



# MEMORIA FINAL

## ESTUDIO INTEGRAL DE LOS RECURSOS HIDRICOS DE LA CUENCA DEL RIO CHILLON

### HIDROLOGIA SUPERFICIAL



OCTUBRE 2003  
LIMA - PERU

## **CONTENIDO**

<b>1. INTRODUCCION.....</b>	<b>12</b>
1.1. INTRODUCCIÓN .....	12
1.2. ANTECEDENTES .....	13
1.3. BASE LEGAL .....	13
1.4. OBJETIVOS.....	14
1.4.1. General.....	14
1.4.2. Particulares .....	14
<b>2. INFORMACIÓN BASICA.....</b>	<b>15</b>
2.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA CUENCA.....	15
2.1.1. Ubicación .....	15
2.1.2. Política .....	15
2.1.3. Administrativa.....	15
2.1.4. Geográfica.....	16
2.1.5. Extensión y Límites .....	16
2.1.6. Vías de Acceso .....	16
2.2. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN BÁSICA .....	17
2.2.1. Recopilación de información bibliográfica.....	17
2.2.2. Recopilación de información cartográfica.....	18

2.2.3. Información climática y ecológica.....	18
2.2.4. Información geológica y de suelos .....	19
2.2.5. Información hidrometeorológica adquirida al SENAMHI .....	21
2.2.6. Trabajo de campo .....	22
2.3. SISTEMA HIDROGRÁFICO Y CUENCA.....	23
2.3.1. Sistema hidrográfico.....	23
2.3.2. Sub cuencas tributarias.....	24
2.3.3. Parámetros geomorfológicos .....	31
<b>3. ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS METEOROLÓGICOS .....</b>	<b>41</b>
3.1.1. Precipitación total anual.....	43
3.1.2. Temperatura del aire media mensual y anual.....	43
3.1.3. Evaporación total anual.....	44
3.1.4. Humedad relativa media mensual y anual.....	45
<b>4. ANÁLISIS Y TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN PLUVIOMÉTRICA</b> <b>.....</b>	<b>45</b>
4.1. REGISTROS HISTÓRICOS.....	46
4.2. ANÁLISIS DE CONSISTENCIA.....	46
4.2.1. Análisis Gráfico .....	46
4.2.2. Análisis de doble masa.....	48
4.2.3. Análisis Estadístico .....	48

4.2.4. <i>Análisis de saltos y tendencias</i> .....	50
4.3. COMPLETACIÓN Y EXTENSIÓN DE LA INFORMACIÓN PLUVIOMÉTRICA.....	55
4.4. ANÁLISIS PLUVIOMÉTRICO DE LA CUENCA .....	55
4.4.1. <i>Ecuación regional de la precipitación</i> .....	55
4.4.2. <i>Precipitación total areal media anual de la cuenca</i> .....	56
4.4.3. <i>Análisis de Frecuencia de la precipitación total mensual</i> .....	60
4.4.4. <i>Propuesta para la instalación de estaciones meteorológicas</i> .....	61
<b>5. ANÁLISIS Y TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN HIDROMÉTRICA.</b>	<b>61</b>
5.1. REGISTROS HISTÓRICOS.....	61
5.1.1. <i>Descripción de las estaciones hidrométricas</i> .....	62
5.2. ANÁLISIS DE CONSISTENCIA .....	64
5.2.1. <i>Análisis Gráfico</i> .....	64
5.2.2. <i>Análisis de doble masa</i> .....	67
5.2.3. <i>Análisis estadístico</i> .....	69
5.2.4. <i>Análisis de saltos</i> .....	69
5.2.5. <i>Análisis de tendencias</i> .....	71
5.3. RESTITUCIÓN DE CAUDALES A RÉGIMEN NATURAL .....	73
5.4. COMPLETACIÓN Y EXTENSIÓN DE LA INFORMACIÓN HIDROMÉTRICA .....	81
5.5. PROPUESTA PARA LA INSTALACIÓN DE ESTACIONES HIDROMÉTRICAS.....	82
<b>6. DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA .....</b>	<b>82</b>

6.1. ANÁLISIS DE FRECUENCIA .....	84
6.2. CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL.....	86
6.3. CARACTERIZACIÓN DE LA RECARGA DEL ACUÍFERO .....	91
6.4. DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA PARA CADA SECTOR DE RIEGO .	92
<b>7. CALCULO DE LA DEMANDA DE AGUA .....</b>	<b>94</b>
7.1. ÁREAS BAJO RIEGO ACTUAL Y POTENCIAL.....	94
7.2. CÉDULA DE CULTIVOS Y COEFICIENTES DE USO CONSUNTIVO.....	96
7.3. PRECIPITACIÓN EFECTIVA.....	97
7.4. FRECUENCIA DE RIEGO .....	98
7.5. EFICIENCIAS DE RIEGO .....	99
7.6. DEMANDA DE AGUA DE USO CONSUNTIVO.....	100
7.6.1. <i>Demanda de uso agrícola</i> .....	100
7.6.2. <i>Demanda de uso poblacional</i> .....	105
7.7. DEMANDA DE AGUA DE USO NO CONSUNTIVO .....	112
7.7.1. <i>Demanda recreacional</i> .....	112
<b>8. PLANIFICACIÓN DEL RECURSO HÍDRICO, OFERTA Y DEMANDA PARA LOS PRÓXIMOS 20 AÑOS.....</b>	<b>112</b>
<b>9. BALANCE HÍDRICO DE LA CUENCA DEL RÍO CHILLÓN.....</b>	<b>113</b>
9.1. DETERMINACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LOS PRINCIPALES COMPONENTES DEL BALANCE HÍDRICO .....	113
9.2. DETERMINACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO A ESCALA MENSUAL POR SUBCUENCA .	122

<b>10. ANÁLISIS DE MÁXIMAS AVENIDAS .....</b>	<b>126</b>
10.1. ANÁLISIS DE FRECUENCIA DE PRECIPITACIONES MÁXIMAS.....	126
10.2. ANÁLISIS DE CAUDALES MÁXIMOS PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO. .	127
<b>11. ANÁLISIS DE SEQUÍAS.....</b>	<b>133</b>
11.1. SEQUÍA METEOROLÓGICA .....	134
11.2. SEQUÍA HIDROLÓGICA .....	135
<b>12. DESCRIPCIÓN DEL ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO HIDROLÓGICO ACTUAL DE LA CUENCA .....</b>	<b>136</b>
<b>13. RESULTADOS.....</b>	<b>138</b>
<b>14. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>144</b>
14.1. CONCLUSIONES.....	144
14.2. RECOMENDACIONES .....	146
<b>15. ANEXOS.....</b>	<b>148</b>

## **CUADROS**

- Cuadro N°01 : Tipos de clima en la cuenca del río Chillón
- Cuadro N°02 : Información hidrometeorológica adquirida al SENAMHI.
- Cuadro N°03 : Descripción del trabajo de campo.
- Cuadro N°04 : Características de la red hidrográfica de la cuenca del río Chillón.
- Cuadro N°05 : Características geomorfológicas de las subcuencas del río Chillón.
- Cuadro N°06 : Registros históricos de la precipitación total mensual.
- Cuadro N°07 : Precipitación total anual para cada estación pluviométrica.
- Cuadro N°08 : Análisis de consistencia - Método Estadístico.
- Cuadro N°09 : Coeficientes de Thiessen para el cálculo de la precipitación total media en la cuenca húmeda del río Chillón.
- Cuadro N°10 : Calculo de la precipitación total media anual de toda la cuenca del río Chillón mediante el método de las isoyetas.
- Cuadro N°11: Precipitación total mensual a un nivel de persistencia del 50%, sobre subsectores de riego.
- Cuadro N°12 : Precipitación total mensual a un nivel de persistencia del 75%, sobre subsectores de riego.
- Cuadro N°13 : Precipitación total mensual a un nivel de persistencia del 50%, en cada estación pluviométrica.
- Cuadro N°14 : Precipitación total mensual a un nivel de persistencia del 75%, en cada estación pluviométrica.
- Cuadro N°15 : Registros históricos de la información hidrométrica media mensual.
- Cuadro N°16 : Análisis de consistencia estadística de información hidrométrica estaciones Pariacancha, Obrajillo y Puente Magdalena.
- Cuadro N°17 : Mediana de los valores del coeficiente de escurrimiento del área de contribución a la estación hidrométrica Pariacancha.
- Cuadro N°18 : Descriptores estadísticos de las series históricas registradas y naturalizadas - Estación Pariacancha.

- Cuadro N°19 : Descriptores estadísticos de las series históricas registradas y naturalizadas - Estación Obrajillo.
- Cuadro N°20 : Principales características de las lagunas reguladas Chuchón, Leoncocha y Azulcocha.
- Cuadro N°21 : Volumen del aporte neto regulado producto del almacenamiento en las lagunas.
- Cuadro N°22 : Descriptores estadísticos de las series históricas registradas y naturalizadas - Estación Puente Magdalena.
- Cuadro N°23 : Comparación del valor medio y desviación estándar entre las series registradas y generadas.
- Cuadro N°24 : Rendimiento hídrico de la cuenca del río Chillón.
- Cuadro N°25 : Persistencias para la serie de caudales medios mensuales en regimen natural - Estación Pariacancha.
- Cuadro N°26 : Persistencias para la serie de caudales medios mensuales en regimen natural - Estación Obrajillo.
- Cuadro N°27 : Persistencias para la serie de caudales medios mensuales en regimen natural - Estación Puente Magdalena.
- Cuadro N°28 : Evapotranspiración potencial mensual Estación Huarangal.
- Cuadro N°29 : Evapotranspiración potencial mensual Estación Canta.
- Cuadro N°30: Evapotranspiración potencial mensual Estación Marcapomacocha.
- Cuadro N°31 : Evapotranspiración potencial mensual del valle del río Chillón (Parte baja y media) mm/mes.
- Cuadro N°32 : Disponibilidad hídrica para cada subsectore de riego.
- Cuadro N°33 : Sectores y Subsectores del Subdistrito de riego Chillón.
- Cuadro N°34 : Areas proyectadas de siembra según intenciones de siembra, campaña 2002/2003.
- Cuadro N°35 : Cédula de cultivos de la parte baja y media del valle del Chillón.
- Cuadro N°36 : Precipitación efectiva mensual en la parte media y baja de la cuenca.

- Cuadro N°37 : Eficiencias de riego para la situación actual, corto, mediano y largo plazo.
- Cuadro N°38 : Demanda agrícola bruta de la parte media y baja del valle del río Chillón, para la situación actual.
- Cuadro N°39 : Demanda agrícola bruta de la parte media y baja del valle del río Chillón, para la situación a corto plazo.
- Cuadro N°40 : Demanda agrícola bruta de la parte media y baja del valle del río Chillón, para la situación a mediano plazo.
- Cuadro N°41 : Demanda agrícola bruta de la parte media y baja del valle del río Chillón, para la situación a largo plazo.
- Cuadro N°42 : Población en la cuenca del río Chillón (Año 2002).
- Cuadro N°43 : Número de viviendas con abastecimiento de agua en la cuenca del río Chillón por fuente hídrica.
- Cuadro N°44 : Demanda hídrica poblacional por provincias y distritos.
- Cuadro N°45 : Proyección de la demanda hídrica de la cuenca del río Chillón.
- Cuadro N°46 : Explotación del agua subterránea para diferentes tipos de uso.
- Cuadro N°47 : Escenarios Situación Actual, Corto plazo, Mediano plazo y Largo plazo.
- Cuadro N°48 : Niveles de confiabilidad en el tiempo del periodo de simulación y en la satisfacción de la demanda hídrica - Situación Actual.
- Cuadro N°49 : Déficit hídrico en los casos en que los coeficientes de confiabilidad son bajos - Situación Actual.
- Cuadro N°50 : Niveles de confiabilidad en el tiempo del periodo de simulación y en la satisfacción de la demanda hídrica - Situación a Corto Plazo.
- Cuadro N°51 : Déficit hídrico en los casos en que los coeficientes de confiabilidad son bajos - Situación a Corto Plazo.
- Cuadro N°52 : Niveles de confiabilidad en el tiempo del periodo de simulación y en la satisfacción de la demanda hídrica - Situación a Mediano Plazo.

- Cuadro N°53 : Déficit hídrico en los casos en que los coeficientes de confiabilidad son bajos - Situación a Mediano Plazo.
- Cuadro N°54 : Niveles de confiabilidad en el tiempo del periodo de simulación y en la satisfacción de la demanda hídrica - Situación a Largo Plazo.
- Cuadro N°55 : Déficit hídrico en los casos en que los coeficientes de confiabilidad son bajos - Situación a Largo Plazo.
- Cuadro N°56 : Coeficientes de esorrentía mensual.
- Cuadro N°57 : Balance hídrico para cada subcuenca
- Cuadro N°58 : Información de precipitación máxima en 24 horas.
- Cuadro N°59 : Información consistente de precipitación máxima en 24 horas.
- Cuadro N°60 : Ubicación de microcuencas y sus principales características.
- Cuadro N°61 : Parámetros físicos de cada microcuenca.
- Cuadro N°62 : Tiempo de concentración y coeficiente de almacenamiento para cada microcuenca.
- Cuadro N°63 : Características de los tramos de cauce.
- Cuadro N°64 : Precipitación máxima probable para diferentes periodos de retorno para cada microcuenca.
- Cuadro N°65 : Caudal y volumen de máximas avenidas.
- Cuadro N°66 : Sequía Meteorológica - Duración máxima y déficit hídrico porcentual de escasez de lluvia en la cuenca húmeda del río Chillón.
- Cuadro N°67 : Sequía Hidrológica - Duración máxima y déficit hídrico porcentual de escasez de descargas en el río Chillón.

## **FIGURAS**

- Figura N°01 : Mapa de Ubicación de la cuenca del río Chillón.
- Figura N°02 : Subcuencas tributarias del río Chillón
- Figura N°03 : Curva hipsométrica de la cuenca del río Chillón.
- Figura N°04 : Corrección de la precipitación total anual de las Estaciones Autisha y Yantac mediante análisis de saltos.
- Figura N°05 : Análisis de tendencia de la precipitación total anual para cada una de las estaciones pluviométricas.
- Figura N°06 : Ecuación regional de la precipitación total anual (mm) de la cuenca del río Chillón.
- Figura N°07 : Análisis gráfico de correlación lineal entre Obrajillo y Pariacancha.
- Figura N°08 : Análisis gráfico de correlación lineal entre Puente Magdalena y Pariacancha.
- Figura N°09 : Análisis gráfico de correlación lineal entre Puente Magdalena y Obrajillo.
- Figura N°10 : Histogramas de caudales medios mensuales de las Estaciones Pariacancha, Obrajillo y Puente Magdalena (Enero 1969 a Agosto 1978).
- Figura N°11 : Análisis de doble masa de las Estaciones Pariacancha, Obrajillo y Puente Magdalena.
- Figura N°12 : Corrección mediante análisis de saltos de la serie de caudales medios mensuales - Estación Puente Magdalena.
- Figura N°13 : Corrección mediante análisis de saltos de la serie de caudales medios mensuales - Estación Obrajillo.
- Figura N°14 : Análisis de tendencia Estaciones Pariacancha, Obrajillo y Puente Magdalena.
- Figura N°15 : Restitución de caudales naturales de la serie registrada en la Estación Pariacancha.
- Figura N°16 : Comparación entre los caudales registrados y predichos por el modelo de regresión lineal entre Pariacancha y Obrajillo.

- Figura N°17 : Restitución de caudales naturales de la serie registrada en la Estación Obrajillo.
- Figura N°18 : Restitución de caudales naturales de la serie registrada en la Estación Puente Magdalena.
- Figura N°19 : Esquema de la red de distribución de agua para riego parte media y baja del valle de la cuenca del río Chillón.
- Figura N°20 : Esquema de los componentes de oferta y demanda hídrica por subsector de riego.
- Figura N°21 : Configuración de las microcuencas aportantes de caudales de avenida - Programa HEC-HMS.

## **1. INTRODUCCION**

### **1.1. INTRODUCCIÓN**

La Intendencia de Recursos Hídricos (IRH) del INRENA en coordinación con a la Administración Técnica del Distrito de Riego Chillón-Rímac-Lurín programaron realizar el Estudio Integral de los Recursos Hídricos de la Cuenca del río Chillón.

El estudio tiene tres componentes: Hidrología Superficial, Aguas Subterráneas y Calidad del agua.

El presente estudio corresponde únicamente al componente Hidrología Superficial el cual considera como complemento el Inventario de Fuentes de Agua Superficial y el Sistema de Información Geográfico.

El estudio permitirá conocer la disponibilidad y demanda hídrica de la cuenca, obteniendo el balance hídrico en situación actual y futura, así como los caudales de avenida en época de lluvia y caudales mínimos en época de sequía, lo que permitirá una adecuada planificación del aprovechamiento de los recursos hídrico en la cuenca.

El inventario de las fuentes de agua superficial a lo largo de la cuenca involucrará ríos, riachuelos, puquíos ó manantiales y lagunas, lo que permitirá conocer los volúmenes actuales ofertados y utilizados por los diferentes usuarios de la cuenca. Ésta evaluación se llevará a cabo principalmente mediante aforos debidamente registrados georeferencialmente.

Además se efectuará la sistematización de la información geográfica en un sistema de información geográfica mediante planos temáticos correspondientes a los términos de referencia del estudio.

## 1.2. ANTECEDENTES

Se cuenta con diversos estudios y proyectos realizados en la cuenca del río Chillón, en las décadas comprendidas de los años de 1960 al 1980 y 1995 al 2002, desarrollados para resolver las diferentes necesidades por parte de varias entidades públicas y no gubernamentales.

La ONERN en el año 1969 realizó estudios técnicos más completos dentro de la cuenca así como también la misma institución ha realizado el inventario de lagunas a nivel nacional 1967 dentro del cual incluye ésta cuenca.

Entre las principales publicaciones que vienen siendo revisadas se tiene:

- Inventario de la infraestructura de riego y drenaje del valle de Chillón, INRENA, Marzo 1995.
- Inventario de la infraestructura de riego y drenaje del valle de Chillón, INRENA, 2002.
- Información varia de la nueva planta de tratamiento de agua del río Chillón, Sedapal, 2002.
- Información meteorológica e hidrométrica del SENAMHI.

## 1.3. BASE LEGAL

- Decreto Ley N° 17752 “Ley General de Aguas y sus Reglamentos”
- Decreto Legislativo N° 653 “Ley de Promoción de las Inversiones en el Sector Agrario y su Reglamento” aprobado por D.S. N° 048-91-AG.
- Reglamento de Organización Administrativa del Agua aprobado por D.S. N° 057 – 2000-AG
- Reglamento de Tarifas y Cuotas por el Uso del Agua aprobado por D.S. N° 03-90-AG
- Normativa para la formulación de los Planes de Cultivo y Riego, aprobado por Resolución ministerial N° 001-74-AG
- Directiva Administrativa permanente N° 014-75-DGAS “Instructivo para la Elaboración de la Infraestructura de Riego, Drenaje y de Vías de

Comunicación relacionadas con la operación y mantenimiento de Distritos de Riego.

- Directiva General N° 018-76-OSPA-OR “Instructivo para la elaboración de Padrones de Uso Agrícola”.

#### **1.4. OBJETIVOS**

##### **1.4.1. General**

Realizar el estudio de hidrología superficial e inventario de las fuentes de agua superficiales a lo largo de la cuenca hidrográfica del río Chillón.

##### **1.4.2. Particulares**

- Identificar e inventariar las fuentes hídricas, con sus usos y costumbres respectivos.
- Obtener y evaluar el balance hidrológico en la cuenca.
- Describir el régimen actual del río Chillón y de sus principales tributarios.
- Elaborar mapas temáticos en formato digital en Sistema de Información Geográfico.

## **2. INFORMACIÓN BASICA**

### **2.1. Descripción General de la Cuenca**

#### **2.1.1. Ubicación**

La cuenca del río Chillón se encuentra localizada en la región central y occidental del territorio peruano.

#### **2.1.2. Política**

Región : Lima

Departamento : Lima

Provincias : Canta y parte de la provincia de Lima.

Distritos : Pte Piedra, Carabaylo, Comas, Ventanilla, parte de San Martín de Porras, y los Olivos pertenecen a la provincia de Lima. Arahuy, Canta, Huamantanga, Huaros, Lachaqui, San Buenaventura, y Santa Rosa de Quives estos pertenecen a la provincia de Canta.

#### **2.1.3. Administrativa**

La Administración Técnica del Distrito de Riego Chillón-Rimac-Lurín, Sub Distrito de Riego Chillón forma parte de la Intendencia de Recursos Hídricos del Instituto Nacional de Recursos Naturales - INRENA y funciona como Autoridad Local de Aguas en el ámbito de su jurisdicción.

En la Cuenca del Río Chillón existe una Junta de Usuarios, que se denomina Junta de Usuarios del Sub Distrito de Riego de Chillón, que es la encargada de administrar el Recurso Hídrico; reconocida mediante Resolución Administrativa N° 32 del 07 de diciembre de 1 981 e inscrita en los Registros Públicos en la Ficha FN ° 6,291 asiento N° 01 en el año 1 981; a la fecha están agrupadas en esta Junta quince (15) Comisiones de Regantes de la parte baja de la cuenca. Su local esta ubicado en la Avenida Valdivia s/n al costado del Estadio Gallo de Oro, Puente Piedra, con un área de 2,000 m<sup>2</sup>.

Su actual Junta Directiva ha sido reconocida mediante Resolución Administrativa N 341-2000-AG-UAD.LC/ATDRCHRL, de fecha 14 de diciembre del 2,000, para el período 2001-2003.

#### **2.1.4. Geográfica**

Se encuentra ubicada en el departamento de Lima, entre las siguientes coordenadas:

Latitud Sur : 11°15' - 12°20'

Longitud Oeste : 76°25' - 77°10'

Altitudinalmente la cuenca oscila entre los 0 msnm en el límite con el océano Pacífico y los 5 000 msnm en la cordillera La Viuda, divisoria de las vertientes del Pacífico y Atlántico, alcanzando una altura media de 2370 msnm.

#### **2.1.5. Extensión y Límites**

La cuenca del río Chillón limita por el sur con la Cuenca del río Rímac, por el norte con la Cuenca del río Chancay Huaral y por el este con la Cuenca del río Mantaro y por el oeste con el Océano Pacífico.

La cuenca en estudio abarca un área de 2353.53 Km<sup>2</sup> de superficie, de los cuales 1089 km<sup>2</sup> (46.5%), corresponden a la denominada cuenca húmeda o colectora. La superficie agrícola bajo riego del valle del río Chillón, es de 11185.5 ha. (Anexo Mapas - Mapa N°01 Base).

#### **2.1.6. Vías de Acceso**

El valle de Chillón cuenta con la carretera Panamericana Norte asfaltada (102.5 km), como vía de mayor importancia y es interconectada hacia la parte interior de la cuenca por varias vías, entre ellas se cuenta con:

Carretera Puente Piedra – IPEN (Instituto Peruano de Energía Nuclear), ésta carretera es asfaltada y recorre por la margen derecha del valle. Carretera Lima

– Canta, recorre los distritos de Comas y Carabayllo hasta llegar al distrito de Canta, esta carretera recorre a lo largo de la margen izquierda.

Se tiene además una vía afirmada que une Canta con la Cordillera La Viuda, interconectando de paso a los pueblos de Huaros y Culhuay, un tramo de 44.5 km que de acuerdo a lo proyectado será la base de una carretera que unirá Canta con Cerro de Pasco. Asimismo hay 131.2 km de trochas carrozables, que vinculan Canta con pueblos de su jurisdicción, y 3 minicentrales que proveen de energía eléctrica a diferentes distritos y un servicio telefónico de reciente data.

## **2.2. Recopilación de información básica**

### **2.2.1. Recopilación de información bibliográfica**

Las fuentes de información bibliográfica fueron las siguientes:

- Biblioteca del Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA).
- Administración Técnica de los Distritos de Riego Chillón - Rímac - Lurín.
- Sub-Administración Técnica del Distrito de Riego Chillón.
- Oficina de Gestión Ambiental y Evaluación de Recursos Naturales del Instituto Nacional de Recursos Naturales.
- Biblioteca Agrícola Nacional - Universidad Nacional Agraria 'La Molina' (UNALM).
- Servicio de agua potable y alcantarillado de Lima (SEDAPAL).
- Dirección General de Información Agraria del Ministerio de Agricultura (DGIA-MINAG).
- Proyecto Subsectorial de Irrigación (PSI)
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI)
- Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET)
- Consorcio Agua Azul S.A.

### 2.2.2. Recopilación de información cartográfica

Las fuentes de información cartográfica utilizada fueron las siguientes:

- Instituto Geográfico Nacional (IGN)
- Proyecto Especial de Titulación de Tierras y Catastro Rural (PETT)
- Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET).

### 2.2.3. Información climática y ecológica

La información climática de la cuenca del río Chillón fue obtenida en base la distribución espacial de las principales variables meteorológicas según muestra el siguiente cuadro.

Esta clasificación a sido plasmada en el Anexo Mapas, Mapa N°09 Climático.

Cuadro N°01

Tipos de Clima	Precipitación total anual (mm)	Temperatura media anual (°C)	Evapotranspiración potencial total anual (mm)	Area (km2)	Area (%)
Semi cálido muy seco	0 a 100	17.0 a 19.0	775 - 800	839.71	35.7
Semi cálido seco	100 a 250	14.5 a 17.0	675 a 775	510.42	21.7
Templado Subhúmedo	250 a 400	11.0 a 14.5	550 a 675	682.12	29.0
Frío o Boreal	400 a 850	6.5 a 11.0	450 a 550	321.28	13.7

Con respecto a la ecología, el 'Estudio de Impacto Ambiental del Aprovechamiento Optimo de las aguas superficiales y subterráneas del río Chillón', señala que basados en zonas de vida natural, se identificaron dieciséis (16) Zonas de Vida, que vienen a ser grandes unidades ecológicas claramente diferenciadas en base a sus características climáticas y florísticas.

#### **2.2.4. Información geológica y de suelos**

Según el 'Estudio de Impacto Ambiental del Aprovechamiento Optimo de las aguas superficiales y subterráneas del río Chillón', las diferentes formaciones geológicas datan del periodo Paleozoico al Cuaternario reciente. Tales formaciones poseen características litológicas y estructurales muy particulares, representadas por una amplia variedad de rocas sedimentarias, intrusivas y extrusivas; las cuales han sufrido deformaciones, modificaciones tectónicas y procesos geodinámicos externos dando lugar a estructuras, como fracturas y plegamientos.

De acuerdo a las características geomorfológicas y estructurales de la región, la Cordillera de los Andes se ha elevado sobre 5,000 m, acumulándose rocas volcánicas, iniciadas por volcánicos sedimentarios de colores abirragados pertenecientes a la Formación Yantac. Así, en las altas cumbres se depositaron secuencias volcánicas como las del Grupo Calipuy, de características piroclásticas con intercalaciones de lavas y aglomerados.

La faja occidental andina está formada de volcánicos marinos, constituidos por andesitas básicas, brechas de lavas y sedimentos de aguas superficiales, mientras que la faja oriental se compone de una diferenciación litológica de volcánicos, que pasan a las areniscas, lutitas y calizas, que sobreyace a los esquistos paleozoicos.

Con respecto al suelo, el mismo estudio señala que a nivel de reconocimiento la evaluación del recurso suelo se realizó en base a la interpretación de sus características morfológicas, físico-químicas y biológicas, expresando además, su origen y distribución geográfica.

El suelo es clasificado en base a su morfología, expresada por sus características físico-químicas y biológicas, y en base a su génesis, manifestada por la presencia de horizonte de diagnóstico, superficiales y/o subsuperficiales. Asimismo, las superficies que tienen poco o nada de suelo son consideradas como áreas misceláneas.

La descripción de los suelos fue realizada tomando como base los criterios y normas establecidas en el Manual de Levantamiento de Suelos (Soil Survey Manual, 1993). La clasificación taxonómica de los suelos se hizo de acuerdo con las definiciones y nomenclaturas establecidas en el Sistema Soil Taxonomy (1975 y 1998), utilizando como unidad taxonómica el subgrupo de suelos.

En resumen, las unidades cartográficas determinadas están constituidas por veintidos consociaciones y catorce asociaciones. Tales unidades taxonómicas fueron clasificadas y descritas al nivel categórico de subgrupo de suelos.

## 2.2.5. Información hidrometeorológica adquirida al SENAMHI

El análisis de la información meteorológica e hidrométrica de la cuenca del río Chillón se realizó en base a la información de la red de estaciones hidrometeorológicas adquiridas al SENAMHI, según muestra el siguiente cuadro N°02. (Ver Anexo Mapas, Mapa N°08 Ubicación de Estaciones Hidrometeorológicas).

Cuadro N°02

" ESTUDIO INTEGRAL DE LOS RECURSOS HIDRICOS DE LA CUENCA DEL RIO CHILLON "						
INFORMACION METEOROLOGICA E HIDROMETRICA						
ESTACION	LONGITUD	LATITUD	ALTITUD (msnm)	PARAMETRO	PERIODO	AÑOS
INFORMACIÓN METEOROLÓGICA						
CANTA	76°37'	11°28'	2832	Temperatura Media Mensual	1980, 86 - 90, 96 - 02	13
				Temperatura Maxima Media Mensual	1964 - 80, 86 - 02	34
				Temperatura Minima Media Mensual	1964 - 79, 86 - 02	33
				Humedad Relativa Media Mensual	1982 - 89, 91 - 92, 94 - 99	16
				Precipitacion Total Mensual	1964 - 80, 86 - 02	34
HUARANGAL	77°06'	11°47'	410	Temperatura Media Mensual	1982 - 89, 91 - 92, 94 - 01	18
				Temperatura Maxima Media Mensual	1982 - 89, 91 - 92, 94 - 02	19
				Temperatura Minima Media Mensual	1982 - 89, 91 - 92, 94 - 02	19
				Precipitacion Total Mensual	1982 - 89, 91 - 92, 94 - 02	19
				Evaporacion Total Mensual	1982 - 89, 91 - 92, 94 - 98	15
ARAHUAY	76°42'	11°37'	2800	Precipitacion Total Mensual	1980 - 02	23
PARIACANCHA	76°30'	11°23'	3800	Precipitacion Total Mensual	1969 - 02	34
HUAMANTANGA	76°45'	11°30'	3392	Precipitacion Total Mensual	1981 - 02	22
LACHAQUI	76°37'	11°33'	3668	Precipitacion Total Mensual	1985, 89 - 90, 92 - 02	14
MARCA POMACOCHA	76°19'	11°24'	4479	Temperatura Media Mensual	1969 - 77, 79 - 99, 01 - 02	32
				Temperatura Maxima Media Mensual	1969 - 75, 79 - 00	29
				Temperatura Minima Media Mensual	1969 - 77, 79 - 99, 01 - 02	32
				Humedad Relativa Media Mensual	1969 - 77, 79 - 99, 01 - 02	32
				Precipitacion Total Mensual	1969 - 77, 79 - 99, 02	31
YANTAC	76°24'	11°20'	4600	Precipitacion Total Mensual	1969 - 02	34
MILLOC	76°21'	11°34'	4398	Precipitacion Total Mensual	1986 - 02	17
SHEQUE	76°29'	11°39'	3214	Precipitacion Total Mensual	1989 - 02	14
MINA COLQUI	76°29'	11°35'	4600	Precipitacion Total Mensual	1973 - 78, 80 - 93	20
CARAMPOMA	76°30'	11°39'	3489	Precipitacion Total Mensual	1965 - 02	38
AUTISHA	76°36'	11°44'	2314	Precipitacion Total Mensual	1980 - 02	23

" ESTUDIO INTEGRAL DE LOS RECURSOS HIDRICOS DE LA CUENCA DEL RIO CHILLON "						
ESTACION	LONGITUD	LATITUD	ALTITUD (msnm)	PARAMETRO	PERIODO	AÑOS
INFORMACIÓN HIDROMÉTRICA						
OBRAJILLO	76°37'	11°27'	2700	Caudales Medios Mensuales	1969 - 1983, 1997 - 2001	20
PUENTE MAGDALENA	76°50'	11°41'	1200	Caudales Medios Mensuales	1948 - 1983	36
PARIACANCHA	76°31'	11°24'	3800	Caudales Medios Mensuales	1969 - 1978	10

## 2.2.6. Trabajo de campo

El trabajo de campo fue dirigido desde la sede del proyecto, ubicado en el Distrito de Puente Piedra, en los ambientes de la Agencia Agraria Puente Piedra, Jr. Alfonso Ugarte N° 154.

La fase de campo duró tres meses y medio, iniciándose a partir de la segunda mitad del mes de junio y finalizando este en el mes de Septiembre. Se inicio con el reconocimiento de campo lo que permitió elaborar el cronograma de desarrollo de actividades.

La principal actividad realizada en campo fue el Inventario de Fuentes de Agua Superficial, la cual se desarrolló de manera estrecha con las principales autoridades de las Comunidades Campesinas de las zonas programadas y/o sectorista de riego.

El equipo utilizado para el trabajo de campo consistió de 01 GPS, un Correntómetro, Cartas Nacionales: 1/100 000 y 1/25 000; además se contó con movilidad propia a tiempo completo.

El siguiente cuadro describe el desarrollo del trabajo de campo

Cuadro N° 03

TRABAJO DE CAMPO		
PERIODO	TEMAS DESARROLLADOS	RESULTADOS OBTENIDOS
Del 26 al 28 de Junio y del 09 al 11 de Julio / 2003.	Reconocimiento de la Cuenca.	Permitió elaborar el cronograma de actividades y definir las principales características geomorfológicas de las microcuencas.
Se desarrollo durante los meses de Julio, Agosto, Setiembre /2003	Ubicación de las fuentes de agua	Permitio la elaboracion de los diferentes cuadros que se anexas en la memoria final.
Se desarrollo durante los meses de Julio, Agosto, Setiembre /2003	Medición de las fuentes hídricas.	Fueron ubicados 24 aforadores en la cuenca, ademas se realizo el aforo de las salidas de lagunas principales, asi como tambien los consumos de agua.
	Descripción del funcionamiento de las estaciones meteorológicas e hidrométricas	Existen tres estaciones hidrométricas, Puente Magdalena en la parte baja, Obrajillo y Pariacancha en la parte alta.
Se desarrollo durante los meses de Julio, Agosto, Setiembre /2003	Coordinación con los técnicos encargados del uso y distribución del agua.	Permitió una descripción más detallada del sistema hidráulico de la cuenca.
Se desarrollo durante los meses de Julio, Agosto, Setiembre /2003	Identificación del uso de las fuentes de agua.	Se identifico cuatro tipos de fuente de agua: Agua superficial regulada y no regulada, Agua subterránea y Aguas de recuperación o de cola.

## **2.3. Sistema hidrográfico y cuenca**

### **2.3.1. Sistema hidrográfico**

Hidrográficamente, la cuenca del río Chillón pertenece a la vertiente del Pacífico. El río Chillón tiene su origen en la laguna de Chonta a 4850 msnm en la cordillera de la viuda, tiene una distancia total de 126 km y presenta una pendiente promedio de 3.85%.

El relieve general de la cuenca es el que caracteriza a la mayoría de los ríos de la vertiente occidental, es decir, el de una hoya hidrográfica alargada, de fondo profundo y quebrado y de pendiente fuerte, presenta una fisiografía escarpada cortada por quebradas de fuerte pendiente y estrechas gargantas, la cuenca se encuentra limitada por cadenas de cerros que en dirección hacia aguas abajo muestran un descenso sostenido del nivel de cumbres. La parte superior de la cuenca alta presenta un gran número de lagunas, originadas por la reducida pendiente, lo que ha permitido el represamiento parcial del escurrimiento superficial favorecido además por la presencia de nevados.

Actualmente la cuenca del río Chillón tiene cuatro tipos de fuentes de agua:

- Agua superficial no regulada, proveniente del escurrimiento superficial de toda la cuenca del río Chillón.
- Agua superficial regulada, proveniente de lagunas embalsadas localizadas en la cuenca alta del río Chillón. Estas lagunas en conjunto tienen una capacidad de 19.3 MMC (Laguna Chunchón con 9.30 MMC, Laguna Leóncocha con 3.0 MMC y Laguna Azulcocha con 7.0 MMC).
- Agua subterránea, extraída mediante bombeo de los pozos ubicados en la llanura aluvial del valle.
- Agua de recuperación o de cola evidenciada por el afloramiento en puquios y drenes que es incorporado al sistema de riego del valle. Entre los puquios más importantes tenemos: San Antonio (50.0 l/s), Huatocay (300 - 450 l/s), Chocas (100 l/s), Huarangal (400 - 450 l/s), Caballero (50 l/s), Punchauca (100 l/s), Choque (75 l/s) y Chillón (50 l/s).

### **2.3.2. Sub cuencas tributarias**

En la cuenca del río Chillón se ubican recursos de orden natural, histórico y cultural, que todavía no han sido lo suficientemente valorados. En ese sentido la cercanía a Lima ha sido adversa para cualquier posibilidad de desarrollo de esas áreas, pero en condiciones diferentes, mirando las cosas desde la posibilidad de aplicación de una lógica distinta, esa cercanía bien puede ser relativamente favorable, como comienza a ocurrir con la explotación del turismo o con el aprovechamiento de un potencial mercado de truchas existente en el cono norte de Lima.

La cuenca tiene un área de drenaje de 2,353.53 km<sup>2</sup> y esta situada en el departamento de Lima, obedece a la existencia de un río que nace en la laguna de Chonta a 4,850 msnm, pero que además se alimenta con los deshielos de la Cordillera La Viuda, en la frontera con Junín y con las precipitaciones que caen en las partes altas de la cuenca.

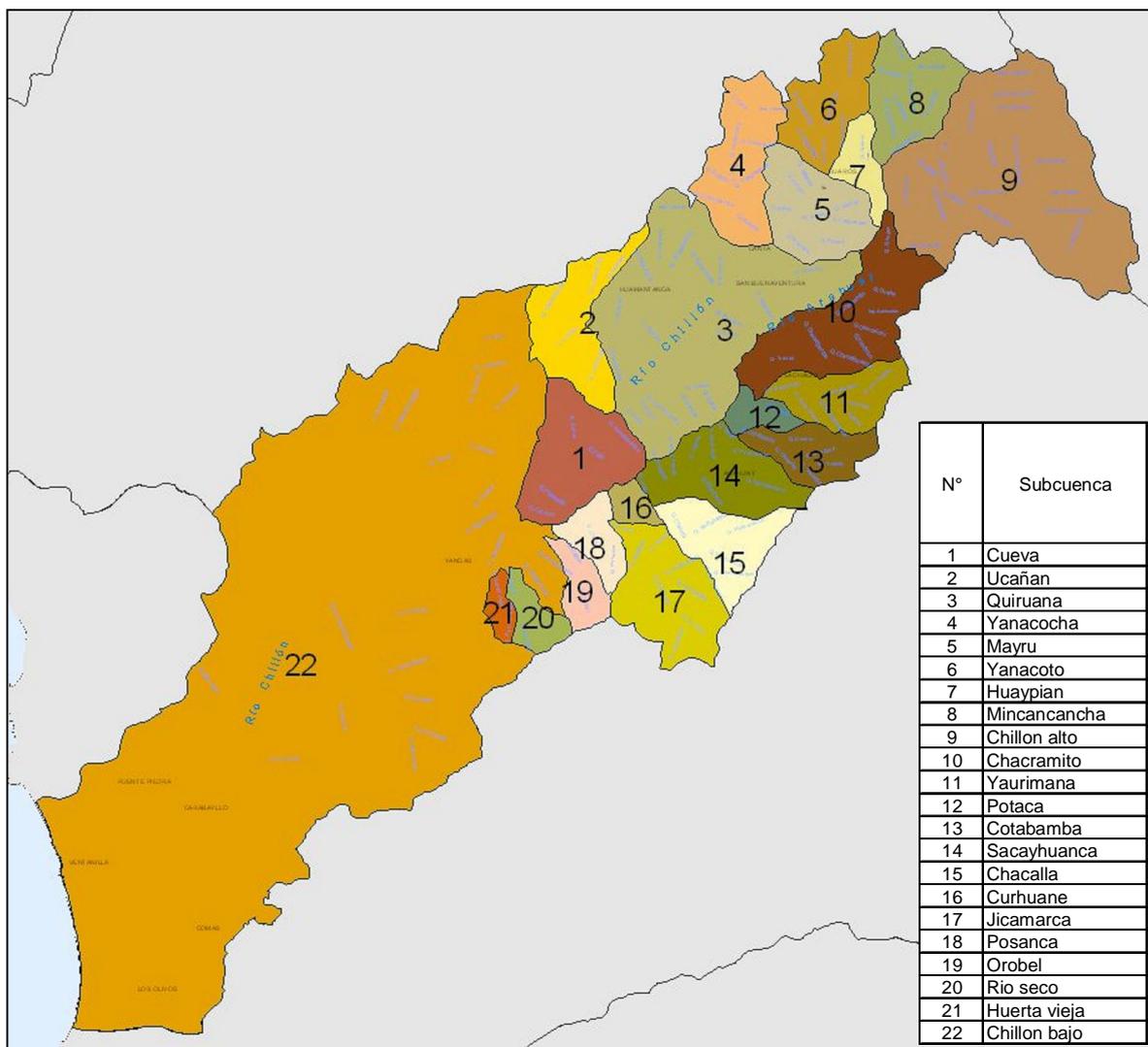
Políticamente se ubica en las provincias de Lima (distritos de Puente Piedra, Carabayllo, Comas, Los Olivos y San Martín de Porras); Provincia Constitucional del Callao (distrito de Ventanilla) y la provincia de Canta (distritos de Canta, Arahua, Huamantanga, Huaros, San Buenaventura, Lachaqui y Santa Rosa de Quives).

