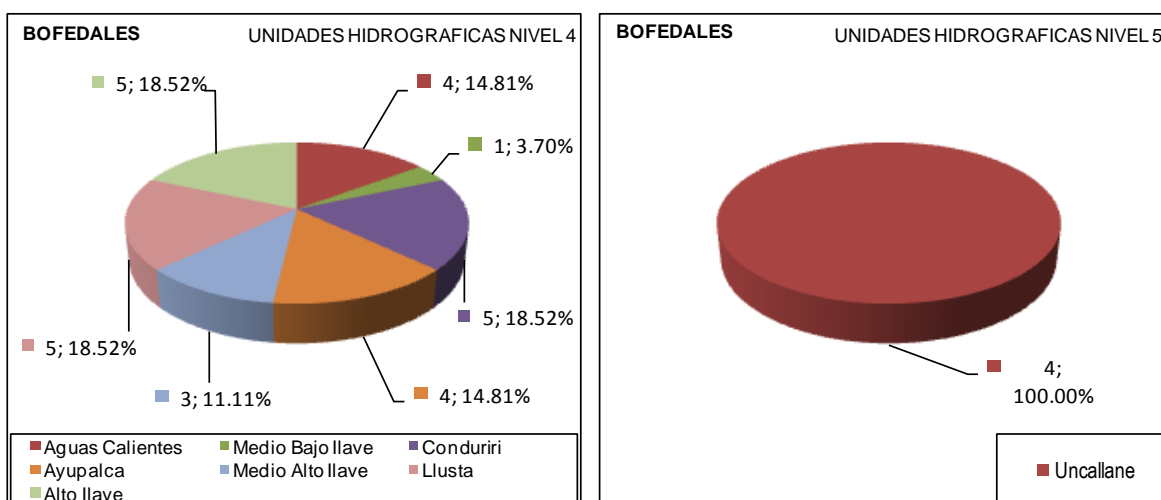


3.11.5.- Bofedales

Los bofedales o humedales son fuentes hídricas de gran importancia. Se ubican mayormente en la parte alta de la cuenca. Estos orígenes de agua mayormente sirven para mantener la humedad de los terrenos aledaños a su ubicación y cumplen un vital recurso para la actividad pecuaria. Además estas fuentes son bolsones de agua que sirven para la alimentación de la descarga de caudal de la cuenca en épocas de estiaje, generalmente.

Según el inventario efectuado en la cuenca Ilave, existen 27 bofedales, y se distribuye lo siguiente: subcuenca Alto Ilave (18.52%), Llusta (18.52%) y Conduriri (18.52%), es donde se ubican en mayor porcentaje el número de bofedales del total de la cuenca; mientras en la unidad hidrográfica de nivel 5, solo en la subcuenca Uncallane hay 4 bofedales, ver la Figura N° 3.48. En los Cuadros N° 3.33 y 3.34 se presenta la cantidad de bofedales contenidas en cada subcuenca de nivel 4 y 5.

Figura N° 3.48
Distribución del Número de Bofedales por Subcuencas



CAPITULO 4

PLUVIOMETRIA

4.1.- GENERALIDADES

Se entiende por precipitación al agua que proviene de la humedad atmosférica y cae a la superficie terrestre, principalmente en estado líquido (llovizna y lluvia) o en estado sólido (escarcha, nieve y granizo). La precipitación es uno de las principales fases 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. La precipitación junto a la evaporación constituyen la forma mediante la cual la atmósfera interactúa con el agua superficial en el ciclo hidrológico del agua.

La evaporación de la superficie del océano es la principal fuente de humedad para la precipitación y probablemente no más de un 10% de la precipitación que cae en el continente puede ser atribuida a la evaporación continental y la evapotranspiración de las plantas. Sin embargo, no necesariamente la mayor cantidad de precipitación cae sobre los océanos, ya que la humedad es transportada por la circulación atmosférica a lo largo de grandes distancias, como evidencia de ello se pueden observar algunas islas desérticas. La localización de una región con respecto a la circulación atmosférica, su latitud y distancia a una fuente de humedad son principalmente los responsables de su clima.

Sin duda uno de los componentes más importantes del ciclo hidrológico en una cuenca hidrográfica es la precipitación, y en este sentido es que se realiza el estudio de este parámetro meteorológico en forma independiente y detallada.

Para poder explicar de mejor forma el suceso de la escorrentía superficial en la cuenca del río Ilave 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.

La información disponible de la precipitación es a escala mensual, por consiguiente, en el presente capítulo se realiza un análisis de la precipitación total mensual, puesto que la información disponible a escala diaria es insuficiente, y por tanto nos llevaría a resultados poco adecuados.

4.2.- RED DE ESTACIONES METEOROLOGICAS

La información pluviométrica disponible corresponde a una red de dieciocho estaciones meteorológicas para el estudio de la precipitación ubicadas dentro de la Cuenca Ilave y en el entorno externo de esta. La información histórica disponible de la precipitación total mensual se muestra en el Capítulo 2.

Las estaciones meteorológicas ubicadas en el ámbito de la cuenca del río Ilave, es la siguiente:

- Estación Ilave
- Estación Laraqueri
- Estación Chilligua
- Estación Mazocruz
- Estación Coypa Coypa
- Estación Chichillapi

Las estaciones meteorológicas de apoyo ubicadas en las cuencas vecinas a la cuenca del río Ilave, es la siguiente:

- | | |
|-------------------------|------------------------------|
| - Estación Puno | - Estación Desaguadero |
| - Estación Mañazo | - Estación Pizacoma |
| - Estación Ichuña | - Estación Yorohoco |
| - Estación Pampa Umalzo | - Estación Pocoaque |
| - Estación Vilacota | - Estación Juli |
| - Estación Capazo | - Estación Rincón de la Cruz |

En la Figura N° 4.1, se muestra la ubicación de estaciones meteorológicas en la cuenca del río Ilave y en cuencas vecinas.

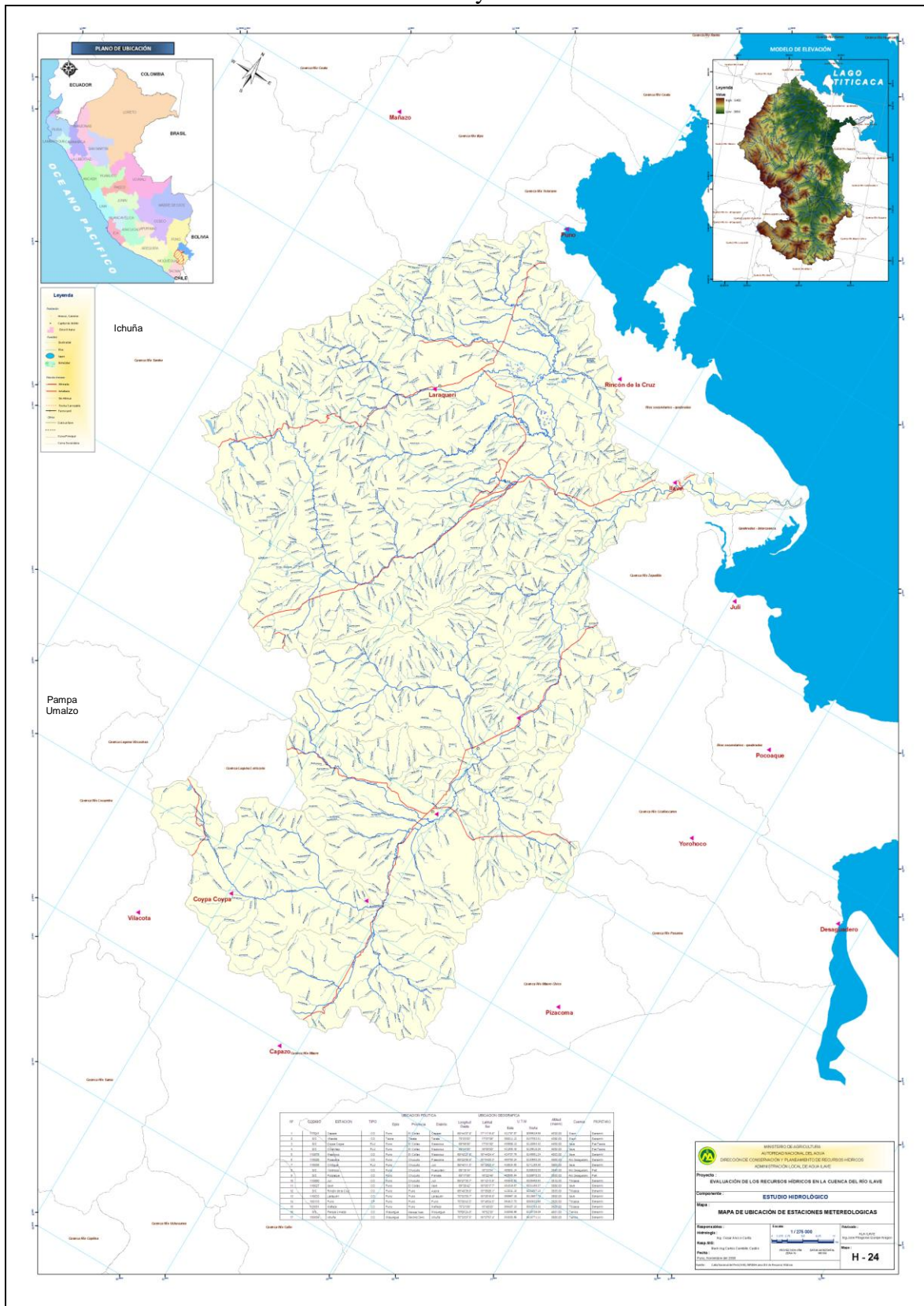
4.3.- ANALISIS DE CONSISTENCIA DE LA INFORMACION

El análisis de consistencia de la información pluviométrica es una técnica que permite detectar, identificar, cuantificar, corregir y eliminar los errores sistemáticos de la no homogeneidad e inconsistencia de una serie meteorológica. Antes de proceder a efectuar el Modelamiento Matemático de cualquier serie hidrometeorológica es necesario efectuar el análisis de consistencia respectivo a fin de obtener una serie homogénea, consistente y confiable; porque la inconsistencia de datos puede producir un sobre y subdiseño de estructuras hidráulicas.

El análisis de consistencia se realiza con tres métodos, tales como son:

- Análisis visual de hidrogramas.
- Análisis de doble masa.
- Análisis estadístico de saltos y tendencias.

Figura N° 4.1
Ubicación de la Estaciones Meteorológicas
Cuenca del río Ilave y Cuencas Vecinas

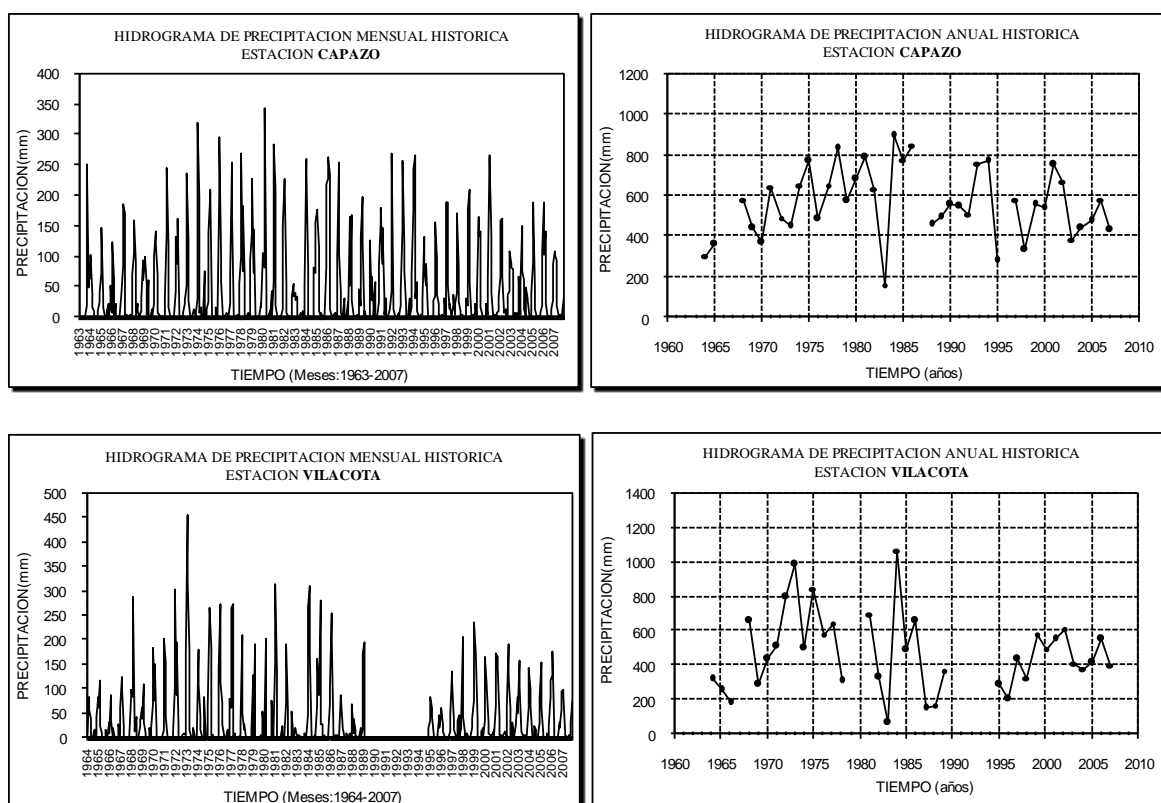


Análisis visual de hidrogramas

Este análisis se realiza para detectar y identificar la inconsistencia de la información meteorológica 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 meteorológica a nivel anual y mensual; en las ordenadas se ubica los valores anuales o mensuales de la serie meteorológica en unidades respectivas y en las abscisas el tiempo en años.

De las estaciones consideradas en el presente estudio, mediante este análisis se puede decir que no existe un período dudoso significativo en las series mensuales y anuales de las precipitaciones totales mensuales, tal como se muestra en los hidrogramas respectivas.

Figura N° 4.2
Hidrograma de Precipitación Total Mensual y Anual Histórica – Grupo N° 01
Estaciones de la Cuenca del río Ilave y Cuencas Vecinas



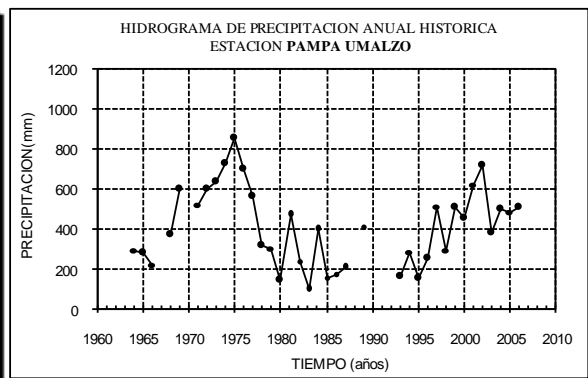
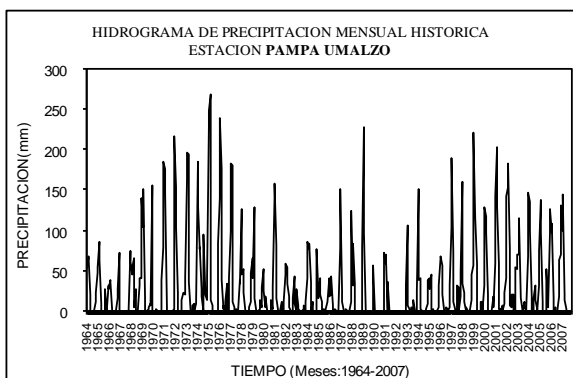
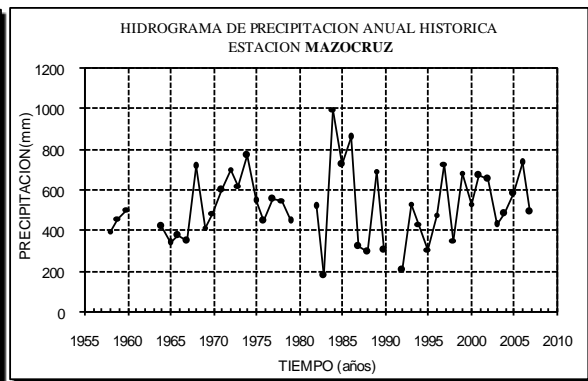
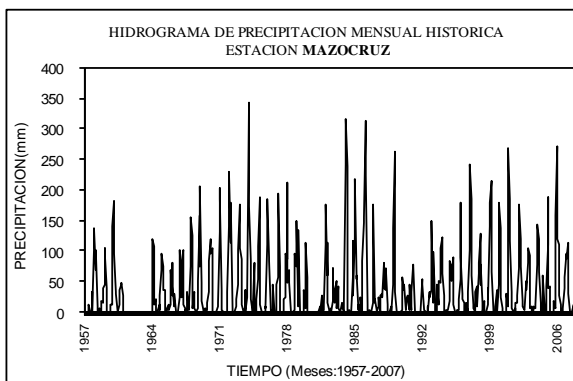
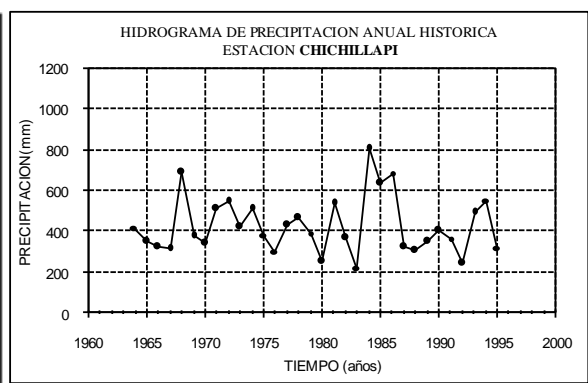
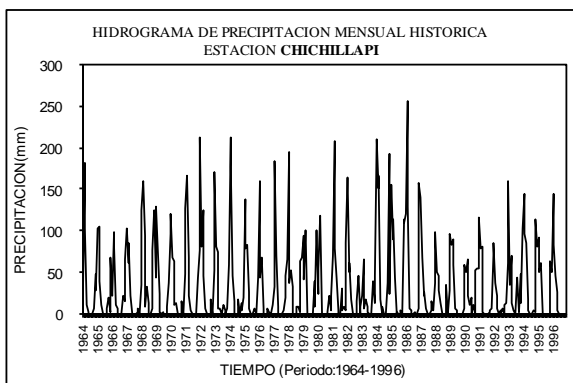
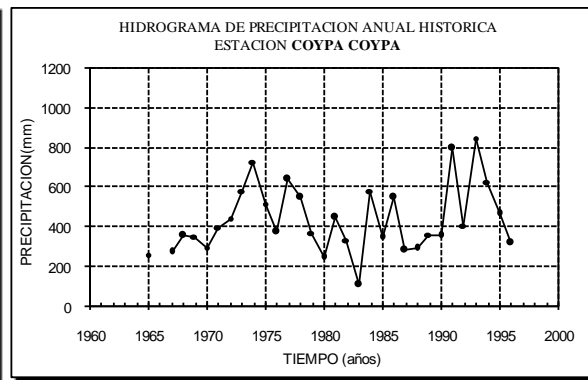
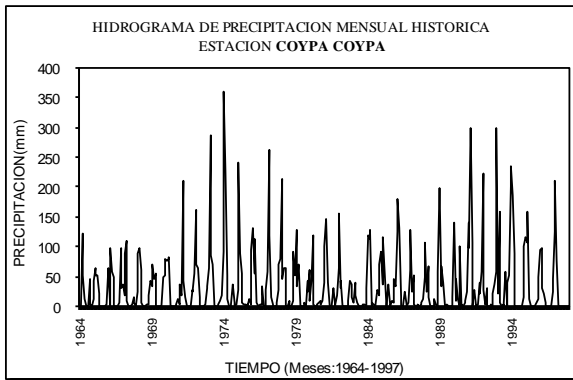
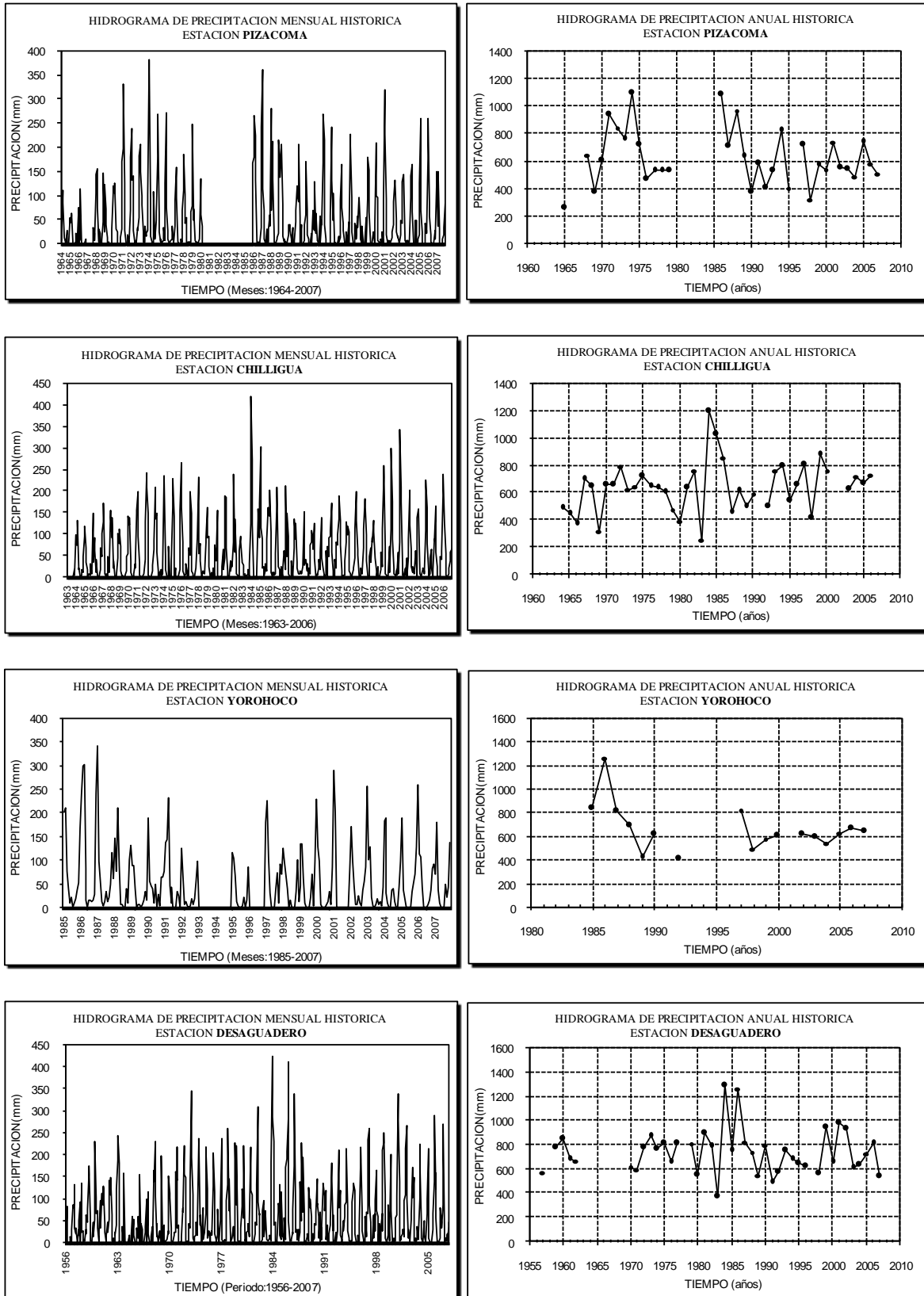


Figura N° 4.3
 Hidrograma de Precipitación Total Mensual y Anual Histórica – Grupo N° 02
 Estaciones de la Cuenca del río Ilave y Cuencas Vecinas



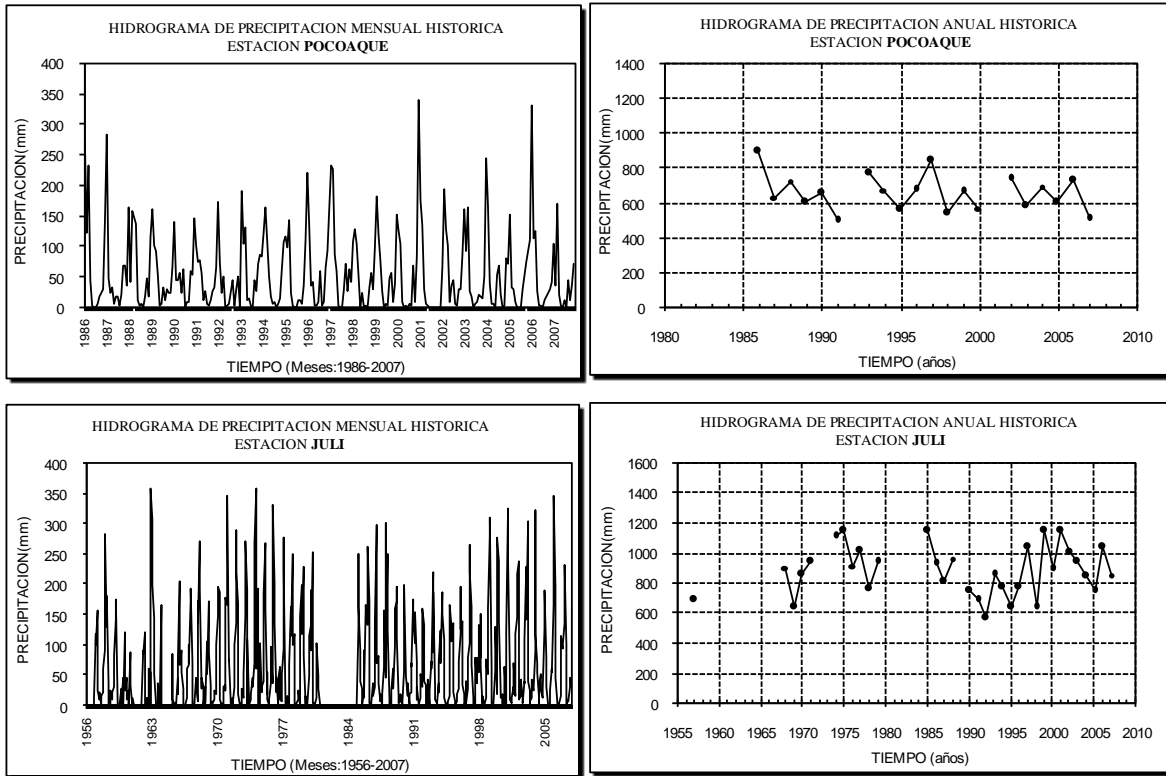
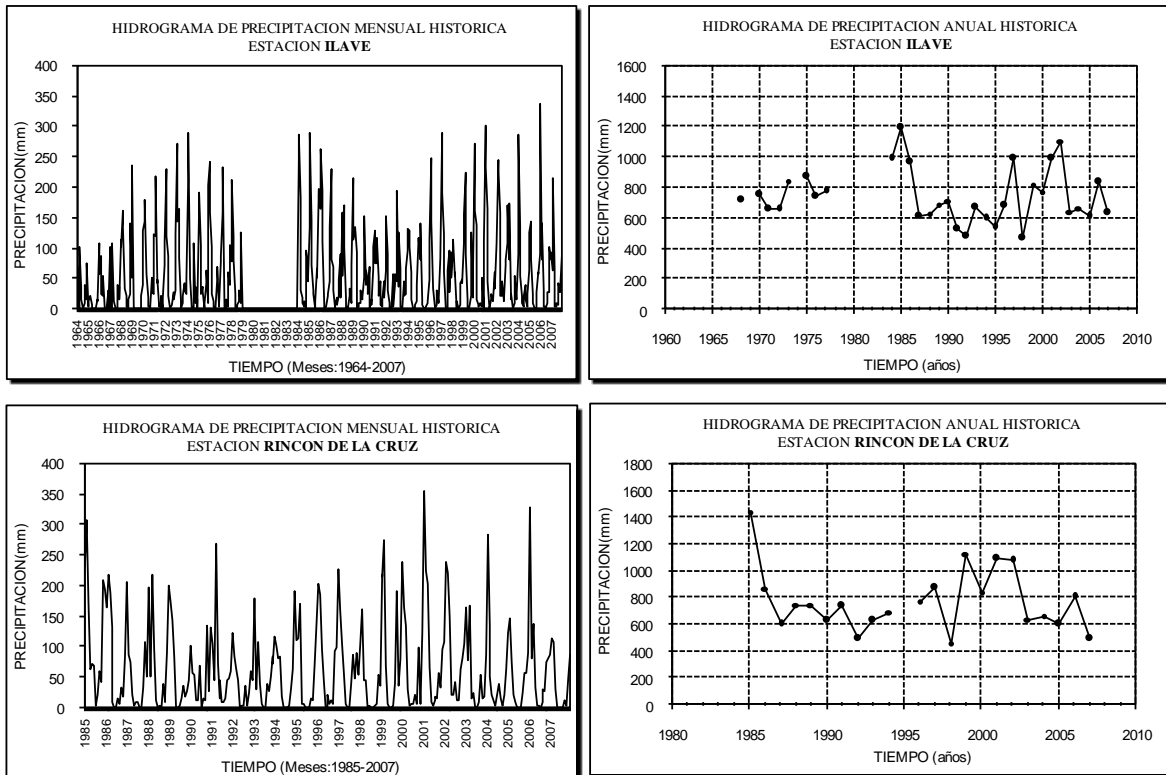
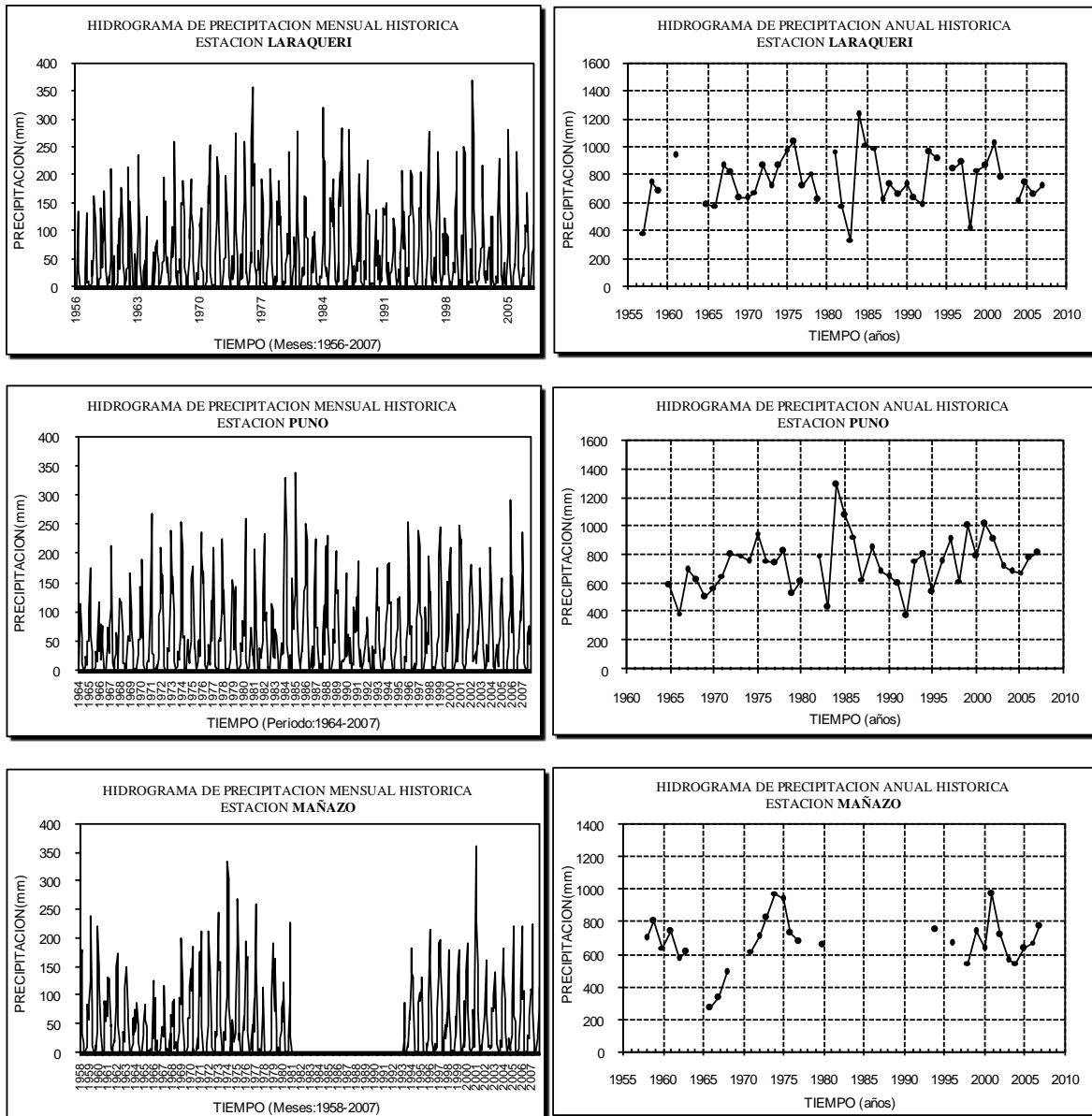


Figura N° 4.4
 Hidrograma de Precipitación Total Mensual y Anual Histórica – Grupo N° 03
 Estaciones de la Cuenca del río Ilave y Cuencas Vecinas





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 meteorológica de las estaciones en unidades respectivas y en el eje de las ordenadas los volúmenes anuales acumulados de la variable meteorológica 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 tres grupos de estaciones meteorológicas, con el fin obtener una comparación adecuada de las series de precipitaciones totales mensuales, los grupos son:

Precipitaciones anuales

Estaciones		
Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
Capazo	Pizacoma	Ilave
Vilacota	Chilligua	Rincón de la Cruz
Coypa Coypa	Yorohoco	Laraqueri
Chichillapi	Desaguadero	Puno
Mazocruz	Pocochaque	Mañazo
Pampa Umalzo	Juli	

Análisis

Grupo N° 1: Mediante el análisis de doble masa (ver Figura N° 4.5), la estación Mazocruz es seleccionada como la estación base. La comparación de la serie anual de precipitaciones anuales de las estaciones Capazo, Vilacota, Coypa Coypa, Chichillapi, Mazocruz y Pampa Umalzo con la estación base, no muestran quiebres significativos, las curvas de doble masa tienden mantenerse la pendiente que muestra cada curva (ver Figura N° 4.6). 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° 4.1
Análisis de Doble Masa de la Precipitación Anual (mm) - Grupo 1

m	Año	ESTACIONES												Promedio	
		Capazo		Vilacota		Coypa Coypa		Chichillapi		Mazocruz		Pampa Umalzo		P	Pacumul
		P	Pacumul	P	Pacumul	P	Pacumul	P	Pacumul	P	Pacumul	P	Pacumul		
1	1964	300.6	300.6	321.2	321.2	312.4	312.4	418.0	418.0	416.4	416.4	290.5	290.5	343.2	343.2
2	1965	361.3	661.9	254.1	575.3	257.0	569.4	354.0	772.0	338.6	755.0	274.8	565.3	306.6	649.8
3	1966	285.8	947.7	180.1	755.4	404.2	973.6	322.0	1094.0	374.1	1129.1	219.8	785.1	297.7	947.5
4	1967	520.7	1468.4	389.4	1144.8	273.0	1246.6	318.0	1412.0	344.2	1473.3	368.1	1153.2	368.9	1316.4
5	1968	578.9	2047.3	657.6	1802.4	351.0	1597.6	688.0	2100.0	719.1	2192.4	371.1	1524.3	561.0	1877.4
6	1969	441.4	2488.7	286.5	2088.9	348.0	1945.6	379.0	2479.0	413.2	2605.6	593.8	2118.1	410.3	2287.7
7	1970	370.6	2859.3	436.3	2525.2	293.0	2238.6	341.0	2820.0	485.6	3091.2	296.7	2414.8	370.5	2658.2
8	1971	641.7	3501.0	507.1	3032.3	394.0	2632.6	513.0	3333.0	600.3	3691.5	517.6	2932.4	529.0	3187.2
9	1972	489.2	3990.2	793.1	3825.4	440.0	3072.6	546.0	3879.0	702.0	4393.5	598.6	3531.0	594.8	3782.0
10	1973	450.9	4441.1	990.0	4815.4	578.0	3650.6	423.0	4302.0	621.7	5015.2	631.2	4162.2	615.8	4397.8
11	1974	649.9	5091.0	497.4	5312.8	724.0	4374.6	510.0	4812.0	772.7	5787.9	723.0	4885.2	646.2	5044.0
12	1975	770.6	5861.6	845.2	6158.0	513.0	4887.6	382.0	5194.0	542.5	6330.4	851.2	5736.4	650.8	5694.8
13	1976	487.2	6348.8	579.4	6737.4	374.0	5261.6	301.0	5495.0	448.8	6779.2	696.1	6432.5	481.1	6175.9
14	1977	649.5	6998.3	642.8	7380.2	636.4	5898.0	431.0	5926.0	552.8	7332.0	559.7	6992.2	578.7	6754.6
15	1978	830.9	7829.2	311.7	7691.9	549.1	6447.1	470.0	6396.0	548.2	7880.2	313.8	7306.0	504.0	7258.6
16	1979	577.3	8406.5	390.6	8082.5	368.0	6815.1	390.0	6786.0	445.5	8325.7	299.5	7605.5	411.8	7670.4
17	1980	680.9	9087.4	394.0	8476.5	242.8	7057.9	251.0	7037.0	389.6	8715.3	142.3	7747.8	350.1	8020.5
18	1981	790.0	9877.4	696.6	9173.1	445.6	7503.5	539.0	7576.0	806.6	9521.9	470.0	8217.8	624.6	8645.1
19	1982	632.8	10510.2	330.5	9503.6	332.4	7835.9	367.0	7943.0	519.4	10041.3	237.9	8455.7	403.3	9048.4
20	1983	160.1	10670.3	64.1	9567.7	108.1	7944.0	223.0	8166.0	176.4	10217.7	96.2	8551.9	138.0	9186.4
21	1984	897.3	11567.6	1067.2	10634.9	579.0	8523.0	809.0	8975.0	999.1	11216.8	396.3	8948.2	791.3	9977.7
22	1985	776.1	12343.7	489.4	11124.3	347.0	8870.0	637.0	9612.0	722.9	11939.7	155.1	9103.3	521.3	10499.0
23	1986	847.5	13191.2	658.2	11782.5	548.0	9418.0	685.0	10297.0	860.9	12800.6	172.3	9275.6	628.7	11127.7
24	1987	475.7	13666.9	148.2	11930.7	282.0	9700.0	327.0	10624.0	322.2	13122.8	203.1	9478.7	293.0	11420.7
25	1988	458.8	14125.7	164.6	12095.3	287.0	9987.0	305.0	10929.0	293.1	13415.9	291.7	9770.4	300.0	11720.7
26	1989	493.6	14619.3	366.8	12462.1	358.2	10345.2	349.0	11278.0	692.5	14108.4	408.3	10178.7	444.7	12165.4
27	1990	554.6	15173.9	229.7	12691.8	355.1	10700.3	402.0	11680.0	302.5	14410.9	202.6	10381.3	341.1	12505.4
28	1991	546.9	15720.8	556.2	13248.0	793.8	11494.1	364.0	12044.0	355.2	14766.1	229.5	10610.8	474.3	12980.8
29	1992	508.6	16229.4	504.9	13752.9	402.9	11897.0	243.7	12287.7	205.7	14971.8	591.3	11202.1	409.5	13390.3
30	1993	758.0	16987.4	598.0	14350.9	842.4	12739.4	496.6	12784.3	530.2	15502.0	159.2	11361.3	564.1	13954.4
31	1994	768.9	17756.3	698.0	15048.9	623.5	13362.9	551.0	13335.3	431.5	15933.5	282.4	11643.7	559.2	14513.6
32	1995	277.8	18034.1	291.4	15340.3	462.2	13825.1	318.5	13653.8	306.8	16240.3	150.0	11793.7	301.1	14814.7
33	1996	448.1	18482.2	199.8	15540.1	319.7	14144.8	434.8	14088.6	478.9	16719.2	249.9	12043.6	355.2	15169.9
34	1997	577.7	19059.9	435.6	15975.7	507.6	14652.4	577.0	14665.6	731.0	17450.2	509.4	12553.0	556.4	15726.3
35	1998	335.6	19395.5	324.8	16300.5	348.8	15001.2	367.6	15033.2	352.3	17802.5	292.0	12845.0	336.9	16063.2
36	1999	558.9	19954.4	580.5	16881.0	545.1	15546.3	471.6	15504.8	685.1	18487.6	507.0	13352.0	558.0	16621.2
37	2000	538.0	20492.4	496.1	17377.1	699.3	16245.6	402.7	15907.5	530.1	19017.7	450.0	13802.0	519.4	17140.6
38	2001	751.4	21243.8	552.3	17929.4	428.3	16673.9	735.9	16643.4	668.7	19686.4	620.0	14422.0	626.1	17766.7
39	2002	668.7	21912.5	609.4	18538.8	449.3	17123.2	468.3	17111.7	651.1	20337.5	715.7	15137.7	593.8	18360.5
40	2003	382.0	22294.5	409.6	18948.4	249.7	17372.9	316.3	17428.0	428.6	20766.1	375.6	15513.3	360.3	18720.8
41	2004	441.4	22735.9	376.2	19324.6	357.0	17729.9	446.1	17874.1	482.8	21248.9	494.8	16008.1	433.1	19153.9
42	2005	477.5	23213.4	416.4	19741.0	331.4	18061.3	573.7	18447.8	580.6	21829.5	483.1	16491.2	477.1	19631.0
43	2006	579.0	23792.4	550.0	20291.0	483.8	18545.1	472.4	18920.2	732.1	22561.6	507.9	16999.1	554.2	20185.2
44	2007	430.6	24223.0	398.1	20689.1	365.7	18910.8	433.5	19353.7	488.7	23050.3	413.9	17413.0	421.8	20607.0

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

Figura N° 4.5
Diagrama de Doble Masa de la Precipitación Anual – Grupo 1

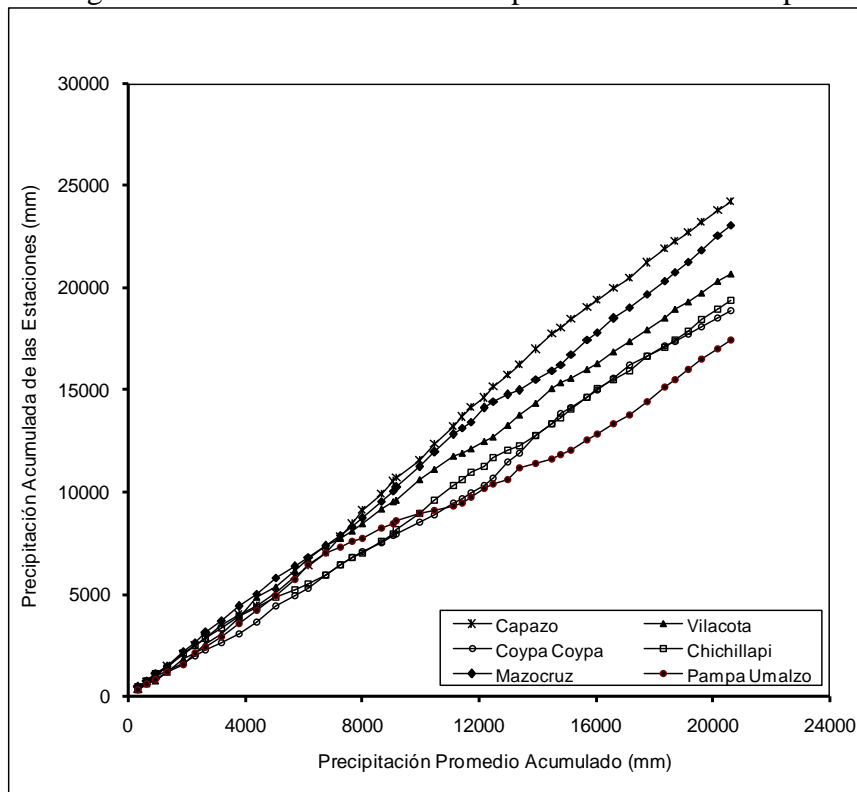
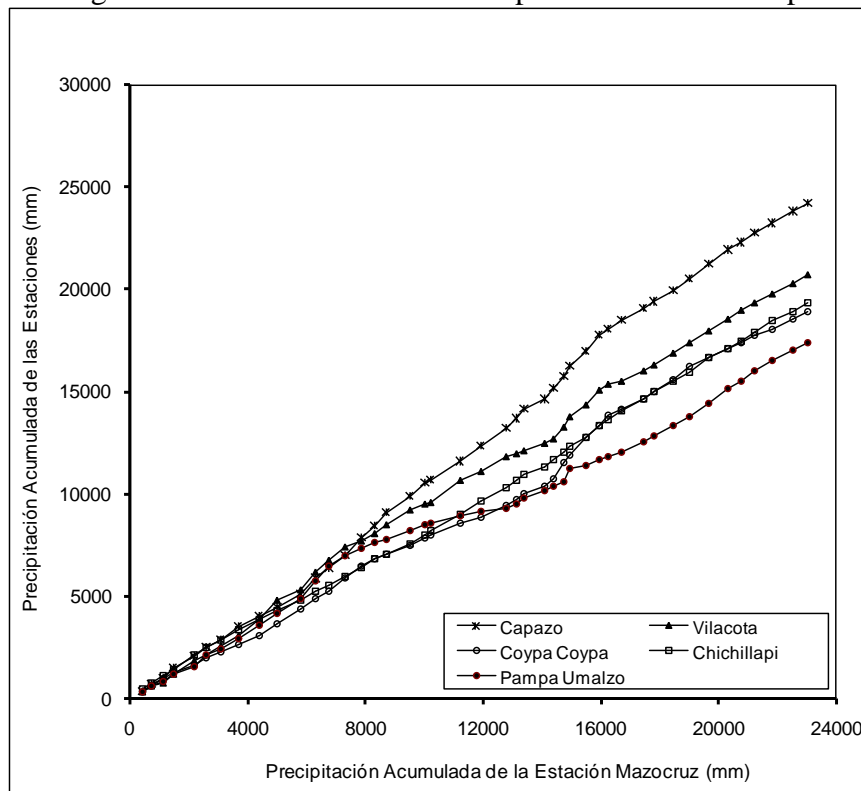


Figura N° 4.6
Diagrama de Doble Masa de la Precipitación Anual – Grupo 1



Grupo N° 2: Mediante el análisis de doble masa (ver Figura N° 4.7), la estación Desaguadero es seleccionada como la estación base. La comparación de la serie anual de precipitaciones anuales de las estaciones Pizacoma, Chilligua, Yorohoco, Pocoaque y Juli con la estación base, no muestran quiebres significativos, las curvas de doble masa tienden mantenerse la pendiente que muestra cada curva (ver Figura N° 4.8). 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° 4.2
Análisis de Doble Masa de la Precipitación Anual (mm) - Grupo 2

m	Año	ESTACIONES												Promedio	
		Pizacoma		Chilligua		Yorohoco		Desaguadero		Pocoaque		Juli			
		P	Pacumul	P	Pacumul	P	Pacumul	P	Pacumul	P	Pacumul	P	Pacumul	P	Pacumul
1	1964	301.2	301.2	488.3	488.3	452.4	452.4	573.0	573.0	429.7	429.7	587.0	587.0	471.9	471.9
2	1965	266.3	567.5	446.2	934.5	547.4	999.8	520.1	1093.1	579.2	1008.9	711.3	1298.3	511.8	983.7
3	1966	322.2	889.7	369.8	1304.3	548.9	1548.7	562.6	1655.7	520.8	1529.7	497.2	1795.5	470.3	1454.0
4	1967	443.3	1333.0	701.7	2006.0	598.6	2147.3	569.7	2225.4	527.0	2056.7	772.6	2568.1	602.2	2056.2
5	1968	645.6	1978.6	645.4	2651.4	579.4	2726.7	723.0	2948.4	623.7	2680.4	896.0	3464.1	685.5	2741.7
6	1969	380.1	2358.7	315.0	2966.4	449.7	3176.4	468.2	3416.6	466.5	3146.9	633.9	4098.0	452.2	3193.9
7	1970	608.7	2967.4	656.7	3623.1	636.9	3813.3	618.8	4035.4	634.0	3780.9	853.8	4951.8	668.2	3862.1
8	1971	942.7	3910.1	658.9	4282.0	888.0	4701.3	595.0	4630.4	526.3	4307.2	939.5	5891.3	758.4	4620.5
9	1972	842.8	4752.9	790.3	5072.3	923.6	5624.9	776.4	5406.8	746.9	5054.1	954.0	6845.3	839.0	5459.5
10	1973	761.5	5514.4	622.3	5694.6	633.7	6258.6	876.5	6283.3	760.3	5814.4	948.1	7793.4	767.1	6226.6
11	1974	1095.5	6609.9	641.3	6335.9	591.7	6850.3	764.6	7047.9	662.3	6476.7	1112.4	8905.8	811.3	7037.9
12	1975	721.6	7331.5	725.3	7061.2	653.7	7504.0	811.0	7858.9	730.0	7206.7	1145.6	10051.4	797.9	7835.8
13	1976	469.0	7800.5	644.9	7706.1	886.1	8390.1	660.2	8519.1	589.4	7796.1	910.6	10962.0	693.4	8529.2
14	1977	535.3	8335.8	640.4	8346.5	556.7	8946.8	816.5	9335.6	697.6	8493.7	1011.2	11973.2	709.6	9238.8
15	1978	533.6	8869.4	604.5	8951.0	582.3	9529.1	695.3	10030.9	562.5	9056.2	758.2	12731.4	622.7	9861.5
16	1979	533.9	9403.3	474.1	9425.1	538.3	10067.4	807.9	10838.8	565.1	9621.3	943.7	13675.1	643.8	10505.3
17	1980	632.2	10035.5	387.1	9812.2	537.1	10604.5	549.3	11388.1	591.7	10213.0	828.1	14503.2	587.6	11092.9
18	1981	750.9	10786.4	638.5	10450.7	553.1	11157.6	896.3	12284.4	779.1	10992.1	775.2	15178.4	732.2	11825.1
19	1982	563.4	11349.8	760.1	11210.8	665.9	11823.5	786.3	13070.7	643.8	11635.9	1137.9	16416.3	759.6	12584.7
20	1983	402.5	11752.3	251.5	11462.3	302.6	12126.1	374.3	13445.0	440.0	12075.9	497.2	16913.5	378.0	12962.7
21	1984	1010.7	12763.0	1199.7	12662.0	1168.0	13294.1	1288.0	14733.0	1104.6	13180.5	1267.1	18180.6	1173.0	14135.7
22	1985	524.7	13287.7	1027.6	13689.6	837.8	14131.9	751.4	15484.4	910.5	14091.0	1149.9	19330.5	867.0	15002.7
23	1986	1085.4	14373.1	852.6	14542.2	1259.0	15390.9	1261.1	16745.5	896.7	14987.7	931.7	20262.2	1047.8	16050.5
24	1987	709.4	15082.5	457.2	14999.4	810.9	16201.8	820.8	17566.3	629.6	15617.3	803.1	21065.3	705.2	16755.7
25	1988	967.7	16050.2	614.2	15613.6	689.8	16891.6	735.9	18302.2	723.8	16341.1	959.9	22025.2	781.9	17537.6
26	1989	638.0	16688.2	501.0	16114.6	426.8	17318.4	545.3	18847.5	601.9	16943.0	782.7	22807.9	582.6	18120.2
27	1990	379.4	17067.6	589.8	16704.4	621.0	17939.4	797.3	19644.8	654.2	17597.2	745.9	23553.8	631.3	18751.5
28	1991	585.7	17653.3	468.4	17172.8	746.6	18686.0	488.4	20133.2	496.5	18093.7	685.0	24238.8	578.4	19329.9
29	1992	407.8	18061.1	501.6	17674.4	409.7	19095.7	574.8	20708.0	510.5	18604.2	565.8	24804.6	495.0	19824.9
30	1993	534.6	18595.7	759.2	18433.6	640.8	19736.5	752.2	21460.2	771.2	19375.4	855.3	25659.9	718.9	20543.8
31	1994	829.5	19425.2	797.1	19230.7	652.1	20388.6	680.9	22141.1	672.2	20047.6	770.5	26430.4	733.7	21277.5
32	1995	402.9	19828.1	540.2	19770.9	455.3	20843.9	650.0	22791.1	560.6	20608.2	636.4	27066.8	540.9	21818.4
33	1996	520.6	20348.7	659.4	20430.3	660.7	21504.6	620.5	23411.6	677.4	21285.6	768.3	27835.1	651.2	22469.6
34	1997	719.3	21068.0	807.5	21237.8	821.1	22325.7	820.7	24232.3	844.0	22129.6	1037.5	28872.6	841.7	23311.3
35	1998	322.4	21390.4	415.7	21653.5	488.6	22814.3	561.0	24793.3	542.4	22672.0	640.9	29513.5	495.2	23806.5
36	1999	576.8	21967.2	881.1	22534.6	575.8	23390.1	944.6	25737.9	666.6	23338.6	1144.7	30658.2	798.3	24604.8
37	2000	538.6	22505.8	760.2	23294.8	602.9	23993.0	656.3	26394.2	567.8	23906.4	894.3	31552.5	670.0	25274.8
38	2001	736.1	23241.9	892.3	24187.1	759.0	24752.0	982.8	27377.0	890.1	24796.5	1142.8	32695.3	900.5	26175.3
39	2002	555.0	23796.9	779.8	24966.9	615.0	25367.0	935.6	28312.6	737.8	25534.3	1001.9	33697.2	770.9	26946.2
40	2003	543.0	24339.9	629.4	25596.3	593.6	25960.6	609.5	28922.1	584.8	26119.1	940.8	34638.0	650.2	27596.4
41	2004	489.0	24828.9	715.0	26311.3	539.4	26500.0	636.7	29558.8	694.5	26813.6	847.0	35485.0	653.6	28250.0
42	2005	744.0	25572.9	667.7	26979.0	623.0	27123.0	725.2	30284.0	603.5	27417.1	743.1	36228.1	684.4	28934.4
43	2006	581.7	26154.6	726.1	27705.1	666.7	27789.7	814.4	31098.4	732.4	28149.5	1040.3	37268.4	760.3	29694.7
44	2007	507.5	26662.1	393.9	28099.0	638.8	28428.5	540.1	31638.5	507.6	28657.1	849.6	38118.0	572.9	30267.6

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

Figura N° 4.7
Diagrama de Doble Masa de la Precipitación Anual – Grupo 2

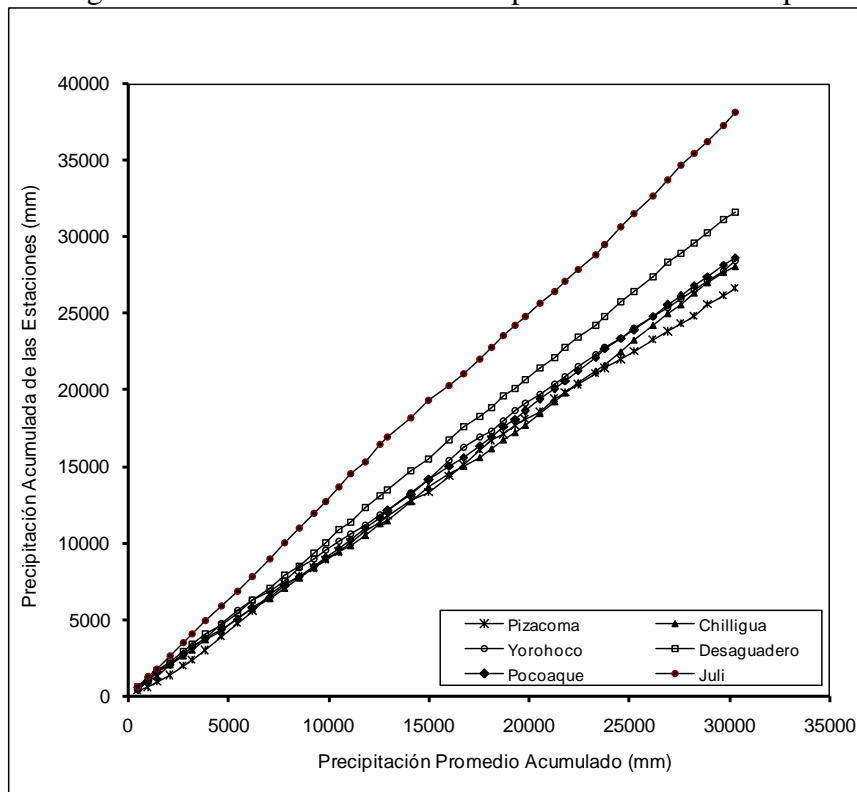
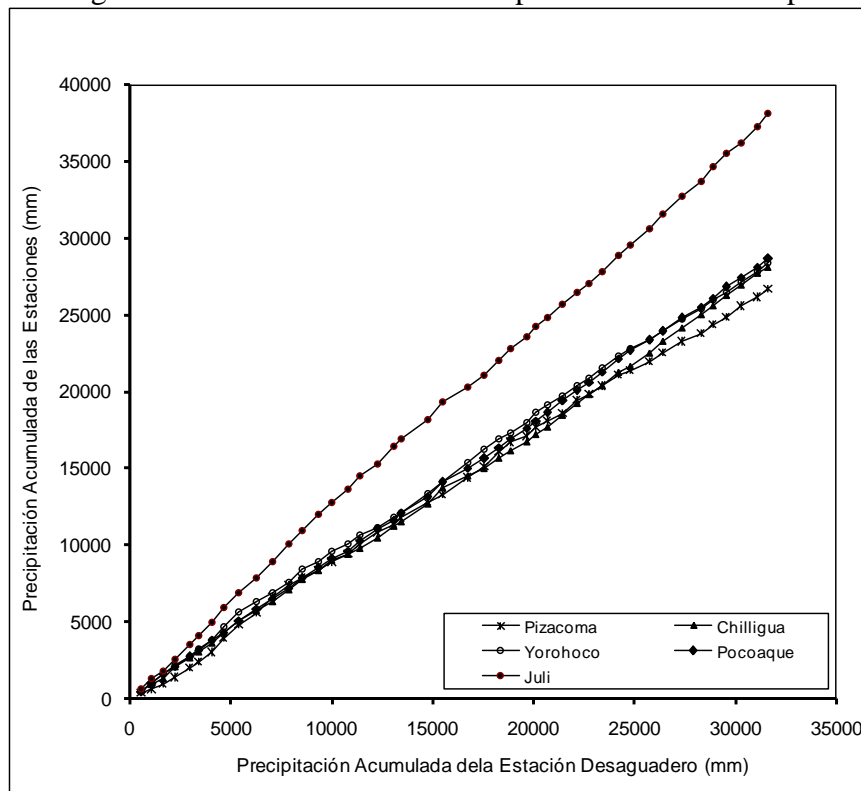


