



PERÚ

Ministerio
De Agricultura

Autoridad
Nacional del Agua

Administración Local de
Agua Chillón Rímac Lurín

Dirección de Conservación y Planeamiento de Recursos Hídricos
Área de Aguas Superficiales

Evaluación de los Recursos Hídricos en la Cuenca del Río Rímac



Estudio Hidrológico y Ubicación de la Red de Estaciones Hidrométricas en la Cuenca del Río Rímac

VOLUMEN I
(INFORME FINAL)

Lima, Diciembre 2010



MINISTERIO DE AGRICULTURA
AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA
DIRECCION DE CONSERVACION Y PLANEAMIENTO DE RECURSOS HIDRICOS
ADMINISTRACION LOCAL DE AGUA CHILLON RIMAC LURIN

PERSONAL DIRECTIVO

Ing. Carlos Javier Pagador Moya	Jefe de la Autoridad Nacional del Agua
Ing. Oscar Avalos Sanguinetti	Director de Conservación y Planeamiento de Recursos Hídricos
Ing. Emigdio Mondragón Santa Cruz	Administrador Local de Agua Chillón Rímac Lurín

EQUIPO SUPERVISOR

Ing. Carlos Romero Hernández	Profesional Especialista en Recursos Hídricos Superficiales de la DCPRH
Ing. César Ancco Carita	Profesional Especialista en Recursos Hídricos Superficiales de la DCPRH

PERSONAL PARTICIPANTE

Ing. Max Alberto Bernabé Orellano	Responsable del Estudio Hidrológico
Ing. Wilber Jhonny Pineda Quispe	Sistema de Información Geográfica (SIG)
Ing. Bach. Gladys Alanoca Vilca	Asistente de Hidrología
Tec. Noel Collantes Mondragón	Técnico de Campo

ALA. CHRL
Lima - Perú
Diciembre 2010

ÍNDICE

ÍNDICE	2
RESUMEN	5
I ASPECTOS GENERALES	7
1.1 INTRODUCCIÓN	7
1.2 ANTECEDENTES	7
1.3 JUSTIFICACIÓN	9
1.4 OBJETIVOS	9
1.4.1 General.....	9
1.4.2 Específicos	9
1.5 METODOLOGÍA DEL TRABAJO.....	10
1.5.1 Métodos de recolección de datos.....	10
1.5.2 Actividades preliminares	10
1.5.3 Trabajos de campo.....	10
1.5.4 Trabajos de gabinete	11
1.6. INFORMACIÓN BÁSICA	11
1.6.1 Información cartográfica	11
1.6.2 Información hidrometeorológica	11
1.6.2.1 Información hidrométrica	11
1.6.2.2 Información meteorológica	12
1.6.3 Estudios revisados sobre recursos hídricos en la cuenca del río Rímac	14
II. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA CUENCA	15
2.1 UBICACIÓN Y DEMARCACIÓN DE LA CUENCA	15
2.1.1 Ubicación geográfica	15
2.1.2 Ubicación hidrográfica.....	16
2.1.3 Ubicación política.....	19
2.1.4 Demarcación administrativa	21
2.2 ACCESIBILIDAD – VÍAS DE COMUNICACIÓN	21
2.3 ASPECTOS SOCIO-ECONÓMICOS	23
2.3.1 Población- Demografía	23
2.3.2 Caracterización socio-económica	27
2.4 DELIMITACIÓN HIDROGRÁFICA DE LA CUENCA – MÉTODO PFAFSTETTER	28
2.4.1 Descripción general de la cuenca	32
2.4.2 Clasificación Ordinal de Ríos	34
2.4.3 Esquema fluvial de la cuenca.....	34
2.5 GEOMORFOLOGÍA	37
2.5.1 Generalidades	37
2.5.2 Descripción geomorfológica de la cuenca	37
2.5.3 Caracterización geomorfológica de la cuenca.....	38
2.5.3.1 Parámetros de forma de la cuenca.....	38
2.5.3.2 Parámetros de relieve de la cuenca.....	41
2.5.3.3 Parámetros de la Red Hidrográfica.....	47
2.5.3.4 Sistema hidrográfico	51
2.6 ECOLOGÍA	54
2.7 GEOLOGÍA	57
2.8 SUELOS	65
2.8.1 Grandes Grupos de Suelos.....	65
2.8.2 Uso mayor de los suelos.....	71
2.9 COBERTURA VEGETAL	74

2.10	RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIALES.....	76
2.10.1	Ríos y quebradas	78
2.10.2	Manantiales	78
2.10.3	Almacenamientos Naturales – Lagunas	78
2.10.4	Almacenamientos artificiales - Represas.....	81
2.10.5	Humedales (bofedales).....	81
2.10.6	Otros (aguas de recuperación, trasvases, glaciares, etc)	82
III	CLIMATOLOGIA DE LA CUENCA	83
3.1	PARÁMETROS CLIMATOLÓGICOS.....	83
3.1.1	Precipitación	83
3.1.1.1	Régimen de la precipitación estacional	83
3.1.1.2	Régimen de la precipitación anual	85
3.1.1.3	Variación espacial de la precipitación en la cuenca	86
3.1.1.4	Análisis de precipitaciones máximas en 24 horas.....	88
3.1.2	Temperatura.....	90
3.1.2.1	Régimen de temperaturas medias	91
3.1.2.2	Régimen de temperaturas máximas	94
3.1.2.3	Régimen de temperaturas mínimas	100
3.1.3	Humedad relativa	104
3.1.4	Evaporación	109
3.1.5	Horas de sol	110
3.1.6	Viento	111
3.1.6.1	Velocidad media del viento	111
3.1.7	Evapotranspiración potencial	112
3.1.7.1	Información básica	112
3.1.7.2	Métodos de estimación de la evapotranspiración potencial	114
3.2	CLASIFICACIÓN CLIMATOLÓGICA	116
IV	PLUVIOMETRÍA	119
4.1	GENERALIDADES	119
4.2	RED DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS.....	119
4.3	ANÁLISIS DE CONSISTENCIA DE LA INFORMACIÓN PLUVIOMÉTRICA.....	121
4.4	COMPLETACIÓN Y EXTENSIÓN DE LA INFORMACIÓN PLUVIOMÉTRICA	136
4.5	PRECIPITACIÓN AREAL EN LA CUENCA.....	137
V	HIDROMETRÍA	144
5.1	GENERALIDADES	144
5.2	RED DE ESTACIONES HIDROMÉTRICAS	144
5.2.1	Estación hidrométrica Chosica – Río Rímac	144
5.2.2	Estación hidrométrica Sheque – Río Santa Eulalia.....	145
5.2.3	Estación hidrométrica Tamboraque – Río Rímac	145
5.3	NATURALIZACIÓN DE LOS CAUDALES	146
5.4	ANÁLISIS DE CONSISTENCIA DE LA INFORMACIÓN HIDROMÉTRICA.....	146
5.5	COMPLETACIÓN Y EXTENSIÓN DE LA INFORMACIÓN HIDROMÉTRICA	151
5.6	ANÁLISIS DE PERSISTENCIA DE LAS DESCARGAS MEDIAS MENSUALES	152
VI	MODELACIÓN HIDROLÓGICA–GENERACIÓN DE CAUDALES MEDIOS MENSUALES	156
6.1	GENERALIDADES	156
6.2	IMPORTANCIA DE LA MODELACIÓN HIDROLÓGICA	156
6.3	MÉTODO DE TRANSFERENCIA HIDROLÓGICA	157
6.4	APLICACIÓN DEL MODELO.....	158
6.5	GENERACIÓN DE CAUDALES MEDIOS MENSUALES EN LOS PUNTOS DE INTERÉS	159
6.6	ANÁLISIS DE PERSISTENCIA DE LOS CAUDALES MEDIOS MENSUALES GENERADOS EN LOS PUNTOS DE INTERÉS.....	159
VII	DISPONIBILIDAD HÍDRICA EN LA CUENCA	169
7.1	GENERALIDADES	169

7.2	AGUAS SUPERFICIALES	169
7.3	AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	170
7.4	AGUAS DE RECUPERACIÓN	171
7.5	AGUAS DE ALMACENAMIENTO EN REPRESAS	171
7.6	AGUAS DE TRASVASE	172
7.7	OTRAS FUENTES DE AGUA (DESHIELO DE GLACIARES Y OTROS)	174
7.8	DISPONIBILIDAD HÍDRICA TOTAL DE LA CUENCA.....	174
VIII.	USO Y DEMANDA DE AGUA EN LA CUENCA.....	175
8.1	ASPECTOS GENERALES.....	175
8.2	DEMANDA ACTUAL DE AGUA EN LA CUENCA.....	175
8.2.1	USO CONSUNTIVO	176
8.2.1.1	Sector agricultura (uso agrícola)	176
8.2.1.2	Sector vivienda (uso poblacional)	177
8.2.1.3	Sector minería (minas)	179
8.2.1.4	Otros usos de agua (industria).....	179
8.2.2	USO NO CONSUNTIVO	180
8.2.2.1	Sector energético (uso hidroeléctrico).....	180
8.2.2.2	Sector pesquería (piscícolas)	180
8.2.2.3	Otros usos de agua (recreación, etc)	180
8.3	DEMANDA FUTURA DE AGUA EN LA CUENCA.....	180
8.4	ESQUEMA HIDRÁULICO DEL SISTEMA HÍDRICO	182
IX	BALANCE HÍDRICO	183
9.1	GENERALIDADES	183
9.2	OFERTA HÍDRICA.....	183
9.3	DEMANDA HÍDRICA EN SITUACIÓN ACTUAL Y FUTURA	183
9.4	BALANCE HÍDRICO DE LA CUENCA EN SITUACIÓN ACTUAL.....	184
X	EVENTOS HIDROLÓGICOS EXTREMOS	185
10.1	ANÁLISIS DE CAUDALES MÁXIMOS	185
10.1.1	Análisis de máximas avenidas en el río Rímac	187
10.1.2	Análisis de máximas avenidas en las subcuencas.....	194
10.1.2.1	Método del hidrograma unitario del U.S. Soil Conservation Service	195
10.1.2.2	Determinación de máximas avenidas	198
10.2	ANÁLISIS DE SEQUÍAS	204
10.2.1	Sequía meteorológica.....	206
10.2.1.1	Información básica – Metodología de análisis	206
10.2.1.2	Cuantificación y descripción de las sequías críticas	209
10.2.2	Sequía hidrológica	212
XI	PROPUESTA DE ESTACIONES HIDROMÉTRICAS EN LA CUENCA.....	219
11.1	GENERALIDADES	219
11.2	PROPUESTA DE UBICACIÓN DE LA RED DE ESTACIONES HIDROMÉTRICAS	220
XII	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	222
12.1	CONCLUSIONES	222
12.2	RECOMENDACIONES	223
XIII	BIBLIOGRAFÍA	224
	ANEXOS.....	225

Estudio Hidrológico y Ubicación de la Red de Estaciones Hidrométricas en la Cuenca del río Rímac

RESUMEN

El presente documento contiene el estudio hidrológico realizado en la cuenca del río Rímac; cuyo objetivo principal es proporcionar información para el ordenamiento y gestión de los recursos hídricos. El estudio contiene aspectos concernientes a la descripción de las características geomorfológicas de la cuenca, climatología, pluviometría, hidrometría, disponibilidad hídrica, modelación y generación de caudales medios mensuales, demandas hídricas, balance hídrico, máximas avenidas y sequías, y la ubicación de las nuevas estaciones hidrométricas en la cuenca del río Rímac.

La cuenca del río Rímac, políticamente se encuentra ubicada en su mayoría en el departamento de Lima y en menor proporción en el departamento de Junín, enmarcándose en la provincia de Lima, Huarochirí y Yauli.

La superficie total de la cuenca del río Rímac es de 3,503.95 km², compuesto por nueve unidades hidrográficas de nivel 5 (subcuenca Bajo Río Rímac, quebrada Jicamarca, Jicamarca-Santa Eulalia, Río Santa Eulalia, Santa Eulalia-Párac, Quebrada Párac, Párac-Alto Río Rímac, Alto Río Rímac y Río Blanco).

Las variables climatológicas evaluadas son la precipitación, temperatura (media, máxima y mínima), humedad relativa, evaporación, horas de sol, velocidad del viento y la evapotranspiración potencial. La cuenca del río Rímac corresponde a la región de humedad de húmedo – sub-húmedo – árido y a la región de temperatura mesotérmico.

En la evaluación del comportamiento pluviométrico de la cuenca Rímac, se ha analizado la consistencia y completación de la información de precipitaciones mensuales de las 27 estaciones meteorológicas ubicadas en el ámbito de la cuenca Rímac, asimismo se ha determinado las precipitaciones areales para las subcuencas de interés del período de 1964-2009.

En la evaluación del comportamiento hidrológico de la cuenca del río Rímac, se ha desarrollado la naturalización y el análisis de consistencia de las descargas medias mensuales del río Rímac – estación Chosica. Con las descargas naturalizadas del período 1912-2009, se ha desarrollado el análisis de frecuencia al 75% de persistencia de la cuenca de estudio.

La modelación hidrológica se ha realizado para la generación de las descargas medias en las subcuencas de interés, para ello se ha aplicado el Método de Transferencia Hidrológica, utilizando la información de las descargas medias de la estación Chosica y las precipitaciones areales correspondientes a cada subcuenca de interés. En la cuenca del río Rímac, en la estación Chosica se cuenta con la información histórica de las descargas medias mensuales del período de 1912-2009, información bastante considerable.

La disponibilidad hídrica total anual de la cuenca del río Rímac es de 781.92 hm^3 , donde el volumen de 642.48 hm^3 corresponde al 75% de persistencia de la estación Chosica y el 139.45 hm^3 corresponde al caudal promedio del Túnel Trasandino. La fuente hídrica corresponde a aguas superficiales de la cuenca.

La demanda hídrica total actual en la cuenca Rímac es de $635.0 \text{ hm}^3/\text{año}$, distribuidas en uso agrícola de 105.15 hm^3 , uso poblacional 501.44 hm^3 , uso minero 27.46 hm^3 y uso industrial 0.95 hm^3 . El uso poblacional es de mayor significancia en la cuenca de estudio.

El balance hídrico se ha desarrollado a nivel de la cuenca Rímac, teniendo como punto de referencia o de control la estación Chosica. Según el resultado del balance, la cuenca Rímac presenta déficit hídrico en los meses de junio a noviembre y el superávit en los meses de diciembre a mayo, de la comparación entre la oferta y la demanda hídrica resulta un exceso anual de $146.92 \text{ hm}^3/\text{año}$.

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

En la cuenca del río Rímac, se ha ubicado tres estaciones para la instalación y mejoramiento con equipos hidrológicos modernos, las estaciones son Ricardo Palma y Chosica en el río Rímac, y la estación Santa Eulalia en el río del mismo nombre.

I ASPECTOS GENERALES

1.1 INTRODUCCIÓN

El recurso hídrico representa el elemento vital para el abastecimiento de uso poblacional, agrícola pecuario, minero, energético, ecológico y otros, por lo que es importante el uso óptimo, racional y sostenible de este recurso enmarcado en un enfoque integral, evaluando la disponibilidad, calidad y su uso.

La Autoridad Nacional del Agua es el ente rector y la máxima autoridad técnico - normativa del sistema nacional de gestión de los recursos hídricos. Es responsable del funcionamiento de dicho sistema en el marco de lo establecido de la ley.

La Administración Local del Agua Chillón Rímac Lurín es la entidad encargada de administrar legalmente y por ende promover una gestión interinstitucional del uso equitativo del agua, promoviendo de esta forma el desarrollo y manejo de las cuencas en su jurisdicción. Desde esta perspectiva es que se ha programado el año 2010, bajo la Supervisión Técnica de la Dirección de Conservación y Planeamiento de Recursos Hídricos de la Autoridad Nacional del Agua (ANA), efectuar el **Estudio Hidrológico y Ubicación de la Red de Estaciones Hidrométricas en la Cuenca del río Rímac**.

El presente informe tiene por finalidad proporcionar información procesada y evaluada del recurso hídrico para ser empleada en la gestión y distribución del recurso hídrico, diseño y dimensionamiento de las obras hidráulicas proyectadas (captación, conducción obras de arte, regulación, excedencia, etc).

Para ello deberá precisarse: la disponibilidad de agua, el requerimiento de agua para el plan agrícola (cédula de cultivo) que se planteé, los derechos de uso de agua de terceros, balance hídrico, características, de las avenidas y periodos de sequía; así como determinar una propuesta de ubicación de la red de Estaciones Hidrométricas.

1.2 ANTECEDENTES

En el Perú desde la década de los años 60, se han iniciado estudios hidrológicos para la evaluación y cuantificación de los recursos hídricos en cuencas de mayor y menor importancia para el desarrollo agropecuario de nuestro país.

A partir del año 1973, el Ministerio de Agricultura, asumió oficialmente esta disciplina, creando en la Dirección General de Aguas, una Subdirección de Manejo de Cuencas con tres unidades: Ordenación de Cuencas, Sistema de Conservación y Sistema de Protección; caracterizando y enfatizando la primera como parte del presente trabajo.

En los años 1975 y 1976, con el objetivo de afirmar la institucionalización del Manejo de Cuencas, el Proyecto cambia de denominación y pasó a llamarse Proyecto de Manejo de Cuencas, proponiéndose como meta formular los estudios a nivel nacional de 30 cuencas.

A partir del año 2001, la Intendencia de Recursos Hídricos del ex Instituto Nacional de Recursos Naturales, ha desarrollado estudios hidrológicos en las cuencas del Perú, como es

el caso de las cuencas de los ríos Cañete, Chancay-Huaral, Chili, Caplina, Ica, San Juan, entre otros; y consiente de la necesidad del País de disponer del conocimiento integral y homogéneo del potencial 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 este contexto la Autoridad Nacional del Agua, prosigue con sus objetivos iniciales extendiendo estos estudios en otras cuencas, como es el presente caso del río Rímac.

Dentro de 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 Rímac 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 con ello concluir en cuanto a las restricciones y bondades que nos ofrece la cuenca como sistema natural “generador” de agua superficial.

La cuenca del río Rímac está localizada entre los 11°36'52" y 12°05'47" de latitud Sur y entre los 76°11'05" y 77°04'36" de longitud Oeste.

El río Rímac está formado por las subcuencas de los ríos Santa Eulalia y San Mateo que, al unirse a la altura de la ciudad de Chosica, forman el río principal que pasa por la ciudad de Lima.

La cuenca como sistema hidrográfico y ámbito del presente trabajo, tiene una superficie de drenaje, desde las nacientes hasta la desembocadura al mar de su colector principal, el área de la cuenca es de 3503,95 km², de la cual 2302,1 km² corresponde a la cuenca húmeda, que representa el 65.7% sobre los 2500,00 msnm altitudinalmente se desarrolla desde el nivel del mar hasta los 4700,00 msnm que corresponde al abra Atincona en Ticlio. En el contorno de la cuenca hay cumbres con más de 4750 msnm de altitud.

Dentro de las cuencas de la costa peruana, la del río Rímac es una de las más explotadas, se han construido centrales hidroeléctricas como: Matucana, Huinco, Callahuanca, Moyopamapa y Huampani. Además del uso principal para el agua potable y de generación de energía, sus aguas satisfacen la demanda de uso agrícola de las áreas cultivables que aun existen en el valle.

Con el fin de afianzar el caudal del río Rímac se represó quince (15) lagunas de la cuenca alta del río Santa Eulalia, con un volumen regulado de 77 hm³; y de la Represa de Yuracmayo con 48.30 hm³. Estos recursos son de la cuenca propia del río Rímac. Algunas de estas obras de represamiento fueron construidas a fines del siglo pasado y comienzos del actual.

El aporte de lagunas y trasvases está dirigido principalmente al uso energético y poblacional y su regulación es significativa en el periodo de estiaje.

El aporte por trasvases y regulaciones del sistema Marcapomacocha (Mantaro) es de 157.05 hm³. El total de sistemas de regulación y trasvases es de 282.35 hm³, (Fuente: EDEGEL).

En el año 2008 se ha realizado el Inventario de las Fuentes de Aguas Superficiales en el ámbito de la ALA Chillón Rímac Lurín, siendo uno de los más recientes ejecutados con relación a la Cuenca del Río Rímac por la Autoridad Nacional del Agua y que ha servido de base para el presente estudio.

El Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima y Callao (SEDAPAL) ha realizado el estudio denominado: Plan Maestro Optimizado que en su Volumen II determina: El Estudio de la Demanda, Balance Oferta - Demanda y Programa de Inversiones 2009-2013, que permitirán Tomar las acciones correspondientes para dotar de agua a la Población de la Gran Lima hasta el año 2040.

1.3 JUSTIFICACIÓN

Por su ubicación geográfica y política, la cuenca del río Rímac es de mucha importancia ya que en su ámbito se encuentra la ciudad de Lima, por ser una ciudad de alta densidad urbana y poblacional, que genera condiciones totalmente distintas y singulares, bajo una serie de aspectos en comparación a otros proyectos hidráulicos.

Dotar de agua a la población asentada en la ciudad de Lima es la principal actividad, y por lo tanto la actividad de mayor importancia siendo el consumo de agua de 678'802,400 m³.

Otras de las actividades en segunda importancia es dotar de energía hidráulica a las centrales hidroeléctricas que operan en la cuenca siendo el consumo de 788'802,400 m³.

La agricultura constituye la tercera actividad socio-económica del valle y la cuenca del río Rímac, con un consumo de agua superficial de 105'150,000 m³.

Además del uso industrial y minero, siendo el consumo de 28'391,774.40 m³. (Fuente: Administración Local del Agua Chillón Rímac Lurín).

Los procesos de gestión y planificación en torno al adecuado uso del agua en la cuenca del río Rímac requieren ser optimizados, para lo cual no se contaba con los instrumentos básicos (estudio hidrológico actualizado) que permitan ejecutar y conducir estos procesos de la forma más eficiente.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 General

Evaluar el funcionamiento de la cuenca como un sistema hidrológico integral, estableciendo una herramienta básica para la planificación y gestión de los recursos hídricos en la cuenca del río Rímac.

1.4.2 Específicos

- Sistematización de la información cartográfica de la cuenca.
- Determinar las características físicas de la cuenca.
- Análisis climatológico de la cuenca.

- Evaluación del comportamiento de la precipitación de la cuenca.
- Evaluación del comportamiento hidrométrico de la cuenca.
- Generación de las descargas medias en la cuenca.
- Determinar la disponibilidad de la cuenca.
- Determinar la demanda hídrica de la cuenca.
- Balance hídrico de la cuenca.
- Análisis de eventos extremos (máximas avenidas y sequías).
- Ubicación de red de estaciones hidrométricas.

1.5 METODOLOGÍA DEL TRABAJO

1.5.1 Métodos de recolección de datos

Se ha recopilado la información siguiente:

- Expedientes técnicos y antecedentes dentro de las instituciones relacionadas con el uso de los recursos hídricos de la cuenca del río Rímac (ANA, ALA Chillón Rímac Lurín, SENAMHI, SEDAPAL, EDEGEL, IGN, etc).
- Información impresa y digital de las cartas nacionales correspondientes a la cuenca del río Rímac.
- Información temática climática, ecológica, geológica de los suelos, coberturas vegetal, a nivel de la cuenca del Rímac.
- Información hidrológica de las descargas del río Rímac.
- Información climatológica y meteorológica de las estaciones ubicadas dentro de la cuenca del río Rímac y en cuencas aledañas.

1.5.2 Actividades preliminares

Se ha tenido reuniones de coordinación constantes con la Administración Local de Agua Chillón Rímac Lurín, a fin de programar las actividades y acciones de trabajo relacionadas al estudio hidrológico en la cuenca del río Rímac. Además se ha coordinado acciones con instituciones relacionadas con el uso de los recursos hídricos que existen dentro del ámbito del estudio: ANA, ALA Chillón Rímac Lurín, SENAMHI, SEDAPAL, EDEGEL, etc).

1.5.3 Trabajos de campo

Luego de revisar la información existente de los estudios afines, cartas digitales e impresas y otros elementos que son necesarios para el desarrollo del Estudio Hidrológico, se programó el reconocimiento escalonado de la cuenca del río Rímac, contando para ello con Cartas Nacionales y movilidad alquilada (camioneta doble cabina).

En el mes de octubre durante los días 11 y 12 se ha realizado el reconocimiento de la cuenca del río Rímac y durante los días 19, 20 y 21 de noviembre se realizó una primera evaluación de la red de estaciones hidrométricas existentes en la cuenca del río Blanco, San Mateo, Santa Eulalia y río Rímac.

Durante los días 10, 11 y 12 del mes de diciembre se realizaron una segunda evaluación de las estaciones ubicadas en la cuenca del río Santa Eulalia y Rímac y se determinó la ubicación de las posibles estaciones Hidrométricas a implementar.

1.5.4 Trabajos de gabinete

En esta actividad se ha analizado, procesado y depurado la información recopilada relacionada con el trabajo y se ha dispuesto los parámetros necesarios para realizar el Estudio.

1.6. INFORMACIÓN BÁSICA

1.6.1 Información cartográfica

La información cartográfica y mapas temáticos consiste en:

- Cartas Nacionales a escala 1/100,000 del IGN, con equidistancia mínima de curvas de nivel de 50 m, confeccionado por métodos estéreo-fotogramétricos con control terrestre - 1971. Hojas 23-j, 23-k, 24-i, 24-j, 24-k, 25-i y 25j.
- Cartas Nacionales a escala 1/100,000 del IGN digitalizadas en Sistema de Información Geográfica (SIG); cobertura: red hidrográfica, curvas de nivel y nombres de la red hidrográfica.
- Mapas temáticos como el de hidrológico, ecología, geología, grupos de suelos y capacidad de uso, y cobertura vegetal de la cuenca del río Rímac, elaborados en el estudio del inventario de las fuentes de aguas superficiales en la cuenca del río Rímac (2008); los cuales han sido corregidos y actualizados, y ha servido para la generación de los mapas que conforman el Anexo III – Mapas.
- Información cartográfica complementaria encontrada en la sede de la Administración Local de Agua Chillón Rímac Lurín, y los encontrados en los distintos estudios anteriormente realizados.

1.6.2 Información hidrometeorológica

La Información hidrometeorológica de la cuenca recopilada y empleada en el trabajo pertenece a las entidades EDEGEL y SENAMHI-Lima. La primera continúa con parte de las estaciones instaladas por la ex Empresas Eléctricas Asociadas y la segunda, con sus propias estaciones desde su instalación hasta la fecha.

1.6.2.1 Información hidrométrica

Por ser una cuenca de gran importancia estratégica, las diferentes entidades han instalado estaciones de aforo. En efecto se contaba en un inicio con 20 estaciones, de las cuales quedan cuatro (4): Túnel Trasandino, Sheque, Tamboraque y Chosica. Las estaciones citadas están ubicadas estratégicamente y miden los caudales en los lugares más importantes de la cuenca, tanto sus propios rendimientos como de los trasvases. Existe hasta la actualidad las estructuras de las Estaciones: San Mateo y Blanco situadas en los ríos de esos nombres.

En el Cuadro N° 1.1 se muestra la relación de la totalidad de las estaciones que funcionaron y aun algunas permanecen en el río Rímac.

Cuadro N° 1.1 Estaciones hidrométricas que funcionaron y aún permanecen en la cuenca del río Rímac

Estación	Río	Altitud msnm	Latitud Sur	Longitud Oeste	Área de la cuenca km ²	Caudal medio m ³ /s
Túnel trasandino *	Pallca	4650	11° 33'	76° 20'		4.08
Mina Camina	Azul		11° 34'	76° 26'	20	
Acobamba	Racray		11° 33'	76° 30'	45	
Putuchaca	Yana		11° 39'	76° 28'	138	
Sheque *	Sta.Eulalia	3100	11° 40'	76° 31'	547	11.05
Sulchi	Sta.Eulalia		11° 43'	76° 36'	794	14.73
Autisha	Sta.Eulalia	2100	11° 44'	76° 37'	812	9.74
Yuracmayo	Sta.Eulalia	4800	11° 50'	76° 09'	101	2.59
Rio Blanco	Blanco	3550	11° 44'	76° 16'	205	3.36
San Mateo	Blanco	3200	11° 46'	76° 18'	446	14.33
Tamboraque *	San Mateo	3200	11° 46'	76° 19'	592	14.09
Anyahuari o Surco	San Mateo	1990	11° 53'	76° 28'	892	15.72
Chosica *	Rímac	870	11° 56'	76° 43'	2320	27.34
Yanacoto	San Mateo	854	11° 57'	76° 43'	2320	29.56
Chacrasana	Rímac	850	11° 58'	76° 45'	2500	28.72
Pte. Los Angeles	Rímac	850	11° 59'	76° 46'	2550	31.62
Huachipa	Rímac	200	12° 01'	76° 54'	2337	24.64
La Atarjea	Rímac		12° 02'	76° 00'		15.37
Pte. Ñaña	Rímac	560	11° 59'	76° 50'	2460	
Desembodura R-1	Rímac	20	12° 02'	77° 07'	3490	

* Estaciones en actual funcionamiento.

Nota: La información consignada en el cuadro anterior ha sido tomada del Vol. 3 – Tomo I: Climatología e Hidrología Conducción Fuera del cauce del río Rímac entre Moyopampa y La Atarjea – Estudio Definitivo e Ingeniería de Detalle Julio de 1999, elaborado por CESEL S.A.

1.6.2.2 Información meteorológica

En la cuenca del río Rímac han existido anteriormente varias Estaciones meteorológicas pero algunas han sido clausuradas.

La información meteorológica, consistente en precipitación (total mensual y máxima en 24 horas), temperatura (media, máxima y mínima), humedad relativa, evaporación, horas de sol y velocidad del viento; se ha recopilado de las estaciones correspondientes a la cuenca del río Rímac 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 N° 1.2 se muestran la información y el período de registro de las variables climatológicas de las estaciones recopiladas, de las cuales se ha considerado 27 estaciones con información pluviométrica (ver Cuadro N° 1.3) y las demás estaciones se han considerado para el análisis climatológico de la cuenca.

La información corresponde a 27 estaciones de las cuales 19 corresponden a la cuenca del río Rímac y 8 cuencas vecinas. Las estaciones se muestran en el Cuadro N° 1.3, el color verde tiene información, el color blanco no tiene información.

1.6.3 Estudios revisados sobre recursos hídricos en la cuenca del río Rímac

Siendo la cuenca del río Rímac una de las más explotadas, se han realizado una gran cantidad de estudios con la finalidad de evaluar el recurso hídrico de la misma con diferentes fines. Por lo tanto existe gran cantidad de información de estudios relacionados con la evaluación de los recursos hídricos del río Rímac. Se menciona como referencia entre otros los siguientes:

- Inventario y Evaluación de los Recursos Naturales de la Zona del Proyecto Marcapomacocha, ONERN, octubre 1975.
- Derivación de Aguas de la Cuenca Alta del río Mantaro a Lima, Estudio de Factibilidad, Informe Final, Vol. 2 Apéndice A-C, Vine & Partners, agosto 1976.
- Evaluación del Potencial Hidroeléctrico Nacional: Plan Maestro de Electricidad, volumen V, Lahmeyer Int. / Salzgitter, 1978.
- Control de Torrentes en la Cuenca Hidrográfica del río Rímac. Dirección de Suelos y Manejo de Cuencas, Ministerio de Agricultura, 1982.
- Presa Yuracmayo. Estudio de factibilidad, Hidrológica, Volumen IV, Motor Columbus S.A. – Molina Consultores S.A., 1983.
- Actualización de Estudios de Fuentes de Agua para Lima. Bancos de datos meteorológicos, Oficina de Ingeniería y Servicios Técnicos S.A., 1985, preparado por encargo de SEDAPAL.
- Estudio de Factibilidad de Afianzamiento Marcapomacocha – Marca III, Anexo de Hidrología, Graña y Montero Ingeniería, 1996.
- Estudio Definitivo Derivación Pomacocha – Río Blanco, Marca II, Informe Final, Volumen 3 Hidrología, CES Consulting Engineers, Salzgitter GMBH, 1998.
- Expediente Técnico del Sistema de Supervisión y Monitoreo de Cuencas – SEDAPAL por RHV System.
- SEDAPAL – Proyecto Planta de Tratamiento Huachipa – I Etapa – Hidrología Complementaria, Setiembre 1998.
- Plan De Manejo y Estudios de Factibilidad del Programa Ambiental de la Cuenca del río Rímac (diagnostico Asociación Louis Berger International-Tropical Research & Development-ECSA Ingenieros).
- Estudio Inventario de las Fuentes de Aguas Superficiales en el Ámbito del ALA Chillón Rímac Lurín (Ex ATDR, bajo la Supervisión Técnica de la Dirección de Conservación y Planificación de Recursos Hídricos - DCPRH) - 2009.
- Plan Maestro Optimizado, Volumen II. Servicio de Agua Potable y Alcantarillado (SEDAPAL) -2009.

II. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA CUENCA

2.1 UBICACIÓN Y DEMARCACIÓN DE LA CUENCA

La cuenca del río Rímac se encuentra localizada en la región central y occidental del territorio Peruano.

2.1.1 Ubicación geográfica

La cuenca del río Rímac se encuentra ubicada entre las coordenadas geográficas $11^{\circ}36'52''$ y $12^{\circ}05'47''$ de latitud Sur y entre $76^{\circ}11'05''$ y $77^{\circ}04'36''$ de longitud Oeste, ver mapa de la Figura N° 2.1.

Figura N° 2.1 Ubicación geográfica de la cuenca del río Rímac



2.1.2 Ubicación hidrográfica

La cuenca del río Rímac pertenece hidrográficamente a la vertiente del Pacífico; el río Rímac nace en la Cordillera Central de los Andes y recorre perpendicularmente hasta desembocar en el Océano Pacífico. El detalle se indica en la Figura N° 2.2 y en el Mapa N° 02 del Volumen III.

La cuenca del río Rímac posee una extensión de 3503,95 km², con una longitud de 127.02 km, la parte húmeda es aproximadamente 2303,1 km² que representa el 65,7% y corresponde a la parte alta de la cuenca.

El escurrimiento natural del río se origina como consecuencia de las precipitaciones estacionales que ocurren en su cuenca alta. En época de estiaje, durante los meses de junio a noviembre, el río Rímac baja notoriamente su caudal, de acuerdo a los registros de la estación Chosica.

La severidad de su estiaje se debe, a las características fisiográficas y de cobertura que presenta, sin embargo la presencia de nevados contribuye con sus deshielos a elevar el caudal de estiaje. Durante esta época, el valle aprovecha el agua del subsuelo mediante pozos y agua proveniente de manantiales naturales.

En su parte alta, la cuenca del río Rímac cuenta con un número considerable de lagunas, donde se regulan parcialmente y en forma natural, las aguas de precipitación. La capacidad de embalse de estas lagunas no es de consideración como para que sean utilizadas con fines de regulación del riego del valle, pero sí podrían tomarse en cuenta para proyectos de mejoramiento del riego de tierras cultivadas en la zona de sierra, en los distritos de Callahuanca, Ricardo Palma, entre otros.

Las características generales del régimen de descargas del río Rímac son similares a las que presentan la mayoría de los ríos de la Costa del Perú, con descargas irregulares, torrentoso y marcadas diferencias entre sus parámetros extremos. La probabilidad de que se presente un valor mínimo de 5.00 m³/s, corresponde a un porcentaje de 76% y de presentarse en el conjunto de valores mínimos, con una probabilidad del 24%.

Figura N° 2.2 Ubicación hidrográfica de la cuenca del río Rímac

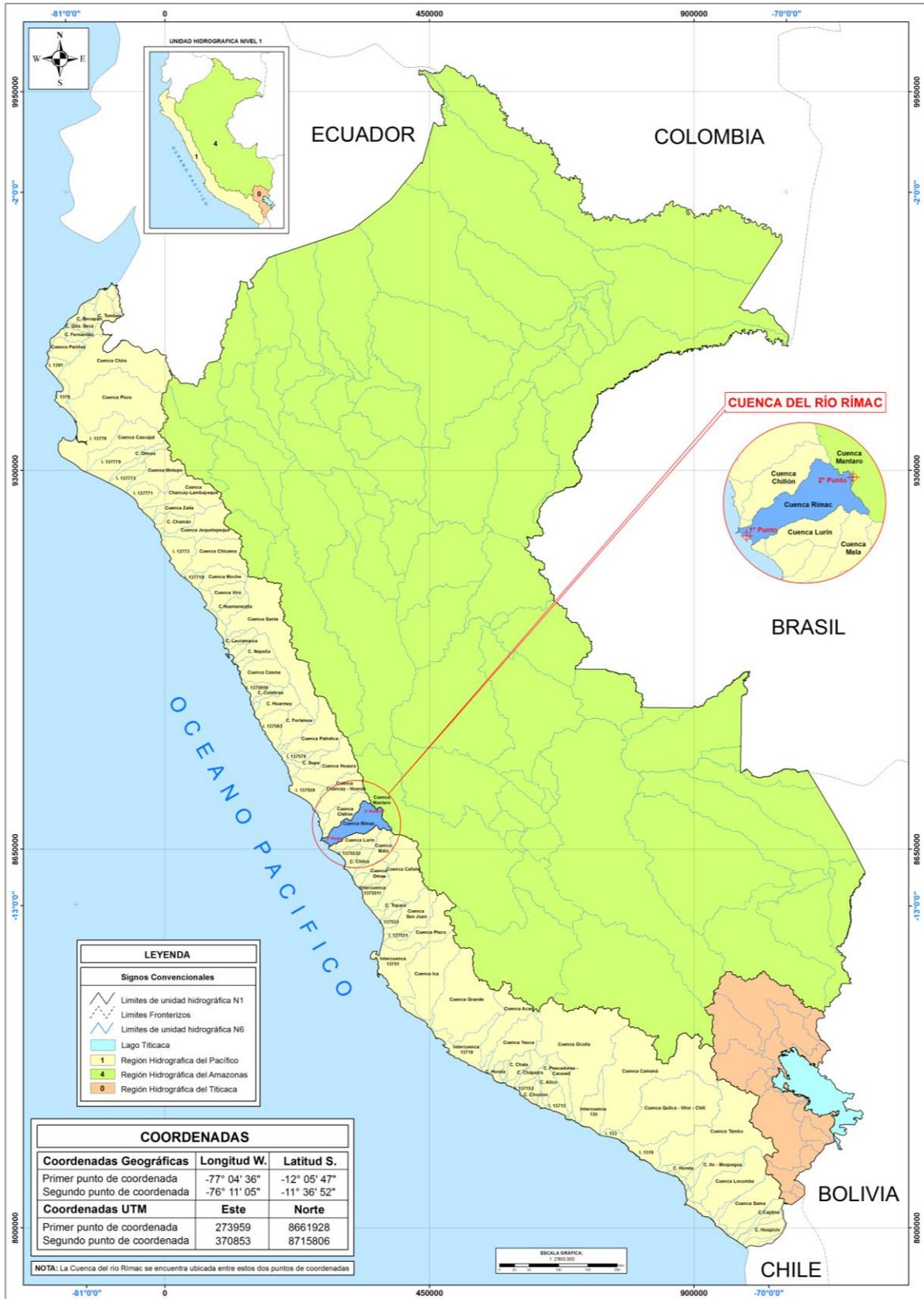
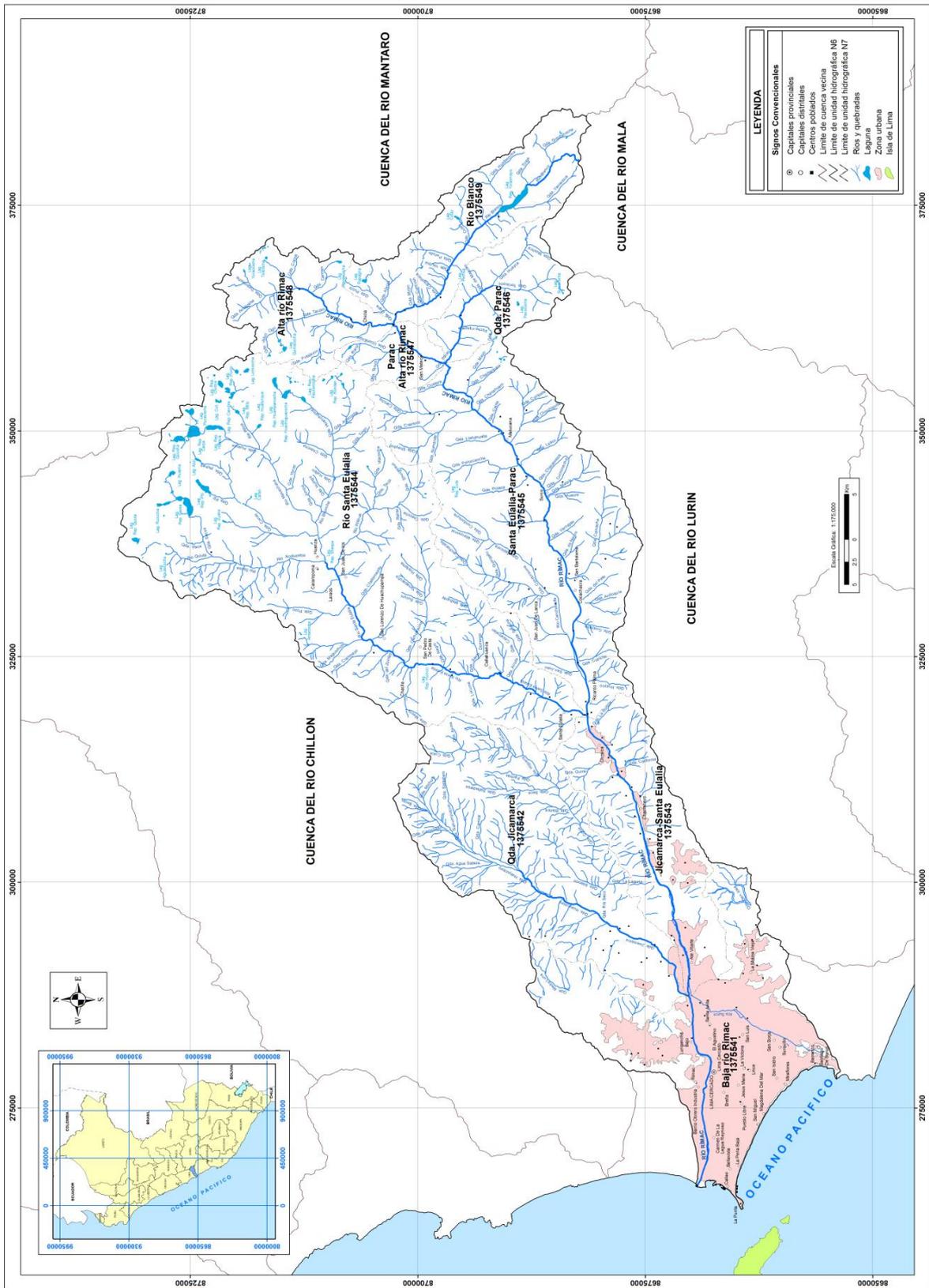


Figura N° 2.3 Mapa hidrográfico de la cuenca del río Rímac



2.1.3 Ubicación política

Políticamente la cuenca del río Rímac se encuentra ubicada en su mayoría en el departamento de Lima y en menor proporción en el departamento de Junín ; enmarcándose en la provincia de Lima, Huarochirí y Yauli respectivamente. La demarcación política de la cuenca se indica en el Cuadro N° 2.1 y la Figura N° 2.3, el mapa de ubicación política a escala mayor se muestra en el Volumen III.

Cuadro N° 2.1 Áreas de influencia de las provincias y distritos en la cuenca Rímac

DEPARTAMENTO	PROVINCIA	DISTRITO	SUPERFICIE(km ²)	PORCENTAJE
LIMA	CALLAO	BELLAVISTA	4.3	0.1
		CALLAO	20.5	0.6
		CARMEN DE LA LEGUA REYNOSO	1.8	0.1
		LA PERLA	2.9	0.1
		LA PUNTA	0.6	0
	LIMA	ATE	83.2	2.4
		BARRANCO	3	0.1
		BREÑA	2.8	0.1
		CHACLACAYO	41.3	1.2
		CHORRILLOS	2.6	0.1
		CIENEGUILLA	33.4	1
		COMAS	0.2	0
		EL AGUSTINO	12.9	0.4
		INDEPENDENCIA	0.3	0
		JESUS MARÍA	4.1	0.1
		LA MOLINA	48.6	1.4
		LA VICTORIA	9.4	0.3
		LIMA	21.9	0.6
		LINCE	2.8	0.1
		LURIGANCHO	248.2	7.1
		MAGDALENA DEL MAR	3.7	0.1
		MAGDALENA VIEJA	4.6	0.1
		MIRAFLORES	9.2	0.3
		PACHACAMAC	3.4	0.1
		RÍMAC	12.2	0.3
		SAN BORJA	10.3	0.3
		SAN ISIDRO	8.8	0.3
		SAN JUAN DE LURIGANCHO	139.9	4
		SAN JUAN DE MIRAFLORES	1.8	0.1
		SAN LUIS	3.7	0.1
		SAN MARTIN DE PORRES	9.6	0.3
		SAN MIGUEL	10.2	0.3
		SANTA ANITA	11	0.3
	SANTIAGO DE SURCO	28	0.8	
	SURQUILLO	4.6	0.1	
	HUARACHIRÍ	CALLAHUANCA	50.7	1.4
		CARAMPOMA	231.2	6.6
		CHICLA	230.5	6.6
		HUACHUPAMPA	78.6	2.2
		HUANZA	232.8	6.6
		LARAOS	119.1	3.4
		MATUCANA	179.8	5.1
		RICARDO PALMA	36.3	1
SAN ANDRES DE TUPICOCHA		20.6	0.6	
SAN ANTONIO		431.6	12.3	
SAN BARTOLOMÉ		42.6	1.2	
SAN DAMÍAN		0.9	0	
SAN JUAN DE IRIS		127.7	3.6	
SAN MATEO		416.7	11.9	
SAN MATEO DE OTAO		135.5	3.9	
SAN PEDRO DE CASTA		82.6	2.4	
SANTA CRUZ DE COCACHACRA		33.1	0.9	
SANTA EULALIA		116.3	3.3	
SANTIAGO DE TUNA		22.1	0.6	
SURCO		106.3	3	
JUNIN	YAULI	MARCAPOMACOCHA	3.1	0.1
TOTAL			3503.9	100

2.1.4 Demarcación administrativa

La entidad administrativa que regula el uso de los recursos hídricos en la cuenca del río Rímac, es la Administración Local de Agua Chillón-Rímac-Lurín, que depende de la Autoridad Nacional del Agua-ANA, adscrita al Ministerio de Agricultura.

2.2 ACCESIBILIDAD – VÍAS DE COMUNICACIÓN

La vía principal se inicia de la ciudad de Lima, esta vía permite la conexión a las carreteras panamericana norte, sur y carretera central, que comunica hacia el Norte a las ciudades de Huacho, Chimbote; hacia el Sur a las ciudades de Cañete, Ica y hacia el Este a las ciudades de Jauja, Huancayo; respectivamente.

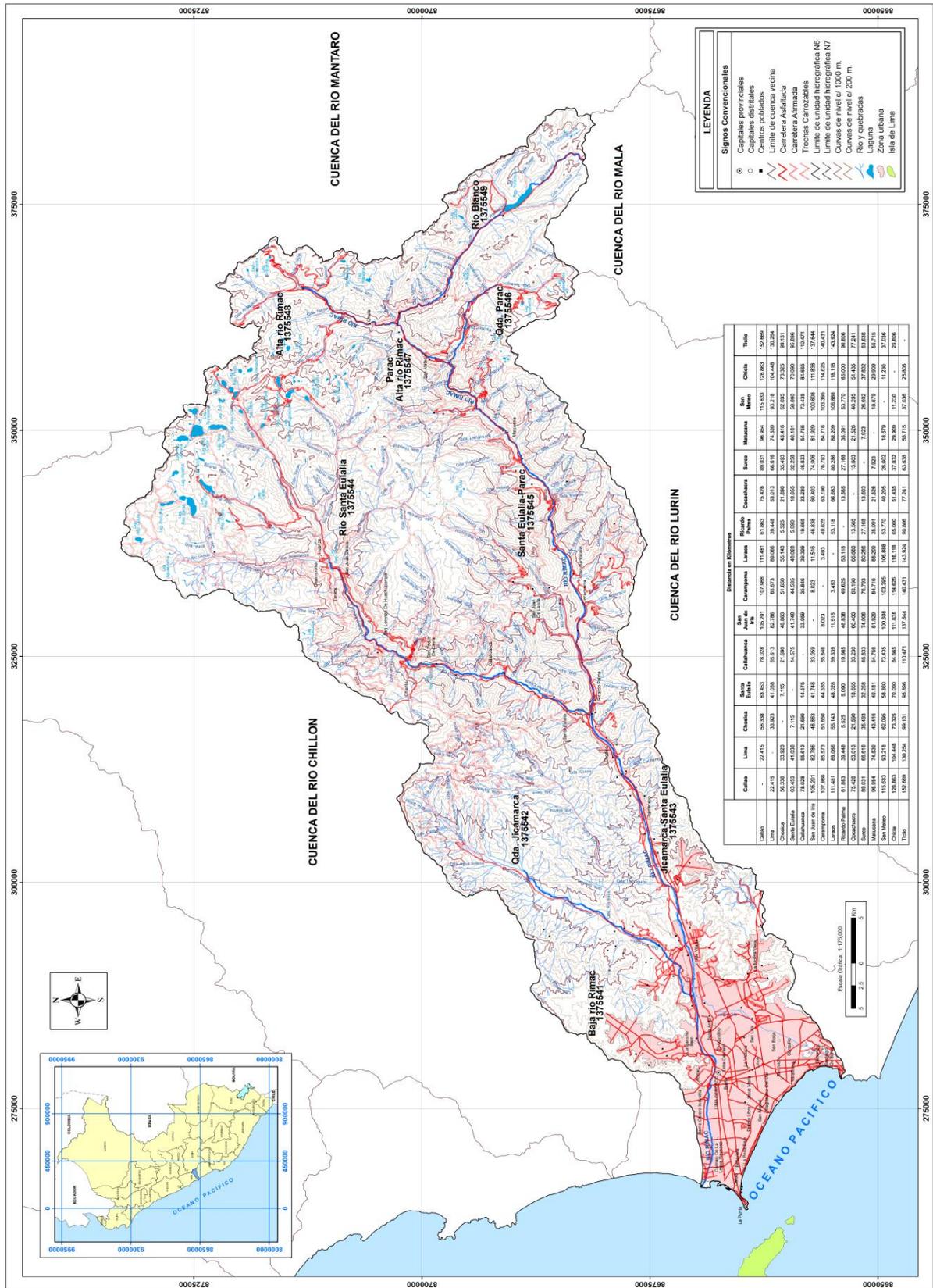
La cuenca del río Rímac es recorrida por la carretera central (pavimentada), que se inicia de la ciudad de Callao, pasando por las ciudades Chosica, Ricardo Palma, Matucana, San Mateo, Chicla y Ticlio. Mientras, otra carretera afirmada se inicia desde Chosica-Santa Eulalia hasta los distritos de Laraos, Carampoma y continúa a la laguna Milloc y se conecta finalmente a la carretera central.

La red vial y centros poblados ubicados en la cuenca del río Rímac se indica en el Cuadro N° 2.2 y la Figura N° 2.4.

Cuadro N° 2.2 Distancias viales interdistritales – Cuenca del río Rímac

	DISTANCIA EN (Km)											
	Callao	Lima	Chosica	Santa Eulalia	Callahuanca	Carampoma	Laraos	Ricardo Palma	Matucana	San Mateo	Chicla	Ticlio
Callao		22.42	56.34	63.45	78.03	107.99	111.48	61.86	96.95	115.63	126.86	152.67
Lima	22.42		33.92	41.04	55.61	85.57	89.07	39.45	74.54	93.22	104.45	130.25
Chosica	56.34	33.92		7.12	21.69	51.65	55.14	5.53	43.42	62.10	73.33	99.13
Santa Eulalia	63.45	41.04	7.12		14.58	44.54	48.03	5.09	40.18	58.86	70.09	95.90
Callahuanca	78.03	55.61	21.69	14.58		35.85	39.34	19.67	54.76	73.44	84.67	110.47
Carampoma	107.99	85.57	51.65	44.54	35.85		3.49	49.63	84.72	103.40	114.63	140.47
Laraos	111.48	89.07	55.14	48.03	39.34	3.49		53.12	88.21	106.89	118.12	143.92
Ricardo Palma	61.86	39.45	5.53	5.09	19.67	49.63	53.12		35.09	53.77	65.00	90.81
Matucana	96.95	74.54	43.42	40.18	54.76	84.72	88.21	35.09		18.68	29.91	55.72
San Mateo	115.63	93.22	62.10	58.86	73.44	103.40	106.89	53.77	18.68		11.23	37.04
Chicla	126.86	104.45	73.33	70.09	84.67	114.63	118.12	65.00	29.91	11.23		25.81
Ticlio	152.67	130.25	99.13	95.90	110.47	140.43	143.92	90.81	55.72	37.04	25.81	

Figura N° 2.4 Mapa de red vial y centros poblados ubicados en la cuenca del río Rímac



2.3 ASPECTOS SOCIO-ECONÓMICOS

El Perú es considerado un país en desarrollo, tiene una extensión territorial de 1 285 216 km², relativamente extensa para una población de 28'220,764 de habitantes (Censo 2007).

Según el censo 2007 el Perú está entre los países más poblados de Sudamérica después de Brasil. La densidad poblacional es baja: 22 habitantes por km² y mal distribuidas.

La tasa de crecimiento llega a un promedio de 1.6% anual, el 54.6% de la población vive en la costa, el 32% en la sierra y el 13.4% en la selva. La población urbana equivale al 76% y 24% a la población rural. La esperanza media de vida es de 72 años. La población analfabeta registrada llega al 7.1%.

El área irrigada se estima en 2,1 millones de hectáreas. El 85% del agua se usa en las actividades agrícolas. El recurso agua fresca está mal distribuido: en la Costa es de 1,641 m³ por habitante al año, muy cerca al límite crítico estimado que llega a los 1,000 m³ por habitante/año. En cambio en la región de la selva alcanza a los 10,000 m³ por habitante/año, la que ocupa los dos tercios de la superficie total del país.

2.3.1 Población- Demografía

Aspecto Poblacional

El área de estudio se circunscribe a la cuenca del río Rímac que se encuentra emplazada en la vertiente Occidental de la Cordillera de los Andes, entre las cumbres nevadas de Anticona, Pucacocha, Yuracocha, etc, y el litoral del Océano Pacífico, con una superficie de 3,503.95 km². Esta cuenca limita al Norte con la cuenca del río Chillón, al Sur con la cuenca de los ríos Mala y Lurín, por el Este con la cuenca del río Mantaro y por el Oeste con el Océano Pacífico.

El análisis de la población en cuanto a su estructura, composición y dinámica nos va a permitir conocer el estado actual del componente social, que se encuentra inmerso en la problemática de la cuenca, para de esta forma definir estrategias y políticas apropiadas a su realidad. En tal sentido, es necesario conocer la composición rural y urbana de sus habitantes, el grado de educación, los niveles de pobreza existentes, la población económicamente activa, tipos de actividad, entre otras. Para tal efecto el área de estudio se ha dividido en dos zonas, los distritos de la provincia de Huarochirí y los distritos de la provincia de Lima comprendidos en el área de estudio.

Para el presente estudio, se analizaron 17 distritos ubicados en la provincia de Huarochirí: Chicla, Matucana, Ricardo Palma, San Bartolomé, San Mateo, San Mateo de Otao, Santa Cruz de Cocachacra, Surco, Callahuanca, Carampoma, Huachupampa, Huanza, Laraos, San Juan de Iris, San Pedro de Casta, Santa Eulalia y San Antonio, los cuales están ubicados en la cuenca del río Rímac. Se define entonces, para fines del estudio, como provincia de Huarochirí, a los 17 distritos arriba mencionados, y provincia de Lima, a los distritos de Lurigancho, Chaclacayo y Ate Vitarte.

Otra de las razones por las cuales se analizan separadamente parte de los distritos de estas dos provincias, son las características urbanas de la población de Lima (San Juan Lurigancho, Chaclacayo y Ate Vitarte), que prácticamente forman parte del casco urbano de Lima Metropolitana. Ver Cuadro N° 2.3.

En cuanto a la estructura poblacional urbana y rural, en el Cuadro N° 2.4 se establece una comparación entre las poblaciones de la provincia de Huarochirí y Lima, las cuales se analizarán separadamente. En lo que respecta al ámbito de residencia (área urbana y rural), resalta la no existencia de población rural en la provincia de Lima, mientras que en la provincia de Huarochirí todavía se mantiene un número considerable de pobladores en el medio rural.

Cuadro N° 2.3 Población por área urbana y rural según sexo en el ámbito de estudio

Provincia	Población total	Población urbana	Población rural	Hombre	Mujeres	
Huarochirí (*)	56,011	41,126	14,885	29,737	26,274	
Lima	Ate	478,278	478,278	0	235,536	242,742
	Chaclayo	41,110	41,110	0	19,826	21,284
	San Juan de Lurigancho	898,443	898,443	0	449,532	448,911
Total	1,473,842	1,458,957	14,885	734,631	739,211	

Fuente: XI Censo Nacional de Población y VI de Vivienda 2007 INEI.

Elaboración: Propia

(*) Comprende los 17 distritos de Huarochirí tomados para el estudio.

En cuanto a la estructura de la población por sexo, no existen grandes diferencias entre las dos provincias, ya que en ambas, la población femenina y masculina se distribuye equitativamente. En el Cuadro N° 2.4 también se puede apreciar que la población de la provincia de Lima es mucho mayor que la población de la provincia de Huarochirí, debido a su mayor densidad urbana.

La cuenca media y alta del río Rímac presenta poblados con poblaciones por debajo de los 7,000 habitantes, distribuidas en la cuenca media y alta del río Rímac y en la cuenca del río Santa Eulalia. A lo largo del río Rímac, los distritos más importantes son Chicla (7,194 habitantes), Matucana (4,508 habitantes), San Mateo (5,280 habitantes), Ricardo Palma (5,769 habitantes), Santa Cruz de Cocachacra (2,302 habitantes), Surco (1,798 habitantes) y San Bartolomé (1,793 habitantes). Estos distritos varían en cuanto al porcentaje de población urbana y rural, correspondiendo a Ricardo Palma el 85.29% y a Cocachacra, menos del 24.41%. A lo largo de la cuenca del río Santa Eulalia, el distrito más poblado es Santa Eulalia (10,591 habitantes), San Pedro de Casta (1,195 habitantes) y Callahuanca (2,405 habitantes), ver Cuadros N° 2.4 y 2.5.

Cuadro N° 2.4 Población censada – Año 2007 superficie distrital y densidad de la población
Cuenca del río Rímac

Departamento	Provincia	Distrito	Población Total	Superficie del Distrito (km ²)	Densidad de la Población Hab./Km ²	
LIMA	HUAROCHIRÍ	1. Laraos	1,234	104.5	11.81	
		2. Huanza	1,856	227.0	8.18	
		3. Carampoma	1,161	234.2	4.96	
		4. Chicla	7,194	244.1	29.47	
		5. Huachupampa	1,566	66.0	20.61	
		6. San Antonio de Chaclla	4,516	563.6	8.01	
		7. San Juan de Iris	1,010	124.3	8.13	
		8. San Mateo	5,280	425.6	12.41	
		9. Matucana	4,508	179.4	25.13	
		10. San Pedro de Casta	1,195	79.9	14.96	
		11. Santa Eulalia	10,591	111.1	95.33	
		12. San Mateo de Otao	1,833	123.9	14.79	
		13. Callahuanca	2,405	57.5	41.83	
		14. Surco	1,798	102.6	17.52	
		15. San Bartolomé	1,793	43.9	40.84	
		16. Santa Cruz de Cocachacra	2,302	41.5	55.47	
		17. Ricardo Palma	5,769	34.6	166.73	
	CALLAO	1. Callao	415,888	45.7	9100.39	
		2. Carmen de la Legua	41,863	2.1	19934.76	
		3. Bellavista	75,163	4.6	16339.78	
		4. La Perla	61,698	2.8	22035.00	
		5. La Punta	4,370	18.4	237.50	
	LIMA	LIMA	1. San Juan de Lurigancho	898,443	131.3	6842.67
			2. Lurigancho	169,359	236.5	716.11
			3. San Martín de Porres	289,780	18.5	15663.78
			4. Chaclacayo	41,110	39.5	1040.76
			5. Independencia	207,647	14.6	14222.39
			6. Ate	478,278	77.7	6155.44
			7. Rímac	176,169	11.9	14804.12
			8. El Agustino	180,262	12.5	14420.96
			9. Santa Anita	184,614	10.7	17253.64
			10. Lima	299,493	22.0	13613.32
			11. Breña	81,909	3.2	25596.56
			12. La Molina	132,498	65.8	2013.65
			13. La Victoria	192,724	8.7	22152.18
			14. San Luis	54,634	3.5	15609.71
			15. San Miguel	129,107	10.7	12076.01
			16. Jesús María	66,171	4.6	14385.00
			17. Magdalena Vieja	74,164	4.4	16855.45
			18. Santiago de Surco	289,597	34.8	8321.75
			19. Lince	55,242	3.0	18414.00
			20. San Borja	105,076	10.0	10507.60
			21. Magdalena del Mar	50,764	3.6	14101.11
			22. San Isidro	58,056	11.1	5230.27
			23. Surquillo	89,283	3.5	25509.43
			24. Miraflores	85,075	9.6	8860.93
			25. San Juan de Miraflores	362,643	24.0	15110.13
26. Villa María del triunfo			378,470	70.6	5360.76	
27. Barranco			33,903	3.3	10273.64	
28. Chorillos			286,977	38.9	7377.30	
29. Villa el Salvador			381,790	35.5	10754.65	
TOTAL			6'488,221	3,771.30	1,720.42	

Fuente: Censo Poblacional año 2007 INEI

Cuadro N° 2.5 Población censada –Año 2007- Según sexo, ubicación urbana y rural
Cuenca del río Rímac

Departamento	Provincia	Distrito	Población Total	Hombres	Mujeres	Población Total	Población Urbana	Población Rural	
LIMA	HUARACHIRÍ	1. Laraos	1,234	611	623	1,234	1,208	26	
		2. Huanza	1,856	939	917	1,856	1,459	397	
		3. Carampoma	1,161	591	570	1,161	1,101	60	
		4. Chicla	7,194	4,861	2,333	7,194	4,438	2,756.0	
		5. Huachupampa	1,566	780	786	1,566	1,470	96.0	
		6. San Antonio de Chaclla	4,516	2,307	2,209	4,516	1,323	3,193.0	
		7. San Juan de Iris	1,010	535	475	1,010	998	12.0	
		8. San Mateo	5,280	2,846	2,434	5,280	4,172	1,108.0	
		9. Matucana	4,508	2,258	2,250	4,508	3,395	1,113.0	
		10. San Pedro de Casta	1,195	620	575	1,195	1,005	190.0	
		11. Santa Eulalia	10,591	5,309	5,282	10,591	9,553	1,038.0	
		12. San Mateo de Otao	1,833	942	891	1,833	114	1,719.0	
		13. Callahuanca	2,405	1,224	1,181	2,405	1,944	461.0	
		14. Surco	1,798	962	836	1,798	969	829.0	
		15. San Bartolomé	1,793	916	877	1,793	1,317	476.0	
		16. Santa Cruz de Cocachacra	2,302	1,149	1,153	2,302	1,740	562.0	
		17. Ricardo Palma	5,769	2,887	2,882	5,769	4,920	849.0	
	CALLAO	1. Callao	415,888	206,078	209,810	415,888	415,888	....
		2. Carmen de la Legua	41,863	20,553	21,310	41,863	41,863	....
		3. Bellavista	75,163	35,710	39,453	75,163	75,163	....
		4. La Perla	61,698	29,395	32,303	61,698	61,698	....
		5. La Punta	4,370	1,991	2,379	4,370	4,370	....
	LIMA	LIMA	1. San Juan de Lurigancho	898,443	449,532	448,911	898,443	898,443	....
			2. Lurigancho	169,359	84,654	84,705	169,359	169,359	....
			3. San Martín de Porres	289,780	141,455	148,325	289,780	289,780	....
			4. Chaclacayo	41,110	19,826	21,284	41,110	41,110	....
			5. Independencia	207,647	102,220	105,427	207,647	207,647	....
			6. Ate	478,278	235,536	242,742	478,278	478,278	....
			7. Rímac	176,169	86,239	89,930	176,169	176,169	....
			8. El Agustino	180,262	89,679	90,583	180,262	180,262	....
			9. Santa Anita	184,614	91,240	93,374	184,614	184,614	....
			10. Lima	299,493	145,721	153,772	299,493	299,493	....
			11. Breña	81,909	38,737	43,172	81,909	81,909	....
			12. La Molina	132,498	61,455	71,043	132,498	132,498	....
			13. La Victoria	192,724	94,743	97,981	192,724	192,724	....
			14. San Luis	54,634	26,264	28,370	54,634	54,634	....
			15. San Miguel	129,107	60,025	69,082	129,107	129,107	....
			16. Jesús María	66,171	29,806	36,365	66,171	66,171	....
			17. Magdalena Vieja	74,164	33,265	40,899	74,164	74,164	....
			18. Santiago de Surco	289,597	134,288	155,309	289,597	289,597	....
			19. Lince	55,242	25,720	29,522	55,242	55,242	....
			20. San Borja	105,076	47,756	57,320	105,076	105,076	....
			21. Magdalena del Mar	50,764	22,985	27,779	50,764	50,764	....
			22. San Isidro	58,056	25,184	32,872	58,056	58,056	....
			23. Surquillo	89,283	42,016	47,267	89,283	89,283	....
			24. Miraflores	85,075	37,823	47,242	85,075	85,075	....
			25. San Juan de Miraflores	362,643	362,643	184,312	362,643	362,643	....
			26. Villa María del Triunfo	378,470	378,470	191,559	378,470	378,470	....
			27. Barranco	33,903	33,903	18,113	33,903	33,903	....
28. Chorillos			286,977	286,977	146,201	286,977	286,977	....
29. Villa el Salvador			381,790	381,790	192,295	381,790	381,790	....
TOTAL			6'488,221	3'160,936	3'327,285	6'488,221	6'473,336	14,885.0	

Fuente: Censo Poblacional año 2007 INEI

2.3.2 Caracterización socio-económica

Actividades económicas principales y uso territorial

Uso de la tierra

La mayor parte de la superficie agropecuaria del área de estudio está conformada por superficie no agrícola; en la provincia de Lima (distritos de Ate, Chaclacayo y Lurigancho para este caso) la representación de superficie agrícola alcanza el 88.23% (15,608.08 ha), mientras que en la provincia de Huarochirí este porcentaje llega al 96.79% (204,395.69 ha).

La mayor parte de la superficie agrícola de la zona de estudio se encuentra bajo riego (2,083.03 ha en la provincia de Lima y en la provincia de Huarochirí, 6,270.81 ha), según Plan de Manejo Ambiental de la Cuenca del Río Rímac, Fuente: III Censo nacional agropecuario 1994, INEI.

En la provincia de Lima existe un mayor aprovechamiento de las tierras de labranza; así, el 85% (1537.22 ha) de ésta, se encuentra cultivada con cultivos transitorios, apenas un 10.05% (179.83 ha) se encuentra en barbecho y sólo un 4% (71.56 ha) no están trabajadas. En la provincia de Lima, es muy reducida la existencia de pastos naturales al igual que montes y bosques; la mayor parte de la superficie no agrícola (15,608.9) está clasificada como otra clase de tierra, conformada por la superficie ocupada por viviendas, instalaciones, caminos y patios de las unidades agropecuarias.

En los distritos de la provincia de Huarochirí, el aprovechamiento de la tierra es mucho menor, ya que sólo un 33.65% (1334.86 ha) de esta superficie está destinada a los cultivos transitorios. Las tierras no trabajadas representan el 26.07% (1034.39 ha) de las tierras de labranza, las tierras en descanso el 25.88% (1026.27 ha) y las tierras en barbecho el 14.39% (8570.82 ha). Los distritos con mayor superficie agrícola bajo riego según el plan de cultivo y riego para el 2009-2010 son: Ate con 533.67 ha, Surco con 1,107.31 ha y Matucana con 1,206.40 ha.

La superficie agrícola y no agrícola de la provincia de Huarochirí se descompone en: pastos naturales con el 68.46% (139,590.61 ha), montes y bosques con el 1.39% (2,833.23 ha) y toda otra clase de tierras, con el 30.15% (61,476.13 ha).

Industrial

La actividad de la pequeña empresa industrial mantiene deficiencias estructurales tanto en el conocimiento del mercado, precios y tecnología como en la capacitación de la gestión empresarial y en la comercialización de sus productos. Además, tiene escaso acceso a los créditos por su alto costo financiero y la actividad informal.

En tanto las actividades artesanales mantienen un bajo grado de desarrollo, particularmente en las áreas rural y urbano – marginal, empleando tecnologías tradicionales; carecen de capacitación y tienen limitado acceso a las fuentes de financiamiento. De otro lado, presentan dificultades para la comercialización de sus productos, cuyo sistema está

conformado por intermediarios que lucran en forma desmedida en desmedro del productor y del consumidor.

La micro y la pequeña empresa, constituyen más del 50% de las unidades productivas, de la Región, constituyéndose en un sector con enormes posibilidades de competitividad y dinamismo, por su capacidad de adaptación para atender a segmentos específicos y diferenciados del mercado, así como por su flexibilidad frente a los cambios y su capacidad de innovación tecnológica.

Minería

Chicla, es el distrito con la mayor cantidad de personas dedicadas a esta actividad, pues concentra al 51.12% (887 personas) de PEA dedicada a la actividad minera. El centro de trabajo más importante de este distrito es el consorcio minero Casapalca-Yauliyacu, al que pertenecen las minas y la planta concentradora de Casapalca. En esta zona es posible notar la gran cantidad de relaves existentes, que se han acumulado a través de décadas, debido a la explotación de productos metálicos como Cobre, Plomo, Zinc y Plata.

En San Mateo, la minería es la segunda actividad de mayor participación en la PEA después de la agricultura; existen 223 personas dedicadas a la actividad minera (13.69% de la PEA). Las minas en actividad de este distrito son San Marino y Tamboraque, pertenecientes a las empresas Compañía Minera Lizandro Proaño S. A. y Compañía Minera El Barón S.A., respectivamente.

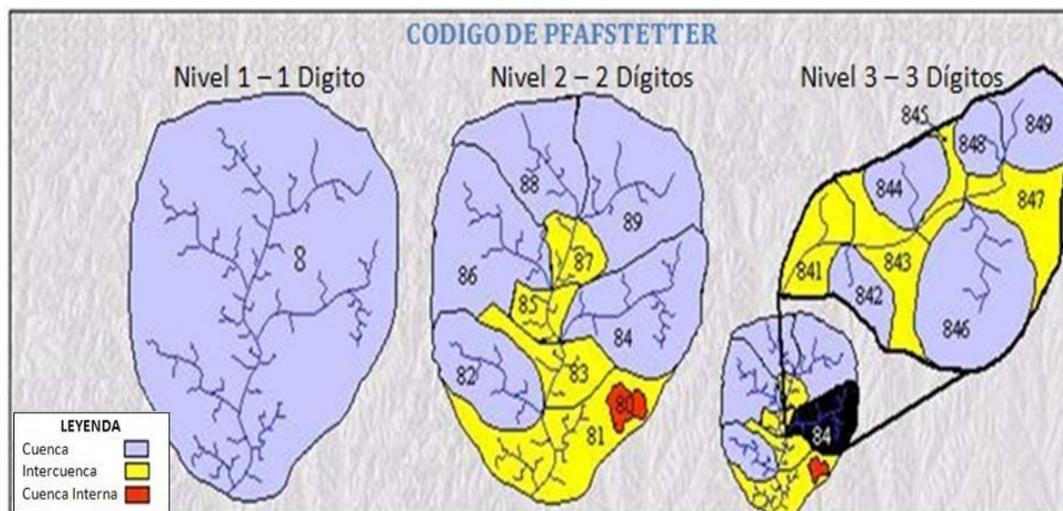
Las minas: Elenita, Milagro y Graciela se encuentran en el distrito de Santa Cruz de Cocachacra, las dos primeras pertenecen a la empresa minera Cecibar S.A., mientras que la tercera pertenece a Perubar S.A. En este distrito cerca del 8.79% de la PEA se dedica a la actividad minera.

2.4 DELIMITACIÓN HIDROGRÁFICA DE LA CUENCA – MÉTODO PFAFSTETTER

El Sistema de Codificación Pfafstetter fue desarrollado por Otto Pfafstetter en 1989, difundido a partir de 1997 por Kristine Verdin y adoptado a partir de entonces por la United State Geological Survey (USGS – Servicio Geológico de los Estados Unidos), como estándar internacional. Es una metodología para asignar Identificadores (Ids) a unidades de drenaje basado en la topología de la superficie o área del terreno.

La delimitación según el método de Otto Pfafstetter, consiste en utilizar la topología de la superficie del terreno y los puntos de confluencia de los ríos para definir una cuenca, intercuenca y cuenca interna. En la Figura N° 2.5 se visualiza la distribución espacial de una cuenca en el que no recibe drenaje de ninguna otra área, mientras la intercuenca recibe drenaje de otras unidades, aguas arriba, y finalmente la cuenca interna no contribuye con flujo de agua a otra unidad de drenaje (océano o lago).

Figura N° 2.5 Secuencia de la delimitación de cuencas según Pfafstetter

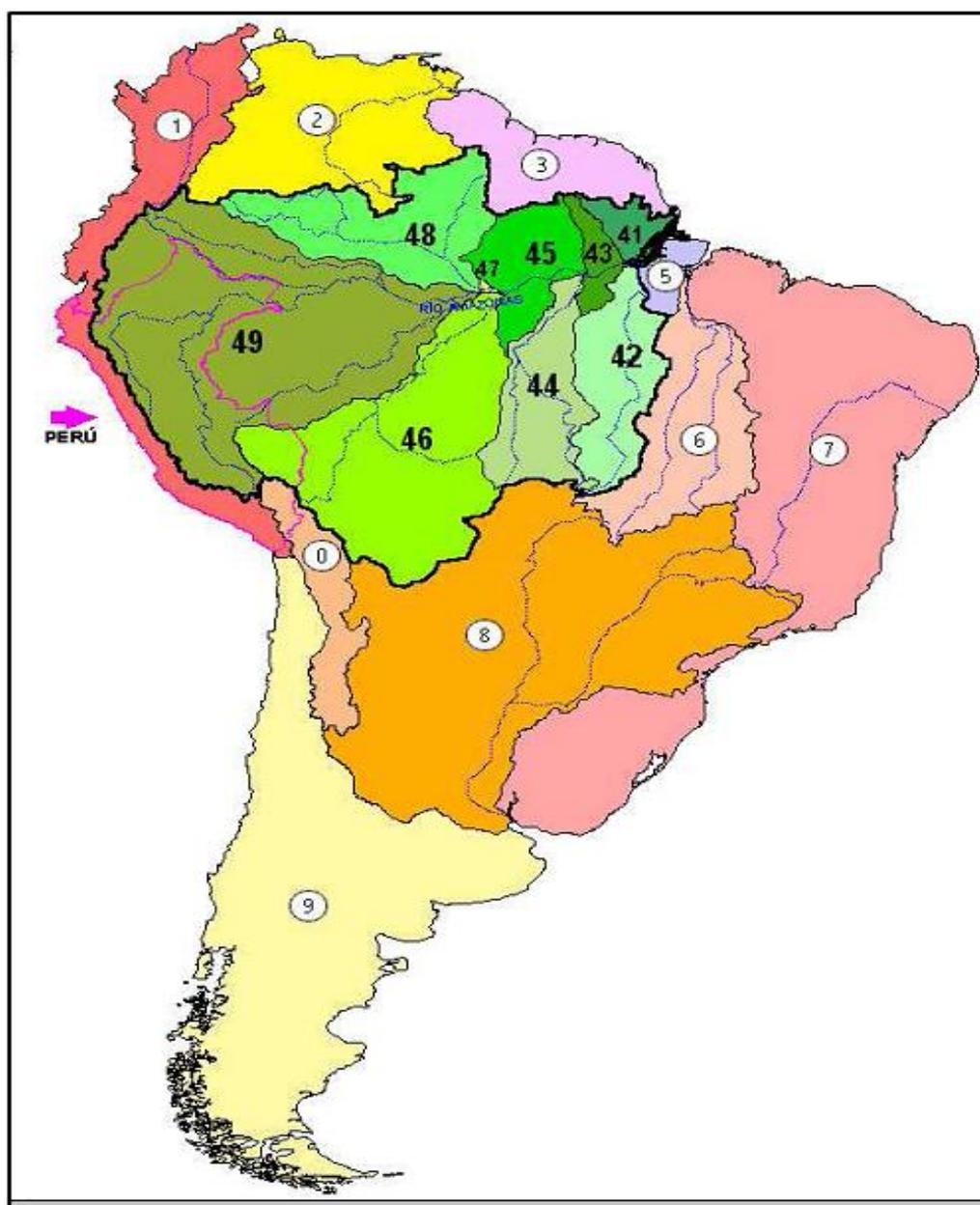


El proceso de codificación es jerárquico, pues al dividir la cuenca hidrográfica, cualquiera que sea su tamaño, se determina los cuatro mayores afluentes del río principal en términos de área de sus cuencas hidrográficas. Las cuencas correspondientes a esos tributarios son enumerados con los dígitos pares (2, 4, 6 y 8), desde la desembocadura hacia la naciente del río principal.

Los otros tributarios del río principal son agrupados en las áreas restantes, denominadas intercuenas, que reciben, en el mismo sentido, los dígitos impares (1, 3, 5, 7 y 9). Y la cuenca interna se les asigna el código "0", incorporándose a las cuencas o intercuenas aledañas.

De acuerdo a la aplicación de la metodología según Pfafstetter, para el caso de Sudamérica (Figura N° 2.6), inicia desde el nivel 1, nivel 2, nivel 3 (ríos principales) y así sucesivamente a niveles superiores. Este proceso aplicativo sirve de base para delimitar y codificar las cuencas hidrográficas del Perú, con la cartografía digital de las cartas nacionales a escala 1:100,000.

Figura N° 2.6 Delimitación y codificación de cuencas en Sudamérica según Pfafstetter



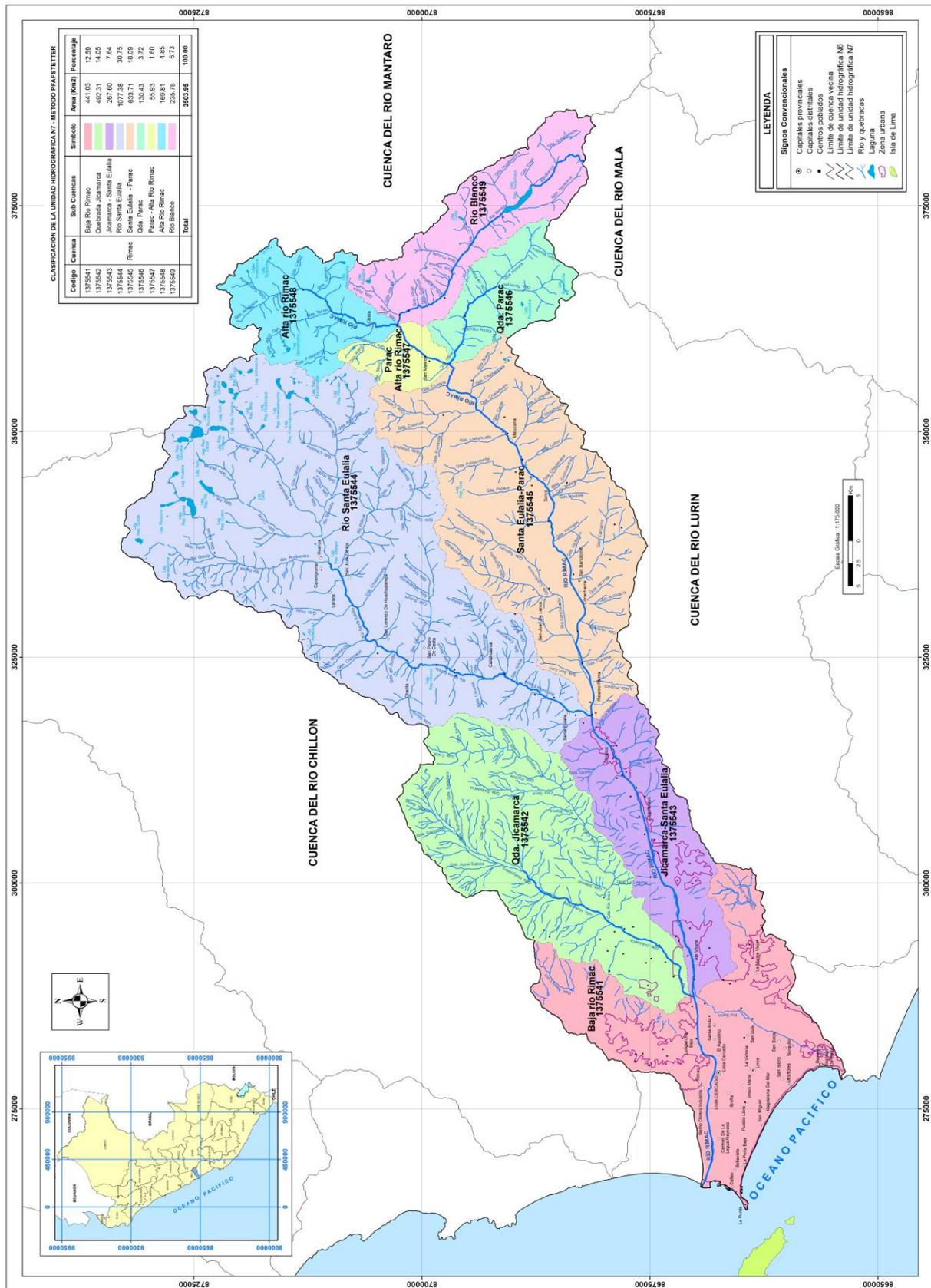
Según la delimitación y codificación Pfafstetter de unidades hidrográficas del Perú, la cuenca del río Rímac corresponde al nivel 6 (137554).

Con fines de gestión de la cuenca del río Rímac se ha subdividido en 9 unidades hidrográficas de nivel 7 (1375541, 1375542, 1375543, 1375544, 1375545, 1375546, 1375547, 1375548 y 1375549).

Esta delimitación se realizó con la finalidad de indicar con más detalle la representación en mapas a las fuentes de agua existentes en las unidades hidrográficas.

La delimitación de unidades hidrográficas de la cuenca del río Rímac se indica en la Figura N° 2.7 y en el Cuadro N° 2.6.

Figura N° 2.7 Mapa de delimitación hidrográfica método Pfafstetter – Nivel 7



Cuadro N° 2.6 Unidades hidrográficas en la cuenca del río Rímac

Unidad hidrográfica (nivel 6)	Unidad hidrográfica (nivel 7)	Código Pfafstetter	Superficie	
			(km ²)	(%)
Rímac	Bajo río Rímac	1375541	441.03	12.59
	Quebrada Jicamarca	1375542	492.31	14.05
	Jicamarca-Santa Eulalia	1375543	267.6	7.64
	Río Santa Eulalia	1375544	1077.38	30.75
	Santa Eulalia-Párac	1375545	633.71	18.09
	Quebrada Párac	1375546	130.43	3.72
	Párac-Alto río Rímac	1375547	55.93	1.60
	Alto río Rímac	1375548	169.81	4.85
	Río Blanco	1375549	235.75	6.73
Total			3503.95	100.00

FUENTE: Inventario de fuentes de aguas superficiales en la cuenca del Río Rímac.

2.4.1 Descripción general de la cuenca

El río Rímac tiene sus orígenes en los deshielos del nevado Uco, a 5100 msnm, alimentándose con las precipitaciones que caen en la parte alta de su cuenca colectora y con los deshielos de los nevados que existen en la cuenca.

La cuenca del río Rímac se encuentra ubicada geográficamente entre los meridianos 77°04'36" y 76°11'05" de longitud Oeste y los paralelos 12°05'47" y 11°36'52" de latitud Sur.

Políticamente la cuenca del río Rímac se encuentra ubicada en su mayoría en el departamento de Lima y en menor proporción en el departamento de Junín; enmarcándose en las provincias de Lima, Huarochirí y Yauli, respectivamente.

Limita por el Norte con la Cuenca del río Chillón, por el Sur con la cuenca del río Lurín y Mala, por el Este con la cuenca del río Mantaro y por el Oeste con el Océano Pacífico.

La cuenca del río Rímac abarca 3503,95 km.², es de forma rectangular alargada (Noreste a Noroeste), en ella se encuentran lagunas, manantiales, ríos y quebradas que disminuyen su caudal en los meses de julio, agosto, setiembre, octubre y noviembre.

La topografía del área de estudio es variada, encañonados en las márgenes de los ríos Santa Eulalia y Rímac (media y alta), que oscilan entre los 1000 a 3000 m; sin embargo por arriba de los 3500 msnm la topografía del terreno es ondulada y oscila entre 10 y 30% de pendiente.

El río Rímac presenta dos sub cuencas importantes, la del río Santa Eulalia y la del río San Mateo, al que también se le llama Rímac. La confluencia de ambos ríos se produce cerca de la localidad de Chosica.

Los ríos San Mateo y Santa Eulalia, hasta su confluencia, tienen una pendiente promedio de 4.94% y 6.33% respectivamente, en el curso inferior del río Rímac, desde la confluencia

de los ríos Santa Eulalia y San Mateo, cuenta con una pendiente de 1.7%. A partir de la confluencia de dichos ríos, el valle empieza a abrirse y es en ese tramo que el río ha formado su cono de deyección sobre el cual se encuentra una importante zona agrícola y la ciudad de Lima.

Subcuenca Baja río Rímac

La subcuenca del río Baja río Rímac políticamente se encuentra ubicada en el distrito de Rímac, hidrográficamente se localiza en la parte baja del río Rímac, ocupa una superficie de 441.03 km² y representa el 12.59% de área total de la cuenca del río Rímac. Cuya longitud de cauce principal es de 22.92 km.

Subcuenca Qda. Jicamarca

La subcuenca de la Quebrada Jicamarca, hidrográficamente se localiza en la parte baja del río Rímac. La subcuenca de la Qda. Jicamarca ocupa una superficie de 492.31 km², y representa el 14.05% del área total de la cuenca del río Rímac. Cuya longitud de cauce principal es de 44.15 km.

Subcuenca Jicamarca-Santa Eulalia

La subcuenca Jicamarca-Santa Eulalia políticamente se encuentra ubicada en los distritos de: Ate Vitarte, Chaclacayo y Chosica; hidrográficamente se localiza en la parte baja del río Rímac, ocupa una superficie de 267.60 km² y representa el 7.64% del área total de la cuenca del río Rímac. Cuya longitud de cauce principal es de 34.81 km.

Subcuenca Río Santa Eulalia

La subcuenca del río Santa Eulalia, políticamente se encuentra ubicada en los distritos de Santa Eulalia, Cayahuanca, San Pedro de Casta, Chicla, San Lorenzo de Huachupampa, San Juan de Iris, Laraos, Carampoma y Huanza.

Ocupa una superficie de 1077.38 km², representa el 30.75% de área total de la cuenca del río Rímac, cuya longitud de cauce principal es de 62.36 km.

Hidrográficamente es uno de los ejes principales de drenaje de la cuenca del río Rímac.

Subcuenca Santa Eulalia-Parac

La subcuenca Santa Eulalia-Parac políticamente se encuentra ubicada en los distritos de Ricardo Palma, Cocachacra, San Bartolomé, San Juan de Lanca, Surco y Matucana.

La subcuenca Santa Eulalia-Parac tiene una superficie de 633.71 km² y representa el 18.09% del área total de la cuenca, cuya longitud de cauce principal es 48.39 km, hidrográficamente se localiza en la parte media del río Rímac.

Subcuenca Qda Parac

La subcuenca Qda. Parac tiene una superficie de 130.43 km² y representa el 3.72% del área total de la cuenca, cuya longitud de cauce principal es 20.55 km, hidrográficamente se localiza en el tramo Qda. Parac-Pachachaca-Tonsuyoc.

Subcuenca Parac-Alto río Rímac

La subcuenca Parac-Alto río Rímac políticamente se encuentra ubicada en el distrito de San Mateo.

La subcuenca Parac-Alto río Rímac tiene una superficie de 55.93 km² y representa el 1.60% del área total de la cuenca, cuya longitud de cauce principal es 7.89 km, hidrográficamente se localiza en el tramo río Rímac parte alta.