En esta última provincia, es significativo indicar como factores de integración y movilización económica y social, la existencia de 22 comunidades campesinas: Licahuasi, Collo, Copa, Collana, Obrajillo, Canta, Pariamarca, Carhua, Huamantanga, Marco, Quipán, Puruchuco, Huaros, Culhuay, Huacos, Lachaqui, Viscas-Bellavista, San Lorenzo, San Buenaventura, San José, San Miguel y Pampacocha – Yaso.

Se seleccionaron un total de 22 subcuencas, de las cuales 21 se consideran subcuencas tributarias de agua al río Chillón y se ubican a partir de la Estación Puente Magdalena hacia aguas arriba.

La siguiente Figura muestra un mapa con la ubicación de cada una de ellas en la cuenca del río Chillón.

Figura N°01



La descripción de cada una de ellas se realiza a continuación.

**a. Sub-cuenca Cueva.**

Esta subcuenca cuenta con un área total de drenaje de 68.14 Km<sup>2</sup>, un perímetro igual a 35.560 Km., se ubica entre los 1150 y 1500 msnm., la principal fuente hídrica lo constituye el río Chillón que la recorre en una longitud de 12.544Km. Los centros poblados que podemos encontrar son: Llipata,

Huanchuy, Panizo, Vigo, Apan, Picullo, Piedra Blanca, Casa Quemada entre otros. La principal vía de acceso lo constituye un tramo de la carretera Lima – Canta.

b. **Sub-cuenca Ucañan.**

Esta subcuenca cuenta con un área de drenaje de 57.51 Km<sup>2</sup>, un perímetro igual a 44.898 Km., se ubica entre los 1500 y 4400 msnm. Los centros poblados principales son: Puruchuco y Shihuay. La principal vía de acceso en esta zona es la carretera que viene desde Canta, esta se encuentra sin asfaltar, además de contar con caminos de herradura que une los poblados. Esta subcuenca es alimentada por las quebradas de la zona las cuales se van uniendo en un curso principal, teniendo salida al río Chillón en época de lluvias.

c. **Sub-cuenca Quiruana.**

Esta subcuenca es una de las mas grandes, cuenta con un área de 215.43 Km<sup>2</sup>, un perímetro igual a 78.993 Km., se ubica entre los 1500 y 2500 msnm., la principal fuente hídrica lo constituye el río Chillón que la recorre en una longitud de 20.367 Km. aproximadamente, el cual recibe el aporte de las diferentes quebradas durante su recorrido. Los principales centros poblados que podemos encontrar son: Yaso, Ramo, Piedra Amarilla, Bellavista, Nuevo San José, Tambo, Huamantanga, Carhua entre otros. La principal vía de acceso lo constituye la carretera Lima – Canta, así como también caminos de herradura que interconectan los diferentes poblados. En esta subcuenca se encuentra la minicentral hidroeléctrica de Yaso.

d. **Sub-cuenca Yanacocha.**

Esta subcuenca cuenta con un área de drenaje de 60.95 Km<sup>2</sup>, un perímetro igual a 39.692 Km., se ubica entre los 2550 y 4450 msnm., la fuente hídrica lo constituye el aporte de las diferentes quebradas que se encuentran en la zona, las cuales se unen a un curso principal teniendo salida al río Chillón por la quebrada Huancho. Los centros poblados que podemos encontrar

son: Huanamayo, Tingo, Carcapata, Yanacocha. Solo cuenta con caminos de herradura.

e. **Sub-cuenca Mayru.**

Esta subcuenca cuenta con un área de 56.13 Km<sup>2</sup>, un perímetro igual a 31.056 Km, se ubica entre los 2550 y 3100 msnm., la principal fuente hídrica lo constituye el río Chillón que la recorre en una longitud de 7.491 Km, recibiendo el aporte de las diferentes quebradas durante su recorrido. Los centros poblados que podemos encontrar son: Canta, Rumichaca, San Miguel, Copo, Huacos, Quinan entre otros. Solo cuenta con caminos carrozables que comunican los diferentes poblados.

f. **Sub-cuenca Yamecoto.**

Esta subcuenca cuenta con un área de drenaje de 50.09 Km<sup>2</sup>, un perímetro igual a 35.886 Km., se ubica entre los 3050 y 4750 msnm, la fuente hídrica lo constituye el aporte de las quebradas, además de la laguna de Chahualcocha y Usurcocha que se encuentran en la zona. Los principales centros poblados que podemos encontrar son: Pilcocancho y Yamecoto. Solo cuenta con caminos de herradura.

g. **Sub-cuenca Huaypian.**

Esta subcuenca cuenta con un área de drenaje de 19.38 Km<sup>2</sup>, un perímetro igual a 23.213 Km., se ubica entre los 2550 y 3050 msnm, la principal fuente hídrica lo constituye el río Chillón que la recorre en una longitud de 4.590 Km. El principal centro poblado es Huaros, cuya principal actividad es la producción de truchas, además de dedicarse a la agricultura y a la crianza de ganado. Cuenta con una carretera principal sin asfaltar, además de caminos de herradura.

h. **Sub-cuenca Minancancho.**

Esta subcuenca cuenta con un área de drenaje de 49.83 Km<sup>2</sup>, un perímetro igual a 32.673 Km., se ubica entre los 3450 y 4750 msnm, la principal fuente

hídrica lo constituye la Laguna de Yanauya la cual se encuentra regulada, además de los aportes de las diferentes quebradas las cuales se van uniendo en un solo curso y tienen salida al río chillón en época de lluvias por la quebrada de Acocancha. Los principales centros poblados son Yanauya y Cancan. Solo cuenta con caminos de herradura.

i. **Sub-cuenca Chillón Alto.**

Esta subcuenca es una de las mas grandes, cuenta con un área de drenaje de 220.05 Km<sup>2</sup>, un perímetro igual a 72.776 Km., se ubica entre los 3450 y 4850 msnm., la principal fuente hídrica lo constituye el río Chillón que la recorre en una longitud de 25.386 Km, durante su recorrido recibe el aporte de las diferentes quebradas. En esta subcuenca se encuentran la mayor cantidad de lagunas de la cuenca, incluyendo la Laguna de Chonta que es la naciente del río principal de la cuenca, así como también las lagunas de Chuchun, Leoncocha y azulcocha. Los centros poblados que podemos encontrar son: Culhuay, Yana Huasillan, Hacienda Vieja, Oxomachay, Chonta, Chunchun entre otros. Cuenta con una carretera principal sin asfaltar, que de acceso a las principales lagunas reguladas, además de caminos carrozables que interconectan los diferentes poblados.

j. **Sub-cuenca Chacramito.**

Esta subcuenca cuenta con un área 89.23 Km<sup>2</sup>, un perímetro igual a 54.047 Km., se ubica entre los 3000 y 4700 msnm., la principal fuente hídrica lo constituye un tramo del río Arahuyay en una longitud de 19.732 Km, cabe mencionar que este recibe diferentes denominaciones durante su recorrido. Los principales centros poblados que podemos encontrar son: Yanapaccha, Chinchilcay, Totorcocha, Quisquichaca, Curcuy, Lachaqui entre otros. Cuenta con una carretera principal sin asfaltar, además de caminos de herradura.

k. **Sub-cuenca Yaurimama.**

Esta subcuenca cuenta con un área de drenaje de 40.41 Km<sup>2</sup>, un perímetro igual a 30.077 Km., se ubica entre los 3000 y 4450 msnm., la principal fuente

hídrica lo constituye el aporte de las quebradas. Los centros poblados que podemos encontrar son: Carcarín y Antahuinco. Solo cuenta con caminos de herradura.

**l. Sub-cuenca Potaca.**

Esta subcuenca cuenta con un área 13.66 Km<sup>2</sup>, un perímetro igual a 17.628 Km., se ubica entre los 2700 y 3000 msnm., la principal fuente hídrica lo constituye el río Arahúy que la recorre en una longitud de 4.258 Km. Los centros poblados que podemos encontrar son: Muccho, Potaca, Carpuhuasi, entre otros. Cuenta con una carretera sin asfaltar como vía de acceso, además de caminos de herradura.

**m. Sub-cuenca Cotabamba.**

Esta subcuenca cuenta con un área de drenaje de 33.93 Km<sup>2</sup>, un perímetro igual a 28.813 Km., se ubica entre los 2700 y 4430 msnm., la principal fuente hídrica lo constituye el aporte de las quebradas, además de las lagunas de Huicso y Tambillo las cuales se encuentran reguladas, así como también las lagunas de Yarcán y Huayhuinca que se encuentran en estado natural. Los principales centros poblados que podemos encontrar son: Sullocoto, Marco Pampa y Mal Paso. Solo cuenta con caminos de herradura.

**n. Sub-cuenca Sacayhuanca.**

Esta subcuenca cuenta con un área de drenaje de 58.95 Km<sup>2</sup>, un perímetro igual a 36.190 Km., se ubica entre los 1730 y 4350 msnm., la principal fuente hídrica lo constituye el río Arahúy que la recorre en una longitud de 9593 Km. Los centros poblados que podemos encontrar son: Arahúy, Collo, Piscobamba, Shumay entre otros. Cuenta con un camino carrozable principal que interconecta los principales poblados.

**o. Sub-cuenca Chacalla.**

Esta subcuenca cuenta con un área 46.27 Km<sup>2</sup>, un perímetro igual a 35.398 Km., se ubica entre los 1730 y 3700 msnm., la principal fuente hídrica lo constituye el aporte de las quebradas. El principal centro poblado es Pacllahuanca. Solo cuenta con caminos de herradura.

**p. Sub-cuenca Carhuane.**

Esta subcuenca cuenta con un área de 9.91 Km<sup>2</sup>, un perímetro igual a 13.573 Km., se ubica entre los 1730 y 1480 msnm., la principal fuente hídrica lo constituye el río Arahua que la recorre en una longitud de 3.346 Km. Los centros poblados que podemos encontrar son: Licahuasi, Copacabana, Quiso entre otros. Cuenta con un camino carrozable principal.

**q. Sub-cuenca Jicamarca.**

Esta subcuenca cuenta con un área de drenaje de 68.33 Km<sup>2</sup>, un perímetro igual a 39.064 Km., se ubica entre los 1480 y 3300 msnm., la principal fuente hídrica lo constituye el aporte de las quebradas. El principal centro poblado es Orobel. Solo cuenta con caminos de herradura.

**r. Sub-cuenca Posanca.**

Esta subcuenca cuenta con un área de 22.54 Km<sup>2</sup>, un perímetro igual a 22.620 Km., se ubica entre los 1150 y 1480 msnm., la principal fuente hídrica lo constituye el río Arahua que la recorre en una longitud de 5.413 Km. El principal centro poblado es Santa Rosa de Quives. Cuenta con un camino carrozable principal, además de caminos de herradura.

**s. Sub-cuenca Orobel.**

Esta subcuenca cuenta con un área 19.59 Km<sup>2</sup>, un perímetro igual a 21.738 Km., se ubica entre los 1100 y 3000 msnm. El principal centro poblado es La Cabaña. La principal vía de acceso es la carretera Lima – Canta.

t. **Sub-cuenca Río Seco.**

Esta subcuenca cuenta con un área 17.63 Km<sup>2</sup>, un perímetro igual a 19.957 Km., se ubica entre los 1000 y 2500 msnm. El principal centro poblado es Santo Toribio. La principal vía de acceso es la carretera Lima – Canta.

u. **Sub-cuenca Huerta Vieja.**

Esta subcuenca cuenta con un área de drenaje de 9.43 Km<sup>2</sup>, un perímetro igual a 14.442 Km., se ubica entre los 980 y 2200 msnm. El principal centro poblado es Huerta Vieja. La principal vía de acceso lo constituye la carretera Lima – Canta.

v. **Sub-cuenca Chillón Bajo.**

Esta subcuenca cuenta con un área de drenaje de 1126.14 Km<sup>2</sup>, un perímetro igual a 207.345 Km., se ubica entre los 0 y 1100 msnm., la principal fuente hídrica lo constituye el río Chillón que la recorre en una longitud de 58.620 Km. Los principales centros poblados que podemos mencionar son: Yangas, Macas, Huanchipuquio, Trapiche, El Olivar, Chocas, Caballero, Punchauca entre otros. La principal vía de acceso lo constituye la carretera Lima – Canta.

### **2.3.3. Parámetros geomorfológicos**

La cuenca estudiada ofrece una topografía agresiva, con variaciones altimétricas de 0 a 5,000 msnm en una distancia aproximada de 126 km. La cuenca está constituida por altas montañas, en su mayor parte desprovistas de vegetación, las que dominan los fondos de quebradas y ríos, con diferencias de altura que pueden llegar hasta los 3,000 m. En las partes altas de la cuenca húmeda existen relieves relativamente llanos, testigos de antiguas superficies de erosión, donde ha sido posible la formación de lagunas. Avanzando hacia la costa el relieve se hace más suave y los materiales acarreados por el río

forman una pequeña planicie dispuesta en las mediaciones de los cauces antiguos y modernos, en terrazas fluviales, cuyas alturas no exceden sobre el lecho del río en mas de 100 m.

En el plano costero, la vegetación se circunscribe a los cultivos que se extienden sobre los fondos de los valles.

Producto de la descripción anterior se puede concluir tres condiciones que podrían influir en el comportamiento hidrológico de la cuenca:

La alta permeabilidad de las rocas compactas precuaternarias de la cuenca húmeda permite suponer la existencia de una interrelación hidráulica subterráneas grande, la influencia climática del frente occidental andino y finalmente la existencia de una morfología regional de valles cortos, estrechos de gran pendiente y de laderas en su mayor parte desprovistas de vegetación.

En este acápite se detallan los parámetros geomorfológicos de toda la cuenca del río Chillón, así como de las subcuencas seleccionadas.

#### **a. Coeficiente de Compacidad (k).**

Se define como la relación entre el perímetro (P) de la cuenca y el perímetro de un círculo de área igual al de la cuenca. De esta relación se obtiene la

expresión:  $k = 0.28 P / (A)^{-1/2}$

El coeficiente de compacidad indica la característica de redondez de una cuenca, tal es así que los coeficientes cercanos a 1, indican una igual distribución de áreas, tanto en largo como en ancho. Respecto al rango de variación de este coeficiente, se puede decir que está en función de la forma de la cuenca y de su magnitud. Así, cuencas muy alargadas pueden dar coeficientes de compacidad mayores a 2.

En este caso, para un área de 2,353.53 km<sup>2</sup> , se tiene un k = 1.908, lo cual indica que la cuenca del Chillón es medianamente alargada.

### **b. Rectángulo Equivalente**

Resulta de comparar el perímetro de la cuenca con el perímetro de un rectángulo de área igual.

$P = 2 ( l + L )$  y  $A = ( l \times L )$  ; en donde l: ancho y L: largo

De las expresiones indicadas línea arriba se obtienen los valores correspondientes de l y L, sobre los que se puede graficar la distribución de las áreas según las cotas sobre el nivel del mar.

Los valores hallados para un área de 2,353.53 km<sup>2</sup> y un perímetro de 328.19 km, resultaron ser:

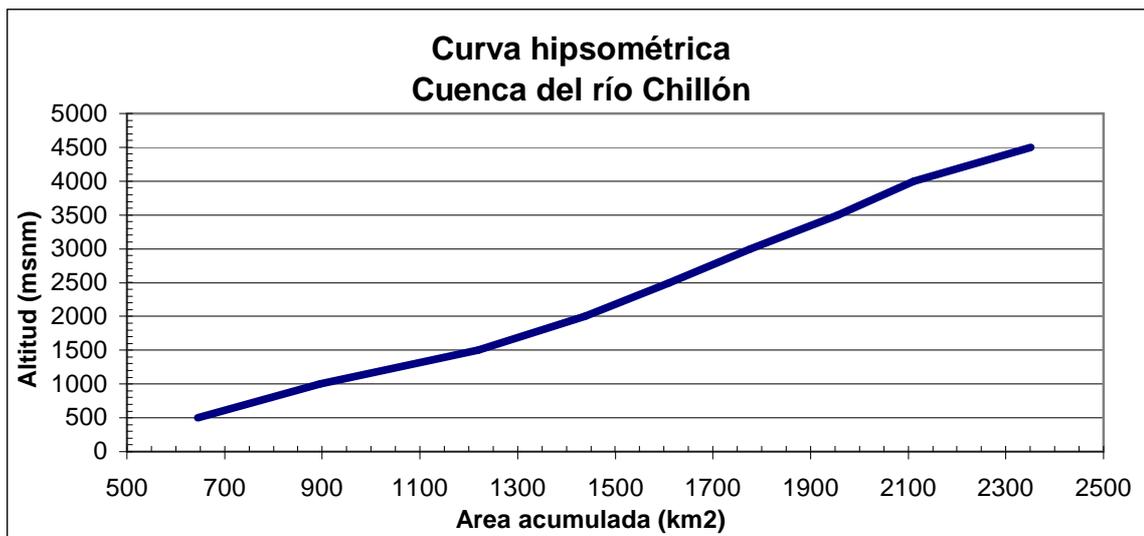
$L = 148.21$  km y  $l = 15.88$  km

Estos valores corroboran lo señalado por el coeficiente de compacidad hallado para la cuenca.

### **c. Curva Hipsométrica**

La distribución de áreas en forma progresiva sobre cada una de las cotas, empezando desde las mas baja, permite calcular la curva hipsométrica. La importancia de la curva mostrada en la figura N°01 evidencia aspectos del relieve de la cuenca, que tiene más influencia sobre su respuesta hidrológica que la forma de la misma. (Anexo Mapas - Mapa N°02 Geomorfológico).

Figura N°02



#### d. Altura más frecuente (H<sub>f</sub>)

Es la altura que se presenta con mayor frecuencia, es decir, corresponde a la mayor área distribuida dentro de dos cotas. Para el Chillón la altura más frecuente corresponde a la 4,100 msnm.

#### e. Pendiente media

La variación de la pendiente de una cuenca tiene notable importancia sobre la formación de los flujos superficiales y subterráneos.

La pendiente media está dada por el producto de la longitud total de la curva de nivel comprendida en la cuenca, por la diferencia de cotas entre las curvas de nivel, dividida entre el área total de la cuenca.

Las siguientes expresiones señalan el desarrollo de este parámetro.

$$\bar{i} = \frac{h.C_1}{S_1} \frac{S_1}{S} + \frac{h.C_2}{S_2} \frac{S_2}{S} \dots\dots \frac{h.C_n}{S_n} \frac{S_n}{S}$$

$$\bar{i} = \frac{h}{S} (C_1 + C_2 + \dots\dots + C_n) = \frac{h C}{S}$$

$$\bar{i} = \frac{h C}{S}$$

En donde:

$\bar{i}$  = Pendiente media

h = Diferencia de cotas entre 2 curvas de nivel

C = Longitud total de curva de nivel comprendida en la cuenca

S = Área total

$C_1$  = Longitud de la curva de nivel comprendida en la franja

$S_1$  = Área de la franja comprendida entre dos curvas de nivel

La pendiente media indica una característica general del relieve y puede afirmarse que para el Chillón, el valor obtenido de este parámetro es alto, en relación con otras cuencas en que los cambios de altitud se presentan a grandes intervalos, debido a que sus relieves son relativamente moderados.

El valor encontrado es de  $\bar{i} = 0.3040$ .

#### f. La altura media u ordenada media (hm)

Resulta de la sumatoria del producto de la semisuma de dos cotas, por el área comprendida entre las dos cotas divididas entre el área total de las cuencas, en forma sucesiva.

$$hm = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{hmi \cdot si}{S_T} \quad (\text{altura promedio})$$

$$hmi = \frac{h_0 + h_{0+1}}{2} \quad (\text{semisuma de 2 cotas})$$

en donde

$S_i$  = Superficie entre las dos cotas

$S_T$  = Superficie total

La altura media correspondiente al Chillón es de 2,370 m.

#### **g. Altura de frecuencia media**

Es la altura correspondiente al 50% del área total. En la figura que corresponde a la curva hipsométrica, si se ingresa en el eje de las abscisas con un valor del 50% del área, se encuentra el valor de la altura de frecuencia media. El valor hallado corresponde a 2,170 m.

Puede decirse que el valor hallado guarda cierta relación con la altura media, confirmado así la relación área - altitud semejante que existe.

#### **h. Densidad de Drenaje (Id)**

La densidad de drenaje se calcula a partir de la longitud total de la red de drenaje natural ( $L_T$ ) y el área total de la cuenca ( $A_T$ ), empleando la siguiente

expresión: 
$$Dd = \frac{L_T}{A_T}$$

Para el caso del Chillón, el valor hallado corresponde a: 0.5512 km/km<sup>2</sup>.

Podría decirse que de acuerdo con el valor indicado, que el relieve del Chillón favorece una alta retención del agua.

### **i. Frecuencia de ríos (F)**

Horton definió la frecuencia de ríos como la relación entre el número de cauces y su área correspondiente.

$$F = \frac{\sum_{i=1}^k N_i}{A_k}$$

Donde  $\sum N_i$  es la sumatoria de todos los ríos de orden 'k' y  $A_k$  el área de la cuenca de orden 'k'.

La frecuencia de ríos de 5<sup>to</sup> orden del río Chillón es de  $80/2353.53 = 0.034 \text{ km}^{-2}$

### **j. Factor de forma (FF)**

El factor de forma es la relación entre el ancho medio y la longitud del cauce principal de la cuenca. El ancho medio se obtiene dividiendo el área de la cuenca entre la longitud del cauce principal.

$$FF = \frac{B}{L} = \frac{A}{L^2}$$

Para el caso del río Chillón el factor de forma es de 0.148.

### **k. Extensión media del escurrimiento (Lm)**

Se define como la distancia media que el agua debería escurrir sobre la cuenca para llegar al cauce y se estima por la relación que existe entre el área y 04 veces la longitud de todos los cauces de la cuenca.

$$Lm = \frac{A}{4 \sum L_i} = \frac{1}{4Dd}$$

Para el caso del río Chillón, la extensión media del escurrimiento es de: 0.454 km.

### **I. Coeficiente de torrencialidad**

Se define como el cociente de la cantidad de precipitación total media areal (mm/año) y el área de recepción de dicha precipitación (km<sup>2</sup>).

Para el caso del río Chillón se puede distinguir dos coeficientes de torrencialidad, el primero para la parte húmeda de la cuenca y el segundo para toda el área de la cuenca.

El coeficiente de torrencialidad para la parte húmeda de la cuenca es de 0.573 mm/km<sup>2</sup> y para el total de la cuenca de 0.107 mm/km<sup>2</sup>.

### **m. Coeficiente de masividad**

El coeficiente de masividad se define como el cociente entre la pendiente media de la cuenca y el área de la cuenca. Para el caso de la cuenca del río Chillón el coeficiente de masividad es de:  $0.129 \cdot 10^{-3} \text{ km}^{-2}$ .

#### **n. Perfil Longitudinal**

El perfil longitudinal del río Chillón tiene una distancia total de 126.0 km y una pendiente promedio de 3.85%.

El río Chillón, en su curso superior, hasta la localidad de Canta, tiene una pendiente de 6%; en su curso medio, de la localidad de Canta a la de Santa Rosa de Quives, una pendiente de 5% y, en su curso inferior, a partir de Santa Rosa de Quives, en donde el valle empieza a abrirse, la pendiente disminuye a 2%. En este último tramo, el río Chillón forma un cono de deyección, sobre el cual se encuentra la zona agrícola más importante de la cuenca.

El río Chillón, en su recorrido, recibe el aporte de varios ríos o quebradas, siendo la más importante Olivar, Trapiche, Socos, Tararacra, Hurimayo, Huancho, Yamecoto y Acocancha, por la margen derecha, y Culebras y Arahuy, por la margen izquierda, siendo esta última la más importante de toda la cuenca.

Cuadro N°04 Características de la red hidrográfica de la cuenca del río Chillón

Nombre del Río	Extensión de la cuenca (Km <sup>2</sup> )			Longitud (Km)	pendiente (%)
	Húmeda	Seca	total		
1. Chillón	1039	1405	2444	126	3.85
a. Culebras	---	178	178	22	9.73
b. Arahuay					
c. Olivar	316	62	378	43	7.91
d. Trapiche					
e. Socos	---	74	74	14	9.29
f. Tararacra	---	42	42	17	5.18
g. Hurimayo					
h. Huancho	19	168	187	27	7.78
i. Yamecoto					
j. Acocancha	38	15	53	17	15.29
2. Chillón en Puente Magdalena	40	5	45	14	21.79
	59	---	59	17	12.35
	50	---	50	13	15.00
	48	---	48	12	12.08
	1010	231	1241	76	5.13

La clasificación de los ordenes de los ríos y ríos principales se presentan en el Anexo Mapas - Mapa N°03 Clasificación ordinal de los ríos y Mapa N°04 Ríos Principales.

El siguiente cuadro muestra las principales características geomorfológicas de cada una de la 22 subcuencas mencionadas. (Anexo Mapas - Mapa N°05 Subcuencas)

Cuadro N° 05

N°	Subcuenca	Area (Km2)	Perimetro (km)	Altitud media (msnm)	Rango altitudinal del cauce principal (m)	Longitud del cauce principal (km)	Pendiente del cauce principal (%)	Coefficiente de compacidad	Relación de Elongación
1	Cueva	68.14	35.6	1350.0	350	12.5	2.8	1.68	0.74
2	Ucañan	57.51	44.9	2950.0	2900	19.5	14.8	1.89	0.44
3	Quiruana	215.43	79.0	2000.0	1000	20.4	4.9	2.51	0.81
4	Yanacocha	60.95	39.7	3500.0	1900	13.0	14.6	1.78	0.68
5	Mayru	56.13	31.1	2825.0	550	7.5	7.3	1.57	1.13
6	Yanacoto	50.09	35.9	3900.0	1700	12.1	14.1	1.69	0.66
7	Huaypian	19.38	23.2	2800.0	500	4.6	10.9	1.36	1.08
8	Mincancancho	49.83	32.7	4100.0	1300	11.2	11.6	1.61	0.71
9	Chillon alto	220.05	72.8	4150.0	1400	25.4	5.5	2.41	0.66
10	Chacramito	89.23	54.0	3850.0	1700	19.7	8.6	2.07	0.54
11	Yaurimana	40.41	30.1	3725.0	1450	11.8	12.3	1.55	0.61
12	Potaca	13.66	17.6	2850.0	300	4.3	7.0	1.18	0.98
13	Cotabamba	33.93	28.8	3565.0	1730	10.8	16.0	1.51	0.61
14	Sacayhuanca	58.95	36.2	3040.0	2620	9.6	27.3	1.70	0.90
15	Chacalla	46.27	35.4	2715.0	1970	10.7	18.5	1.68	0.72
16	Curhuane	9.91	13.6	1605.0	250	3.3	7.5	1.04	1.06
17	Jicamarca	68.33	39.1	2390.0	1820	13.6	13.4	1.76	0.69
18	Posanca	22.54	22.6	1315.0	330	5.4	6.1	1.34	0.99
19	Orobel	19.59	21.7	2050.0	1900	8.7	22.0	1.31	0.58
20	Rio seco	17.63	20.0	1750.0	1500	6.7	22.5	1.26	0.71
21	Huerta vieja	9.43	14.4	1590.0	1220	6.3	19.4	1.07	0.55
22	Chillon bajo	1126.14	207.3	550.0	1100	58.6	1.9	4.06	0.65

### 3. ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS METEOROLÓGICOS

El clima en la cuenca del Chillón varía desde el tipo semi-cálido muy seco en la Costa al tipo polar en los nevados, considerando entre los dos límites variaciones caracterizadas por los escalones altimétricos dentro de la región. El promedio anual de temperatura del aire registrado en las estaciones cercanas al mar, es de 18.5°C y en las estaciones del interior de la cuenca 13.6°C (Canta 2,832 msnm).

A altitudes entre 3100 y 3800 msnm no se dispone de información térmica, por lo que, estadísticamente no se puede presentar ningún valor, sin embargo, en base a las observaciones ecológicas de campo y relacionadas a los valores de

temperatura de Sierra baja y Puna, así como las curvas de isotermas medias anuales generadas, se deduce que a tales alturas, la temperatura promedio anual podría ser del orden de 10°C. A alta elevación se registran temperaturas mínimas muy bajas del orden de 0°C. Para alturas entre los 3800 y 4800 msnm se cuenta con la información referencial de una estación de la cuenca vecina del río Rímac (Milloc a 4350 msnm), cuyo promedio anual es de 5°C y las temperaturas mínimas se mantienen siempre bajo el punto de congelación.

Las precipitaciones en la cuenca del río Chillón varían desde escasos milímetros en la costa árida y desértica hasta más de 800 mm en la cordillera. El sector menos lluvioso está comprendido entre el litoral y los 2200 msnm de altitud aproximadamente, con un promedio anual de lluvias que fluctúa alrededor de los 60 mm que va en claro aumento paralelamente con el alejamiento del litoral marino hacia el nivel altitudinal anotado, considerando un aumento de este promedio con el alejamiento de la costa y la progresión de la altitud.

Es conveniente notar que la franja próxima al litoral, desde el punto de vista de precipitaciones está influenciada, tanto por la condensación de las neblinas invernales de la Costa procedentes del Océano Pacífico, como por las lluvias estivales de los Andes cuando estas avancen hacia el litoral.

Entre los 2200 y 3100 msnm las lluvias registran un promedio de precipitaciones anuales de 350 mm considerando un incremento del mismo a medida que la altitud aumenta. En las cumbres más altas que delimitan la cuenca, sobre los 5000 msnm la precipitación anual alcanza el orden de los 900 mm.

### **3.1.1. Precipitación total anual**

El régimen de precipitación total anual registra un periodo de máximas que va de diciembre a marzo y un periodo de mínimas que va de abril a agosto.

Entre los mapas generados por el estudio se tiene el mapa de curvas isoyetas totales anuales cuya precipitación total media anual es de 450 mm. El Anexo Mapas (Mapa N°05 ) presenta las curvas isoyetas totales anuales.

### **3.1.2. Temperatura del aire media mensual y anual**

La temperatura promedio anual de la cuenca es de 13.6 °C. Esta temperatura promedio presenta dos épocas: en verano con 19.9 °C y en invierno, con 8.2 °C.

La temperatura es el elemento meteorológico más ligado en sus variaciones al factor altitudinal. En el caso de la cuenca del río Chillón, se aprecia que dicho elemento experimenta variaciones que van desde el tipo semi-cálido muy seco (18.0°C), en el área de la Costa, al tipo polar (0°C), en los nevados, quedando comprendida entre estos límites una gama de variaciones que caracterizan térmicamente a cada uno de los pisos altitudinales dentro de la región.

El promedio anual de temperatura de las estaciones que están cercanas al mar es de 18.5°C. Esta temperatura promedio presentan dos épocas bien marcadas durante el año. Son mayores en verano, siendo su valor más alto en el mes de Febrero (23.2°C) y menor en invierno, con su valor más bajo en los meses de Julio y Agosto (14.6°C).

En el sector altitudinal comprendido entre los 2200 y 3100 msnm, se carece de información adecuada sobre este elemento meteorológico; los registros con que se cuenta de las estaciones de Canta y Matucana permiten estimar que la temperatura promedio en este sector debe fluctuar entre 15°C en sus primeros niveles y 13°C en sus niveles más altos.

En el sector inmediato superior, y en base a las observaciones ecológicas de campo y curvas isotermas medias anuales generadas se puede asumir que en este sector se tiene una temperatura promedio anual de 10°C.

En el sector comprendido entre los 3800 y 4800 msnm, se cuenta con información referencial de sólo una estación cuyo promedio anual es de 5°C.

Finalmente, en el sector de cuenca situado por encima de los 4800 msnm, que no cuenta con datos propios, se estima de acuerdo con las observaciones ecológicas de campo un promedio anual del orden de los 2°C, manteniendo sus temperaturas mínimas ordinariamente durante todo el año con un valor por debajo de 0°C.

El estudio ha generado un mapa de curvas isotermas medias anuales. (Anexo Mapas - Mapa N°06).

### **3.1.3. Evaporación total anual**

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.

A la temperatura se debe la marcha opuesta de los regímenes de evaporación analizados, pues mientras en Lima o Lurin las mayores temperaturas ocurren entre Diciembre y Abril, en Canta y Matucana, en estos meses se registran las menores temperaturas y una fuerte humedad, lo que reduce notablemente la evaporación.

La evaporación total anual registrada en la estación Huarangal alcanza los 820.5 mm.

### **3.1.4. Humedad relativa media mensual y anual**

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.

En la Costa, la humedad relativa anual se mantiene alrededor de 94%.

El promedio de humedad relativa anual de la cuenca es de 64 %.

## **4. ANÁLISIS Y TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN PLUVIOMÉTRICA**

El análisis de la información pluviométrica realizado consistió en desarrollar los siguientes temas:

- Análisis de consistencia.
- Completación de la información de precipitación total mensual.
- Análisis de frecuencia.
- Trazo de isoyetas a persistencias del 50% y 75% respectivamente.
- Precipitación total promedio mensual al 50% y 75% de persistencia por subsectores de riego.

#### 4.1. Registros históricos

Los registros históricos de la información de precipitación total mensual utilizados se muestran en el siguiente cuadro.

Cuadro N°06

" ESTUDIO INTEGRAL DE LOS RECURSOS HIDRICOS DE LA CUENCA DEL RIO CHILLON "						
ESTACION	LONGITUD	LATITUD	ALTITUD (msnm)	PARAMETRO	PERIODO	AÑOS
INFORMACIÓN DE PRECIPITACION						
CANTA	76°37'	11°28'	2832	Precipitacion Total Mensual	1964 - 80, 86 - 02	34
HUARANGAL	77°06'	11°47'	410	Precipitacion Total Mensual	1982 - 89, 91 - 92, 94 - 02	19
ARAHUAY	76°42'	11°37'	2800	Precipitacion Total Mensual	1980 - 02	23
PARIACANCHA	76°30'	11°23'	3800	Precipitacion Total Mensual	1969 - 02	34
HUAMANTANGA	76°45'	11°30'	3392	Precipitacion Total Mensual	1981 - 02	22
LACHAQUI	76°37'	11°33'	3668	Precipitacion Total Mensual	1985, 89 - 90, 92 - 02	14
MARCA POMACOCHA	76°19'	11°24'	4479	Precipitacion Total Mensual	1969 - 77, 79 - 99, 02	31
YANTAC	76°24'	11°20'	4600	Precipitacion Total Mensual	1969 - 02	34
MILLOC	76°21'	11°34'	4398	Precipitacion Total Mensual	1986 - 02	17
SHEQUE	76°29'	11°39'	3214	Precipitacion Total Mensual	1989 - 02	14
MINA COLQUI	76°29'	11°35'	4600	Precipitacion Total Mensual	1973 - 78, 80 - 93	20
CARAMPOMA	76°30'	11°39'	3489	Precipitacion Total Mensual	1965 - 02	38
AUTISHA	76°36'	11°44'	2314	Precipitacion Total Mensual	1980 - 02	23

#### 4.2. Análisis de Consistencia

El análisis de consistencia de las series de precipitación total mensual fue realizado en base a los resultados de los análisis: Gráfico, Doble Masa y Estadístico.

##### 4.2.1. Análisis Gráfico

El análisis gráfico consistió en analizar los histogramas de precipitación total anual de cada una de las estaciones pluviométricas ubicadas en la cuenca del río Chillón y cuenca del río Rímac.

La información graficada se muestra en el siguiente cuadro.

Cuadro N° 07

Año	Precipitación total Anual (mm)												
	Estaciones pluviométricas												
	Marcapomacocha	Milloc	Yantac	Pariacancha	Mina Colqui	Lachaqui	Sheque	Huaros	Carampoma	Canta	Huamantanga	Arahuay	Autisha
1964						574.9		469.4		230.2	74.8		
1965						512		492.1		303.6	280.5		
1966						682.3		480.5	377.9	333.2	333.2		
1967						400.6		664.2	495.6	462.8	485.8		
1968						124.6		217.4	185	188.1	319.9		
1969	928.1			867.2		597.4		404.1	325.8	377.1	296.2		
1970	1117.7		961.7	844.5		523.9		439.6	400.1	462.4	392.3		
1971	951.2		780.5	667.4		448.1		408.5	468.4	405.6	294.6		
1972	988.1		911.1	836.6		838.6		505.2	526.2	559	618.3		
1973	1477.7		1054.1	1067.5	1085.6	773.6		808.8	748.8	568.1	348.7		
1974	1151		736.6	620.3		475.4		358.4	484.9	269.8	264.5		
1975	1274.2		1641.1	744.6	855.3	523.1		648.1	275.7	568.5	367.3		
1976	1460.4		960.4	589.3	665	593		448.7		421.9	329.8		
1977	1221		742	607.7	532.2	943.8		468	480.2	448.6	258.4		
1978	1600.3		837.4	529.7	577	333.7		341.4	171.3	261.6	379.4		
1979	1208.7		679.8	486.4		347.5		274.9		208.3	258		
1980	1505.3		799	732.5	707.2				295.5			232.7	
1981	1552.3		800.6	784.5							342.9	432.9	
1982	1375.8		556.7	627.2	997.9						366.2	258.8	148.9
1983	1548		559.2	632.8	722.7				243.2			372.5	
1984	1672.2		605.2	820.3	952				521.7		680.2	578.2	288.2
1985	1209.9		556.6	609.2	504.4	730.9			307.4		281.7	318.3	61
1986		916.2	476	823.9	596.3				429.3	381.5	417	374.5	
1987	1229.9	726.2	429.2	674.4	534.3				258.9	54.7	263.7	217.5	153.7
1988	897.4	782.2	577.3	782.8	610				310.6	143		308	148.9
1989	1002.8	753.3	652.2	735.4	874.7	484.9			347.7	161.3		446.8	267.6
1990		786	691.5	586.5	421.4	384.9			305.3		220.9		117.5
1991		611.3	494.2	499.5	435.4						228	194.9	140
1992		583.9	422.2	402.1	307.8	303.2	258.1		142.7	5	123.5	101.6	22.7
1993	1534.2	1016.5	637.7	874.7	763.2	593.1			363.5	122.7	517.4	362.9	258.1
1994			618.2	720.3		691.4	600.6		437.3	290.3	402.7	277.7	181.6
1995	677	1031.8	605.8	624.5		371	263.6		307.2	179.6	346.6	214.4	159
1996		726.4		635.1		540.9	369		430.8	436.6	348.9	310.7	236.4
1997	961.8	862.1	846.6	608.2		560	384.6		379.5	393.6	382.2	295.5	139.1
1998	781.3	744.3	866.1	655.7		911.5	647.7		523.3	533.9	562.8	469.7	440.2
1999	1144.5		1137.1	832.9		572.7	616		505.2	612.9	561.6	446.5	397.4
2000		1339.5	1221.8	971.1		844.3	866.7		638.8	530.6	498.4	397.6	248.5
2001		1369.6	1127.7	724		697.7	604.3		705	534.1	550.1	369.3	
2002	983.2	889.7	921.2	526.3		546.8	277.8		470.4	372.4	403.3	203.4	149.9
Promedio	1209.8	875.9	778.3	698.4	674.6	564.2	488.8	464.3	402.0	349.1	365.7	326.6	197.7
Desv.Est	274.9	232.1	262.6	144.3	214.1	188.8	206.5	147.4	144.2	164.3	132.0	111.6	106.5
Máximo	1672.2	1369.6	1641.1	1067.5	1085.6	943.8	866.7	808.8	748.8	612.9	680.2	578.2	440.2
Mínimo	677.0	583.9	422.2	402.1	307.8	124.6	258.1	217.4	142.7	5.0	74.8	101.6	22.7

Fueron identificados mediante este análisis 04 conjuntos homogéneos de estaciones pluviométricas según la tendencia que mostraron sus series temporales.