Figura N° 4.8
Diagrama de Doble Masa de la Precipitación Anual – Grupo 2



Grupo N° 3: Mediante el análisis de doble masa (ver Figura N° 4.9), la estación Puno es seleccionada como la estación base. La comparación de la serie anual de precipitaciones anuales de las estaciones Ilave, Rincón de la Cruz, Laraqueri y Mañazo 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° 4.10). 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° 4.3
Análisis de Doble Masa de la Precipitación Anual (mm) - Grupo 3

m	Año	ESTACIONES										Promedio	
		Ilave		Rincón de la Cruz		Laraqueri		Puno		Mañazo			
		P	Pacumul	P	Pacumul	P	Pacumul	P	Pacumul	P	Pacumul	P	Pacumul
1	1964	492.2	492.2	663.8	663.8	791.8	791.8	564.7	564.7	367.9	367.9	480.1	480.1
2	1965	243.1	735.3	318.7	982.5	584.4	1376.2	587.8	1152.5	350.3	718.2	347.4	827.5
3	1966	440.0	1175.3	466.3	1448.8	574.9	1951.1	391.4	1543.9	268.1	986.3	356.8	1184.3
4	1967	524.9	1700.2	646.1	2094.9	865.0	2816.1	694.8	2238.7	330.6	1316.9	510.2	1694.5
5	1968	719.4	2419.6	631.3	2726.2	813.9	3630.0	624.1	2862.8	491.3	1808.2	546.7	2241.2
6	1969	487.1	2906.7	443.3	3169.5	626.8	4256.8	503.8	3366.6	649.7	2457.9	451.8	2693.0
7	1970	752.5	3659.2	576.7	3746.2	628.4	4885.2	568.0	3934.6	704.5	3162.4	538.4	3231.4
8	1971	658.2	4317.4	822.9	4569.1	671.5	5556.7	652.6	4587.2	618.8	3781.2	570.7	3802.1
9	1972	660.3	4977.7	719.6	5288.7	862.2	6418.9	798.1	5385.3	708.1	4489.3	624.7	4426.8
10	1973	842.7	5820.4	1036.5	6325.2	712.8	7131.7	797.0	6182.3	822.1	5311.4	701.9	5128.7
11	1974	846.9	6667.3	828.0	7153.2	865.7	7997.4	750.8	6933.1	977.4	6288.8	711.5	5840.2
12	1975	869.1	7536.4	769.5	7922.7	977.3	8974.7	951.6	7884.7	937.2	7226.0	750.8	6591.0
13	1976	742.8	8279.2	972.2	8894.9	1032.4	10007.1	758.0	8642.7	733.5	7959.5	706.5	7297.5
14	1977	778.2	9057.4	812.0	9706.9	718.4	10725.5	742.4	9385.1	676.0	8635.5	621.2	7918.7
15	1978	651.3	9708.7	795.5	10502.4	807.5	11533.0	828.0	10213.1	952.2	9587.7	672.4	8591.1
16	1979	573.8	10282.5	497.6	11000.0	620.0	12153.0	527.3	10740.4	578.8	10166.5	466.3	9057.4
17	1980	904.1	11186.6	1040.6	12040.6	603.4	12756.4	614.4	11354.8	658.2	10824.7	636.8	9694.2
18	1981	808.5	11995.1	965.8	13006.4	967.1	13723.5	877.5	12232.3	848.9	11673.6	744.6	10438.8
19	1982	570.6	12565.7	698.2	13704.6	575.5	14299.0	794.8	13027.1	569.2	12242.8	534.7	10973.5
20	1983	501.6	13067.3	544.5	14249.1	333.4	14632.4	434.1	13461.2	465.1	12707.9	379.8	11353.3
21	1984	991.5	14058.8	1178.2	15427.3	1224.9	15857.3	1290.6	14751.8	1033.2	13741.1	953.1	12306.4
22	1985	1192.4	15251.2	1440.7	16868.0	1014.5	16871.8	1072.5	15824.3	743.0	14484.1	910.5	13216.9
23	1986	965.9	16217.1	867.9	17735.9	992.5	17864.3	927.4	16751.7	796.2	15280.3	758.3	13975.2
24	1987	612.6	16829.7	602.8	18338.7	617.8	18482.1	630.7	17382.4	706.6	15986.9	528.4	14503.6
25	1988	630.7	17460.4	742.5	19081.2	731.6	19213.7	847.7	18230.1	488.3	16475.2	573.5	15077.1
26	1989	689.7	18150.1	745.7	19826.9	654.8	19868.5	684.6	18914.7	708.4	17183.6	580.5	15657.6
27	1990	711.2	18861.3	626.5	20453.4	729.3	20597.8	646.8	19561.5	502.7	17686.3	536.1	16193.7
28	1991	529.3	19390.6	734.8	21188.2	628.4	21226.2	596.8	20158.3	612.3	18298.6	516.9	16710.6
29	1992	481.2	19871.8	488.6	21676.8	584.2	21810.4	374.1	20532.4	461.2	18759.8	398.2	17108.8
30	1993	670.1	20541.9	631.9	22308.7	963.0	22773.4	759.2	21291.6	705.0	19464.8	621.5	17730.3
31	1994	601.8	21143.7	691.4	23000.1	909.6	23683.0	803.6	22095.2	754.7	20219.5	626.9	18357.2
32	1995	539.0	21682.7	653.3	23653.4	753.2	24436.2	543.3	22638.5	482.1	20701.6	495.2	18852.4
33	1996	682.3	22365.0	770.5	24423.9	834.4	25270.6	753.5	23392.0	666.6	21368.2	617.9	19470.3
34	1997	990.6	23355.6	872.2	25296.1	888.2	26158.8	908.9	24300.9	834.2	22202.4	749.0	20219.3
35	1998	471.4	23827.0	456.5	25752.6	409.2	26568.0	615.1	24916.0	548.2	22750.6	416.7	20636.0
36	1999	819.4	24646.4	1127.8	26880.4	830.8	27398.8	1003.9	25919.9	744.2	23494.8	754.4	21390.4
37	2000	771.5	25417.9	840.3	27720.7	862.4	28261.2	785.6	26705.5	634.8	24129.6	649.1	22039.5
38	2001	989.4	26407.3	1092.4	28813.1	1023.9	29285.1	1016.8	27722.3	971.2	25100.8	849.0	22888.5
39	2002	1104.9	27512.2	1074.3	29887.4	776.7	30061.8	908.8	28631.1	718.2	25819.0	763.8	23652.3
40	2003	642.1	28154.3	635.4	30522.8	629.9	30691.7	714.1	29345.2	559.0	26378.0	530.1	24182.4
41	2004	666.3	28820.6	661.9	31184.7	607.8	31299.5	678.4	30023.6	545.2	26923.2	526.6	24709.0
42	2005	607.3	29427.9	603.1	31787.8	740.6	32040.1	674.5	30698.1	638.5	27561.7	544.0	25253.0
43	2006	833.7	30261.6	804.7	32592.5	655.7	32695.8	775.0	31473.1	671.6	28233.3	623.5	25876.5
44	2007	637.6	30899.2	488.7	33081.2	713.5	33409.3	814.2	32287.3	772.8	29006.1	571.1	26447.6

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

Figura N° 4.9
Diagrama de Doble Masa de la Precipitación Anual – Grupo 3

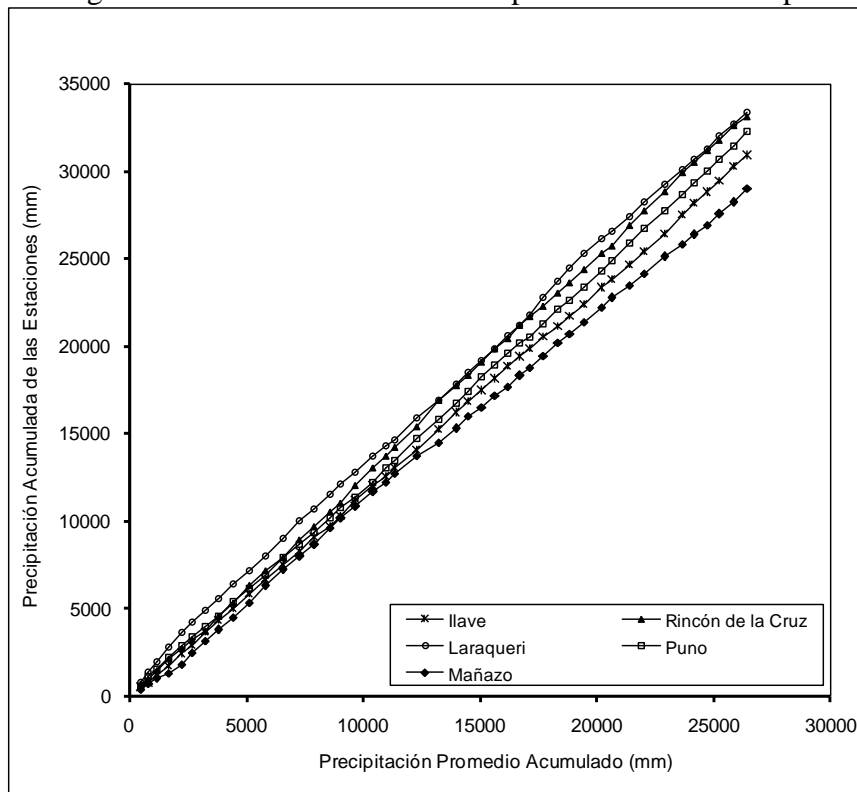
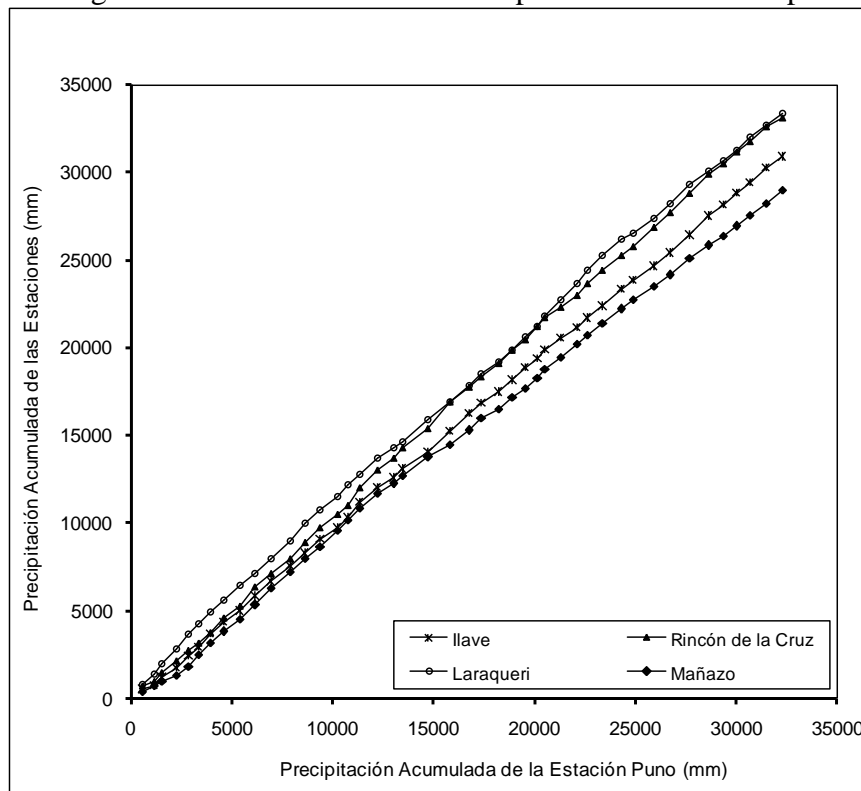


Figura N° 4.10
Diagrama de Doble Masa de la Precipitación Anual – Grupo 3



Análisis estadístico de saltos y tendencias

☞ 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° 4.4

ANALISIS DE CONSISTENCIA - ANALISIS ESTADISTICO ANALISIS DE SALTOS CONSISTENCIA EN LA MEDIA Y DESVIACION ESTANDAR

Variable Hidrometeorológica: Precipitación mensual Cuenca río Ilave - Grupo N° 01

ESTACION	PERIODO DE ANALISIS	NUMERO DE DATOS, PROMEDIO Y DESVIACION ESTANDAR			CONSISTENCIA EN LA MEDIA				CONSISTENCIA EN LA DESVIACION ESTANDAR				
		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	
CAPASO	n ₁ , PD	1963 - 1980	206	46.08	70.76	-0.0864	1.9645	[Tc] < Tt	NO	1.0345	1.2283	Fc < Ft	NO
	n ₂ , PC	1981 - 2007	322	46.62	69.57								
VILACOTA	n ₁ , PC	1964 - 1974	131	40.55	73.24	0.5037	1.9650	[Tc] < Tt	NO	1.2557	1.2624	Fc < Ft	NO
	n ₂ , PD	1975 - 2007	342	37.05	65.36								
COYPA COYPA	n ₁ , PC	1964 - 1982	226	34.46	54.26	-0.8384	1.9660	[Tc] < Tt	NO	1.2367	1.2645	Fc < Ft	NO
	n ₂ , PD	1983 - 1997	171	39.30	60.34								
CHICHILLAPI	n ₁ , PC	1964 - 1980	204	34.50	49.14	-0.5390	1.9661	[Tc] < Tt	NO	1.0704	1.2665	Fc < Ft	NO
	n ₂ , PD	1981 - 1996	186	37.23	50.84								
MAZOCRUZ	n ₁ , PD	1957 - 1992	373	41.01	61.18	-0.7090	1.9643	[Tc] < Tt	NO	1.1157	1.2419	Fc < Ft	NO
	n ₂ , PC	1993 - 2007	180	44.88	57.92								
PAMPA UMALZO	n ₁ , PD	1964 - 1985	268	32.87	53.76	0.0385	1.9648	[Tc] < Tt	NO	1.1762	1.2358	Fc < Ft	NO
	n ₂ , PC	1986 - 2007	227	32.69	49.57								

Cuadro N° 4.5

**ANÁLISIS DE CONSISTENCIA - ANÁLISIS ESTADÍSTICO
ANÁLISIS DE SALTOS**

CONSISTENCIA EN LA MEDIA Y DESVIACION ESTANDAR

**Variable Hidrometeorológica: Precipitación mensual
Cuenca río Ilave - Grupo N° 02**

ESTACION	PERIODO DE ANALISIS		NUMERO DE DATOS, PROMEDIO Y DESVIACION ESTANDAR			CONSISTENCIA EN LA MEDIA				CONSISTENCIA EN LA DESVIACION ESTANDAR			
			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
PIZACOMA	n ₁ , PD	1964 - 1980	183	49.32	72.11	-0.2102	1.9653	[Tc] < Tt	NO	1.0188	1.2487	Fc < Ft	NO
	n ₂ , PC	1985 - 2007	264	50.77	71.44								
CHILLIGUA	n ₁ , PC	1963 - 1982	231	49.05	62.76	-1.4498	1.9646	[Tc] < Tt	NO	1.2309	1.2314	Fc < Ft	NO
	n ₂ , PD	1983 - 2006	284	57.61	69.63								
YOROHOCO	n ₁ , PC	1985 - 1998	130	57.38	71.41	0.3039	1.9705	[Tc] < Tt	NO	1.1110	1.3744	Fc < Ft	NO
	n ₂ , PD	1999 - 2007	98	54.54	67.75								
DESAGUADERO	n ₁ , PC	1956 - 1989	376	59.96	74.19	0.0848	1.9640	[Tc] < Tt	NO	1.0885	1.2248	Fc < Ft	NO
	n ₂ , PD	1990 - 2007	215	59.43	71.11								
POCOAQUE	n ₁ , PD	1986 - 1993	95	55.15	60.49	-0.1506	1.9693	[Tc] < Tt	NO	1.1707	1.3641	Fc < Ft	NO
	n ₂ , PC	1994 - 2007	161	56.39	65.45								
JULI	n ₁ , PD	1956 - 1980	242	72.57	83.40	0.0224	1.9646	[Tc] < Tt	NO	1.1120	1.2276	Fc < Ft	NO
	n ₂ , PC	1985 - 2007	275	72.41	79.09								

Cuadro N° 4.6

**ANÁLISIS DE CONSISTENCIA - ANÁLISIS ESTADÍSTICO
ANÁLISIS DE SALTOS**

CONSISTENCIA EN LA MEDIA Y DESVIACION ESTANDAR

**Variable Hidrometeorológica: Precipitación mensual
Cuenca río Ilave - Grupo N° 03**

ESTACION	PERIODO DE ANALISIS		NUMERO DE DATOS, PROMEDIO Y DESVIACION ESTANDAR			CONSISTENCIA EN LA MEDIA				CONSISTENCIA EN LA DESVIACION ESTANDAR			
			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
ILAVE	n ₁ , PD	1964-1978	161	55.73	65.70	-0.9182	1.9653	[Tc] < Tt	NO	1.1358	1.2642	Fc < Ft	NO
	n ₂ , PC	1984-2007	288	61.92	70.02								
RINCON DE LA CRUZ	n ₁ , PC	1985-1995	130	63.19	68.06	-0.2603	1.9687	[Tc] < Tt	NO	1.2496	1.3293	Fc < Ft	NO
	n ₂ , PD	1996-2007	144	65.47	76.08								
LARAQUERI	n ₁ , PC	1956-1993	435	61.05	70.48	-0.3164	1.9639	[Tc] < Tt	NO	1.1282	1.2304	Fc < Ft	NO
	n ₂ , PD	1994-2007	166	63.12	74.86								
PUNO	n ₁ , PC	1964-1981	214	55.40	64.11	-1.4673	1.9645	[Tc] < Tt	NO	1.2210	1.2332	Fc < Ft	NO
	n ₂ , PD	1982-2007	312	64.28	70.84								
MAÑAZO	n ₁ , PD	1956-1980	261	54.02	65.66	-0.3814	1.9654	[Tc] < Tt	NO	1.0264	1.2598	Fc < Ft	NO
	n ₂ , PC	1993-2007	176	56.45	64.81								

☞ Análisis de Tendencias

Una vez analizado los Saltos tanto en la media y desviación estándar de la información hidrometeorológica 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° 4.7

**ANÁLISIS DE CONSISTENCIA - ANÁLISIS ESTADÍSTICO
ANÁLISIS DE TENDENCIAS**

**Variable Hidrometeorológica: Precipitación mensual
Cuenca río Ilave - Grupo N° 01**

ESTACION	TENDENCIA EN LA:	MEDIA, DESVEST. COEFICIENTES DE REGRESION Y NUMERO DE DATOS DE LAS TENDENCIAS EN LA MEDIA Y EN LA DESVIACION ESTANDAR						ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA TENDENCIA EN LA MEDIA Y EN LA DESVIACION ESTANDAR				
		PARAMETROS		COEFICIENTES DE REGRESION			COEFICIENTE CORRELACION R	N° DATOS	ESTADÍSTICO T		COMPARACION N	TENDENCIA SIGNIFICATIVA
		MEDIA	DESV. EST.	Am	Bm	Cm			T calculada Tc	T tabla (95%) Tt		
CAPAZO	MEDIA (Tm)	46.41	69.97	48.1028	-0.0064	-	-0.0139	528	-0.3188	1.9645	[Tc] < Tt	NO
	DESV. EST (Ts)	68.47	22.61	71.2888	-0.1375	-	-0.0711	40	-0.4394	2.0227	[Tc] < Tt	NO
VILACOTA	MEDIA (Tm)	38.02	67.57	42.2860	-0.0180	-	-0.0364	473	-0.7905	1.9650	[Tc] < Tt	NO
	DESV. EST (Ts)	61.90	30.89	71.4756	-0.5176	-	-0.1766	36	-1.0462	2.0301	[Tc] < Tt	NO
COYPA COYPA	MEDIA (Tm)	36.54	56.94	29.5750	0.0350	-	0.0706	397	1.4067	1.9660	[Tc] < Tt	NO
	DESV. EST (Ts)	53.41	22.70	45.5940	0.4885	-	0.1956	31	1.0741	2.0423	[Tc] < Tt	NO
CHICHILLAPI	MEDIA (Tm)	35.80	49.92	36.2497	-0.0023	-	-0.0053	390	-0.1044	1.9661	[Tc] < Tt	NO
	DESV. EST (Ts)	48.24	15.59	51.7149	-0.2106	-	-0.1267	32	-0.6996	2.0395	[Tc] < Tt	NO
MAZOCRUZ	MEDIA (Tm)	42.39	60.39	39.1592	0.0119	-	0.0308	542	0.7161	1.9644	[Tc] < Tt	NO
	DESV. EST (Ts)	57.39	22.96	54.4785	0.1294	-	0.0724	44	0.4704	2.0167	[Tc] < Tt	NO
PAMPA UMALZO	MEDIA (Tm)	32.79	51.83	32.6660	0.0005	-	0.0014	495	0.0311	1.9648	[Tc] < Tt	NO
	DESV. EST (Ts)	47.65	22.90	49.1187	-0.0773	-	-0.0365	37	-0.2161	2.0281	[Tc] < Tt	NO

Cuadro N° 4.8

**ANÁLISIS DE CONSISTENCIA - ANÁLISIS ESTADÍSTICO
ANÁLISIS DE TENDENCIAS**

**Variable Hidrometeorológica: Precipitación mensual
Cuenca río Ilave - Grupo N° 02**

ESTACION	TENDENCIA EN LA:	MEDIA, DESVEST. COEFICIENTES DE REGRESION Y NUMERO DE DATOS DE LAS TENDENCIAS EN LA MEDIA Y EN LA DESVIACION ESTANDAR						ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA TENDENCIA EN LA MEDIA Y EN LA DESVIACION ESTANDAR				
		PARAMETROS		COEFICIENTES DE REGRESION			COEFICIENTE CORRELACION R	N° DATOS	ESTADÍSTICO T		COMPARACION N	TENDENCIA SIGNIFICATIVA
		MEDIA	DESV. EST.	Am	Bm	Cm			T calculada Tc	T tabla (95%) Tt		
PIZACOMA	MEDIA (Tm)	50.18	71.64	51.8600	-0.0075	-	-0.0136	447	-0.2869	1.9653	[Tc] < Tt	NO
	DESV. EST (Ts)	70.48	24.89	74.2145	-0.2134	-	-0.0854	34	-0.4849	2.0345	[Tc] < Tt	NO
CHILLIGUA	MEDIA (Tm)	53.77	66.71	46.9330	0.0265	-	0.0592	515	1.3432	1.9646	[Tc] < Tt	NO
	DESV. EST (Ts)	64.27	19.80	59.7518	0.2204	-	0.1301	40	0.8089	2.0227	[Tc] < Tt	NO
YOROHOCO	MEDIA (Tm)	56.16	69.72	67.8161	-0.1018	-	-0.0963	228	-1.4545	1.9705	[Tc] < Tt	NO
	DESV. EST (Ts)	66.16	20.82	77.0500	-1.2100	-	-0.2935	17	-1.1891	2.1199	[Tc] < Tt	NO
DESAGUADERO	MEDIA (Tm)	59.97	73.01	54.9744	0.0184	-	0.0395	542	0.9186	1.9644	[Tc] < Tt	NO
	DESV. EST (Ts)	72.85	21.56	68.4211	0.2109	-	0.1172	41	0.7370	2.0211	[Tc] < Tt	NO
POCOAQUE	MEDIA (Tm)	55.93	63.53	58.9883	-0.0238	-	-0.0277	256	-0.4416	1.9693	[Tc] < Tt	NO
	DESV. EST (Ts)	61.18	16.22	61.6200	-0.0419	-	-0.0153	20	-0.0649	2.0930	[Tc] < Tt	NO
JULI	MEDIA (Tm)	72.48	81.05	70.7706	0.0066	-	0.0121	517	0.2746	1.9646	[Tc] < Tt	NO
	DESV. EST (Ts)	81.93	18.79	81.4642	0.0274	-	0.0141	33	0.0785	2.0369	[Tc] < Tt	NO

Cuadro N° 4.9
ANALISIS DE CONSISTENCIA - ANALISIS ESTADISTICO
ANALISIS DE TENDENCIAS

Variable Hidrometeorológica: Precipitación mensual
Cuenca río Ilave - Grupo N° 03

ESTACION	TENDENCIA EN LA:	MEDIA, DESVEST, COEFICIENTES DE REGRESION Y NUMERO DE DATOS DE LAS TENDENCIAS EN LA MEDIA Y EN LA DESVIACION ESTANDAR						ANALISIS ESTADISTICO DE LA TENDENCIA EN LA MEDIA Y EN LA DESVIACION ESTANDAR				
		PARAMETROS		COEFICIENTES DE REGRESION			N° DATOS	ESTADISTICO T		COMPARACION	TENDENCIA SIGNIFICATIVA	
		MEDIA	DESV. EST.	Am	Bm	Cm		T calculada Tc	T tabla (95%) Tt			
ILAVE	MEDIA (Tm)	59.70	68.49	55.8075	0.0173	-	0.0327	449	0.6917	1.9653	[Tc] < Tt	NO
	DESV. EST (Ts)	68.76	17.10	68.4383	0.0195	-	0.0107	32	0.0586	2.0395	[Tc] < Tt	NO
RINCON DE LA CRUZ	MEDIA (Tm)	64.39	72.26	72.0075	-0.0554	-	-0.0607	274	-1.0029	1.9687	[Tc] < Tt	NO
	DESV. EST (Ts)	70.45	19.48	70.1913	0.0225	-	0.0075	22	0.0335	2.0796	[Tc] < Tt	NO
LARAQUERI	MEDIA (Tm)	62.45	72.40	55.7711	0.0246	-	0.0533	542	1.2403	1.9644	[Tc] < Tt	NO
	DESV. EST (Ts)	71.73	19.36	67.3538	0.1945	-	0.1291	44	0.8437	2.0167	[Tc] < Tt	NO
PUNO	MEDIA (Tm)	60.67	68.26	54.0298	0.0252	-	0.0562	526	1.2885	1.9645	[Tc] < Tt	NO
	DESV. EST (Ts)	67.71	18.11	63.3025	0.2050	-	0.1389	42	0.8871	2.0195	[Tc] < Tt	NO
MAÑAZO	MEDIA (Tm)	55.00	65.26	51.0361	0.0181	-	0.0351	437	0.7325	1.9654	[Tc] < Tt	NO
	DESV. EST (Ts)	65.80	19.20	60.2530	0.3698	-	0.1639	29	0.8633	2.0484	[Tc] < Tt	NO

En general, después de haber evaluado con los tres métodos de análisis, se obtiene que la información meteorológica de precipitaciones mensuales de la cuenca del río Ilave es libre de saltos y tendencias, serie homogénea, consistente y confiable al 95% de probabilidad, para su completación y extensión de registros, y su uso para propósitos múltiples.

4.4.- COMPLETACION Y EXTENSION DE LA INFORMACION

La completación y extensión de la información meteorológica se realiza con el fin de obtener una serie completa y de un período uniforme.

Para la completación y extensión de la información meteorológica se ha utilizado el modelo 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 meteorológica, se ha desarrollado utilizando la información consistente y confiable obtenida en el análisis anterior. A continuación se muestra los grupos de estaciones consideradas.

Precipitación total mensual

Estaciones		
Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
Capazo	Pizacoma	Ilave
Vilacota	Chilligua	Rincón de la Cruz
Coypa Coypa	Yorohoco	Laraqueri
Chichillapi	Desaguadero	Puno
Mazocruz	Pocoaque	Mañazo
PampaUmlazo	Juli	

El período de registro a completar se ha seleccionado desde el año 1960 – 2007, como la serie base de análisis de la información.

En el cuadro siguiente, se muestran promedio multimensual de la precipitación completada y extendida de las estaciones ubicadas en la cuenca llave y de las cuencas vecinas, consideradas en el presente estudio.

Cuadro N° 4.10
Precipitación Total Mensual (mm)
(Promedio multimensual:1960 - 2007)
Estaciones de la cuenca del río llave y cuencas vecinas

ESTACION	ALTITUD (msnm)	MESES												TOTAL ANUAL
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
Capazo	4530.00	158.4	144.1	103.2	19.0	3.8	3.7	1.8	4.5	3.4	16.4	26.5	76.7	561.3
Vilacota	4390.00	132.1	132.4	101.6	12.9	2.1	1.4	2.9	4.9	3.1	14.1	15.0	49.7	472.3
Coypa Coypa	4450.00	131.4	93.7	77.9	17.7	0.5	4.0	1.1	5.8	7.4	21.1	25.2	52.6	438.4
Chichillapi	4050.00	126.8	97.3	75.3	20.1	6.7	1.5	0.0	3.8	3.2	18.6	36.7	55.4	445.4
Mazocruz	4003.00	142.8	125.1	96.3	23.3	4.7	2.0	2.0	8.1	8.7	18.0	33.0	68.9	532.8
Pizacoma	4060.00	167.2	131.1	93.3	31.6	4.2	3.7	2.7	10.7	14.3	18.4	34.4	101.2	612.8
Chilligua	3960.00	158.0	129.1	105.3	31.3	7.6	2.8	5.2	11.6	17.1	31.5	44.9	91.6	636.0
Yorohoco	3845.00	170.2	135.9	99.4	28.9	6.2	4.8	3.4	10.4	19.8	26.9	43.3	98.8	648.1
Desaguadero	3860.00	183.7	144.8	123.4	38.6	7.9	6.9	5.7	13.2	23.5	30.3	52.3	93.2	723.4
Pocoaque	3850.00	173.1	121.6	94.3	43.0	7.9	6.6	7.3	11.8	21.8	35.3	40.8	85.3	648.8
Juli	3812.00	202.9	170.9	151.2	55.0	12.3	5.5	6.5	15.9	31.4	41.1	59.8	115.1	867.6
Ilave	3880.00	168.9	134.8	115.3	43.6	9.8	5.8	5.7	15.7	30.2	37.6	56.8	80.8	705.1
Rincón de la Cruz	3835.00	181.6	143.5	129.7	43.4	10.4	5.6	5.3	12.9	22.3	38.0	51.6	93.7	738.0
Laraqueri	3900.00	179.0	160.8	125.7	44.9	10.8	4.7	4.1	10.9	23.9	35.3	58.9	105.9	764.8
Puno	3820.00	168.8	143.6	131.1	54.5	9.5	4.0	2.4	11.9	28.6	44.5	52.1	88.2	739.1
Mañazo	3920.00	155.9	136.7	108.0	40.0	6.3	3.4	2.4	5.7	18.9	32.8	55.1	92.7	657.9
Pampa Umalzo	4601.00	104.6	100.7	91.0	21.6	2.1	1.8	0.9	5.4	5.5	6.1	12.4	45.0	397.0
Ichuña	3800.00	139.8	116.3	85.3	29.9	5.1	2.9	2.6	6.2	9.9	19.7	34.6	83.0	535.3

4.5.- PRECIPITACION 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, 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, 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.

$$P_m = \frac{1}{A_T} \sum_{i=1}^n A_i P_i$$

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.

En el plano hidrológico de la cuenca del río llave, con la ubicación de las estaciones meteorológicas se ha elaborado los polígonos de Thiessen (ver Figuras N° 4.11, 4.12 y 4.13). A continuación se tiene los porcentajes de área de influencia de cada estación en las subcuencas.

Figura N° 4.11
Polígonos de Thiessen de la cuenca del río Ilave

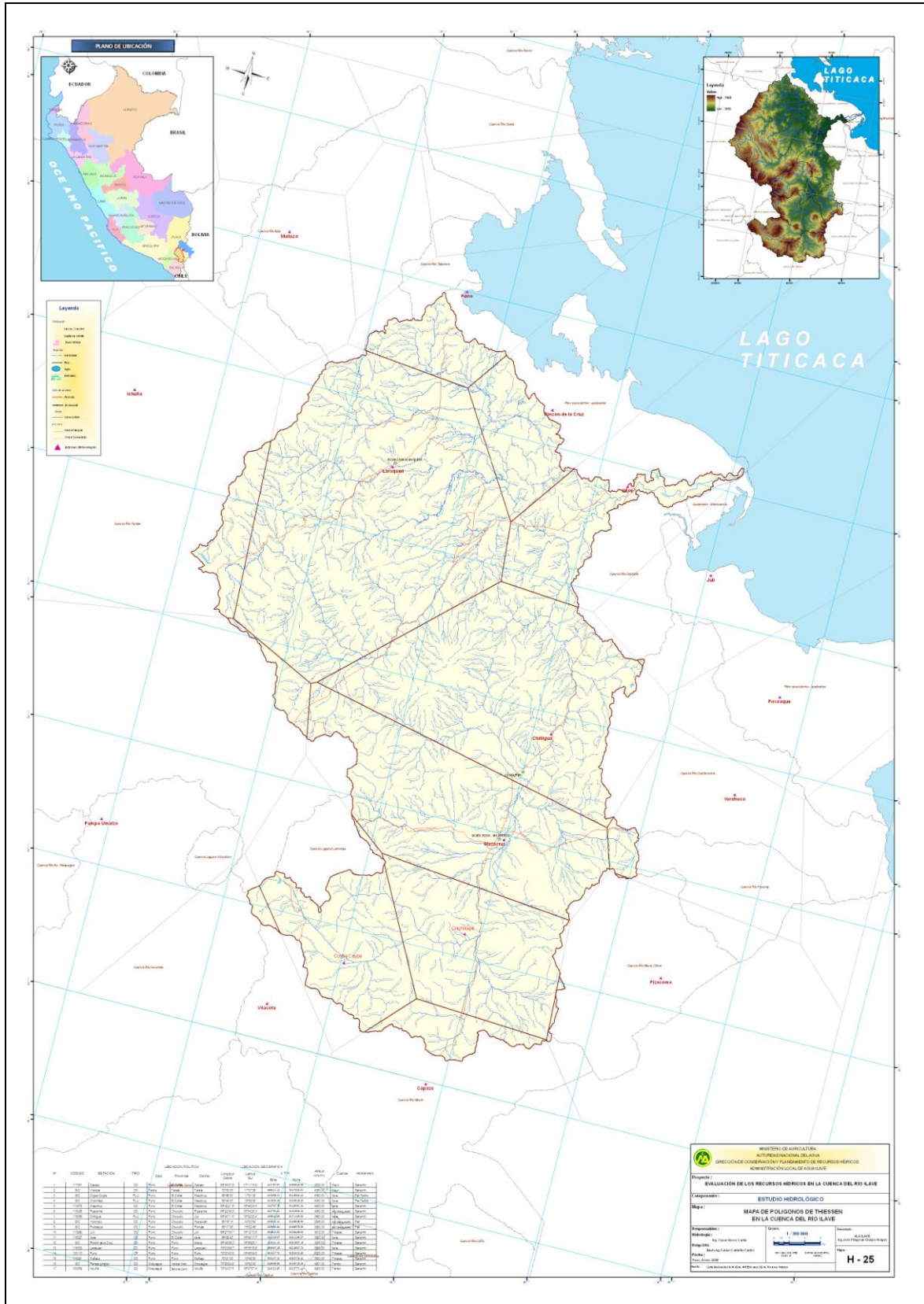


Figura N° 4.12
Polígonos de Thiessen de las Subcuencas (nivel 4) - Cuenca del río Ilave

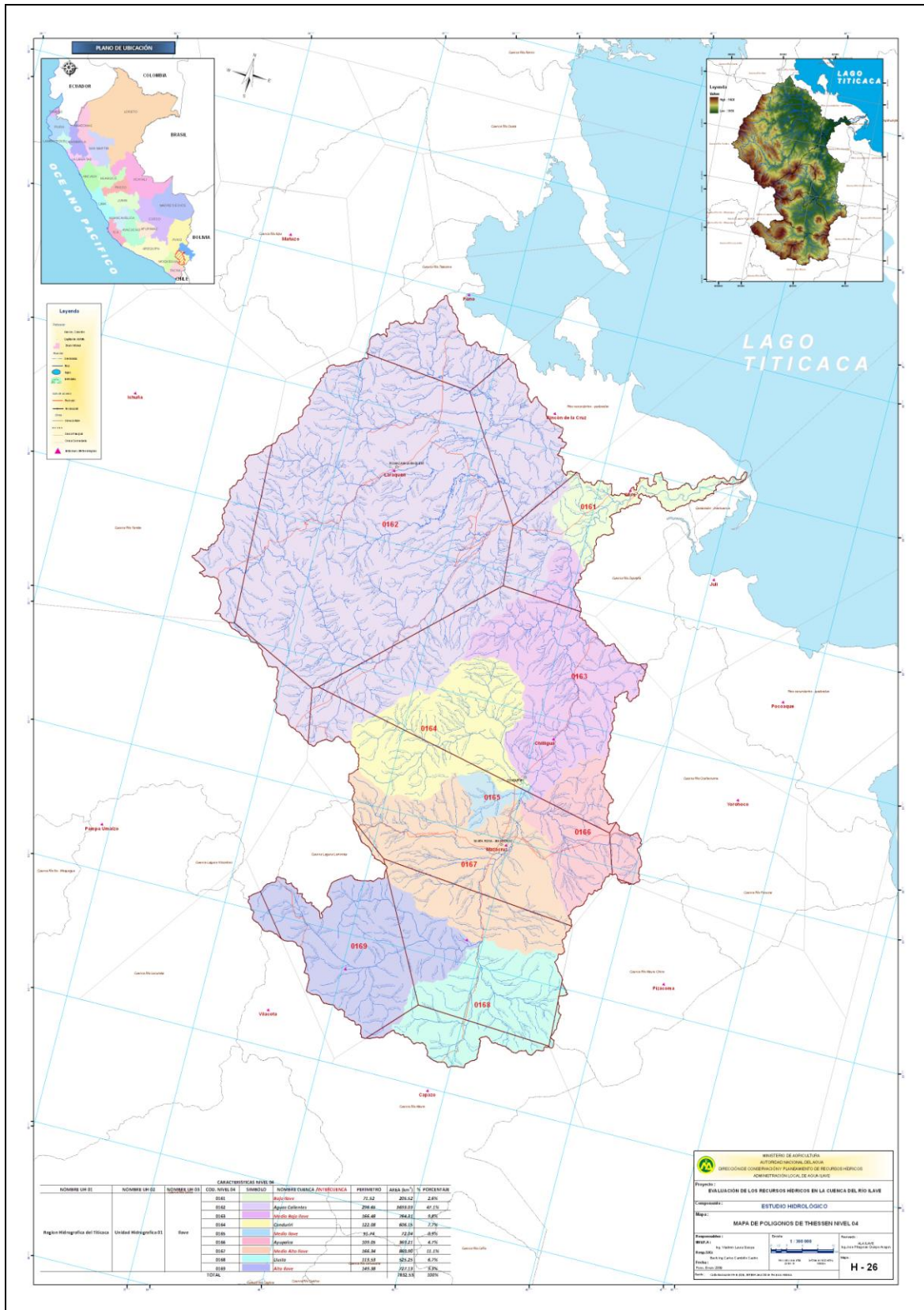
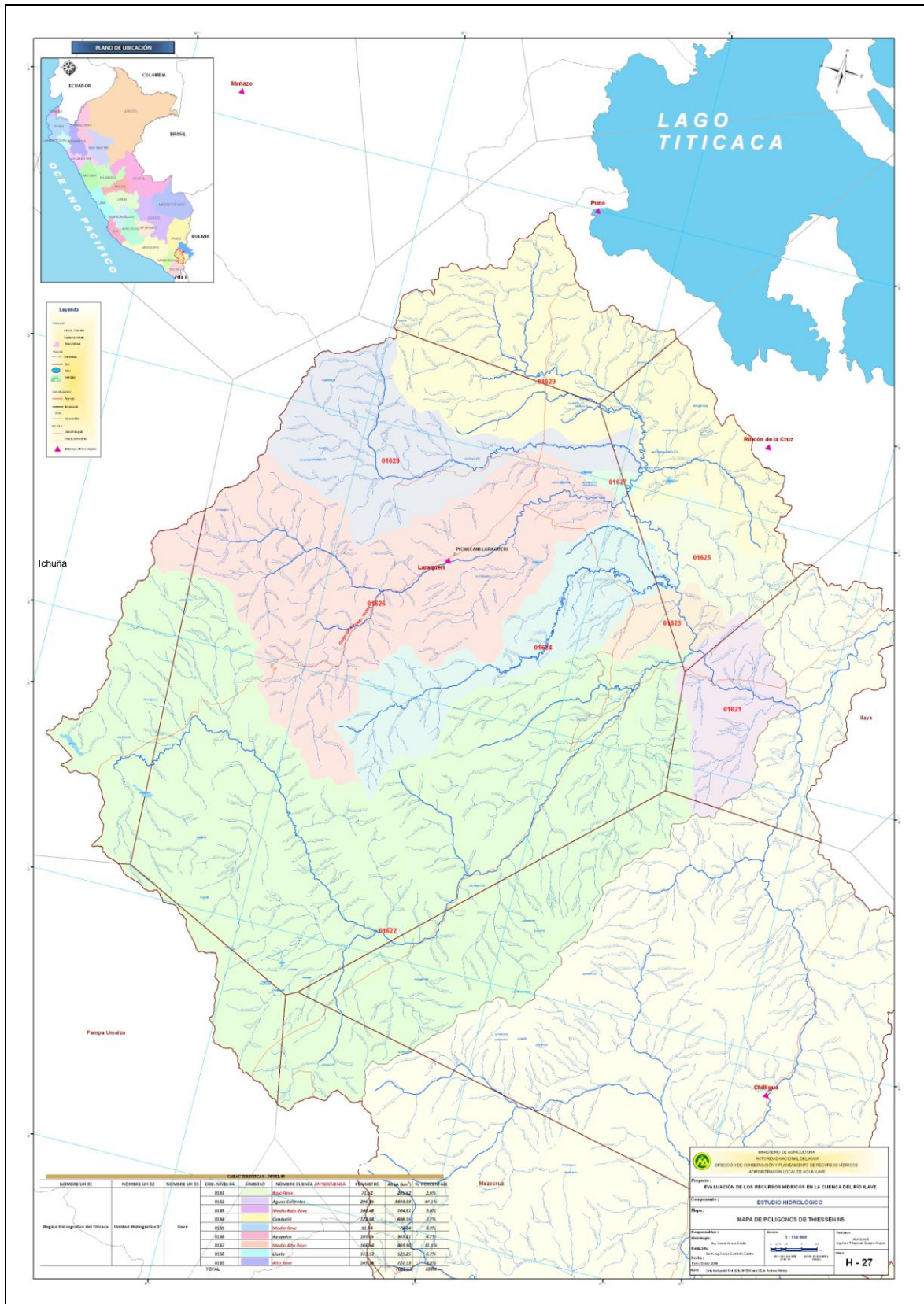


Figura N° 4.13
 Polígonos de Thiessen de las Subcuencas (nivel 5) - Subcuenca del río Aguas Calientes



De acuerdo de las figuras anteriores, se ha obtenido las áreas de los polígonos de influencia de las estaciones meteorológicas, información básica para determinación de la precipitación areal en la cuenca, para ello se ha tomado en cuenta las subcuencas que aportan en forma directa sus aguas a la cuenca llave, y además también se ha obtenido para los puntos de interés para el desarrollo posterior de balance hídrico a nivel de subcuencas. Las subcuencas consideradas, se muestran en el Cuadro N° 4.11.

La estación Ichuña, para el presente análisis, no se ha considerado, debido a que la ubicación altitudinal, se encuentra por debajo de la cota normal (3810 msnm) del lago Titicaca, ello podría alterar la precipitación media en la cuenca.

Según las Figuras N° 4.11 a 4.13, el resultado de las áreas de los polígonos de influencia de las estaciones meteorológicas, en cada subcuenca en la cuenca del río llave, es como se muestra, en el siguiente Cuadro N° 4.11.

Cuadro N° 4.11
Áreas de Influencia de las Estaciones Meteorológicas
Cuenca y Subcuencas del río Ilave

Cuenca río Ilave (Lugar: Puente Ilave)				Subcuenca Río Chichillapi (Lugar: Llustacucho)		
N°	Estación	Área (Km ²)	Factor (%)	Estación	Área (Km ²)	Factor (%)
1	Capazo	162.38	2.09	Capazo	3.18	0.44
2	Vilacota	18.24	0.23	Vilacota	18.24	2.54
3	Coypa Coypa	576.92	7.43	Coypa Coypa	550.20	76.68
4	Chichillapi	784.06	10.09	Chichillapi	145.91	20.34
5	Mazocruz	1,155.40	14.87			
6	Pizacoma	23.77	0.31			
7	Chilligua	1,482.39	19.07			
8	Yorohoco	14.72	0.19			
9	Ilave	363.20	4.67			
10	Rincón de la Cruz	392.86	5.06			
11	Laraqueri	2,512.00	32.32			
12	Puno	232.59	2.99			
13	Pampa Umalzo	52.97	0.68			
Total		7,771.50	100.000	Total	717.53	100.00

Subcuenca Alto Ilave (Río Chichillapi)				Subcuenca Llusta (Río Llusta Alta)		
N°	Estación	Área (Km ²)	Factor (%)	Estación	Área (Km ²)	Factor (%)
1	Capazo	3.18	0.44	Capazo	159.20	30.31
2	Vilacota	18.24	2.51	Coypa Coypa	9.35	1.78
3	Coypa Coypa	550.20	75.66	Chichillapi	344.94	65.67
4	Chichillapi	155.51	21.39	Pizacoma	11.76	2.24
Total		727.13	100.00	Total	525.25	100.00

Subcuenca Medio Alto Ilave (Río Llusta Baja)				Subcuenca Ayupalca (Río Ayupalca)		
N°	Estación	Área (Km ²)	Factor (%)	Estación	Área (Km ²)	Factor (%)
1	Capazo	162.38	7.65	Mazocruz	238.68	64.65
2	Vilacota	18.24	0.86	Pizacoma	12.01	3.25
3	Coypa Coypa	576.92	27.18	Chilligua	103.80	28.11
4	Chichillapi	784.06	36.94	Yorohoco	14.72	3.99
5	Mazocruz	568.92	26.81	-	-	-
6	Pizacoma	11.76	0.56	-	-	-
Total		2,122.28	100.00	Total	369.21	100.00

Subcuenca Conduriri (Río Conduriri)				Subcuenca Huenque (Río Huenque)		
N°	Estación	Area (Km2)	Factor (%)	Estación	Area (Km2)	Factor (%)
1	Mazocruz	212.76	35.10	Capazo	162.38	4.13
2	Chilligua	393.39	64.90	Vilacota	18.24	0.46
3	-	-	-	Coypa Coypa	576.92	14.67
4	-	-	-	Chichillapi	784.06	19.93
5	-	-	-	Mazocruz	1,093.08	27.79
6	-	-	-	Pizacoma	23.77	0.60
7	-	-	-	Chilligua	1,190.60	30.26
8	-	-	-	Yorohoco	14.72	0.37
9	-	-	-	Ilave	70.23	1.79
Total		606.15	100.00	Total	3,934.00	100.00

Subcuenca Alto Aguas Calientes (Río Malcomayo)				Subcuenca Cutimbo (Río Cutimbo)		
N°	Estación	Area (Km2)	Factor (%)	Estación	Area (Km2)	Factor (%)
1	Rincón de la Cruz	178.07	33.78	Rincón de la Cruz	9.36	3.35
2	Laraqueri	121.25	23.00	Laraqueri	269.90	96.65
3	Puno	227.81	43.22			
Total		527.13	100.00	Total	279.26	100.00

Subcuenca Loripongo (Río Loripongo)				Subcuenca Tunquipa (Río Tunquipa)		
N°	Estación	Area (Km2)	Factor (%)	Estación	Area (Km2)	Factor (%)
1	Laraqueri	624.59	100.00	Rincón de la Cruz	5.85	2.36
2				Laraqueri	242.05	97.64
3						
Total		624.59	100.00	Total	247.90	100.00

Subcuenca Río Grande				Subcuenca Uncallane (Río Uncallane)		
N°	Estación	Area (Km2)	Factor (%)	Estación	Area (Km2)	Factor (%)
1	Ilave	8.94	0.48	Mazocruz	83.35	4.88
2	Rincón de la Cruz	319.92	17.27	Chilligua	309.31	18.11
	Laraqueri	1,295.63	69.95	Ilave	17.36	1.02
	Puno	227.81	12.30	Laraqueri	1,219.42	71.38
				Pampa Umalzo	78.77	4.61
Total		1,852.30	100.00	Total	1,708.21	100.00

Subcuenca Aguas Calientes (Río Aguas Calientes)			
N°	Estación	Area (Km2)	Factor (%)
1	Mazocruz	62.32	1.69
2	Chilligua	291.79	7.90
3	Ilave	149.03	4.04
4	Rincón de la Cruz	392.33	10.62
5	Laraqueri	2,512.00	68.02
6	Puno	232.59	6.30
7	Pampa Umalzo	52.97	1.43
Total		3,693.03	100.00

En el siguiente cuadro, se muestra promedio multimensual de la precipitación areal en las subcuencas de la cuenca del río Ilave.

Cuadro N° 4.12

Precipitación Areal de la Cuenca (mm)

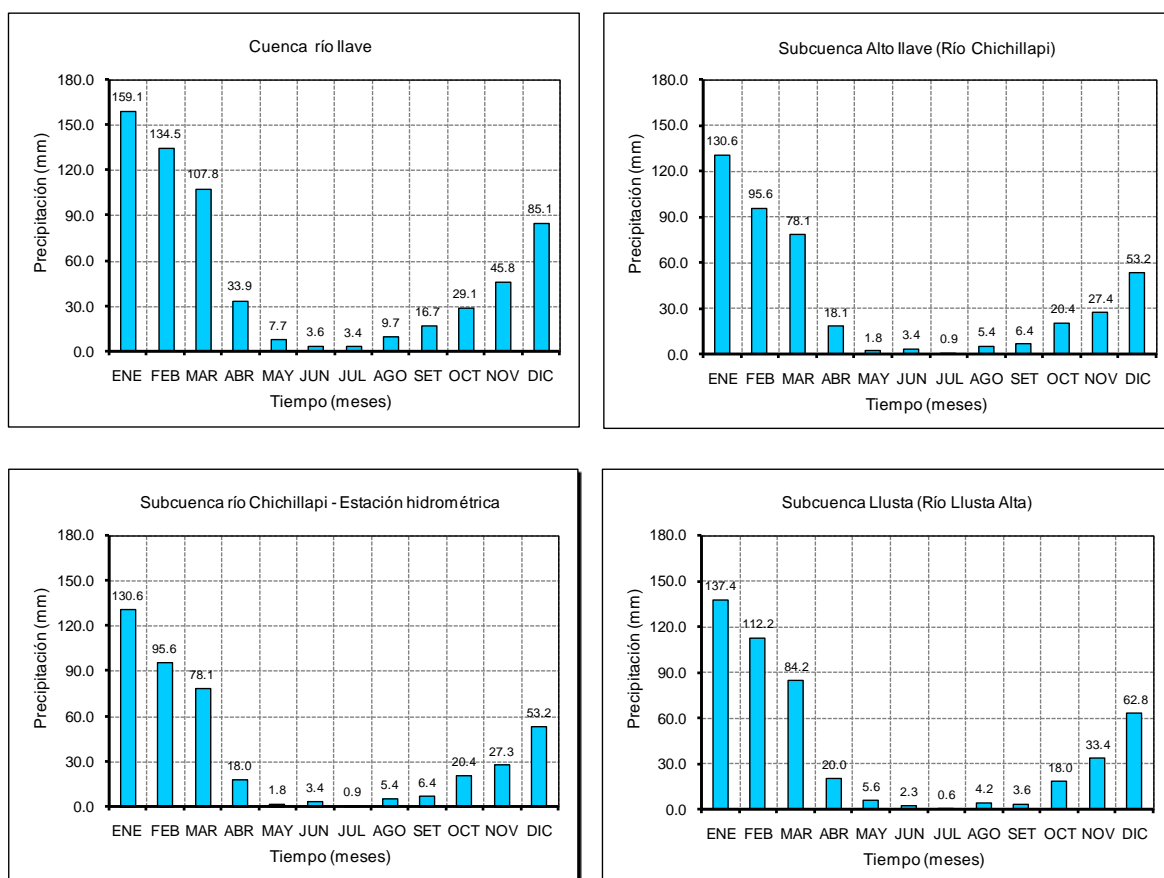
(Promedio multimensual:1960 - 2007)

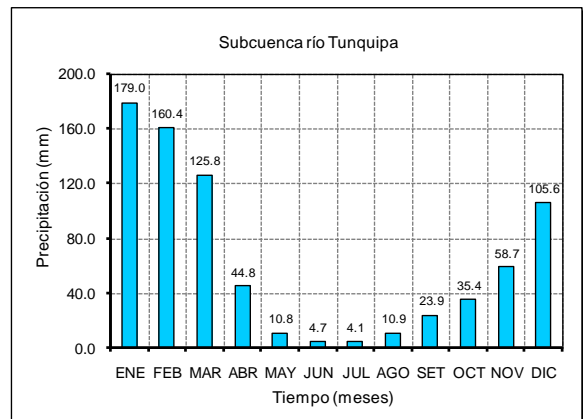
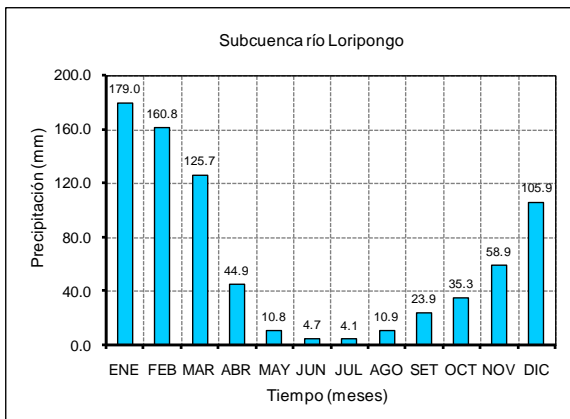
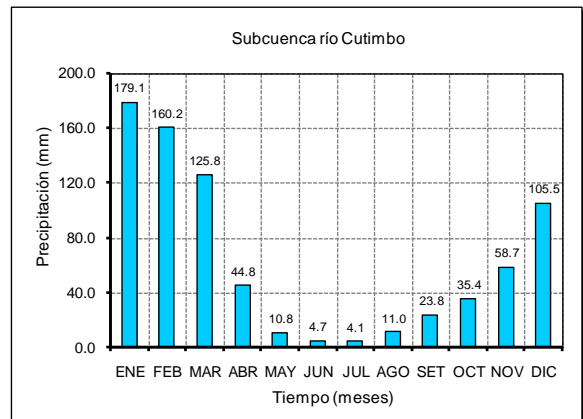
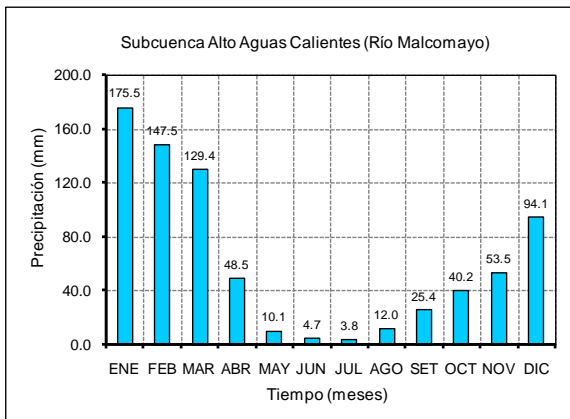
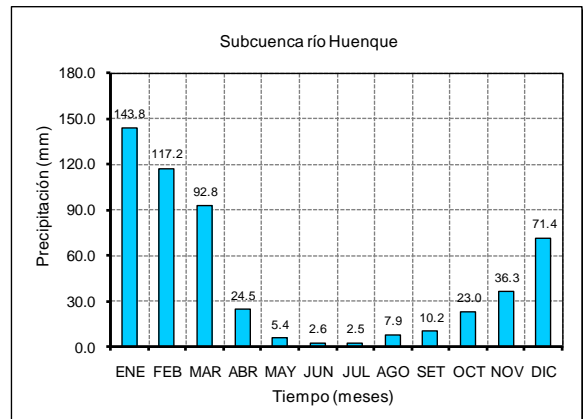
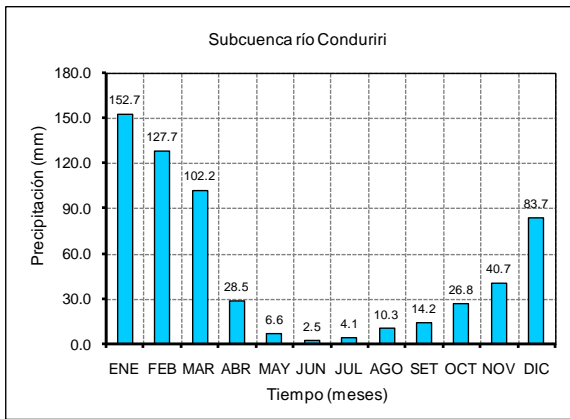
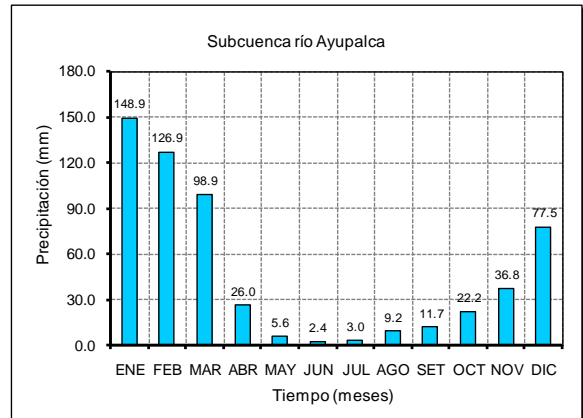
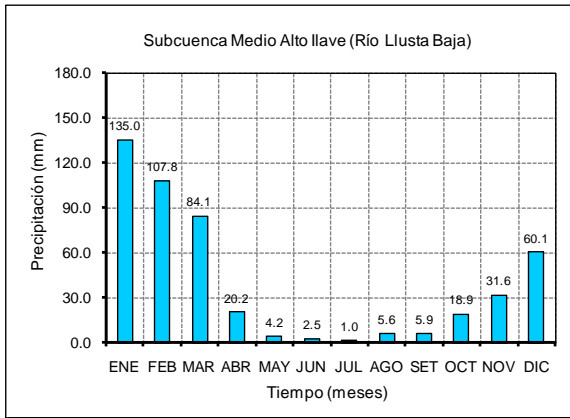
Subcuencas de la cuenca del río Ilave

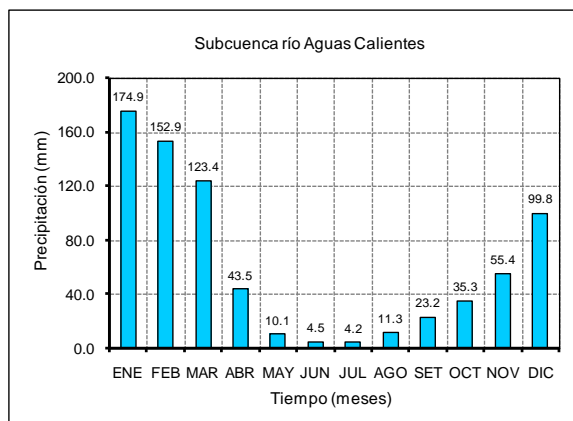
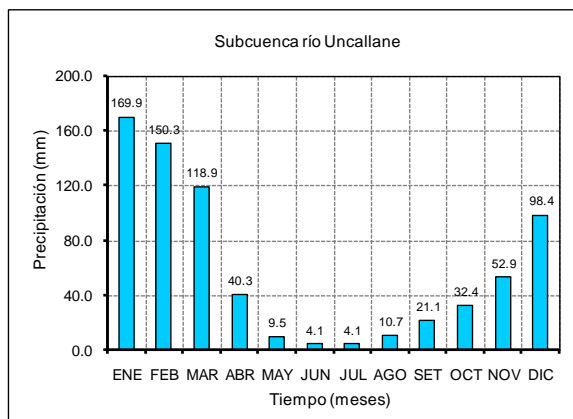
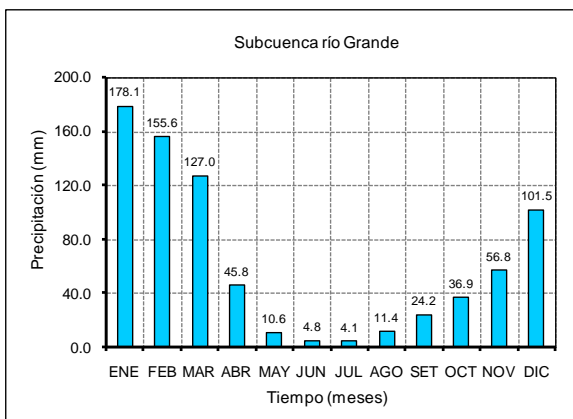
CUENCA/SUBCUENCA	RIO PRINCIPAL	MESES												TOTAL ANUAL
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
Ilave	Río Ilave	159.1	134.5	107.8	33.9	7.7	3.6	3.4	9.7	16.7	29.1	45.8	85.1	636.2
Alto Ilave	Río Chichillapi	130.6	95.6	78.1	18.1	1.8	3.4	0.9	5.4	6.4	20.4	27.4	53.2	441.3
Chichillapi (*)	Río Chichillapi	130.6	95.6	78.1	18.0	1.8	3.4	0.9	5.4	6.4	20.4	27.3	53.2	441.2
Llusta	Río Llusta Alta	137.4	112.2	84.2	20.0	5.6	2.3	0.6	4.2	3.6	18.0	33.4	62.8	484.1
Medio Alto Ilave	Río Llusta Baja	135.0	107.8	84.1	20.2	4.2	2.5	1.0	5.6	5.9	18.9	31.6	60.1	477.0
Cachacara	Río Cachacara	148.9	126.9	98.9	26.0	5.6	2.4	3.0	9.2	11.7	22.2	36.8	77.5	569.0
Conduriri	Río Conduriri	152.7	127.7	102.2	28.5	6.6	2.5	4.1	10.3	14.2	26.8	40.7	83.7	599.8
Huenque	Río Huenque	143.8	117.2	92.8	24.5	5.4	2.6	2.5	7.9	10.2	23.0	36.3	71.4	537.6
Alto Aguas Calientes	Río Malcomayo	175.5	147.5	129.4	48.5	10.1	4.7	3.8	12.0	25.4	40.2	53.5	94.1	744.6
Cutimbo	Río Cutimbo	179.1	160.2	125.8	44.8	10.8	4.7	4.1	11.0	23.8	35.4	58.7	105.5	763.9
Loripongo	Río Loripongo	179.0	160.8	125.7	44.9	10.8	4.7	4.1	10.9	23.9	35.3	58.9	105.9	764.8
Tunquipa	Río Tunquipa	179.0	160.4	125.8	44.8	10.8	4.7	4.1	10.9	23.9	35.4	58.7	105.6	764.1
Río Grande	Río Grande	178.1	155.6	127.0	45.8	10.6	4.8	4.1	11.4	24.2	36.9	56.8	101.5	756.7
Uncallane	Río Uncallane	169.9	150.3	118.9	40.3	9.5	4.1	4.1	10.7	21.1	32.4	52.9	98.4	712.6
Aguas Calientes	Río Aguas Calientes	174.9	152.9	123.4	43.5	10.1	4.5	4.2	11.3	23.2	35.3	55.4	99.8	738.5

Figura N° 4.14

Precipitación Media Areal Total Mensual (mm) – Método Polígonos de Thiessen
Cuenca y Subcuencas del río Ilave







5.2.- ESTACIONES DE AFORO DE CAUDALES

5.2.1.- Estación de aforo – Puente Ilave – Río Ilave

La estación hidrométrica Puente Ilave, geográficamente se localiza en las coordenadas geográficas 16°05'04" de latitud Sur y 69°37'47" de longitud Oeste, y a una altitud de 3,825 msnm en el puente Ilave, sobre el río Ilave.