Subcuenca Alto río Rímac

La subcuenca Alto río Rímac políticamente se encuentra ubicada en el distrito de Chicla, tiene una superficie de 169.81 km² y representa el 4.85% del área total de la cuenca, cuya longitud de cauce principal es 18.18 km, hidrográficamente se localiza en la parte alta del río Rímac.

Subcuenca Río Blanco

La subcuenca Río Blanco tiene una superficie de 235.75 km² y representa el 6.73% del área total de la cuenca, cuya longitud de cauce principal es 32.0 km.

2.4.2 Clasificación Ordinal de Ríos

La clasificación ordinal de ríos se muestra a continuación en el Cuadro N° 2.7 y en la Figura N° 2.8, en escala mayor en el Mapa N° 6 del Volumen III.

Cuadro N° 2.7 Clasificación ordinal de ríos – Cuenca río Rímac

N°	Cuenca/Intercuenca								
	Baja Rímac	Jicamarca	Jicamarca Santa Eulalia	Santa Eulalia	Santa Eulalia Parac	Parac	Parac Alta Rímac	Alta Rímac	Río Blanco
1	38	203	68	262	145	31	7	32	50
2	9	54	13	68	34	4	2	7	9
3	0	12	1	15	7	1	1	2	3
4	0	2	0	2	0	0	0	1	1
5	0	1	0	1	1	0	1	0	0
6	2	0	1	0	0	0	0	0	0
TOTAL	49	272	83	348	187	36	11	42	63

2.4.3 Esquema fluvial de la cuenca

Se ha elaborado el diagrama fluvial del río Rímac, en el cual se muestra algunas características de ríos y quebradas importantes de la cuenca del río Rímac.

En la Figura N° 2.9 se presenta el diagrama fluvial de la cuenca del río Rímac.

Figura N° 2.8 Mapa de clasificación de ríos de la cuenca del río Rímac

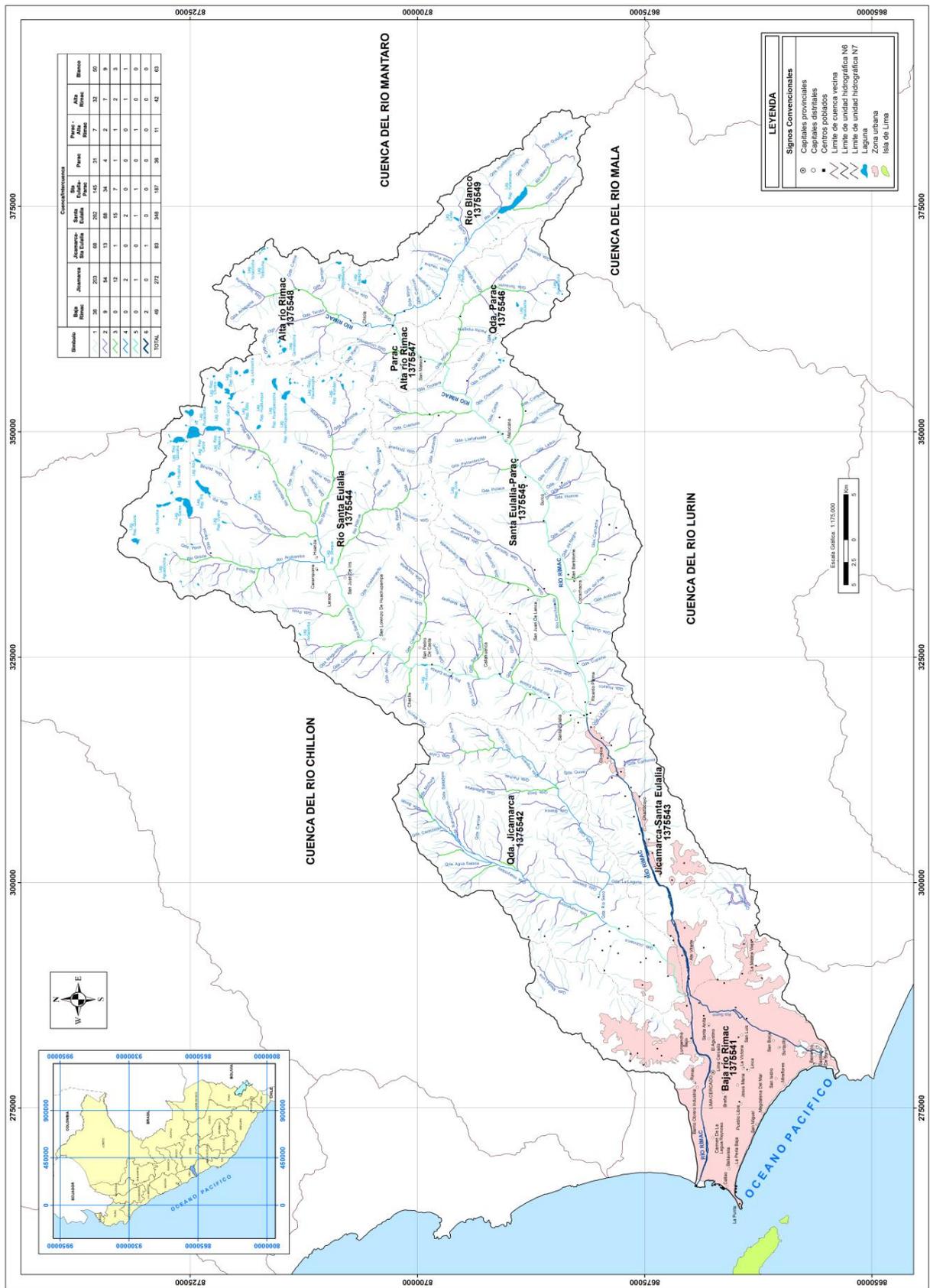
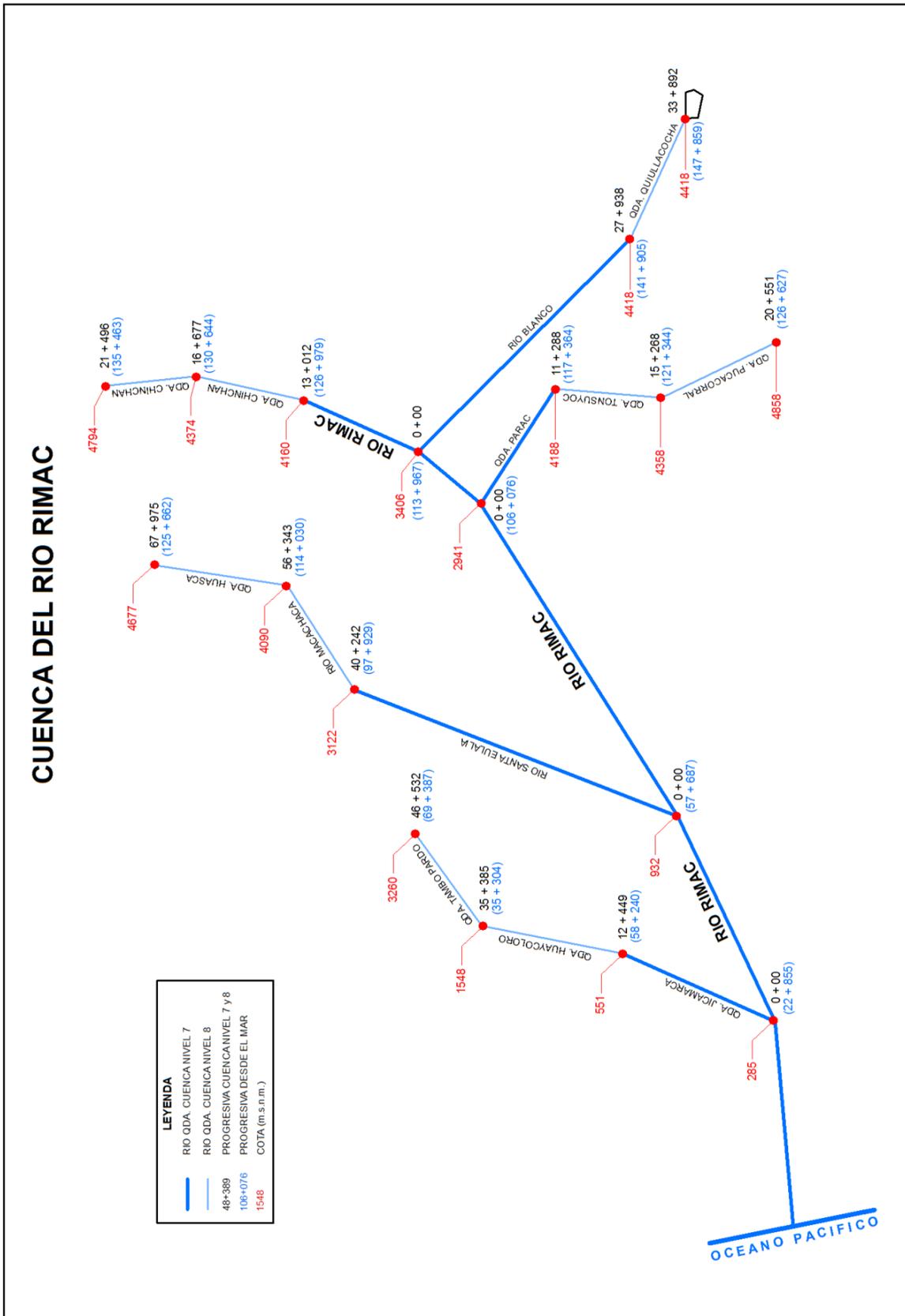


Figura N° 2.9 Esquema fluvial de la cuenca del río Rímac



Nota: El esquema hidráulico del sistema hídrico que indica las demandas de agua se encuentra en el ítem 8.4 del capítulo 8.

2.5 GEOMORFOLOGÍA

2.5.1 Generalidades

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

Morfología de la cuenca.- La morfología de una cuenca queda definida por su forma. 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.

2.5.2 Descripción geomorfológica de la cuenca

La cuenca del río Rímac tiene una superficie de 3503.95 km², de la cual el 65.7%, (2302.1 km²) corresponden a la cuenca húmeda contando a partir de los 2500 msnm; es decir, el 65.7% del área total contribuye al escurrimiento superficial.

El río Rímac se forma por la confluencia de los ríos Santa Eulalia y San Mateo (que también se llama Rímac); esta confluencia se forma cerca de la localidad de Chosica.

El perímetro de las cuenca del río Rímac es 419.5 km, San Mateo y Santa Eulalia, es de 240 y 181 km, respectivamente.

La cuenca de recepción de las estaciones de aforo: Sheque (R. Santa Eulalia), Tamboraque (R. San Mateo), Chosica (R. Rímac), es de 547 km², 592 km² y 2320 km², respectivamente.

A continuación, se muestran las relaciones entre la forma de la cuenca, la densidad y la torrencialidad del drenaje y las pendientes, así como las consecuencias morfo dinámicas que estas traen consigo.

El índice de compacidad de las cuencas de los ríos Rímac (total), San Mateo y Santa Eulalia, es de 2.00, 1.50 y 1.56, respectivamente; lo que indica que la cuenca del río Rímac es alargada, la de San Mateo mucho menos alargada, y la de Santa Eulalia menos alargada.

El factor de forma de las cuencas de los ríos Rímac (total), San Mateo y Santa Eulalia, es de 0.22, 0.27 y 0.28, respectivamente.

La altura media de las cuencas de los ríos Rímac (total), San Mateo y Santa Eulalia, es de 3.150, 2.897 y 3.030 msnm, respectivamente.

El grado de ramificación de las cuencas de los ríos Rímac (total), San Mateo y Santa Eulalia, es de 6, 5 y 5, respectivamente.

2.5.3 Caracterización geomorfológica de la cuenca

2.5.3.1 Parámetros de forma de la cuenca

El contorno de la cuenca define la forma y superficie de ésta, lo cual posee incidencia en la respuesta, en el tiempo que poseerá dicha unidad, en lo que respecta al caudal evacuado. Así, una cuenca alargada tendrá un diferente tiempo de concentración que una circular, al igual que el escurrimiento manifestará condiciones disímiles. Por ejemplo, en una cuenca circular, el agua recorre cauces secundarios antes de llegar a uno principal; en una cuenca alargada se presenta en general un solo cauce que es el principal y por ende, el tiempo de concentración será menor que el anterior caso.

Los principales factores de forma son:

- A. Área de la cuenca (A).
- B. Perímetro de la cuenca (P).
- C. Longitud del río principal (L).
- D. Ancho promedio de la cuenca (A_p).
- E. Coeficiente de compacidad o índice de Gravelius (K_c).
- F. Factor de forma (Ff).
- G. Rectángulo equivalente (RE).
- H. Radio de circularidad (R_c)

A.- Área de la cuenca (A)

Es la superficie de la cuenca comprendida dentro de la curva cerrada de divortium acuarium.

La magnitud del área se ha obtenido con el uso del programa ARC GIS 9.3 mediante la base de datos del Inventario de fuentes de agua superficial, usando la delimitación del área de la cuenca por Otto Pfafstetter (1989).

Dependiendo de la ubicación de la cuenca, su tamaño influye en mayor o menor grado en el aporte de esorrentía, tanto directa como de flujo de base o flujo sostenido. El área de la cuenca del río Rímac es 3,503.9 km² y las aéreas de las subcuencas (nivel 7) se muestran en el Cuadro N° 2.9.

B.- Perímetro de la cuenca (P)

Es la longitud de la línea de divortium acuarium es de 419.5 km.

El perímetro de la cuenca del río Rímac es de 419.5 km, igualmente en las subunidades hidrográficas (nivel 7) Baja río Rímac 156.24 km, quebrada Jicamarca 113.25 km, Jicamarca Santa Eulalia 92.48 km, río Santa Eulalia 181.24 km, Santa Eulalia-Parac

133.63, quebrada Parac 56.05 km, Parac-Alta río Rímac 34.36 km, Alta río Rímac 72.32 km, río Blanco 90.23 km. Ver Cuadro N° 2.9.

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 Rímac es de 127.02 km, y en las subunidades hidrográficas (nivel 7) es la siguiente: Baja río Rímac 22.92 km, quebrada Jicamarca 44.15 km, Jicamarca-Santa Eulalia 34.81 km, Río Santa Eulalia 62.36 km, Santa Eulalia-Parac 48.39 km, Quebrada Parac 20.55 km, Parac-Alta Río Rímac 7.89 km, Alta Río Rímac 13.01 km, Río Blanco 32.07 km. Ver Cuadro N° 2.9.

D.- Ancho promedio de la cuenca (Ap)

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

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

Donde:

- AP = Ancho promedio de la cuenca (km).
 A = Área de la cuenca (km²).
 L = Longitud del cauce principal (km).

El ancho promedio de la cuenca del río Rímac es 27.58 km.

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

Parámetro a dimensional 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 del sistema hidrológico.

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

$$Kc = 0.282 \left[\frac{P}{\sqrt{A}} \right]$$

Donde:

- P = perímetro de la cuenca (km).
 A = área de la cuenca (km²).

De la expresión se desprende que Kc siempre es mayor o igual a 1, y se incrementa con la irregularidad de la forma de la cuenca. Este factor a dimensional 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 Rímac es de 2.00, indica que la cuenca es de forma alargada debiendo estar menos expuesta a las crecientes que una cuenca de forma redondeada. Igualmente en las subunidades hidrográficas (nivel 7): es la siguiente: Baja río Rímac 2.10, quebrada Jicamarca 1.44, Jicamarca-Santa Eulalia 1.59, río Santa Eulalia 1.56, Santa Eulalia-Parac 1.50, quebrada Parac 1.38, Parac-Alta río Rímac 1.30, Alta río Rímac 1.57, río Blanco 1.66. Ver cuadro N° 2.9.

Los valores del coeficiente de compacidad de 1.30 - 1.44, están más cercanos a la unidad, lo que indica que la cuenca es de forma circular debiendo estar más expuesta a las crecientes que una cuenca de forma alargada. Similarmente las subcuencas con coeficientes de compacidad de 1.50 - 1.66, están más cercanos a 2, indica que las subcuencas es de forma irregular debiendo estar moderadamente expuesta a las crecientes.

F.- Factor de Forma (Ff)

Definido como el cociente entre la superficie de la cuenca y el cuadrado de su longitud máxima, medida desde la salida hasta el límite de la cuenca, cerca de la cabecera del cauce principal a lo largo de una línea recta.

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

Donde: A = Área de la cuenca (km²).
 L = Longitud de cauce principal de la cuenca (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 Rímac es de 0.22, lo cual explica que la cuenca es de forma alargada, y estaría menos sujeta a crecientes continuas. Sin embargo en las subunidades hidrográficas (nivel 7) varía de 0.22 – 1.00, igualmente las subcuencas estarían más expuesta a crecientes continuas. Los valores respectivos se muestran en el Cuadro N° 2.9.

G.- Rectángulo equivalente (RE)

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:

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

Donde:

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

La longitud mayor y menor de la cuenca del río Rímac: 193.10 km y 18.15 km. Para las subunidades hidrográficas se muestran en el Cuadro N° 2.9.

H.- Radio de circularidad (Rc)

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 = Área de la cuenca (km²).

El Radio de circularidad de la cuenca del río Rímac es de 0.25. Los valores del Radio de Circularidad de la cuenca del río Rímac y subcuencas denotan que las formas son alargadas, ya que todos los valores están por debajo de 0.785. Ver el Cuadro N° 2.9.

2.5.3.2 Parámetros de relieve de la cuenca

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

Los parámetros de relieve tienen mayor influencia sobre la respuesta hidrológica de la cuenca. Las relaciones área – elevación han sido determinadas por las curvas y alturas características de la cuenca y subcuencas del río Rímac.

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

- A. Curva hipsométrica.
- B. Polígono de frecuencias.
- C. Altitud media de la cuenca (Hm).
- D. Altitud de frecuencia media.
- E. Altitud más frecuente.

- F. Pendiente media de la cuenca.
- G. Índice de pendiente de la cuenca (I_p).
- H. Coeficiente de masividad (C_m).
- I. Coeficiente orográfico (C_o).
- J. Coeficiente de torrencialidad (C_t).
- K. Perfil altimétrico del cauce principal y su pendiente promedio.

A.- Curva hipsométrica

Es utilizada para representar gráficamente cotas de terreno en función de las superficies que encierran. Para su trazado se debe tener en cuenta que sobre la sección de control (altitud mínima de la cuenca), se tiene el cien por ciento de su superficie.

Si se ubica en el punto más alto de la cuenca y se calcula a partir de cada curva de nivel, las áreas acumuladas por encima de ellas, se puede construir la curva hipsométrica (Martínez et al, 1996). En general, tanto las alturas como las superficies son definidas en términos porcentuales.

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

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

Las curvas hipsométricas también son asociadas con las edades de los ríos de las Respectivas cuencas. Las curvas hipsométricas para la cuenca del río Rímac y las subunidades hidrográficas (nivel 7) se muestran en la Figura N° 2.10.

B.- Polígonos de frecuencia

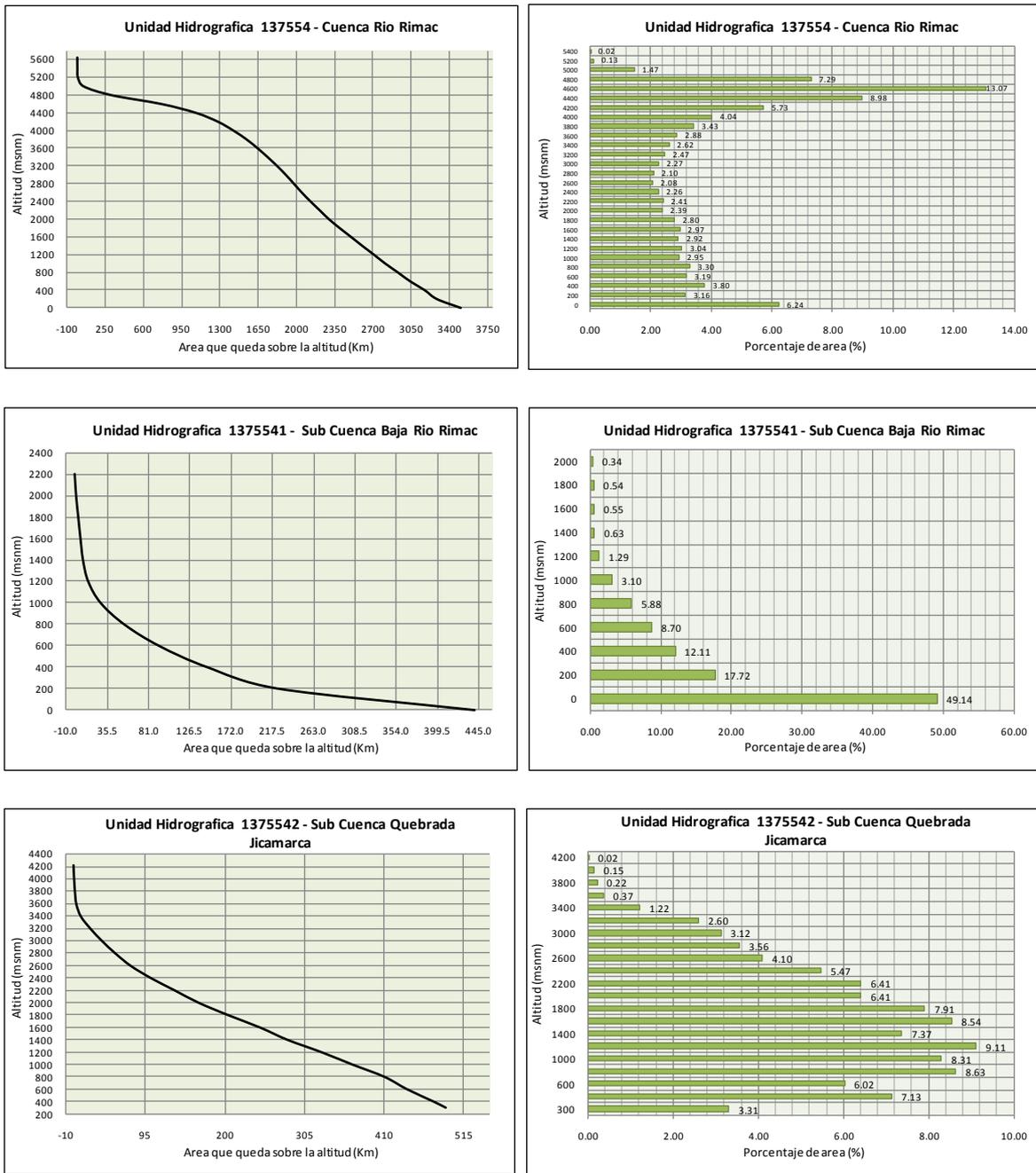
Se denomina así a la representación gráfica de la relación existente entre altitud y la Relación porcentual del área a esa altitud con respecto al área total.

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

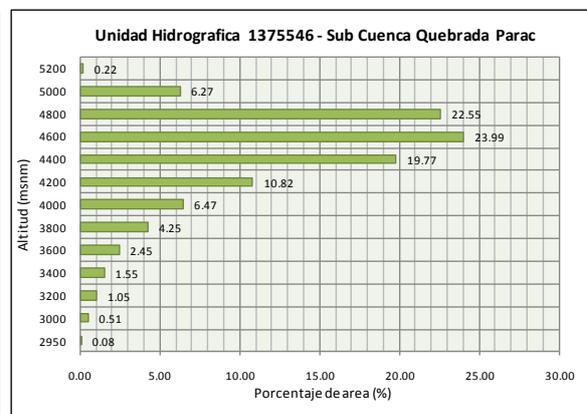
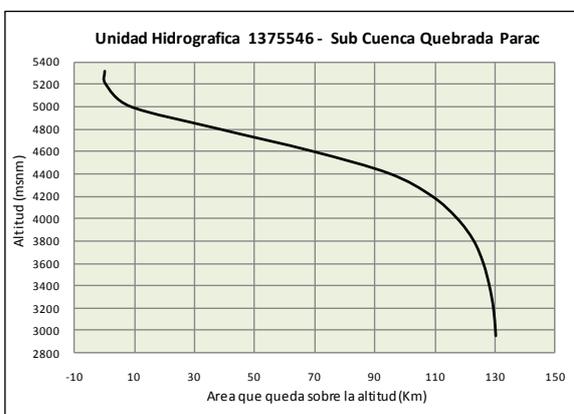
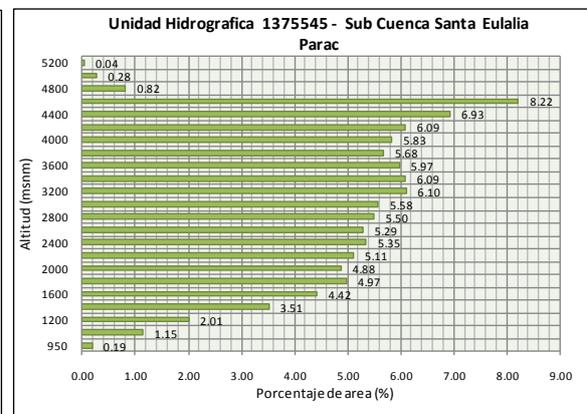
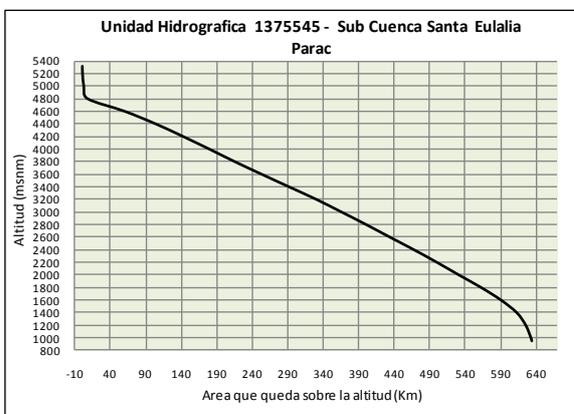
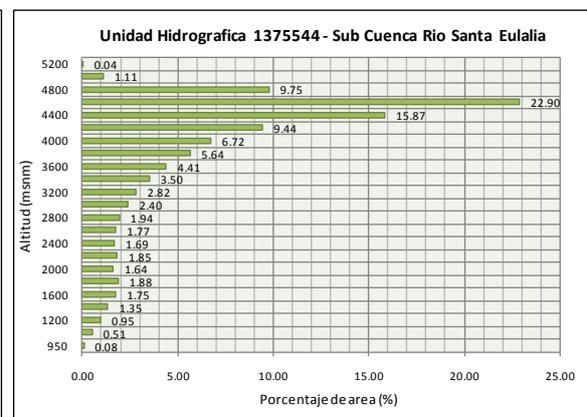
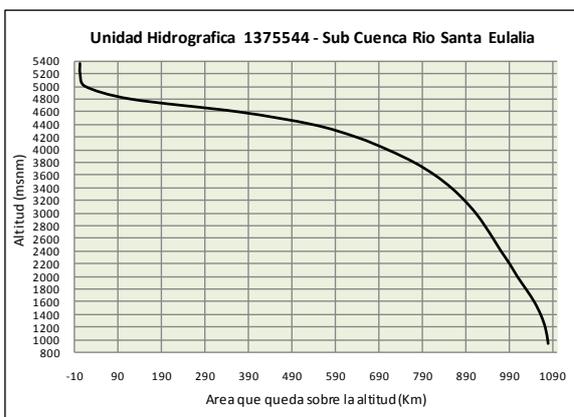
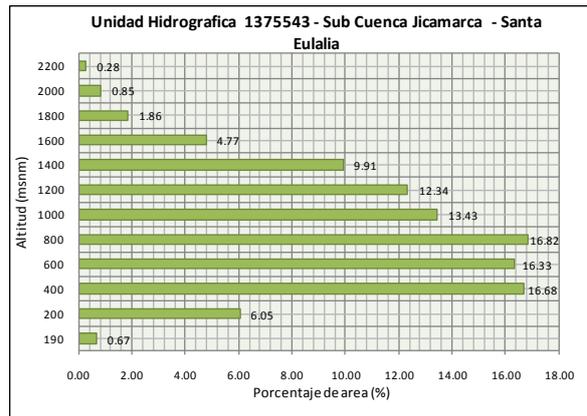
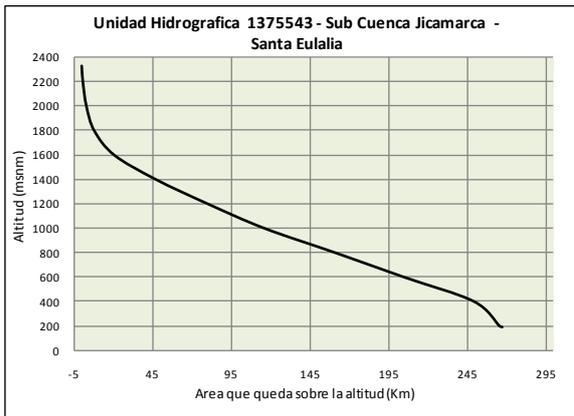
La distribución gráfica del porcentaje de superficies ocupadas por diferentes rangos de altitud para la cuenca y subcuencas del río Rímac, se distingue en las Figuras N° 2.10.

La subcuenca Río Santa Eulalia (30.75%) es la que concentra mayor porcentaje de área en la altitud 4,008.98 msnm. La cuenca del río Rímac presenta una tendencia de concentración de superficie en la parte baja de la cuenca (12.59%) a partir de la altitud media de la cuenca (363.75 msnm). La mayor altitud se concentra en la parte alta de la cuenca, tomando la altitud media como punto de referencia.

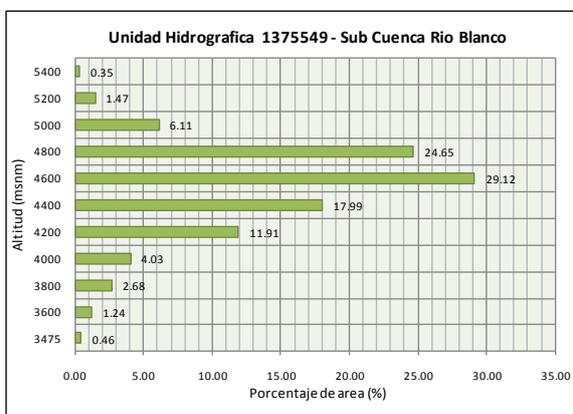
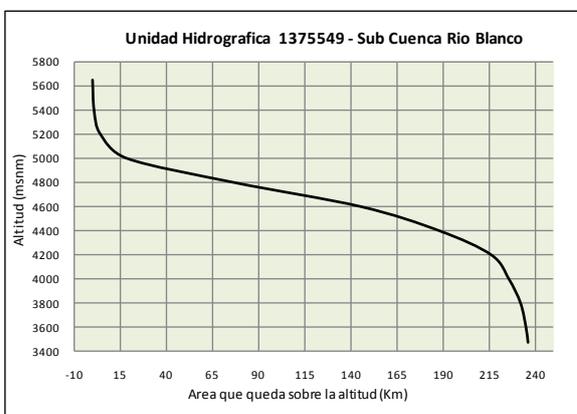
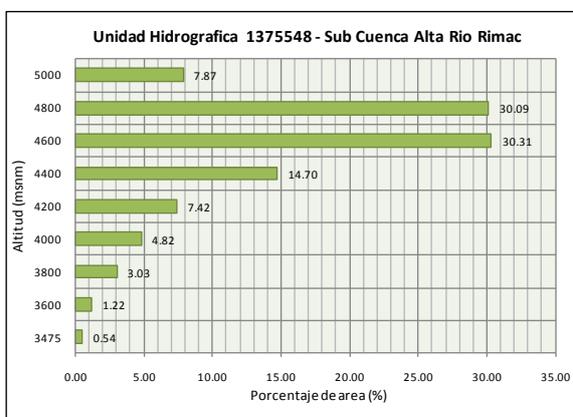
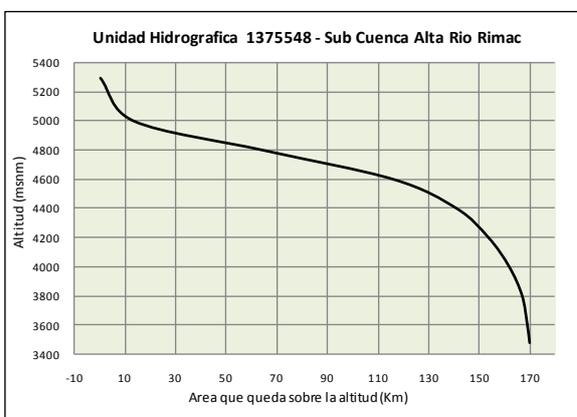
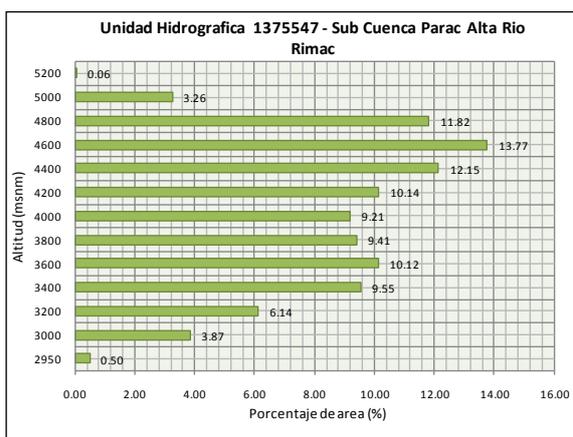
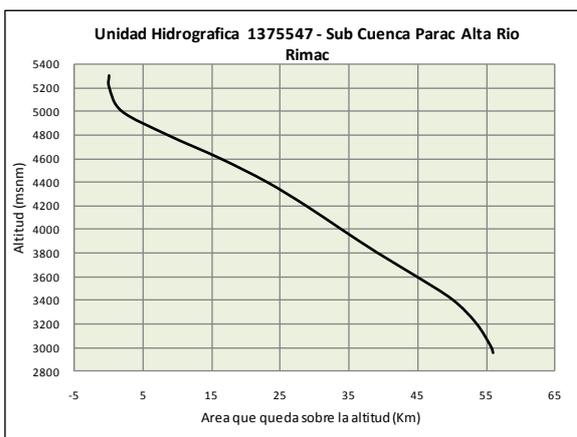
Figura N° 2.10 Curva hipsométrica y polígonos de frecuencia Cuenca y subcuencas (nivel 7) del río Rímac



Continuación



Continuación



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).
 Ci = Cota media del área i, delimitada por 2 curvas de nivel (msnm).
 ai = Área i entre curvas de nivel (km²).
 A = Área total de la cuenca (km²).

La altitud media de la cuenca del río Rímac es de 2939.87 msnm, para las subunidades hidrográficas (nivel 7) varían de 363.75 - 4664.79 msnm. Ver el Cuadro N° 2.9.

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 Rímac es de 3372.41 msnm y el área por encima de esta cota es 1751.98 km², que representa el 50% del total de la superficie de la cuenca. Para las subunidades hidrográficas (nivel 7) se muestran en el Cuadro N° 2.9.

E.- Altitud más frecuente

Es la altitud predominante con mayor porcentaje de área de la cuenca. En la Figura N° 2.10 A) curva hipsométrica y B) polígonos de frecuencia, para la cuenca del río Rímac la altitud predominante se encuentra entre el intervalo de las cotas de 4400 a 5000 msnm, es donde se tiene mayor porcentaje de área de la cuenca del río Rímac. Para las subunidades hidrográficas (nivel 7) se muestran en el Cuadro N° 2.9.

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:

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

La cuenca del río Rímac tiene una pendiente media de 0.0293 m/m. Para las subunidades hidrográficas (nivel 7) varían de 0.0303 a 0.1810 m/m. Ver el Cuadro N° 2.9.

G.- 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 Rímac es de 0.0004, y de las subcuencas de nivel 7, varían de 0.0015 – 0.0291, respectivamente. Ver el Cuadro N° 2.9.

H.- 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:

Cm = Coeficiente de masividad de la cuenca.
E = Extensión media del escurrimiento superficial (km).

El coeficiente orográfico para la cuenca del río Rímac es de 0.0007, y de las subcuencas varían de 0.0018 a 0.0474, respectivamente. Ver el Cuadro N° 2.9.

I.- 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° R₁ = Número de ríos de primer orden.
A = Área de la cuenca (km²).

La cuenca del río Rímac, tiene un coeficiente de torrencialidad de 0.03, y de las subcuencas de nivel 7, varían de 0.03 a 0.13, respectivamente. Ver el Cuadro N° 2.9.

2.5.3.3 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:

- A. Tipo de corriente.
- B. Número de orden de los ríos.
- C. Frecuencia de densidad de ríos (Fr).
- D. Densidad de drenaje (Dd).
- E. Extensión media del escurrimiento superficial (E).
- F. Pendiente media del río principal (Sm).
- G. Altura media del río principal (Hmed).
- H. 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 Rímac 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 sus 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 Rímac es de orden 6, y las subcuencas varían de 3 - 6, respectivamente. Ver el Cuadro N° 2.9.

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:

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

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 Rímac es de 0.06 ríos/km², y en las subunidades hidrográficas nivel 7, varían de 0.06 a 0.18 ríos/km², respectivamente. Ver el Cuadro N° 2.9.

D.- Densidad de Drenaje

Corresponde al cociente entre la sumatoria del largo total de los cursos de agua, de una unidad hidrográfica, y la superficie de la misma. Representa la cantidad de kilómetros de curso que existe por cada unidad de superficie.

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

Donde:

Dd = Densidad de drenaje (km/km²).
 LT = 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 Sigüientes:

- 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 Rímac 0,66 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 Rímac tendría drenaje regular y moderadamente propenso a las crecientes. Para las subunidades hidrográficas (nivel 7) varían de 0.33 a 1.06 km/km², el comportamiento de las subcuencas frente a las crecientes es similar que el caso del río Rímac, generalmente. Ver los Cuadros N° 2.9.

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 Rímac, la extensión media del escurrimiento superficial es de 1.51 km²/km, y de las subcuencas (nivel 7) varían de 0.94 a 3.00 km²/km, respectivamente. Los valores se muestran en el Cuadro N° 2.9.

F.- Pendiente media del río principal (Sm)

La velocidad de la escorrentía superficial de los cursos de agua depende de la pendiente de sus cauces fluviales; así a mayor pendiente habrá mayor velocidad de escurrimiento.

La pendiente media del río es un parámetro empleado para determinar la declividad de una corriente de agua entre dos puntos extremos.

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

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

Donde:

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).

La pendiente media del río Rímac es de 0.0445 m/m, y en los ríos de las subcuencas varían de 0.0615 a 0.2982 m/m, respectivamente. Los valores se muestran en el Cuadro N° 2.9.

G.- Altura media del río principal (Hm)

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

$$H = \frac{H_{max} + H_{min}}{2}$$

Donde:

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

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

La altura media del cauce principal del río Rímac es de 2,825 msnm, y de las subcuencas (nivel 7) varían de 1100 a 4562.50 msnm, respectivamente. Ver los Cuadros N° 2.9.

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: el 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 Rímac es de 9.17 horas, y en las subcuencas (nivel 7) varían de 0.52 – 4.43 horas, respectivamente.

En el Cuadro N° 2.9 se muestran el resumen de parámetros geomorfológicos de la cuenca del río Rímac y de las subcuencas.

2.5.3.4 Sistema hidrográfico

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

La cuenca del río Rímac con una área de 3,503.95 km² es la primera en importancia ya que provee de agua para consumo humano a la mayor parte de la población de la provincia de Lima y Callao con una población urbana actual de 6'488,221 habitantes, compuesta por la población de 17 distritos de la provincia de Huarochirí (56,011 habitantes), 05 distritos de la provincia Constitucional del Callao (598,982 habitantes) y 29 distritos de la provincia de Lima (5'833,228 habitantes) y además porque provee de agua para riego, energía, industria y otros usos.

Cuadro N° 2.8 Subunidades hidrográficas (subcuencas) - Cuenca del río Rímac

a)

N°	Código Pfafstetter	Nivel	Unidad hidrográfica		Río principal y/o Quebrada	Perímetro (km)	Superficie		Longitud río principal (km)	Pendiente río principal (%)	N° de orden del río
							(km²)	(%)			
1	1375541	7	Subcuenca	Baja río Rímac	Tramo río Rímac (parte baja)	156.24	441.03	12.59	22.92	0.02	6
2	1375542	7	Subcuenca	Qda. Jicamarca	Qda. Jicamarca - Qda. Huaycoloro	113.25	492.31	14.05	44.15	2.07	5
3	1375543	7	Subcuenca	Jicamarca - Santa Eulalia	Tramo río Rímac (parte baja)	92.48	267.60	7.64	34.81	0.02	6
4	1375544	7	Subcuenca	Río Santa Eulalia	Río Santa Eulalia - Río Macachaca - Río Pillca	181.24	1077.38	30.75	62.36	0.50	5
5	1375545	7	Subcuenca	Santa Eulalia - Parac	Tramo río Rímac (parte media)	133.63	633.71	18.09	48.39	0.08	5
6	1375546	7	Subcuenca	Qda. Parac	Qda. Parac - Qda. Pachachaca - Qda. Tonsuyoc - Qda. Pucacorrall	56.05	130.43	3.72	20.55	1.27	3
7	1375547	7	Subcuenca	Parac - Alta río Rímac	Tramo río Rímac (parte alta)	34.36	55.93	1.60	7.89	0.03	5
8	1375548	7	Subcuenca	Alta río Rímac	Tramo río Rímac (parte alta)	72.32	169.81	4.85	13.01	1.69	4
9	1375549	7	Subcuenca	Río Blanco	Río Blanco	90.23	235.75	6.73	32.07	1.99	4
	137554	6	Cuenca	Rímac	Río Rímac	419.50	3503.95	100.00	127.02	0.70	6

b)

CUENCA DEL RIO RÍMAC NIVEL 7										
Nombre UH 01	Nombre UH 02	Nombre UH 03	Nombre UH 04	Nombre UH 05	Nombre UH 06	Código Nivel 07	Nombre Subcuenca	Perímetro (Km)	Area (Km2)	Porcentaje (%)
Región Hidrográfica del Pacífico	Unidad Hidrográfica 13	Unidad Hidrográfica 137	Unidad Hidrográfica 1375	Unidad Hidrográfica 13755	Cuenca Rímac 137554	1375541	Baja río Rímac	156.24	441.03	12.59
						1375542	Qda. Jicamarca	113.25	492.31	14.05
						1375543	Jicamarca - Santa Eulalia	92.48	267.60	7.64
						1375544	Río Santa Eulalia	181.24	1077.38	30.75
						1375545	Santa Eulalia - Parac	133.63	633.71	18.09
						1375546	Qda. Parac	56.05	130.43	3.72
						1375547	Parac - Alta río Rímac	34.36	55.93	1.60
						1375548	Alta río Rímac	72.32	169.81	4.85
						1375549	Río Blanco	90.23	235.75	6.73
						Total		3503.95	100.00	

Cuadro N° 2.9 Parámetros geomorfológicos de la cuenca del río Rímac

PARAMETROS	UNIDAD DE MEDIDA	CUENCA		SUBCUENCAS								
		Rímac	Baja río Rímac	Quebrada Jicamarca	Jicamarca-Santa Eulalia	Río Santa Eulalia	Santa Eulalia-Parac	Quebrada Parac	Parac-Alta Río Rímac	Alta Río Rímac	Río Blanco	
		Río Principal										
		Río Rímac	Tramo río Rímac (parte baja)	Oda. Jicamarca - Oda. Huaycoloro	Tramo río Rímac (parte baja)	Río Santa Eulalia - Río Macnehuaca - Río Pillán	Tramo río Rímac (parte media)	Oda. Parac - Oda. Pachahuaca - Oda. Tonsuyoc - Oda. Pucanorral	Tramo río Rímac (parte alta)	Tramo río Rímac (parte alta)	Río Blanco	
Codigo Pfafstetter	137554	1375541	1375542	1375543	1375544	1375545	1375546	1375547	1375548	1375549		
Área total de la Cuenca	km ²	3503.95	441.03	492.31	267.60	1077.38	633.71	130.43	55.93	169.81	235.75	
Perímetro de la cuenca	km	419.50	156.24	113.25	92.48	181.24	133.63	56.05	34.36	72.32	90.23	
Longitud del río principal	km	127.02	22.92	44.15	34.81	62.36	48.39	20.55	7.89	13.01	32.07	
Longitud total de los ríos de diferente grado	Orden 1	km	1312.59	82.51	310.77	93.46	353.66	256.93	46.84	19.49	60.14	88.79
	Orden 2	km	517.45	24.00	112.59	28.55	176.30	106.19	17.00	4.19	20.07	28.56
	Orden 3	km	207.59	0.00	30.50	2.17	95.51	37.18	15.27	2.78	11.51	12.68
	Orden 4	km	94.27	0.00	53.96	0.00	12.44	0.00	0.00	0.00	7.07	20.79
	Orden 5	km	110.37	0.00	13.59	0.00	40.49	48.39	0.00	7.89	0.00	0.00
	Orden 6	km	76.98	40.35	0.00	36.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Long. Total	km	2319.26	146.86	521.41	160.82	678.41	448.69	79.10	34.35	98.79	150.83
Ancho promedio de la cuenca	km	27.58	19.24	11.15	7.69	17.28	13.10	6.35	7.09	13.05	7.35	
Coefficiente de compacidad	-	2.00	2.10	1.44	1.59	1.56	1.50	1.38	1.30	1.57	1.66	
Factor de forma	-	0.22	0.84	0.25	0.22	0.28	0.27	0.31	0.90	1.00	0.23	
Rectángulo equivalente	Lado mayor	Km	193.10	72.60	46.43	39.86	77.34	55.97	22.40	13.00	30.93	39.46
	Lado menor	Km	18.15	6.07	10.60	6.71	13.93	11.32	5.82	4.30	5.49	5.97
Radio de Circularidad	Km	0.25	0.23	0.48	0.39	0.41	0.45	0.52	0.60	0.41	0.36	
Curva hipsométrica	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Polígonos de frecuencia de altitudes	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Altitud media de la cuenca	msnm	2939.87	363.75	1670.36	966.04	4008.98	3204.06	4548.35	4169.34	4664.79	4638.37	
Altitud de frecuencia media	msnm	3372.41	209.71	1602.47	922.01	4393.01	3266.92	4625.35	4223.68	4720.59	4680.28	
Área por encima de frecuencia media	km ²	1751.98	220.52	246.16	133.80	538.69	316.86	65.22	27.97	84.91	117.88	
Altitud más frecuente	msnm	4400 - 5000	0 - 200	800 - 2000	400 - 1000	4600 - 4800	4400 - 4800	4400 - 5000	4400 - 5000	4600 - 5000	4600 - 5000	
Pendiente media de la cuenca	Altitud máxima	msnm	5650.00	2200.00	4230.00	2332.00	5362.00	5315.00	5315.00	5303.00	5297.00	5650.00
	Altitud mínima	msnm	0.00	0.00	300.00	190.00	950.00	950.00	2950.00	2950.00	3475.00	3475.00
	Pendiente media	m/m	0.0293	0.0303	0.0847	0.0537	0.0570	0.0780	0.1056	0.1810	0.0589	0.0551
Coefficiente de masividad	-	0.0004	0.0068	0.0019	0.0062	0.0015	0.0022	0.0126	0.0291	0.0101	0.0066	
Coefficiente orográfico	-	0.0007	0.0204	0.0018	0.0103	0.0025	0.0031	0.0208	0.0474	0.0174	0.0104	
Coefficiente de torrencialidad	-	0.03	0.00	0.00	0.00	0.04	0.03	0.13	0.04	0.08	0.11	
Tipo de corriente	-	Perenne	Perenne	Perenne	Perenne	Perenne	Perenne	Perenne	Perenne	Perenne	Perenne	
Número de orden de los ríos	Orden 1	-	120	0	0	0	44	19	17	2	13	25
	Orden 2	-	59	0	0	0	21	15	4	1	8	10
	Orden 3	-	19	0	0	0	9	4	2	1	2	1
	Orden 4	-	4	0	0	0	1	1	0	0	1	1
	Orden 5	-	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	Orden 6	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Nº Total de ríos	-	203	0	0	0	76	39	23	4	24	37
Grado de ramificación	-	6	6	5	6	5	5	3	5	4	4	
Frecuencia de densidad de los ríos	ríos/km ²	0.06	0.00	0.00	0.00	0.07	0.06	0.18	0.07	0.14	0.16	
Densidad de drenaje	km/km ²	0.66	0.33	1.06	0.60	0.63	0.71	0.61	0.61	0.58	0.64	
Extensión media del escurrimiento superficial	km ² /km	1.51	3.00	0.94	1.66	1.59	1.41	1.65	1.63	1.72	1.56	
Cotas del cauce principal	Altitud máxima	msnm	5650.00	2200.00	4230.00	2332.00	5362.00	5315.00	5315.00	5303.00	5297.00	5650.00
	Altitud mínima	msnm	0.00	0.00	300.00	190.00	950.00	950.00	2950.00	2950.00	3475.00	3475.00
Pendiente media del río principal	m/m	0.0445	0.0960	0.0890	0.0615	0.0708	0.0902	0.1151	0.2982	0.1400	0.0678	
Altura media del río principal	msnm	2825.00	1100.00	2265.00	1261.00	3156.00	3132.50	4132.50	4126.50	4386.00	4362.50	
Tiempo de concentración	horas	9.17	1.82	3.11	2.99	4.45	3.32	1.56	0.52	1.02	2.70	

Fuente: Elaboración propia.

2.6 ECOLOGÍA

La cuenca del río Rímac se encuentra dentro de las siguientes características ecológicas:

Bosque Húmedo Montano Tropical (bh-MT).

Va desde 3000 a 4000 msnm y se caracteriza porque son los lugares donde predominantemente se cultivan papas, habas, trigo, olluco, oca, cebada, y limitadas especies nativas como los quinales, chegchas, quishuar, qolle, tarwi. Su precipitación oscila entre los 500 y los 1000 mm y su biotemperatura está entre los 4 a 12°C.

Desierto Desecado Subtropical (dd-S).

Corresponde a las planicies y partes bajas de los valles costeros, desde el nivel del mar hasta los 1800. El relieve topográfico es plano y ligeramente ondulado, variado abrupto en los cerros aislados. En ésta zona de vida no existe vegetación o es muy escasa.

Desierto per árido Montano Bajo Subtropical (dp-MBS)

Se extiende desde los 1000 a 1500 msnm. El clima es per árido templado cálido, con temperatura media anual entre 15° y 13°C y una precipitación promedio anual de 50 mm. La vegetación es escasa, pero durante la época de lluvias veraniegas emergen hierbas efímeras que se asocian con la vegetación arbustiva y algunas cactáceas que sí existen permanentemente.

Desierto per árido Montano Bajo Tropical (dp-MBT)

Biotemperatura media anual es de 16.8°C y el promedio de precipitación total por año es de 110 mm.

Desierto per árido Pre montano Tropical (dp-PT)

Cubre un área que va desde 1200 a 1300 msnm está caracterizada por la presencia xerofítica, con piso de cactáceas y reducida vegetación herbácea. La precipitación está comprendida entre los 65 y 90 mm y su biotemperatura entre 21°C y 22°C.

Desierto súper árido Subtropical (ds-S)

Se extiende entre el nivel del mar y los 1000 msnm, la precipitación máxima anual es de 49 mm y la mínima de 18 mm, mientras que la temperatura promedio anual varía de 22.2 a 19°C. La vegetación es relativamente abundante para las condiciones desérticas, correspondiendo a los sectores de lomas costeras, que son las zonas más húmedas del desierto litoral. La vegetación comprende arbustos xerófilos y gramíneos.

Estepa Montano Tropical (e-MT)

Ubicada entre los 3000 a 4000 msnm se caracteriza por la presencia de matorrales arbustivos semiperennifolios tales como: manzanita, yauli, espino y chegche. Tiene una

precipitación que oscila entre los 330 a 500 mm y una biotemperatura que va de los 6 a los 12°C.

Estepa espinosa Montano Bajo Tropical (ee-MBT)

Ubicado entre los 2000 y 3050 msnm presenta matorrales arbustivos semiperennifolios tales como: manzanita, quisuar, yauli, espino, chegche, mito, cabuya, huaranhual, riuri y cactáceas como la tuna. Tiene precipitaciones que varían entre los 250 a 480 mm y una biotemperatura que va de los 12 a los 17°C.

Matorral Desértico Montano Bajo Tropical (md-MBT)

Ubicado entre los 2000 a 3000 msnm presenta una precipitación entre 180 a 250 mm. La vegetación es de matorrales arbustivos semicaducifolios con presencia de estrato arbóreo y cactáceo. Su biotemperatura oscila entre los 12° a 17°C.

Matorral Desértico Montano Tropical (md-MT)

Su altitud está comprendida entre los 3000 a 3600 msnm con una precipitación de 125 a 250 mm y una biotemperatura entre 9 a 12°C. Presenta matorrales arbustivas semiperennifolios tales como: manzanita quisuar, yauli, espino, chegche, mito, cabuya, huaranhual, riuri y cactáceas como la tuna.

Matorral Desértico Pre montano Tropical (md-PT)

Está ubicado entre los 1300 a 2000 msnm y presenta matorrales arbustivos caducifolios con presencia de cactáceas. La precipitación varía desde entre 90 a 210 mm y su biotemperatura entre 12 a 21°C.

Nival Tropical (NT)

La biotemperatura media anual generalmente se encuentra por debajo de 1.5°C y el promedio de precipitación total anual a menudo variable entre 500 y 1000 mm. Las formaciones nivales tienen importancia desde el punto de vista del régimen hidrológico de los ríos y de las lagunas alto andinas.

Páramo Húmedo Subalpino Tropical (ph-SaT)

Ubicado entre los 3350 a 4600 msnm presenta gramíneas de tipo forrajero. Su precipitación oscila entre los 450 a 500 mm y su biotemperatura entre 3 a 6°C.

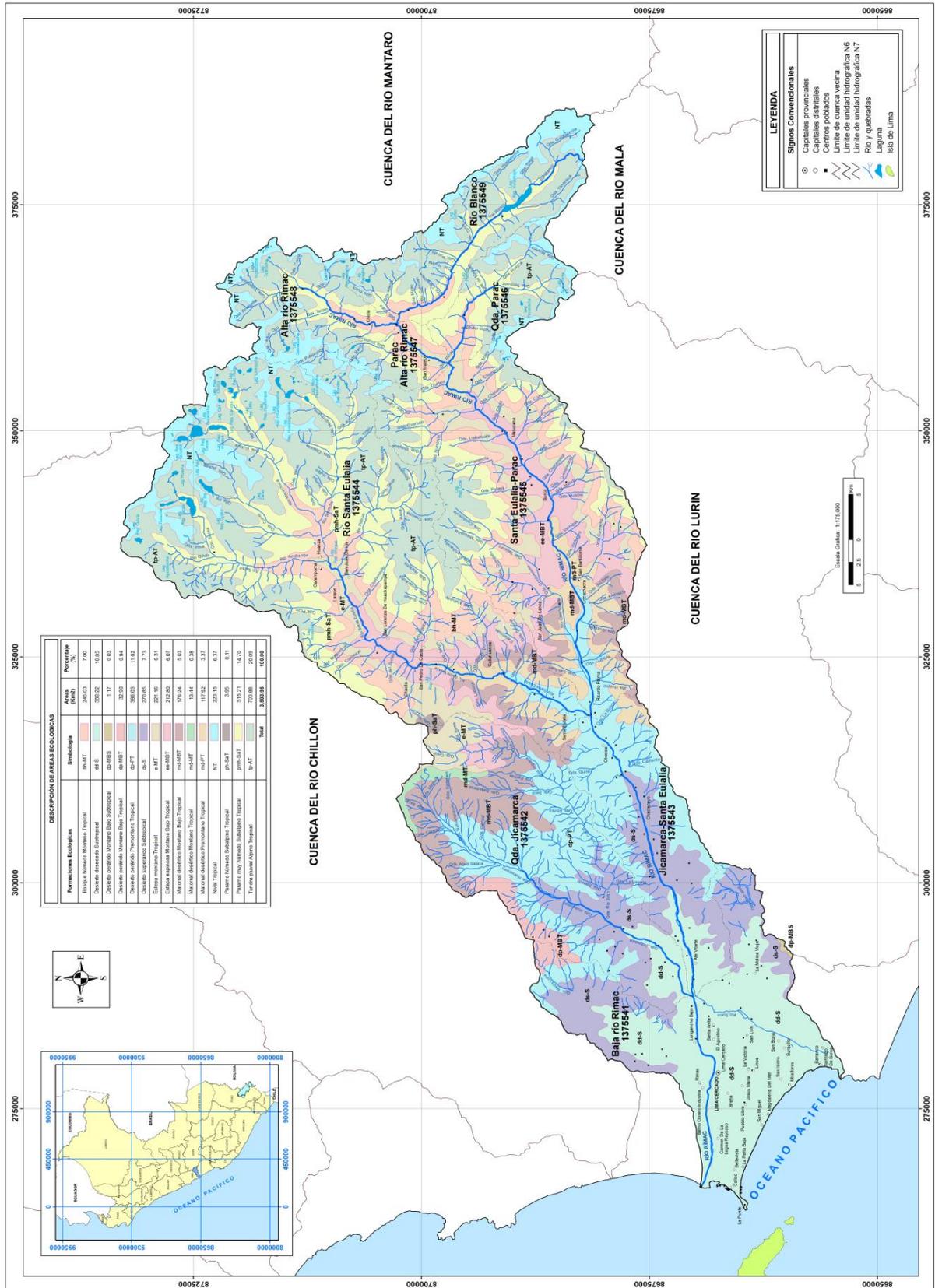
Páramo muy Húmedo Subalpino Tropical (pmh-SaT)

Ubicado entre los 4000 a 4600 msnm presenta por lo general gramíneas. Su precipitación oscila entre 500 a 1000 mm y su biotemperatura va desde 3 a 6°C.

Tundra Pluvial Alpino Tropical (tp-AT)

Abarca de los 4600 a 4800 msnm. La precipitación oscila entre los 400 a 550 mm y su temperatura varía entre los 3 a 1°C.

Figura N° 2.11 Mapa ecológico de la cuenca del río Rímac



2.7 GEOLOGÍA

La cuenca del río Rímac se ubica en la vertiente occidental de los Andes, desembocando en el Océano Pacífico. La parte alta de la Cordillera Central constituye la divisoria continental de las aguas. Geológicamente la cuenca está constituida por sedimentos marinos y continentales, los cuales fueron modificados en primer lugar por efecto del emplazamiento del batolito de la Costa y en segundo lugar por procesos orogénicos y epirogénicos que generaron fuerzas tectónicas, dando como resultado el levantamiento de los Andes y la existencia de grandes estructuras geológicas como fallas, pliegues y sobre escurrimientos. En la Figura N° 2.12 se muestra el mapa geológico.

Las cadenas de montañas resultantes fueron fuertemente erosionadas antes que se depositaran las llamadas “capas rojas” (formación Casapalca), los conglomerados terciarios, las lavas y piro clastos terciario-cuaternarios, cuyas superficies niveladas fueron nuevamente deformadas, originando un segundo sistema de montañas que forman parte del paisaje actual. Cronológicamente, en lo que actualmente es la cuenca del río Rímac, la secuencia estratigráfica indica que las rocas más antiguas corresponden al Jurásico superior (ver columna de sistema en el **Cuadro N° 2.10**, representadas por la formación Arahuay que aflora en la parte central de la cuenca. Más adelante a fines del Valanginiano (Cretáceo inferior), se produce una transgresión marina, originando depósitos de lutitas y calizas de la formación Pamplona, sobre las cuales se depositaron sedimentos calcáreos de la formación Atocongo en la parte inferior de la cuenca (faja costera).

A lo largo de la costa actual, ocurrió una fuerte actividad volcánica que dio origen a la formación Casma; seguidamente vino una transgresión a finales del Cretáceo inferior, depositándose sedimentos calcáreos de las formaciones Chimú, Chulec y Pariatambo que se exponen en la parte alta de la cuenca. Durante el Cretáceo superior, ocurrió nuevamente una emersión y plegamiento moderado de las rocas mesozoicas, dando origen a las llamadas “capas rojas” Casapalca que ocupan la parte alta de la cuenca, luego una nueva actividad volcánica durante el Terciario inferior, depositó potentes paquetes de lavas que se intercalan con sedimentos continentales y cubren la parte media y alta del área, constituyendo los grupos Rímac, Colqui y las formaciones Carlos Francisco y Río Blanco.

Posteriormente, sobrevino un nuevo ciclo volcánico-sedimentario originando primero el volcánico Millotingo y luego la formación Huarochirí. Durante el Terciario superior deviene la sub-fase Tardiquichuana a la que se asocia el volcánico Pacococha, terminando así el ciclo deformatorio andino, desarrollándose una etapa de orogénesis que formó la superficie Puna, la que durante el pleistoceno fue levantada hasta más de 4,000 msnm finalmente durante el Plio-pleistoceno, se intensifica la erosión fluvial y glacial, profundizando los valles y dando origen a sedimentos modernos del Cuaternario; éstos se distribuyen en diferentes sectores de la cuenca, conformando depósitos aluviales, coluviales, glaciares y fluvio glaciares. De ese modo, las rocas intrusivas y volcánicas, se distribuyen ampliamente en la parte baja, media y alta de la cuenca, estando conformadas por granitos, granodioritas, tonalitas, dioritas y monzonitas principalmente y unidades menores de andesitas, dacitas y riódacitas. Las rocas plutónicas se encuentran intruyendo a rocas más antiguas, estando directamente relacionadas con la tectónica y estratigrafía de la región.

Estructuralmente, la cuenca muestra tres zonas bien diferenciadas. Una zona imbricada en la parte media y alta de la cuenca, mostrando fallas y pliegues de carácter regional y local que se orientan de NO a SE y se caracteriza por la existencia de pliegues apretados y fallas inversas como resultado de una fuerte tectónica compresiva (fase Incaica) que ha deformado las rocas con variada intensidad. Una segunda zona en la parte media de la cuenca, relativamente menos deformada que la anterior, cubierta ampliamente por rocas intrusivas y volcánicas, donde las relaciones estructurales se manifiestan a través del contacto de los plutones sobre los derrames volcánicos. Una tercera zona en la parte baja sobre la cordillera de la costa, donde se evidencia un intenso fracturamiento transversal a la orientación andina, con fallas y fracturas de rumbo E-O y NE-SO, donde sobresalen estructuras importantes como el anticlinal de Lima y la gran falla regional que se inicia en la quebrada Canto Grande. Asimismo, el río Rímac describe un alineamiento de menor resistencia, en las diferentes unidades que atraviesa, mostrando control estructural en diversos sectores, cortado por fallas regionales de rumbo NO-SE, como se aprecia en las partes altas de Casapalca, alrededor del puente Infiernillo, Tambo de Viso y eje de la quebrada Canta, cerca a Matucana.

La cuenca del río Rímac, no cuenta con información detallada de intensidades sobre sismos destructores; sin embargo, la historia sísmica de la zona, muestra registros de sismos de gran magnitud que han afectado mayormente la ciudad de Lima y poblaciones cercanas con características catastróficas, algunos de los cuales han alcanzado intensidades de VII a X de la escala modificada de Mercalli, dejando como resultado muertes y daños materiales de consideración. Las características morfológicas de la cuenca, dominadas por laderas con fuertes pendientes, afloramientos líticos fuertemente intemperizados y procesos morfo dinámicos activos, hace suponer que esta actividad puede ocasionar modificaciones en el ambiente a partir de derrumbes, deslizamientos, embalses e inundaciones.

Cuadro N° 2.10 Columna estratigráfica esquemática de la cuenca del río Rímac

Era	Sistema	Serie	Unidad estratigráfica	Litología	Descripción		
C E N O Z O I C O	Cuaternario	Reciente	Depósitos Coluviales		Gravas y bloques subangulosos en matriz fina como material de escombros.		
			Depósitos Aluviales recientes		Gravas, arenas y cantos formando terrazas inestables.		
		Pleistoceno	Depósitos Aluviales antiguos		Gravas, arenas y cantos, formando terrazas estables.		
			Depósitos Glaciares		Morrenas antiguas y recientes de diferente composición.		
	Terciario	Superior	Depósitos Fluvioglaciares		Materiales sueltos acarreados por los hielos en las altas vertientes.		
			Volc. Pacococha		Derrames andesíticos y basaltos con flujos y brechas.		
			Volc. Huarochirí		Tobas rio líticas con areniscas y limo litas.		
		Medio	Volc. Millotingo		Derrames ande siticos con areniscas y limo litas.		
			Form. Bellavista y Río Blanco		Calizas margosas con lutitas y limolitas.		
		Inferior	Form. Carlos Francisco		Tobas y andesitas intemperizadas con areniscas y limolitas.		
			Grupo Rímac		Andesitas con brechas y tobas, areniscas y limolitas		
			Volc. Colqui		Derrames andesíticos con algo de areniscas y limolitas.		
		M E S O Z O I C O	Cretáceo		Superior	Form. Casapalca	Conglomerados y cuarcitas, con gravas y areniscas algo calcáreas.
						Form. Jumasha	Calizas y margas.
Medio	Volc. Quilmaná			Derrames andesíticos con lavas y piroclásticos.			
	Grupo Casma			Andesitas, dacitas y lavas con algo de areniscas y calizas.			
Inferior	Form. Chulec			Calizas y margas.			
	Form. Santa Carhuaz			Calizas y lutitas con areniscas.			
	Form. Chimú			Areniscas cuarzosas			
	Form. Pariatambo			Calizas y margas.			
	Form. Atocongo			Calizas silicificadas			
Jurásico	Superior			Form. Yangas	Lavas ande siticas con lodo litas y margas.		
			Form. Arahuay	Volcánico sedimentario con andesitas, areniscas, limolitas y calizas.			

Fuente: INGEMMET

a.- Características litológicas

En la zona de estudio afloran rocas de diferente composición cuyas edades varían desde el Jurásico hasta el Cuaternario reciente, clasificándose como sedimentarias, intrusivas, volcánicas y metamórficas, sobresaliendo por su extensión las volcánicas e intrusivas (Cuadro N° 2.10).

Las rocas más antiguas se localizan en la parte central de la cuenca, representadas por la formación Arahua compuesta por sedimentos volcánicos de andesitas combinados con areniscas, limolitas y calizas. Las rocas volcánicas del Terciario, se caracterizan por la presencia de tufos, derrames, aglomerados, material piro clástico (cenizas, tobas y lapilli), andesitas y basaltos. Las rocas metamórficas se exponen en diversos sectores en forma de cuarcitas, pizarras, esquistos, filitas y mármoles.

Los depósitos cuaternarios sueltos están ubicados en zonas cercanas a su lugar de origen. Los materiales aluviales se ubican en el fondo de valles y en el eje de quebradas con escorrentía superficial. Los depósitos coluviales, en laderas empinadas y torrentes estacionales de carácter gravitacional y los depósitos glaciares y fluvio-glaciares en las altiplanicies y al pie de los nevados, formando morrenas de diferentes niveles y valles glaciares de corto recorrido. El ataque de los agentes externos facilitado por las condiciones litológicas como la microfisuración, la irregularidad de las intrusiones o de los planos de crucero de la estructura mineral, la macrofisuración originada por el esfuerzo tectogénico y la esquistosidad han producido suficientes mantos de derrubios de diferentes granulometría y morfoscopía adheridos con relativa estabilidad en las laderas de fuerte pendiente.

En la parte media y alta de la cuenca, se distribuyen ampliamente los volcánicos del terciario, presentando dos niveles. Uno inferior donde predomina la facies andesítica compuesta de lavas, brechas y tobas y otro superior con facies riolítica compuestas de arenas y grava volcánica como esquistos arcillosos. En estos ambientes afloran también considerables paquetes de rocas sedimentarias, representadas por grandes bancos de calizas, lutitas, arcillas y conglomerados.

En la parte media y baja de la cuenca se aprecian diversas unidades de rocas plutónicas, compuestas por granitos, granodioritas, dioritas y tonalitas, con intrusiones menores de aplitas y pegmatitas del Cretáceo-Terciario. En esta zona, formando terrazas fluviales de poca altura en el fondo de los valles, se distribuyen mayormente los depósitos aluviales recientes, constituidos por grandes bloques de naturaleza intrusiva, gravas mal clasificadas, arenas y finos en condiciones inestables, los cuales son arrastrados periódicamente por las corrientes fluviales. Así mismo, los depósitos coluviales formando material de escombros clasificados en forma caótica con diferente granulometría, cubren las laderas empinadas y el fondo de quebradas con fuertes pendientes.

En la parte inferior de la cuenca y formando el abanico aluvial donde se emplaza la ciudad de Lima, se exponen ampliamente los depósitos aluviales antiguos, constituidos por horizontes bien clasificados de gravas, arenas, material fino y fragmentos grandes de rocas arrastrados por el río Rímac en sus distintos periodos de sedimentación; resultado de estos procesos, se aprecia claramente frente al mar en los acantilados de la Costa Verde.

b.- Estabilidad de los materiales superficiales

El nivel de estabilidad de los componentes líticos de un ambiente depende en primer lugar de sus características intrínsecas como son sus componentes mineralógicos: textura, granulometría y homogeneidad de la roca, la microfisuración, la irregularidad de las intrusiones y la esquistosidad. En función de estas características, el intemperismo será de mayor o menor grado, dependiendo principalmente del clima (variaciones de temperatura y precipitación) y de la pendiente.

En la cuenca del río Rímac, los intrusivos tipo granito y granodiorita con intenso fracturamiento, se intemperizan con mayor facilidad en climas áridos, cerca a la costa, donde las fuertes pendientes, los cambios de temperatura entre el día y la noche y la constante acción eólica, meteorizan las capas superficiales, formando sedimentos de granulometría gruesa (arenas, gravas y bloques). Las rocas volcánicas tipo lavas, brechas y tobas, se degradan con mayor facilidad en zonas húmedas, provocando una alteración física que produce materiales de granulometría fina y una alteración química que origina la formación de arcillas e hidróxidos. Estos materiales son fácilmente remocionables. Las rocas sedimentarias se vuelven inestables en laderas empinadas, cuando el buzamiento se encuentra a favor de la pendiente y/o cuando las corrientes hídricas disuelven elementos calcáreos. Los depósitos inconsolidados cambian de forma rápidamente ante la presencia de corrientes hídricas superficiales, las cuales arrastran sedimentos y aumentan el nivel erosivo del fondo del cauce de las riberas.

De esta manera, el mayor o menor grado de estabilidad de las rocas, dependerá de la acción de los agentes internos y externos que intervienen. Así tomando en consideración los factores más importantes: mineralogía, textura y clima, se puede utilizar un índice climático de meteorización (ICM). Este índice resulta de aplicar la siguiente ecuación:

$$IM= 12E_j/P_a$$

Donde:

E_j : Evaporación media mensual (mm) para el mes más caliente.

P_a : Precipitación total anual (mm).

Para obtener de una forma aproximada una idea cualitativa de la alteración de las rocas bajo diferentes climas, se definen los límites del índice ICM en 2.5 y >10. Este índice se utilizó en todos los casos para los cuales se consiguieron datos climatológicos.

A continuación se presenta una clasificación de estabilidad de las asociaciones litológicas tomando en cuenta tanto sus características físicas como el ambiente morfo climático donde se ubican.

Depósitos aluviales

Estos depósitos son materiales que se caracterizan por ser fácilmente remosionables, y se encuentran formando terrazas fluviales y el fondo del lecho aluvial. Están constituidos por bloques, piedras y cantos redondeados, arenas y material fino pobremente clasificado, los cuales son modificados periódicamente durante la temporada de lluvias. Se ven afectados

principalmente por el aumento del caudal de los ríos, que arrastra sedimentos de diferente granulometría, originando erosión de riberas y una socavación vertical del lecho. Estas características determinan un bajo nivel de estabilidad.

Depósitos coluviales

Están conformados por material de derrubios que se encuentran distribuidos en forma caótica en laderas largas con fuerte pendiente. También pueden constituir rellenos coluvionales y material de huayco en quebradas empinadas de corto recorrido. Se caracterizan por estar constituidos de fragmentos angulosos y subangulosos en depósitos gravitacionales con diferente espesor. Se ven afectados por agentes de diversa naturaleza como la pendiente, la escorrentía superficial y la actividad bioantrópica, determinando un bajo nivel de estabilidad.

Rocas intrusivas mayormente ácidas: Diorita, Granodiorita, Tonalita

Rocas plutónicas bastante competentes en condiciones frescas. En la parte baja de la cuenca se encuentran formando laderas empinadas con escarpas verticales. Su índice climático de meteorización (ICM) para esta zona es de 38.7 lo cual indica un moderado intemperismo físico hacia bloques, gravas y arenas. En la parte media de la cuenca, el ICM (8.8) muestra una desintegración predominante, con posible inicio de una alteración química, según el porcentaje de minerales secundarios. Estas características determinan un moderado grado de estabilidad.

Rocas volcánico-sedimentarias disgregables: Formación Yangas

Sedimentos volcánicos asociados a lodo litas y margas de poca dureza. Se encuentran formando cumbres de cerros de poca altura en la parte baja de la cuenca. Son afectados mayormente por las lluvias que pueden saturar los niveles superficiales, originando suelos arcillosos superficiales, y provocando la disolución del material calcáreo, lo cual determina un bajo nivel de estabilidad.

Rocas intrusivas mayormente básicas: Grabodiorita

Se encuentran formando laderas cortas con fuertes pendientes y cimas de cerros subredondeados. Su característica principal es contener abundantes ferro magnesianos, los cuales son fácilmente alterables. Esta litología se encuentra principalmente en la parte baja de la cuenca, donde el ICM es de 50.4, lo cual constituye el medio propicio para una desintegración física de la roca hacia gravas y arenas. Presentan un moderado a bajo nivel de estabilidad.

Rocas volcánicas del Terciario: Volcánicos Pacococha, Millotingo, Huarochirí y Colqui, Grupo Rímac y Formación Carlos Francisco

Estas unidades están conformadas por derrames, brechas y tobas ande siticas asociadas a areniscas y limolitas. Se encuentran formando laderas largas con diferentes pendientes y cimas sub redondeadas ocupando la parte media y alta de la cuenca. La buena permeabilidad de estas rocas constituye un riesgo por su propiedad de absorber el agua y

umentar considerablemente su volumen. El clima actúa intensamente sobre las tobas, y brechas ande síticas originando depósitos eluviales sobre rocas volcánicas que se desplazan lentamente hacia las partes bajas favorecidas por las fuertes pendientes.

Rocas volcánico-sedimentarias: Formación Arahua

Rocas volcánico-sedimentarias constituidas por andesitas, areniscas, limolitas y calizas del Jurásico. Se caracterizan por estar formando laderas empinadas de corta longitud en la parte baja de la cuenca, entre los 1,600 y 2,900 msnm, donde los agentes erosivos las afectan parcialmente originando procesos geodinámicos de carácter local. Tienen un moderado nivel de estabilidad.

Rocas sedimentarias: formaciones Jumasha, Pariatambo, Bellavista, Río Blanco, Casapalca, Chulec, Santa-Carhuaz y Chimú

Esta unidades se caracterizan por la presencia de bancos de cuarcitas, conglomerados y gruesos horizontes de calizas algo marmolizadas, las cuales afloran formando laderas largas y empinadas.

Estas formaciones se presentan en la parte alta de la cuenca, donde el ICM es de 4, 2.3 y 3.5 para Bellavista, Casapalca y Ticlio, respectivamente. Estos valores muestran ambientes capaces de promover una alteración química diferencial en función del porcentaje de minerales secundarios.

El intemperismo sobre calcáreos da lugar a procesos de hundimientos y deslizamientos en forma local, dando un moderado a bajo nivel de estabilidad.

Depósitos glaciares y fluvio-glaciares

Son depósitos inconsolidados conformados por materiales acarreados por el hielo, barro con arenas y arcillas que engloban cantos de tamaño heterogéneo. Se encuentran formando morrenas laterales y frontales con pendientes moderadas a lo largo de los valles glaciares sobre los 4,200 msnm. Las morrenas laterales forman lomas alargadas al costado de los valles, mientras que las morrenas frontales, ocupan la parte central, formando lomas algo onduladas. La composición litológica y las condiciones topográficas determinan un moderado nivel de estabilidad.

2.8 SUELOS

Para el presente estudio se ha empleado la información del documento de fuentes de agua superficial de la cuenca del río Rímac.

2.8.1 Grandes Grupos de Suelos

a) Fluvisoles

Dentro de éste grupo, se han identificado tres unidades importantes de suelos: Fluvisol éutrico (irrigado), Fluvisol éutrico (seco) y Fluvisol éutrico (andino).

Fluvisol éutrico (irrigado).

Son suelos de relieve topográfico predominantemente plano y con perfiles Ap, AC o C. Presentan una morfología estratificada, habiéndose formado sobre depósitos recientes de origen aluvial. El horizonte A está débilmente desarrollado, presentando espesores y contenidos orgánicos variables. El horizonte (A) o C grada a un material mineral de rasgos morfológicos no diferenciados.

Estos suelos se distribuyen en su mayor extensión dentro del área agrícola de los valles de Chillón, Rímac y Lurín, y corresponden a los suelos aluviales irrigados de drenaje libre. Según su capacidad de uso pertenecen, en su mayor parte, a las clases I, II y III, es decir, aptos para fines agrícolas intensivos.

Potencial y económicamente, representan al grupo edáfico de mayor valor para propósitos agrícolas dentro de las cuencas estudiadas.

Fluvisol éutrico (seco)

Son suelos con perfil C, formados por los rellenos aluviónicos del cuaternario, generados por las corrientes de curso intermitente, quebradas secas y pampas eriazas que se hallan enmarcadas en los valles o vecinos a éstos.

El horizonte (A) es delgado y pálido (ócrico) y yace sobre una sección estratificada de texturas y espesores variables, predominando las fracciones gruesas, además de grava, guijarros y piedras. Pueden presentar una cantidad moderada de sales. Gran parte de estos suelos son de morfología esquelética o fragmentaria.

Fluvisol éutrico (andino)

Son suelos con perfil (A) C o C, formados por los rellenos aluviales del cuaternario, generados por las corrientes de curso intermitente. Fisiográficamente, se encuentran enclavados en el paisaje cordillerano, formando los valles interandinos y ocupando las terrazas, conos y abanicos aluviales.

Presenta un horizonte A débilmente desarrollado, de matices pardo oscuros, presentando espesores y contenidos de materia orgánica variables, las características del perfil de estos

suelos se encuentran determinados esencialmente por la naturaleza de los materiales del cual se han derivado y de la forma como se han depositado.

La máxima capacidad de uso de estos suelos es de Clase III, es decir, son aptos para fines agrícolas propios de la zona. Se les encuentra ubicado en Arahua y Huamantanga.

b) Regosoles

Dentro de éste producto, se han reconocido las siguientes unidades: Regosol éútrico (irrigado) y Regosol (seco).

1.-Regosol éútrico (irrigado)

Son suelos de perfil (A) C, constituidos por materiales arenosos que carecen de horizontes diagnóstico, a excepción de un horizonte A débilmente desarrollado, de tonalidades pardas a pardo oscuras y gradando a un horizonte C de igual carácter textural.

Son de origen eólico principalmente y de morfología arenosa; a veces, gravillosa, suelta y profunda, presentando una topografía de plana a ondulada. Se encuentran distribuidas en el valle de Lurín, cercanas a las pampas eriazas, a las que han sido ganadas mediante irrigación y en la cuales su condición de aridez ha sido subsanada con el riego permanente. La capacidad de uso de éstos suelos es de Clase III, es decir tienen potencialidad agrícola.

2.-Regosol éútrico (seco)

Son suelos de perfil C, constituidos por materiales de textura gruesa y carente de horizontes diagnósticos; son de origen eólico y de morfología arenosa, mayormente constituidos por arenas finas acarreadas por acción del viento cuando son profundas; en otros casos, incluyen fragmentos gruesos de diversos orígenes.

Presentan una topografía variada, desde plana, en las playas y partes bajas, hasta fuertemente inclinada a empinada, cuando se encuentran recubriendo las laderas y faldas de algunos cerros. Se encuentran distribuidas en la mayoría de las pampas estudiadas, siendo bien notorias en las pampas de Lurín y Ancón.

De acuerdo a su capacidad de uso, han sido clasificadas en la clase VII, pero la mayor parte corresponde a suelos sin valor para fines agrícolas (clase III).

c) Solonchaks

Dentro de éste grupo edáfico, se ha encontrado las siguientes unidades: Solonchak órtico y su fase hardpánica.

1.-Solonchak órtico

Son suelos con perfil C, formados sobre depósitos de origen marino, aluvial y eólico. Presentan un horizonte sálico dentro de los 100 cm. Desde la superficie y la conductividad eléctrica en alguno de sus horizontes alcanza valores mayores de 16 mmhos x cm.

Son de textura predominantemente gruesa a moderadamente gruesa.

El relieve topográfico es de plano a ligeramente ondulado por la presencia de dunas pequeñas; están distribuidas principalmente en Ventanilla y Punta Negra, así como en las zonas aledañas a Lurín.

La máxima capacidad de uso de estos suelos es VI, dominando las clases VII y VIII, ésta última no es apta para fines agropecuarios.

2.-Solonchak órtico, fase hardpánica

Son suelos con alta conductividad eléctrica, llegando hasta 90 mmhos/cm. en algún subhorizonte dentro del perfil; presentan una capa delgada, fuertemente cementada por sales, generalmente muy cerca de la superficie. El relieve es plano. Se le encuentra distribuida en las pampas, entre Lurín y Malanche, y al frente de Santa María.

La máxima capacidad de uso de éstos suelos es de Clase VI, dominando las clases VII y VIII.

d) Andosoles

Dentro de este grupo edáfico, se ha determinado las siguientes unidades: Andosol vítrico y Páramo andosol.

Andosol vítrico

Son suelos con perfil AC y con un horizonte A bien desarrollado, originados a partir de materiales vítricos que contiene alto porcentaje de cenizas volcánicas vítricas, escorias volcánicas u otros materiales piroclásticos en las fracciones de suelo, de color pardo a pardo oscuro y con más de 1% de materia orgánica. Generalmente, todo el perfil es de textura franca y con presencia de fragmentos gruesos.

Se presenta tanto en topografía plana como en topografía accidentada, con pendientes que varían de casi a nivel a empinadas. Están distribuidas en las proximidades de Huamantanga y en San Mateo en la región de los Litosoles desérticos, con los cuales se encuentran asociados.

Hay una mayor proporción de suelos clasificados en las Clases VI y VII, es decir, aptos para pastos y forestales; el resto por sus características desfavorables, pertenecen a la Clase VIII de Capacidad de Uso, es decir, no aptas para fines agrícolas y pecuarios.

Páramo andosol

Son suelos con perfil A (B) C, con un horizonte A oscuro y prominente, ligeramente ácido y dotado de materia orgánica. Este suelo se ha desarrollado a partir de materiales volcánicos complejos, bajo condiciones climáticas frío húmedas, por encima de los 4,000 msnm.

El potencial agrícola de estos suelos es muy limitado por las rigurosas condiciones climáticas, quedando relegados a sustentar una actividad pecuaria lanar extensiva y temporal en algunas áreas. Pertenecen a la clase VII y los que no son aptos para fines agropecuarios a la clase VIII.

e) Yermosoles

Dentro de éste grupo, se ha identificado la siguiente unidad edáfica: Yermosol Cálxico.

1.-Yermosol cálcico

Son suelos con perfiles AC o A (B) C, profundos, con un horizonte A pálido y débilmente desarrollado; a veces, no se aprecia el horizonte (B) cámbico, teniendo alto contenido de carbonato de calcio en el perfil baja conductividad eléctrica: menos de 3 mmhos/cm. se presentan ocupando áreas de pequeña extensión, dentro de la parte superior de la región de los Litosoles desérticos y se han desarrollado sobre materiales calcáreos. El relieve topográfico es fuertemente ondulado, con pendientes empinados.

Por su capacidad de uso, pertenecen a la Clase VIII, es decir, no aptos para fines agropecuarios.

f) Xerosoles

Dentro de éste grupo, se ha identificado dos unidades edáficas: Xerosol háplico y Xerosol cálcico.

1.-Xerosol háplico

Son suelos con perfiles A (B) C. Presentan un horizonte A pardo oscuro, moderadamente y de reacción neutra. Este horizonte grada a un horizonte (B) cámbico, pardo oscuro, estructurado en bloques subangulares débiles y de reacción neutra.

Son de topografía variada, con pendientes desde ligeramente inclinada hasta fuertemente empinada. Se distribuyen entre los 2100 y 2600 msnm, gradando hacia formaciones definitivamente de páramo.

Son suelos de buena potencialidad agrícola, permitiendo una amplia diversidad de cultivos tanto intensivos como de carácter permanente (propios del medio ecológico), siempre y cuando dispongan de dotaciones hídricas adecuadas. De las variaciones topográficas en las cuales se distribuyen estos suelos, dependerá su aptitud agrícola definitiva, ya sea intensiva o permanente; pertenecen a la capacidad de uso VI, VII y VIII.

g) Kantanozems

Dentro de este grupo edáfico, se ha identificado la siguiente unidad: Kastanozem háplico.

1.-Kastanozem háplico

Son suelos con perfil A (B) C. Presentan un horizonte melánico que yace sobre un horizonte B que puede ser argilúvico. Se les encuentra interasociados y como inclusiones dentro de la región de los litosoles andinos y desarrollados sobre materiales litológicos de origen sedimentario. El relieve topográfico es variado, encontrándose áreas de pendientes moderadas.

La aptitud de estos suelos, aparte del factor topográfico, está asociada a la altitud: aquellos situados hasta los 3,700 m.s.n.m. y especialmente en laderas suaves pueden sustentar cultivos propios de la zona para uso alimenticio (Clase III – IV), mientras que los situados a niveles mayores son sólo aptos para pastos naturales (Clase VII).

h) Paramosoles

Dentro de éste grupo edáfico, se ha determinado las siguientes unidades: paramosol dístrico y Paramosol éutrico.

1.-Paramosol dístrico

Son suelos con perfiles AC o A (B) y con un horizonte A oscuro, prominente (epipedón úmbrico), ácido y dotado de materia orgánica. El horizonte B es de matices pardos muy oscuros, con débil estructuración y baja saturación de bases. Se les ha encontrado en altitud mayores de 3800 m.s.n.m., asociadas con litosoles, siendo de relieve topográfico variable y desarrollado sobre materiales predominantemente ígneos intrusivos.

Por las condiciones climatológicas muy rigurosas, el potencial agrícola de éstos suelos es muy limitado, quedando relegados para sustentar una actividad pecuaria lanar extensiva y temporal. Pertenecen a la capacidad de uso VII y VIII.

2.-Paramosol Eurico

Son suelos con perfil A, AC, C o A (B) C; el horizonte A es oscuro y prominente (epipedón mólico), ligeramente ácido y bien dotado de materia orgánica, mientras que el horizonte B es de matices pardos, con débil estructuración y muy alta saturación de bases. Se presentan como inclusiones en la parte alta de la cuenca, en altitudes de 3800 m.s.n.m., con relieves relativamente suaves, asociados con formaciones Paramosol dístrico y desarrollados, generalmente, sobre materiales sedimentarios.

Por las condiciones climáticas muy rigurosas, el potencial agrícola de estos suelos es muy limitado, quedando relegados para sustentar una actividad pecuaria lanar extensiva y temporal. Pertenecen a la clase VII y VIII de capacidad de uso.

i) Histosoles

Dentro de éste grupo edáfico, se ha determinado una sola unidad. Esta unidad, que viene a ser ella misma, está conformada por suelos de naturaleza orgánica caracterizados por presentar un horizonte A hístico, profundo y de matices pardo grises muy oscuros. Se distribuyen muy localmente, ocupando áreas depresionadas e hidromórficas.

Por sus características morfológicas limitadas, sólo puede mantener una actividad pecuaria extensiva. Pertenecen a la clase VII de capacidad de uso.

j) Litosoles (Litosuelos)

Dentro de éste grupo edáfico y de acuerdo a su posición geográfica, condiciones climáticas prevalentes y grados de saturación de bases, se ha determinado las siguientes unidades: Litosoles desérticos, Litosoles andinos éutricos y Litosoles andinos dístricos.

1.-Litosol desértico

Son suelos con perfiles (A) CR o (A) R. El horizonte (A) es muy delgado, pálido (ócrico) y generalmente, gravo-pedregoso, descansando sobre roca consolidada o detritus rocosos. La litología es variada, predominando las rocas sedimentarias y materiales tufáceos.

La topografía es abrupta, con pendientes dominantes de más de 70%. Este grupo en asociación con la formación lítica, se extiende desde los 300 msnm hasta aproximadamente los 2600 msnm. Se presenta en asociación con los Xerosoles y Andosoles en su posición superior.

Son suelos sin potencialidad agrícola por sus condiciones climáticas áridas, naturaleza superficial y pendientes extremadamente empinadas, por lo que se les considera de clase VIII de capacidad de uso de suelo; es decir, sin valor para propósitos agropecuarios.