- Conjunto 01 (Tendencia decreciente): Marcapomacocha, Arahuay, Pariacancha, Yantac y Huaros.
- Conjunto 02 (Tendencia creciente) : Lachaqui, Carampoma y Huamantanga.
- Conjunto 03 (Tendencia constante) : Canta
- Conjunto 04 (Tendencia altamente creciente) : Autisha, Sheque y Milloc.

Los histogramas de precipitación total anual se muestran en el Anexo A.

#### **4.2.2. Análisis de doble masa**

El análisis de consistencia de la información de precipitación total mensual se realizó mediante el análisis de doble masa para periodos comunes de información.

Los periodos comunes y consistentes de información de precipitación total mensual por estaciones pluviométricas fueron las siguientes:

- Periodo abril 1965 a diciembre 1968 : Huaros, Canta, Carampoma
- Periodo enero 1969 a diciembre 1972 : Huaros, Canta, Pariacancha.
- Periodo enero 1973 a diciembre 1978 : Huamantanga, Huaros, Canta, Carampoma, Marcapomacocha, Pariacancha, Mina Colqui.
- Periodo enero 1981 a diciembre 1988 : Carampoma, Marcapomacocha, Pariacancha, Yantac, Autisha, Arahua.
- Periodo enero 1992 a diciembre 1993 : Canta, Marcapomacocha, Pariacancha.
- Periodo enero 1994 a noviembre 1999 : Huamantanga, Canta, Carampoma, Pariacancha, Arahua.

En el anexo A, se presentan las respectivas curvas de doble masa para cada uno de los periodos considerados.

#### **4.2.3. Análisis Estadístico**

El análisis se realizó mediante la aplicación de pruebas estadísticas de consistencia o homogeneidad del valor medio y de la variancia.

Para probar la consistencia del valor medio se utilizó la prueba T de Student y de manera similar para probar la consistencia de la variancia se utilizó la prueba F de Fisher.

Los resultados se muestran en el siguiente cuadro.

Cuadro N° 08

Estaciones pluviométricas	Periodos de Análisis		Media		Desviación Estandar	
	Periodo 01	Periodo 02	Tcalculado	Ttabla	Fcalculado	Ftabla
Marcapomacocha	Ene64-Dic84	Ene85-Dic02	2.555	1.966	2.312	1.270
Arahuay	Ene80-Dic90	Ene91-Dic02	0.615	1.966	1.139	1.328
Pariacancha	Ene69-Dic84	Ene85-Dic02	0.489	1.966	1.114	1.262
Yantac	Ene69-Dic83	Ene84-Dic02	2.161	1.966	1.555	1.265
Huaros	Ene64-Dic71	Ene72-Dic79	0.348	1.973	1.325	1.404
Lachaqui	Ene64-Dic85	Ene89-Dic02	0.307	1.967	1.075	1.286
Carampoma	Abr65-Dic83	Ene84-Dic02	0.614	1.965	1.093	1.245
Huamantanga	Ene64-Dic84	Ene85-Dic02	0.370	1.965	1.066	1.256
Canta	Ene64-Dic79	Ene86-Dic02	1.407	1.966	1.017	1.270
Autisha	Ene80-Dic90	Ene91-Dic02	1.422	1.969	1.847	1.328
Sheque	Ene89-Dic94	Ene95-Dic02	1.873	1.974	2.607	1.452
Milloc	Ene86-Dic93	Ene94-Dic02	2.219	1.972	2.295	1.393
Mina Colqui	Ene73-Dic82	Ene83-Dic93	1.873	1.969	1.336	1.352

No consistencia

Las pruebas se realizaron con 5% de nivel de significancia

El cuadro anterior muestra inconsistencia en las series de precipitación total mensual de las estaciones Marcapomacocha, Yantac, Milloc, Autisha y Sheque.

Con el fin de obtener series consistentes y teniendo en cuenta lo calculado anteriormente mediante los análisis gráfico y de doble masa, las series de las estaciones Marcapomacocha, Yantac y Autisha fueron recortadas a los siguientes periodos:

- Marcapomacocha : Enero 1973 a Diciembre 1999.
- Yactac : Enero 1981 a Diciembre 1988
- Autisha : Enero 1981 a Diciembre 1988.

Las series de las estaciones Sheque y Milloc no fueron tomadas en cuenta para los análisis posteriores de cálculo de la precipitación total areal y análisis de frecuencia respectivamente.

#### 4.2.4. Análisis de saltos y tendencias

a. Análisis de saltos

Según la literatura, los saltos son formas determinísticas transitorias que permiten a una serie periódica o no periódica pasar desde un estado a otro, como respuesta a cambios hechos por el hombre o a cambios naturales continuos en la cuenca.

El análisis de consistencia del tipo estadístico realizado en el punto 4.2.3 permitió identificar los saltos en la media y desviación estándar en las series completas de las estaciones Marcapomacocha, Yantac y Autisha.

La corrección de la información se realizó mediante las siguientes ecuaciones:

$$X'_t = \left[ \frac{X_t - \bar{X}_1}{S_1} \right] S_2 + \bar{X}_2 \quad (\text{Para corregir al primer periodo})$$

$$X'_t = \left[ \frac{X_t - \bar{X}_2}{S_2} \right] S_1 + \bar{X}_1 \quad (\text{Para corregir al segundo periodo})$$

Para cada uno de los 03 casos, la corrección de la información se realizó para el primer periodo de información.

Las series corregidas se presentan en el Anexo A.

Figura N°03

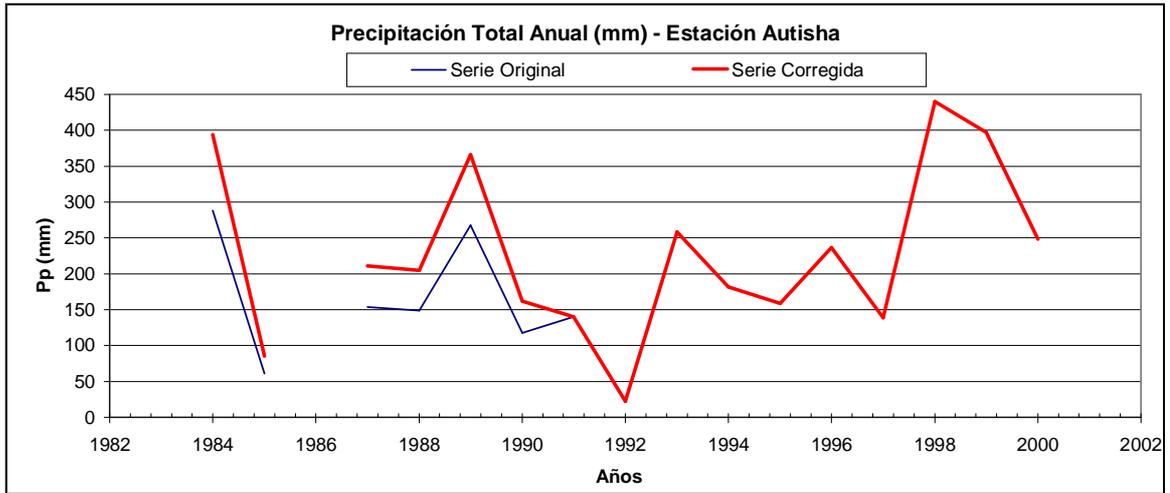
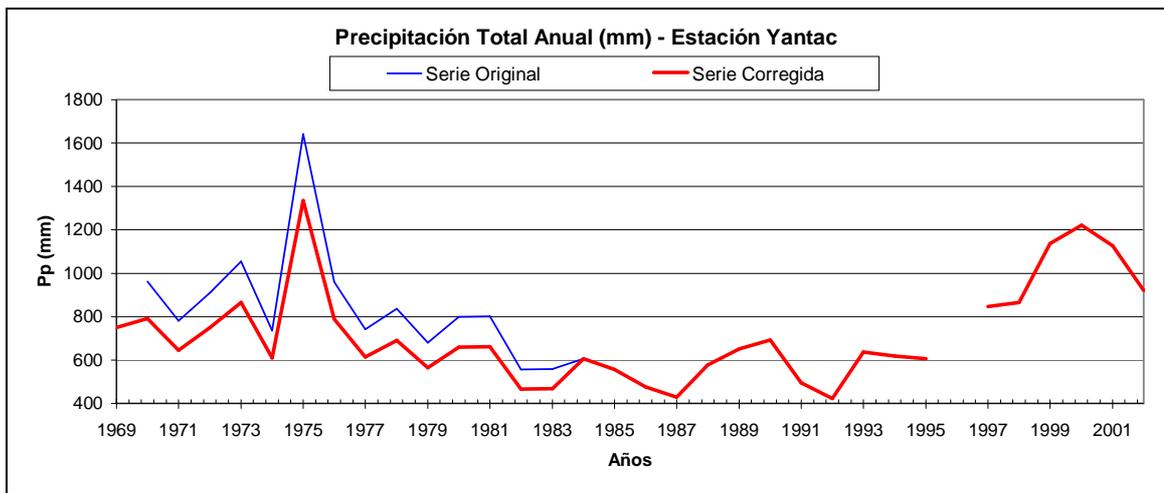


Figura N°03 (Continuación...)



b. Análisis de tendencias

No existen técnicas "automáticas" probadas para identificar componentes de tendencias en series de tiempo, sin embargo, se puede indicar que la tendencia se caracteriza por ser monótona, es decir, la serie incrementa o disminuye sus valores en el tiempo.

Es frecuente que los datos de la serie de tiempo contengan variaciones aleatorias, entonces el primer paso en el proceso de identificación de la tendencia es la suavización de la misma.

Según Box & Jenkins, 1976; Velleman & Hoaglin, 1981, el proceso de suavizar contiene siempre algunas formas de promedio local de los datos tal que el componente no sistemático de las observaciones individuales se cancelen unas a otras. La técnica más común es la técnica de los promedios móviles el cual reemplaza cada elemento de la serie por un simple o ponderado promedio de "n" elementos de alrededor, donde "n" es el rango de suavizamiento.

La mayoría de series de tiempo monótonas se aproximan de manera adecuada a una función lineal, sin embargo cuando existe un alto componente no lineal, los datos deben ser transformados para quitar la no linealidad.

En el presente caso, las series de precipitación total anual que fueron consistenciadas previamente, fueron sometidas a la técnica de los promedios móviles, para detectar la componente cíclica y se aplicó además para cada serie el modelo univariado ARMA(p,q) para generar 10 años según la tendencia encontrada, menos para las Estaciones Milloc, Sheque y Huaros con las cuales no se alcanzó convergencia en el proceso de aplicación del modelo ARMA.

Los siguientes gráficos permiten observar los datos de la serie original, la serie suavizada y la generación de algunos valores de precipitación total anual.

Figura N°04

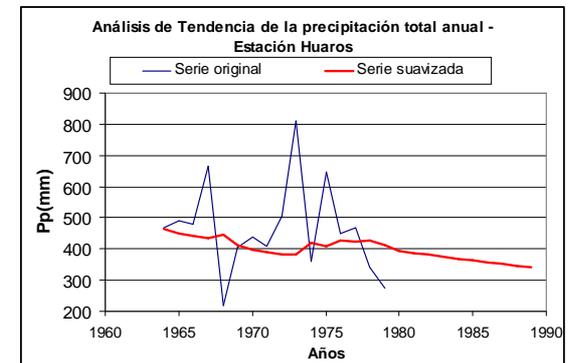
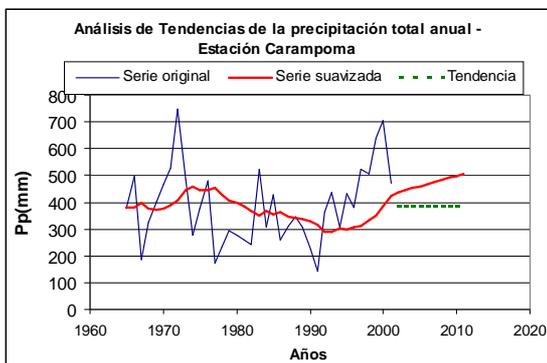
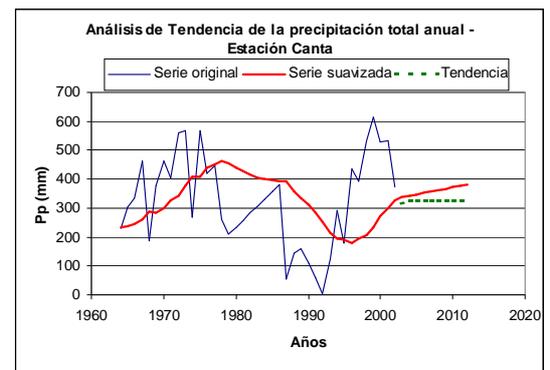
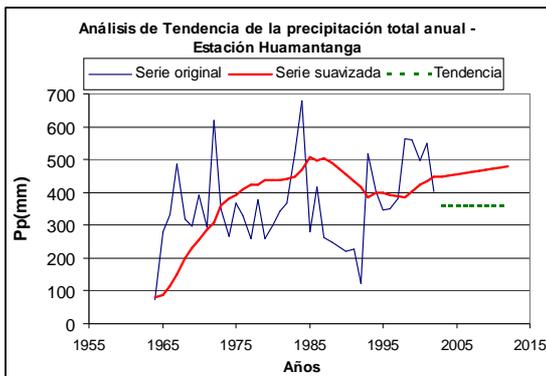
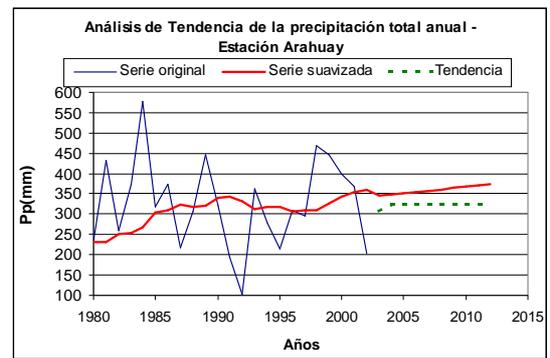
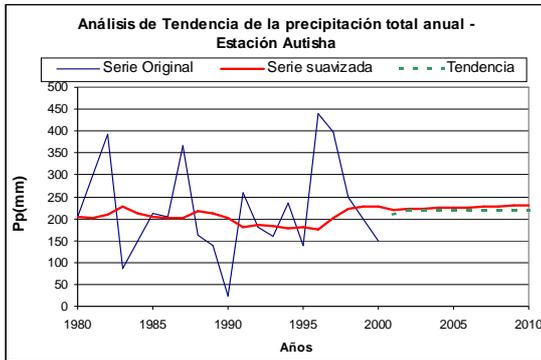
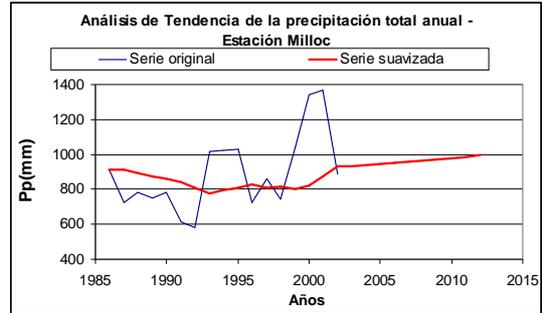
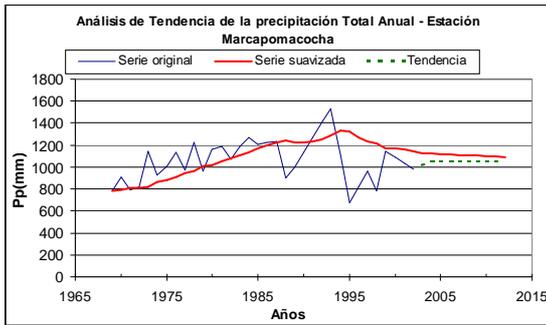
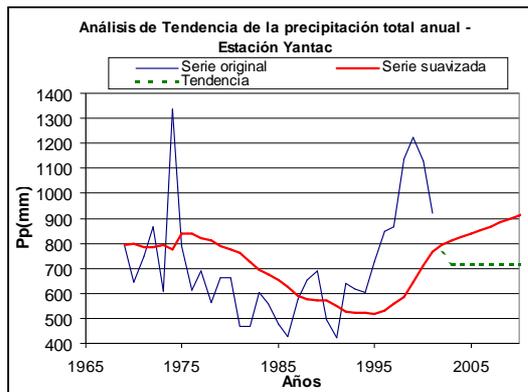
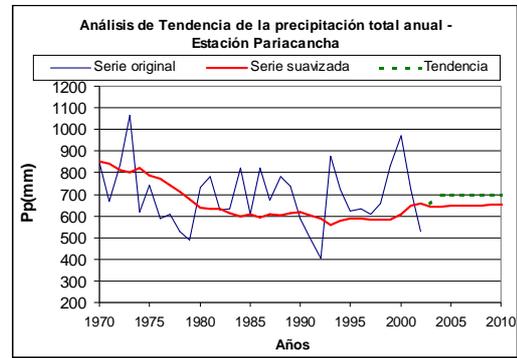
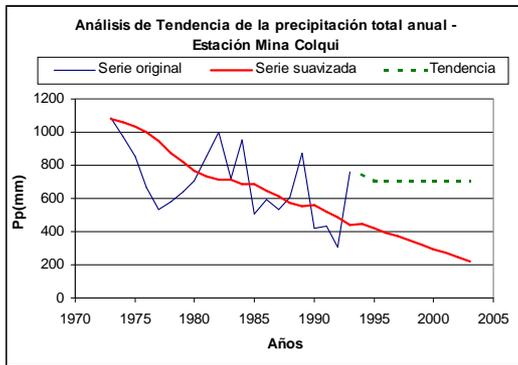
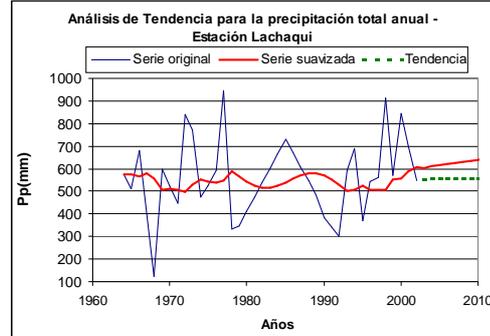
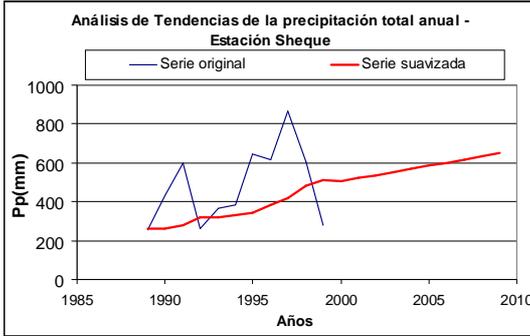


Figura N°04 (Continuación....)



### **4.3. Completación y extensión de la información pluviométrica**

Una vez obtenidas series consistentes de precipitación total mensual, se procedió a realizar la completación de la misma mediante correlación múltiple entre las estaciones consistentes y para cada periodo utilizando el programa HEC4.

La información de precipitación total mensual completa para el periodo enero 1964 a diciembre 2002 se presenta en el anexo B.

### **4.4. Análisis pluviométrico de la cuenca**

#### **4.4.1. Ecuación regional de la precipitación**

La ecuación regional de la precipitación para la cuenca del río Chillón se realizó considerando la existencia de una relación lineal entre los datos de precipitación total anual registrado en estaciones pluviométricas ubicadas en la cuenca y su altitud respectiva.

La ecuación encontrada fue:  $PP = 0.231Altitud - 284.47$

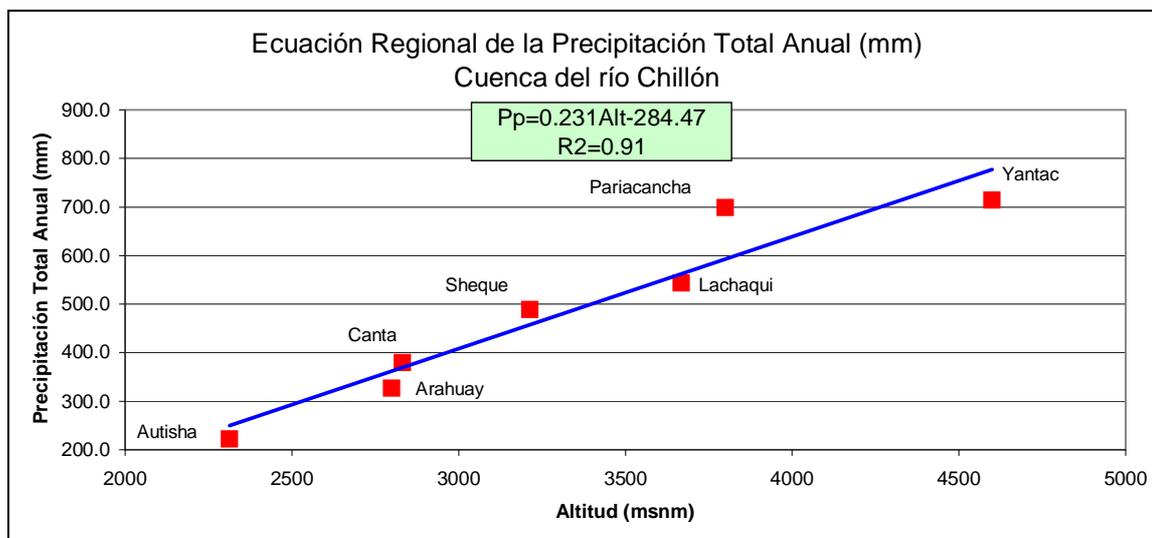
Donde

PP = Precipitación total anual (mm)

Altitud = Altitud sobre el nivel del mar (msnm)

La siguiente Figura N°05, ilustra el ajuste respectivo.

Figura N°05



#### 4.4.2. Precipitación total areal media anual de la cuenca

##### a. Método de Thiessen

Propuesto por Thiessen (1911), toma en cuenta la distribución no uniforme de los pluviómetros en el área de estudio, mediante una ponderación de cada uno de ellos. El método consiste en colocar en un 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: 
$$P = \sum \frac{A_i}{A} P_i$$

Donde

P : Precipitación total media en la cuenca (mm).

$A_i$  : Area del polígono de cada una de las estaciones  $i$  dentro de la cuenca (km<sup>2</sup>)

A : Area total de la cuenca (km<sup>2</sup>).

P<sub>i</sub> : Precipitación total anual registrada en la estación i (mm).

El cociente (A<sub>i</sub>/A) se denomina coeficiente de Thiessen.

Debe tenerse en cuenta que entre las desventajas del método de los polígonos de Thiessen se encuentra la necesidad de tener una red adecuada de estaciones pluviométricas en toda la cuenca del río Chillón, criterio que sólo se cumple en la cuenca húmeda, además de que no es recomendable en áreas con configuración escarpada como sucede en el caso de ésta cuenca ya que los coeficientes de Thiessen no reflejan de ninguna manera los efectos altitudinales. Es por lo anterior que el cálculo de la precipitación total media anual se refiere únicamente a la cuenca húmeda.

En el siguiente cuadro se muestra el cálculo de la precipitación total media en la cuenca húmeda del río Chillón.

El mapa N°12 Polígonos de Thiessen se encuentra en el anexo Mapas.

Cuadro N° 09

Estaciones	Coeficientes Thiessen	Precipitación Total Anual (mm)
Autisha	0.01	222.2
Mina Colqui	0.06	674.6
Arahuay	0.14	326.6
Huamantanga	0.09	365.7
Canta	0.32	379.3
Huaros	0.14	464.3
Pariacancha	0.12	698.4
Yantac	0.03	713.6
Marcapomacocha	0.09	1037.3
Precipitación total media de la cuenca húmeda (mm/año)		507.8

## b. Método de las isoyetas

Este método consiste en localizar en un mapa de la cuenca las estaciones pluviométricas y sus cantidades de lluvia registradas. A continuación se trazan líneas de igual cantidad de precipitación (isoyeta). La precipitación promedio sobre un área se evalúa ponderando la precipitación entre isoyetas sucesivas (comúnmente se

toma el promedio) por el área entre isoyetas, esto es: 
$$P = \sum \frac{A_i}{A} P_i$$

Donde

- P : Precipitación promedio en la cuenca (mm).
- $A_i$  : Area entre cada dos isoyetas dentro de la cuenca (km<sup>2</sup>).
- A : Area total de la cuenca (km<sup>2</sup>)
- $P_i$  : Precipitación media entre cada dos isoyetas, por lo general se toma el valor medio entre ellas (mm).

En comparación con el método de los polígonos de Thiessen, el método de las isoyetas tiene las siguientes ventajas:

- Los efectos orográficos son tomados en cuenta.
- Permite realizar una evaluación visual de la extensión y distribución de la precipitación.
- Los pluviómetros localizados a corta distancia de la cuenca pueden ser utilizados.
- Es adaptable para uso en grandes cuencas con red pluviométrica dispersa.

Por lo anteriormente expuesto, el método de las isoyetas permitió calcular una precipitación total media sobre toda la cuenca del río Chillón de 252.3 mm/año. Los cálculos se muestran en el siguiente cuadro. (Ver Anexo Mapas, Mapa N°11 Precipitación total areal anual).

Cuadro N° 10

Rango de Isoyeta (mm)	Isoyeta media (mm)	Area (km <sup>2</sup> )
0.0 a 100.0	50.0	527.25
100.0 a 200.0	150.0	566.03
200.0 a 300.0	250.0	455.71
300.0 a 400.0	350.0	459.69
400.0 a 500.0	450.0	100.4
500.0 a 600.0	550.0	62.68
600.0 a 700.0	650.0	98.81
700.0 a 800.0	750.0	66.85
800.0 a 900.0	850.0	16.11
Precipitación total media de toda la cuenca (mm)		252.3

Por otra parte y debido a que gran parte del área agrícola de los sectores de riego ubicados en la parte alta de la cuenca como son: Canta (Subsectores: Alto Andino Chillón, San Buenaventura y Canta), Huamantanga (Subsector: Huamantanga) y Arahua (Subsectores: Lachaqui, Chillón medio y Arahua), no tienen infraestructura de riego, resultará sumamente importante para la ATDR Chillón - Rímac - Lurín, el conocer la cantidad de precipitación total mensual a niveles de persistencia del 50% y 75% sobre dicha zona con el fin de determinar la cantidad de riego complementario necesario para dichas áreas agrícolas actualmente regadas bajo secano.

Los mapas de precipitación total media areal y los de isoyetas de precipitación total mensual para niveles de persistencia del 50% y 75%, se presentan en el Anexo -Mapas.

Los siguientes Cuadros N°11 y N°12, muestra la precipitación total promedio mensual al 50% y 75% sobre los subsectores de riego antes mencionados de la parte alta de la cuenca.

Cuadro N°11

Precipitación total mensual sobre algunos subsectores de riego para una persistencia de ocurrencia del 50% (En mm/mes ó litros/mes)												
Subsectores de Riego	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Alto Andino Chillón	100.0	110.0	120.0	45.0	10.0	1.0	2.0	6.0	20.0	35.0	30.0	70.0
San Buenaventura	70.0	100.0	100.0	25.0	2.0	0.0	0.5	1.0	5.0	10.0	15.0	35.0
Canta	70.0	100.0	105.0	30.0	2.0	0.0	0.5	1.0	5.0	15.0	15.0	40.0
Lachaqui	60.0	90.0	90.0	25.0	1.0	0.0	0.0	0.5	3.0	10.0	10.0	30.0
Macas	0.0	70.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Huamantanga	0.0	90.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Chillón Medio	0.0	85.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Arahua	0.0	70.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Cuadro N°12

Precipitación total mensual sobre algunos subsectores de riego para una persistencia de ocurrencia del 75% (En mm/mes ó litros/mes)												
Subsectores de Riego	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Alto Andino Chillón	70.0	80.0	100.0	30.0	6.0	0.6	0.6	2.0	15.0	25.0	20.0	45.0
San Buenaventura	38.0	55.0	68.0	15.0	1.0	0.1	0.2	0.5	10.0	2.0	3.0	15.0
Canta	45.0	55.0	70.0	15.0	1.0	0.1	0.1	0.5	5.0	5.0	7.0	20.0
Lachaqui	40.0	50.0	60.0	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	5.0	15.0
Macas	30.0	30.0	35.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.0
Huamantanga	35.0	40.0	50.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0
Chillón Medío	35.0	40.0	50.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0
Arahuay	30.0	35.0	40.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0

#### 4.4.3. Análisis de Frecuencia de la precipitación total mensual

Una vez determinada la consistencia de la información, se realizó el análisis de frecuencia de ocurrencias ajustándose a la distribución teórica normal, con el objeto de calcular la precipitación total mensual a niveles de persistencia del 50% y 75%.

La utilidad de éste análisis es calcular la disponibilidad hídrica de las zonas involucradas en los sectores de riego bajo seco.

Los cuadros N°13 y N°14, presentan la precipitación total mensual para persistencia de ocurrencia del 50% y 75% respectivamente.

Cuadro N°13

Precipitación total mensual para una persistencia de ocurrencia del 50%													
Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Marcapomacocha	193.3	191.9	198.6	85.0	27.1	13.6	7.7	18.9	60.4	85.1	81.8	127.6	1091.0
Canta	57.5	97.1	97.5	21.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	9.3	9.6	26.7	319.0
Pariacancha	123.5	141.8	131.2	51.6	13.3	0.4	2.0	5.9	25.8	48.3	45.7	90.3	679.8
Yantac	105.4	121.9	110.1	51.6	23.5	9.8	10.1	20.6	42.8	58.3	64.2	67.1	685.4
Arahuay	62.1	80.9	83.2	23.6	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	4.5	5.2	18.6	278.3
Huamantanga	64.8	95.0	107.7	20.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	5.7	3.8	29.7	327.3
Autisha	31.5	34.4	48.9	14.3	0.8	0.0	0.0	0.0	0.3	4.7	3.8	16.0	154.7
Carampoma	77.2	91.9	87.3	25.1	0.0	0.0	0.0	0.0	5.6	12.8	17.1	48.1	365.1
Huaros	63.2	65.7	86.7	39.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.5	12.5	8.0	51.5	327.7

## Cuadro N°14

Precipitación total mensual para una persistencia de ocurrencia del 75%

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Marcapomacocha	128.2	130.2	135.6	63.4	8.5	3.6	1.1	6.9	44.7	58.1	54.1	93.5	727.7
Canta	31.5	40.4	64.7	9.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.6	15.8	166.8
Pariacancha	101.5	101.3	119.3	33.1	7.5	0.0	0.5	1.5	15.5	26.2	35.1	57.7	499.1
Yantac	77.8	84.4	95.9	42.4	11.5	2.8	3.4	9.4	26.8	34.4	39.6	41.3	469.3
Arahuay	35.6	55.8	48.9	10.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	0.9	6.4	159.2
Huamantanga	37.6	59.1	76.1	9.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	9.5	191.4
Autisha	10.5	16.6	27.8	5.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	1.7	4.6	68.2
Carampoma	44.5	54.7	56.4	5.9	0.0	0.0	0.0	0.0	2.1	4.0	5.4	23.6	196.5
Huaros	31.3	42.3	42.9	22.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.6	0.7	21.0	164.6

### 4.4.4. Propuesta para la instalación de estaciones meteorológicas

Según lo analizado en el estudio, a manera de propuesta se puede indicar que previamente a la instalación de nuevas estaciones meteorológicas, se deben implementar las existentes.

Existe escasez de información referente a la evaporación en la mayoría de estaciones meteorológicas, así como de humedad relativa y velocidad del viento.

Asimismo no se tiene registros de tormentas, por lo que no se dispone de información de la intensidad, duración y frecuencia de las mismas, necesaria para estudios de máximas avenidas y vulnerabilidad de cuencas.

Sería conveniente ubicar estaciones meteorológicas cercanas a las principales lagunas reguladas (Chuchón, Leoncocha y Azulcocha) con el objeto de tener mayor certeza en el balance hídrico de las mismas.

## 5. ANÁLISIS Y TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN HIDROMÉTRICA

### 5.1. Registros históricos

Los registros históricos de las descargas medias mensuales del río Chillón provienen de 03 estaciones hidrométricas: Obrajillo, Puente Magdalena y Pariacancha.

La ubicación y características de las series analizadas se muestran en el siguiente cuadro.

En el anexo C, se presentan los registros históricos de las 03 estaciones hidrométricas seleccionadas.

Cuadro N°15

" ESTUDIO INTEGRAL DE LOS RECURSOS HIDRICOS DE LA CUENCA DEL RIO CHILLÓN "						
ESTACION	LONGITUD	LATITUD	ALTITUD (msnm)	PARAMETRO	PERIODO	AÑOS
INFORMACIÓN HIDROMÉTRICA						
OBRAJILLO	76°37'	11°27'	2700	Caudales Medios Mensuales	1969 - 1983, 1997 - 2001	20
PUENTE MAGDALENA	76°50'	11°41'	1200	Caudales Medios Mensuales	1948 - 1983	36
PARIACANCHA	76°31'	11°24'	3800	Caudales Medios Mensuales	1969 - 1978	10

### 5.1.1. Descripción de las estaciones hidrométricas

El río Chillón cuenta actualmente con 03 estaciones de aforo en funcionamiento convenientemente acondicionadas para medir el caudal del río: Obrajillo, Puente Magdalena y Pariacancha; de las cuales, las 02 primeras son limnigráficas.

Para los fines del presente estudio se han utilizado registros de las 03 estaciones nombradas.

#### a. Estación Obrajillo

La estación hidrométrica Obrajillo se ubica en la parte media del río Chillón en las siguientes coordenadas:

Longitud : 76° 38'

Latitud : 11° 27'

Altitud : 2,440 msnm

La sección de control muestra que la margen derecha como izquierda presentan una composición rocosa similar formada por material arcilloso con intercalaciones de cantos rodados, cuenta además con una vegetación

propia de su altitud; el cauce del río presenta una forma bastante regular de “U” alargada, el cual contiene cantos rodados con relleno de material suelto arenoso – gravoso. Su talweg se ubica hacia su margen izquierda, sus taludes en ambas márgenes son moderadas. La hidráulica de la sección es bastante uniforme, con características de flujo crítico, ofreciendo moderadas velocidades lo que permite un mejor manejo hidráulico.

La estación hidrométrica cuenta con una infraestructura hidrométrica compuesta por un limnómetro de 2 m en su margen derecha, por otro lado en la margen izquierda, presenta un limnógrafo operativo, además cuenta con dispositivos necesarios para el aforo por suspensión conformado por un cable de 18 mm de diámetro del cual se suspende un carro huaro que tiene sus torres ancladas en concreto.

#### **b. Estación Puente Magdalena**

La estación hidrométrica Puente Magdalena se ubica en la parte baja del río Chillón en las siguientes coordenadas:

Longitud : 76° 51’

Latitud : 11° 42’

Altitud : 950 msnm

#### **c. Estación Pariacancha**

La estación hidrométrica Pariacancha se ubica en la parte alta del río Chillón en las siguientes coordenadas:

Longitud : 76° 31’

Latitud: 11° 23’

Altitud: 3,800 msnm

La sección de control muestra que su margen derecha e izquierda guardan una composición similar de material arcilloso.

Presenta una vegetación propia de su altitud, además, se aprecia en su parte alta afloramientos rocosos que en muchos casos han llegado al cauce del río, el mismo que presenta forma de “U”, encontrándose su talweg a 2.8 m de la margen derecha. El lecho del río está conformado por este tipo de material con un relleno de material arcilloso; el talud de la margen derecha es vertical, reforzada por la estructura de concreto que soporta el limnómetro mientras que el talud de la margen izquierda presenta una inclinación que se pronuncia mas al aproximarse a su talweg.

La hidráulica de la sección es uniforme con características de flujo subcrítico debido a sus valores altos de calado y baja velocidad teniendo una pendiente muy pequeña, de valores menores del 1%.

La estación hidrométrica cuenta con una infraestructura hidráulica la cual se ubica en la margen derecha y en el eje de la sección de control; consta de un limnómetro de 3 metros.

## **5.2. Análisis de Consistencia**

El análisis de consistencia de las series de caudales medios mensuales fue realizado en base a los resultados de los análisis: Gráfico, Doble Masa y Estadístico.

### **5.2.1. Análisis Gráfico**

El análisis gráfico consistió en probar la existencia de correlación lineal en un rango de confiabilidad del 95% entre los volúmenes totales de escorrentía anuales de las estaciones hidrométricas: Pariacancha, Obrajillo y Puente Magdalena.

Las siguientes figuras muestran gráficamente la suficiente correlación lineal encontrada entre las estaciones hidrométricas.