La estación hidrométrica Puente Ilave de la cuenca del río Ilave, políticamente se encuentra ubicada en:

- País : Perú
- Región : Puno
- Provincia : El Collao
- Distrito : Ilave

Se ubica en la parte baja de la cuenca Ilave, después de la confluencia de los ríos Huenque y Aguas Calientes, mide todo el escurrimiento de la cuenca del río Ilave, siendo su área de drenaje de 7,771.50 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 Ilave aun no está regulado por represamientos.

El registro histórico disponible de descargas medias mensuales en esta estación es continuo de un periodo de 1960 – 2007.

El registro histórico de descargas medias mensuales de la cuenca del río Ilave, es propiedad del SENAMHI – Puno.



5.2.2.- Estación de aforo – Llustacucho – Río Chichillapi

La estación hidrométrica Llustacucho, geográficamente se localiza en las coordenadas geográficas 16°55'44" de latitud Sur y 69°43'53" de longitud Oeste, y a una altitud de 4,030 msnm, sobre el río Chichillapi.

La estación hidrométrica Llustacucho de la subcuenca del río Chichillapi, políticamente se encuentra ubicada en:

- País : Perú
- Región : Puno
- Provincia : El Collao
- Distrito : Mazocruz

Se ubica en la parte baja de la subcuenca Chichillapi, después de la confluencia de los ríos Chila y Coypa Coypa, mide todo el escurrimiento de la subcuenca del río Chichillapi, siendo su área de drenaje de 717.53 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 Chichillapi aun no está regulado por represamientos.

El registro histórico disponible de descargas medias mensuales en esta estación son discontinuos: primer periodo (1964 – 1984) y segundo periodo (1989 – 1997).

El registro histórico de descargas medias mensuales de la cuenca del río Chichillapi, es propiedad del PET – Tacna.



Figura N° 5.1
Ubicación de las Estaciones Hidrométricas – Cuenca del río Ilave



5.3.- ANALISIS DE CONSISTENCIA DE LA INFORMACION

El análisis de consistencia de las descargas medias mensuales, se realiza similarmente con la misma metodología descrita en el análisis de la información pluviométrica.

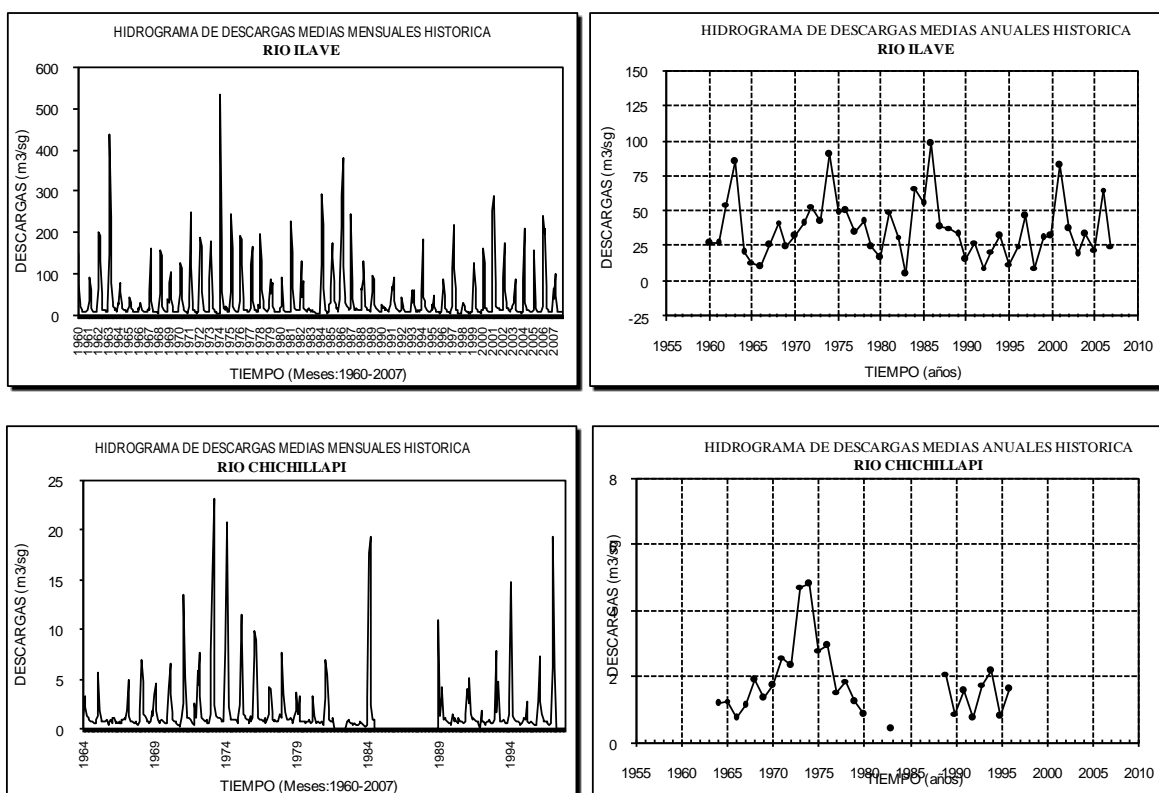
A continuación se muestran los análisis respectivos.

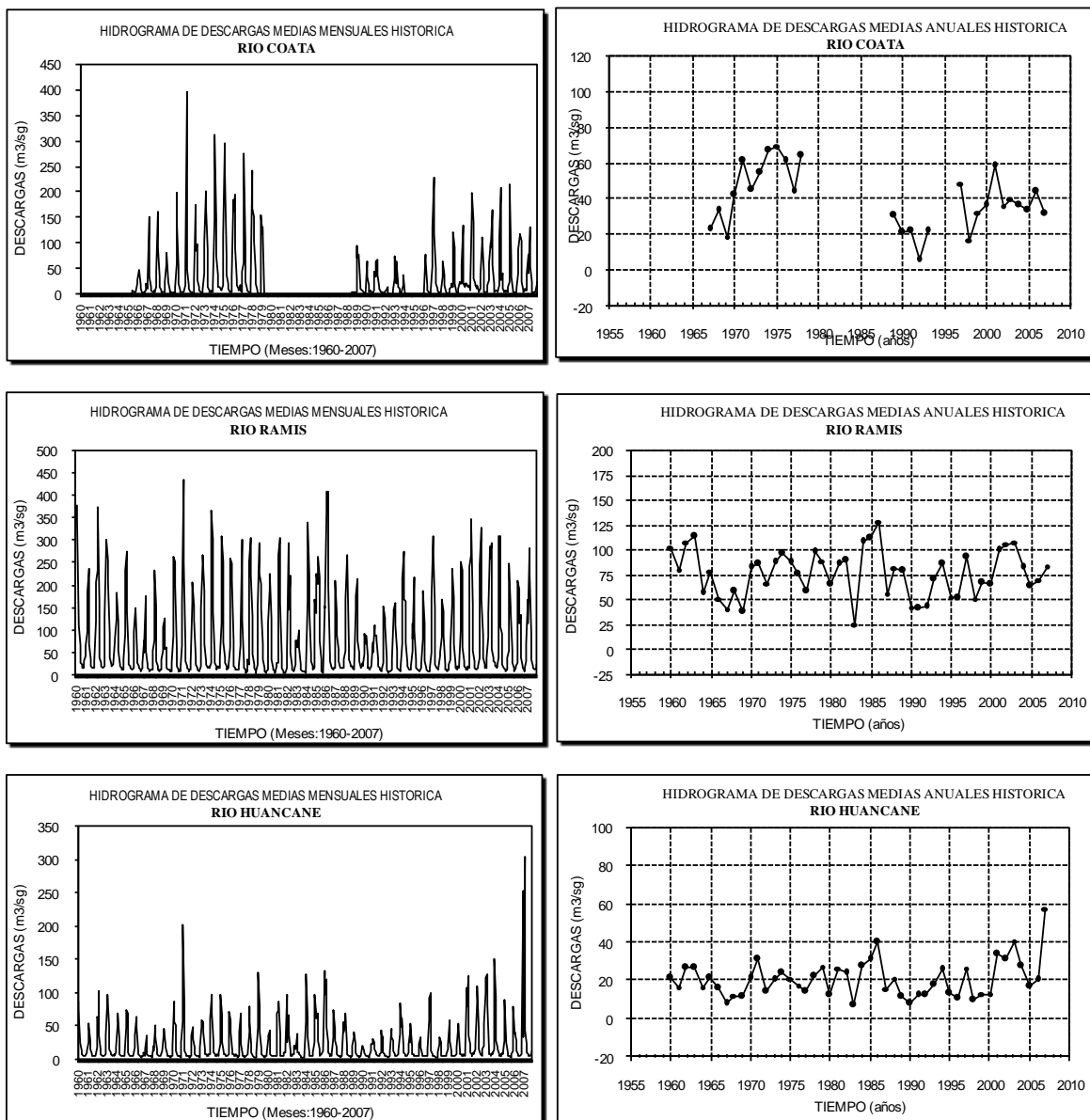
Análisis visual de hidrogramas

Este análisis se realiza para detectar y identificar la inconsistencia de la información hidrológica 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 hidrológica a nivel anual y mensual; en las ordenadas se ubica los valores anuales o mensuales de la serie hidrológica en unidades respectivas y en las abscisas el tiempo en años.

De las estaciones consideradas en el presente estudio, mediante este análisis se puede decir que no existe un período dudoso significativo en las series mensuales y anuales de las descargas medias mensuales, tal como se muestra en los hidrogramas respectivas.

Figura N° 5.2
Hidrograma de Descargas Medias Mensuales y Anuales Histórica
Cuenca del río Ilave y Cuencas Vecinas





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 hidrológica de las estaciones en unidades de m³/sg y en el eje de las ordenadas los volúmenes anuales acumulados de la variable hidrológica en unidades de m³/sg 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 dos grupos de estaciones hidrológicas, con el fin obtener una comparación adecuada de las series de descargas medias mensuales, los grupos son:

<i>Descargas medias anuales</i>	
Ríos	
Grupo 1	Grupo 2
Ilave	Ilave
Coata	Chichillapi
Ramis	
Huancané	

Análisis

Grupo N° 1: Mediante el análisis de doble masa (ver Figura N° 5.3), la estación del río Ramis es seleccionada como la estación base. La comparación de la serie anual de descargas medias anuales de la estación de los ríos Ilave, Coata y Huancané con la estación base, no muestran quiebres significativos, las curvas de doble masa tienden mantenerse la pendiente que muestra cada curva (ver Figura N° 5.4). 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.

Grupo N° 2: Mediante el análisis de doble masa (ver Figura N° 5.5), la estación del río Ilave es seleccionada como la estación base. La comparación de la serie anual de descargas medias anuales de la estación del río Chichillapi con la estación base, no muestra quiebres significativos, la curva de doble masa tiende mantenerse la pendiente que muestra en la figura (ver Figura N° 5.6). Aunque muestra pequeños quiebres en el análisis de doble masa, dichos quiebres serán evaluadas en el análisis estadístico.

Los posibles períodos como dudosos y confiables de la serie hidrológica de la estación en estudio se muestran posteriormente en el análisis estadístico de saltos.

Cuadro N° 5.1
Análisis de Doble Masa de las Descargas Medias Anuales – Grupo N° 01

m	Año	ESTACIONES								Promedio	
		Ilave		Coata		Ramis		Huancané			
		P	Pacumul	P	Pacumul	P	Pacumul	P	Pacumul	P	Pacumul
1	1960	27.41	27.41	48.52	48.52	102.14	102.14	21.35	21.35	33.24	33.24
2	1961	26.94	54.35	45.05	93.57	80.24	182.38	16.57	37.92	28.13	61.37
3	1962	54.79	109.14	66.69	160.26	107.40	289.78	26.82	64.74	42.62	103.99
4	1963	85.33	194.47	76.97	237.23	113.77	403.55	26.68	91.42	50.46	154.45
5	1964	20.49	214.96	24.06	261.29	56.43	459.98	16.31	107.73	19.55	174.00
6	1965	13.50	228.46	27.72	289.01	78.05	538.03	21.46	129.19	23.46	197.46
7	1966	10.64	239.10	15.29	304.30	51.09	589.12	15.82	145.01	15.47	212.93
8	1967	25.73	264.83	23.33	327.63	40.24	629.36	7.67	152.68	16.16	229.09
9	1968	41.80	306.63	33.95	361.58	58.05	687.41	12.11	164.79	24.32	253.41
10	1969	24.47	331.10	18.89	380.47	37.80	725.21	11.29	176.08	15.41	268.82
11	1970	32.38	363.48	42.62	423.09	82.20	807.41	21.41	197.49	29.77	298.59
12	1971	40.93	404.41	61.74	484.83	86.15	893.56	31.02	228.51	36.64	335.23
13	1972	53.46	457.87	45.29	530.12	66.44	960.00	14.15	242.66	29.89	365.12
14	1973	42.39	500.26	54.91	585.03	87.62	1047.62	20.17	262.83	34.18	399.30
15	1974	90.34	590.60	67.02	652.05	96.81	1144.43	23.96	286.79	46.36	445.66
16	1975	48.66	639.26	69.71	721.76	87.96	1232.39	21.03	307.82	37.89	483.55
17	1976	50.25	689.51	61.27	783.03	76.05	1308.44	17.39	325.21	34.16	517.71
18	1977	35.13	724.64	44.09	827.12	58.15	1366.59	14.23	339.44	25.27	542.98
19	1978	42.39	767.03	64.13	891.25	98.52	1465.11	22.05	361.49	37.85	580.83
20	1979	24.15	791.18	39.60	930.85	88.61	1553.72	27.03	388.52	29.90	610.73
21	1980	16.71	807.89	36.24	967.09	65.77	1619.49	12.21	400.73	21.82	632.55
22	1981	49.57	857.46	57.34	1024.43	85.60	1705.09	26.32	427.05	36.47	669.02
23	1982	31.57	889.03	33.98	1058.41	89.20	1794.29	24.12	451.17	29.81	698.83
24	1983	5.05	894.08	6.54	1064.95	24.79	1819.08	7.23	458.40	7.27	706.10
25	1984	66.47	960.55	65.18	1130.13	107.79	1926.87	27.77	486.17	44.54	750.64
26	1985	55.17	1015.72	64.55	1194.68	111.84	2038.71	31.19	517.36	43.79	794.43
27	1986	97.50	1113.22	111.45	1306.13	127.93	2166.64	40.05	557.41	62.82	857.25
28	1987	38.23	1151.45	25.98	1332.11	56.20	2222.84	15.61	573.02	22.67	879.92
29	1988	37.86	1189.31	26.16	1358.27	81.91	2304.75	20.92	593.94	27.81	907.73
30	1989	33.12	1222.43	30.64	1388.91	78.63	2383.38	11.64	605.58	25.67	933.40
31	1990	15.20	1237.63	20.95	1409.86	41.99	2425.37	8.20	613.78	14.39	947.79
32	1991	27.45	1265.08	21.89	1431.75	41.10	2466.47	12.20	625.98	17.11	964.90
33	1992	9.69	1274.77	6.00	1437.75	42.98	2509.45	12.16	638.14	11.81	976.71
34	1993	21.06	1295.83	22.16	1459.91	70.09	2579.54	17.51	655.65	21.80	998.51
35	1994	32.00	1327.83	31.90	1491.81	85.85	2665.39	26.00	681.65	29.29	1027.80
36	1995	12.31	1340.14	23.21	1515.02	52.58	2717.97	13.61	695.26	16.95	1044.75
37	1996	25.04	1365.18	27.85	1542.87	51.69	2769.66	10.37	705.63	19.16	1063.91
38	1997	46.11	1411.29	48.70	1591.57	93.31	2862.97	26.30	731.93	35.74	1099.65
39	1998	9.51	1420.80	16.82	1608.39	50.84	2913.81	9.48	741.41	14.44	1114.09
40	1999	30.53	1451.33	32.32	1640.71	67.24	2981.05	12.85	754.26	23.82	1137.91
41	2000	32.05	1483.38	36.65	1677.36	65.62	3046.67	12.97	767.23	24.55	1162.46
42	2001	82.86	1566.24	58.55	1735.91	99.74	3146.41	34.11	801.34	45.88	1208.34
43	2002	37.42	1603.66	35.97	1771.88	105.94	3252.35	31.01	832.35	35.06	1243.40
44	2003	19.49	1623.15	39.76	1811.64	107.25	3359.60	40.50	872.85	34.50	1277.90
45	2004	33.58	1656.73	36.54	1848.18	82.44	3442.04	27.45	900.30	30.00	1307.90
46	2005	22.65	1679.38	33.36	1881.54	63.51	3505.55	16.74	917.04	22.71	1330.61
47	2006	64.89	1744.27	44.04	1925.58	69.90	3575.45	20.40	937.44	33.21	1363.82
48	2007	24.95	1769.22	31.74	1957.32	83.22	3658.67	57.53	994.97	32.91	1396.73

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

Figura N° 5.3
Diagrama de Doble Masa de las Descargas Medias Anuales - Grupo 1

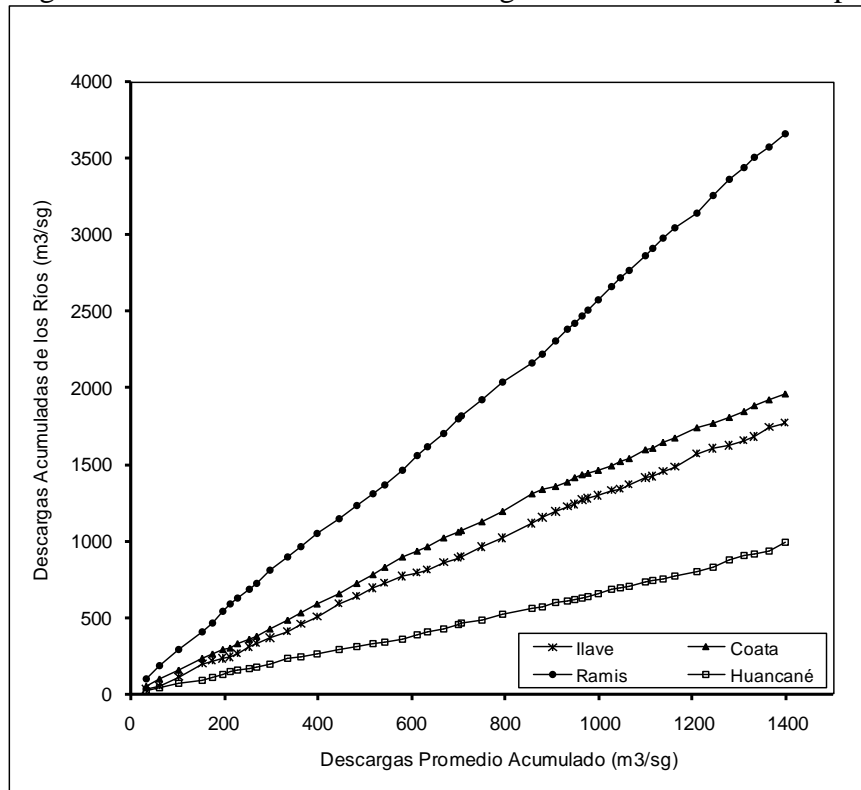
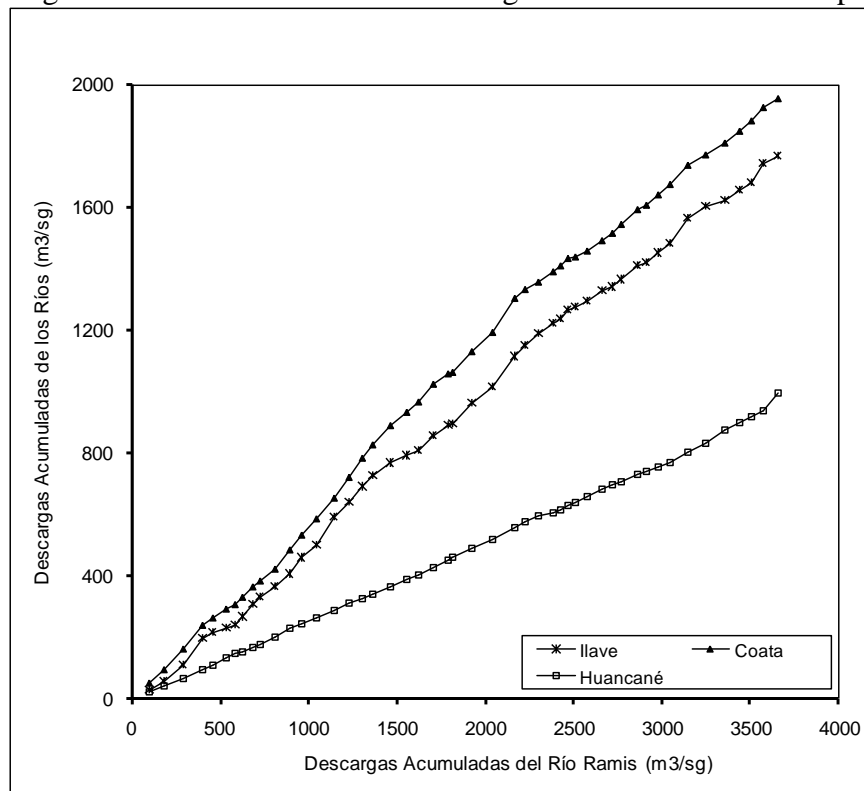


Figura N° 5.4
Diagrama de Doble Masa de las Descargas Medias Anuales - Grupo 1



Cuadro N° 5.2
Análisis de Doble Masa de las Descargas Medias Anuales – Grupo N° 02

m	Año	ESTACIONES				Promedio	
		Ilave		Chichillapi		P	Pacumul
		P	Pacumul	P	Pacumul		
1	1960	27.41	27.41	21.35	21.35	24.38	24.38
2	1961	26.94	54.35	16.57	37.92	21.76	46.14
3	1962	54.79	109.14	26.82	64.74	40.81	86.95
4	1963	85.33	194.47	26.68	91.42	56.01	142.96
5	1964	20.49	214.96	16.31	107.73	18.40	161.36
6	1965	13.50	228.46	21.46	129.19	17.48	178.84
7	1966	10.64	239.10	15.82	145.01	13.23	192.07
8	1967	25.73	264.83	7.67	152.68	16.70	208.77
9	1968	41.80	306.63	12.11	164.79	26.96	235.73
10	1969	24.47	331.10	11.29	176.08	17.88	253.61
11	1970	32.38	363.48	21.41	197.49	26.90	280.51
12	1971	40.93	404.41	31.02	228.51	35.98	316.49
13	1972	53.46	457.87	14.15	242.66	33.81	350.30
14	1973	42.39	500.26	20.17	262.83	31.28	381.58
15	1974	90.34	590.60	23.96	286.79	57.15	438.73
16	1975	48.66	639.26	21.03	307.82	34.85	473.58
17	1976	50.25	689.51	17.39	325.21	33.82	507.40
18	1977	35.13	724.64	14.23	339.44	24.68	532.08
19	1978	42.39	767.03	22.05	361.49	32.22	564.30
20	1979	24.15	791.18	27.03	388.52	25.59	589.89
21	1980	16.71	807.89	12.21	400.73	14.46	604.35
22	1981	49.57	857.46	26.32	427.05	37.95	642.30
23	1982	31.57	889.03	24.12	451.17	27.85	670.15
24	1983	5.05	894.08	7.23	458.40	6.14	676.29
25	1984	66.47	960.55	27.77	486.17	47.12	723.41
26	1985	55.17	1015.72	31.19	517.36	43.18	766.59
27	1986	97.50	1113.22	40.05	557.41	68.78	835.37
28	1987	38.23	1151.45	15.61	573.02	26.92	862.29
29	1988	37.86	1189.31	20.92	593.94	29.39	891.68
30	1989	33.12	1222.43	11.64	605.58	22.38	914.06
31	1990	15.20	1237.63	8.20	613.78	11.70	925.76
32	1991	27.45	1265.08	12.20	625.98	19.83	945.59
33	1992	9.69	1274.77	12.16	638.14	10.93	956.52
34	1993	21.06	1295.83	17.51	655.65	19.29	975.81
35	1994	32.00	1327.83	26.00	681.65	29.00	1004.81
36	1995	12.31	1340.14	13.61	695.26	12.96	1017.77
37	1996	25.04	1365.18	10.37	705.63	17.71	1035.48
38	1997	46.11	1411.29	26.30	731.93	36.21	1071.69
39	1998	9.51	1420.80	9.48	741.41	9.50	1081.19
40	1999	30.53	1451.33	12.85	754.26	21.69	1102.88
41	2000	32.05	1483.38	12.97	767.23	22.51	1125.39
42	2001	82.86	1566.24	34.11	801.34	58.49	1183.88
43	2002	37.42	1603.66	31.01	832.35	34.22	1218.10
44	2003	19.49	1623.15	40.50	872.85	30.00	1248.10
45	2004	33.58	1656.73	27.45	900.30	30.52	1278.62
46	2005	22.65	1679.38	16.74	917.04	19.70	1298.32
47	2006	64.89	1744.27	20.40	937.44	42.65	1340.97
48	2007	24.95	1769.22	57.53	994.97	41.24	1382.21

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

Figura N° 5.5
Diagrama de Doble Masa de las Descargas Medias Anuales - Grupo 2

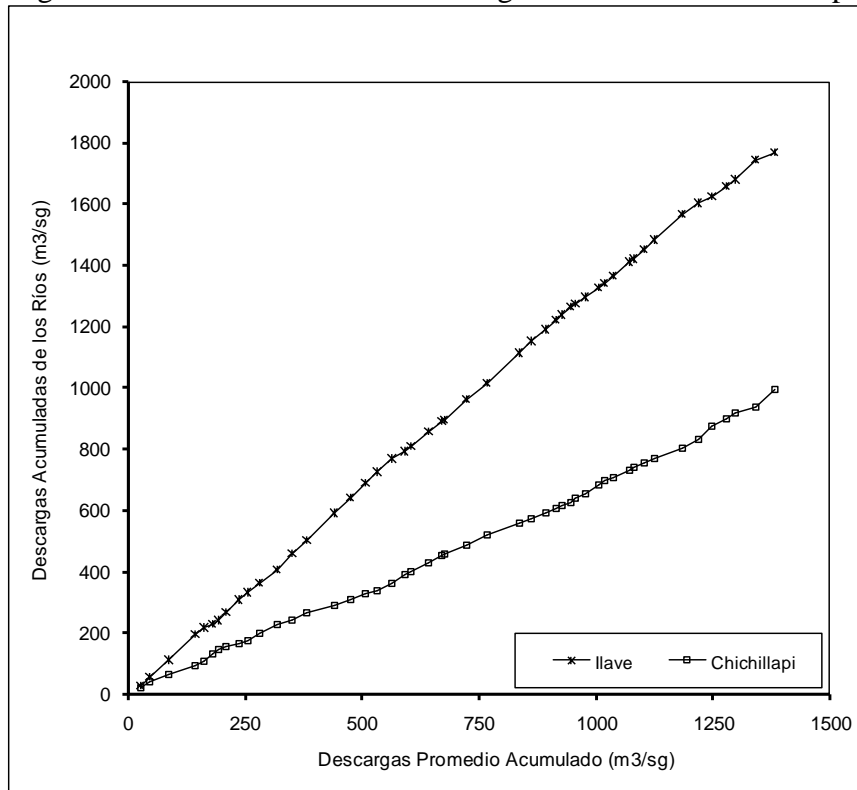
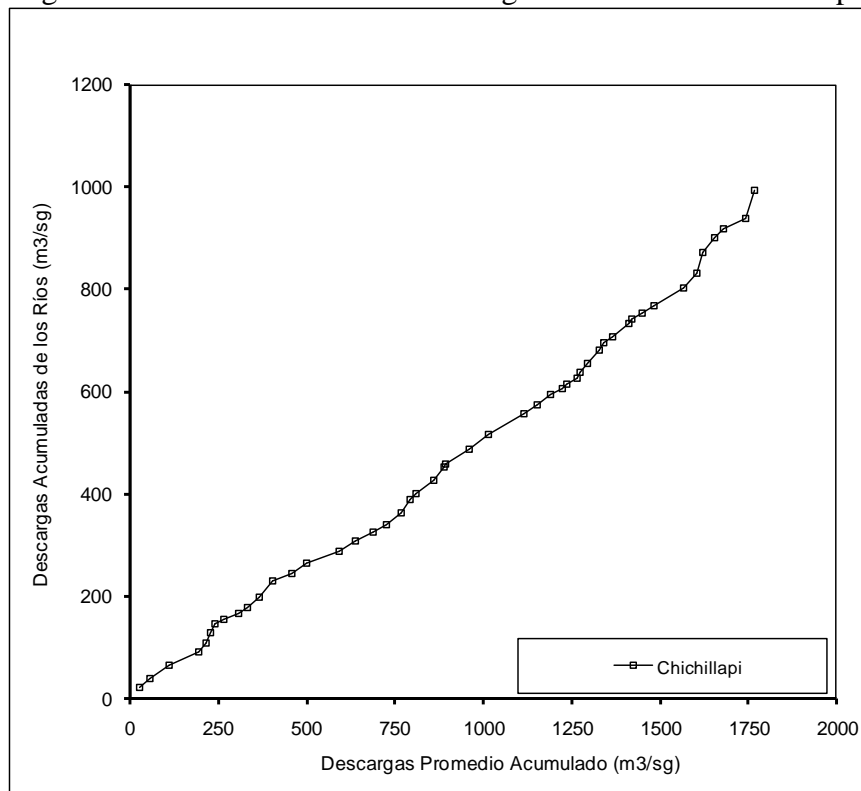


Figura N° 5.6
Diagrama de Doble Masa de las Descargas Medias Anuales - Grupo 2



Análisis estadístico de saltos y tendencias

✎ 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, con misma metodología empleada en el análisis de la información pluviométrica.

En este caso, según el análisis realizado en forma mensual se obtiene que las series mensuales de las descargas medias de las estaciones consideradas en el presente estudio no muestran “Saltos” significativos en los parámetros analizados (media y desviación estándar), para su posible corrección, sin embargo no se corrige dichas informaciones.

A continuación se muestran los cuadros del análisis respectivo.

Cuadro N° 5.3

ANALISIS DE CONSISTENCIA - ANALISIS ESTADISTICO ANALISIS DE SALTOS

CONSISTENCIA EN LA MEDIA Y DESVIACION ESTANDAR

Variable Hidrometeorológica: Descargas medias mensuales
Cuenca río Ilave Grupo N° 01 y 02

ESTACION	PERIODO DE ANALISIS		NUMERO DE DATOS, PROMEDIO Y DESVIACION ESTANDAR			CONSISTENCIA EN LA MEDIA				CONSISTENCIA EN LA DESVIACION ESTANDAR			
			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
ILAVE	n ₁ , PD	1960-1973	168	35.73	59.19	-0.2792	1.9641	[Tc] < Tt	NO	1.1433	1.2458	Fc < Ft	NO
	n ₂ , PC	1974-2007	408	37.32	63.29								
RAMIS	n ₁ , PC	1960-1990	372	78.24	93.33	0.7238	1.9641	[Tc] < Tt	NO	1.2257	1.2300	Fc < Ft	NO
	n ₂ , PD	1991-2007	204	72.55	84.30								
CHICHILLAPI	n ₁ , PC	1964-1978	180	2.21	3.50	1.2382	1.9671	[Tc] < Tt	NO	1.2830	1.2941	Fc < Ft	NO
	n ₂ , PD	1979-1997	155	1.76	3.09								

✎ 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, con la misma metodología utilizada en el análisis pluviométrico.

En este caso, según el análisis realizado en forma mensual se obtiene que la serie mensual de descargas medias de las estaciones 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.

Cuadro N° 5.4

**ANALISIS DE CONSISTENCIA - ANALISIS ESTADISTICO
ANALISIS DE TENDENCIAS**

**Variable Hidrometeorológica: Descargas medias mensuales
Cuenca río Ilave - Grupo N° 01 y 02**

ESTACION	TENDENCIA EN LA:	MEDIA, DESVEST, COEFICIENTES DE REGRESION Y NUMERO DE DATOS DE LAS TENDENCIAS EN LA MEDIA Y EN LA DESVIACION ESTANDAR						ANALISIS ESTADISTICO DE LA TENDENCIA EN LA MEDIA Y EN LA DESVIACION ESTANDAR				
		PARAMETROS		COEFICIENTES DE REGRESION			COEFICIENTE CORRELACION R	N° DATOS	ESTADISTICO T		COMPARACION	TENDENCIA SIGNIFICATIVA
		MEDIA	DESV. EST.	Am	Bm	Cm			T calculada Tc	T tabla (95%) Tt		
ILAVE	MEDIA (Tm)	36.99	62.20	41.2797	-0.0158	-	-0.0398	542	-0.9256	1.9644	[Tc] < Tt	NO
	DESV. EST (Ts)	50.61	34.16	55.3802	-0.1947	-	-0.0798	48	-0.5430	2.0117	[Tc] < Tt	NO
RAMIS	MEDIA (Tm)	76.76	91.05	79.2035	-0.0090	-	-0.0154	542	-0.3579	1.9644	[Tc] < Tt	NO
	DESV. EST (Ts)	86.25	29.10	88.8372	-0.1056	-	-0.0508	48	-0.3450	2.0117	[Tc] < Tt	NO
CHICHILLAPI	MEDIA (Tm)	2.00	3.32	2.0000	0.0000	-	0.0001	335	0.0018	1.9671	[Tc] < Tt	NO
	DESV. EST (Ts)	2.18	1.92	2.4055	-0.0167	-	-0.0667	26	-0.3275	2.0595	[Tc] < Tt	NO

En general, después de haber evaluado con los tres métodos de análisis, se obtiene que la información hidrológica de descargas medias mensuales de la cuenca del río Ilave y Chichillapi es libre de saltos y tendencias, serie homogénea, consistente y confiable al 95% de probabilidad, para su completación y extensión de registros, y su uso para propósitos múltiples.

5.4- COMPETACION Y EXTENSION DE LA INFORMACION

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 modelo hidrológico denominado HEC-4 MONTHLY STREAMFLOW SIMULATION, desarrollado por el Hydrologic Engineering Center de los Estados Unidos de América.

La información histórica de descargas medias mensuales de la estación Puente Ilave del río Ilave, es continuo, y no siendo necesario la completación, pero sin embargo la serie histórica de caudales medios del río Chichillapi necesita la completación y extensión de registros, para este caso se ha desarrollado utilizando la información consistente y confiable obtenida en el análisis anterior. A continuación se muestra el grupo de estaciones consideradas.

Caudales medios mensuales

Grupo 1

Río Ilave
Río Chichillapi

El período de registro a completar se ha seleccionado desde el año 1960 – 2007, como la serie base de análisis de la información.

En el cuadro siguiente, se muestran promedio multimensual de las descargas completadas y extendidas de la estación Llustacucho – río Chichillapi y las descargas medias multimensuales de la estación Puente Ilave – río Ilave.

Cuadro N° 5.5

Descargas Medias Mensuales (m³/sg)

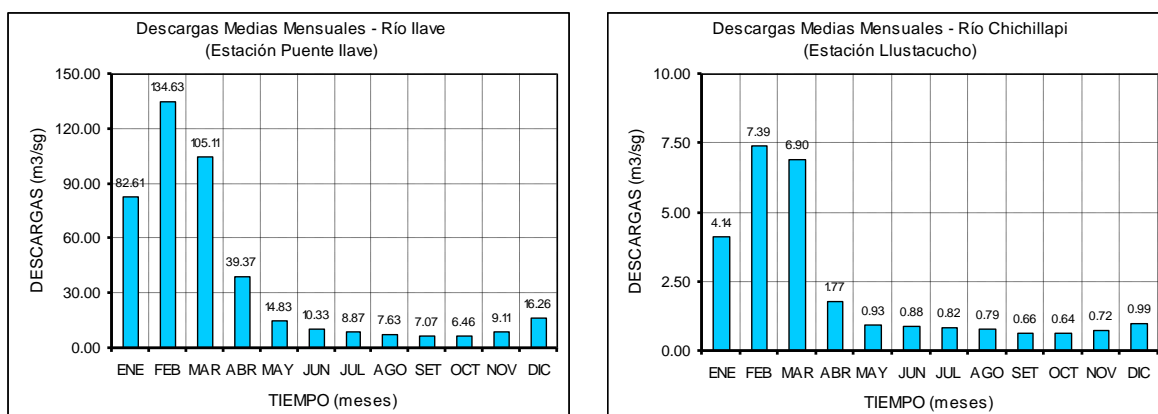
(Promedio multimensual:1960 - 2007)

Río Ilave y Chichillapi

ESTACION	RIO PRINCIPAL	MESES												TOTAL ANUAL
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
Puente Ilave	Río Ilave	82.61	134.63	105.11	39.37	14.83	10.33	8.87	7.63	7.07	6.46	9.11	16.26	36.90
Llustacucho	Río Chichillapi	4.14	7.39	6.90	1.77	0.93	0.88	0.82	0.79	0.66	0.64	0.72	0.99	2.20

Figura N° 5.7

Descargas Medias Mensuales (m³/sg) – Promedio Multimensual 1960 - 2007
Cuenca río Ilave y Subcuenca río Chichillapi



CAPITULO 6

MODELAMIENTO HIDROLOGICO

6.1.- GENERALIDADES

En el presente estudio, para el Modelamiento Hidrológico se utiliza el método de la relación Lluvia –Escurrecimiento.

Las relaciones lluvia – escurrimiento 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 - escurrimiento 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-escurrimiento, 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-escurrimiento 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 caudales medios mensuales para los ríos en estudio, se emplea el Modelo Hidrológico de Lutz Scholz.

6.2.- IMPORTANCIA DEL MODELAMIENTO

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 las 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 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.

6.3.- MODELO HIDROLOGICO DE LUTZ SCHOLZ

El modelo hidrológico de Lutz Scholz, ha sido estudiado y calibrado en 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.

6.3.1.- 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 periodo 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.

6.3.1.1.- 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, 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, 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:

PE = precipitación efectiva mensual (mm/mes).

P = precipitación total mensual (mm/mes).

a_i = 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.

1º 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 = coeficiente de agotamiento por día.
- AR = área de la cuenca (Km²).
- 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.

✍ **Coeficiente 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 = coeficiente 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 %)

REGION	Ene	Feb	Mar	Oct	Nov	Dic	Σ
CUZCO	40	20	0	0	5	35	100
HUANCAVELICA	30	20	5	10	0	35	100
JUNIN	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).

6.3.1.2.- 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 = coeficiente de determinación múltiple.
- b_1, b_2, b_3 = coeficientes 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).

6.3.2.- Aplicación del Modelo

El modelo hidrológico de Lutz Scholz, se ha aplicado en la cuenca del río Ilave y en la subcuenca del río Chichillapi, debido a que estos ríos cuentan con información hidrométrica disponible para realizar el modelamiento y calibración de los mismos.

6.3.2.1.- Calibración del Modelo en la cuenca del río Ilave

El modelamiento y calibración del modelo hidrológico de Lutz Scholz desarrollado para el río Ilave, 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 Ilave.
- Precipitación areal de la cuenca del río Ilave.
- Area de la cuenca del río Ilave (7,771.50 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° 6.1

MODELO HIDROLOGICO DE LUTZ SCHOLZ

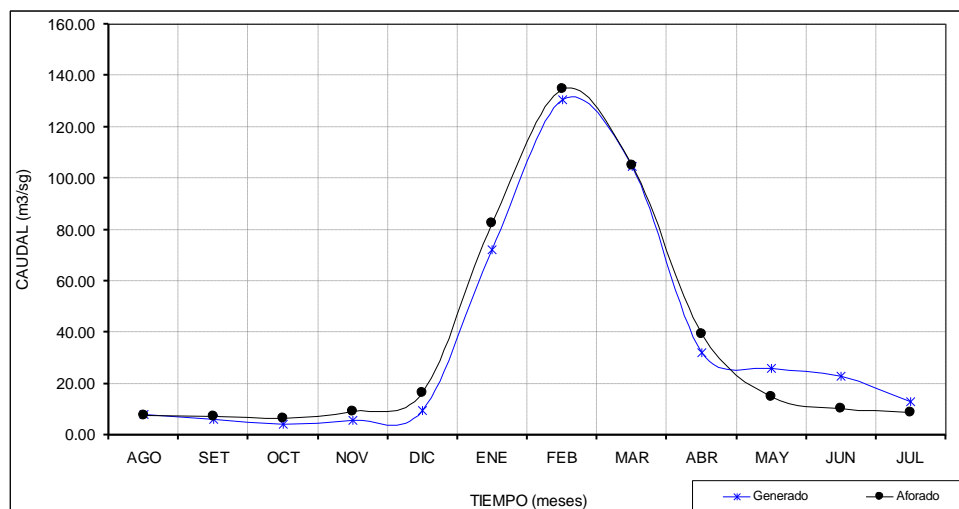
GENERACION DE CAUDALES MENSUALES PARA EL AÑO PROMEDIO CUENCA RIO ILAVE (Lugar: Puente Ilave)

MES	PRECIPITACION MENSUAL					CONTRIBUCION A LA RETENCION				CAUDALES MENSUALES			
	TOTAL P (mm/mes)	EFECTIVA				GASTO		ABASTECIMIENTO		GENERADOS		AFORADOS	
		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 /sg)	(m ³ /sg)	(mm/mes)
ENERO	159.10	39.80	72.60	97.60	61.00	0.000	0.00	0.695	36.10	24.90	72.25	82.61	28.50
FEBRERO	134.50	22.80	49.60	75.60	42.70	0.000	0.00	0.040	2.10	40.60	130.42	134.63	41.90
MARZO	107.80	11.10	29.10	47.40	22.00	0.000	0.00	-0.270	-14.00	36.00	104.46	105.11	36.20
ABRIL	33.90	0.40	3.50	6.90	1.50	0.587	22.30	0.251	13.10	10.70	32.08	39.37	13.10
MAYO	7.70	0.00	0.90	1.90	0.20	0.339	12.90	0.081	4.20	8.90	25.82	14.83	5.10
JUNIO	3.60	0.00	0.50	0.90	0.10	0.199	7.60	0.000	0.00	7.70	23.09	10.33	3.40
JULIO	3.40	0.00	0.40	0.90	0.10	0.115	4.40	0.000	0.00	4.50	13.06	8.87	3.10
AGOSTO	9.70	0.00	1.10	2.30	0.30	0.066	2.50	0.000	0.00	2.80	8.12	7.63	2.60
SEPTIEMBRE	16.70	0.00	1.80	3.70	0.50	0.039	1.50	0.000	0.00	2.00	6.00	7.07	2.40
OCTUBRE	29.10	0.20	3.00	6.00	1.30	0.023	0.90	0.016	0.80	1.40	4.06	6.46	2.20
NOVIEMBRE	45.80	0.90	5.20	9.60	3.50	0.000	0.00	0.030	1.60	1.90	5.70	9.11	3.00
DICIEMBRE	85.10	5.30	16.70	28.00	11.50	0.000	0.00	0.157	8.20	3.30	9.58	16.26	5.60
TOTAL	636.40	80.50	184.40	280.80	144.70	1.368	52.00	1.000	52.00	144.70	36.22	36.86	147.10

AREA DE LA CUENCA	RETENCION DE LA CUENCA	COEFICIENTE DE AGOTAMIENTO	
A = 7771.50 Km ²	R = 52.00 mm/año	a = 0.01773	w = 0.0403
PRECIPITACION EFECTIVA	COEFICIENTE DE ESCORENTIA	COEFICIENTES	
PE = $C_1 * PE-I + C_2 * PE-II$	C = 0.231	$C_1 = 0.788$	$C_2 = 0.212$
		$C_1 + C_2 = 1.00$ OK'	

Figura N° 6.1

Comparación entre Caudales Generados y Aforados – Río Ilave



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 Ilave, 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).	$b_1 = 1.54703 \text{ mm}$
- Factor de influencia del valor de Q_{t-1} .	$b_2 = 0.22301$
- Factor de influencia del valor de PE_t .	$b_3 = 0.31384$
- Factor de influencia del valor de PE_{t-1} .	$b_4 = 0.33485$
- Error estándar del estimado Q'_t .	$S = 3.81608 \text{ mm}$
- Coeficiente de determinación múltiple.	$R^2 = 0.92448$
- Coeficiente de correlación múltiple.	$R = 0.96150$
- Valor de Q_{t-1} para el inicio de la generación.	$Q_{t-1} = 3.30 \text{ mm}$
- Valor de PE_{t-1} para el inicio de la generación.	$PE_{t-1} = 3.50 \text{ mm}$
- Area de la cuenca.	$A = 7771.50 \text{ Km}^2$

Ecuación de generación de descargas mensuales:	
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 Ilave, son similares, tal como se muestran en la Figura N° 6.2.

La comparación de caudales promedios multimensuales generados con respecto a los caudales promedios multimensuales históricos del río Ilave, son similares, tal como se muestran en la Figura N° 6.3.

Figura N° 6.2
Caudales Medios Anuales Generados y Aforados – Río Ilave

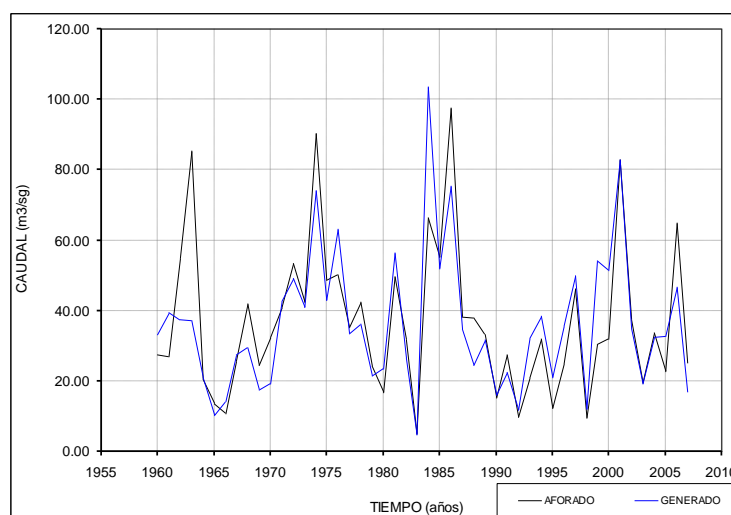
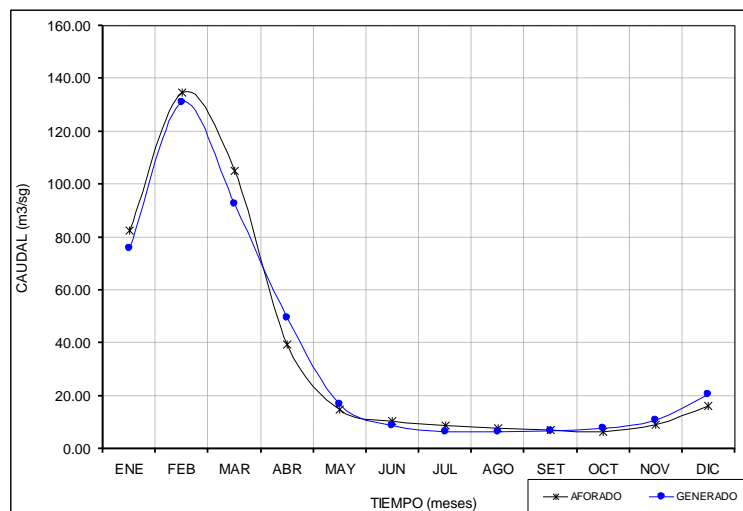


Figura N° 6.3
Variación Mensual de Caudales Generados y Aforados – Río Ilave

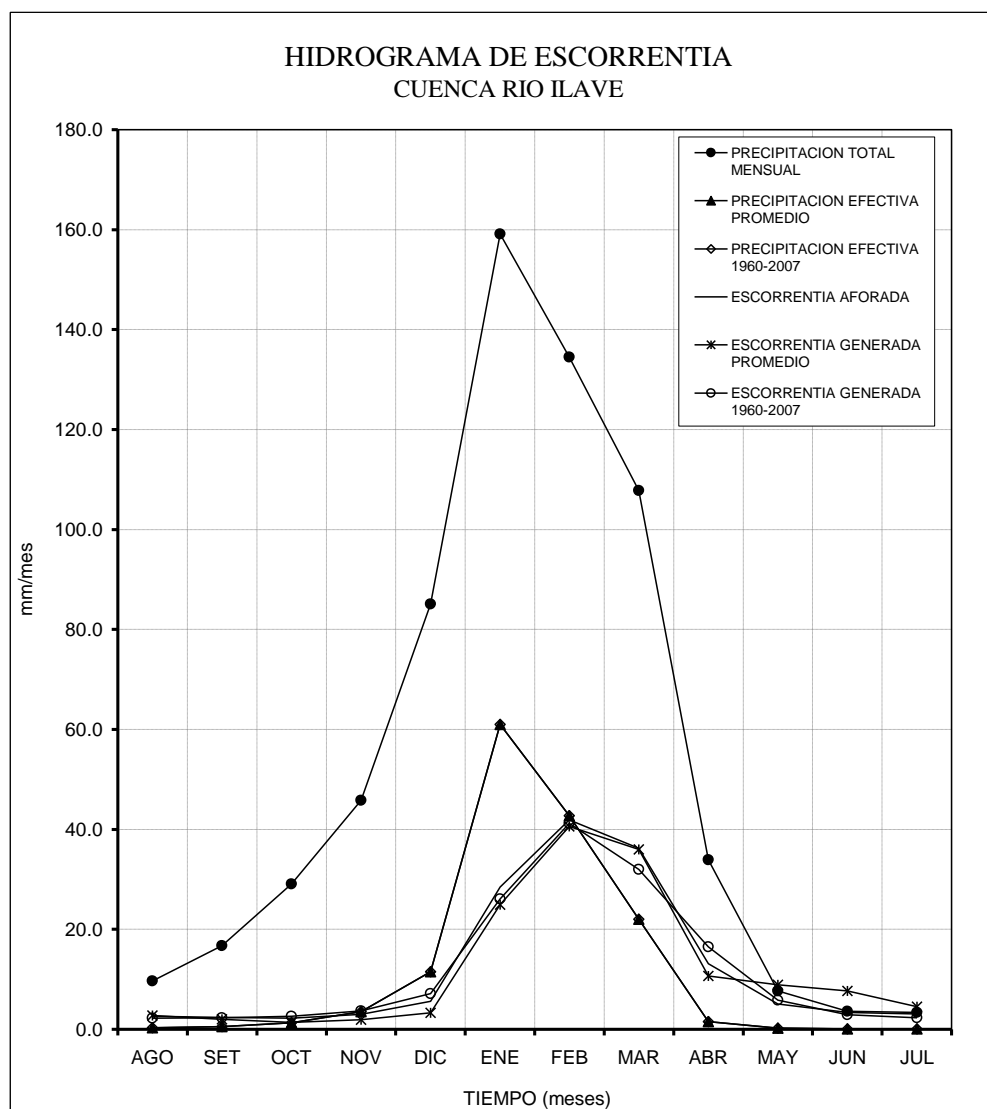


A continuación se muestra la comparación de hidrogramas de precipitación mensual, precipitación efectiva y escorrentías generadas y aforadas, con el fin conocer el comportamiento de los mismos.

Figura N° 6.4

Comparación entre precipitación mensual, precipitación efectiva y escorrentías CUENCA RIO ILAVE

VARIABLE	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL
PRECIPITACION TOTAL MENSUAL	9.70	16.70	29.10	45.80	85.10	159.10	134.50	107.80	33.90	7.70	3.60	3.40
PRECIPITACION EFECTIVA PROMEDIO	0.30	0.50	1.30	3.50	11.50	61.00	42.70	22.00	1.50	0.20	0.10	0.10
PRECIPITACION EFECTIVA 1960-2007	0.30	0.50	1.30	3.50	11.50	61.00	42.70	22.00	1.50	0.20	0.10	0.10
ESCORRENTIA AFORADA	2.60	2.40	2.20	3.00	5.60	28.50	41.90	36.20	13.10	5.10	3.40	3.10
ESCORRENTIA GENERADA PROMEDIO	2.80	2.00	1.40	1.90	3.30	24.90	40.60	36.00	10.70	8.90	7.70	4.50
ESCORRENTIA GENERADA 1960-2007	2.20	2.30	2.60	3.70	7.10	26.10	41.20	32.00	16.50	5.80	2.90	2.30



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 Ilave, 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", los resultados de este análisis se muestra en el cuadro A.

De los resultados mostrados en el Cuadro N° 6.2, se deduce que las medias son iguales estadísticamente en los 11 meses, excepto en el mes de Julio; las desviaciones estándar son iguales estadísticamente en los 08 meses, excepto en los meses de Abril, Setiembre y Octubre. Pero numéricamente no hay mucha diferencia, 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, concluyéndose que el Modelo reproduce la media y desviación estándar de la serie histórica, y el Modelo es bueno.

Cuadro N° 6.2

ANÁLISIS DE LA BONDAD DEL MODELO HIDROLOGICO DE LUTZ SCHOLZ CUENCA RIO ILAVE

MES	PARAMETROS ESTADISTICOS				ANALISIS ESTADISTICO					
	SERIE HISTORICA		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	82.61	73.29	75.66	59.26	0.5112	1.9855	SI	1.5295	1.6238	SI
Febrero	134.63	110.66	130.97	97.55	0.1718	1.9855	SI	1.2869	1.6238	SI
Marzo	105.11	76.17	92.72	69.25	0.8340	1.9855	SI	1.2099	1.6238	SI
Abril	39.37	27.20	49.49	37.45	-1.5152	1.9855	SI	1.8962	1.6238	NO
Mayo	14.83	7.60	16.79	9.68	-1.1009	1.9855	SI	1.6205	1.6238	SI
Junio	10.33	4.34	8.80	4.17	1.7644	1.9855	SI	1.0807	1.6238	SI
Julio	8.87	3.15	6.54	3.31	3.5261	1.9855	NO	1.1042	1.6238	SI
Agosto	7.63	3.10	6.27	3.74	1.9407	1.9855	SI	1.4537	1.6238	SI
Setiembre	7.07	3.01	6.86	3.99	0.2922	1.9855	SI	1.7558	1.6238	NO
Octubre	6.46	2.58	7.61	4.58	-1.5087	1.9855	SI	3.1421	1.6238	NO
Noviembre	9.11	7.94	10.94	9.24	-1.0420	1.9855	SI	1.3552	1.6238	SI
Diciembre	16.26	13.64	20.69	16.16	-1.4501	1.9855	SI	1.4029	1.6238	SI

Número de datos	F calculado:
$N_h = 48$	Probabilidad = 95%
$N_g = 48$	$\alpha = 0.05$
T calculado:	G.L.N. = $N_h - 1 = 47$
Probabilidad = 95%	G.L.D. = $N_g - 1 = 47$
$\alpha = 0.05$	G.L.N. = $N_g - 1 = 47$
G.L. = $N_h + N_g - 2 = 94$	G.L.D. = $N_h - 1 = 47$
	$S_h^2 > S_g^2$
	$S_h^2 < S_g^2$

6.3.2.2.- Calibración del Modelo en la subcuenca del río Chichillapi

El modelamiento y calibración del modelo hidrológico de Lutz Scholz desarrollado para el río Chichillapi, 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.

Cuadro N° 6.3

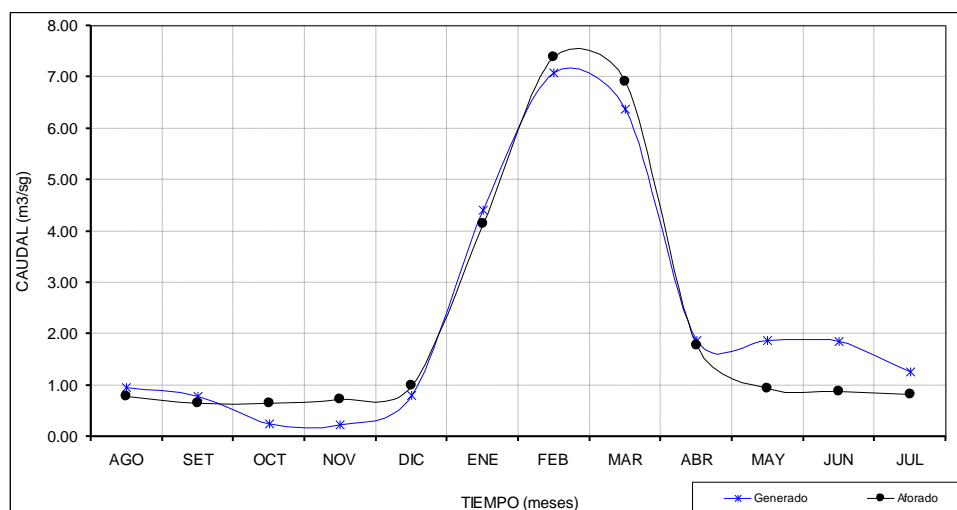
MODELO HIDROLOGICO DE LUTZ SCHOLZ**GENERACION DE CAUDALES MENSUALES PARA EL AÑO PROMEDIO
SUBCUENCA RIO CHICHILLAPI**

(Lugar: Liustacucho)

MES	PRECIPITACION MENSUAL					CONTRIBUCION A LA RETENCION				CAUDALES MENSUALES			
	TOTAL P (mm/mes)	EFECTIVA				GASTO		ABASTECIMIENTO		GENERADOS		AFORADOS	
		PE - I (mm/mes)	PE - II (mm/mes)	PE - III (mm/mes)	PE (mm/mes)	b ₁	G ₁ (mm/mes)	a ₁	A ₁ (mm/mes)	(mm/mes)	(m3/sg)	(m3/sg)	(mm/mes)
ENERO	130.60	20.70	46.20	71.40	51.40	0.000	0.00	0.870	34.90	16.50	4.42	4.14	15.50
FEBRERO	95.60	7.60	21.90	36.20	28.00	0.000	0.00	0.103	4.10	23.90	7.09	7.39	24.90
MARZO	78.10	4.10	13.80	23.30	11.80	0.000	0.00	-0.300	-12.00	23.80	6.38	6.90	25.80
ABRIL	18.00	0.00	1.90	4.00	0.80	0.731	12.30	0.156	6.30	6.80	1.88	1.77	6.40
MAYO	1.80	0.00	0.20	0.50	0.10	0.529	8.90	0.051	2.00	7.00	1.88	0.93	3.50
JUNIO	3.40	0.00	0.40	0.90	0.20	0.387	6.50	0.000	0.00	6.70	1.85	0.88	3.20
JULIO	0.90	0.00	0.10	0.20	0.00	0.280	4.70	0.000	0.00	4.70	1.26	0.82	3.10
AGOSTO	5.40	0.00	0.70	1.40	0.20	0.203	3.40	0.000	0.00	3.60	0.96	0.79	3.00
SEPTIEMBRE	6.40	0.00	0.80	1.60	0.30	0.148	2.50	0.000	0.00	2.80	0.78	0.66	2.40
OCTUBRE	20.40	0.00	2.20	4.40	1.10	0.107	1.80	0.050	2.00	0.90	0.24	0.64	2.40
NOVIEMBRE	27.30	0.10	2.80	5.60	1.60	0.000	0.00	0.020	0.80	0.80	0.22	0.72	2.60
DICIEMBRE	53.20	1.40	6.50	11.80	5.00	0.000	0.00	0.050	2.00	3.00	0.80	0.99	3.70
TOTAL	441.10	33.90	97.50	161.30	100.50	2.385	40.10	1.000	40.10	100.50	2.31	2.22	96.50

AREA DE LA CUENCA	RETENCION DE LA CUENCA	COEFICIENTE DE AGOTAMIENTO		
A = 717.53 Km ²	R = 40.10 mm/año	a = 0.01043	w = 0.0270	
PRECIPITACION EFECTIVA	COEFICIENTE DE ESCORENTIA	COEFICIENTES		COMPROBACION
PE = C ₁ * PE-I + C ₂ * PE-II	C = 0.219	C ₁ = 1.700	C ₂ = -0.700	C ₁ + C ₂ = 1.00 OK

Figura N° 6.5
Comparación entre Caudales Generados y Aforados – Río Chichillapi



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 Chichillapi, 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).	$b_1 = 1.63412 \text{ mm}$
- Factor de influencia del valor de Q_{t-1} .	$b_2 = 0.33709$
- Factor de influencia del valor de PE_t .	$b_3 = 0.25155$
- Factor de influencia del valor de PE_{t-1} .	$b_4 = 0.21624$
- Error estándar del estimado Q'_t .	$S = 3.22277 \text{ mm}$
- Coeficiente de determinación múltiple.	$R^2 = 0.85000$
- Coeficiente de correlación múltiple.	$R = 0.92195$
- Valor de Q_{t-1} para el inicio de la generación.	$Q_{t-1} = 3.00 \text{ mm}$
- Valor de PE_{t-1} para el inicio de la generación.	$PE_{t-1} = 1.60 \text{ mm}$
- Área de la cuenca.	$A = 717.53 \text{ Km}^2$

Ecuación de generación de descargas mensuales:

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 Chichillapi, son similares, tal como se muestran en el gráfico A.