2.-Litosol andino dístrico

Son suelos con perfil (A) CR o AR, que por su morfología, condiciones altitudinales y características generales son muy similares a los litosoles andinos éutricos, pero su diferencia radica en su reacción por debajo de un pH 5.5 y, por consecuencia, de baja saturación de bases. Están ampliamente distribuidas en toda la cuenca extendiéndose a partir de los 2800 metros de elevación. Litológicamente se desarrollan sobre materiales predominantemente volcánicos (andesitas, tufos, brechas, etc).

k) Formación Lítica

Esta formación no edáfica (no suelo) constituye esencialmente las exposiciones de roca viva o denudada (afloramientos rocosos) y escombros o detritus poco consolidados de las rocas. Su distribución es amplia, siendo muy significativa y dominante desde los límites con el área agrícola hasta más de 5000 msnm, apareciendo fuertemente interasociada con los litosoles desérticos.

La composición litológica es variada, materiales volcánicos, rocas ígneas intrusivas y rocas sedimentarias. Obviamente, de acuerdo a su naturaleza puramente lítica (ausencia total del suelo agrícola), escapan a todo uso agropecuario, siendo clasificados en la clase VIII de capacidad de uso.

2.8.2 Uso mayor de los suelos

En la Figura N° 2.13 se aprecia el Mapa de uso mayor de suelos, se presenta la distribución de los suelos por su capacidad de uso mayor, donde se observa la predominancia de los suelos de protección y de pastoreo limitado. Los suelos con aptitud para cultivos en limpio, representan una pequeña parte de los suelos de la cuenca, confinados a lo que queda del valle Rímac, San Mateo y Santa Eulalia.

El uso del suelo en la cuenca se puede agrupar en las siguientes categorías:

- **Cuenca Baja:** Proceso de urbanización intensiva como parte de la expansión del área metropolitana de Lima, con múltiples usos incluyendo el habitacional, industrial, comercial y de servicios. El proceso de desarrollo a lo largo del río Rímac es muy intensivo, con una fusión de actividades a lo largo de la cuenca y creando ligas funcionales entre los diferentes poblados. La presencia de industrias metalúrgica, agroindustrial y papelera es notable en la zona.

- **Cuenca Media:** Desarrollo fraccionado debido a las condiciones topográficas, aunque prevalece el desarrollo de actividades a lo largo de la Carretera Central y el cauce del río Rímac. La confluencia del río Rímac y el río Santa Eulalia, marca el inicio de actividades menos intensivas y más dispersas espacialmente, producto de las condiciones geomorfológicas y sus limitaciones espaciales. En la cuenca media se localizan actividades industriales con impactos severos en la calidad del agua del río Rímac, debido a sus vertimientos sin tratamiento. En la subcuenca del río Santa Eulalia, la ubicación de los distintos usos responde a la localización y al trayecto de la carretera principal y los caminos vecinos.

- **Cuenca Alta:** A lo largo del río Rímac, el desarrollo ha girado históricamente en torno a la actividad minera. Gran parte de los poblados tienen su origen en la instalación de plantas concentradoras de minerales ubicadas al borde de la carretera central y/o en los márgenes del río Rímac. En la parte alta de la cuenca, zona oriental, se encuentra la subcuenca del río Blanco, la cual presenta condiciones muy estables desde el punto de vista ambiental. En la cuenca alta (subcuenca del río Santa Eulalia), se identifican áreas extensas de pastos altoandinos, con algunos centros de población que forman unidades económicas basadas en actividades de tipo pecuario, con una mayor fragmentación de la población en localidades por debajo de los 1,000 habitantes.

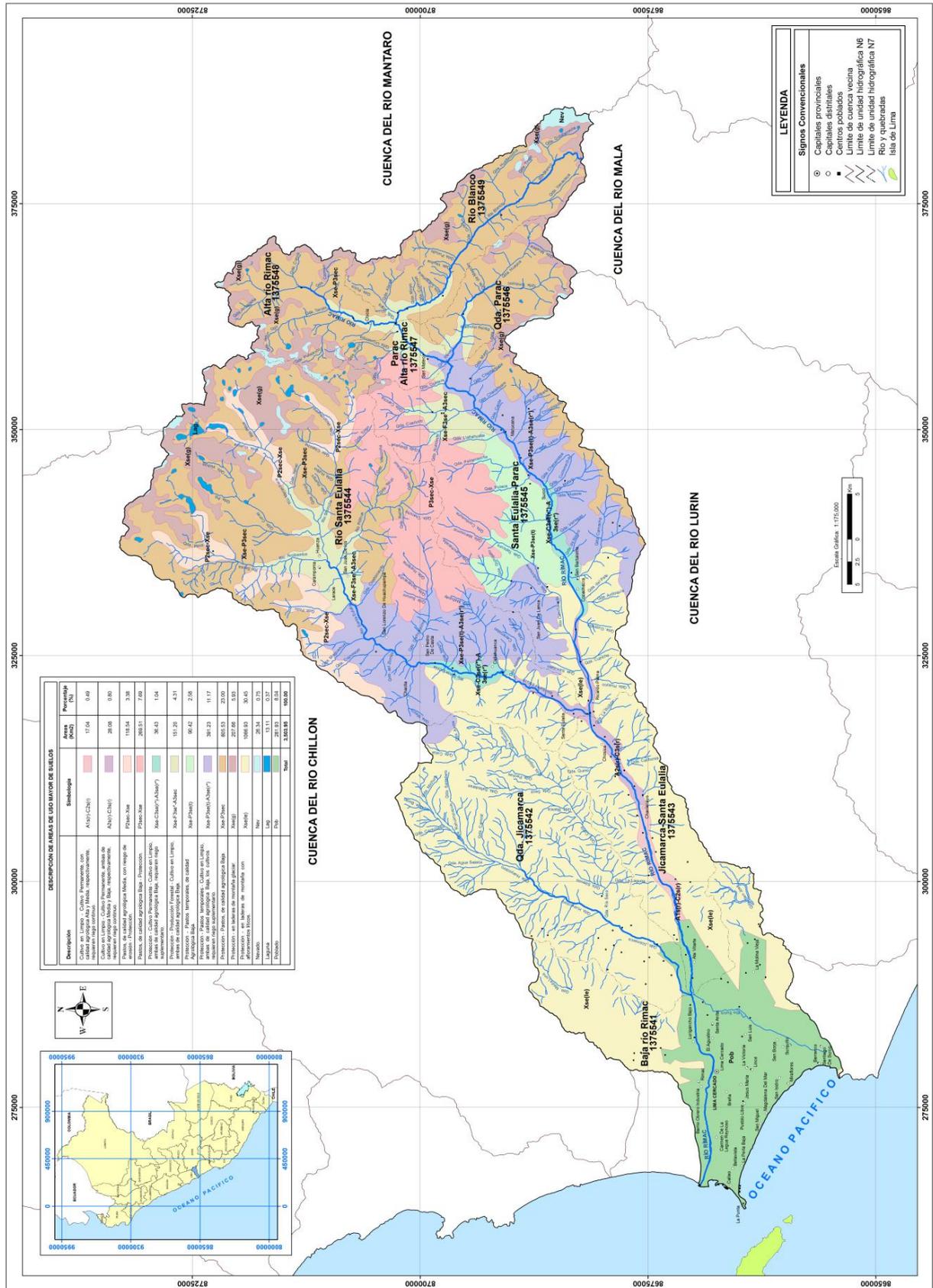
En el Cuadro N° 2.11 se presenta la distribución areal del uso de los suelos de la cuenca, representado en el mapa de uso mayor de suelos del Anexo 2, mapas temáticos de la cuenca Rímac.

Cuadro N° 2.11 Categorías de uso actual de la tierra – Cuenca río Rímac

CATEGORIAS	Area (ha)	%
1. Vegetación estacional de tipo herbáceo – arbustiva	46,092	14.86
2. Vegetación estacional de tipo herbáceo con cobertura < 20%	2,205	0.71
3. Vegetación herbácea permanente de tipo pajonal con cobertura < 20%	43,425	14.00
4. Vegetación herbácea permanente de tipo pajonal con cobertura > 20%	13,185	4.25
5. Pasturas naturales permanentes de tipo gramadal con cobertura >50%	20,771	6.70
6. Pasturas naturales permanentes de tipo pajonal con cobertura < 50%	60,717	19.58
7. Areas hidromórficas con vegetación permanente	3,607	1.16
8. Tierras en laderas intervenidas agrícolamente	16,402	5.29
9. Suelos desnudos (afloramientos líticos)	21,071	6.79
10. Bosques naturales	3,182	1.03
11. Areas agrícolas en valles	8,545	2.76
12. Sin vegetación	59,654	19.23
13. Usos urbanos	8,483	2.74
14. Otros usos	2,802	0.90
Total	310,141	100

Fuente: Plan de Manejo y Estudios de Factibilidad del Programa Ambiental de la Cuenca del río Rímac: Abril 1998

Figura N° 2.14 Mapa de uso mayor de suelos – Cuenca río Rímac



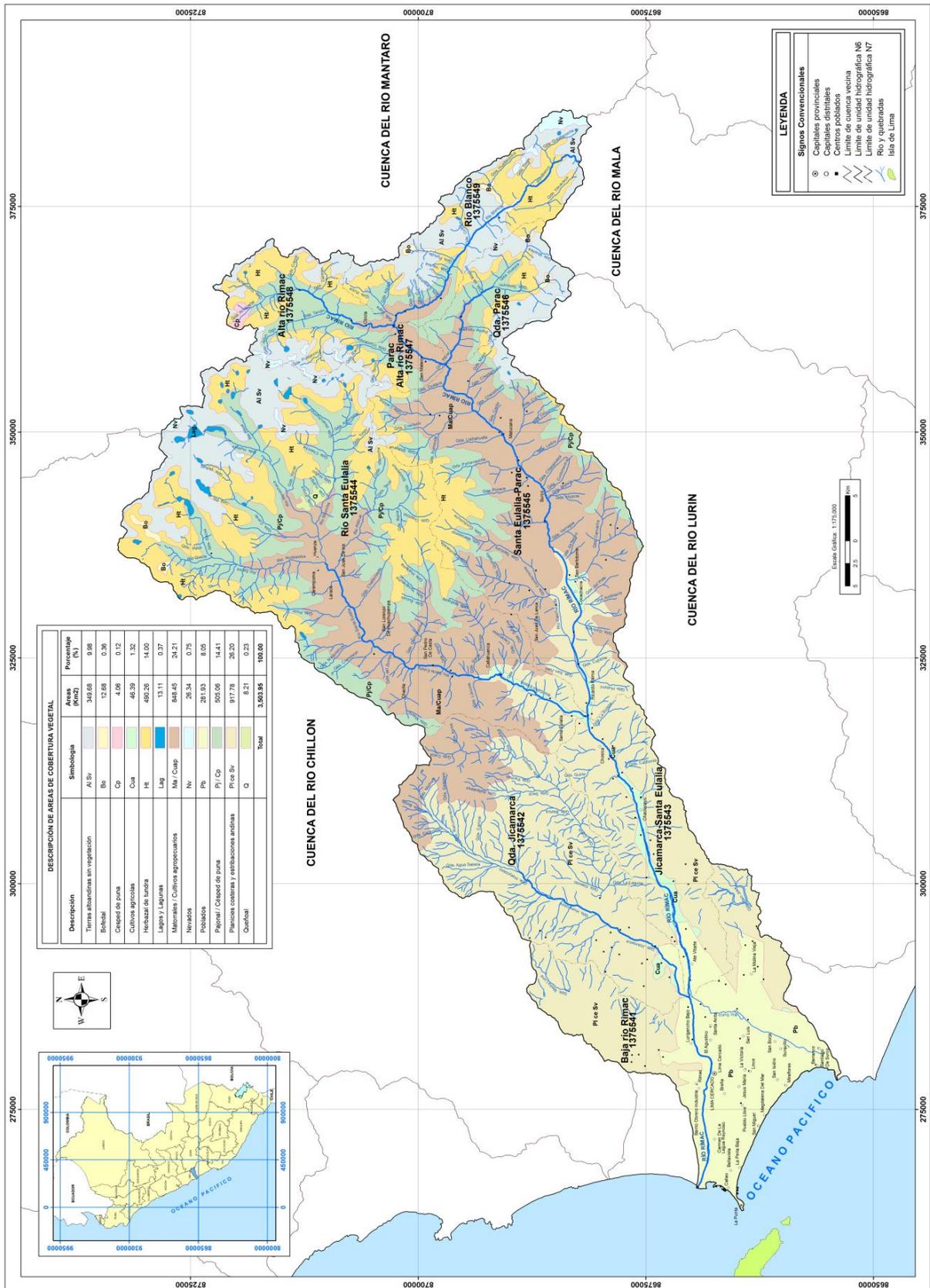
2.9 COBERTURA VEGETAL

La cubierta vegetal está constituida exclusivamente por gramíneas de tipo forrajero. Se puede observar que en el rango altitudinal entre 0 - 1,000 msnm, son áreas áridas o desiertas con pocas especies de Tillandsias que viven de la humedad atmosférica. Entre los 1,000 y 2,000 msnm se considera una zona semiárida con especies tales como el molle (*Schinus molle*), la “tara” (*Caesalpinia tinctoria*) y varias especies de cactus. En el rango de 2,000 a 4,000 msnm se observa algunos arbustos y vegetación de pastos naturales estacionales; entre los 4,000 y 5,000 msnm los pastos naturales son permanentes.

El área de estudio de la cuenca del río Rímac abarca 3503,95 km², extensión que ha sido intervenida de manera intensiva por numerosas actividades de aprovechamiento y explotación, causando gran deterioro, como son los procesos erosivos, contaminación del agua y otros.

En la Figura N° 2.15 se aprecia la cobertura vegetal de la cuenca del río Rímac y Mapa N° 11 en el Volumen III.

Figura N° 2.15 Mapa de la cobertura vegetal de la cuenca del río Rímac



2.10 RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIALES

Según el “Inventario de fuentes de agua superficial”, de la cuenca media y alta del río Rímac. En la cuenca se distingue básicamente seis tipos de fuentes de agua superficial: quebradas, manantiales, lagunas represadas, lagunas naturales, ríos y presas.

En lo que respecta a la distribución espacial, el inventario realizado en la cuenca del río Rímac, existen en total 630 fuentes de recurso hídrico superficial distribuido en: ríos, quebradas, manantiales, lagunas (naturales, represadas) y presas.

En la Subcuenca Santa Eulalia se tiene 336 Fuentes de agua que representan 53.3% del total de la cuenca, en ésta Subcuenca se concentra el mayor número de fuentes; Subcuenca Santa Eulalia-Parac se tiene 118 fuentes (18.7%); Subcuenca Río blanco se tiene 67 fuentes (10.6%); Subcuenca Alto Río Rímac se tiene 54 fuentes (8.6%); Subcuenca Quebrada Parac se tiene 40 fuentes (6.3%) y en la Subcuenca Parac-Río Blanco se tiene 15 fuentes de agua (2.4%).

En el Cuadro N° 2.12 y en la Figura N° 2.16 se presenta el consolidado del inventario de fuentes de agua superficial por unidad hidrográfica:

Cuadro N° 2.12 Consolidado del inventario de fuentes de agua superficial - Cuenca río Rímac

UNIDADES HIDROGRÁFICAS (N7)	CÓDIGO	NUMERO DE FUENTES DE AGUA SUPERFICIAL						TOTAL	TOTAL (%)
		QUEBRADAS	RÍO	LAGUNA NATURAL	LAGUNA REPRESADA	PRESA	MANANTIAL		
Río Santa Eulalia	1375544	141	7	77	26	2	83	336	53.3
Santa Eulalia-Parac	1375545	74	2	11	1	0	30	118	18.7
Qda. Parac	1375546	26	0	12	0	0	2	40	6.3
Parac-Blanco	1375547	6	0	6	0	0	3	15	2.4
Alto Río Rímac	1375548	26	1	24	0	0	3	54	8.6
Río Blanco	1375549	38	1	15	0	1	12	67	10.6
Total		311	11	145	27	3	133	630	100.0
TOTAL (%)		49.4	1.7	23.0	4.3	0.5	21.1	100.0	

En la Figura N° 2.17 se presenta la distribución de fuentes de agua superficial por tipo de fuente.

Figura N° 2.16 Número total de fuentes de agua superficial por unidad hidrográfica (nivel7) Cuenca del río Rímac

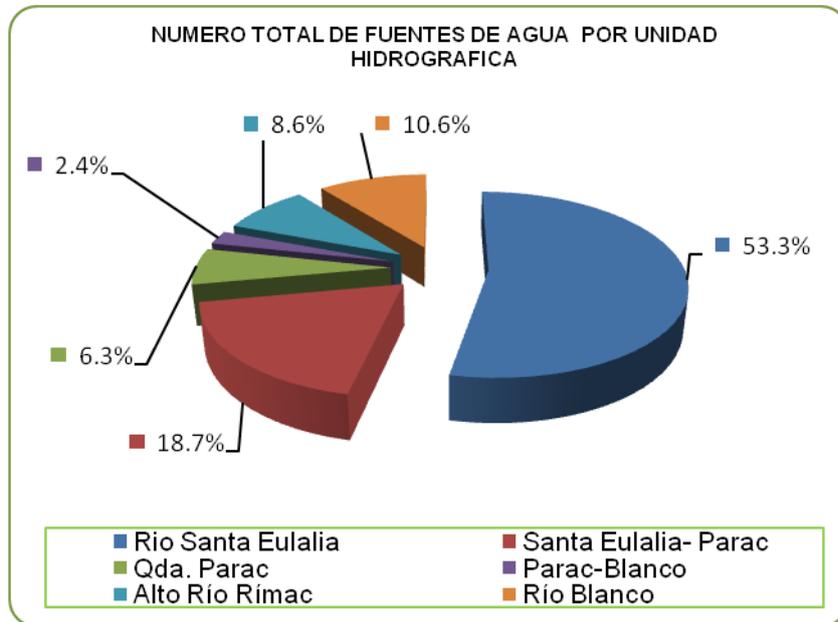
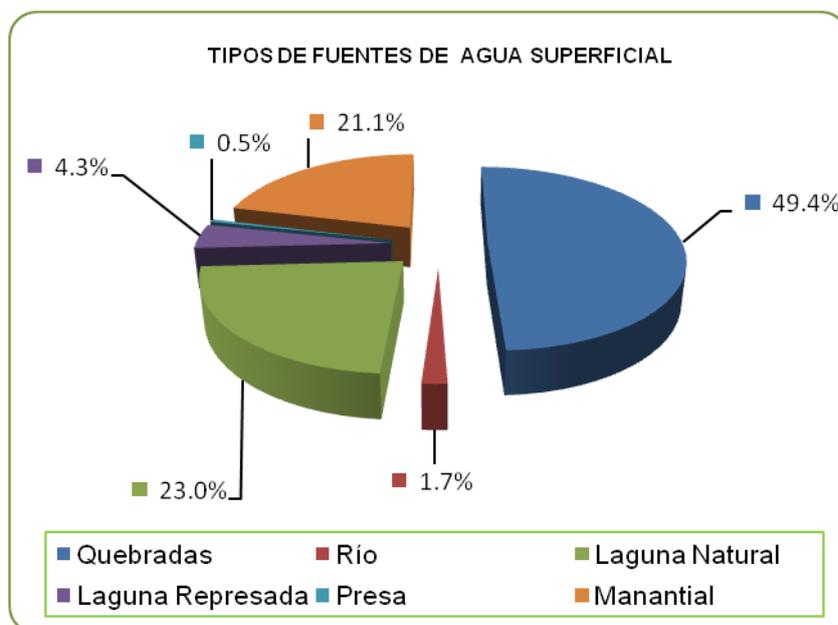


Figura N° 2.17 Distribución del número de fuentes de agua superficial por tipo de fuente Cuenca del río Rímac



2.10.1 Ríos y quebradas

En la cuenca del río Rímac, se tiene 322 fuentes de agua superficial entre ríos y quebradas de los cuales 11 son ríos y 311 quebradas, que representa el 51.1% del total.

Distribución según su uso: 177 (56%) de fuentes de agua de (ríos y quebrados) no son utilizados y 123 (38.2%) de fuentes de agua son utilizados en la agricultura.

Distribución según caudal: de las 322 fuentes solo en 231 fluye agua y de las cuales en 141 fuentes están en el rango de 0-5 (l/s) y 44 fuentes se encuentran en rango de 0-5 (l/s) y 5-10 (l/s).

Respecto a la calidad del agua los resultados muestran que las aguas en su mayoría son de (6-8 de pH), alrededor del pH neutro con baja conductividad eléctrica.

2.10.2 Manantiales

En la cuenca Rímac existen 133 manantiales y se ubican en mayor cantidad en la cuenca del río Santa Eulalia, siendo utilizados en agricultura con caudales menores a 1.0 l/s y la mayoría de ellos no tienen toma de captación.

Estas fuentes de agua son las más utilizadas en la cuenca, registrándose 133 manantiales, que en su conjunto representan el 21.7% del total inventariado (630), observándose la mayor concentración en las unidades hidrográficas río Santa Eulalia (1375544) y Santa Eulalia-Parac (1375545) con 83 y 30 manantiales respectivamente; y se utilizan mayormente con fines agrícolas y poblacionales.

Los resultados indican que en su mayoría son aguas de buena calidad.

Cuadro N° 2.13 Distribución de conductividad eléctrica $\mu\text{S}/\text{cm}$

Unidades Hidrográficas (n7)	Código	Numero de Fuentes de Agua / CE($\mu\text{S}/\text{cm}$)			Total
		50-350	350-700	750-1240	
Río Santa Eulalia	1375544	68	12	3	83
Santa Eulalia-Parac	1375545	14	6	10	30
Quebrada Parac	1375546	2	0	0	2
Parac-Blanco	1375547	1	1	1	3
Alta Río Rímac	1375548	1	0	2	3
Río blanco	1375549	11	1	0	12
Total		97	20	16	133

2.10.3 Almacenamientos Naturales – Lagunas

Existen 145 lagunas naturales y según capacidad de almacenamiento, 125 (71.4%) tienen volumen actual menores a 0.25 hm^3 y 136 (77.7%) no tienen caudal de salida.

Uso de las aguas de lagunas

En el Cuadro N° 2.14, se muestra la distribución de las lagunas según uso, en la que 132 (21%) no son utilizados, 22 (3.5%) en energía y 18 (2.9%) en agrícola.

Cuadro 2.14 Clasificación según su uso – Cuenca del río Rímac

Unidades Hidrográficas(N7)	Código	Numero de Fuentes de Agua / Usos					Total
		AG	PO	S/U	MI	EN	
Río Santa Eulalia	1375544	8	1	77	0	19	105
Santa Eulalia-Parac	1375545	3	0	9	0	0	12
Qda. Parac	1375546	1	0	11	0	0	12
Parac-Blanco	1375547	5	0	1	0	0	6
Alto Río Rímac	1375548	0	1	22	0	1	24
Río Blanco	1375549	1	0	12	0	3	16
Total		18	2	132	1	22	175

Incluye: Lagunas naturales y represas

- **Clasificación por capacidad de almacenamiento actual**

En el Cuadro N° 2.15 se indica el número de lagunas y su almacenamiento (por rangos) en hectómetros cúbicos (hm³).

Cuadro N° 2.15 Clasificación por su capacidad de almacenamiento – Cuenca río Rímac

Unidades Hidrográficas(N7)	Código	Numero de Fuentes de Agua / Volumen (hm ³)					Total
		< 0.25	0.25-0.50	0.50-5	5-10	> 10	
Río Santa Eulalia	1375544	70	10	18	5	2	105
Santa Eulalia-Parac	1375545	10	2	0	0	0	12
Qda. Parac	1375546	11	0	1	0	0	12
Parac-Blanco	1375547	5	0	1	0	0	6
Alto Río Rímac	1375548	17	5	2	0	0	24
Río Blanco	1375549	12	1	2	0	1	16
Total		125	18	24	5	3	175

Incluye: Lagunas naturales y represas

- **Clasificación por superficie libre**

En el cuadro 2.16, se indica la clasificación de lagunas según rangos de superficies libres o espejo de agua de lagunas, observándose que las lagunas en la cuenca media y alta de río Rímac mayormente son menores a una hectárea.

Cuadro N° 2.16 Clasificación por superficie libre – Cuenca río Rímac

Unidades Hidrográficas(N7)	Código	Numero de Fuentes de Agua / Superficie (Ha)						Total
		0-1	1 - 2	2 - 5	5 - 10	10 - 50	> 50	
Río Santa Eulalia	1375544	40	13	23	7	16	6	105
Santa Eulalia-Parac	1375545	4	3	4	1	0	0	12
Qda. Parac	1375546	8	2	1	1	0	0	12
Parac-Blanco	1375547	3	2	0	0	1	0	6
Alto Río Rímac	1375548	12	3	2	5	2	0	24
Río Blanco	1375549	6	3	4	0	2	1	16
Total		73	26	34	14	21	7	175

- **Clasificación por caudal de salida**

En la fecha del inventario se verificó que de las 175 lagunas registradas sólo 39 tiene salida de agua y 136 no la tienen. Los caudales de salida natural en mayoría son menores a 5 l/s.

Cuadro N° 2.17 Clasificación por rendimiento hídrico – Cuenca río Rímac

Unidades Hidrográficas (N7)	Código	Numero de Fuentes de Agua / Caudal (L/S)						Total
		SECA	0-5	5 - 10	10 - 20	20 - 50	> 50	
Río Santa Eulalia	1375544	80	8	6	2	1	8	105
Santa Eulalia-Parac	1375545	9	2	0	1	0	0	12
Quebrada Parac	1375546	10	1	0	1	0	0	12
Parac-Blanco	1375547	5	1	0	0	0	0	6
Alta Río Rímac	1375548	24	0	0	0	0	0	24
Río Blanco	1375549	8	3	1	1	2	1	16
Total		136	15	7	5	3	9	175

- **Calidad de agua en lagunas**

En los cuadros siguientes, se muestran la calidad de agua en los parámetros de pH y conductividad eléctrica; y los resultados muestran que las aguas en su mayoría son neutras con baja conductividad eléctrica.

Cuadro N° 2.18 Distribución de pH en las lagunas – Cuenca río Rímac

Unidades Hidrográficas (N7)	Código	Numero de Fuentes de Agua / PH			Total
		3,7-6	6-8	8-10	
Río Santa Eulalia	1375544	26	67	12	105
Santa Eulalia-Parac	1375545	3	8	1	12
Quebrada Parac	1375546	2	9	1	12
Parac-Blanco	1375547	0	1	5	6
Alta Río Rímac	1375548	1	16	7	24
Río Blanco	1375549	0	6	10	16
Total		32	107	36	175

Cuadro N° 2.19 Distribución de conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) – Cuenca río Rímac

Unidades Hidrográficas (N7)	Código	Numero de Fuentes de Agua / CE($\mu\text{S}/\text{cm}$)			Total
		20-250	250-500	500-750	
Río Santa Eulalia	1375544	89	16	0	105
Santa Eulalia-Parac	1375545	12	0	0	12
Quebrada Parac	1375546	11	0	1	12
Parac-Blanco	1375547	5	1	0	6
Alta Río Rímac	1375548	14	7	3	24
Río Blanco	1375549	13	3	0	16
6.1.1 Total		144	27	4	175

2.10.4 Almacenamientos artificiales - Represas

La casi nula precipitación en la Región de la Costa, la reducción de glaciares y la restringida precipitación, originan déficits hídricos estacionales y sequías con cierta periodicidad, a lo cual se suma la geografía accidentada de la cuenca del Río Rímac con formaciones naturales propicias para la construcción de presas que regulan las descargas de los ríos y almacenan agua durante el periodo de avenidas, aumentando la disponibilidad de agua para diversos fines durante el periodo de estiaje. Existen 27 lagunas represadas y 3 presas.

2.10.5 Humedales (bofedales)

Un bofedal es un humedal de altura, y se considera una pradera nativa poco extensa con permanente humedad. Los vegetales o plantas que habitan el bofedal reciben el nombre de "vegetales hidrofíticos". Los bofedales se forman en zonas como las del macizo andino

ubicadas sobre los 3.800 metros de altura, en donde las planicies almacenan aguas provenientes de precipitaciones pluviales, deshielo de glaciares y principalmente afloramientos superficiales de aguas subterráneas.

El inventario de fuentes de agua superficial no registra información al respecto humedales (Bofedales).

2.10.6 Otros (aguas de recuperación, trasvases, glaciares, etc)

Aguas de Recuperación son aguas producto de filtraciones procedente de las irrigaciones, donde predominan suelos gruesos y baja eficiencia de riego; también de los embalses. Se encuentran en la parte baja de la cuenca y generalmente son recuperadas para su uso agrícola este tipo de disponibilidad hídrica se genera en la mayoría de las cuencas costeras. Las aguas de trasvases se mencionan en el capítulo VII disponibilidad hídrica en la cuenca.

Los Glaciares, especialmente los tropicales, son excelentes indicadores de la evolución del Clima y ecosistemas vulnerables, son reservas sólidas de agua dulce utilizadas para el consumo y actividades productivas, tales como: agricultura, hidroelectricidad, industria, minería y proyectos agroindustriales. El 71% de los glaciares tropicales de los Andes Sudamericanos se encuentra en el Perú; 22% en Bolivia; 4% en Ecuador y 3% en Colombia (Glaciares y Cambio Climático en la Comunidad Andina - 2007).

En 1,970, en el Perú se inventariaron 18 grandes áreas de glaciares o cordilleras nevadas que cubrían una extensión de 2041km² (UGH – Hidrandina S.A. – 1989); en 1997 se tiene 1595 km² (CONAM); lo que indica que en el transcurso de 27 años, estos se han reducido en 21.8%, que representa una considerable pérdida de masas de hielo.

De acuerdo a los dos inventarios antes mencionados, en la Cordillera Blanca, en 1,970 se observa un área glaciar de 723,37 Km²; pero en 1997, se determinaron solo 611,48 Km², resultando una pérdida glaciar de 111,89 km² que representaba el 15,5%, actualmente la Autoridad Nacional del Agua, con imágenes satelitales delm 2003 viene revisando el inventario de esta cordillera (Recursos Hídricos en el Perú - 2010).

Se han localizado nuevas fuentes agua que corresponden 49 quebradas y 40 lagunas, las cuales no se visualizan en la Carta Nacional (IGN).

Cuadro N° 2.20 Nuevas fuentes inventariadas – Cuenca río Rímac

Unidades Hidrográficas (N7)	Código	Quebradas	Lagunas	Total
Río Santa Eulalia	1375544	25	24	49
Santa Eulalia-Parac	1375545	8	1	9
Quebrada Parac	1375546	6	3	9
Parac-Blanco	1375547	0	1	1
Alta Río Rímac	1375548	0	8	8
Río blanco	1375549	10	3	13
Total		49	40	89

Fuente: Inventario de recursos hídricos en la cuenca del río Rímac.

III CLIMATOLOGIA DE LA CUENCA

En general, existe una relación de dependencia entre las condiciones climáticas de una zona y el desarrollo de los diversos campos económicos y sociales, tales como la agricultura, la ganadería, la caza, la industria, el transporte, la vivienda, etc., obteniendo los óptimos beneficios cuando el clima es científicamente aprovechado.

Las características climáticas de la cuenca alta permiten definir la zona, según la clasificación del Dr. L.R. Holdrige, como una formación Páramo muy húmedo Sub-Alpino, la que se encuentra ubicada en el sector andino conocido como puna y se extiende entre las cotas 3800 y 4800 msnm.

El ambiente se caracteriza por presentar un clima muy húmedo y frígido; es decir con precipitaciones cuyo promedio anual esta alrededor de 647.6 mm, con oscilaciones de 525.3 a 874.6 mm, principalmente presentados en el período diciembre-marzo, en relación directa con la altitud.

3.1 PARÁMETROS CLIMATOLÓGICOS

Los principales parámetros climáticos que definen o caracterizan el clima de la cuenca Rímac son: precipitación, temperatura, humedad relativa, evaporación, horas de sol y viento; son los de mayor importancia en cuanto a la tipificación o caracterización de la climatología de la cuenca del río Rímac. Estos parámetros provienen de los registros de las distintas estaciones meteorológicas instaladas en la cuenca Rímac y cuencas vecinas. A continuación se muestra la descripción de los parámetros climatológicos.

3.1.1 Precipitación

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

Se puede llamar precipitación a la caída del agua de las nubes ya sea en estado sólido o en estado líquido. Las pequeñas gotas de agua que forman las nubes son de dimensiones tan diminutas que se necesita reunir unos cuantos cientos de miles de esas pequeñas gotitas para formar una gota de llovizna, y varios millones de gotas para formar una gota grande de lluvia.

La información pluviométrica en la cuenca proviene de los registros de 27 estaciones meteorológicas, de los cuales 8 estaciones corresponden a cuencas vecinas, tales como Estación San Cristóbal, Pariacancha, Lachaqui, Arahuary, Aeropuerto Internacional, Cieneguilla, Santiago de Tuna y Chalilla.

3.1.1.1 Régimen de la precipitación estacional

Las características estacionales del clima en la región de la cuenca del río Rímac, se manifiestan principalmente en la variación del régimen de las precipitaciones.

En el Cuadro N° 3.1 se presenta el promedio multimensual de la precipitación total mensual de cada una de las estaciones meteorológicas, asimismo en la Figura N° 3.1, 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:

El período de lluvias de mayor magnitud comienza a partir del mes de diciembre y se prolonga hasta marzo, corresponde el 72.52 % en promedio de las estaciones, de las precipitaciones totales anuales.

El período seco (invierno), comprende los meses de mayo a setiembre, las precipitaciones con sus mínimos valores llegan a ser del 7.15 % en promedio de las estaciones, de las precipitaciones totales anuales.

Los meses transitorios corresponden a abril, octubre a noviembre, presentan el 20.33 % en promedio de las estaciones, de las precipitaciones totales anuales.

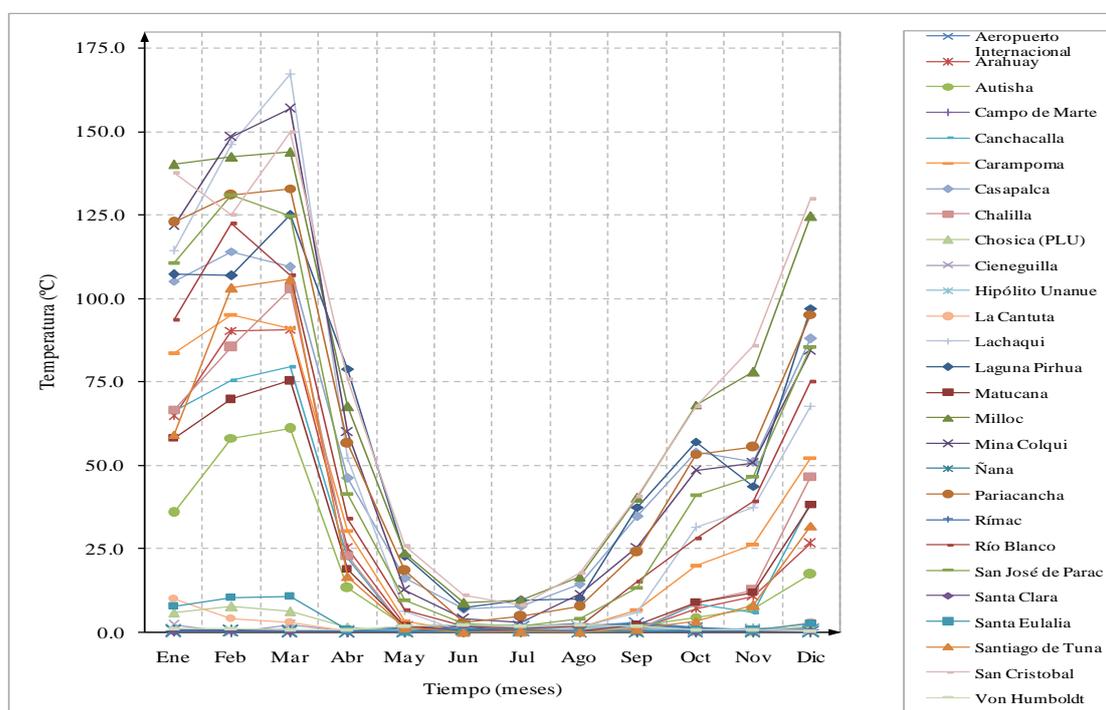
En el Cuadro N° 3.1 se muestran la variación mensual de las precipitaciones totales mensuales en cada estación meteorológica.

Cuadro N° 3.1 Precipitación total mensual – Promedio multimensual
Estaciones de la cuenca del río Rímac y cuencas vecinas

N°	Estación	Altitud (msnm)	Mes												Total Anual
			Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
1	Aeropuerto Internacional	13.0	0.1	0.2	0.1	0.0	1.3	1.6	1.2	1.4	2.6	0.9	0.4	0.6	10.3
2	Arahuay	2800.0	64.7	90.3	90.8	24.9	2.1	0.0	0.0	0.0	0.6	6.9	10.6	26.4	317.4
3	Autisha	2171.0	35.7	58.1	60.9	13.2	1.9	0.0	0.0	0.2	1.6	4.5	7.0	17.2	200.2
4	Campo de Marte	159.0	0.2	0.3	0.2	0.0	0.1	0.9	1.2	2.2	1.1	0.3	0.6	0.6	7.8
5	Canchacalla	2554.0	66.1	75.5	79.5	22.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.4	8.3	5.8	38.9	297.1
6	Carampoma	3489.0	83.7	95.1	90.8	30.3	3.2	0.3	0.8	1.4	6.7	19.8	26.1	52.3	410.4
7	Casapalca	4214.0	105.2	114.1	109.6	46.2	16.1	6.7	7.7	14.3	34.8	54.0	50.9	87.9	647.6
8	Chalilla	4050.0	66.7	85.3	102.8	23.0	0.9	0.0	0.0	0.5	0.8	8.9	12.5	46.7	348.1
9	Chosica (PLU)	850.0	5.7	7.7	6.2	1.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2	1.8	23.3
10	Cieneguilla	280.0	2.1	0.0	2.1	0.3	0.0	0.1	1.0	0.2	0.0	0.1	0.3	0.2	6.4
11	Hipólito Unanue	70.0	0.6	0.2	0.3	0.1	0.3	0.8	1.6	1.5	1.4	0.4	0.6	0.4	8.3
12	La Cantuta	850.0	9.9	4.0	2.9	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	2.9	20.5
13	Lachaqui	3668.0	114.2	146.1	167.2	52.1	6.4	0.0	0.0	1.5	5.9	31.2	37.3	67.8	629.8
14	Laguna Pirhua	4750.0	107.3	106.9	125.1	78.9	22.7	7.2	9.5	9.7	37.5	57.0	43.8	97.1	702.7
15	Matucana	2479.0	58.1	69.7	75.4	18.8	1.8	0.3	0.0	0.2	1.9	8.9	11.9	38.2	285.2
16	Milloc	4398.0	140.2	142.3	144.0	67.5	23.7	8.7	9.5	16.4	40.2	68.2	78.0	124.5	863.2
17	Mina Colqui	4600.0	121.8	148.4	157.0	59.9	12.5	4.0	2.8	11.4	25.6	48.2	50.5	84.4	726.4
18	Ñana	460.0	0.3	0.4	0.1	0.0	0.0	0.7	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8
19	Pariacancha	3800.0	122.8	130.9	133.0	56.5	18.4	2.9	4.6	7.6	23.8	53.4	55.3	95.2	704.6
20	Rímac	35.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6
21	Río Blanco	3550.0	93.7	122.4	106.8	34.1	6.5	1.6	0.9	1.9	15.2	28.0	39.0	75.1	525.3
22	San José de Parac	3860.0	110.8	131.0	124.7	41.3	9.5	2.6	1.7	3.9	13.4	41.0	46.6	85.6	612.1
23	Santa Clara	415.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	2.2
24	Santa Eulalia	982.0	7.6	10.3	10.7	0.5	0.2	0.0	0.0	0.0	0.3	0.7	0.5	2.6	33.4
25	Santiago de Tuna	2921.0	59.3	103.1	105.7	16.6	1.4	0.0	0.1	0.1	0.9	3.4	8.1	31.9	330.4
26	San Cristobal	4700.0	137.6	124.9	150.0	75.9	25.7	11.1	8.1	17.5	40.6	67.5	85.6	130.0	874.6
27	Von Humboldt	238.0	1.0	1.1	0.5	0.6	1.7	2.1	1.7	2.2	1.8	0.7	0.7	0.4	14.5

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 3.1 Variación Mensual de la Precipitación – Promedio multimensual
Estaciones de la cuenca del río Rímac y cuencas vecinas



Fuente: Elaboración propia

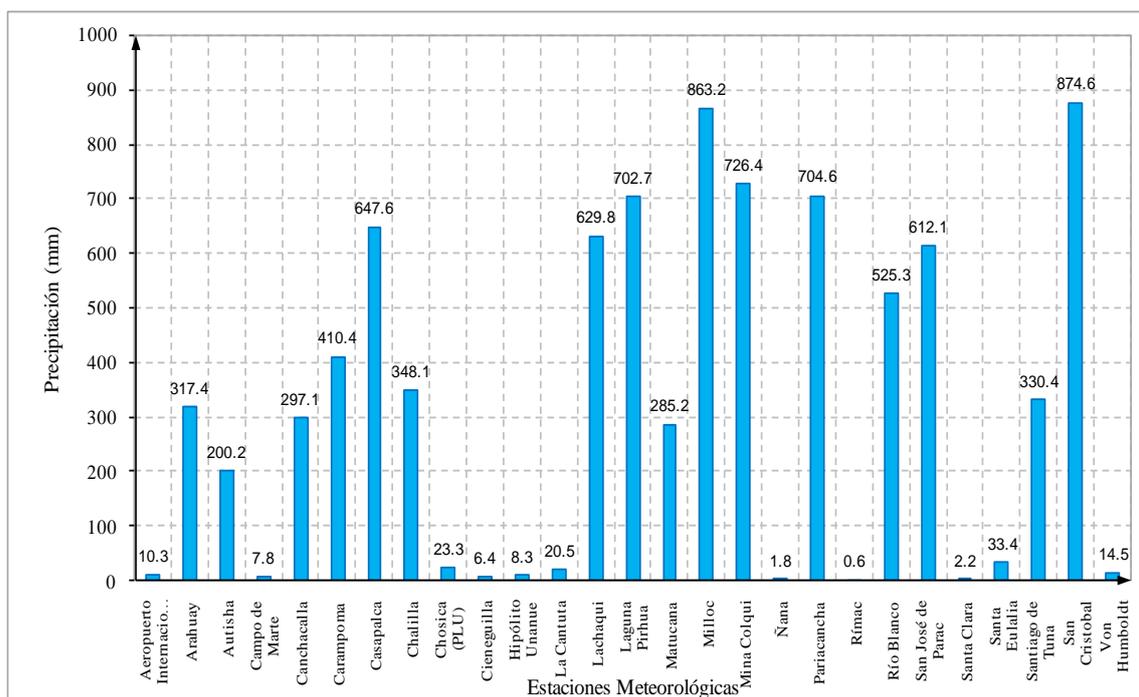
3.1.1.2 Régimen de la precipitación anual

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

La información pluviométrica utilizada en el presente estudio proviene de los registros de 27 estaciones meteorológicas de los cuales 13 están ubicadas dentro de la cuenca Rímac y 8 fuera del ámbito de la cuenca.

En la Figura N° 3.2 se presenta en forma gráfica la distribución de precipitación total anual en la región de la cuenca del río Rímac. Se observa que la precipitación total anual en la cuenca varía de 0.6 mm (Rímac) a 874.5 mm (San Cristóbal). Los valores más altos se registran en la parte alta de la cuenca. Esta particularidad es a consecuencia de la alta radiación, vientos generalmente más fuertes a niveles más bajos.

Figura N° 3.2 Precipitación total anual – Promedio multianual
Estaciones de la cuenca del río Rímac y cuencas vecinas



Fuente: Elaboración Propia

3.1.1.3 Variación espacial de la precipitación en la cuenca

En la Figura N° 3.3, 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 Rímac, se observa que los valores de la precipitación en la cuenca varían de 0.6 mm a 874.6 mm. Los valores altos se registran en la parte alta de la cuenca; y los menores se registran en la parte baja de la cuenca.

3.1.1.4 Análisis de precipitaciones máximas en 24 horas

Las precipitaciones máximas en 24 horas, correspondientes a las 27 estaciones meteorológicas ubicadas en la cuenca del río Rímac y cuencas vecinas, sus valores máximos anuales se muestran en el Cuadro N° 3.2.

La precipitación máxima se produce en la parte alta de la cuenca con un valor de 89.9 mm, en la estación Santiago de Tuna.

Cuadro N° 3.2 Precipitación máxima en 24 horas (mm) – Período 1964-2009
Estaciones meteorológicas de la cuenca del río Rímac y cuencas vecinas

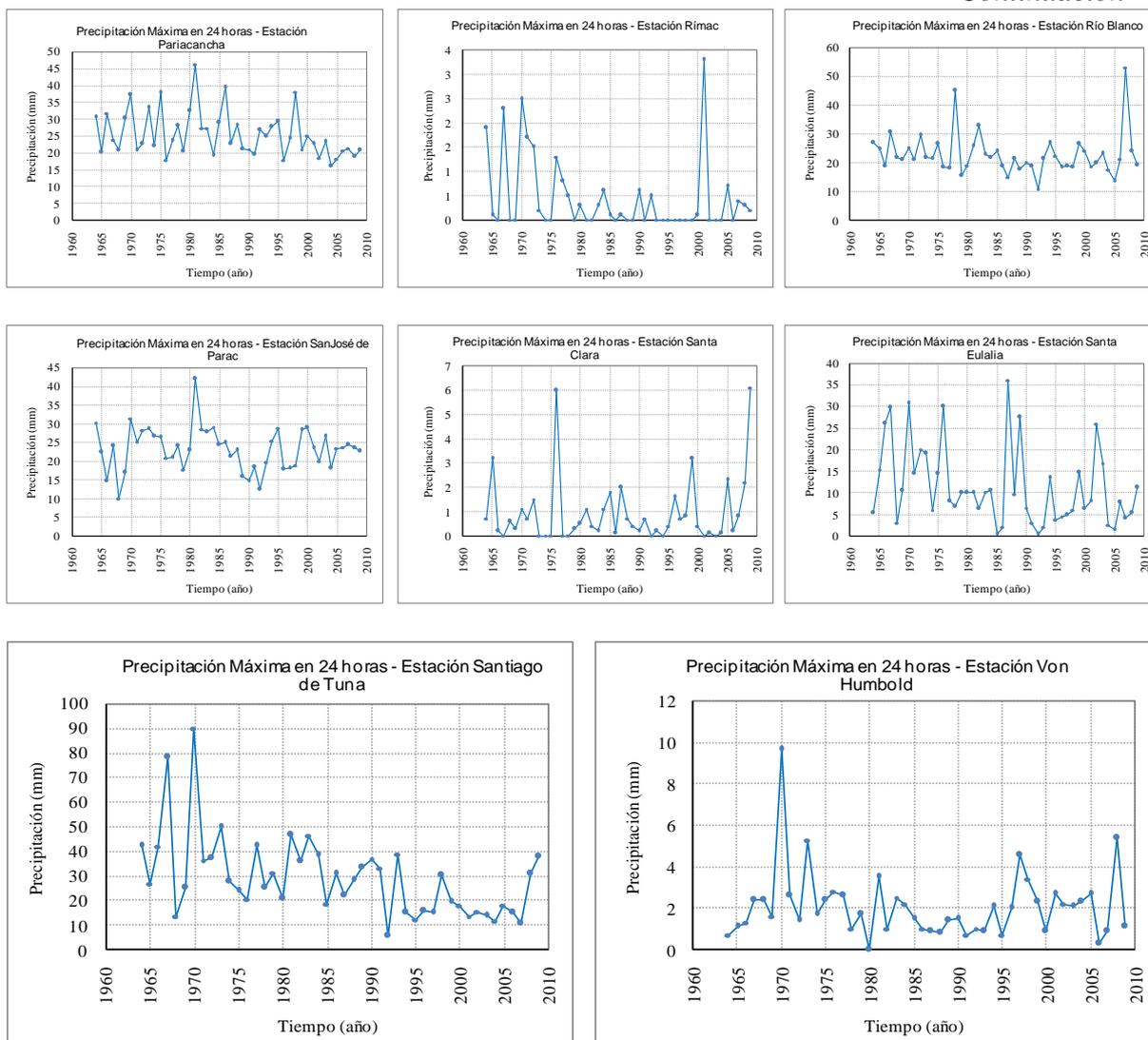
Año	Estación Meteorológica																										
	Arahuay	Aurichin	Campo de Marte	Canchacalla	Carampona	Caspalca	Chañilla	Chosica (PLU)	Cieneguilla	Hípólito Umanue	La Cantuta	Lachaqi	Matucana	Milloc	Mina Colqui	Putucancha	Rímac	Río Blanco	San José de Parac	Sana Clara	Sana Estalía	Santiago de Tuna	Von Humboldt				
1964	21.2	18.3	2.0	30.4	25.0	22.8	34.3	10.6	1.4	5.0	9.4	41.2	22.1	31.2	16.6	30.5	1.9	26.8	30.2	0.7	5.4	42.2	0.7				
1965	20.7	20.5	4.9	57.8	20.5	30.4	9.5	7.2	1.8	1.0	17.6	34.6	14.9	33.2	21.9	20.2	0.1	24.6	22.3	3.2	15.3	26.7	1.1				
1966	19.6	21.1	4.0	33.4	10.6	18.4	42.0	13.8	1.5	3.6	7.5	29.7	17.1	35.8	15.3	31.7	0.0	18.9	14.6	0.2	26.0	42.0	1.3				
1967	16.7	14.7	0.5	23.0	22.2	17.7	25.4	6.9	1.2	0.9	11.2	36.6	16.7	40.0	13.3	23.8	2.3	30.5	24.0	0.0	29.8	78.1	2.4				
1968	17.7	15.5	0.9	20.9	15.5	17.3	42.1	3.2	2.1	1.0	2.5	17.3	15.4	31.9	13.6	20.8	0.0	21.7	10.0	0.6	3.0	13.5	2.4				
1969	29.5	21.4	1.7	36.3	21.3	26.0	26.5	6.8	0.8	1.7	6.3	18.9	12.0	21.5	21.6	30.3	0.0	21.1	17.0	0.3	10.6	25.1	1.6				
1970	35.1	12.5	2.4	65.2	30.2	17.6	24.1	11.9	0.5	16.0	0.2	59.5	31.7	35.5	24.9	37.1	2.5	25.2	31.3	1.1	30.8	89.9	9.7				
1971	30.1	15.1	1.9	11.6	30.4	18.0	22.6	15.1	1.5	1.5	1.7	18.8	23.3	31.8	32.5	20.7	1.7	21.1	24.9	0.7	14.5	36.2	2.6				
1972	27.3	15.4	3.6	65.1	27.5	26.8	39.1	9.5	1.4	2.0	1.7	40.7	18.1	58.4	13.8	22.6	1.5	29.5	28.2	1.5	20.0	37.0	1.4				
1973	34.7	27.4	0.9	21.0	32.6	18.0	22.3	6.9	4.5	0.3	0.8	22.4	25.2	37.0	36.7	33.5	0.2	21.8	28.6	0.0	19.2	49.7	5.3				
1974	17.7	11.2	3.4	17.4	28.2	21.7	23.3	1.6	1.5	1.3	4.7	26.2	11.9	21.3	19.8	22.0	0.0	21.4	26.7	0.0	6.0	27.7	1.7				
1975	14.5	14.6	0.7	15.1	17.0	22.7	25.3	10.8	0.2	0.5	2.8	25.1	10.8	28.4	18.4	37.9	0.0	26.5	26.4	0.0	14.5	24.0	2.4				
1976	38.2	20.4	1.6	51.0	24.5	23.6	37.8	11.9	2.0	1.7	32.2	28.3	15.8	79.4	14.4	17.7	1.3	18.5	20.8	6.0	30.0	20.5	2.8				
1977	34.2	18.6	1.8	19.9	23.8	22.8	25.5	6.5	1.4	0.9	3.4	65.0	35.2	32.9	12.0	23.5	0.8	18.1	20.9	0.0	8.0	42.1	2.6				
1978	15.0	9.3	0.6	14.1	14.8	23.1	31.3	1.6	1.0	1.0	1.4	18.9	7.8	33.9	16.0	28.0	0.5	45.0	24.1	0.0	6.8	25.3	1.0				
1979	9.8	10.3	0.8	16.2	20.3	23.7	31.6	7.5	0.3	2.9	30.4	29.6	12.3	21.1	18.2	20.4	0.0	15.4	17.7	0.3	10.0	31.1	1.7				
1980	46.5	16.5	4.0	15.3	20.6	21.1	11.3	8.7	0.7	1.0	1.2	27.1	8.8	24.8	17.4	32.5	0.3	19.0	22.9	0.5	10.0	20.6	0.0				
1981	15.9	13.7	3.0	65.2	30.3	22.7	29.4	5.7	2.2	5.8	5.4	55.9	12.5	37.9	18.2	46.2	0.0	25.7	42.0	1.1	10.0	46.5	3.5				
1982	11.2	11.2	1.8	31.4	15.5	27.9	38.6	14.0	0.5	0.7	8.3	31.7	9.5	26.2	16.4	27.2	0.0	32.7	28.5	0.4	6.3	35.8	1.0				
1983	30.0	20.5	7.0	13.1	31.2	29.5	8.7	7.2	1.5	5.8	15.4	25.9	25.0	38.3	16.4	27.2	0.3	22.8	27.7	0.2	10.2	46.3	2.2				
1984	32.5	14.0	1.4	51.4	20.8	31.0	22.1	5.4	0.7	2.0	6.6	36.9	21.5	59.8	18.4	19.2	0.6	21.8	29.1	1.1	10.5	38.6	2.2				
1985	14.0	6.4	0.9	65.2	21.4	21.5	63.3	10.5	1.3	0.4	1.5	40.9	19.8	37.0	18.6	29.0	0.1	23.9	24.3	1.8	0.4	18.6	1.5				
1986	14.9	12.8	0.5	32.0	33.3	23.0	44.7	7.3	2.0	3.3	0.9	29.9	27.2	34.6	12.8	39.5	0.0	18.9	25.0	0.1	2.0	30.7	1.0				
1987	13.0	11.6	1.4	27.2	22.7	44.0	13.1	16.1	0.8	1.3	8.4	24.0	20.9	20.0	9.6	22.7	0.1	14.9	21.2	2.0	36.0	22.0	0.9				
1988	20.0	9.8	0.3	11.9	31.5	27.0	28.2	2.9	1.0	1.3	4.6	29.9	12.3	32.4	13.8	28.5	0.0	21.3	22.9	0.7	9.7	28.2	0.8				
1989	17.7	20.3	0.5	16.7	19.6	20.0	32.5	5.2	1.7	2.0	2.6	22.7	10.7	33.1	13.5	21.0	0.0	17.6	15.8	0.4	27.6	33.5	1.4				
1990	22.0	14.7	1.0	6.5	25.6	13.0	17.7	3.2	0.6	1.6	4.1	19.2	10.6	46.2	12.3	20.9	0.6	20.1	14.6	0.2	6.5	36.8	1.5				
1991	21.4	29.7	3.2	13.4	23.3	20.1	20.6	3.7	0.9	2.5	1.9	26.6	17.6	44.4	9.6	19.5	0.0	18.7	18.4	0.7	3.0	33.2	0.7				
1992	12.0	6.3	0.6	8.4	19.2	14.7	13.5	2.3	0.2	2.9	14.3	20.0	30.5	30.8	7.1	26.8	0.5	10.9	12.4	0.0	0.5	5.8	1.0				
1993	27.0	23.3	3.2	17.4	22.4	26.1	32.0	2.4	2.3	2.4	1.6	20.3	30.3	37.6	13.0	24.8	0.0	21.3	19.7	0.2	2.0	38.7	0.9				
1994	16.5	11.2	0.6	16.4	17.9	23.2	10.5	16.0	2.1	1.5	1.5	30.9	15.5	49.2	10.2	27.7	0.0	27.0	25.4	0.0	13.5	14.9	2.1				
1995	11.4	9.3	2.9	11.5	15.1	30.5	61.9	3.0	2.0	1.8	3.0	17.1	22.3	54.4	15.5	29.2	0.0	22.3	28.8	0.4	3.8	12.2	0.7				
1996	18.5	18.4	0.9	18.0	17.2	21.0	15.9	5.8	0.6	1.2	1.5	17.7	13.6	23.8	15.1	17.7	0.0	18.5	17.8	1.6	4.5	15.7	2.0				
1997	25.4	10.2	1.2	12.1	15.7	19.5	17.5	2.8	1.0	5.1	2.8	24.8	9.5	18.3	14.5	24.2	0.0	18.9	18.1	0.7	4.9	15.1	4.6				
1998	30.2	22.2	0.6	46.7	24.1	31.0	49.9	13.2	0.2	1.4	0.1	26.8	21.9	27.5	22.8	38.0	0.0	18.5	18.8	0.8	6.0	30.2	3.4				
1999	23.8	22.1	0.8	39.5	15.5	18.4	24.8	6.5	3.8	0.4	6.1	22.6	19.8	28.3	11.2	20.9	0.0	26.5	28.4	3.2	14.7	19.6	2.3				
2000	31.7	9.5	0.8	24.3	15.2	14.8	16.2	6.0	0.6	1.7	4.4	19.5	14.3	31.3	17.3	25.0	0.1	24.1	28.9	0.4	6.4	17.9	0.9				
2001	21.5	14.1	1.7	18.9	17.4	16.5	19.0	5.2	0.4	0.3	5.4	26.2	16.2	45.6	18.9	22.6	3.3	18.6	23.5	0.0	8.0	13.5	2.7				
2002	27.2	16.4	1.7	18.1	21.2	22.8	84.4	30.7	1.4	1.9	37.2	23.3	15.7	24.7	22.7	18.4	0.0	20.0	19.9	0.1	25.9	15.4	2.2				
2003	22.9	25.5	0.7	24.4	18.3	29.3	38.9	2.8	2.2	1.2	5.2	21.5	19.5	17.6	20.6	23.3	0.0	23.2	26.6	0.0	16.8	14.0	2.1				
2004	25.5	14.4	0.4	32.7	14.8	17.8	15.1	1.6	1.0	1.4	2.8	21.2	18.0	21.1	16.9	16.0	0.0	17.5	18.1	0.1	2.5	11.7	2.3				
2005	12.1	11.7	0.8	15.8	16.3	15.6	19.7	1.2	1.0	1.5	36.6	16.5	21.5	19.3	12.1	18.1	0.7	13.7	23.4	2.3	1.5	18.0	2.7				
2006	19.8	30.8	0.8	31.4	24.1	18.8	43.1	5.6	0.3	6.5	5.6	19.4	14.3	23.2	18.4	20.6	0.0	21.2	23.6	0.2	7.8	15.1	0.3				
2007	15.7	27.8	1.1	21.7	18.6	26.3	29.0	7.7	0.7	1.0	9.1	23.6	16.6	27.5	17.2	21.2	0.4	53.0	24.4	0.8	4.1	10.5	0.9				
2008	20.6	16.9	2.3	44.5	17.5	18.5	42.0	4.0	0.1	3.0	29.6	25.7	16.5	19.3	32.1	18.9	0.3	24.0	23.5	2.2	5.3	30.8	5.4				
2009	40.5	19.3	2.5	15.0	18.7	19.5	20.8	8.0	2.0	1.0	1.1	27.9	23.1	26.2	17.6	20.8	0.2	19.2	22.7	6.1	11.2	38.0	1.1				
Nº Datos	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46				
Promedio	22.7	16.5	1.7	27.5	21.5	22.5	29.3	7.5	1.3	2.3	7.9	28.0	18.0	33.3	17.2	25.4	0.4	22.7	23.1	0.9	11.3	29.1	2.1				
Desv.Est.	8.6	6.0	1.4	16.8	5.6	5.7	15.2	5.4	0.9	2.6	9.8	10.8	6.5	12.4	5.8	6.7	0.8	7.2	5.7	1.4	9.2	16.3	1.6				
Máxima	46.5	30.8	7.0	65.2	33.3	44.0	84.4	30.7	4.5	16.0	37.2	65.0	35.2	79.4	36.7	46.2	3.3	53.0	42.0	6.1	36.0	89.9	9.7				
Mínima	9.8	6.3	0.3	6.5	10.6	13.0	8.7	1.2	0.1	0.3	0.1	16.5	7.8	17.6	7.1	16.0	0.0	10.9	10.0	0.0	0.4	5.8	0.0				

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 3.4 Precipitación máxima en 24 horas (mm)- Serie anual
Estaciones meteorológicas de la cuenca Rímac y cuencas vecinas



Continuación



3.1.2 Temperatura

La temperatura del aire y sus variaciones diarias y estacionales son muy importantes para el desarrollo de las plantas, constituyendo uno de los factores primordiales que influyen directamente en la velocidad de su crecimiento, longitud de su ciclo vegetativo y en las fases de desarrollo de plantas perennes.

Con la información meteorológica disponible se ha realizado un análisis de la frecuencia y distribución de los valores de temperaturas medias, máximas y mínimas.

En todos los observatorios de la cuenca del río Rímac y observatorios de apoyo, el régimen de temperaturas medias, máximas y mínimas varía uniformemente durante todo el año de acuerdo a su ubicación geográfica espacial. Se observa que existe una diferencia marcada de la variación térmica de la cuenca debido a las zonas de vida diferentes existentes en la cuenca.

El análisis de la temperatura se inició seleccionándose las estaciones con esta información y se evaluó su consistencia en forma similar a la realizada con información pluviométrica; en algunos casos fue necesaria la completación de datos, pero como esta variable se mantiene casi invariante en el tiempo, las normales no han sido afectadas sustancialmente.

Las estaciones agrupadas estuvieron ubicadas en las cuencas del río Rímac y Mantaro; altitudinalmente se ubicaron desde los 13 a 4479 msnm.

3.1.2.1 Régimen de temperaturas medias

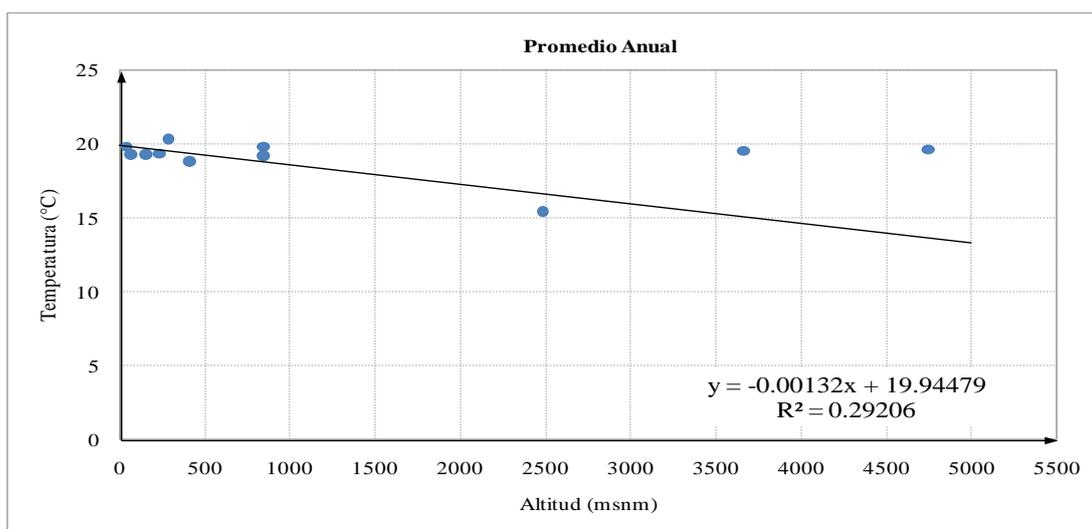
Las temperaturas medias más bajas se producen en el mes de julio, mientras que las más elevadas se registran en los meses de noviembre a marzo, por lo general centradas en Enero.

Se consideró la información histórica de 12 estaciones meteorológicas de los cuales 3 son estaciones de cuencas vecinas. Ver en el Cuadro N° 3.3, y la representación gráfica de la variación mensual de la temperatura media se ve en la Figura N° 3.5.

Debido a la carencia de estadísticas de temperatura media en algunas estaciones han sido estimados (ver Cuadro N° 3.4), los valores de temperatura media de las estaciones resaltadas de color Azul 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 la Figura N° 3.5 se presenta los parámetros de la ecuación de correlación temperatura media - altitud, en forma anual.

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

Figura N° 3.5 Análisis de correlación de temperatura media anual versus altitud
Estaciones meteorológicas de la cuenca Rímac y cuencas vecinas

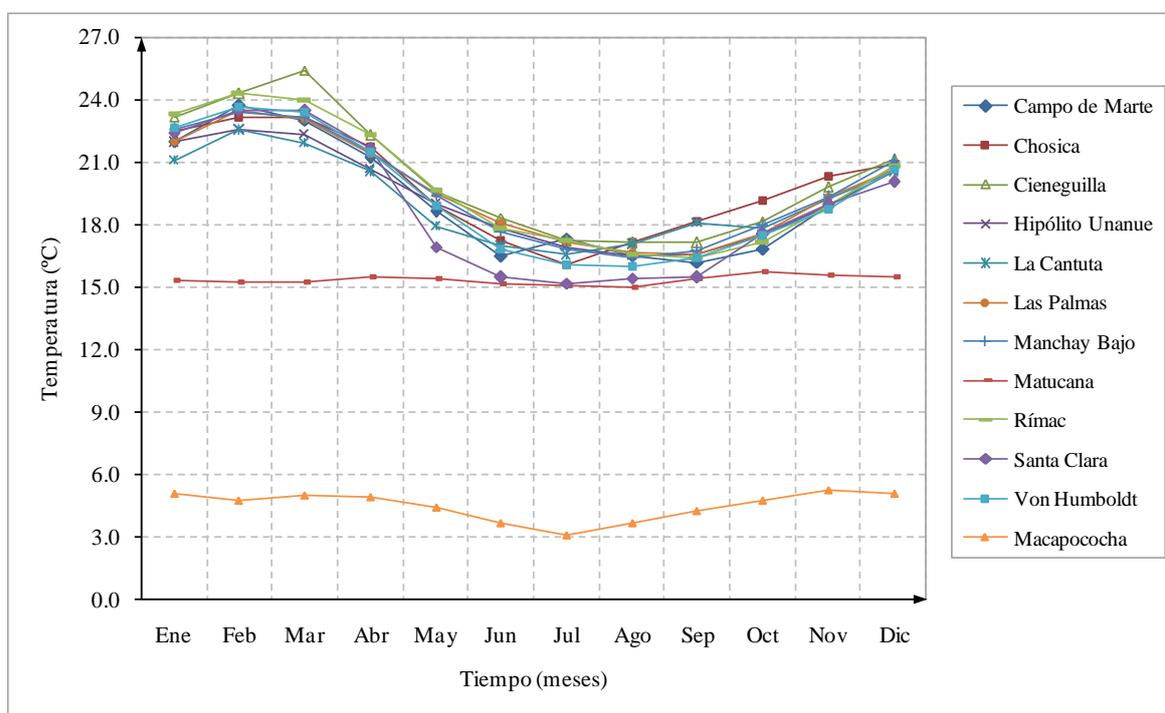


Cuadro N° 3.3 Temperatura media mensual (°C) – Promedio multimensual
Estaciones de la cuenca del río Rímac y cuencas vecinas

N°	Estación	Altitud (msnm)	Mes												Prom Anual
			Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
1	Campo de Marte	159.0	22.0	23.8	23.0	21.2	18.6	16.5	17.3	16.5	16.2	16.8	18.9	20.8	19.3
2	Chosica	851.0	22.5	23.2	23.1	21.7	18.9	17.2	16.1	17.1	18.2	19.1	20.3	20.9	19.9
3	Cieneguilla	280.0	23.2	24.3	25.4	22.3	19.6	18.4	17.2	17.1	18.2	19.8	21.1	20.3	
4	Hipólito Unanue	70.0	22.0	22.6	22.3	20.7	19.0	17.8	16.9	16.5	16.6	17.4	18.9	20.6	19.3
5	La Cantuta	850.0	21.1	22.6	21.9	20.5	17.9	16.9	16.5	17.0	18.1	17.9	19.2	20.5	19.2
6	Las Palmas	3668.0	22.0	23.5	23.1	21.4	19.5	18.0	17.2	16.6	16.6	17.6	19.3	20.6	19.6
7	Manchay Bajo	148.0	22.6	23.4	23.1	21.5	19.4	17.6	16.8	16.4	16.7	18.0	19.3	21.1	19.7
8	Matucana	2479.0	15.3	15.3	15.3	15.5	15.4	15.2	15.0	15.0	15.4	15.8	15.6	15.5	15.4
9	Rímac	35.0	23.3	24.3	23.9	22.3	19.6	17.8	17.2	16.6	16.4	17.1	18.9	20.8	19.9
10	Santa Clara	415.0	22.4	23.5	23.5	21.7	16.9	15.5	15.2	15.4	15.5	17.6	19.0	20.1	18.8
11	Von Humboldt	238.0	22.6	23.7	23.4	21.5	18.9	16.8	16.1	16.0	16.4	17.5	18.7	20.7	19.4
12	Macapococha	4479.0	5.1	4.7	5.0	4.9	4.4	3.6	3.0	3.6	4.2	4.7	5.2	5.1	4.5

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 3.6 Variación mensual de la temperatura media (°C) – Promedio multimensual
Estaciones de la cuenca del río Rímac y cuencas vecinas



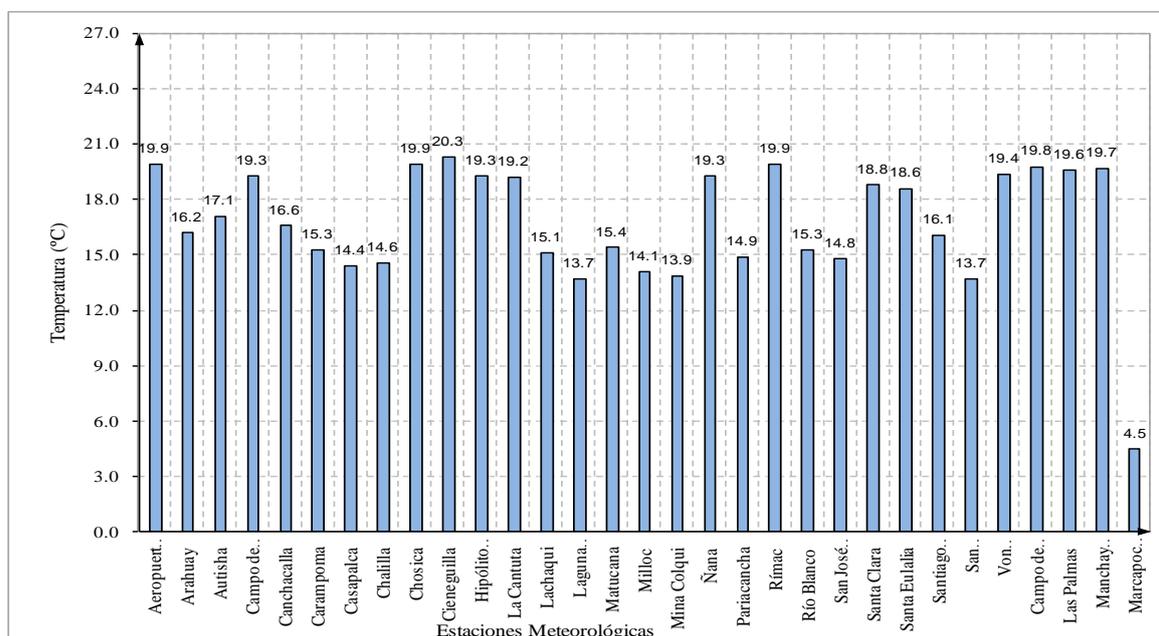
Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 3.4 Temperatura media anual (°C)
Estaciones meteorológicas de la cuenca Rímac y cuencas vecinas

N°	Estación	Altitud (msnm)	Prom Anual
1	Aeropuerto Internacional	13.0	19.9
2	Arahuay	2800.0	16.2
3	Autisha	2171.0	17.1
4	Campo de Marte	159.0	19.3
5	Canchacalla	2554.0	16.6
6	Carampoma	3489.0	15.3
7	Casapalca	4214.0	14.4
8	Chalilla	4050.0	14.6
9	Chosica	851.0	19.9
10	Cieneguilla	280.0	20.3
11	Hipólito Unanue	70.0	19.3
12	La Cantuta	850.0	19.2
13	Lachaqui	3668.0	15.1
14	Laguna Pirhua	4750.0	13.7
15	Matucana	2479.0	15.4
16	Milloc	4398.0	14.1
17	Mina Colqui	4600.0	13.9
18	Ñana	460.0	19.3
19	Pariacancha	3800.0	14.9
20	Rímac	35.0	19.9
21	Río Blanco	3550.0	15.3
22	San José de Parac	3860.0	14.8
23	Santa Clara	415.0	18.8
24	Santa Eulalia	982.0	18.6
25	Santiago de Tuna	2921.0	16.1
26	San Cristobal	4700.0	13.7
27	Von Humboldt	238.0	19.4
28	Campo de Marte CGFAP	137.0	19.8
29	Las Palmas	76.0	19.6
30	Manchay Bajo	148.0	19.7
31	Marcapococha	4479.0	4.5

Nota: Valores de color azul son datos estimados mediante la ecuación de correlación.

Figura N° 3.7 Temperatura media anual (°C) – Promedio multianual
Estaciones meteorológicas de la cuenca del río Rímac y cuencas vecinas



En la Figura N° 3.7 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 Rímac.

3.1.2.2 Régimen de temperaturas máximas

La temperatura máxima de las estaciones, presenta una variación térmica en forma mensual presentando una máxima media anual de 25.0°C, la mayor temperatura máxima se presenta en el mes de febrero con 29.9°C y la temperatura mínima se presenta en el mes de julio con 18.6°C.

De mismo modo que las temperaturas medias, los valores de temperaturas máximas de algunas estaciones han sido estimados mediante un análisis de regresión lineal. En la Figura N° 3.7 se presenta los parámetros de la ecuación de correlación temperatura máxima media – altitud.

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

En el Cuadro N° 3.6 se presenta las estaciones con valores registrados y valores completados.

En la Figura N° 3.8 se verifica la variación mensual de la temperatura máxima, durante el año la mayor temperatura máxima se registra en el mes de febrero, esto en forma general en todas las estaciones de la región.

Figura N° 3.8 Distribución espacial de la temperatura media anual (°C) – Isotermas
Cuenca del río Rímac

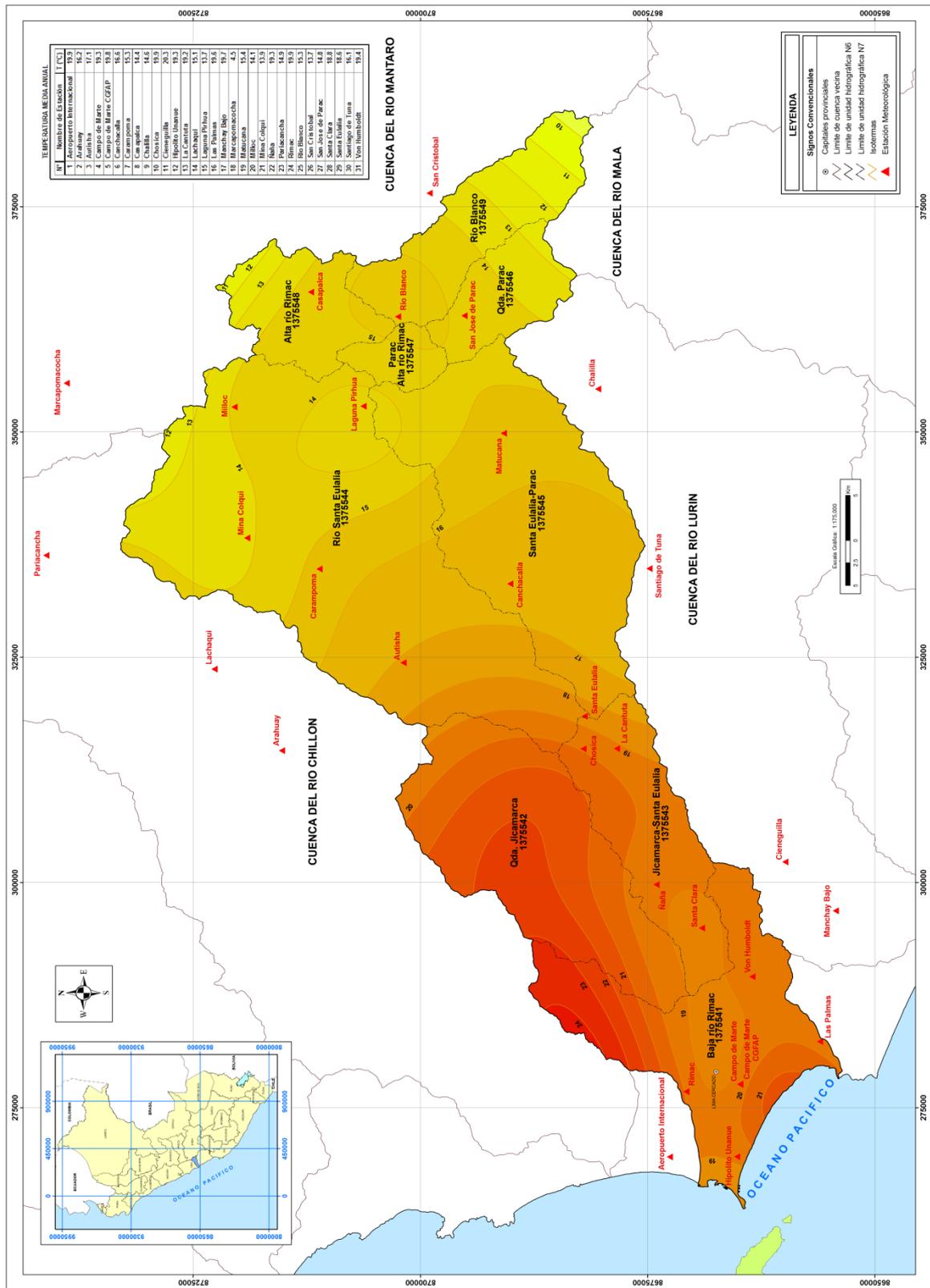
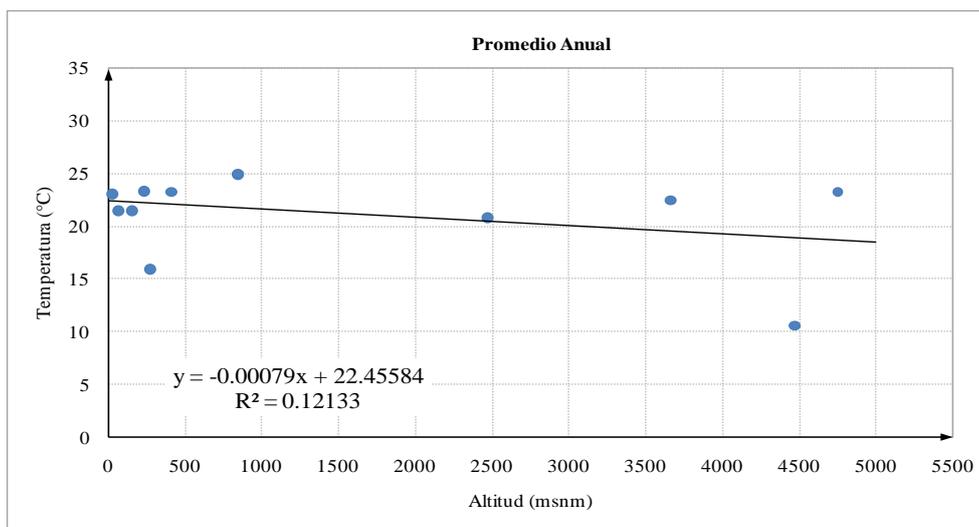


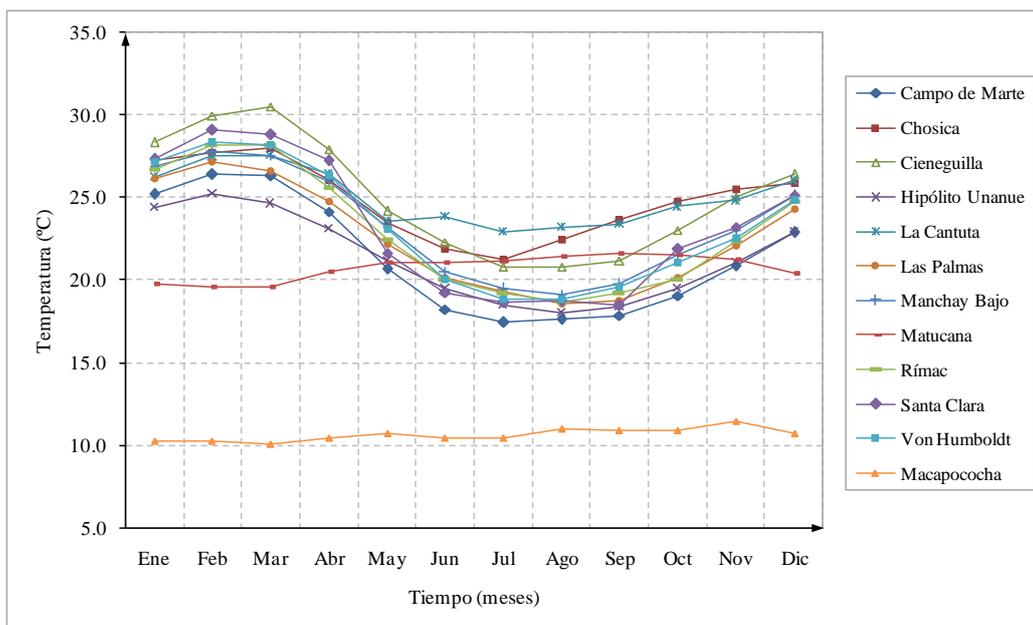
Figura N° 3.9 Análisis de correlación de temperatura máxima anual versus altitud
Estaciones meteorológicas de la cuenca Rímac y cuencas vecinas



Cuadro N° 3.5 Temperatura máxima media mensual (°C) – Promedio multimensual
Estaciones de la cuenca del río Rímac y cuencas vecinas

N°	Estación	Altitud (msnm)	Mes												Prom Anual
			Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
1	Campo de Marte	159.0	25.2	26.4	26.3	24.2	20.7	18.2	17.4	17.6	17.9	19.1	20.9	22.9	21.4
2	Chosica	851.0	27.3	27.7	28.0	26.0	23.5	21.9	21.3	22.4	23.7	24.8	25.5	25.9	24.8
3	Cieneguilla	280.0	28.3	29.9	30.5	27.9	24.2	22.3	20.8	20.8	21.2	23.0	25.0	26.4	25.0
4	Hipólito Unanue	70.0	24.4	25.2	24.7	23.1	21.2	19.5	18.5	18.0	18.4	19.5	21.1	22.9	21.4
5	La Cantuta	850.0	26.3	27.5	27.5	26.5	23.6	23.9	22.9	23.2	23.4	24.5	24.8	26.0	25.0
6	Las Palmas	3668.0	26.2	27.2	26.7	24.8	22.2	20.2	19.3	18.6	18.7	20.2	22.1	24.3	22.5
7	Manchay Bajo	148.0	26.9	27.8	27.5	25.9	23.2	20.5	19.5	19.2	19.8	21.5	23.0	25.1	23.3
8	Matucana	2479.0	19.8	19.6	19.6	20.5	21.1	21.1	21.2	21.4	21.7	21.5	21.2	20.4	20.7
9	Rímac	35.0	26.7	28.2	28.2	25.6	22.5	20.1	19.2	18.6	19.2	20.1	22.4	24.8	23.0
10	Santa Clara	415.0	27.4	29.1	28.8	27.3	21.7	19.3	18.6	18.7	18.5	21.9	23.2	25.2	23.3
11	Von Humboldt	238.0	27.1	28.4	28.2	26.3	23.1	20.0	18.9	18.8	19.6	21.1	22.5	24.8	23.2
12	Macapococha	4479.0	10.2	10.2	10.1	10.5	10.7	10.4	10.4	10.9	10.9	10.9	11.5	10.7	10.6

Figura N° 3.10 Variación mensual de la temperatura máxima (°C) – Promedio multimensual
Estaciones de la cuenca del río Rímac y cuencas vecinas



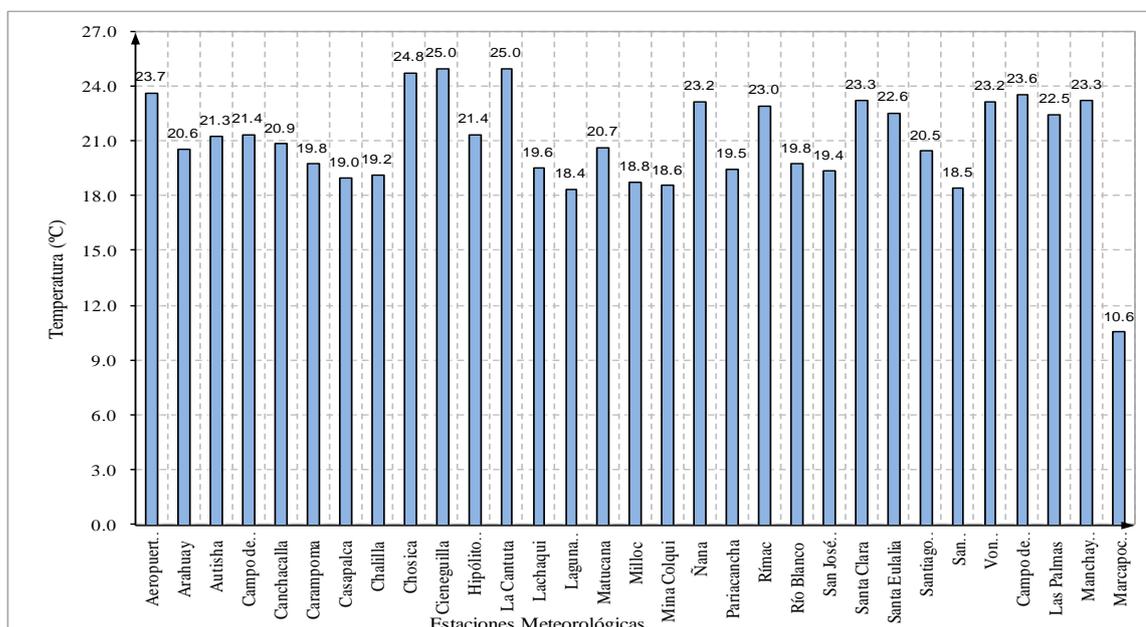
Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 3.6 Temperatura máxima media anual (°C)
Estaciones meteorológicas de la cuenca del río Rímac y cuencas vecinas

N°	Estación	Altitud (msnm)	Prom Anual
1	Aeropuerto Internacional	13.0	23.7
2	Arahuay	2800.0	20.6
3	Autisha	2171.0	21.3
4	Campo de Marte	159.0	21.4
5	Canchacalla	2554.0	20.9
6	Carampoma	3489.0	19.8
7	Casapalca	4214.0	19.0
8	Chalilla	4050.0	19.2
9	Chosica	851.0	24.8
10	Cieneguilla	280.0	25.0
11	Hipólito Unanue	70.0	21.4
12	La Cantuta	850.0	25.0
13	Lachaqui	3668.0	19.6
14	Laguna Pirhua	4750.0	18.4
15	Matucana	2479.0	20.7
16	Milloc	4398.0	18.8
17	Mina Colqui	4600.0	18.6
18	Ñana	460.0	23.2
19	Pariacancha	3800.0	19.5
20	Rímac	35.0	23.0
21	Río Blanco	3550.0	19.8
22	San José de Parac	3860.0	19.4
23	Santa Clara	415.0	23.3
24	Santa Eulalia	982.0	22.6
25	Santiago de Tuna	2921.0	20.5
26	San Cristobal	4700.0	18.5
27	Von Humboldt	238.0	23.2
28	Campo de Marte CGFAP	137.0	23.6
29	Las Palmas	76.0	22.5
30	Manchay Bajo	148.0	23.3
31	Marcapococha	4479.0	10.6

Nota: Valores de color azul son datos estimados mediante la ecuación de correlación.