Figura N°06 Correlación lineal entre información hidrométrica de Obrajillo y

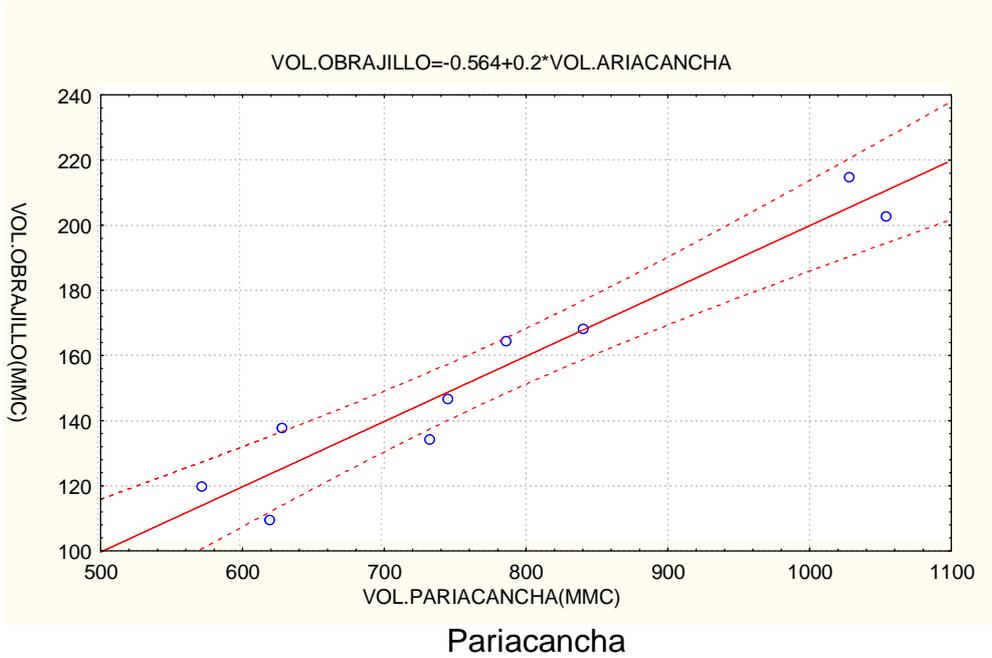


Figura N°07 Correlación lineal entre información hidrométrica de Puente  
Magdalena y Pariacancha

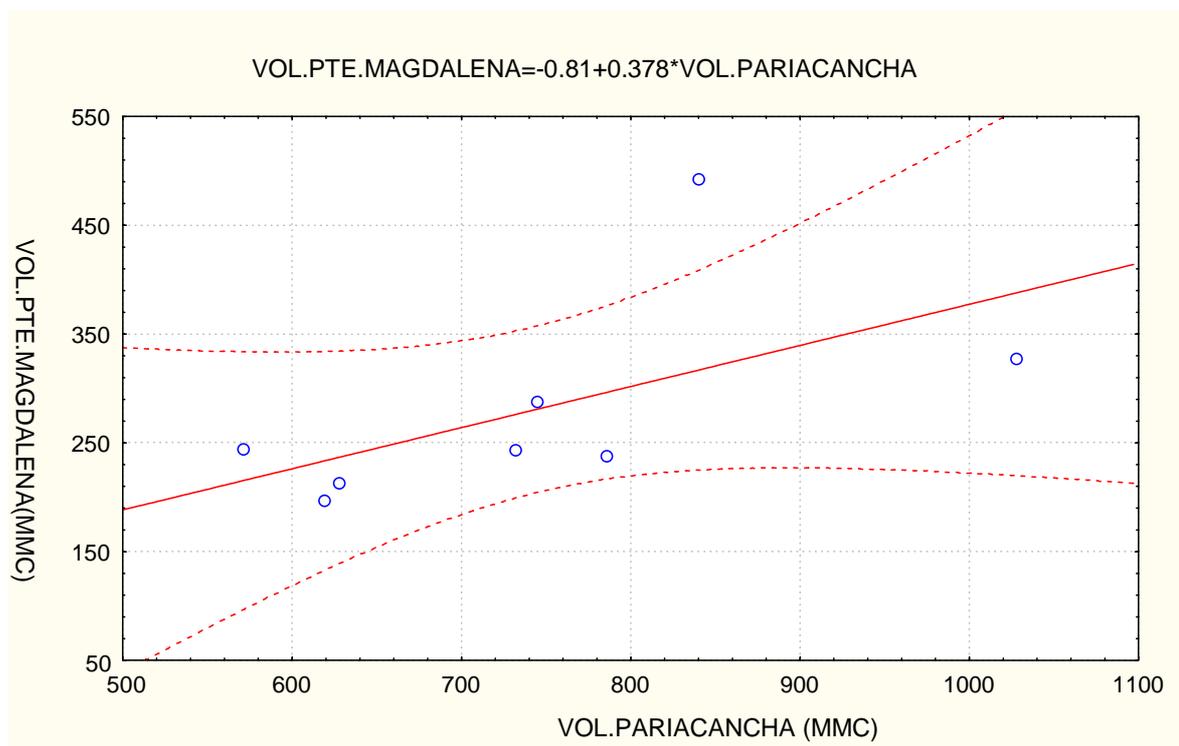
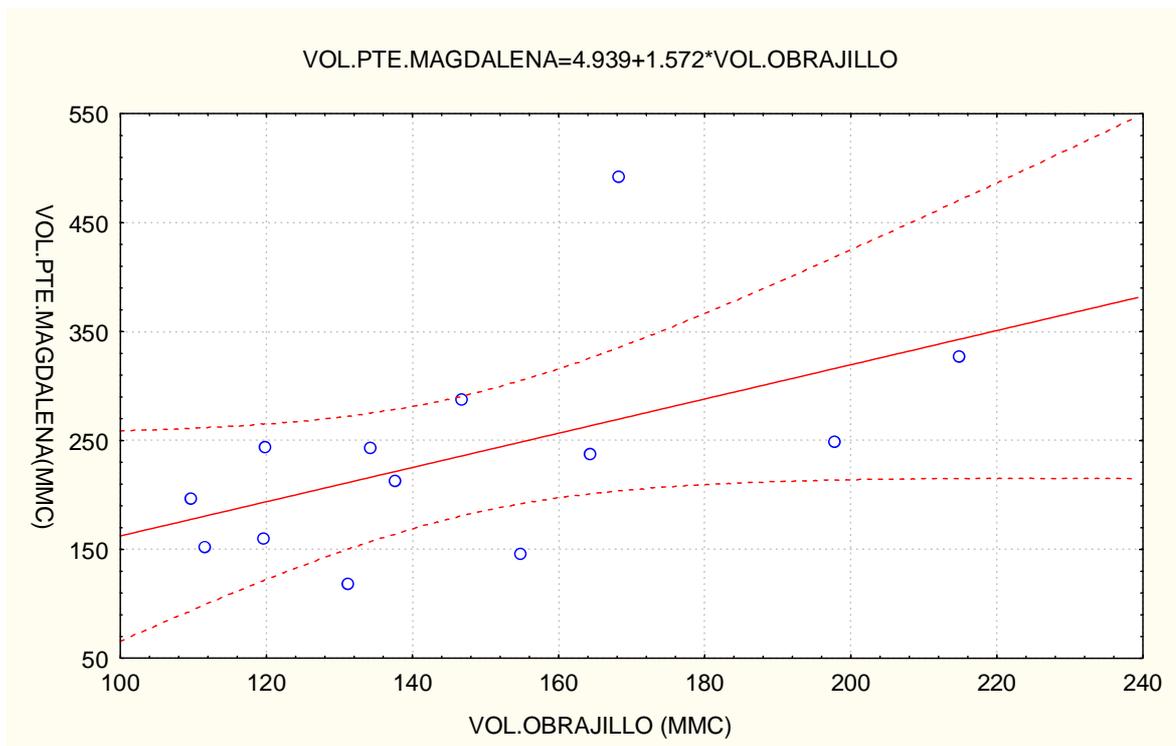


Figura N°08 Correlación lineal entre información hidrométrica de Puente



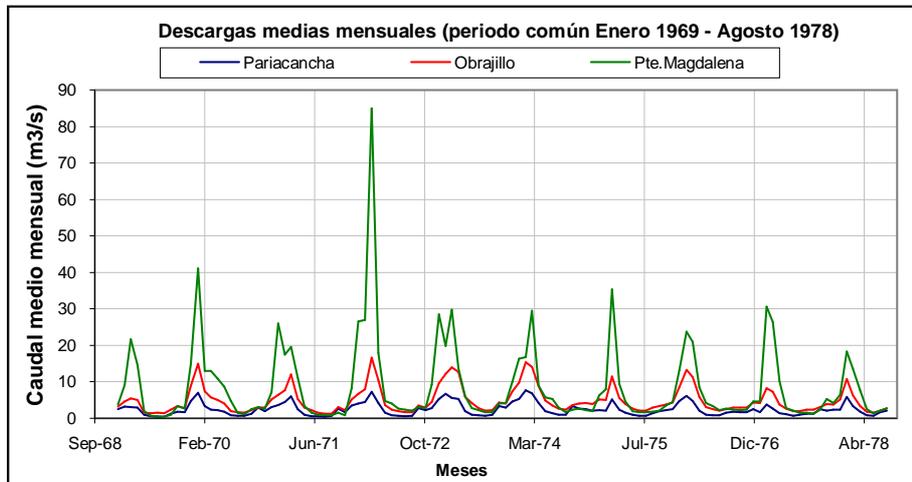
Magdalena y Obrajillo.

### 5.2.2. Análisis de doble masa

Con el objeto de realizar el análisis de consistencia mediante el método de doble masa de las descargas medias mensuales registradas en las estaciones Pariacancha, Obrajillo y Pte. Magdalena, se fijó el periodo común de registros desde Enero de 1969 a Agosto de 1978.

Los histogramas de cada estación se muestran en la siguiente Figura N°09.

Figura N°09

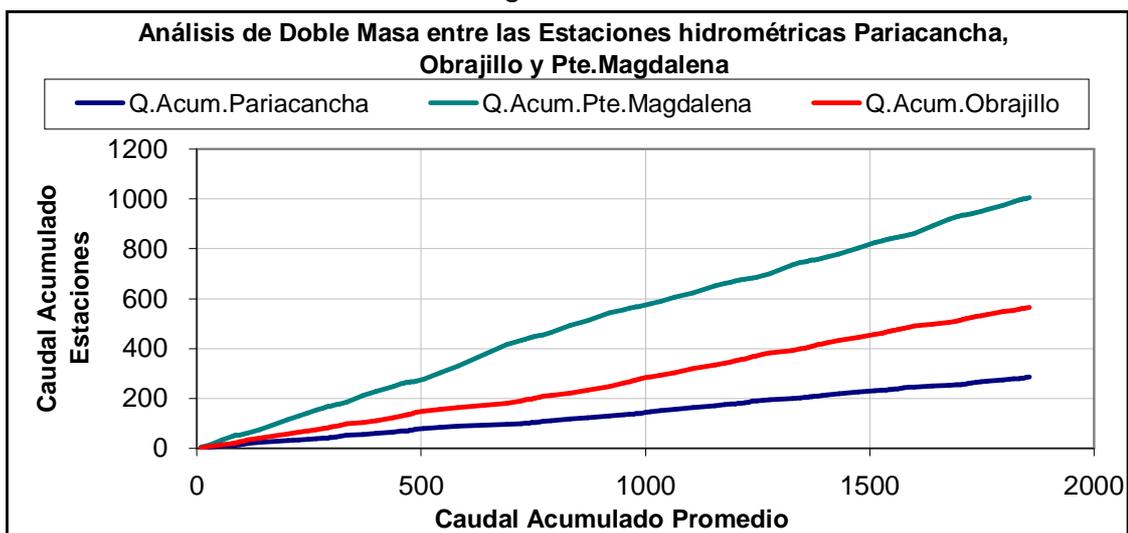


Para analizar la consistencia de la anterior información hidrométrica, se utilizó la técnica de doble masa.

En ella se puede apreciar que las estaciones tienen un mismo patrón de comportamiento, por lo tanto son consistentes en el periodo analizado.

La siguiente Figura N°10, muestra el gráfico de doble masa respectivo.

Figura N°10



### 5.2.3. Análisis estadístico

El análisis estadístico se basó en la aplicación de las pruebas estadísticas de consistencia o homogeneidad del valor medio y de la variancia.

Para probar la consistencia del valor medio se utilizó la prueba T de Student y de manera similar para probar la consistencia de la variancia se utilizó la prueba F de Fisher.

Los resultados se muestran en el siguiente cuadro.

Cuadro N°16 Análisis estadístico de consistencia de la información hidrométrica

Estaciones hidrométricas	Periodos de Análisis		Media		Desviación Estandar	
	Periodo 01	Periodo 02	Tcalculado	Ttabla	Fcalculado	Ftabla
Pariacancha	Oct68-Dic73	Ene74-Dic78	0.315	1.980	1.174	1.549
Pte.Magdalena	Oct48-Dic66	Ene67-Dic83	2.358	1.966	1.789	1.256
Obrajillo	Ene69-Dic79	Ene80-Dic01	0.290	1.970	1.454	1.361

No consistencia

Las pruebas se realizaron con 5% de nivel de significancia

El cuadro anterior muestra inconsistencia en el valor medio y variancia en la serie de caudales medios mensuales de la Estación Puente Magdalena e inconsistencia en la variancia en la Estación Obrajillo.

Con el fin de obtener series consistentes y teniendo en cuenta lo encontrado anteriormente mediante los análisis gráfico y de doble masa, las series de las estaciones Puente Magdalena y Obrajillo fueron recortadas al periodo: Enero 1969 a Agosto 1978.

### 5.2.4. Análisis de saltos

Como fue mencionado en el tema del análisis de saltos de series de precipitación total anual, los saltos son formas determinísticas transitorias que permiten a una serie periódica o no periódica pasar desde un estado a otro, como respuesta a cambios hechos por el hombre o a cambios naturales continuos en la cuenca.

En este caso el análisis de consistencia del tipo estadístico realizado anteriormente permitió identificar saltos en la media y variancia en la serie de la estación Puente Magdalena, así como en la variancia de los datos de la estación Obrajillo.

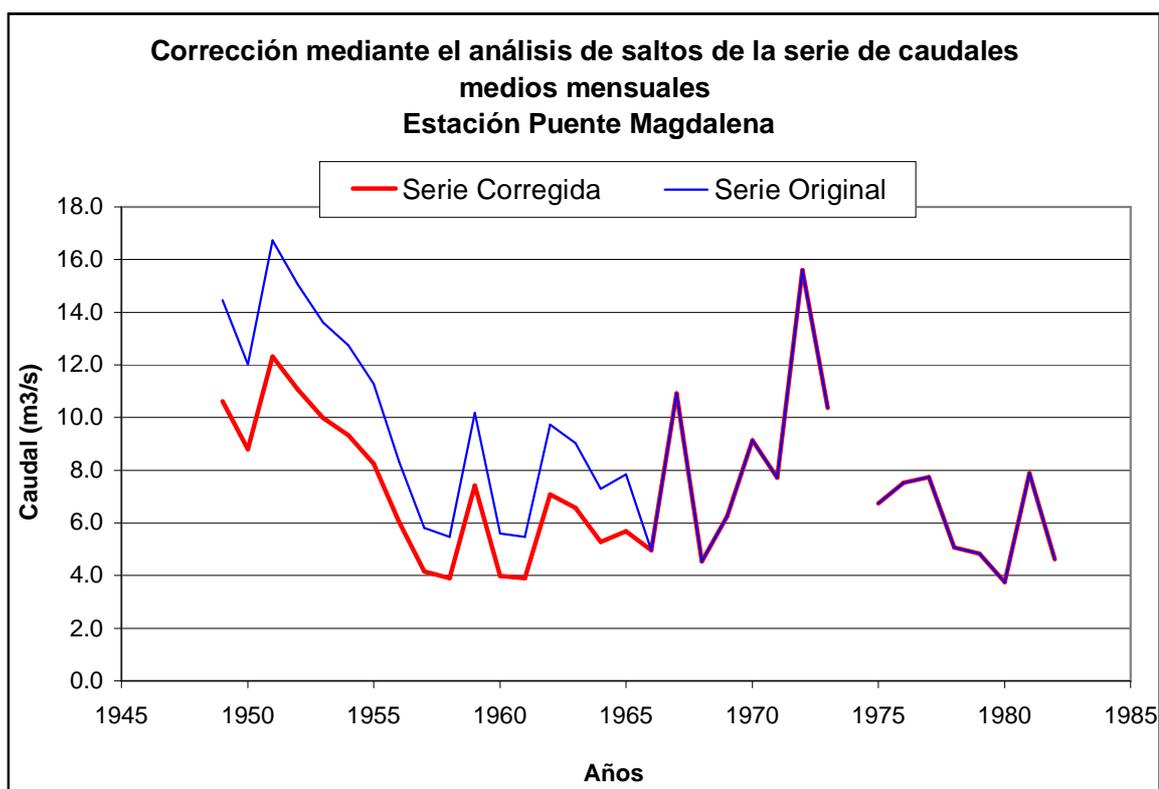
La corrección de la información se realizó mediante las siguientes ecuaciones:

$$X'_t = \left[ \frac{X_t - \bar{X}_1}{S_1} \right] S_2 + \bar{X}_2 \quad (\text{Para corregir al primer periodo})$$

$$X'_t = \left[ \frac{X_t - \bar{X}_2}{S_2} \right] S_1 + \bar{X}_1 \quad (\text{Para corregir al segundo periodo})$$

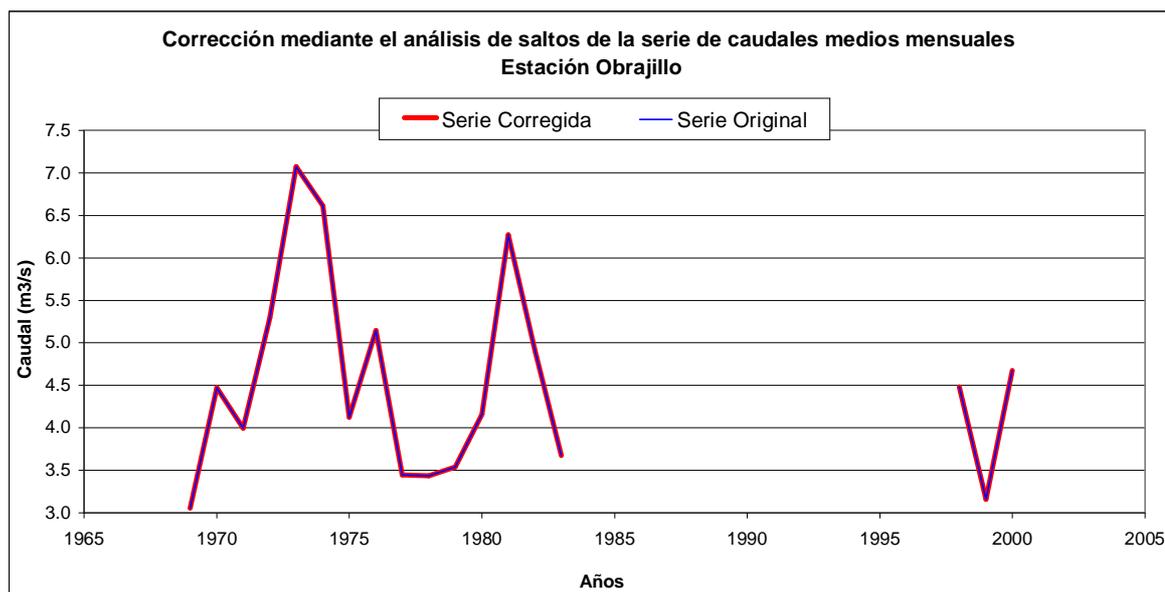
Para cada caso, la corrección de la información se realizó para el primer periodo de información. Las siguientes figuras muestran la corrección de las series respectivas. Las series corregidas se presentan en el Anexo B.

Figura N°11



La corrección de la serie de caudales medios mensuales de la estación Obrajillo, parece insignificante según la siguiente figura.

Figura N°12



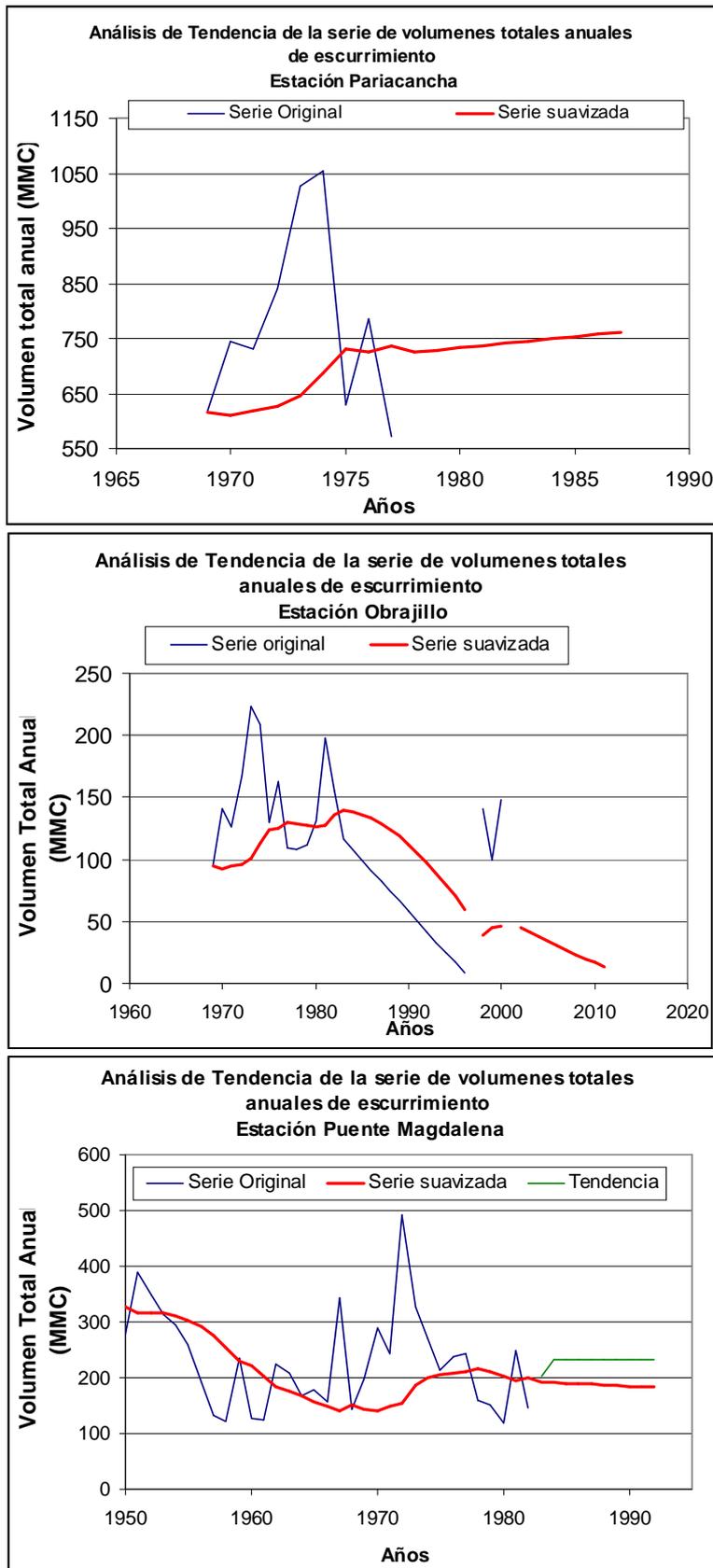
### 5.2.5. Análisis de tendencias

Como fue indicado en el análisis de tendencias de las series de precipitación total anual, es frecuente que los datos de la serie temporal contengan variaciones aleatorias, entonces el primer paso en el proceso de identificación de la tendencia es la suavización de la misma.

En el presente caso, las series de precipitación total anual que fueron consistenciadas previamente, fueron sometidas a la técnica de los promedios móviles, para detectar la componente cíclica y se aplicó sólo para la Estación Puente Magdalena el modelo univariado ARMA(p,q) para generar 10 años según la tendencia encontrada. No fue posible hacer converger el modelo ARMA para los datos de las Estaciones Pariacancha y Obrajillo.

Los siguientes gráficos permiten observar los datos de la serie original, la serie suavizada y la generación de algunos valores de precipitación total anual.

Figura N°13



### 5.3. Restitución de caudales a régimen natural

La restitución de las series de caudales medios mensuales a régimen natural se realizó para cada una de las estaciones hidrométricas de la siguiente manera:

#### a. Estación Pariacancha

En vista que en la época de lluvias, el efecto de regulación de la cuenca es mínimo, se consideró durante los meses de enero a marzo en el periodo de registro: Enero 1969 a Agosto 1978, el cálculo del coeficiente de escurrimiento sobre el área de contribución de esorrentía a la Estación hidrométrica Pariacancha mediante la comparación entre el volumen precipitado sobre dicha área y el volumen de esorrentía registrado en dicha estación.

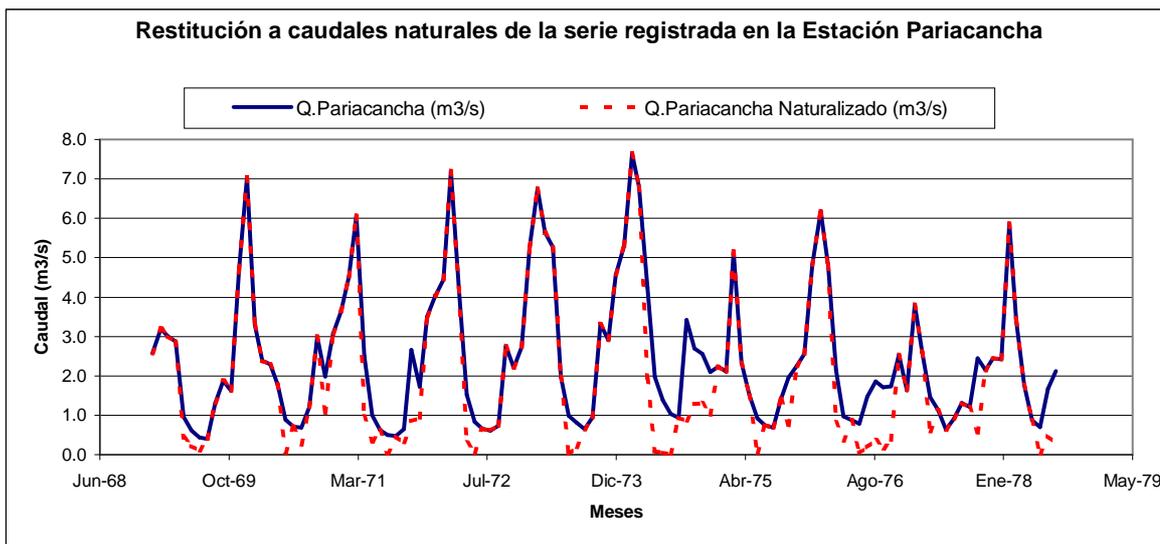
El coeficiente de escurrimiento a un percentil del 50% fue estimado en 0.552 y se asumió el mismo para los demás meses del año.

Cuadro N°17 Mediana de los valores del coeficiente de escurrimiento

Años	Ene	Feb	Mar
1969	0.560	0.413	0.328
1970	0.469	0.632	0.474
1971	0.581	0.469	0.616
1972	0.470	0.462	0.588
1973	0.437	0.769	0.676
1974	0.782	0.746	0.971
1975	0.309	0.215	0.556
1976	0.522	0.598	0.690
1977	0.364	0.353	0.548
1978	0.452	0.667	0.679
Coeficiente de Escurrimiento	0.552		

La siguiente figura muestra las series registrada y restituida a régimen natural en la Estación Pariacancha.

Figura N°14



El siguiente cuadro contiene algunos descriptores estadísticos de las series antes mencionadas.

Cuadro N°18

Descriptores estadísticos de las series registrada y naturalizada				
Estación Pariacancha				
Serie	Caudal medio (m3/s)	Caudal mínimo (m3/s)	Caudal máximo (m3/s)	Desviación Estándar (m3/s)
Serie registrada	2.459	0.400	7.641	1.741
Serie naturalizada	2.093	0.010	7.641	1.945

En resumen, teniendo en cuenta la diferencia entre los caudales mínimos mensuales respectivos indicados en el cuadro anterior se puede afirmar que el aporte regulado anual producto de lo almacenado en las lagunas al nivel de la Estación Pariacancha es de 0.390 m3/s ó 12.3 MMC.

En el Anexo C, se presenta el detalle de la serie de caudales medios mensuales restituidos a régimen natural.

b. Estación Obrajillo

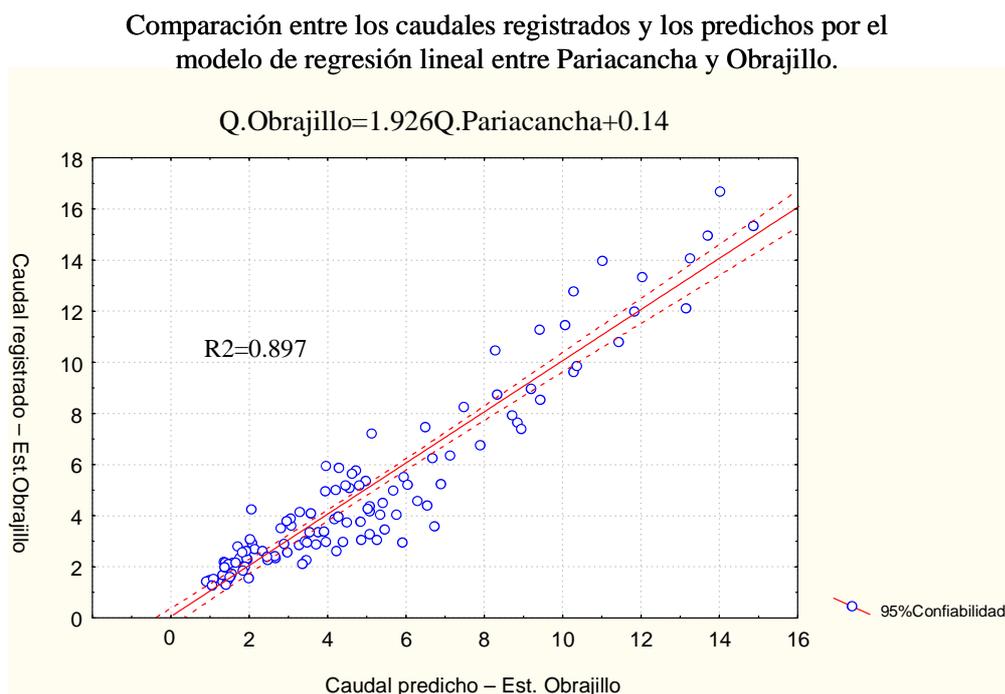
La restitución de la serie de caudales medios mensuales a régimen natural de la Estación Obrajillo, se fundamentó en la buena correlación lineal existente con la serie de caudales medios mensuales de la Estación Pariacancha para el periodo Enero 1969 a Agosto 1978, debido principalmente a la cercanía entre ambas estaciones.

El modelo obtenido por regresión lineal fue:

$$Q.\text{Obrajillo} = 1.926 Q.\text{Pariacancha} + 0.14, \text{ con un } r^2=0.897$$

La siguiente figura muestra la comparación entre los caudales registrados y los predichos mediante la ecuación lineal anteriormente indicada.

Figura N°15



Luego entonces, haciendo uso de la ecuación de regresión anteriormente encontrada con los caudales naturalizados de la Estación Pariacancha se

realiza la restitución de los caudales medios mensuales a régimen natural de la Estación Obrajillo.

En el siguiente cuadro se presentan los principales descriptores de las series registrada y naturalizada en la Estación Obrajillo.

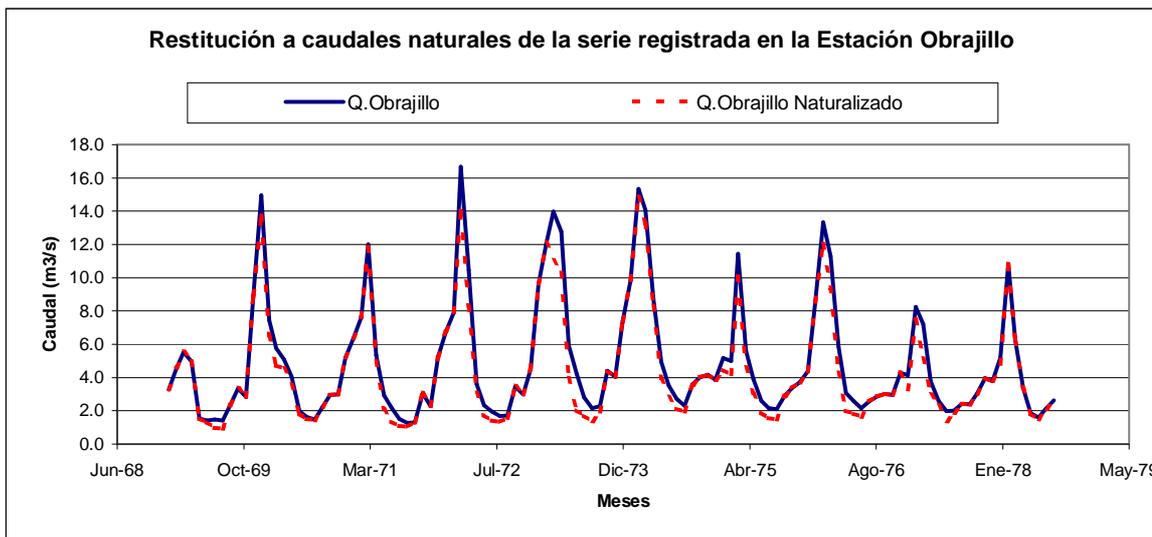
Cuadro N°19

Descriptores estadísticos de las series registrada y naturalizada				
Estación Obrajillo				
Serie	Caudal medio (m <sup>3</sup> /s)	Caudal mínimo (m <sup>3</sup> /s)	Caudal máximo (m <sup>3</sup> /s)	Desviación Estándar (m <sup>3</sup> /s)
Serie registrada	4.877	1.276	16.671	3.537
Serie naturalizada	4.433	0.910	14.857	3.280

En resumen, teniendo en cuenta la diferencia entre los caudales mínimos mensuales respectivos indicados en el cuadro anterior se puede afirmar que el aporte regulado anual producto de lo almacenado en las lagunas al nivel de la Estación Obrajillo es de 0.366 m<sup>3</sup>/s ó 11.54 MMC. Comparando esto último con lo calculado como aporte regulado en la Estación Pariacancha existe una pérdida de 0.76 MMC.

La siguiente figura muestra las series registrada y restituida a régimen natural en la Estación Obrajillo.

Figura N°16



En el Anexo C, se presenta la serie de caudales medios mensuales restituidos a régimen natural en la Estación Obrajillo.

c. Estación Puente Magdalena

El proceso de naturalización de los caudales medios mensuales registrados en la Estación Puente Magdalena a diferencia de los casos anteriores es bastante complejo debido a que no son exclusivos de la precipitación registrada en la cuenca húmeda, sino también de flujos de agua subsuperficiales que interceptan al río Chillón en diversos puntos entre la Estación Obrajillo y la Estación Puente Magdalena, esto principalmente debido al tipo de geología que promueve ello y al uso intensivo del agua por la actividad agrícola.

Es por lo anterior que para restituir la serie de caudales medios mensuales a régimen natural en la Estación Puente Magdalena se tuvo en cuenta que la cuenca del río Chillón tiene un total de 09 lagunas reguladas, de las cuales las que influyen en la regulación a nivel de esta estación hidrométrica son: Chuchón, Leoncocha y Azulcocha.

Según el Inventario Nacional de Lagunas (1975), las tres principales lagunas reguladas tienen las características indicadas en el siguiente cuadro.

Cuadro N°20

Lagunas	Capacidad de almacenamiento (MMC)	Altura Máxima (m)	Longitud de coronación (m)
Chuchón	9.3	6.2	67.4
Leoncocha	3.0	15.8	33.6
Azulcocha	7.0	14.0	110.0
Total (MMC)	19.3		

Las tres lagunas en conjunto tienen una capacidad máxima de almacenamiento de 19.3 MMC y generalmente operan en el periodo comprendido entre los meses de septiembre a noviembre.

Con el objeto de calcular la oferta neta del aporte regulado de éstas lagunas durante los meses indicados en esta estación hidrométrica, se utilizó la metodología planteada por el Dr. E. Palacios en la publicación 'Métodos de distribución y eficiencias en el uso del agua en los sistemas de riego'.

Para analizar este caso se definieron 03 tipos de eficiencias:

- Eficiencia de almacenamiento (Es)
- Eficiencia de conducción ( Ec)
- Eficiencia de riego propiamente dicha (Eu)

$$Es = \frac{Vd}{Ve}, \quad Ec = \frac{Vp}{Vd}, \quad Eu = \frac{Vu}{Vp}$$

Donde :

Vd : Volumen derivado para el riego

Ve : Volumen que entra al vaso de almacenamiento

Vp : Volumen que entra a las parcelas de riego

Vu : Volumen utilizado por la planta en el proceso evapotranspirativo

Entonces, la eficiencia total es:  $Ef = Es * Ec * Eu = \frac{Vu}{Ve}$

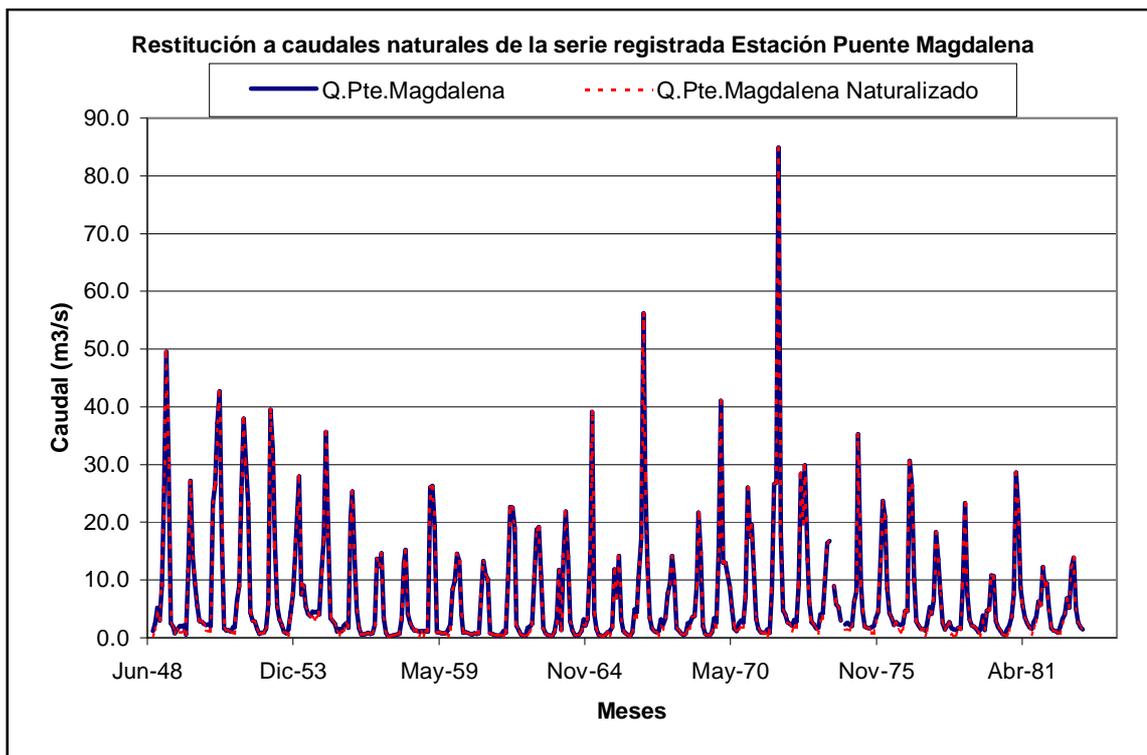
Según el siguiente cuadro, para obtener los volúmenes Vu y Ve, se utilizó los siguientes cálculos para la situación actual, determinándose un volumen de aporte neto regulado producto del almacenamiento en las lagunas del orden de 8.2 MMC anuales y una eficiencia de (8.2 MMC/19.0 MMC) ó 43%.

Cuadro N°21 Volumen de aporte neto regulado producto del almacenamiento en las lagunas

Componente	Set	Oct	Nov
Demanda Agrícola situación actual (m3/s)	2.6	3.2	3.3
Oferta agua superficial al 75% de persistencia + aporte de agua subterránea (m3/s)	1.6	2.0	2.4
Aporte Lagunas (m3/s)	1.0	1.2	0.9
Aporte Lagunas (MMC)	2.6	3.3	2.3
Total (MMC)	8.2		

La siguiente figura muestra las series registrada y restituida a régimen natural en la Estación Puente Magdalena.

Figura N°17



En el siguiente cuadro se presentan los principales descriptores de las series registrada y naturalizada en la Estación Pte.Magdalena.

Cuadro N°22

Descriptores estadísticos de las series registrada y naturalizada				
Estación Pte.Magdalena				
Serie	Caudal medio (m3/s)	Caudal mínimo (m3/s)	Caudal máximo (m3/s)	Desviación Estándar (m3/s)
Serie registrada	7.252	0.193	84.912	9.866
Serie naturalizada	7.075	0.073	84.912	9.958

En resumen, de los 19.30 MMC que pueden ser almacenados en las principales lagunas, 12.30 MMC fueron detectados como aporte neto de agua regulada en la Estación Pariacancha. Del mismo modo 11.54 MMC fueron detectados como aporte neto de agua regulada en la Estación Obrajillo y

finalmente 8.2 MMC fueron estimados como aporte neto de agua regulada en la Estación Puente Magdalena. Las pérdidas de agua regulada entre éstas estaciones hidrométricas se pueden atribuir a las siguientes causas:

- Pérdida de agua por evaporación desde los espejos de agua de las lagunas.
- Pérdida de agua en la conducción a lo largo del río (infiltración y evaporación).
- Uso del agua regulada en las actividad productivas (Agrícola, piscícola, recreacional).
- Baja eficiencia de operación de la infraestructura hidráulica que por si misma se encuentra bastante deteriorada.

#### 5.4. Completación y extensión de la información hidrométrica

La completación y extensión de los registros de descargas medias mensuales en régimen natural se realizó mediante correlación entre las 03 estaciones hidrométricas.

La completación y extensión de la información se realizó utilizando el programa HEC-4, para el periodo Enero 1949 a Diciembre 2000, logrando un tamaño de serie de 52 años.