La comparación de caudales promedios multimensuales generados con respecto a los caudales promedios multimensuales históricos del río Chichillapi, son similares, tal como se muestran en el gráfico B.

Figura N° 6.6
Caudales Medios Anuales Generados y Aforados - Río Chichillapi

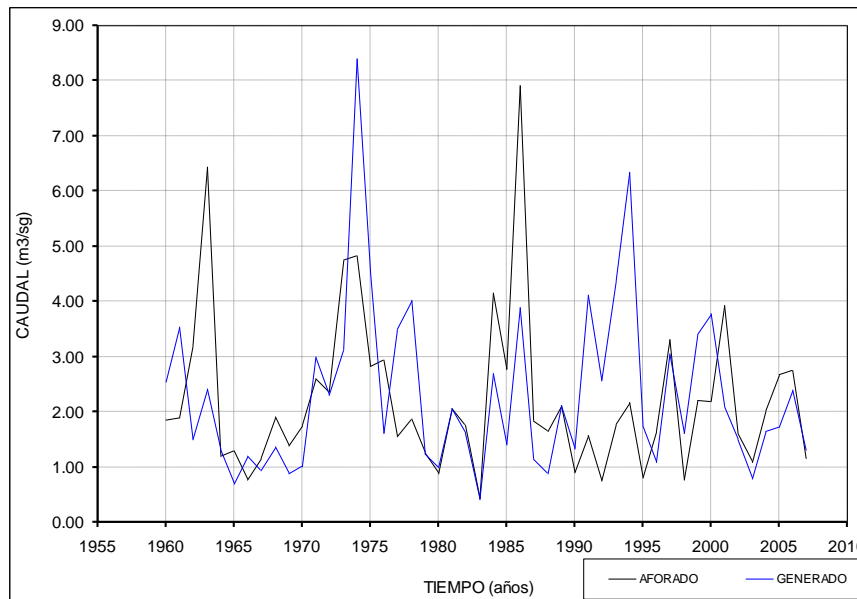
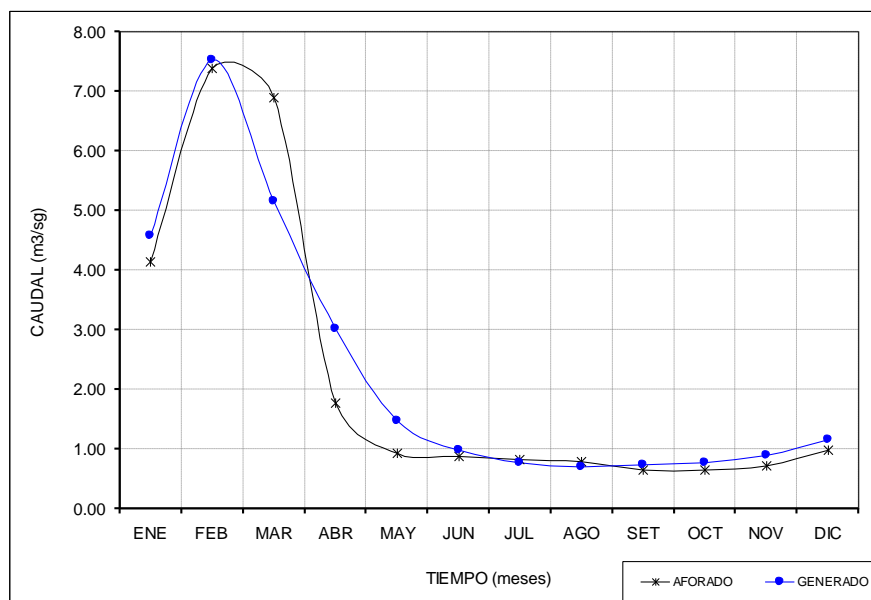


Figura N° 6.7
Variación Mensual de Caudales Generados y Aforados - Río Chichillapi

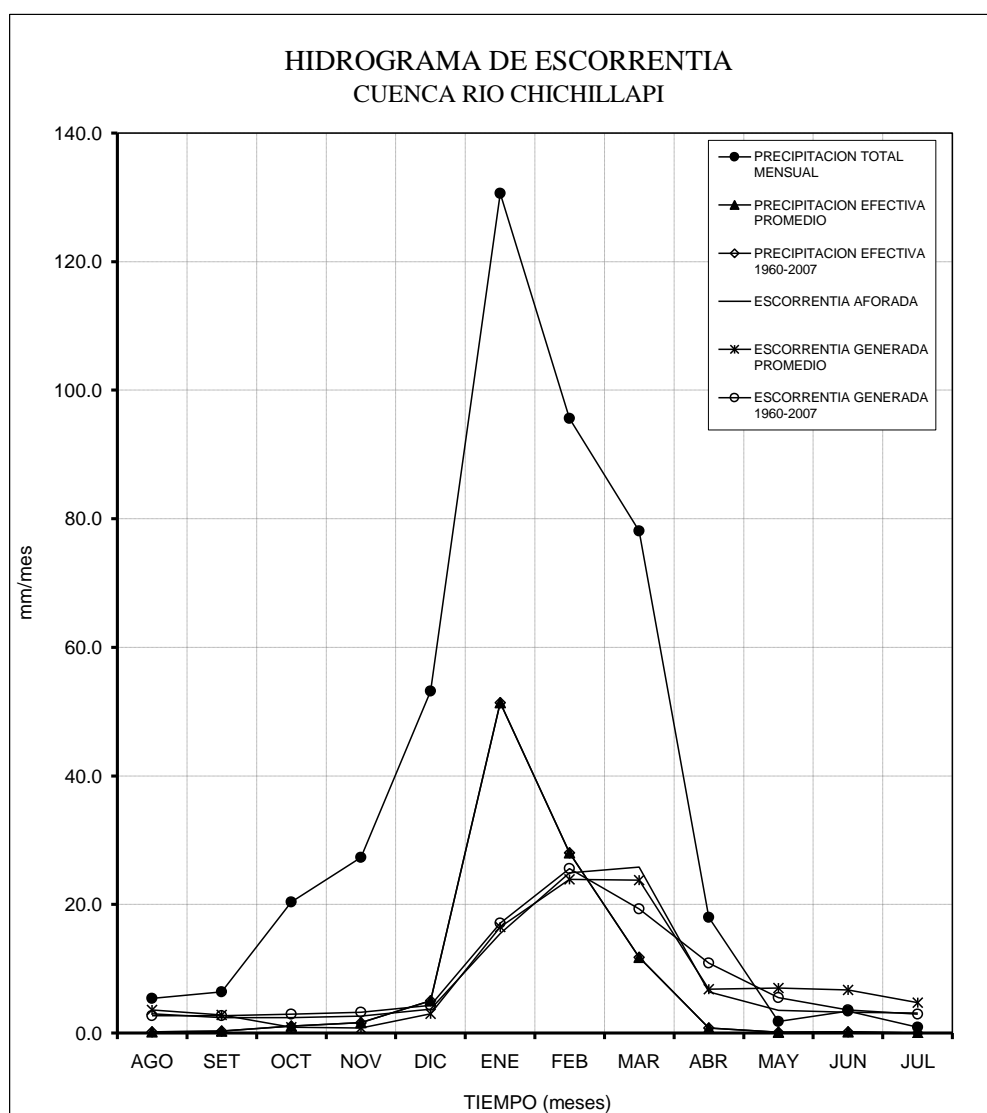


A continuación se muestra la comparación de hidrogramas de precipitación mensual, precipitación efectiva y escorrentías generadas y aforadas, con el fin conocer el comportamiento de los mismos.

Figura N° 6.8

Comparación entre precipitación mensual, precipitación efectiva y escorrentias SUBCUENCA RIO CHICHILLAPI

VARIABLE	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL
PRECIPITACION TOTAL MENSUAL	5.40	6.40	20.40	27.30	53.20	130.60	95.60	78.10	18.00	1.80	3.40	0.90
PRECIPITACION EFECTIVA PROMEDIO	0.20	0.30	1.10	1.60	5.00	51.40	28.00	11.80	0.80	0.10	0.20	0.00
PRECIPITACION EFECTIVA 1960-2007	0.20	0.30	1.10	1.60	5.00	51.40	28.00	11.80	0.80	0.10	0.20	0.00
ESCORRENTIA AFORADA	3.00	2.40	2.40	2.60	3.70	15.50	24.90	25.80	6.40	3.50	3.20	3.10
ESCORRENTIA GENERADA PROMEDIO	3.60	2.80	0.90	0.80	3.00	16.50	23.90	23.80	6.80	7.00	6.70	4.70
ESCORRENTIA GENERADA 1960-2007	2.70	2.70	2.90	3.20	4.30	17.10	25.60	19.30	10.90	5.50	3.60	2.90



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 Chichillapi, 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", los resultados de este análisis se muestra en el cuadro A.

De los resultados mostrados en el cuadro A, se deduce que las medias son iguales estadísticamente en los 10 meses, excepto en los meses de Abril y Mayo; las desviaciones estándar son iguales estadísticamente solo en 01 mes, excepto en el resto de los meses, pero numéricamente no muestra mucha diferencia entre los valores históricos y generados. Según los resultados se concluye que el Modelo si reproduce la media de la serie histórica, que es lo más importante.

Cuadro N° 6.4

ANALISIS DE LA BONDAD DEL MODELO HIDROLOGICO DE LUTZ SCHOLZ

SUBCUENCA RIO CHICHILLAPI

MES	PARAMETROS ESTADISTICOS				ANALISIS ESTADISTICO					
	SERIE HISTORICA		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	4.14	3.40	4.58	5.10	-0.4922	1.9855	SI	2.2445	1.6238	NO
Febrero	7.39	7.82	7.53	7.43	-0.0878	1.9855	SI	1.1067	1.6238	SI
Marzo	6.90	9.16	5.16	4.68	1.1738	1.9855	SI	3.8326	1.6238	NO
Abril	1.77	1.06	3.01	2.55	-3.1018	1.9855	NO	5.7671	1.6238	NO
Mayo	0.93	0.27	1.47	0.88	-4.0595	1.9855	NO	10.9066	1.6238	NO
Junio	0.88	0.19	0.98	0.52	-1.2662	1.9855	SI	7.1518	1.6238	NO
Julio	0.82	0.12	0.77	0.39	0.9191	1.9855	SI	10.4153	1.6238	NO
Agosto	0.79	0.18	0.71	0.38	1.3566	1.9855	SI	4.4814	1.6238	NO
Setiembre	0.66	0.14	0.74	0.43	-1.2998	1.9855	SI	9.5498	1.6238	NO
Octubre	0.64	0.23	0.77	0.49	-1.6258	1.9855	SI	4.3579	1.6238	NO
Noviembre	0.72	0.44	0.89	0.64	-1.4812	1.9855	SI	2.1325	1.6238	NO
Diciembre	0.99	0.38	1.16	1.19	-0.9699	1.9855	SI	9.9164	1.6238	NO

Número de datos		F calculado:	
$N_h =$	48	Probabilidad =	95%
$N_g =$	48	$\alpha =$	0.05
T calculado:		G.L.N. = $N_h - 1 =$	47
Probabilidad =	95%	G.L.D. = $N_g - 1 =$	47
$\alpha =$	0.05		$S_h^2 > S_g^2$
G.L. = $N_h + N_g - 2 =$	94	G.L.N. = $N_g - 1 =$	47
		G.L.D. = $N_h - 1 =$	47
			$S_h^2 < S_g^2$

6.3.3.- Generación de caudales medios mensuales en los puntos de interés

Para la generación de caudales medios mensuales en los puntos de interés, fue preciso utilizar. Las series de precipitación areal mensual que se muestran en el ítem 3.5, los parámetros físicos (área) de las subcuencas de interés, para generar las descargas medias empleando el modelo hidrológico de Lutz Scholz calibrados en los puntos de control hidrométrico de los ríos Ilave y Chichillapi.

Las subcuencas de interés es la siguiente:

Nº	Unidad Hidrográfica	Río Principal	Area (Km2)
1	Subcuenca Alto Ilave	Río Chichillapi	727.13
2	Subcuenca Llusta	Río Llusta Alta	525.25
3	Subcuenca Medio Alto Ilave (*)	Río Llusta Baja	2,122.28
4	Subcuenca Ayupalca	Río Ayupalca	369.21
5	Subcuenca Conduriri	Río Conduriri	606.15
6	Subcuenca Huenque (*)	Río Huenque	3,934.00
7	Subcuenca Alto Aguas Calientes	Río Malcomayo	527.13
8	Subcuenca Cutimbo	Río Cutimbo	279.26
9	Subcuenca Loripongo	Río Loripongo	624.59
10	Subcuenca Tunquipa	Río Tunquipa	247.90
11	Subcuenca Río Grande (*)	Río Grande	1,852.30
12	Subcuenca Uncallane	Río Uncallane	1,708.21
13	Subcuenca Aguas Calientes	Río Aguas Calientes	3,963.03

(*) Las áreas para estas subcuencas son acumuladas, al punto de interés.

Las áreas de drenaje de cada subcuenca son acumuladas al punto de generación de descargas. En el cuadro A, se presenta los caudales promedios mensuales generados.

Cuadro N° 6.5
Caudales Medios Mensuales Generados (m3/sg) – Cuencas de Interés

CUENCAS DE INTERES	MESES												PROM ANUAL
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
Cuenca Ilave (río Ilave) (*)	82.61	134.63	105.11	39.37	14.83	10.33	8.87	7.63	7.07	6.46	9.11	16.26	36.86
Llusta (río Llusta Alta)	4.45	6.81	4.38	2.27	1.02	0.70	0.58	0.56	0.58	0.62	0.87	1.21	2.00
Alto Ilave (río Chichillapi)	4.61	7.62	5.23	3.05	1.50	1.00	0.78	0.72	0.74	0.78	0.91	1.17	2.34
Medio Alto (río Llusta Baja)	15.37	31.37	18.54	7.60	2.85	2.68	2.58	2.57	2.71	2.76	3.42	4.46	8.08
Ayupalca (río Ayupalca)	2.94	6.12	4.73	2.80	0.90	0.46	0.34	0.34	0.37	0.40	0.55	0.97	1.74
Conduriri (río Conduriri)	4.70	10.16	7.75	4.62	1.35	0.79	0.67	0.68	0.77	0.82	1.10	1.79	2.93
Huenque (río Huenque)	25.66	53.34	40.03	24.21	9.46	5.48	4.17	3.97	4.26	4.46	5.87	8.84	15.81
Alto Aguas Calientes (río Malcomayo)	10.59	12.27	9.39	4.15	1.33	0.55	0.31	0.32	0.47	0.82	1.23	2.93	3.70
Cutimbo (río Cutimbo)	4.51	6.79	4.68	2.22	0.66	0.30	0.22	0.21	0.23	0.27	0.50	1.35	1.83
Loripongo (río Loripongo)	10.13	15.37	10.40	4.79	1.34	0.68	0.55	0.54	0.60	0.69	1.21	3.14	4.12
Tunquipa (río Tunquipa)	4.00	6.04	4.17	1.99	0.59	0.27	0.19	0.18	0.20	0.24	0.44	1.20	1.63
Río Grande (río Grande)	29.81	42.23	29.14	13.94	4.37	2.02	1.39	1.28	1.43	1.75	2.93	7.73	11.50
Uncallane (río Uncallane)	24.07	37.31	25.79	12.82	3.96	2.03	1.57	1.56	1.77	2.05	3.25	7.44	10.30
Aguas Calientes (río Aguas Calientes)	59.24	85.23	57.87	27.92	8.45	4.48	3.57	3.58	4.14	4.95	7.83	17.84	23.76

(*) Son descargas históricas.

CAPITULO 7

DETERMINACION DE LA DISPONIBILIDAD HIDRICA

7.1.- GENERALIDADES

En el presente capítulo se presenta la determinación de la disponibilidad hídrica con fines de realizar el balance hídrico a nivel de subcuencas de interés donde existe requerimientos o demandas hídricas localizadas dentro del ámbito de la Cuenca Ilave.

Las necesidades hídricas geográficamente se localizan en la cuenca del río Ilave. Por consiguiente, el presente capítulo trata de la disponibilidad hídrica en el ámbito de las subcuencas en forma independiente.

7.2.- DISPONIBILIDAD HIDRICA EN LA CUENCA DEL RIO ILAVE

La cuenca del río Ilave ocupa una superficie de 7,771.50 Km² (Punto de Aforo - Puente Ilave). En la esta cuenca se ubican las mayores áreas potenciales de riego, por consiguiente existen grandes demandas hídricas (riego en pastos naturales). Esta cuenca presenta grandes bondades hídricas, en la subcuenca del río Huenque, donde aloja importantes reservas hídricas naturales.

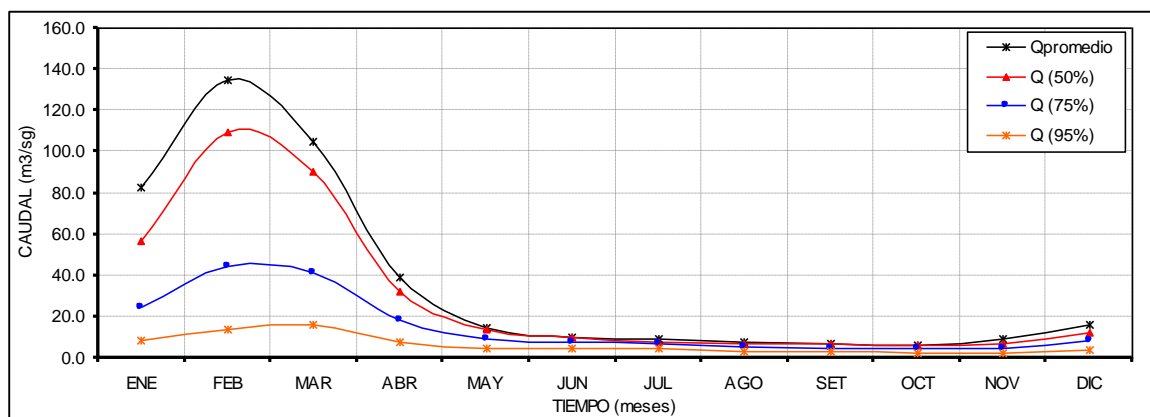
La cuenca del río Ilave, recibe en mayor cantidad del recurso hídrico en tiempo de avenida por la subcuenca del río Aguas Calientes, en esta zona las precipitaciones son altas y menor almacenamiento de agua en la cuenca y en épocas de estiaje por la subcuenca del río Huenque, donde las precipitaciones son bajas y mayor almacenamiento de agua en la cuenca(Bofedales).

La disponibilidad hídrica de la cuenca del río Ilave, se muestran a continuación en el siguiente cuadro y gráfico: promedio mensual de las descargas, al 50%, 75% y 95% de probabilidad de persistencia.

Cuadro N° 7.1
Caudales Medios Mensuales (m³/sg) - Cuenca Ilave
Lugar: Puente Ilave - Control Hidrométrico

CAUDAL	MESES												PROM ANUAL
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
Qpromedio	82.61	134.63	105.11	39.37	14.83	10.33	8.87	7.63	7.07	6.46	9.11	16.26	36.86
Q (50%)	56.58	109.77	90.17	32.39	13.66	9.90	7.72	7.06	6.52	6.50	6.81	12.49	29.96
Q (75%)	24.17	44.18	41.06	18.50	9.42	7.66	6.86	5.56	4.96	4.57	4.61	8.26	14.98
Q (95%)	8.80	14.11	15.80	7.49	4.42	4.37	4.29	3.36	3.19	2.58	2.08	4.14	6.22

Figura N° 7.1
Variación Mensual de Caudales Medios – Río Ilave



7.3.- DISPONIBILIDAD HIDRICA EN LAS SUBCUENCAS

La disponibilidad hídrica para las subcuencas de la cuenca del río Ilave, se ha obtenido a partir de las descargas medias mensuales generadas para cada subcuenca, a partir de la precipitación mediante un modelo hidrológico de precipitación – escorrentía.

La superficie que ocupa cada una de las subcuencas en la cuenca del río Ilave, es la siguiente:

N°	Unidad Hidrográfica	Río Principal	Area (Km2)
1	Subcuenca Alto Ilave	Río Chichillapi	727.13
2	Subcuenca Llusta	Río Llusta Alta	525.25
3	Subcuenca Medio Alto Ilave	Río Llusta Baja	2,122.28
4	Subcuenca Ayupalca	Río Ayupalca	369.21
5	Subcuenca Conduriri	Río Conduriri	606.15
6	Subcuenca Huenque	Río Huenque	3,934.00
7	Subcuenca Alto Aguas Calientes	Río Malcomayo	527.13
8	Subcuenca Cutimbo	Río Cutimbo	279.26
9	Subcuenca Loripongo	Río Loripongo	624.59
10	Subcuenca Tunquipa	Río Tunquipa	247.90
11	Subcuenca Río Grande	Río Grande	1,852.30
12	Subcuenca Uncallane	Río Uncallane	1,708.21
13	Subcuenca Aguas Calientes	Río Aguas Calientes	3,963.03

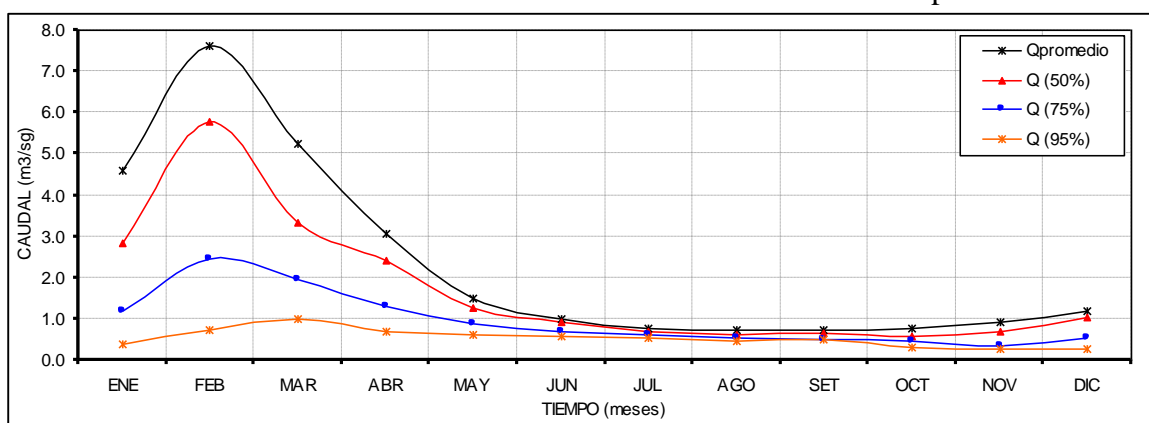
Las subcuencas 1 a 6, aportan menor cantidad de agua que las subcuencas 7 a 13 en épocas de lluvia, y al revés en épocas de estiaje, ello debido por la menor precipitación y mayor almacenamiento de agua en la zona sur de la cuenca del río Ilave, y altas precipitaciones y menor almacenamiento de agua en la zona norte de la cuenca Ilave.

La disponibilidad hídrica de las subcuencas de la cuenca del río Ilave, se muestran a continuación en los siguientes cuadros y gráficos: promedio mensual de las descargas, al 50%, 75% y 95% de probabilidad de persistencia.

Cuadro N° 7.2
Caudales Medios Mensuales (m³/sg) - Subcuenca Alto Ilave
Río Chichillapi

CAUDAL	MESES												PROM ANUAL
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
Qpromedio	4.61	7.62	5.23	3.05	1.50	1.00	0.78	0.72	0.74	0.78	0.91	1.17	2.34
Q (50%)	2.85	5.79	3.32	2.40	1.27	0.90	0.68	0.60	0.64	0.59	0.70	1.05	1.73
Q (75%)	1.18	2.43	1.94	1.31	0.88	0.70	0.60	0.52	0.50	0.46	0.35	0.53	0.95
Q (95%)	0.38	0.71	0.99	0.68	0.60	0.57	0.53	0.46	0.48	0.30	0.26	0.28	0.52

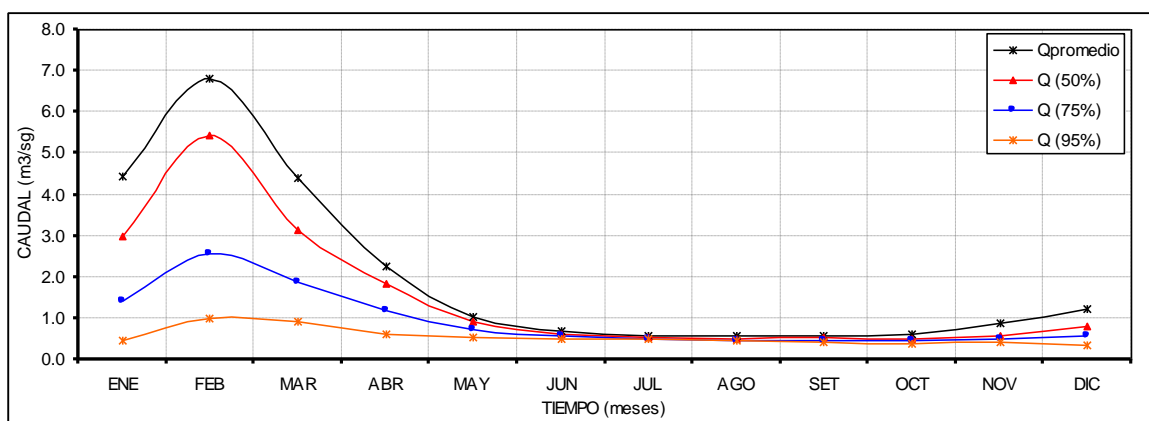
Figura N° 7.2
Variación Mensual de Caudales Medios – Río Chichillapi



Cuadro N° 7.3
Caudales Medios Mensuales (m³/sg) - Subcuenca Llusta
Río Llusta Alta

CAUDAL	MESES												PROM ANUAL
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
Qpromedio	4.45	6.81	4.38	2.27	1.02	0.70	0.58	0.56	0.58	0.62	0.87	1.21	2.00
Q (50%)	2.98	5.45	3.13	1.85	0.92	0.63	0.53	0.49	0.53	0.51	0.59	0.79	1.53
Q (75%)	1.42	2.57	1.89	1.19	0.73	0.57	0.51	0.47	0.45	0.47	0.50	0.57	0.94
Q (95%)	0.46	1.01	0.94	0.61	0.55	0.51	0.49	0.46	0.41	0.39	0.42	0.34	0.55

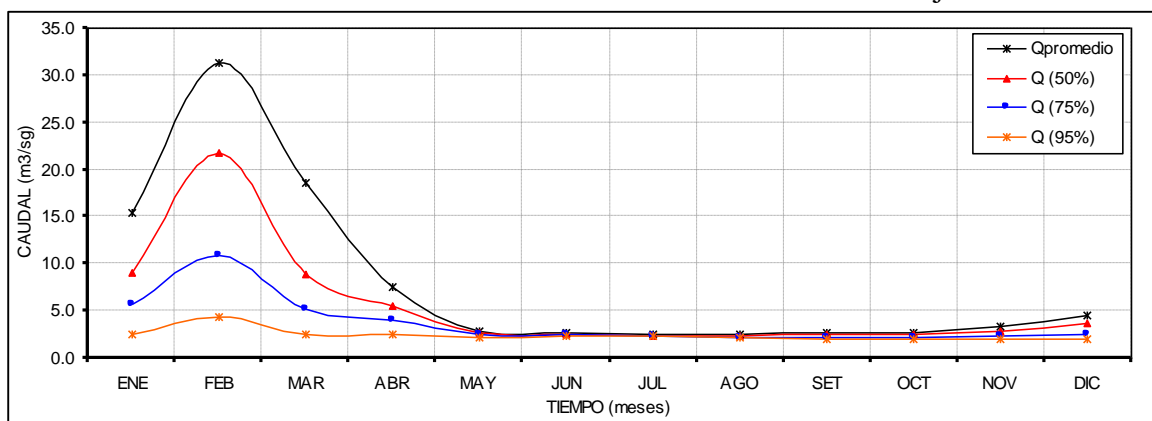
Figura N° 7.3
Variación Mensual de Caudales Medios – Río Llusta Alta



Cuadro N° 7.4
Caudales Medios Mensuales (m³/sg) - Subcuenca Medio Alto Ilave
Río Llusta Baja

CAUDAL	MESES												PROM ANUAL
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
Qpromedio	15.37	31.37	18.54	7.60	2.85	2.68	2.58	2.57	2.71	2.76	3.42	4.46	8.08
Q (50%)	9.03	21.76	8.88	5.49	2.61	2.46	2.30	2.30	2.46	2.54	2.87	3.61	5.52
Q (75%)	5.65	10.93	5.27	3.99	2.46	2.46	2.30	2.22	2.21	2.16	2.29	2.58	3.71
Q (95%)	2.50	4.41	2.51	2.53	2.22	2.37	2.30	2.22	2.09	1.98	2.05	1.94	2.43

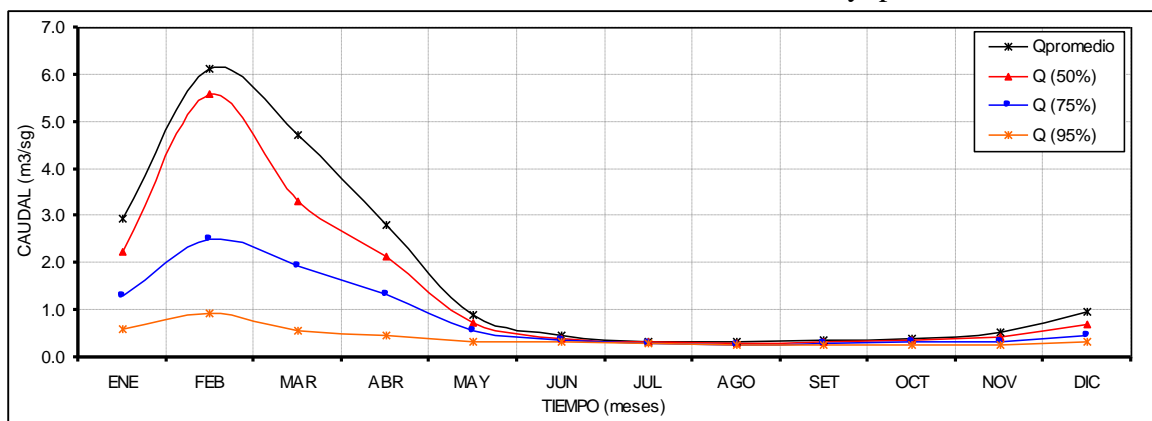
Figura N° 7.4
Variación Mensual de Caudales Medios – Río Llusta Baja



Cuadro N° 7.5
Caudales Medios Mensuales (m³/sg) - Subcuenca Ayupalca
Río Ayupalca

CAUDAL	MESES												PROM ANUAL
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
Qpromedio	2.94	6.12	4.73	2.80	0.90	0.46	0.34	0.34	0.37	0.40	0.55	0.97	1.74
Q (50%)	2.26	5.59	3.33	2.16	0.74	0.41	0.32	0.30	0.33	0.36	0.43	0.72	1.41
Q (75%)	1.30	2.52	1.94	1.35	0.57	0.37	0.30	0.28	0.30	0.32	0.34	0.47	0.84
Q (95%)	0.60	0.93	0.56	0.46	0.34	0.33	0.29	0.28	0.26	0.26	0.28	0.33	0.41

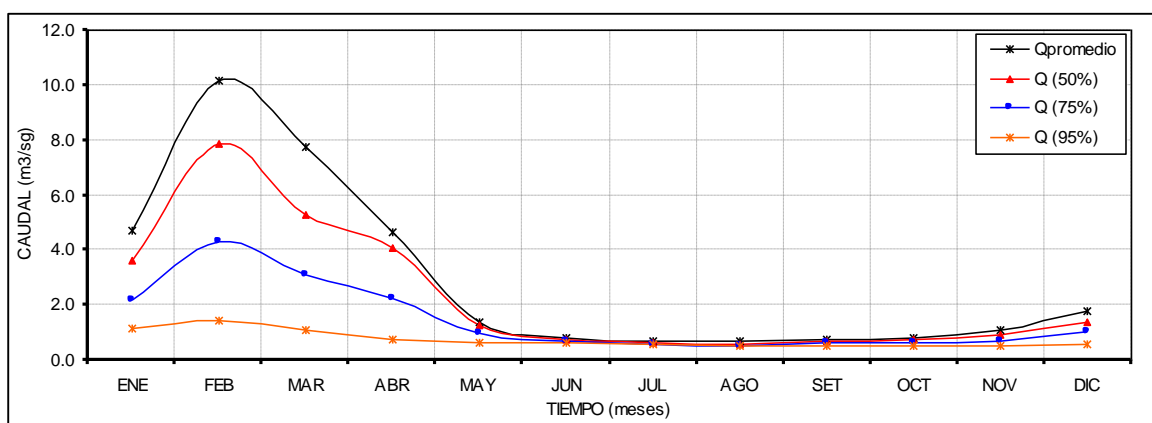
Figura N° 7.5
Variación Mensual de Caudales Medios – Río Ayupalca



Cuadro N° 7.6
Caudales Medios Mensuales (m³/sg) - Subcuenca Conduriri
Río Conduriri

CAUDAL	MESES												PROM ANUAL
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
Qpromedio	4.70	10.16	7.75	4.62	1.35	0.79	0.67	0.68	0.77	0.82	1.10	1.79	2.93
Q (50%)	3.65	7.89	5.29	4.10	1.26	0.72	0.61	0.60	0.69	0.72	0.89	1.38	2.32
Q (75%)	2.17	4.28	3.11	2.24	0.95	0.68	0.59	0.54	0.61	0.62	0.67	1.02	1.46
Q (95%)	1.13	1.42	1.06	0.72	0.63	0.63	0.57	0.54	0.51	0.52	0.54	0.58	0.74

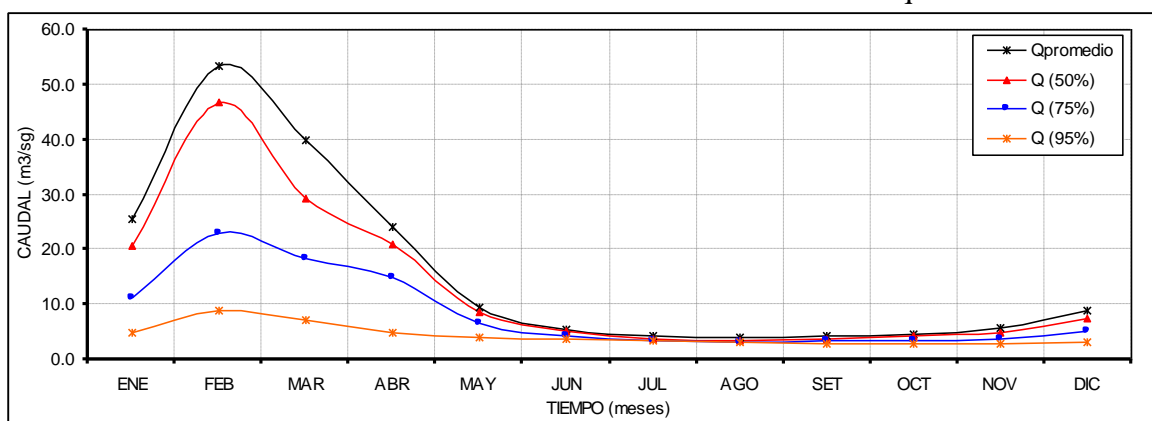
Figura N° 7.6
Variación Mensual de Caudales Medios – Río Conduriri



Cuadro N° 7.7
Caudales Medios Mensuales (m³/sg) - Subcuenca Huenque
Río Huenque

CAUDAL	MESES												PROM ANUAL
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
Qpromedio	25.66	53.34	40.03	24.21	9.46	5.48	4.17	3.97	4.26	4.46	5.87	8.84	15.81
Q (50%)	20.57	46.70	29.16	20.87	8.67	5.16	3.67	3.53	3.79	4.19	4.94	7.42	13.22
Q (75%)	11.13	22.89	18.44	14.91	6.50	4.40	3.53	3.23	3.38	3.53	3.68	5.03	8.39
Q (95%)	4.88	8.83	7.17	4.91	3.89	3.79	3.38	3.08	2.80	2.79	2.95	3.30	4.31

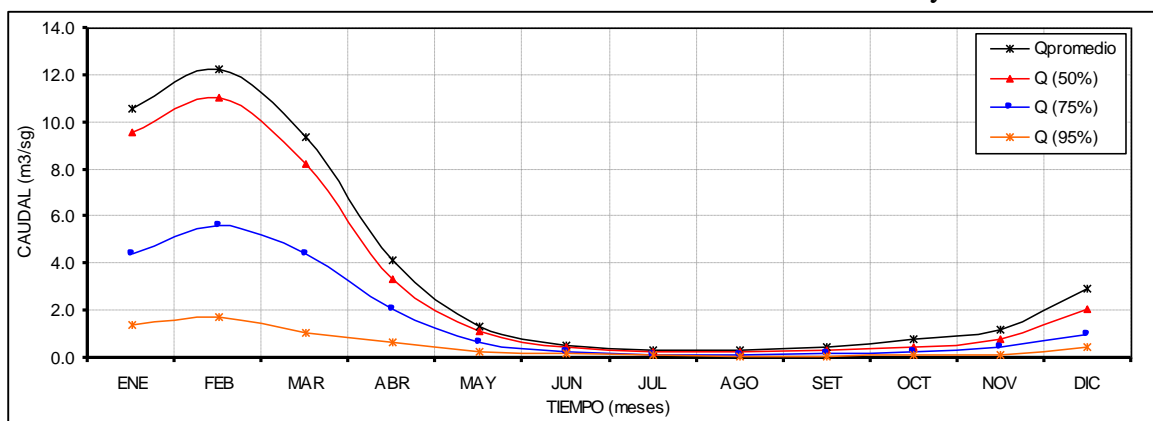
Figura N° 7.7
Variación Mensual de Caudales Medios – Río Huenque



Cuadro N° 7.8
Caudales Medios Mensuales (m³/sg) - Subcuenca Alto Aguas Calientes
Río Malcomayo

CAUDAL	MESES												PROM ANUAL
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
Qpromedio	10.59	12.27	9.39	4.15	1.33	0.55	0.31	0.32	0.47	0.82	1.23	2.93	3.70
Q (50%)	9.58	11.08	8.22	3.36	1.14	0.46	0.25	0.25	0.36	0.47	0.82	2.06	3.17
Q (75%)	4.39	5.60	4.45	2.06	0.65	0.29	0.16	0.11	0.22	0.29	0.48	1.03	1.64
Q (95%)	1.39	1.74	1.06	0.66	0.28	0.18	0.14	0.04	0.04	0.15	0.14	0.46	0.52

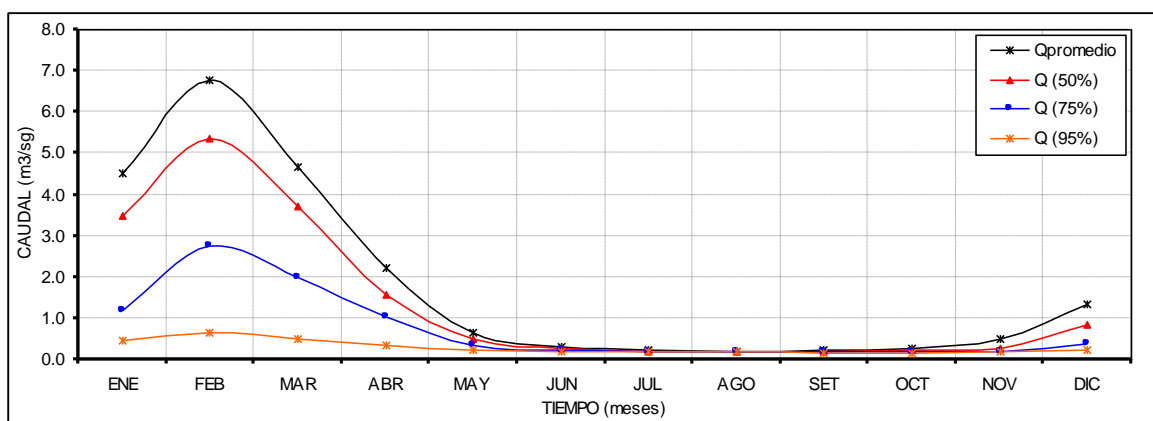
Figura N° 7.8
Variación Mensual de Caudales Medios – Río Malcomayo



Cuadro N° 7.9
Caudales Medios Mensuales (m³/sg) - Subcuenca Cutimbo
Río Cutimbo

CAUDAL	MESES												PROM ANUAL
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
Qpromedio	4.51	6.79	4.68	2.22	0.66	0.30	0.22	0.21	0.23	0.27	0.50	1.35	1.83
Q (50%)	3.48	5.38	3.71	1.58	0.51	0.27	0.21	0.19	0.19	0.23	0.29	0.83	1.40
Q (75%)	1.20	2.76	1.99	1.03	0.36	0.24	0.20	0.19	0.19	0.19	0.21	0.40	0.75
Q (95%)	0.46	0.65	0.51	0.36	0.23	0.20	0.19	0.18	0.17	0.17	0.17	0.22	0.29

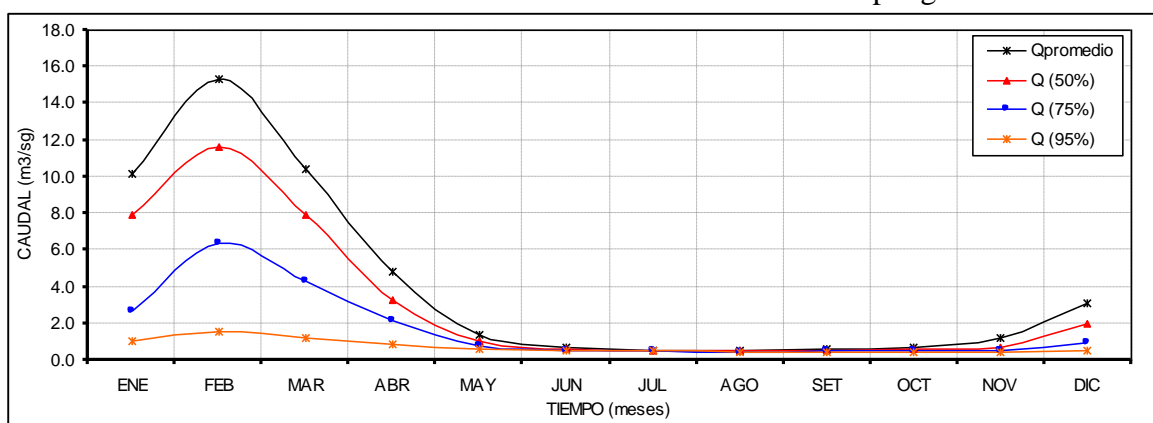
Figura N° 7.9
Variación Mensual de Caudales Medios – Río Cutimbo



Cuadro N° 7.10
Caudales Medios Mensuales (m³/sg) - Subcuenca Loripongo
Río Loripongo

CAUDAL	MESES												PROM ANUAL
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
Qpromedio	10.13	15.37	10.40	4.79	1.34	0.68	0.55	0.54	0.60	0.69	1.21	3.14	4.12
Q (50%)	7.93	11.63	7.90	3.27	1.06	0.60	0.51	0.49	0.53	0.60	0.72	1.97	3.10
Q (75%)	2.63	6.36	4.30	2.13	0.79	0.55	0.49	0.47	0.49	0.49	0.54	0.96	1.68
Q (95%)	1.07	1.52	1.17	0.87	0.56	0.52	0.49	0.47	0.46	0.44	0.46	0.52	0.71

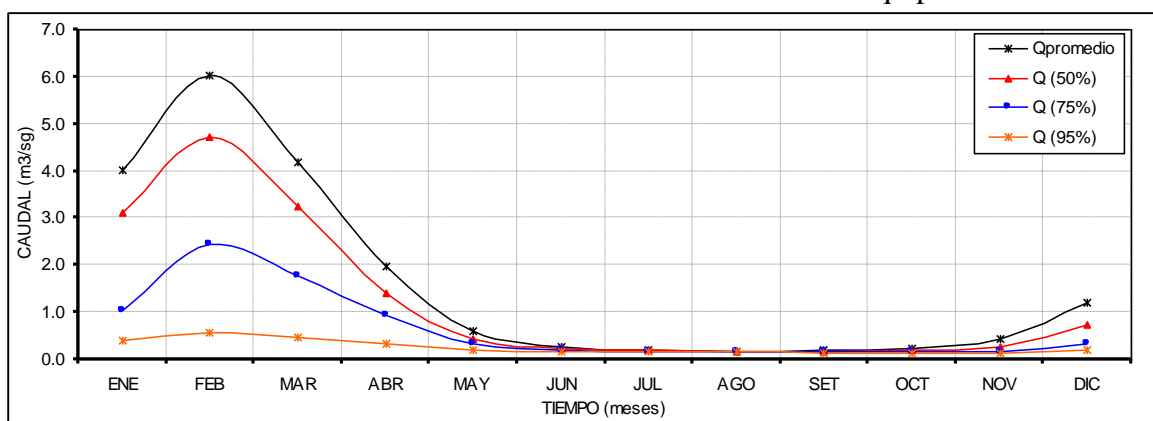
Figura N° 7.10
Variación Mensual de Caudales Medios – Río Loripongo



Cuadro N° 7.11
Caudales Medios Mensuales (m³/sg) - Subcuenca Tunquipa
Río Tunquipa

CAUDAL	MESES												PROM ANUAL
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
Qpromedio	4.00	6.04	4.17	1.99	0.59	0.27	0.19	0.18	0.20	0.24	0.44	1.20	1.63
Q (50%)	3.10	4.72	3.26	1.41	0.45	0.24	0.19	0.17	0.17	0.20	0.26	0.74	1.24
Q (75%)	1.06	2.45	1.78	0.93	0.33	0.20	0.18	0.16	0.16	0.16	0.18	0.35	0.66
Q (95%)	0.41	0.57	0.46	0.33	0.20	0.18	0.17	0.16	0.15	0.15	0.15	0.19	0.26

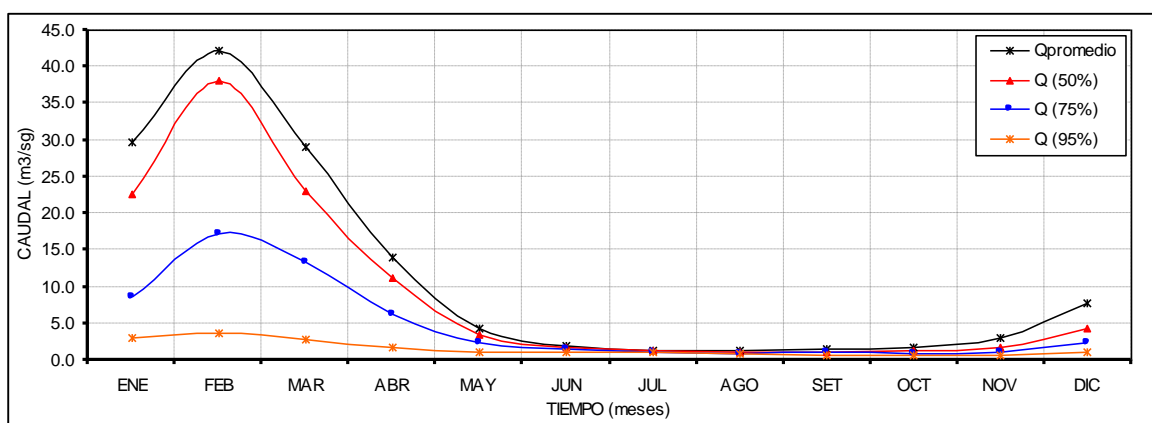
Figura N° 7.11
Variación Mensual de Caudales Medios – Río Tunquipa



Cuadro N° 7.12
Caudales Medios Mensuales (m³/sg) - Subcuenca Río Grande
Río Grande

CAUDAL	MESES												PROM ANUAL
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
Qpromedio	29.81	42.23	29.14	13.94	4.37	2.02	1.39	1.28	1.43	1.75	2.93	7.73	11.50
Q (50%)	22.65	38.02	23.00	11.22	3.46	1.76	1.24	1.11	1.14	1.35	1.79	4.36	9.26
Q (75%)	8.71	17.21	13.35	6.16	2.26	1.43	1.04	0.90	1.00	0.90	1.04	2.28	4.69
Q (95%)	2.96	3.76	2.89	1.79	1.14	1.10	1.00	0.83	0.75	0.72	0.71	0.99	1.55

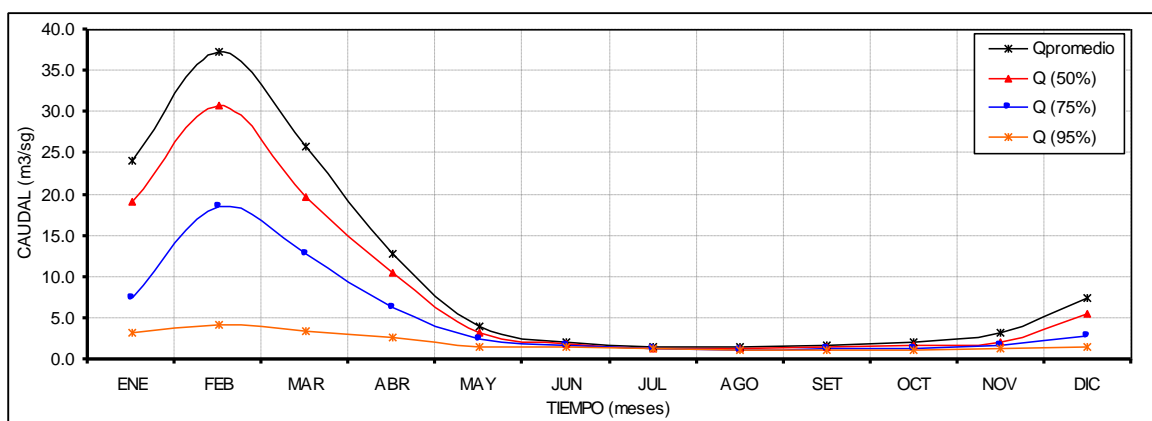
Figura N° 7.12
Variación Mensual de Caudales Medios – Río Grande



Cuadro N° 7.13
Caudales Medios Mensuales (m³/sg) - Subcuenca Uncallane
Río Uncallane

CAUDAL	MESES												PROM ANUAL
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
Qpromedio	24.07	37.31	25.79	12.82	3.96	2.03	1.57	1.56	1.77	2.05	3.25	7.44	10.30
Q (50%)	19.14	30.83	19.74	10.45	3.29	1.85	1.44	1.40	1.55	1.76	2.18	5.49	8.26
Q (75%)	7.48	18.58	12.80	6.33	2.44	1.65	1.34	1.23	1.38	1.40	1.65	2.96	4.94
Q (95%)	3.32	4.30	3.54	2.64	1.62	1.45	1.28	1.21	1.15	1.11	1.28	1.62	2.04

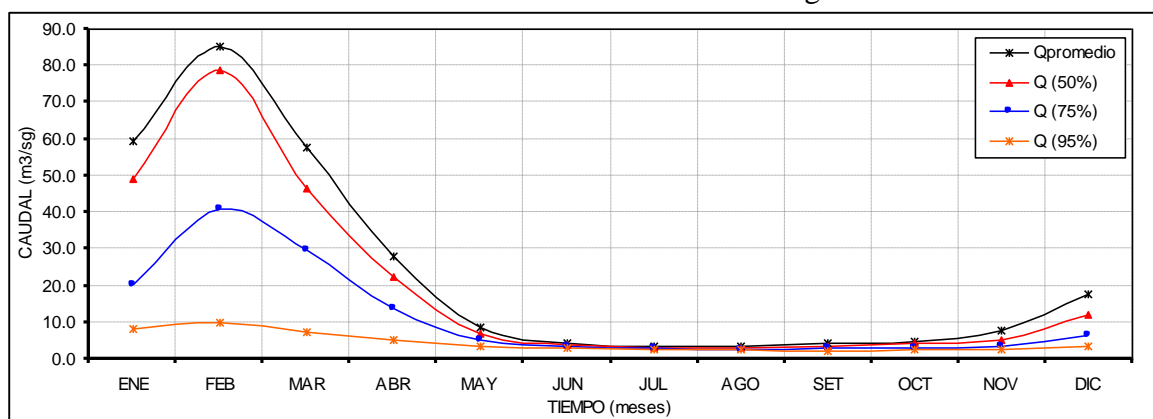
Figura N° 7.13
Variación Mensual de Caudales Medios – Río Uncallane



Cuadro N° 7.14
Caudales Medios Mensuales (m³/sg) - Subcuenca Aguas Calientes
Río Aguas Calientes

CAUDAL	MESES												PROM ANUAL
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
Qpromedio	59.24	85.23	57.87	27.92	8.45	4.48	3.57	3.58	4.14	4.95	7.83	17.84	23.76
Q (50%)	49.23	78.77	46.33	22.37	7.11	3.85	3.17	3.17	3.56	4.14	5.20	12.20	19.92
Q (75%)	20.34	40.76	29.65	13.68	5.00	3.42	2.90	2.62	2.99	2.93	3.49	6.52	11.19
Q (95%)	8.11	9.96	7.49	5.33	3.37	3.13	2.76	2.48	2.34	2.40	2.55	3.43	4.45

Figura N° 7.14
Variación Mensual de Caudales Medios – Río Aguas Calientes



7.4.- DISPONIBILIDAD HIDRICA DE LOS EMBALSES FUTUROS

En el ámbito de la cuenca del río Ilave, se encuentran proyectadas 02 embalses de represamiento de las aguas, en la subcuenca Uncallane (Presa San Fernando en el río Blanco) y en la subcuenca Loripongo (Presa Morocollo en el río del mismo nombre), información obtenida del Proyecto Especial Binacional Lago Titicaca - PELT. Las características hidráulicas de los embalses anteriormente mencionados es la siguiente:

Embalse San Fernando:

- Volumen total de embalse (VT)	=	60.00 MMC
- Volumen útil de embalse (VU)	=	50.00 MMC
- Volumen muerto (VM)	=	10.00 MMC
- Nivel de aguas mínimo (NAMI)	=	4072.00 msnm
- Nivel de aguas máximo ordinario (NAMO)	=	4088.00 msnm
- Nivel de aguas máximo extraordinario (NAME)	=	4089.80 msnm
- Cota de corona de la presa	=	4091.00 msnm
- Cota del cauce del río	=	4056.00 msnm

Fuente: PELT: Estudio de Perfil del Proyecto "Construcción y Ampliación del Sistema de Irrigación Integral Acora Totorani", 2008.

Embalse Morocollo

- Volumen total de embalse (VT)	=	20.00 MMC
- Volumen útil de embalse (VU)	=	17.00 MMC
- Volumen muerto (VM)	=	1.50 MMC
- Volumen de reserva para pérdidas por evaporación e infiltración (VR)	=	1.50 MMC
- Nivel de aguas mínimo (NAMI)	=	4040.13 msnm
- Nivel de aguas máximo ordinario (NAMO)	=	4064.85 msnm
- Nivel de aguas máximo extraordinario (NAME)	=	4065.90 msnm
- Cota de corona de la presa	=	4067.00 msnm
- Cota del cauce del río	=	4027.00 msnm

Fuente: PELT: Estudio Hidrológico de la Subcuenca del río Morocollo, 2008.

Con los volúmenes útiles de ambos embalses en proyección, se ha realizado la asignación de caudales de acuerdo el periodo de uso de las demandas futuras de agua (Capítulo 8, ítem 8.3) proyectadas en cada embalse, se ha distribuido a nivel mensual para las subcuencas correspondientes.

La disponibilidad hídrica con regulación de los dos embalses en proyección, se ha obtenido mediante la distribución siguiente: Para las subcuencas Lorigongo y río Grande con el volumen disponible del embalse Morocollo, igualmente para la subcuenca Uncallane con el volumen disponible del embalse San Fernando, y para la subcuenca Aguas Calientes y la Cuenca del río Ilave, con ambos embalses en proyección.

Los cuadros de distribución de volúmenes de agua por subcuencas, se muestra en el Anexo 1 – Volumen II, y los resultados de la disponibilidad hídrica al 75% de probabilidad de persistencia con regulación, se muestran en el siguiente cuadro.

Cuadro N° 7.15
Caudales Medios Mensuales (MMC) - Cuencas de Interés
(75% Probabilidad de Persistencia) - Con Regulación

CUENCA Y SUBCUENCAS	MESES												PROM ANUAL
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
Lorigongo (río Lorigongo)	4.01	8.76	6.56	3.14	2.52	2.43	2.81	3.36	3.67	4.41	4.90	5.57	4.35
Río Grande (río Grande)	19.93	35.56	30.55	13.64	6.45	4.71	4.29	4.51	4.99	5.51	6.20	9.11	12.12
Uncallane (río Uncallane)	11.37	21.52	19.46	13.31	10.04	7.28	9.09	7.79	8.58	14.25	14.28	15.93	12.74
Aguas Calientes (río Aguas Calientes)	40.86	73.95	59.55	26.60	16.89	11.86	13.27	11.52	12.75	18.35	19.05	25.46	27.51
Cuenca Ilave	51.58	85.15	87.62	38.20	28.73	22.85	23.87	19.39	17.86	22.74	21.95	30.12	37.51

CAPITULO 8

DEMANDAS DE AGUA

8.1.- GENERALIDADES

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.

Para la determinación de las demandas de agua para los cultivos, es necesario conocer la cédula de cultivos de acuerdo de la zona, periodo de vegetación, coeficiente de cultivo, evapotranspiración potencial, precipitación efectiva, eficiencia de riego, evapotranspiración del cultivo, las áreas de cultivo y otros necesarios; cuando se trata de un nuevo proyecto.

En cuanto las demandas hídricas, se debe obtener la información de usos actuales, proyectados y/o futuros. Los usos de agua pueden ser, de riego, poblacional, industrial, piscicultura, entre otras.

La determinación del uso y demanda actual del agua en la cuenca del río Ilave tiene como principal objetivo la determinación del balance hídrico con énfasis en el consumo de agua con fines agrícolas y poblacionales en el ámbito de la cuenca señalada.

Es necesario precisar que en la cuenca Ilave se distingue varios tipos de uso o consumo de agua superficial; siendo en orden de prioridad, por la magnitud de volumen consumido: Demanda agrícola, poblacional, pecuario y piscicultura.

El consumo agrícola es el de mayor significación no sólo por ser notablemente superior respecto a los otros, sino también por su importancia socio-económica.

En el presente estudio, la determinación de las demandas hídricas para el desarrollo del balance hídrico de la cuenca Ilave, se ha dividido en dos partes, tales como demandas actuales de agua y demandas futuras de agua, que a continuación se describe en forma breve cada uno de ellos.

8.2.- DEMANDAS ACTUALES DE AGUA

Las demandas de usos actuales de agua en el ámbito de la cuenca del río Ilave, son específicamente uso de agua en bofedales, pastos naturales y uso poblacional. Esta información se ha obtenido de la Administración Técnica del Distrito de Riego (ATDR) Puno – Ilave, dicha información se adjunta en el Anexo 1 – Volumen II.

El cultivo principal del uso actual de agua, es generalmente los Pastos Naturales, Bofedales y Alfalfa en menor porcentaje.