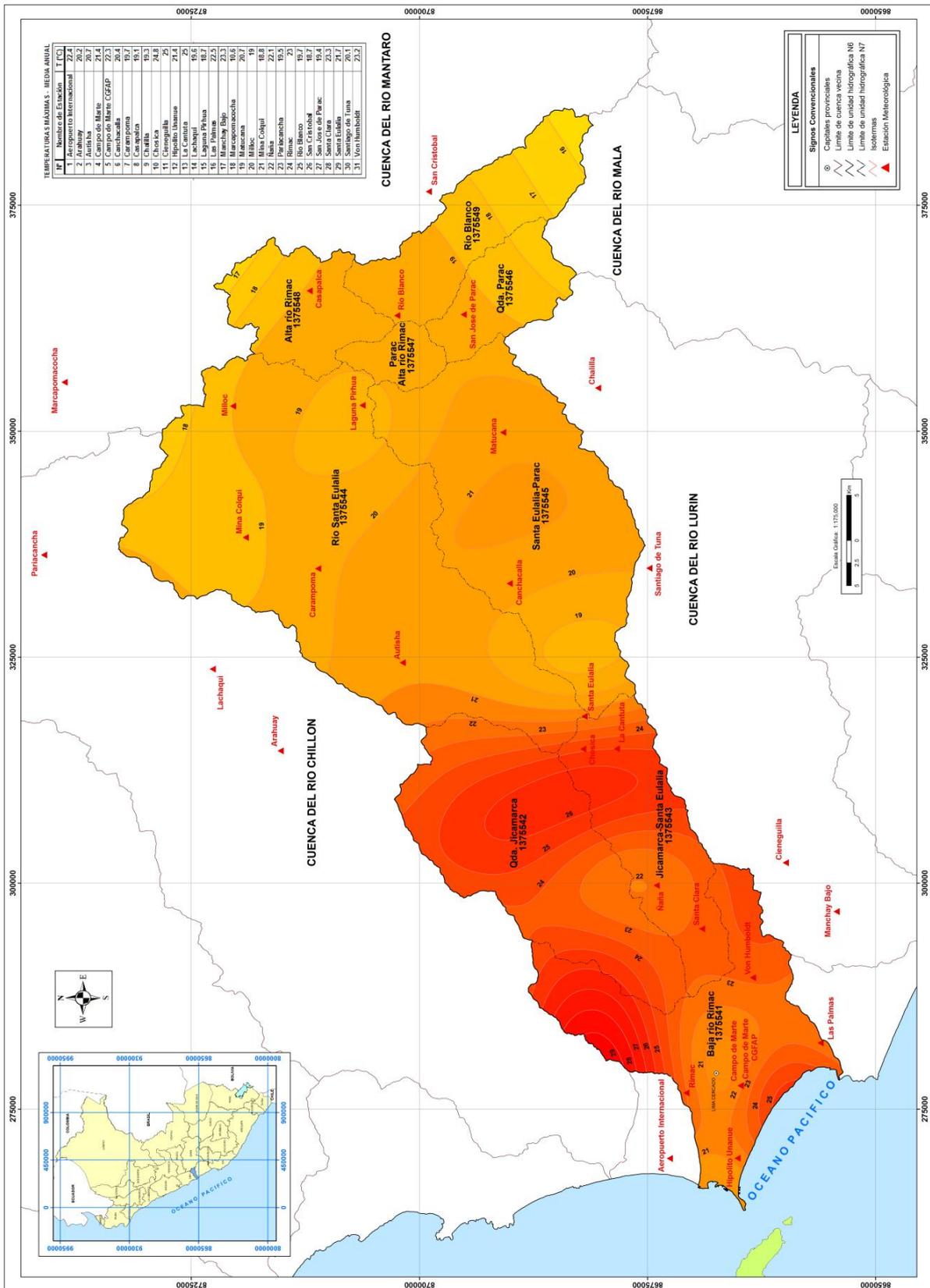
Figura N° 3.11 Temperatura máxima media anual (°C) – Promedio multianual
Estaciones meteorológicas de la cuenca del río Rímac y cuencas vecinas



Elaboración propia

En la Figura N° 3.12 se ha trazado las isotermas de temperatura máxima media anual, apreciándose la variación y localización de las zonas más cálidas dentro de la cuenca.

Figura N° 3.12 Distribución espacial de la temperatura máxima media anual (°C) – Isotermas Cuenca del río Rímac



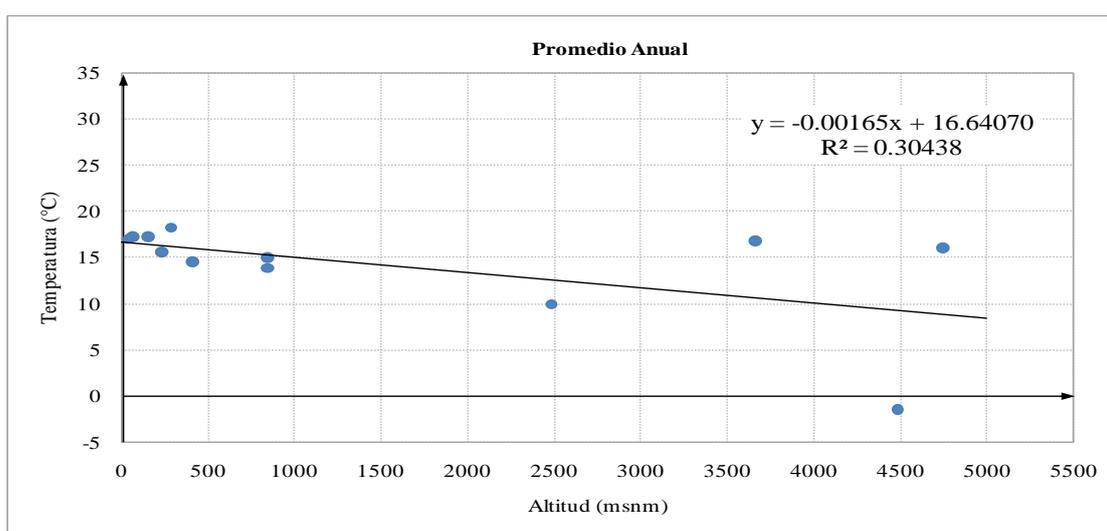
3.1.2.3 Régimen de temperaturas mínimas

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° 3.12 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.

Figura N° 3.13 Análisis de correlación de temperatura mínima anual versus altitud
Estaciones meteorológicas de la cuenca Rímac y cuencas vecinas



En la parte alta de la cuenca del río Rímac se registra las temperaturas más bajas, específicamente en las zonas de Matucana, (10°C) Milloc, Mina Colqui (9.5°C) y en la cuenca del Mantaro en la estación de Marcapomacocha se presenta el valor mínimo de (-1.6°C), ver Cuadro N° 3.7 y en forma gráfica ver la Figura N° 3.14.

En el Cuadro N° 3.7 se presenta las temperaturas mínimas medias mensuales con valores históricos registrados, se tiene 12 estaciones meteorológicas.

Cuadro N° 3.7 Temperaturas mínimas media mensual (°C) – Promedio multimensual
Estaciones de la cuenca del río Rímac y cuencas vecinas

N°	Estación	Altitud (msnm)	Mes												Prom Anual
			Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
1	Campo de Marte	159.0	18.8	21.1	19.7	18.3	16.6	14.7	17.3	15.4	14.5	14.5	16.9	18.7	17.2
2	Chosica	851.0	17.8	18.5	18.2	17.4	14.4	12.5	10.9	11.8	12.7	13.5	15.1	15.9	14.9
3	Cieneguilla	280.0	18.2	18.7	20.2	16.5	15.0	14.5	13.6	13.3	13.0	13.4	14.8	15.9	15.6
4	Hipólito Unanue	70.0	19.5	19.9	20.0	18.2	16.9	16.2	15.3	14.9	14.8	15.4	16.7	18.2	17.2
5	La Cantuta	850.0	16.0	17.3	17.1	15.2	12.6	11.2	10.5	10.8	13.6	13.1	13.9	15.3	13.9
6	Las Palmas	3668.0	17.7	19.9	19.5	18.1	16.7	15.9	15.1	14.6	14.4	15.0	16.6	17.0	16.7
7	Manchay Bajo	148.0	18.2	19.0	18.8	17.1	15.5	14.7	14.1	13.6	13.7	14.5	15.6	17.0	16.0
8	Matucana	2479.0	10.8	11.0	10.9	10.4	9.8	9.3	8.9	9.1	9.7	10.0	10.0	10.6	10.0
9	Rímac	35.0	19.9	20.5	19.7	19.0	16.8	15.6	15.3	17.0	14.2	15.0	15.7	17.3	17.1
10	Santa Clara	415.0	17.5	18.0	18.2	16.1	12.2	11.7	11.7	12.1	12.4	13.3	14.8	14.9	14.4
11	Von Humboldt	238.0	18.2	19.0	18.5	16.7	14.7	13.7	13.3	13.2	13.3	13.9	15.0	16.5	15.5
12	Macapococha	4479.0	-0.1	-0.5	-0.1	-0.5	-1.9	-3.2	-4.2	-3.7	-2.3	-1.4	-1.0	-0.5	-1.6

Figura N° 3.14 Variación Mensual de la Temperatura Mínima (°C) – Promedio Multimensual Estación de la Cuenca del río Rímac y Cuenca Vecina

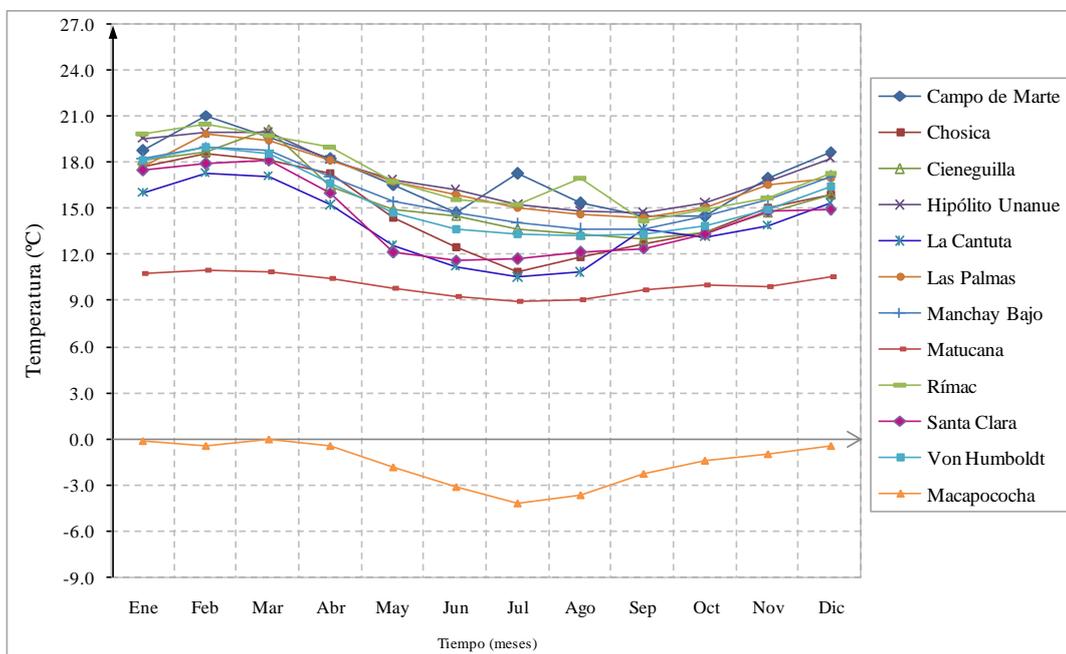
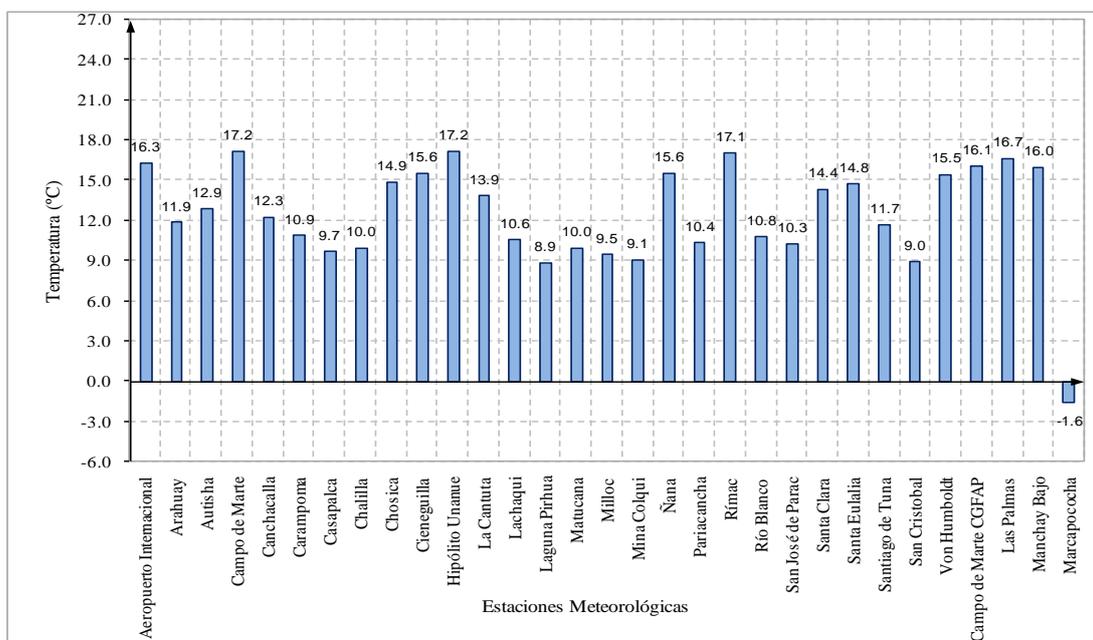


Figura N° 3.15 Temperatura mínima media anual (°C) – Promedio multianual Estaciones meteorológicas de la cuenca del río Rímac y cuencas vecinas



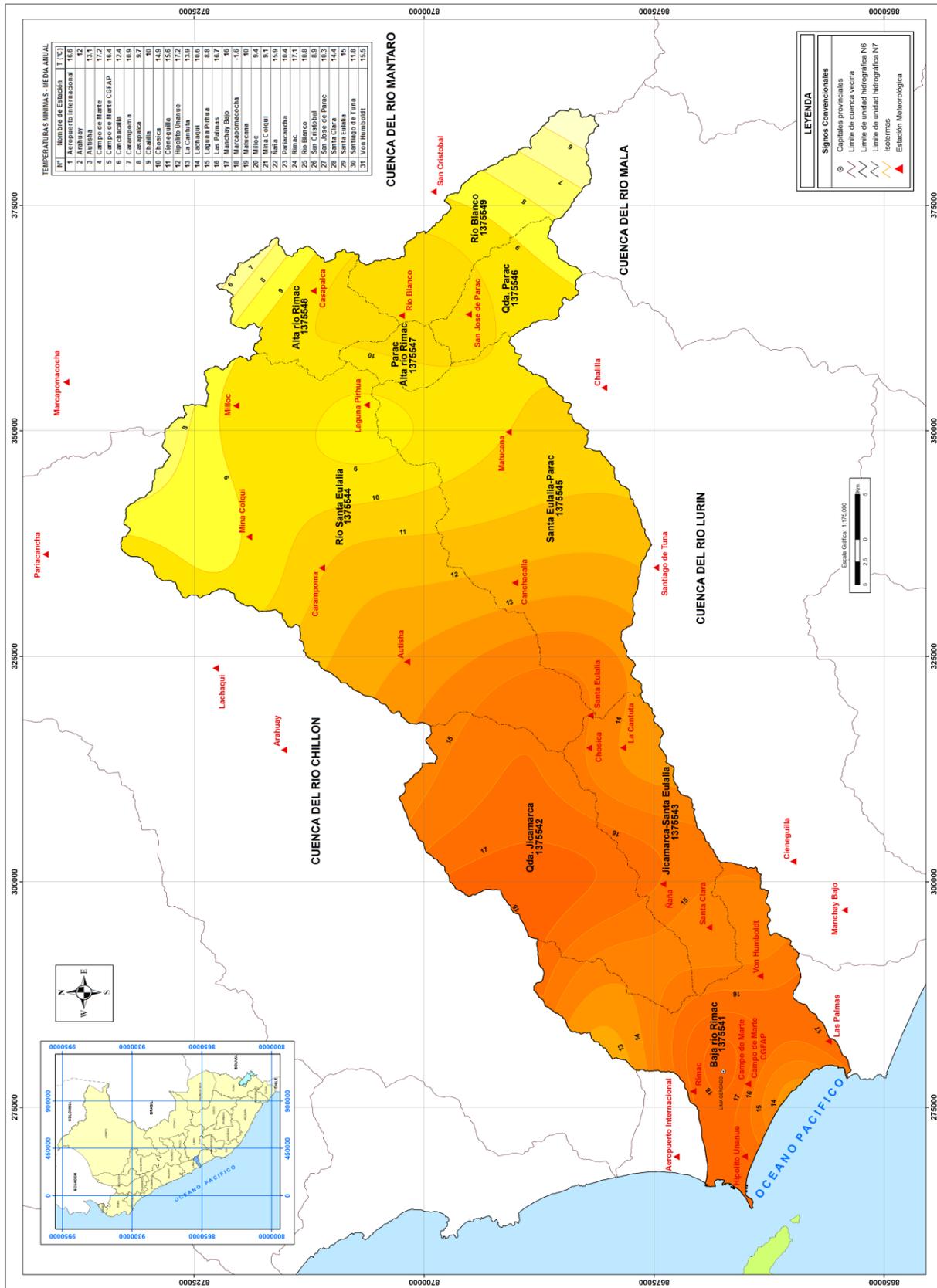
Cuadro N° 3.8 Temperatura máxima media anual (°C)
Estaciones meteorológicas de la cuenca Rímac y cuencas vecinas

N°	Estación	Altitud (msnm)	Prom Anual
1	Aeropuerto Internacional	13.0	16.3
2	Arahuay	2800.0	11.9
3	Autisha	2171.0	12.9
4	Campo de Marte	159.0	17.2
5	Canchacalla	2554.0	12.3
6	Carampoma	3489.0	10.9
7	Casapalca	4214.0	9.7
8	Chalilla	4050.0	10.0
9	Chosica	851.0	14.9
10	Cieneguilla	280.0	15.6
11	Hipólito Unanue	70.0	17.2
12	La Cantuta	850.0	13.9
13	Lachaqui	3668.0	10.6
14	Laguna Pirhua	4750.0	8.9
15	Matucana	2479.0	10.0
16	Milloc	4398.0	9.5
17	Mina Colqui	4600.0	9.1
18	Ñana	460.0	15.6
19	Pariacancha	3800.0	10.4
20	Rímac	35.0	17.1
21	Río Blanco	3550.0	10.8
22	San José de Parac	3860.0	10.3
23	Santa Clara	415.0	14.4
24	Santa Eulalia	982.0	14.8
25	Santiago de Tuna	2921.0	11.7
26	San Cristobal	4700.0	9.0
27	Von Humboldt	238.0	15.5
28	Campo de Marte CGFAP	137.0	16.1
29	Las Palmas	76.0	16.7
30	Manchay Bajo	148.0	16.0
31	Marcapococha	4479.0	-1.6

Nota: Valores de color azul son datos estimados mediante la ecuación de correlación.

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.

Figura N° 3.16 Distribución espacial de la temperatura mínima media anual (°C) – Isotermas Cuenca del río Rímac



3.1.3 Humedad relativa

Las estaciones cercanas al Litoral ofrecen registros con el más alto porcentaje de humedad y al mismo tiempo muy pequeña oscilación tanto en su valor promedio anual como en sus valores máximos y mínimos extremos; pero a medida que se avanza tierra adentro, si bien el promedio se hace más bajo, todos los valores sufren mayor oscilación.

Los valores diarios de la humedad por lo general siguen los ciclos de la temperatura. Durante el día el valor de la humedad es bajo, mientras que en la noche tiende a aumentar como consecuencia de las temperaturas más bajas.

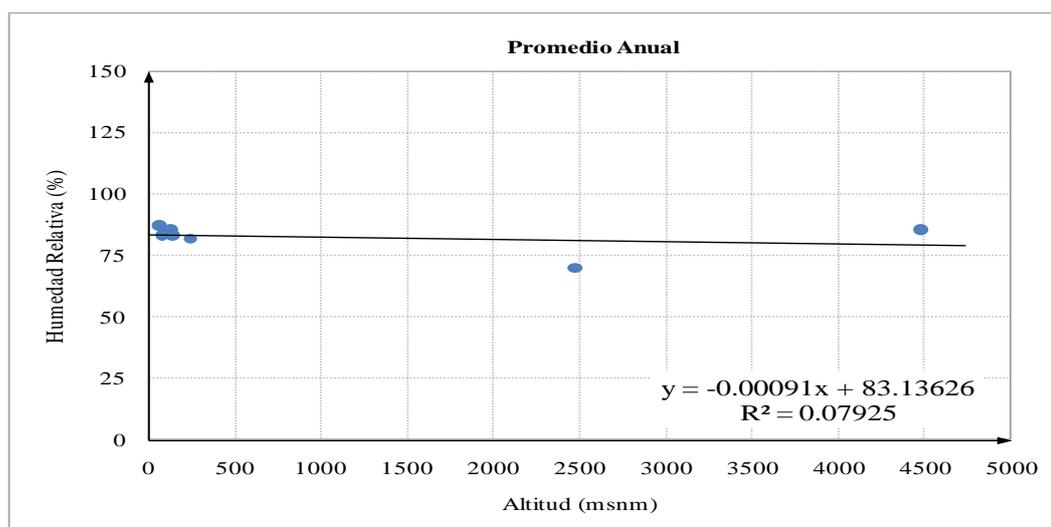
La información existente es en 7 estaciones, de los cuales 2 pertenecen a la cuenca vecina, ver cuadro N° 3.9, por la escasa información se consideró necesario completar la información faltante mediante la técnica análisis de regresión lineal para estimar valores de humedad relativa para las estaciones sin registro. Los resultados ver en el Cuadro N° 3.10.

En la Figura N° 3.17 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.

Los datos que aparecen de color azul en el Cuadro N° 3.10 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 Campo de Marte CGFAP el máximo valor (marzo 89%) y en la estación de Matucana se registra la mínima (julio 57%).

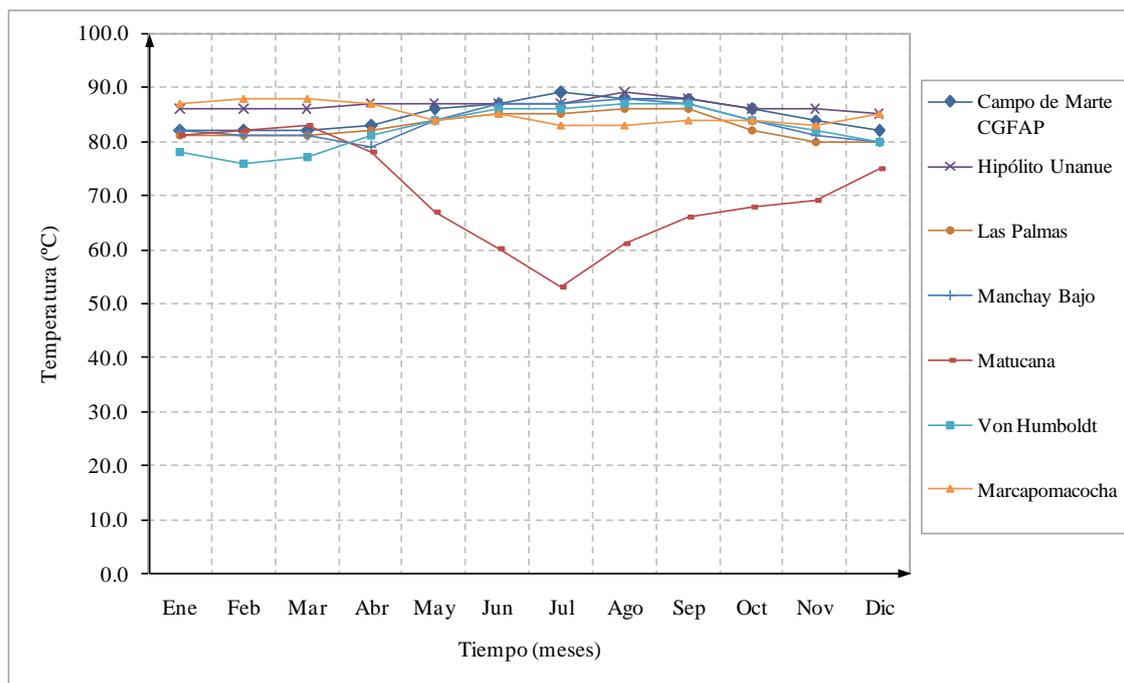
Figura N° 3.17 Análisis de correlación de la humedad relativa media anual versus altitud
Estaciones meteorológicas de la cuenca Rímac y cuencas vecinas



Cuadro N° 3.9 Humedad relativa media mensual (%) – Promedio multimensual
Estaciones meteorológicas de la cuenca del río Rímac y cuencas vecinas

N°	Estación	Altitud (msnm)	Mes												Prom Annual
			Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
1	Campo de Marte CGFAP	137.0	82.0	82.0	82.0	83.0	86.0	87.0	89.0	88.0	88.0	86.0	84.0	82.0	85.0
2	Hipólito Unanue	70	86.0	86.0	86.0	87.0	87.0	87.0	87.0	89.0	88.0	86.0	86.0	85.0	87.0
3	Las Palmas	76.0	81.0	81.0	81.0	82.0	84.0	85.0	85.0	86.0	86.0	82.0	80.0	80.0	83.0
4	Manchay Bajo	148.0	82.0	81.0	81.0	79.0	84.0	87.0	87.0	88.0	87.0	84.0	81.0	80.0	83.0
5	Matucana	2479.0	81.0	82.0	83.0	78.0	67.0	60.0	53.0	61.0	66.0	68.0	69.0	75.0	70.0
6	Von Humboldt	238.0	78.0	76.0	77.0	81.0	84.0	86.0	86.0	87.0	87.0	84.0	82.0	80.0	82.0
7	Marcapomacocha	4479.0	87.0	88.0	88.0	87.0	84.0	85.0	83.0	83.0	84.0	84.0	83.0	85.0	85.0

Figura N° 3.18 Variación mensual de la humedad relativa media (%) – Promedio multimensual
Estaciones meteorológicas de la cuenca del río Rímac y cuencas vecinas

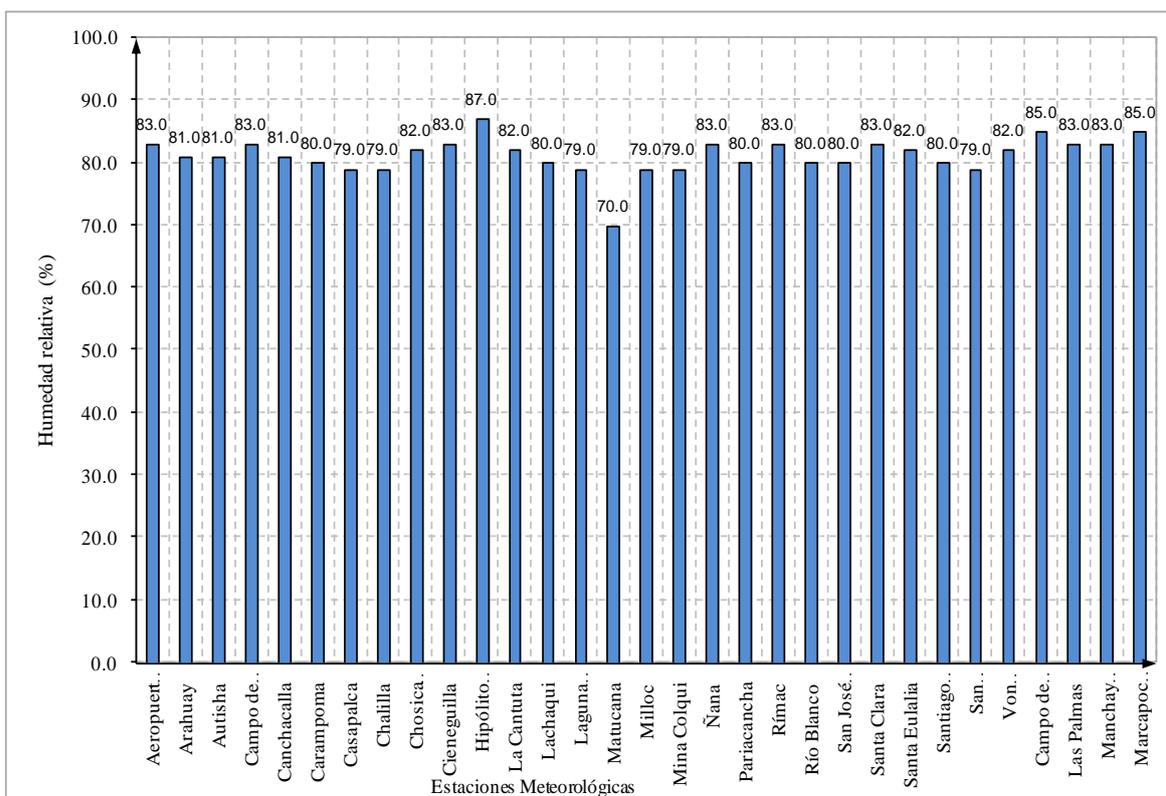


Cuadro N° 3.10 Humedad relativa media anual (%) – Promedio multimensual
Estaciones meteorológicas de la cuenca del río Rímac y cuencas vecinas

N°	Estación	Altitud (msnm)	Prom Anual
1	Aeropuerto Internacional	13.0	83.0
2	Arahuay	2800.0	81.0
3	Autisha	2171.0	81.0
4	Campo de Marte	159.0	83.0
5	Canchacalla	2554.0	81.0
6	Carampoma	3489.0	80.0
7	Casapalca	4214.0	79.0
8	Chalilla	4050.0	79.0
9	Chosica (PLU)	850.0	82.0
10	Cieneguilla	280.0	83.0
11	Hipólito Unanue	70.0	87.0
12	La Cantuta	850.0	82.0
13	Lachaqui	3668.0	80.0
14	Laguna Pirhua	4750.0	79.0
15	Matucana	2479.0	70.0
16	Milloc	4398.0	79.0
17	Mina Colqui	4600.0	79.0
18	Ñana	460.0	83.0
19	Pariacancha	3800.0	80.0
20	Rímac	35.0	83.0
21	Río Blanco	3550.0	80.0
22	San José de Parac	3860.0	80.0
23	Santa Clara	415.0	83.0
24	Santa Eulalia	982.0	82.0
25	Santiago de Tuna	2921.0	80.0
26	San Cristobal	4700.0	79.0
27	Von Humboldt	238.0	82.0
28	Campo de Marte CGFAP	137.0	85.0
29	Las Palmas	76.0	83.0
30	Manchay Bajo	148.0	83.0
31	Marcapococha	4479.0	85.0

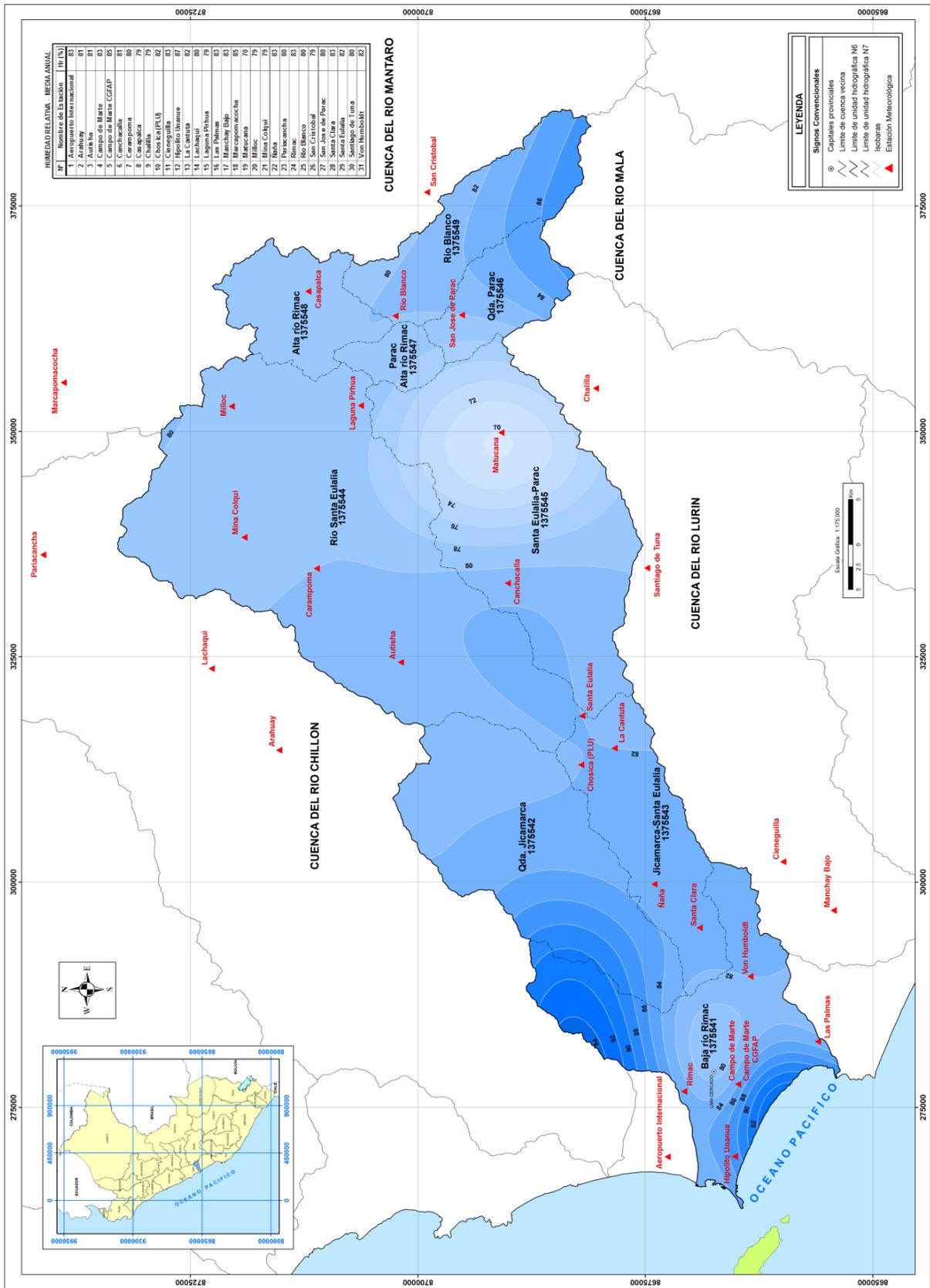
Nota: Valores de color azul son datos estimados mediante la ecuación de correlación.

Figura N° 3.19 Humedad relativa media anual (%) – Promedio multianual
Estaciones meteorológicas de la cuenca del río Rímac y cuencas vecinas



En la Figura N° 3.20 se ha trazado las isolíneas para describir la variación espacial de la humedad relativa media anual en la cuenca del río Rímac. En el Mapa N° 16 del volumen III se puede ver a detalle y a mayor escala la distribución espacial de la humedad relativa media anual en la cuenca de estudio.

Figura N° 3.20 Distribución espacial de la humedad relativa media anual (%) – Isóneas
Cuenca del río Rímac



3.1.4 Evaporación

La evaporación va en estrecha relación con la radiación solar, pues de la intensidad de esta última depende la mayor o menor temperatura del suelo, la cual se manifiesta a través de la evaporación de la humedad retenida.

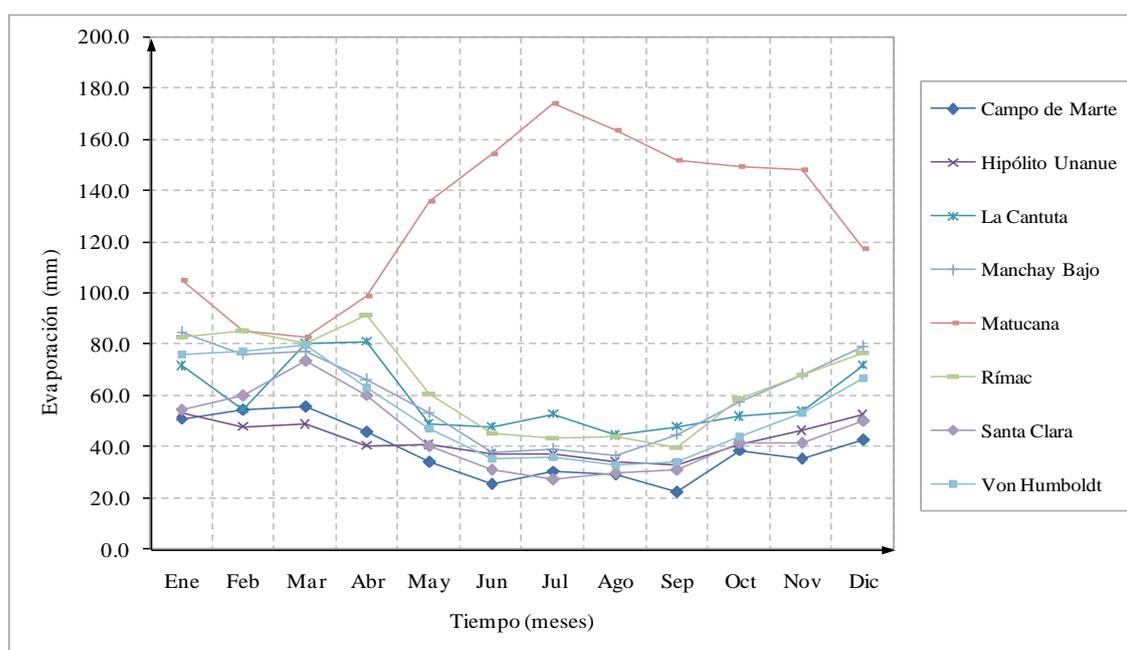
La información existente es de 8 estaciones de las cuales una estación está ubicada en cuenca vecina.

Los mayores valores de la evaporación total anual en la cuenca se producen en los sectores de Matucana, (1567.2 mm), Rímac (775.4 mm). Los valores más bajos se registran en la parte baja de la cuenca en los sectores de Campo de Marte (464.3 mm). Ver el Cuadro N° 3.11 y la Figura N° 3.20.

Cuadro N° 3.11 Evaporación total mensual (mm) – Promedio multimensual
Estaciones meteorológicas de la cuenca del río Rímac y cuencas vecinas

N°	Estación	Altitud (msnm)	Mes												Total Anual
			Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
1	Campo de Marte	159.0	51.0	54.2	55.7	45.6	34.2	25.3	30.6	29.2	22.3	38.7	35.1	42.6	464.3
2	Hipólito Unanue	70.0	53.1	48.0	48.6	40.3	40.7	37.3	36.9	34.3	32.6	41.0	46.1	52.4	511.3
3	La Cantuta	850.0	71.5	54.6	80.6	81.2	48.8	47.6	52.5	44.4	47.8	51.8	53.9	71.8	706.5
4	Manchay Bajo	148.0	84.6	76.0	77.1	66.1	53.3	37.8	39.1	36.7	44.5	57.5	67.9	79.2	719.7
5	Matucana	2479.0	104.8	85.4	83.0	99.2	135.9	154.3	174.4	163.5	151.8	149.4	148.0	117.5	1567.2
6	Rímac	35.0	83.0	85.0	80.7	91.4	60.3	45.0	43.1	44.2	39.5	58.8	68.2	76.4	775.4
7	Santa Clara	415.0	54.2	60.0	73.5	60.3	40.1	31.0	27.0	29.7	30.7	41.4	41.4	50.0	539.3
8	Von Humboldt	238.0	76.0	77.0	80.0	63.0	47.0	35.0	36.0	33.0	34.0	44.0	53.0	67.0	645.0

Figura N° 3.21 Variación mensual de la evaporación (mm) – Promedio multimensual
Estaciones meteorológicas de la cuenca del río Rímac y cuencas vecinas



3.1.5 Horas de sol

Las horas de sol es medida a través de un instrumento dedicado a la medición de la insolación, o sea el número de horas que alumbra el Sol en un lugar durante el día.

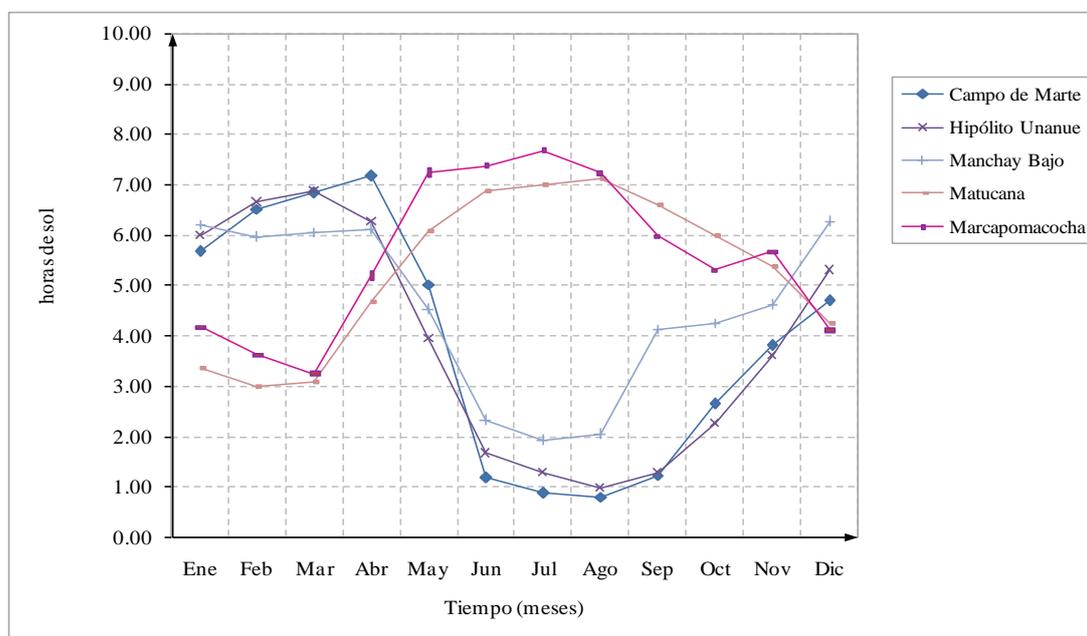
En el Cuadro N° 3.12 y la Figura N° 3.22, se muestran la variación mensual de las horas de sol, donde la distribución de las horas de sol varía de mes a mes, acentuándose los valores más altos durante los meses de noviembre hasta abril.

Los mayores valores de horas de sol, se registran en la parte alta entre Matucana y Marcapomacocha, centrado en estación Matucana (5.28 horas), y los valores menores en la parte baja en la estación Hipólito Unanue (3.84 horas). Ver el Cuadro N° 3.12.

Cuadro N° 3.12 Horas de sol media mensual – Promedio multimensual
Estaciones meteorológicas de la cuenca del río Rímac y cuencas vecinas

N°	Estación	Altitud (msnm)	Mes												Prom Anual
			Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
1	Campo de Marte	159.0	5.67	6.51	6.84	7.17	5.02	1.17	0.87	0.79	1.22	2.65	3.81	4.69	3.87
2	Hipólito Unanue	70.0	5.99	6.65	6.88	6.27	3.94	1.66	1.27	0.96	1.27	2.26	3.60	5.30	3.84
3	Manchay Bajo	148.0	6.21	5.96	6.06	6.10	4.50	2.30	1.90	2.04	4.13	4.25	4.61	6.25	4.53
4	Matucana	2479.0	3.36	2.98	3.08	4.66	6.09	6.86	7.00	7.11	6.59	5.98	5.38	4.23	5.28
5	Marcapomacocha	4479.0	4.18	3.62	3.24	5.19	7.25	7.38	7.68	7.23	5.98	5.30	5.67	4.11	5.57

Figura N° 3.22 Variación mensual de las horas de sol – Promedio multimensual
Estaciones meteorológicas de la cuenca del río Rímac y cuencas vecinas



3.1.6 Viento

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

3.1.6.1 Velocidad media del viento

La velocidad del viento es el promedio del movimiento del aire durante un período de tiempo preestablecido. Puede medirse de varias maneras.

Se ha recopilado información existente de 8 estaciones meteorológicas que tienen esta variable climatológica.

En el Cuadro N° 3.13 y la Figura N° 3.23, 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.

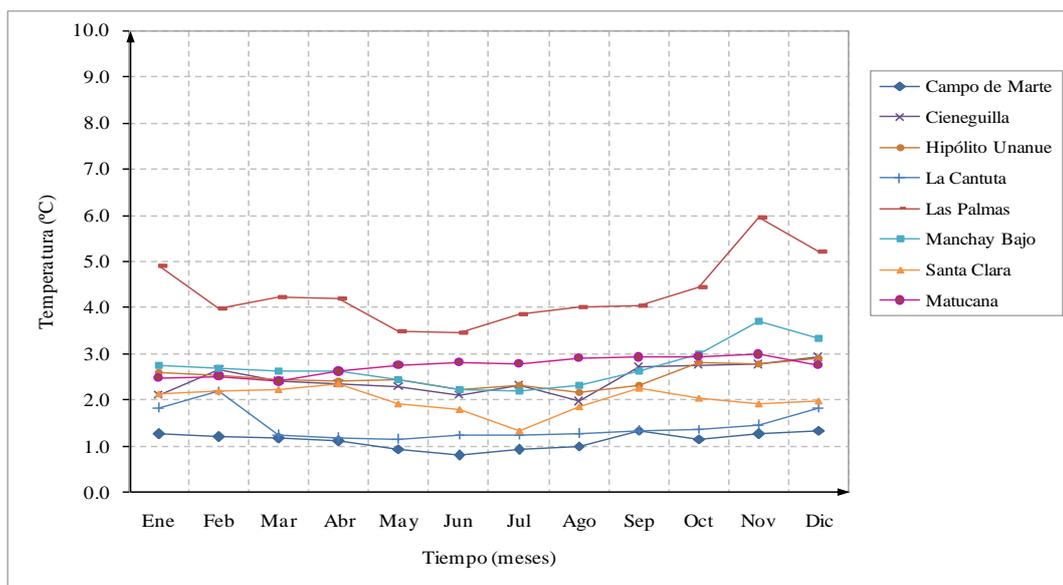
En la estación Las Palmas se registran valores mayores de la velocidad del viento, que en otras estaciones que varían uniformemente.

La mayor velocidad de viento media mensual, se ha registrado en la estación Las Palmas en el mes de noviembre con 6 m/s y la menor se registra en la estación Campo de Marte en el mes de junio con 0.8 m/s.

Cuadro N° 3.13 Velocidad media mensual del viento (m/s) – Promedio multimensual
Estaciones meteorológicas de la cuenca del río Rímac y cuencas vecinas

N°	Estación	Altitud (msnm)	Mes												Prom Anual
			Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
1	Campo de Marte	159.0	1.3	1.2	1.2	1.1	0.9	0.8	0.9	1.0	1.3	1.2	1.3	1.3	1.1
2	Cieneguilla	280.0	2.1	2.6	2.4	2.3	2.3	2.1	2.3	2.0	2.7	2.7	2.8	2.9	2.4
3	Hipólito Unanue	70.0	2.6	2.5	2.4	2.4	2.4	2.2	2.3	2.1	2.3	2.8	2.8	2.9	2.5
4	La Cantuta	850.0	1.8	2.2	1.2	1.2	1.1	1.2	1.2	1.3	1.3	1.4	1.4	1.8	1.4
5	Las Palmas	3668.0	4.9	4.0	4.2	4.2	3.5	3.5	3.9	4.0	4.1	4.5	6.0	5.2	4.3
6	Manchay Bajo	148.0	2.7	2.7	2.6	2.6	2.4	2.2	2.2	2.3	2.6	3.0	3.7	3.3	2.7
7	Matucana	2479.0	2.5	2.5	2.4	2.6	2.7	2.8	2.8	2.9	2.9	2.9	3.0	2.7	2.7
8	Santa Clara	415.0	2.1	2.2	2.2	2.3	1.9	1.8	1.3	1.9	2.3	2.0	1.9	2.0	2.0

Figura N° 3.23 Variación mensual de la velocidad media del viento – Promedio multimensual
Estaciones meteorológicas de la cuenca del río Rímac y cuencas vecinas



3.1.7 Evapotranspiración potencial

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.

3.1.7.1 Información básica

La información básica para el cálculo de la evapotranspiración potencial, son: datos climatológicos consistentes en la temperatura máxima, mínima, media, humedad relativa, velocidad del viento, evaporación de Tanque Evaporimétrico y horas de sol. Datos de ubicación geográfica como la altitud, latitud y longitud.

En la cuenca de estudio, la información de temperatura máxima, mínima, humedad relativa, velocidad del viento y horas de sol, se dispone en cuatro estaciones meteorológicas, los cuales se muestran en los siguientes cuadros correspondientes.

Cuadro N° 3.14 Información climatológica de la estación Campo de Marte

Variable climatológica	Mes											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Temperatura media de las máximas (°C)	25.2	26.4	26.3	24.2	20.7	18.2	17.4	17.6	17.9	19.1	20.9	22.9
Temperatura media de las mínimas (°C)	18.8	21.1	19.7	18.3	16.6	14.7	17.3	15.4	14.5	14.5	16.9	18.7
Humedad relativa media mensual (%)	82.0	82.0	82.0	83.0	86.0	87.0	89.0	88.0	88.0	86.0	84.0	82.0
Velocidad media del viento (m/s)	1.3	1.2	1.2	1.1	0.9	0.8	0.9	1.0	1.3	1.2	1.3	1.3
Horas de sol media diaria	5.67	6.51	6.84	7.17	5.02	1.17	0.87	0.79	1.22	2.65	3.81	4.69

Cuadro N° 3.15 Información climatológica de la estación Hipólito Unanue

Variable climatológica	Mes											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Temperatura media de las máximas (°C)	24.4	25.2	24.7	23.1	21.2	19.5	18.5	18.0	18.4	19.5	21.1	22.9
Temperatura media de las mínimas (°C)	19.5	19.9	20.0	18.2	16.9	16.2	15.3	14.9	14.8	15.4	16.7	18.2
Humedad relativa media mensual (%)	86.0	86.0	86.0	87.0	87.0	87.0	87.0	89.0	88.0	86.0	86.0	85.0
Velocidad media del viento (m/s)	2.6	2.5	2.4	2.4	2.4	2.2	2.3	2.1	2.3	2.8	2.8	2.9
Horas de sol media diaria	5.99	6.65	6.88	6.27	3.94	1.66	1.27	0.96	1.27	2.26	3.60	5.30

Cuadro N° 3.16 Información climatológica de la estación Manchay Bajo

Variable climatológica	Mes											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Temperatura media de las máximas (°C)	26.9	27.8	27.5	25.9	23.2	20.5	19.5	19.2	19.8	21.5	23.0	25.1
Temperatura media de las mínimas (°C)	18.2	19.0	18.8	17.1	15.5	14.7	14.1	13.6	13.7	14.5	15.6	17.0
Humedad relativa media mensual (%)	82.0	81.0	81.0	79.0	84.0	87.0	87.0	88.0	87.0	84.0	81.0	80.0
Velocidad media del viento (m/s)	2.7	2.7	2.6	2.6	2.4	2.2	2.2	2.3	2.6	3.0	3.7	3.3
Horas de sol media diaria	6.21	5.96	6.06	6.10	4.50	2.30	1.90	2.04	4.13	4.25	4.61	6.25

Cuadro N° 3.17 Información climatológica de la estación Matucana

Variable climatológica	Mes											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Temperatura media de las máximas (°C)	19.8	19.6	19.6	20.5	21.1	21.1	21.2	21.4	21.7	21.5	21.2	20.4
Temperatura media de las mínimas (°C)	10.8	11.0	10.9	10.4	9.8	9.3	8.9	9.1	9.7	10.0	10.0	10.6
Humedad relativa media mensual (%)	81.0	82.0	83.0	78.0	67.0	60.0	53.0	61.0	66.0	68.0	69.0	75.0
Velocidad media del viento (m/s)	2.5	2.5	2.4	2.6	2.7	2.8	2.8	2.9	2.9	2.9	3.0	2.7
Horas de sol media diaria	3.36	2.98	3.08	4.66	6.09	6.86	7.00	7.11	6.59	5.98	5.38	4.23

3.1.7.2 Métodos de estimación de la evapotranspiración potencial

Método de Penman Monteith - FAO

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:

ET_o	=	Evapotranspiración de referencia (mm/día).
R_n	=	Radiación neta en la superficie del cultivo (MJ/m ² /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/s).
e_s	=	Presión de vapor de saturación (kPa).
e_a	=	Presión real de vapor (kPa).
$e_s - e_a$	=	Déficit de presión de vapor (kPa).
Δ	=	Pendiente de la curva de presión de vapor (kPa/°C).
γ	=	Constante psicrométrica (kPa/°C).

La evapotranspiración potencial se ha calculado por el método de Penman-Monteith, cuyo procedimiento de cálculo se desarrolla en el Software CropWat 4.3. En comparación con los otros métodos este método presenta valores más representativos en la cuenca en estudio debido a que la ecuación empírica relaciona el efecto de las variables de temperatura máxima y mínima, humedad relativa, velocidad del viento y horas de sol.

Par el cual se ha considerado las estaciones meteorológicas que contienen información de las variables mencionadas anteriormente las cuales son: Campo de Marte, Hipólito Unanue, Manchay Bajo y Matucana. Los resultados se muestran en los cuadros y figuras siguientes.

Cuadro N° 3.18 Evapotranspiración Potencial (mm/día) – Estaciones Cuenca Rímac

Estación	Altitud (msnm)	Mes												Prom Anual
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Campo de Marte	159.0	3.70	3.99	3.85	3.35	2.32	1.52	1.52	1.67	1.94	2.44	2.91	3.16	2.70
Hipólito Unanue	70.0	2.95	3.37	3.60	3.38	2.76	2.24	2.12	1.98	2.05	2.25	2.38	2.70	2.65
Manchay Bajo	148.0	4.16	4.24	4.06	3.66	2.63	1.90	1.83	1.97	2.58	3.07	3.55	4.11	3.15
Matucana	2479.0	3.07	2.93	2.80	3.07	3.34	3.48	3.75	3.91	4.05	4.07	4.00	3.47	3.50

Cuadro N° 3.18 Evapotranspiración potencial (mm/mes) – Estaciones de la cuenca Rímac

Estación	Altitud (msnm)	Mes												Total Anual
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Campo de Marte	159.0	114.7	111.7	119.4	100.5	71.9	45.6	47.1	51.8	58.2	75.6	87.3	98.0	981.8
Hipólito Unanue	70.0	91.5	94.4	111.6	101.4	85.6	67.2	65.7	61.4	61.5	69.8	71.4	83.7	965.0
Manchay Bajo	148.0	129.0	118.7	125.9	109.8	81.5	57.0	56.7	61.1	77.4	95.2	106.5	127.4	1146.2
Matucana	2479.0	95.2	82.0	86.8	92.1	103.5	104.4	116.3	121.2	121.5	126.2	120.0	107.6	1276.8

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 3.24 Variación mensual de la evapotranspiración potencial – Estaciones de la cuenca Rímac

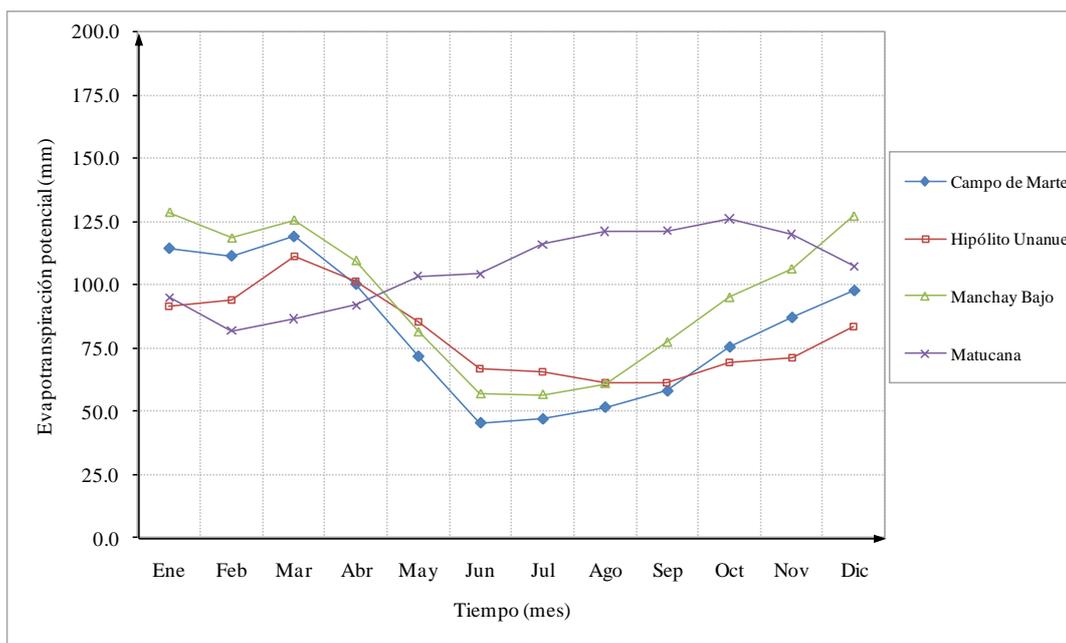
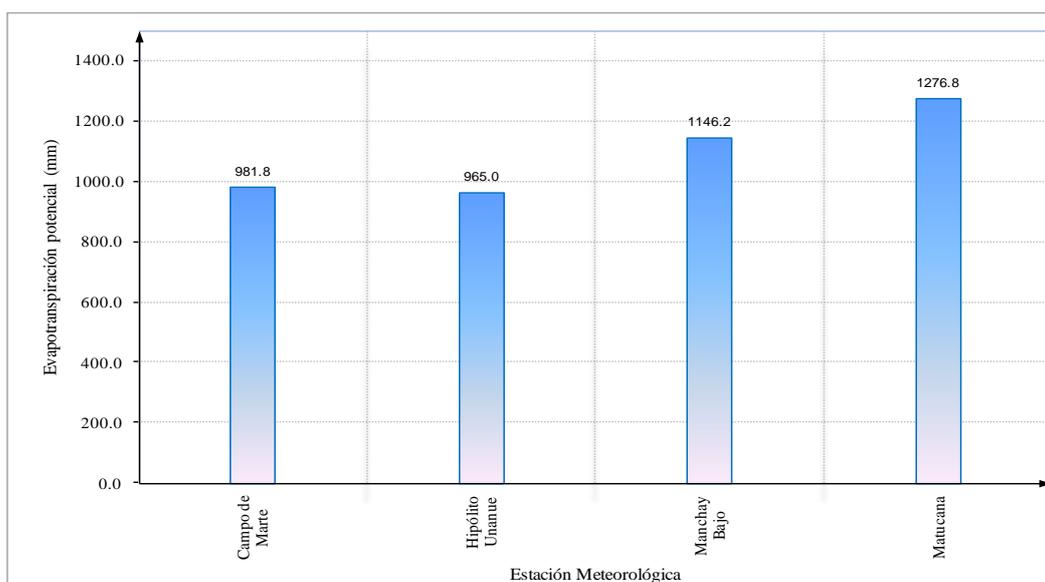


Figura N° 3.25 Evapotranspiración potencial anual – Estaciones de la cuenca Rímac



3.2 CLASIFICACIÓN CLIMATOLÓGICA

El Cuadro N° 3.19 presenta una clasificación climática basada en el sistema de Thornthwaite. Este sistema considera como variables de clasificación a la “precipitación efectiva” (PE) y a la “temperatura efectiva” (TE). Estos se obtienen a partir de una relación entre la precipitación promedio anual y la temperatura media anual como se ve en las fórmulas de Thornthwaite.

Para la descripción de la climatología de la cuenca se ha partido de una clasificación climática en función de los índices, los que dan márgenes de parámetros adimensionales en base a la información meteorológica como precipitación y temperatura. Los índices usados son:

Clasificación de Thornthwaite

Índice de precipitación efectiva:

$$PE = \sum_1^{12} \left(\frac{2.82P_i}{1.8T_i + 22} \right)^{10/9}$$

Índice de Temperatura efectiva.

$$TE = 5.4 * T$$

Donde:

- PE = Índice de precipitación efectiva.
 Pi = Precipitación total anual.
 Ti = Temperatura media anual.
 TE = Índice de temperatura efectiva.

Cuadro N° 3.19 Clasificación climática basada en el sistema de Thornthwaite – Cuenca río Rímac

Sector	Datos Anuales		Índices de Clasificación		Característica Climática	
	P (mm)	T (°C)	Denominación	Valor	Prov. De Humedad	Prov. De Temperatura
Aero Puerto Internacional Altitud (13 msnm)	10.3	19.2	PE	0.48	Árido	Mesotérmico
			TE	103.68		
Campo de Marte Altitud (159 msnm)	7.8	19.3	PE	0.35	Árido	Mesotérmico
			TE	104.22		
Chosica- Altitud (850 msnm)	23.3	19.9	PE	1.15	Árido	Mesotérmico
			TE	107.46		
Autisha- Altitud (2171 msns)	200.2	17.1	PE	13.92	Árido	Mesotérmico
			TE	92.34		
Carampoma - Altitud (3489 msnm)	410.4	15.3	PE	33.16	Sub Húmedo	Mesotérmico
			TE	82.62		
Casapalca - Altitud (4214 msns)	647.6	14.4	PE	57.11	Sub Húmedo	Mesotérmico
			TE	77.76		
Laguna Pirhua - Altitud (4750)	702.7	13.7	PE	64.41	Húmedo	Mesotérmico
			TE	73.98		

Fuente: Propia

Cuadro N° 3.20 Tabla de clasificación climática según Thornthwaite

Precipitación Efectiva (P-E)		Temperatura Efectiva (P-E)	
Provincia de humedad	Índice PE	Provincia de Temperatura	Índice de TE
A Muy Húmedo	Mayor de 128	A' Tropical	Mayor de 128
B Húmedo	64 a 127	B' Mesotérmico	64 a 127
C Sub Húmedo	32 a 63	C' Microtérmico	32 a 63
D Semiárido	16 a 31	D' Taiga	16 a 31
E Árido	Menor de 16	E' Tundra	1 a 15
		F' Glacial	0

Para la clasificación climática se ha seleccionado las estaciones a considerarse, las cuales son: Aeropuerto Internacional, Chosica, Autisha, Carampoma, Casapalca y Laguna la Pirhua, según la altitud, precipitación y temperatura de la siguiente manera: altitudes de 13-70, 159-460, 850-982, 2171-2921, 3489-4050, 4214-4600 y 4750 msnm, cuyos resultados se muestran en el Cuadro N° 3.19.

De acuerdo de los resultados, se describe las características climáticas de cada estación meteorológica.

- **Sector Aeropuerto Internacional, Campo de Marte y Chosica** corresponde a provincia de humedad árido y provincia de temperatura mesotérmico, poniendo en magnitud del tipo desecado que se caracteriza por tener una biotemperatura media anual entre 18.8°C y 20.3°C. Ver el Cuadro N° 3.14.

- **Sector estación Autisha**, según la clasificación climática corresponde a provincia de humedad árido poniendo en relieve la magnitud del tipo templado, suelos secos y provincia de temperatura mesotérmico que se caracteriza por tener una biotemperatura media anual entre 15°C y 17°C.

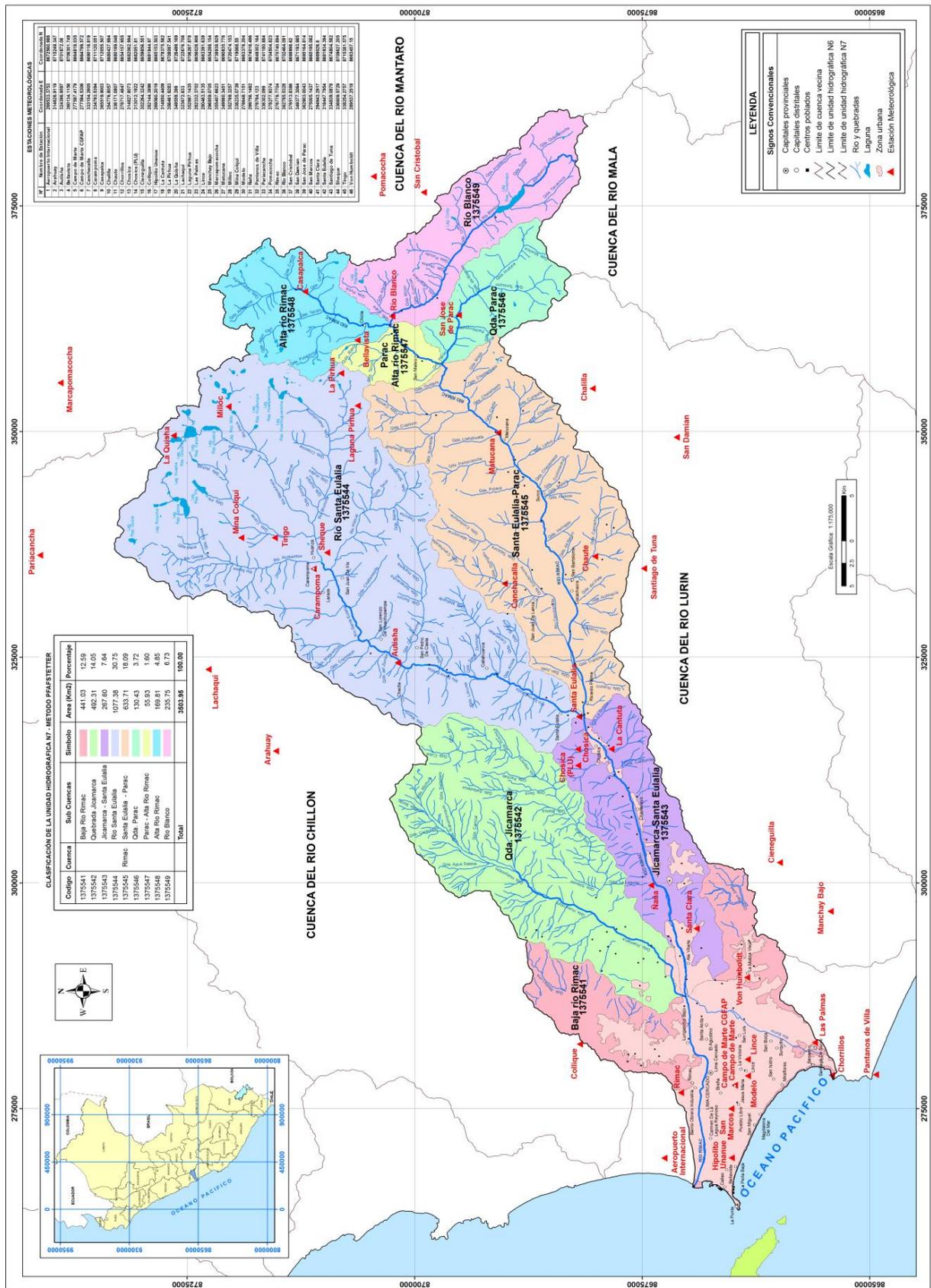
- **Ámbito de inicio de la cuenca húmeda, Carampoma (3489 msnm)**: corresponde a provincia de humedad sub húmedo y provincia de temperatura mesotérmico, que se caracteriza por tener una biotemperatura media anual entre 15°C y 14°C.

- **Cuenca húmeda Casapalca (4214 msnm)**: corresponde a una zona sub húmedo mesotérmico, suelos húmedos.

- **Zonas altas, sector de Laguna Pirhua (4750msnm)**: corresponde a provincia de humedad húmeda y provincia de temperatura mesotérmico, suelos muy húmedos.

De acuerdo al método de Thornthwaite, establece dos grandes climas en la cuenca: Seco y húmedo. El clima seco se extiende desde el nivel del mar hasta la curva de los 3000 m, ocupando un área de 1,201.85 km² (34.3% del total); y el clima húmedo a partir de los 3000 m hasta la divisoria con un área aproximada de 2,302.1 km² (65.7% del total).

Figura N° 3.26 Ubicación de las estaciones meteorológicas en la cuenca del río Rímac



IV PLUVIOMETRÍA

4.1 GENERALIDADES

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

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

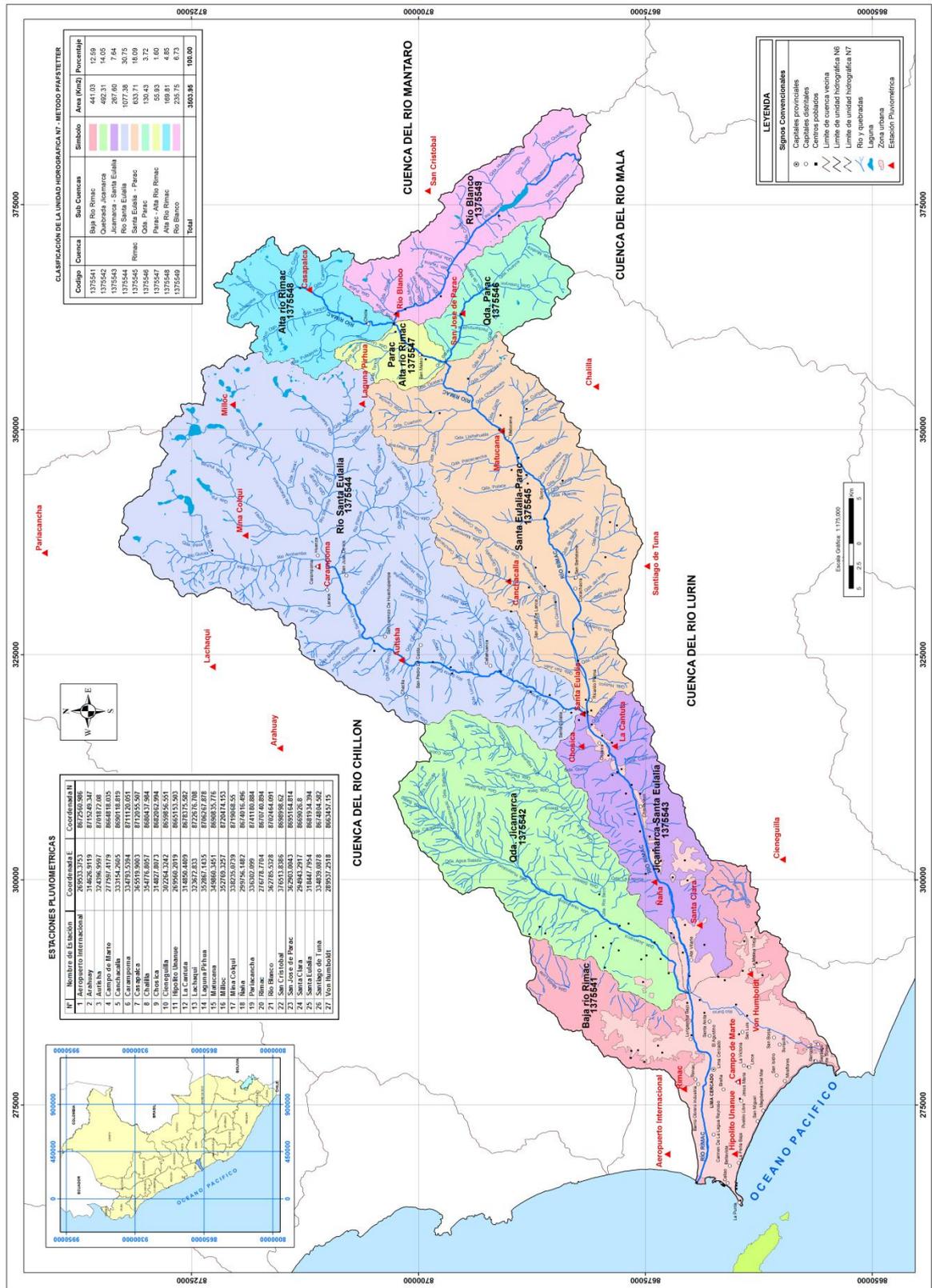
4.2 RED DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS

La información pluviométrica disponible corresponde a una red de veintisiete (27) estaciones meteorológicas para el estudio de la precipitación, de los cuales diecinueve (19) estaciones están ubicadas dentro de la cuenca Rímac y ocho (8) estaciones en las cuencas vecinas. La información histórica disponible de la precipitación total mensual se muestra en el anexo del Volumen II.

Cuadro N° 4.1 Estaciones meteorológicas – Cuenca río Rímac

N°	Estación
1	Aeropuerto Internacional
2	Arahuay
3	Autisha
4	Campo de Marte
5	Canchacalla
6	Carampoma
7	Casapalca
8	Chalilla
9	Chosica (PLU)
10	Cieneguilla
11	Hipólito Unanue
12	La Cantuta
13	Lachaqui
14	Laguna Pirhua
15	Matucana
16	Milloc
17	Mina Colqui
18	Ñana
19	Pariacancha
20	Rímac
21	Río Blanco
22	San José de Parac
23	Santa Clara
24	Santa Eulalia
25	Santiago de Tuna
26	San Cristobal
27	Von Humbold

Figura N° 4.0 Ubicación de las estaciones pluviométricas en la cuenca del río Rímac



4.3 ANÁLISIS DE CONSISTENCIA DE LA INFORMACIÓN PLUVIOMÉTRICA

El análisis de consistencia de la información hidrometeorológica es una técnica que permite detectar, identificar, cuantificar, corregir y eliminar los errores sistemáticos de la no homogeneidad e inconsistencia de una serie hidrometeorológica. 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.

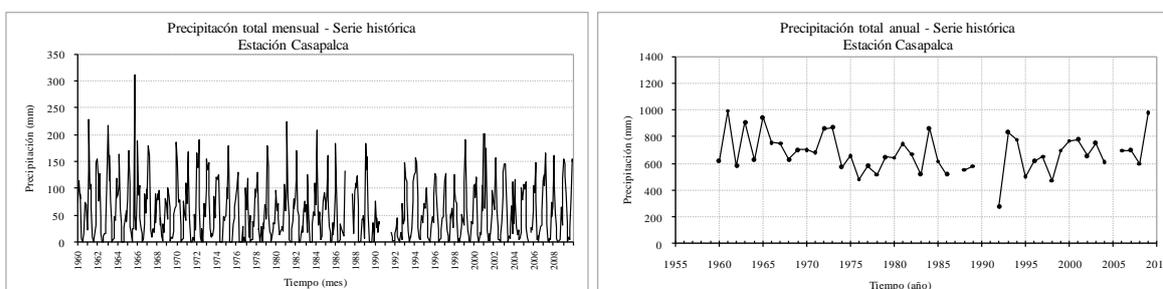
Análisis visual de hidrogramas

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

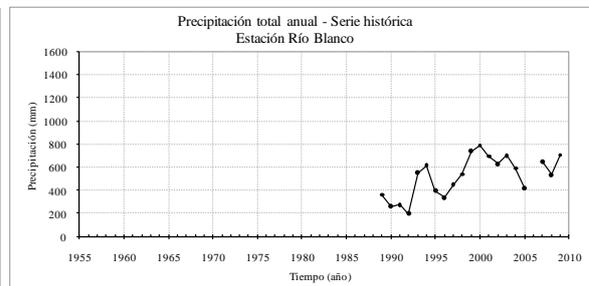
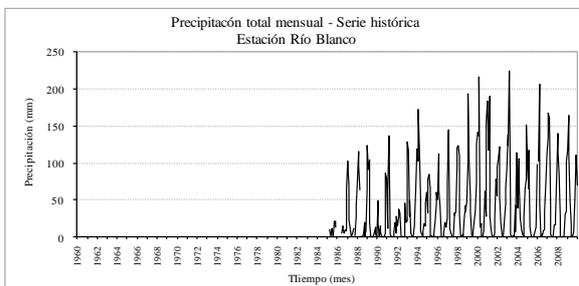
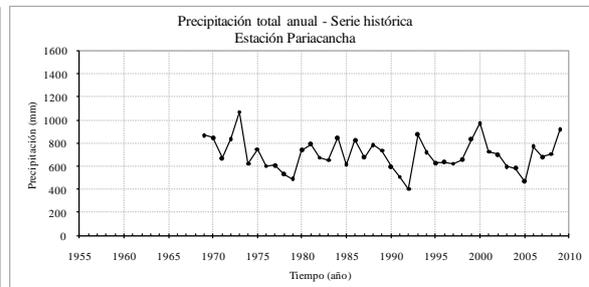
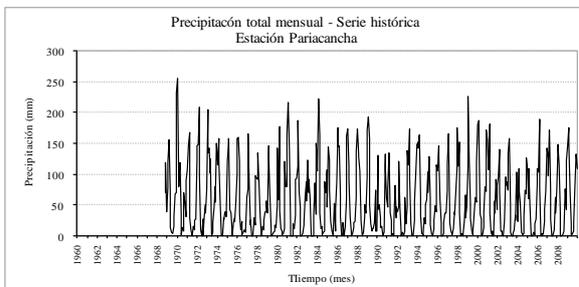
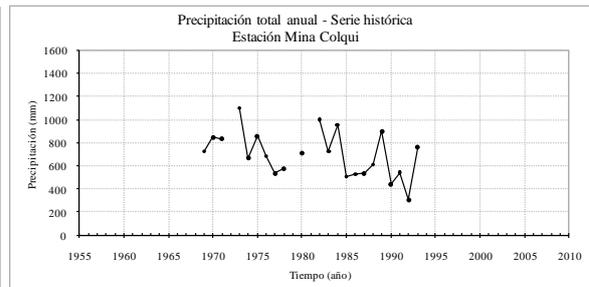
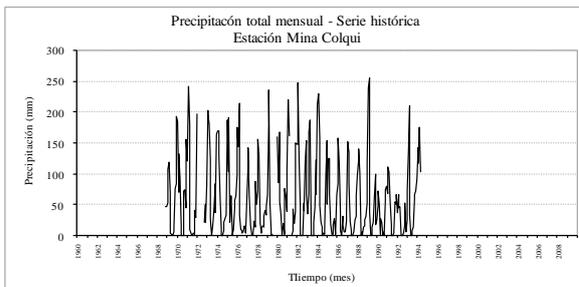
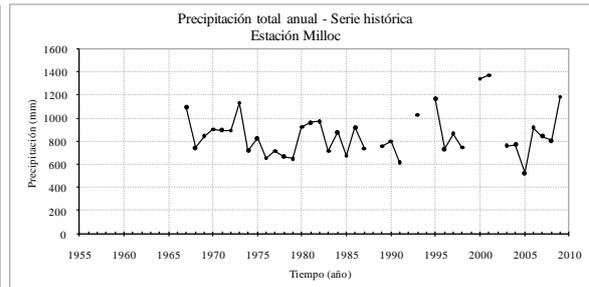
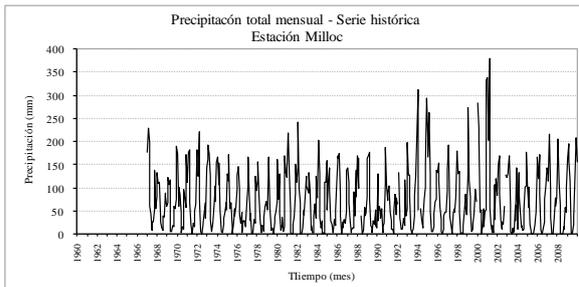
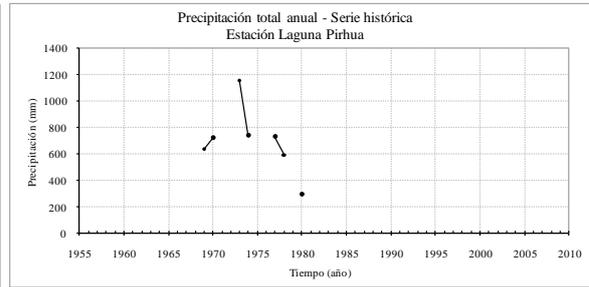
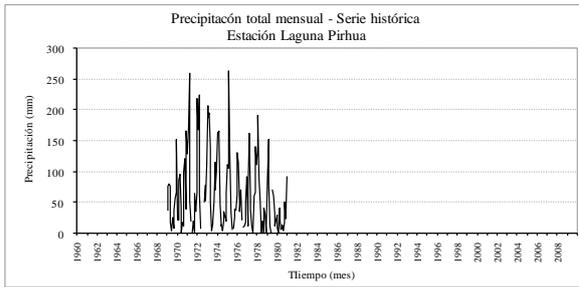
Para el presente estudio se ha formado en cuatro (4) grupos de estaciones pluviométricas para su análisis.