A manera de comparación entre las series naturalizadas y generadas, se muestra el siguiente cuadro, el cual muestra el valor medio y la desviación estándar para cada uno de los caso.

Las series completas y extendidas se presentan en el anexo C.

Cuadro N°23

Comparación del valor medio y desviación estándar entre las series naturalizadas registradas y generadas														
Estaciones	Tipo serie	Descriptor	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Pariacancha	Generada	Promedio	3.11	5.55	5.13	2.40	1.01	0.13	0.47	0.58	0.94	1.32	1.33	2.26
		DesvEst	1.74	2.00	2.67	1.78	1.16	0.19	0.58	0.41	0.41	1.11	0.90	1.22
	Registrada	Promedio	3.89	4.78	4.71	2.31	0.88	0.26	0.39	0.58	0.93	1.62	1.65	3.01
		DesvEst	1.72	1.77	1.77	1.50	0.69	0.33	0.35	0.34	0.40	1.16	0.80	1.14
Obrajillo	Generada	Promedio	6.40	10.32	9.58	5.73	2.62	2.04	1.79	1.78	2.23	3.28	3.24	4.64
		DesvEst	3.88	4.08	5.00	2.77	1.48	0.70	0.58	0.72	1.06	1.30	1.54	1.98
	Registrada	Promedio	7.19	10.31	9.48	5.54	2.91	2.01	1.81	1.80	2.21	3.06	3.32	4.67
		DesvEst	4.24	4.65	4.39	2.16	0.82	0.59	0.64	0.78	0.87	0.78	1.13	1.87
Pte. Magdalena	Generada	Promedio	11.47	19.02	23.92	12.24	3.64	2.19	1.50	1.18	0.76	1.08	1.67	4.98
		DesvEst	9.22	10.85	14.53	5.38	1.82	1.21	0.87	0.74	0.54	0.78	1.28	4.44
	Registrada	Promedio	11.16	19.84	23.94	12.12	3.59	2.13	1.49	1.17	0.79	1.12	1.79	5.10
		DesvEst	9.51	11.07	14.94	5.63	2.03	1.31	0.94	0.85	0.60	0.86	1.29	4.91

### **5.5. Propuesta para la instalación de estaciones hidrométricas**

En indudable la necesidad de contar con estaciones hidrométricas, por lo menos del tipo limnimétricas, en los principales afluentes de las lagunas que vienen siendo reguladas, así como las que están en proceso de ser reguladas. Asimismo existen lagunas reguladas que no cuentan con estación hidrométrica que registre los volúmenes de descarga de éstas principalmente en época de estiaje.

Por otra parte, se recomienda colocar una nueva estación hidrométrica en el lugar denominado Jacaybamba, aprovechando un puente ubicado en dicho sector, ello para mejorar los cálculos hidrológicos entre la Estación Obrajillo y la Estación Puente Magdalena.

Finalmente debe mencionarse que si bien las estaciones Obrajillo y Puente Magdalena son limnigráficas, no se tiene disponible la información de descargas máximas instantáneas, necesaria para el cálculo de máximas avenidas y diseño de obras de protección.

## **6. DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA**

El río Chillón al igual que la mayoría de los ríos de la costa presenta un régimen de descargas irregulares y de carácter torrencioso con una diferencia bastante pronunciada entre sus valores extremos. La descarga media anual en la Estación Puente Magdalena durante el periodo de registro de Enero 1949 - Agosto 1983 fue de 7.252 m<sup>3</sup>/s que representa un volumen medio anual de 228.7 MMC.

Las variaciones estacionales del régimen de descargas del río Chillón 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. Las características fisiográficas de la cuenca receptora (superficie accidentada con fuertes

pendientes) y su bajo poder retentivo de humedad (suelos con escasa cobertura vegetal) determina que las descargas del río tengan una respuesta rápida e inmediata de las precipitaciones; según la literatura los hidrogramas de descargas diarias permiten observar la forma violenta en que se suceden los aumentos y descensos de los caudales.

El régimen hidrológico del río Chillón puede ser dividido en cuatro periodos que conforman un ciclo anual: el periodo de avenidas, el periodo de estiaje y dos periodos transaccionales, uno entre el fin de las avenidas y el principio del estiaje y el otro entre el fin del estiaje y el principio de avenidas.

El periodo de avenidas empieza con los primeros repuntes notables y termina al presentarse el último pico del hidrograma que antecede a la curva de agotamiento del río. El periodo transicional entre avenidas y estiaje empieza al finalizar el periodo de avenidas y termina con la curva de agotamiento, o sea al hacerse ésta notoriamente horizontal. El periodo de estiaje empieza con el fin de la curva de agotamiento y termina al presentarse las primeras aguas nuevas. El periodo transicional entre estiaje y avenidas empieza al presentarse los primeros incrementos leves del caudal o aguas nuevas y termina al manifestarse los primeros repuntes notables. El río Chillón descarga el 63.3% de su volumen promedio anual durante los 03 meses que dura el periodo de avenidas (Enero a Marzo), el 16.7% durante los 7 meses que constituyen el periodo de estiaje (Mayo a Noviembre) y el 19.9% restante durante los dos periodos transicionales que tiene en conjunto una duración de 02 meses (Abril y Diciembre).

Con respecto al rendimiento hídrico de la cuenca del río Chillón, expresado en caudales específicos (m<sup>3</sup>/ha) se puede indicar que éste va disminuyendo al crecer el área de influencia de las estaciones hidrométricas. Las magnitudes se pueden apreciar en el siguiente cuadro.

Cuadro N°24

Estación Hidrométrica	Area de influencia (Km2)	Precipitación total anual (mm)	Volumen precipitado anual (MMC)	Volumen de escurrimiento total anual (MMC)	Coefficiente de Escorrentía	Caudales específicos (m3/ha)
Pariacancha	157.0	750.0	117.8	85.0	0.7	5414.0
Obrajillo	395.5	500.0	197.8	132.0	0.7	3337.5
Puente Magdalena	1256.4	300.0	376.9	215.2	0.6	1712.8

Como se ha podido expresar en los puntos anteriores, la existencia de 03 estaciones hidrométricas a lo largo del río Chillón determina que exista suficiente información de caudales medios a nivel mensual en la cuenca, por lo que no es necesario generar información mediante modelos estocásticos ni aplicar modelos precipitación - escorrentía, más aún si éstos tienen como intervalo de tiempo un mes. (Ver Anexo Mapas, Mapa N°10 Caudales Específicos).

Sin embargo en el Capítulo X Determinación de máximas avenidas, si se utiliza un modelo precipitación - escorrentía (HEC-HMS) para generar descargas máximas para diferentes periodos de retorno con intervalos de tiempo de 01 hora.

### 6.1. Análisis de frecuencia

Luego de realizar el análisis y tratamiento de la información hidrométrica, se procedió a determinar la frecuencia empírica y teórica normal de los caudales medios mensuales en régimen natural para las estaciones Pariacancha, Obrajillo y Puente Magdalena.

En los siguientes cuadros se puede apreciar que resulta bastante ajustada la distribución teórica normal a las frecuencias empíricas por lo cual pueden ser utilizadas para realizar pronósticos.

Cuadro N°25

Persistencias calculadas para la serie de caudales medios mensuales en régimen natural - Estación Pariacancha												
Persistencia (%)	Ene		Feb		Mar		Abr		May		Jun	
	Empírica	Normal										
10	5.30	5.34	8.24	8.12	8.44	8.54	4.46	4.67	1.98	2.50	0.40	0.38
20	3.95	4.57	6.98	7.24	7.12	7.37	3.19	3.89	1.48	1.99	0.22	0.30
30	3.27	4.02	6.22	6.60	5.75	6.52	2.60	3.33	1.01	1.62	0.13	0.23
40	3.04	3.55	6.00	6.06	5.04	5.80	2.29	2.85	0.83	1.31	0.09	0.18
50	2.52	3.11	5.18	5.55	4.51	5.13	1.91	2.40	0.71	1.01	0.06	0.13
60	2.42	2.66	4.67	5.05	3.78	4.45	1.63	1.95	0.47	0.72	0.04	0.08
70	2.07	2.19	4.23	4.50	3.44	3.73	1.21	1.46	0.38	0.40	0.03	0.03
75	1.96	1.93	3.92	4.20	3.17	3.33	1.04	1.20	0.34	0.22	0.02	0.00
80	1.70	1.64	3.65	3.87	2.84	2.88	0.95	0.90	0.23	0.03	0.02	-0.03
90	1.26	0.87	2.87	2.99	2.42	1.71	0.59	0.12	0.14	-0.48	0.01	-0.12
Persistencia (%)	Jul		Ago		Sep		Oct		Nov		Dic	
	Empírica	Normal										
10	0.91	1.21	1.03	1.11	1.47	1.46	3.02	2.74	2.54	2.49	3.72	3.82
20	0.74	0.95	0.77	0.93	1.30	1.28	2.27	2.25	2.19	2.09	3.22	3.29
30	0.57	0.77	0.64	0.80	1.13	1.15	1.73	1.90	1.74	1.81	2.66	2.90
40	0.48	0.61	0.58	0.68	1.02	1.04	1.24	1.60	1.33	1.56	2.41	2.57
50	0.38	0.47	0.50	0.58	0.94	0.94	0.89	1.32	1.12	1.33	2.15	2.26
60	0.21	0.32	0.44	0.48	0.85	0.83	0.67	1.03	0.89	1.10	1.81	1.95
70	0.16	0.16	0.39	0.36	0.69	0.72	0.46	0.73	0.62	0.86	1.25	1.62
75	0.11	0.08	0.35	0.30	0.65	0.66	0.42	0.56	0.52	0.72	1.19	1.44
80	0.05	-0.02	0.32	0.23	0.48	0.60	0.29	0.38	0.47	0.57	1.13	1.24
90	0.02	-0.28	0.25	0.05	0.37	0.42	0.13	-0.11	0.31	0.17	0.93	0.70

Empírica : Distribución probabilística empírica

Normal : Distribución Teórica Normal

Cuadro N°26

Persistencias calculadas para la serie de caudales medios mensuales en régimen natural - Estación Obrajillo												
Persistencia (%)	Ene		Feb		Mar		Abr		May		Jun	
	Empírica	Normal										
10	11.10	11.37	15.64	15.55	15.93	15.99	8.82	9.28	3.94	4.52	2.79	2.93
20	8.41	9.66	13.08	13.75	13.08	13.79	8.10	8.06	3.69	3.87	2.41	2.63
30	6.76	8.44	11.17	12.46	11.17	12.21	6.66	7.18	3.07	3.40	2.26	2.40
40	6.44	7.39	9.39	11.35	9.39	10.85	5.64	6.43	2.53	2.99	2.08	2.22
50	5.14	6.40	8.02	10.32	8.02	9.58	4.96	5.73	2.32	2.62	1.83	2.04
60	4.87	5.42	7.32	9.28	7.32	8.32	4.48	5.02	2.13	2.24	1.76	1.86
70	4.42	4.37	6.25	8.18	6.25	6.96	3.91	4.27	1.96	1.84	1.59	1.67
75	4.01	3.79	5.94	7.57	5.94	6.21	3.67	3.86	1.73	1.62	1.53	1.57
80	3.43	3.14	5.56	6.88	5.56	5.37	3.49	3.39	1.64	1.37	1.46	1.45
90	2.79	1.44	4.81	5.09	4.81	3.17	2.96	2.17	1.33	0.72	1.38	1.15
Persistencia (%)	Jul		Ago		Sep		Oct		Nov		Dic	
	Empírica	Normal										
10	2.38	2.53	2.60	2.69	3.40	3.59	4.81	4.95	5.09	5.21	7.16	7.17
20	2.24	2.27	2.32	2.38	3.36	3.13	4.55	4.38	4.67	4.53	6.64	6.30
30	2.09	2.09	2.11	2.15	2.89	2.79	4.13	3.96	4.23	4.04	5.79	5.67
40	1.84	1.94	1.74	1.96	2.76	2.50	3.69	3.61	3.97	3.63	5.22	5.14
50	1.69	1.79	1.62	1.78	2.36	2.23	3.34	3.28	3.52	3.24	4.60	4.64
60	1.54	1.64	1.47	1.59	1.78	1.96	3.04	2.95	2.98	2.84	4.31	4.14
70	1.47	1.49	1.35	1.40	1.61	1.67	2.77	2.60	2.59	2.43	3.57	3.60
75	1.43	1.40	1.28	1.29	1.51	1.51	2.66	2.41	2.26	2.19	3.17	3.31
80	1.35	1.31	1.19	1.17	1.32	1.34	2.16	2.19	1.71	1.94	2.90	2.98
90	1.16	1.05	0.98	0.86	0.73	0.87	1.40	1.62	1.09	1.26	1.86	2.11

Empírica : Distribución probabilística empírica

Normal : Distribución Teórica Normal

Cuadro N°27

Persistencias calculadas para la serie de caudales medios mensuales en régimen natural - Estación Puente Magdalena												
Persistencia (%)	Ene		Feb		Mar		Abr		May		Jun	
	Empírica	Normal										
10	25.47	23.29	28.63	32.92	36.63	42.54	17.85	19.14	5.46	5.97	3.32	3.73
20	21.32	19.24	26.90	28.14	35.55	36.15	17.07	16.77	5.09	5.17	3.06	3.20
30	13.98	16.31	25.58	24.70	30.36	31.54	14.69	15.06	4.58	4.59	2.85	2.82
40	10.73	13.81	22.03	21.76	27.15	27.60	13.68	13.61	4.11	4.10	2.62	2.49
50	9.47	11.47	17.91	19.02	22.94	23.92	11.29	12.24	3.44	3.64	2.05	2.19
60	7.31	9.14	14.59	16.27	20.13	20.24	10.39	10.88	3.27	3.18	1.79	1.88
70	5.74	6.64	13.00	13.33	14.50	16.30	9.61	9.42	2.79	2.69	1.48	1.56
75	4.37	5.25	11.95	11.70	13.97	14.12	9.28	8.62	2.50	2.41	1.25	1.37
80	3.18	3.71	9.19	9.89	13.10	11.69	8.74	7.72	2.03	2.11	1.07	1.17
90	1.67	-0.34	6.42	5.12	9.20	5.30	4.45	5.35	1.21	1.31	0.77	0.64
Persistencia (%)	Jul		Ago		Sep		Oct		Nov		Dic	
	Empírica	Normal										
10	2.61	2.62	2.21	2.13	1.25	1.45	1.99	2.08	3.56	3.31	10.00	10.67
20	2.27	2.24	1.63	1.81	1.10	1.21	1.56	1.74	2.69	2.74	7.98	8.71
30	1.96	1.96	1.48	1.57	0.94	1.04	1.21	1.49	2.14	2.34	5.79	7.31
40	1.67	1.72	1.22	1.37	0.82	0.90	1.12	1.28	1.60	1.99	4.45	6.10
50	1.50	1.50	1.10	1.18	0.71	0.76	0.97	1.08	1.36	1.67	3.99	4.98
60	1.24	1.28	0.94	0.99	0.59	0.62	0.82	0.88	1.08	1.34	3.06	3.86
70	0.87	1.05	0.74	0.79	0.48	0.47	0.67	0.67	0.85	1.00	2.04	2.65
75	0.73	0.92	0.62	0.68	0.42	0.39	0.56	0.55	0.69	0.80	1.79	1.99
80	0.59	0.77	0.49	0.56	0.35	0.30	0.44	0.42	0.50	0.59	1.56	1.25
90	0.46	0.39	0.39	0.23	0.20	0.06	0.25	0.08	0.29	0.03	0.91	-0.71

Empírica : Distribución probabilística empírica

Normal : Distribución Teórica Normal

## 6.2. Cálculo de la evapotranspiración potencial

Para determinar el requerimiento agrícola de agua, el valle de la cuenca del río Chillón fue subdividida en cinco partes:

- Parte Baja
- Parte Media baja
- Parte Media
- Parte Media alta
- Parte Alta

Para cada una de las cuatro primeras partes anteriormente indicadas y según la altitud del valle, se ubicaron los subsectores de riego correspondientes y sus valores de evapotranspiración potencial a nivel

mensual, la cual fue determinada mediante interpolación según las isolíneas de evapotranspiración potencial.

Cabe mencionar que la SATDR del Chillón y la JU del Chillón no cuentan con información de áreas bajo riego ni de cédulas de cultivos de la parte alta del valle correspondiente a los sectores de riego de Canta, Huamantanga y Arahua, respectivamente, por tanto la demanda agrícola calculada en el estudio corresponderá desde la parte baja hasta la media alta.

Las estaciones meteorológicas utilizadas para calcular la evapotranspiración potencial fueron: Huarangal, Canta y Marcapomacocha.

El cálculo de la evapotranspiración potencial para las estaciones Huarangal, Canta y Marcapomacocha fueron realizadas mediante el método de Penmann-Monteith.

La evapotranspiración potencial calculada para Huarangal, se muestra en el cuadro N°28.

Cuadro N°28

Estación Huarangal								
Mes	T.med.máx.	T.med.mín.	Humedad Relativa	Velocidad del viento	Horas de Sol	Rad. Solar	Eto	Eto
	(°C)	(°C)	(%)	(Km/d)	(Horas)	(MJ/m2/d)	(mm/d)	(mm/mes)
Enero	27.1	19.2	89.0	173.0	5.7	19.0	2.4	73.1
Febrero	28.5	20.4	88.3	173.0	7.8	22.3	2.6	74.1
Marzo	28.6	20.2	83.8	147.0	7.0	20.4	2.4	75.0
Abril	26.7	18.5	85.8	86.0	7.3	19.2	2.2	66.3
Mayo	23.6	16.2	90.7	86.0	4.8	13.9	2.1	65.3
Junio	20.1	14.4	95.6	86.0	2.6	10.4	2.1	62.2
Julio	18.6	13.4	94.2	86.0	2.1	10.0	2.0	62.2
Agosto	18.8	12.0	93.8	112.0	2.2	11.2	2.1	64.6
Septiembre	20.0	13.5	92.8	112.0	3.0	13.5	2.2	65.6
Octubre	21.7	14.3	91.5	112.0	4.5	16.7	2.2	68.2
Noviembre	23.0	15.4	91.1	147.0	5.1	18.0	2.3	70.0
Diciembre	25.1	17.3	90.7	147.0	5.8	19.1	2.3	72.3
Promedio	23.5	16.2	90.6	122.3	4.8	16.1	2.2	68.2

El cálculo de la evapotranspiración potencial para las Estaciones Canta y Marcapomacocha, se muestran en los cuadros N°29 y N°30, respectivamente.

Cuadro N°29

Estación Canta								
Mes	T.med.máx.	T.med.mín.	Humedad Relativa	Velocidad del viento	Horas de Sol	Rad. Solar	Eto	Eto
	(°C)	(°C)	(%)	(Km/d)	(Horas)	(MJ/m2/d)	(mm/d)	(mm/mes)
Enero	17.2	9.1	83.3	173.0	5.7	19.0	1.7	53.5
Febrero	16.8	9.1	82.6	173.0	7.8	22.3	1.9	51.9
Marzo	17.1	9.3	83.8	147.0	7.0	20.4	1.6	50.8
Abril	17.9	9.2	81.1	86.0	7.3	19.2	1.7	49.8
Mayo	18.6	9.4	77.0	86.0	4.8	13.9	1.6	49.6
Junio	18.7	8.8	75.6	86.0	2.6	10.4	1.6	48.8
Julio	18.9	9.0	73.5	86.0	2.1	10.0	1.7	51.2
Agosto	19.1	9.1	74.2	112.0	2.2	11.2	1.7	51.2
Septiembre	18.9	9.1	74.8	112.0	3.0	13.5	1.7	51.2
Octubre	18.5	9.1	76.0	112.0	4.5	16.7	1.7	51.2
Noviembre	18.1	8.9	77.6	147.0	5.1	18.0	1.7	51.9
Diciembre	18.0	9.1	79.1	147.0	5.8	19.1	1.8	54.5
Promedio	18.2	9.1	78.2	122.3	4.8	16.1	1.7	51.3

Cuadro N°30

Estación Marcapomacocha								
Mes	T.med.máx.	T.med.mín.	Humedad Relativa	Velocidad del viento	Horas de Sol	Rad. Solar	Eto	Eto
	(°C)	(°C)	(%)	(Km/d)	(Horas)	(MJ/m2/d)	(mm/d)	(mm/mes)
Enero	9.9	-0.3	87.1	69.0	5.4	15.2	0.8	24.8
Febrero	10.0	-0.4	87.8	86.0	5.7	16.8	0.9	25.2
Marzo	10.1	-0.2	88.1	69.0	6.0	18.4	1.0	31.0
Abril	10.4	-0.5	87.1	69.0	6.6	19.7	1.1	33.0
Mayo	10.8	-2.0	84.2	69.0	7.8	21.2	1.2	37.2
Junio	10.4	-3.2	84.6	69.0	8.5	21.9	1.2	36.0
Julio	10.3	-3.9	83.2	86.0	8.7	22.3	1.2	37.2
Agosto	10.8	-3.6	82.5	78.0	8.5	22.4	1.2	37.2
Septiembre	10.7	-2.5	83.6	69.0	7.3	20.4	1.1	33.0
Octubre	10.8	-1.7	84.2	112.0	4.5	15.3	0.9	27.9
Noviembre	11.1	-1.2	83.6	60.0	7.3	18.1	1.0	30.0
Diciembre	10.4	-0.7	85.2	69.0	6.2	15.8	0.8	24.8
Promedio	10.5	-1.7	85.1	75.4	6.9	19.0	1.0	31.4

Finalmente, los valores de evapotranspiración potencial utilizados por subsector de riego son los indicados en el siguiente cuadro.

Cuadro N°31

Evapotranspiración Potencial del valle del río Chillón (Partes Baja y Media) (mm/mes)													
Subsectores de Riego		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Parte Baja	La Cachaza	73.1	74.1	75.0	66.3	65.3	62.2	62.2	64.6	65.6	68.2	70.0	72.3
	Chacra Cerro Puquio												
	Chuquitanta												
	Oquendo												
	San Lorenzo												
Parte Media baja	Chacra Cerro Alto	67.9	68.2	67.0	62.5	61.6	59.6	61.1	62.7	63.1	63.6	64.8	68.6
	Huacotay												
	Isleta												
	Caudivilla												
	Chocas												
Carabayllo													
Parte Media	Zapán	71.5	68.5	67.6	64.4	63.0	60.9	62.8	64.2	64.5	66.2	67.4	70.0
	San Antonio												
Parte Media alta	Macas	53.5	51.9	50.8	49.8	49.6	48.8	51.2	51.2	51.2	51.2	51.9	54.5
	Yangas												

El Anexo Mapas (Mapa N°07) presenta las curvas de iso-evapotranspiración potencial utilizado para interpolar la información en los subsectores de riego de la parte media y baja de la cuenca del río Chillón.

### **6.3. Caracterización de la recarga del acuífero**

Según el 'Estudio de Impacto Ambiental del Aprovechamiento Optimo de las aguas superficiales y subterráneas del río Chillón', el acuífero del valle del río Chillón se ubica en el cono de deyección y su geometría coincide con el relleno aluvional sobre el basamento rocoso. La recarga se origina de las filtraciones en el lecho del río y del riego del valle. Las aguas de dicho acuífero se encuentran sobre- explotadas por cerca de 80 pozos que abastecen de agua potable a los distritos del Norte de Lima Metropolitana.

Estudios realizados por SEDAPAL empleando una red de pozos de observación, muestran que en amplios sectores del valle del Chillón se ha producido entre los años 1985 y 1995 un descenso del nivel freático de 10 a 20 metros, es decir, el descenso anual es de 1 a 2 metros. Ello ha motivado que 13 pozos ubicados en los distritos de Los Olivos y Comas hallan sido abandonados, principalmente por salinización de las aguas.

El extremo superior del acuífero muestra una geometría más estrecha y menos potente (ubicado a lo largo del río) aunque con buenas condiciones hidrodinámicas y con el nivel freático a poca profundidad, lo que produce localmente afloramientos (manantiales y puquios).

La dirección del flujo subterráneo es en general paralelo al de las aguas superficiales en el río Chillón ó sea de NE a SO hacia el Océano Pacifico. Localmente existen otras direcciones del flujo.

Mediciones diferenciales del flujo superficial del río Chillón, que se llevaron a cabo al fin del año 1996 y principio del año 1997, indican que el río contribuye al acuífero en la zona de los pozos de la recarga inducida, entre el puente Punchauca y el Puente Osoynik; así como en las partes más altas, entre los puentes Larancocha y Magdalena.

Entre el Puente Trapiche y Punchauca, los niveles de agua del acuífero se ubican cerca de la superficie, como se observa en las lagunas excavadas y de varios manantiales que brotan del acuífero aluvional en esta zona.

#### **6.4. Determinación de la disponibilidad hídrica para cada sector de riego**

A pesar de que este tema se desarrolla a detalle en el Capítulo 09 'Balance hídrico de la cuenca del río Chillón', el cálculo de la disponibilidad hídrica anual para cada sector de riego de la parte media y baja del valle se realizó considerando la oferta hídrica no regulada en la Estación Obrajillo al 75% de persistencia y el aporte de la oferta regulada por la operación de las lagunas que para dicha estación es de 11.54 MMC.

La demanda hídrica por subsector de riego va siendo descontada según su disposición en la red de distribución de agua.

La Figura N°18, muestra un esquema de la red de distribución de agua en el valle.

Los subsectores de riego son los siguientes:

1 : Yangas

2 : Macas

3 : Zapán

4 : San Antonio

5 : Chocas

6 : Huatocay - Huarangal

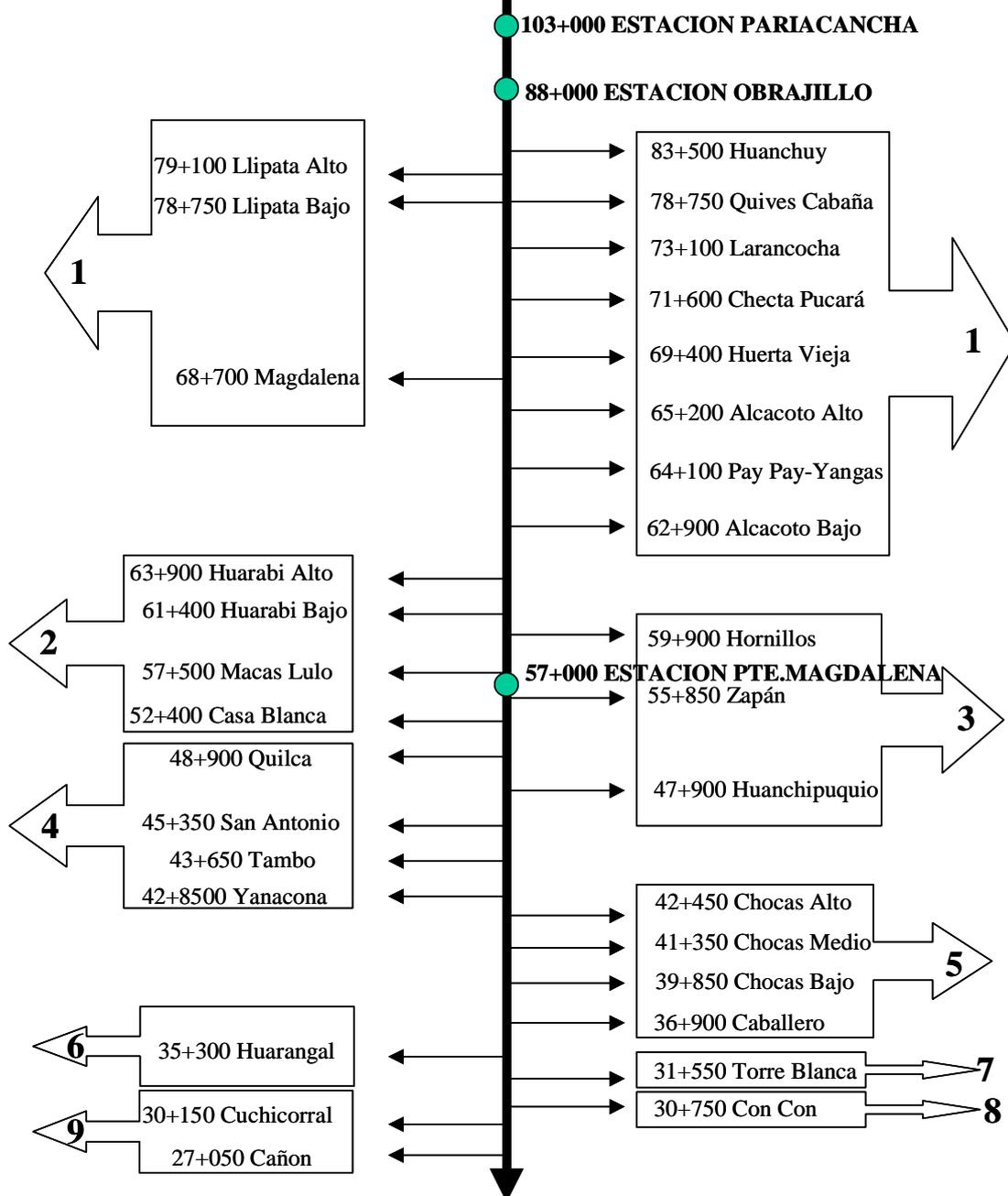
7 : Caudivilla - Huacoy - Punchauca

8 : Chacra Cerro Alto, Chacra Cerro Puquio, Chuquitanta y Oquendo.

9 : San Lorenzo, Carabaillo, Isleta y La Cachaza

Figura N°18

Esquema de la red de distribución de agua para riego – Parte Media  
y Baja del Valle de la cuenca del río Chillón



El siguiente cuadro muestra el volumen ofertado y los volúmenes demandados anuales de cada subsector de riego. Cabe mencionar que parte del déficit de

los subsectores de riego San Lorenzo, Carabayllo, Isleta y La Cachaza son cubiertos por la explotación del agua subterránea y por flujos de cola, como se verá en el capítulo 09.

Cuadro N°32

Componentes		Vol.Total (MMC)	Exceso (MMC)	Déficit (MMC)
Oferta Obrajillo al 75% persistencia (*)		107.2		
Demanda Hídrica	Yangas	6.4	100.8	
	Macas	10.5	90.3	
	Zapán	4.9	85.4	
	San Antonio	7.8	77.6	
	Chocas	12.3	65.3	
	Huacotay - Huarangal	6.4	58.9	
	Caudivilla - Huacoy - Punchauca	15.7	43.2	
	Chacra Cerro Alto, Chacra Cerro Puquio, Chuquitanta, Oquendo	19.9	23.3	
	San Lorenzo, Carabayllo, Isleta, La Cachaza	45.3		-22.0

(\*) 95.6 MMC oferta hídrica no regulada + 11.54 MMC oferta hídrica regulada

## 7. CALCULO DE LA DEMANDA DE AGUA

### 7.1. Áreas bajo riego actual y potencial

El área total bajo riego del valle del río Chillón alcanza las 11,185.5 ha.

Sin embargo la SATDR Chillón y la JU del valle de Chillón, sólo cuentan con información adicional sobre el riego en los sectores: Puente Piedra, Naranjal y Yangas, totalizando un área de 6174.5 ha.

El siguiente cuadro muestra los sectores, subsectores y áreas bajo riego:

Cuadro N°33

Sectores y Subsectores del Subdistrito de riego Chillón		
Sectores de Riego	Subsectores de Riego	Area bajo riego
		(ha)
Puente Piedra (*)	San Lorenzo	745.4
	La Cachaza	164.2
	Isleta	326.8
	Carabaillo	803.3
Naranjal (*)	Oquendo	309.7
	Chuquitanta	278.3
	Chacra Cerro Puquio	131.1
	Chacra Cerro Alto	225.5
	Caudivilla	718.6
Yangas (*)	Huatocay Huarangal	312.8
	Chocas Caballero	602.7
	Zapan	278.0
	Yangas	296.0
	Macas	499.0
	San Antonio	483.0
Huamantanga (**)	Huamantanga	1149.0
Arahuay (**)	Arahuay	1817.0
	Chillón medio	
	Lachaqui	
Canta (**)	San Buenaventura	2045.0
	Canta	
	Alto Andino Chillón	
Total		11185.5

(\*) Areas proyectadas campaña 2002/2003 SATDR Chillón.

(\*\*) Actualización del Padrón de Usuarios e Inventario de la Infraestructura de Riego del Sub-Distrito de Riego Chillón. ATDR Chillón-Rímac-Lurín, Nov. 2002

El Anexo Mapas (Mapa N°08) presenta la ubicación de los subsectores de riego de la cuenca del río Chillón.

Con el objeto de definir la situación actual de las áreas bajo riego, se utilizó el Plan de Cultivos y Riegos para la campaña 2002/2003 según la intención de siembra a nivel de Comisión de Regantes de la parte baja y media del valle del Chillón, proporcionado por la SATDR Chillón. Dicha información se muestra en el siguiente Cuadro N°34.

Cuadro N°34

PLAN DE CULTIVO Y RIEGO  
HECTAREAS PROYECTADAS POR SEMBRAR SEGÚN DECLARACION DE INTENCION DE SIEMBRA  
A NIVEL DE COMISION DE REGANTES

JUNTA DE USUARIOS CHILLON (EN HECTAREAS) AÑO AGRICOLA 2002/2003

CULTIVOS	MESES											
	AG	SET	OC	NOV	DIC	EN	FE	MAR	AB	MA	JUN	JUL
YANGAS	284.00	296.00	296.00	296.00	288.00	237.00	259.00	293.00	284.00	294.00	240.00	218.00
MACAS	412.70	467.43	444.29	433.99	499.02	423.75	463.86	468.81	396.52	434.49	264.42	170.40
SAN ANTONIO	426.18	441.15	448.94	483.03	426.99	427.38	445.41	474.68	481.55	446.77	365.94	271.05
HUATOCAY	285.37	287.57	289.78	289.78	233.63	233.96	288.35	311.95	312.83	274.60	262.96	90.53
ZAPAN	225.70	249.76	258.46	253.37	254.86	246.27	254.43	275.03	277.98	255.25	211.60	172.28
CHOCAS	442.09	501.44	510.08	560.67	602.75	519.20	512.01	560.80	559.63	460.21	290.56	173.12
CAUDIVILLA	572.56	596.99	609.27	605.57	544.13	497.65	602.00	621.92	625.25	718.55	563.23	398.91
CHACRA CERRO AL	214.50	214.50	218.78	201.46	182.94	217.68	210.10	214.11	219.18	225.53	215.85	198.30
CHACRA CERRO PU	124.04	127.13	131.11	126.87	111.63	123.65	122.56	124.24	122.77	111.88	104.17	95.48
CARABAYLLO	737.96	773.39	772.23	788.36	691.50	711.31	754.69	770.17	803.34	769.18	716.93	557.64
SAN LORENZO	706.12	709.48	711.34	738.64	697.40	689.59	650.03	745.39	745.02	716.90	694.89	606.33
LA ISLETA	305.84	320.89	324.26	317.62	293.97	296.32	280.03	322.21	321.67	326.80	297.73	249.94
CHUQUITANTA	226.32	228.97	234.69	238.83	240.52	231.68	243.07	257.81	259.13	278.30	230.82	182.50
LA CACHAZA	148.96	148.96	146.91	154.81	128.41	146.82	156.70	159.71	162.15	164.22	148.54	128.65
OQUENDO	279.45	286.00	287.31	292.04	309.68	271.14	287.95	275.36	302.19	302.64	267.54	232.79
<b>TOTAL (ha)</b>	<b>5,391.81</b>	<b>5,649.67</b>	<b>5,683.47</b>	<b>5,781.06</b>	<b>5,505.43</b>	<b>5,273.40</b>	<b>5,530.19</b>	<b>5,875.19</b>	<b>5,873.21</b>	<b>5,779.34</b>	<b>4,875.17</b>	<b>3,745.93</b>

7.2. Cédula de cultivos y coeficientes de uso consuntivo

La cédula de cultivos del valle del río Chillón se muestra en el siguiente cuadro N°35.

Cuadro N°35

Cédula de Cultivos de la parte baja y media del valle del Chillón

ACELGA	COLES	PORO
AJI	COLIFLOR	RABANO
AJO	CULANTRO	RUDA
ALBAHACA	ESPINACA	SABILA
ALCACHOFA	FRESA	SORGO ESCOBERO
ALFALFA	FRIJOL	SORGO FORRAJERO
ALGODÓN TANGUIS	HABA GRANO SECO	SORGO GRANO
APIO	HABA GRNO VERDE	SOYA
ARVEJA	HIERBA LUISA	TOMATE
BETERRAGA	HIERBA BUENA	TUNA
BROCOLI	LECHUGA AMERICANA	YUCA AMARILLA
CAYHUA	MAIZ AMARILLO DURO	YUCA BLANCA
CAMOTE	MAIZ CHALA	ZANAHORIA
CAMOTE FORRAJERO	MAIZ CHOCLO -MORADO	ZAPALLO
CAÑA BRAVA	NABO	FRUTALES
CAÑA DE AZUCAR	OREGANO	FLORES
CEBOLLA ROJA	PAPA BLANCA	PASTOS
CEBOLLA CHINA	PALLAR SECO	UVA
CEBOLLIN	PEREJIL	
PEPINILLO	PIMENTON	

El anexo E, muestra el cálculo de la demanda agrícola neta para cada uno de los 15 subsectores de riego de la parte baja y media del valle. Para ello se cuenta con información de la evapotranspiración potencial, porcentaje de cada cultivo dentro de la cédula y los coeficientes de cultivos respectivos. Cabe mencionar que los resultados del cálculo de la demanda agrícola neta por subsector de riego son similares a los que maneja la SATDR Chillón.

### **7.3. Precipitación efectiva**

La precipitación efectiva mensual fue calculada para la parte alta, media y baja de la cuenca del río Chillón.

La precipitación efectiva fue definida como la diferencia entre la precipitación total mensual y la evapotranspiración potencial.

Las estaciones meteorológicas representativas de cada parte de la cuenca fueron : Marcapomacocha (Parte Alta), Canta (Parte Media) y Huarangal (Parte Baja).

Asimismo se calculó la variable denominada 'demanda evapotranspirativa', la cual viene siendo utilizada en estudios recientes con fines de comparación entre zonas.

La expresión de la demanda evapotranspirativa es la siguiente:

$$DemandaEvapotranspirativa = \frac{EvapotranspiraciónPotencial - Pr ecipitaciónTotal}{EvapotranspiraciónPotencial}$$

El siguiente cuadro muestra los cálculos respectivos.

Cuadro N°36

Precipitación Efectiva mensual en la parte alta, media y baja de la cuenca del río Chillón													
Estación	Variable	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Parte Alta (Estación representativa : Marcapomacocha)	Precipitación total mensual (mm/mes)	150.1	168.9	165.2	81.4	34.8	23.5	18.3	26.0	57.7	84.5	87.4	112.0
	Evapotranspiración potencial (mm/mes)	24.8	25.2	31.0	33.0	37.2	36.0	37.2	37.2	33.0	27.9	30.0	24.8
	Precipitación efectiva (mm/mes)	125.3	143.7	134.2	48.4	-2.4	-12.5	-18.9	-11.2	24.7	56.6	57.4	87.2
	Demanda Evapotranspirativa (Adim).	-5.1	-5.7	-4.3	-1.5	0.1	0.3	0.5	0.3	-0.7	-2.0	-1.9	-3.5
Parte Media (Estación representativa : Canta)	Precipitación total mensual (mm/mes)	67.5	83.1	88.4	25.6	3.1	0.0	0.3	0.3	5.5	14.3	12.9	37.6
	Evapotranspiración potencial (mm/mes)	53.5	51.9	50.8	49.8	49.6	48.8	51.2	51.2	51.2	51.2	51.9	54.5
	Precipitación efectiva (mm/mes)	14.1	31.1	37.7	-24.1	-46.5	-48.8	-50.8	-50.9	-45.6	-36.9	-39.1	-16.9
	Demanda Evapotranspirativa (Adim).	-0.3	-0.6	-0.7	0.5	0.9	1.0	1.0	1.0	0.9	0.7	0.8	0.3
Parte Baja (Estación Representativa : Huarangal)	Precipitación total mensual (mm/mes)	0.1	3.0	0.0	0.2	0.0	1.3	3.4	0.7	1.5	0.1	0.0	1.0
	Evapotranspiración potencial (mm/mes)	73.1	74.1	75.0	66.3	65.3	62.2	62.2	64.6	65.6	68.2	70.0	72.3
	Precipitación efectiva (mm/mes)	-73.0	-71.1	-75.0	-66.1	-65.3	-60.9	-58.8	-63.9	-64.1	-68.1	-70.0	-71.3
	Demanda Evapotranspirativa (Adim).	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

#### 7.4. Frecuencia de Riego

La modalidad de riego es por gravedad y su distribución y control lo realizan los repartidores de agua, de cada uno de los Comités de Riego.