Las demandas mensuales de usos actuales de agua en la cuenca del río Ilave, según la información recopilada, se aprecia que las demandas hídricas generalmente se utilizan en los meses de Junio a Diciembre.

Los caudales de los usos actuales de agua en bofedales fueron convertidos a caudal de consumo real multiplicando por un coeficiente de 0.40, el cual significa que una hectárea de bofedales consumiría 0.40 lt/sg/ha (información obtenida del campo, Fuente: Balance hídrico preliminar de la cuenca Ilave – ALT 2006).

Con la información recopilada se ha establecido a nivel de subcuencas acumulando los usos de agua de acuerdo el área de influencia de cada subcuenca, es la información que se utilizará en el desarrollo de balance hídrico de las subcuencas en el presente estudio.

En el Anexo 1 – Volumen II, se muestra las demandas actuales de agua, acumulados por subcuencas, donde se aprecia los nombres de las comisiones y comités de regantes, según la influencia de área de cada subcuenca en estudio.

El tiempo de uso de agua en el riego (pastos naturales) es de 24 horas, mientras en el uso poblacional es de 12 horas generalmente.

A continuación se muestran las demandas actuales de agua, establecidos para cada subcuenca en estudio, en unidades de lt/sg y el volumen en MMC.

Cuadro N° 8.1
Demandas Hídricas (lt/sg) - Subcuenca río Huenque
(Demandas Actuales de Agua)

N°	SUBCUENCA	TIPO USO AGUA	DEMANDAS DE AGUA (lt/sg)												PROM
			ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
1	Llusta (Río Llusta Alta)	Riego: Bofedal	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13.40	204.90	243.49	260.57	289.67	293.22	231.12	128.03
		Uso Poblacional	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
		Total	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13.40	204.90	243.49	260.57	289.67	293.22	231.12	128.03
2	Alto Ilave (Río Chichillapi)	Riego: Bofedal	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	352.22	417.06	445.29	482.14	482.60	386.11	213.79
		Uso Poblacional	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
		Total	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	352.22	417.06	445.29	482.14	482.60	386.11	213.79
3	Medio Alto Ilave (Río Llusta Baja)	Riego: Bofedal/Pastos naturales	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	23.18	722.00	856.43	916.72	1004.28	1010.91	808.88	445.20
		Uso Poblacional	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14
		Total	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	24.32	723.14	857.57	917.86	1005.42	1012.05	810.02	446.34
4	Ayupalca (Río Ayupalca)	Riego: Pastos naturales	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	18.61	32.08	36.31	21.83	35.18	19.58	13.63
		Uso Poblacional	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
		Total	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	18.61	32.08	36.31	21.83	35.18	19.58	13.63
5	Conduriri (Río Conduriri)	Riego: Bofedal/Pastos naturales	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	37.74	420.63	546.37	607.84	621.39	700.25	556.64	290.91
		Uso Poblacional	2.93	2.93	2.93	2.93	2.93	2.93	2.93	2.93	2.93	2.93	2.93	2.93	2.93
		Total	2.93	2.93	2.93	2.93	2.93	40.67	423.56	549.30	610.77	624.32	703.18	559.57	293.84
6	Huenque (Río Huenque)	Riego: Bofedal/Pastos naturales	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	74.97	1240.53	1533.67	1670.77	1769.02	1877.71	1493.41	805.01
		Uso Poblacional	4.43	4.43	4.43	4.43	4.43	4.43	4.43	4.43	4.43	4.43	4.43	4.43	4.43
		Total	4.43	4.43	4.43	4.43	4.43	79.40	1244.96	1538.10	1675.20	1773.45	1882.14	1497.84	809.44

8.3.- DEMANDAS FUTURAS DE AGUA

Las demandas hídricas de usos futuros de agua, se ha obtenido de los estudios realizados a nivel de perfiles de proyectos de pre-inversión en el ámbito de la cuenca del río Ilave, realizado por la Autoridad Autónoma Binacional del Lago Titicaca – ALT. Los proyectos de riego son:

- Proyecto: Mejoramiento de la Bocatoma Irrigación Llustacucho.
- Proyecto: Construcción Irrigación Casana – Lacotuyo.
- Proyecto: Instalación del Sistema de Riego en los Sectores de Laca y Cuirare de la Comunidad de Chichillapi (Irrigación Chila).
- Proyecto: Instalación del Sistema de Riego Tupala.
- Proyecto: Instalación del Sistema de Riego Chua.

Los cinco proyectos se encuentran a nivel de perfil de proyecto, uno de los proyectos antes mencionados debe estar inscrito en el SNIP para su financiamiento, gestión que está realizando el PELT, y los otros deben estar gestionándose por los interesados a través de los gobiernos locales correspondientes.

El cultivo principal de los proyectos anteriormente mencionados es el Bofedal (cultivo natural permanente), son zonas donde da mejor alternativa para la alimentación de los camélidos sudamericanos. Además consume poco recurso hídrico en su periodo vegetativo, en cambio para la nueva formación de bofedales necesita en mayor cantidad de agua.

Por otro lado también, se ha recopilado las demandas futuras de agua, de los proyectos en estudio, del Proyecto Especial Binacional del Lago Titicaca – PELT, tales como:

- * Perfil del Proyecto Construcción y Ampliación de Irrigación Integral Acora Totorani, 2008:
 - Módulo Totorani.
 - Módulo Acora.
 - Módulo Collini.
 - Módulo Carumas.
 - Módulo Chajana.
 - Uso Poblacional Ilave, Acora y Platería.
- * Proyecto Irrigación Viluyo (Estudio Hidrológico), 2007.

En plan de cultivo planteado en los proyectos mencionados, se muestran en adelante para cada módulo anteriormente mencionados.

Cuadro N° 8.5
Cédula de Cultivos – Módulo Totorani

Cultivo	Area Sembrada (Ha)	Periodo Vegetativo (meses)	Mes de Siembra	Calendario de Siembra												
				Meses												
				Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	
Papa dulce	250.00	6	Octubre	250	250	250	-	-	-	-	-	-	-	250	250	250
Papa amarga	300.00	6	Octubre	300	300	300	-	-	-	-	-	-	-	300	300	300
Quinua	150.00	6	Octubre	150	150	150	-	-	-	-	-	-	-	150	150	150
Tarwi	80.00	6	Octubre	80	80	80	-	-	-	-	-	-	-	80	80	80
Haba	120.00	8	Agosto	120	120	120	-	-	-	-	120	120	120	120	120	
Cebada grano	180.00	8	Setiembre	180	180	180	-	-	-	-	-	180	180	180	180	
Avena grano	200.00	8	Setiembre	200	200	200	-	-	-	-	-	200	200	200	200	
Maca	60.00	9	Octubre	60	60	60	60	60	60	-	-	-	60	60	60	
Cañihua	60.00	5	Noviembre	60	60	60	-	-	-	-	-	-	-	60	60	
Tuberculos nativos	50.00	8	Octubre	50	50	50	50	50	-	-	-	-	50	50	50	
Cebada forrajera	62.00	6	Setiembre	62	62	-	-	-	-	-	-	62	62	62	62	
	62.00	6	Abril	-	-	-	62	62	62	62	62	62	-	-	-	
Avena forrajera	184.00	6	Setiembre	184	184	-	-	-	-	-	-	184	184	184	184	
	92.00	6	Abril	-	-	-	92	92	92	92	92	92	-	-	-	
Pastos cultivados	1,388.00	12	Permanente	1,388	1,388	1,388	1,388	1,388	1,388	1,388	1,388	1,388	1,388	1,388	1,388	
Total	3,238.00	-	-	3,084	3,084	2,838	1,652	1,652	1,602	1,542	1,662	2,288	3,024	3,084	3,084	

Cuadro N° 8.6
Cédula de Cultivos – Módulo Acora

Cultivo	Area Sembrada (Ha)	Periodo Vegetativo (meses)	Mes de Siembra	Calendario de Siembra												
				Meses												
				Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	
Papa dulce	519.00	6	Octubre	519	519	519	-	-	-	-	-	-	-	519	519	519
Papa amarga	78.00	6	Octubre	78	78	78	-	-	-	-	-	-	-	78	78	78
Quinua	274.00	7	Octubre	274	274	274	274	-	-	-	-	-	274	274	274	
Haba	511.00	8	Agosto	511	511	511	511	-	-	-	-	511	511	511	511	
Cebada grano	278.00	8	Setiembre	278	278	278	278	-	-	-	-	278	278	278	278	
Avena grano	110.00	7	Setiembre	110	110	110	110	-	-	-	-	-	110	110	110	
Cañihua	41.00	5	octubre	41	41	-	-	-	-	-	-	-	41	41	41	
Cebada forrajera	61.00	6	Octubre	61	61	61	-	-	-	-	-	-	61	61	61	
	61.00	6	Abril	-	-	-	61	61	61	61	61	61	-	-	-	
Avena forrajera	233.00	6	Octubre	233	233	233	-	-	-	-	-	-	233	233	233	
	131.00	6	Abril	-	-	-	131	131	131	131	131	131	-	-	-	
Pastos cultivados	1,985.00	12	Permanente	1,985	1,985	1,985	1,985	1,985	1,985	1,985	1,985	1,985	1,985	1,985	1,985	
Total	4,282.00	-	-	4,090	4,090	4,049	3,350	2,177	2,177	2,177	2,177	2,966	4,090	4,090	4,090	

Cuadro N° 8.7
Cédula de Cultivos – Módulo Collini

Cultivo	Area Sembrada (Ha)	Periodo Vegetativo (meses)	Mes de Siembra	Calendario de Siembra												
				Meses												
				Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	
Papa dulce	440.00	6	Octubre	440	440	440	-	-	-	-	-	-	-	440	440	440
Papa amarga	66.00	6	Octubre	66	66	66	-	-	-	-	-	-	-	66	66	66
Quinua	233.00	7	Octubre	233	233	233	233	-	-	-	-	-	233	233	233	
Haba	433.00	8	Setiembre	433	433	433	433	-	-	-	-	433	433	433	433	
Cebada grano	236.00	8	Setiembre	236	236	236	236	-	-	-	-	236	236	236	236	
Avena grano	94.00	7	Setiembre	94	94	94	94	-	-	-	-	-	94	94	94	
Cañihua	35.00	5	Octubre	35	35	-	-	-	-	-	-	-	35	35	35	
Cebada forrajera	52.00	6	Octubre	52	52	52	-	-	-	-	-	-	52	52	52	
	52.00	6	Abril	-	-	-	52	52	52	52	52	52	-	-	-	
Avena forrajera	198.00	6	Octubre	198	198	198	-	-	-	-	-	-	198	198	198	
	131.00	6	Abril	-	-	-	198	198	198	198	198	198	-	-	-	
Pastos cultivados	1,682.00	12	Permanente	1,682	1,682	1,682	1,682	1,682	1,682	1,682	1,682	1,682	1,682	1,682	1,682	
Total	3,652.00	-	-	3,469	3,469	3,434	2,928	1,932	1,932	1,932	1,932	2,601	3,469	3,469	3,469	

Cuadro N° 8.8
Cédula de Cultivos – Módulo Carumas

Cultivo	Area Sembrada (Ha)	Periodo Vegetativo (meses)	Mes de Siembra	Calendario de Siembra												
				Meses												
				Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	
Papa dulce	73.00	6	Octubre	73	73	73	-	-	-	-	-	-	-	73	73	73
Papa amarga	87.00	6	Octubre	87	87	87	-	-	-	-	-	-	-	87	87	87
Quinoa	44.00	6	Octubre	44	44	44	-	-	-	-	-	-	-	44	44	44
Tarwi	23.00	6	Octubre	23	23	23	-	-	-	-	-	-	-	23	23	23
Haba	35.00	8	Agosto	35	35	35	-	-	-	-	-	35	35	35	35	35
Cebada grano	52.00	8	Setiembre	52	52	52	-	-	-	-	-	-	52	52	52	52
Avena grano	58.00	8	Setiembre	58	58	58	-	-	-	-	-	-	58	58	58	58
Maca	18.00	9	Octubre	18	18	18	18	18	18	-	-	-	-	18	18	18
Cañihua	18.00	5	Noviembre	18	18	18	-	-	-	-	-	-	-	-	18	18
Tuberculos nativos	15.00	8	Octubre	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	15	15	15
Cebada forrajera	18.00	6	Setiembre	18	18	-	-	-	-	-	-	-	18	18	18	18
	18.00	6	Abril	-	-	-	18	18	18	18	18	-	-	-	-	-
Avena forrajera	54.00	6	Setiembre	54	54	-	-	-	-	-	-	-	54	54	54	54
	27.00	6	Abril	-	-	-	27	27	27	27	27	27	-	-	-	-
Pastos cultivados	405.00	12	Permanente	405	405	405	405	405	405	405	405	405	405	405	405	405
Total	945.00	-	-	900	900	828	483	483	468	450	485	667	882	900	900	900

Cuadro N° 8.9
Cédula de Cultivos – Módulo Chajana

Cultivo	Area Sembrada (Ha)	Periodo Vegetativo (meses)	Mes de Siembra	Calendario de Siembra												
				Meses												
				Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	
Papa dulce	69.00	6	Octubre	69	69	69	-	-	-	-	-	-	-	69	69	69
Papa amarga	83.00	6	Octubre	83	83	83	-	-	-	-	-	-	-	83	83	83
Quinoa	42.00	6	Octubre	42	42	42	-	-	-	-	-	-	-	42	42	42
Tarwi	22.00	6	Octubre	22	22	22	-	-	-	-	-	-	-	22	22	22
Haba	33.00	8	Agosto	33	33	33	-	-	-	-	-	33	33	33	33	33
Cebada grano	50.00	8	Setiembre	50	50	50	-	-	-	-	-	-	50	50	50	50
Avena grano	56.00	8	Setiembre	56	56	56	-	-	-	-	-	-	56	56	56	56
Maca	17.00	9	Octubre	17	17	17	17	17	17	-	-	-	-	17	17	17
Cañihua	17.00	5	Noviembre	17	17	17	-	-	-	-	-	-	-	-	17	17
Tuberculos nativos	14.00	8	Octubre	14	14	14	14	14	-	-	-	-	-	14	14	14
Cebada forrajera	17.00	6	Setiembre	17	17	-	-	-	-	-	-	-	17	17	17	17
	17.00	6	Abril	-	-	-	17	17	17	17	17	17	-	-	-	-
Avena forrajera	51.00	6	Setiembre	51	51	-	-	-	-	-	-	-	51	51	51	51
	26.00	6	Abril	-	-	-	26	26	26	26	26	26	-	-	-	-
Pastos cultivados	384.00	12	Permanente	384	384	384	384	384	384	384	384	384	384	384	384	384
Total	898.00	-	-	855	855	787	458	458	444	427	460	634	838	855	855	855

Teniendo la información de demandas de agua, desarrolladas por las entidades públicas (Alt y Pelt), no es necesario recalculer nuevamente, debido a que éstas demandas ya están consideradas para su ejecución posterior, cuando el proyecto se apruebe a nivel definitivo, actualmente se encuentran algunos inscritas en el SNIP, y otros a nivel de perfil elaborados.

A continuación se muestra la relación de las demandas mensuales de usos futuros de agua de los proyectos mencionados anteriormente:

Cuadro N° 8.10
Demandas Futuras de Agua de los Proyectos de Riego – Cuenca Ilave

Distrito de Riego	Junta de Usuarios	Nombre de la irrigación	Ubicación Hidrográfica			Área Bajo Riego (Has)	Demandas hídricas (m ³ /sg)												Tipo de Cultivo	
			Cuenca	Subcuenca	Río		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic		
ILAVE	ILAVE	Irrigación Chua	Ilave	Llusta	Río Llusta Alta	46.00	0.000	0.000	0.004	0.021	0.016	0.018	0.023	0.017	0.022	0.025	0.025	0.012	Bofedal	
		Irrigación Tupala	Ilave	Llusta	Río Llusta Alta	24.00	0.000	0.000	0.002	0.011	0.008	0.009	0.012	0.009	0.011	0.013	0.013	0.006	Bofedal	
		Irrigación Chila	Ilave	Alto Ilave	Río Chila	275.00	0.000	0.005	0.027	0.112	0.083	0.093	0.119	0.090	0.114	0.129	0.148	0.115	Bofedal	
		Irrigación Llustacucho	Ilave	Alto Ilave	Río Chichillapi	185.00	0.000	0.000	0.008	0.076	0.056	0.063	0.081	0.061	0.077	0.085	0.092	0.047	Bofedal	
		Irrigación Casana Lacotuyo	Ilave	Medio Alto Ilave	Río Llusta Baja	1.850.00	0.000	0.000	0.005	0.785	0.631	0.706	0.905	0.683	0.872	0.982	0.985	0.443	Bofedal	
		Proyecto Integral Irrigación Acora Totorani:																		
			Ilave	Uncallane	Río Uncallane	3.084.00	1.00	1.58	1.60	1.85	1.82	1.38	1.39	1.20	1.27	2.27	2.15	2.34	Cultivos	
			Ilave	Uncallane	Río Uncallane	4.090.00	1.58	1.98	1.52	2.53	2.53	1.94	1.96	1.58	1.92	3.59	3.73	3.77	Cultivos	
			Ilave	Uncallane	Río Uncallane	3.469.00	1.35	1.68	1.29	2.15	1.66	1.68	1.37	1.64	3.05	3.17	3.19	3.19	Cultivos	
			Ilave	Uncallane	Río Blanco	900.00	0.31	0.46	0.41	0.54	0.53	0.40	0.41	0.35	0.38	0.68	0.67	0.73	Cultivos	
			Ilave	Uncallane	Río Blanco	855.00	0.30	0.44	0.39	0.52	0.51	0.38	0.39	0.33	0.36	0.64	0.63	0.69	Cultivos	
			Ilave	Uncallane	Río Uncallane	-	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	Agua potable	
			Ilave	Loripongo	Río Loripongo	1.370.00	1.08	0.00	0.00	0.08	0.14	0.11	0.12	0.60	0.86	1.27	1.58	1.57	Cultivos	
		TOTAL						16,148.00	5.69	6.21	5.32	8.74	8.54	6.82	7.15	6.35	7.59	12.80	13.26	12.97

Fuente: Estudios de Perfil de Proyectos de Preinversión, ALT y PELT.

En los Cuadros N° 8.11 a 8.16, se muestran resumen de las demandas futuras de agua, establecidos para cada subcuenca en estudio, en unidades de lt/sg y en volumen de MMC.

Cuadro N° 8.11
Demandas Hídricas (m³/sg) - Subcuenca río Huenque
(Demandas Futuras de Agua)

N°	SUBCUENCA	TIPO USO AGUA	DEMANDAS DE AGUA (m ³ /sg)												PROM
			ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
1	Llusta (Río Llusta Alta)	Riego: Bofedal	0.000	0.000	0.006	0.032	0.024	0.027	0.035	0.026	0.033	0.038	0.038	0.018	0.02
		Uso Poblacional	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00
		Total	0.000	0.000	0.006	0.032	0.024	0.027	0.035	0.026	0.033	0.038	0.038	0.018	0.02
2	Alto Ilave (Río Chichillapi)	Riego: Bofedal	0.000	0.005	0.035	0.188	0.139	0.156	0.200	0.151	0.191	0.214	0.240	0.162	0.14
		Uso Poblacional	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00
		Total	0.000	0.005	0.035	0.188	0.139	0.156	0.200	0.151	0.191	0.214	0.240	0.162	0.14
3	Medio Alto Ilave (Río Llusta Baja)	Riego: Bofedal	0.00	0.01	0.05	1.01	0.79	0.89	1.14	0.86	1.10	1.23	1.26	0.62	0.75
		Uso Poblacional	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
		Total	0.00	0.01	0.05	1.01	0.79	0.89	1.14	0.86	1.10	1.23	1.26	0.62	0.75
4	Huenque (Río Huenque)	Riego: Bofedal	0.00	0.01	0.05	1.01	0.79	0.89	1.14	0.86	1.10	1.23	1.26	0.62	0.75
		Uso Poblacional	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
		Total	0.00	0.01	0.05	1.01	0.79	0.89	1.14	0.86	1.10	1.23	1.26	0.62	0.75

Cuadro N° 8.12
Demandas Hídricas (MMC) - Subcuenca río Huenque
(Demandas Futuras de Agua)

N°	SUBCUENCA	TIPO USO AGUA	DEMANDAS DE AGUA (MMC)												PROM
			ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
1	Llusta (Río Llusta Alta)	Riego: Bofedal	0.00	0.00	0.02	0.08	0.06	0.07	0.09	0.07	0.09	0.10	0.10	0.05	0.06
		Uso Poblacional	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
		Total	0.00	0.00	0.02	0.08	0.06	0.07	0.09	0.07	0.09	0.10	0.10	0.05	0.06
2	Alto Ilave (Río Chichillapi)	Riego: Bofedal	0.00	0.01	0.09	0.49	0.37	0.40	0.54	0.40	0.50	0.57	0.62	0.43	0.37
		Uso Poblacional	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
		Total	0.00	0.01	0.09	0.49	0.37	0.40	0.54	0.40	0.50	0.57	0.62	0.43	0.37
3	Medio Alto Ilave (Río Llusta Baja)	Riego: Bofedal	0.00	0.01	0.12	2.60	2.13	2.30	3.05	2.30	2.84	3.31	3.27	1.67	1.97
		Uso Poblacional	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
		Total	0.00	0.01	0.12	2.60	2.13	2.30	3.05	2.30	2.84	3.31	3.27	1.67	1.97
4	Huenque (Río Huenque)	Riego: Bofedal	0.00	0.01	0.12	2.60	2.13	2.30	3.05	2.30	2.84	3.31	3.27	1.67	1.97
		Uso Poblacional	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
		Total	0.00	0.01	0.12	2.60	2.13	2.30	3.05	2.30	2.84	3.31	3.27	1.67	1.97

Cuadro N° 8.13
Demandas Hídricas (m³/sg) - Subcuenca río Aguas Calientes
 (Demandas Futuras de Agua)

N°	SUBCUENCA	TIPO USO AGUA	DEMANDAS DE AGUA (m ³ /sg)												PROM
			ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
1	Loripongo (Río Loripongo)	Riego: Cultivos	1.08	0.00	0.00	0.08	0.14	0.11	0.12	0.60	0.86	1.27	1.59	1.57	0.62
		Uso Poblacional	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
		Total	1.08	0.00	0.00	0.08	0.14	0.11	0.12	0.60	0.86	1.27	1.59	1.57	0.62
2	Río Grande (Río Grande)	Riego: Cultivos	1.08	0.00	0.00	0.08	0.14	0.11	0.12	0.60	0.86	1.27	1.59	1.57	0.62
		Uso Poblacional	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
		Total	1.08	0.00	0.00	0.08	0.14	0.11	0.12	0.60	0.86	1.27	1.59	1.57	0.62
3	Uncallane (Río Uncallane)	Riego: Cultivos	4.55	6.14	5.21	7.59	7.54	5.76	5.83	4.83	5.57	10.23	10.35	10.72	7.03
		Uso Poblacional	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
		Total	4.61	6.20	5.27	7.65	7.60	5.82	5.89	4.89	5.63	10.29	10.41	10.78	7.09
4	Aguas Calientes (Río Aguas Calientes)	Riego: Cultivos	5.63	6.14	5.21	7.67	7.68	5.87	5.95	5.43	6.43	11.50	11.94	12.29	7.65
		Uso Poblacional	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
		Total	5.69	6.20	5.27	7.73	7.74	5.93	6.01	5.49	6.49	11.56	12.00	12.35	7.71

Cuadro N° 8.14
Demandas Hídricas (MMC) - Subcuenca río Aguas Calientes
 (Demandas Futuras de Agua)

N°	SUBCUENCA	TIPO USO AGUA	DEMANDAS DE AGUA (MMC)												PROM
			ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
1	Loripongo (Río Loripongo)	Riego: Cultivos	1.69	0.00	0.00	0.12	0.22	0.17	0.19	0.94	1.30	1.98	2.40	2.45	0.96
		Uso Poblacional	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
		Total	1.69	0.00	0.00	0.12	0.22	0.17	0.19	0.94	1.30	1.98	2.40	2.45	0.96
2	Río Grande (Río Grande)	Riego: Cultivos	1.69	0.00	0.00	0.12	0.22	0.17	0.19	0.94	1.30	1.98	2.40	2.45	0.96
		Uso Poblacional	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
		Total	1.69	0.00	0.00	0.12	0.22	0.17	0.19	0.94	1.30	1.98	2.40	2.45	0.96
3	Uncallane (Río Uncallane)	Riego: Cultivos	7.11	8.66	8.14	11.48	11.78	8.71	9.11	7.55	8.42	15.98	15.65	16.75	10.78
		Uso Poblacional	0.17	0.15	0.17	0.16	0.17	0.16	0.17	0.17	0.16	0.17	0.16	0.17	0.17
		Total	7.28	8.81	8.31	11.64	11.95	8.87	9.28	7.72	8.58	16.15	15.81	16.92	10.94
4	Aguas Calientes (Río Aguas Calientes)	Riego: Cultivos	8.80	8.66	8.14	11.60	12.00	8.88	9.30	8.48	9.72	17.97	18.05	19.20	11.73
		Uso Poblacional	0.17	0.15	0.17	0.16	0.17	0.16	0.17	0.17	0.16	0.17	0.16	0.17	0.17
		Total	8.97	8.81	8.31	11.76	12.17	9.04	9.47	8.65	9.88	18.14	18.21	19.37	11.90

Cuadro N° 8.15
Demandas Hídricas (m³/sg) - Cuenca río Ilave
 (Demandas Futuras de Agua)

N°	CUENCA	TIPO USO AGUA	DEMANDAS DE AGUA (m ³ /sg)												PROM
			ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
1	Río Ilave	Riego: Bofedales/Cultivos	5.63	6.15	5.26	8.68	8.47	6.76	7.09	6.29	7.53	12.73	13.20	12.91	8.39
		Uso Poblacional	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
		Total	5.69	6.21	5.32	8.74	8.54	6.82	7.15	6.35	7.59	12.80	13.26	12.97	8.45

Cuadro N° 8.16
Demandas Hídricas (MMC) - Cuenca río Ilave
 (Demandas Futuras de Agua)

N°	CUENCA	TIPO USO AGUA	DEMANDAS DE AGUA (MMC)												PROM
			ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
1	Río Ilave	Riego: Bofedales/Cultivos	8.80	8.67	8.21	13.12	13.24	10.22	11.08	9.83	11.38	19.90	19.96	20.18	12.88
		Uso Poblacional	0.17	0.15	0.17	0.16	0.17	0.16	0.17	0.17	0.16	0.17	0.16	0.17	0.17
		Total	8.97	8.82	8.38	13.28	13.41	10.38	11.25	10.00	11.54	20.07	20.12	20.35	13.05

CAPITULO 9

BALANCE HIDRICO

9.1.- GENERALIDADES

El balance hídrico es la comparación entre la oferta y demanda hídrica de una cuenca, en el presente estudio se ha realizado en forma independiente cada subcuenca de interés dentro de la cuenca del río Ilave.

En el ámbito de cada una de las subcuencas se ha fijado un punto conocido como la “*Salida de la cuenca*”. El balance hídrico se ha efectuado en este punto, tanto la disponibilidad hídrica como la demanda hídrica se contabiliza a partir de este punto, con el propósito de conocer el déficit y exceso del recurso hídrico en la cuenca. En el ámbito de la cuenca llave, actualmente no existe en funcionamiento una irrigación implementada con infraestructura de riego a mayor escala, por esta razón el balance se ha realizado a nivel de subcuencas

Ecuación del balance hídrico de la cuenca

La ecuación general para el balance hídrico a utilizarse, en un punto del río, es la siguiente:

$$\text{Balance Hídrico} = Q - D$$

Donde:

Q = caudal (oferta hídrica) en el río.

D = demandas hídricas (usos de agua).

El caudal medido en un punto del río, es la disponibilidad hídrica que ofrece el río en ese punto en situación natural, por lo que el caudal vendría ser la precipitación efectiva o escorrentía directa de la cuenca.

Sin embargo, el caudal medido o generado en las subcuencas del río Ilave, vendría ser la oferta hídrica en situación natural. Por lo que se sabe que este valor ya influye la precipitación, evapotranspiración, infiltración, aportes subterráneos (manantes y otras), etc.; por esta razón las variables del ciclo hidrológico mencionados anteriormente no se consideran en la ecuación de balance hídrico descrito anteriormente.

VARIABLES DE BALANCE HÍDRICO DE LA CUENCA

A.- Caudal (oferta hídrica)

Es la disponibilidad hídrica de un río en estado natural, se puede obtener a partir del registro histórico de descargas ó generar esta información.

B.- Demandas hídricas (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 cuanto las demandas hídricas, se debe obtener la información de usos actuales, proyectados y/o futuros. Los usos de agua pueden ser, de riego, poblacional, industrial, piscicultura, entre otras.

En el presente estudio, el balance hídrico se ha desarrollado en dos partes, primero con usos actuales de agua, y el segundo con usos actuales y futuras de agua.

Una vez definido la disponibilidad hídrica y las demandas hídricas actuales, así como disponibilidad hídrica con asignaciones y demandas hídricas futuras, en forma global, en el punto de salida de las subcuencas se ha realizado el balance hídrico respectivo.

9.2.- BALANCE HIDRICO CON DEMANDAS ACTUALES DE AGUA

Para el desarrollo del balance hídrico de las subcuencas de interés, se ha desarrollado con las demandas actuales de agua, con el fin de determinar la situación actual del recurso hídrico es las subcuencas: Alto Ilave, Llusta, Medio Alto Ilave, Ayupalca, Conduriri, Huenque, Alto Aguas Calientes, Loripongo, Tunquipa, río Grande, Uncallane y Aguas Calientes. Caso de la cuenca Ilave, las descargas registradas en la estación hidrométrica (puente Ilave), ya se encuentra afectada por las demandas hídricas actuales, y no siendo necesario realizar el balance respectivo.

Con la información de la disponibilidad hídrica y demandas actuales de agua establecidas, se ha realizado el balance hídrico a nivel de subcuencas y/o unidades hidrográficas. En adelante se muestran los cuadros de análisis respectivo. 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 el siguiente:

Subcuenca Alto Ilave (río Chichillapi): Haciendo la comparación entre las demandas y ofertas hídricas, resulta que hay déficit del recurso hídrico en los meses de octubre (-0.06 MMC) y noviembre (-0.34 MMC), el exceso del recurso hídrico oscila entre 0.15 MMC (setiembre) y 5.88 MMC (Febrero), la demanda mínima es de 0.94 MMC (julio) y la demanda máxima es de 1.29 MMC (octubre). El uso de agua consiste en riego de bofedales. Ver Cuadro N° 9.1 y la Figura N° 9.1.

Subcuenca Llusta (río Llusta Alta): Realizando la comparación de las demandas y ofertas hídricas, resulta que no hay déficit del recurso hídrico durante todo el año, el exceso del recurso hídrico varía de 0.48 MMC (octubre) a 6.22 MMC (Febrero), la demanda mínima es de 0.03 MMC (junio) y la demanda máxima llega a ser de 0.78 MMC (octubre). El uso actual del recurso hídrico es en el riego de bofedales. Ver Cuadro N° 9.2 y la Figura N° 9.2.

Subcuenca Medio Alto Ilave (río Llusta Baja): Efectuando la comparación entre las demandas y ofertas hídricas, resulta que no hay déficit del recurso hídrico en todo los meses del año, el exceso del recurso hídrico oscila entre 3.10 MMC (octubre) y 26.44 MMC (febrero), la demanda mínima es de 0.06 MMC (junio) y la demanda máxima viene

a ser de 2.69 MMC (octubre). El riego actual es en bofedales y pastos naturales. Ver Cuadro N° 9.3 y la Figura N° 9.3.

Subcuenca Ayupalca: Haciendo la comparación de los valores de las demandas y ofertas hídricas, resulta que no hay déficit del recurso hídrico en todo el año, el exceso del recurso hídrico varía entre los valores de 0.66 MMC (agosto) y 6.10 MMC (febrero), la demanda mínima es de 0.05 MMC (julio y diciembre) y la demanda máxima es de 0.09 MMC (agosto, setiembre y noviembre). El consumo actual del recurso hídrico es en el riego de pastos naturales. Ver Cuadro N° 9.4 y la Figura N° 9.4.

Subcuenca Conduriri: En la comparación de las demandas y ofertas hídricas, resulta que hay déficit del recurso hídrico en los meses de agosto (-0.01 MMC) y noviembre (-0.08 MMC), el exceso del recurso hídrico varía entre los rangos de 0.45 MMC (julio) y 10.35 MMC (Febrero), la demanda mínima es de 0.10 MMC (junio) y la demanda máxima llega a ser 1.82 MMC (noviembre). El uso actual del agua es en el riego de bofedales y pastos naturales. Ver Cuadro N° 9.5 y la Figura N° 9.5.

Subcuenca Huenque: Realizando el balance entre las demandas y ofertas hídricas, resulta que no hay déficit del recurso hídrico durante todo el año, el exceso del recurso hídrico está oscila entre los valores de 4.42 MMC (setiembre) y 55.37 MMC (febrero), la demanda mínima es 0.01 MMC (enero a mayo) y la demanda máxima 4.88 MMC (noviembre). Actualmente el recurso agua está utilizándose en uso poblacional y riego de bofedales y pastos naturales. Ver Cuadro N° 9.6 y la Figura N° 9.6.

Subcuenca Alto Aguas Calientes (río Malcomayo): El balance entre las demandas y ofertas hídricas, resulta que no hay déficit del recurso hídrico durante el año, el exceso del recurso hídrico varía entre 0.10 MMC (agosto) y 13.55 MMC (febrero), la demanda mínima es de 0.20 MMC (julio) y la demanda máxima es de 0.22 MMC (octubre). El riego actual es en pastos naturales. Ver Cuadro N° 9.7 y la Figura N° 9.7.

Subcuenca Loripongo: La comparación entre los valores de las demandas y ofertas hídricas, resulta que no hay déficit del recurso hídrico durante todo el año, el exceso del recurso hídrico está en el rango de 0.96 MMC (setiembre) y 15.38 MMC (febrero), la demanda mínima es de 0.01 MMC (junio) y la máxima es de 0.33 MMC (octubre). El uso actual de agua se está utilizando en uso poblacional y riego de pastos naturales. Ver Cuadro N° 9.8 y la Figura N° 9.8.

Subcuenca Tunquipa: Haciendo la comparación entre los valores de las demandas y ofertas hídricas, resulta que no hay déficit del recurso hídrico en todo el año, el exceso del recurso hídrico oscila entre 0.36 MMC (setiembre) y 5.93 MMC (febrero), la demanda mínima es de 0.05 MMC (julio, setiembre y octubre) y la máxima es de 0.04 MMC (agosto, noviembre y diciembre). El uso actual del agua es, en el riego de pastos naturales. Ver Cuadro N° 9.9 y la Figura N° 9.9.

Subcuenca río Grande: Efectuando el balance entre las demandas y ofertas hídricas, resulta que no hay déficit del recurso hídrico en todo los meses del año, el exceso del recurso hídrico varía entre 1.68 MMC (octubre) y 41.62 MMC (febrero), la demanda mínima es de 0.01 MMC (enero a junio) y la demanda máxima es 0.73 MMC (octubre). Actualmente el uso del agua es en el riego de pastos naturales y consumo poblacional. Ver Cuadro N° 9.10 y la Figura N° 9.10.

Subcuenca Uncallane: Realizando la comparación entre las demandas y ofertas hídricas, resulta que no hay déficit del recurso hídrico durante el año, el exceso del recurso hídrico

varía entre los valores de 1.84 MMC (agosto) y 44.95 MMC (febrero), la demanda mínima es de 1.22 MMC (diciembre) y la demanda máxima llega a ser 1.66 MMC (octubre). El uso actual del agua es en el riego de pastos naturales. Ver Cuadro N° 9.11 y la Figura N° 9.11.

Subcuenca Aguas Calientes: Desarrollando el balance entre las demandas y ofertas hídricas, resulta que no hay déficit del recurso hídrico durante todo los meses del año, el exceso del recurso hídrico oscila entre los valores de 4.93 MMC (agosto) y 98.60 MMC (febrero), la demanda mínima es de 0.01 MMC (enero a junio) y la máxima es de 2.38 MMC (octubre). El uso actual del recurso hídrico, es en riego de pastos naturales y uso poblacional. Ver Cuadro N° 9.12 y la Figura N° 9.12.

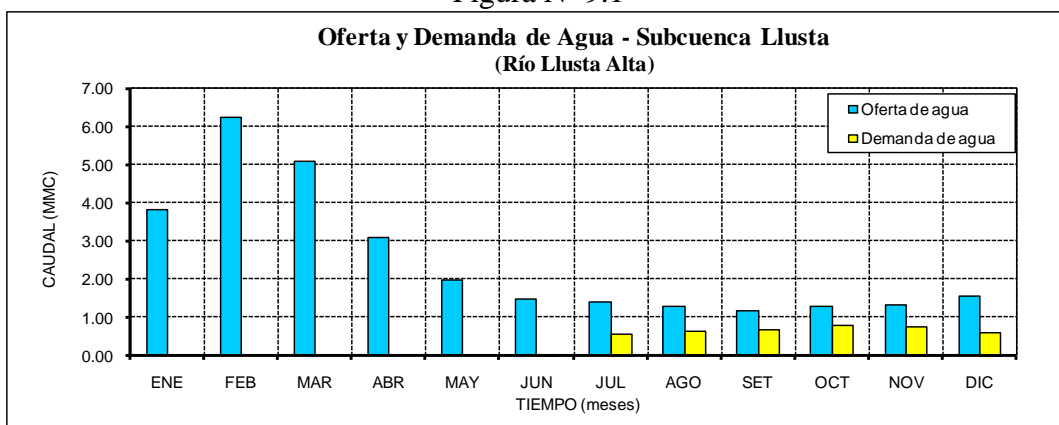
En mayoría de las subcuencas, los volúmenes de agua, generalmente en los meses de estiaje, resultan bajos, si aplicamos el caudal ecológico de la cuenca, resultaría déficit de agua, para obtener el caudal ecológico en una cuenca determinada depende de muchos factores, y no es simplemente estimar un valor que no es algo real, para ello se debería realizar una investigación in situ. Algunos autores recomiendan unos porcentajes de la disponibilidad hídrica y eso en mayoría de los casos no funciona, debido a ello en el presente estudio no se ha considerado en el balance hídrico. Por lo tanto, para cualquier proyecto hidráulico futuro, el proyectista debe considerar el caudal ecológico del río con un análisis adecuado, para no extraer el recurso hídrico a mayor porcentaje del total disponible.

Cuadro N° 9.1
Balance Hídrico de la Subcuenca Llusta
(Río Llusta Alta)

Balance Hídrico con Demandas Actuales de Agua

VARIABLES	MESES												PROM
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
1.- OFERTA DE AGUA (MMC)	3.80	6.22	5.06	3.08	1.96	1.48	1.37	1.26	1.17	1.26	1.30	1.53	2.46
1.1.- Descargas medias del río al 75%	3.80	6.22	5.06	3.08	1.96	1.48	1.37	1.26	1.17	1.26	1.30	1.53	2.46
2.- DEMANDA DE AGUA (MMC)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.55	0.65	0.68	0.78	0.76	0.62	0.34
2.1.- Riego: Bofedal	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.55	0.65	0.68	0.78	0.76	0.62	0.34
2.3.- Uso Poblacional	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
3.- BALANCE HIDRICO (MMC)	3.80	6.22	5.06	3.08	1.96	1.45	0.82	0.61	0.49	0.48	0.54	0.91	2.12

Figura N° 9.1



Cuadro N° 9.2

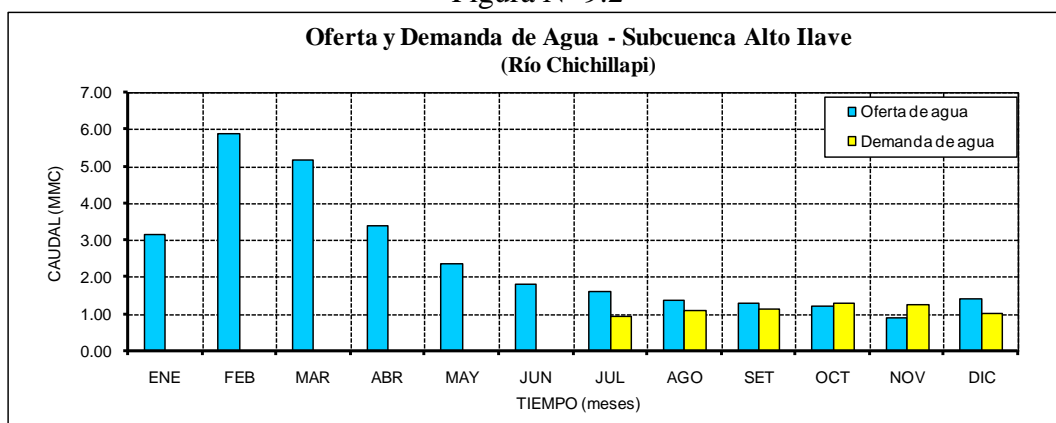
Balance Hídrico de la Subcuenca Alto Ilave

(Río Chichillapi)

Balance Hídrico con Demandas Actuales de Agua

VARIABLES	MESES												PROM
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
1.- OFERTA DE AGUA (MMC)	3.16	5.88	5.20	3.40	2.36	1.81	1.61	1.39	1.30	1.23	0.91	1.42	2.47
1.1.- Descargas medias del río al 75%	3.16	5.88	5.20	3.40	2.36	1.81	1.61	1.39	1.30	1.23	0.91	1.42	2.47
2.- DEMANDA DE AGUA (MMC)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.94	1.12	1.15	1.29	1.25	1.03	0.57
2.1.- Riego: Bofedal	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.94	1.12	1.15	1.29	1.25	1.03	0.57
2.3.- Uso Poblacional	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
3.- BALANCE HIDRICO (MMC)	3.16	5.88	5.20	3.40	2.36	1.81	0.67	0.27	0.15	-0.06	-0.34	0.39	1.91

Figura N° 9.2



Cuadro N° 9.3

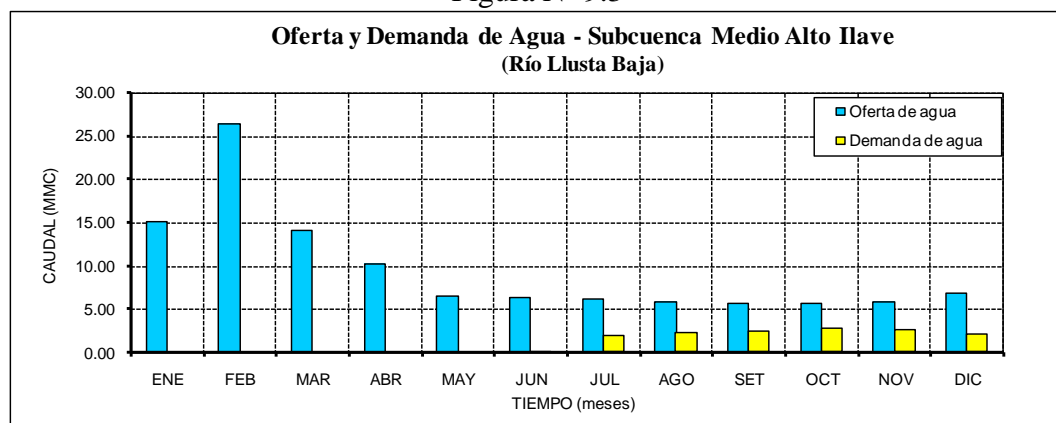
Balance Hídrico de la Subcuenca Medio Alto Ilave

(Río Llusta Baja)

Balance Hídrico con Demandas Actuales de Agua

VARIABLES	MESES												PROM
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
1.- OFERTA DE AGUA (MMC)	15.13	26.44	14.12	10.34	6.59	6.38	6.16	5.95	5.73	5.79	5.94	6.91	9.62
1.1.- Descargas medias del río al 75%	15.13	26.44	14.12	10.34	6.59	6.38	6.16	5.95	5.73	5.79	5.94	6.91	9.62
2.- DEMANDA DE AGUA (MMC)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	1.93	2.29	2.38	2.69	2.62	2.17	1.18
2.1.- Riego: Bofedal/Pastos naturales	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	1.93	2.29	2.38	2.69	2.62	2.17	1.18
2.3.- Uso Poblacional	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
3.- BALANCE HIDRICO (MMC)	15.13	26.44	14.12	10.34	6.59	6.32	4.23	3.66	3.35	3.10	3.32	4.74	8.45

Figura N° 9.3



Cuadro N° 9.4

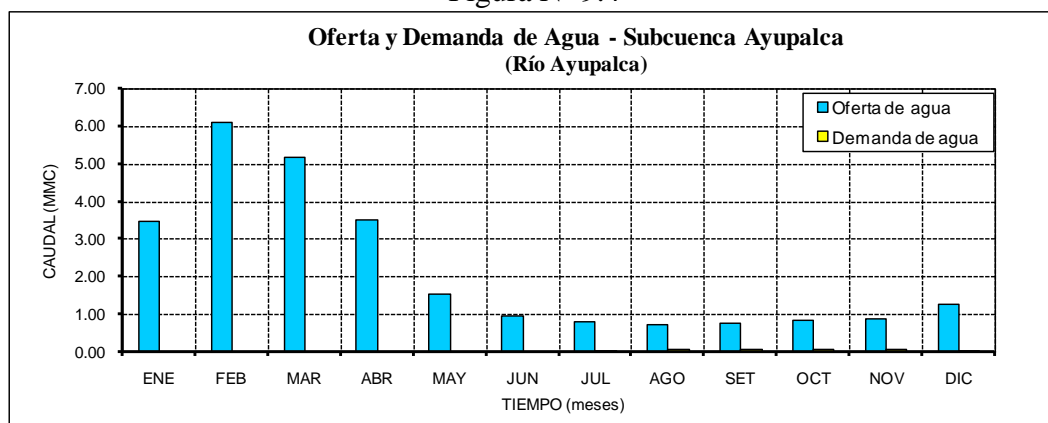
Balance Hídrico de la Subcuenca Ayupalca

(Río Ayupalca)

Balance Hídrico con Demandas Actuales de Agua

VARIABLES	MESES												PROM
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
1.- OFERTA DE AGUA (MMC)	3.48	6.10	5.20	3.50	1.53	0.96	0.80	0.75	0.78	0.86	0.88	1.26	2.18
1.1.- Descargas medias del río al 75%	3.48	6.10	5.20	3.50	1.53	0.96	0.80	0.75	0.78	0.86	0.88	1.26	2.18
2.- DEMANDA DE AGUA (MMC)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.09	0.09	0.06	0.09	0.05	0.04
2.1.- Riego: Pastos naturales	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.09	0.09	0.06	0.09	0.05	0.04
2.3.- Uso Poblacional	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
3.- BALANCE HIDRICO (MMC)	3.48	6.10	5.20	3.50	1.53	0.96	0.75	0.66	0.69	0.80	0.79	1.21	2.14

Figura N° 9.4



Cuadro N° 9.5

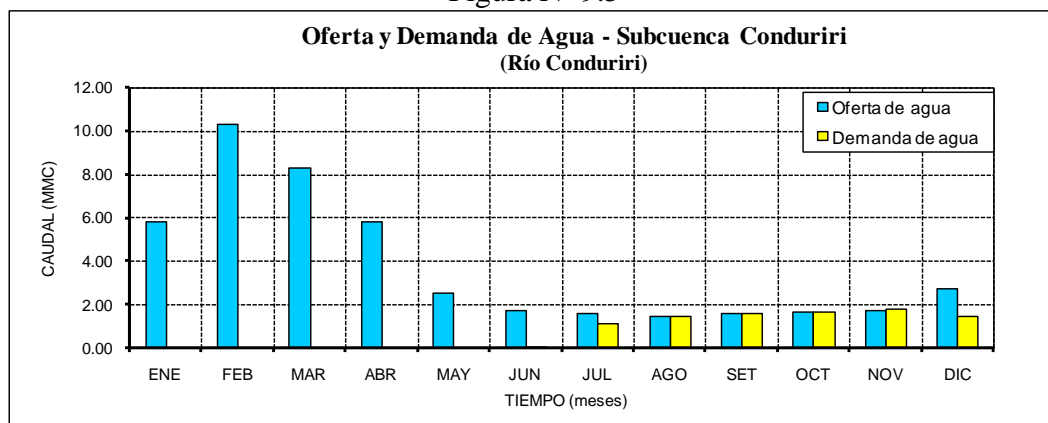
Balance Hídrico de la Subcuenca Conduriri

(Río Conduriri)

Balance Hídrico con Demandas Actuales de Agua

VARIABLES	MESES												PROM
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
1.- OFERTA DE AGUA (MMC)	5.81	10.35	8.33	5.81	2.54	1.76	1.58	1.45	1.58	1.66	1.74	2.73	3.78
1.1.- Descargas medias del río al 75%	5.81	10.35	8.33	5.81	2.54	1.76	1.58	1.45	1.58	1.66	1.74	2.73	3.78
2.- DEMANDA DE AGUA (MMC)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	1.13	1.46	1.58	1.66	1.82	1.49	0.77
2.1.- Riego: Bofedal/Pastos naturales	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	1.13	1.46	1.58	1.66	1.82	1.49	0.77
2.3.- Uso Poblacional	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
3.- BALANCE HIDRICO (MMC)	5.81	10.35	8.33	5.81	2.54	1.66	0.45	-0.01	0.00	0.00	-0.08	1.24	3.01

Figura N° 9.5



Cuadro N° 9.6

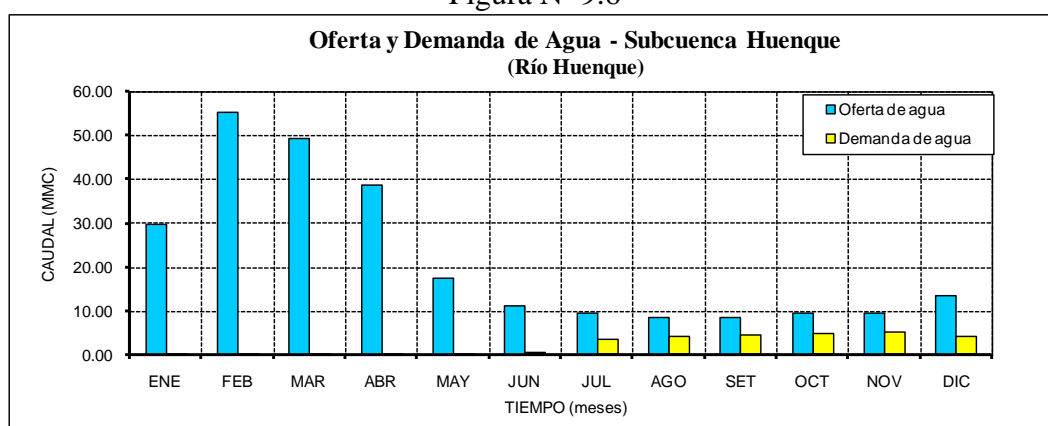
Balance Hídrico de la Subcuenca Huenque

(Río Huenque)

Balance Hídrico con Demandas Actuales de Agua

VARIABLES	MESES												PROM
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
1.- OFERTA DE AGUA (MMC)	29.81	55.38	49.39	38.65	17.41	11.40	9.45	8.65	8.76	9.45	9.54	13.47	21.78
1.1.- Descargas medias del río al 75%	29.81	55.38	49.39	38.65	17.41	11.40	9.45	8.65	8.76	9.45	9.54	13.47	21.78
2.- DEMANDA DE AGUA (MMC)	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.20	3.33	4.12	4.34	4.75	4.88	4.01	2.14
2.1.- Riego: Bofedal/Pastos naturales	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.19	3.32	4.11	4.33	4.74	4.87	4.00	2.13
2.3.- 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	0.01
3.- BALANCE HIDRICO (MMC)	29.80	55.37	49.38	38.64	17.40	11.20	6.12	4.53	4.42	4.70	4.66	9.46	19.64

Figura N° 9.6



Cuadro N° 9.7

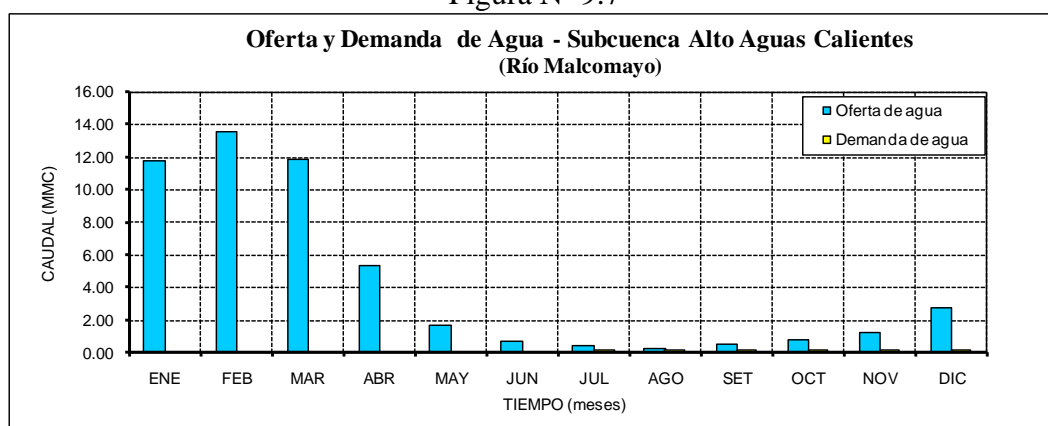
Balance Hídrico de la Subcuenca Alto Aguas Calientes

(Río Malcomayo)

Balance Hídrico con Demandas Actuales de Agua

VARIABLES	MESES												PROM
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
1.- OFERTA DE AGUA (MMC)	11.76	13.55	11.92	5.34	1.74	0.75	0.43	0.29	0.57	0.78	1.24	2.76	4.26
1.1.- Descargas medias del río al 75%	11.76	13.55	11.92	5.34	1.74	0.75	0.43	0.29	0.57	0.78	1.24	2.76	4.26
2.- DEMANDA DE AGUA (MMC)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.19	0.21	0.22	0.19	0.16	0.10
2.1.- Riego: Pastos naturales	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.19	0.21	0.22	0.19	0.16	0.10
2.3.- Uso Poblacional	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
3.- BALANCE HIDRICO (MMC)	11.76	13.55	11.92	5.34	1.74	0.75	0.23	0.10	0.36	0.56	1.05	2.60	4.16

Figura N° 9.7



Cuadro N° 9.8

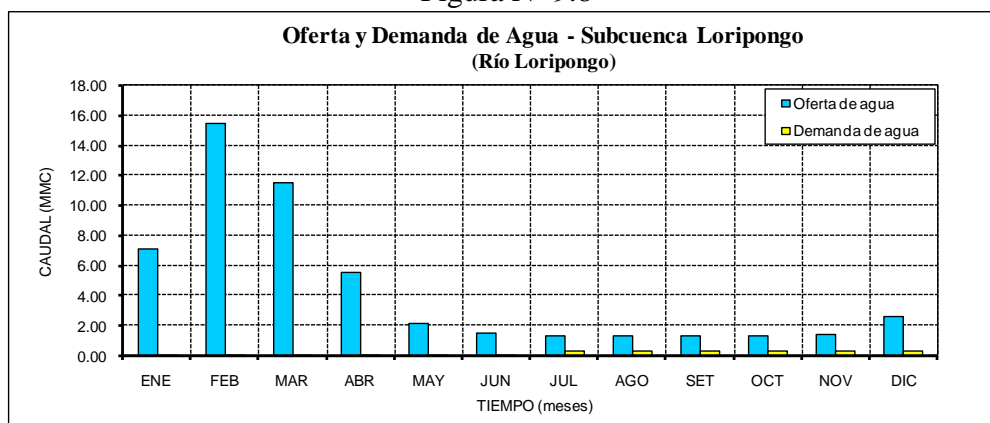
Balance Hídrico de la Subcuenca Loripongo

(Río Loripongo)

Balance Hídrico con Demandas Actuales de Agua

VARIABLES	MESES												PROM
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
1.- OFERTA DE AGUA (MMC)	7.04	15.39	11.52	5.52	2.12	1.43	1.31	1.26	1.27	1.31	1.40	2.57	4.35
1.1.- Descargas medias del río al 75%	7.04	15.39	11.52	5.52	2.12	1.43	1.31	1.26	1.27	1.31	1.40	2.57	4.35
2.- DEMANDA DE AGUA (MMC)	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.30	0.29	0.31	0.33	0.28	0.25	0.15
2.1.- Riego: Pastos naturales	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.29	0.28	0.30	0.32	0.27	0.24	0.14
2.3.- 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	0.01
3.- BALANCE HIDRICO (MMC)	7.03	15.38	11.51	5.51	2.11	1.42	1.01	0.97	0.96	0.98	1.12	2.32	4.19

Figura N° 9.8



Cuadro N° 9.9

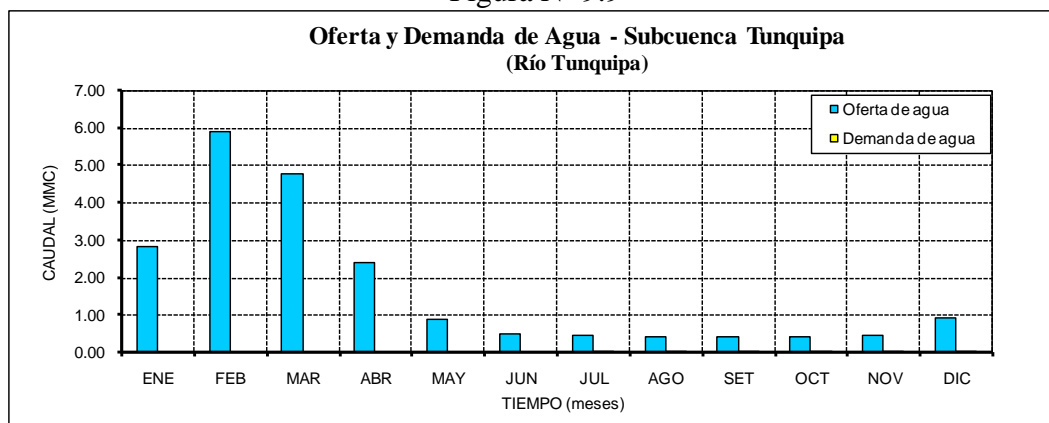
Balance Hídrico de la Subcuenca Tunquipa

(Río Tunquipa)

Balance Hídrico con Demandas Actuales de Agua

VARIABLES	MESES												PROM
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
1.- OFERTA DE AGUA (MMC)	2.84	5.93	4.77	2.41	0.88	0.52	0.48	0.43	0.41	0.43	0.47	0.94	1.71
1.1.- Descargas medias del río al 75%	2.84	5.93	4.77	2.41	0.88	0.52	0.48	0.43	0.41	0.43	0.47	0.94	1.71
2.- DEMANDA DE AGUA (MMC)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.04	0.05	0.05	0.04	0.04	0.02
2.1.- Riego: Pastos naturales	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.04	0.05	0.05	0.04	0.04	0.02
2.3.- Uso Poblacional	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
3.- BALANCE HIDRICO (MMC)	2.84	5.93	4.77	2.41	0.88	0.52	0.43	0.39	0.36	0.38	0.43	0.90	1.69

Figura N° 9.9



Cuadro N° 9.10

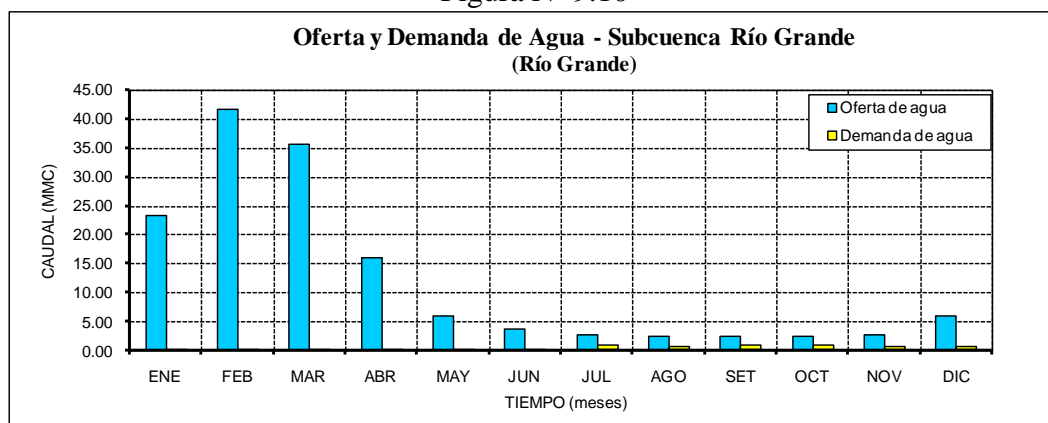
Balance Hídrico de la Subcuenca Río Grande

(Río Grande)

Balance Hídrico con Demandas Actuales de Agua

VARIABLES	MESES												PROM
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
1.- OFERTA DE AGUA (MMC)	23.33	41.63	35.76	15.97	6.05	3.71	2.79	2.41	2.59	2.41	2.70	6.11	12.12
1.1.- Descargas medias del río al 75%	23.33	41.63	35.76	15.97	6.05	3.71	2.79	2.41	2.59	2.41	2.70	6.11	12.12
2.- DEMANDA DE AGUA (MMC)	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.65	0.64	0.69	0.73	0.61	0.54	0.33
2.1.- Riego: Pastos naturales	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.64	0.63	0.68	0.72	0.60	0.53	0.32
2.3.- 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	0.01
3.- BALANCE HIDRICO (MMC)	23.32	41.62	35.75	15.96	6.04	3.70	2.14	1.77	1.90	1.68	2.09	5.57	11.80

Figura N° 9.10



Cuadro N° 9.11

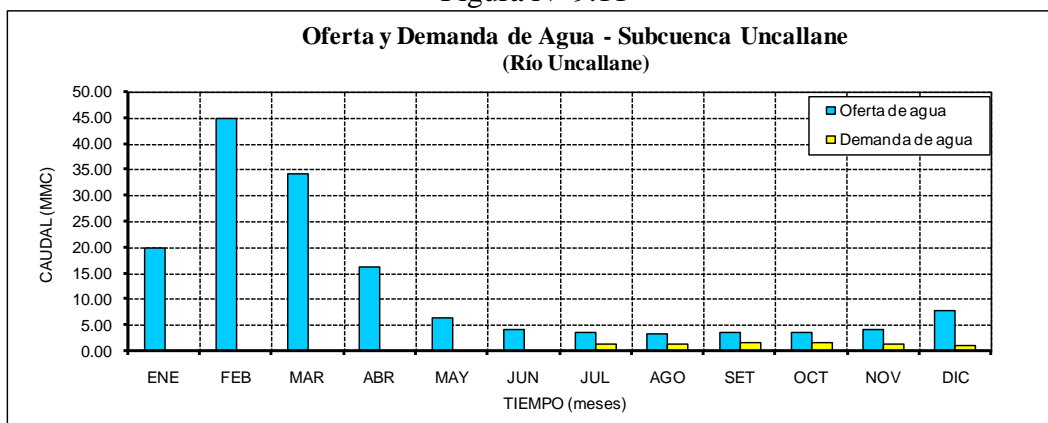
Balance Hídrico de la Subcuenca Uncallane

(Río Uncallane)

Balance Hídrico con Demandas Actuales de Agua

VARIABLES	MESES												PROM
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
1.- OFERTA DE AGUA (MMC)	20.03	44.95	34.28	16.41	6.54	4.28	3.59	3.29	3.58	3.75	4.28	7.93	12.74
1.1.- Descargas medias del río al 75%	20.03	44.95	34.28	16.41	6.54	4.28	3.59	3.29	3.58	3.75	4.28	7.93	12.74
2.- DEMANDA DE AGUA (MMC)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.48	1.45	1.56	1.66	1.39	1.22	0.73
2.1.- Riego: Pastos naturales	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.48	1.45	1.56	1.66	1.39	1.22	0.73
2.3.- Uso Poblacional	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
3.- BALANCE HIDRICO (MMC)	20.03	44.95	34.28	16.41	6.54	4.28	2.11	1.84	2.02	2.09	2.89	6.71	12.01

Figura N° 9.11

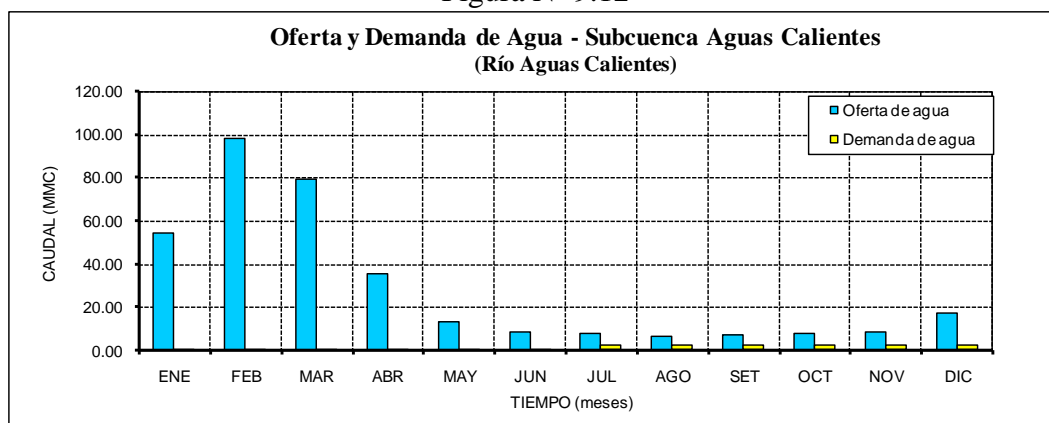


Cuadro N° 9.12
Balance Hídrico de la Subcuenca Aguas Calientes
(Río Aguas Calientes)

Balance Hídrico con Demandas Actuales de Agua

VARIABLES	MESES												PROM
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
1.- OFERTA DE AGUA (MMC)	54.48	98.61	79.41	35.46	13.39	8.86	7.77	7.02	7.75	7.85	9.05	17.46	28.93
1.1.- Descargas medias del río al 75%	54.48	98.61	79.41	35.46	13.39	8.86	7.77	7.02	7.75	7.85	9.05	17.46	28.93
2.- DEMANDA DE AGUA (MMC)	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	2.14	2.09	2.24	2.38	2.00	1.76	1.06
2.1.- Riego: Pastos naturales	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.13	2.08	2.23	2.37	1.99	1.75	1.05
2.3.- 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	0.01
3.- BALANCE HIDRICO (MMC)	54.47	98.60	79.40	35.45	13.38	8.85	5.63	4.93	5.51	5.47	7.05	15.70	27.87

Figura N° 9.12



9.3.- BALANCE HIDRICO CON DEMANDAS ACTUALES Y FUTURAS DE AGUA

En este caso, el desarrollo del balance hídrico de las subcuencas de interés, se ha desarrollado con la suma de las demandas actuales y futuras de agua. Las subcuencas son: Alto Ilave, Llusta, Medio Alto Ilave, Huenque, Lorigongo, río Grande, Uncallane, Aguas Calientes y cuenca Ilave.