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

Figura N° 4.1 Hidrograma de precipitación total mensual y anual histórica - Grupo N° 1



Continuación



Continuación

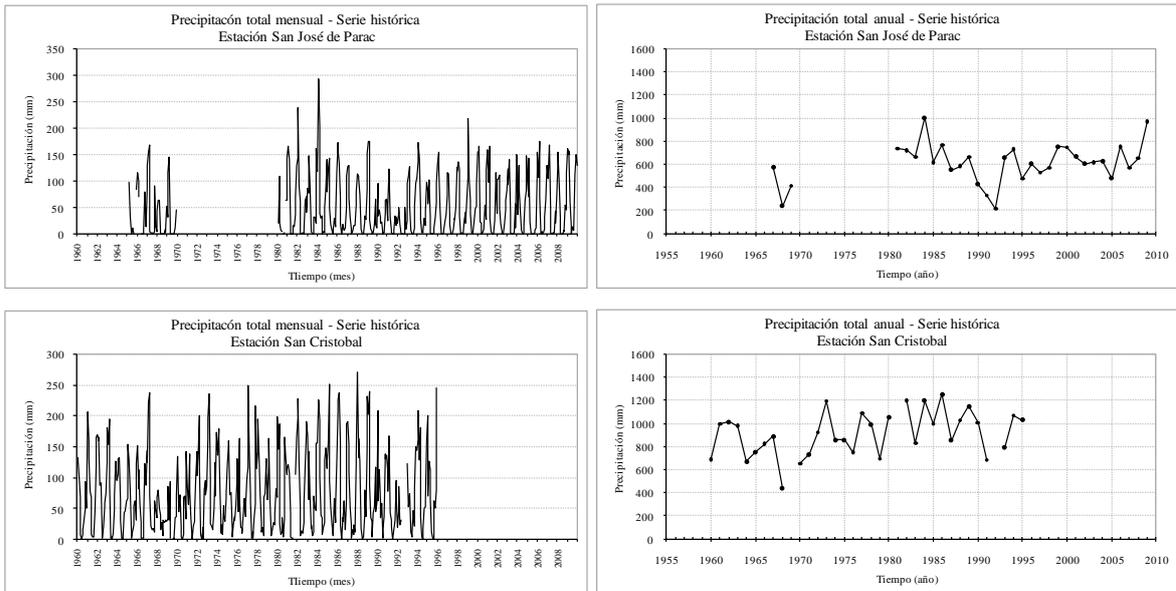
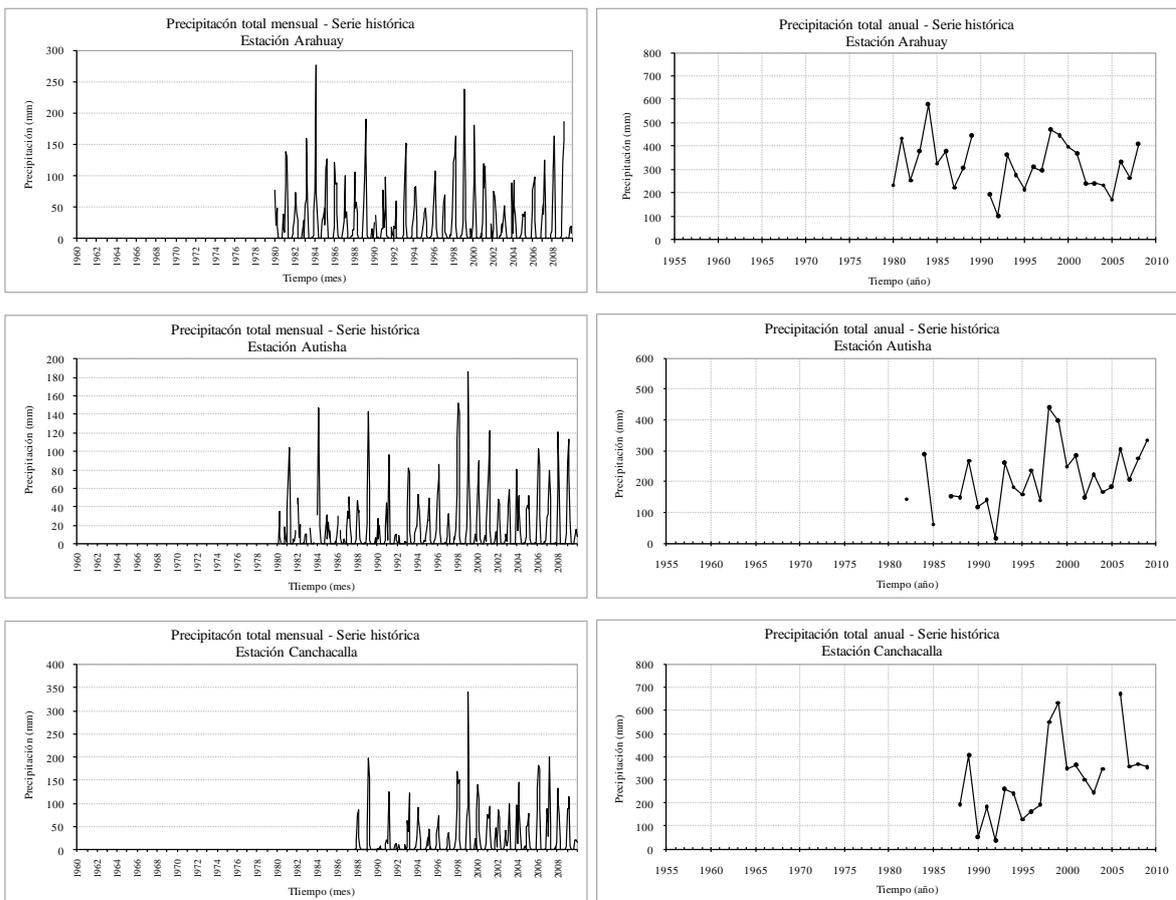


Figura N° 4.2 Hidrograma de precipitación total mensual y anual histórica - Grupo N° 2



Continuación

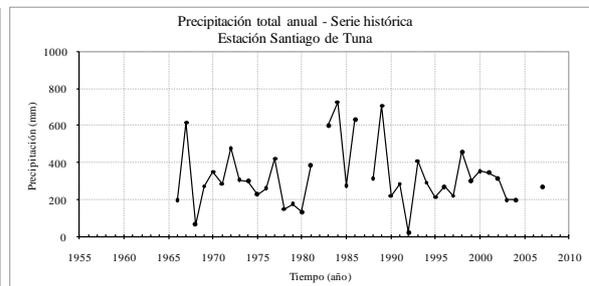
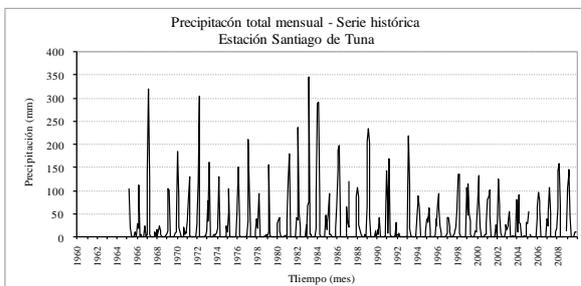
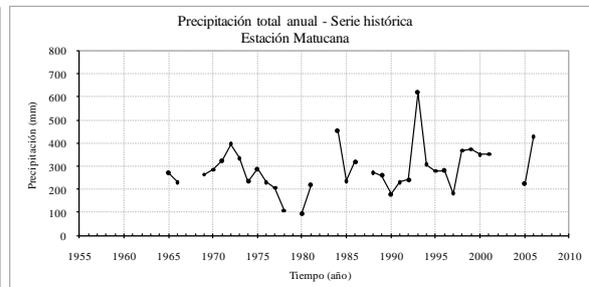
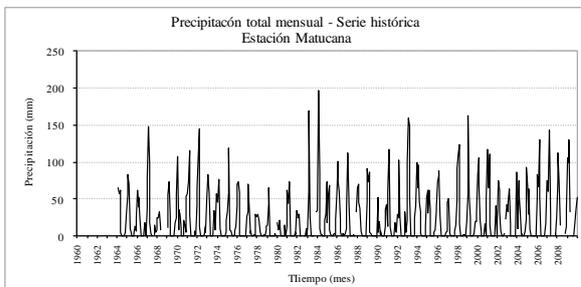
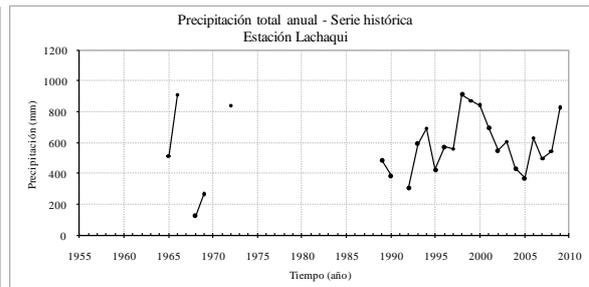
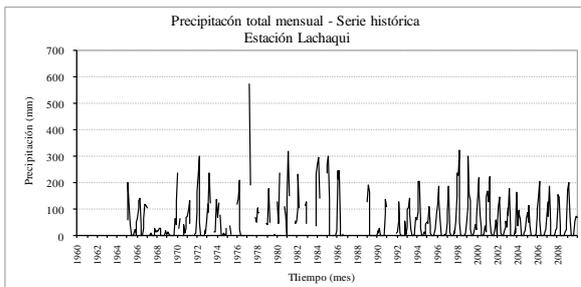
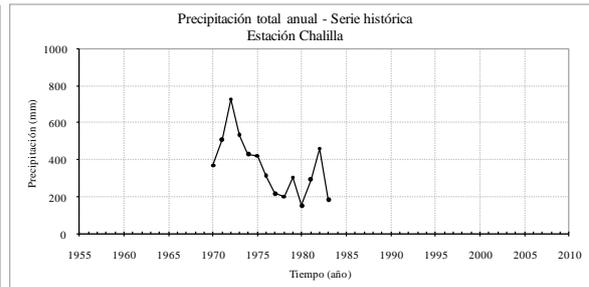
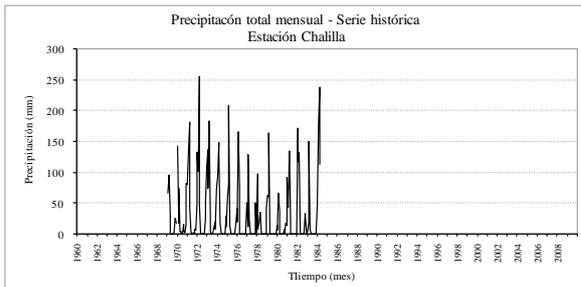
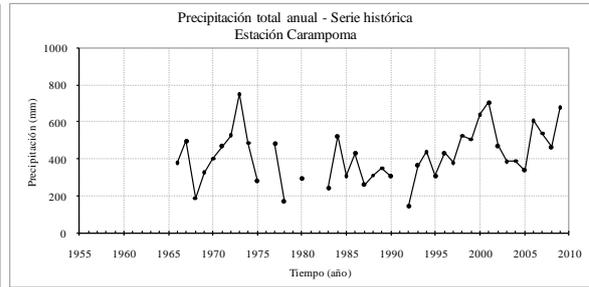
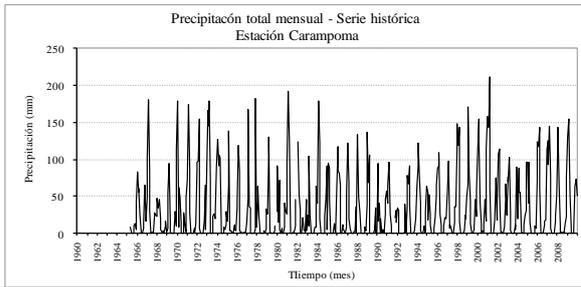


Figura N° 4.3 Hidrograma de precipitación total mensual y anual histórica - Grupo N° 3

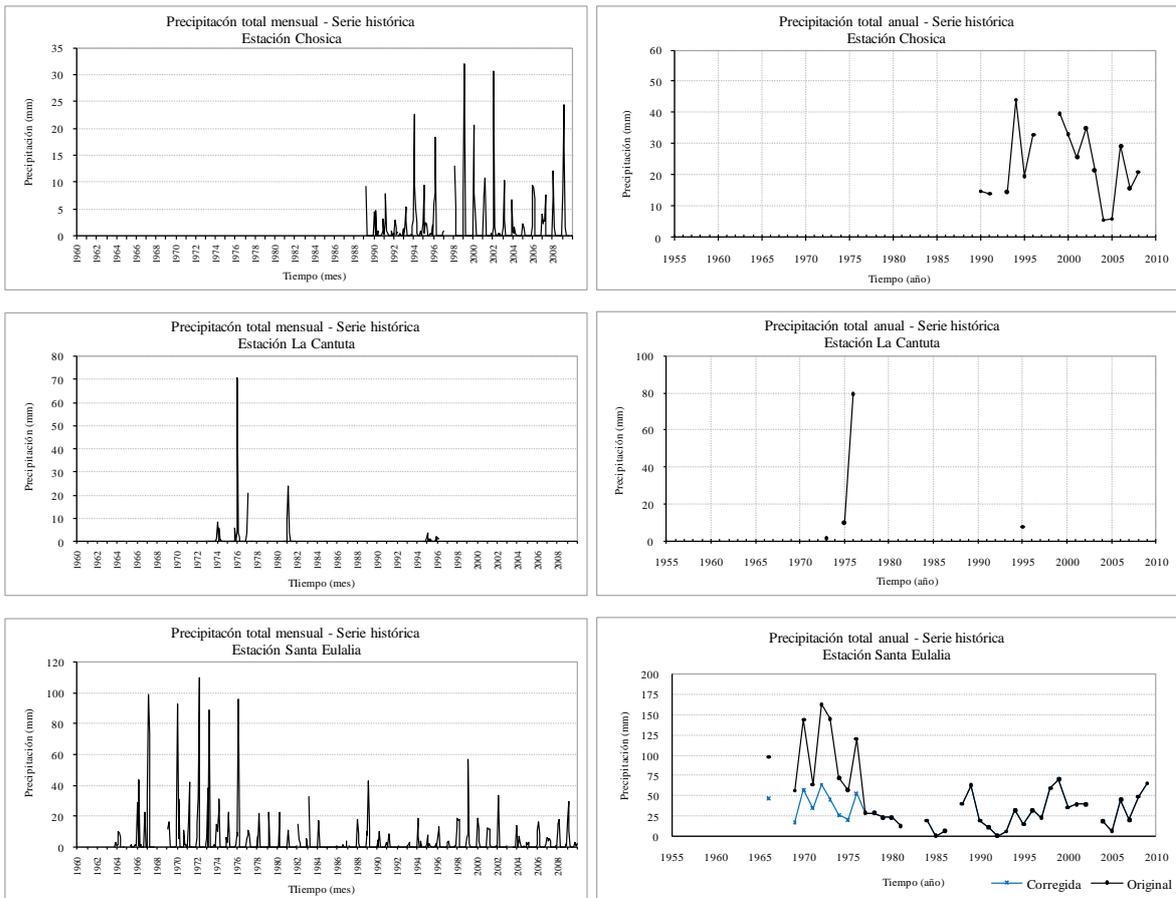
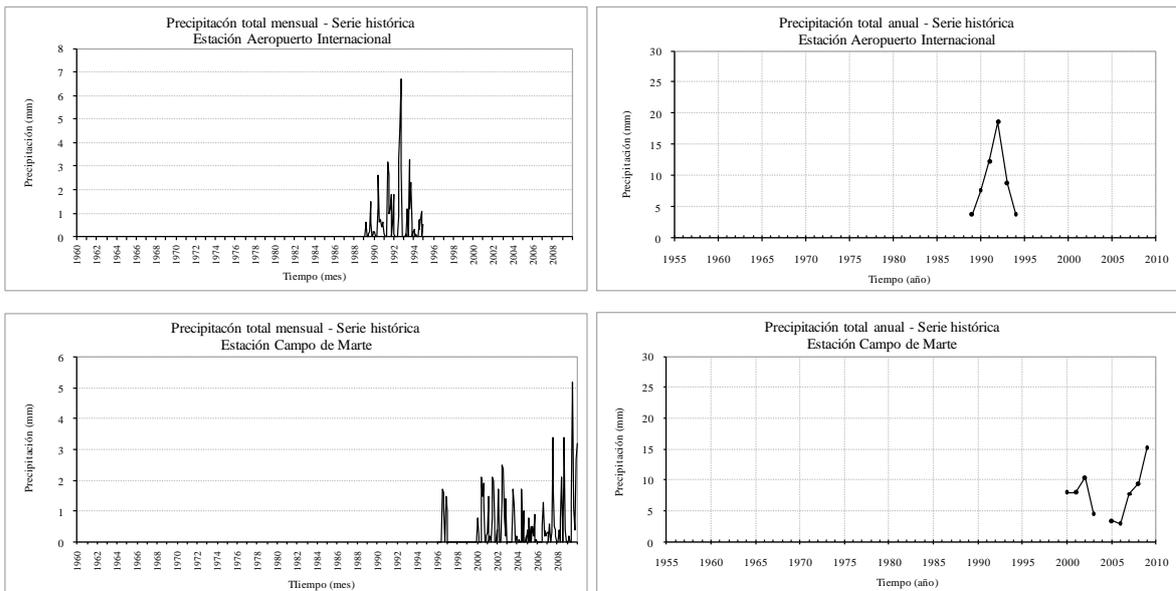
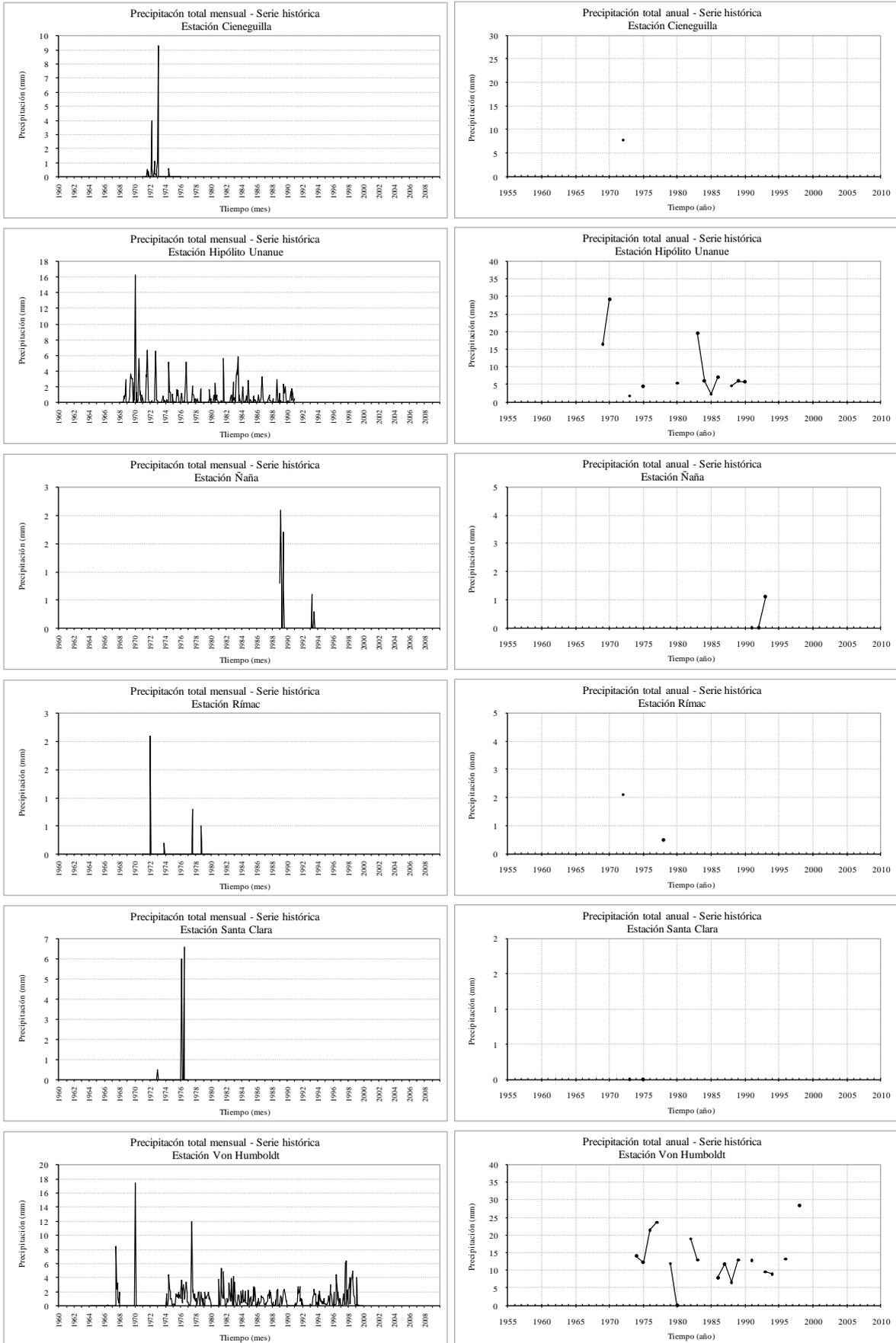


Figura N° 4.4 Hidrograma de precipitación total mensual y anual histórica - Grupo N° 4



Continuación



Análisis de doble masa

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

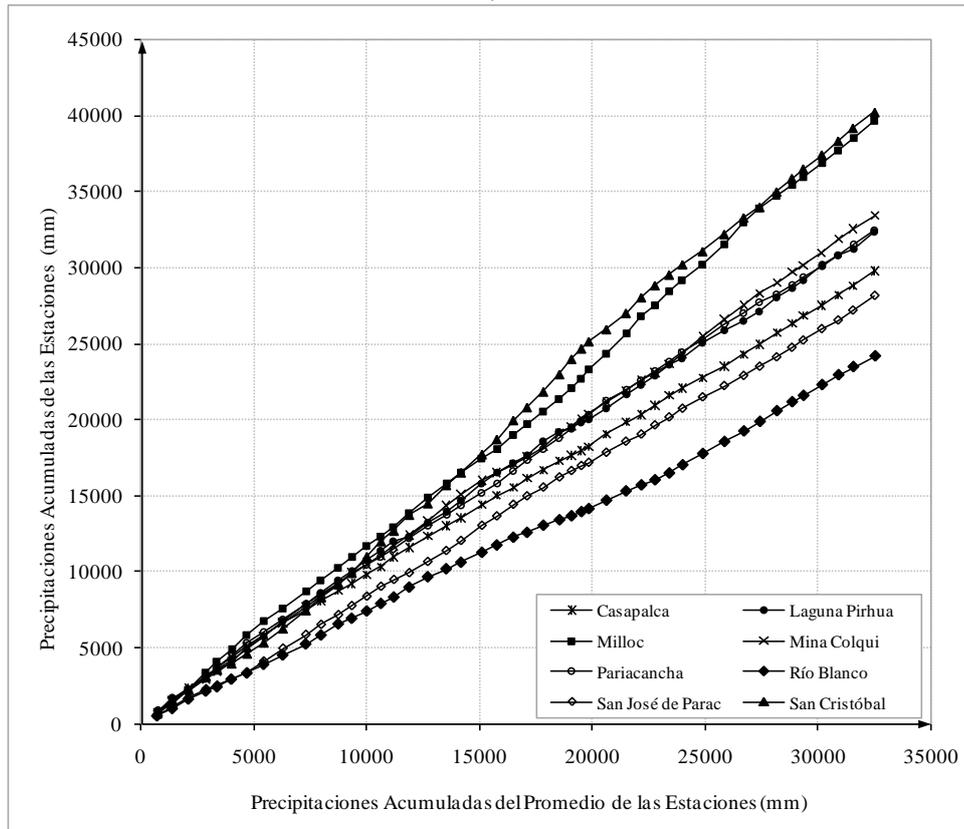
En este caso, para el análisis de doble masa se ha trabajado con tres (3) grupos de estaciones meteorológicas, con el fin obtener una comparación adecuada de las series de precipitaciones mensuales, los cuadros y gráficos de análisis se muestran a continuación.

Cuadro N° 4.2 Análisis de doble masa de las precipitaciones anuales (mm) - Grupo N° 1

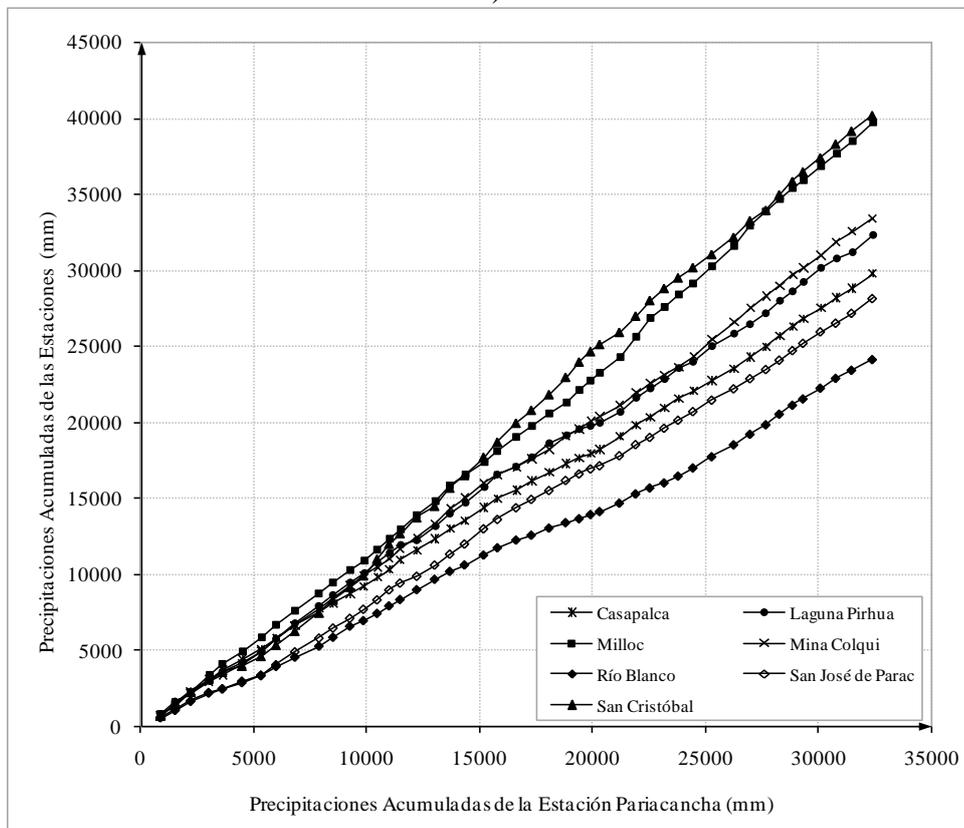
m	Año	Estaciones																Promedio	
		Casapalca		Laguna Pirhua		Milloc		Mina Colqui		Pariacancha		Río Blanco		San José de Parac		San Cristóbal			
		P	Pacumul	P	Pacumul	P	Pacumul	P	Pacumul	P	Pacumul	P	Pacumul	P	Pacumul	P	Pacumul	P	Pacumul
1	1964	626.0	626.0	846.2	846.2	763.3	763.3	751.1	751.1	878.9	878.9	549.3	549.3	620.8	620.8	669.6	669.6	713.2	713.2
2	1965	944.0	1570.0	837.4	1683.6	521.0	1284.3	647.9	1399.0	653.5	1532.4	481.4	1030.7	530.8	1151.6	750.6	1420.2	670.8	1384.0
3	1966	754.0	2324.0	499.2	2182.8	979.0	2263.3	813.0	2212.0	688.1	2220.5	619.4	1650.1	539.2	1690.8	821.3	2241.5	714.2	2098.2
4	1967	750.0	3074.0	804.4	2987.2	1095.0	3358.3	724.4	2936.4	798.5	3019.0	523.0	2173.1	576.2	2267.0	886.1	3127.6	769.7	2867.9
5	1968	629.0	3703.0	589.7	3576.9	741.2	4099.5	458.5	3394.9	606.6	3625.6	277.2	2450.3	238.6	2505.6	437.1	3564.7	497.2	3365.1
6	1969	702.0	4405.0	634.0	4210.9	840.6	4940.1	723.8	4118.7	867.2	4492.8	504.4	2954.7	412.7	2918.3	396.5	3961.2	635.2	4000.3
7	1970	700.0	5101.0	719.0	4929.9	899.5	5839.6	846.1	4964.8	844.2	5337.0	400.9	3355.6	452.3	3370.6	650.1	4611.3	689.0	4689.3
8	1971	679.0	5784.0	820.7	5750.6	892.7	6732.3	830.3	5795.1	667.4	6004.4	569.0	3924.6	724.2	4094.8	731.0	5342.3	739.3	5428.6
9	1972	858.0	6642.0	1004.5	6755.1	890.5	7622.8	837.8	6632.9	835.6	6840.0	614.2	4538.8	847.8	4942.6	923.1	6265.4	851.4	6280.0
10	1973	867.0	7509.0	1154.3	7909.4	1129.9	8752.7	1097.5	7730.4	1066.7	7906.7	728.1	5266.9	902.4	5845.0	1194.2	7459.6	1017.5	7297.5
11	1974	572.0	8081.0	738.8	8648.2	718.0	9470.7	666.3	8396.7	620.3	8527.0	584.2	5851.1	661.7	6506.7	854.4	8314.0	677.0	7974.5
12	1975	655.0	8736.0	822.3	9470.5	826.4	10297.1	855.3	9252.0	744.6	9271.6	731.3	6582.4	638.7	7145.4	857.5	9171.5	766.4	8740.9
13	1976	478.0	9214.0	613.0	10083.5	651.8	10948.9	682.7	9934.7	599.3	9870.9	364.8	6947.2	596.9	7742.3	749.6	9921.1	592.0	9332.9
14	1977	581.0	9795.0	729.1	10812.6	713.3	11662.2	532.6	10467.3	607.6	10478.5	477.4	7424.6	616.1	8358.4	1087.7	11008.8	668.1	10001.0
15	1978	515.0	10310.0	588.9	11401.5	666.7	12328.9	576.0	11043.3	529.7	11008.2	495.5	7920.1	654.9	9013.3	991.0	11999.8	627.2	10628.2
16	1979	648.0	10958.0	568.1	11969.6	649.6	12978.5	654.5	11697.8	487.6	11495.8	420.5	8340.6	447.2	9460.5	692.5	12692.3	571.0	11199.2
17	1980	642.0	11600.0	295.2	12264.8	923.7	13902.2	707.2	12405.0	738.5	12234.3	648.8	8989.4	447.7	9908.2	1050.8	13743.1	681.7	11880.9
18	1981	747.0	12347.0	942.5	13207.3	961.8	14864.0	947.3	13352.3	791.4	13025.7	683.4	9672.8	735.5	10643.7	754.0	14497.1	820.4	12701.3
19	1982	667.0	13014.0	789.4	13996.7	969.6	15833.6	997.9	14350.2	673.9	13699.6	524.4	10197.2	722.0	11365.7	1199.4	15696.5	818.0	13519.3
20	1983	518.0	13532.0	723.4	14720.1	713.4	16547.0	722.7	15072.9	651.8	14351.4	424.8	10622.0	661.4	12027.1	829.2	16525.7	655.6	14174.9
21	1984	861.0	14393.0	1059.7	15779.8	877.6	17424.6	952.0	16024.9	844.3	15195.7	649.4	11271.4	1000.3	13027.4	1195.1	17720.8	929.9	15104.8
22	1985	613.0	15006.0	762.5	16542.3	673.8	18098.4	506.4	16531.3	614.2	15809.9	480.3	11751.7	615.4	13642.8	996.6	18717.4	657.8	15762.6
23	1986	519.0	15525.0	553.7	17096.0	917.2	19015.6	527.7	17059.0	823.9	16633.8	508.9	12260.6	766.6	14409.4	1251.7	19969.1	733.6	16496.2
24	1987	624.7	16149.7	558.2	17654.2	736.2	19751.8	534.3	17593.3	676.4	17310.2	319.8	12580.4	551.7	14961.1	851.9	20821.0	606.7	17102.9
25	1988	550.9	16700.6	939.0	18593.2	823.6	20575.4	611.0	18204.3	783.8	18094.0	469.4	13049.8	581.9	15543.0	1025.5	21846.5	723.1	17826.0
26	1989	578.3	17278.9	588.8	19182.0	753.9	21329.3	896.4	19100.7	735.4	18829.4	360.7	13410.5	662.7	16205.7	1145.9	22992.4	715.3	18541.3
27	1990	384.5	17663.4	357.3	19539.3	795.9	22125.2	438.9	19539.6	596.5	19425.9	259.0	13669.5	425.5	16631.2	1003.8	23996.2	532.7	19074.0
28	1991	286.3	17949.7	269.4	19808.7	613.1	22738.3	540.8	20080.4	505.6	19931.5	273.6	13943.1	327.3	16958.5	683.4	24679.6	437.4	19511.4
29	1992	276.4	18226.1	188.1	19996.8	570.9	23309.2	303.1	20383.5	402.6	20334.1	198.2	14141.3	212.8	17171.3	477.4	25157.0	328.7	19840.1
30	1993	833.6	19059.7	726.8	20723.6	1026.5	24335.7	762.2	21145.7	874.4	21208.5	550.7	14692.0	659.5	17830.8	795.0	25952.0	778.6	20618.7
31	1994	775.0	19834.7	918.1	21641.7	1319.5	25655.2	798.9	21944.6	719.9	21928.4	611.6	15303.6	729.4	18560.2	1068.0	27020.0	867.6	21486.3
32	1995	499.0	20333.7	620.8	22262.5	1169.1	26824.3	640.1	22584.7	627.9	22556.3	394.3	15697.9	472.9	19033.1	1029.0	28049.0	681.6	22167.9
33	1996	616.3	20950.0	588.3	22850.8	731.7	27556.0	533.6	23118.3	635.2	23191.5	334.7	16032.6	601.9	19635.0	793.2	28842.2	604.4	22772.3
34	1997	648.8	21598.8	735.7	23586.5	862.1	28418.1	525.5	23643.8	619.3	23810.8	446.0	16478.6	525.2	20160.2	694.5	29536.7	632.1	23404.4
35	1998	469.1	22067.9	397.0	23983.5	744.3	29162.4	686.7	24330.5	655.7	24466.5	538.5	17017.1	569.2	20729.4	678.3	30215.0	592.4	23996.8
36	1999	694.8	22762.7	1042.9	25026.4	1073.0	30235.4	1147.5	25478.0	832.9	25299.4	738.8	17755.9	751.2	21480.6	862.4	31077.4	892.9	24889.7
37	2000	767.2	23529.9	811.5	25837.9	1339.5	31574.9	1120.4	26598.4	971.1	26270.5	787.4	18543.3	745.0	22225.6	1128.0	32205.4	958.8	25848.5
38	2001	777.7	24307.6	626.0	26463.9	1369.6	32944.5	933.6	27532.0	724.0	26994.5	693.7	19237.0	665.7	22891.3	1093.0	33298.4	860.4	26708.9
39	2002	656.6	24964.2	666.4	27130.3	966.9	33911.4	782.7	28314.7	701.0	27695.5	627.1	19864.1	603.0	23494.3	689.7	33988.1	711.7	27420.6
40	2003	751.1	25715.3	872.9	28003.2	760.5	34671.9	688.9	29003.6	596.3	28291.8	699.2	20563.3	617.6	24111.9	1016.6	35004.7	750.4	28171.0
41	2004	608.0	26323.3	635.9	28639.1	769.3	35441.2	716.7	29720.3	583.2	28875.0	590.2	21153.5	628.0	24739.9	879.6	35884.3	676.4	28847.4
42	2005	500.3	26823.6	549.1	29188.2	522.2	35963.4	454.4	30174.7	467.2	29342.2	415.9	21569.4	478.9	25218.8	631.6	36515.9	502.5	29349.9
43	2006	695.8	27519.4	1014.7	30202.9	915.1	36878.5	800.1	30974.8	768.7	30110.9	708.1	22277.5	751.5	25970.3	924.4	37440.3	822.3	30172.2
44	2007	699.0	28218.4	589.8	30792.7	842.5	37721.0	895.1	31869.9	678.5	30789.4	648.5	22926.0	569.8	26540.1	904.3	38344.6	728.4	30900.6
45	2008	596.3	28814.7	406.2	31198.9	805.6	38526.6	687.2	32557.1	702.0	31491.4	533.8	23459.8	650.4	27190.5	850.8	39195.4	654.0	31554.6
46	2009	975.6	29790.3	1123.7	32322.6	1180.5	39707.1	855.1	33412.2	919.4	32410.8	704.1	24163.9	967.0	28157.5	1033.9	40229.3	969.9	32524.5

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

Figura N° 4.5 Diagrama de doble masa de las precipitaciones anuales - Grupo N° 1
a)



b)

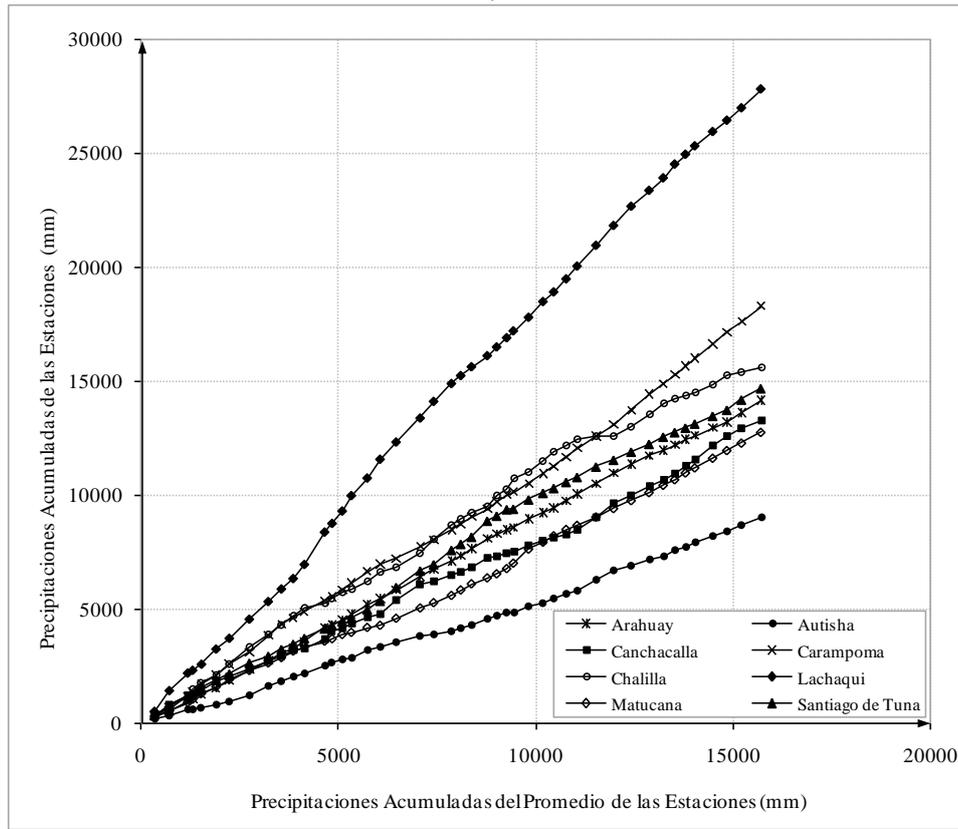


Cuadro N° 4.3 Análisis de doble masa de las precipitaciones anuales (mm) - Grupo N° 2

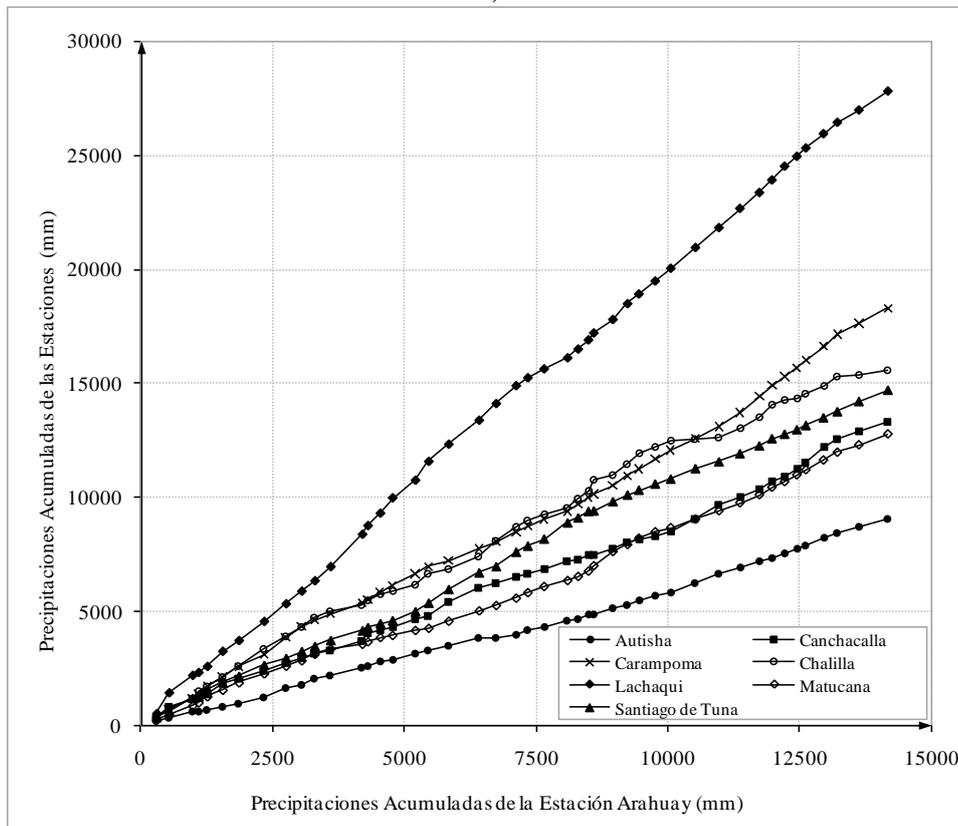
m	Año	Estaciones																		Promedio	
		Arahuay		Autisha		Canchacalla		Carampoma		Chalilla		Lachaqui		Matucana		Santiago de Tuna					
		P	Pacumul	P	Pacumul	P	Pacumul	P	Pacumul	P	Pacumul	P	Pacumul	P	Pacumul	P	Pacumul	P	Pacumul		
1	1965	295.6	295.6	181.8	181.8	349.6	349.6	325.6	325.6	316.8	316.8	512.0	512.0	270.1	270.1	393.8	393.8	330.7	330.7		
2	1966	234.6	530.2	158.3	340.1	472.8	822.4	377.9	703.5	428.9	745.7	910.5	1422.5	230.3	500.4	197.0	590.8	376.3	707.0		
3	1967	445.7	975.9	244.0	584.1	360.1	1182.5	495.6	1199.1	423.5	1169.2	766.9	2189.4	373.0	873.4	614.3	1205.1	465.4	1172.4		
4	1968	113.4	1089.3	35.5	619.6	21.5	1204.0	185.0	1384.1	320.1	1489.3	124.6	2314.0	138.4	1011.8	65.1	1270.2	125.5	1297.9		
5	1969	166.4	1255.7	69.2	688.8	187.0	1391.0	325.8	1709.9	251.4	1740.7	266.5	2580.5	263.9	1275.7	270.6	1540.8	225.1	1523.0		
6	1970	290.8	1546.5	139.3	828.1	465.1	1856.1	400.1	2110.0	367.3	2108.0	664.8	3245.3	284.9	1560.6	347.7	1888.5	370.0	1893.0		
7	1971	309.3	1855.8	124.3	952.4	200.9	2057.0	468.4	2578.4	508.2	2616.2	471.9	3717.2	324.2	1884.8	282.6	2171.1	336.2	2229.2		
8	1972	478.9	2334.7	291.2	1243.6	330.2	2387.2	526.2	3104.6	725.1	3341.3	838.6	4555.8	395.6	2280.4	477.0	2648.1	507.9	2737.1		
9	1973	416.6	2751.3	414.0	1657.6	317.3	2704.5	748.8	3853.4	533.1	3874.4	774.6	5330.4	334.1	2614.5	304.2	2952.3	480.3	3217.4		
10	1974	297.3	3048.6	149.5	1807.1	226.1	2930.6	484.9	4338.3	429.1	4303.5	552.8	5883.2	233.8	2848.3	298.0	3250.3	333.9	3551.3		
11	1975	248.8	3297.4	225.8	2032.9	241.6	3172.2	279.8	4618.1	420.8	4724.3	455.9	6339.1	287.4	3135.7	227.5	3477.8	298.5	3849.8		
12	1976	300.6	3598.0	159.8	2192.7	133.4	3305.6	265.4	4883.5	312.6	5036.9	619.3	6958.4	230.7	3366.4	259.3	3737.1	285.1	4134.9		
13	1977	601.5	4199.5	349.4	2542.1	407.8	3713.4	480.2	5363.7	216.2	5253.1	1420.3	8378.7	206.8	3573.2	420.8	4157.9	512.9	4647.8		
14	1978	104.8	4304.3	87.4	2629.5	320.8	4034.2	171.8	5535.5	198.8	5451.9	382.2	8760.9	107.2	3680.4	146.7	4304.6	190.0	4837.8		
15	1979	235.2	4539.5	144.2	2773.7	151.7	4185.9	314.1	5849.6	302.9	5754.8	544.1	9305.0	186.4	3866.8	174.6	4479.2	256.7	5094.5		
16	1980	232.5	4772.0	116.6	2890.3	155.3	4341.2	292.5	6142.1	150.8	5905.6	675.1	9980.1	93.9	3960.7	131.0	4610.2	231.0	5325.5		
17	1981	433.2	5205.2	286.5	3176.8	332.4	4673.6	511.3	6653.4	293.3	6198.9	770.4	10750.5	217.8	4178.5	385.9	4996.1	403.9	5729.4		
18	1982	252.8	5458.0	143.1	3319.9	128.7	4802.3	326.4	6979.8	459.1	6658.0	826.0	11576.5	93.7	4272.2	377.0	5373.1	325.9	6055.3		
19	1983	380.2	5838.2	201.0	3520.9	581.4	5383.7	243.2	7223.0	183.6	6841.6	754.6	12331.1	310.3	4582.5	600.2	5973.3	406.8	6462.1		
20	1984	578.2	6416.4	288.5	3809.4	673.0	6056.7	521.7	7744.7	594.6	7436.2	1052.9	13384.0	453.8	5036.3	726.1	6699.4	611.1	7073.2		
21	1985	324.3	6740.7	61.0	3870.4	164.8	6221.5	307.4	8052.1	630.5	8066.7	731.1	14115.1	234.9	5271.2	274.7	6974.1	341.1	7414.3		
22	1986	378.8	7119.5	135.4	4005.8	297.6	6519.1	429.3	8481.4	638.5	8705.2	784.2	14899.3	318.9	5590.1	632.0	7606.1	451.8	7866.1		
23	1987	221.6	7341.1	153.7	4159.5	116.7	6635.8	258.9	8740.3	285.3	8990.5	349.3	15248.6	241.4	5831.5	265.0	7871.1	236.5	8102.6		
24	1988	308.0	7649.1	148.9	4308.4	193.5	6829.3	310.6	9050.9	246.2	9236.7	387.9	15636.5	271.4	6102.9	311.8	8182.9	272.3	8374.9		
25	1989	446.8	8095.9	267.6	4576.0	405.1	7234.4	347.7	9398.6	283.5	9520.2	484.9	16121.4	260.1	6363.0	707.2	8890.1	400.4	8775.3		
26	1990	200.2	8296.1	118.5	4694.5	53.9	7288.3	305.3	9703.9	457.3	9977.5	384.9	16506.3	178.5	6541.5	219.3	9109.4	239.7	9015.0		
27	1991	194.8	8490.9	140.0	4834.5	182.6	7470.9	303.0	10006.9	300.6	10278.1	402.8	16909.1	230.2	6771.7	283.1	9392.5	254.6	9269.6		
28	1992	101.6	8592.5	16.6	4851.1	37.8	7508.7	142.7	10149.6	484.3	10762.4	303.4	17212.5	240.9	7012.6	22.1	9414.6	168.7	9438.3		
29	1993	362.9	8955.4	261.3	5112.4	259.7	7768.4	363.5	10513.1	227.3	10989.7	593.3	17805.8	618.4	7631.0	407.2	9821.8	386.7	9825.0		
30	1994	277.7	9233.1	181.6	5294.0	240.2	8008.6	437.3	10950.4	498.0	11487.7	691.4	18497.2	306.4	7937.4	289.7	10111.5	365.3	10190.3		
31	1995	214.6	9447.7	159.0	5453.0	127.9	8136.5	307.2	11257.6	447.0	11934.7	424.7	18921.9	278.7	8216.1	212.7	10324.2	271.5	10461.8		
32	1996	310.7	9758.4	236.4	5689.4	162.9	8299.4	430.8	11688.4	264.7	12199.4	570.9	19492.8	280.1	8496.2	268.5	10592.7	315.6	10777.4		
33	1997	295.5	10053.9	139.1	5828.5	191.7	8491.1	379.5	12067.9	259.5	12458.9	560.0	20052.8	180.9	8677.1	218.2	10810.9	278.1	11055.5		
34	1998	469.7	10523.6	440.2	6268.7	550.3	9041.4	523.3	12591.2	117.1	12576.0	911.5	20964.3	367.5	9044.6	456.3	11267.2	479.5	11535.0		
35	1999	446.5	10970.1	397.4	6666.1	633.0	9674.4	505.2	13096.4	31.0	12607.0	871.9	21836.2	371.7	9416.3	300.3	11567.5	444.6	11979.6		
36	2000	397.6	11367.7	248.1	6914.2	347.6	10022.0	638.8	13735.2	400.1	13007.1	843.3	22679.5	350.2	9766.5	354.0	11921.5	447.5	12427.1		
37	2001	369.3	11737.0	284.7	7198.9	363.7	10385.7	705.0	14440.2	512.5	13519.6	697.7	23377.2	352.5	10119.0	344.1	12265.6	453.7	12880.8		
38	2002	238.6	11975.6	149.9	7348.8	299.5	10685.2	470.4	14910.6	530.5	14050.1	549.7	23926.9	325.6	10444.6	314.1	12579.7	359.8	13240.6		
39	2003	240.4	12216.0	224.0	7572.8	243.9	10929.1	386.4	15297.0	189.8	14239.9	604.5	24531.4	244.9	10689.5	197.4	12777.1	291.4	13532.0		
40	2004	232.6	12448.6	165.8	7738.6	346.5	11275.6	386.9	15683.9	127.3	14367.2	430.8	24962.2	298.5	10988.0	196.8	12973.9	273.2	13805.2		
41	2005	171.4	12620.0	182.7	7921.3	260.8	11556.4	336.8	16020.7	169.7	14536.9	368.6	25330.8	223.3	11211.3	182.0	13155.9	236.9	14042.1		
42	2006	334.0	12954.0	306.0	8227.3	670.1	12206.5	606.3	16627.0	324.6	14861.5	628.2	25959.0	425.6	11636.9	340.2	13496.1	454.4	14496.5		
43	2007	264.0	13218.0	206.4	8433.7	357.7	12564.2	538.2	17165.2	411.6	15273.1	497.6	26456.6	338.3	11975.2	266.2	13762.3	360.0	14856.5		
44	2008	409.3	13627.3	275.1	8708.8	367.8	12932.0	464.6	17629.8	117.4	15390.5	543.3	26999.9	327.7	12302.9	447.6	14209.9	369.1	15225.6		
45	2009	551.6	14178.9	333.5	9042.3	356.0	13288.0	677.4	18307.2	217.8	15608.3	829.7	27829.6	474.2	12777.1	496.3	14706.2	492.1	15717.7		

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

Figura N° 4.6 Diagrama de doble masa de las precipitaciones anuales - Grupo N° 2
a)



b)

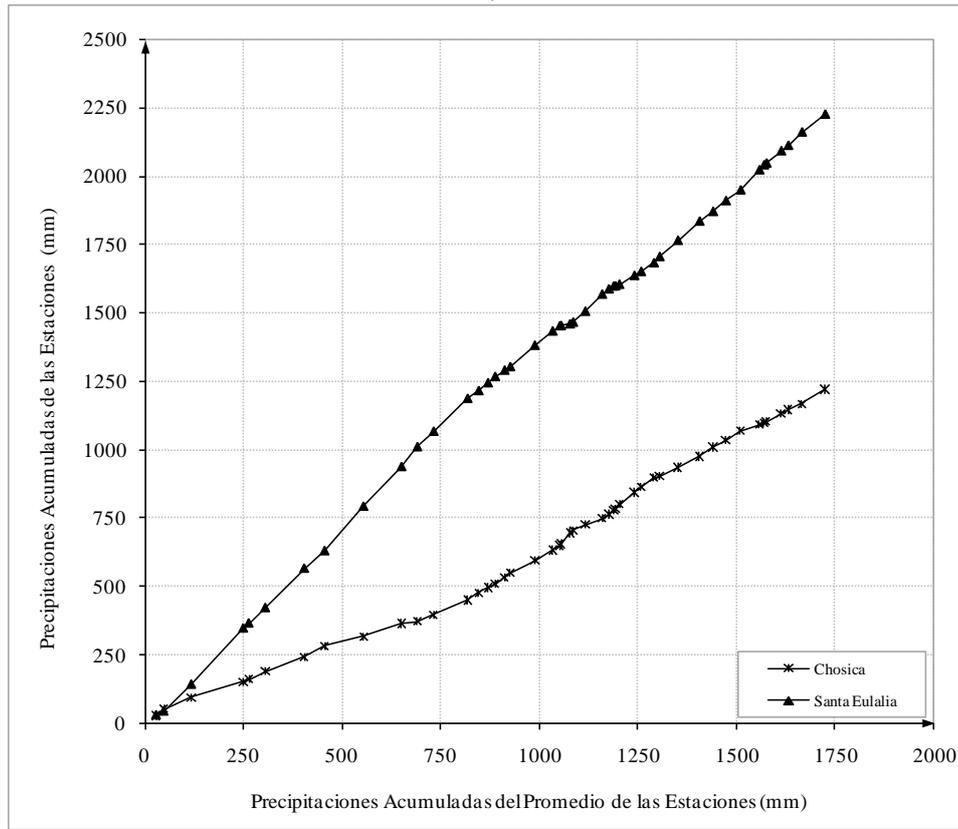


Cuadro N° 4.4 Análisis de doble masa de las precipitaciones anuales (mm) - Grupo N° 3

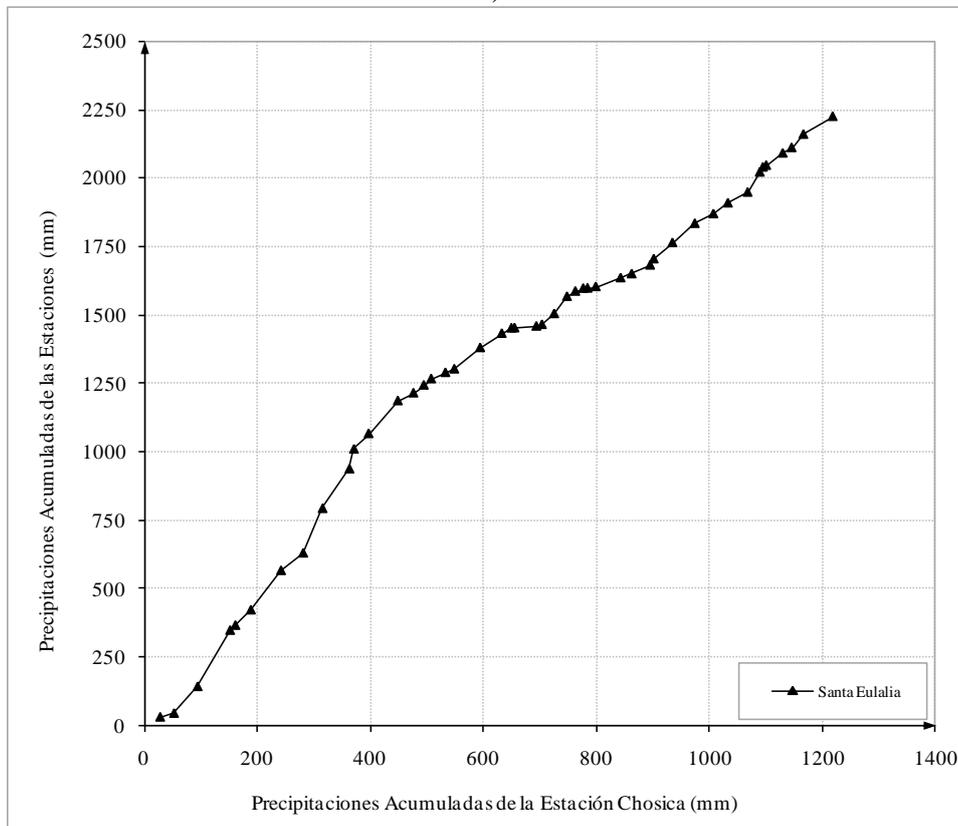
m	Año	Estación				Promedio	
		Chosica		Santa Eulalia		P	Pacumul
		P	Pacumul	P	Pacumul		
1	1964	27.7	27.7	30.2	30.2	29.0	29.0
2	1965	24.6	52.3	13.7	43.9	19.2	48.2
3	1966	41.8	94.1	97.9	141.8	69.9	118.1
4	1967	57.6	151.7	205.5	347.3	131.6	249.7
5	1968	9.3	161.0	18.2	365.5	13.8	263.5
6	1969	27.5	188.5	56.3	421.8	41.9	305.4
7	1970	53.5	242.0	144.0	565.8	98.8	404.2
8	1971	39.3	281.3	63.9	629.7	51.6	455.8
9	1972	34.4	315.7	162.7	792.4	98.6	554.4
10	1973	47.6	363.3	144.9	937.3	96.3	650.7
11	1974	8.0	371.3	72.3	1009.6	40.2	690.9
12	1975	25.9	397.2	56.6	1066.2	41.3	732.2
13	1976	51.8	449.0	120.1	1186.3	86.0	818.2
14	1977	27.6	476.6	28.5	1214.8	28.1	846.3
15	1978	18.4	495.0	28.7	1243.5	23.6	869.9
16	1979	13.1	508.1	23.0	1266.5	18.1	888.0
17	1980	25.2	533.3	23.0	1289.5	24.1	912.1
18	1981	15.8	549.1	12.8	1302.3	14.3	926.4
19	1982	45.9	595.0	78.1	1380.4	62.0	988.4
20	1983	38.3	633.3	52.2	1432.6	45.3	1033.7
21	1984	17.1	650.4	19.4	1452.0	18.3	1052.0
22	1985	5.5	655.9	0.6	1452.6	3.1	1055.1
23	1986	38.7	694.6	6.3	1458.9	22.5	1077.6
24	1987	9.9	704.5	6.1	1465.0	8.0	1085.6
25	1988	21.7	726.2	39.7	1504.7	30.7	1116.3
26	1989	22.7	748.9	62.7	1567.4	42.7	1159.0
27	1990	14.8	763.7	19.1	1586.5	17.0	1176.0
28	1991	14.0	777.7	10.8	1597.3	12.4	1188.4
29	1992	7.6	785.3	0.5	1597.8	4.1	1192.5
30	1993	14.6	799.9	5.6	1603.4	10.1	1202.6
31	1994	44.0	843.9	32.2	1635.6	38.1	1240.7
32	1995	19.6	863.5	14.6	1650.2	17.1	1257.8
33	1996	32.8	896.3	31.8	1682.0	32.3	1290.1
34	1997	6.4	902.7	22.8	1704.8	14.6	1304.7
35	1998	33.2	935.9	59.3	1764.1	46.3	1351.0
36	1999	39.6	975.5	70.2	1834.3	54.9	1405.9
37	2000	33.0	1008.5	35.3	1869.6	34.2	1440.1
38	2001	25.7	1034.2	39.4	1909.0	32.6	1472.7
39	2002	35.0	1069.2	39.3	1948.3	37.2	1509.9
40	2003	21.5	1090.7	73.5	2021.8	47.5	1557.4
41	2004	5.5	1096.2	18.2	2040.0	11.9	1569.3
42	2005	5.9	1102.1	6.5	2046.5	6.2	1575.5
43	2006	29.3	1131.4	44.8	2091.3	37.1	1612.6
44	2007	15.7	1147.1	20.0	2111.3	17.9	1630.5
45	2008	20.9	1168.0	48.7	2160.0	34.8	1665.3
46	2009	51.9	1219.9	65.2	2225.2	58.6	1723.9

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

Figura N° 4.7 Diagrama de doble masa de las precipitaciones anuales - Grupo N° 3
a)



b)



Análisis estadístico

✍ Análisis de Saltos

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

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

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

A continuación se muestran los cuadros del análisis respectivo.

Cuadro N° 4.5 Análisis de saltos de las precipitaciones mensuales - Grupo N° 1

ESTACIÓN	PERÍODO DE ANÁLISIS		NÚMERO DE DATOS, PROMEDIO Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR			CONSISTENCIA EN LA MEDIA				CONSISTENCIA EN LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR			
			N° Datos	Promedio	Desv.Est.	T calculada Tc	T tabla (95%) Tt	Comparación	Diferencia Significativa	F calculada Fc	F tabla (95%) Ft	Comparación	Diferencia Significativa
Casapalca	n ₁ , PC	1960-1986	324	57.47	53.42	1.0384	1.9641	[Tc] < Tt	NO	1.1419	1.2177	Fc < Ft	NO
	n ₂ , PD	1987-2009	254	52.95	49.99								
Laguna Pirhua	n ₁ , PD	1969-1972	45	70.43	64.41	1.0348	1.9776	[Tc] < Tt	NO	1.2102	1.5088	Fc < Ft	NO
	n ₂ , PC	1973-1980	93	59.06	58.55								
Milloc	n ₁ , PC	1967-2000	223	72.54	67.70	-0.3335	1.9672	[Tc] < Tt	NO	1.2003	1.3072	Fc < Ft	NO
	n ₂ , PD	2001-2009	107	75.28	74.17								
Mina Colqui	n ₁ , PC	1968-1983	169	65.25	66.30	1.6007	1.9681	[Tc] < Tt	NO	1.2888	1.3237	Fc < Ft	NO
	n ₂ , PD	1984-1994	124	53.31	58.40								
Pariacancha	n ₁ , PC	1968-1990	267	60.03	58.67	0.6011	1.9648	[Tc] < Tt	NO	1.1555	1.2357	Fc < Ft	NO
	n ₂ , PD	1991-2009	228	56.95	54.58								
Río Blanco	n ₁ , PC	1985-2003	218	39.18	48.73	-1.4432	1.9683	[Tc] < Tt	NO	1.2248	1.3582	Fc < Ft	NO
	n ₂ , PD	2004-2009	71	49.05	53.93								
San José de Parac	n ₁ , PC	1965-1993	220	46.16	54.35	-1.4047	1.9658	[Tc] < Tt	NO	1.0458	1.2583	Fc < Ft	NO
	n ₂ , PD	1994-2009	192	53.78	55.58								
San Cristóbal	n ₁ , PC	1960-1986	320	73.59	62.71	-0.5136	1.9656	[Tc] < Tt	NO	1.1470	1.2928	Fc < Ft	NO
	n ₂ , PD	1987-1995	101	77.33	67.16								

Cuadro N° 4.6 Análisis de saltos de las precipitaciones mensuales - Grupo N° 2

ESTACIÓN	PERÍODO DE ANÁLISIS		NÚMERO DE DATOS, PROMEDIO Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR			CONSISTENCIA EN LA MEDIA				CONSISTENCIA EN LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR			
			N° Datos	Promedio	Desv.Est.	T calculada Tc	T tabla (95%) Tt	Comparación	Diferencia Significativa	F calculada Fc	F tabla (95%) Ft	Comparación	Diferencia Significativa
Arahuay	n ₁ , PC	1980-1997	203	25.57	41.19	-0.5813	1.9666	|Tc| < Tt	NO	1.2337	1.2803	Fc < Ft	NO
	n ₂ , PD	1998-2009	155	28.25	45.75								
Autisha	n ₁ , PD	1980-1984	51	15.40	27.64	-0.4346	1.9668	|Tc| < Tt	NO	1.1867	1.4691	Fc < Ft	NO
	n ₂ , PC	1985-2009	299	17.36	30.11								
Canchacalla	n ₁ , PC	1987-1999	148	20.67	46.09	-1.7146	1.9690	|Tc| < Tt	NO	1.0140	1.3381	Fc < Ft	NO
	n ₂ , PD	2000-2009	119	30.37	45.77								
Carampoma	n ₁ , PC	1965-1991	315	30.69	43.93	-1.9473	1.9645	|Tc| < Tt	NO	1.1204	1.2263	Fc < Ft	NO
	n ₂ , PD	1992-2009	216	38.43	46.50								
Chalilla	n ₁ , PC	1969-1976	94	37.58	56.22	1.3107	1.9732	|Tc| < Tt	NO	1.2057	1.4190	Fc < Ft	NO
	n ₂ , PD	1977-1984	88	27.11	51.20								
Lachaqui	n ₁ , PD	1965-1977	125	50.68	79.67	-0.9792	1.9656	|Tc| < Tt	NO	1.1248	1.2743	Fc < Ft	NO
	n ₂ , PC	1978-2009	296	58.67	75.12								
Matucana	n ₁ , PC	1964-1993	345	22.48	33.60	-1.8009	1.9645	|Tc| < Tt	NO	1.1989	1.2345	Fc < Ft	NO
	n ₂ , PD	1994-2009	180	28.23	36.79								
Santiago de Tuna	n ₁ , PD	1965-1980	190	22.92	50.02	-1.4107	1.9645	|Tc| < Tt	NO	1.1202	1.2405	Fc < Ft	NO
	n ₂ , PC	1981-2009	338	29.56	52.94								

Cuadro N° 4.7 Análisis de saltos de las precipitaciones mensuales - Grupo N° 3

ESTACIÓN	PERÍODO DE ANÁLISIS		NÚMERO DE DATOS, PROMEDIO Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR			CONSISTENCIA EN LA MEDIA				CONSISTENCIA EN LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR			
			N° Datos	Promedio	Desv.Est.	T calculada Tc	T tabla (95%) Tt	Comparación	Diferencia Significativa	F calculada Fc	F tabla (95%) Ft	Comparación	Diferencia Significativa
Chosica	n ₁ , PD	1989-1999	117	1.84	4.51	-0.3735	1.9702	|Tc| < Tt	NO	1.1901	1.3582	Fc < Ft	NO
	n ₂ , PC	2000-2009	118	2.07	4.92								
Santa Eulalia (serie original)	n ₁ , PD	1963-1976	140	8.31	20.41	5.1217	1.9645	|Tc| > Tt	SI	10.8020	1.2507	Fc > Ft	SI
	n ₂ , PC	1977-2009	385	2.35	6.21								
Santa Eulalia (serie corregida por salto)	n ₁ , PC	1963-1976	140	3.33	6.66	1.5680	1.9645	|Tc| < Tt	NO	1.1502	1.2507	Fc < Ft	NO
	n ₂ , PD	1977-2009	385	2.35	6.21								

✍ Análisis de Tendencias

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

Generalmente la tendencia en la desviación se presenta en los datos semanales o mensuales pero no en datos anuales.

En este caso, según el análisis realizado en forma mensual se obtiene que la serie mensual de precipitaciones de las estaciones consideradas en el presente estudio no muestran "Tendencias" significativas en los parámetros analizados (media y desviación estándar) en todas las estaciones consideradas, para su posible corrección, sin embargo no se corrige dichas informaciones. Cabe recalcar que la estación Río Blanco resulta la tendencia en los dos parámetros estadísticos analizados, y verificando el hidrograma de la serie mensual de las precipitaciones, no muestra los años normales, húmedos y secos, por tal razón muestra posible tendencia en periodo menor, y por lo tanto no se ha corregido dicha información; además, en adelante la serie completada no muestra esa tendencia.

Cuadro N° 4.8 Análisis de tendencias de las precipitaciones mensuales - Grupo N° 1

ESTACIÓN	TENDENCIA EN LA:	MEDIA, DESVEST, COEFICIENTES DE REGRESIÓN Y NÚMERO DE DATOS DE LAS TENDENCIAS EN LA MEDIA Y EN LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR							ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA TENDENCIA EN LA MEDIA Y EN LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR			
		Parámetros		Coeficientes de Regresión			Coeficiente de Correlación R	Número de Datos N	Estadístico T		Comparación	Tendencia Significativa
		Media	Desv.Est.	Am	Bm	Cm			T calculada Tc	T tabla (95%) Tt		
Casapalca	Media (Tm)	55.48	51.95	59.7936	-0.0149	-	-0.0479	578	-1.1509	1.9641	|Te| < Tt	NO
	Desv.Est (Ts)	51.93	12.18	54.5338	-0.1108	-	-0.1221	46	-0.8160	2.0141	|Te| < Tt	NO
Laguna Pirhua	Media (Tm)	56.33	51.26	70.7216	-0.2148	-	-0.1615	133	-1.8730	1.9781	|Te| < Tt	NO
	Desv.Est (Ts)	53.20	15.46	58.8056	-1.4014	-	-0.1958	7	-0.4465	2.4469	|Te| < Tt	NO
Milloc	Media (Tm)	72.22	65.90	68.7197	0.0137	-	0.0306	510	0.6900	1.9646	|Te| < Tt	NO
	Desv.Est (Ts)	63.63	17.95	54.3578	0.4755	-	0.2943	38	1.8476	2.0262	|Te| < Tt	NO
Mina Colqui	Media (Tm)	60.20	63.25	69.7109	-0.0647	-	-0.0867	293	-1.4846	1.9681	|Te| < Tt	NO
	Desv.Est (Ts)	61.89	16.43	72.0749	-0.9259	-	-0.3494	21	-1.6254	2.0860	|Te| < Tt	NO
Pariacancha	Media (Tm)	58.61	56.79	62.0572	-0.0139	-	-0.0349	495	-0.7754	1.9648	|Te| < Tt	NO
	Desv.Est (Ts)	57.30	9.89	60.6306	-0.1586	-	-0.1921	41	-1.2224	2.0211	|Te| < Tt	NO
Río Blanco	Media (Tm)	41.61	50.14	24.8045	0.1159	-	0.1932	289	3.3359	1.9682	|Te| > Tt	SI
	Desv.Est (Ts)	49.30	14.91	36.1015	1.2570	-	0.4991	20	2.4436	2.0930	|Te| > Tt	SI
San José de Parac	Media (Tm)	49.71	55.00	43.6596	0.0293	-	0.0635	412	1.2884	1.9658	|Te| < Tt	NO
	Desv.Est (Ts)	54.38	14.69	53.3026	0.0653	-	0.0417	32	0.2286	2.0395	|Te| < Tt	NO
San Cristóbal	Media (Tm)	74.49	63.75	65.5014	0.0426	-	0.0813	421	1.6697	1.9656	|Te| < Tt	NO
	Desv.Est (Ts)	64.63	13.68	56.8453	0.4718	-	0.3235	32	1.8726	2.0395	|Te| < Tt	NO

Cuadro N° 4.9 Análisis de tendencias de las precipitaciones mensuales - Grupo N° 2

ESTACIÓN	TENDENCIA EN LA:	MEDIA, DESVEST, COEFICIENTES DE REGRESIÓN Y NÚMERO DE DATOS DE LAS TENDENCIAS EN LA MEDIA Y EN LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR							ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA TENDENCIA EN LA MEDIA Y EN LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR			
		Parámetros		Coeficientes de Regresión			Coeficiente de Correlación R	Número de Datos N	Estadístico T		Comparación	Tendencia Significativa
		Media	Desv.Est.	Am	Bm	Cm			T calculada Tc	T tabla (95%) Tt		
Arahuay	Media (Tm)	26.73	43.19	27.9506	-0.0068	-	-0.0162	358	-0.3057	1.9666	|Te| < Tt	NO
	Desv.Est (Ts)	40.48	15.78	42.4100	-0.1331	-	-0.0694	28	-0.3547	2.0518	|Te| < Tt	NO
Autisha	Media (Tm)	17.07	29.74	11.8752	0.0296	-	0.1006	350	1.8862	1.9668	|Te| < Tt	NO
	Desv.Est (Ts)	27.51	14.13	19.8893	0.5645	-	0.3056	26	1.5723	2.0595	|Te| < Tt	NO
Canchacalla	Media (Tm)	24.33	44.93	15.2120	0.0683	-	0.1169	266	1.9125	1.9690	|Te| < Tt	NO
	Desv.Est (Ts)	41.19	22.69	27.5632	1.2388	-	0.3385	21	1.5681	2.0860	|Te| < Tt	NO
Carampoma	Media (Tm)	33.84	45.11	28.0146	0.0219	-	0.0744	531	1.7160	1.9644	|Te| < Tt	NO
	Desv.Est (Ts)	43.81	13.50	40.1920	0.1809	-	0.1528	39	0.9405	2.0244	|Te| < Tt	NO
Chalilla	Media (Tm)	32.51	53.96	38.5033	-0.0655	-	-0.0639	182	-0.8591	1.9732	|Te| < Tt	NO
	Desv.Est (Ts)	50.01	14.87	60.9225	-1.4550	-	-0.4090	14	-1.5526	2.1604	|Te| < Tt	NO
Lachaqui	Media (Tm)	56.30	76.49	60.3512	-0.0192	-	-0.0305	421	-0.6246	1.9656	|Te| < Tt	NO
	Desv.Est (Ts)	61.34	22.88	54.3603	0.5369	-	0.1727	25	0.8409	2.0639	|Te| < Tt	NO
Matucana	Media (Tm)	24.45	34.80	19.9001	0.0173	-	0.0755	525	1.7316	1.9645	|Te| < Tt	NO
	Desv.Est (Ts)	32.74	11.57	27.4785	0.3095	-	0.2587	33	1.4911	2.0369	|Te| < Tt	NO
Santiago de Tuna	Media (Tm)	27.17	51.96	26.6939	0.0018	-	0.0053	528	0.1216	1.9645	|Te| < Tt	NO
	Desv.Est (Ts)	46.58	25.46	56.6128	-0.5145	-	-0.2245	38	-1.3823	2.0262	|Te| < Tt	NO

Cuadro N° 4.10 Análisis de tendencias de las precipitaciones mensuales - Grupo N° 3

ESTACIÓN	TENDENCIA EN LA:	MEDIA, DESVEST, COEFICIENTES DE REGRESIÓN Y NÚMERO DE DATOS DE LAS TENDENCIAS EN LA MEDIA Y EN LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR							ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA TENDENCIA EN LA MEDIA Y EN LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR			
		Parámetros		Coeficientes de Regresión			Coeficiente de Correlación R	Número de Datos N	Estadístico T		Comparación	Tendencia Significativa
		Media	Desv.Est.	Am	Bm	Cm			T calculada Tc	T tabla (95%) Tt		
Chosica	Media (Tm)	1.96	4.71	1.6414	0.0027	-	0.0392	235	0.5988	1.9702	|Te| < Tt	NO
	Desv.Est (Ts)	3.98	2.63	4.2767	-0.0349	-	-0.0631	16	-0.2366	2.1314	|Te| < Tt	NO
Santa Eulalia	Media (Tm)	2.61	6.34	2.7678	-0.0006	-	-0.0134	525	-0.3065	1.9645	|Te| < Tt	NO
	Desv.Est (Ts)	5.36	3.51	5.4127	-0.0027	-	-0.0085	38	-0.0510	2.0262	|Te| < Tt	NO

Caso de las estaciones meteorológicas del grupo 4, no se ha realizado el análisis estadístico de saltos y tendencias, debido al corto periodo de información y los valores de las precipitaciones son muy bajos, y están ubicadas en la zona costa de la cuenca río Rímac.

En general, después de haber evaluado con los tres métodos de análisis, se obtiene que la información pluviométrica de caudales medios y precipitaciones mensuales, considerados en el presente estudio 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 COMPLETACIÓN Y EXTENSIÓN DE LA INFORMACIÓN PLUVIOMÉTRICA

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

Para la completación y extensión de la información pluviométrica se ha utilizado el software hidrológico denominado Hec-4 Monthly Streamflow Simulation, desarrollado por el Hydrologic Engineering Center de los Estados Unidos de América.

La completación y extensión de registros de la información pluviométrica, se ha desarrollado utilizando la información consistente y confiable obtenida en el análisis anterior. Los registros de precipitaciones mensuales de las estaciones consideradas en el presente estudio, se han completado y extendido del período 1964-2009.

En el siguiente cuadro se muestra la información del promedio multimensual, de las precipitaciones mensuales completadas y extendidas.

Cuadro N° 4.11 Precipitación total mensual (mm) – Promedio multimensual (1964-2009)
Estaciones de la cuenca Rímac y cuencas vecinas

N°	Estación	Mes												Total Anual
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
1	Aeropuerto Internacional	0.1	0.2	0.1	0.0	1.3	1.6	1.2	1.4	2.6	0.9	0.4	0.6	10.3
2	Arahuay	64.7	90.3	90.8	24.9	2.1	0.0	0.0	0.0	0.6	6.9	10.6	26.4	317.4
3	Autisha	35.7	58.1	60.9	13.2	1.9	0.0	0.0	0.2	1.6	4.5	7.0	17.2	200.2
4	Campo de Marte	0.2	0.3	0.2	0.0	0.1	0.9	1.2	2.2	1.1	0.3	0.6	0.6	7.8
5	Canchacalla	66.1	75.5	79.5	22.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.4	8.3	5.8	38.9	297.1
6	Carampoma	83.7	95.1	90.8	30.3	3.2	0.3	0.8	1.4	6.7	19.8	26.1	52.3	410.4
7	Casapalca	105.2	114.1	109.6	46.2	16.1	6.7	7.7	14.3	34.8	54.0	50.9	87.9	647.6
8	Chalilla	66.7	85.3	102.8	23.0	0.9	0.0	0.0	0.5	0.8	8.9	12.5	46.7	348.1
9	Chosica (PLU)	5.7	7.7	6.2	1.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2	1.8	23.3
10	Cieneguilla	3.1	0.0	2.0	0.2	0.0	0.2	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	0.3	6.5
11	Hipólito Unanue	0.6	0.2	0.3	0.1	0.3	0.8	1.6	1.5	1.4	0.4	0.6	0.4	8.3
12	La Cantuta	9.9	4.0	2.9	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	2.9	20.5
13	Lachaqui	114.2	146.1	167.2	52.1	6.4	0.0	0.0	1.5	5.9	31.2	37.3	67.8	629.8
14	Laguna Pirhua	107.3	106.9	125.1	78.9	22.7	7.2	9.5	9.7	37.5	57.0	43.8	97.1	702.7
15	Matucana	58.1	69.7	75.4	18.8	1.8	0.3	0.0	0.2	1.9	8.9	11.9	38.2	285.2
16	Milloc	140.2	142.3	144.0	67.5	23.7	8.7	9.5	16.4	40.2	68.2	78.0	124.5	863.2
17	Mina Colqui	121.8	148.4	157.0	59.9	12.5	4.0	2.8	11.4	25.6	48.2	50.5	84.4	726.4
18	Ñana	0.3	0.4	0.1	0.0	0.0	0.7	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8
19	Pariacancha	122.8	130.9	133.0	56.5	18.4	2.9	4.6	7.6	23.8	53.4	55.3	95.2	704.6
20	Rímac	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6
21	Río Blanco	93.7	122.4	106.8	34.1	6.5	1.6	0.9	1.9	15.2	28.0	39.0	75.1	525.3
22	San José de Parac	110.8	131.0	124.7	41.3	9.5	2.6	1.7	3.9	13.4	41.0	46.6	85.6	612.1
23	Santa Clara	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	2.2
24	Santa Eulalia	7.6	10.3	10.7	0.5	0.2	0.0	0.0	0.0	0.3	0.7	0.5	2.6	33.4
25	Santiago de Tuna	59.3	103.1	105.7	16.6	1.4	0.0	0.1	0.1	0.9	3.4	8.1	31.9	330.4
26	San Cristobal	137.6	124.9	150.0	75.9	25.7	11.1	8.1	17.5	40.6	67.5	85.6	130.0	874.6
27	Von Humboldt	1.0	1.1	0.5	0.6	1.7	2.1	1.7	2.2	1.8	0.7	0.7	0.4	14.5

La serie mensual completada y extendida del período 1964-2009 de las estaciones consideradas en el presente estudio, se muestran en el anexo del volumen II.

4.5 PRECIPITACIÓN AREAL EN 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 ha determinado 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 pluviosidad calculada a partir de datos de las mismas estaciones.

El método consiste en colocar en el mapa de la cuenca las estaciones pluviométricas, luego se forman triángulos con las estaciones más próximas entre ellas y posteriormente se trazan las mediatrices perpendiculares a cada uno de los lados de los triángulos formados, definiéndose unos polígonos alrededor de cada estación pluviométrica. La precipitación promedio sobre la cuenca se evalúa con la siguiente ecuación.

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

Donde:

Pm	=	Precipitación areal de la cuenca.
Pi	=	Precipitación registrada en la estación i.
Ai	=	Área de influencia de la estación i.
At	=	Área total de la cuenca.
n	=	Número de estaciones de análisis.

En el plano hidrológico de la cuenca del río Rímac, con la ubicación de las estaciones meteorológicas se ha elaborado los polígonos de Thiessen (ver Figuras N° 4.8 y 4.9).

De acuerdo de las Figuras N° 4.8 y 4.9, 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 del río Rímac, y además también se ha obtenido para los puntos de interés para el desarrollo posterior de balance hídrico a nivel de subcuencas. Las áreas de influencia de las estaciones meteorológicas en la cuenca del río Rímac se muestran en el Cuadro N° 4.12.

Figura N° 4.8 Polígonos de Thiessen de la cuenca del río Rímac

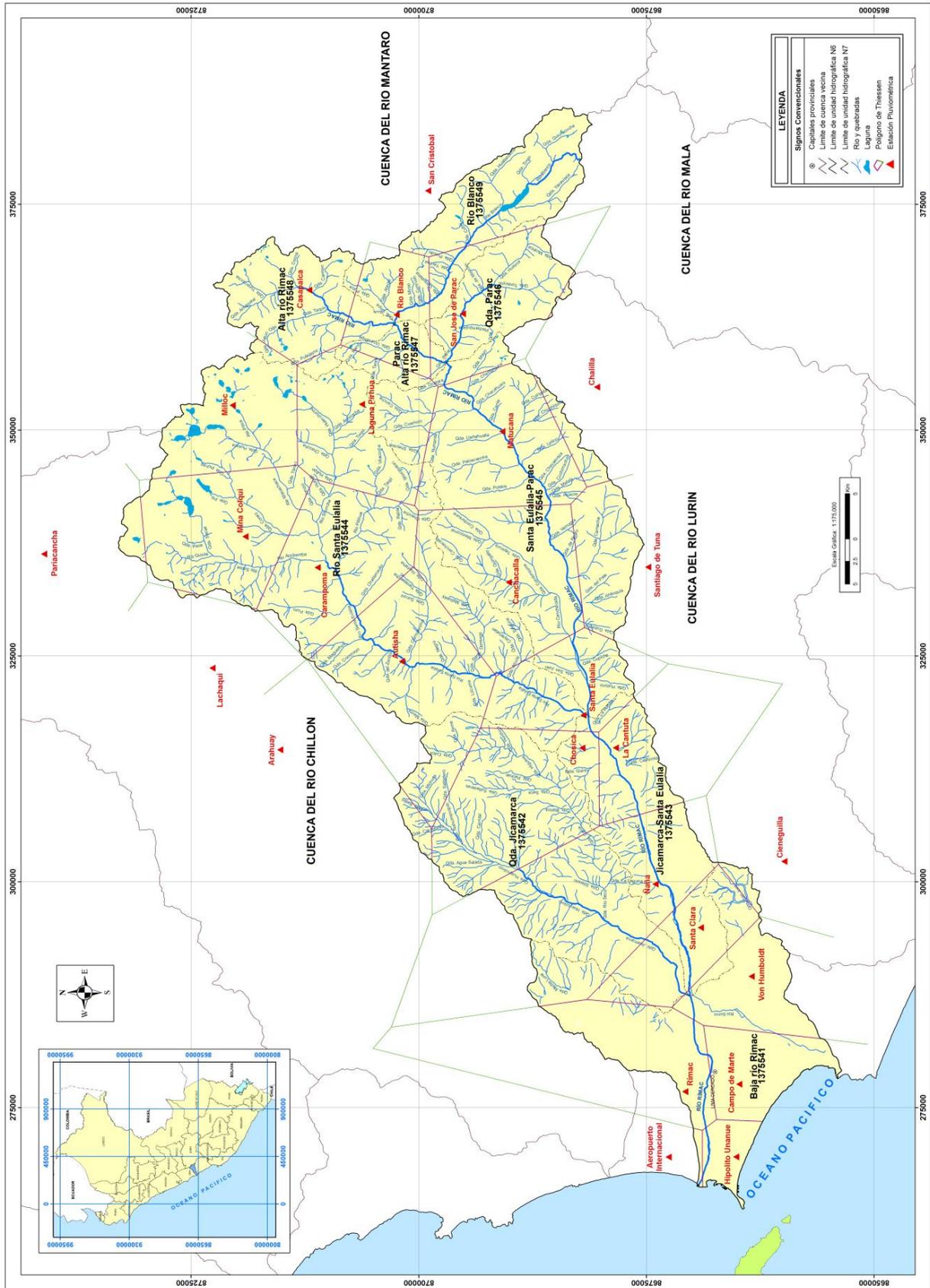
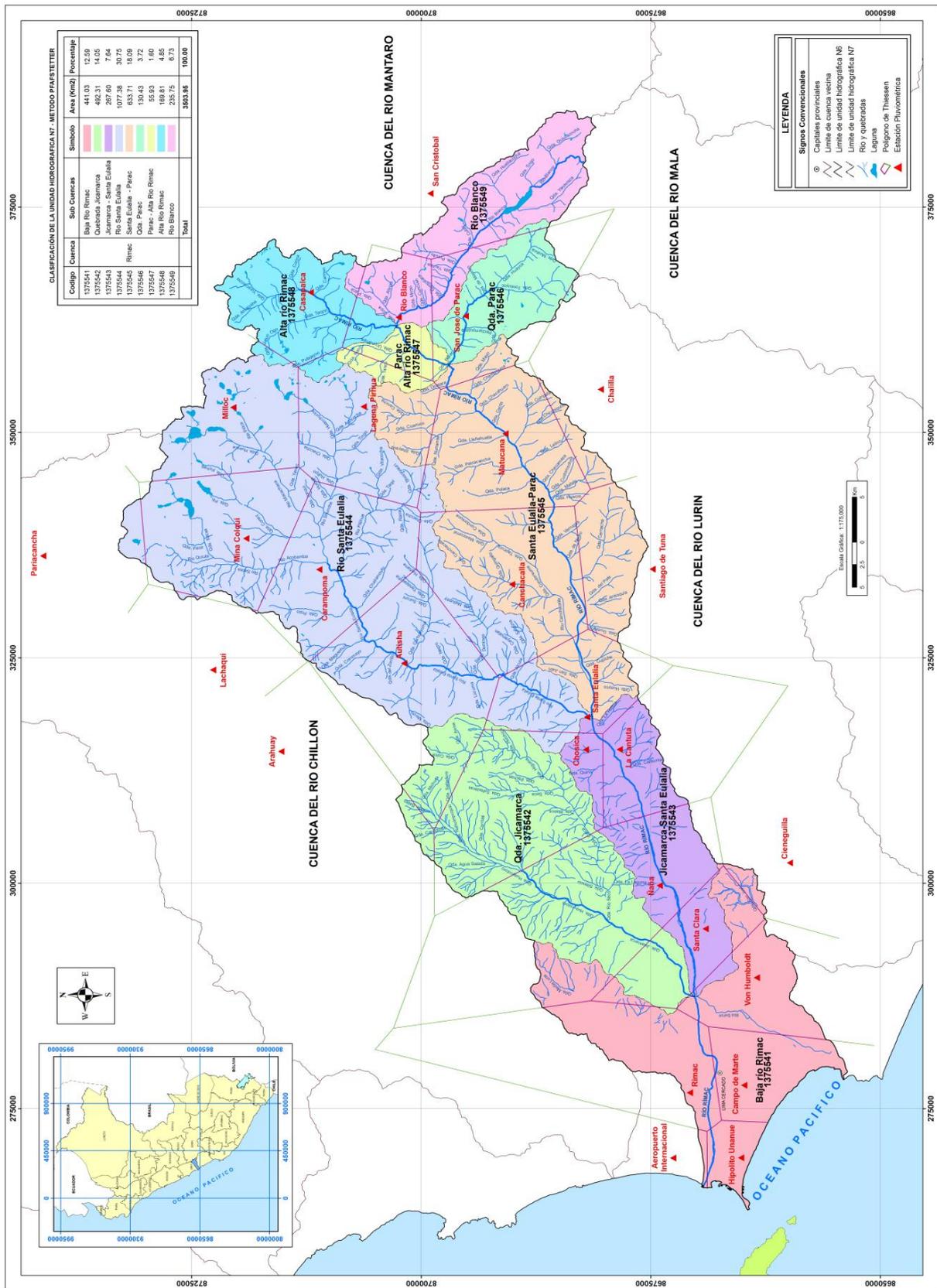


Figura N° 4.9 Polígonos de Thiessen de las subcuencas del río Rímac



La precipitación areal se ha calculado para las subcuencas altas y para el área de drenaje de la cuenca Rímac a la estación hidrométrica Chosica (906 msnm), y no se ha calculado para toda la cuenca debido a que la cuenca húmeda es solo la parte alta de la cuenca a partir de la estación Chosica para arriba, de ahí para abajo la cuenca es seca y no hay precipitación significativa.

Cuadros N° 4.12 Área de influencia de las estaciones meteorológicas – Cuenca río Rímac

Subcuenca río Blanco (unidad hidrográfica 1375549)

N°	Estación	Area (km ²)	Factor
1	Casapalca	5.04	0.0214
2	Río Blanco	50.50	0.2142
3	San Cristobal	151.92	0.6444
4	San Jose de Parac	28.29	0.1200
Total		235.75	1.0000

Subcuenca Alto río Rímac (unidad hidrográfica 1375548)

N°	Estación	Area (km ²)	Factor
1	Casapalca	137.55	0.8100
2	Laguna Pirhua	8.85	0.0521
3	Milloc	5.29	0.0312
4	Río Blanco	18.12	0.1067
Total		169.81	1.0000

Subcuenca Quebrada Párac (unidad hidrográfica 1375546)

N°	Estación	Area (km ²)	Factor
1	Chalilla	1.57	0.0120
2	Río Blanco	0.78	0.0060
3	San Cristobal	2.85	0.0219
4	San Jose de Parac	125.23	0.9601
Total		130.43	1.0000

Subcuenca río Santa Eulalia (unidad hidrográfica 1375544)

N°	Estación	Area (km ²)	Factor
1	Autista	198.52	0.1843
2	Canchacalla	80.32	0.0746
3	Carampoma	205.00	0.1903
4	Casapalca	0.12	0.0001
5	Chosica	8.47	0.0079
6	Lachaqui	1.16	0.0011
7	Laguna Pirhua	130.21	0.1209
8	Matucana	10.09	0.0094
9	Milloc	157.16	0.1459
10	Mina Colqui	210.47	0.1954
11	Pariacancha	13.97	0.0130
12	Santa Eulalia	61.89	0.0574
Total		1077.38	1.0000

Subcuenca río Rímac (confluencia con río Santa Eulalia)

Nº	Estación	Area (km ²)	Factor
1	Canchacalla	177.61	0.1449
2	Casapalca	142.59	0.1163
3	Chalilla	23.74	0.0194
4	Laguna Pirhua	78.15	0.0638
5	Matucana	209.05	0.1706
6	Milloc	5.29	0.0043
7	San Cristobal	154.77	0.1263
8	San Jose de Parac	180.17	0.1470
9	Santa Eulalia	58.78	0.0480
10	Santiago de Tuna	94.72	0.0773
11	Río Blanco	100.77	0.0822
Total		1225.64	1.0000

Subcuenca río Rímac (estación Chosica)

Nº	Estación	Area (km ²)	Factor
1	Autista	198.52	0.0856
2	Canchacalla	257.93	0.1113
3	Carampoma	205.00	0.0884
4	Casapalca	142.70	0.0616
5	Chalilla	23.74	0.0102
6	Chosica	10.69	0.0046
7	La Cantuta	2.33	0.0010
8	Lachaqui	1.16	0.0005
9	Laguna Pirhua	208.36	0.0899
10	Matucana	219.14	0.0945
11	Milloc	162.45	0.0701
12	Mina Colqui	210.47	0.0908
13	Pariacancha	13.97	0.0060
14	San Cristobal	154.78	0.0668
15	San Jose de Parac	180.17	0.0777
16	Santa Eulalia	131.32	0.0566
17	Santiago de Tuna	94.72	0.0409
18	Río Blanco	100.77	0.0435
Total		2318.22	1.0000

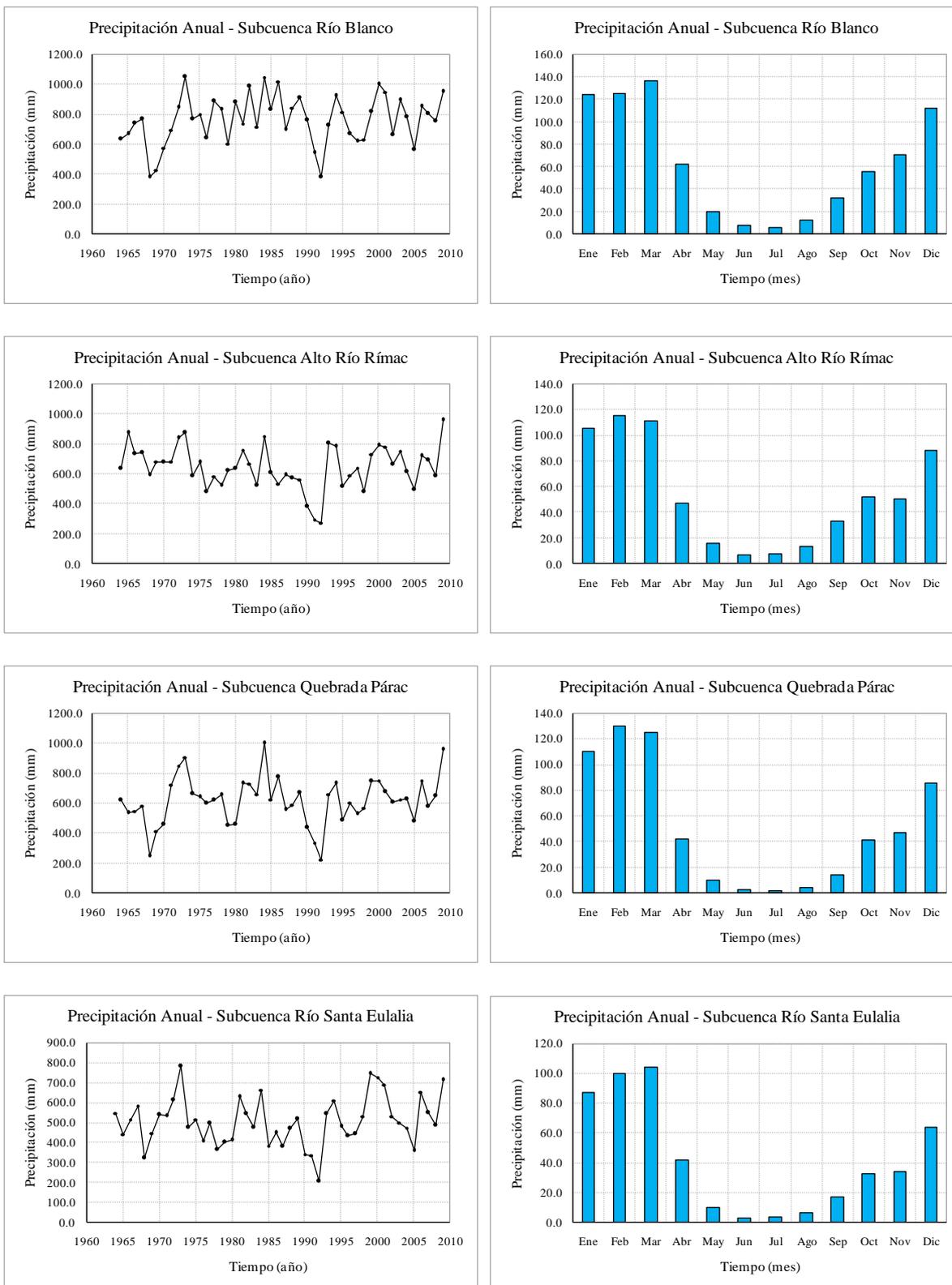
La superficie total de la cuenca húmeda tiene un área aproximada de 2,318.22 km².

En el Cuadro N° 4.13 y en la Figura N° 4.10, se muestran el promedio multimensual y la variación mensual de la precipitación areal de las subcuencas en la cuenca del río Rímac.