Dicha modalidad para los subsectores de riego de la parte alta y media la realizan en turnos de 03 a 06 horas con frecuencia de riego de 07 días durante los meses de transición a 25 y 30 días durante los meses de estiaje.

En los subsectores de riego de la parte baja, la frecuencia de riego promedio es de 08 a 09 días, debido a la presencia de manantiales y aporte de agua de retorno.

### 7.5. Eficiencias de riego

La eficiencia de riego actual del valle del río Chillón es de 33%. Sin embargo con fines de simulación se han supuesto las siguientes eficiencias de riego para los escenarios a corto, mediano y largo plazo, indicada en el siguiente cuadro.

Cuadro N°37

Escenarios	Eficiencia de Riego
Actual	33%
Corto plazo	35%
Mediano plazo	37%
Largo plazo	40%

## **7.6. Demanda de agua de uso consuntivo**

### **7.6.1. Demanda de uso agrícola**

La demanda agrícola bruta mensual en términos de caudal expresado en ( $m^3/s$ ) para los escenarios: actual, corto, mediano y largo plazo fueron calculados considerando la evapotranspiración potencial presentada en el cuadro N°31, las áreas bajo riego de los subsectores de riego indicados en el cuadro N°33, la cédula de cultivo por subsector de riego y las eficiencias de riego indicada en el cuadro N°37.

Los siguientes cuadros N°38 al N°41 presentan los cálculos respectivos.

Cuadro N°38

Demanda agrícola bruta de la parte media y baja del valle del río Chillón para la Situación Actual (m <sup>3</sup> /s)																		
Escenario	Valle	Subsector de Riego	Area/Riego (ha)	Progresivas	Ef. Riego	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual (MMC)
Situación Actual	Parte Media	Yangas	296.0	(79+100 - 62+900)	0.33	0.279	0.281	0.256	0.233	0.186	0.113	0.073	0.165	0.163	0.211	0.219	0.243	6.4
	Parte Baja	Macas	499.0	(63+900 - 52+400)		0.446	0.475	0.456	0.361	0.315	0.228	0.187	0.244	0.253	0.307	0.354	0.365	10.5
		Zapan	278.0	(59+900 - 47+900)		0.163	0.185	0.171	0.189	0.171	0.145	0.101	0.129	0.138	0.160	0.162	0.141	4.9
		San Antonio	483.0	(48+900 - 42+850)		0.266	0.336	0.294	0.288	0.251	0.242	0.128	0.180	0.217	0.261	0.224	0.296	7.8
		Chocas	602.7	(42+450 - 36 +900)		0.487	0.565	0.532	0.445	0.375	0.328	0.268	0.306	0.305	0.356	0.370	0.359	12.3
		Huacotay	312.8	(35+300)		0.228	0.283	0.195	0.234	0.196	0.188	0.148	0.170	0.170	0.206	0.199	0.218	6.4
		Caudivilla	718.6	(31+550)		0.584	0.687	0.635	0.590	0.432	0.377	0.365	0.402	0.399	0.492	0.487	0.531	15.7
		Chaca Cerro Alto	225.5	(30 + 750)		0.192	0.214	0.195	0.153	0.137	0.120	0.086	0.130	0.122	0.148	0.139	0.164	4.7
		Chaca Cerro Puquio	131.1	(30 + 750)		0.133	0.144	0.131	0.105	0.091	0.061	0.042	0.079	0.068	0.081	0.090	0.120	3.0
		Chuquitanta	278.3	(30 + 750)		0.213	0.248	0.254	0.217	0.175	0.140	0.113	0.137	0.150	0.174	0.184	0.212	5.8
		Oquendo	309.7	(30 + 750)		0.254	0.287	0.276	0.211	0.199	0.178	0.132	0.144	0.162	0.185	0.184	0.216	6.4
		San Lorenzo	745.4	(27+050)		0.683	0.803	0.651	0.593	0.577	0.329	0.217	0.414	0.423	0.592	0.595	0.685	17.2
		Carabaylo	803.3	(27+050)		0.641	0.717	0.731	0.658	0.554	0.392	0.278	0.479	0.453	0.550	0.550	0.670	17.5
		Isleta	326.8	(27+050)		0.294	0.319	0.301	0.259	0.209	0.105	0.094	0.174	0.160	0.207	0.231	0.290	6.9
		Cachaza	164.2	(27+050)		0.153	0.165	0.155	0.138	0.119	0.085	0.060	0.081	0.085	0.102	0.110	0.140	3.7
	Total		6,174.4			5.017	5.709	5.233	4.676	3.988	3.030	2.293	3.233	3.267	4.031	4.098	4.651	129.1

Cuadro N°39

Demanda agrícola bruta de la parte media y baja del valle del río Chillón para el Corto Plazo (m³/s)																		
Escenario	Valle	Subsector de Riego	Area/Riego (ha)	Progresivas	Ef.Riego	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual (MMC)
Corto Plazo	Parte Media	Yangas	296.0	(79+100 - 62+900)	0.35	0.263	0.265	0.241	0.220	0.175	0.106	0.069	0.156	0.154	0.199	0.207	0.230	6.0
	Parte Baja	Macas	499.0	(63+900 - 52+400)		0.421	0.448	0.430	0.341	0.297	0.215	0.176	0.230	0.238	0.290	0.333	0.344	9.9
		Zapan	278.0	(59+900 - 47+900)		0.154	0.175	0.161	0.178	0.162	0.136	0.095	0.121	0.130	0.150	0.153	0.133	4.6
		San Antonio	483.0	(48+900 - 42+850)		0.251	0.317	0.278	0.272	0.237	0.228	0.121	0.169	0.205	0.246	0.212	0.279	7.4
		Chocas	602.7	(42+450 - 36 +900)		0.460	0.533	0.501	0.419	0.353	0.309	0.253	0.288	0.287	0.335	0.348	0.339	11.6
		Huacotay	312.8	(35+300)		0.215	0.267	0.184	0.221	0.185	0.177	0.139	0.160	0.161	0.194	0.188	0.206	6.0
		Caudivilla	718.6	(31+550)		0.551	0.648	0.599	0.557	0.407	0.355	0.344	0.379	0.376	0.464	0.459	0.501	14.8
		Chacra Cerro Alto	225.5	(30+ 750)		0.181	0.202	0.183	0.144	0.129	0.113	0.081	0.123	0.115	0.140	0.132	0.155	4.5
		Chaca Cerro Pujio	131.1	(30+ 750)		0.125	0.136	0.124	0.099	0.086	0.057	0.039	0.075	0.064	0.076	0.085	0.113	2.8
		Chuquitanta	278.3	(30+ 750)		0.200	0.233	0.239	0.204	0.165	0.132	0.107	0.129	0.141	0.164	0.173	0.200	5.5
		Oquenco	309.7	(30+ 750)		0.240	0.271	0.260	0.199	0.188	0.168	0.124	0.136	0.153	0.175	0.174	0.204	6.0
		San Lorenzo	745.4	(27+050)		0.644	0.757	0.614	0.559	0.544	0.310	0.205	0.390	0.398	0.558	0.561	0.646	16.2
		Carabayllo	803.3	(27+050)		0.605	0.676	0.689	0.621	0.522	0.370	0.263	0.452	0.427	0.518	0.518	0.631	16.5
		Isleta	326.8	(27+050)		0.277	0.301	0.284	0.244	0.197	0.099	0.088	0.164	0.150	0.195	0.218	0.273	6.5
		Cachaza	164.2	(27+050)		0.144	0.156	0.147	0.131	0.113	0.080	0.057	0.077	0.080	0.096	0.103	0.132	3.4
Total			6,174.4			4.730	5.383	4.934	4.408	3.760	2.857	2.162	3.049	3.080	3.801	3.864	4.385	121.7

Cuadro N°40

Demanda agrícola bruta de la parte media y baja del valle del río Chillón para el Mediano Plazo (m3/s)																			
Escenario	Valle	Subsector de Riego	Area/Riego (ha)	Progresivas	Ef. Riego	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual (MMC)	
Situación Mediano Plazo	Parte Media	Yangas	296.0	(79+100 - 62+900)	0.37	0.249	0.250	0.228	0.208	0.166	0.101	0.065	0.147	0.145	0.188	0.196	0.217	5.7	
	Parte Baja	Macas	499.0	(63+900 - 52+400)		0.398	0.424	0.406	0.322	0.281	0.203	0.167	0.218	0.225	0.274	0.315	0.326	0.326	9.3
		Zapan	278.0	(59+900 - 47+900)		0.146	0.165	0.152	0.168	0.153	0.129	0.090	0.115	0.123	0.142	0.145	0.126	4.3	
		San Antonio	483.0	(48+900 - 42+850)		0.238	0.300	0.263	0.257	0.224	0.216	0.114	0.160	0.194	0.233	0.200	0.264	7.0	
		Chocas	602.7	(42+450 - 36 +900)		0.435	0.504	0.474	0.397	0.334	0.292	0.239	0.273	0.272	0.317	0.330	0.320	11.0	
		Huacotay	312.8	(35+300)		0.203	0.252	0.174	0.209	0.175	0.167	0.132	0.151	0.152	0.184	0.178	0.195	5.7	
		Caudivilla	718.6	(31+550)		0.521	0.613	0.566	0.526	0.385	0.336	0.326	0.359	0.356	0.438	0.434	0.474	14.0	
		Chacra Cerro Alto	225.5	(30 + 750)		0.171	0.191	0.174	0.137	0.122	0.107	0.077	0.116	0.109	0.132	0.124	0.146	4.2	
		Chaca Cerro Puquio	131.1	(30 + 750)		0.118	0.129	0.117	0.094	0.081	0.054	0.037	0.071	0.061	0.072	0.081	0.107	2.7	
		Chuquitanta	278.3	(30 + 750)		0.190	0.221	0.226	0.193	0.156	0.125	0.101	0.122	0.133	0.155	0.164	0.189	5.2	
		Oquendo	309.7	(30 + 750)		0.227	0.256	0.246	0.188	0.177	0.159	0.117	0.128	0.144	0.165	0.164	0.193	5.7	
		San Lorenzo	745.4	(27+050)		0.609	0.716	0.581	0.529	0.515	0.293	0.194	0.369	0.377	0.528	0.530	0.611	15.3	
		Carabaylo	803.3	(27+050)		0.572	0.640	0.652	0.587	0.494	0.350	0.248	0.427	0.404	0.490	0.490	0.597	15.6	
		Isleta	326.8	(27+050)		0.262	0.284	0.269	0.231	0.186	0.094	0.084	0.155	0.142	0.185	0.206	0.258	6.2	
		Cachaza	164.2	(27+050)		0.136	0.147	0.139	0.124	0.106	0.076	0.054	0.072	0.076	0.091	0.098	0.125	3.3	
	Total		6,174.4			4.474	5.092	4.667	4.170	3.556	2.702	2.045	2.884	2.913	3.595	3.655	4.148	115.1	

Cuadro N°41

Demanda agrícola bruta de la parte media y baja del valle del río Chillón para el Largo Plazo (m <sup>3</sup> /s)																			
Escenario	Valle	Subsector de Riego	Area Riego (ha)	Progresivas	Ef. Riego	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Annual (MMC)	
Situación Largo Plazo	Parte Media	Yangas	296.0	(79+100 - 62+900)	0.4	0.230	0.231	0.211	0.192	0.153	0.093	0.060	0.136	0.134	0.174	0.181	0.201	5.2	
	Parte Baja	Macas	499.0	(63+900 - 52+400)		0.368	0.392	0.376	0.298	0.260	0.188	0.154	0.201	0.208	0.254	0.292	0.301	0.301	8.6
		Zapan	278.0	(59+900 - 47+900)		0.135	0.153	0.141	0.156	0.141	0.119	0.084	0.106	0.114	0.132	0.134	0.117	0.117	4.0
		San Antonio	483.0	(48+900 - 42+850)		0.220	0.278	0.243	0.238	0.207	0.200	0.106	0.148	0.179	0.215	0.185	0.244	0.244	6.5
		Chocas	602.7	(42+450 - 36 +900)		0.402	0.466	0.439	0.367	0.309	0.271	0.221	0.252	0.251	0.294	0.305	0.296	0.296	10.2
		Huacotay	312.8	(35+300)		0.188	0.233	0.161	0.193	0.162	0.155	0.122	0.140	0.140	0.170	0.164	0.180	0.180	5.3
		Caudivilla	718.6	(31+550)		0.482	0.567	0.524	0.487	0.356	0.311	0.301	0.332	0.329	0.406	0.402	0.438	0.438	12.9
		Chacra Cerro Alto	225.5	(30 + 750)		0.158	0.176	0.161	0.126	0.113	0.099	0.071	0.107	0.101	0.122	0.115	0.135	0.135	3.9
		Chaca Cerro Puguio	131.1	(30 + 750)		0.109	0.119	0.108	0.087	0.075	0.050	0.034	0.065	0.056	0.067	0.075	0.099	0.099	2.5
		Chuquitanta	278.3	(30 + 750)		0.175	0.204	0.209	0.179	0.144	0.115	0.093	0.113	0.123	0.143	0.151	0.175	0.175	4.8
		Oquendo	309.7	(30 + 750)		0.210	0.237	0.228	0.174	0.164	0.147	0.109	0.119	0.134	0.153	0.152	0.178	0.178	5.3
		San Lorenzo	745.4	(27+050)		0.564	0.662	0.537	0.489	0.476	0.271	0.179	0.341	0.349	0.489	0.491	0.565	0.565	14.2
		Carabaylo	803.3	(27+050)		0.529	0.592	0.603	0.543	0.457	0.323	0.230	0.395	0.374	0.453	0.454	0.552	0.552	14.4
		Isleta	326.8	(27+050)		0.243	0.263	0.249	0.214	0.172	0.087	0.077	0.144	0.132	0.171	0.190	0.239	0.239	5.7
		Cachaza	164.2	(27+050)		0.126	0.136	0.128	0.114	0.098	0.070	0.050	0.067	0.070	0.084	0.090	0.115	0.115	3.0
	Total		6,174.4			4.139	4.710	4.317	3.857	3.290	2.499	1.891	2.668	2.695	3.326	3.381	3.837	106.5	

### **7.6.2. Demanda de uso poblacional**

La distribución de la demanda hídrica poblacional de los asentamientos humanos en el valle del Chillón, depende del comportamiento climático el cual establece diferentes condiciones de habitabilidad, en función de los pisos altitudinales. En el valle del Chillón, se distingue una marcada actividad agropecuaria en la zona media y alta, con un desarrollo de infraestructura vial precario y una frágil evolución de los contados asentamientos humanos existentes. Los asentamientos humanos en el valle se encuentran principalmente ocupando la extensión noreste de Lima, entre los que se puede enumerar: Puente Piedra, Comas, Carabayllo y Callao. Hacia el interior, en la cuenca alta, se distinguen los distritos de Yangas, Santa Rosa de Quives, Pampacocha, Canta, Huaros, y Arahua y con asentamientos menores.

Contrariamente a lo que sucede en la zona media alta, en las zonas media y baja, se observa un incremento de las demandas competitivas por los recursos agua y suelo, evidenciándose la prevalencia del crecimiento urbano sobre tierras de aptitud agrícola, las que progresivamente van quedando sin posibilidades de irrigación por el sistemático deterioro de la infraestructura de riego, obligando muchas veces a los agricultores a emplear las aguas servidas de las mismas habilitaciones urbanas que vienen desplazando a sus antiguos vecinos, hecho que conlleva a poner en riesgo la salud de parceleros y consumidores de los productos regados con desagües no tratados, favoreciendo la diseminación de una serie de enfermedades gastro-intestinales entre las que se encuentran el cólera, entre otras. Se observa igualmente la decapitación de importantes extensiones de tierras agrícolas por el labrado de ladrillo y adobes, recurso desesperado de algunos agricultores que sacrifican parte de sus parcelas cediendo por irrisorias sumas, las capas más productivas de sus tierras.

Según el Banco de información distrital del Instituto Nacional de Estadística e informática ([www.inei.gob.pe](http://www.inei.gob.pe)), la población de la cuenca al 2002 fue de 1'590,954 habitantes. En cuanto a la distribución geográfica se aprecia que la provincia de Canta tiene una población de 11 886 habitantes (0.75%) del total

de la cuenca y la del cono Norte Lima - Callao es de 1'579,068 (99.25%) del total.

Asimismo se observa que el Distrito de Comas, provincia de Lima, concentra la mayor población (496 100 habitantes) y el Distrito de San Buenaventura, en Canta la menor población (555 habitantes) y que existe un profundo contraste entre la densidad poblacional de la Provincia de Canta que es de 12.6 hab./Km<sup>2</sup>, frente a la del Cono Norte que es de 10 255.4 hab./km<sup>2</sup>.

Cuadro N°42

Población de la cuenca del río Chillón (Al 2002)

Provincia de Canta			Provincia de Lima		
Distrito	Habitantes	Densidad (Hab/km <sup>2</sup> )	Distrito	Habitantes	Densidad (Hab/km <sup>2</sup> )
Arahuay	727	5.4	San Martín de Porras	459139	12439.4
Canta	3378	27.4	Los Olivos	301226	16505.5
Huamantanga	1384	2.8	Carabaylo	148634	428.5
Huaros	1291	3.9	Pte.Piedra	168073	2361.2
San Buenaventura	555	5.2	Comas	496100	10176.4
Lachaqui	1222	8.9	Sta.Rosa	5896	274.2
Sta.Rosa de Quives	3329	9.1			
TOTAL	11886	12.6		1579068	10255.4

Fuente : INEI (2003)

El número de viviendas con servicio de agua en los distritos de las provincias de Canta y Lima antes señalados según tipo de abastecimiento se muestra en el Cuadro N°43.

Para el caso del cálculo de la demanda hídrica poblacional consuntiva sólo se consideró lo concerniente al ámbito urbano que representa el 99% del total.

Cuadro N°43

Número de viviendas con abastecimiento de agua según distritos involucrados en la cuenca del río Chillón y por fuente hídrica

Fuente hídrica		Agua superficial									Agua subterránea				Otro tipo : p.e.filtraciones		
Provincia	Distrito	Vivienda con Abastecimiento de Agua - Red Pública dentro de la Vivienda		Vivienda con Abastecimiento de Agua - Red Pública fuera de la Vivienda pero dentro del edificio		Vivienda con Abastecimiento de Agua - Pílon de Uso Público		Vivienda con Abastecimiento de Agua - Río, Acequia u Otro Similar		Total Urbano	Vivienda con Abastecimiento de Agua - Pozo		Vivienda con Abastecimiento de Agua - Camión Cisterna u Otro Similar		Total Urbano	Vivienda con Abastecimiento de Agua - Otro tipo	
		Total	Urbano	Total	Urbano	Total	Urbano	Total	Urbano		Total	Urbano	Total	Urbano		Total	Urbano
CANTA	CANTA	350	350	266	266	67	67	98	4	687	2	2	0	0	2	22	22
	ARAHUAY	124	124	0	0	15	1	60	0	125	6	0	22	0	0	18	0
	HUAMANTANGA	253	253	37	37	53	41	10	1	332	1	1	2	2	3	42	28
	HUAROS	135	135	91	91	21	16	96	29	271	2	2	1	1	3	25	25
	LACHAQUI	145	145	81	81	119	39	13	4	269	9	4	3	3	7	17	16
	SAN BUENAVENTURA	32	32	20	20	60	1	29	1	54	17	0	0	0	0	27	11
	SANTA ROSA DE QUIVES	39	39	3	3	79	3	524	26	71	30	0	14	0	0	7	4
LIMA	CARABAYLLO	12877	12877	799	799	1475	1177	687	221	15074	1201	477	3176	2870	3347	585	526
	COMAS	51547	51547	2990	2990	2989	2989	187	187	57713	1725	1725	7495	7495	9220	1131	1131
	LOS OLIVOS	23991	23991	974	974	7166	7166	249	249	32380	271	271	11414	11414	11685	508	508
	PUENTE PIEDRA	5097	5097	578	578	5131	5130	294	285	11090	5060	4834	3679	3678	8512	420	419
	SAN MARTIN DE PORRES	52769	52769	5017	5017	6113	6108	126	114	64008	1049	699	3923	3843	4542	469	463
	SANTA ROSA	304	304	39	39	261	261	0	0	604	3	3	57	57	60	21	21
<b>TOTAL</b>		<b>147663</b>	<b>147663</b>	<b>10895</b>	<b>10895</b>	<b>23549</b>	<b>22999</b>	<b>2373</b>	<b>1121</b>	<b>182678</b>	<b>9376</b>	<b>8018</b>	<b>29786</b>	<b>29363</b>	<b>37381</b>	<b>3292</b>	<b>3174</b>

Fuente : INEI - 2003



El siguiente cuadro N°44, muestra los cálculos de la demanda hídrica poblacional para la situación actual así como proyecciones de la demanda al 2005 (Corto plazo), 2010 (Mediano plazo) y 2020 (Largo plazo).

La tasa de crecimiento poblacional de los distritos de la provincia de Canta se ha fijado en 2.2% anual, mientras que la correspondiente a los distritos de la provincia de Lima en 3.2% anual, según información del INEI y de la Municipalidad Metropolitana de Lima.

Cabe mencionar que para afrontar la demanda hídrica poblacional principalmente la concerniente al sector norte de Lima el Servicio de Agua Potable y Alcantarillado (SEDAPAL) a través del Consorcio Agua Azul S.A. ha ejecutado el Proyecto Río Chillón I, que tiene como propósito principal el aprovechamiento óptimo de las aguas superficiales y subterráneas del río Chillón mediante la construcción de infraestructura necesaria para la captación y tratamiento del agua que permita dotar de este recurso a las poblaciones de los distritos de Carabaylo, Ventanilla, Comas, Puente Piedra, Santa Rosa y Ancón.

La construcción de la planta de tratamiento de agua se concretó gracias a la concesión otorgada por el Estado Peruano, al Consorcio Agua Azul S.A mediante contrato firmado el 07 de abril del año 2000 y por un período de 25 años.

La captación del agua superficial se hace mediante una presa fija de derivación y la captación del agua subterránea mediante pozos profundos, aprovechando el almacenamiento del acuífero aluvial en el valle del río, en la zona de Punchauca.

Cuadro N°44

Provincia	Distritos	Dotación Urbana (l/ha/día)	Año 2002					Año 2005			Año 2010			Año 2020		
			Población Total (N°hab)	Viviendas con servicio de agua en ámbito urbano	N°hab. ámbito urbano con servicio de agua (Considerando 04 personas por familia)	Porcentaje de cobertura del servicio de agua poblacional	Demanda de agua poblacional (l/s)	N°hab. ámbito urbano con servicio de agua para la población	Porcentaje de cobertura del servicio de agua poblacional	Demanda de agua poblacional (l/s)	N°hab. ámbito urbano con servicio de agua para la población	Porcentaje de cobertura del servicio de agua poblacional	Demanda de agua poblacional (l/s)	N°hab. ámbito urbano con servicio de agua para la población	Porcentaje de cobertura del servicio de agua poblacional	Demanda de agua poblacional (l/s)
CANTA	CANTA	150	3378	687	2748	81.3	4.8	2933	81.3	5.1	3271	81.3	5.7	4066	81.3	7.1
	ARAHUAY	150	727	125	500	68.8	0.9	534	68.8	0.9	595	68.8	1.0	740	68.8	1.3
	HUAMANTANGA	150	1384	332	1328	96.0	2.3	1418	96.0	2.5	1581	96.0	2.7	1965	96.0	3.4
	HUAROS	150	1291	271	1084	84.0	1.9	1157	84.0	2.0	1290	84.0	2.2	1604	84.0	2.8
	LACHAQUI	150	1222	269	1076	88.1	1.9	1149	88.1	2.0	1281	88.1	2.2	1592	88.1	2.8
	SAN BUENAVENTURA	150	555	54	216	38.9	0.4	248	41.9	0.4	359	54.3	0.6	381	46.4	0.7
	SANTA ROSA DE QUIVES	150	3329	71	284	8.5	0.5	326	9.2	0.6	472	11.9	0.8	501	10.2	0.9
LIMA	CARABAYLLO	200	148634	15074	60296	40.6	139.6	69255	43.6	160.3	100149	56.6	231.8	106320	48.3	246.1
	COMAS	200	496100	57713	230852	46.5	534.4	265154	50.1	613.8	383436	64.9	887.6	407061	55.5	942.3
	LOS OLIVOS	200	301226	32380	129520	43.0	299.8	148765	46.3	344.4	215128	60.0	498.0	228383	51.2	528.7
	PUENTE PIEDRA	200	168073	11090	44360	26.4	102.7	50951	28.4	117.9	73680	36.8	170.6	78220	31.5	181.1
	SAN MARTIN DE PORRAS	200	459139	64008	256032	55.8	592.7	294076	60.0	680.7	425259	77.8	984.4	451461	66.5	1045.0
	SANTA ROSA	200	5896	604	2416	41.0	5.6	2775	44.1	6.4	4013	57.2	9.3	4260	48.8	9.9
Total			1590954	182678	730712	45.9	53.2 MMC	838742	57.0	61.1 MMC	1210513	64.4	88.2 MMC	1286553	59.7	93.7 MMC

Tasa de crecimiento demográfico anual Cono Norte de Lima = 3.2% (Fuente : INEI, Municipalidad Metropolitana de Lima)

Las principales características del sistema hidráulico del proyecto son las siguientes:

- Agua superficial

- Estructura de captación de 5.0 m<sup>3</sup>/s.
- Reservorio de compensación con una capacidad de 200,000 m<sup>3</sup>.
- Planta de tratamiento para 2.5 m<sup>3</sup>/s.
- 02 reservorios de regulación (con capacidad de 7,000 m<sup>3</sup> cada uno).
- 06 kilómetros de enrocado de protección.

- Agua subterránea

- 28 pozos tubulares con capacidad de 1.2 m<sup>3</sup>/s.
- 15 kilómetros de líneas de energía eléctrica 10kV.

- Sistema de distribución de agua potable

- 56 kilómetros de tubería en dos secciones de bombeo (Ancón-Ventanilla y Los Olivos-Comas).
- 06 reservorios de carga con capacidad de 9,700 m<sup>3</sup>

En la actualidad la producción de agua potable es de 2 m<sup>3</sup>/s en la estación húmeda de 05 meses (Diciembre a abril) y 1 m<sup>3</sup>/s de explotación del agua subterránea durante la estación seca de 07 meses (Mayo a Noviembre). Esto hace una producción anual equivalente a 44.5 MMC (26.2 MMC producto de agua superficial y 18.3 MMC de agua subterránea).

Cabe destacar que el Consorcio Agua Azul S.A tiene como propuesta el incrementar a partir de los próximos 07 años la oferta hídrica para uso poblacional a 88.0 MMC mediante la ejecución del Proyecto Chillón II que consistirá básicamente en almacenar un total de 60 MMC de agua adicional en un embalse ubicado cerca de la actual planta de tratamiento denominado Embalse Río Seco.

Ello permitirá utilizar anualmente 85.0 MMC de agua superficial y 3 MMC de agua subterránea.

## 7.7. Demanda de agua de uso no consuntivo

### 7.7.1. Demanda recreacional

La demanda recreacional actual fue estimada en 4.7 MMC/anuales en base al muestreo realizado de los principales centros recreacionales que existen a lo largo de la carretera hacia Canta y Obrajillo.

El estudio tiene como hipótesis que este tipo de demanda se incrementará en el futuro en una tasa anual del 5%.

## 8. PLANIFICACIÓN DEL RECURSO HÍDRICO, OFERTA Y DEMANDA PARA LOS PRÓXIMOS 20 AÑOS.

La demanda hídrica total es la sumatoria de la demanda agrícola, demanda poblacional y demanda recreativa del valle del río Chillón.

Cabe mencionar que la demanda industrial no se toma en cuenta en este estudio debido a que ésta es cubierta totalmente con explotación del agua subterránea que se realiza en el valle en un volumen anual de 1.39 MMC.

El siguiente cuadro muestra la proyección de la demanda hídrica total anual del valle del río Chillón a corto, mediano y largo plazo.

Cuadro N°45

Proyección de la demanda hídrica anual del valle del río Chillón				
Demanda hídrica (MMC/año)	Escenarios			
	Situación Actual	Corto Plazo	Mediano Plazo	Largo Plazo
	2002	2005	2010	2020
Demanda Agrícola (Parte Media Alta y Baja)	129.1	121.7	115.1	106.5
Demanda Poblacional	53.2	61.1	88.2	93.7
Demanda Recreacional	4.7	4.9	6.3	10.3
Total	187.0	187.7	209.6	210.5

## 9. BALANCE HÍDRICO DE LA CUENCA DEL RÍO CHILLÓN

### 9.1. Determinación y descripción de los principales componentes del balance hídrico

A solicitud de la ATDR Chillón - Rímac - Lurín, el balance hídrico de la cuenca del río Chillón se realizará teniendo en cuenta los subsectores de riego de la parte media y baja de la cuenca ubicados desde aguas arriba hacia aguas abajo.

La oferta hídrica considerada para cada uno de los subsectores estará compuesta por:

- Oferta hídrica natural del río Chillón.
- Oferta hídrica embalsada en las lagunas reguladas de la cuenca
- Oferta hídrica de agua subterránea extraída mediante bombeo de los pozos ubicados en la llanura aluvial del valle.
- Porcentaje de agua de recuperación o cola producida por la carga hidráulica inducida en algunas zonas por el río Chillón, por los canales y por los sobrantes de riego de las zonas agrícolas de la parte alta y media del valle.

En relación con la oferta de agua subterránea, el estudio a considerado los volúmenes de aporte indicados en el siguiente cuadro.

Cuadro N°46

Explotación del agua subterránea para diferentes usos en el valle del río Chillón			
Uso	Volumen (MMC/año)		Fuente de Información
	Situación Actual y Corto Plazo	Situación a Mediano y Largo Plazo	
Poblacional	18.5	2.6	Proyecto Chillón - SEDAPAL (2003)
Agrícola y Pecuario	5.4	0.0	Estimación Estudio
Industrial	1.4	1.4	Estudio de reconocimiento del Uso del Recurso Hídrico por los diferentes sectores productivos del Perú, MINAG-INRENA-DGAS (1995)

En relación con el porcentaje de agua de recuperación, se ha observado en el valle la existencia de numerosos afloramientos naturales de agua denominados manantiales, puquios, sangraderas u ojos de agua y que son aprovechados principalmente por la agricultura y abastecimiento de agua poblacional de la parte baja del valle.

Se estima que el porcentaje de agua de recuperación en la parte baja del valle está en el orden del 5%.

El balance hídrico de la cuenca del río Chillón se realizará para 04 escenarios según las características indicadas en el siguiente cuadro.

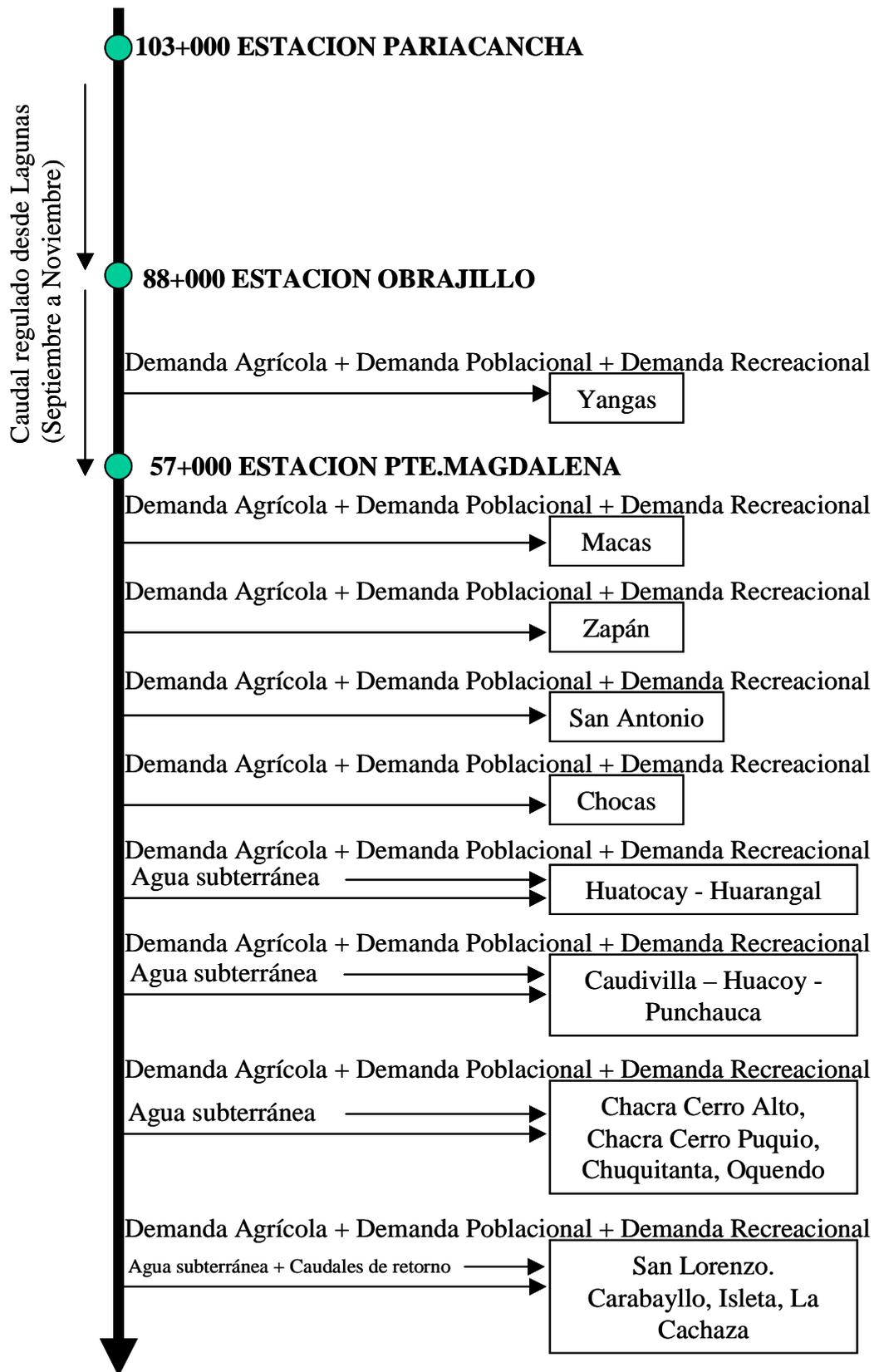
Cuadro N°47

Escenarios simulados				
Carácterística	Situación Actual	Corto Plazo	Mediano Plazo	Largo Plazo
Proyección del año	2003-2004	2005	2010	2020
Oferta hídrica superficial regulada en embalses (MMC) (*)	0	0	60	60
Oferta hídrica subterránea uso poblacional (MMC) (*)	18.5	18.5	2.6	2.6
Eficiencia de riego (%)	33	35	37	40
Tasa de crecimiento poblacional anual	Provincia de Canta (2.2%) y Provincia de Lima (3.2%)			
Tasa de crecimiento demanda recreativa anual	5%			

(\*) Según Consorcio Agua Azul

Los componentes de oferta y demanda hídrica por subsectores de riego se explican a continuación con ayuda del esquema mostrado en la siguiente figura.

Figura N°19 Esquema de los componentes de oferta y demanda hídrica por  
subsector de riego



- Para obtener el balance hídrico del subsector de riego Yangas se consideró los aportes de la descarga de agua superficial naturalizada en la Estación Obrajillo a la cual se le añade la descarga desde las lagunas detectadas en Obrajillo y se le extrae las demandas hídricas de uso agrícola, poblacional y recreacional.
- Para los subdistritos de riego : Macas, Zapán, San Antonio y Chocas se consideró los aportes de la descarga de agua superficial naturalizada en la Estación Puente Magdalena a la cual se le añade la descarga reguladas desde las lagunas estimada en Puente Magdalena. A dicha oferta hídrica se va extrayendo de manera secuencial para cada uno de los subsectores de riego la demanda hídrica de uso agrícola, poblacional y recreacional.
- Para los subsectores de riego de Huatocay - Huarangal, Caudivilla Huacoy - Punchauca, Chacra Cerro Alto, Chacra Cerro Puquio, Chuquitanta y Oquendo, el proceso de cálculo del balance hídrico es similar al punto anterior pero se le adiciona a éste el componente de agua subterránea.
- Finalmente para el conjunto de los subsectores de riego San Lorenzo, Carabaillo, Isleta y La Cachaza el proceso se repite de manera similar al punto anterior pero se adiciona el caudal de retorno.

Los criterios de evaluación de cada uno de los escenarios anteriormente indicados serán los niveles de confiabilidad de la cobertura de la demanda hídrica en términos de cantidad o volumen de agua entregado por el sistema, así como en términos de oportunidad en el tiempo referido a la entrega de agua a los subsectores de riego.

La confiabilidad en términos de volumen de agua se calculó mediante la

siguiente ecuación: 
$$Confiabilidad\_Volumen = \frac{(\sum Demanda\_total - \sum Déficit)}{\sum Demanda\_total} * 100$$

De manera recíproca, la confiabilidad en el tiempo se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$Confiabilidad\_Tiempo = \frac{(\sum Meses\_simulados - \sum Meses\_con\_déficit)}{\sum Meses\_simulados} * 100$$

Los niveles de confiabilidad anteriormente expuestos son determinados para cada mes.

En situación actual los niveles de confiabilidad indican la existencia de un déficit hídrico de 8.8 MMC entre los meses de agosto a diciembre, siendo más crítica la situación en el mes de diciembre y agosto respectivamente para los subsectores ubicados en la parte baja del valle. Esto se explica por la alta competencia entre los usos agrícola y poblacional en dicho periodo de tiempo.

En el escenario a corto plazo los niveles de confiabilidad indican que existirá un déficit hídrico de 16.5 MMC entre los meses de julio a diciembre, agudizándose el nivel en el mes de diciembre principalmente en los sectores San Lorenzo, Carabaillo, Isleta y La Cachaza, esto último debido a que se espera mayor competencia entre los usos agrícola y poblacional.

En el escenario a mediano plazo los niveles de confiabilidad son mayores que el nivel a corto plazo, debido principalmente a la ejecución del Proyecto Chillón II que incorpora al sistema 60 MMC para abastecimiento poblacional.

Para la población proyectada y nivel de cobertura de agua para uso poblacional asumida en el estudio, se espera la existencia de un déficit hídrico de 1.4 MMC entre los meses de agosto a diciembre, principalmente en los sectores de San Lorenzo, Carabaillo, Isleta y La Cachaza.

En el escenario a largo plazo, los niveles de confiabilidad indican un déficit hídrico de 6.0 MMC entre los meses de julio a diciembre, ello se explica por el mayor crecimiento poblacional e igual cantidad de oferta hídrica que en el escenario a corto plazo, de manera similar en los sectores de San Lorenzo, Carabaillo, Isleta y La Cachaza.