Con la información de la disponibilidad hídrica - asignaciones y demandas actuales - futuras de agua establecidas, se ha realizado el balance hídrico a nivel de subcuencas y/o unidades hidrográficas. En adelante se muestran los cuadros de análisis respectivo.

Los resultados de desarrollo del balance hídrico con demandas actuales y futuras del agua, es el siguiente:

Subcuenca Alto Ilave (río Chichillapi): El balance entre las demandas (actuales y futuras) y ofertas hídricas, resulta que hay déficit del recurso hídrico en los meses de agosto (-0.13 MMC), setiembre (-0.35 MMC), octubre (-0.63 MMC), noviembre (-0.96 MMC) y diciembre (-0.04 MMC); el exceso del recurso hídrico está entre 0.13 MMC (julio) y 5.87 MMC (Febrero); la demanda mínima es de 0.01 MMC (febrero) y la demanda máxima es de 1.87 MMC (noviembre). El uso de agua actual y futuro consiste en riego de bofedales. Ver Cuadro N° 9.13 y la Figura N° 9.13.

Subcuenca Llusta (río Llusta Alta): Efectuando la comparación de las demandas (actuales y futuras) y ofertas hídricas, resulta que no hay déficit del recurso hídrico durante todo el año; el exceso del recurso hídrico varía entre los valores de 0.38 MMC (octubre) a 6.22 MMC (Febrero), la demanda mínima es de 0.02 MMC (marzo) y la demanda máxima llega a ser los 0.88 MMC (octubre). El uso actual y futuro del recurso hídrico es en el riego de bofedales. Ver Cuadro N° 9.14 y la Figura N° 9.14.

Subcuenca Medio Alto Ilave (río Llusta Baja): Realizando el balance entre las demandas (actuales y futuras) y ofertas hídricas, resulta que hay déficit del recurso hídrico en el mes de octubre (-0.21 MMC); el exceso del recurso hídrico oscila entre los valores de 0.05 MMC (noviembre) a 26.43 MMC (febrero); la demanda mínima es de 0.01 MMC (febrero) y la máxima viene a ser los 6.00 MMC (octubre). El riego actual y futuro es en bofedales y pastos naturales. Ver Cuadro N° 9.15 y la Figura N° 9.15.

Subcuenca Huenque: Efectuando el balance entre las demandas (actuales y futuras) y ofertas hídricas, resulta que no hay déficit del recurso hídrico durante todo el año; el exceso del recurso hídrico oscila entre los valores de 1.39 MMC (octubre y noviembre) y 55.36 MMC (febrero); la demanda mínima es 0.01 MMC (enero) y la demanda máxima 8.15 MMC (noviembre). El uso actual y futuro del agua es en poblacional y riego de bofedales y pastos naturales. Ver Cuadro N° 9.16 y la Figura N° 9.16.

Subcuenca Loripongo: La comparación entre los valores de las demandas (actuales y futuras) y ofertas hídricas (con afianzamiento del embalse Morocollo), resulta que no hay déficit del recurso hídrico durante todo el año; el exceso del recurso hídrico varía entre 2.06 MMC (setiembre) y 8.75 MMC (febrero); la demanda mínima es de 0.01 MMC (febrero y marzo) y la máxima es de 3.01 MMC (noviembre). El uso actual y futuro del agua es en poblacional y riego de pastos naturales y cultivos. Ver Cuadro N° 9.17 y la Figura N° 9.17.

Subcuenca río Grande: Realizando el balance entre las demandas (actuales y futuras) y ofertas hídricas (con afianzamiento del embalse Morocollo), resulta que no hay déficit del recurso hídrico en todo los meses del año; el exceso del recurso hídrico oscila entre 2.33 MMC (agosto) y 35.55 MMC (febrero); la demanda mínima es de 0.01 MMC (febrero y marzo) y la demanda máxima es 3.01 MMC (noviembre). El uso actual y futuro del agua es en poblacional y riego de pastos naturales y cultivos. Ver Cuadro N° 9.18 y la Figura N° 9.18.

Subcuenca Uncallane: Desarrollando el balance entre las demandas (actuales y futuras) y ofertas hídricas (con afianzamiento del embalse San Fernando), resulta que hay déficit del recurso hídrico en los meses de mayo (-1.91 MMC), junio (-1.59 MMC), julio (-1.67 MMC), agosto (-1.38 MMC), setiembre (-1.56 MMC), octubre (-3.56 MMC), noviembre (-2.92 MMC) y diciembre (-2.21 MMC); el exceso del recurso hídrico varía entre los valores de 1.67 MMC (abril) y 12.71 MMC (febrero); la demanda mínima es de 7.28 MMC (enero) y la demanda máxima llega a ser los 18.14 MMC (diciembre). El uso actual y futuro del agua es en el riego de pastos naturales y cultivos. Ver Cuadro N° 9.19 y la Figura N° 9.19.

Subcuenca Aguas Calientes: El balance entre las demandas (actuales y futuras) y ofertas hídricas (con afianzamiento de los embalses Morocollo y San Fernando), resulta que no hay déficit del recurso hídrico durante todo los meses del año; el exceso del recurso hídrico oscila entre los valores de 0.93 MMC (octubre) y 65.13 MMC (febrero); la demanda mínima es de 8.32 MMC (marzo) y la máxima es de 21.13 MMC (diciembre). El uso actual y futuro del agua es en poblacional y riego en pastos naturales y cultivos. Ver Cuadro N° 9.20 y la Figura N° 9.20.

Cuenca Ilave: Haciendo la comparación entre las demandas (futuras) y ofertas hídricas (con afianzamiento de los embalses Morocollo y San Fernando), resulta que no hay déficit del recurso hídrico durante todo el año; el exceso del recurso hídrico varía entre los valores de 5.33 MMC (noviembre) y 76.33 MMC (febrero); la demanda mínima es de 8.38 MMC (marzo) y la demandas máxima viene ser los 20.35 MMC (diciembre). El uso actual y futuro del agua, es en poblacional y riego de bofedales, pastos naturales y cultivos. Ver Cuadro N° 9.21 y la Figura N° 9.21.

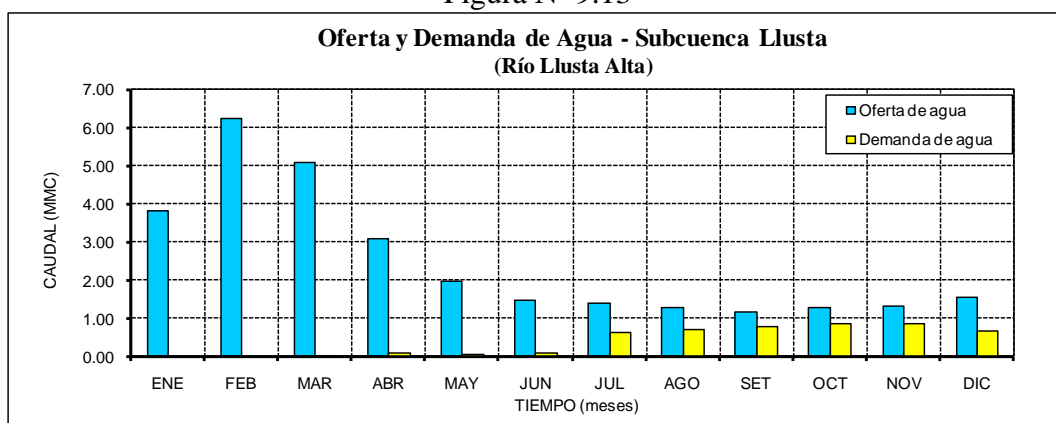
Según los resultados del balance hídrico, en la mayoría de las subcuencas ubicadas en la parte alta de la cuenca del río Ilave, el recurso hídrico resulta bajo en los meses de estiaje generalmente, si se aplicaría el caudal ecológico del río resultaría escasez de dicho recurso agua. Teniendo esta consideración para nuevos proyectos futuros se tendría que almacenar el agua en represas en tiempos de avenidas, para su uso en tiempos de estiaje y satisfacer a la demanda requerida; conociendo que desde Enero a Marzo, en mayoría de las subcuencas aportan sus aguas en forma total, directamente al lago Titicaca a través del río Ilave.

Cuadro N° 9.13
Balance Hídrico de la Subcuenca Llusta
(Río Llusta Alta)

Balance Hídrico con Demandas Actuales y Futuras de Agua

VARIABLES	MESES												PROM
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
1.- OFERTA DE AGUA (MMC)	3.80	6.22	5.06	3.08	1.96	1.48	1.37	1.26	1.17	1.26	1.30	1.53	2.46
1.1.- Descargas medias del río al 75%	3.80	6.22	5.06	3.08	1.96	1.48	1.37	1.26	1.17	1.26	1.30	1.53	2.46
2.- DEMANDA DE AGUA (MMC)	0.00	0.00	0.02	0.08	0.06	0.10	0.64	0.72	0.77	0.88	0.86	0.67	0.40
2.1.- Demandas actuales de agua	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.55	0.65	0.68	0.78	0.76	0.62	0.34
2.3.- Demandas futuras de agua	0.00	0.00	0.02	0.08	0.06	0.07	0.09	0.07	0.09	0.10	0.10	0.05	0.06
3.- BALANCE HIDRICO (MMC)	3.80	6.22	5.04	3.00	1.90	1.38	0.73	0.54	0.40	0.38	0.44	0.86	2.06

Figura N° 9.13

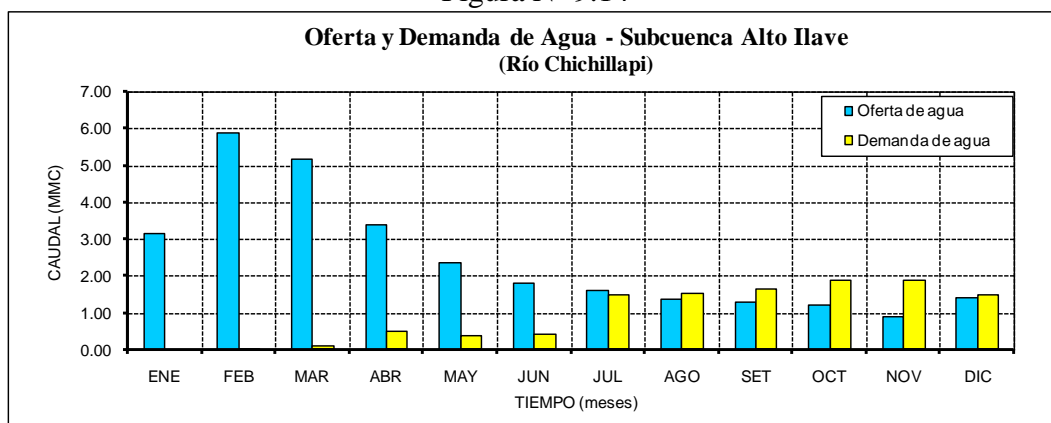


Cuadro N° 9.14
Balance Hídrico de la Subcuenca Alto Ilave
(Río Chichillapi)

Balance Hídrico con Demandas Actuales y Futuras de Agua

VARIABLES	MESES												PROM
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
1.- OFERTA DE AGUA (MMC)	3.16	5.88	5.20	3.40	2.36	1.81	1.61	1.39	1.30	1.23	0.91	1.42	2.47
1.1.- Descargas medias del río al 75%	3.16	5.88	5.20	3.40	2.36	1.81	1.61	1.39	1.30	1.23	0.91	1.42	2.47
2.- DEMANDA DE AGUA (MMC)	0.00	0.01	0.09	0.49	0.37	0.40	1.48	1.52	1.65	1.86	1.87	1.46	0.93
2.1.- Demandas actuales de agua	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.94	1.12	1.15	1.29	1.25	1.03	0.57
2.3.- Demandas futuras de agua	0.00	0.01	0.09	0.49	0.37	0.40	0.54	0.40	0.50	0.57	0.62	0.43	0.37
3.- BALANCE HIDRICO (MMC)	3.16	5.87	5.11	2.91	1.99	1.41	0.13	-0.13	-0.35	-0.63	-0.96	-0.04	1.54

Figura N° 9.14

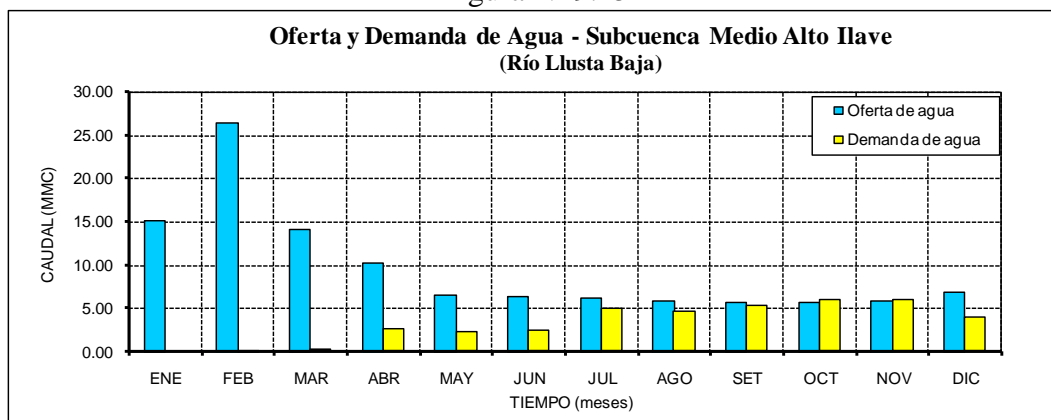


Cuadro N° 9.15
Balance Hídrico de la Subcuenca Medio Alto Ilave
(Río Llusta Baja)

Balance Hídrico con Demandas Actuales y Futuras de Agua

VARIABLES	MESES												PROM
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
1.- OFERTA DE AGUA (MMC)	15.13	26.44	14.12	10.34	6.59	6.38	6.16	5.95	5.73	5.79	5.94	6.91	9.62
1.1.- Descargas medias del río al 75%	15.13	26.44	14.12	10.34	6.59	6.38	6.16	5.95	5.73	5.79	5.94	6.91	9.62
2.- DEMANDA DE AGUA (MMC)	0.00	0.01	0.12	2.60	2.13	2.36	4.98	4.59	5.22	6.00	5.89	3.84	3.15
2.1.- Demandas actuales de agua	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	1.93	2.29	2.38	2.69	2.62	2.17	1.18
2.3.- Demandas futuras de agua	0.00	0.01	0.12	2.60	2.13	2.30	3.05	2.30	2.84	3.31	3.27	1.67	1.97
3.- BALANCE HIDRICO (MMC)	15.13	26.43	14.00	7.74	4.46	4.02	1.18	1.36	0.51	-0.21	0.05	3.07	6.48

Figura N° 9.15



Cuadro N° 9.16

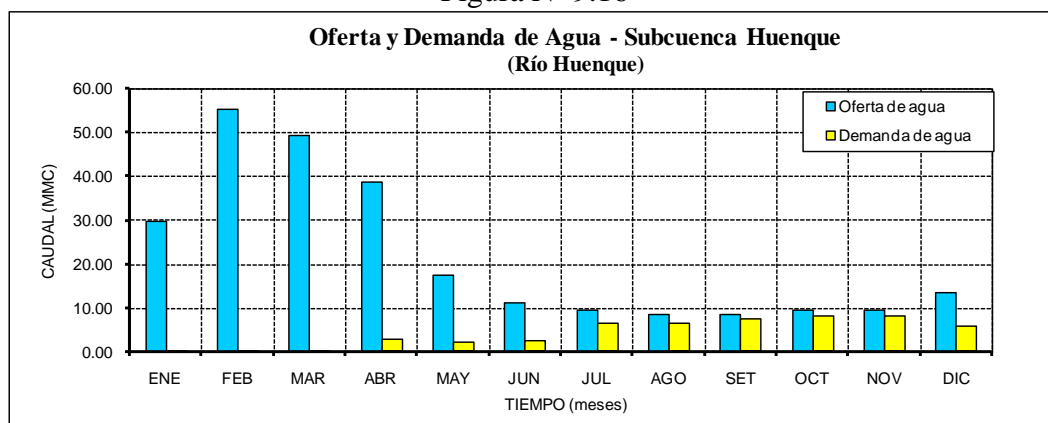
Balance Hídrico de la Subcuenca Huenque

(Río Huenque)

Balance Hídrico con Demandas Actuales y Futuras de Agua

VARIABLES	MESES												PROM
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
1.- OFERTA DE AGUA (MMC)	29.81	55.38	49.39	38.65	17.41	11.40	9.45	8.65	8.76	9.45	9.54	13.47	21.78
1.1.- Descargas medias del río al 75%	29.81	55.38	49.39	38.65	17.41	11.40	9.45	8.65	8.76	9.45	9.54	13.47	21.78
2.- DEMANDA DE AGUA (MMC)	0.01	0.02	0.13	2.61	2.14	2.50	6.38	6.42	7.18	8.06	8.15	5.68	4.11
2.1.- Demandas actuales de agua	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.20	3.33	4.12	4.34	4.75	4.88	4.01	2.14
2.3.- Demandas futuras de agua	0.00	0.01	0.12	2.60	2.13	2.30	3.05	2.30	2.84	3.31	3.27	1.67	1.97
3.- BALANCE HIDRICO (MMC)	29.80	55.36	49.26	36.04	15.27	8.90	3.07	2.23	1.58	1.39	1.39	7.79	17.67

Figura N° 9.16



Cuadro N° 9.17

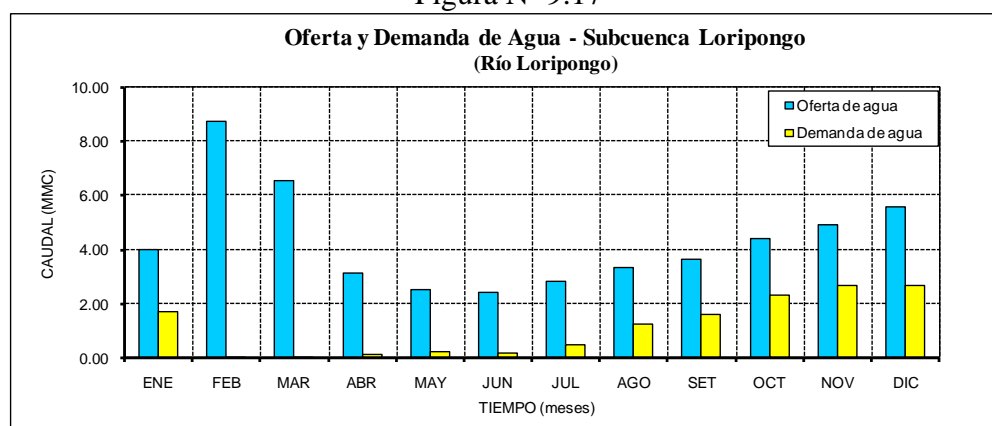
Balance Hídrico de la Subcuenca Loripongo

(Río Loripongo)

Balance Hídrico con Demandas Actuales y Futuras de Agua

VARIABLES	MESES												PROM
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
1.- OFERTA DE AGUA (MMC)	4.01	8.76	6.56	3.14	2.52	2.43	2.81	3.36	3.67	4.41	4.90	5.57	4.35
1.1.- Descargas medias del río al 75%	7.04	15.39	11.52	5.52	2.12	1.43	1.31	1.26	1.27	1.31	1.40	2.57	4.35
1.2.- Asignación descargas con presa	-3.03	-6.63	-4.96	-2.38	0.40	1.00	1.50	2.10	2.40	3.10	3.50	3.00	0.00
2.- DEMANDA DE AGUA (MMC)	1.70	0.01	0.01	0.13	0.23	0.18	0.49	1.23	1.61	2.31	2.68	2.70	1.11
2.1.- Demandas actuales de agua	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.30	0.29	0.31	0.33	0.28	0.25	0.15
2.3.- Demandas futuras de agua	1.69	0.00	0.00	0.12	0.22	0.17	0.19	0.94	1.30	1.98	2.40	2.45	0.96
3.- BALANCE HIDRICO (MMC)	2.31	8.75	6.55	3.01	2.29	2.25	2.32	2.13	2.06	2.10	2.22	2.87	3.24

Figura N° 9.17



Cuadro N° 9.18

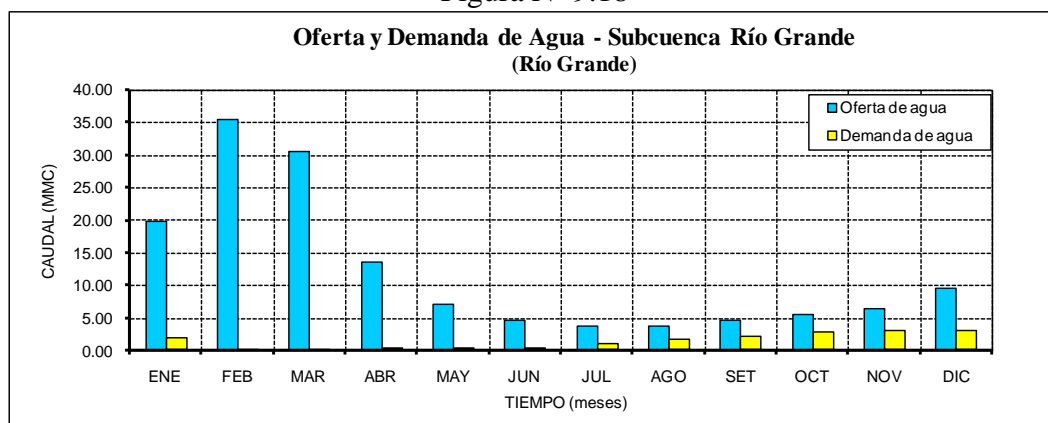
Balance Hídrico de la Subcuenca Río Grande

(Río Grande)

Balance Hídrico con Demandas Actuales y Futuras de Agua

VARIABLES	MESES												PROM
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
1.- OFERTA DE AGUA (MMC)	19.93	35.56	30.55	13.64	7.05	4.71	3.79	3.91	4.59	5.61	6.40	9.71	12.12
1.1.- Descargas medias del río al 75%	23.33	41.63	35.76	15.97	6.05	3.71	2.79	2.41	2.59	2.41	2.70	6.11	12.12
1.2.- Asignación descargas con presa	-3.40	-6.07	-5.21	-2.33	1.00	1.00	1.00	1.50	2.00	3.20	3.70	3.60	0.00
2.- DEMANDA DE AGUA (MMC)	1.70	0.01	0.01	0.13	0.23	0.18	0.84	1.58	1.99	2.71	3.01	2.99	1.28
2.1.- Demandas actuales de agua	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.65	0.64	0.69	0.73	0.61	0.54	0.33
2.3.- Demandas futuras de agua	1.69	0.00	0.00	0.12	0.22	0.17	0.19	0.94	1.30	1.98	2.40	2.45	0.96
3.- BALANCE HIDRICO (MMC)	18.23	35.55	30.54	13.51	6.82	4.53	2.95	2.33	2.60	2.90	3.39	6.72	10.84

Figura N° 9.18



Cuadro N° 9.19

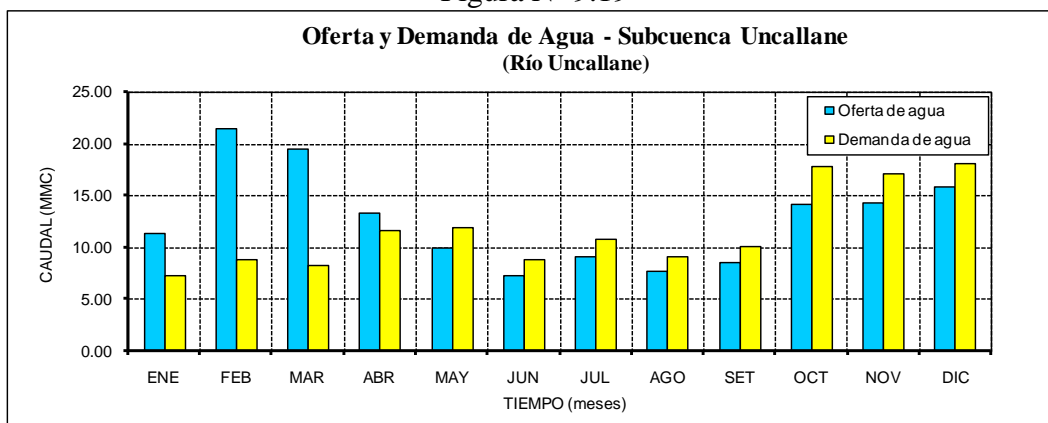
Balance Hídrico de la Subcuenca Uncallane

(Río Uncallane)

Balance Hídrico con Demandas Actuales y Futuras de Agua

VARIABLES	MESES												PROM
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
1.- OFERTA DE AGUA (MMC)	11.37	21.52	19.46	13.31	10.04	7.28	9.09	7.79	8.58	14.25	14.28	15.93	12.74
1.1.- Descargas medias del río al 75%	20.03	44.95	34.28	16.41	6.54	4.28	3.59	3.29	3.58	3.75	4.28	7.93	12.74
1.2.- Asignación descargas con presa	-8.66	-23.43	-14.82	-3.10	3.50	3.00	5.50	4.50	5.00	10.50	10.00	8.00	0.00
2.- DEMANDA DE AGUA (MMC)	7.28	8.81	8.31	11.64	11.95	8.87	10.76	9.17	10.14	17.81	17.20	18.14	11.67
2.1.- Demandas actuales de agua	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.48	1.45	1.56	1.66	1.39	1.22	0.73
2.3.- Demandas futuras de agua	7.28	8.81	8.31	11.64	11.95	8.87	9.28	7.72	8.58	16.15	15.81	16.92	10.94
3.- BALANCE HIDRICO (MMC)	4.09	12.71	11.15	1.67	-1.91	-1.59	-1.67	-1.38	-1.56	-3.56	-2.92	-2.21	1.07

Figura N° 9.19

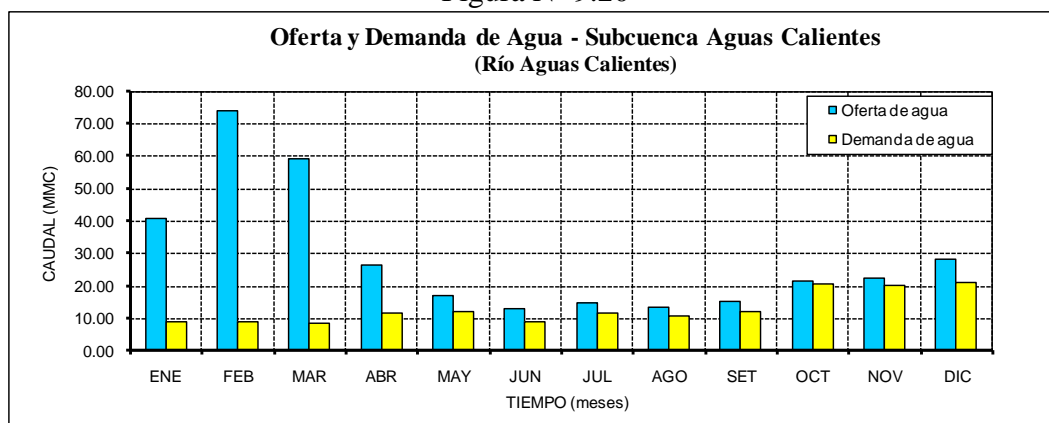


Cuadro N° 9.20
Balance Hídrico de la Subcuenca Aguas Calientes
(Río Aguas Calientes)

Balance Hídrico con Demandas Actuales y Futuras de Agua

VARIABLES	MESES												PROM
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
1.- OFERTA DE AGUA (MMC)	40.86	73.95	59.55	26.60	17.29	12.86	14.77	13.62	15.15	21.45	22.55	28.46	28.93
1.1.- Descargas medias del río al 75%	54.48	98.61	79.41	35.46	13.39	8.86	7.77	7.02	7.75	7.85	9.05	17.46	28.93
1.2.- Asignación descargas con presa	-13.62	-24.66	-19.86	-8.86	3.90	4.00	7.00	6.60	7.40	13.60	13.50	11.00	0.00
2.- DEMANDA DE AGUA (MMC)	8.98	8.82	8.32	11.77	12.18	9.05	11.61	10.74	12.12	20.52	20.21	21.13	12.95
2.1.- Demandas actuales de agua	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	2.14	2.09	2.24	2.38	2.00	1.76	1.06
2.3.- Demandas futuras de agua	8.97	8.81	8.31	11.76	12.17	9.04	9.47	8.65	9.88	18.14	18.21	19.37	11.90
3.- BALANCE HIDRICO (MMC)	31.88	65.13	51.23	14.83	5.11	3.81	3.16	2.88	3.03	0.93	2.34	7.33	15.97

Figura N° 9.20

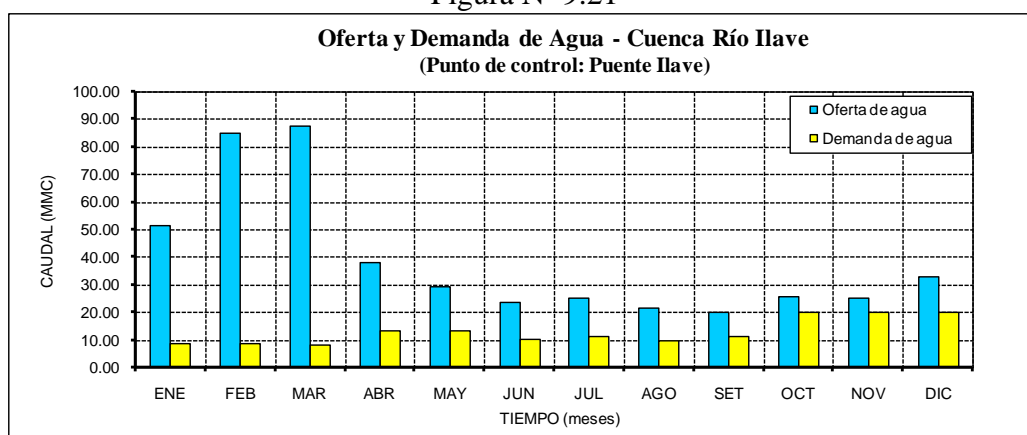


Cuadro N° 9.21
Balance Hídrico de la Cuenca Ilave
(Río Ilave)

Balance Hídrico con Demandas Futuras de Agua

VARIABLES	MESES												PROM
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
1.- OFERTA DE AGUA (MMC)	51.58	85.15	87.62	38.20	29.13	23.85	25.37	21.49	20.26	25.84	25.45	33.12	38.92
1.1.- Descargas medias del río al 75%	64.74	106.88	109.98	47.95	25.23	19.85	18.37	14.89	12.86	12.24	11.95	22.12	38.92
1.2.- Asignación descargas con presa	-13.16	-21.73	-22.36	-9.75	3.90	4.00	7.00	6.60	7.40	13.60	13.50	11.00	0.00
2.- DEMANDA DE AGUA (MMC)	8.97	8.82	8.38	13.28	13.41	10.38	11.25	10.00	11.54	20.07	20.12	20.35	13.05
2.1.- Demandas actuales de agua													
2.3.- Demandas futuras de agua	8.97	8.82	8.38	13.28	13.41	10.38	11.25	10.00	11.54	20.07	20.12	20.35	13.05
3.- BALANCE HIDRICO (MMC)	42.61	76.33	79.24	24.92	15.72	13.47	14.12	11.49	8.72	5.77	5.33	12.77	25.87

Figura N° 9.21



CAPITULO 10

ANALISIS DE EVENTOS EXTREMOS

10.1.- GENERALIDADES

En el presente capítulo se ha elaborado un análisis de eventos extremos de naturaleza hidrometeorológica como exceso de escorrentías (avenidas) y escasez de lluvias (sequías) en el ámbito de la cuenca del río Ilave.

En el análisis de máximas avenidas, se ha realizado el análisis de frecuencia de descargas máximas instantáneas del río Ilave, y además se ha determinado las avenidas en algunas subcuencas de interés, en función a los registros de precipitaciones máximas en 24 horas aplicando el hidrograma unitario sintético del Servicio de Conservación de Suelos (Método SCS).

Con respecto al análisis de sequías se ha identificado los periodos de déficit de precipitación en el ámbito y entorno de la cuenca del río Ilave en base a la información disponible de registros de precipitación total anual y mensual.

10.2.- ANALISIS DE MAXIMAS AVENIDAS

Uso del Análisis de Frecuencias 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.

Series Estadísticas y Períodos 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, T_r , 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_{T_r} . 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 en un solo año.

Para los períodos de retorno que exceden de diez años, no es necesario hacer las diferencias en períodos de retorno entre las series anuales y parciales pues son insignificantes.

Enfoque Matemático para el Análisis de Frecuencias

Distribuciones de Probabilidades usadas en Hidrología

Las distribuciones 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 principales que se usan en hidrología generalmente en el análisis de máximas avenidas se indican en adelante. Sus definiciones matemáticas figuran en la bibliografía de referencias.

- 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 (MV) han sido muy usados en hidrología.

Un método más reciente, basado en las estadísticas de L-momentos, constituye una mejora considerable con respecto a los métodos más convencionales de máxima verosimilitud o el de momentos. Las aplicaciones de este método regionalizado están comenzando a ser señaladas en el análisis de datos de valores extremos.

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.

10.2.1.- Análisis de máximas avenidas en el río Ilave

En el río Ilave se dispone de la información hidrométrica, consistente en caudales máximos diarios del periodo de 1960 – 2007 (44 años con información), ésta información se ha utilizado para el análisis de máximas avenidas, empleando los métodos probabilísticos se obtendrá los caudales máximos para diferentes periodos de retorno.

10.2.1.1.- Información básica

La información faltante en el registro de caudales máximos promedios diarios del río Ilave, se ha completado con los caudales máximos de los ríos Ramis y Huancané, aplicando el Software Hidrológico HEC-4.

Según la información del SENAMHI, los caudales máximos del río Ilave, son caudales máximos promedios diarios, vale decir, promedio de de tres valores o lecturas diarias, y por lo tanto no son datos instantáneos, por este razón se convirtieron los caudales máximos medios diarios a instantáneos mediante la aplicación del **Método de Fuller**, que se fundamenta en función del área de la cuenca, y ésta información de datos instantáneos es la que sirve para el análisis de máximas avenidas.

$$\text{Fórmula de Fuller:} \quad Q_{\text{inst}} = Q_{\text{máx}} \left(1 + \frac{2.66}{A^{0.33}} \right)$$

$$\begin{array}{lll} \text{Donde:} & Q_{\text{inst}} & = \text{caudal máximo instantáneo (m3/sg).} \\ & Q_{\text{máx}} & = \text{caudal máximo medio diario (m3/sg).} \\ & A & = \text{área de la cuenca de interés (Km2).} \end{array}$$

Reemplazando el área de la cuenca del río Ilave (7771.50 Km², área a la estación hidrométrica), se obtiene un factor de 1.2 aproximadamente y por lo tanto la ecuación queda así:

$$Q_{\text{inst}} = 1.2 Q_{\text{máx}}$$

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.

En el registro de caudales máximos del río Ilave, en el año 2001 muestra menor al valor obtenido mediante el aforo realizado en el mismo año por el PELT (Proyecto Especial Binacional Lago Titicaca) y ello será reemplazado y corregido con el dato del aforo, dicho valor es instantáneo y no siendo necesario convertir con el método de Fuller.

10.2.1.2.- Análisis de frecuencia de caudales máximos instantáneos

El análisis de frecuencia es una herramienta utilizada para, predecir el comportamiento futuro de las descargas en un sitio de interés, a partir de la información histórica de descargas. 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.

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.

La información básica utilizada para el análisis probabilístico de serie de caudales máximos instantáneos (extremos u extraordinarios) del río Llave es del periodo 1960 – 2007 (48 años de información). Esta información proviene de una selección de los caudales máximos diarios respectivos a cada año de los registros históricos-aforados en la estación de aforo Puente Llave. En el Cuadro N° 10.1 se presenta la serie anual de descargas máximas instantáneas diarias del río Llave. Para el río Llave el caudal máximo histórico registrado es de 1304.0 m³/sg en el año 2001 y el mínimo es de 51.0 m³/sg en el año 1998.

Para realizar el análisis de frecuencia de las descargas máximas instantáneas del río Llave, 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 como: La Log-Normal de 2 parámetros, Log-Normal de 3 parámetros, Gumbel I y Log-Pearson III.

En los Cuadros N° 10.2 a 10.4, se muestra el resultado del análisis de frecuencia de las descargas máximas instantáneas del río Llave.

Cuadro N° 10.1

REGISTRO DE SERIE ANUAL DE CAUDALES MAXIMOS DIARIOS - RIO ILAVE

PERIODO : 1960 - 2007

ESTACION HIDROMETRICA : PUENTE ILAVE

LONGITUD : 69°37'47" W ; LATITUD : 16°05'04" S ; ALTITUD : 3825.00 msnm. ; AREA : 7,771.50 Km2

No	AÑO	CAUDALES MAXIMOS DIARIOS (m3/sg)				
		HISTORICOS (1)	GENERADOS (2)	COMPLETADOS (3)	AFOROS PELT (4)	INSTANTANEOS (5)
1	1960	278.00		278.00		333.60
2	1961	167.66		167.66		201.19
3	1962	512.00		512.00		614.40
4	1963	779.00		779.00		934.80
5	1964	184.60		184.60		221.52
6	1965	69.00		69.00		82.80
7	1966	58.80		58.80		70.56
8	1967	413.80		413.80		496.56
9	1968	295.00		295.00		354.00
10	1969	298.00		298.00		357.60
11	1970	341.00		341.00		409.20
12	1971	475.00		475.00		570.00
13	1972	328.00		328.00		393.60
14	1973	493.60		493.60		592.32
15	1974	732.60		732.60		879.12
16	1975	692.40		692.40		830.88
17	1976	626.96		626.96		752.35
18	1977	325.10		325.10		390.12
19	1978	441.89		441.89		530.27
20	1979	227.69		227.69		273.23
21	1980		510.87	510.87		613.04
22	1981		453.33	453.33		544.00
23	1982		642.85	642.85		771.42
24	1983		43.95	43.95		52.74
25	1984	735.60		735.60		882.72
26	1985	387.90		387.90		465.48
27	1986	907.00		907.00		1088.40
28	1987	571.00		571.00		685.20
29	1988	355.05		355.05		426.06
30	1989	187.10		187.10		224.52
31	1990	50.50		50.50		60.60
32	1991	161.90		161.90		194.28
33	1992	69.10		69.10		82.92
34	1993	90.90		90.90		109.08
35	1994	367.10		367.10		440.52
36	1995	87.10		87.10		104.52
37	1996	125.60		125.60		150.72
38	1997	316.00		316.00		379.20
39	1998	42.50		42.50		51.00
40	1999	119.93		119.93		143.92
41	2000	661.20		661.20		793.44
42	2001	449.90		449.90	1307.20	1307.20
43	2002	295.80		295.80		354.96
44	2003	125.60		125.60		150.72
45	2004	389.00		389.00		466.80
46	2005	299.90		299.90		359.88
47	2006	458.70		458.70		550.44
48	2007	153.10		153.10		183.72
CAUDAL MAXIMO DE LA SERIE		907.00	642.85	907.00	1307.20	1307.20

(1) Caudales máximos diarios promedios históricos.

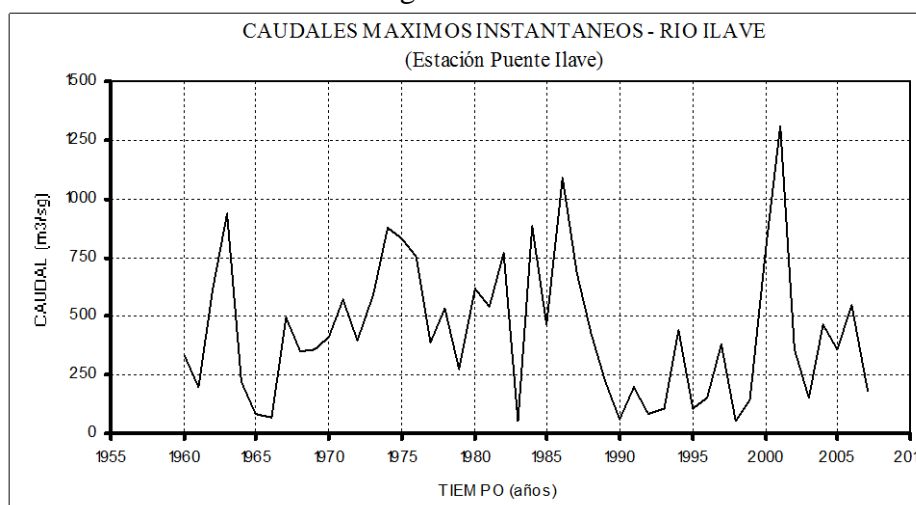
(2) Caudales generados con Hec-4 con el Río Ramis y Huancané.

(3) Caudales completados con la información generada.

(4) Caudales de aforo realizado por el PELT.

(5) Caudales máximos instantáneos (Fuller=1.20).

Figura N° 10.1



Cuadro N° 10.2
Análisis de frecuencia de caudales máximos instantáneos
Río Ilave

YEAR	DATA	ORDERED	RANK	PROB.	RET.	PERIOD
1960	333.6	1307.2	1	.012	80.333	
1961	201.2	1088.4	2	.033	30.125	
1962	614.4	934.8	3	.054	18.538	
1963	934.8	882.7	4	.075	13.389	
1964	221.5	879.1	5	.095	10.478	
1965	82.8	830.9	6	.116	8.607	
1966	70.6	793.4	7	.137	7.303	
1967	496.6	771.4	8	.158	6.342	
1968	354.0	752.3	9	.178	5.605	
1969	357.6	685.2	10	.199	5.021	
1970	409.2	614.4	11	.220	4.547	
1971	570.0	613.0	12	.241	4.155	
1972	393.6	592.3	13	.261	3.825	
1973	592.3	570.0	14	.282	3.544	
1974	879.1	550.4	15	.303	3.301	
1975	830.9	544.0	16	.324	3.090	
1976	752.3	530.3	17	.344	2.904	
1977	390.1	496.6	18	.365	2.739	
1978	530.3	466.8	19	.386	2.591	
1979	273.2	465.5	20	.407	2.459	
1980	613.0	440.5	21	.427	2.340	
1981	544.0	426.1	22	.448	2.231	
1982	771.4	409.2	23	.469	2.133	
1983	52.7	393.6	24	.490	2.042	
1984	882.7	390.1	25	.510	1.959	
1985	465.5	379.2	26	.531	1.883	
1986	1088.4	359.9	27	.552	1.812	
1987	685.2	357.6	28	.573	1.746	
1988	426.1	355.0	29	.593	1.685	
1989	224.5	354.0	30	.614	1.628	
1990	60.6	333.6	31	.635	1.575	
1991	194.3	273.2	32	.656	1.525	
1992	82.9	224.5	33	.676	1.479	
1993	109.1	221.5	34	.697	1.435	
1994	440.5	201.2	35	.718	1.393	
1995	104.5	194.3	36	.739	1.354	
1996	150.7	183.7	37	.759	1.317	
1997	379.2	150.7	38	.780	1.282	
1998	51.0	150.7	39	.801	1.249	
1999	143.9	143.9	40	.822	1.217	
2000	793.4	109.1	41	.842	1.187	
2001	1307.2	104.5	42	.863	1.159	
2002	355.0	82.9	43	.884	1.131	
2003	150.7	82.8	44	.905	1.106	
2004	466.8	70.6	45	.925	1.081	
2005	359.9	60.6	46	.946	1.057	
2006	550.4	52.7	47	.967	1.034	
2007	183.7	51.0	48	.988	1.013	

Cuadro N° 10.3
Parámetros estadísticos de la muestra y de las distribuciones teóricas

SAMPLE STATISTICS				
MEAN =	436.	S.D. =	297.3	C.S. = .7917 C.K. = 3.5279
SAMPLE STATISTICS (LOGS)				
MEAN =	5.7858	S.D. =	.8546	C.S. = -.6529 C.K. = 2.7391
SAMPLE MIN =	51.	SAMPLE MAX =	1307.	N = 48
PARAMETERS FOR GUMBEL I	A = .004350	U =	300.	
PARAMETERS FOR LOGNORMAL	M = 5.7858	S =	.8546	
PARAMETERS FOR THREE PARAMETER LOGNORMAL	A = -145.	M =	6.2322	S = .5347
STATISTICS OF LOG(X-A)				
MEAN =	6.2322	S.D. =	.5347	C.S. = -.1842 C.K. = 2.3267
PARAMETERS FOR LOG PEARSON III BY MOMENTS	A = -.2790	B = .9385E+01	LOG(M) = 8.4038	
	M =	.4464E+04		
PARAMETERS FOR LOG PEARSON III BY MAXIMUM LIKELIHOOD	A = -.4630	B = .3522E+01		
	LOG(M) = 7.4167	M = .1664E+04		
DISTRIBUTION STATISTICS	MEAN = 5.7858	S.D. = .8690	C.S. = -1.0656	

Cuadro N° 10.4
Caudales máximos instantáneos para diferentes períodos de retorno - Río Ilave

RETURN PERIOD	GUMBEL I		LOGNORMAL		THREE PARAMETER LOGNORMAL		LOG PEARSON III MAX. LIKELIHOOD		LOG PEARSON III MOMENTS	
	FLOOD ESTIMATE	ST. ERROR PERCENT	FLOOD ESTIMATE	ST. ERROR PERCENT	FLOOD ESTIMATE	ST. ERROR PERCENT	FLOOD ESTIMATE	ST. ERROR PERCENT	FLOOD ESTIMATE	ST. ERROR PERCENT
1.005	-83.4		36.0		-17.0		14.7		21.3	
1.050	44.2		79.8		65.8		63.4		69.5	
1.250	191.0		159.0		179.0		170.0		165.0	
2.000	384.0		326.0		363.0		378.0		357.0	
5.000	645.0	9.27	669.0	14.40	653.0	11.00	679.0	9.93	677.0	11.80
10.000	817.0	9.38	974.0	16.60	865.0	12.50	857.0	9.18	901.0	12.40
20.000	983.0	9.55	1330.0	18.90	1080.0	14.60	1000.0	8.81	1120.0	15.30
50.000	1200.0	9.75	1880.0	21.80	1380.0	17.40	1160.0	8.97	1380.0	21.10
100.0	1360.0	9.88	2380.0	23.70	1620.0	19.60	1260.0	9.53	1580.0	26.10
200.0	1520.0	9.99	2940.0	25.60	1870.0	21.80	1340.0	10.40	1760.0	31.30
500.0	1730.0	10.10	3820.0	28.00	2230.0	24.60	1420.0	11.70	2000.0	38.40
1000.0	1890.0	10.20	4600.0	29.70	2520.0	26.60	1480.0	12.90	2170.0	43.70
2000.0	2050.0	10.30	5450.0	31.30	2820.0	28.60	1520.0	14.00	2320.0	48.90
5000.0	2260.0	10.30	6710.0	33.20	3230.0	31.00	1560.0	15.50	2510.0	55.40
10000.0	2420.0	10.40	7820.0	34.70	3570.0	32.80	1590.0	16.50	2650.0	60.40

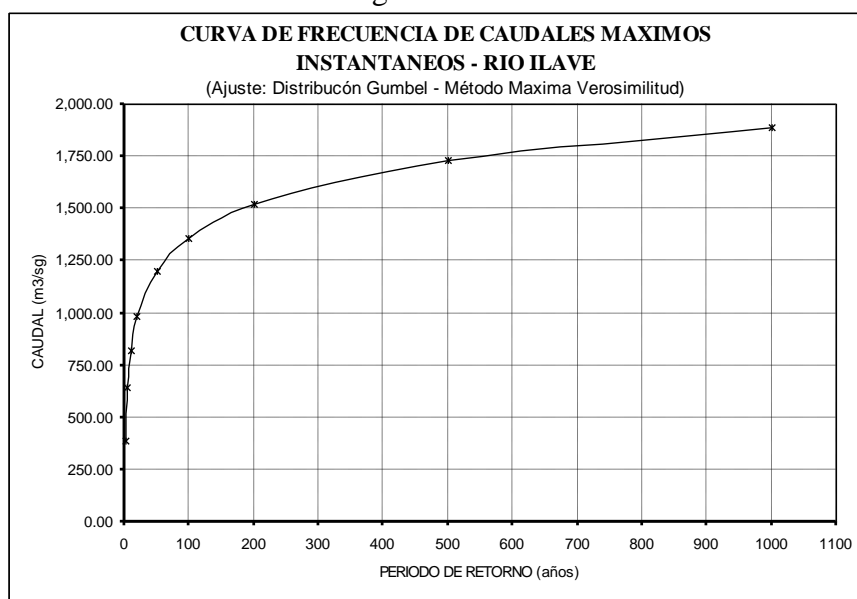
10.2.1.3.- Caudales máximos instantáneos para diferentes periodos de retorno

Según el análisis de frecuencia resulta que la serie de caudales máximos instantáneos del río Ilave se ajusta mejor a la Distribución Gumbel (método de máxima verosimilitud), por mostrar menor porcentaje de error estándar que otras distribuciones. A continuación se muestran los caudales máximos instantáneos de diseño para diferentes períodos de retorno.

Cuadro N° 10.5
Caudales máximos instantáneos para diferentes periodos de retorno – Río Ilave

TR (años)	Caudales Máximos Instantáneos (mm)
2	384.0
5	645.0
10	817.0
20	983.0
50	1200.0
100	1360.0
200	1520.0
500	1730.0
1000	1890.0

Figura N° 10.2



10.2.2.- Análisis de máximas avenidas en las subcuencas

En las subcuencas (Conduriri, Alto Aguas Calientes - río Malcomayo, Cutimbo y Loripongo, ríos donde se puede construir puentes carrozales) seleccionadas para el análisis de máximas avenidas, no existe la información hidrométrica, sin embargo se dispone de la información meteorológica consistente en precipitación máxima en 24 horas, de las estaciones cercanas a las cuencas. 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).

10.2.2.1.- Descripción del Método del Hidrograma Unitario del U.S. Soil Conservation Service (Método SCS)

A.- Introducción

Se ha realizado el cálculo de las máximas avenidas, para las subcuencas prioritarias, lugar donde se podrían proyectarse posibles construcciones de obras hidráulicas (puentes de acceso). En estas subcuencas, no dispone de información hidrométrica histórica, por tal razón se ha empleado el método del Hidrograma Unitario Sintético del Servicio de Conservación de Suelos (Método 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 analisis de máximas avenidas es la siguiente:

- Subcuenca Río Conduriri
- Subcuenca Río Malcomayo
- Subcuenca Río Cutimbo
- Subcuenca Río Loripongo

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 HIDROLOGICO SUELO-VEGETACION, 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 triangular unitario sintético a partir de las características físicas de la cuenca y un perfil de precipitación efectiva, las cuales convolucionan para producir un hidrograma compuesto de la avenida.

A continuación la geometría del hidrograma unitario es mostrada como:

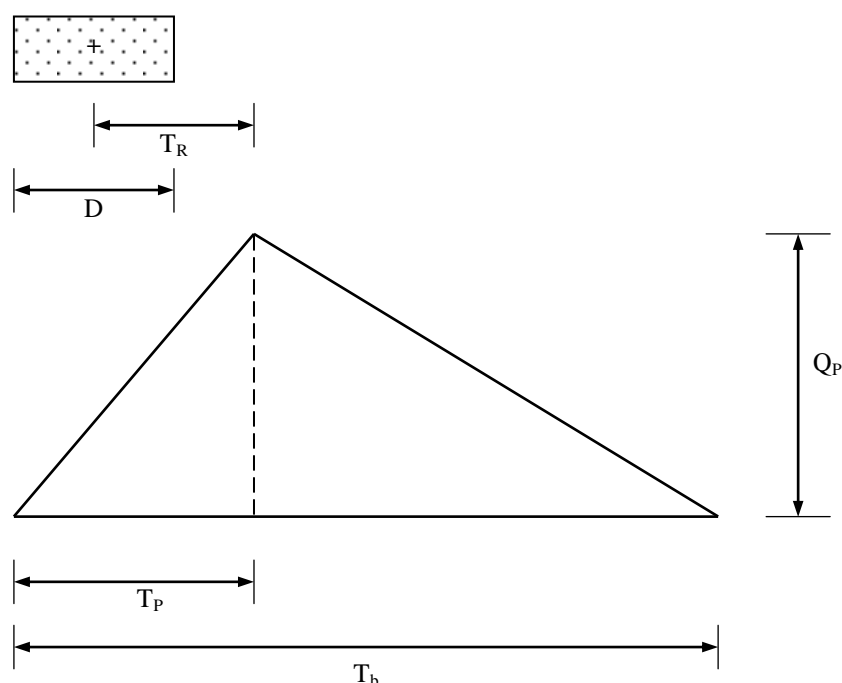


Figura N° 10.3: Hidrograma unitario triangular del Soil Conservation Service (SCS).

Donde:

- T_R = Tiempo de retardo entre el centro de la precipitación efectiva y el caudal pico(horas).
 D = Duración del incremento unitario de precipitación efectiva(hrs).
 T_P = Tiempo pico(horas).
 T_b = Tiempo base(horas).
 Q_P = Caudal pico del hidrograma unitario para una duración D (horas).

Las relaciones matemáticas son:

$$D = 0.40 T_R$$

$$T_P = \frac{D}{2} + T_R = 3D$$

$$T_b = 2.67 T_P$$

$$Q_P = \frac{0.208 P_e A}{T_P}$$

$$T_R = \frac{L^{0.8} \times (S + 1)^{1.67}}{13.9 \times I^{0.5}}$$

Donde:

- A = área de la cuenca (Km²).
 L = longitud del curso principal (Km).
 I = pendiente del curso principal (%).
 S = máxima retención potencial (pulgadas).
 P_e = precipitación efectiva o escorrentía directa (mm).

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

- CN = es el número de curva típica, se obtiene a partir de tablas elaboradas por el US – SCS o por calibración.

La estimación de CN es un paso importante del método, por su influencia sobre el resultado final.

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.

Se consideran dos tipos de perfil de dicha precipitación (Figura N° 10.5), la del Tipo I correspondiente a tormentas convectivas y la de Tipo II a tormentas frontales, las que son más intensas y que mejor se adaptarían al tipo de precipitación en la subcuenca del río Blanco – Ilave 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.