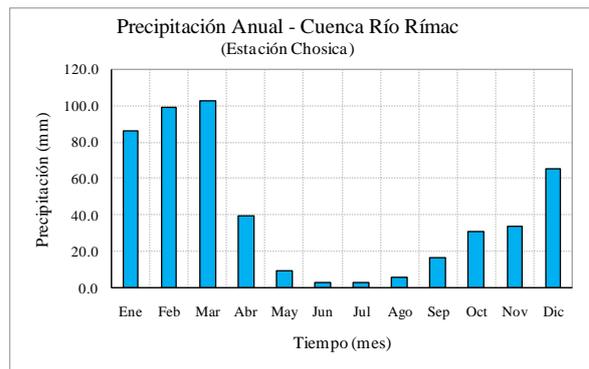
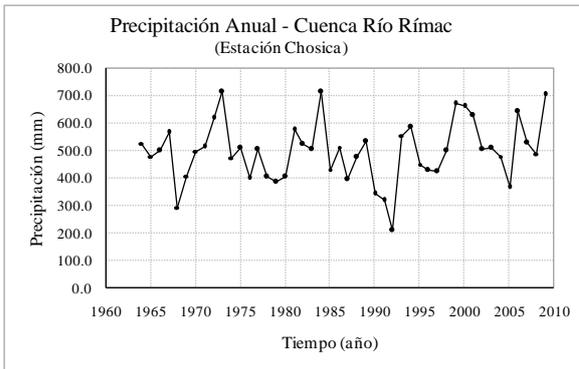
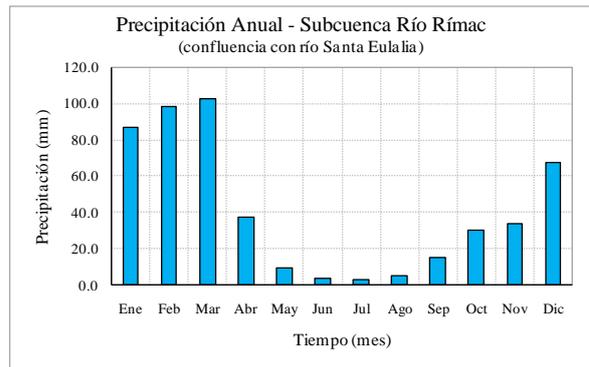
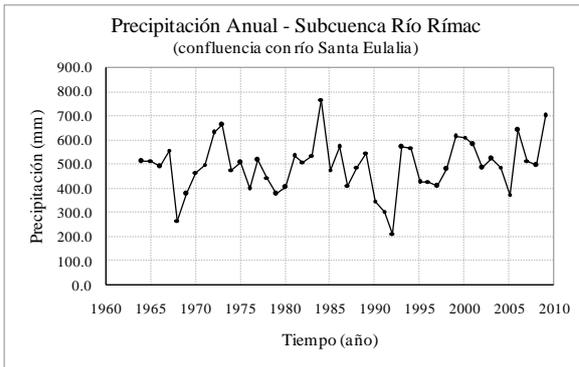
Cuadro N°4.13 Precipitación areal mensual (mm) – Promedio multimensual (1964-2009)
Estaciones meteorológicas de la cuenca Rímac y cuencas vecinas

Nº	Subcuenca y/o Cuenca	Mes												Total Anual
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
1	Río Blanco	124.3	124.9	136.9	62.1	19.4	8.0	5.8	12.5	31.8	55.6	70.2	112.0	763.4
2	Alto Río Rímac	105.2	115.5	111.2	47.3	15.7	6.3	7.2	12.8	33.0	51.9	50.1	88.2	644.2
3	Quebrada Párac	110.7	130.2	124.9	41.8	9.7	2.7	1.8	4.2	13.8	41.2	47.0	86.0	614.2
4	Río Santa Eulalia	87.4	100.3	104.5	41.9	9.9	3.0	3.3	6.2	17.3	32.3	34.1	64.2	504.7
5	Río Rímac (confluen. Río Santa Eulalia)	86.8	98.7	102.4	37.3	9.1	3.2	2.9	5.4	15.4	30.3	33.7	67.8	493.1
6	Río Rímac (Estación Chosica)	86.6	98.9	102.8	39.2	9.4	3.1	3.1	5.7	16.2	31.0	33.7	65.7	495.4

Figura N° 4.10 Precipitación areal total mensual (mm) – Método polígonos de Thiessen
Subcuencas de la cuenca del río Rímac



Continuación



La serie mensual de las precipitaciones areales del período 1964-2009 de las subcuencas de interés en la cuenca de río Rímac, se muestran en el anexo del volumen II.

V HIDROMETRÍA

5.1 GENERALIDADES

La *hidrometría* se encarga de medir, registrar, calcular y analizar los volúmenes de agua que circulan en una sección transversal de un río, canal o tubería en la unidad de tiempo.

Los escurrimientos en una cuenca se dividen en tres componentes: superficial, subsuperficial y subterráneo, en el presente se trata del primero.

El *superficial* es el que se manifiesta por encima del terreno natural, primariamente laminar hasta que luego se va concentrando en cauces, y sale finalmente de la cuenca. Se lo denomina rápido, por el tiempo es el primer escurrimiento que se manifiesta en la sección de control de la cuenca.

Sistema hidrométrico.- Es el conjunto de actividades y procedimientos que permiten conocer los caudales de agua que circulan en los cauces de los ríos y canales de un sistema de riego, con el fin de registrar, procesar y programar la distribución del agua. El sistema hidrométrico tiene como soporte físico la red hidrométrica.

Red hidrométrica.- Es el conjunto de puntos ubicados estratégicamente en el sistema hidrográfico. Los puntos de medición deben ser adecuadamente ubicados a fin de determinar el caudal que circula en toda la red hidrográfica.

Puntos de control.- Son los lugares donde se registran los caudales de agua que circulan por una sección hidráulica que pueden ser: estaciones hidrométricas, estructuras hidráulicas, compuertas, caídas, vertederos, medidores Parshall, RBC, ASC (Aforador Sin Cuello), miras, etc.

Caudal.- Es el volumen de agua por unidad de tiempo que pasa por una sección de un cauce. Sus unidades normales son m^3/s ó l/s .

5.2 RED DE ESTACIONES HIDROMÉTRICAS

Las estaciones hidrométricas en las cuencas hidrográficas del país, están ubicadas generalmente en la parte inferior de la cuenca húmeda, y muy pocas a nivel de subcuencas. El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), perteneciente al Ministerio del Ambiente, administra la mayor parte de las estaciones en las tres regiones hidrográficas del Perú, y EDEGEL en las estaciones Sheque y Tamboraque.

En la cuenca del río Rímac existen tres estaciones hidrométricas, con registro de caudales históricos en forma significativa en las estaciones Chosica, Sheque y Tamboraque. En el siguiente cuadro se muestra en forma gráfica la longitud de registro histórico de caudales.

5.2.1 Estación hidrométrica Chosica – Río Rímac

La estación hidrométrica Chosica, geográficamente se localiza en las coordenadas geográficas de $11^{\circ}55'48.5''$ de latitud sur y $76^{\circ}41'23.8''$ de longitud oeste, y a una altitud de 906 msnm.

La estación hidrométrica Chosica de la cuenca del río Rímac, políticamente se encuentra ubicada en:

- País : Perú
- Región : Lima
- Provincia : Lima
- Distrito : Chaclacayo

Se ubica en la parte media e inicio del valle de la cuenca del río Rímac y mide todo el escurrimiento de la cuenca húmeda.

El registro histórico disponible de descargas medias mensuales en la estación hidrométrica Chosica, es continuo del período 1912-2009, con 98 años de información, del año 1912-1964 corresponde a caudales naturales y de 1965-2009 caudales regulados.

La estación hidrométrica Chosica es administrada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología - SENAMHI - Lima.

5.2.2 Estación hidrométrica Sheque – Río Santa Eulalia

La estación hidrométrica Sheque de la cuenca del río Santa Eulalia, políticamente se encuentra ubicada en:

- País : Perú
- Región : Lima
- Provincia : Huarochirí
- Distrito : Carampoma

Se ubica en la parte media alta de la cuenca del río Rímac y media de la subcuenca Santa Eulalia, mide todo el escurrimiento de la subcuenca.

El registro histórico disponible de descargas medias mensuales en la estación hidrométrica Sheque es continuo del período 1965-2009, con 45 años de información, lo cual corresponde a caudales naturales.

La estación hidrométrica Sheque es administrada por EDEGEL – Lima.

5.2.3 Estación hidrométrica Tamboraque – Río Rímac

La estación hidrométrica Tamboraque de la cuenca del río Rímac, políticamente se encuentra ubicada en:

- País : Perú
- Región : Lima
- Provincia : Huarochirí
- Distrito : Matucana

Se ubica en la parte media alta de la cuenca del río Rímac y mide todo el escurrimiento de la subcuenca.

El registro histórico disponible de descargas medias mensuales en la estación hidrométrica Tamboraque es continuo del período 1965-2009, con 45 años de información, lo cual corresponde a caudales naturales.

La estación hidrométrica Tamboraque es administrada por EDEGEL – Lima.

Además, existe la información de caudales medios mensuales del Túnel Trasandino del período 1965-1995, esta información sirve para la naturalización de los caudales de la estación Chosica.

5.3 NATURALIZACIÓN DE LOS CAUDALES

En el presente estudio se ha naturalizado los caudales de la estación Chosica del río Rímac, del año 1965-2009. Los caudales naturalizados son los caudales registrados en la estación Chosica menos los caudales del Túnel Trasandino, cuya información se muestran en el anexo del Volumen II.

5.4 ANÁLISIS DE CONSISTENCIA DE LA INFORMACIÓN HIDROMÉTRICA

El análisis de consistencia de las descargas medias mensuales, se ha realizado similarmente con la misma metodología descrita en el análisis de la información pluviométrica. A continuación se muestran los análisis respectivos.

Análisis visual de hidrogramas

Este análisis se realiza para detectar e identificar la inconsistencia de la información hidrométrica en forma visual, e indicar el período o los períodos en los cuales los datos son dudosos, lo cual se puede reflejar como “picos“ muy altos o valores muy bajos, “saltos” y/o “tendencias”, los cuales se deben comprobarse si son fenómenos naturales que efectivamente han ocurrido o son producidos por errores sistemáticos, mediante un gráfico o hidrograma de las series de análisis, en coordenadas cartesianas ploteando la información histórica de la variable hidrométrica a nivel anual y mensual; en las ordenadas se ubica los valores anuales o mensuales de la serie hidrométrica en unidades respectivas y en las abscisas el tiempo en años y meses.

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

Figura N° 5.0 Ubicación de las estaciones hidrométricas en la cuenca del río Rímac

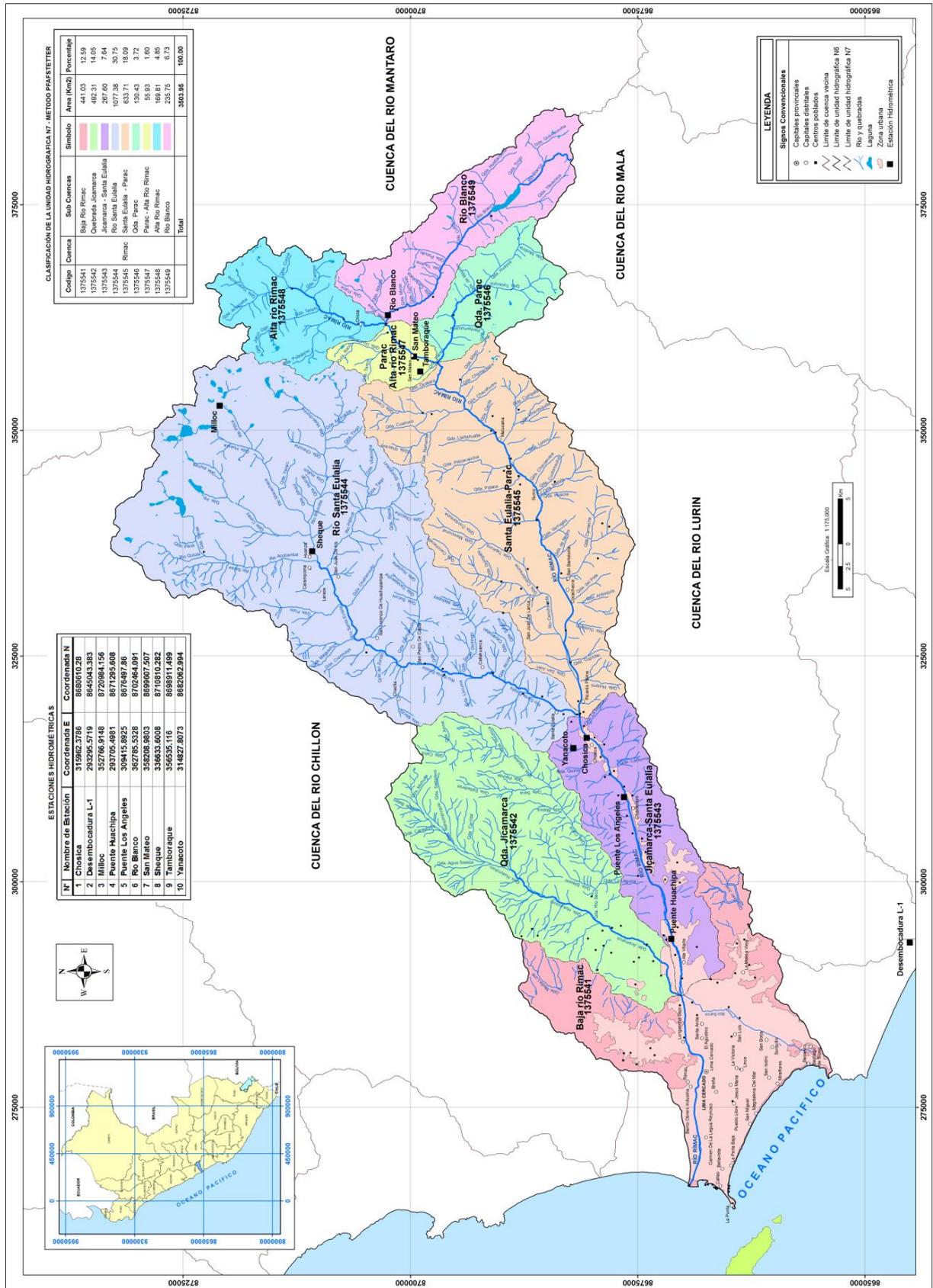
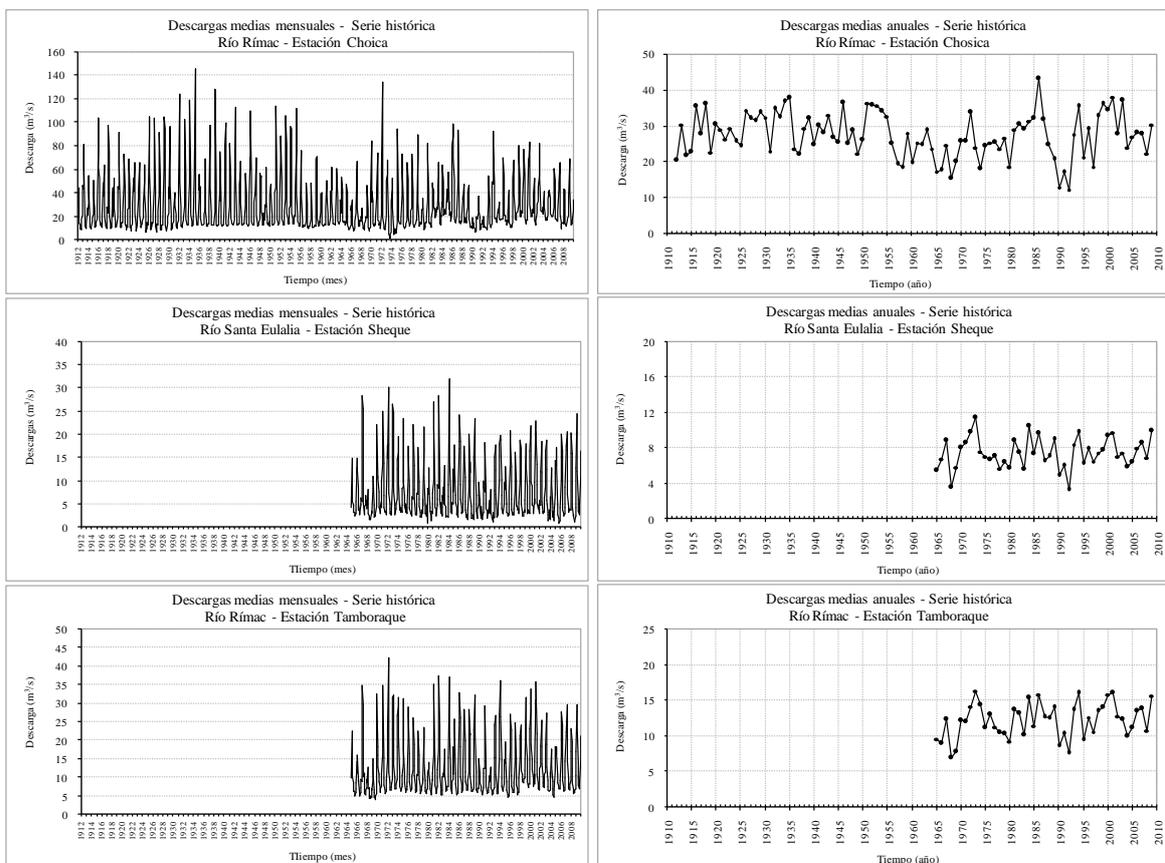


Figura N° 5.1 Hidrograma de descargas medias mensuales y anuales - serie histórica



Análisis de doble masa

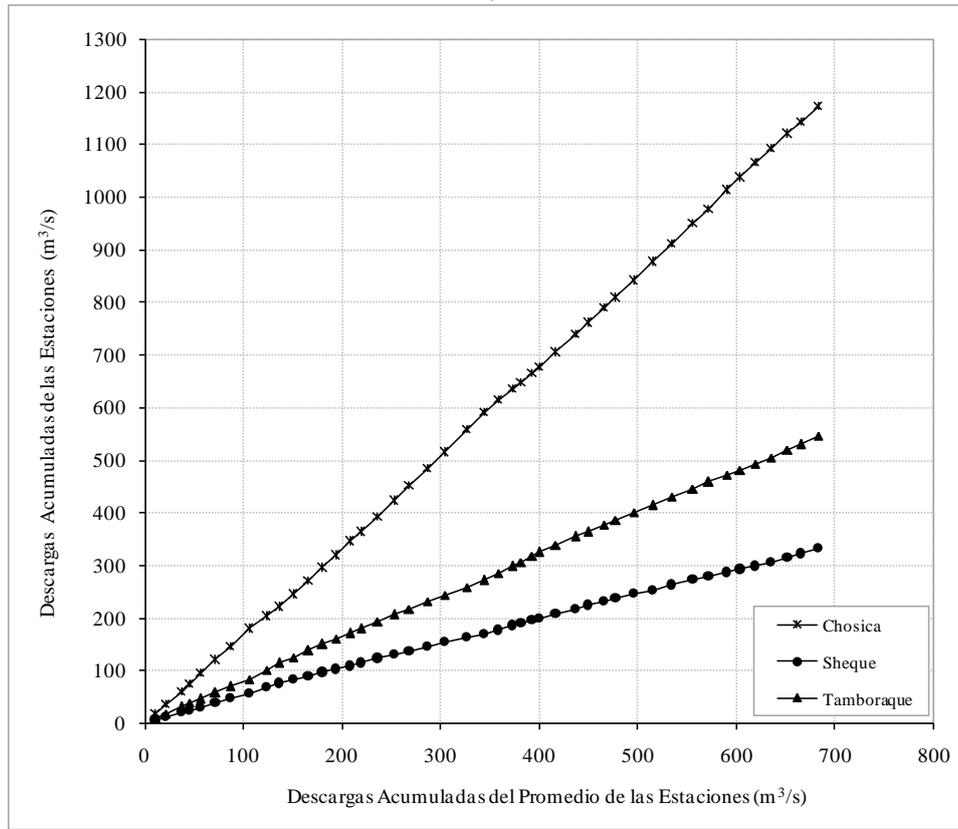
Después de haber analizado los hidrogramas de las series respectivas se realiza el análisis de doble masa. El diagrama de doble masa se obtiene planteando en el eje de las abscisas el volumen anual promedio acumulado de la variable hidrométrica de los ríos en unidades respectivas y en el eje de las ordenadas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

En este caso, según el análisis de doble masa, no se muestra ningún quiebre en las tres estaciones consideradas en el análisis, los cuadros y gráficos de análisis se muestran a continuación.

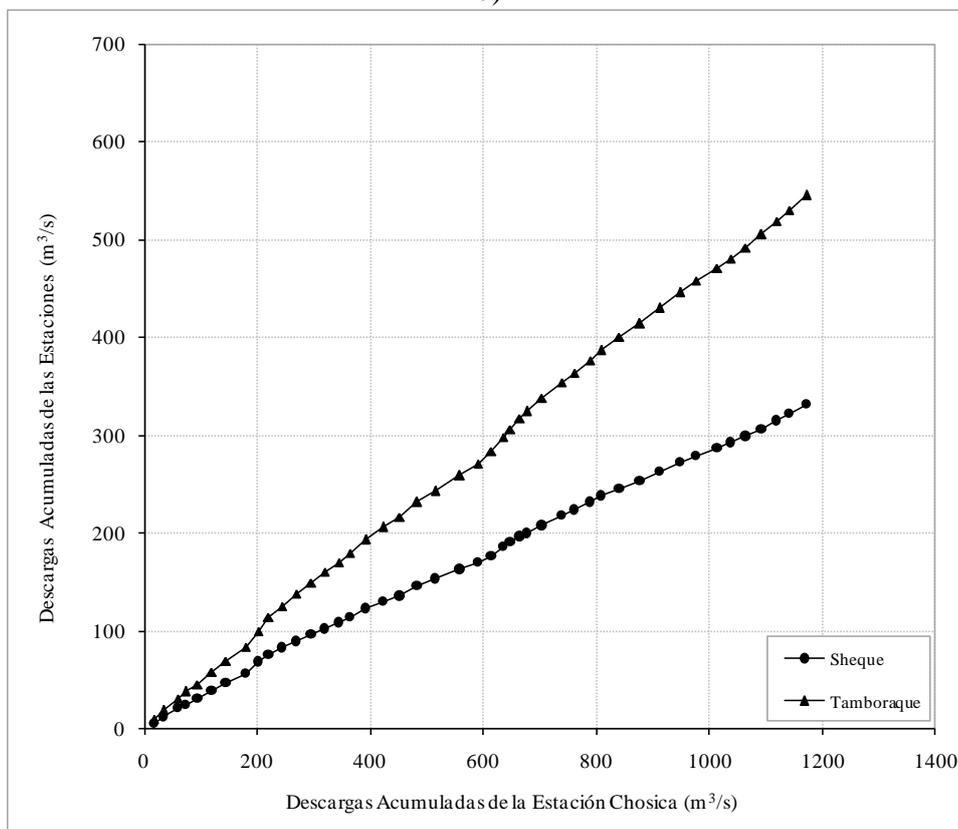
Cuadro N° 5.1 Análisis de doble masa de las descargas medias anuales (m³/s)

m	Año	Estación Hidrométrica						Promedio	
		Chosica		Sheque		Tamboraque		Q	Qacumul
		Q	Qacumul	Q	Qacumul	Q	Qacumul		
1	1965	17.06	17.06	5.40	5.40	9.52	9.52	10.66	10.66
2	1966	17.55	34.61	6.69	12.09	8.92	18.44	11.05	21.71
3	1967	24.43	59.04	8.77	20.86	12.26	30.70	15.15	36.86
4	1968	15.26	74.30	3.48	24.34	6.90	37.60	8.55	45.41
5	1969	19.83	94.13	5.74	30.08	7.74	45.34	11.10	56.51
6	1970	25.55	119.68	8.03	38.11	12.09	57.43	15.22	71.73
7	1971	25.54	145.22	8.57	46.68	11.96	69.39	15.36	87.09
8	1972	33.79	179.01	9.79	56.47	14.10	83.49	19.23	106.32
9	1973	23.75	202.76	11.43	67.90	16.30	99.79	17.16	123.48
10	1974	18.02	220.78	7.52	75.42	14.34	114.13	13.29	136.77
11	1975	24.25	245.03	6.99	82.41	11.11	125.24	14.12	150.89
12	1976	25.18	270.21	6.64	89.05	13.00	138.24	14.94	165.83
13	1977	25.24	295.45	7.06	96.11	11.20	149.44	14.50	180.33
14	1978	23.48	318.93	5.60	101.71	10.44	159.88	13.17	193.50
15	1979	26.51	345.44	6.38	108.09	10.26	170.14	14.38	207.88
16	1980	18.43	363.87	5.64	113.73	9.20	179.34	11.09	218.97
17	1981	28.78	392.65	8.78	122.51	13.64	192.98	17.07	236.04
18	1982	30.44	423.09	7.47	129.98	13.10	206.08	17.00	253.04
19	1983	29.04	452.13	5.57	135.55	10.14	216.22	14.92	267.96
20	1984	31.16	483.29	10.43	145.98	15.36	231.58	18.98	286.94
21	1985	32.05	515.34	7.27	153.25	11.38	242.96	16.90	303.84
22	1986	43.05	558.39	9.65	162.90	15.79	258.75	22.83	326.67
23	1987	31.69	590.08	6.48	169.38	12.60	271.35	16.92	343.59
24	1988	24.60	614.68	7.08	176.46	12.51	283.86	14.73	358.32
25	1989	20.68	635.36	8.94	185.40	14.01	297.87	14.54	372.86
26	1990	12.76	648.12	4.85	190.25	8.66	306.53	8.76	381.62
27	1991	16.95	665.07	5.98	196.23	10.33	316.86	11.09	392.71
28	1992	12.04	677.11	3.25	199.48	7.63	324.49	7.64	400.35
29	1993	27.53	704.64	8.32	207.80	13.66	338.15	16.50	416.85
30	1994	35.42	740.06	9.72	217.52	16.04	354.19	20.39	437.24
31	1995	21.11	761.17	6.18	223.70	9.47	363.66	12.25	449.49
32	1996	29.05	790.22	7.84	231.54	12.54	376.20	16.48	465.97
33	1997	18.43	808.65	6.43	237.97	10.54	386.74	11.80	477.77
34	1998	32.75	841.40	7.40	245.37	13.46	400.20	17.87	495.64
35	1999	35.94	877.34	7.72	253.09	14.05	414.25	19.24	514.88
36	2000	34.45	911.79	9.34	262.43	15.79	430.04	19.86	534.74
37	2001	37.91	949.70	9.68	272.11	15.99	446.03	21.19	555.93
38	2002	27.76	977.46	6.95	279.06	12.71	458.74	15.81	571.74
39	2003	36.94	1014.40	7.40	286.46	12.30	471.04	18.88	590.62
40	2004	23.77	1038.17	5.78	292.24	9.95	480.99	13.17	603.79
41	2005	26.79	1064.96	6.38	298.62	11.08	492.07	14.75	618.54
42	2006	27.98	1092.94	7.92	306.54	13.45	505.52	16.45	634.99
43	2007	27.65	1120.59	8.54	315.08	13.82	519.34	16.67	651.66
44	2008	22.12	1142.71	6.82	321.90	10.71	530.05	13.22	664.88
45	2009	30.13	1172.84	9.93	331.83	15.62	545.67	18.56	683.44

Figura N° 5.2 Diagrama de doble masa de las descargas medias anuales - Grupo N° 1
a)



b)



Análisis estadístico

✍ Análisis de Saltos

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

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

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

A continuación se muestra el cuadro del análisis respectivo.

Cuadro N° 5.2 Análisis de saltos de las descargas medias mensuales - serie histórica

ESTACIÓN	PERÍODO DE ANÁLISIS		NÚMERO DE DATOS, PROMEDIO Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR			CONSISTENCIA EN LA MEDIA				CONSISTENCIA EN LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR			
			N° Datos	Promedio	Desv.Est.	T calculada Tc	T tabla (95%) Tt	Comparación	Diferencia Significativa	F calculada Fc	F tabla (95%) Ft	Comparación	Diferencia Significativa
Chosica	n ₁ , PC	1912-1970	59	27.56	5.77	0.4369	1.9850	|Tc| < Tt	NO	1.4012	1.6100	Fc < Ft	NO
	n ₂ , PD	1971-2009	39	27.00	6.83								
Sheque	n ₁ , PC	1965-1987	23	7.36	1.87	-0.0378	2.0167	|Tc| < Tt	NO	1.2539	2.0733	Fc < Ft	NO
	n ₂ , PD	1988-2009	22	7.38	1.67								
Tamboraque	n ₁ , PC	1965-1987	23	11.80	2.49	-0.9148	2.0167	|Tc| < Tt	NO	1.0587	2.0733	Fc < Ft	NO
	n ₂ , PD	1988-2009	22	12.47	2.42								

El análisis de tendencia de los caudales medios anuales, no se ha realizado debido a que la tendencia en la desviación se presenta en los datos semanales o mensuales pero no en datos anuales.

En general, después de haber evaluado con los tres métodos de análisis, se obtiene que la información hidrométrica de caudales medios mensuales, considerados en el presente estudio es libre de saltos y tendencias, serie homogénea, consistente y confiable al 95% de probabilidad, para su uso de propósitos múltiples.

5.5 COMPLETACIÓN Y EXTENSIÓN DE LA INFORMACIÓN HIDROMÉTRICA

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

En este caso, la información de las descargas medias mensuales de las estaciones Chosica, Sheque y Tamboraque, es de un periodo considerable y no es necesario completar ni extender dicha información.

5.6 ANÁLISIS DE PERSISTENCIA DE LAS DESCARGAS MEDIAS MENSUALES

Según recomendaciones nacionales e internacionales, la disponibilidad de agua para atender las demandas de riego se deben determinar con un nivel de persistencia de 75% de probabilidad.

El análisis estadístico de probabilidad de ocurrencia de las descargas medias mensuales, para fines de riego, la fórmula de Weibull es universalmente utilizada, cuya ecuación es la siguiente:

$$P(X \geq x_m) = \left(\frac{m}{n+1} \right) \quad (1)$$

Donde:

- n : Número total de datos de la muestra.
m : Posición de un valor en una lista ordenada por magnitud descendente del respectivo valor de caudal al que se refiere la probabilidad P de excedencia.

Para el análisis de persistencia de las descargas medias mensuales de las estaciones Chosica (1912-2009), Sheque (1965-2009) y Tamboraque (1965-2009), se ha empleado la información consistente y confiable.

Utilizando la información de las descargas medias de las estaciones Chosica, Sheque y Tamboraque, y aplicando la ecuación (1), se ha realizado el análisis de persistencia al 50, 75, 90 y 95% de probabilidad. En los cuadros siguientes se muestran el resultado del análisis de persistencia de las descargas medias de los ríos en estudio.

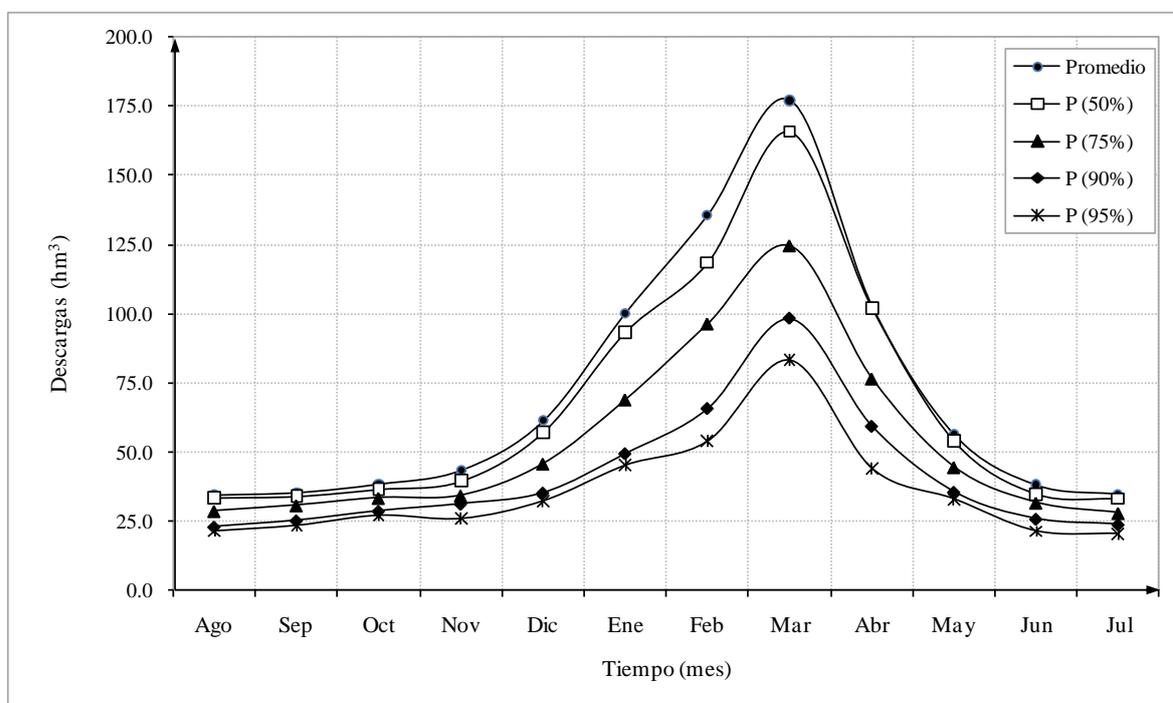
Cuadro N° 5.3 Persistencia de las descargas medias mensuales (m³/s) – Estación Chosica

Persistencia	Mes												Prom Anual
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Promedio	37.40	56.05	66.10	39.60	20.99	14.66	12.95	12.83	13.60	14.31	16.72	22.86	27.34
P (50%)	34.86	48.99	61.92	39.37	20.09	13.39	12.31	12.43	13.05	13.58	15.18	21.32	25.54
P (75%)	25.73	39.85	46.55	29.51	16.58	12.17	10.38	10.65	11.80	12.42	13.18	17.06	20.49
P (90%)	18.42	27.14	36.67	22.84	13.23	9.92	8.85	8.53	9.69	10.66	12.01	13.12	15.92
P (95%)	16.80	22.22	31.03	16.89	12.21	8.14	7.52	7.87	8.92	9.99	9.88	11.97	13.62

Cuadro N° 5.4 Volúmenes de descargas medias mensuales (hm³) – Estación Chosica

Persistencia	Mes												Total Anual
	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	
Promedio	34.36	35.25	38.33	43.34	61.23	100.17	135.60	177.04	102.64	56.22	38.00	34.69	856.87
P (50%)	33.29	33.83	36.37	39.35	57.10	93.37	118.52	165.85	102.05	53.81	34.71	32.97	801.21
P (75%)	28.52	30.59	33.27	34.16	45.69	68.92	96.41	124.68	76.49	44.41	31.54	27.80	642.48
P (90%)	22.85	25.12	28.55	31.13	35.14	49.34	65.66	98.22	59.20	35.44	25.71	23.70	500.05
P (95%)	21.08	23.12	26.76	25.61	32.06	45.00	53.75	83.11	43.78	32.70	21.10	20.14	428.21

Gráfico N° 5.3 Variación mensual de los volúmenes de descargas medias (hm³) – Estación Chosica



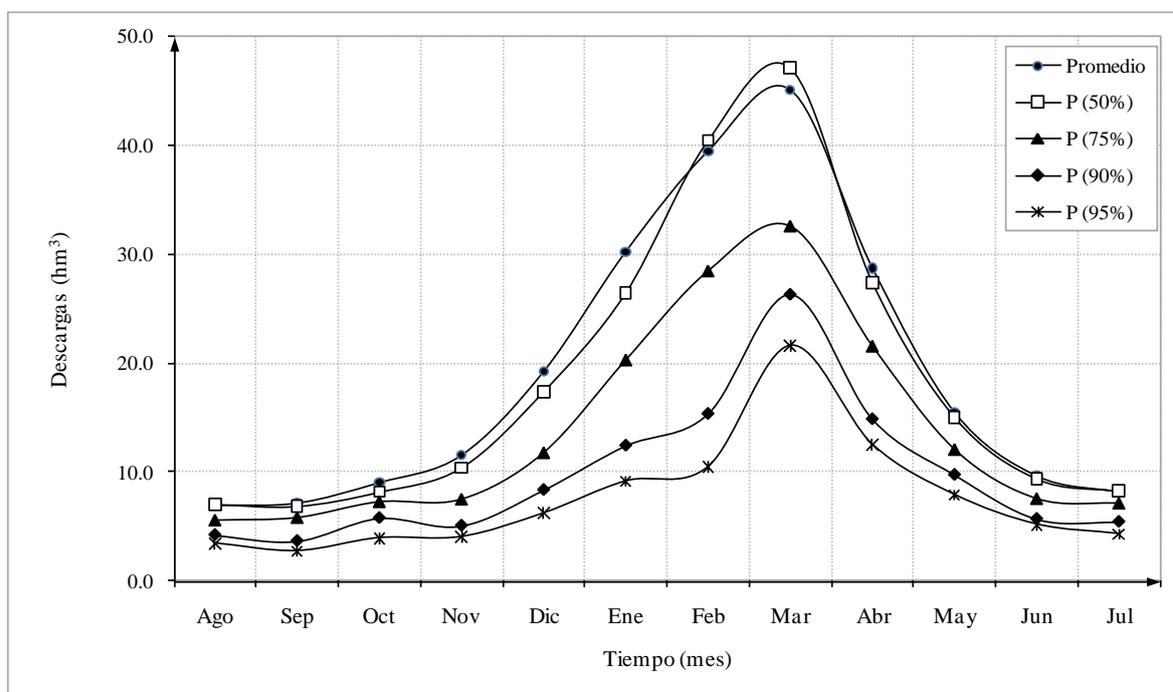
Cuadro N° 5.5 Persistencia de las descargas medias mensuales (m³/s) – Estación Sheque

Persistencia	Mes												Prom Anual
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Promedio	11.29	16.31	16.83	11.08	5.78	3.73	3.06	2.61	2.77	3.38	4.46	7.18	7.37
P (50%)	9.88	16.72	17.58	10.57	5.61	3.62	3.08	2.63	2.65	3.05	4.01	6.49	7.16
P (75%)	7.56	11.75	12.15	8.30	4.49	2.90	2.65	2.07	2.23	2.70	2.88	4.38	5.34
P (90%)	4.63	6.33	9.80	5.72	3.63	2.19	2.02	1.57	1.41	2.15	1.95	3.11	3.71
P (95%)	3.41	4.32	8.07	4.82	2.94	1.99	1.60	1.28	1.05	1.46	1.55	2.31	2.90

Cuadro N° 5.6 Volúmenes de descargas medias mensuales (hm³) – Estación Sheque

Persistencia	Mes												Total Anual
	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	
Promedio	6.99	7.18	9.05	11.56	19.23	30.24	39.46	45.08	28.72	15.48	9.67	8.20	230.85
P (50%)	7.04	6.87	8.17	10.39	17.38	26.46	40.45	47.09	27.40	15.03	9.38	8.25	223.91
P (75%)	5.54	5.78	7.23	7.46	11.73	20.25	28.43	32.54	21.51	12.03	7.52	7.10	167.12
P (90%)	4.21	3.65	5.76	5.05	8.33	12.40	15.31	26.25	14.83	9.72	5.68	5.41	116.60
P (95%)	3.43	2.72	3.91	4.02	6.19	9.13	10.45	21.61	12.49	7.87	5.16	4.29	91.28

Gráfico N° 5.4 Variación mensual de los volúmenes de descargas medias (hm³) – Estación Sheque



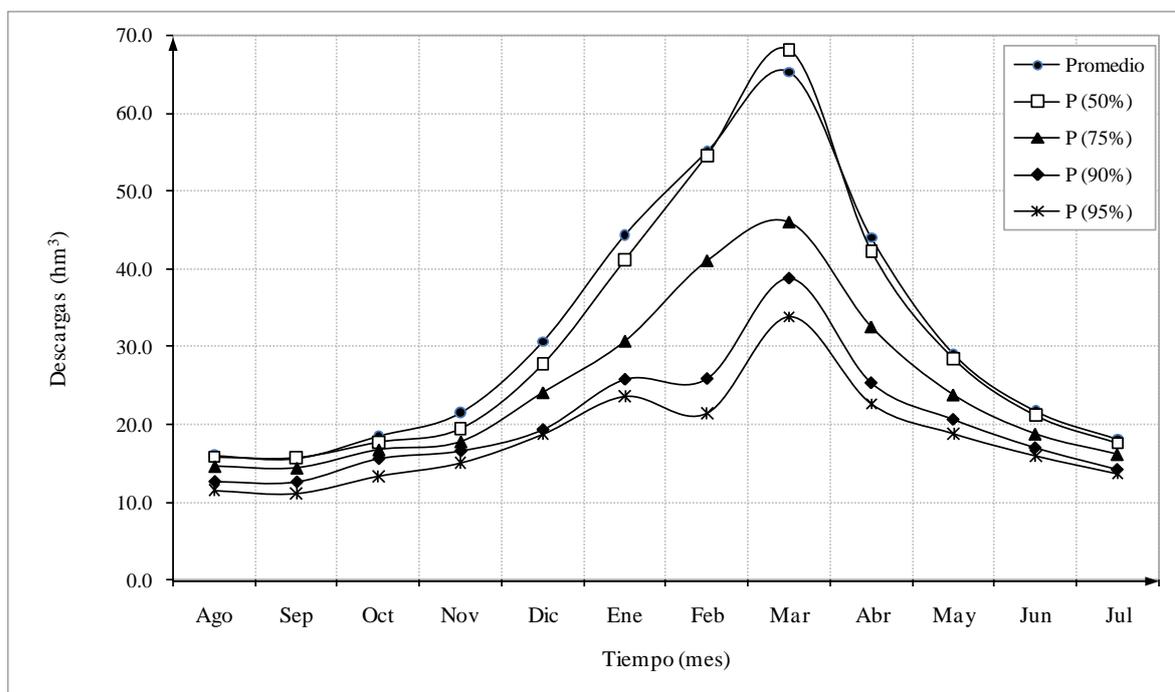
Cuadro N° 5.7 Persistencia de las descargas medias mensuales (m³/s) – Estación Tamboraque

Persistencia	Mes												Prom Annual
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Promedio	16.57	22.77	24.38	16.98	10.87	8.40	6.77	5.99	6.05	6.93	8.32	11.46	12.12
P (50%)	15.37	22.57	25.44	16.32	10.64	8.17	6.57	5.91	6.08	6.63	7.52	10.37	11.80
P (75%)	11.46	16.95	17.16	12.55	8.89	7.25	6.04	5.47	5.57	6.26	6.87	9.00	9.46
P (90%)	9.61	10.68	14.48	9.76	7.68	6.53	5.27	4.69	4.83	5.79	6.37	7.19	7.74
P (95%)	8.81	8.87	12.62	8.74	7.03	6.17	5.11	4.31	4.31	5.00	5.82	7.00	6.98

Cuadro N° 5.8 Volúmenes de descargas medias mensuales (hm³) – Estación Tamboraque

Persistencia	Mes												Total Annual
	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	
Promedio	16.04	15.68	18.56	21.57	30.69	44.38	55.09	65.30	44.01	29.11	21.77	18.13	380.34
P (50%)	15.83	15.76	17.76	19.49	27.78	41.17	54.60	68.14	42.30	28.50	21.18	17.60	370.09
P (75%)	14.65	14.44	16.77	17.81	24.11	30.69	41.01	45.96	32.53	23.81	18.79	16.18	296.74
P (90%)	12.56	12.52	15.51	16.51	19.26	25.74	25.84	38.78	25.30	20.57	16.93	14.12	243.63
P (95%)	11.54	11.17	13.39	15.09	18.75	23.60	21.46	33.80	22.65	18.83	15.99	13.69	219.96

Gráfico N° 5.5 Variación mensual de los volúmenes de descargas medias (hm³) – Estación Tamboraque



VI MODELACIÓN HIDROLÓGICA–GENERACIÓN DE CAUDALES MEDIOS MENSUALES

6.1 GENERALIDADES

Las relaciones lluvia-escorrentía se utilizan principalmente para el diseño, los pronósticos y la evaluación. Si los datos de escorrentías no están disponibles o son insuficientes para una interpretación o extrapolación fiables, las relaciones lluvia-escorrentía pueden ser muy útiles porque permiten extraer la información de escorrentía 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 escorrentía. Si se puede establecer una relación estrecha entre lluvia y escorrentía para una cuenca determinada la relación lluvia-escorrentía, 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 escorrentía de la cuenca.

Las relaciones lluvia-escorrentía usualmente se establecen en dos etapas: la determinación del volumen de escorrentía que resulta de un volumen de lluvia producido durante un período de tiempo dado, y la distribución del volumen de escorrentía en función del tiempo. La primera etapa es necesaria debido a la división de la lluvia en evapotranspiración, infiltración y escorrentía. La segunda se requiere para tomar en cuenta el tiempo de recorrido y la atenuación de la onda de escorrentía que se genera por la lluvia.

6.2 IMPORTANCIA DE LA MODELACIÓN HIDROLÓGICA

La necesidad de la aplicación de modelos matemáticos – hidrológicos de generación de Caudales medios mensuales está sustentada en aspectos de sustancial importancia, como los que en seguida mencionamos.

- La necesidad de contar con información hidrológica en puntos específicos de una cuenca, y que en la realidad en dichos puntos no existe información observada de caudales.
- La información histórica disponible de caudales medios mensuales en 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 escorrentía 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 simplificada mente el proceso del ciclo hidrológico.

En el presente estudio existe una red de estaciones hidrométricas, controladas en las estaciones de Sheque, Tamboraque y Chosica, disponen de la información de caudales registrados y son de período de registro considerable, y no siendo necesario realizar una modelación hidrológica a nivel de la cuenca del río Rímac. Pero sin embargo, en el presente se ha realizado la generación de caudales para las subcuencas Alto Río Rímac (UH 1375548) y Quebrada Pará c (UH 1375546) aplicando el Método de Transferencia Hidrológica.

6.3 MÉTODO DE TRANSFERENCIA HIDROLÓGICA

La técnica de transferencia de información se realiza empleando parámetros a dimensionales que contengan las variables a transferir. Los parámetros a dimensionales que relacionan gastos de escorrentía y el área de la cuenca, generalmente.

En general la transferencia de información es un método que consiste en relacionar entre el área, caudal y la precipitación de una cuenca. En este caso se aplica utilizando estas tres variables.

Aplicando los parámetros adimensionales a la cuenca con información conocida y a la cuenca sin información, se tiene la siguiente relación:

$$\frac{Q_C}{A_C P_C} = \frac{Q_S}{A_S P_S} \quad (a)$$

En la cuenca sin información casi nunca se conoce las escorrentías, pero sí se conoce el área y la precipitación, entonces la ecuación es la siguiente:

$$Q_S = \left(\frac{A_S}{A_C} \right) \left(\frac{P_S}{P_C} \right) Q_C \quad (b)$$

Donde:

Q_S = Caudal de la cuenca sin información (m^3/s).

Q_C = Caudal de la cuenca con información (m^3/s).

A_S = Área de la cuenca sin información (km^2).

A_C = Área de la cuenca con información (km^2).

La información de escorrentías e intensidades máximas es la más escasa y frecuentemente no existen en la zona del proyecto. Frente a esta situación, la técnica de transferencia por similitud nos permite una solución bastante aceptable.

6.4 APLICACIÓN DEL MODELO

En este caso, las subcuencas Alto Río Rímac y Quebrada Párac no tienen información hidrométrica, pero si tienen el área de drenaje y la precipitación areal en la cuenca; en cambio la cuenca del río Rímac cuenta con toda la información. Por lo tanto los caudales medios mensuales de las subcuencas Alto Río Rímac y Quebrada Párac se generarán a partir de la información hidrométrica naturalizada del río Rímac (estación Chosica) empleando el método de la transferencia hidrológica.

Las áreas de las cuencas y precipitaciones medias anuales correspondientes se muestran a continuación:

<i>Cuenca río Rímac (estación Chosica):</i>	Ac	=	2318.22 km ²
	Pc	=	495.4 mm
<i>Subcuenca Alto Río Rímac:</i>	Ac	=	169.81 km ²
	Pc	=	644.2 mm
<i>Subcuenca Quebrada Párac:</i>	Ac	=	130.43 km ²
	Pc	=	614.2 mm

Para obtener el modelo de generación de caudales medios mensuales, se reemplazan los valores del área y precipitación media anual de la cuenca con información y de las subcuencas sin información a la fórmula descrita anteriormente, con el que se determinan las ecuaciones de generación de caudales en las subcuencas de estudio.

A continuación se muestran las ecuaciones de generación de caudales medios mensuales en las subcuencas Alto Río Rímac y Quebrada Párac.

$$Q_{\text{SubcuencaAlto Río Rímac}} = 0.0953 Q_{\text{Río Rímac}} \quad (\text{c})$$

Donde:

$$Q_{\text{SubcuencaAlto Río Rímac}} = \text{Caudal generado en la subcuenca Alto Río Rímac (m}^3\text{/s).}$$

$$Q_{\text{Río Rímac}} = \text{Caudal del río Rímac registrado en la estación Chosica (m}^3\text{/s).}$$

$$Q_{\text{SubcuencaQuebradaPárac}} = 0.0698 Q_{\text{Río Rímac}} \quad (\text{d})$$

Donde:

$$Q_{\text{SubcuencaQuebradaPárac}} = \text{Caudal generado en la subcuenca Quebrada Párac (m}^3\text{/s).}$$

$$Q_{\text{Río Rímac}} = \text{Caudal del río Rímac registrado en la estación Chosica (m}^3\text{/s).}$$

6.5 GENERACIÓN DE CAUDALES MEDIOS MENSUALES EN LOS PUNTOS DE INTERÉS

Para la generación de caudales medios mensuales de las subcuencas en estudio, se ha empleado las ecuaciones determinadas en el ítem anterior y cuyos resultados se muestran en los Cuadros N° 6.1 y 6.2.

6.6 ANÁLISIS DE PERSISTENCIA DE LOS CAUDALES MEDIOS MENSUALES GENERADOS EN LOS PUNTOS DE INTERÉS

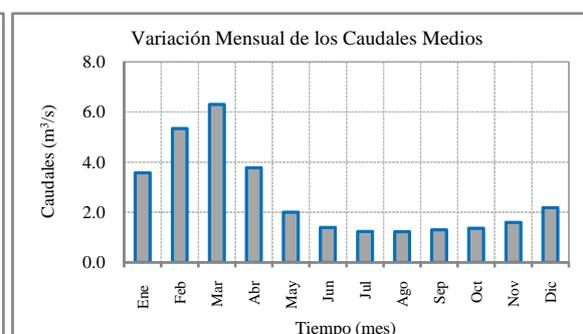
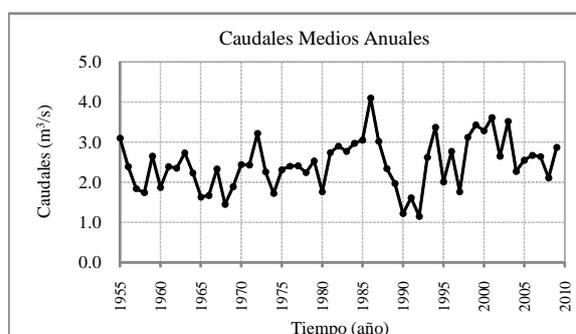
Para el análisis de persistencia de caudales de las subcuencas Alto Río Rímac y Quebrada Párac, se ha empleado el método de Weibull que es universalmente utilizado para este tipo de análisis. Utilizando la información de caudales generados se ha realizado el análisis de frecuencia de los caudales medios mensuales, los cuales se muestran en los Cuadros N° 6.3 a 6.6, y la variación mensual de los caudales medios al 75% de persistencia se muestran en las Figuras N° 6.1 y 6.2; donde se aprecia la variación mensual de los volúmenes de agua en épocas de avenida son mayores que en época de estiaje.

Cuadro N° 6.1 Caudales medios mensuales generados – Subcuenca Alto Río Rímac

Caudales Medios Mensuales Generados (m ³ /s) - Subcuenca Alto Río Rímac (UH 1375548)													
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom. Anual
1912	2.82	3.26	4.26	2.73	1.45	1.19	0.95	1.18	0.81	0.95	1.70	1.99	1.94
1913	4.38	4.14	7.71	5.87	1.58	1.25	1.14	0.95	1.03	1.32	2.52	2.55	2.87
1914	2.03	3.02	5.18	4.08	1.85	1.12	1.04	1.01	0.95	1.01	1.52	1.81	2.05
1915	2.08	4.80	3.80	2.47	1.37	1.05	1.12	1.28	1.43	1.66	2.05	2.81	2.16
1916	7.20	9.89	5.85	4.99	2.97	1.62	1.24	1.29	1.20	1.01	1.28	1.97	3.38
1917	4.60	3.57	6.07	5.24	1.87	1.17	1.21	1.11	0.92	1.05	2.67	2.15	2.64
1918	7.82	9.30	7.19	3.82	1.92	1.36	0.93	0.97	1.07	1.05	1.58	4.25	3.44
1919	1.87	4.66	5.02	2.58	1.50	1.29	0.98	1.15	1.17	1.23	1.81	2.42	2.14
1920	4.33	4.11	8.74	6.16	2.15	1.16	1.05	1.00	1.13	1.40	1.40	2.16	2.90
1921	4.52	5.88	6.99	4.32	2.24	1.35	1.06	0.81	1.18	1.00	1.21	2.44	2.75
1922	2.57	4.49	6.55	4.00	2.63	1.01	0.97	0.78	1.12	1.34	1.45	3.02	2.49
1923	5.01	3.90	6.28	5.23	2.22	1.25	0.98	0.73	1.19	1.44	1.71	3.43	2.78
1924	3.36	4.11	6.33	4.32	1.99	1.20	1.00	1.12	1.30	1.39	1.50	1.78	2.45
1925	2.86	4.78	6.09	3.79	2.06	0.66	0.72	0.92	1.37	1.26	1.22	2.04	2.31
1926	3.31	8.50	10.02	5.64	2.62	0.85	0.81	1.10	1.41	1.30	1.44	2.14	3.26
1927	4.40	6.47	9.91	4.16	2.80	1.15	0.64	0.88	1.36	1.23	1.28	2.43	3.06
1928	3.68	7.89	8.72	5.00	2.29	0.78	0.86	1.09	1.23	1.18	1.38	1.73	2.99
1929	5.76	9.98	9.03	3.38	1.26	0.71	0.71	0.78	1.30	1.36	1.93	2.23	3.20
1930	4.24	3.41	9.19	7.04	4.40	2.08	0.84	0.93	0.94	0.95	1.30	1.54	3.07
1931	2.47	3.83	3.79	2.76	2.08	1.63	1.13	0.88	1.19	1.27	1.63	3.42	2.17
1932	4.41	11.87	6.60	4.72	2.65	1.22	1.16	1.26	1.05	1.22	1.65	1.82	3.30
1933	2.74	6.45	9.74	5.38	2.88	1.72	1.19	1.19	1.21	1.17	1.23	2.01	3.08
1934	4.77	7.95	11.30	5.22	3.13	2.14	1.47	1.15	1.14	1.23	1.26	1.22	3.50
1935	5.66	5.96	13.88	4.36	2.48	1.28	1.18	1.20	1.26	1.24	1.29	3.44	3.60
1936	5.27	4.01	4.32	2.83	1.80	1.25	1.20	1.19	1.24	1.21	1.24	1.28	2.24
1937	2.14	2.60	6.59	2.47	1.64	1.24	1.15	1.13	1.24	1.30	1.36	2.17	2.09
1938	3.11	9.32	5.76	4.28	2.18	1.27	1.24	1.22	1.24	1.20	1.24	1.31	2.78
1939	2.24	6.17	12.20	4.62	1.99	1.26	1.14	1.17	1.24	1.24	1.24	2.04	3.05
1940	4.22	3.16	7.18	3.23	1.59	1.28	1.16	1.20	1.24	1.23	1.30	1.29	2.34
1941	3.94	7.59	9.46	1.61	1.29	1.15	1.12	1.16	1.20	1.34	1.63	2.76	2.85
1942	5.14	7.83	5.06	2.96	1.82	1.35	1.32	1.29	1.23	1.22	1.21	1.65	2.67
1943	3.69	10.72	6.59	5.06	1.66	1.24	1.23	1.25	1.26	1.29	1.32	2.27	3.13
1944	4.53	5.57	6.41	3.05	1.74	1.34	1.24	1.24	1.24	1.28	1.30	1.53	2.54
1945	2.80	4.20	5.43	3.57	1.79	1.33	1.18	1.14	1.14	1.25	1.76	3.43	2.42
1946	6.67	5.75	10.46	5.09	2.42	1.49	1.21	1.17	1.24	1.26	1.72	3.04	3.46
1947	3.81	3.70	6.67	2.92	2.02	1.29	1.11	1.16	1.24	1.44	1.40	1.69	2.37
1948	5.39	4.49	5.24	3.45	2.42	1.86	1.46	1.20	1.24	2.17	2.13	1.63	2.72
1949	2.86	2.66	5.92	3.04	1.70	1.37	1.31	1.27	1.24	1.27	1.53	1.13	2.11
1950	3.62	4.56	4.32	3.84	1.96	1.44	1.26	1.22	1.19	1.19	1.37	3.81	2.48
1951	4.25	7.27	10.88	4.30	2.00	1.73	1.30	1.21	1.24	1.38	2.81	3.04	3.45
1952	6.33	8.39	8.34	4.94	1.91	1.68	1.40	1.21	1.30	1.25	1.71	2.40	3.41
1953	3.34	10.06	7.77	4.79	2.18	1.70	1.47	1.32	1.39	1.36	2.53	2.74	3.39
1954	4.54	9.20	9.02	3.00	2.21	1.67	1.42	1.32	1.29	1.40	1.97	1.93	3.25
1955	3.97	7.22	10.69	3.74	2.07	1.74	1.53	1.28	1.26	1.16	1.10	1.43	3.10
1956	1.76	7.21	6.60	3.57	1.59	1.16	1.03	1.14	1.23	1.13	1.09	1.14	2.39
1957	1.52	4.09	4.65	2.95	1.36	0.98	0.94	1.02	1.10	1.09	1.13	1.25	1.84
1958	1.66	4.11	4.62	1.71	1.17	1.01	0.99	1.01	1.06	1.15	1.18	1.19	1.74
1959	1.16	6.56	6.73	5.53	1.82	1.23	1.17	1.13	1.21	1.55	1.44	2.28	2.65
1960	2.99	3.74	3.86	2.13	1.36	1.16	1.12	1.11	1.19	1.25	1.30	1.26	1.87
1961	2.59	4.85	4.11	3.76	2.07	1.36	1.21	1.19	1.24	1.24	1.84	3.22	2.39
1962	3.94	3.99	5.89	3.06	1.74	1.33	1.33	1.35	1.32	1.31	1.25	1.64	2.35
1963	4.59	4.70	5.79	3.38	2.04	1.48	1.39	1.35	1.41	1.48	1.82	3.31	2.73
1964	2.18	3.54	5.10	4.04	2.16	1.46	1.40	1.42	1.47	1.48	1.31	1.25	2.23
1965	1.43	4.55	3.84	1.65	1.25	0.90	0.85	0.80	0.93	1.00	1.05	1.25	1.63
1966	2.74	2.41	3.24	1.84	1.23	0.85	0.88	0.75	0.92	1.50	1.50	2.20	1.67
1967	2.63	6.35	5.46	2.60	1.64	1.23	1.17	1.10	1.23	1.60	1.47	1.47	2.33
1968	1.93	1.75	2.61	1.56	1.06	0.95	0.98	0.87	0.92	1.28	1.61	1.92	1.45

Continuación

1969	1.76	3.17	4.44	2.49	1.30	1.05	0.85	0.77	0.93	1.02	1.15	3.75	1.89
1970	8.03	3.03	3.97	3.16	1.99	1.35	1.12	1.13	1.28	1.28	1.21	1.67	2.44
1971	3.44	4.17	7.08	3.41	1.57	1.53	1.26	1.32	1.34	1.12	0.90	2.07	2.43
1972	4.16	6.01	12.85	5.90	1.84	1.25	1.00	0.93	0.85	0.89	0.95	2.02	3.22
1973	4.82	5.32	6.49	4.87	1.35	0.67	0.46	0.36	0.15	0.41	0.66	1.61	2.26
1974	3.19	4.16	4.98	2.72	1.06	0.66	0.41	0.52	0.85	0.90	0.62	0.53	1.72
1975	1.41	1.39	9.03	3.45	2.31	1.64	1.35	1.30	1.32	1.32	1.41	1.80	2.31
1976	3.63	6.92	5.83	3.15	1.61	1.22	0.94	0.88	0.91	1.10	1.24	1.36	2.40
1977	1.62	6.29	4.89	2.77	1.87	1.87	1.26	1.23	1.10	1.37	1.50	2.39	2.57
1978	3.25	7.01	3.94	2.54	1.28	0.98	1.10	1.15	1.28	1.30	1.34	1.69	2.24
1979	1.61	6.83	8.52	3.04	1.42	1.12	1.10	1.32	1.38	1.35	1.30	1.31	2.53
1980	2.45	2.45	3.38	2.77	1.18	1.00	0.81	1.00	1.40	1.39	1.39	1.85	1.76
1981	3.22	7.89	6.55	3.89	1.80	1.45	1.31	1.33	1.39	1.03	1.24	1.82	2.74
1982	2.39	4.61	4.34	4.01	3.40	2.67	2.40	2.55	1.81	1.95	2.45	2.25	2.90
1983	2.66	2.44	5.26	6.28	3.22	2.19	1.75	1.28	1.20	1.99	1.87	3.06	2.77
1984	2.70	6.12	4.69	2.86	1.98	2.52	2.15	2.08	2.19	2.15	2.06	4.14	2.97
1985	3.06	4.16	5.46	5.20	2.49	3.03	2.03	2.31	1.88	1.51	2.14	3.36	3.05
1986	7.67	8.43	9.41	6.63	4.89	1.87	1.71	1.38	1.56	1.40	1.96	2.33	4.10
1987	4.86	7.45	8.92	2.61	1.56	1.46	1.41	1.51	1.28	1.52	1.72	1.93	3.02
1988	3.37	3.52	3.31	4.49	2.31	1.46	1.57	1.75	1.42	1.46	1.39	2.08	2.34
1989	2.69	3.82	4.43	3.34	1.73	1.19	1.12	1.04	1.06	1.12	1.15	0.96	1.97
1990	1.77	1.35	1.41	1.25	1.02	0.89	0.79	0.61	0.75	1.24	1.87	1.67	1.22
1991	1.82	2.28	3.51	2.35	1.86	0.95	0.84	0.90	0.89	1.33	1.35	1.29	1.61
1992	1.62	1.02	1.87	1.51	1.01	0.98	1.05	1.02	0.99	1.02	0.82	0.86	1.15
1993	2.93	4.67	5.19	3.26	2.06	1.27	1.17	1.02	1.12	1.29	2.75	4.76	2.62
1994	4.49	8.80	7.65	4.73	3.03	1.83	1.69	1.79	1.76	1.42	1.56	1.74	3.37
1995	2.45	2.15	2.99	3.11	1.75	1.64	1.56	1.70	1.70	1.68	1.66	1.73	2.01
1996	4.28	6.70	5.10	4.12	2.03	1.95	1.88	1.48	1.60	1.38	1.23	1.46	2.77
1997	2.26	4.08	2.40	1.38	1.26	1.07	0.98	1.19	1.05	1.13	1.44	2.84	1.76
1998	5.06	6.52	5.65	3.77	2.32	1.93	1.73	1.62	2.09	2.16	2.30	2.30	3.12
1999	2.87	7.68	6.77	4.95	2.94	1.90	1.91	1.97	2.39	2.14	2.28	3.30	3.43
2000	5.35	6.65	7.35	5.29	3.07	1.79	1.44	1.31	1.55	1.68	1.60	2.31	3.28
2001	6.56	5.94	7.92	5.39	2.90	2.12	2.07	1.86	1.90	2.05	2.44	2.22	3.61
2002	2.31	3.69	5.04	4.05	1.60	1.24	1.43	1.63	2.24	2.48	2.88	3.15	2.65
2003	4.29	5.18	7.80	5.21	2.78	2.49	2.36	2.32	2.25	2.33	2.55	2.69	3.52
2004	2.10	3.91	3.11	2.69	1.74	1.62	1.59	1.56	1.80	1.65	2.01	3.41	2.27
2005	3.91	3.51	4.06	3.37	2.09	2.05	2.03	2.03	1.88	1.89	1.88	1.93	2.55
2006	2.71	4.30	5.76	4.86	2.22	1.75	1.73	1.74	1.57	1.52	1.56	2.29	2.67
2007	4.18	4.66	6.28	5.04	2.13	1.40	0.97	1.30	1.45	1.46	1.42	1.33	2.64
2008	2.99	4.18	4.07	2.18	1.28	1.20	1.19	1.12	1.59	1.74	1.74	2.03	2.11
2009	3.53	6.41	6.57	3.93	1.47	1.27	1.18	1.32	1.53	1.58	2.35	3.31	2.87
Nº Datos	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98
Promedio	3.56	5.34	6.30	3.77	2.00	1.40	1.23	1.22	1.30	1.36	1.59	2.18	2.61
Desv.Est.	1.51	2.28	2.45	1.27	0.67	0.44	0.37	0.36	0.34	0.33	0.48	0.82	0.59
Máxima	8.03	11.87	13.88	7.04	4.89	3.03	2.40	2.55	2.39	2.48	2.88	4.76	4.10
Mínima	1.16	1.02	1.41	1.25	1.01	0.66	0.41	0.36	0.15	0.41	0.62	0.53	1.15

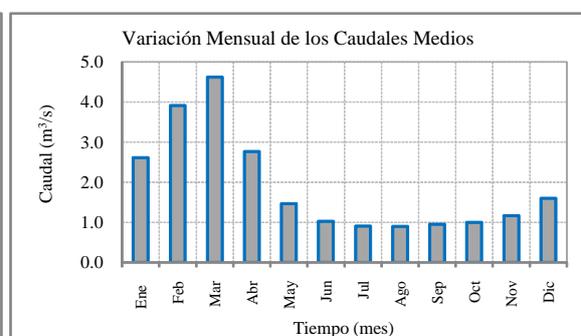
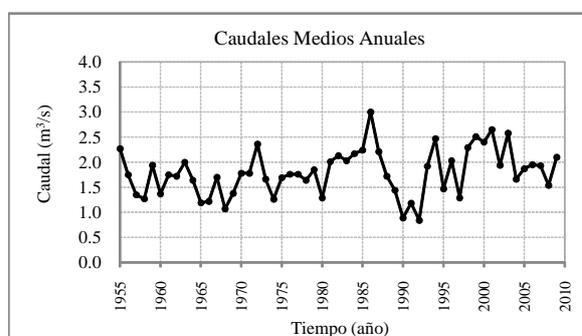


Cuadro N° 6.2 Caudales medios mensuales generados – Subcuenca Quebrada Párac

Caudales Medios Mensuales Generados (m ³ /s) - Subcuenca Quebrada Párac (UH 1375546)													
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom. Anual
1912	2.07	2.39	3.12	2.00	1.06	0.87	0.70	0.87	0.59	0.70	1.24	1.46	1.42
1913	3.21	3.04	5.65	4.30	1.16	0.91	0.84	0.70	0.76	0.97	1.84	1.87	2.10
1914	1.49	2.21	3.79	2.99	1.35	0.82	0.76	0.74	0.70	0.74	1.12	1.33	1.50
1915	1.52	3.52	2.79	1.81	1.01	0.77	0.82	0.94	1.05	1.21	1.50	2.06	1.58
1916	5.27	7.24	4.29	3.66	2.18	1.19	0.91	0.95	0.88	0.74	0.93	1.44	2.47
1917	3.37	2.61	4.45	3.84	1.37	0.86	0.89	0.81	0.68	0.77	1.95	1.57	1.93
1918	5.73	6.81	5.27	2.79	1.40	0.99	0.68	0.71	0.78	0.77	1.16	3.12	2.52
1919	1.37	3.41	3.67	1.89	1.10	0.94	0.72	0.84	0.85	0.90	1.32	1.77	1.57
1920	3.17	3.01	6.40	4.51	1.57	0.85	0.77	0.73	0.83	1.03	1.02	1.58	2.12
1921	3.31	4.31	5.12	3.16	1.64	0.99	0.78	0.60	0.86	0.73	0.89	1.79	2.02
1922	1.88	3.29	4.79	2.93	1.93	0.74	0.71	0.57	0.82	0.98	1.06	2.21	1.83
1923	3.67	2.86	4.60	3.83	1.62	0.92	0.71	0.53	0.87	1.06	1.26	2.51	2.04
1924	2.46	3.01	4.63	3.17	1.46	0.88	0.73	0.82	0.95	1.02	1.10	1.31	1.80
1925	2.10	3.50	4.46	2.78	1.51	0.49	0.53	0.67	1.00	0.92	0.90	1.49	1.70
1926	2.42	6.22	7.34	4.13	1.92	0.63	0.59	0.81	1.03	0.95	1.06	1.57	2.39
1927	3.22	4.74	7.26	3.04	2.05	0.84	0.47	0.64	0.99	0.90	0.94	1.78	2.24
1928	2.69	5.78	6.39	3.66	1.68	0.57	0.63	0.80	0.90	0.86	1.01	1.26	2.19
1929	4.22	7.31	6.61	2.47	0.92	0.52	0.52	0.57	0.95	0.99	1.41	1.63	2.34
1930	3.10	2.50	6.73	5.16	3.23	1.53	0.62	0.68	0.69	0.69	0.95	1.13	2.25
1931	1.81	2.80	2.78	2.02	1.52	1.19	0.83	0.64	0.87	0.93	1.20	2.50	1.59
1932	3.23	8.69	4.84	3.45	1.94	0.90	0.85	0.92	0.77	0.89	1.21	1.34	2.42
1933	2.00	4.73	7.14	3.94	2.11	1.26	0.87	0.87	0.88	0.86	0.90	1.47	2.25
1934	3.49	5.83	8.28	3.83	2.29	1.57	1.07	0.84	0.84	0.90	0.92	0.89	2.56
1935	4.15	4.36	10.17	3.20	1.82	0.94	0.86	0.88	0.92	0.91	0.94	2.52	2.64
1936	3.86	2.94	3.16	2.07	1.32	0.91	0.88	0.87	0.91	0.89	0.91	0.94	1.64
1937	1.57	1.91	4.83	1.81	1.20	0.91	0.84	0.83	0.91	0.95	0.99	1.59	1.53
1938	2.28	6.83	4.22	3.14	1.60	0.93	0.91	0.89	0.91	0.88	0.90	0.96	2.04
1939	1.64	4.52	8.94	3.38	1.46	0.92	0.84	0.86	0.91	0.91	0.91	1.49	2.23
1940	3.09	2.32	5.26	2.36	1.17	0.93	0.85	0.88	0.91	0.90	0.95	0.95	1.71
1941	2.89	5.56	6.93	1.18	0.95	0.84	0.82	0.85	0.88	0.98	1.20	2.02	2.09
1942	3.76	5.73	3.70	2.17	1.33	0.99	0.97	0.95	0.90	0.89	0.89	1.21	1.96
1943	2.70	7.85	4.83	3.71	1.22	0.91	0.90	0.91	0.92	0.95	0.96	1.66	2.29
1944	3.31	4.08	4.70	2.23	1.27	0.98	0.91	0.91	0.91	0.94	0.95	1.12	1.86
1945	2.05	3.08	3.98	2.62	1.31	0.97	0.86	0.83	0.84	0.92	1.29	2.51	1.77
1946	4.89	4.21	7.66	3.73	1.78	1.09	0.89	0.86	0.91	0.92	1.26	2.23	2.54
1947	2.79	2.71	4.88	2.14	1.48	0.94	0.81	0.85	0.91	1.05	1.02	1.23	1.73
1948	3.95	3.29	3.83	2.53	1.77	1.36	1.07	0.88	0.91	1.59	1.56	1.19	1.99
1949	2.09	1.95	4.33	2.22	1.24	1.00	0.96	0.93	0.91	0.93	1.12	0.83	1.54
1950	2.65	3.34	3.17	2.82	1.44	1.05	0.92	0.89	0.87	0.87	1.00	2.79	1.82
1951	3.11	5.32	7.97	3.15	1.46	1.27	0.95	0.88	0.91	1.01	2.06	2.22	2.53
1952	4.64	6.15	6.11	3.62	1.40	1.23	1.02	0.89	0.95	0.92	1.25	1.76	2.50
1953	2.44	7.37	5.69	3.51	1.60	1.24	1.08	0.96	1.02	1.00	1.86	2.00	2.48
1954	3.33	6.74	6.61	2.19	1.62	1.23	1.04	0.97	0.95	1.03	1.44	1.41	2.38
1955	2.91	5.29	7.83	2.74	1.52	1.28	1.12	0.94	0.92	0.85	0.81	1.05	2.27
1956	1.29	5.28	4.84	2.61	1.16	0.85	0.76	0.83	0.90	0.83	0.80	0.84	1.75
1957	1.12	3.00	3.41	2.16	0.99	0.72	0.69	0.75	0.80	0.80	0.83	0.92	1.35
1958	1.22	3.01	3.38	1.26	0.86	0.74	0.73	0.74	0.78	0.84	0.86	0.87	1.27
1959	0.85	4.81	4.93	4.05	1.33	0.90	0.86	0.82	0.88	1.13	1.06	1.67	1.94
1960	2.19	2.74	2.83	1.56	1.00	0.85	0.82	0.81	0.87	0.92	0.95	0.92	1.37
1961	1.90	3.55	3.01	2.76	1.51	1.00	0.88	0.87	0.91	0.91	1.35	2.36	1.75
1962	2.88	2.93	4.31	2.24	1.27	0.97	0.98	0.99	0.97	0.96	0.91	1.20	1.72
1963	3.36	3.45	4.24	2.47	1.49	1.09	1.02	0.99	1.04	1.08	1.33	2.42	2.00
1964	1.60	2.59	3.74	2.96	1.58	1.07	1.03	1.04	1.07	1.08	0.96	0.92	1.64
1965	1.04	3.33	2.81	1.21	0.91	0.66	0.63	0.59	0.68	0.74	0.77	0.92	1.19
1966	2.01	1.76	2.37	1.35	0.90	0.62	0.64	0.55	0.67	1.10	1.10	1.61	1.22
1967	1.92	4.65	4.00	1.90	1.20	0.90	0.85	0.81	0.90	1.17	1.07	1.08	1.70
1968	1.41	1.28	1.91	1.15	0.77	0.70	0.72	0.64	0.67	0.94	1.18	1.41	1.07

Continuación

1969	1.29	2.32	3.25	1.82	0.95	0.77	0.62	0.56	0.68	0.74	0.85	2.75	1.38
1970	5.88	2.22	2.91	2.32	1.45	0.99	0.82	0.83	0.94	0.93	0.89	1.22	1.78
1971	2.52	3.05	5.19	2.49	1.15	1.12	0.92	0.96	0.98	0.82	0.66	1.52	1.78
1972	3.05	4.40	9.41	4.32	1.35	0.91	0.74	0.68	0.62	0.65	0.69	1.48	2.36
1973	3.53	3.90	4.75	3.57	0.99	0.49	0.34	0.27	0.11	0.30	0.49	1.18	1.66
1974	2.34	3.05	3.65	1.99	0.78	0.49	0.30	0.38	0.62	0.66	0.45	0.39	1.26
1975	1.04	1.02	6.61	2.52	1.69	1.20	0.99	0.95	0.96	0.97	1.03	1.32	1.69
1976	2.66	5.07	4.27	2.31	1.18	0.89	0.69	0.64	0.67	0.80	0.91	1.00	1.76
1977	1.19	4.61	3.58	2.03	1.37	0.92	0.90	0.80	1.01	1.10	1.75	1.88	1.76
1978	2.38	5.13	2.88	1.86	0.94	0.72	0.81	0.84	0.94	0.95	0.98	1.24	1.64
1979	1.18	5.00	6.24	2.23	1.04	0.82	0.81	0.97	1.01	0.99	0.95	0.96	1.85
1980	1.79	1.79	2.47	2.03	0.87	0.73	0.59	0.73	1.03	1.02	1.02	1.35	1.29
1981	2.36	5.78	4.80	2.85	1.32	1.06	0.96	0.97	1.02	0.75	0.91	1.34	2.01
1982	1.75	3.38	3.18	2.94	2.49	1.96	1.76	1.87	1.32	1.43	1.79	1.65	2.13
1983	1.95	1.79	3.85	4.60	2.36	1.60	1.28	0.94	0.88	1.46	1.37	2.24	2.03
1984	1.98	4.48	3.43	2.09	1.45	1.85	1.57	1.52	1.60	1.58	1.51	3.03	2.17
1985	2.24	3.04	4.00	3.81	1.82	2.22	1.48	1.69	1.38	1.11	1.57	2.46	2.24
1986	5.62	6.18	6.89	4.85	3.58	1.37	1.25	1.01	1.14	1.02	1.44	1.70	3.00
1987	3.56	5.46	6.53	1.91	1.14	1.07	1.03	1.11	0.94	1.11	1.26	1.42	2.21
1988	2.47	2.58	2.42	3.29	1.69	1.07	1.15	1.29	1.04	1.07	1.02	1.52	1.72
1989	1.97	2.80	3.24	2.45	1.27	0.87	0.82	0.76	0.78	0.82	0.84	0.70	1.44
1990	1.29	0.99	1.03	0.91	0.75	0.65	0.58	0.45	0.55	0.91	1.37	1.22	0.89
1991	1.34	1.67	2.57	1.72	1.36	0.70	0.62	0.66	0.65	0.97	0.99	0.95	1.18
1992	1.18	0.75	1.37	1.10	0.74	0.72	0.77	0.74	0.73	0.75	0.60	0.63	0.84
1993	2.14	3.42	3.80	2.39	1.51	0.93	0.86	0.75	0.82	0.95	2.02	3.48	1.92
1994	3.29	6.45	5.60	3.47	2.22	1.34	1.24	1.31	1.29	1.04	1.14	1.28	2.47
1995	1.80	1.58	2.19	2.28	1.28	1.20	1.15	1.25	1.24	1.23	1.22	1.27	1.47
1996	3.14	4.91	3.74	3.02	1.49	1.43	1.38	1.08	1.18	1.01	0.90	1.07	2.03
1997	1.66	2.99	1.76	1.01	0.92	0.78	0.72	0.87	0.77	0.82	1.05	2.08	1.29
1998	3.71	4.77	4.14	2.76	1.70	1.41	1.27	1.19	1.53	1.58	1.68	1.68	2.29
1999	2.10	5.62	4.96	3.63	2.15	1.39	1.40	1.45	1.75	1.57	1.67	2.42	2.51
2000	3.92	4.87	5.39	3.88	2.25	1.31	1.05	0.96	1.13	1.23	1.17	1.69	2.40
2001	4.80	4.35	5.80	3.95	2.12	1.55	1.51	1.36	1.39	1.50	1.79	1.62	2.65
2002	1.69	2.71	3.69	2.97	1.17	0.91	1.05	1.19	1.64	1.81	2.11	2.31	1.94
2003	3.14	3.80	5.71	3.81	2.04	1.83	1.73	1.70	1.65	1.71	1.87	1.97	2.58
2004	1.54	2.86	2.28	1.97	1.28	1.19	1.16	1.15	1.32	1.21	1.47	2.49	1.66
2005	2.86	2.57	2.97	2.47	1.53	1.50	1.49	1.49	1.38	1.39	1.38	1.42	1.87
2006	1.99	3.15	4.22	3.56	1.62	1.28	1.27	1.27	1.15	1.11	1.14	1.67	1.95
2007	3.06	3.42	4.60	3.69	1.56	1.03	0.71	0.95	1.06	1.07	1.04	0.98	1.93
2008	2.19	3.06	2.98	1.60	0.94	0.88	0.87	0.82	1.16	1.27	1.27	1.48	1.54
2009	2.59	4.69	4.81	2.88	1.08	0.93	0.86	0.97	1.12	1.16	1.72	2.42	2.10
Nº Datos	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98
Promedio	2.61	3.91	4.61	2.76	1.46	1.02	0.90	0.90	0.95	1.00	1.17	1.60	1.91
Desv.Est.	1.11	1.67	1.79	0.93	0.49	0.32	0.27	0.27	0.25	0.24	0.35	0.60	0.43
Máxima	5.88	8.69	10.17	5.16	3.58	2.22	1.76	1.87	1.75	1.81	2.11	3.48	3.00
Mínima	0.85	0.75	1.03	0.91	0.74	0.49	0.30	0.27	0.11	0.30	0.45	0.39	0.84



Cuadro N° 6.3 Análisis de frecuencia de los caudales medios mensuales generados (m³/s)
Subcuenca Alto Río Rímac

m	MES												P (%)
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
1	8.03	11.87	13.88	7.04	4.89	3.03	2.40	2.55	2.39	2.48	2.88	4.76	1.0
2	7.82	10.72	12.85	6.63	4.40	2.67	2.36	2.32	2.25	2.33	2.81	4.25	2.0
3	7.67	10.06	12.20	6.28	3.40	2.52	2.15	2.31	2.24	2.17	2.75	4.14	3.0
4	7.20	9.98	11.30	6.16	3.22	2.49	2.07	2.08	2.19	2.16	2.67	3.81	4.0
5	6.67	9.89	10.88	5.90	3.13	2.19	2.03	2.03	2.09	2.15	2.55	3.75	5.1
6	6.56	9.32	10.69	5.87	3.07	2.14	2.03	1.97	1.90	2.14	2.53	3.44	6.1
7	6.33	9.30	10.46	5.64	3.03	2.12	1.91	1.86	1.88	2.05	2.52	3.43	7.1
8	5.76	9.20	10.02	5.53	2.97	2.08	1.88	1.79	1.88	1.99	2.45	3.43	8.1
9	5.66	8.80	9.91	5.39	2.94	2.05	1.75	1.75	1.81	1.95	2.44	3.42	9.1
10	5.39	8.50	9.74	5.38	2.90	1.95	1.73	1.74	1.80	1.89	2.39	3.41	10.1
11	5.35	8.43	9.46	5.29	2.88	1.93	1.73	1.70	1.76	1.74	2.35	3.36	11.1
12	5.27	8.39	9.41	5.24	2.80	1.90	1.71	1.63	1.70	1.68	2.30	3.31	12.1
13	5.14	7.95	9.19	5.23	2.78	1.87	1.69	1.62	1.60	1.68	2.28	3.31	13.1
14	5.06	7.89	9.03	5.22	2.65	1.86	1.59	1.56	1.59	1.66	2.14	3.30	14.1
15	5.01	7.89	9.03	5.21	2.63	1.83	1.57	1.51	1.57	1.65	2.13	3.22	15.2
16	4.86	7.83	9.02	5.20	2.62	1.79	1.56	1.48	1.56	1.60	2.06	3.15	16.2
17	4.82	7.68	8.92	5.09	2.49	1.75	1.53	1.42	1.55	1.58	2.05	3.06	17.2
18	4.77	7.59	8.74	5.06	2.48	1.74	1.47	1.38	1.53	1.55	2.01	3.04	18.2
19	4.60	7.45	8.72	5.04	2.42	1.73	1.47	1.35	1.47	1.52	1.97	3.04	19.2
20	4.59	7.27	8.52	5.00	2.42	1.72	1.46	1.35	1.45	1.52	1.96	3.02	20.2
21	4.54	7.22	8.34	4.99	2.32	1.70	1.44	1.33	1.43	1.51	1.93	2.84	21.2
22	4.53	7.21	7.92	4.95	2.31	1.68	1.43	1.32	1.42	1.50	1.88	2.81	22.2
23	4.52	7.01	7.80	4.94	2.31	1.67	1.42	1.32	1.41	1.50	1.87	2.76	23.2
24	4.49	6.92	7.77	4.87	2.29	1.64	1.41	1.32	1.41	1.48	1.87	2.74	24.2
25	4.41	6.83	7.71	4.86	2.24	1.64	1.40	1.32	1.40	1.48	1.84	2.69	25.3
26	4.40	6.70	7.65	4.79	2.22	1.63	1.40	1.32	1.39	1.46	1.82	2.57	26.3
27	4.38	6.65	7.35	4.73	2.22	1.62	1.39	1.31	1.39	1.46	1.81	2.55	27.3
28	4.33	6.56	7.19	4.72	2.21	1.62	1.35	1.30	1.38	1.44	1.76	2.44	28.3
29	4.29	6.52	7.18	4.62	2.18	1.53	1.33	1.30	1.37	1.44	1.74	2.43	29.3
30	4.28	6.47	7.08	4.49	2.18	1.49	1.32	1.29	1.37	1.42	1.72	2.42	30.3
31	4.25	6.45	6.99	4.36	2.16	1.48	1.31	1.29	1.36	1.40	1.72	2.40	31.3
32	4.24	6.41	6.77	4.32	2.15	1.46	1.31	1.28	1.34	1.40	1.71	2.33	32.3
33	4.22	6.35	6.73	4.32	2.13	1.46	1.30	1.28	1.32	1.40	1.71	2.31	33.3
34	4.18	6.29	6.67	4.30	2.09	1.46	1.26	1.28	1.32	1.39	1.70	2.30	34.3
35	4.16	6.17	6.60	4.28	2.08	1.45	1.26	1.27	1.30	1.39	1.66	2.29	35.4
36	3.97	6.12	6.60	4.16	2.07	1.44	1.24	1.26	1.30	1.38	1.65	2.28	36.4
37	3.94	6.01	6.59	4.12	2.07	1.40	1.24	1.25	1.30	1.38	1.63	2.27	37.4
38	3.94	5.96	6.59	4.08	2.06	1.37	1.24	1.24	1.29	1.36	1.63	2.25	38.4
39	3.91	5.94	6.57	4.05	2.06	1.36	1.23	1.22	1.28	1.36	1.61	2.23	39.4
40	3.81	5.88	6.55	4.04	2.04	1.36	1.23	1.22	1.28	1.35	1.60	2.22	40.4
41	3.69	5.75	6.55	4.01	2.03	1.35	1.21	1.21	1.28	1.34	1.58	2.20	41.4
42	3.68	5.57	6.49	4.00	2.02	1.35	1.21	1.21	1.26	1.34	1.56	2.17	42.4
43	3.63	5.32	6.41	3.93	2.00	1.35	1.21	1.20	1.26	1.33	1.56	2.16	43.4
44	3.62	5.18	6.33	3.89	1.99	1.34	1.20	1.20	1.26	1.32	1.53	2.15	44.4
45	3.53	4.85	6.28	3.84	1.99	1.33	1.19	1.20	1.24	1.32	1.52	2.14	45.5
46	3.44	4.80	6.28	3.82	1.99	1.33	1.19	1.19	1.24	1.31	1.50	2.08	46.5
47	3.37	4.78	6.09	3.79	1.98	1.29	1.18	1.19	1.24	1.30	1.50	2.07	47.5
48	3.36	4.70	6.07	3.77	1.96	1.29	1.18	1.19	1.24	1.30	1.47	2.04	48.5
49	3.34	4.67	5.92	3.76	1.92	1.28	1.18	1.19	1.24	1.30	1.45	2.04	49.5
50	3.31	4.66	5.89	3.74	1.91	1.28	1.17	1.18	1.24	1.29	1.44	2.03	50.5
51	3.25	4.66	5.85	3.57	1.87	1.27	1.17	1.17	1.24	1.29	1.44	2.02	51.5
52	3.22	4.61	5.83	3.57	1.87	1.27	1.17	1.17	1.24	1.28	1.44	2.01	52.5
53	3.19	4.56	5.79	3.45	1.86	1.27	1.16	1.16	1.24	1.28	1.42	1.99	53.5
54	3.11	4.55	5.76	3.45	1.85	1.26	1.16	1.16	1.24	1.28	1.41	1.97	54.5
55	3.06	4.49	5.76	3.41	1.84	1.26	1.15	1.15	1.24	1.27	1.40	1.93	55.6
56	2.99	4.49	5.65	3.38	1.82	1.25	1.14	1.15	1.24	1.27	1.40	1.93	56.6
57	2.99	4.30	5.46	3.38	1.82	1.25	1.14	1.15	1.23	1.26	1.39	1.93	57.6
58	2.93	4.20	5.46	3.37	1.80	1.25	1.13	1.14	1.23	1.26	1.39	1.92	58.6
59	2.87	4.18	5.43	3.34	1.80	1.25	1.12	1.14	1.23	1.25	1.38	1.85	59.6
60	2.86	4.17	5.26	3.26	1.79	1.24	1.12	1.13	1.23	1.25	1.37	1.82	60.6