Cuadro N°48

Niveles de Confiabilidad en el tiempo del periodo de simulación y en la satisfacción de volumen de demanda (%)													
Escenario	Subsector de Riego	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
		Confiabilidad en el periodo de simulación de 54 años (%)											
Situación Actual	Yangas	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	92.6	94.4	96.3	98.1
	Macas	98.1	100.0	96.3	98.1	98.1	96.3	100.0	98.1	98.1	98.1	98.1	96.3
	Zapán	98.1	100.0	96.3	98.1	98.1	96.3	96.3	94.4	98.1	98.1	98.1	96.3
	San Antonio	98.1	100.0	96.3	98.1	98.1	96.3	96.3	85.2	98.1	98.1	98.1	96.3
	Chocas	94.4	100.0	96.3	98.1	98.1	90.7	87.0	75.4	94.4	94.4	94.4	88.9
	Huatocay - Huarangal	90.7	100.0	94.4	98.1	98.1	90.7	90.7	75.1	90.7	90.7	90.7	81.5
	Caudivilla	87.0	100.0	94.4	98.1	98.1	96.3	100.0	94.4	87.0	87.0	87.0	74.1
	Chacra Cerro Alto a Oquendo	79.6	98.1	92.6	94.4	83.3	78.5	75.8	73.0	79.6	79.6	79.6	73.8
	San Lorenzo a La Cachaza	85.3	92.6	90.7	88.9	85.7	80.6	75.8	72.2	68.5	68.5	68.5	70.7
	Confiabilidad en la satisfacción del volumen de demanda en el periodo de simulación de 54 años (%)												
	Yangas	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	94.6	96.6	96.3	98.1
	Macas	99.2	100.0	96.3	98.5	99.7	98.6	100.0	99.0	99.2	99.2	99.2	97.2
	Zapán	96.1	100.0	86.8	95.3	97.6	94.2	98.0	94.7	96.1	96.1	96.1	89.3
	San Antonio	95.7	100.0	88.4	95.0	96.5	92.7	94.7	85.9	95.7	95.7	95.7	91.0
	Chocas	95.5	100.0	89.8	94.9	95.8	87.4	88.5	80.7	95.5	95.5	95.5	86.2
	Huatocay - Huarangal	82.7	100.0	90.7	88.6	92.9	82.9	88.2	85.4	82.7	82.7	82.7	74.2
	Caudivilla	82.7	100.0	86.6	94.6	98.7	97.9	100.0	98.8	82.7	82.7	82.7	72.8
	Chacra Cerro Alto a Oquendo	92.8	98.6	87.5	93.0	92.0	85.4	85.1	67.7	74.6	74.6	74.6	69.5
	San Lorenzo a La Cachaza	75.2	94.2	83.9	90.0	85.6	83.9	80.6	65.8	65.8	66.2	67.1	67.3

Cuadro N°49

Escenario		Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Volumen
		Confiabilidad en el periodo de simulación de 54 años (%)						
Situación Actual	Caudivilla						0.406	1.1
	Chacra Cerro Alto a Oquendo		0.421				0.414	2.2
	San Lorenzo a La Cachaza		0.438	0.386	0.395	0.429	0.418	5.5
Total (MMC)								8.8

Cuadro N°50

Niveles de Confiabilidad en el tiempo del periodo de simulación y en la satisfacción de volumen de demanda (%)														
Escenario	Subsector de Riego	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
		Confiabilidad en el periodo de simulación de 54 años (%)												
Situación Corto Plazo	Yangas	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	94.4	94.4	96.3	98.1	
	Macas	98.1	100.0	96.3	98.1	98.1	96.3	100.0	98.1	98.1	98.1	98.1	96.3	
	Zapán	98.1	100.0	96.3	98.1	98.1	96.3	96.3	96.3	98.1	98.1	98.1	96.3	
	San Antonio	98.1	100.0	96.3	98.1	98.1	96.3	96.3	87.0	98.1	98.1	98.1	96.3	
	Chocas	98.1	100.0	96.3	98.1	98.1	90.7	88.9	75.1	98.1	98.1	98.1	90.7	
	Huatocay - Huarangal	90.7	100.0	94.4	98.1	98.1	92.6	90.7	79.6	90.7	90.7	90.7	85.2	
	Caudivilla	87.0	100.0	94.4	98.1	98.1	96.3	100.0	96.3	87.0	87.0	87.0	75.9	
	Chacra Cerro Alto a Oquendo	79.6	98.1	92.6	94.4	83.3	78.3	75.3	72.6	79.6	79.6	79.6	74.5	
	San Lorenzo a La Cachaza	85.3	92.6	90.7	88.9	85.6	80.4	74.2	71.8	68.5	68.5	68.5	70.2	
	Confiabilidad en la satisfacción del volumen de demanda en el periodo de simulación de 54 años (%)													
	Yangas	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	94.7	96.7	96.3	98.1
	Macas	99.3	100.0	96.3	98.5	99.8	98.7	100.0	99.1	99.3	99.3	99.3	99.3	97.2
	Zapán	96.3	100.0	86.9	95.4	97.8	94.4	98.5	95.1	96.3	96.3	96.3	96.3	89.5
	San Antonio	95.8	100.0	88.4	95.0	96.6	92.8	95.1	87.5	95.8	95.8	95.8	95.8	91.0
	Chocas	95.8	100.0	89.8	94.9	95.8	88.2	89.5	86.5	95.8	95.8	95.8	95.8	87.2
	Huatocay - Huarangal	85.3	100.0	75.1	88.7	93.2	84.8	90.3	85.3	85.3	85.3	85.3	85.3	68.0
	Caudivilla	84.1	100.0	87.1	94.8	98.9	98.3	100.0	99.1	84.1	84.1	84.1	84.1	70.1
	Chacra Cerro Alto a Oquendo	75.9	98.7	88.1	93.4	92.3	85.6	84.6	68.2	75.9	75.9	75.9	75.9	68.8
	San Lorenzo a La Cachaza	75.4	94.3	84.0	90.0	85.2	82.9	74.8	65.8	65.6	66.3	67.0	67.1	

Cuadro N°51

Escenario		Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Volumen
		Confiabilidad en el periodo de simulación de 54 años (%)						
Corto Plazo	Chacra Cerro Alto a Oquendo		0.834				0.797	4.4
	San Lorenzo a La Cachaza	0.848	0.850	0.689	0.679	0.694	0.805	12.1
Total (MMC)								16.5

Cuadro N°52

Niveles de Confiabilidad en el tiempo del periodo de simulación y en la satisfacción de volumen de demanda (%)													
Escenario	Subsector de Riego	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
		Confiabilidad en el periodo de simulación de 54 años (%)											
Situación Mediano Plazo	Yangas	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	94.4	94.4	96.3	98.1
	Macas	98.1	100.0	96.3	98.1	98.1	96.3	100.0	98.1	98.1	98.1	98.1	96.3
	Zapán	98.1	100.0	96.3	98.1	98.1	96.3	96.3	96.3	98.1	98.1	98.1	96.3
	San Antonio	98.1	100.0	96.3	98.1	98.1	96.3	96.3	88.9	98.1	98.1	98.1	96.3
	Chocas	98.1	100.0	96.3	98.1	98.1	90.7	90.7	72.2	98.1	98.1	98.1	92.6
	Huatocay - Huarangal	92.6	100.0	96.3	98.1	98.1	92.6	90.7	81.5	92.6	92.6	92.6	87.0
	Caudivilla	94.4	100.0	96.3	98.1	100.0	100.0	100.0	100.0	94.4	94.4	94.4	96.3
	Chacra Cerro Alto a Oquendo	85.2	98.1	94.4	96.3	98.1	98.1	98.1	96.3	85.2	85.2	85.2	64.8
	San Lorenzo a La Cachaza	89.9	92.6	90.7	94.4	85.9	81.4	75.9	73.8	72.9	72.4	72.2	70.2
	Confiabilidad en la satisfacción del volumen de demanda en el periodo de simulación de 54 años (%)												
	Yangas	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	94.7	96.8	96.3	98.1
	Macas	99.3	100.0	96.3	98.5	99.9	98.8	100.0	99.1	99.3	99.3	99.3	97.3
	Zapán	96.5	100.0	87.0	95.4	97.9	94.5	98.7	95.3	96.5	96.5	96.5	89.7
	San Antonio	95.9	100.0	88.4	95.1	96.7	92.9	95.3	88.4	95.9	95.9	95.9	91.1
	Chocas	95.8	100.0	89.7	94.9	95.9	88.7	90.0	92.6	95.8	95.8	95.8	87.8
	Huatocay - Huarangal	87.2	100.0	69.7	88.7	93.4	86.0	91.7	75.3	87.2	87.2	87.2	70.3
	Caudivilla	97.4	100.0	94.0	98.0	100.0	100.0	100.0	100.0	97.4	97.4	97.4	96.7
	Chacra Cerro Alto a Oquendo	87.8	99.3	92.3	96.5	99.1	99.1	99.7	99.5	87.8	87.8	87.8	78.2
	San Lorenzo a La Cachaza	87.7	95.8	86.9	92.7	90.8	88.1	90.0	71.5	70.4	70.4	70.4	66.8

Cuadro N°53

Escenario	Confiabilidad en el periodo de simulación de 54 años (%)							Volumen (MMC)
	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic		
Mediano Plazo	Chacra Cerro Alto a Oquendo						0.060	0.2
	San Lorenzo a La Cachaza		0.095	0.084	0.093	0.086	0.096	1.2
Total (MMC)								1.4

Cuadro N°54

Niveles de Confiabilidad en el tiempo del periodo de simulación y en la satisfacción de volumen de demanda (%)														
Escenario	Subsector de Riego	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
		Confiabilidad en el periodo de simulación de 54 años (%)												
Situación Largo Plazo	Yangas	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	94.4	94.4	96.3	98.1	
	Macas	98.1	100.0	96.3	98.1	98.1	96.3	100.0	98.1	98.1	98.1	98.1	96.3	
	Zapán	98.1	100.0	96.3	98.1	98.1	96.3	96.3	96.3	98.1	98.1	98.1	96.3	
	San Antonio	98.1	100.0	96.3	98.1	98.1	96.3	96.3	88.9	98.1	98.1	98.1	96.3	
	Chocas	98.1	100.0	96.3	98.1	98.1	90.7	90.7	74.1	98.1	98.1	98.1	92.6	
	Huatocay - Huarangal	94.4	100.0	96.3	98.1	98.1	94.4	92.6	81.5	94.4	94.4	94.4	88.9	
	Caudivilla	94.4	100.0	96.3	98.1	100.0	100.0	100.0	100.0	94.4	94.4	94.4	96.3	
	Chacra Cerro Alto a Oquendo	85.2	98.1	94.4	96.3	98.1	98.1	98.1	96.3	85.2	85.2	85.2	63.7	
	San Lorenzo a La Cachaza	89.9	92.6	90.7	94.4	75.3	80.4	74.1	72.9	72.6	72.2	72.8	70.5	
	Confiabilidad en la satisfacción del volumen de demanda en el periodo de simulación de 54 años (%)													
	Yangas	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	94.7	96.8	96.3	98.1	
	Macas	99.4	100.0	96.3	98.5	99.9	98.9	100.0	99.1	99.4	99.4	99.4	97.3	
	Zapán	96.7	100.0	87.3	95.5	98.0	94.7	98.8	95.5	96.7	96.7	96.7	90.1	
	San Antonio	96.0	100.0	88.5	95.1	96.7	92.9	95.3	88.8	96.0	96.0	96.0	91.1	
	Chocas	95.9	100.0	89.6	94.8	95.9	89.1	90.0	75.2	95.9	95.9	95.9	88.2	
	Huatocay - Huarangal	88.8	100.0	77.0	88.9	93.7	86.9	92.3	75.4	88.8	88.8	88.8	72.1	
	Caudivilla	97.8	100.0	94.3	98.1	100.0	100.0	100.0	100.0	97.8	97.8	97.8	74.2	
	Chacra Cerro Alto a Oquendo	88.2	99.3	92.5	96.7	99.1	99.1	99.6	99.4	88.2	88.2	88.2	74.8	
	San Lorenzo a La Cachaza	87.7	95.9	86.9	92.6	90.4	86.4	74.7	68.9	70.4	70.4	70.4	65.9	

Cuadro N°55

Escenario	Confiabilidad en el periodo de simulación de 54 años (%)							Volumen (MMC)
	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic		
Largo Plazo	Chacra Cerro Alto a Oquendo						0.310	0.8
	San Lorenzo a La Cachaza	0.389	0.365	0.295	0.285	0.284	0.314	5.1
Total (MMC)								6.0

## 9.2. Determinación del balance hídrico a escala mensual por subcuenca

El cálculo del balance hídrico mensual para cada una de las subcuencas descritas en el acápite 2.3.2, se desarrolló mediante la aplicación de la siguiente ecuación de balance de masas:

$$\text{Vol.PP} - \text{Vol.ETR} = \text{Vol.Esc} \pm \text{Vol.Alm.}$$

Donde:

Vol.PP : Volumen mensual precipitado sobre la subcuenca (MMC)

Vol.ETR : Volumen mensual evapotranspirado desde la subcuenca (MMC)

Vol.Esc : Volumen mensual de escurrimiento producido en la subcuenca (MMC)

Vol.Alm : Volumen mensual almacenado en la subcuenca (MMC)

Para esto se encontró mediante la técnica de regresión las siguientes ecuaciones para calcular la precipitación total mensual en cualquier punto de la cuenca en función de la altitud.

- Enero  $PP = 0.0002Alt^{1.5775}$  ( $R^2=0.80$ )
- Febrero  $PP = 35.817e^{0.0003Alt}$  ( $R^2=0.74$ )
- Marzo  $PP = 0.0064Alt^{1.191}$  ( $R^2=0.81$ )
- Abril  $PP = 10^{-6} Alt^{2.1144}$  ( $R^2=0.77$ )
- Mayo  $PP = 0.0625e^{0.0013Alt}$  ( $R^2=0.82$ )
- Junio  $PP = 0.0002e^{0.0024Alt}$  ( $R^2=0.67$ )
- Julio  $PP = 0.0003e^{0.0022Alt}$  ( $R^2=0.70$ )
- Agosto  $PP = 0.0005e^{0.0023Alt}$  ( $R^2=0.73$ )

- Septiembre  $PP = 0.0207e^{0.0017Alt}$  ( $R^2=0.66$ )
- Octubre  $PP = 0.7006e^{0.001Alt}$  ( $R^2=0.76$ )
- Noviembre  $PP = 0.6491e^{0.001Alt}$  ( $R^2=0.69$ )
- Diciembre  $PP = 35.817e^{0.0003Alt}$  ( $R^2=0.82$ )

Posteriormente fueron calculados los coeficientes de escurrimiento mensual según el rendimiento hídrico de la cuenca del río Chillón, desarrollado en el Capítulo 06.

Cuadro N°56

Ubicación Subcuencas	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Subcuencas afluentes al cauce del río Chillón y Arahuy entre las Estaciones Puente Magdalena y Obrajillo	0.37	0.58	0.79	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.07	0.11	0.23	0.24
Subcuencas afluentes al cauce del río Chillón entre las Estaciones Obrajillo y Pariacancha	0.45	0.56	0.61	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.62	0.42	0.57	0.50
Subcuencas afluentes al cauce del río Chillón aguas arriba de la Estación Pariacancha	0.62	0.57	0.61	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.35	0.58	0.53	0.65

El siguiente cuadro muestra los cálculos del balance hídrico para cada una de las subcuencas seleccionadas.

ESTUDIO INTEGRAL DE LOS RECURSOS HÍDRICOS DE LA CUENCA DEL RÍO CHILLÓN COMPONENTE  
HIDROLOGÍA SUPERFICIAL

Cuadro N°57

Ubicación	Nombre Subcuenca	Area (Km2)	Altura media (msnm)	Volumen (MMC) (*)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Annual	
Subcuenclas afluentes al cauce del río Chillón y Arahua y entre las Estaciones Puente Magdalena y Obrajillo	Cueva	68.14	1350	Vol.Pp	1.182	3.660	2.332	0.283	0.025	0.000	0.000	0.001	0.014	0.184	0.171	0.416	8.268	
				Vol.ETR	0.797	0.808	0.817	0.723	0.712	0.678	0.678	0.705	0.716	0.743	0.763	0.788	8.928	
				Vol.Pp.Ef.	0.384	2.853	1.515	-0.440	-0.687	-0.678	-0.678	-0.704	-0.702	-0.559	-0.593	-0.373	-0.660	
				Vol.Esc.	0.141	1.664	1.189	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.995	
	Vol.Alm.	0.24307	1.18872	0.32571	-0.44	-0.687	-0.678	-0.6779	-0.7038	-0.7016	-0.559	-0.593	-0.3726	-3.655				
	Ucañan	57.51	2950	Vol.Pp	3.423	4.994	4.994	1.248	0.167	0.014	0.011	0.026	0.180	0.771	0.715	2.274	18.817	
				Vol.ETR	0.492	0.478	0.467	0.458	0.457	0.449	0.471	0.471	0.471	0.471	0.471	0.478	0.501	5.662
				Vol.Pp.Ef.	2.931	4.516	4.527	0.791	-0.290	-0.436	-0.459	-0.445	-0.291	0.301	0.237	1.772	13.154	
				Vol.Esc.	1.258	2.913	3.921	0.713	0.095	0.008	0.007	0.015	0.013	0.088	0.166	0.542	9.739	
	Vol.Alm.	1.67285	1.60321	0.60655	0.0778	-0.29	-0.4355	-0.4593	-0.4451	-0.2907	0.2121	0.0708	1.23	3.553				
	Quiruana	215.43	2000	Vol.Pp	6.946	14.065	11.776	2.056	0.182	0.005	0.005	0.011	0.134	1.117	1.035	3.363	40.694	
				Vol.ETR	1.842	1.790	1.750	1.715	1.710	1.683	1.763	1.763	1.763	1.763	1.790	1.879	21.210	
				Vol.Pp.Ef.	5.103	12.275	10.027	0.341	-1.528	-1.678	-1.758	-1.752	-1.629	-0.646	-0.755	1.485	19.484	
				Vol.Esc.	1.876	7.160	7.871	0.195	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.354	17.456	
	Vol.Alm.	3.22718	5.11531	2.15534	0.1463	-1.528	-1.6777	-1.7578	-1.7523	-1.6292	-0.646	-0.755	1.1306	2.028				
	Chacramito	89.23	3850	Vol.Pp	8.084	10.151	10.641	3.401	0.834	0.185	0.128	0.314	1.290	2.945	2.728	6.668	47.371	
				Vol.ETR	0.354	0.360	0.443	0.471	0.531	0.514	0.531	0.531	0.471	0.398	0.428	0.354	5.387	
				Vol.Pp.Ef.	7.730	9.792	10.198	2.930	0.303	-0.329	-0.403	-0.217	0.819	2.547	2.300	6.314	41.985	
				Vol.Esc.	2.842	5.711	8.006	1.673	0.173	0.000	0.000	0.000	0.059	0.292	0.534	1.506	20.797	
	Vol.Alm.	4.88797	4.0804	2.19222	1.257	0.1302	-0.3291	-0.4027	-0.2166	0.7598	2.2546	1.7658	4.8081	21.188				
	Yaurimana	40.41	3725	Vol.Pp	3.475	4.428	4.633	1.436	0.321	0.062	0.044	0.107	0.472	1.177	1.090	2.791	20.037	
				Vol.ETR	0.160	0.163	0.200	0.213	0.241	0.233	0.241	0.241	0.213	0.180	0.194	0.160	2.439	
				Vol.Pp.Ef.	3.315	4.265	4.433	1.223	0.081	-0.171	-0.196	-0.134	0.259	0.996	0.896	2.630	17.598	
				Vol.Esc.	1.219	2.488	3.480	0.698	0.046	0.000	0.000	0.000	0.019	0.114	0.208	0.627	8.899	
	Vol.Alm.	2.09618	1.77735	0.95287	0.5247	0.0346	-0.1707	-0.1964	-0.1337	0.2403	0.8822	0.6881	2.003	8.699				
	Potaca	13.66	2850	Vol.Pp	0.770	1.151	1.139	0.276	0.035	0.003	0.002	0.005	0.036	0.166	0.154	0.497	4.232	
				Vol.ETR	0.117	0.113	0.111	0.109	0.108	0.107	0.112	0.112	0.112	0.112	0.113	0.119	1.345	
				Vol.Pp.Ef.	0.653	1.038	1.028	0.167	-0.074	-0.104	-0.110	-0.107	-0.076	0.054	0.040	0.378	2.887	
				Vol.Esc.	0.240	0.605	0.807	0.095	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006	0.009	0.090	1.853	
	Vol.Alm.	0.41306	0.43238	0.22089	0.0716	-0.074	-0.1041	-0.1096	-0.107	-0.0757	0.0478	0.0308	0.288	1.034				
	Cotabamba	33.93	3565	Vol.Pp	2.723	3.544	3.692	1.099	0.219	0.035	0.026	0.062	0.302	0.842	0.780	2.110	15.434	
				Vol.ETR	0.290	0.282	0.276	0.270	0.269	0.265	0.278	0.278	0.278	0.278	0.282	0.296	3.341	
				Vol.Pp.Ef.	2.432	3.262	3.416	0.829	-0.050	-0.230	-0.252	-0.216	0.024	0.564	0.498	1.814	12.093	
				Vol.Esc.	0.894	1.902	2.682	0.473	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.065	0.116	0.433	6.567	
	Vol.Alm.	1.53822	1.35922	0.73441	0.3557	-0.05	-0.2296	-0.2516	-0.2156	0.0227	0.4996	0.3824	1.3812	5.526				
	Sacayhuanca	58.95	3040	Vol.Pp	3.679	5.259	5.306	1.364	0.192	0.017	0.014	0.032	0.215	0.865	0.801	2.504	20.250	
				Vol.ETR	0.504	0.490	0.479	0.469	0.468	0.461	0.482	0.482	0.482	0.482	0.490	0.514	5.804	
				Vol.Pp.Ef.	3.175	4.769	4.827	0.894	-0.276	-0.443	-0.468	-0.450	-0.268	0.383	0.312	1.990	14.446	
				Vol.Esc.	1.167	2.782	3.790	0.511	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.044	0.072	0.475	8.840	
	Vol.Alm.	2.00779	1.98743	1.03766	0.3837	-0.276	-0.4431	-0.4682	-0.4502	-0.2675	0.3387	0.2393	1.5156	5.606				
	Chacalla	46.27	2715	Vol.Pp	2.416	3.744	3.640	0.843	0.099	0.006	0.005	0.012	0.097	0.490	0.454	1.500	13.307	
				Vol.ETR	0.396	0.384	0.376	0.368	0.367	0.361	0.379	0.379	0.379	0.379	0.384	0.403	4.556	
				Vol.Pp.Ef.	2.020	3.360	3.264	0.474	-0.268	-0.355	-0.373	-0.367	-0.282	0.112	0.070	1.097	8.752	
				Vol.Esc.	0.743	1.960	2.563	0.271	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.013	0.016	0.262	5.826	
	Vol.Alm.	1.2776	1.40005	0.70167	0.2035	-0.268	-0.3552	-0.3732	-0.3667	-0.2816	0.099	0.0538	0.8351	2.926				
	Curhuane	9.91	1605	Vol.Pp	0.226	0.575	0.417	0.059	0.005	0.000	0.000	0.000	0.003	0.035	0.032	0.091	1.443	
				Vol.ETR	0.116	0.117	0.119	0.105	0.104	0.099	0.099	0.102	0.104	0.108	0.111	0.115	1.299	
				Vol.Pp.Ef.	0.110	0.457	0.298	-0.046	-0.099	-0.099	-0.099	-0.102	-0.101	-0.073	-0.079	-0.023	0.145	
Vol.Esc.				0.040	0.267	0.234	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.541		
Vol.Alm.	0.06946	0.19053	0.06406	-0.046	-0.099	-0.0986	-0.0986	-0.1023	-0.1009	-0.073	-0.079	-0.0232	-0.396					

ESTUDIO INTEGRAL DE LOS RECURSOS HÍDRICOS DE LA CUENCA DEL RÍO CHILLÓN COMPONENTE  
HIDROLOGÍA SUPERFICIAL

Cuadro N°57 (Continuación...)

Ubicación	Nombre Subcuenca	Area (Km2)	Altura media (msnm)	Volumen (MMC) (*)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual	
Subcuenca afuentes al cauce del río Chillón y Arahuay entre las Estaciones Puente Magdalena y Obrajillo	Jicamarca	68.33	2390	Vol.Pp	2.918	5.015	4.618	0.950	0.096	0.004	0.004	0.008	0.082	0.523	0.485	1.633	16.337	
				Vol.ETR	0.584	0.568	0.555	0.544	0.542	0.534	0.559	0.559	0.559	0.559	0.559	0.568	0.596	6.727
				Vol.Pp.Ef.	2.333	4.447	4.063	0.406	-0.447	-0.530	-0.555	-0.551	-0.477	-0.036	-0.083	1.037	9.610	
				Vol.Esc.	0.858	2.594	3.190	0.232	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.247	7.121	
	Posanca	22.54	1315	Vol.Pp	0.375	1.198	0.748	0.089	0.008	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.059	0.055	0.129	2.665
				Vol.ETR	0.264	0.267	0.270	0.239	0.235	0.224	0.224	0.233	0.237	0.246	0.253	0.261	2.953	
				Vol.Pp.Ef.	0.111	0.931	0.477	-0.150	-0.228	-0.224	-0.224	-0.233	-0.232	-0.187	-0.198	-0.132	-0.289	
				Vol.Esc.	0.041	0.543	0.375	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.959	
	Orobel	19.59	2050	Vol.Pp	0.07037	0.38794	0.10263	-0.15	-0.228	-0.2243	-0.2243	-0.2328	-0.2324	-0.187	-0.198	-0.1316	-1.247	
				Vol.ETR	0.657	1.298	1.103	0.197	0.018	0.001	0.001	0.001	0.013	0.107	0.099	0.324	3.818	
				Vol.Pp.Ef.	0.168	0.163	0.159	-0.156	0.156	-0.153	0.160	0.160	0.160	0.160	0.163	0.171	1.929	
				Vol.Esc.	0.489	1.136	0.944	0.041	-0.138	-0.152	-0.160	-0.159	-0.147	-0.054	-0.064	0.154	1.889	
	Río seco	17.63	1750	Vol.Pp	0.180	0.662	0.741	0.023	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.037	1.643
				Vol.ETR	0.30933	0.47322	0.20287	0.0176	-0.138	-0.1525	-0.1598	-0.1592	-0.1471	-0.054	-0.064	0.117	0.246	
				Vol.Pp.Ef.	0.460	1.068	0.822	0.127	0.011	0.000	0.000	0.000	0.007	0.071	0.066	0.200	2.833	
				Vol.Esc.	0.151	0.146	0.143	0.140	0.140	0.138	0.144	0.144	0.144	0.144	0.146	0.154	1.736	
	Huerta vieja	9.43	1590	Vol.Pp	0.310	0.921	0.679	-0.013	-0.129	-0.137	-0.144	-0.144	-0.137	-0.073	-0.081	0.046	1.097	
				Vol.ETR	0.114	0.537	0.533	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.011	1.195	
				Vol.Pp.Ef.	0.19583	0.38394	0.14592	-0.013	-0.129	-0.1375	-0.144	-0.1438	-0.1371	-0.073	-0.081	0.0352	-0.098	
				Vol.Esc.	0.212	0.544	0.392	0.055	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.030	0.085	1.359
	Subcuenca afuentes al cauce del río Chillón entre las Estaciones Obrajillo y Pariacancha	Yanacocha	60.95	3500	Vol.Pp	0.110	0.112	0.113	0.100	0.099	0.094	0.094	0.097	0.099	0.103	0.106	0.109	1.236
					Vol.ETR	0.101	0.433	0.279	-0.045	-0.094	-0.094	-0.094	-0.097	-0.096	-0.070	-0.076	-0.024	0.124
					Vol.Pp.Ef.	0.037	0.252	0.219	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.509
					Vol.Esc.	0.0641	0.18028	0.06	-0.045	-0.094	-0.0938	-0.0938	-0.0973	-0.0961	-0.07	-0.076	-0.024	-0.385
Mayru		56.13	2825	Vol.Pp	4.751	6.243	6.488	1.899	0.362	0.054	0.041	0.096	0.486	1.417	1.313	3.627	26.776	
				Vol.ETR	0.521	0.506	0.495	0.485	0.484	0.476	0.499	0.499	0.499	0.499	0.506	0.531	6.001	
				Vol.Pp.Ef.	4.230	5.736	5.993	1.414	-0.122	-0.422	-0.458	-0.403	-0.013	0.918	0.807	3.095	20.776	
				Vol.Esc.	1.913	3.217	3.628	0.944	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.381	0.456	1.560	12.099	
Yanacoto		50.09	3900	Vol.Pp	2.31675	2.51897	2.36531	0.47	-0.122	-0.4216	-0.4582	-0.4028	-0.0128	0.5371	0.3508	1.5355	8.677	
				Vol.ETR	0.480	0.466	0.456	0.447	0.446	0.438	0.459	0.459	0.459	0.459	0.466	0.489	5.526	
				Vol.Pp.Ef.	2.640	4.228	4.174	0.665	-0.307	-0.429	-0.451	-0.441	-0.317	0.205	0.149	1.512	11.628	
				Vol.Esc.	1.194	2.371	2.527	0.444	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.085	0.084	0.762	7.467	
Huaypian		19.38	2800	Vol.Pp	1.44624	1.85672	1.64715	0.2211	-0.307	-0.4286	-0.4509	-0.4407	-0.3174	0.1198	0.0648	0.7499	4.161	
				Vol.ETR	4.631	5.785	6.066	1.962	0.500	0.117	0.080	0.198	0.789	1.738	1.610	3.861	27.337	
				Vol.Pp.Ef.	0.199	0.202	0.248	0.264	0.298	0.289	0.298	0.298	0.264	0.224	0.240	0.199	3.024	
				Vol.Esc.	4.432	5.583	5.817	1.698	0.202	-0.171	-0.218	-0.100	0.524	1.514	1.370	3.662	24.313	
Mincanancha		49.83	4100	Vol.Pp	2.005	3.131	3.522	1.133	0.135	0.000	0.000	0.000	0.000	0.323	0.629	0.774	1.845	13.496
				Vol.ETR	2.42781	2.45163	2.29584	0.5643	0.0671	-0.1715	-0.2177	-0.1001	0.2014	0.8856	0.5957	1.8166	10.817	
				Vol.Pp.Ef.	1.062	1.609	1.582	0.377	0.046	0.003	0.003	0.006	0.047	0.224	0.207	0.676	5.842	
				Vol.Esc.	0.897	1.448	1.424	0.222	-0.108	-0.148	-0.156	-0.153	-0.112	0.065	0.046	0.507	3.934	
Chillon alto		220.05	4150	Vol.Pp	0.406	0.812	0.862	0.149	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.027	0.026	0.256	2.537	
				Vol.ETR	0.49113	0.63575	0.56207	0.074	-0.108	-0.1482	-0.1558	-0.1525	-0.1116	0.0381	0.0201	0.2517	1.397	
				Vol.Pp.Ef.	4.985	6.111	6.405	2.170	0.645	0.188	0.124	0.312	1.103	2.112	1.957	4.328	30.440	
				Vol.Esc.	0.198	0.201	0.247	0.263	0.297	0.287	0.297	0.297	0.263	0.222	0.239	0.198	3.008	
Subcuenca aguas arriba de la Estación Pariacancha	220.05	4150	Vol.Pp	4.788	5.910	6.158	1.906	0.349	-0.099	-0.172	0.016	0.839	1.890	1.718	4.131	27.432		
			Vol.ETR	2.165	3.315	3.727	1.273	0.233	0.000	0.000	0.010	0.517	0.785	0.971	2.082	15.077		
			Vol.Pp.Ef.	2.62236	2.59527	2.43008	0.6338	0.1159	-0.0988	-0.1723	0.0052	0.3226	1.105	0.7469	2.0492	12.355		
			Vol.Esc.	22.440	27.394	28.694	9.829	3.040	0.937	0.613	1.547	5.301	9.805	9.084	19.676	138.361		
Chillon alto	220.05	4150	Vol.Pp	0.873	0.887	1.091	1.162	1.310	1.267	1.310	1.162	1.162	0.982	1.056	0.873	13.284		
			Vol.ETR	21.567	26.506	27.603	8.667	1.730	-0.330	-0.697	0.237	4.139	8.823	8.028	18.803	125.077		
			Vol.Pp.Ef.	13.266	15.205	16.801	6.251	1.248	0.000	0.000	0.171	1.454	5.142	4.238	12.142	75.918		
			Vol.Esc.	8.30062	11.3012	10.8023	2.4166	0.4825	-0.3302	-0.697	0.0661	2.6856	3.6805	3.7898	6.6614	49.159		

## 10. ANÁLISIS DE MÁXIMAS AVENIDAS

### 10.1. Análisis de frecuencia de precipitaciones máximas

Para el análisis probabilístico de eventos de precipitación máxima extrema, se utilizará la siguiente red de estaciones de precipitación indicada en el Cuadro N°58.

Cuadro N°58

INFORMACION DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS					
ESTACION	LONGITUD	LATITUD	ALTITUD (msnm)	PERIODO	AÑOS
INFORMACIÓN METEOROLÓGICA					
CANTA	76°37'	11°28'	2832	1964 - 1980, 86 - 90, 92 - 02	33
ARAHUAY	76°42'	11°37'	2800	1991 - 2002	12
PARIACANCHA	76°30'	11°23'	3800	1991 - 2002	12
HUAMANTANGA	76°45'	11°30'	3392	1985 - 1987	3
LACHAQUI	76°37'	11°33'	3668	1991 - 2002	12
MARCA POMACOCHA	76°19'	11°24'	4479	1992 - 2002	11
YANTAC	76°24'	11°20'	4600	1991 - 2002	12
MILLOC	76°21'	11°34'	4398	1991 - 2002	12
SHEQUE	76°29'	11°39'	3214	1991 - 2002	12
MINA COLQUI	76°29'	11°35'	4600	1990 - 1993	4
CARAMPOMA	76°30'	11°39'	3489	1991 - 2002	12
AUTISHA	76°36'	11°44'	2314	1991 - 2002	12

En base al análisis de consistencia practicado a la información indicada en el cuadro N°58, se seleccionó series de información de precipitación máxima en 24 horas, para el periodo enero 1991 a diciembre 2002, la que se muestra en el cuadro N°59.

Cuadro N°59

Precipitación Máxima en 24 horas (mm) Cuenca del río Chillón - Series ordenadas de mayor a menor valor											
Años	MARCAPOM ACOCHA	MILLOC	CANTA	PARIACAN HA	YANTAC	ARAHUAY	LACHAQUI	HUAMANT ANGA	AUTISHA	CARAMPOM A	SHEQUE
1	68.0	54.4	51.2	38.0	35.6	31.7	30.9	29.6	29.7	24.1	20.5
2	35.2	37.6	33.5	27.7	28.6	27.2	26.8	19.7	22.1	22.4	18.8
3	27.0	31.3	27.5	26.8	20.5	26.4	21.7	19.4	18.4	22.0	18.6
4	23.6	29.9	23.5	24.8	19.7	23.8	19.7	18.8	18.3	21.2	17.8
5	20.4	26.6	21.0	21.8	18.0	20.9	19.5	18.4	14.5	19.2	16.8
6	19.3	23.8	18.6	19.0	16.8	17.5	17.9	14.2	14.1	17.4	15.5
7	19.1	23.6	18.2	18.5	14.1	17.3	17.9	14.2	10.7	16.6	14.6
8	18.3	22.0	18.0	18.4	12.0	16.5	17.1	12.0	9.9	15.7	14.5
9	17.4	18.3	17.9	16.8	11.5	12.7	16.4	10.2	9.4	15.5	12.3
10	15.0	15.9	16.5	16.3	10.4	11.4	12.9	9.8	9.3	13.7	8.5
11	9.1	14.6	16.2	14.1	10.1	10.5	9.1	9.7	6.2	10.5	7.5
Media	24.8	26.0	14.2	21.0	17.2	18.4	17.7	14.6	13.7	17.4	14.3
Desviación Estándar	15.82	11.43	9.89	7.54	8.13	7.91	7.38	6.44	7.57	4.61	4.83
Máximo	68.0	54.4	51.2	38.0	35.6	31.7	30.9	29.6	29.7	24.1	20.5
Mínimo	9.1	14.4	0.9	9.2	8.6	4.8	2.9	5.8	1.8	9.9	5.6

El análisis de frecuencia de eventos máximos, se realizó probando el ajuste de la información a las distribuciones estadísticas teóricas: Gumbel, Lognormal II parámetros, Lognormal III parámetros y Logpearson tipo III, determinándose para cada caso el porcentaje de error estándar.

El análisis de frecuencia para cada estación se presenta en el Anexo F.

## 10.2. Análisis de caudales máximos para diferentes periodos de retorno.

En vista que para la cuenca del río Chillón no se cuenta con información de caudales máximos instantáneos, el análisis de máximas avenidas se realizó con la ayuda del programa HEC-HMS v.2.2.2, para la generación de caudales de avenidas para diferentes periodos de retorno.

En base a mapas temáticos y trabajo de campo, fueron seleccionadas 12 microcuencas potencialmente productoras de escurrimiento superficial para época de lluvia. Las microcuencas seleccionadas fueron las siguientes: Ucañan, Moquegua, Huarimayo, Huancho, Orapam, Acocancha, Chillón Alto, Chinchilcay, Cotabamba, Río Chico, Chacalla y Orobel.

### a. Modelo de cuenca

La ubicación de cada microcuenca y sus características principales están indicadas en el cuadro N°60.

En el Anexo Mapas (Mapa N°17), se puede apreciar la ubicación geográfica de cada microcuenca dentro de la cuenca del río Chillón.

Cuadro N°60

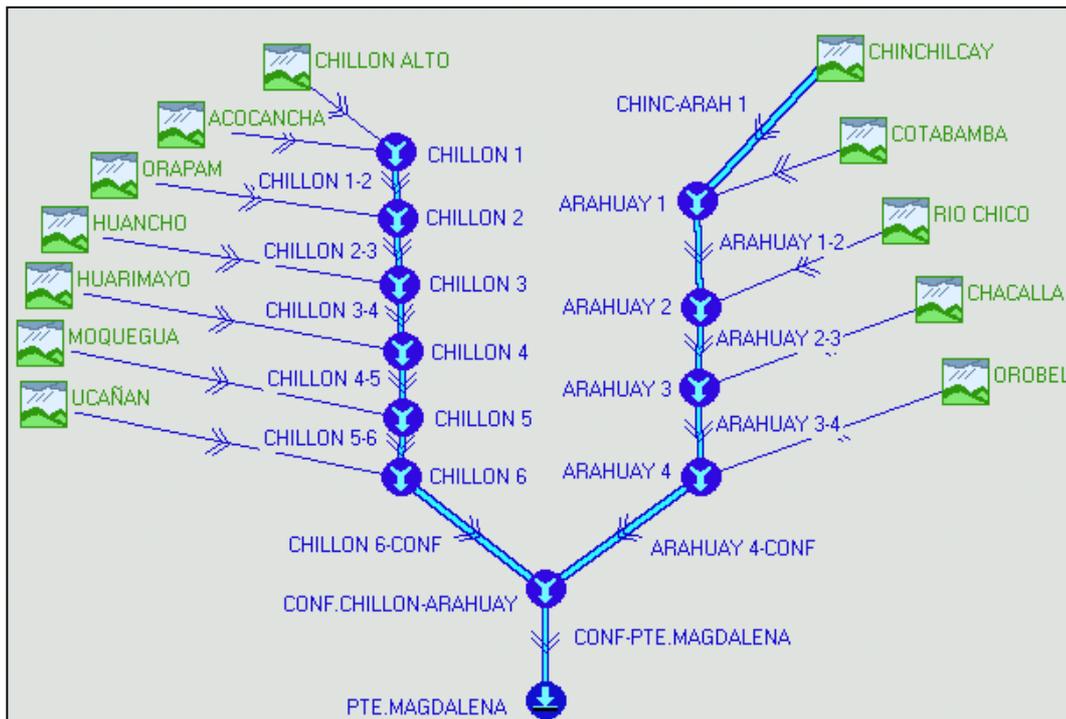
MICROCUENCAS DEL RÍO CHILLÓN									
MICROCUENCAS	PARTEAGUAS			DESEMBOCADURA			AREA (km <sup>2</sup> )	LONGITUD CAUCE PRINCIPAL (Km.)	PENDIENTE DEL CAUCE PRINCIPAL (%)
	UBICACIÓN GEOGRÁFICA			UBICACIÓN GEOGRÁFICA					
	Latitud Sur	Longitud Oeste	Altitud (m.s.n.m.)	Latitud Sur	Longitud Oeste	Altitud (m.s.n.m.)			
UCAÑAN	11° 27' 57"	76° 43' 42"	4,392	11° 35' 17"	76° 44' 50"	1,493	58.5	19.5	14.8
MOQUEGUA	11° 29' 11"	76° 44' 18"	3,940	11° 34' 50"	76° 43' 52"	1,580	25.5	12.7	18.5
HUARIMAYO	11° 26' 26"	76° 41' 53"	4,533	11° 32' 47"	76° 42' 35"	1,779	43.4	14.0	19.7
HUANCHO	11° 21' 57"	76° 38' 17"	4,460	11° 28' 09"	76° 37' 57"	2,536	61.0	13.6	14.1
ORAPAM	11° 19' 47"	76° 33' 59"	4,751	11° 30' 39"	76° 35' 39"	3,067	50.0	12.2	13.8
ACOCANCHA	11° 19' 23"	76° 32' 45"	4,742	11° 24' 47"	76° 33' 18"	3,442	47.7	11.1	11.7
CHILLÓN ALTO	11° 27' 57"	76° 23' 03"	4,681	11° 24' 47"	76° 33' 18"	3,440	203.6	26.3	4.7
CHINCHILCAY	11° 28' 45"	76° 31' 40"	4,430	11° 31' 22"	76° 36' 24"	3,560	68.6	13.0	6.7
COTABAMBA	11° 33' 50"	76° 32' 43"	4,430	11° 34' 41"	76° 38' 30"	2,993	38.9	11.8	12.2
RÍO CHICO	11° 36' 44"	76° 34' 12"	4,420	11° 36' 19"	76° 39' 32"	2,667	33.6	10.8	16.2
CHACALLA	11° 39' 38"	76° 37' 19"	4,263	11° 39' 21"	76° 43' 12"	1,729	45.7	14.3	17.7
OROBEL	11° 46' 01"	76° 42' 39"	3,320	11° 39' 54"	76° 44' 54"	1,478	68.7	14.0	13.2

El primer paso fue diseñar el esquema hidrográfico a simular y ello consiste en interconectar cada una de las microcuencas productoras de escurrimiento superficial con la red de drenaje de la cuenca.