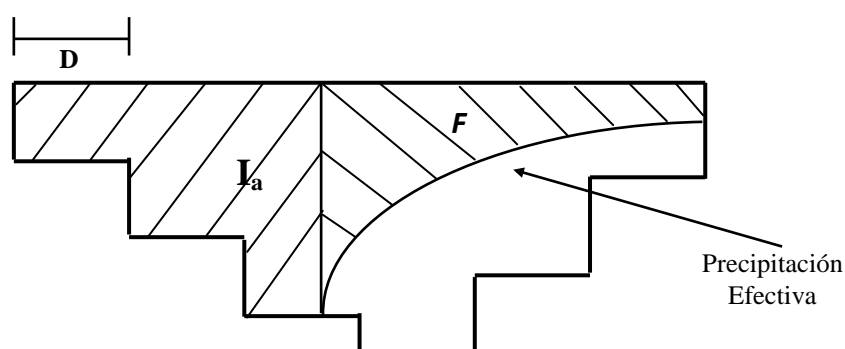


Figura N° 10.4: Variables del método SCS para abstracciones.

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:

$$Pe_i = \frac{(P_i - 5.08 S)^2}{(P_i - 20.32 S)}$$

Donde: P_i es la precipitación acumulada hasta el incremento de tiempo i .

El incremento de escorrentía en el período i será entonces:

$$\Delta Pe_i = Pe_i - Pe_{i-1}$$

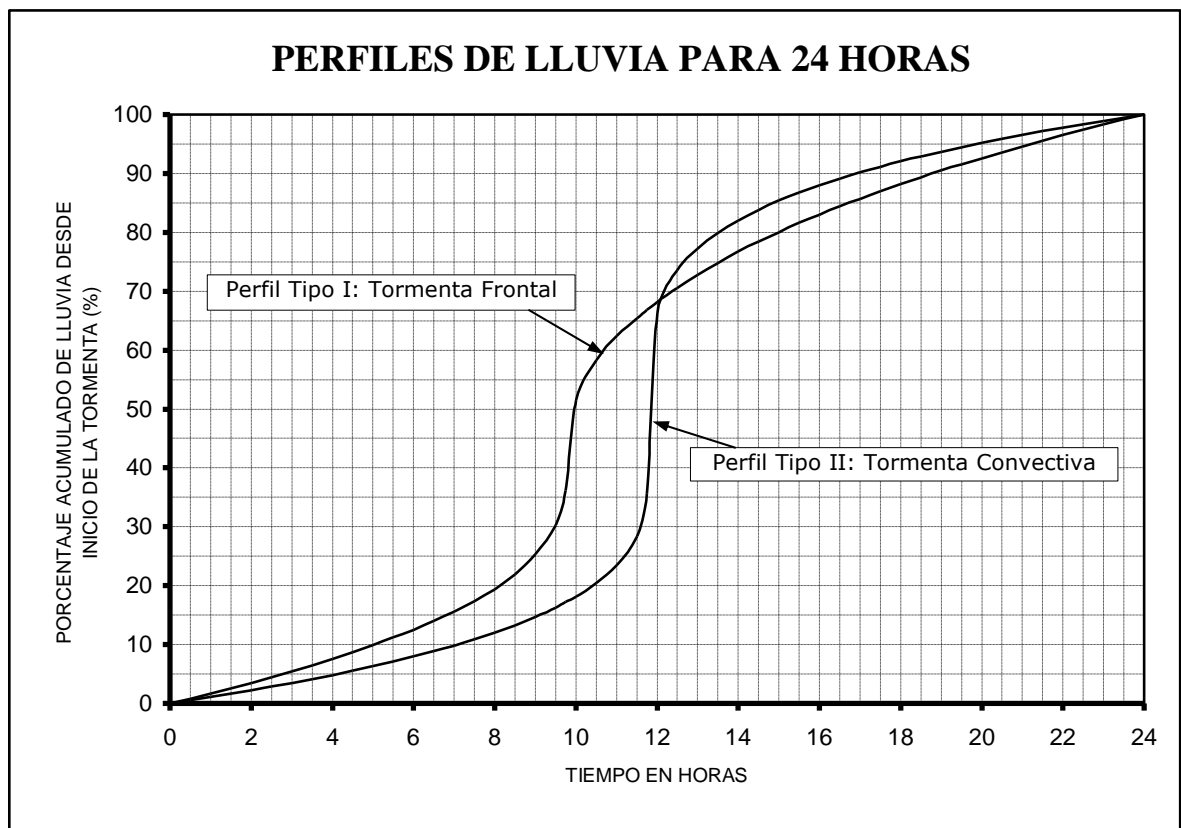
El caudal pico del hidrograma que comienza en el período i será igual a:

$$Q_{Pi} = \frac{0.208 \Delta Pe_i A}{T_p}$$

Donde:

- Q_{pi} = caudal pico del hidrograma (m³/sg).
 ΔPe_i = incremento del volumen de escorrentía directa entre períodos sucesivos, como consecuencia de la precipitación efectiva (mm).
 A = área de la cuenca (Km²).
 T_p = tiempo pico del hidrograma (horas).

Figura N° 10.5



Fuente: Programa del método SCS (Soil Conservation Service).

10.2.2.2.- Determinación de máximas avenidas

Para la determinación de máximas avenidas instantáneas de diseño en las subcuencas de interés, se ha utilizado el METODO DEL HIDROGRAMA UNITARIO SINTETICO DEL U.S. SOIL CONSERVATION SERVICE (METODO SCS), anteriormente expuesto.

La aplicación del Método SCS requiere de los siguientes pasos:

- 1.- Análisis de frecuencia de la precipitación máxima en 24 horas.
- 2.- Elección del valor de la Curva Número *CN* .
- 3.- Cálculo de las avenidas y los hidrogramas de diseño para diversos períodos de retorno.

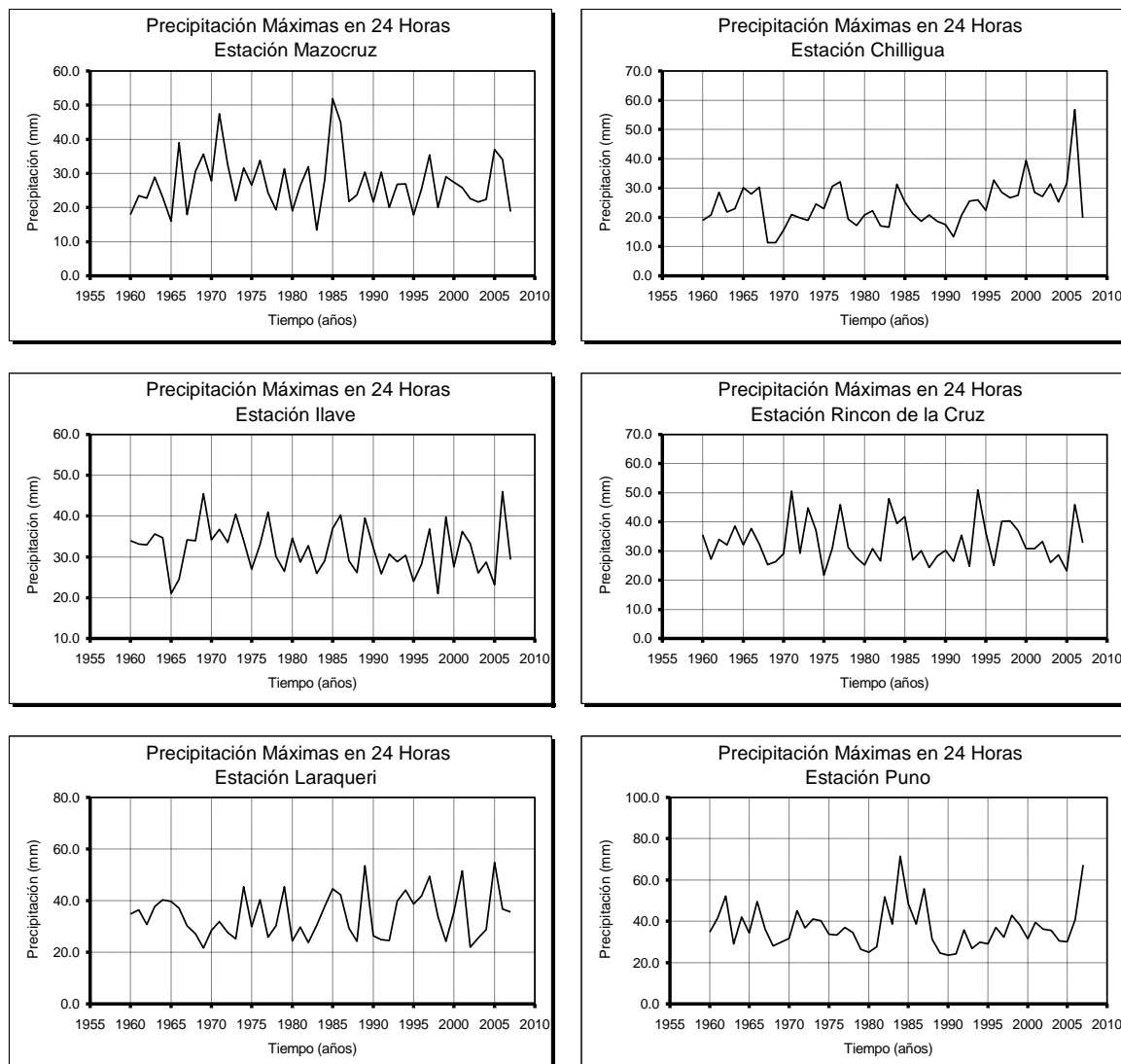
A.- Análisis de frecuencia de la precipitación máxima en 24 horas

Para el análisis de frecuencia de la precipitación máxima en 24 horas, se ha utilizado la información de las estaciones Mazocruz, Chilligua, Laraqueri, Ilave, Rincón de la Cruz y Puno, son las estaciones que mas influyen al área de las subcuencas, dicha información se muestran en el siguiente cuadro.

Cuadro N° 10.6

PRECIPITACION MAXIMA EN 24 HORAS (mm)							
m	Año	Estaciones Meteorológicas					
		Mazocruz	Chilligua	Ilave	Rincón de la Cruz	Laraqueri	Puno
1	1960	17.9	18.9	34.0	35.6	34.8	34.8
2	1961	23.5	20.8	33.1	27.2	36.5	41.7
3	1962	22.8	28.5	32.9	34.0	30.7	52.2
4	1963	28.9	21.8	35.6	32.1	37.7	29.1
5	1964	23.0	23.0	34.7	38.6	40.3	42.1
6	1965	16.0	30.1	21.0	32.1	39.6	34.3
7	1966	39.0	28.0	24.5	37.8	37.0	49.5
8	1967	18.0	30.3	34.2	32.4	30.3	36.2
9	1968	30.6	11.3	34.0	25.3	27.2	28.0
10	1969	35.6	11.4	45.5	26.4	21.6	29.9
11	1970	27.8	15.7	34.2	29.1	28.4	31.7
12	1971	47.4	21.0	36.8	50.6	31.8	45.2
13	1972	32.4	19.8	33.6	29.3	27.6	36.8
14	1973	22.0	19.0	40.5	44.8	25.2	41.0
15	1974	31.6	24.5	34.0	37.2	45.3	40.2
16	1975	26.6	23.0	27.0	21.7	30.0	33.7
17	1976	33.8	30.5	33.0	31.0	40.3	33.4
18	1977	24.4	32.1	41.0	45.9	25.9	36.9
19	1978	19.3	19.4	30.1	31.3	30.3	34.5
20	1979	31.3	17.2	26.5	27.6	45.3	26.4
21	1980	19.0	20.8	34.6	25.2	24.4	25.0
22	1981	26.4	22.2	28.7	30.8	29.8	27.6
23	1982	32.0	17.1	32.7	26.6	23.7	51.8
24	1983	13.4	16.7	25.9	48.0	30.4	38.6
25	1984	28.0	31.2	29.0	39.4	37.7	71.6
26	1985	51.9	25.2	37.0	41.8	44.6	48.5
27	1986	45.0	21.2	40.2	27.0	42.2	38.7
28	1987	21.8	18.7	29.0	30.1	29.3	55.7
29	1988	23.7	20.8	26.2	24.4	24.3	31.4
30	1989	30.4	18.7	39.5	28.3	53.5	24.5
31	1990	21.7	17.5	32.2	30.3	26.4	23.6
32	1991	30.4	13.4	25.8	26.5	24.8	24.2
33	1992	20.0	20.6	30.7	35.5	24.5	35.8
34	1993	26.8	25.5	28.8	24.8	39.9	26.8
35	1994	26.9	25.9	30.4	51.0	44.1	29.9
36	1995	17.8	22.4	24.0	36.5	38.7	29.0
37	1996	25.4	32.7	28.2	25.0	41.8	36.9
38	1997	35.4	28.5	36.9	40.2	49.5	32.4
39	1998	20.0	26.7	21.0	40.3	33.8	42.9
40	1999	29.0	27.5	39.7	37.0	24.2	38.2
41	2000	27.4	39.5	27.6	30.8	35.6	31.6
42	2001	25.8	28.5	36.2	30.8	51.6	39.4
43	2002	22.6	27.1	33.2	33.2	22.0	36.1
44	2003	21.6	31.4	26.1	26.1	25.6	35.6
45	2004	22.4	25.3	28.7	28.7	28.8	30.4
46	2005	37.0	31.6	23.2	23.2	54.8	30.1
47	2006	34.0	56.8	46.0	46.0	36.7	40.9
48	2007	18.8	19.8	29.3	32.8	35.6	67.2
Número de Datos		48.00	48.00	48.00	48.00	48.00	48.00
Valor máximo de la serie		51.90	56.80	46.00	51.00	54.80	71.60
Valor mínimo de la serie		13.40	11.30	21.00	21.70	21.60	23.60
Promedio		27.22	24.16	32.02	33.13	34.25	37.13
Desviación estándar		8.04	7.69	5.83	7.44	8.72	10.22
Coeficiente de asimetría		1.01	1.62	0.30	0.79	0.59	1.46
Coeficiente de variación		0.30	0.32	0.18	0.22	0.25	0.28

Cuadro N° 10.6
Hidrograma de Precipitaciones Máximas en 24 Horas



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 como: La Log-Normal de 2 parámetros, Log-Normal de 3 parámetros, Gumbel I y Log-Pearson III.

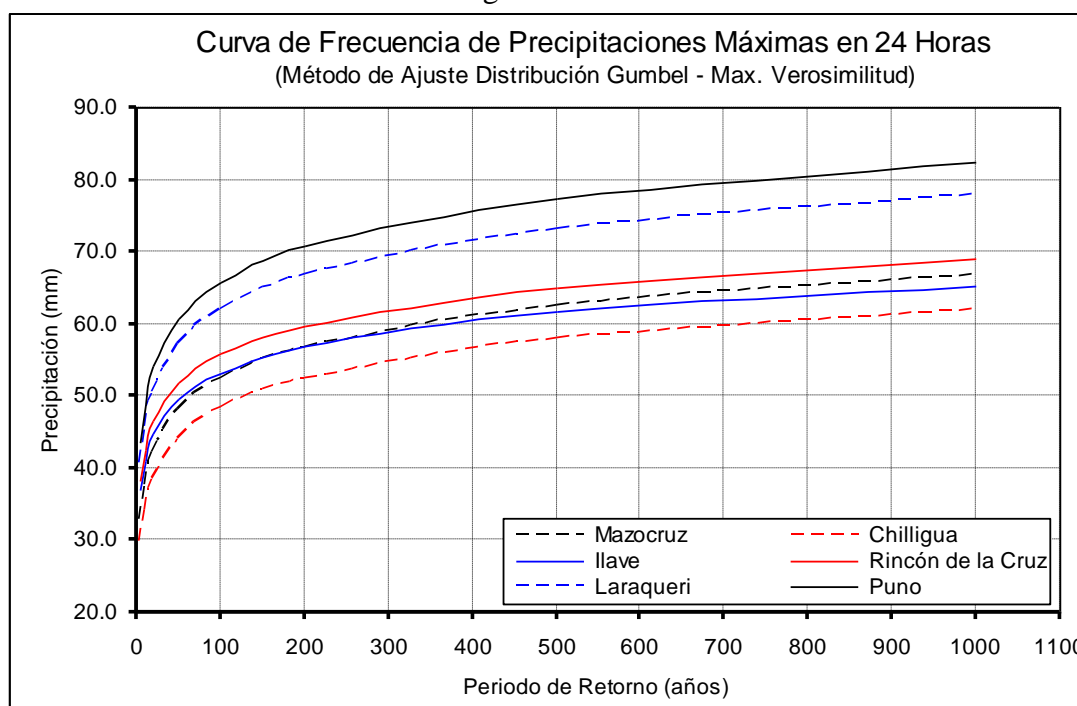
Los resultados se muestran en el anexo, en los cuadros de análisis de frecuencia para cada estación considerada en este análisis.

Según el análisis de frecuencia resulta que la series de precipitaciones máximas en 24 horas de las estaciones Mazocruz, Chilligua, Laraqueri, Ilave, Rincón de la Cruz y Puno se ajustan mejor a la Distribución Gumbel, por mostrar menor porcentaje de error estándar que otras distribuciones. A continuación se muestran las precipitaciones máximas de diseño para diferentes períodos de retorno.

Cuadro N° 10.7
Precipitaciones Máximas en 24 Horas para diferentes Periodos de Retorno

ESTACION	ALTITUD (msnm)	PERIODOS DE RETORNO (años)							
		5	10	20	50	100	200	500	1000
Mazocruz	4003.00	33.0	37.7	42.2	48.0	52.4	56.7	62.4	66.8
Chilligua	3960.00	29.8	34.2	38.5	44.1	48.2	52.4	57.9	62.0
Ilave	3880.00	37.0	40.9	44.7	49.6	53.2	56.8	61.6	65.2
Rincón de la Cruz	3835.00	38.3	42.5	46.6	51.9	55.8	59.8	65.0	68.9
Laraqueri	3900.00	40.6	45.7	50.7	57.1	62.0	66.8	73.1	77.9
Puno	3820.00	43.5	48.9	54.1	60.8	65.8	70.8	77.4	82.4

Figura N° 10.7



En base a la información del análisis de frecuencia de precipitaciones máximas en 24 horas de las estaciones Mazocruz, Chilligua, Laraqueri, Ilave, Rincón de la Cruz y Puno, se ha calculado las precipitaciones máximas de diseño para cada subcuenca, mediante los polígonos de influencia de cada estación, el resultado es la siguiente.

Cuadro N° 10.8
Precipitaciones Máximas según Polígonos de Thiessen
Subcuenca Conduriri - Río Conduriri

Periodo de Retorno (años)	Precipitación máxima en 24 horas (mm)		
	Mazocruz	Chilligua	Precipit. Máx. de Diseño
	% área	% área	
	35.10	64.90	
5	33.00	29.80	30.90
10	37.70	34.20	35.40
20	42.20	38.50	39.80
50	48.00	44.10	45.50
100	52.40	48.20	49.70

Cuadro N° 10.9
Precipitaciones Máximas según Polígonos de Thiessen
Subcuenca Alto Aguas Calientes - Río Malcomayo

Periodo de Retorno (años)	Precipitación máxima en 24 horas (mm)			
	Rincón de la Cruz	Laraqueri	Puno	Precipit. Máx. de Diseño
	% área	% área	% área	
	33.78	23.00	43.22	
5	38.30	40.60	43.50	41.10
10	42.50	45.70	48.90	46.00
20	46.60	50.70	54.10	50.80
50	51.90	57.10	60.80	56.90
100	55.80	62.00	65.80	61.50

Cuadro N° 10.10
Precipitaciones Máximas según Polígonos de Thiessen
Subcuenca Cutimbo - Río Cutimbo

Periodo de Retorno (años)	Precipitación máxima en 24 horas (mm)		
	Rincón de la Cruz	Laraqueri	Precipit. Máx. de Diseño
	% área	% área	
	3.35	96.65	
5	38.30	40.60	40.50
10	42.50	45.70	45.60
20	46.60	50.70	50.60
50	51.90	57.10	56.90
100	55.80	62.00	61.80

Cuadro N° 10.11
Precipitaciones Máximas según Polígonos de Thiessen
Subcuenca Loripongo - Río Loripongo

Periodo de Retorno (años)	Precipitación máxima en 24 horas (mm)	
	Laraqueri	Precipit. Máx. de Diseño
	% área	
	100.00	
5	40.60	40.60
10	45.70	45.70
20	50.70	50.70
50	57.10	57.10
100	62.00	62.00

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 – cobertura 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 (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 (Tabla A, ver Anexo 1 – Volumen II).

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 = 82.

C.- Avenidas e hidrogramas de diseño

Para la determinación de las avenidas de diseño se aplicó el Hidrograma Unitario Sintético – Método SCS, con los valores de las precipitaciones máximas en 24 horas, para diferentes períodos de retorno y con los parámetros geomorfológicos de las subcuencas en estudio, tales como son:

Subcuenca Conduriri – Río Conduriri:

-	Area de la cuenca	=	606.15 Km ²
-	Longitud del cauce principal	=	63.00 Km
-	Pendiente media del cauce principal	=	1.64 %
-	Curva Número (CN)	=	82.00

Subcuenca Alto Aguas Calientes – Río Malcomayo:

-	Area de la cuenca	=	527.13 Km ²
-	Longitud del cauce principal	=	83.30 Km
-	Pendiente media del cauce principal	=	0.79 %
-	Curva Número (CN)	=	82.00

Subcuenca Cutimbo – Río Cutimbo:

-	Area de la cuenca	=	279.26 Km ²
-	Longitud del cauce principal	=	79.29 Km
-	Pendiente media del cauce principal	=	1.12 %
-	Curva Número (CN)	=	82.00

Subcuenca Loripongo – Río Loripongo:

-	Area de la cuenca	=	624.59 Km ²
-	Longitud del cauce principal	=	73.87 Km
-	Pendiente media del cauce principal	=	1.12 %
-	Curva Número (CN)	=	82.00

Con los parámetros considerados se calculan las máximas avenidas de diseño para diferentes períodos de retorno, para las subcuencas en estudio. A continuación se muestra el resultado de cálculo de caudales máximos instantáneos para el río Loripongo, para el período de retorno de 50 años.

Cuadro N° 10.12

ANÁLISIS DE MÁXIMAS AVENIDAS
MÉTODO SCS

NOMBRE DE LA CUENCA *RÍO LORIPONGO*						
DURACION LLUVIA =	5.91 HRS	TIEMPO PICO =	17.73 HRS	TIEMPO BASE =	47.35 HRS	
LONGITUD =	73.87 KMS	AREA CUENCA =	624.59 KM2	COEFICI. CN =	82.00	
PRECIPITACION =	57.10 MM	ABS. INICIAL =	11.15 MM	PER. RETORNO =	50.00 AÑOS	
		PENDIENTE =	1.12 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)		
10.31	.00	19.53	11.2	.00	.00	.00
16.22	5.91	88.51	50.5	16.31	16.31	119.45
22.13	11.82	97.93	55.9	19.94	3.63	26.59
24.00	17.73	100.00	57.1	20.76	.82	6.03

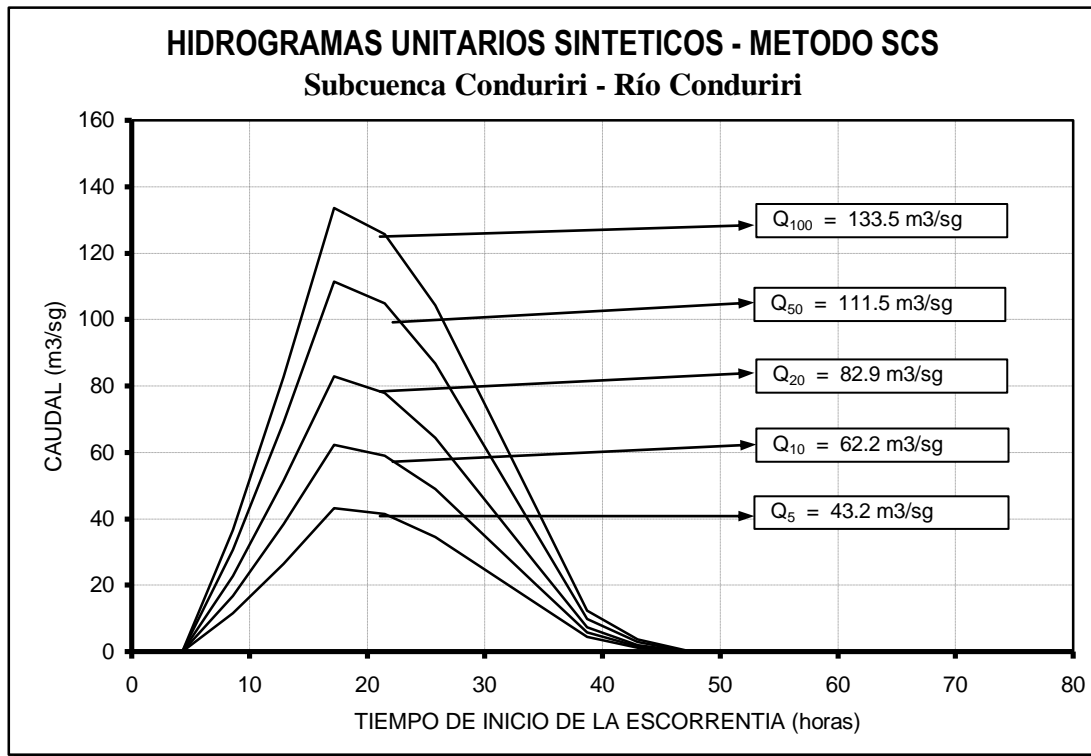
HIDROGRAMAS INCREMENTALES PARA SIGUIENTES TIEMPOS DESDE EL INICIO DE LA ESCORRENTIA												
TIEMPO DE INICIO DE LA ESCORRENTIA												
.0	5.9	11.8	17.7	23.6	29.6	35.5	41.4	47.3	53.2	59.1	65.0	
.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	
	.0	39.4	80.0	119.4	95.6	71.7	47.8	23.9	.0	.0	.0	
		.0	8.8	17.8	26.6	21.3	16.0	10.6	5.3	2.4	1.2	.0
			.0	2.0	4.0	6.0	4.8	3.6	2.4	1.2	.0	
.0	.0	39.4	88.8	139.3	126.2	99.0	68.6	38.1	7.7	1.2	.0	

En forma similar se calcula para otros períodos de retorno para cada subcuenca en estudio. A continuación se tiene el resumen de las máximas avenidas de diseño y sus respectivas hidrogramas para los ríos en estudio, calculadas para diferentes períodos de retorno:

Cuadro N° 10.13

Caudales Máximos Instantáneos (m3/sg)				
TR (años)	Unidades Hidrográficas			
	Subcuenca Conduriri (Río Conduriri)	Subcuenca Alto Aguas Calientes (Río Malcomayo)	Subcuenca Cutimbo (Río Cutimbo)	Subcuenca Loripongo (Río Loripongo)
5	43.2	44.3	29.4	69.1
10	62.2	60.4	38.0	89.5
20	82.9	74.1	47.1	110.7
50	111.5	92.5	59.1	139.3
100	133.5	107.0	68.8	161.9

Figura N° 10.8



Cuadro N° 10.9

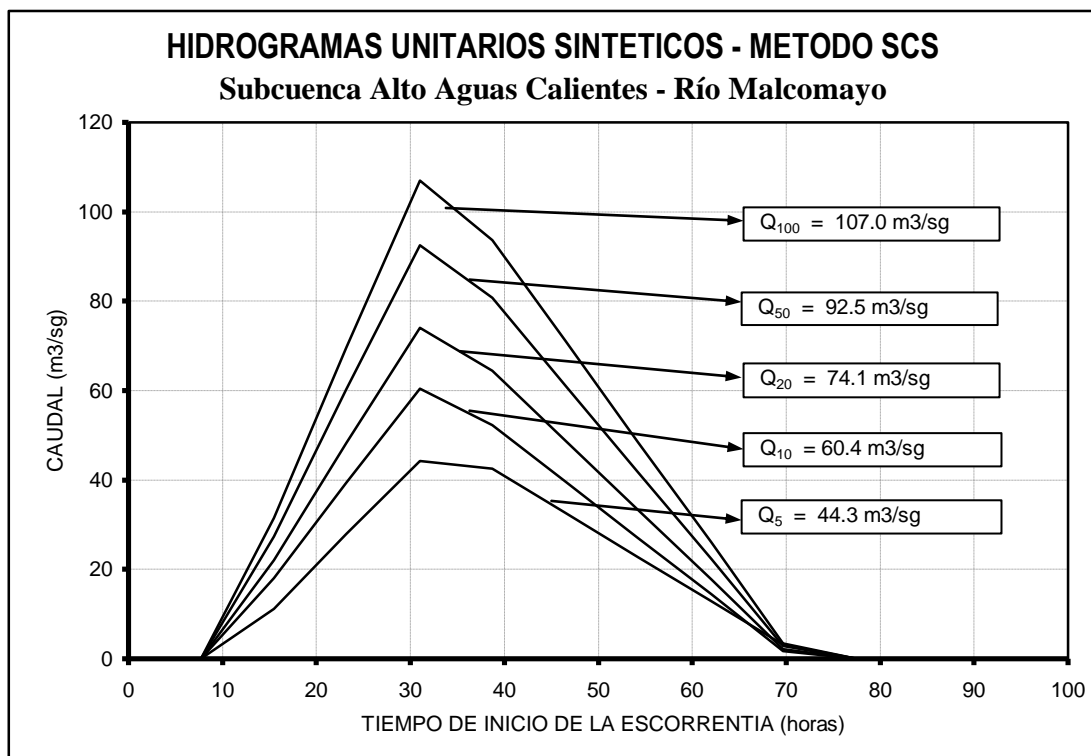


Figura N° 10.10

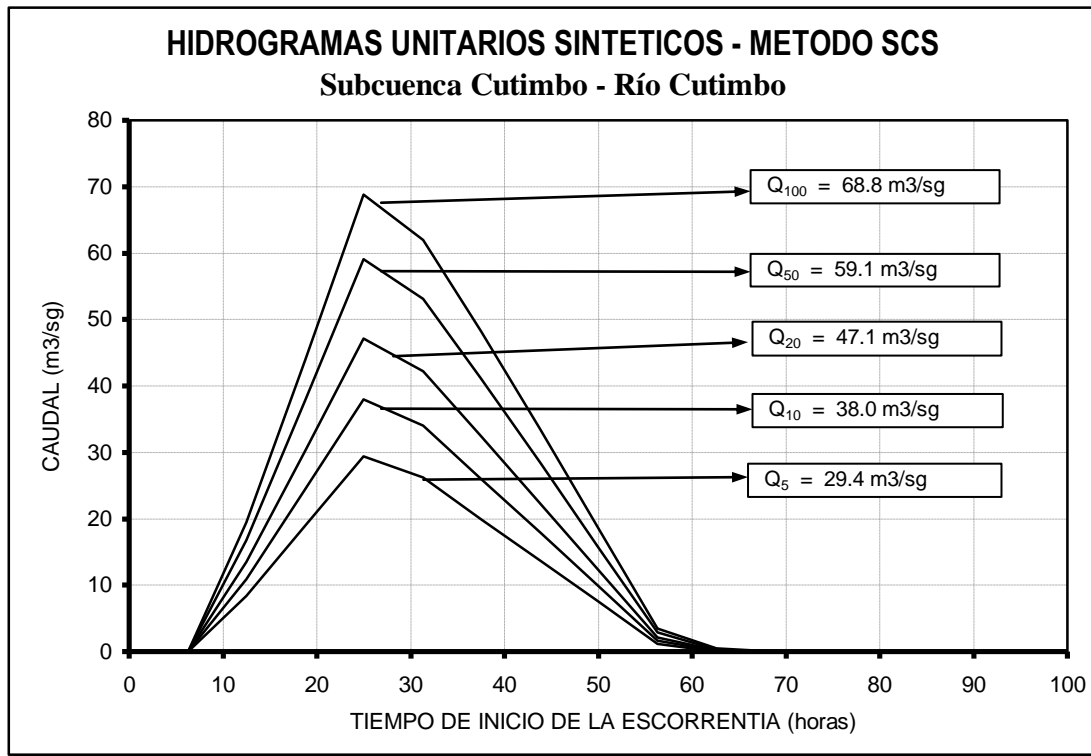
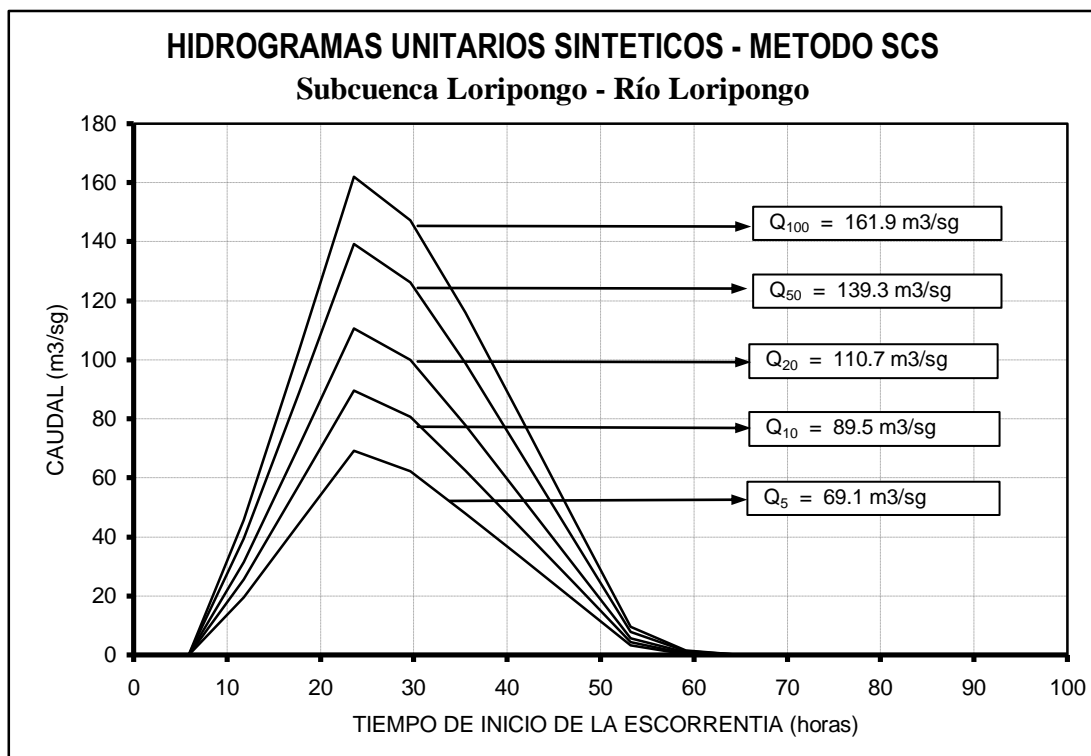


Figura N° 10.11



10.3.- ANALISIS DE SEQUIAS

10.3.1.- Introducción

Los sistemas climáticos y el tiempo de la tierra cambian constantemente. Como parte de estos procesos dinámicos ocurren, de forma natural, temperaturas extremas, lluvias y movimientos del aire. Los periodos inusuales de sequedad, por ejemplo, las sequías, son por lo tanto características normales de los sistemas del clima y tiempo en todos los países, incluyendo aquellos que generalmente se consideran "secos" y "fríos", y también las regiones usualmente asociadas con el término "sequía" - las áreas semiáridas de los trópicos. Las sequías no deben considerarse como sucesos "anormales" y todos los países deberían estar preparados para recibirlas.

En las últimas décadas, se ha registrado un mayor ritmo de deterioro de los recursos naturales, lo cual, a su vez ha creado las condiciones para un incremento de la vulnerabilidad de la población ante fenómenos naturales como las sequías.

En todos los países, el agua constituye un elemento que determina en gran medida el buen funcionamiento de los sistemas productivos e influye, al mismo tiempo, en la calidad de vida de sus habitantes. Sin embargo, la disponibilidad de agua por habitante, tiende a una reducción notoria en los próximos 20 años y se tornará definitivamente crítica, por lo que en un futuro cercano, el agua dejará de ser un problema y se convertirá en un asunto estratégico de supervivencia.

Es difícil estimar la cantidad de agua que se necesita para mantener estándares de vida aceptables o mínimos; sin embargo, la Organización de Naciones Unidas considera que cuando la disponibilidad per cápita alcanza valores inferiores a los 1.000 m³/hab/año, la situación de escasez es crítica, y una vez que un país sufre de escasez, ésta puede amenazar la producción de alimentos, obstaculizar el desarrollo económico y dañar los ecosistemas.

La sequía es un desastre natural relacionado con el tiempo atmosférico. Afecta a extensas regiones por meses o años.

Las sequías, de todos los desastres causados por fenómenos naturales, son las que tienen mayor impacto económico y pueden afectar al mayor número de personas. Los terremotos y ciclones pueden tener una gran intensidad física pero son de duración corta y su impacto geográfico es limitado. El número de muertes ocasionadas por dichos desastres puede ser muy alto si resultan afectadas áreas densamente pobladas. En contraste, las sequías afectan grandes extensiones geográficas, llegando a cubrir países enteros o regiones de continentes, y pueden durar varios meses o, en algunos casos, hasta varios años. Invariablemente, tienen un impacto directo y significativo sobre la producción alimenticia y la economía en general.

La carencia de lluvias da lugar a que no haya un caudal suficiente de agua para las plantas, los animales y la población. La sequía provoca otros desastres, a saber: inseguridad alimentaria, hambruna, desnutrición, epidemias y desplazamiento de poblaciones de una zona a otra.

10.3.2.- Que es la Sequía?

Es muy difícil definir el concepto de sequía y existen multitud de acepciones diferentes. Sin embargo, es importante que aquellos que están encargados de los preparativos, mitigación y actividades pertinentes a sequías compartan un término común por medio del cual se pueda determinar la sequía y las conjeturas y restricciones que implica.

Entre los factores que dificultan la definición de sequía se encuentran los siguientes:

- En muchos casos el fenómeno de sequía es temporal. Una "sequía" que dura un mes puede ocurrir en una región donde a menudo se experimentan ciclos de periodos lluviosos y secos alternativos (digamos cada 5 años) y donde también se sabe que se ha experimentado un aumento en el clima más seco durante los últimos 50 años. Definir como sequía la disminución temporal de disponibilidad de agua/humedad dados tales procesos dinámicos, es extremadamente difícil y depende en gran parte de la duración del periodo bajo consideración.
- Sequías de gravedad similar pueden tener impactos sorprendentemente diferentes como resultado de diferencias ecológicas, socioeconómicas y culturales. Esto, a su vez, afecta a cómo se percibe la sequía y cómo se utiliza el término. Por lo tanto, es difícil definir el término tomando en cuenta el evento físico, es decir, la disminución de la disponibilidad de agua/humedad. Invariablemente la definición debe considerar la forma en que el evento físico repercute en la sociedad.

Según el National Weather Service de Estados Unidos la sequía es una situación climatológica anormal que se da por la falta de precipitación en una zona, durante un período de tiempo prolongado. Esta ausencia de lluvia presenta la condición de anómala cuando ocurre en el período normal de precipitaciones para una región bien determinada. Así, para declarar que existe sequía en una zona, debe tenerse primero un estudio de sus condiciones climatológicas.

La sequía difiere de la aridez en que la sequía es temporal; la aridez es una característica permanente de regiones con baja lluvia.

Por otra parte, Ramírez y Brenes (2001) definen la sequía como un desastre natural lento que no presenta trayectorias definidas y tiende a extenderse de manera irregular a través del tiempo y el espacio. 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.

10.3.3.- Tipos de Sequía

Se distinguen diferentes tipos de sequía: 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 periodo específico por debajo de una cantidad específica. Su definición sólo comprende datos de precipitación.

- **Sequía hidrológica.-** En términos hidrológicos, se habla de sequía cuando se presenta una precipitación menor a la media estacional en escala regional, lo que se traduce en un nivel de aprovisionamiento anormal de los cursos de agua y de los reservorios de agua superficial o subterránea. Es decir, existe una disminución de los recursos acuáticos por debajo de un nivel determinado durante un periodo dado de tiempo. Su definición incorpora datos de disponibilidad y tasas de consumo basadas en el suministro normal del sistema (uso doméstico, industrial y agricultura de riego).
- **Sequía agrícola.-** En el sector agrícola, la sequía se refiere al déficit marcado y permanente de lluvia que reduce significativamente la producción agrícola con relación a la normal o los valores esperados para una región dada. La sequía agrícola es el impacto que las sequías meteorológica y/o hidrológica tienen en el rendimiento de los cultivos. Estos últimos requieren de condiciones particulares de temperatura, humedad y nutrientes durante su crecimiento para que puedan alcanzar su máximo desarrollo. Si la disponibilidad de humedad es menor que la cantidad requerida durante el ciclo de crecimiento, entonces éste se verá afectado y la producción se reducirá. Sin embargo, las sequías pueden causar diversos impactos en los diferentes cultivos. Para algunos especialistas, el déficit de humedad en el suelo, que está ligado a los efectos sobre la producción vegetal - agricultura y pastizales en ganadería-, es frecuentemente denominado sequía edáfica.
- **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, aprovisionamiento en agua potable, en la industria, etc.).

10.3.4.- Índices 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 (SPI). Las condiciones de sequía son monitorizadas constantemente usando éstos y otros índices para proveer información actual sobre regiones afectadas por la sequía.

10.3.4.1.- Índice de Severidad de la Sequía de Palmer (ISSP)

Ha sido el índice de sequía más comúnmente usado en los Estados Unidos. Fue desarrollado para medir la intensidad, duración y extensión espacial de la sequía. Los valores del ISSP se derivan de las medidas de precipitación, temperatura del aire y humedad del suelo local, conjuntamente con valores anteriores de estas medidas. Los valores varían desde -6.0 (sequía extrema) a +6.0 (condiciones extremas de humedad), y han sido estandarizadas para facilitar comparaciones de región en región. Este índice de

sequía ha sido usado para evaluar el impacto de la sequía en la agricultura. En la Tabla N° 10.1 se presenta los valores de los índices de evaluación de la sequía de Palmer.

Tabla N° 10.1

Valores de Índice	Categorías
>4	Condición húmeda extrema
3 – 3.99	Condición muy húmeda
2 – 2.99	Condición húmeda moderada
1 – 1.99	Condición húmeda suave
0.50 – 0.99	Condición húmeda incipiente
0.49 – -0.49	Condiciones normales
-0.50 – -0.99	Sequía incipiente
-1 – -1.99	Sequía suave
-2 – -2.99	Sequía moderada
-3 – -3.99	Sequía severa
-4	Sequía extrema

10.3.4.2.- Índice de Precipitación Estandarizada (IPE)

Internacionalmente muy conocido por las siglas en inglés SPI (Standard Precipitation Index).

A.- Que es el Índice de Precipitación Estandarizada (IPE)?

El Índice de Precipitación Estandarizado (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 ulterior monitoreo.

B.- Cómo se calcula?

El cálculo del IPE se hace en dos etapas. En la primera, se ajusta una distribución teórica (generalmente la Gamma de dos parámetros) a la serie de precipitación usada como serie de referencia (el período considerado es 1960 - 2007 para el presente reporte). En la segunda, los parámetros de la distribución ajustada se usan para convertir la serie de precipitación de interés (que puede ser distinta de la de referencia), en una distribución normal estandarizada, con media 0 y varianza 1, en cuya abscisa se encuentra el IPE. Los valores negativos indican déficit y los positivos superávit.

La serie de precipitación de interés depende de la escala de tiempo elegida. Por ejemplo, el IPE de 1 mes correspondiente a enero surge de considerar la serie de referencia de totales de precipitación de todos los eneros, en tanto que el IPE de 3 meses, para el mismo mes, se calcula en base a la serie de referencia de totales de precipitación de los trimestres que finalizan en enero, es decir, noviembre, diciembre y enero. Así sucesivamente, la escala puede ampliarse según sean los meses previos al actual que se vayan incorporando.

C.- Que valores puede tomar?

De acuerdo a su valor, el IPE puede clasificarse según los índices mostrados en la Tabla N° 10.2.

Tabla N° 10.2
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	} 1 en 3 años
0.49 a -0.49	Normal	
0.50 a 0.99	Ligeramente Húmedo	} 1 en 10 años
1.00 a 1.49	Moderadamente Húmedo (exceso moderado)	
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

D.- Ventajas y desventajas del IPE

El IPE tiene tres ventajas principales:

- La primera es su simplicidad de cálculo, dado que esta 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.

No obstante, el IPE tiene tres potenciales 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.

E.- Cuándo empieza y cuándo termina una sequía o un período excesivamente húmedo?

Para cualquier escala temporal, un período seco comienza cuando el IPE se hace negativo por primera vez y finaliza cuando se torna positivo. En el caso que el IPE sea continuamente negativo y alcance el valor -1 ó menor, se considera que la deficiencia de agua es suficientemente importante como para definir una "sequía meteorológica". La misma puede alcanzar distinta severidad en las diferentes escalas temporales. Del mismo modo, para cualquier escala temporal, un período húmedo comienza cuando el IPE se hace positivo por primera vez y finaliza cuando se torna negativo. En el caso que el IPE sea continuamente positivo y alcance el valor 1 ó mayor, se considera que el exceso de agua es significativo. El mismo puede alcanzar distinta severidad en las diferentes escalas temporales.

10.3.5.- Cálculo de las ocurrencias de sequía histórica de la precipitación

Se ha realizado una caracterización meteorológica de las sequías históricas ocurridas en la Cuenca del río Ilave en el periodo comprendido entre el año 1960 y 2007.

En el Capítulo 3 del presente reporte se ha realizado el análisis de consistencia y homogeneidad de la precipitación total mensual registrada en 18 estaciones meteorológicas ubicadas en el ámbito y contorno exterior de la cuenca del río Ilave. En base a la información pluviométrica se ha obtenido la precipitación areal de la cuenca del río Ilave, la información básica para el presente análisis de sequías.

En 1993 McKee et al, desarrollaron el Índice de Precipitación Estandarizada (IPE), que nos permite fijar el comienzo y fin de la sequía, así como su intensidad. Este índice se calcula a partir de los datos de precipitación acumulada mensual de una serie de datos suficientemente larga (mínimo de 30 años).

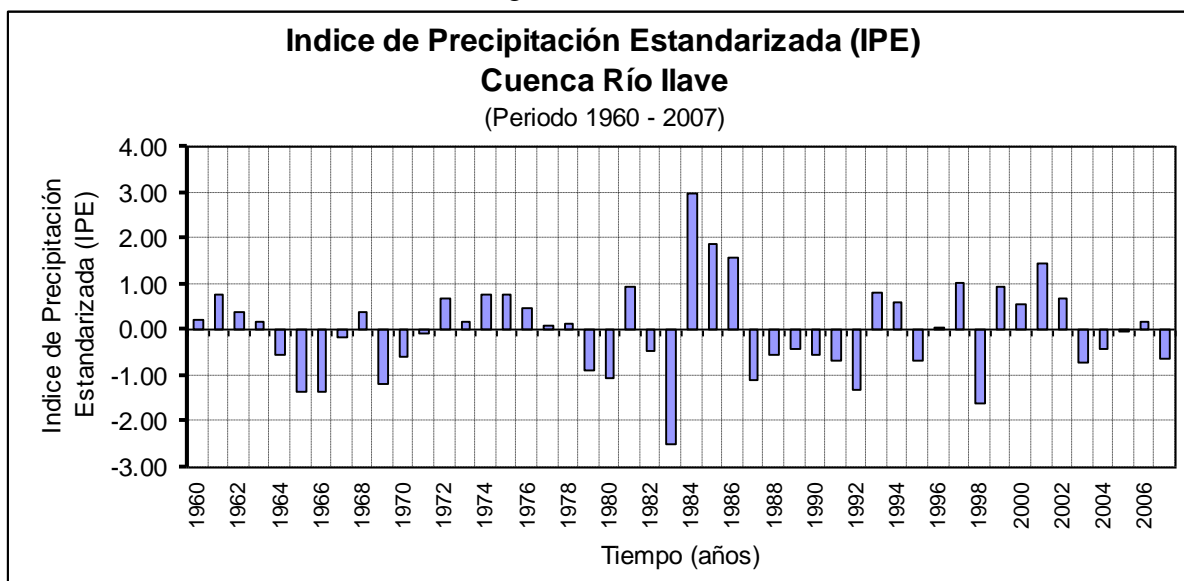
Para determinar los periodos de sequía se ha partido de los datos de precipitaciones areales anuales de la cuenca del río Ilave. Una vez calculado el IPE para cada uno de los observatorios, se ha obtenido los periodos de sequía crítica. En el Cuadro N° 10.14 se presenta los resultados IPE a nivel anual para la cuenca Ilave. En base a este cuadro de valores se ha realizado el análisis de sequía histórica en el ámbito de la cuenca Ilave. Los valores negativos del IPE, indican los años de déficit de precipitación, y estas son la materia del análisis de sequías.

Cuadro N° 10.14
Análisis de Sequía - Cuenca Río Ilave
 Precipitación Areal Anual - Período: 1960 - 2007

Nº	AÑO	Precipitación Anual (mm)	Índice de Precipitación Estandarizada (IPE)	Clasificación del IPE
1	1960	671.0	0.24	Normal
2	1961	746.0	0.76	Ligeramente húmedo
3	1962	694.4	0.40	Normal
4	1963	664.5	0.20	Normal
5	1964	560.7	-0.52	Ligeramente seco
6	1965	441.7	-1.35	Moderadamente seco
7	1966	440.2	-1.36	Moderadamente seco
8	1967	611.6	-0.17	Normal
9	1968	691.9	0.39	Normal
10	1969	464.2	-1.19	Moderadamente seco
11	1970	551.9	-0.59	Ligeramente seco
12	1971	627.3	-0.06	Normal
13	1972	733.2	0.67	Ligeramente húmedo
14	1973	662.2	0.18	Normal
15	1974	750.4	0.79	Ligeramente húmedo
16	1975	746.6	0.77	Ligeramente húmedo
17	1976	704.4	0.47	Normal
18	1977	648.5	0.09	Normal
19	1978	653.6	0.12	Normal
20	1979	506.7	-0.90	Ligeramente seco
21	1980	483.4	-1.06	Moderadamente seco
22	1981	775.0	0.96	Ligeramente húmedo
23	1982	572.6	-0.44	Normal
24	1983	274.5	-2.51	Extremadamente seco
25	1984	1064.5	2.97	Extremadamente húmedo
26	1985	903.6	1.86	Muy húmedo
27	1986	864.3	1.58	Muy húmedo
28	1987	478.7	-1.09	Moderadamente seco
29	1988	557.9	-0.54	Ligeramente seco
30	1989	579.1	-0.40	Normal
31	1990	560.2	-0.53	Ligeramente seco
32	1991	538.5	-0.68	Ligeramente seco
33	1992	445.9	-1.32	Moderadamente seco
34	1993	754.6	0.82	Ligeramente húmedo
35	1994	722.4	0.60	Ligeramente húmedo
36	1995	542.7	-0.65	Ligeramente seco
37	1996	642.1	0.04	Normal
38	1997	783.6	1.02	Moderadamente húmedo
39	1998	402.1	-1.62	Muy seco
40	1999	771.1	0.94	Ligeramente húmedo
41	2000	715.4	0.55	Ligeramente húmedo
42	2001	847.3	1.46	Moderadamente húmedo
43	2002	733.5	0.68	Ligeramente húmedo
44	2003	535.7	-0.70	Ligeramente seco
45	2004	576.9	-0.41	Normal
46	2005	632.3	-0.03	Normal
47	2006	665.6	0.20	Normal
48	2007	543.8	-0.64	Ligeramente seco
PROMEDIO		636.2	0.00	
DESVEST		144.1	1.00	

Para su mejor visualización se ha representado en forma gráfica la variación anual del IPE, ver Figura N° 10.12.

Figura N° 10.12



El valor del IPE más bajo (IPE = -2.51, 1983) se alcanza en la sequía 1982 - 1983. Otro valor muy bajo del IPE (-1.62, 1998) se registra en la sequía 1998 y también otro valor significativamente bajo del IPE (-1.36, 1966) correspondiente al episodio de sequía 1964 - 1967.

Según el análisis de sequía de la precipitación anual de la cuenca del río Ilave, se ha encontrado 6 periodos de sequía con mayor duración e intensidad. En el periodo 1964 - 1967 se ha registrado 4 episodios de sequía extremadamente seco; en el periodo 1969 - 1971 se han registrado 3 episodios de sequía muy seco; en el periodo 1979 - 1980 se han registrado 2 episodios de sequía muy seco; en el periodo 1982 - 1983 se han registrado 2 episodios de sequía extremadamente seco; en el periodo 1987 - 1992 se han registrado 6 episodios más duraderos de sequía extremadamente seco, mientras que en el último periodo 2003 - 2005 se han registrado 3 episodios menos intensos o moderadamente seco.

Cuadro N° 10.15
Periodos de Sequía – Cuenca del río Ilave

Periodos de Sequía		N° años	Σ IPE	Clasificación del IPE
1	Sequía de 1964 - 1967	4	-3.40	Extremadamente seco
2	Sequía de 1969 - 1971	3	-1.84	Muy seco
3	Sequía de 1979 - 1980	2	-1.96	Muy seco
4	Sequía de 1982 - 1983	2	-2.95	Extremadamente seco
5	Sequía de 1987 - 1992	6	-4.56	Extremadamente seco
6	Sequía de 2003 - 2005	3	-1.14	Moderadamente seco

La intensidad de la sequía se ha estimado a través de la suma del IPE (en el Cuadro anterior aparecen los valores de sumatoria del IPE) para cada uno de los periodos. Se observa que la sequía más intensa fue en el periodo 1987-1992 con -4.56, el siguiente es en el periodo 1964-1967 con -3.40, seguida en el periodo 1982-1983 con -2.95 y último lugar en el periodo 2003-2005 con -1.14, manifestándose una sequía moderadamente seco durante 3 años.

Partiendo de los datos de la red pluviométrica, se ha calculado el IPE para cada una de las estaciones meteorológicas y con ayuda de software de Sistema de Información Geográfica (Arc Gis) se ha elaborado los mapas de sequía a nivel mensual en la cuenca del río Ilave.

10.3.5.1.- Sequía periodo 1964 - 1967

Es el segundo episodio de sequía histórica más severa registrada en el periodo del horizonte de análisis de sequías del presente Reporte (1960 - 2007). Tuvo una duración de 4 años, y alcanza la sumatoria de IPE (-3.40), lo que indica una sequía extremadamente seca durante el periodo. En la Figura N° 10.12 se observa que en el año de 1966 alcanzó el IPE anual más bajo igual a -1.36. El año 1966 ha sido el año más seco del periodo.

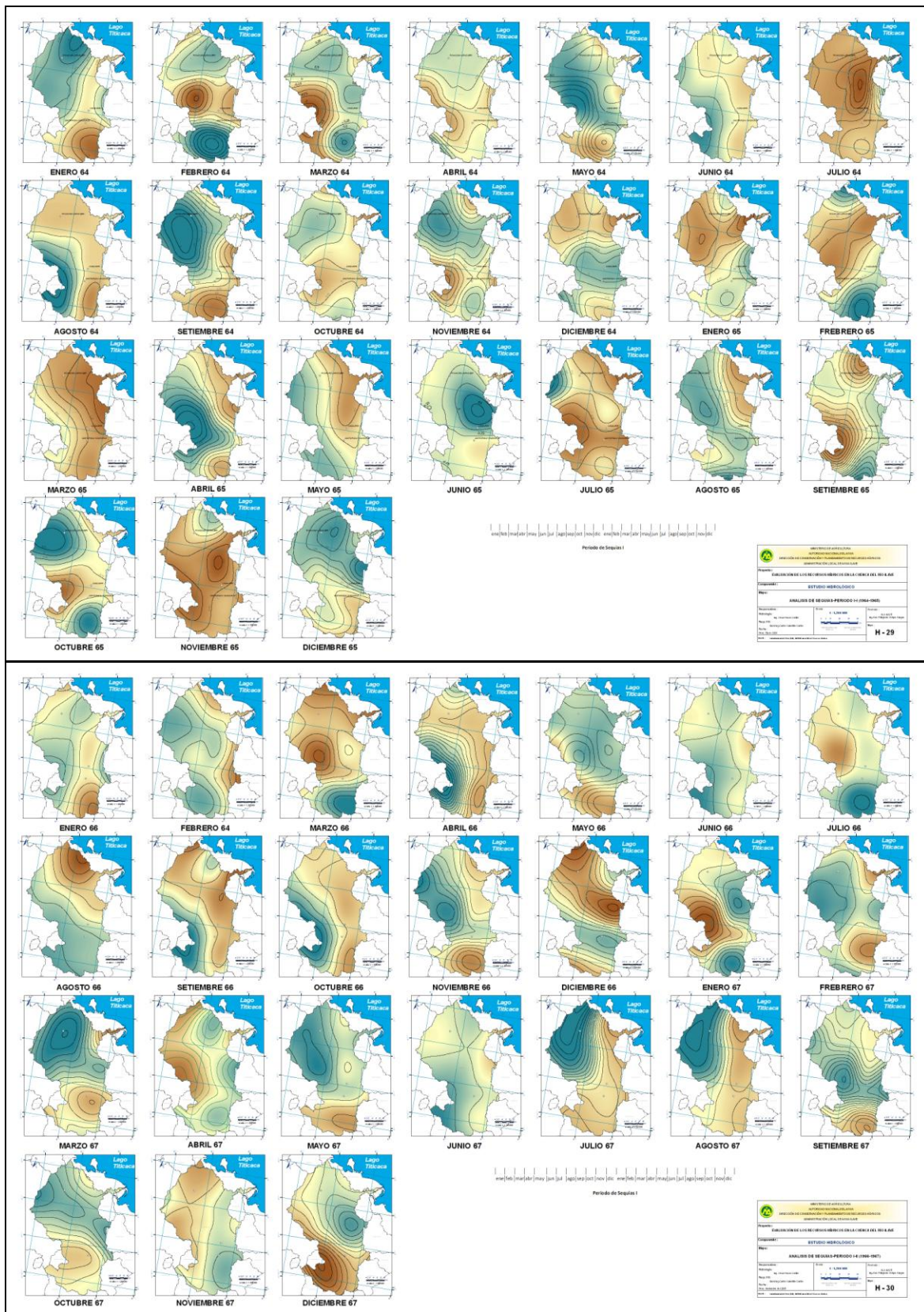
El índice IPE es negativo durante todo el periodo del episodio de esta sequía. Desde enero de 1965 hasta diciembre de 1966 generalmente, la sequía fue extrema, afectando prácticamente el área total de la cuenca Ilave. En algunos meses según los mapas de sequía muestra pequeñas humedades, ello debido en algunos meses de estiaje cae la nevada eventual, ello produce como se hubiese la precipitación durante el mes, pero sin embargo, no lo es, generalmente en épocas de estiaje en la cuenca del río Ilave, se presenta la ausencia de la precipitación.

Para ver la distribución espacial, sobre los mapas de sequía de la cuenca se ha representado los valores del IPE mes por mes (ver Figura N° 10.13, también ver en formato más grande Mapa H-29 y H-30 en el Anexo 1 - Volumen II). Vemos como el episodio empieza a ser severa a extrema de norte a sur de la cuenca del río Ilave y se extiende por todo el centro. En los meses de marzo de 1965 y marzo de 1966 la sequía es severa a extrema en la totalidad de la cuenca, es importante ver los índices IPE de cada mes descrito en los mapas mensuales.

El valor pico (más bajo) del IPE registrado en este episodio de sequía es de -2.09 (Enero 1965), y de acuerdo a la frecuencia teórica de ocurrencia de la Tabla N° 10.2, este valor podría volver a presentarse dentro de 50 años.

A continuación se muestran los mapas de sequía a nivel mensual, del periodo 1964-1967, donde se puede apreciar el área de influencia de la sequía mes por mes, en la cuenca del río Ilave.

Figura N° 10.13
Evolución del IPE Mensual de la Cuenca del río Ilave durante la Sequía 1964-1967



10.3.5.2.- Sequía periodo 1969 - 1971

Es el quinto episodio de sequía histórica más severa registrada en el periodo del horizonte de análisis de sequías del presente Reporte (1960 - 2007). Tuvo una duración de 3 años, y alcanza la sumatoria de IPE (-1.84), lo que indica una sequía muy seca durante el periodo. En la Figura N° 10.12 se observa que en el año de 1969 alcanzó el IPE anual más bajo igual a -1.19. El año 1969 ha sido el año más seco del periodo.