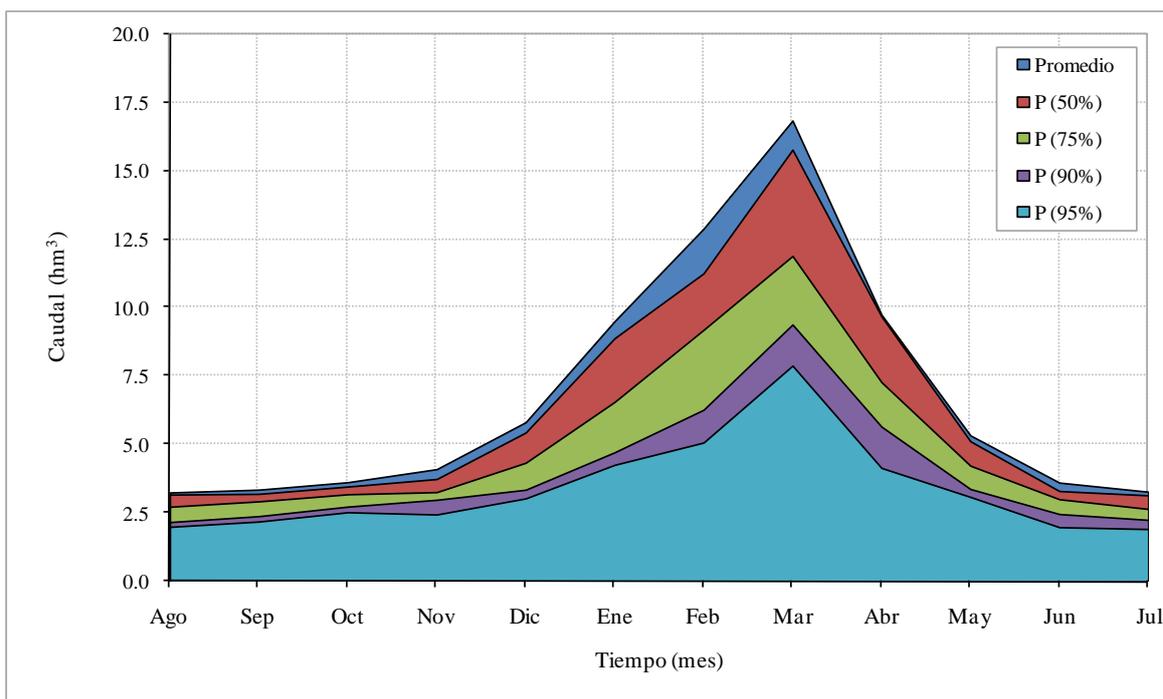
Continuación

61	2.86	4.16	5.24	3.23	1.75	1.24	1.12	1.13	1.21	1.25	1.36	1.82	61.6
62	2.82	4.16	5.19	3.16	1.74	1.24	1.12	1.13	1.21	1.24	1.35	1.81	62.6
63	2.80	4.14	5.18	3.15	1.74	1.23	1.12	1.12	1.20	1.24	1.34	1.80	63.6
64	2.74	4.11	5.10	3.11	1.74	1.23	1.11	1.12	1.20	1.24	1.32	1.78	64.6
65	2.74	4.11	5.10	3.06	1.73	1.22	1.10	1.11	1.20	1.24	1.31	1.74	65.7
66	2.71	4.11	5.06	3.05	1.70	1.22	1.10	1.11	1.19	1.23	1.30	1.73	66.7
67	2.70	4.09	5.04	3.04	1.66	1.20	1.06	1.10	1.19	1.23	1.30	1.73	67.7
68	2.69	4.08	5.02	3.04	1.64	1.20	1.05	1.10	1.19	1.23	1.30	1.69	68.7
69	2.66	4.01	4.98	3.00	1.64	1.19	1.05	1.10	1.19	1.23	1.30	1.69	69.7
70	2.63	3.99	4.89	2.96	1.61	1.19	1.04	1.09	1.18	1.22	1.30	1.67	70.7
71	2.59	3.91	4.69	2.95	1.60	1.17	1.03	1.04	1.17	1.22	1.29	1.67	71.7
72	2.57	3.90	4.65	2.92	1.59	1.16	1.00	1.02	1.14	1.21	1.28	1.65	72.7
73	2.47	3.83	4.62	2.86	1.59	1.16	1.00	1.02	1.14	1.20	1.28	1.64	73.7
74	2.45	3.82	4.44	2.83	1.58	1.16	0.99	1.02	1.13	1.19	1.26	1.63	74.7
75	2.45	3.74	4.43	2.77	1.57	1.15	0.98	1.01	1.12	1.18	1.25	1.61	75.8
76	2.39	3.70	4.34	2.77	1.56	1.15	0.98	1.01	1.12	1.17	1.24	1.54	76.8
77	2.31	3.69	4.32	2.76	1.50	1.12	0.98	1.00	1.10	1.16	1.24	1.53	77.8
78	2.26	3.57	4.32	2.73	1.47	1.12	0.98	1.00	1.07	1.15	1.24	1.47	78.8
79	2.24	3.54	4.26	2.72	1.45	1.07	0.97	0.97	1.06	1.13	1.24	1.46	79.8
80	2.18	3.52	4.11	2.69	1.42	1.05	0.97	0.95	1.06	1.13	1.24	1.43	80.8
81	2.14	3.51	4.07	2.61	1.37	1.05	0.95	0.93	1.05	1.12	1.23	1.36	81.8
82	2.10	3.41	4.06	2.60	1.36	1.01	0.94	0.93	1.05	1.12	1.23	1.33	82.8
83	2.08	3.26	3.97	2.58	1.36	1.01	0.94	0.92	1.03	1.10	1.22	1.31	83.8
84	2.03	3.17	3.94	2.54	1.35	1.00	0.93	0.90	0.99	1.09	1.21	1.31	84.8
85	1.93	3.16	3.86	2.49	1.30	0.98	0.88	0.88	0.95	1.05	1.21	1.29	85.9
86	1.87	3.03	3.84	2.47	1.29	0.98	0.86	0.88	0.94	1.05	1.21	1.29	86.9
87	1.82	3.02	3.80	2.47	1.28	0.98	0.85	0.88	0.93	1.03	1.18	1.28	87.9
88	1.77	2.66	3.79	2.35	1.28	0.95	0.85	0.87	0.93	1.02	1.15	1.26	88.9
89	1.76	2.60	3.51	2.18	1.26	0.95	0.84	0.81	0.92	1.02	1.15	1.25	89.9
90	1.76	2.45	3.38	2.13	1.26	0.90	0.84	0.80	0.92	1.01	1.13	1.25	90.9
91	1.66	2.44	3.31	1.84	1.25	0.89	0.81	0.78	0.92	1.01	1.10	1.25	91.9
92	1.62	2.41	3.24	1.71	1.23	0.85	0.81	0.78	0.91	1.00	1.09	1.22	92.9
93	1.62	2.28	3.11	1.65	1.18	0.85	0.79	0.77	0.89	1.00	1.05	1.19	93.9
94	1.61	2.15	2.99	1.61	1.17	0.78	0.72	0.75	0.85	0.95	0.95	1.14	94.9
95	1.52	1.75	2.61	1.56	1.06	0.71	0.71	0.73	0.85	0.95	0.90	1.13	96.0
96	1.43	1.39	2.40	1.51	1.06	0.67	0.64	0.61	0.81	0.90	0.82	0.96	97.0
97	1.41	1.35	1.87	1.38	1.02	0.66	0.46	0.52	0.75	0.89	0.66	0.86	98.0
98	1.16	1.02	1.41	1.25	1.01	0.66	0.41	0.36	0.15	0.41	0.62	0.53	99.0
Promedio	3.56	5.34	6.30	3.77	2.00	1.40	1.23	1.22	1.30	1.36	1.59	2.18	
P (50%)	3.33	4.67	5.91	3.75	1.92	1.28	1.18	1.19	1.24	1.30	1.45	2.04	
P (75%)	2.45	3.80	4.44	2.81	1.58	1.16	0.99	1.02	1.13	1.19	1.26	1.62	
P (90%)	1.76	2.59	3.50	2.18	1.26	0.95	0.84	0.81	0.92	1.02	1.15	1.25	
P (95%)	1.60	2.11	2.96	1.61	1.16	0.77	0.72	0.75	0.85	0.95	0.95	1.14	

Cuadro N° 6.4 Volúmenes de los caudales medios mensuales al 75% de persistencia (hm³)
Subcuenca Alto Río Rímac

Persistencia	Mes												Total Anual
	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	
Promedio	3.27	3.37	3.64	4.12	5.84	9.54	12.92	16.87	9.77	5.36	3.63	3.29	81.62
P (50%)	3.19	3.21	3.48	3.76	5.46	8.92	11.30	15.83	9.72	5.14	3.32	3.16	76.49
P (75%)	2.73	2.93	3.19	3.27	4.34	6.56	9.19	11.89	7.28	4.23	3.01	2.65	61.27
P (90%)	2.17	2.38	2.73	2.98	3.35	4.71	6.27	9.37	5.65	3.37	2.46	2.25	47.71
P (95%)	2.01	2.20	2.54	2.46	3.05	4.29	5.10	7.93	4.17	3.11	2.00	1.93	40.79

Figura N° 6.1 Variación mensual de los volúmenes de los caudales medios al 75% de persistencia Subcuenca Alto Río Rímac



Cuadro N° 6.5 Análisis de frecuencia de los caudales medios mensuales generados (m³/s) Subcuenca Quebrada Párac

m	MES												P (%)
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
1	8.03	11.87	13.88	7.04	4.89	3.03	2.40	2.55	2.39	2.48	2.88	4.76	1.0
2	7.82	10.72	12.85	6.63	4.40	2.67	2.36	2.32	2.25	2.33	2.81	4.25	2.0
3	7.67	10.06	12.20	6.28	3.40	2.52	2.15	2.31	2.24	2.17	2.75	4.14	3.0
4	7.20	9.98	11.30	6.16	3.22	2.49	2.07	2.08	2.19	2.16	2.67	3.81	4.0
5	6.67	9.89	10.88	5.90	3.13	2.19	2.03	2.03	2.09	2.15	2.55	3.75	5.1
6	6.56	9.32	10.69	5.87	3.07	2.14	2.03	1.97	1.90	2.14	2.53	3.44	6.1
7	6.33	9.30	10.46	5.64	3.03	2.12	1.91	1.86	1.88	2.05	2.52	3.43	7.1
8	5.76	9.20	10.02	5.53	2.97	2.08	1.88	1.79	1.88	1.99	2.45	3.43	8.1
9	5.66	8.80	9.91	5.39	2.94	2.05	1.75	1.75	1.81	1.95	2.44	3.42	9.1
10	5.39	8.50	9.74	5.38	2.90	1.95	1.73	1.74	1.80	1.89	2.39	3.41	10.1
11	5.35	8.43	9.46	5.29	2.88	1.93	1.73	1.70	1.76	1.74	2.35	3.36	11.1
12	5.27	8.39	9.41	5.24	2.80	1.90	1.71	1.63	1.70	1.68	2.30	3.31	12.1
13	5.14	7.95	9.19	5.23	2.78	1.87	1.69	1.62	1.60	1.68	2.28	3.31	13.1
14	5.06	7.89	9.03	5.22	2.65	1.86	1.59	1.56	1.59	1.66	2.14	3.30	14.1
15	5.01	7.89	9.03	5.21	2.63	1.83	1.57	1.51	1.57	1.65	2.13	3.22	15.2
16	4.86	7.83	9.02	5.20	2.62	1.79	1.56	1.48	1.56	1.60	2.06	3.15	16.2
17	4.82	7.68	8.92	5.09	2.49	1.75	1.53	1.42	1.55	1.58	2.05	3.06	17.2
18	4.77	7.59	8.74	5.06	2.48	1.74	1.47	1.38	1.53	1.55	2.01	3.04	18.2
19	4.60	7.45	8.72	5.04	2.42	1.73	1.47	1.35	1.47	1.52	1.97	3.04	19.2
20	4.59	7.27	8.52	5.00	2.42	1.72	1.46	1.35	1.45	1.52	1.96	3.02	20.2
21	4.54	7.22	8.34	4.99	2.32	1.70	1.44	1.33	1.43	1.51	1.93	2.84	21.2
22	4.53	7.21	7.92	4.95	2.31	1.68	1.43	1.32	1.42	1.50	1.88	2.81	22.2
23	4.52	7.01	7.80	4.94	2.31	1.67	1.42	1.32	1.41	1.50	1.87	2.76	23.2
24	4.49	6.92	7.77	4.87	2.29	1.64	1.41	1.32	1.41	1.48	1.87	2.74	24.2
25	4.41	6.83	7.71	4.86	2.24	1.64	1.40	1.32	1.40	1.48	1.84	2.69	25.3
26	4.40	6.70	7.65	4.79	2.22	1.63	1.40	1.32	1.39	1.46	1.82	2.57	26.3
27	4.38	6.65	7.35	4.73	2.22	1.62	1.39	1.31	1.39	1.46	1.81	2.55	27.3
28	4.33	6.56	7.19	4.72	2.21	1.62	1.35	1.30	1.38	1.44	1.76	2.44	28.3
29	4.29	6.52	7.18	4.62	2.18	1.53	1.33	1.30	1.37	1.44	1.74	2.43	29.3
30	4.28	6.47	7.08	4.49	2.18	1.49	1.32	1.29	1.37	1.42	1.72	2.42	30.3
31	4.25	6.45	6.99	4.36	2.16	1.48	1.31	1.29	1.36	1.40	1.72	2.40	31.3
32	4.24	6.41	6.77	4.32	2.15	1.46	1.31	1.28	1.34	1.40	1.71	2.33	32.3
33	4.22	6.35	6.73	4.32	2.13	1.46	1.30	1.28	1.32	1.40	1.71	2.31	33.3

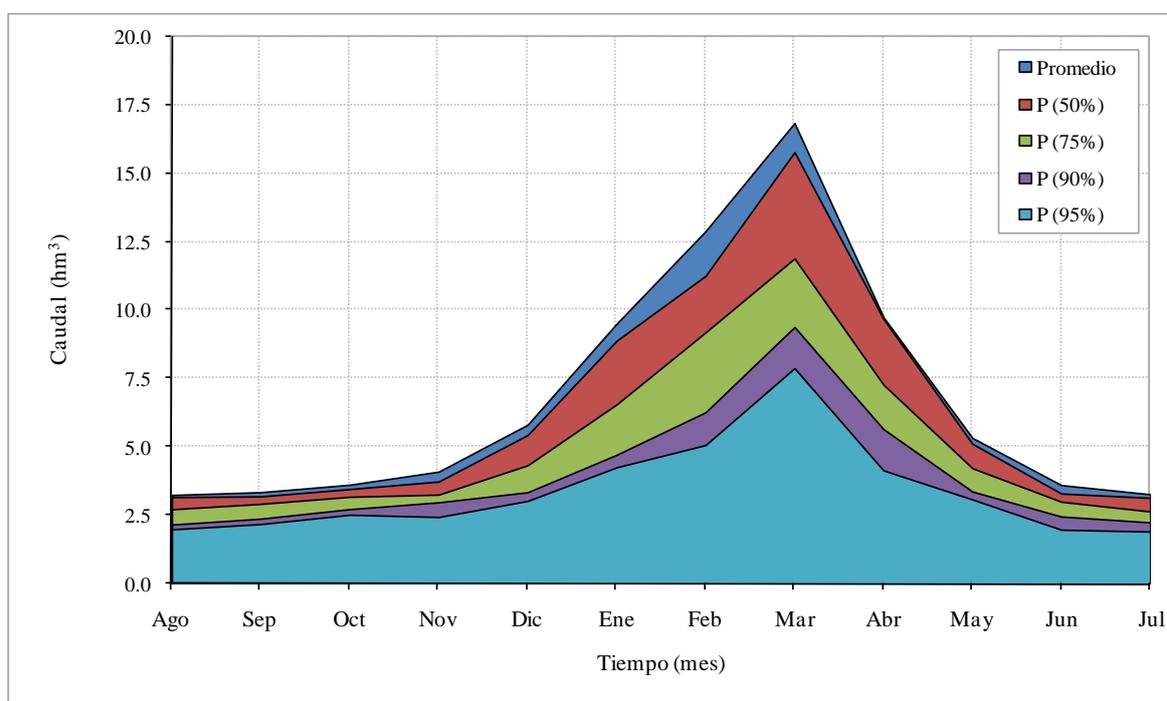
Continuación

34	4.18	6.29	6.67	4.30	2.09	1.46	1.26	1.28	1.32	1.39	1.70	2.30	34.3
35	4.16	6.17	6.60	4.28	2.08	1.45	1.26	1.27	1.30	1.39	1.66	2.29	35.4
36	3.97	6.12	6.60	4.16	2.07	1.44	1.24	1.26	1.30	1.38	1.65	2.28	36.4
37	3.94	6.01	6.59	4.12	2.07	1.40	1.24	1.25	1.30	1.38	1.63	2.27	37.4
38	3.94	5.96	6.59	4.08	2.06	1.37	1.24	1.24	1.29	1.36	1.63	2.25	38.4
39	3.91	5.94	6.57	4.05	2.06	1.36	1.23	1.22	1.28	1.36	1.61	2.23	39.4
40	3.81	5.88	6.55	4.04	2.04	1.36	1.23	1.22	1.28	1.35	1.60	2.22	40.4
41	3.69	5.75	6.55	4.01	2.03	1.35	1.21	1.21	1.28	1.34	1.58	2.20	41.4
42	3.68	5.57	6.49	4.00	2.02	1.35	1.21	1.21	1.26	1.34	1.56	2.17	42.4
43	3.63	5.32	6.41	3.93	2.00	1.35	1.21	1.20	1.26	1.33	1.56	2.16	43.4
44	3.62	5.18	6.33	3.89	1.99	1.34	1.20	1.20	1.26	1.32	1.53	2.15	44.4
45	3.53	4.85	6.28	3.84	1.99	1.33	1.19	1.20	1.24	1.32	1.52	2.14	45.5
46	3.44	4.80	6.28	3.82	1.99	1.33	1.19	1.19	1.24	1.31	1.50	2.08	46.5
47	3.37	4.78	6.09	3.79	1.98	1.29	1.18	1.19	1.24	1.30	1.50	2.07	47.5
48	3.36	4.70	6.07	3.77	1.96	1.29	1.18	1.19	1.24	1.30	1.47	2.04	48.5
49	3.34	4.67	5.92	3.76	1.92	1.28	1.18	1.19	1.24	1.30	1.45	2.04	49.5
50	3.31	4.66	5.89	3.74	1.91	1.28	1.17	1.18	1.24	1.29	1.44	2.03	50.5
51	3.25	4.66	5.85	3.57	1.87	1.27	1.17	1.17	1.24	1.29	1.44	2.02	51.5
52	3.22	4.61	5.83	3.57	1.87	1.27	1.17	1.17	1.24	1.28	1.44	2.01	52.5
53	3.19	4.56	5.79	3.45	1.86	1.27	1.16	1.16	1.24	1.28	1.42	1.99	53.5
54	3.11	4.55	5.76	3.45	1.85	1.26	1.16	1.16	1.24	1.28	1.41	1.97	54.5
55	3.06	4.49	5.76	3.41	1.84	1.26	1.15	1.15	1.24	1.27	1.40	1.93	55.6
56	2.99	4.49	5.65	3.38	1.82	1.25	1.14	1.15	1.24	1.27	1.40	1.93	56.6
57	2.99	4.30	5.46	3.38	1.82	1.25	1.14	1.15	1.23	1.26	1.39	1.93	57.6
58	2.93	4.20	5.46	3.37	1.80	1.25	1.13	1.14	1.23	1.26	1.39	1.92	58.6
59	2.87	4.18	5.43	3.34	1.80	1.25	1.12	1.14	1.23	1.25	1.38	1.85	59.6
60	2.86	4.17	5.26	3.26	1.79	1.24	1.12	1.13	1.23	1.25	1.37	1.82	60.6
61	2.86	4.16	5.24	3.23	1.75	1.24	1.12	1.13	1.21	1.25	1.36	1.82	61.6
62	2.82	4.16	5.19	3.16	1.74	1.24	1.12	1.13	1.21	1.24	1.35	1.81	62.6
63	2.80	4.14	5.18	3.15	1.74	1.23	1.12	1.12	1.20	1.24	1.34	1.80	63.6
64	2.74	4.11	5.10	3.11	1.74	1.23	1.11	1.12	1.20	1.24	1.32	1.78	64.6
65	2.74	4.11	5.10	3.06	1.73	1.22	1.10	1.11	1.20	1.24	1.31	1.74	65.7
66	2.71	4.11	5.06	3.05	1.70	1.22	1.10	1.11	1.19	1.23	1.30	1.73	66.7
67	2.70	4.09	5.04	3.04	1.66	1.20	1.06	1.10	1.19	1.23	1.30	1.73	67.7
68	2.69	4.08	5.02	3.04	1.64	1.20	1.05	1.10	1.19	1.23	1.30	1.69	68.7
69	2.66	4.01	4.98	3.00	1.64	1.19	1.05	1.10	1.19	1.23	1.30	1.69	69.7
70	2.63	3.99	4.89	2.96	1.61	1.19	1.04	1.09	1.18	1.22	1.30	1.67	70.7
71	2.59	3.91	4.69	2.95	1.60	1.17	1.03	1.04	1.17	1.22	1.29	1.67	71.7
72	2.57	3.90	4.65	2.92	1.59	1.16	1.00	1.02	1.14	1.21	1.28	1.65	72.7
73	2.47	3.83	4.62	2.86	1.59	1.16	1.00	1.02	1.14	1.20	1.28	1.64	73.7
74	2.45	3.82	4.44	2.83	1.58	1.16	0.99	1.02	1.13	1.19	1.26	1.63	74.7
75	2.45	3.74	4.43	2.77	1.57	1.15	0.98	1.01	1.12	1.18	1.25	1.61	75.8
76	2.39	3.70	4.34	2.77	1.56	1.15	0.98	1.01	1.12	1.17	1.24	1.54	76.8
77	2.31	3.69	4.32	2.76	1.50	1.12	0.98	1.00	1.10	1.16	1.24	1.53	77.8
78	2.26	3.57	4.32	2.73	1.47	1.12	0.98	1.00	1.07	1.15	1.24	1.47	78.8
79	2.24	3.54	4.26	2.72	1.45	1.07	0.97	0.97	1.06	1.13	1.24	1.46	79.8
80	2.18	3.52	4.11	2.69	1.42	1.05	0.97	0.95	1.06	1.13	1.24	1.43	80.8
81	2.14	3.51	4.07	2.61	1.37	1.05	0.95	0.93	1.05	1.12	1.23	1.36	81.8
82	2.10	3.41	4.06	2.60	1.36	1.01	0.94	0.93	1.05	1.12	1.23	1.33	82.8
83	2.08	3.26	3.97	2.58	1.36	1.01	0.94	0.92	1.03	1.10	1.22	1.31	83.8
84	2.03	3.17	3.94	2.54	1.35	1.00	0.93	0.90	0.99	1.09	1.21	1.31	84.8
85	1.93	3.16	3.86	2.49	1.30	0.98	0.88	0.88	0.95	1.05	1.21	1.29	85.9
86	1.87	3.03	3.84	2.47	1.29	0.98	0.86	0.88	0.94	1.05	1.21	1.29	86.9
87	1.82	3.02	3.80	2.47	1.28	0.98	0.85	0.88	0.93	1.03	1.18	1.28	87.9
88	1.77	2.66	3.79	2.35	1.28	0.95	0.85	0.87	0.93	1.02	1.15	1.26	88.9
89	1.76	2.60	3.51	2.18	1.26	0.95	0.84	0.81	0.92	1.02	1.15	1.25	89.9
90	1.76	2.45	3.38	2.13	1.26	0.90	0.84	0.80	0.92	1.01	1.13	1.25	90.9
91	1.66	2.44	3.31	1.84	1.25	0.89	0.81	0.78	0.92	1.01	1.10	1.25	91.9
92	1.62	2.41	3.24	1.71	1.23	0.85	0.81	0.78	0.91	1.00	1.09	1.22	92.9
93	1.62	2.28	3.11	1.65	1.18	0.85	0.79	0.77	0.89	1.00	1.05	1.19	93.9
94	1.61	2.15	2.99	1.61	1.17	0.78	0.72	0.75	0.85	0.95	0.95	1.14	94.9
95	1.52	1.75	2.61	1.56	1.06	0.71	0.71	0.73	0.85	0.95	0.90	1.13	96.0
96	1.43	1.39	2.40	1.51	1.06	0.67	0.64	0.61	0.81	0.90	0.82	0.96	97.0
97	1.41	1.35	1.87	1.38	1.02	0.66	0.46	0.52	0.75	0.89	0.66	0.86	98.0
98	1.16	1.02	1.41	1.25	1.01	0.66	0.41	0.36	0.15	0.41	0.62	0.53	99.0
Promedio	3.56	5.34	6.30	3.77	2.00	1.40	1.23	1.22	1.30	1.36	1.59	2.18	2.60
P (50%)	3.33	4.67	5.91	3.75	1.92	1.28	1.18	1.19	1.24	1.30	1.45	2.04	2.44
P (75%)	2.45	3.80	4.44	2.81	1.58	1.16	0.99	1.02	1.13	1.19	1.26	1.62	1.95
P (90%)	1.76	2.59	3.50	2.18	1.26	0.95	0.84	0.81	0.92	1.02	1.15	1.25	1.52
P (95%)	1.60	2.11	2.96	1.61	1.16	0.77	0.72	0.75	0.85	0.95	0.95	1.14	1.30

Cuadro N° 6.6 Volúmenes de los caudales medios mensuales al 75% de persistencia (hm³)
Subcuenca Quebrada Párac

Persistencia	Mes												Total Annual
	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	
Promedio	3.27	3.37	3.64	4.12	5.84	9.54	12.92	16.87	9.77	5.36	3.63	3.29	81.62
P (50%)	3.19	3.21	3.48	3.76	5.46	8.92	11.30	15.83	9.72	5.14	3.32	3.16	76.49
P (75%)	2.73	2.93	3.19	3.27	4.34	6.56	9.19	11.89	7.28	4.23	3.01	2.65	61.27
P (90%)	2.17	2.38	2.73	2.98	3.35	4.71	6.27	9.37	5.65	3.37	2.46	2.25	47.71
P (95%)	2.01	2.20	2.54	2.46	3.05	4.29	5.10	7.93	4.17	3.11	2.00	1.93	40.79

Figura N° 6.2 Variación mensual de los volúmenes de los caudales medios al 75% de persistencia
Subcuenca Quebrada Párac



VII DISPONIBILIDAD HÍDRICA EN LA CUENCA

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 existen requerimientos o demandas hídricas localizadas dentro del ámbito de la Cuenca del río Rímac.

La cuenca del Rímac es un caso típico de cuenca de la costa con un río de régimen intermitente torrentoso, con caudales extremos en los meses de avenidas (enero marzo) y caudales mínimos de estiaje (abril a diciembre).

Sin embargo estas condiciones han sido alteradas, especialmente en los caudales de estiaje que han aumentado, por efecto de varias obras de regulación y trasvases efectuadas en la cuenca propia y de la cuenca del Mantaro.

Las variaciones estacionales del régimen de descargas del río Rímac son consecuencia directa del comportamiento de las precipitaciones que ocurren en su cuenca húmeda, siendo muy leve la influencia de las obras de regulación existentes principalmente en la época de avenidas.

La cuenca del río Rímac es la más intensamente explotada del país, La población total de la cuenca es de 6'488,221 habitantes y está conformada por la población de 17 distritos de la provincia de Huarochirí (56,011 habitantes), 5 distritos de la provincia Constitucional del Callao (598,982 habitantes) y 29 distritos de la provincia de Lima (5'833,228 habitantes) según Censo Nacional de Población del año 2007, se encuentran también los más importantes asentamientos industriales, mineros y cinco de las centrales hidroeléctricas más grandes del país, además de contar con un área agrícola de aprox. 11,272.50 ha, 4,358.27 ha con autorización de uso de agua mediante resolución administrativa y 6,914 ha que no cuentan con derecho de uso de agua. (Fuente: Plan de Cultivo y Riego del Sub-Distrito de Riego Rímac campaña agrícola 2009-2010).

7.2 AGUAS SUPERFICIALES

El agua empleada para satisfacer los requerimientos agrícolas, energéticos, industriales, mineros y humanos del área se puede clasificar, de acuerdo a su procedencia en cinco tipos:

- Agua superficial de escurrimiento natural, proveniente de la cuenca del río Rímac
- Agua superficial de régimen regulado, proveniente de las lagunas embalsadas en la cuenca del río Rímac.
- Agua superficial de escurrimiento natural, derivado de la cuenca del río Mantaro.
- Agua superficial de régimen regulado, proveniente de las lagunas embalsadas en la cuenca del río Mantaro.
- Agua subterránea, extraída mediante bombeo de los pozos ubicados en el valle del Rímac.

El análisis de información hidrométrica considerada, muestra que el río Rímac, al igual que la mayoría de los ríos de la costa, presenta un régimen irregular de descargas, con una diferencia bastante pronunciada entre sus valores extremos, a pesar de las obras de regulación construidas en la cuenca y de las obras de derivación construidas en la cuenca del río Mantaro. La descarga media máxima controlada en estación Chosica ocurrió en el año 1935 y fue de 145.67 m³/s y la mínima en el año 1973 y fue de 1.53 m³/s. La descarga media anual presentada por el río, durante el período de registros 1912-2009 ha sido de 27.34 m³/s, que representa un volumen medio anual de 862.2 hm³.

7.3 AGUAS SUBTERRÁNEAS

Las principales fuentes de alimentación del acuífero en la zona de Lima Metropolitana son las filtraciones que se producen a través del lecho de los ríos Rímac y Chillón, las subcorrientes subterráneas producto de las infiltraciones en las partes altas de la cordillera, así como de los canales y áreas agrícolas que aún se encuentran bajo riego.

Dada la reducción progresiva de las áreas bajo riego por el cambio de uso de agrícola a urbano, estas áreas de recarga han venido disminuyendo paulatinamente. **Sin embargo, los caudales autorizados para riego de estas áreas**, en los últimos años, no han sido modificados para tener en cuenta la reducción del área agrícola. El comportamiento del acuífero ha venido siendo observado y en alguna medida controlado por SEDAPAL desde hace más de 20 años por medio de una red de pozos y equipo de observación.

La capacidad instalada en pozos es del orden de 13 m³/s. La explotación de las aguas subterráneas en las cuencas del Rímac y Chillón alcanzó 12.4 m³/s en 1997; el resultado de la explotación de 378 pozos y la galería filtrante por parte de SEDAPAL (8.4 m³/s) y de unos 1200 pozos de terceros (industria, comercio, municipios, particulares y agricultores). En el 2001, esta explotación se había reducido a unos 9 m³/s, debido principalmente a la reducción en la extracción de los pozos operados por SEDAPAL (5.7 m³/s).

Explotación de la Napa y su situación crítica

SEDAPAL explotaba en 1955 un caudal promedio de 0.50 m³/s, encontrándose por entonces el nivel de la napa en el acuífero a escasa profundidad desde la superficie del suelo. La explotación fue creciendo hasta 12.4 m³/s en 1997 habiendo llegado a la sobreexplotación, porque una situación equilibrada de explotación no debe de pasar de 6.00 m³/s.

Balance de aguas subterráneas

Entradas	Caudal m³/s
Flujos afluentes de entrada	2.52
Flujos afluentes laterales	0.04
Infiltración del río	1.01
Infiltración por riego	1.34
Fugas de la red	4.80
Total	9.71

Salidas	
Explotación de pozos SEDAPAL	6.95
Explotación galerías filtrantes	0.12
Explotación pozos terceros	2.38
Flujo hacia el mar	1.45
Total	10.91
Balance	-1.19

Fuente: Fondo Contravalor Perú-Francia

Al 2004 se cuenta con 471 pozos operativos, de los cuales el 64.4% se encuentra en funcionamiento y el 35.6% restante en condición de reserva, de los cuales el 24% se encuentra completamente equipado, 25% parcialmente equipado y 51% sin equipo.

Pozos en operación de SEDAPAL

Situación	Cantidad	Caudal promedio	
		m ³ /s	%
En Funcionamiento SEDAPAL	260	4.47	92
En Funcionamiento CHILLÓN	28	0.39	8
En Reserva (Uso conjuntivo, con y sin equipo)	183	-	-
Total	471	4.87	100

7.4 AGUAS DE RECUPERACIÓN

En el bloque del sistema San Agustín, se abastece parcialmente con aguas servidas especialmente en el periodo de estiaje.

7.5 AGUAS DE ALMACENAMIENTO EN REPRESAS

De la información proporcionada por EDEGEL se tiene la siguiente:

CUENCA	LAGUNAS	Hm ³
Marcapomacocha	5	157.05
Santa Eulalia	15	77.00
Yuracmayo	1	48.30
TOTAL	21	282.35

Fuente EDEGEL Setiembre 2010.

De noviembre a mayo se cuenta con el aporte de Marca III.

Con el fin de afianzar el caudal del río Rímac se represó quince lagunas de la cuenca alta del río Santa Eulalia, con un volumen regulado de 77 hm³; y de la Represa de Yuracmayo es de 48.30 hm³. Estos recursos son de la cuenca propia del río Rímac.

Algunas de estas obras de represamiento fueron construidas a fines del siglo pasado y comienzos del actual.

7.6 AGUAS DE TRASVASE

El aporte de Lagunas y trasvases está dirigido principalmente al uso energético y poblacional y su regulación es significativa en el periodo de estiaje.

Los aportes de la laguna santa Eulalia son de 77 hm^3 y de la represa de Yuracmayo son de 48.30 hm^3 . Estos recursos son de la cuenca propia del río Rímac.

El aporte por trasvases y regulaciones del sistema Marcapomacocha (Mantaro) es de 157.05 hm^3 . El total de sistemas de regulación y trasvases es de 282.35 hm^3 , (Fuente: EDEGEL).

La información hidrológica sobre el río Rímac tiene más de 50 años. Su caudal en estiaje ha sido aumentado gradualmente por los trasvases de cuencas en la vertiente del Atlántico. Los hitos más importantes para afianzar los caudales del Rímac en época de estiaje, en el período 1955-2000, han sido los desarrollos en la vertiente del Atlántico que incluyen: (1) la primera etapa del trasvase del río Mantaro iniciada en 1956; (2) y las obras de Marca I en 1962 y Marca III y el embalse de Yuracmayo de fecha más reciente.

Estos trasvases son regulados por una serie de embalses y lagunas con una capacidad total de unos 282.35 millones de metros cúbicos; (3) futuros desarrollos contempla el proyecto Marca II.

PROYECTO MARCA I

- **Antecedentes**

Al comenzar la década del 30, se consideraba incrementar las aguas del río Santa Eulalia con aguas provenientes de la Vertiente del Atlántico.

La obra iniciada a fines de 1957 y terminada cinco años después, constituye una verdadera proeza de ingeniería, por los muchos e indecibles obstáculos con que se tropezó en su ejecución. La galería trasandina, de 10 km de largo, la más alta del mundo, forma parte del gran sistema Huinco, que es el nombre de la central a la que sirve.

El caudal derivado a través de la cordillera es de $6 \text{ m}^3/\text{s}$ (hasta 8 eventualmente), los que sumados al caudal propio del Santa Eulalia y regulados en el embalse Sheque, dan la fuerza necesaria para mover los cuatro grupos de la gran central de Huinco y la primera del Perú, cuya potencia supera a la del conjunto de plantas hidráulicas y térmicas que suministran energía a Lima.

- **Descripción del proyecto**

El proyecto “Marcapomacocha - Milloc” Marca I consistió en la captación de las aguas de la laguna Marcapomacocha, mediante la construcción de un túnel trasandino de 10 km de longitud hacia la laguna Milloc, con el fin de incrementar el caudal del río Santa Eulalia con $6 \text{ m}^3/\text{s}$ en época de estiaje.

La construcción del túnel trasandino marcó historia en el desarrollo de nuestro país, ya que fue la lucha constante del hombre que después de 5 años logró sus objetivos.

Este proyecto, se ejecutó con la finalidad de cubrir la demanda del servicio eléctrico en la ciudad de Lima, aprovechando una caída de 1,200 m del túnel acueducto a Huinco, capaz de generar no menos de 200,000 Kw.

MARCA II: DERIVACIÓN POMACOCCHA - RÍO BLANCO

Al mes de enero del 2009 se cuenta con el estudio definitivo para el proyecto Derivación Pomacocha-Río Blanco (Marca II), el mismo que se desarrolla en el distrito y provincia de Yauli, departamento de Junín. El proyecto consiste en captar los excedentes de lluvia de la cuenca del río Yauli y plantea la construcción de un sistema de conducción por túneles y canales para el afianzamiento de la laguna Pomacocha, la cual incrementará el volumen útil del embalse y luego mediante un nuevo túnel trasandino Pomacocha - Río Blanco de 10 km de longitud derivar sus aportes a la cuenca del río Rímac.

La ejecución de este proyecto permitirá contar con la posibilidad de ejecutar obras que permitan entregar al río Rímac un caudal adicional de 4.0 m³/s logrando una mejor utilización de los recursos hídricos, regulando los excedentes en época de avenida para ser utilizados en época de estiaje.

Teniendo en cuenta que el ingreso de este proyecto recién sería en el año 2018 (considerando un escenario optimo de inicio de los estudios en el año 2010 y un plazo de ejecución total de 7 a 8 años) se ha elaborado una proyección de balance oferta-demanda de agua considerando la entrada de este proyecto en este año (2018). Cabe señalar que este proyecto se complementará con la segunda etapa de la Planta de Tratamiento de agua Huachipa la que aumentará su capacidad de producción total a 10 m³/s.

DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO MARCA III:

Afianzamiento Del Sistema Marcapomacocha

- **Descripción del proyecto**

El Proyecto Marca III consiste en aprovechar los recursos hídricos de la cuenca de las quebradas de Cosurcocha, Casacancha, al Norte de la cuenca de Marcapomacocha, las cuales están ubicadas en la parte alta del río Mantaro. El proyecto establece la construcción de dos túneles intercuencas, río Pallanga-Tuctococha y Patahuay-Sapicancha y sistemas de canales, de manera de conducir las aguas de las quebradas mencionadas hacia la laguna Sapicancha. De aquí las aguas discurrirán por la quebrada Sapicancha, hasta su captación en la bocatoma de Antachupa (existente) y conducción a través del canal del mismo nombre hasta la laguna Antacoto. La ventaja del proyecto es la recolección por gravedad de los recursos hídricos de la cuenca del Mantaro, aprovechando la infraestructura existente, como la laguna de Antacoto (encimando su represa), y el actual túnel trasandino Marcapomacocha - Milloc, el cual tiene una capacidad de 14 m³/s. El proyecto Marca III podría aportar desde la cuenca del Mantaro y por gravedad a la cuenca del Rímac en 3.0 m³/s al caudal del río Santa Eulalia en época de estiaje (mayo - diciembre).

TÚNEL GRATHON

La descarga de drenaje más importante que se presenta en la cuenca, como aporte al río Rímac, corresponde al túnel Grathon, ubicado aguas arriba de la localidad de San Mateo, en el sector de Casapalca.

El túnel Grathon es una obra de drenaje destinada a evacuar las aguas que filtran en las galerías de varias minas de Casapalca, provenientes de un sistema de fallas. Tiene una longitud aproximada de 11 kilómetros y empezó a descargar en 1962, proporcionando un aporte del orden de 4.5 m³/s en el período de estiaje, de los cuales hasta 1.2 m³/s corresponden a filtraciones propias del túnel.

Se estima que las descargas del túnel no han causado efectos apreciables sobre las cargas anuales del río Rímac, infiriéndose que sus descargas corresponden a la vertiente del Pacífico y a la misma cuenca, que de todos modos hubiera llegado al cauce del río.

7.7 OTRAS FUENTES DE AGUA (DESHIELO DE GLACIARES Y OTROS)

A pesar que parte del volumen de las lagunas existentes en la parte alta de la cuenca del río Rímac se debe al deshielo de los glaciares no es posible contar con información del volumen producido por el deshielo de los glaciares.

7.8 DISPONIBILIDAD HÍDRICA TOTAL DE LA CUENCA

La disponibilidad hídrica de las subcuencas en la cuenca del río Rímac, se ha obtenido a partir del análisis de persistencia de caudales medios mensuales desarrollado en el Capítulo V. Por lo tanto en el Cuadro N° 7.1 se muestra caudales medios en volúmenes al 75% de persistencia y promedio de volúmenes del Túnel Trasandino.

Cuadro 7.1 Caudales Medios Mensuales (hm³) en la Cuenca del Río Rímac

Cuenca/ Subcuenca	Estación	Persistencia	Mes												Total Anual
			Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	
Río Rímac	Chosica	75%	28.52	30.59	33.27	34.16	45.69	68.92	96.41	124.68	76.49	44.41	31.54	27.80	642.48
Río Santa Eulalia	Sheque	75%	5.54	5.78	7.23	7.46	11.73	20.25	28.43	32.54	21.51	12.03	7.52	7.10	167.12
Río Rímac	Tamboraque	75%	14.65	14.44	16.77	17.81	24.11	30.69	41.01	45.96	32.53	23.81	18.79	16.18	296.74
Alto Río Rímac	-	75%	2.73	2.93	3.19	3.27	4.34	6.56	9.19	11.89	7.28	4.23	3.01	2.65	61.27
Quebrada Párac	-	75%	2.73	2.93	3.19	3.27	4.34	6.56	9.19	11.89	7.28	4.23	3.01	2.65	61.27
Túnel Trasandino	Túnel Trasandino	Promedio	14.65	12.39	12.59	12.16	11.06	9.19	8.47	10.55	10.03	10.90	13.43	14.03	139.45

VIII. USO Y DEMANDA DE AGUA EN LA CUENCA

8.1 ASPECTOS GENERALES

La determinación del uso y demanda del agua en la cuenca del río Rímac tiene como Principal objetivo la determinación del balance hídrico con énfasis en el consumo de agua con fines agrícolas.

A nivel nacional la cuenca del río Rímac es una de las más explotadas, debido a las exigentes demandas de agua para uso múltiple principalmente para consumo humano (Lima Metropolitana), agrícola, industrial, minero y suministro de agua para fines hidroenergéticos.

Los recursos hídricos de la cuenca del río Rímac son los más intensamente aprovechados del país, debido principalmente a que dentro de sus límites se encuentra la ciudad de Lima, la capital, con una población aproximada de 8.5 millones de habitantes, que a su vez es el centro industrial más importante. El agua es aprovechada con fines de generación de energía (no consuntivo), y otros usos consuntivos como uso poblacional, agrícola, industrial y minero.

8.2 DEMANDA ACTUAL DE AGUA EN LA CUENCA

Áreas de riego

En la cuenca del río Rímac se distingue las áreas de riego en función a su ubicación geográfica y climatológica.

El área total bajo riego en la cuenca del río Rímac alcanza los 4358.27 ha.

En el Cuadro N° 8.1 se muestra las áreas bajo riego por comisiones de regantes.

Cuadro 8.1 Resumen de demanda hídrica anual y áreas bajo riego del Sub-Distrito de Riego Rímac

Sector de riego	Comisión de regantes	N de usuarios	Volumen anual (m3)	Nombre de la fuente	Área total (ha)	Área bajo riego (ha)
Lima	Ate Vitarte	114	8,102,167	Río Rímac - Ate	527.45	526.98
	San Agustín	127	2,988,782	Río Rímac - San Agustín	458.39	533.22
	Surco	79	21,938,150	Río Rímac - Surco	1107.31	1132.12
Rímac	Carapongo	388	1,471,908	Río Rímac - Carapongo	189.25	290.45
	Chaclacayo	89	653,446	Río Rímac - Chaclacayo	44.24	33.17
	Chacrasana	87	1,995,625	Río Rímac - Chacrasana	130.87	105.88
	Chosica	128	3,229,662	Río Rímac - Chosica	173.46	161.78
	Huachipa	284	3,935,536	Río Rímac - Huachipa	428.24	302.98
	La Estrella	140	1,541,759	Río Rímac - La Estrella	154.67	191.34
	Nieveria	210	3,871,698	Río Rímac - Nieveria	275.47	545.89
	Ñaña	153	2,848,182	Río Rímac - Ñaña	373.96	288.97
	Ricardo Palma	231	2,308,710	Río Rímac - Ricardo Palma	225.67	150.06
Santa Eulalia	Santa Eulalia	375	1,928,720	Sta. Eulalia - C.CH.EL P.P.	281.1	95.43
Total		2405	56,814,345		4370.08	4358.27

Fuente: Plan de Cultivo y Riego 2009-2010.

8.2.1 USO CONSUNTIVO

8.2.1.1 Sector agricultura (uso agrícola)

La superficie agrícola bajo riego en el valle del río Rímac, se viene reduciendo progresivamente en los últimos años, desplazadas por el crecimiento urbano de la ciudad de Lima. Estadísticas de 1975 indican una extensión de 9000 ha de tierras agrícolas bajo riego, ubicadas en la parte baja de la cuenca, y actualmente el área bajo riego es de 4358.27 ha. El volumen total de agua utilizada para uso agrícola a nivel de la cuenca Rímac alcanza los 105.15 hm³/año, que representa 16.56% de la demanda total de la cuenca.

Según la información disponible del Plan de Cultivo y Riego del sub-distrito de riego Rímac campaña agrícola 2009-2010, los que se dedican principalmente al cultivo de hortalizas, forrajeros, grass, frutales, leguminosas, maíz, flores, etc. para abastecer al mercado de Lima.

Cuadro N° 8.2 Demanda hídrica de uso agrícola (m³)
Cantidad de agua otorgada a las comisiones de regantes del Sub-Distrito de Riego del río Rímac
Año: 2003-2007

Comisión de Regantes	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Total Anual	R. ADM. N°
Nievería	547.500,0	277.500,0	510.000,0	590.000,0	648.750,0	512.500,0	616.250,0	732.500,0	741.250,0	681.250,0	482.500,0	421.250,0	6.761.250,0	R.A. N° 124-2006-AG-SGRAM/ATDR.CHRL
Ate	700.560,0	812.030,0	972.150,0	972.940,0	1.033.300,0	1.246.200,0	1.300.200,0	1.418.940,0	1.269.850,0	996.400,0	743.290,0	687.830,0	12.153.690,0	R.A. N° 370-2006-AG-SGRAM/ATDR.CHRL
La Estrella	433.415,0	398.504,0	545.461,0	482.312,0	505.015,0	472.237,0	518.559,0	680.241,0	705.335,0	642.248,0	286.798,0	142.813,0	5.812.938,0	R.A. N° 371-2006-AG-SGRAM/ATDR.CHRL
Chosica	285.333,0	320.000,0	228.916,0	372.000,0	392.308,0	487.333,0	493.998,0	575.733,0	521.200,0	395.641,0	269.707,0	203.247,0	4.545.416,0	R.A. N° 369-2006-AG-SGRAM/ATDR.CHRL
Chacarasana	261.429,0	290.000,0	288.571,0	295.714,0	348.571,0	411.429,0	417.143,0	507.143,0	487.143,0	400.000,0	252.857,0	242.857,0	4.202.857,0	R.A. N° 366-2006-AG-SGRAM/ATDR.CHRL
Ricardo Palma	345.000,0	361.250,0	456.250,0	472.500,0	460.000,0	513.750,0	508.750,0	526.250,0	475.000,0	376.250,0	243.750,0	206.250,0	4.945.000,0	R.A. N° 256-2007-AG-SGRAM/ATDR.CHRL
Surco	1.334.398,0	1.496.898,0	1.669.852,0	1.770.443,0	1.896.159,0	2.321.966,0	2.425.306,0	2.679.000,0	2.418.500,0	1.934.398,0	1.425.580,0	1.373.966,0	22.746.466,0	R.A. N° 359-2006-AG-SGRAM/ATDR.CHRL
Ñaña	1.069.960,0	1.271.440,0	1.319.650,0	1.348.460,0	1.196.360,0	1.332.790,0	1.386.660,0	1.649.520,0	1.617.050,0	1.309.290,0	850.770,0	793.880,0	15.145.830,0	R.A. N° 365-2006-AG-SGRAM/ATDR.CHRL
San Agustín	0,0	0,0	0,0	0,0	804.000,0	2.200.000,0	2.175.000,0	1.626.000,0	1.192.000,0	0,0	0,0	0,0	7.997.000,0	R.A. N° (NO EXISTE RESOLUCION)
Parca	84.000,0	122.000,0	107.000,0	147.000,0	198.000,0	273.000,0	273.000,0	278.000,0	214.000,0	168.000,0	108.000,0	101.000,0	2.073.000,0	R.A. N° 221-2006-AG-SGRAM/ATDR.CHRL
Chaclacayo	64.000,0	104.000,0	89.000,0	80.000,0	135.000,0	214.000,0	215.000,0	158.000,0	151.000,0	123.000,0	82.000,0	53.000,0	1.468.000,0	R.A. N° 087-2006-AG-SGRAM/ATDR.CHRL
Huachipa	681.000,0	1.028.000,0	868.000,0	947.000,0	1.091.000,0	1.628.000,0	1.592.000,0	1.370.000,0	1.109.000,0	951.000,0	691.000,0	625.000,0	12.581.000,0	R.A. N° 035-2007-AG-SGRAM/ATDR.CHRL
Carapongo	275.000,0	398.000,0	347.000,0	324.000,0	381.000,0	660.000,0	683.000,0	374.000,0	426.000,0	404.000,0	250.000,0	161.000,0	4.683.000,0	R.A. N° 373-2006-AG-SGRAM/ATDR.CHRL
Total	6.081.595,0	6.879.622,0	7.401.850,0	7.802.369,0	9.089.463,0	12.273.205,0	12.604.866,0	12.575.327,0	11.327.328,0	8.381.477,0	5.686.252,0	5.012.093,0	105.115.447,0	

Fuente: Plan Cultivo y Riego de ALA CHILLÓN-RÍMAC-LURÍN.

Cuadro N° 8.3 Demanda hídrica de uso agrícola (hm³)
Cantidad de agua otorgada a las comisiones de regantes del Sub-Distrito de Riego del río Rímac
Año: 2003-2007

Comisión de Regantes	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Total Anual
Nievería	0.55	0.28	0.51	0.59	0.65	0.51	0.62	0.73	0.74	0.68	0.48	0.42	6.76
Ate	0.70	0.81	0.97	0.97	1.03	1.25	1.30	1.42	1.27	1.00	0.74	0.69	12.15
La Estrella	0.43	0.40	0.55	0.48	0.51	0.47	0.52	0.68	0.71	0.64	0.29	0.14	5.82
Chosica	0.29	0.32	0.23	0.37	0.39	0.49	0.49	0.58	0.52	0.40	0.27	0.20	4.55
Chacarasana	0.26	0.29	0.29	0.30	0.35	0.41	0.42	0.51	0.49	0.40	0.25	0.24	4.21
Ricardo Palma	0.35	0.36	0.46	0.47	0.46	0.51	0.51	0.53	0.48	0.38	0.24	0.21	4.96
Surco	1.33	1.50	1.67	1.77	1.90	2.32	2.43	2.68	2.42	1.93	1.43	1.37	22.75
Ñaña	1.07	1.27	1.32	1.35	1.20	1.33	1.39	1.65	1.62	1.31	0.85	0.79	15.15
San Agustín	0.00	0.00	0.00	0.00	0.80	2.20	2.18	1.63	1.19	0.00	0.00	0.00	8.00
Parca	0.08	0.12	0.11	0.15	0.20	0.27	0.27	0.28	0.21	0.17	0.11	0.10	2.07
Chaclacayo	0.06	0.10	0.09	0.08	0.14	0.21	0.22	0.16	0.15	0.12	0.08	0.05	1.46
Huachipa	0.68	1.03	0.87	0.95	1.09	1.63	1.59	1.37	1.11	0.95	0.69	0.63	12.59
Carapongo	0.28	0.40	0.35	0.32	0.38	0.66	0.68	0.37	0.43	0.40	0.25	0.16	4.68
Total	6.08	6.88	7.42	7.80	9.10	12.26	12.62	12.59	11.34	8.38	5.68	5.00	105.15

Fuente: Plan Cultivo y Riego de ALA CHILLÓN-RÍMAC-LURÍN.

Cuadro N° 8.4 Demanda hídrica de uso agrícola (m³/s)
Cantidad de agua otorgada a las comisiones de regantes del Sub-Distrito de Riego del río Rímac
Año: 2003-2007

Comisión de Regantes	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Promedio Anual
Nievería	0.204	0.107	0.19	0.228	0.242	0.191	0.255	0.273	0.286	0.254	0.186	0.157	0.214
Ate	0.262	0.313	0.363	0.375	0.386	0.465	0.537	0.530	0.490	0.372	0.287	0.257	0.386
La Estrella	0.162	0.154	0.204	0.186	0.189	0.176	0.214	0.254	0.272	0.240	0.111	0.053	0.185
Chosica	0.107	0.123	0.085	0.144	0.146	0.182	0.204	0.215	0.201	0.148	0.104	0.076	0.145
Chacrasana	0.098	0.112	0.108	0.114	0.130	0.154	0.172	0.189	0.188	0.149	0.098	0.091	0.134
Ricardo Palma	0.129	0.139	0.170	0.182	0.172	0.192	0.210	0.196	0.183	0.140	0.094	0.077	0.157
Surco	0.498	0.578	0.623	0.683	0.708	0.867	1.003	1.000	0.933	0.722	0.550	0.513	0.723
Ñaña	0.399	0.491	0.493	0.520	0.447	0.498	0.573	0.616	0.624	0.489	0.328	0.296	0.481
San Agustín	0.000	0.000	0.000	0.000	0.300	0.821	0.899	0.607	0.460	0.000	0.000	0.000	0.257
Parca	0.031	0.047	0.040	0.057	0.074	0.102	0.113	0.104	0.083	0.063	0.042	0.038	0.066
Chaclacayo	0.024	0.040	0.033	0.031	0.050	0.080	0.089	0.059	0.058	0.046	0.032	0.020	0.047
Huachipa	0.254	0.397	0.324	0.365	0.407	0.608	0.658	0.511	0.428	0.355	0.267	0.233	0.401
Carapongo	0.103	0.154	0.130	0.125	0.142	0.246	0.282	0.140	0.164	0.151	0.096	0.060	0.149
Total	2.271	2.655	2.763	3.010	3.393	4.582	5.209	4.694	4.370	3.129	2.195	1.871	3.345

Fuente: Plan Cultivo y Riego de ALA CHILLON-RIMAC-LURIN.

8.2.1.2 Sector vivienda (uso poblacional)

En lo que respecta al abastecimiento de agua para uso doméstico e industrial, la cuenca del río Rímac es la principal fuente de agua para satisfacer la necesidad de la gran Lima y el Callao.

SEDAPAL (Servicio de agua potable y alcantarillado de Lima), en el Plan Maestro Optimizado de Agua y Alcantarillado para Lima-Callao-Volumen II, en el estudio de la demanda de agua poblacional en junio 2009 estimaron lo siguiente: Lima tiene dos tipos de fuentes de abastecimiento de agua; una superficial (plantas la Atarjea y Chillón) y la otra es a través de las aguas subterráneas (pozos) y que al no implementarse mejoras o ampliaciones a los sistemas existentes la producción de agua se mantendrá constante durante el período de planeamiento, pudiendo incluso disminuir debido a las pérdidas que se producen en el sistema.

Cuadro 8.5 Capacidad de producción del agua

Capacidad de producción del agua	
Fuente	Caudal (m ³ /s)
Planta la Atarjea	15.90
Planta Chillón	0.72
Pozos	4.22
Total	20.84

En el Cuadro 8.6 se presenta los volúmenes de agua mensualizada en hm³, del uso poblacional tomado en forma directa de la cuenca a través de la planta de atarjea por la empresa SEDAPAL.

Cuadro N° 8.6 Uso poblacional - Agua Potable SEDAPAL - Cuenca río Rímac

Descripción	Volumen de agua mensualizada												Anual
	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	
Caudal (m ³ /s)	15.90	15.90	15.90	15.90	15.90	15.90	15.90	15.90	15.90	15.90	15.90	15.90	15.90
Días del mes	31	30	31	30	31	31	28	31	30	31	30	31	
Volumen de agua (hm ³)	42.59	41.21	42.59	41.21	42.59	42.59	38.47	42.59	41.21	42.59	41.21	42.59	501.44

El uso poblacional total es de 501.44 hm³ y representa el 78.97% de la demanda total de la cuenca Rímac.

Metodología de SEDAPAL para el cálculo de las tasas de proyección de población. En el estudio de Actualización de la Demanda y Corrección de la Oferta, llevado a cabo a inicios del 2001, se determinó la proyección de las tasas de crecimiento poblacional. Para determinar estas tasas de crecimiento se utilizaron los siguientes criterios:

Tendencias de crecimiento de población que arrojaron los censos llevados a cabo para Lima metropolitana desde 1961 y las cifras actualizadas de población proporcionadas por el INEI; las tendencias de las proyecciones de población de estudios anteriores; y la capacidad de albergar población que podrían tener las áreas potenciales para expansión urbana en Lima metropolitana.

Cuadro N° 8.7 Tasa promedio interanual de la población

Años	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040
Tasa promedio Interanual	1.47%	1.39%	1.30%	1.22%	1.15%	0.93%	0.90%

Tomando como base los resultados del Censo del año 2007 y aplicando las tasas de crecimiento poblacional que se determinaron en el estudio del 2001, se tiene la siguiente proyección poblacional:

Cuadro N° 8.8 Población proyectada para diferentes horizontes

Años	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040
Proyección Poblacional	8,862,919	9,496,752	10,130,585	10,764,418	11,398,251	11,936,924	12,485,366

Fuente: SEDAPAL Plan Maestro Optimizado de Agua y Alcantarillado para Lima- Callao Junio 2009.

Incremento de la capacidad de agua potable

- Derivación Huascacocha por el Rímac - Planta de tratamiento de agua potable Huachipa primera etapa.
- Derivación Marca II-Planta de tratamiento de agua potable Huachipa segunda etapa.
- Embalse Gangay en el río Chillón-Ampliación producción de la planta de tratamiento de agua Chillón.
- Rehabilitación planta de tratamiento de agua Atarjea
- Planta desalinizadora de agua de mar - Aguas de Lima Sur.

8.2.1.3 Sector minería (minas)

Los principales centros mineros se ubican en la parte alta de la cuenca del río Rímac. Actualmente siete minas en operación y 20 abandonadas, una refinera y nueve explotaciones no metálicas.

Los centros mineros más destacados de la zona son los de Casapalca, Tamboraque, Millontingo, Pacococha, Colqui, Venturosa, Caridad, Lichicocha y Cocachacra. Los Centros que cuentan con otorgamiento de Licencia de agua son: Votarim Metais – Cajamarquilla S.A Compañía Minera San Juann (Perú) S.A. Compañía Minera Casapalca S.A. Empresa Minera Los Quenuales S. A. y Perú Bar S.A. La participación de la actividad minera en el consumo de agua es pequeña que representa el 4.32% del total de agua para uso consuntivo, es decir consume 27.46 hm³/año.

Las minas vierten directamente al río, los residuos provenientes de sus plantas concentradoras. Asimismo, ubican las canchas de relaves de minerales al borde del río o de la quebrada más cercana, con taludes empinados e inestables. Durante la época de crecidas, los taludes son erosionados y arrastrados por el río, las lluvias también lavan parte de los relaves, que escurren hacia el río.

Cuadro N° 8.9 Uso minero en la cuenca del río Rímac

Volumen anual = 2.7E+07 m³

Descripción	Volumen de agua mensualizada												Anual
	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	
Días del mes	31	30	31	30	31	31	28	31	30	31	30	31	365
Volumen de agua (m ³)	2331180	2255981	2331180	2255981	2331180	2331180	2105582	2331180	2255981	2331180	2255981	2331180	27447768
Volumen de agua (hm ³)	2.33	2.26	2.33	2.26	2.33	2.33	2.11	2.33	2.26	2.33	2.26	2.33	27.46

8.2.1.4 Otros usos de agua (industria)

La disponibilidad de agua es un factor cada vez más preponderante en el abastecimiento industrial, llegando a ser decisivo para aquellas actividades que consumen grandes cantidades de ese elemento. Los rubros más importantes en función al consumo de agua son: Bebidas gaseosas, cerveza, vinos, etc.

La demanda de agua para uso industrial es de 0.95 hm³/año y representa el 0.15% de la demanda total de la cuenca Rímac, esta información fue proporcionada por la Administración Local de Agua Chillón Rímac Lurín.

En el tramo entre la bocatoma La Atarjea y Chosica operan 13 plantas industriales que vierten sus desechos directamente al río Rímac, conteniendo sustancias tóxicas como: álcalis, detergentes, ácidos, bases, iones metálicos, así como residuos sólidos orgánicos diversos.

Cuadro N° 8.10 Uso industrial en la cuenca del río Rímac

Volumen anual = 944006 m³

Descripción	Volumen de agua mensualizada												Anual
	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	
Días del mes	31	30	31	30	31	31	28	31	30	31	30	31	365
Volumen de agua (m ³)	80176	77590	80176	77590	80176	80176	72417	80176	77590	80176	77590	80176	944006.4
Volumen de agua (hm ³)	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.07	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.95

8.2.2 USO NO CONSUNTIVO

8.2.2.1 Sector energético (uso hidroeléctrico)

Cinco centrales hidroeléctricas se escalonan a lo largo de los ríos Rímac y Santa Eulalia, aprovechando los grandes desniveles existentes. Un sistema de canales y túneles a lo largo de estos ríos canalizan el agua de central en central. Lima depende en gran medida de la producción de las referidas centrales que proporcionan una potencia nominal de 559.5MW, con un caudal nominal de 101.5 m³/s.

Cuadro 8.11 Potencia nominal y caudal nominal de las centrales hidroeléctricas
Cuenca del río Rímac

Central	Potencia nominal (MW)	Caudal nominal (m ³ /s)
Huinco	258.4	25.0
Matucana	120.0	15.0
Callahuanca	80.7	22.5
Moyopampa	69.0	18.0
Huampaní	31.4	21.0
Total	559.5	101.5

Fuente: EDEGEL Setiembre 2010.

8.2.2.2 Sector pesquería (piscícolas)

La actividad piscícola se desarrolla en el río Blanco, laguna Chuhún, Quebrada Tapcin, algunos manantiales como Ocunal Chico, Cashahuacra y río Yaraguan y en la parte media del río Santa Eulalia, el volumen utilizado es de 10'881,990.00 m³ según información proporcionada por la Administración de Agua Chillón Rímac Lurín, consiste principalmente en crianza de truchas en pozas construidas para este fin, las aguas una vez utilizadas vuelven al cauce de donde fueron captadas.

8.2.2.3 Otros usos de agua (recreación, etc)

El uso recreacional en la cuenca es mínimo no existiendo información al respecto.

8.3 DEMANDA FUTURA DE AGUA EN LA CUENCA

Los usos de agua con fines de riego no existen nuevas demandas proyectadas. Siendo la tendencia a disminuir las demandas de uso agrícola en la parte baja de la cuenca.

Proyección de la demanda de agua

Según las siguientes consideraciones:

Implantación progresiva y masiva de medidores a los clientes domésticos y no domésticos de acuerdo a lo establecido en el cuadro de metas de micro medición establecida por la empresa.

Las demandas de los usuarios no conectados al sistema de agua potable ha sido considerado tomando el valor de consumo calculado en el estudio “Determinación de los Consumos” es decir 30 litros-habitante/día.

El porcentaje de población servida aumenta de acuerdo al cuadro mencionado anteriormente.

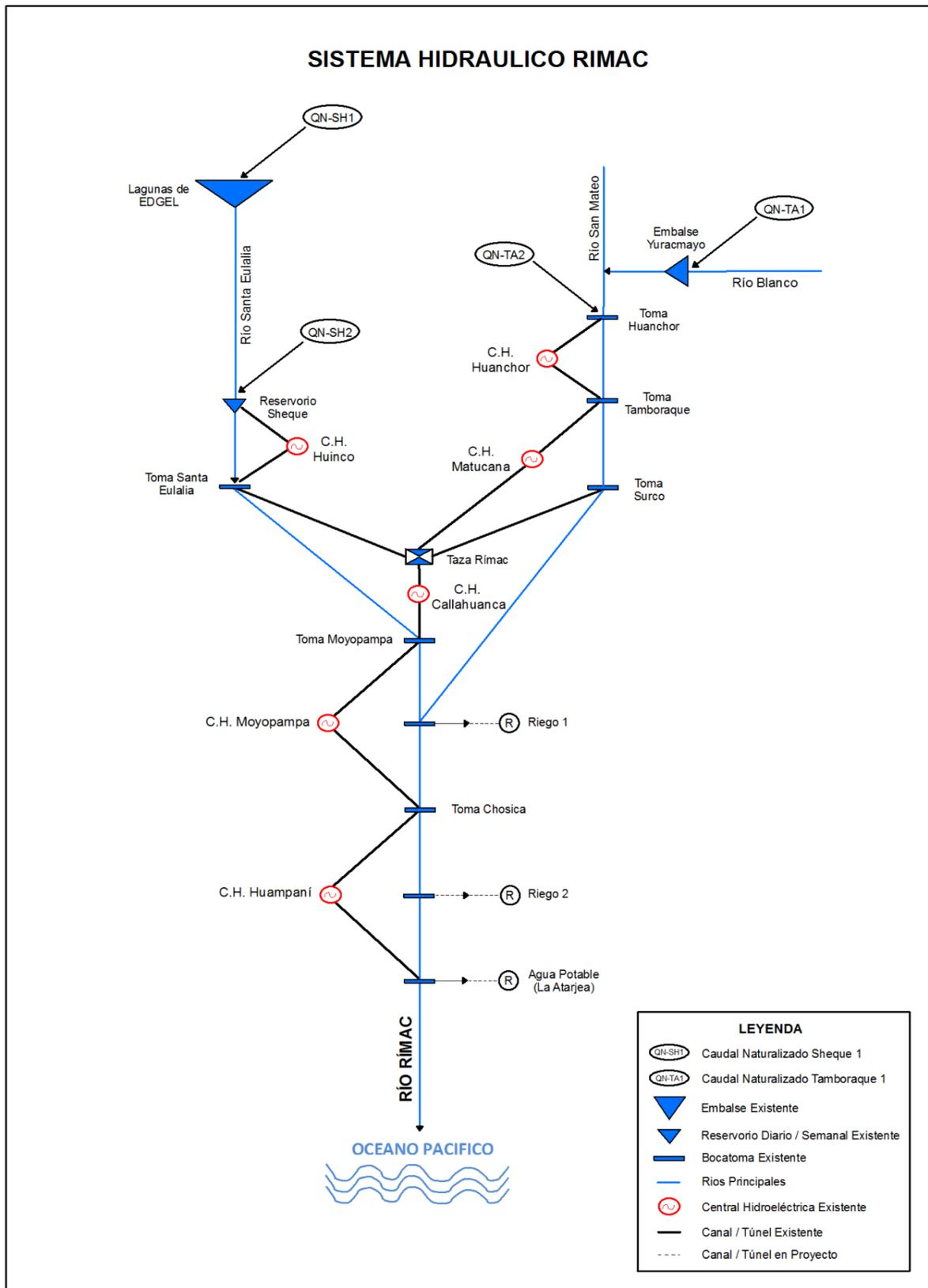
La demanda de agua evolucionará de la siguiente manera:

Cuadro 8.12 Evolución de la demanda de agua en el período de evaluación (m³/s)

Años	2009	2010	2015	2020	2025	2030	2040
Demanda Total	23.67	24.15	26.67	28.69	30.65	32.52	34.31

Fuente: SEDAPAL Plan Maestro Optimizado de Agua y Alcantarillado para Lima-Callao, Junio 2009.

8.4 ESQUEMA HIDRÁULICO DEL SISTEMA HÍDRICO



FUENTE: EDGEL

IX BALANCE HÍDRICO

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 para la cuenca del río Rímac en la estación hidrométrica Chosica como punto de control.

En el ámbito de la cuenca existe un punto de control hidrométrico estación Chosica. 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.

Ecuación del balance hídrico de la cuenca

La ecuación general para el balance hídrico a utilizarse, en un punto del río, es la siguiente:

$$\boxed{\text{Balance Hídrico} = Q - D}$$

Donde:

$$\begin{aligned} Q &= \text{caudal (oferta hídrica) en el río.} \\ D &= \text{demandas hídricas (usos de agua).} \end{aligned}$$

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 en la cuenca del río Rímac – estación Chosica, 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.

9.2 OFERTA HÍDRICA

La disponibilidad hídrica de la cuenca del río Rímac, se muestra en el capítulo anterior, determinado para 75% de persistencia de las descargas medias mensuales y del Túnel Trasandino en capítulo de hidrometría. Los mismos valores se muestran en el balance hídrico.

9.3 DEMANDA HÍDRICA EN SITUACIÓN ACTUAL Y FUTURA

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.

Las demandas agrícolas y poblacionales en la cuenca del río Rímac, se han establecido en el capítulo de demandas hídricas.

9.4 BALANCE HÍDRICO DE LA CUENCA EN SITUACIÓN ACTUAL

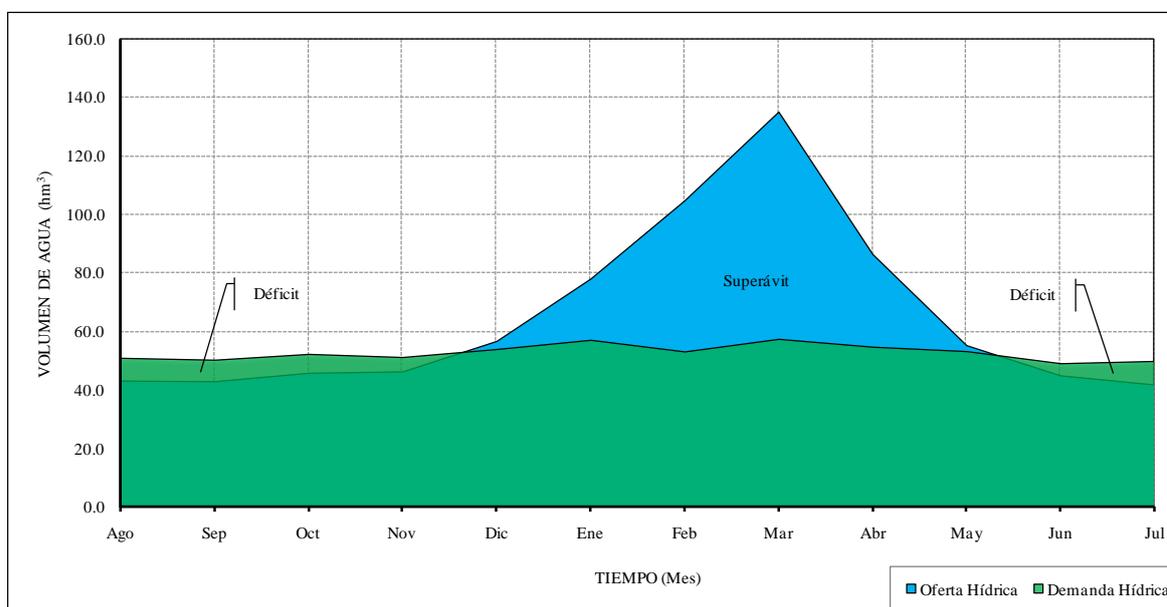
En el presente estudio, el balance hídrico se ha desarrollado con usos actuales de agua en la cuenca del río Rímac.

Una vez definido la disponibilidad hídrica y las demandas hídricas actuales, en el punto de control de la cuenca se ha realizado el balance hídrico respectivo.

Cuadro 9.1 Balance hídrico de la cuenca del río Rímac (estación Chosica)

Descripción	Volúmen de agua mensualizada en hm ³												Total	
	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul		
Oferta Hídrica	Caudal al 75% persistencia Río Rímac	28.52	30.59	33.27	34.16	45.69	68.92	96.41	124.68	76.49	44.41	31.54	27.80	642.48
	Caudal medio mensual Túnel Trasandino	14.65	12.39	12.59	12.16	11.06	9.19	8.47	10.55	10.03	10.90	13.43	14.03	139.45
	Aguas subterráneas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Total	43.18	42.98	45.85	46.32	56.76	78.10	104.87	135.23	86.52	55.31	44.97	41.84	781.92
Demanda Hídrica	Uso Agrícola	6.08	6.88	7.42	7.80	9.10	12.26	12.62	12.59	11.34	8.38	5.68	5.00	105.15
	Uso Poblacional	42.59	41.21	42.59	41.21	42.59	42.59	38.47	42.59	41.21	42.59	41.21	42.59	501.44
	Uso Minero	2.33	2.26	2.33	2.26	2.33	2.33	2.11	2.33	2.26	2.33	2.26	2.33	27.46
	Otros usos (industrial)	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.07	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.95
	Total	51.08	50.43	52.42	51.35	54.10	57.26	53.27	57.59	54.89	53.38	49.23	50.00	635.00
Demanda atendida	43.18	42.98	45.85	46.32	54.10	57.26	53.27	57.59	54.89	53.38	44.97	41.84	635.00	
	84.53%	85.22%	87.47%	90.20%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	91.35%	83.67%	100.00%	
Superávit (+)	-	-	-	-	2.66	20.84	51.60	77.64	31.63	1.93	-	-	146.92	
	-	-	-	-	4.68%	26.69%	49.20%	57.41%	36.56%	3.49%	-	-	18.79%	
Déficit (-)	-7.90	-7.45	-6.57	-5.03	-	-	-	-	-	-	-4.26	-8.16	-	
	15.47%	14.78%	12.53%	9.80%	-	-	-	-	-	-	8.65%	16.33%	-	

Figura N° 9.1 Comparación de ofertas y demandas hídricas
Cuenca del río Rímac - Estación Chosica



En los meses de junio a noviembre muestra déficit hídrico y en los meses de diciembre a mayo muestra superávit del recurso hídrico. La oferta hídrica total anual es de 781.92 hm³, demanda hídrica total anual de 635.0 hm³ y el balance hídrico anual resulta 146.92 hm³, este valor indica que hay superávit anual en la cuenca del río Rímac.

X EVENTOS HIDROLÓGICOS EXTREMOS

10.1 ANÁLISIS DE CAUDALES MÁXIMOS

En el análisis de máximas avenidas, se ha realizado el análisis de frecuencia de descargas máximas del río Rímac, y además se ha determinado las avenidas en las cuatro subcuencas que aportan en forma directa a la cuenca, en función a los registros de precipitaciones máximas en 24 horas aplicando el hidrograma unitario sintético del Servicio de Conservación de Suelos (Método SCS).

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.

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 Log Normal de 2 parámetros.

- Distribución Log Normal de 3 parámetros.
- Distribución Gumbel.
- Distribución Log Pearson 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:
- una serie cronológica de caudales máximos puede contener caudales procedentes de nieve derretida y de lluvia.
- 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.
- 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.

10.1.1 Análisis de máximas avenidas en el río Rímac

En el río Rímac se dispone de la información hidrométrica, consistente en caudales máximos diarios del periodo de 1920-2003 (84 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.

10.1.1.1 Información histórica – metodología de análisis

La información faltante en el registro de caudales máximos promedios diarios del río Rímac, se ha completado y extendido al período 1912-2009 correlacionando con los caudales medios naturalizados del río Rímac (estación Chosica), aplicando el Software Hidrológico HEC-4.

Según la información del SENAMHI, los caudales máximos del río Rímac, son caudales máximos promedios diarios, vale decir, promedio de tres o cuatro 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.

$$\text{Fórmula de Fuller: } Q_{\text{inst}} = Q_{\text{máx}} \left(1 + \frac{2.66}{A^{0.33}} \right)$$

Donde: Q_{inst} = caudal máximo instantáneo (m³/s).
 $Q_{\text{máx}}$ = caudal máximo medio diario (m³/s).
 A = área de la cuenca de interés (km²).

Reemplazando el área de la cuenca del río Rímac (2318.22 km², área a la estación hidrométrica), se obtiene un factor de 1.26 aproximadamente y por lo tanto la ecuación queda así:

$$Q_{\text{inst}} = 1.26 Q_{\text{máx}}$$

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.

La metodología que se ha empleado para el análisis de máximas avenidas son funciones de distribución de probabilidades usados en el análisis de eventos extremos, tales como la distribución Log Normal de 2 parámetros, Log Normal de 3 parámetros, Gumbel y Log Pearson Tipo III.

Cuadro N° 10.1 Caudales máximos del río Rímac

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Qmax
1912	71.26	49.91	72.66	59.65	22.15	25.83	23.13	17.54	13.71	13.36	23.87	45.12	72.66
1913	83.54	94.59	195.97	138.39	27.73	17.93	17.12	15.73	17.61	26.19	41.66	36.93	195.97
1914	46.05	70.46	87.91	86.43	26.07	13.01	12.70	11.38	12.19	14.18	19.10	44.02	87.91
1915	19.35	127.71	88.50	29.68	20.60	19.33	18.91	22.05	21.54	30.72	36.52	64.29	127.71
1916	129.27	185.69	136.28	81.06	50.93	34.71	17.94	15.99	17.63	14.97	15.77	41.04	185.69
1917	107.79	62.84	111.13	92.57	34.31	12.97	19.21	16.04	13.24	18.10	32.14	33.38	111.13
1918	152.21	128.26	143.83	66.64	36.04	21.35	28.04	16.84	17.40	15.27	17.71	70.72	152.21
1919	23.17	73.56	92.65	32.68	21.77	16.74	18.13	21.58	19.84	17.08	23.79	35.36	92.65
1920	101.29	73.35	111.21	117.64	31.43	13.00	10.82	15.43	13.07	18.24	18.24	28.70	117.64
1921	55.20	85.90	95.00	58.10	33.54	18.24	14.36	16.95	20.23	13.07	16.95	36.50	95.00
1922	32.40	63.30	99.00	61.40	45.60	11.20	11.78	10.61	13.07	16.95	20.23	62.60	99.00
1923	68.00	64.00	97.00	69.20	35.80	16.30	13.72	11.20	18.24	19.55	24.85	55.20	97.00
1924	54.50	58.80	90.50	74.00	24.85	16.95	11.20	13.72	16.30	18.90	18.90	23.87	90.50
1925	47.50	56.60	78.00	62.62	27.60	7.40	10.50	11.80	15.80	18.53	18.16	39.88	78.00
1926	59.80	115.80	187.09	90.36	35.20	17.18	11.40	12.19	14.80	14.73	19.70	50.96	187.09
1927	51.60	88.70	137.60	57.40	35.20	25.19	9.10	10.20	15.73	15.76	18.70	37.70	137.60
1928	49.70	111.22	183.49	88.70	40.30	14.00	12.10	12.10	13.19	13.10	14.70	27.50	183.49
1929	99.60	139.80	137.50	50.60	18.90	7.50	10.00	13.00	15.60	18.90	45.00	40.80	139.80
1930	81.75	55.80	320.10	98.40	67.80	35.40	12.90	14.73	11.88	15.80	20.00	18.93	320.10
1931	89.63	53.68	97.63	42.50	25.00	19.50	13.80	9.87	12.83	14.92	21.69	73.00	97.63
1932	84.75	315.00	106.50	62.50	34.00	14.52	12.27	13.45	12.67	19.20	25.69	35.40	315.00
1933	50.70	105.00	225.00	86.00	66.80	20.69	13.84	13.00	12.66	12.66	13.05	42.60	225.00
1934	83.50	160.00	200.00	71.90	41.00	25.69	18.23	12.66	12.27	15.20	14.52	13.84	200.00
1935	105.00	101.20	250.00	55.80	57.50	15.52	13.05	13.05	13.84	13.05	13.84	98.80	250.00
1936	65.50	47.40	60.50	39.60	22.19	15.20	13.05	13.05	13.05	13.05	13.05	16.23	65.50
1937	40.30	35.40	105.00	38.20	25.69	14.18	12.27	13.05	13.05	13.05	17.26	32.38	105.00
1938	96.60	175.00	130.00	65.50	35.40	15.00	13.05	13.05	13.05	13.05	13.05	20.19	175.00
1939	40.30	146.45	205.00	157.80	22.65	15.20	12.66	13.05	13.05	13.05	13.05	53.45	205.00
1940	96.60	57.50	254.50	70.80	23.11	14.18	13.05	13.05	13.05	13.05	16.23	22.27	254.50

Continuación

1941	62.50	290.10	325.00	28.62	14.18	12.27	12.27	12.27	13.05	17.23	26.48	76.30	325.00
1942	184.60	315.80	125.50	42.60	28.05	14.52	13.84	13.84	13.05	13.05	13.05	27.48	315.80
1943	58.50	261.00	138.00	203.00	26.29	13.05	12.97	13.08	13.48	16.70	25.00	44.50	261.00
1944	71.90	130.00	127.30	38.50	24.70	15.00	13.04	13.05	13.03	14.50	14.30	18.50	130.00
1945	63.50	94.50	83.60	57.50	25.00	15.50	13.08	13.00	12.05	16.00	24.50	73.40	94.50
1946	134.00	105.00	185.00	113.00	35.00	17.50	14.00	13.00	14.00	15.50	32.40	53.60	185.00
1947	64.00	78.50	130.00	43.00	31.00	17.00	12.00	13.50	13.10	22.00	15.40	33.00	130.00
1948	130.00	90.00	128.00	62.00	33.00	23.00	18.00	14.00	13.15	51.00	34.00	22.60	130.00
1949	47.00	55.50	108.00	56.50	21.00	15.00	15.50	15.50	13.50	14.50	21.00	14.00	108.00
1950	80.00	98.50	79.50	55.00	33.00	17.50	14.80	13.00	13.50	13.50	18.00	58.50	98.50
1951	71.00	195.00	316.00	108.00	24.00	20.00	15.50	13.50	14.50	22.64	45.00	70.00	316.00
1952	115.00	132.00	164.00	109.00	24.00	19.00	17.00	14.00	18.00	15.00	33.00	45.00	164.00
1953	70.00	175.00	130.00	79.00	31.00	20.00	17.00	14.50	16.50	21.00	42.00	66.00	175.00
1954	72.00	202.00	180.00	42.00	36.00	20.00	16.00	15.00	14.50	18.00	36.00	28.00	202.00
1955	115.00	164.00	320.00	59.00	24.00	20.50	18.00	14.50	14.50	16.00	13.80	21.00	320.00
1956	39.00	142.00	155.00	68.00	21.00	15.00	12.70	13.20	14.80	13.80	12.40	13.10	155.00
1957	36.50	100.00	71.00	63.00	20.00	11.50	10.50	13.10	13.40	12.60	15.10	19.00	100.00
1958	40.00	99.80	94.80	27.90	16.00	11.25	12.15	11.20	12.50	15.90	16.62	14.30	99.80
1959	15.50	175.00	135.00	106.00	31.00	14.50	13.75	13.50	13.95	21.65	19.90	36.40	175.00
1960	60.90	69.00	77.40	28.10	21.40	14.10	13.85	15.00	14.30	16.80	18.20	16.85	77.40
1961	59.50	70.50	65.40	70.40	26.60	16.40	14.25	13.75	13.80	14.05	30.30	53.90	70.50
1962	84.00	76.60	84.10	49.70	28.15	15.30	15.25	16.00	15.10	14.95	16.30	29.00	84.10
1963	69.40	74.00	92.20	52.80	25.80	17.70	15.60	15.20	15.95	17.65	32.80	63.70	92.20
1964	26.70	78.80	72.50	77.30	31.80	17.70	15.60	16.00	16.45	16.95	18.20	21.74	78.80
1965	26.06	108.10	95.70	27.00	20.80	13.30	12.70	12.50	13.35	15.50	15.20	31.80	108.10
1966	72.00	54.09	100.60	30.20	24.90	15.80	17.70	14.60	15.80	30.60	27.80	42.00	100.60
1967	44.30	91.20	100.50	43.20	26.60	20.10	21.20	19.50	22.90	32.50	24.10	33.10	100.50
1968	39.90	30.10	46.40	35.50	18.90	17.30	15.60	18.90	16.75	21.80	35.80	39.40	46.40
1969	32.20	51.00	81.40	50.20	22.60	18.10	18.10	17.60	18.10	21.20	21.20	81.40	81.40
1970	158.00	58.20	88.00	57.70	41.00	23.70	20.80	19.20	22.80	22.20	19.40	55.80	158.00
1971	71.00	101.00	139.00	53.30	24.30	25.30	22.10	21.70	21.80	21.80	17.70	54.30	139.00
1972	93.00	138.00	210.00	119.00	38.60	19.20	18.20	17.30	15.30	20.40	20.00	45.10	210.00
1973	108.00	115.00	110.00	98.20	33.70	15.60	14.30	14.30	12.20	18.30	18.00	52.60	115.00
1974	59.50	67.70	79.10	49.20	19.80	14.20	11.40	15.10	19.20	17.00	17.00	15.10	79.10
1975	32.30	63.60	144.00	55.50	38.80	27.50	24.40	24.90	23.80	25.50	26.10	33.80	144.00
1976	69.00	116.00	91.10	51.10	26.10	22.80	18.00	18.00	19.00	19.40	21.00	23.40	116.00
1977	28.70	162.00	94.00	60.00	42.60	22.20	22.80	22.80	21.60	21.00	46.20	57.40	162.00
1978	98.80	151.00	61.30	46.20	21.00	20.40	20.40	19.90	18.50	20.40	22.20	51.10	151.00
1979	28.70	140.40	144.00	61.30	20.04	20.04	17.92	19.01	20.00	20.33	19.67	20.33	144.00
1980	91.50	40.11	82.40	85.00	20.51	20.51	18.40	19.05	21.65	23.94	28.56	29.40	91.50
1981	83.00	216.00	200.00	70.48	27.32	24.44	24.00	24.00	28.50	20.40	27.40	57.00	216.00
1982	57.50	72.20	65.20	58.40	41.40	38.50	32.55	35.10	27.00	30.40	47.80	33.60	72.20
1983	48.80	46.60	72.00	108.00	31.50	21.92	33.40	27.52	27.00	30.40	47.80	33.60	108.00
1984	39.00	103.50	82.80	50.70	28.70	38.08	33.60	31.04	27.84	31.92	42.56	72.00	103.50
1985	46.70	74.00	118.00	80.00	50.20	67.12	56.89	68.97	29.19	29.00	36.63	86.59	118.00
1986	164.18	154.51	158.35	98.19	113.00	32.06	29.35	34.10	26.19	26.19	26.43	54.96	164.18
1987	81.82	133.82	168.50	78.57	41.15	24.87	23.91	23.91	31.55	34.17	29.42	34.03	168.50
1988	57.77	67.63	43.40	83.00	35.40	24.52	31.40	36.68	23.60	25.28	22.40	58.56	83.00
1989	43.43	57.12	58.14	53.91	26.41	19.36	18.52	17.70	17.70	19.36	21.43	18.11	58.14
1990	35.12	21.02	26.82	18.92	16.86	15.02	13.90	11.10	13.90	31.95	38.58	39.84	39.84
1991	31.65	32.51	66.98	40.82	33.87	21.33	18.46	15.31	18.06	21.30	24.98	20.82	66.98
1992	27.52	25.57	32.88	24.72	16.29	14.85	16.38	15.18	15.51	17.30	13.63	16.88	32.88
1993	95.46	114.49	88.56	55.40	33.45	18.62	17.43	18.71	18.20	21.38	57.99	88.12	114.49
1994	85.11	133.96	132.45	76.39	47.29	27.13	25.65	24.91	24.79	28.44	25.97	36.11	133.96
1995	40.47	33.92	60.35	41.98	23.15	23.77	20.97	23.25	22.59	23.93	26.87	37.60	60.35
1996	81.32	108.93	80.36	69.79	26.88	28.24	31.50	26.18	25.25	22.91	20.83	30.74	108.93
1997	44.55	76.35	47.69	21.55	19.44	20.54	18.92	19.56	19.60	22.40	26.80	77.37	77.37
1998	109.17	120.61	92.06	74.15	50.94	29.66	27.87	24.53	27.36	31.64	32.13	32.44	120.61
1999	49.47	125.49	107.73	74.72	46.17	25.19	26.43	25.31	29.31	29.78	32.09	50.93	125.49
2000	76.65	93.88	108.58	87.77	49.92	28.91	25.37	23.90	23.70	30.68	26.84	64.59	108.58
2001	91.08	89.14	108.65	88.84	40.20	29.45	28.55	28.11	28.21	27.91	44.11	36.70	108.65
2002	41.67	65.49	76.08	65.83	29.05	21.73	22.70	23.87	29.12	31.95	43.25	45.41	76.08
2003	75.83	82.68	128.61	77.55	41.90	30.16	29.95	31.27	52.21	63.11	58.12	79.53	128.61
2004	17.76	82.00	46.50	42.59	31.98	18.10	15.17	19.00	22.28	27.51	36.32	71.73	82.00
2005	50.52	72.57	51.40	67.28	28.40	31.51	31.00	20.75	40.77	28.40	41.76	48.43	72.57
2006	42.53	71.39	101.14	118.89	43.38	29.94	43.21	24.99	25.38	17.98	28.63	53.68	118.89
2007	63.02	82.44	79.66	121.14	42.35	35.00	28.41	36.08	34.59	35.48	39.57	33.75	121.14
2008	71.48	47.79	78.64	32.73	21.19	14.69	12.62	11.23	16.17	21.91	29.22	43.27	78.64
2009	65.75	125.52	139.17	48.55	19.11	10.70	10.47	12.11	18.08	20.09	23.34	38.93	139.17
Promedio	68.66	104.02	120.15	67.34	31.82	20.29	18.44	18.04	18.54	21.06	25.86	42.68	135.76
Nº Datos	98.00	98.00	98.00	98.00	98.00	98.00	98.00	98.00	98.00	98.00	98.00	98.00	98.00
Desv. Est.	33.54	58.21	62.47	30.38	13.43	8.11	7.72	8.03	6.81	8.02	10.64	19.61	66.90
Máxima	184.60	315.80	325.00	203.00	113.00	67.12	56.89	68.97	52.21	63.11	58.12	98.80	325.00
Mínima	15.50	21.02	26.82	18.92	14.18	7.40	9.10	9.87	11.88	12.60	12.40	13.10	32.88

Valores de color azul son datos completados y extendidos.



10.1.1.2 Análisis de frecuencia de caudales máximos

El análisis de frecuencia es una herramienta utilizada para, predecir el comportamiento futuro de los caudales en un sitio de interés, a partir de la información histórica de caudales. 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 con el factor de frecuencia la magnitud del evento para un período de retorno dado.

La información básica utilizada para el análisis probabilístico de serie de caudales máximos instantáneos del río Rímac es del periodo 1912-2009 (98 años de información).

En el presente estudio, para realizar el análisis de frecuencia de las descargas máximas instantáneas del río Rímac, 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 y 10.4, se muestran la información utilizada y los resultados del análisis de frecuencia de las descargas máximas instantáneas del río Rímac.

10.1.1.3 Caudales máximos para diferentes periodos de retorno

Según el análisis de frecuencia resulta que la serie de caudales máximos instantáneos del río Rímac se ajusta mejor a la Distribución Gumbel (método de máxima verosimilitud), por mostrar menor porcentaje de error estándar que otras distribuciones. Pero para el presente estudio se ha considerado los resultados de la distribución de probabilidad de LogNormal de 2 parámetros – método de máxima verosimilitud, por ser más conservador de la información. A continuación se muestran los caudales máximos instantáneos de diseño para diferentes períodos de retorno.

Cuadro N° 10.2 Serie anual de caudales máximos del río Rímac

No	Año	Caudales máximos diarios anuales (m ³ /s)			
		Históricos (1)	Generados (2)	Completados (3)	Instantáneos (4)
1	1912		72.66	72.66	91.55
2	1913		195.97	195.97	246.92
3	1914		87.91	87.91	110.77
4	1915		127.71	127.71	160.91
5	1916		185.69	185.69	233.97
6	1917		111.13	111.13	140.02
7	1918		152.21	152.21	191.78
8	1919		92.65	92.65	116.74
9	1920		117.64	117.64	148.23
10	1921	95.00		95.00	119.70
11	1922	99.00		99.00	124.74
12	1923	97.00		97.00	122.22
13	1924	90.50		90.50	114.03
14	1925	78.00		78.00	98.28
15	1926	187.09		187.09	235.73
16	1927	137.60		137.60	173.38
17	1928	183.49		183.49	231.20
18	1929	139.80		139.80	176.15
19	1930	320.10		320.10	403.33
20	1931	97.63		97.63	123.01
21	1932	315		315.00	396.90
22	1933	225		225.00	283.50
23	1934	200		200.00	252.00
24	1935	250		250.00	315.00
25	1936	65.50		65.50	82.53
26	1937	105.00		105.00	132.30
27	1938	175.00		175.00	220.50
28	1939	205.00		205.00	258.30
29	1940	254.50		254.50	320.67
30	1941	325.00		325.00	409.50
31	1942	315.80		315.80	397.91
32	1943	261.00		261.00	328.86
33	1944	130.00		130.00	163.80
34	1945	94.50		94.50	119.07
35	1946	185.00		185.00	233.10
36	1947	130.00		130.00	163.80
37	1948	130.00		130.00	163.80
38	1949	108.00		108.00	136.08
39	1950	98.50		98.50	124.11
40	1951	316.00		316.00	398.16
41	1952	164.00		164.00	206.64
42	1953	175.00		175.00	220.50
43	1954	202.00		202.00	254.52
44	1955	320.00		320.00	403.20
45	1956	155.00		155.00	195.30
46	1957	100.00		100.00	126.00
47	1958	99.80		99.80	125.75
48	1959	175.00		175.00	220.50
49	1960	77.40		77.40	97.52
50	1961	70.50		70.50	88.83
51	1962	84.10		84.10	105.97
52	1963	92.20		92.20	116.17
53	1964	78.80		78.80	99.29
54	1965	108.10		108.10	136.21
55	1966	100.60		100.60	126.76

Continuación

56	1967	100.50		100.50	126.63
57	1968	46.40		46.40	58.46
58	1969	81.40		81.40	102.56
59	1970	158.00		158.00	199.08
60	1971	139.00		139.00	175.14
61	1972	210.00		210.00	264.60
62	1973	115.00		115.00	144.90
63	1974	79.10		79.10	99.67
64	1975	144.00		144.00	181.44
65	1976	116.00		116.00	146.16
66	1977	162.00		162.00	204.12
67	1978	151.00		151.00	190.26
68	1979	144.00		144.00	181.44
69	1980	91.50		91.50	115.29
70	1981	216.00		216.00	272.16
71	1982	72.20		72.20	90.97
72	1983	108.00		108.00	136.08
73	1984	103.50		103.50	130.41
74	1985	118.00		118.00	148.68
75	1986	164.18		164.18	206.87
76	1987	168.50		168.50	212.31
77	1988	83.00		83.00	104.58
78	1989	58.14		58.14	73.26
79	1990	39.84		39.84	50.20
80	1991	66.98		66.98	84.39
81	1992	32.88		32.88	41.43
82	1993	114.49		114.49	144.26
83	1994	133.96		133.96	168.79
84	1995	60.35		60.35	76.04
85	1996	108.93		108.93	137.25
86	1997	77.37		77.37	97.49
87	1998	120.61		120.61	151.97
88	1999	125.49		125.49	158.12
89	2000	108.58		108.58	136.81
90	2001	108.65		108.65	136.90
91	2002	76.08		76.08	95.86
92	2003	128.61		128.61	162.05
93	2004		82.00	82.00	103.32
94	2005		72.57	72.57	91.44
95	2006		118.89	118.89	149.80
96	2007		121.14	121.14	152.64
97	2008		78.64	78.64	99.09
98	2009		139.17	139.17	175.35
Caudal máximo de la serie:		325.00	195.97	325.00	409.50

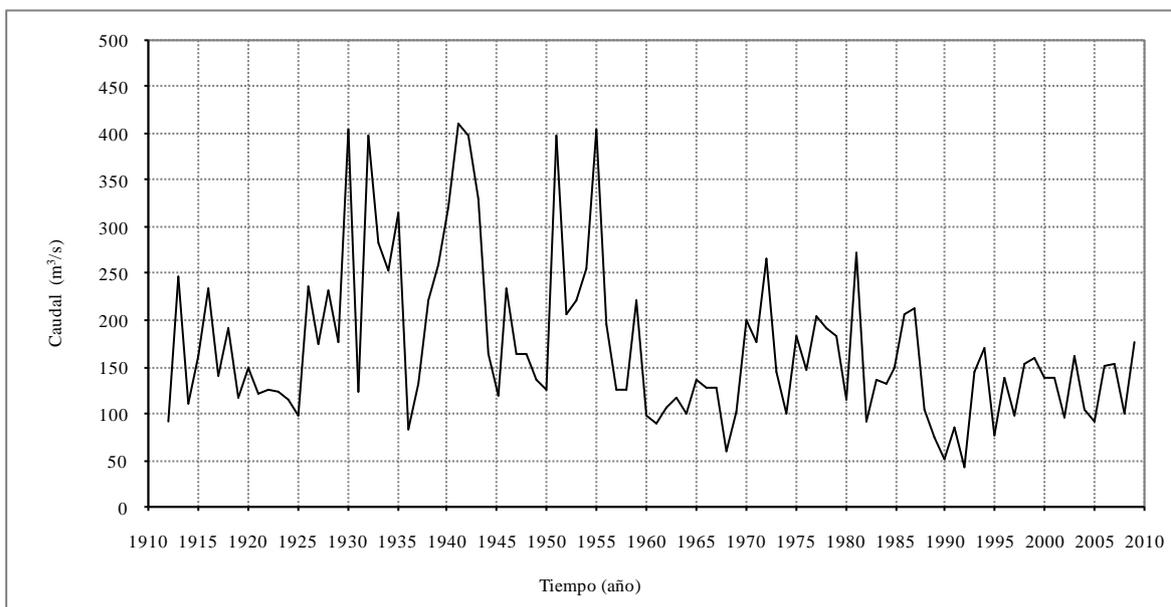
(1) Caudales máximos diarios promedios históricos.

(3) Caudales completados con la información generada.

(2) Caudales generados con Hec-4 con caudales medios del Río Rímac.

(4) Caudales máximos instantáneos (Fuller=1.26).

Figura N° 10.1 Caudales máximos instantáneos - Río Rímac - Estacion Chosica

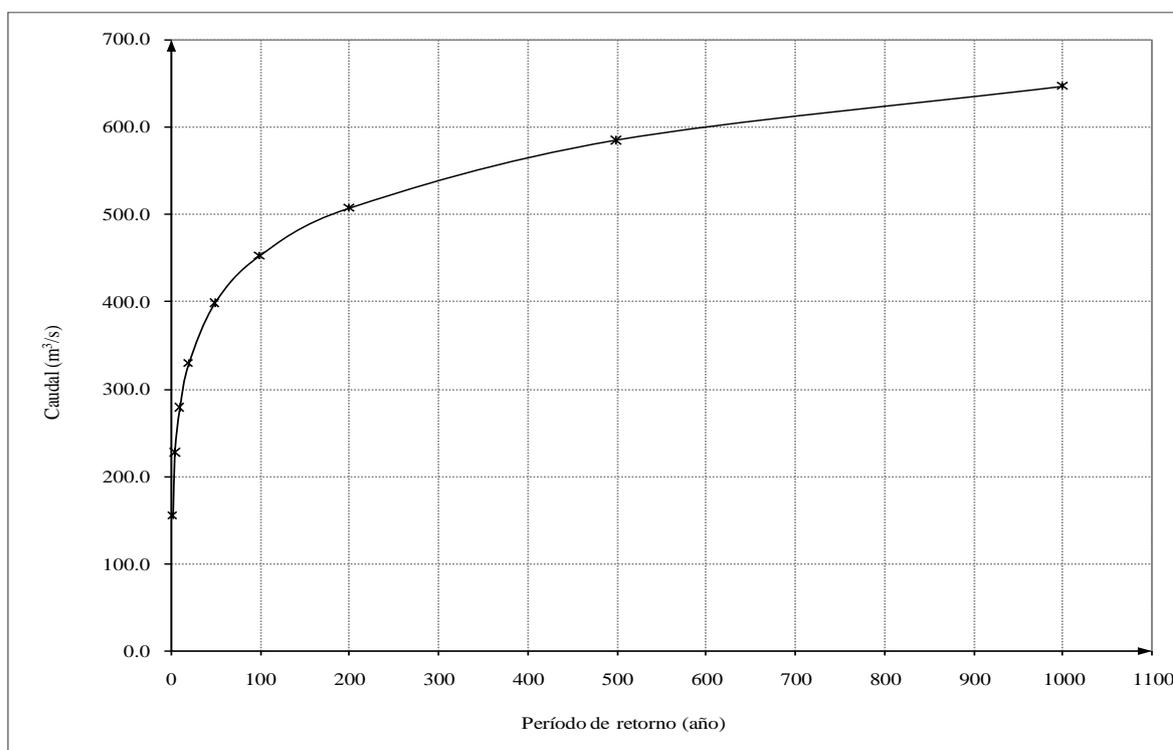


Cuadro N° 10.3 Caudales máximos instantáneos (m3/s) - Río Rímac - Estacion Chosica

TR (años)	Gumbel		LogNormal 2P		LogNormal 3P		LogPearson Tipo III			
	Caudal	% Error Estándar	Caudal	% Error Estándar	Caudal	% Error Estándar	Verosimilitud		Momentos	
							Caudal	% Error Estándar	Caudal	% Error Estándar
1.005	36.50		46.50		47.30		48.30		48.20	
1.05	69.20		71.60		71.90		72.60		72.40	
1.25	107.00		104.00		104.00		104.00		104.00	
2	156.00		154.00		153.00		153.00		153.00	
5	223.00	4.80	227.00	5.45	227.00	5.50	226.00	5.51	227.00	5.60
10	267.00	5.14	278.00	6.32	279.00	6.58	278.00	6.61	279.00	6.68
20	310.00	5.43	329.00	7.19	331.00	7.91	331.00	8.32	333.00	8.26
50	365.00	5.74	398.00	8.26	401.00	9.81	403.00	11.20	406.00	10.80
100	406.00	5.93	452.00	9.02	456.00	11.30	460.00	13.60	464.00	13.00
200	447.00	6.09	507.00	9.73	513.00	12.70	520.00	16.10	525.00	15.30
500	501.00	6.26	584.00	10.60	592.00	14.60	604.00	19.60	611.00	18.60
1000	542.00	6.37	646.00	11.30	656.00	16.00	673.00	22.50	682.00	21.10
2000	582.00	6.47	709.00	11.90	720.00	17.30	743.00	25.20	755.00	23.60
5000	636.00	6.58	793.00	12.60	808.00	19.00	838.00	28.90	853.00	27.00
10000	677.00	6.66	862.00	13.20	879.00	20.20	917.00	31.70	935.00	29.60

Cuadro N° 10.4 Caudales máximos instantáneos para diferentes períodos de retorno
Río Rímac - (Ajuste distribución Log Normal de 2 parámetros)

TR (años)	Caudales Máximos Instantáneos (m ³ /s)
2	154.0
5	227.0
10	278.0
20	329.0
50	398.0
100	452.0
200	507.0
500	584.0
1000	646.0

Figura N° 10.2 Curva de frecuencia de caudales máximos instantáneos - Río Rímac - Estacion Chosica
(Ajuste distribución LogNormal de 2 parámetros - Método de máxima verosimilitud)

10.1.2 Análisis de máximas avenidas en las subcuencas

En las subcuencas río Blanco, Alto río Rímac, Quebrada Párac y río Santa Eulalia, 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).

10.1.2.1 Método del hidrograma unitario del U.S. Soil Conservation Service

A.- Introducción

El Método SCS (Soil Conservation Service) en 1982, fue desarrollado inicialmente para estimar avenidas e hidrogramas de avenidas de cuencas pequeñas; sin embargo, desarrollos posteriores permiten aplicar a cuencas mayores, al incorporar los efectos del almacenamiento del cauce.

El Método es utilizado para la estimación de la lluvia en exceso ocasionada por una tormenta, y es la consolidación de diversos procedimientos, se aplica principalmente en los estudios de máximas avenidas en cuencas sin aforos.

En el Método SCS, se denomina COMPLEJO HIDROLOGICO SUELOVEGETACION, 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:

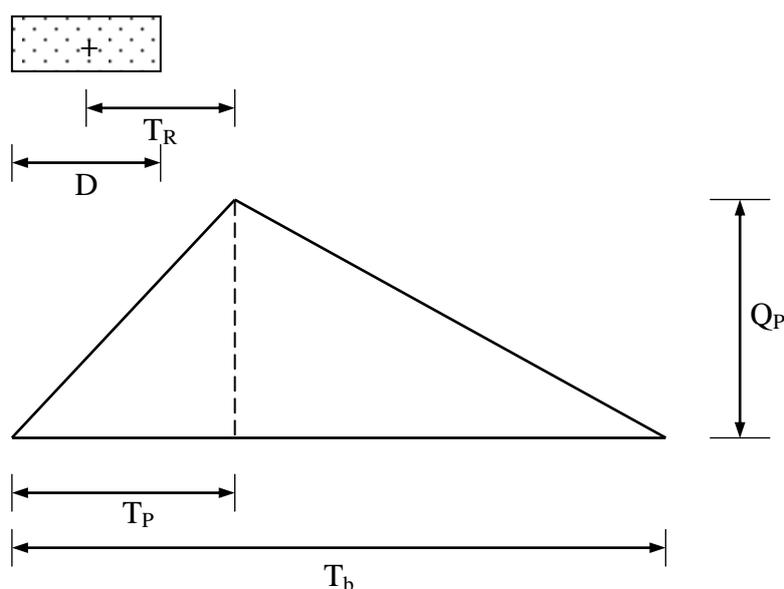


Figura N° 10.3: Hidrograma unitario triangular del Soil Conservation Service (SCS).

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:

$$D = 0.40 T_R$$

$$T_P = \frac{D}{2} + T_R = 3D$$

$$T_b = 2.67 T_P$$

$$Q_P = \frac{0.208 Pe A}{T_P}$$

$$T_R = \frac{L^{0.8} \times (S + 1)^{1.67}}{13.9 \times I^{0.5}}$$

Donde:

- A = Área de la cuenca (km²).
 L = Longitud del curso principal (km).
 I = Pendiente del curso principal (%).
 S = Máxima retención potencial (pulgadas).
 Pe = Precipitación efectiva o escorrentía directa (mm).

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

- CN = 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.

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.

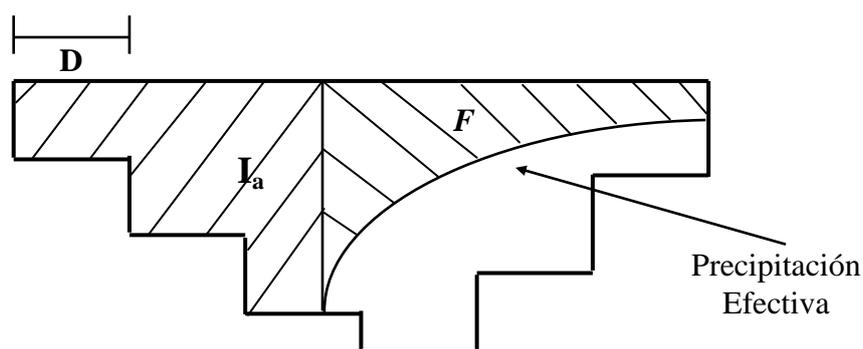


Figura N° 10.4: Variables del método SCS para abstracciones.

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:

$$Q_{pi} = \text{Caudal pico del hidrograma (m}^3\text{/s)}.$$

ΔPe_i	=	Incremento del volumen de escorrentía directa entre períodos sucesivos, como consecuencia de la precipitación efectiva (mm).
A	=	Área de la cuenca (km ²).
T_p	=	Tiempo pico del hidrograma (horas).

10.1.2.2 Determinación de máximas avenidas

Para la determinación de máximas avenidas instantáneas de diseño en las subcuencas de interés, se ha utilizado el Método del Hidrograma Unitario Sintético del U.S. Soil Conservation Service (Método 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 Río Blanco, San Jose de Parac, Chalilla, Autisha, Canchacalla, Carampoma, Casapalca, Chosica, Lachaqui, Matucana, Milloc, Mina Colqui, Pariacancha y Santa Eulalia, son las estaciones que mas influyen al área de las subcuencas. La serie anual de las precipitaciones máximas en 24 horas se muestran en el Cuadro N° 10.5.

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.

Según el análisis de frecuencia resulta que la series de precipitaciones máximas en 24 horas de las estaciones consideradas para el cálculo de caudales máximos de las subcuencas en estudio se ajustan mejor a la Distribución Gumbel, por mostrar menor porcentaje de error estándar que otras distribuciones.

El resultado de las precipitaciones máximas determinados para dieferentes períodos de retorno, se muestran en el Cuadro N° 10.6.

Cuadro N° 10.5 Serie anual de precipitaciones máximas

Año	Estación Meteorológica													
	Autisha	Canchacalla	Carampoma	Casapalca	Chalilla	Chosica (PLU)	Lachaqui	Matucana	Milloc	Mina Colqui	Pariacancha	Río Blanco	San José de Parac	Santa Eulalia
1964	18.3	30.4	25.0	22.8	34.3	10.6	41.2	22.1	31.2	16.6	30.5	26.8	30.2	5.4
1965	20.5	57.8	20.5	30.4	9.5	7.2	34.6	14.9	33.2	21.9	20.2	24.6	22.3	15.3
1966	21.1	33.4	10.6	18.4	42.0	13.8	29.7	17.1	35.8	15.3	31.7	18.9	14.6	26.0
1967	14.7	23.0	22.2	17.7	25.4	6.9	36.6	16.7	40.0	13.3	23.8	30.5	24.0	29.8
1968	15.5	20.9	15.5	17.3	42.1	3.2	17.3	15.4	31.9	13.6	20.8	21.7	10.0	3.0
1969	21.4	36.3	21.3	26.0	26.5	6.8	18.9	12.0	21.5	21.6	30.3	21.1	17.0	10.6
1970	12.5	65.2	30.2	17.6	24.1	11.9	59.5	31.7	35.5	24.9	37.1	25.2	31.3	30.8
1971	15.1	11.6	30.4	18.0	22.6	15.1	18.8	23.3	31.8	32.5	20.7	21.1	24.9	14.5
1972	15.4	65.1	27.5	26.8	39.1	9.5	40.7	18.1	58.4	13.8	22.6	29.5	28.2	20.0
1973	27.4	21.0	32.6	18.0	22.3	6.9	22.4	25.2	37.0	36.7	33.5	21.8	28.6	19.2
1974	11.2	17.4	28.2	21.7	23.3	1.6	26.2	11.9	21.3	19.8	22.0	21.4	26.7	6.0
1975	14.6	15.1	17.0	22.7	25.3	10.8	25.1	10.8	28.4	18.4	37.9	26.5	26.4	14.5
1976	20.4	51.0	24.5	23.6	37.8	11.9	28.3	15.8	79.4	14.4	17.7	18.5	20.8	30.0
1977	18.6	19.9	23.8	22.8	25.5	6.5	65.0	35.2	32.9	12.0	23.5	18.1	20.9	8.0
1978	9.3	14.1	14.8	23.1	31.3	1.6	18.9	7.8	33.9	16.0	28.0	45.0	24.1	6.8
1979	10.3	16.2	20.3	23.7	31.6	7.5	29.6	12.3	21.1	18.2	20.4	15.4	17.7	10.0
1980	16.5	15.3	20.6	21.1	11.3	8.7	27.1	8.8	24.8	17.4	32.5	19.0	22.9	10.0
1981	13.7	65.2	30.3	22.7	29.4	5.7	55.9	12.5	37.9	18.2	46.2	25.7	42.0	10.0
1982	11.2	31.4	15.5	27.9	38.6	14.0	31.7	9.5	26.2	16.4	27.2	32.7	28.5	6.3
1983	20.5	13.1	31.2	29.5	8.7	7.2	25.9	25.0	38.3	16.4	27.2	22.8	27.7	10.2
1984	14.0	51.4	20.8	31.0	22.1	5.4	36.9	21.5	59.8	18.4	19.2	21.8	29.1	10.5
1985	6.4	65.2	21.4	21.5	63.3	10.5	40.9	19.8	37.0	18.6	29.0	23.9	24.3	0.4
1986	12.8	32.0	33.3	23.0	44.7	7.3	29.9	27.2	34.6	12.8	39.5	18.9	25.0	2.0
1987	11.6	27.2	22.7	44.0	13.1	16.1	24.0	20.9	20.0	9.6	22.7	14.9	21.2	36.0
1988	9.8	11.9	31.5	27.0	28.2	2.9	29.9	12.3	32.4	13.8	28.5	21.3	22.9	9.7
1989	20.3	16.7	19.6	20.0	32.5	5.2	22.7	10.7	33.1	13.5	21.0	17.6	15.8	27.6
1990	14.7	6.5	25.6	13.0	17.7	3.2	19.2	10.6	46.2	12.3	20.9	20.1	14.6	6.5
1991	29.7	13.4	23.3	20.1	20.6	3.7	26.6	17.6	44.4	9.6	19.5	18.7	18.4	3.0
1992	6.3	8.4	19.2	14.7	13.5	2.3	20.0	30.5	30.8	7.1	26.8	10.9	12.4	0.5
1993	23.3	17.4	22.4	26.1	32.0	2.4	20.3	30.3	37.6	13.0	24.8	21.3	19.7	2.0
1994	11.2	16.4	17.9	23.2	10.5	16.0	30.9	15.5	49.2	10.2	27.7	27.0	25.4	13.5
1995	9.3	11.5	15.1	30.5	61.9	3.0	17.1	22.3	54.4	15.5	29.2	22.3	28.8	3.8
1996	18.4	18.0	17.2	21.0	15.9	5.8	17.7	13.6	23.8	15.1	17.7	18.5	17.8	4.5
1997	10.2	12.1	15.7	19.5	17.5	2.8	24.8	9.5	18.3	14.5	24.2	18.9	18.1	4.9
1998	22.2	46.7	24.1	31.0	49.9	13.2	26.8	21.9	27.5	22.8	38.0	18.5	18.8	6.0
1999	22.1	39.5	15.5	18.4	24.8	6.5	22.6	19.8	28.3	11.2	20.9	26.5	28.4	14.7
2000	9.5	24.3	15.2	14.8	16.2	6.0	19.5	14.3	31.3	17.3	25.0	24.1	28.9	6.4
2001	14.1	18.9	17.4	16.5	19.0	5.2	26.2	16.2	45.6	18.9	22.6	18.6	23.5	8.0
2002	16.4	18.1	21.2	22.8	84.4	30.7	23.3	15.7	24.7	22.7	18.4	20.0	19.9	25.9
2003	25.5	24.4	18.3	29.3	38.9	2.8	21.5	19.5	17.6	20.6	23.3	23.2	26.6	16.8
2004	14.4	32.7	14.8	17.8	15.1	1.6	21.2	18.0	21.1	16.9	16.0	17.5	18.1	2.5
2005	11.7	15.8	16.3	15.6	19.7	1.2	16.5	21.5	19.3	12.1	18.1	13.7	23.4	1.5
2006	30.8	31.4	24.1	18.8	43.1	5.6	19.4	14.3	23.2	18.4	20.6	21.2	23.6	7.8
2007	27.8	21.7	18.6	26.3	29.0	7.7	23.6	16.6	27.5	17.2	21.2	53.0	24.4	4.1
2008	16.9	44.5	17.5	18.5	42.0	4.0	25.7	16.5	19.3	32.1	18.9	24.0	23.5	5.3
2009	19.3	15.0	18.7	19.5	20.8	8.0	27.9	23.1	26.2	17.6	20.8	19.2	22.7	11.2

Cuadro N° 10.6 Precipitaciones máximas para diferentes periodos de retorno

N°	Estación	Altitud (msnm)	Período de Retorno (años)										
			5	10	20	50	100	200	500	1000	2000	5000	10000
1	Autisha	2171	21.1	24.8	28.3	33.0	36.4	39.9	44.4	47.8	51.3	55.8	59.2
2	Canchacalla	2554	37.2	45.7	53.9	64.4	72.3	80.2	90.6	98.5	106.0	117.0	125.0
3	Carampoma	3489	25.9	29.4	32.7	37.1	40.3	43.5	47.8	51.0	54.3	58.5	61.8
4	Casapalca	4214	26.6	29.9	33.0	37.1	40.2	43.3	47.3	50.4	53.4	57.5	60.5
5	Chalilla	4050	39.1	47.3	55.2	65.4	73.1	80.7	90.7	98.3	106.0	116.0	124.0
6	Chosica (PLU)	850	10.7	13.4	16.0	19.3	21.8	24.3	27.6	30.1	32.6	35.9	38.4
7	Lachaqui	3668	33.6	38.6	43.3	49.5	54.1	58.7	64.8	69.4	74.0	80.0	84.6
8	Matucana	2478	22.7	26.5	30.2	35.0	38.6	42.2	46.9	50.4	54.0	58.7	62.2
9	Milloc	4398	41.1	47.6	53.9	62.0	68.1	74.1	82.1	88.1	94.1	102.0	108.0
10	Mina Colqui	4600	21.2	24.5	27.6	31.7	34.7	37.8	41.8	44.8	47.8	51.8	54.8
11	Pariacancha	3800	29.6	33.2	36.7	41.1	44.5	47.8	52.2	55.5	58.8	63.2	66.5
12	Río Blanco	3550	27.0	30.6	34.1	38.6	41.9	45.3	49.7	53.0	56.4	60.8	64.1
13	San José de Parac	3860	28.5	32.6	36.5	41.6	45.4	49.2	54.2	58.0	61.7	66.7	70.5
14	Santa Eulalia	982	16.8	21.5	26.0	31.8	36.2	40.5	46.3	50.6	55.0	60.7	65.0

En base a la información del análisis de frecuencia de precipitaciones máximas en 24 horas de las estaciones consideradas para el estudio, 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° 10.7 Coeficientes del área de influencia de las estaciones meteorológicas - Subcuencas de la cuenca Rímac

Estación	Subcuenca			
	Río Blanco	Alto Río Rímac	Quebrada Parac	Río Santa Eulalia
Río Blanco	0.0214	0.1067	0.0060	
San Jose de Parac	0.7453		0.9820	
Chalilla			0.0120	
Autista				0.1843
Canchacalla				0.0746
Carampoma				0.2507
Casapalca	0.2333	0.8621		0.0001
Chosica				0.0079
Lachaqui				0.0011
Matucana				0.0094
Milloc		0.0312		0.2063
Mina Colqui				0.1954
Pariacancha				0.0130
Santa Eulalia				0.0574

Cuadro N° 10.8 Precipitaciones máximas en 24 horas (mm) - Subcuencas de la cuenca Rímac

Subcuenca	Período de retorno (años)					
	20	50	100	200	500	1000
Río Blanco	35.6	40.5	44.1	47.7	52.5	56.1
Alto Río Rímac	33.8	38.0	41.3	44.5	48.6	51.9
Quebrada Parac	36.7	41.9	45.7	49.6	54.6	58.5
Río Santa Eulalia	36.4	42.1	46.3	50.5	56.1	60.3

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 (obtenido de tabla).

Las CN con valores igual o mayores a 80 corresponderían en el Perú, a cuencas de las regiones de sierra y costa (Aplicaciones de ELECTROPERU).

Por las características de las subcuencas, pluviosidad, experiencias anteriores y el marco teórico, se optó para las subcuencas en estudio, por un valor de CN = 80.

C.- Avenidas e hidrogramas de diseño

Para la determinación de las avenidas de diseño se 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 Río Blanco:

-	Area de la cuenca	=	235.75 km ²
-	Longitud del cauce principal	=	32.07 km
-	Pendiente media del cauce principal	=	6.78 %
-	Curva Número (CN)	=	80.00

Subcuenca Alto Río Rímac:

-	Area de la cuenca	=	169.81 km ²
-	Longitud del cauce principal	=	13.01 km
-	Pendiente media del cauce principal	=	14.00 %
-	Curva Número (CN)	=	80.00

Subcuenca Quebrada Parac:

-	Area de la cuenca	=	130.43 km ²
-	Longitud del cauce principal	=	20.55 km
-	Pendiente media del cauce principal	=	11.51 %
-	Curva Número (CN)	=	80.00

Subcuenca Río Santa Eulalia:

- Area de la cuenca = 1077.38 km²
- Longitud del cauce principal = 62.36 km
- Pendiente media del cauce principal = 7.08 %
- Curva Número (CN) = 80.00

Con la información de precipitaciones máximas obtenidas para cada subcuenca y los parámetros geomorfológicos de la cuenca se ha calculado las máximas avenidas de diseño para diferentes períodos de retorno, aplicando el método del hidrograma unitario sintético (SCS). A continuación se muestra los resultados de cálculo de caudales máximos instantáneos para las subcuencas en estudio, para los periodos de retorno de 20, 50, 100, 200, 500 y 1000 años.

Cuadro N° 10.9 Caudales máximos instantáneos (m³/s) de las subcuencas de la cuenca Rímac

Periodo de retorno (años)	Subcuencas			
	Río Blanco	Alto Río Rímac	Quebrada Parac	Río Santa Eulalia
20	40.90	59.60	37.20	142.60
50	58.70	73.00	54.20	210.70
100	73.70	93.00	67.90	265.80
200	88.00	114.40	82.00	321.90
500	108.00	147.00	108.00	399.20
1000	124.80	171.70	124.60	457.90

Figura N° 10.5 Hidrograma Unitario Sintetico - Metodo SCS - Subcuenca Río Blanco

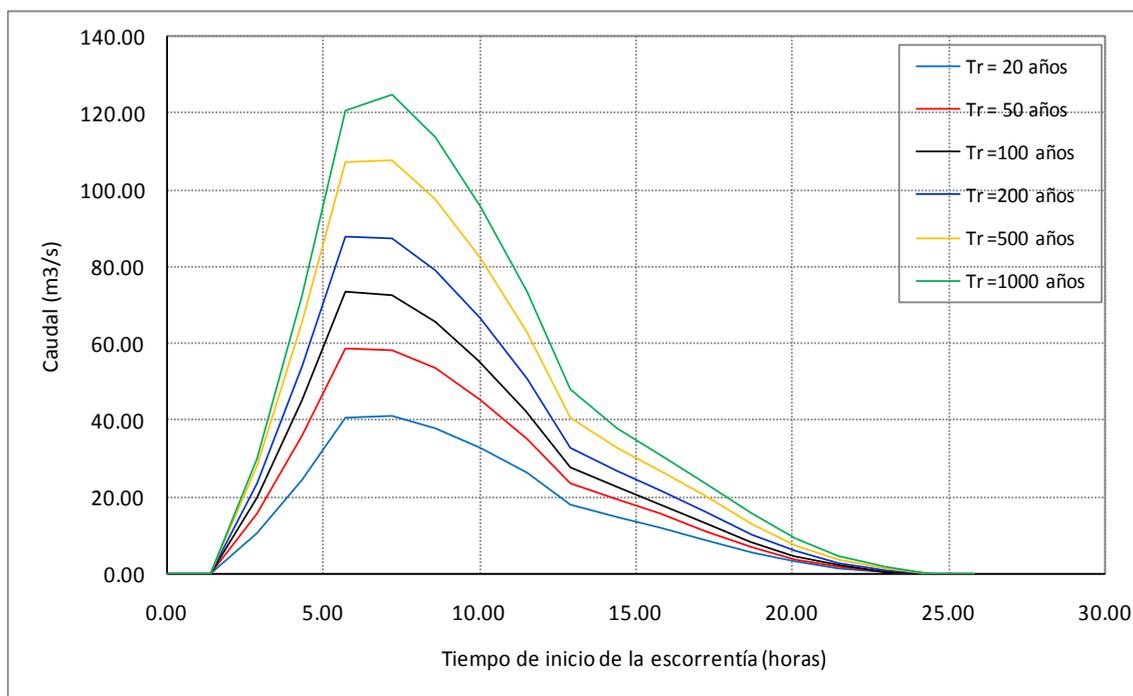


Figura N° 10.6 Hidrograma Unitario Sintetico - Metodo SCS - Subcuenca Alto Río Rímac

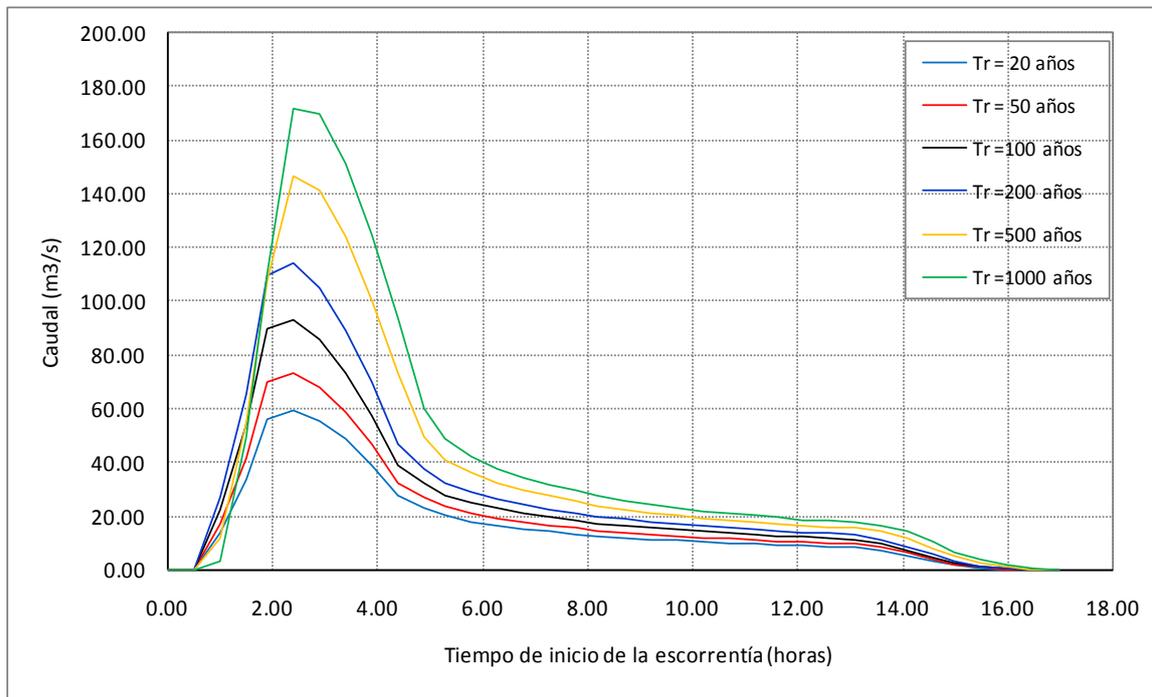


Figura N° 10.7 Hidrograma Unitario Sintetico - Metodo SCS - Subcuenca Quebrada Parac

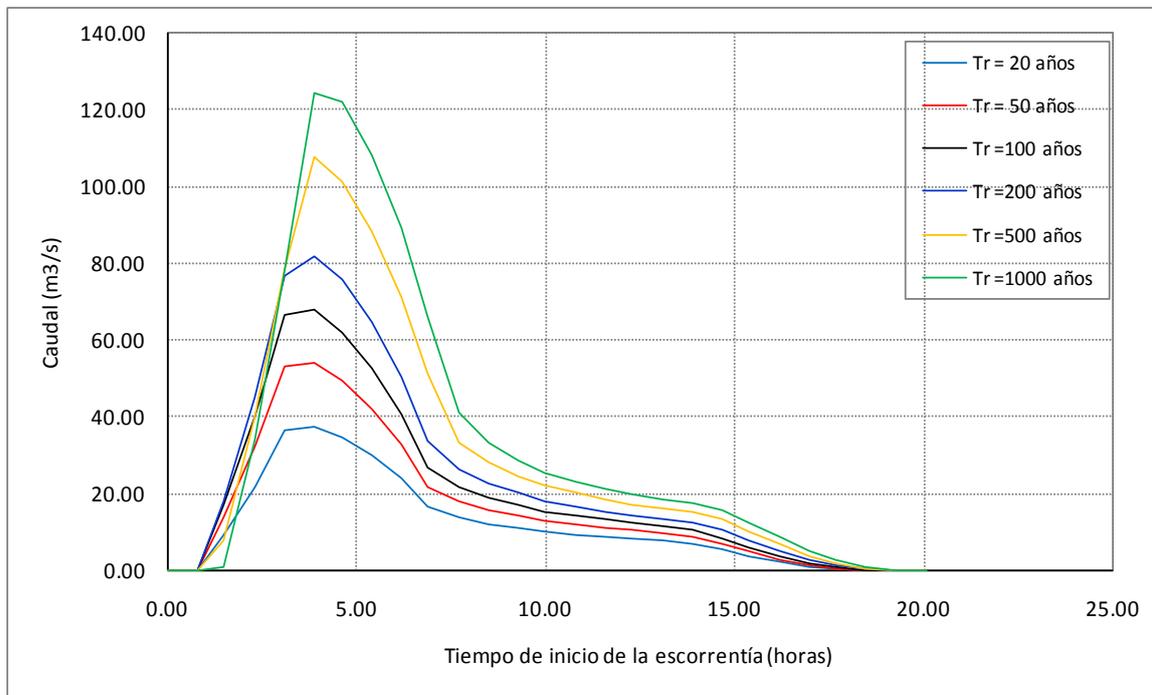
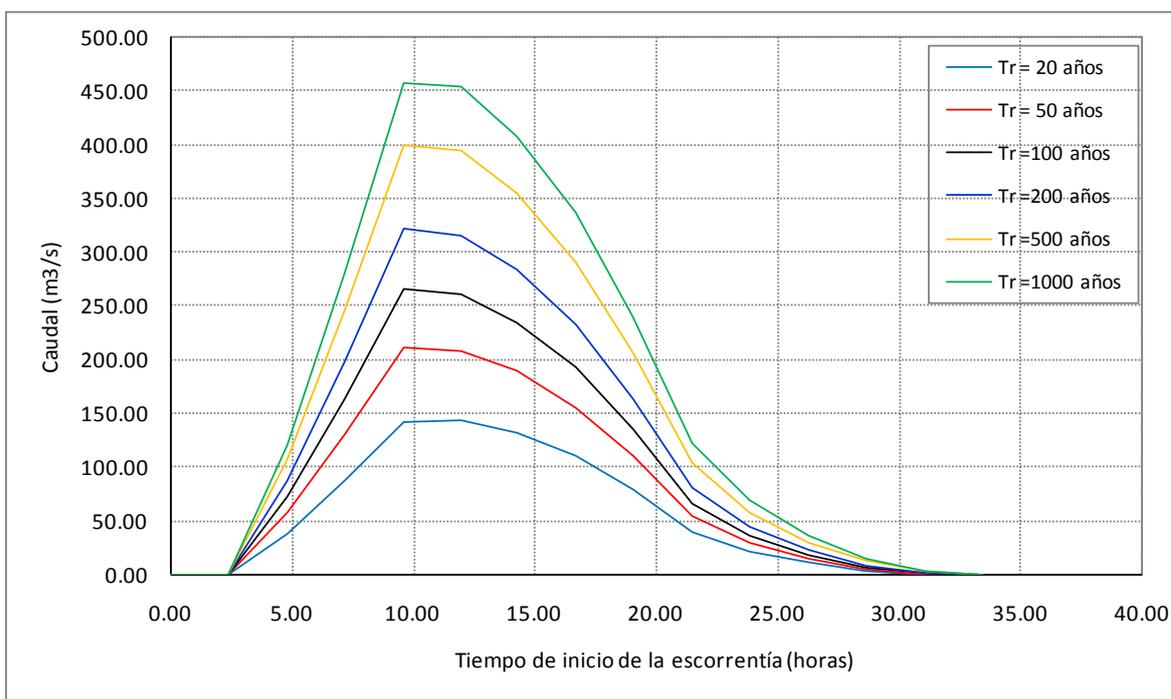


Figura N° 10.8 Hidrograma Unitario Sintetico - Metodo SCS - Subcuenca Río Santa Eulalia



10.2 ANÁLISIS DE SEQUÍAS

Generalidades

El análisis de los eventos extremos mínimos centra la atención en la independencia de los elementos de la serie. El análisis de las sequías (períodos secos), se orienta a demostrar la persistencia de los eventos hidrológicos y meteorológicos. La persistencia se refiere a la tendencia que existe que un período seco (año, día, etc.) sea seguido por otro seco y que un período húmedo ocurra después de otro húmedo, de acuerdo a un comportamiento similar al de cualquier variable aleatoria.

Sequías

En términos generales, la sequía es una “ausencia prolongada o insuficiencia acentuada de precipitación”, o bien una “insuficiencia que origina escasez de agua para alguna actividad o grupo de personas”, o también “un período de condiciones meteorológicas anormalmente secas suficientemente prolongado para que la ausencia de precipitación ocasione un serio desequilibrio hidrológico” (Heim, 2002).

Los fenómenos climatológicos extremos son condiciones de las variaciones del clima que se presentan con determinada frecuencia, limitando las posibilidades productivas, recreativas u otras actividades. De acuerdo con su intensidad y frecuencia pueden llegar, a causar pérdidas de vidas humanas y daños en la economía nacional, lo cual implica dedicar cuantiosos recursos a su recuperación.

La sequía, evento extremo dentro de la variabilidad climática es un proceso de desarrollo lento con efectos generalmente de larga duración y alto costo. El déficit de agua que

provoca, pone en serias dificultades a las regiones que afecta con consecuencias económicas, sociales y ecológicas indiscutibles, más severas en la medida en que se está menos preparado para afrontarlas.

La variabilidad de las precipitaciones muestra una alternancia de períodos que da lugar a prolongadas e intensas sequías y períodos de elevada actividad pluvial, comportamiento éste que influye sensiblemente sobre la formación de los recursos hídricos y en el manejo del agua de la cuenca.

Las sequías en el Perú

A diferencia de otros tipos de fenómenos que originan efectos violentos, las sequías son fenómenos cuyas manifestaciones son lentas y dolorosas. Las últimas investigaciones asocian la carencia de agua en algunos puntos del planeta al exceso de agua en otros.

Por ejemplo durante el Fenómeno El Niño de 1998 que significó la inundación de algunas zonas, también ocurrieron los eventos.

Sequías en Brasil que causaron incendios que arrasaron 50.000 km² de bosques. En nuestro país lo intenso de estas lluvias se relaciona también a la carencia de precipitaciones en otros puntos del territorio tal y como ocurrió en la década de los 80 cuando a la par del fenómeno El Niño en la costa norte, una fuerte sequía ocurría en la sierra sur y central con una pérdida estimada de 200 a 300 millones de dólares.

El año 2004 el período de lluvias ha sido en extremo corto y con menor intensidad de precipitaciones lo que ha originado el posible desabastecimiento del principal cultivo alimenticio del Perú: el arroz.

Informes científicos afirman que si no se administra adecuadamente el recurso agua en el Perú, las principales ciudades de la costa quedarían desabastecidas de este recurso para el año 2025.

Las sequías pueden causar grandes impactos y consecuencias sociales, económicas, y en el medio ambiente, sobre todo en regiones áridas y semiáridas como es el caso de algunas partes del Perú (Salas, 2005).

Esto requiere especial atención, por lo que resulta de mucha importancia el conocimiento de las zonas susceptibles a la ocurrencia de dichos fenómenos, así como el comportamiento de los mismos, a través de estudios sistemáticos y utilizando los métodos y técnicas más avanzados, en aras de reducir las afectaciones a cualquier sistema económico, para evitar la degradación paulatina de sus recursos naturales.

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).

10.2.1 Sequía meteorológica

10.2.1.1 Información básica – Metodología de análisis

La información empleada para el análisis de sequía en la cuenca del río Rímac, es la serie anual de la precipitación areal de la cuenca Rímac (estación Chosica) y la metodología empleada se describe a continuación en forma breve.

A.- 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 (IPE). Las condiciones

de sequía son monitorizadas constantemente usando éstos y otros índices para proveer información actual sobre regiones afectadas por la sequía.

Para el presente estudio la sequia meteorológica se evaluará con el Índice de Precipitación Estandarizada.

B.- 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.

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 1964-2009 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.

De acuerdo a su valor, el IPE puede clasificarse según los índices mostrados en la Tabla N° 10.1.

Tabla N° 10.1 Clasificación del IPE

IPE	Categorías	Frecuencia teórica de ocurrencia
-2 o menor	Extremadamente Seco (sequía extrema)	1 en 50 años
-1.50 a -1.99	Muy Seco (sequia 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	
1.00 a 1.49	Moderadamente Húmedo (exceso moderado)	1 en 10 años
1.50 a 1.99	Muy Húmedo (exceso severo)	1 en 20 años
2.00 o mayor	Extremadamente Húmedo (exceso extremo)	1 en 50 años

Ventajas y desventajas del IPE

El IPE tiene tres ventajas principales:

La primera es su simplicidad de cálculo, dado que está basado solamente en la precipitación.

La segunda es que puede ser calculado para escalas de tiempo variables, lo cual lo hace aplicable en el ámbito de la meteorología, agricultura e hidrología superficial y subterránea. Esta versatilidad temporal es particularmente útil en el análisis de la dinámica de la sequía (al igual que la de los períodos con excesos hídricos), especialmente en la determinación del comienzo y el fin de estos episodios, lo que es difícil de reconocer por medio de otros índices.

La tercera proviene de la estandarización, lo que asegura que la frecuencia de los eventos extremos en cualquier localidad y en cualquier escala de tiempo es consistente.

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.

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.

10.2.1.2 Cuantificación y descripción de las sequías críticas

Se ha realizado una caracterización meteorológica de las sequías históricas ocurridas en la cuenca del río Rímac en el período comprendido entre el año 1964 a 2009.

En el Capítulo IV del presente reporte se ha realizado el análisis de consistencia y homogeneidad de la precipitación total mensual registrada en 27 estaciones meteorológicas ubicadas en el ámbito y contorno exterior de la cuenca del río Rímac. En base a la información pluviométrica existente se ha obtenido la precipitación areal de la cuenca del río Rímac, información básica para el 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).

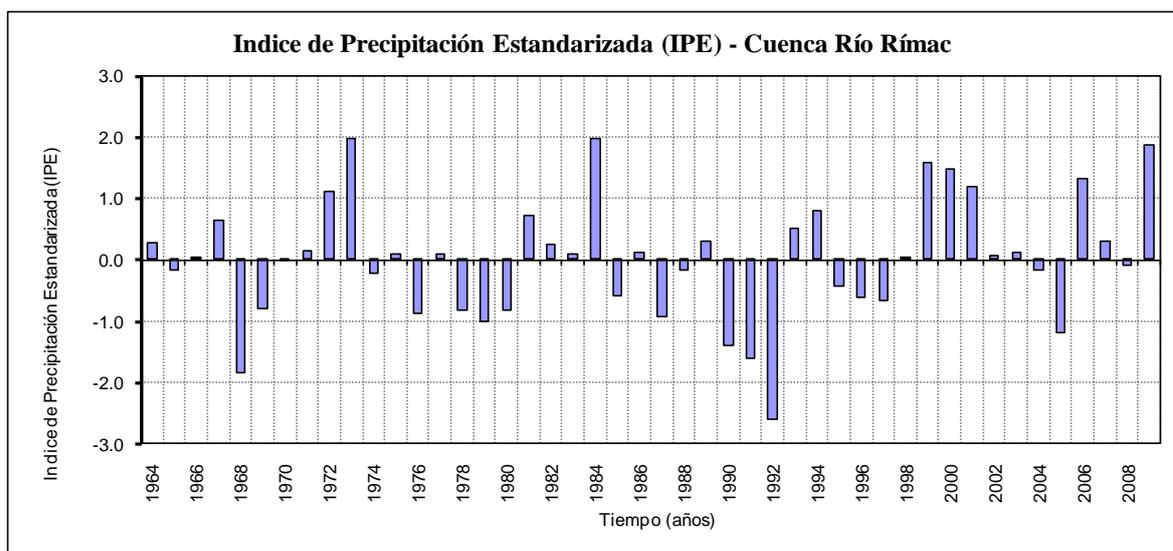
Para determinar los períodos de sequía se ha partido de los datos de precipitaciones areales anuales de la cuenca del río Rímac. Una vez calculado el IPE para cada uno de los observatorios, se ha obtenido los periodos de sequía crítica. En la Cuadro N° 10.10 se presenta los resultados IPE a nivel anual para la cuenca Rímac. En base a este cuadro de valores se ha realizado el análisis de sequía histórica en el ámbito de la cuenca Rímac. Los valores negativos del IPE, indican los años de déficit de precipitación, y estas son la materia del análisis de sequías.

Cuadro N° 10.10 Análisis de sequía meteorológica – Cuenca río Rímac
Precipitación areal anual – Período 1964-2009

Nº	AÑO	Precipitación Anual (mm)	Índice de Precipitación Estandarizada (IPE)	Clasificación del IPE
1	1964	524.9	0.27	Normal
2	1965	476.6	-0.17	Normal
3	1966	498.6	0.03	Normal
4	1967	566.1	0.64	Ligeramente húmedo
5	1968	290.8	-1.85	Muy seco
6	1969	405.9	-0.81	Ligeramente seco
7	1970	496.4	0.01	Normal
8	1971	511.5	0.15	Normal
9	1972	617.4	1.11	Moderadamente húmedo
10	1973	713.5	1.98	Muy húmedo
11	1974	471.4	-0.22	Normal
12	1975	506.4	0.10	Normal
13	1976	399.3	-0.87	Ligeramente seco
14	1977	503.7	0.08	Normal
15	1978	404.0	-0.83	Ligeramente seco
16	1979	384.7	-1.00	Moderadamente seco
17	1980	403.3	-0.83	Ligeramente seco
18	1981	573.5	0.71	Ligeramente húmedo
19	1982	522.7	0.25	Normal
20	1983	503.7	0.08	Normal
21	1984	713.3	1.97	Muy húmedo
22	1985	429.4	-0.60	Ligeramente seco
23	1986	510.3	0.13	Normal
24	1987	393.1	-0.93	Ligeramente seco
25	1988	475.7	-0.18	Normal
26	1989	530.0	0.31	Normal
27	1990	341.4	-1.39	Moderadamente seco
28	1991	316.3	-1.62	Muy seco
29	1992	208.1	-2.60	Extremadamente seco
30	1993	552.9	0.52	Ligeramente húmedo
31	1994	583.5	0.80	Muy húmedo
32	1995	448.6	-0.42	Normal
33	1996	427.5	-0.62	Ligeramente seco
34	1997	421.6	-0.67	Ligeramente seco
35	1998	499.7	0.04	Normal
36	1999	670.6	1.59	Muy húmedo
37	2000	659.7	1.49	Moderadamente húmedo
38	2001	626.8	1.19	Moderadamente húmedo
39	2002	503.1	0.07	Normal
40	2003	507.6	0.11	Normal
41	2004	476.2	-0.17	Normal
42	2005	363.5	-1.19	Moderadamente seco
43	2006	641.2	1.32	Moderadamente húmedo
44	2007	527.0	0.29	Normal
45	2008	486.1	-0.08	Normal
46	2009	701.4	1.87	Muy húmedo
PROMEDIO		495.4	0.00	
DESVEST		110.4	1.00	

Para su mejor visualización se ha representado en forma gráfica la variación anual del IPE, ver Figura N° 10.9.

Figura N° 10.9 Índice de precipitación estandarizada (IPE) – Cuenca del río Rímac



El valor del IPE más bajo (IPE = -2.60, 1992) se alcanza en la sequía 1990-1992. Otro valor muy bajo del IPE (-1.85, 1968) se registra en la sequía 1968-1969 y también otro valor significativamente bajo del IPE (-1.19, 2005) correspondiente al episodio de sequía 2004-2005.

Según el análisis de sequía de la precipitación anual de la cuenca del río Rímac, se ha encontrado 6 periodos de sequía con mayor duración e intensidad. En el periodo 1968–1969 se ha registrado 2 episodios de sequía extremadamente seco; en el periodo 1978–1980 se han registrado 3 episodios de sequía extremadamente seco; en el periodo de 1987–1988 se han registrado 2 episodios de sequía moderadamente seco; en el periodo 1990–1992 se han registrado 3 episodios de sequía extremadamente seco; en el periodo 1995–1997 se han registrado 3 episodios de sequía muy seco y en el periodo 2004–2005 se han registrado 2 episodios de sequía moderadamente seco.

A continuación se tiene el resumen de los episodios de sequía meteorológica en la cuenca del río Rímac.

Cuadro N° 10.11 Periodos de Sequía – Cuenca del río Rímac

Períodos de Sequía	N° años	$\Sigma(\text{IPE})$	Clasificación del IPE
1 Sequía de 1968 - 1969	2	-2.66	Extremadamente seco
2 Sequía de 1978 - 1980	3	-2.66	Extremadamente seco
3 Sequía de 1987 - 1988	2	-1.11	Moderadamente seco
4 Sequía de 1990 - 1992	3	-5.61	Extremadamente seco
5 Sequía de 1995 - 1997	3	-1.71	Muy seco
6 Sequía de 2004 - 2005	2	-1.36	Moderadamente seco

La intensidad de la sequía se ha estimado a través de la suma del IPE (en el Cuadro N°10.11 se aprecia los valores de sumatoria del IPE) para cada uno de los períodos.

Se observa que la sequía más intensa fue en el periodo 1990-1992 con un valor de -5.61 el cual según la clasificación IPE corresponde a un período extremadamente seco.

10.2.2 Sequía hidrológica

Análisis de períodos secos y húmedos

Se ha analizado el análisis de sequía hidrológica, utilizando la información de descargas medias anuales del río Rímac. 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 (1912-2009), tuvo 16 años secos, 63 años normales y 19 años húmedos. El año 1992 ha sido una sequía extremadamente seca, donde se ha registrado un caudal medio anual de 12.04 m³/s. Además del cuadro de análisis se puede mencionar los años secos, tal como se muestra a continuación:

Años secos: 1912, 1957, 1958, 1960, 1965, 1966, 1968, 1969, 1974, 1980, 1989, 1990, 1991, 1992, 1995 y 1997.

En el siguiente cuadro y gráfico, se muestran los periodos de años secos, normales y húmedos.

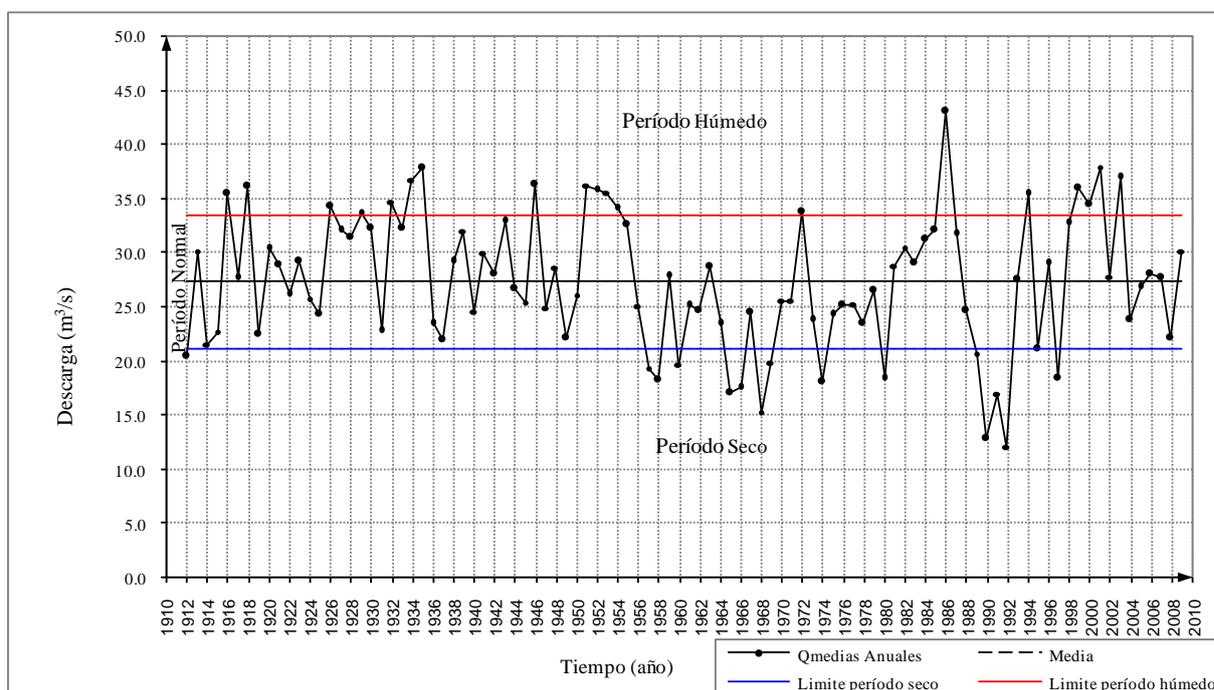
Cuadro N° 10.12 Análisis de los períodos secos y húmedos de la serie anual de las descargas medias Cuenca del río Rímac – Estación Chosica

N°	Año	Descargas medias anuales (m ³ /s)	Límite entre el período seco y normal (m ³ /s)	Límite entre el período húmedo y normal (m ³ /s)	Clasificación hidrológica del año
1	1912	20.37	21.16	33.52	Seco
2	1913	30.14	21.16	33.52	Normal
3	1914	21.52	21.16	33.52	Normal
4	1915	22.66	21.16	33.52	Normal
5	1916	35.43	21.16	33.52	Húmedo
6	1917	27.67	21.16	33.52	Normal
7	1918	36.07	21.16	33.52	Húmedo
8	1919	22.44	21.16	33.52	Normal
9	1920	30.42	21.16	33.52	Normal
10	1921	28.87	21.16	33.52	Normal
11	1922	26.17	21.16	33.52	Normal
12	1923	29.18	21.16	33.52	Normal
13	1924	25.71	21.16	33.52	Normal
14	1925	24.28	21.16	33.52	Normal
15	1926	34.22	21.16	33.52	Húmedo
16	1927	32.09	21.16	33.52	Normal
17	1928	31.34	21.16	33.52	Normal
18	1929	33.59	21.16	33.52	Húmedo
19	1930	32.23	21.16	33.52	Normal
20	1931	22.79	21.16	33.52	Normal
21	1932	34.66	21.16	33.52	Húmedo
22	1933	32.28	21.16	33.52	Normal
23	1934	36.72	21.16	33.52	Húmedo
24	1935	37.81	21.16	33.52	Húmedo
25	1936	23.46	21.16	33.52	Normal
26	1937	21.89	21.16	33.52	Normal
27	1938	29.18	21.16	33.52	Normal
28	1939	31.96	21.16	33.52	Normal

Continuación

29	1940	24.55	21.16	33.52	Normal
30	1941	29.97	21.16	33.52	Normal
31	1942	28.04	21.16	33.52	Normal
32	1943	32.85	21.16	33.52	Normal
33	1944	26.64	21.16	33.52	Normal
34	1945	25.38	21.16	33.52	Normal
35	1946	36.33	21.16	33.52	Húmedo
36	1947	24.86	21.16	33.52	Normal
37	1948	28.58	21.16	33.52	Normal
38	1949	22.11	21.16	33.52	Normal
39	1950	26.04	21.16	33.52	Normal
40	1951	36.19	21.16	33.52	Húmedo
41	1952	35.74	21.16	33.52	Húmedo
42	1953	35.54	21.16	33.52	Húmedo
43	1954	34.09	21.16	33.52	Húmedo
44	1955	32.53	21.16	33.52	Normal
45	1956	25.05	21.16	33.52	Normal
46	1957	19.31	21.16	33.52	Seco
47	1958	18.23	21.16	33.52	Seco
48	1959	27.82	21.16	33.52	Normal
49	1960	19.65	21.16	33.52	Seco
50	1961	25.08	21.16	33.52	Normal
51	1962	24.60	21.16	33.52	Normal
52	1963	28.63	21.16	33.52	Normal
53	1964	23.45	21.16	33.52	Normal
54	1965	17.06	21.16	33.52	Seco
55	1966	17.55	21.16	33.52	Seco
56	1967	24.43	21.16	33.52	Normal
57	1968	15.26	21.16	33.52	Seco
58	1969	19.83	21.16	33.52	Seco
59	1970	25.55	21.16	33.52	Normal
60	1971	25.54	21.16	33.52	Normal
61	1972	33.79	21.16	33.52	Húmedo
62	1973	23.75	21.16	33.52	Normal
63	1974	18.02	21.16	33.52	Seco
64	1975	24.25	21.16	33.52	Normal
65	1976	25.18	21.16	33.52	Normal
66	1977	25.24	21.16	33.52	Normal
67	1978	23.48	21.16	33.52	Normal
68	1979	26.51	21.16	33.52	Normal
69	1980	18.43	21.16	33.52	Seco
70	1981	28.78	21.16	33.52	Normal
71	1982	30.44	21.16	33.52	Normal
72	1983	29.04	21.16	33.52	Normal
73	1984	31.16	21.16	33.52	Normal
74	1985	32.05	21.16	33.52	Normal
75	1986	43.05	21.16	33.52	Húmedo
76	1987	31.69	21.16	33.52	Normal
77	1988	24.60	21.16	33.52	Normal
78	1989	20.68	21.16	33.52	Seco
79	1990	12.76	21.16	33.52	Seco
80	1991	16.95	21.16	33.52	Seco
81	1992	12.04	21.16	33.52	Seco
82	1993	27.53	21.16	33.52	Normal
83	1994	35.42	21.16	33.52	Húmedo
84	1995	21.11	21.16	33.52	Seco
85	1996	29.05	21.16	33.52	Normal
86	1997	18.43	21.16	33.52	Seco
87	1998	32.75	21.16	33.52	Normal
88	1999	35.94	21.16	33.52	Húmedo
89	2000	34.45	21.16	33.52	Húmedo
90	2001	37.91	21.16	33.52	Húmedo
91	2002	27.76	21.16	33.52	Normal
92	2003	36.94	21.16	33.52	Húmedo
93	2004	23.77	21.16	33.52	Normal
94	2005	26.79	21.16	33.52	Normal
95	2006	27.98	21.16	33.52	Normal
96	2007	27.65	21.16	33.52	Normal
97	2008	22.12	21.16	33.52	Normal
98	2009	30.13	21.16	33.52	Normal
Promedio		27.34			
Desvest		6.18			

Figura N° 10.10 Período de los años secos y húmedos de la serie anual de las descargas medias
Cuenca del río Rímac – Estación Chosica



Análisis de sequía hidrológica

Para el análisis de sequía hidrológica, se ha utilizado la información de caudales medios anuales y se ha empleado el método de RUN para caracterizar la sequía crítica de la serie analizada.

Un **RUN** es definido como una sucesión de eventos similares precedidos y sucedidos por eventos diferentes, con el número de elementos en un run referido en toda su longitud.

Los parámetros principales que define la sequía, son la siguiente:

a. Duración de la Sequía.

Llamado también longitud del run negativo es definido como el número de intervalos de tiempo consecutivos (tiempo total), durante el cual Z_t es negativo.

b. Magnitud de la Sequía.

Llamado también suma del run negativo, es la suma de déficits individuales para una duración ininterrumpida de sequía dada. Saldarriaga (1970) y Millán (1972).

c. Intensidad de la Sequía.

Severidad de la sequía, es la razón de la magnitud entre la duración respectiva:

$$I = \frac{M}{D}$$

Siendo:

D	=	Duración
M	=	Magnitud
I	=	Intensidad

Cuantificación de las sequías

Para la cuantificación de las sequías es necesaria una evaluación numérica de las variables de definición de sequías y sus correspondientes características estadísticas. Las variables más importantes para la planificación y operación de sistemas de recursos de agua son la iniciación de la sequía de una duración dada, el déficit total de una duración dada, la magnitud más severa y similares. Salas (1978).

Sequía crítica

Es definido como el periodo para el cual el abastecimiento histórico es el más crítico con respecto a la demanda requerida de un sistema de agua, Salas (1978).

El problema básico en diseño y operación, usando la sequía crítica histórica es que, no se conoce su probabilidad de ocurrencia, lo que significa que una sequía crítica para un abastecimiento de un record histórico de una longitud dada, puede ser mayor ó menor que la sequía crítica durante el siguiente periodo de la misma longitud.

Las características de las sequías para análisis posteriores se van a referir a la sequía crítica, vale decir, duración, magnitud e intensidad críticas.

Ecuación para estandarización de caudales

La metodología descrita ha sido utilizada en varias cuencas del Perú, cuyo procedimiento de cálculo en forma resumida es:

$$Z_t = \frac{X_t - \bar{X}}{S}$$

Donde:

X_t	:	La serie hidrológica anual.
\bar{X}	:	El promedio de la serie anual.
S	:	La desviación estándar anual.
Z_t	:	La serie estandarizada.

Los datos de Z_t se plotea en el eje de las ordenadas versus el tiempo en el eje de las abscisas, lo cual permite calcular la duración y magnitud de la sequía histórica.

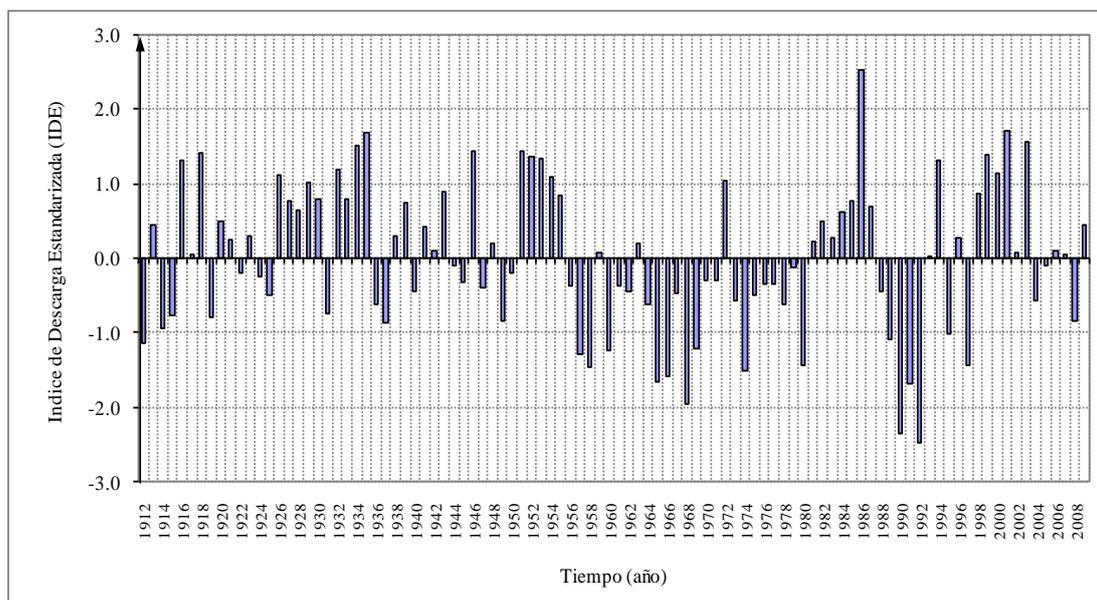
Cuadro N° 10.13 Análisis de sequía hidrológica (descargas medias anuales)
Cuenca del río Rímac – Estación Chosica

N°	Año	Descarga media anual (m ³ /s)	RUN
1	1912	20.37	-1.13
2	1913	30.14	0.45
3	1914	21.52	-0.94
4	1915	22.66	-0.76
5	1916	35.43	1.31
6	1917	27.67	0.05
7	1918	36.07	1.41
8	1919	22.44	-0.79
9	1920	30.42	0.50
10	1921	28.87	0.25
11	1922	26.17	-0.19
12	1923	29.18	0.30
13	1924	25.71	-0.26
14	1925	24.28	-0.50
15	1926	34.22	1.11
16	1927	32.09	0.77
17	1928	31.34	0.65
18	1929	33.59	1.01
19	1930	32.23	0.79
20	1931	22.79	-0.74
21	1932	34.66	1.18
22	1933	32.28	0.80
23	1934	36.72	1.52
24	1935	37.81	1.69
25	1936	23.46	-0.63
26	1937	21.89	-0.88
27	1938	29.18	0.30
28	1939	31.96	0.75
29	1940	24.55	-0.45
30	1941	29.97	0.43
31	1942	28.04	0.11
32	1943	32.85	0.89
33	1944	26.64	-0.11
34	1945	25.38	-0.32
35	1946	36.33	1.45
36	1947	24.86	-0.40
37	1948	28.58	0.20
38	1949	22.11	-0.85
39	1950	26.04	-0.21
40	1951	36.19	1.43
41	1952	35.74	1.36
42	1953	35.54	1.33
43	1954	34.09	1.09
44	1955	32.53	0.84
45	1956	25.05	-0.37
46	1957	19.31	-1.30

Continuación

47	1958	18.23	-1.47
48	1959	27.82	0.08
49	1960	19.65	-1.24
50	1961	25.08	-0.37
51	1962	24.60	-0.44
52	1963	28.63	0.21
53	1964	23.45	-0.63
54	1965	17.06	-1.66
55	1966	17.55	-1.58
56	1967	24.43	-0.47
57	1968	15.26	-1.95
58	1969	19.83	-1.22
59	1970	25.55	-0.29
60	1971	25.54	-0.29
61	1972	33.79	1.04
62	1973	23.75	-0.58
63	1974	18.02	-1.51
64	1975	24.25	-0.50
65	1976	25.18	-0.35
66	1977	25.24	-0.34
67	1978	23.48	-0.62
68	1979	26.51	-0.13
69	1980	18.43	-1.44
70	1981	28.78	0.23
71	1982	30.44	0.50
72	1983	29.04	0.28
73	1984	31.16	0.62
74	1985	32.05	0.76
75	1986	43.05	2.54
76	1987	31.69	0.70
77	1988	24.60	-0.44
78	1989	20.68	-1.08
79	1990	12.76	-2.36
80	1991	16.95	-1.68
81	1992	12.04	-2.48
82	1993	27.53	0.03
83	1994	35.42	1.31
84	1995	21.11	-1.01
85	1996	29.05	0.28
86	1997	18.43	-1.44
87	1998	32.75	0.88
88	1999	35.94	1.39
89	2000	34.45	1.15
90	2001	37.91	1.71
91	2002	27.76	0.07
92	2003	36.94	1.55
93	2004	23.77	-0.58
94	2005	26.79	-0.09
95	2006	27.98	0.10
96	2007	27.65	0.05
97	2008	22.12	-0.84
98	2009	30.13	0.45
Promedio		27.34	0.00
Desvest		6.18	1.00

Figura N° 10.11 Descarga estandarizada Método de RUN - Cuenca del río Rímac



A partir del Cuadro N° 10.13 y la Figura N° 10.11 se obtiene el resumen de períodos de sequía caracterizados por RUN negativos. Donde se obtiene la duración y magnitud de sequía y con ésta información se ha calculado la intensidad de sequía aplicando la fórmula correspondiente anteriormente descrita.

Cuadro N° 10.14 Resumen de periodo de sequías – Método RUN – Cuenca Rímac

Períodos de sequía		Duración de la sequía (años)	Magnitud de la sequía (M)	Intensidad de sequía (I)
1	Sequía de 1914 - 1915	2	-1.70	-0.85
2	Sequía de 1924 - 1925	2	-0.76	-0.38
3	Sequía de 1936 - 1937	2	-1.51	-0.76
4	Sequía de 1944 - 1945	2	-0.43	-0.22
5	Sequía de 1949 - 1950	2	-1.06	-0.53
6	Sequía de 1956 - 1958	3	-3.14	-1.05
7	Sequía de 1960 - 1962	3	-2.05	-0.68
8	Sequía de 1964 - 1971	8	-8.09	-1.01
9	Sequía de 1973 - 1980	8	-5.47	-0.68
10	Sequía de 1988 - 1992	5	-8.04	-1.61
11	Sequía de 2004 - 2005	2	-0.67	-0.34

Según el Cuadro N° 10.14, se obtiene la sequía crítica que es el período 1988-1992 con una intensidad de -1.61 cuya duración es de 5 años, el siguiente período 1956-1958 con la intensidad de -1.05 de 3 años de duración y la otra es el período 1964-1971 con una intensidad de -1.01 de duración de 8 años.

XI PROPUESTA DE ESTACIONES HIDROMÉTRICAS EN LA CUENCA

11.1 GENERALIDADES

Las estaciones hidrométricas, en su mayor parte son operadas por SENAMHI, y otras por EDEGEL, en el caso de la información del Río Rímac de la Estación Chosica ubicada aguas abajo de las descargas de la CCHH de Moyopampa, registra las descargas de toda la cuenca, incluyendo los aportes provenientes del túnel Trasandino (Marcapomacocha), cuya operación se inició el año 1965.

La propuesta de estaciones hidrométricas en la cuenca tiene como objetivo proveer de una fuente de información rápida y confiable para los diversos usos que se la requiera y lograr una administración eficiente de los registros de aforo.

Las Estaciones que controla EDEGEL, por la propia operación de las centrales es mucho más exigente con las calibraciones correspondientes.

Para la implementación de Nuevas estaciones hidrométricas hay que tener en cuenta la Organización Meteorológica Mundial que en su guía de “prácticas hidrológicas” recomienda para la selección del sitio lo siguiente:

- El curso general del río debe ser recto unos 100m aguas arriba y aguas debajo de la estación de aforo.
- La corriente total debe estar confinada en un solo cauce para todos los niveles y no pueden existir corrientes subterráneas.
- El lecho del río no debe estar sujeto a socavaciones ni a rellenos y debe estar libre de plantas acuáticas.
- Las orillas deben ser permanentes, lo suficientemente altas para contener las crecidas y deben estar libres de arbustos.
- Deben haber controles naturales inalterables: afloramientos de roca en el fondo o un cañón estable durante el estiaje, y un cauce encajonado para las crecientes, caídas o cascadas, insubmersibles en todos los niveles de manera de tener una relación estable entre el nivel y el caudal. Si no hay condiciones naturales satisfactorias para un control de aguas bajas, se debe prever la instalación de un control artificial.
- Se debe disponer de un sitio conveniente para alojar el limnógrafo, inmediatamente aguas arriba del control, y protegerlo contra posibles daños por los escombros llevados por las aguas durante las crecidas del río. El limnógrafo debe estar por encima de toda crecida probable que pueda ocurrir durante el periodo de vida de la estación.
- El sitio de aforo debe estar lo suficientemente aguas de la confluencia con otro río o de los efectos de la marea, para evitar toda influencia variable que puedan ejercer sobre el nivel en el sitio de la estación.
- Se debe disponer de una longitud de tramo suficiente para medir el caudal a todos los niveles dentro de una razonable disponibilidad de la estación de aforo. No es necesario que las mediciones para aguas altas y bajas se efectúen en la misma sección transversal del río.

- El sitio debe ser fácilmente accesible para facilitar la instalación y el funcionamiento de la estación de aforo.

Sin embargo estas recomendaciones no siempre se pueden cumplir por lo que se debe buscar un sitio con las mejores condiciones posibles.

11.2 PROPUESTA DE UBICACIÓN DE LA RED DE ESTACIONES HIDROMÉTRICAS

La evaluación de posibles estaciones de aforo proyectadas, se realizó sobre la base de lograr en puntos de control hidrométrico ya existentes, el mejoramiento de las mismas; así como también en las acciones de control de la calidad del agua, la posibilidad de ubicar los controles correspondientes.

Las secciones de control de calidad de agua, de SEDAPAL que fueron analizadas, son las siguientes:

- Río San Mateo, en el portal de salida del Túnel Gratón (ref. km. 97).
- Río San Mateo Bocatoma Tamboraque.
- Río San Mateo, Matucana (ref. km 66).
- Río San Mateo, puente Ricardo Palma.
- Río Santa Eulalia, Puente Santa Eulalia.
- Río Rímac, Puente Los Ángeles.

Las secciones de control hidrométrico proyectadas, coincidentes en las secciones en las cuales existe control para calidad del agua, son:

- Puente Ricardo Palma.
- Puente Santa Eulalia.

Las secciones de control serán estaciones limnimétricas, para lo cual se precisa afianzar la sección de control, mediante la limpieza de cauce y la protección de los taludes actualmente desprotegidos.

La Estación Limnigráfica Chosica, actualmente en operación es controlada por SENAMHI y se proyecta el mejoramiento de la misma con la limpieza del cauce.

Actualmente se viene ejecutando un Convenio entre la Autoridad Nacional del Agua – ANA y el SENAMHI para el mejoramiento de la Estación Hidrométrica Chosica, en el Cuadro N° 11.1 se muestra el presupuesto correspondiente.

Cuadro N° 11.1 Presupuesto de mejoramiento de la estación hidrométrica Chosica – Río Rímac

Descripción	Unidad	Cantidad	P.U.	Costo
Equipos				
*Colocar reglas a limnómetro de 1m cada uno por 02 columnas	Und	2	260	520
*Estacion limnográfica digital	Und	1	16,500	16,500.00
Estructuras				
*Cambiar Poza limnográfica 2ml de cilindro de 1ml.	Glb.	1	16,162.50	16,162.50
Mitigación ambiental				
*Mitigación Ambiental	Glb.	1		1,500.00
Total costo directo				34,682.50

Fuente: Dirección Planeamiento y Conservación de Recursos Hídricos - ANA.

Se ha evaluado también la estación Limnográfica San Mateo, actualmente operada por SENAMHI, la misma que debe ser mejorada en cuanto a su equipamiento y debe mejorarse la operación con los aforos correspondientes.

ESTACIONES PROYECTADAS:

- Estación Ricardo Palma, la que corresponderá a una Estación Limnimétrica, para la cual será necesario instalar una mira limnimétrica, previéndose trabajos de limpieza en cauce y protección de riberas.
- Estación Santa Eulalia, la que corresponderá a una Estación Limnimétrica, previéndose igualmente trabajos de limpieza en cauce y protección de riberas.
- Estación Chosica, se viene ejecutando en convenio entre la ANA y SENAMHI.

XII CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

12.1 CONCLUSIONES

- La sistematización de la información cartográfica de la cuenca Rímac, se ha procesado en el Sistema de Información Geográfica (SIG), y se ha generado los mapas de ubicación geográfica, hidrográfica, política, mapas temáticos de la geomorfología, ecología, geología, ecología y suelos.
- En las características geomorfológicas, se ha determinado los parámetros de forma, relieve y red hidrográfica de la cuenca. El área de la cuenca Rímac es de 3503.95 km².
- En el análisis climatológico de la cuenca Rímac, se ha evaluado la precipitación, temperatura (media, máxima y mínima), humedad relativa, evaporación, horas de sol, velocidad del viento y la evapotranspiración potencial. La cuenca del río Rímac corresponde a la región de humedad de húmedo – sub-húmedo – árido y a la región de temperatura mesotérmico.
- En la evaluación del comportamiento pluviométrico de la cuenca Rímac, se ha analizado la consistencia y completación de la información de precipitaciones mensuales de las 27 estaciones meteorológicas ubicadas en el ámbito de la cuenca Rímac, asimismo se ha determinado las precipitaciones areales para las subcuencas de interés del período de 1964-2009.
- En la evaluación del comportamiento hidrológico de la cuenca del río Rímac, se ha desarrollado la naturalización y el análisis de consistencia de las descargas medias mensuales del río Rímac – estación Chosica. Con las descargas naturalizadas del período 1912-2009, se ha desarrollado el análisis de frecuencia al 75% de persistencia de la cuenca de estudio.
- En la cuenca del río Rímac, en la estación Chosica se cuenta con la información histórica de las descargas medias mensuales del período de 1912-2009, información bastante considerable. La modelación hidrológica se ha realizado para la generación de las descargas medias en las subcuencas de interés, para ello se ha aplicado el Método de Transferencia Hidrológica, utilizando la información de las descargas medias de la estación Chosica y las precipitaciones areales correspondientes a cada subcuenca de interés.
- La disponibilidad hídrica total anual de la cuenca del río Rímac es de 781.92 hm³, donde el volumen de 642.48 hm³ corresponde al 75% de persistencia de la estación Chosica y el 139.45 hm³ corresponde al caudal promedio del Túnel Trasandino. La fuente hídrica corresponde a aguas superficiales de la cuenca.
- La demanda hídrica total actual en la cuenca Rímac es de 635.0 hm³/año, distribuidas en uso agrícola de 105.15 hm³, uso poblacional 501.44 hm³, uso minero 27.46 hm³ y uso industrial 0.95 hm³. El uso poblacional es de mayor significancia en la cuenca de estudio.
- El balance hídrico se ha desarrollado a nivel de la cuenca Rímac, con el propósito de conocer el déficit y exceso del recurso hídrico existente en la cuenca, teniendo como punto de referencia o de control la estación Chosica. Según el resultado del balance, la cuenca Rímac presenta déficit hídrico en los meses de junio a noviembre y el superávit en los meses de diciembre a mayo, de la comparación entre la oferta y la demanda hídrica resulta un exceso anual de 146.92 hm³/año.

- En el análisis de los eventos hidrológicos extremos, se ha evaluado las máximas avenidas y sequías, cuyos resultados obtenidos son los caudales máximos instantáneos para diferentes períodos de retorno para las subcuencas de interés y la sequía meteorológica e hidrológica a nivel de la cuenca Rímac.
- En la cuenca del río Rímac, se ha ubicado tres estaciones para la instalación y mejoramiento con equipos hidrológicos modernos, las estaciones son Ricardo Palma y Chosica en el río Rímac, y la estación Santa Eulalia en el río del mismo nombre.

12.2 RECOMENDACIONES

- Se debe instalar una estación meteorológica en la zona media alta de la subcuenca del río Blanco; asimismo las estaciones hidrométricas propuestas debe instalarse y mejorarse, para que la información registrada sea consistente, confiable y de calidad, para desarrollar los estudios hidrológicos.
- Las entidades públicas y privadas involucradas en el manejo del recurso hídrico de la cuenca del río Rímac, deben unificar la información hidrometeorológica existente, para evitar las variaciones que cada entidad maneja su información correspondiente.
- La Administración Local de Agua Chillón-Rímac-Lurín, debe actualizar el Plan de Cultivo y Riego, a nivel de la cuenca del río Rímac, para que permita obtener la información consistente en áreas reales de riego, la cédula de cultivo, coeficientes de cultivo, época de siembra y cosecha, números de usuarios, derechos de uso de agua, entre otros.
- Mejorar la infraestructura de riego existente en el valle del río Rímac, con el fin de mejorar la eficiencia de riego.
- Que SEDAPAL emprenda los estudios de ingeniería que tengan como objetivo controlar la calidad de los efluentes que se vierten al río Rímac entre Ricardo Palma y la Atarjea.

XIII BIBLIOGRAFÍA

- Aliaga A., Segundo Vito “Tratamiento de datos hidrometeorológicos”, Lima-Perú, 1983.
- Autoridad Nacional del Agua (ANA), Inventario de Fuentes de Aguas Superficial en la Cuenca del Río Rímac, Marzo 2009.
- Actualización de Estudios de Fuentes de Agua para Lima. Bancos de datos meteorológicos, Oficina de Ingeniería y Servicios Técnicos S.A., 1985, preparado por encargo de SEDAPAL.
- CESEL S. A. Ingenieros Consultores 1999 “Conducción Fuera del Cauce del Río Rímac entre Moyopampa y la Atarjea, Estudio Definitivo e Ingeniería de Detalle Volumen 3: informe de Investigaciones Básicas Tomo I Climatología e Hidrología.
- Consorcio EWI – ATA, junio 1,997 Estudio de Factibilidad: “Optimización de la Cuenca del Río Rímac, entre Moyopampa y La Atarjea y el Impacto Ambiental de su Desarrollo”, Tomo VIII, Estudios e Investigaciones Básicas Volumen 8.1 Hidrológico.
- Control de Torrentes en la Cuenca Hidrográfica del río Rímac. Dirección de Suelos y Manejo de Cuencas, Ministerio de Agricultura, 1982.
- Derivación de Aguas de la Cuenca Alta del río Mantaro a Lima, Estudio de Factibilidad, Informe Final, Vol. 2 Apéndice A-C, Vine & Partners, Agosto 1976.
- Eduardo Chávarri Velarde 2003 Memoria Final “Estudio Integral de los Recursos Hídricos de la Cuenca del Río Chillón” – Hidrología Superficial.
- Estudio Definitivo Derivación Pomacocha – Río Blanco, Marca II, Informe Final, Volumen III Hidrología, CES Consulting Engineers, Salzgitter GMBH, 1998.
- Estudio de Factibilidad de Afianzamiento Marcapomacocha – Marca III, Anexo de Hidrología, Graña y Montero Ingeniería, 1996.
- Evaluación del Potencial Hidroeléctrico Nacional: Plan Maestro de Electricidad, volumen V, Lahmeyer Int. / Salzgitter, 1978.
- Expediente Técnico del Sistema de Supervisión y Monitoreo de Cuencas – SEDAPAL por RHV System.
- Fondo Contravalor Perú – Francia 1997, Diagnostico preliminar para un manejo integral de la Cuenca del Río Rímac, Anexos al Informe Final.
- Inventario y Evaluación de los Recursos Naturales de la Zona del Proyecto Marcopomacocha, Onern, Octubre 1975.
- Junta de Usuarios del Rímac 2009, Plan de Cultivo y Riego Sub Distrito de Riego Rímac – Campaña Agrícola, Agosto 2009 – Julio 2010.
- Monsalve S., Germán “Hidrología en la Ingeniería”, Segunda Edición, Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería - Alfaomega, Colombia, 1999.
- Plan de Manejo y Estudios de factibilidad del Programa Ambiental de la Cuenca del Río Rímac, Diagnóstico: Abril de 1998.
- Plan de Gestión del Agua – INADE.
- Plan de Manejo y Estudios de Factibilidad del Programa Ambiental de la Cuenca del río Rímac (diagnóstico Asociación Louis Berger International-Tropical Research & Development-ECSA Ingenieros).
- Presa Yuracmayo. Estudio de factibilidad, Hidrológica, Volumen IV. Motor Columbus S.A. – Molina Consultores S.A., 1983.
- Rocha Felices Arturo, Agua Para Lima en el siglo XXI, Colegio departamental de Lima, 1996.
- SEDAPAL – Proyecto Planta de Tratamiento Huachipa – I Etapa – Hidrología Complementaria, Setiembre 1998.
- Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima y Callao 2009 “Plan Maestro Optimizado”, Volumen II.
- Villón B., Máximo “Hidrología Estadística”, Escuela de Ingeniería Agrícola, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Segunda Edición, Editorial Villón, Lima-Perú, 2002.

ANEXOS

VOLUMEN II

- ANEXO 1. CLIMATOLOGIA DE LA CUENCA**
- ANEXO 2. PLUVIOMETRIA**
- ANEXO 3. HIDROMETRIA**

VOLUMEN III

- ANEXO 4. MAPAS**