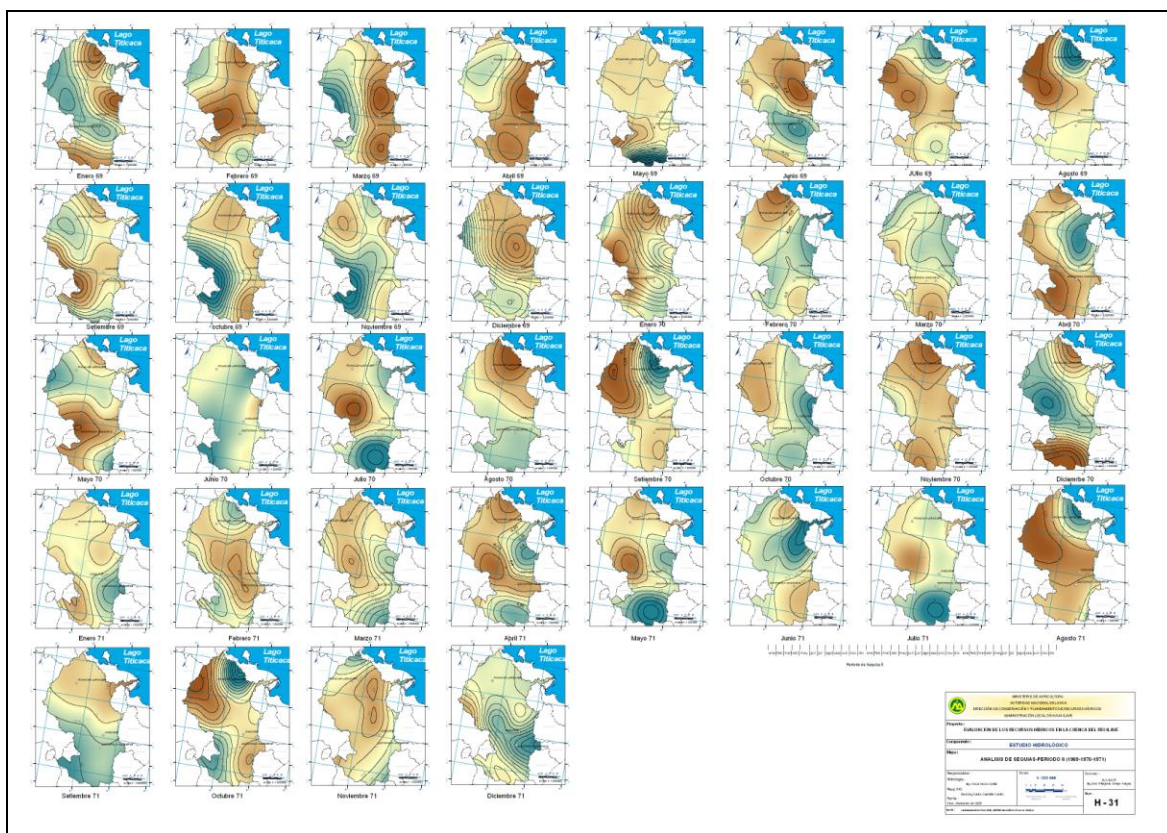
El índice IPE es negativo durante todo el periodo del episodio de esta sequía. Desde enero de 1969 hasta diciembre de 1971 generalmente, la sequía fue muy seca, afectando prácticamente el área total de la cuenca llave. En algunos meses según los mapas de sequía muestra pequeñas humedades, ello debido en algunos meses de estiaje cae la nevada eventual, ello produce como se hubiese la precipitación durante el mes, pero sin embargo, no lo es, generalmente en épocas de estiaje en la cuenca del río llave, se presenta la ausencia de la precipitación.

Para ver la distribución espacial, sobre los mapas de sequía de la cuenca se ha representado los valores del IPE mes por mes (ver Figura N° 10.14, también ver en formato más grande Mapa H-31 en el Anexo 1 - Volumen II). Vemos como el episodio empieza a ser moderada a severa de norte a sur de la cuenca del río llave y se extiende por todo el centro. En los meses de marzo de 1969, enero 1970 y marzo de 1971 la sequía es severa en la totalidad de la cuenca, es importante ver los índices IPE de cada mes descrito en los mapas mensuales.

El valor pico (más bajo) del IPE registrado en este episodio de sequía es de -1.74 (Marzo 1969), y de acuerdo a la frecuencia teórica de ocurrencia de la Tabla N° 10.2, este valor podría volver a presentarse dentro de 20 años.

A continuación se muestran los mapas de sequía a nivel mensual, del periodo 1969-1971, donde se puede apreciar el área de influencia de la sequía mes por mes, en la cuenca del río llave.

Figura N° 10.14
Evolución del IPE Mensual de la Cuenca del río Ilave durante la Sequía 1969-1971



10.3.5.3.- Sequía periodo 1979 - 1980

Es el cuarto episodio de sequía histórica más severa registrada en el periodo del horizonte de análisis de sequías del presente Reporte (1960 - 2007). Tuvo una duración de 2 años, y alcanza la sumatoria de IPE (-1.96), lo que indica una sequía muy seca durante el periodo. En la Figura N° 10.12 se observa que en el año de 1980 alcanzó el IPE anual más bajo igual a -1.06. El año 1980 ha sido el año más seco del periodo.

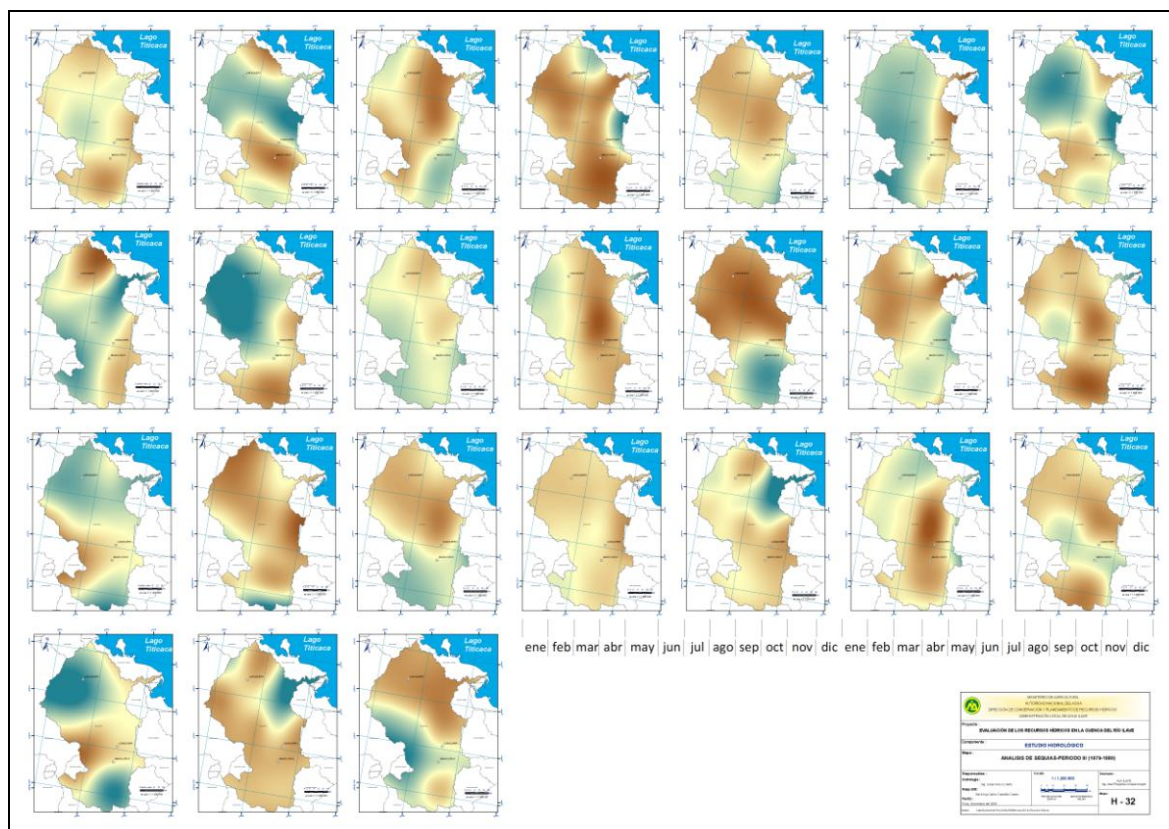
El índice IPE es negativo durante todo el periodo del episodio de esta sequía. Desde enero de 1979 hasta diciembre de 1980 generalmente, la sequía fue muy seca, afectando prácticamente el área total de la cuenca llave. En algunos meses según los mapas de sequía muestra pequeñas humedades, ello debido en algunos meses de estiaje cae la nevada eventual, ello produce como se hubiese la precipitación durante el mes, pero sin embargo, no lo es, generalmente en épocas de estiaje en la cuenca del río llave, se presenta la ausencia de la precipitación.

Para ver la distribución espacial, sobre los mapas de sequía de la cuenca se ha representado los valores del IPE mes por mes (ver Figura N° 10.15, también ver en formato más grande Mapa H-32 en el Anexo 1 - Volumen II). Vemos como el episodio empieza a ser moderada a severa de norte a sur de la cuenca del río llave y se extiende por todo el centro. En los meses de enero de 1979 y febrero de 1980 la sequía es severa en la totalidad de la cuenca, es importante ver los índices IPE de cada mes descrito en los mapas mensuales.

El valor pico (más bajo) del IPE registrado en este episodio de sequía es de -1.90 (Enero 1980), y de acuerdo a la frecuencia teórica de ocurrencia de la Tabla N° 10.2, este valor podría volver a presentarse dentro de 20 años.

A continuación se muestran los mapas de sequía a nivel mensual, del periodo 1979-1980, donde se puede apreciar el área de influencia de la sequía mes por mes, en la cuenca del río Ilave.

Figura N° 10.15
Evolución del IPE Mensual de la Cuenca del río Ilave durante la Sequía 1979-1980



10.3.5.4.- Sequía periodo 1982 - 1983

Es el tercer episodio de sequía histórica más severa registrada en el periodo del horizonte de análisis de sequías del presente Reporte (1960 - 2007). Tuvo una duración de 2 años, y alcanza la sumatoria de IPE (-2.95), lo que indica una sequía extremadamente seca durante el periodo. En la Figura N° 10.12 se observa que en el año de 1983 alcanzó el IPE anual más bajo igual a -2.51. El año 1983 ha sido el año más seco del periodo.

El índice IPE es negativo durante todo el periodo del episodio de esta sequía. Desde enero de 1982 hasta diciembre de 1983 generalmente, la sequía fue extrema, afectando prácticamente el área total de la cuenca Ilave. En algunos meses según los mapas de sequía muestra pequeñas humedades, ello debido en algunos meses de estiaje cae la nevada eventual, ello produce como se hubiese la precipitación durante el mes, pero sin

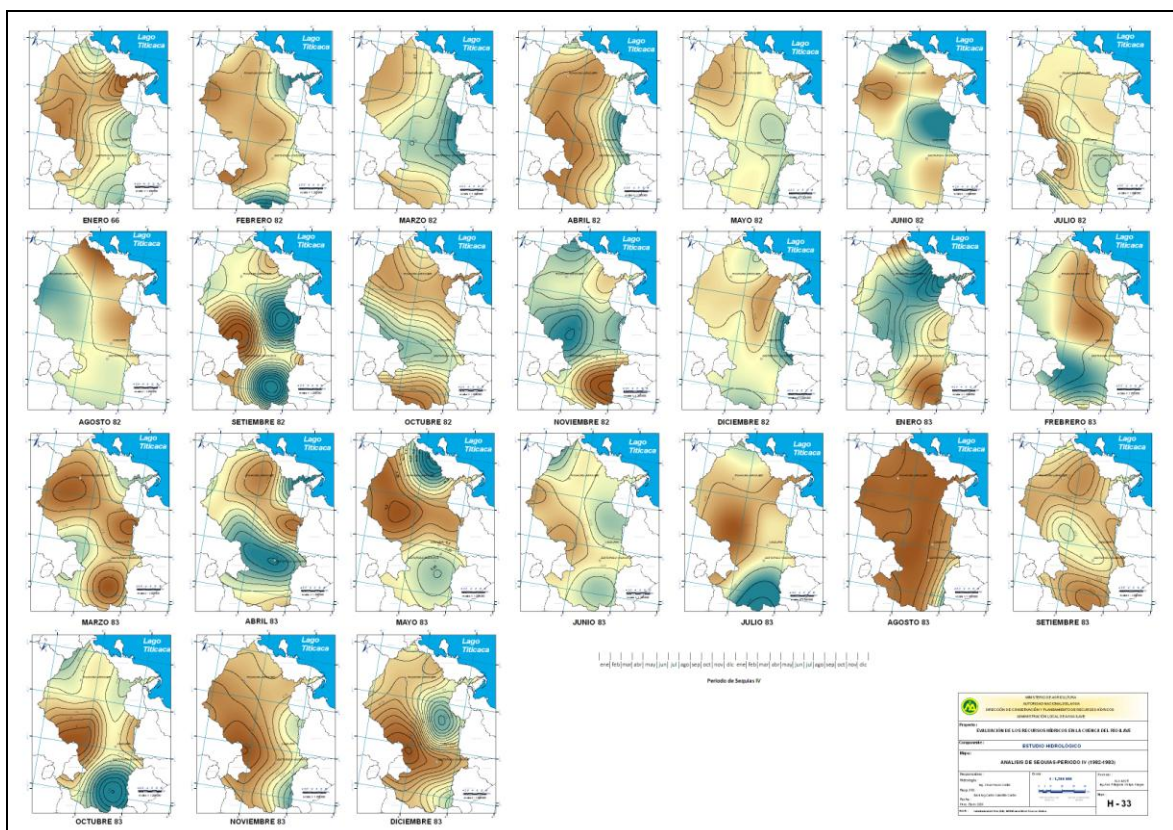
embargo, no lo es, generalmente en épocas de estiaje en la cuenca del río Ilave, se presenta la ausencia de la precipitación.

Para ver la distribución espacial, sobre los mapas de sequía de la cuenca se ha representado los valores del IPE mes por mes (ver Figura N° 10.16, también ver en formato más grande Mapa H-33 en el Anexo1 - Volumen II). Vemos como el episodio empieza a ser severa a extrema de norte a sur de la cuenca del río Ilave y se extiende por todo el centro. En los meses de enero de 1982 y marzo de 1983 la sequía es severa a extrema en la totalidad de la cuenca, es importante ver los índices IPE de cada mes descrito en los mapas mensuales.

El valor pico (más bajo) del IPE registrado en este episodio de sequía es de -2.12 (Enero 1983), y de acuerdo a la frecuencia teórica de ocurrencia de la Tabla N° 10.2, este valor podría volver a presentarse dentro de 50 años.

A continuación se muestran los mapas de sequía a nivel mensual, del periodo 1982-1983, donde se puede apreciar el área de influencia de la sequía mes por mes, en la cuenca del río Ilave.

Figura N° 10.16
Evolución del IPE Mensual de la Cuenca del río Ilave durante la Sequía 1982-1983



10.3.5.5.- Sequía periodo 1987 - 1992

Es el primer episodio de sequía histórica más extrema registrada en el periodo del horizonte de análisis de sequías del presente Reporte (1960 - 2007). Tuvo una duración de 6 años, y alcanza la sumatoria de IPE (-4.56), lo que indica una sequía extremadamente seca durante el periodo. En la Figura N° 10.12 se observa que en el año de 1992 alcanzó el IPE anual más bajo igual a -1.32. El año 1992 ha sido el año más seco del periodo.

El índice IPE es negativo durante todo el periodo del episodio de esta sequía. Desde enero de 1987 hasta diciembre de 1992 generalmente, la sequía fue extrema, afectando prácticamente el área total de la cuenca llave. En algunos meses según los mapas de sequía muestra pequeñas humedades, ello debido en algunos meses de estiaje cae la nevada eventual, ello produce como se hubiese la precipitación durante el mes, pero sin embargo, no lo es, generalmente en épocas de estiaje en la cuenca del río llave, se presenta la ausencia de la precipitación.

Para ver la distribución espacial, sobre los mapas de sequía de la cuenca se ha representado los valores del IPE mes por mes (ver Figura N° 10.17, también ver en formato más grande Mapa H-34 a H-36 en el Anexo 1 - Volumen II). Vemos como el episodio empieza a ser severa a extrema de norte a sur de la cuenca del río llave y se extiende por todo el centro. En los meses de febrero de 1990, febrero y marzo de 1992 la sequía es severa a extrema en la totalidad de la cuenca, es importante ver los índices IPE de cada mes descrito en los mapas mensuales.

El valor pico (más bajo) del IPE registrado en este episodio de sequía es de -2.05 (Marzo 1992), y de acuerdo a la frecuencia teórica de ocurrencia de la Tabla N° 10.2, este valor podría volver a presentarse dentro de 50 años.

A continuación se muestran los mapas de sequía a nivel mensual, del periodo 1987-1992, donde se puede apreciar el área de influencia de la sequía mes por mes, en la cuenca del río llave.

Figura N° 10.17
Evolución del IPE Mensual de la Cuenca del río Ilave durante la Sequía 1987-1992

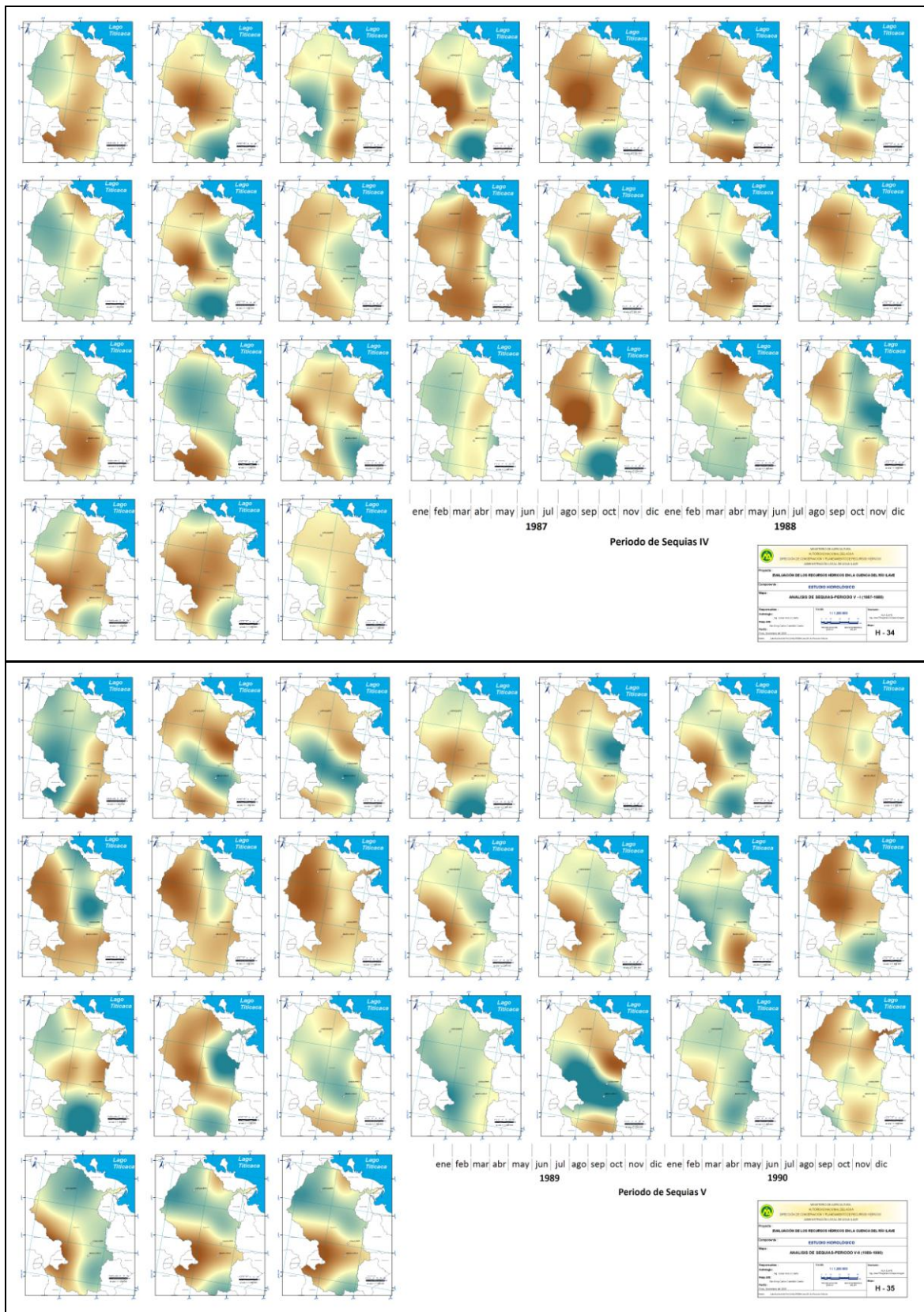
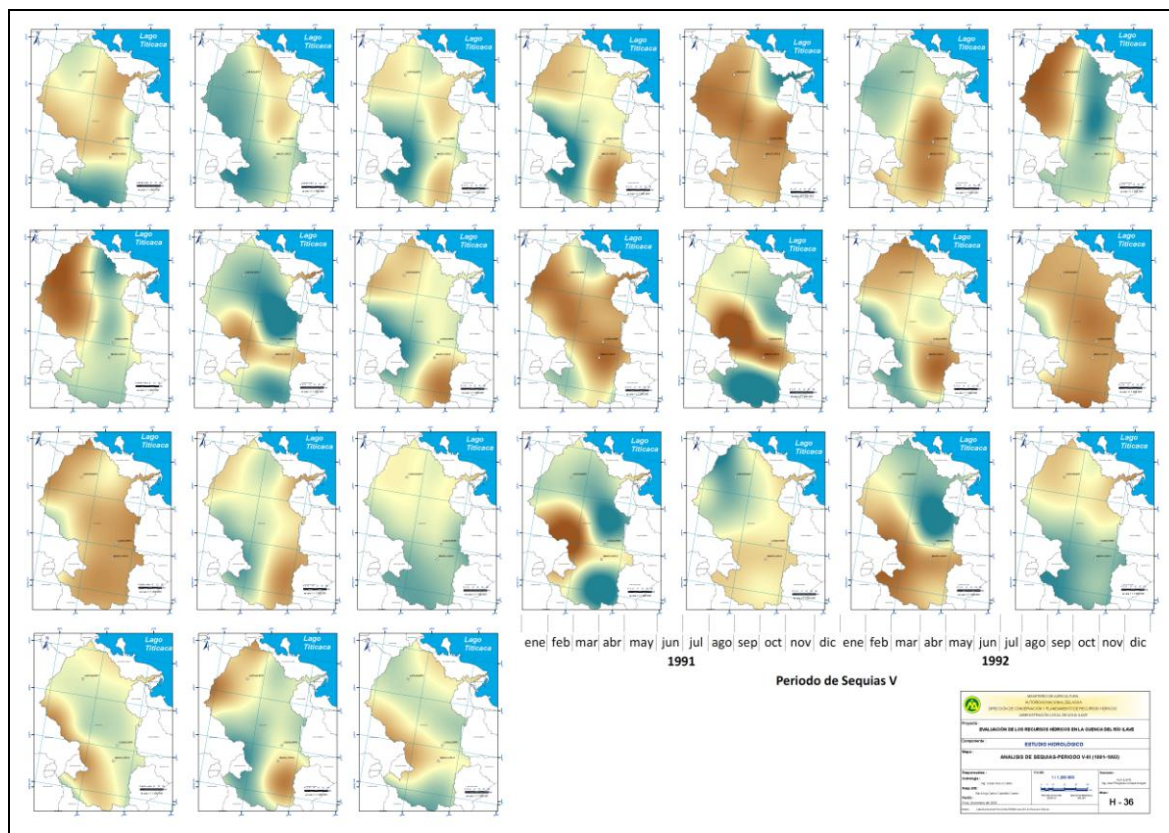


Figura N° 10.17 (continuación)
Evolución del IPE Mensual de la Cuenca del río Ilave durante la Sequía 1987-1992



10.3.5.6.- Sequía periodo 2003 - 2005

Es el sexto episodio de sequía histórica más moderada registrada en el periodo del horizonte de análisis de sequías del presente Reporte (1960 - 2007). Tuvo una duración de 3 años, y alcanza la sumatoria de IPE (-1.14), lo que indica una sequía moderadamente seca durante el periodo. En la Figura N° 10.12 se observa que en el año de 2003 alcanzó el IPE anual más bajo igual a -0.70. El año 2003 ha sido el año ligeramente seco del periodo.

El índice IPE es negativo durante todo el periodo del episodio de esta sequía. Desde enero de 2003 hasta diciembre de 2005 generalmente, la sequía fue moderadamente seca, afectando prácticamente el área total de la cuenca Ilave. En algunos meses según los mapas de sequía muestra pequeñas humedades, ello debido en algunos meses de estiaje cae la nevada eventual, ello produce como se hubiese la precipitación durante el mes, pero sin embargo, no lo es, generalmente en épocas de estiaje en la cuenca del río Ilave, se presenta la ausencia de la precipitación.

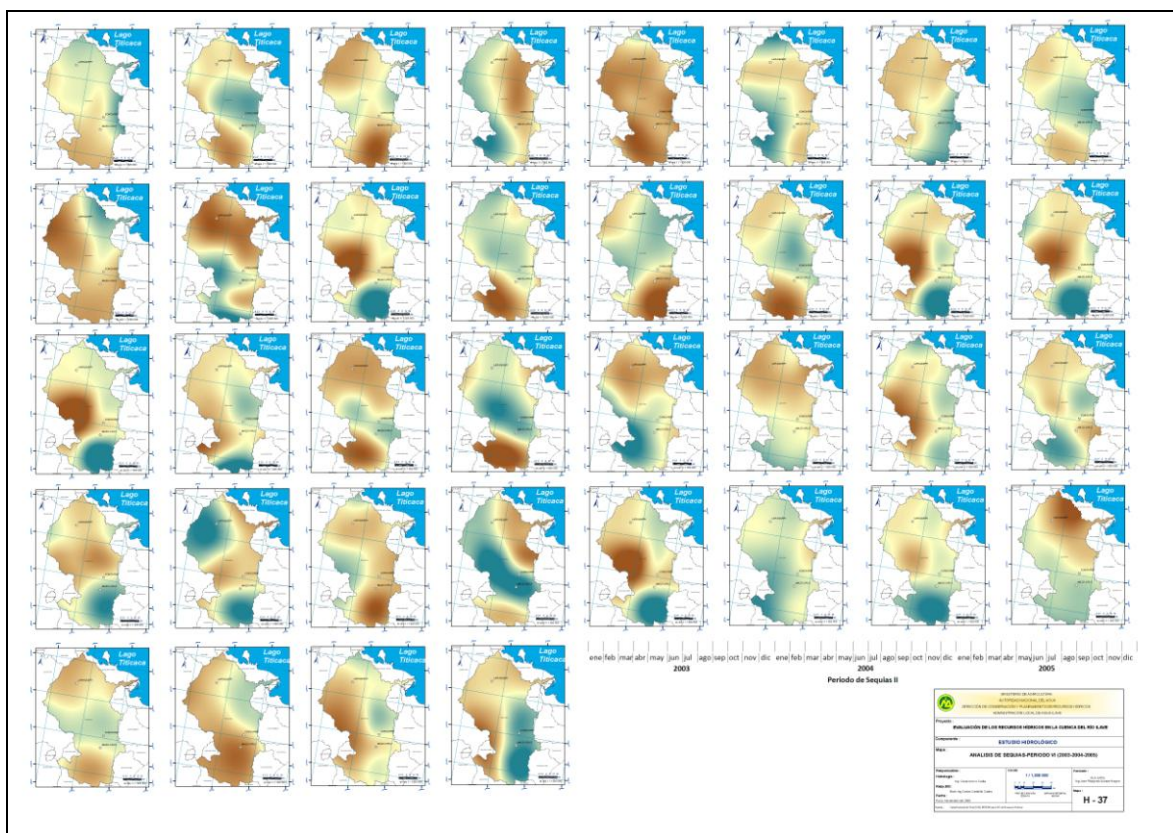
Para ver la distribución espacial, sobre los mapas de sequía de la cuenca se ha representado los valores del IPE mes por mes (ver Figura N° 10.18, también ver en formato más grande Mapa H-37 en el Anexo 1 - Volumen II). Vemos como el episodio empieza a ser ligera a moderada de norte a sur de la cuenca del río Ilave y se extiende por todo el centro. En los meses de enero y marzo 2003 la sequía es ligera a moderada

en la totalidad de la cuenca, es importante ver los índices IPE de cada mes descrito en los mapas mensuales.

El valor pico (más bajo) del IPE registrado en este episodio de sequía es de -1.44 (Marzo 2005), y de acuerdo a la frecuencia teórica de ocurrencia de la Tabla N° 10.2, este valor podría volver a presentarse dentro de 10 años.

A continuación se muestran los mapas de sequía a nivel mensual, del periodo 2003-2005, donde se puede apreciar el área de influencia de la sequía mes por mes, en la cuenca del río Ilave.

Figura N° 10.18
Evolución del IPE Mensual de la Cuenca del río Ilave durante la Sequía 2003-2005



10.3.6.- Sequía hidrológica

A parte de análisis de sequía meteorológica, se ha analizado el análisis de sequía hidrológica, utilizando la información de descargas medias anuales del río Ilave. Mediante este análisis se ha identificado generalmente los periodos secos, normales y húmedos, tal como se muestra en el cuadro y gráfico del análisis respectivo.

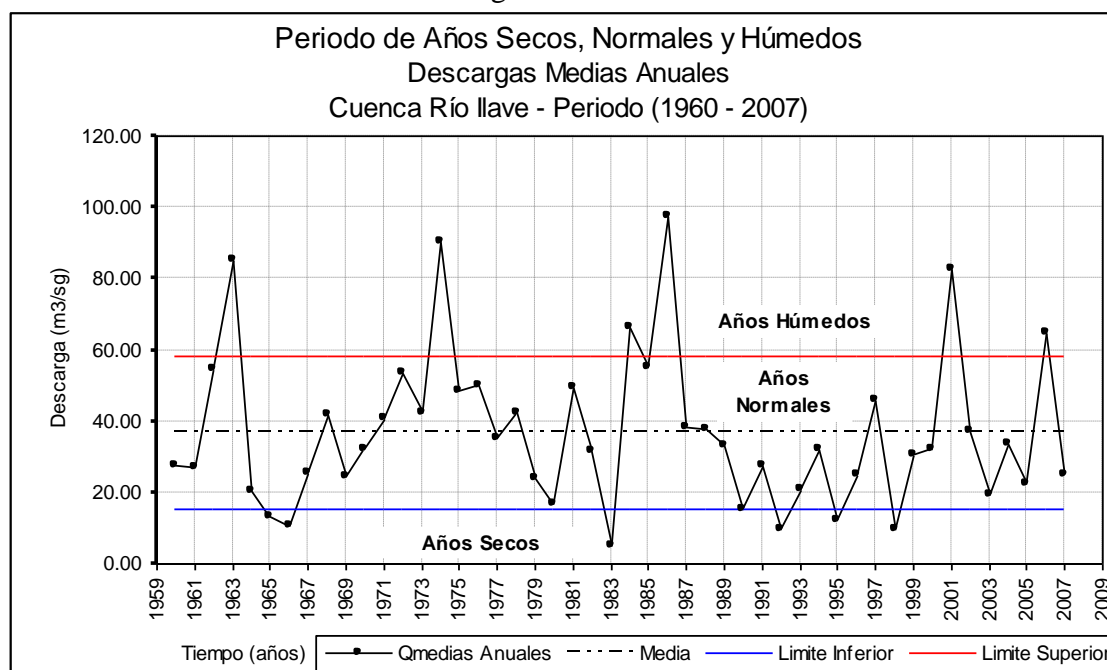
Durante el periodo del horizonte de análisis de sequías del presente Reporte (1960-2007), tuvo 7 años secos, 35 años normales y 6 años húmedos. El año 1983 ha sido una sequía extremadamente seco, donde se ha registrado un caudal medio anual de 5.05 m³/sg. Además del cuadro de análisis se puede mencionar los años secos, tal como se muestra a continuación:

Años secos: 1965
1966
1983
1990
1992
1995
1998

El periodo de retorno o de recurrencia más largo de la sequía es de años, en este caso vendría ser los años de 1966 a 1983, en otras casos el periodo de ocurrencia es menor.

En el siguiente gráfico y cuadro, se muestran los periodos de años secos, normales y húmedos.

Figura N° 10.19



El periodo de retorno del evento más largo de la sequía histórica es de 17 años, el resto de los periodos es más corto, en orden de 1 a 3 años, respectivamente. Ver Figura N° 10.19 y el Cuadro N° 10.16.

Cuadro N° 10.16

Análisis de Periodos Secos y Húmedos
Descargas Medias Anuales - Cuenca Río Ilave
 (Periodo:1960 - 2007)

Nº	Año	Descargas Medias Anuales (m3/sg)	Limite del periodo seco y normal (m3/sg)	Limite del periodo humedo y normal (m3/sg)	Clasificación del Periodo
1	1960	27.41	15.39	58.33	Normal
2	1961	26.94	15.39	58.33	Normal
3	1962	54.79	15.39	58.33	Normal
4	1963	85.33	15.39	58.33	Húmedo
5	1964	20.49	15.39	58.33	Normal
6	1965	13.50	15.39	58.33	Seco
7	1966	10.64	15.39	58.33	Seco
8	1967	25.73	15.39	58.33	Normal
9	1968	41.80	15.39	58.33	Normal
10	1969	24.47	15.39	58.33	Normal
11	1970	32.38	15.39	58.33	Normal
12	1971	40.93	15.39	58.33	Normal
13	1972	53.46	15.39	58.33	Normal
14	1973	42.39	15.39	58.33	Normal
15	1974	90.34	15.39	58.33	Húmedo
16	1975	48.66	15.39	58.33	Normal
17	1976	50.25	15.39	58.33	Normal
18	1977	35.13	15.39	58.33	Normal
19	1978	42.39	15.39	58.33	Normal
20	1979	24.15	15.39	58.33	Normal
21	1980	16.71	15.39	58.33	Normal
22	1981	49.57	15.39	58.33	Normal
23	1982	31.57	15.39	58.33	Normal
24	1983	5.05	15.39	58.33	Seco
25	1984	66.47	15.39	58.33	Húmedo
26	1985	55.17	15.39	58.33	Normal
27	1986	97.50	15.39	58.33	Húmedo
28	1987	38.23	15.39	58.33	Normal
29	1988	37.86	15.39	58.33	Normal
30	1989	33.12	15.39	58.33	Normal
31	1990	15.20	15.39	58.33	Seco
32	1991	27.45	15.39	58.33	Normal
33	1992	9.69	15.39	58.33	Seco
34	1993	21.06	15.39	58.33	Normal
35	1994	32.00	15.39	58.33	Normal
36	1995	12.31	15.39	58.33	Seco
37	1996	25.04	15.39	58.33	Normal
38	1997	46.11	15.39	58.33	Normal
39	1998	9.51	15.39	58.33	Seco
40	1999	30.53	15.39	58.33	Normal
41	2000	32.05	15.39	58.33	Normal
42	2001	82.86	15.39	58.33	Húmedo
43	2002	37.42	15.39	58.33	Normal
44	2003	19.49	15.39	58.33	Normal
45	2004	33.58	15.39	58.33	Normal
46	2005	22.65	15.39	58.33	Normal
47	2006	64.89	15.39	58.33	Húmedo
48	2007	24.95	15.39	58.33	Normal
PROMEDIO		36.86			
DESVEST		21.47			

CAPITULO 11

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

11.1.- CONCLUSIONES

- 1.- Los resultados del presente estudio corresponden al análisis de las variables meteorológicas de 18 estaciones de observación ubicadas en el ámbito y contorno exterior de la cuenca del río Ilave. El registro meteorológico disponible corresponde al periodo 1960 - 2007.
- 2.- Las variables climatológicas analizadas en el presente estudio, son: Precipitación, temperaturas (media, máxima y mínima), humedad relativa, evaporación, horas de sol, velocidad y dirección del viento, y evapotranspiración potencial. El régimen de precipitaciones total anual en la cuenca Ilave, describe los valores altos en la parte baja y en el entorno del lago Titicaca (Juli 867.6 mm) y parte norte (Laraqueri 764.8 mm) y en la parte alta al sur de la cuenca se registran valores más bajos (Pampa Umalzo 397.0 mm y Coypa Coypa 438.4 mm).
- 3.- La cuenca del río Ilave (Area = 7,832.53 Km²), se ha dividido según la metodología Pfafstetter en 09 subunidades hidrográficas (subcuencas) de nivel 4, de los cuales 05 subcuencas aportan directamente sus aguas al curso principal de la cuenca del río Ilave, y el restante son intercuencas. Así como también la subcuenca Aguas Calientes se ha dividido en 09 subcuencas de nivel 5, razón a que el área de esta subcuenca (47.15% del área de la cuenca Ilave) es mucho mayor que los demás subcuencas de nivel 4.
- 4.- A partir del análisis pluviométrico, se ha determinado las precipitaciones areales para las subcuencas de interés, en la cuenca del río Ilave, información que ha servido para la generación de descargas medias mensuales en la subcuencas.
- 5.- Mediante el análisis hidrométrico se ha obtenido la serie de descargas medias mensuales de los ríos Ilave y Chichillapi (periodo 1960-2007), información básica para el modelamiento y calibración del modelo hidrológico en los ríos mencionados.
- 6.- Se ha realizado el modelamiento y calibración del Modelo Hidrológico de Lutz Scholz para los ríos Ilave y Chichillapi. Utilizando los parámetros calibrados en los puntos con información hidrométrica, se ha realizado el modelamiento hidrológico y generación de las descargas medias mensuales para las subcuencas de interés.
- 7.- A partir de la información de las descargas medias mensuales generadas, se ha determinado la disponibilidad hídrica para 50%, 75% y 95% de

probabilidad de persistencia, aparte de las descargas medias mensuales. Por otro lado también se ha obtenido la disponibilidad hídrica con el afianzamiento hídrico (represamientos de agua, embalse San Fernando y embalse Morocollo) en las subcuencas del río Loripongo, río Grande, río Uncallane, río Aguas Calientes y el río Ilave. A continuación se presenta las ofertas hídricas para 75% de probabilidad y con afianzamiento de volúmenes de agua con embalses por subcuencas.

DISPONIBILIDAD HIDRICA (MMC) DE LAS SUBCUENCAS/CUENCAS AL 75% DE PROBABILIDAD DE PERSISTENCIA														
SUBCUENCA	RIO PRINCIPAL	MESES										PROM		
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT		NOV	DIC
Llusta (UH 0168)	Río Llusta Alta	3.80	6.22	5.06	3.08	1.96	1.48	1.37	1.26	1.17	1.26	1.30	1.53	2.46
Alto Ilave (UH 0169)	Río Chichillapi	3.16	5.88	5.20	3.40	2.36	1.81	1.61	1.39	1.30	1.23	0.91	1.42	2.47
Medio Alto Ilave (UH 0165)	Río Llusta Baja	15.13	26.44	14.12	10.34	6.59	6.38	6.16	5.95	5.73	5.79	5.94	6.91	9.62
Ayupalca (UH 0166)	Río Ayupalca	3.48	6.10	5.20	3.50	1.53	0.96	0.80	0.75	0.78	0.86	0.88	1.26	2.18
Conduriri (UH 0164)	Río Conduriri	5.81	10.35	8.33	5.81	2.54	1.76	1.58	1.45	1.58	1.66	1.74	2.73	3.78
Huenque	Río Huenque	29.81	55.38	49.39	38.65	17.41	11.40	9.45	8.65	8.76	9.45	9.54	13.47	21.78
Aguas Calientes (UH 0162)	Río Aguas Calientes	54.48	98.61	79.41	35.46	13.39	8.86	7.77	7.02	7.75	7.85	9.05	17.46	28.93
Alto Aguas Calientes	Río Malcomayo	11.76	13.55	11.92	5.34	1.74	0.75	0.43	0.29	0.57	0.78	1.24	2.76	4.26
Loripongo (UH 01626)	Río Loripongo	7.04	15.39	11.52	5.52	2.12	1.43	1.31	1.26	1.27	1.31	1.40	2.57	4.35
Tunquipa (UH 01624)	Río Tunquipa	2.84	5.93	4.77	2.41	0.88	0.52	0.48	0.43	0.41	0.43	0.47	0.94	1.71
Río Grande	Río Grande	23.33	41.63	35.76	15.97	6.05	3.71	2.79	2.41	2.59	2.41	2.70	6.11	12.12
Uncallane (UH 01622)	Río Uncallane	20.03	44.95	34.28	16.41	6.54	4.28	3.59	3.29	3.58	3.75	4.28	7.93	12.74
Ilave (UH 016)	Río Ilave	64.74	106.88	109.98	47.95	25.23	19.85	18.37	14.89	12.86	12.24	11.95	22.12	38.92

DISPONIBILIDAD HIDRICA (MMC) DE LAS SUBCUENCAS/CUENCAS (75% DE PROBABILIDAD DE PERSISTENCIA + AFIANZAMIENTO DE AGUA DE LOS EMBALSES FUTUROS)														
SUBCUENCA	RIO PRINCIPAL	MESES										PROM		
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT		NOV	DIC
Aguas Calientes (UH 0162)	Río Aguas Calientes	40.86	73.95	59.55	26.60	17.29	12.86	14.77	13.62	15.15	21.45	22.55	28.46	28.93
Loripongo (UH 01626)	Río Loripongo	4.01	8.76	6.56	3.14	2.52	2.43	2.81	3.36	3.67	4.41	4.90	5.57	4.35
Río Grande	Río Grande	19.93	35.56	30.55	13.64	7.05	4.71	3.79	3.91	4.59	5.61	6.40	9.71	12.12
Uncallane (UH 01622)	Río Uncallane	11.37	21.52	19.46	13.31	10.04	7.28	9.09	7.79	8.58	14.25	14.28	15.93	12.74
Ilave (UH 016)	Río Ilave	51.58	85.15	87.62	38.20	29.13	23.85	25.37	21.49	20.26	25.84	25.45	33.12	38.92

- 8.- Para el desarrollo del balance hídrico a nivel de subcuencas, se ha establecido las demandas de usos actuales de agua y demandas de usos futuros de agua, en las subcuencas de interés determinados. Los usos actuales de agua, actualmente se utilizan en riego de pastos naturales y bofedales (periodo de demanda de Junio a Diciembre generalmente), y las demandas futuras, en cultivos de pan llevar, pastos cultivados, bofedales y agua potables (periodo de demanda de Enero a Diciembre generalmente).

DEMANDAS ACTUALES DE AGUA (MMC)														
SUBCUENCA	RIO PRINCIPAL	MESES										PROM		
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT		NOV	DIC
Llusta (UH 0168)	Río Llusta Alta	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.55	0.65	0.68	0.78	0.76	0.62	0.34
Alto Ilave (UH 0169)	Río Chichillapi	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.94	1.12	1.15	1.29	1.25	1.03	0.57
Medio Alto Ilave (UH 0165)	Río Llusta Baja	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	1.93	2.29	2.38	2.69	2.62	2.17	1.18
Ayupalca (UH 0166)	Río Ayupalca	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.09	0.09	0.06	0.09	0.05	0.04
Conduriri (UH 0164)	Río Conduriri	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	1.13	1.46	1.58	1.66	1.82	1.49	0.77
Huenque	Río Huenque	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.20	3.33	4.12	4.34	4.75	4.88	4.01	2.14
Aguas Calientes (UH 0162)	Río Aguas Calientes	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	2.14	2.09	2.24	2.38	2.00	1.76	1.06
Alto Aguas Calientes	Río Malcomayo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.19	0.21	0.22	0.19	0.16	0.10
Loripongo (UH 01626)	Río Loripongo	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.30	0.29	0.31	0.33	0.28	0.25	0.15
Tunquipa (UH 01624)	Río Tunquipa	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.04	0.05	0.05	0.04	0.04	0.02
Río Grande	Río Grande	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.65	0.64	0.69	0.73	0.61	0.54	0.33
Uncallane (UH 01622)	Río Uncallane	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.48	1.45	1.56	1.66	1.39	1.22	0.73
Ilave (UH 016)	Río Ilave	0.09	0.08	0.09	0.09	0.09	0.28	5.57	6.36	6.74	7.30	7.04	5.92	3.30

DEMANDAS FUTURAS DE AGUA (MMC)														
SUBCUENCA	RIO PRINCIPAL	MESES										PROM		
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT		NOV	DIC
Llusta (UH 0168)	Río Llusta Alta	0.00	0.00	0.02	0.08	0.06	0.07	0.09	0.07	0.09	0.10	0.10	0.05	0.06
Alto Ilave (UH 0169)	Río Chichillapi	0.00	0.01	0.09	0.49	0.37	0.40	0.54	0.40	0.50	0.57	0.62	0.43	0.37
Medio Alto Ilave (UH 0165)	Río Llusta Baja	0.00	0.01	0.12	2.60	2.13	2.30	3.05	2.30	2.84	3.31	3.27	1.67	1.97
Huenque	Río Huenque	0.00	0.01	0.12	2.60	2.13	2.30	3.05	2.30	2.84	3.31	3.27	1.67	1.97
Aguas Calientes (UH 0162)	Río Aguas Calientes	8.97	8.81	8.31	11.76	12.17	9.04	9.47	8.65	9.88	18.14	18.21	19.37	11.90
Loripongo (UH 01626)	Río Loripongo	1.69	0.00	0.00	0.12	0.22	0.17	0.19	0.94	1.30	1.98	2.40	2.45	0.96
Río Grande	Río Grande	1.69	0.00	0.00	0.12	0.22	0.17	0.19	0.94	1.30	1.98	2.40	2.45	0.96
Uncallane (UH 01622)	Río Uncallane	7.28	8.81	8.31	11.64	11.95	8.87	9.28	7.72	8.58	16.15	15.81	16.92	10.94
Ilave (UH 016)	Río Ilave	8.97	8.82	8.38	13.28	13.41	10.38	11.25	10.00	11.54	20.07	20.12	20.35	13.05

- 9.- Se ha desarrollado el balance hídrico, a nivel de subcuencas con usos actuales y futuras de agua, ello para conocer el déficit y exceso del recurso hídrico en las cuencas de interés. Según el balance hídrico con usos actuales de agua, la subcuenca Alto Ilave (río Chichillapi) presenta déficit de agua en los meses de octubre y noviembre; y en la subcuenca Conduriri en los meses de agosto a noviembre. Con usos futuros presentan déficit de agua en la subcuenca Alto Ilave (río Chichillapi) en los meses de agosto a diciembre; subcuenca Medio Alto Ilave (río Llusta Baja) en el mes de octubre, y en la subcuenca Uncallane en los meses de mayo a diciembre. En resto de las subcuencas no hay déficit del recurso hídrico.

BALANCE HIDRICO CON USOS ACTUALES DE AGUA (MMC)														
SUBCUENCA	RIO PRINCIPAL	MESES											PROM	
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV		DIC
Llusta (UH 0168)	Río Llusta Alta	3.80	6.22	5.06	3.08	1.96	1.45	0.82	0.61	0.49	0.48	0.54	0.91	2.12
Alto Ilave (UH 0169)	Río Chichillapi	3.16	5.88	5.20	3.40	2.36	1.81	0.67	0.27	0.15	-0.06	-0.34	0.39	1.91
Medio Alto Ilave (UH 0165)	Río Llusta Baja	15.13	26.44	14.12	10.34	6.59	6.32	4.23	3.66	3.35	3.10	3.32	4.74	8.45
Ayupalca (UH 0166)	Río Ayupalca	3.48	6.10	5.20	3.50	1.53	0.96	0.75	0.66	0.69	0.80	0.79	1.21	2.14
Conduriri (UH 0164)	Río Conduriri	5.81	10.35	8.33	5.81	2.54	1.66	0.45	-0.01	0.00	0.00	-0.08	1.24	3.01
Huenque	Río Huenque	29.80	55.37	49.38	38.64	17.40	11.20	6.12	4.53	4.42	4.70	4.66	9.46	19.64
Aguas Calientes (UH 0162)	Río Aguas Calientes	54.47	98.60	79.40	35.45	13.38	8.85	5.63	4.93	5.51	5.47	7.05	15.70	27.87
Alto Aguas Calientes	Río Malcomayo	11.76	13.55	11.92	5.34	1.74	0.75	0.23	0.10	0.36	0.56	1.05	2.60	4.16
Loripongo (UH 01626)	Río Loripongo	7.03	15.38	11.51	5.51	2.11	1.42	1.01	0.97	0.96	0.98	1.12	2.32	4.19
Tunquipa (UH 01624)	Río Tunquipa	2.84	5.93	4.77	2.41	0.88	0.52	0.43	0.39	0.36	0.38	0.43	0.90	1.69
Río Grande	Río Grande	23.32	41.62	35.75	15.96	6.04	3.70	2.14	1.77	1.90	1.68	2.09	5.57	11.80
Uncallane (UH 01622)	Río Uncallane	20.03	44.95	34.28	16.41	6.54	4.28	2.11	1.84	2.02	2.09	2.89	6.71	12.01

BALANCE HIDRICO CON USOS ACTUALES Y FUTURAS DE AGUA (MMC)														
SUBCUENCA	RIO PRINCIPAL	MESES											PROM	
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV		DIC
Llusta (UH 0168)	Río Llusta Alta	3.80	6.22	5.04	3.00	1.90	1.38	0.73	0.54	0.40	0.38	0.44	0.86	2.06
Alto Ilave (UH 0169)	Río Chichillapi	3.16	5.87	5.11	2.91	1.99	1.41	0.13	-0.13	-0.35	-0.63	-0.96	-0.04	1.54
Medio Alto Ilave (UH 0165)	Río Llusta Baja	15.13	26.43	14.00	7.74	4.46	4.02	1.18	1.36	0.51	-0.21	0.05	3.07	6.48
Huenque	Río Huenque	29.80	55.36	49.26	36.04	15.27	8.90	3.07	2.23	1.58	1.39	1.39	7.79	17.67
Aguas Calientes (UH 0162)	Río Aguas Calientes	31.88	65.13	51.23	14.83	5.11	3.81	3.16	2.88	3.03	0.93	2.34	7.33	15.97
Loripongo (UH 01626)	Río Loripongo	2.31	8.75	6.55	3.01	2.29	2.25	2.32	2.13	2.06	2.10	2.22	2.87	3.24
Río Grande	Río Grande	18.23	35.55	30.54	13.51	6.82	4.53	2.95	2.33	2.60	2.90	3.39	6.72	10.84
Uncallane (UH 01622)	Río Uncallane	4.09	12.71	11.15	1.67	-1.91	-1.59	-1.67	-1.38	-1.56	-3.56	-2.92	-2.21	1.07
Ilave (UH 016)	Río Ilave	42.61	76.33	79.24	24.92	15.72	13.47	14.12	11.49	8.72	5.77	5.33	12.77	25.87

Caso de caudal ecológico en el balance hidrológico de las subcuencas en estudio, no se ha considerado, razón a que es un poco complicado determinar un valor real, existen autores que mencionan unos porcentajes de caudal del río, pero sin embargo ello no es fácilmente aplicable a cualquier río. Para ello se debe realizarse una investigación para poder conocer el caudal ecológico de un río cualquiera en la cuenca Ilave. Según los resultados del balance, en algunos casos el excedente de caudal resulta mínimo, ello se debe considerar como parte del caudal ecológico del río para el mantenimiento del ecosistema del mismo

- 10.- Se ha realizado el análisis de eventos extremos, en este caso las máximas avenidas y la sequía. Caso de máximas avenidas se ha realizado el análisis de frecuencia de los caudales máximos instantáneos del río Ilave, obteniéndose el caudal máximo para los periodos de retorno de 2 años a 1000 años, obteniéndose en este caso el caudal máximo instantáneo de 1,200 m³/sg para 50 años de periodo de retorno. Además se ha determinado los caudales máximos instantáneos para las subcuencas de interés (Conduriri, Alto Aguas Calientes - río Malcomayo, Cutimbo y Loripongo), utilizando el método del Hidrograma Unitario Sintético del Servicio de Conservación de Suelos (SCS). Igualmente se ha realizado el análisis de sequía meteorológica y hidrológica, encontrándose una sequía meteorológica de duración de 6 años consecutivos del periodo 1987-1992, y con mayor intensidad en corta duración en el periodo 1982-1983, una sequía crítica.

11.2.- RECOMENDACIONES

1. Para la elaboración del estudio hidrológico de la cuenca del río Llave, se ha utilizado 18 estaciones meteorológicas, de estas solamente 6 están ubicados dentro de la cuenca Llave. Esta cantidad de observatorios es insuficiente para la magnitud de la cuenca. Se recomienda implementar estaciones meteorológicas en las localidades de Ayrumas Carumas y Taruca en el río Blanco, Chilligua (se encuentra desactivado), Huanacamaya en la subcuenca Conduriri.
2. Las fuentes del recurso hídrico son limitados, generalmente en las subcuencas altas, por consiguiente, es necesario poner restricciones a la expansión de nuevas áreas para el riego, las mismas que no están consideradas en los usos futuros de agua.
3. En caso de la información hidrométrica, se debe instalar estaciones de control hidrométrica en las subcuencas de interés por lo menos un limnógrafo o limnómetro, para ajustar posteriormente los caudales teóricamente calculados. Además la ALA Llave debe instalar controles hidrométricos en zonas de riego de importancia para monitoreo de la disponibilidad del recurso hídrico en la cabecera del área de riego.
4. La Administración Local de Agua Llave, debe realizar en forma adecuada, el inventario de usos actuales de agua, tanto usos reconocidos y no reconocidos, con el fin obtener una información consistente, y de así llegar a conocer el uso real del recurso hídrico en la cuenca. Información que podría servir también para la gestión y reordenamiento del recurso hídrico en la cuenca.
5. En las subcuencas con déficit del recurso hídrico, se debe realizar almacenamiento de agua en represas, generalmente en épocas de lluvia, para utilizarlas después en épocas de estiaje donde más se necesita el recurso agua. Según el balance hídrico hay excedentes de agua en los meses de avenida en toda las subcuencas.
6. La Administración Local de Agua Llave, debe realizar campaña de aforo de caudales en los ríos y en los puntos de la cabecera de riego, a nivel de subcuencas en el ámbito de la cuenca del río Llave; información que serviría en posterior para el balance a nivel de la cabecera de riego y para ajustar los resultados obtenidos en el presente estudio.
7. La información hidrometeorológica que se ha procesado y está disponible en el presente Reporte Técnico, debería ser utilizada en forma inmediata para una mejor Gestión de la administración del agua dentro del ámbito de la ALA Llave.

CAPITULO 12

BIBLIOGRAFIA

1. **Aliaga A., Segundo Vito** (1983) "Tratamiento de datos Hidrometeorológicos", Lima – Perú.
2. _____ (1985) "Hidrología Estadística", Lima – Perú.
3. _____ (1993) "Elementos de Econometría Aplicada", Primera Edición, Cujajone – Perú.
4. **ALT** (Autoridad Binacional Autónoma del Sistema Hídrico TDPS): Disponibilidad Hídrica de las cuencas afluentes al Lago Titicaca, 2005.
5. **ALT** (Autoridad Binacional Autónoma del Sistema Hídrico TDPS): Balance Hídrico de la Cuenca Ilave, a nivel preliminar, 2006.
6. **Aparicio M., Francisco Javier** (1997) "Fundamentos de Hidrología de Superficie", Editorial Limusa, México.
7. **ATDR Ilave** (2007) "Plan de Cultivo y Riego 2007-2008", Agencia Agraria Salcedo-Puno.
8. **Bae, Deg-Hyo; Georgakako, Konstantine P. and Nanda, S.K.** (1995) "Operational Forecasting With Real-Databases", Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 121, paper No 5388.
9. **Chereque M., Wendor** (1989) "Hidrología para Estudiantes de Ingeniería Civil", Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima-Perú.
10. **Chow, Ven Te; Maidment, David R. and Mays, Larry W.** (1994) "Hidrología Aplicada", Editorial McGraw-Hill, Interamericana S.A.(Traduc). Impreso D'vinni Editorial Ltda. Santafé de Bogotá, Colombia.
11. **Chow, Ven Te** (1995) "Hidráulica de Canales Abiertos", Editorial McGraw-Hill, Santafé de Bogotá, Colombia.
12. **FAO** "Estudio de Riego y Drenaje – Evapotranspiración del Cultivo", Manual N° 56.
13. **Fontaine, Thomas A.** (1995) "Rainfall-Runoff Model Accuracy for an Extreme Flood", Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, paper No 4723.
14. **Guevara Pérez, Edilberto y Cartaya Di Lena, Humberto** (2004) "Hidrología Ambiental", Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo, Venezuela.
15. **Haan, Charles J.** (1977) "Statistical Methods in Hydrology", Iowa State University Press. USA.
16. **Hotchkiss, Rollin H. and McCallum, Brain E.** (1995) "Peak Discharge for Small Agricultural Watersheds", Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 121, paper No 5502.
17. **Infante G., Said** (1984) "Métodos Estadísticos", Editorial Trillas, S.A. de C.V. México.
18. **Kite, G.W.** (1977) "Frequency and Risk Analyses in Hydrology", Water Resources Publications. Fort Collins Colorado, USA.
19. **INRENA** (2008) Evaluación de los Recursos Hídricos en las Cuencas de los Ríos Cabanillas y Lampa, Estudio de Hidrología. Intendencia de Recursos Hídricos. ATDR Juliaca.
20. **Linsley, Kohler y Paulhus** (1988) "Hidrología para Ingenieros", Editorial McGraw-Hill, Interamericana de México, S.A. de C.V., Segunda Edición.
21. **Lutz Scholz** (1980) "Generación de Caudales Mensuales en la Sierra Peruana", Programa Nacional de Pequeñas y Medianas Irrigaciones- Plan Meris II.

22. **Mejía M., Abel** (1991) “Métodos Estadísticos en Hidrología”, UNA La Molina, Concytec, Lima-Perú.
23. _____ (2001) “Hidrología Aplicada”, UNA La Molina, CIP-FIA, Lima – Perú.
24. **Monsalve S., Germán** (1999) “Hidrología en la Ingeniería”, Segunda Edición, Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería - Alfaomega, Colombia.
25. **Organización Meteorológica Mundial - OMM** (1994) “Guía de Prácticas Hidrológicas”, No 168, Quinta Edición.
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); 1,993.
27. **PELT** (Proyecto Especial Lago Titicaca) – Puno: Estudio de Factibilidad del Proyecto Integral Ilave – Resumen General, 1997.
28. **PELT** (Proyecto Especial Lago Titicaca) – Puno: Proyecto Integral Ilave – Estudio Definitivo del Embalse Chihuane – Anexo A: Hidrología, 1998, realizado por el Ing. Emilio Kocnim Mac, Consultor.
29. **PELT** (Proyecto Especial Lago Titicaca) – Puno: Estudio de Hidrología e Hidráulica Fluvial – Defensas Ribereñas Río Ilave, Proyecto de apoyo social y obras de emergencia, realizado por el Consultor Ing. Walter Obando Licera, 2001.
30. **PELT** (2007) “Estudio hidrológico de la subcuenca del río Blanco”, Dirección de Estudios, Puno – Perú.
31. **PELT** (2007) “Estudio hidrológico de la subcuenca del río Morocollo”, Dirección de Estudios, Puno – Perú.
32. **PELT** (2008) Estudio de Perfil del Proyecto “Construcción y Ampliación del Sistema de Irrigación Integral Acora Totorani”, Dirección de Estudios, Puno – Perú.
33. **Remenieras, G.** (1974) “Tratado de Hidrología Aplicada”, Segunda Edición, Editores Técnicos Asociados S.A., Barcelona – España.
34. **Serruto C., A.R.** (1984) "Balance Hidrológico del Lago Titicaca", Tesis presentada para optar el Grado de Magister Scientiae, UNA - La Molina, Lima - Perú.
35. **Titmarsh, G.W.; Cordery, I. and Pilgrim, D.H.** (1995) “Calibration Procedures for Rational and USSCS Design Flood Methods”, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, paper No 5023.
36. **US Army Corps of Engineers** (2000) “*HEC-HMS Hydrologic Modeling System*”, Technical Reference Manual, Hydrologic Engineering Center, Davis, CA-USA.
37. **Varas C., Eduardo y Bois, Philippe** (2002) “Hidrología Probabilística”, Ediciones Universidad Católica de Chile.
38. **Vásquez V., Absalón** (2000) “Manejo de Cuencas Altoandinas”, Tomo I y II, UNA La Molina, Lima-Perú.
39. **Villón B., Máximo** (2002) “Hidrología Estadística”, Escuela de Ingeniería Agrícola, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Segunda Edición, Editorial Villón, Lima – Perú.
40. **Villón B., Máximo** (2002) “Hidrología”, Escuela de Ingeniería Agrícola, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Segunda Edición, Editorial Villón, Lima – Perú.
41. **Yevjevich, V.** (1972) “Probability and Statistics in Hydrology”, Water Resources Publications, Fort Collins, Colorado, USA.