La siguiente figura N°20, muestra la interconexión realizada con el editor del HEC-HMS.

Como es conocido, la cuenca del río Chillón tiene dos subcuencas principales, la subcuenca alta del río Chillón y la subcuenca del río Arahuy.

Figura N°20 Topología de la cuenca mediante la interfase GUI del Hec-HMS.



Los parámetros físicos de cada una de las microcuencas necesarios para calcular el volumen de escurrimiento superficial y forma del hidrograma, mediante los modelos de Número de Curva (SCS Curve Number) y Modelo de Clark, se muestran en el siguiente cuadro.

Cuadro N°61

MICROCUENCAS							
	Pérdida inicial (mm)	Condición humedad antecedente	Condición hidrológica	Cobertura	Grupo de Suelos	Número de Curva	% impermeable
UCAÑAN	5.0	II	Media	Matorral	D	91	0.0
MOQUEGUA	5.0	II	Media	Matorral	D	91	0.0
HUARIMAYO	8.3	II	Media	Matorral, Pajonal y Césped de puna	C	86	0.0
HUANCHO	13.5	II	Media	Matorral, Pajonal y Césped de puna	B	79	0.0
ORAPAM	13.5	II	Media	Matorral, Pajonal y Césped de puna	B	79	0.0
ACOCANCHA	23.9	II	Media	Matorral, Pajonal y Césped de puna	A	68	0.0
CHILLON ALTO	23.9	II	Media	Matorral, Pajonal, Césped de puna y Bofedales	A	68	0.0
CHINCHILCAY	13.5	II	Media	Pajonal y Herbazal de tundra	B	79	0.0
COTABAMBA	13.5	II	Media	Pajonal y Herbazal de tundra	B	79	0.0
RIO CHICO	13.5	II	Media	Pajonal y Herbazal de tundra	B	79	0.0
CHACALLA	8.3	II	Media	Matoral y Pajonal	C	86	0.0
OROBEL	6.3	II	Media	Matoral y Pajonal	D	89	0.0

Pérdida inicial = 0.20 (25400-254\*CN)/CN [Ecuación 5.6, pág.41 Technical Reference Manual]

Asimismo el tiempo de concentración y el coeficiente de almacenamiento para cada microcuenca, se muestra en el siguiente cuadro.

Cuadro N°62

MICROCUENCAS	PARTEAGUAS	DESEMBOCADURA	LONGITUD (Km.)	TIEMPO DE CONCENTRACION		
				Kirpich (horas)	Temex (horas)	Promedio (horas)
	Altitud (m.s.n.m.)	Altitud (m.s.n.m.)				
UCAÑAN	4,392	1,493	19.5	1.4	1.1	1.2
MOQUEGUA	3,940	1,580	12.7	0.9	0.8	0.8
HUARIMAYO	4,533	1,779	14.0	0.9	0.8	0.9
HUANCHO	4,460	2,536	13.6	1.1	0.9	1.0
ORAPAM	4,751	3,067	12.2	1.0	0.8	0.9
ACOCANCHA	4,742	3,442	11.1	1.0	0.8	0.9
CHILLON ALTO	4,681	3,440	26.3	2.7	1.7	2.2
CHINCHILCAY	4,430	3,560	13.0	1.4	0.9	1.1
COTABAMBA	4,430	2,993	11.8	1.0	0.8	0.9
RIO CHICO	4,420	2,667	10.8	0.8	0.7	0.8
CHACALLA	4,263	1,729	14.3	1.0	0.8	0.9
OROBEL	3,320	1,478	14.0	1.1	0.9	1.0

El coeficiente de almacenamiento es un índice del almacenamiento temporal del exceso de precipitación en la cuenca. Para el caso de la cuenca del río Chillón, se ha observado que el tiempo de almacenamiento temporal es significativo debido a la presencia de bofedales y zonas altioplánicas, por lo que se consideró 1.5 veces el tiempo de concentración.

La información de las características de cada uno de los tramos de cauces seleccionados para realizar el proceso de tránsito de avenidas, se muestra en el siguiente cuadro.

Cuadro N°63

Tramos del cauce	Longitud (m)	Pendiente (m/m)	Ancho promedio (m)	n de Manning
Chillón 1-2	4590.1	0.081	2.6	0.035
Chillón 2-3	7491.8	0.071	6.5	0.037
Chillón 3-4	13978.8	0.054	10.8	0.038
Chillón 4-5	4733.2	0.042	16.9	0.038
Chillón 5-6	2036.4	0.043	21.8	0.039
Chillón 6-Conf.	10976.7	0.033	27.5	0.040
Chinchilcay-Arahuay 1	8745.4	0.065	4.8	0.035
Arahuay 1-2	4258.1	0.077	12.3	0.036
Arahuay 2-3	9772.5	0.096	17.4	0.038
Arahuay 3-4	3544.1	0.071	22.9	0.039
Arahuay 4-Conf.	5414.0	0.064	29.6	0.040
Conf--Pte.Magdalena	6294.6	0.021	30.8	0.045

b. Modelo meteorológico

Una vez realizado en análisis de frecuencia, descrito en el punto 'c', se trazaron las respectivas curvas isoyetas de precipitación máxima en 24 horas para diferentes periodos de retorno. Esto último para determinar la precipitación máxima en 24 horas sobre cada una de las microcuencas.

En el Anexo Mapas (Mapas N°17A a N°17L), se muestra las isoyetas de precipitación máxima en 24 horas y las respectivas microcuencas. A partir de ello se determinó la precipitación máxima en 24 horas para cada microcuenca seleccionada, según muestran en el siguiente cuadro N°45.

Cuadro N°64

Precipitaciones Máximas en 24 horas (mm) para diferentes periodos de retorno (años) para cada microcuenca												
Microcuenca	2	5	10	20	50	100	200	500	1000	2000	5000	10000
UCANAN	15.5	20.5	23.5	26.5	30.0	33.0	34.0	38.0	42.0	40.0	47.5	50.0
MOQUEGUA	16.0	21.5	24.5	27.0	31.0	33.5	36.0	40.0	43.0	45.0	47.5	52.5
HUARIMAYO	17.0	22.5	26.0	29.0	33.0	36.0	39.0	43.0	46.0	50.0	52.5	55.0
HUANCHO	19.5	25.0	29.0	32.5	37.0	41.0	44.0	48.0	52.0	55.0	60.0	62.5
ORAPAM	20.0	25.5	29.0	32.5	37.0	41.0	44.0	48.0	52.0	55.0	60.0	64.0
ACOCANCHA	20.0	25.5	29.0	32.5	37.0	40.0	44.0	48.0	51.0	55.0	60.0	64.0
CHILLON ALTO	21.5	28.0	31.0	36.0	42.0	45.0	48.0	54.0	56.0	65.0	70.0	70.0
CHINCHILCAY	20.5	27.0	31.0	34.0	39.0	43.0	47.0	52.0	54.0	57.5	62.5	67.5
COTABAMBA	18.5	24.0	28.0	31.0	35.0	39.0	42.0	46.0	49.0	52.5	55.0	60.0
RIO CHICO	17.5	23.0	26.5	29.5	33.0	36.0	39.0	42.0	45.0	47.5	50.0	52.5
CHACALLA	16.0	22.0	25.0	28.0	31.5	34.0	36.0	39.0	41.0	42.5	45.0	47.5
OROBEL	15.5	21.0	24.0	27.0	30.5	33.5	35.0	39.0	41.0	42.5	47.5	47.5

El modelo meteorológico consiste en definir la tormenta de diseño que será utilizada en la simulación de la relación precipitación - escorrentía, para cada una de las microcuencas. Para obtener las respectivas tormentas de diseño, se utilizó el hietograma Tipo I, indicado por la SCS del Departamento de Agricultura de los US, para cuencas que corresponden a climas marítimos del Pacífico con inviernos húmedos y veranos secos.

Las tormentas de diseño para cada periodo de retorno se presentan en el Anexo D.

c. Caudales de máximas avenidas

El siguiente cuadro muestra los resultados mediante la ejecución del programa HEC-HMS para periodos de retorno de : 10, 100, 500, 1000, 5000 y 10000 años respectivamente, para las localidades de Estación hidrométrica Obrajillo, Confluencia ríos Chillón y Arahua y Estación hidrométrica Puente Magdalena.

Cuadro N°65

Caudal y volumen de escorrentía de máximas avenidas para el río Chillón						
Periodo de retorno (años)	Estación Obrajillo		Confluencia Chillón-Arahua		Estación Pte.Magdalena	
	Caudal pico (m3/s)	Volumen de escorrentía (Miles de m3)	Caudal pico (m3/s)	Volumen de escorrentía (Miles de m3)	Caudal pico (m3/s)	Volumen de escorrentía (Miles de m3)
10	2.2	55.2	41.9	1615.0	41.2	1620.4
100	11.1	337.8	91.7	3940.9	90.7	3951.5
500	19.9	633.2	123.5	5493.1	122.2	5506.9
1000	28.1	933.1	150.8	6876.2	149.4	6892.2
5000	40.4	1427.7	189.9	8953.8	188.5	8972.9
10000	46.5	1681.3	207.2	9979.4	207.2	9979.4

## 11. ANÁLISIS DE SEQUÍAS

Según el vocabulario meteorológico internacional (OMM, N°82, 1990), la sequía se define como un periodo de condiciones meteorológicas anormalmente secas, suficientemente prolongada como para que la falta de precipitaciones cause un grave desequilibrio hidrológico.

El desarrollo del análisis de sequías presentes en la cuenca del río Chillón se realizó teniendo en cuenta los conceptos actualmente existentes de tipos de sequías en una cuenca como son las sequías: meteorológica, agrícola, hidrológica y económica - social.

Sin embargo Wilhite y Glantz (1987), en un esfuerzo por armonizar el amplio espectro de definiciones existentes expreso que si bien los cuatro tipos de sequías enumeradas anteriormente se distinguen por distintas características de formación, los factores que afectan cada tipo de sequías están correlacionados y que la sequía meteorológica es la más importante por cuanto todos los tipos de sequías se derivan de ésta y en particular de la escasez de precipitaciones.

Por tanto, los tipos de sequías analizadas para la cuenca del río Chillón fueron la meteorológica y la hidrológica.

El tipo de sequía meteorológica estuvo asociado con el déficit de lluvia con respecto al valor de la mediana o percentil de 50% de la precipitación sobre una región. En este caso el ámbito de interés fue la parte media - alta de la cuenca donde se ubican la mayoría de lagunas reguladas, por lo que se utilizó la información de precipitación total mensual registrada en la Estación Canta, por ser además la que mejor correlación tiene con las otras estaciones pluviométricas.

De manera similar, el tipo de sequía hidrológica estuvo asociado con el déficit de la descarga media mensual con respecto al valor de la mediana o percentil de 50% del caudal medio mensual. Para este caso se utilizó la información de caudales medios mensuales de la Estación hidrométrica Obrajillo, ubicada en la

parte media de la cuenca donde aún el efecto de los volúmenes de retorno o cola no son importantes como lo son en la parte baja de la cuenca.

Los resultados del análisis de sequías son mensuales y se expresan en términos de los siguientes descriptores:

- Duración máxima en años de los periodos continuos de escasez de agua.
- Déficit hídrico porcentual máximo de los periodos continuos de escasez de agua.

### 11.1. Sequía Meteorológica

Los siguientes resultados se obtuvieron en base a un registro de 32 años de información registrada y consistente de precipitación total mensual en la Estación Canta.

El anexo H muestra el detalle de los resultados expresados en el siguiente cuadro.

CUADRO N°66

Mes	N° de periodos máximos continuos de escasez de agua	Duración máxima de los periodos consecutivos de escasez de agua (años)	Deficit hídrico porcentual máximo de los periodos continuos de escasez de agua (%)
Ene	2	4	98.1
Feb	1	4	99.6
Mar	1	5	97.6
Abr	1	4	100.0
May	2	4	100.0
Oct	1	4	100.0
Nov	1	4	100.0
Dic	1	5	100.0

Análisis sobre 32 años de información registrada y consistente

Cabe destacar que durante la época de lluvias (Enero a Marzo), existe la posibilidad de tener entre 4 a 5 años consecutivos de periodos continuos de escasez de agua, con déficit hídrico porcentual del orden el 98% lo que

afectaría en gran escala al volumen almacenado en las lagunas reguladas de la cuenca (Chuchón, Azulcocha y Leoncocha).

El periodo de sequía registrado corresponde a los años 1986 a 1990.

### 11.2. Sequía Hidrológica

Los resultados se obtuvieron en función a un registro de 17 años de información registrada y consistente de caudales medios mensuales de la Estación Obrajillo.

El anexo H muestra el detalle de los resultados expresados en el siguiente cuadro.

Cuadro N°67

Mes	N° de periodos máximos continuos de escasez de agua	Duración máxima de los periodos consecutivos de escasez de agua (años)	Deficit hídrico porcentual máximo de los periodos continuos de escasez de agua (%)
Ene	1	6	65.1
Feb	1	4	59.6
Mar	3	2	71.6
Abr	1	4	36.8
May	1	3	48.4
Jun	2	3	43.0
Jul	1	4	49.6
Ago	1	4	51.2
Sep	2	2	66.6
Oct	1	2	47.0
Nov	1	4	59.0
Dic	1	6	63.4

Análisis sobre 17 años de información registrada y consistente

En este caso interesa analizar el periodo de estiaje (Mayo a Noviembre) en el cual existe la posibilidad de tener entre 2 a 4 años consecutivos de periodos de escasez de agua con déficit hídrico porcentual del orden del 52%.

El periodo de sequía registrado corresponde a los años 1969 a 1972.

## **12. DESCRIPCIÓN DEL ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO HIDROLÓGICO ACTUAL DE LA CUENCA**

El funcionamiento hidrológico actual de la cuenca, depende de tres tipos de sistemas hidráulicos que tiene la cuenca:

- Sistema global del río Chillón.
- Sistemas particulares a nivel de microcuencas.
- Sistema de trasvase Chacramito.

### **a. Sistema global del río Chillón.**

Como ya fue descrito anteriormente, el río Chillón nace en las estribaciones de la cordillera occidental de los Andes, en la laguna de Chonta como producto de las precipitaciones que ocurren en la zona y de los deshielos de la cordillera la Viuda. En época de estiaje la cuenca tiene capacidad de regulación proporcionada principalmente por las lagunas de Chuchón, Leoncocha y Azulcocha. Estas funcionan a partir del mes de septiembre de acuerdo a un plan de operación aprobada por la Junta de Usuarios del valle Chillón.

### **b. Sistemas particulares a nivel de microcuencas.**

Estos sistemas son de naturaleza local y están conformados por lagunas y manantiales que sirven para abastecer los requerimientos de agua de una microcuenca en particular. A manera de ejemplo, se puede citar los siguientes casos:

Microcuenca Huancho. - Donde las lagunas Isquicocha y Chahualcocha aportan a las lagunas reguladas Urcuncocha y Yanacocha, estas a su vez aportan al riachuelo Tingo, las cuales en el trayecto son alimentadas por manantiales ubicadas en la margen derecha e izquierda hasta llegar a un punto de repartición entre los comités de riego San Buenaventura y San Miguel, los primeros captan sus aguas a través del riachuelo Tingo y los segundos a través de la bocatoma Tingo.

Microcuenca Huarimayo.- Conformado por la laguna regulada Chauca que abastece de agua para uso agrícola al comité de riego Huamantanga.

Microcuenca Orapam.- Conformado por las lagunas reguladas Usurcocha y Chahualcocha que abastece de agua a los comités de riego Huacos y Huaros respectivamente.

Microcuenca Acocancha.- La laguna regulada Yanauya Baja es la que abastece de agua al comité de riego Huaros.

Microcuenca Chillón Alto.- Cuenta con la laguna regulada Acomachay que aporta sus aguas al río Chillón a través del riachuelo Pasora, el cual es captado en la bocatoma Pucachaca y conducido hasta las áreas bajo riego del comité de riego Pariamarca.

Microcuenca Chinchilcay.- Cuenta con la laguna regulada Azulcocha, la cual aporta a la quebrada Chacramito (río Arahua parte alta) y luego es captado para ser llevado a las áreas bajo riego del comité de riego Carhua.

Microcuenca Cotabamba.- Cuenta con la laguna regulada Quinan cuyas aguas se conducen a través del riachuelo Quinan a las áreas bajo riego del comité de riego Lachaqui.

Microcuenca Río Chico.- Cuenta con las lagunas reguladas Tambillo y Huicso, las cuales son utilizadas por la agricultura del comité de riego Arahua.

### **c. Sistema de trasvase Chacramito**

Mediante este trasvase se conducen las aguas de manantiales y lagunas reguladas pertenecientes a la microcuenca Chinchilcay (naciente del río Arahua) hacia la cuenca alta del río Chillón.

Este sistema de trasvase data desde la década de los años 30, cuando se construyeron los diques de las lagunas de Turmanyacocha y Chupacocha. Sin embargo actualmente solo opera Chupacocha, pero la laguna Turmanyacocha aporta agua al sistema vía filtraciones.

Ambas lagunas aportan agua al río Arahúy (Qda. Chacramito) para luego ser captadas por la bocatoma Chacramito, con capacidad de conducción de 100 l/s. De este punto se distribución el agua entre los comités de riego de Carhua (25%), Pariamarca (35%) y Canta (40%). El sobrante de agua se trasvasa a la cuenca alta del río Chillón específicamente a las áreas de cultivo perteneciente a de estos comités de riego.

### 13. RESULTADOS

- Según el coeficiente de compacidad, la cuenca del río Chillón es medianamente alargada ( $k=1.908$ ).
- Las dimensiones del rectángulo equivalente de la cuenca del río Chillón son  $L=148.2$  Km y  $l=15.9$  Km.
- La pendiente media de la cuenca del río Chillón es de 30.4%, considerada como alta.
- La altura media de la cuenca del río Chillón es de 2370 msnm.
- La altura de frecuencia media del río Chillón es de 2170 msnm.
- El índice de drenaje de la cuenca del río Chillón es de  $0.5512$  Km/Km<sup>2</sup>.
- El perfil longitudinal del río Chillón tiene una longitud total de 126.0 km y una pendiente media de 3.85%.
- El análisis estadístico de consistencia de la información de precipitación total mensual se realizó mediante la aplicación de pruebas estadísticas T de Student y F de Fisher, según el siguiente cuadro.

Estaciones pluviométricas	Periodos de Análisis		Media		Desviación Estandar	
	Periodo 01	Periodo 02	Tcalculado	Ttabla	Fcalculado	Ftabla
Marcapomacocha	Ene64-Dic84	Ene85-Dic02	2.555	1.966	2.312	1.270
Arahúy	Ene80-Dic90	Ene91-Dic02	0.615	1.966	1.139	1.328
Pariacancha	Ene69-Dic84	Ene85-Dic02	0.489	1.966	1.114	1.262
Yantac	Ene69-Dic83	Ene84-Dic02	2.161	1.966	1.555	1.265
Huaros	Ene64-Dic71	Ene72-Dic79	0.348	1.973	1.325	1.404
Lachaqui	Ene64-Dic85	Ene89-Dic02	0.307	1.967	1.075	1.286
Carampoma	Abr65-Dic83	Ene84-Dic02	0.614	1.965	1.093	1.245
Huamantanga	Ene64-Dic84	Ene85-Dic02	0.370	1.965	1.066	1.256
Canta	Ene64-Dic79	Ene86-Dic02	1.407	1.966	1.017	1.270
Autisha	Ene80-Dic90	Ene91-Dic02	1.422	1.969	1.847	1.328
Sheque	Ene89-Dic94	Ene95-Dic02	1.873	1.974	2.607	1.452
Milloc	Ene86-Dic93	Ene94-Dic02	2.219	1.972	2.295	1.393
Mina Colqui	Ene73-Dic82	Ene83-Dic93	1.873	1.969	1.336	1.352

No consistencia

Las pruebas se realizaron con 5% de nivel de significancia

- La ecuación regional de la precipitación para la cuenca del río Chillón se realizó considerando la existencia de una relación lineal entre los datos de precipitación total anual registrado en estaciones pluviométricas ubicadas en la cuenca y su altitud respectiva.

La ecuación encontrada fue:  $PP = 0.231Altitud - 284.47$

donde PP(mm/añual), Altitud (msnm).

- La precipitación total anual de la cuenca húmeda del río Chillón mediante la metodología de los polígonos Thiessen es de 507.8 mm.
- La precipitación total anual de toda la cuenca del río Chillón mediante la metodología de las isoyetas es de 252.3 mm.
- La temperatura media anual en el interior de la cuenca del río Chillón es de 13.6°C.
- La temperatura media anual de las zonas cercanas al litoral es de 18.5°C.
- La humedad relativa media anual de la cuenca del río Chillón es de 64%, sin embargo cerca al litoral la humedad relativa media anual es de 94%.
- Los tipos de clima y el rango de variables meteorológicas encontrados en la cuenca del río Chillón se muestran en el siguiente cuadro.

Tipos de Clima	Precipitación total anual (mm)	Temperatura media anual (°C)	Evapotranspiración potencial total anual (mm)
Semi cálido muy seco	0 a 100	17.0 a 19.0	775 - 800
Semi cálido seco	100 a 250	14.5 a 17.0	675 a 775
Templado Subhúmedo	250 a 400	11.0 a 14.5	550 a 675
Frío o Boreal	400 a 850	6.5 a 11.0	450 a 550

- Los programas de cómputo utilizados en el estudio fueron : HEC-4 (Para la completación y generación de las series de precipitación total mensual y caudales medios mensuales) y el HEC-HMS (Para el análisis de máximas avenidas).

- El análisis estadístico de consistencia de la información de descargas medias mensuales se basó en la aplicación de las pruebas estadísticas T de Student y F de Fisher. Los resultados fueron los siguientes.

Estaciones hidrométricas	Periodos de Análisis		Media		Desviación Estandar	
	Periodo 01	Periodo 02	Tcalculado	Ttabla	Fcalculado	Ftabla
Pariacancha	Oct68-Dic73	Ene74-Dic78	0.315	1.980	1.174	1.549
Pte.Magdalen	Oct48-Dic66	Ene67-Dic83	2.358	1.966	1.789	1.256
Obrajillo	Ene69-Dic79	Ene80-Dic01	0.290	1.970	1.454	1.361

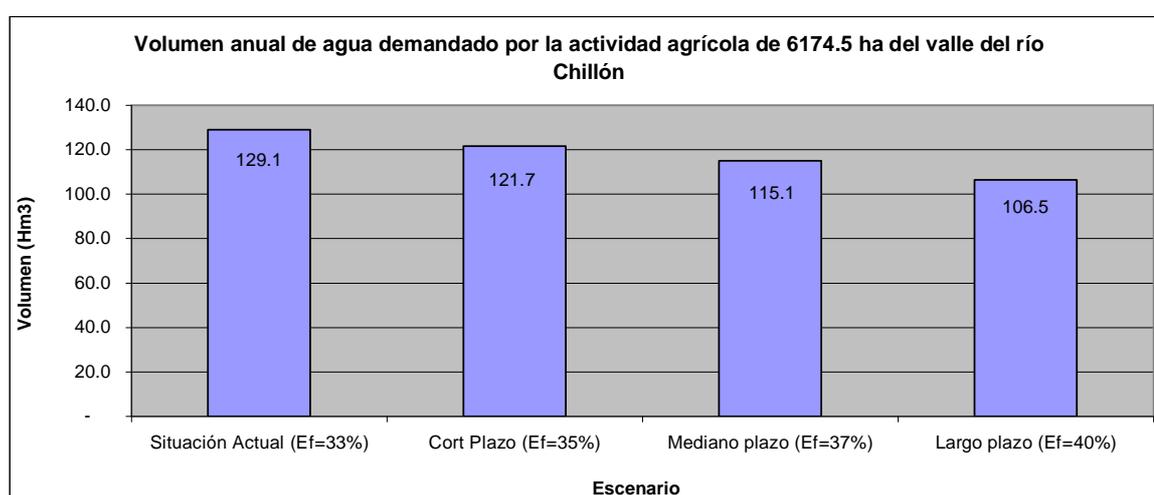
**No consistencia**

Las pruebas se realizaron con 5% de nivel de significancia

- La descarga media anual naturalizada en la Estación Pariacancha es de 2.093 m<sup>3</sup>/s, en la Estación Obrajillo de 4.433 m<sup>3</sup>/s y en la Estación Puente Magdalena de 7.075 m<sup>3</sup>/s.
- En la Estación hidrométrica Puente Magdalena a una persistencia del 75%, la descarga media mensual máxima es de 17.2 m<sup>3</sup>/s (Marzo) y la descarga media mensual mínima es de 0.8 m<sup>3</sup>/s (Agosto).
- La cuenca del río Chillón cuenta con tres lagunas principales (Chuchón, Leoncocha y Azulcocha) con capacidad de regulación de la descarga del río entre los meses de septiembre a noviembre. Las lagunas en conjunto tienen una capacidad máxima de almacenamiento anual de 19.3 MMC, de los cuales el aporte neto en la Estación Pariacancha es de 12.30 MMC/año, en la Estación Obrajillo 11.54 MMC/año y en la Estación Puente Magdalena en 8.2 MMC/año.
- El rendimiento hídrico de la cuenca del río Chillón, expresado en términos de caudales específicos (m<sup>3</sup>/ha) se puede apreciar en el siguiente cuadro.

Estación Hidrométrica	Area de influencia (Km <sup>2</sup> )	Precipitación total anual (mm)	Volumen precipitado anual (MMC)	Volumen de escurrimiento total anual (MMC)	Coeficiente de Escorrentía	Caudales específicos (m <sup>3</sup> /ha)
Pariacancha	157.0	750.0	117.8	85.0	0.7	5414.0
Obrajillo	395.5	500.0	197.8	132.0	0.7	3337.5
Puente Magdalena	1256.4	300.0	376.9	215.2	0.6	1712.8

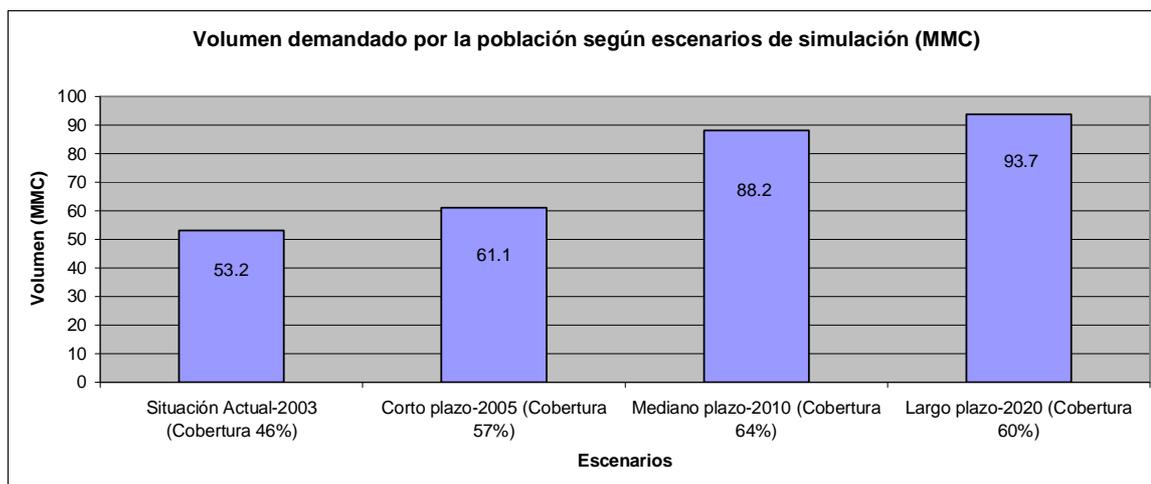
- La oferta hídrica anual de agua subterránea según usos en el valle del río Chillón es la siguiente:
  - o Poblacional: 18.5 MMC (Situación Actual y a Corto Plazo); 2.6 MMC (A Mediano y Largo Plazo).
  - o Agrícola y Pecuario: 5.4 MMC (Situación Actual y a Corto Plazo); 0.0 MMC (A Mediano y Largo Plazo).
  - o Industrial: 1.4 MMC
- Existe un total de 11 185.5 ha bajo riego en la cuenca del río Chillón; sin embargo existe sólo información sobre los cultivos y el riego en los subsectores ubicados en la parte media y baja de la cuenca totalizando 6174.5 ha
- Las eficiencias de riego según los escenarios de simulación fueron los siguientes:
  - Situación actual : 33%
  - Corto plazo : 35%
  - Mediano plazo : 37%
  - Largo plazo : 40%
- Los volúmenes de agua demandado por la actividad agrícola según escenarios de simulación son los siguientes.



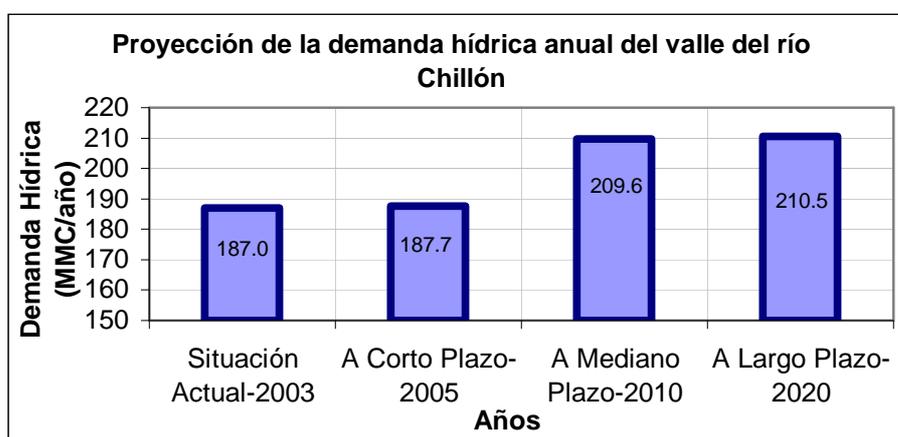
- La población asentada al año 2002 según estimaciones del INEI en la cuenca del río Chillón fue de 1 590,954 habitantes, de los cuales

correspondieron a la provincia de Canta 11886 habitantes (0.74%) y a la provincia de Lima 1 579,068 (99.26%). Actualmente gracias al Proyecto Chillón I el abastecimiento de agua poblacional cubre la demanda hídrica de 750,000 habitantes, lo que representa el 46% de cobertura.

- Los volúmenes de agua demandados por la población según escenarios de simulación son los siguientes.



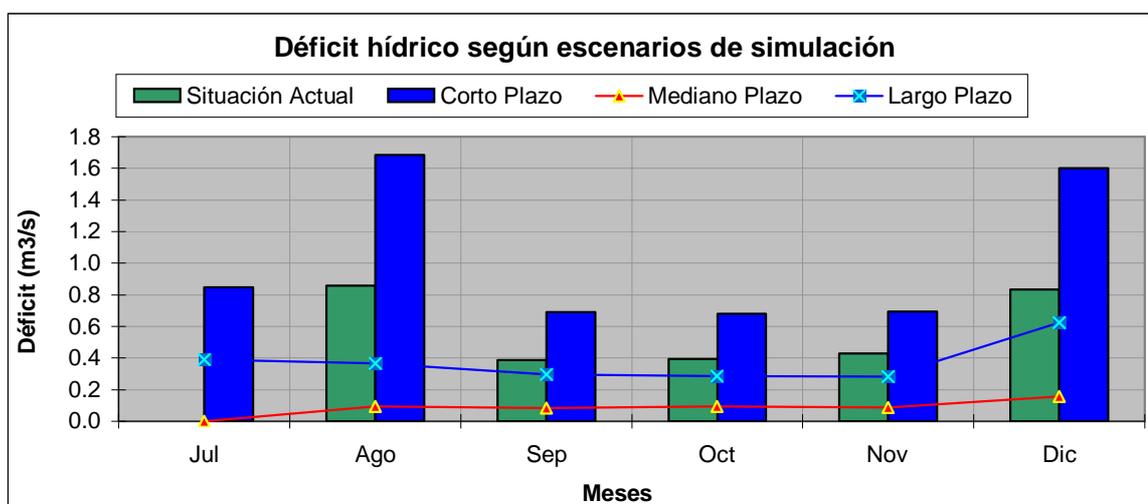
- Se estimó una demanda recreacional actual del orden de 4.7 MMC anuales y que según la tendencia observada, ésta crecerá anualmente en 5%.
- La proyección de la demanda hídrica total anual del valle del río Chillón es la siguiente.



- Para los escenarios simulados, los déficit hídricos respectivos se muestran en el siguiente histograma.

Escenarios simulados				
Característica	Situación Actual	Corto Plazo	Mediano Plazo	Largo Plazo
Proyección del año	2003-2004	2005	2010	2020
Oferta hídrica superficial regulada en embalses (MMC) (*)	0	0	60	60
Oferta hídrica subterránea uso poblacional (MMC) (*)	18.5	18.5	2.6	2.6
Eficiencia de riego (%)	33	35	37	40
Tasa de crecimiento poblacional anual	Provincia de Canta (2.2%) y Provincia de Lima (3.2%)			
Tasa de crecimiento demanda recreativa anual	5%			

(\*) Según Consorcio Agua Azul



- Los caudales y volúmenes de escorrentía de máximas avenidas para el río Chillón se muestran en el siguiente cuadro.

Periodo de retorno (años)	Caudal y volumen de escorrentía de máximas avenidas para el río Chillón					
	Estación Obrajillo		Confluencia Chillón-Arahuay		Estación Pte. Magdalena	
	Caudal pico (m3/s)	Volumen de escorrentía (Miles de m3)	Caudal pico (m3/s)	Volumen de escorrentía (Miles de m3)	Caudal pico (m3/s)	Volumen de escorrentía (Miles de m3)
10	2.2	55.2	41.9	1615.0	41.2	1620.4
100	11.1	337.8	91.7	3940.9	90.7	3951.5
500	19.9	633.2	123.5	5493.1	122.2	5506.9
1000	28.1	933.1	150.8	6876.2	149.4	6892.2
5000	40.4	1427.7	189.9	8953.8	188.5	8972.9
10000	46.5	1681.3	207.2	9979.4	207.2	9979.4

- Según el análisis de sequía meteorológica, durante el periodo de lluvias (Enero a Marzo), existe la posibilidad de tener de 4 a 5 años consecutivos de escasez de lluvias con déficit hídrico porcentual del orden del 98%. Por otra parte, según el análisis de sequía hidrológica, durante el periodo de estiaje (Mayo a Noviembre), existe la posibilidad de tener de 2 a 4 años consecutivos de escasez de descargas con déficit hídrico porcentual del orden del 52%.

## **14. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **14.1. Conclusiones**

- La alta permeabilidad de las rocas precuaternarias de la cuenca húmeda del río Chillón permite suponer una gran interrelación entre el agua superficial y la subterránea.
- Las fuentes de agua del río Chillón son de 04 tipos:
  - Agua superficial no regulada (Escurrimiento superficial del río Chillón).
  - Agua superficial regulada (Represamiento de las lagunas).
  - Agua subterránea.
  - Agua de recuperación o de cola.
- Las características fisiográficas de la cuenca húmeda o receptora (superficie accidentada con fuertes pendientes) y su bajo poder retentivo de humedad (suelos con escasa cobertura vegetal) determina que las descargas del río tengan una respuesta inmediata a las precipitaciones.
- El río Chillón descarga el 63.3% de su volumen promedio anual durante los 03 meses que dura el periodo de avenidas (Enero a Marzo), el 16.7% durante los 7 meses que constituyen el periodo de estiaje (Mayo a Noviembre) y el 19.9% restante durante los dos periodos transicionales que tiene en conjunto una duración de 02 meses (Abril y Diciembre).

- Las características del balance hídrico de la cuenca del río Chillón según los siguientes escenarios son:

Escenarios simulados				
Carácterística	Situación Actual	Corto Plazo	Mediano Plazo	Largo Plazo
Proyección del año	2003-2004	2005	2010	2020
Oferta hídrica superficial regulada en embalses (MMC) (*)	0	0	60	60
Oferta hídrica subterránea uso poblacional (MMC) (*)	18.5	18.5	2.6	2.6
Eficiencia de riego (%)	33	35	37	40
Tasa de crecimiento poblacional anual	Provincia de Canta (2.2%) y Provincia de Lima (3.2%)			
Tasa de crecimiento demanda recreativa anual	5%			

(\*) Según Consorcio Agua Azul

En **situación actual** los niveles de confiabilidad indican la existencia de un déficit hídrico de 8.8 MMC entre los meses de agosto a diciembre, siendo más crítica la situación en el mes de diciembre y agosto respectivamente para los subsectores ubicados en la parte baja del valle. Esto se explica por la alta competencia entre los usos agrícola y poblacional en dicho periodo de tiempo.

En el escenario **a corto plazo** los niveles de confiabilidad indican que existirá un déficit hídrico de 16.5 MMC entre los meses de julio a diciembre, agudizándose el nivel en el mes de diciembre principalmente en los sectores San Lorenzo, Carabaillo, Isleta y La Cachaza, esto último debido a que se espera mayor competencia entre los usos agrícola y poblacional.

En el escenario **a mediano plazo** los niveles de confiabilidad son mayores que el nivel a corto plazo, debido principalmente a la ejecución del Proyecto Chillón II que incorpora al sistema 60 MMC para abastecimiento poblacional.

Para la población proyectada y nivel de cobertura de agua para uso poblacional asumida en el estudio, se espera la existencia de un déficit

hídrico de 1.4 MMC entre los meses de agosto a diciembre, principalmente en los sectores de San Lorenzo, Carabaillo, Isleta y La Cachaza.

En el escenario **a largo plazo**, los niveles de confiabilidad indican un déficit hídrico de 6.0 MMC entre los meses de julio a diciembre, ello se explica por el mayor crecimiento poblacional e igual cantidad de oferta hídrica que en el escenario a corto plazo, de manera similar en los sectores de San Lorenzo, Carabaillo, Isleta y La Cachaza.

- El cálculo de máximas avenidas para diversos tramos de interés que tenga la ATDR Chillón - Rímac - Lurín, podrá ser obtenido de la base de datos y archivos generados por el programa HEC-HMS y que será proporcionado en formato digital como producto agregado del presente estudio.
- En condiciones de sequía: El periodo de escasez de lluvia (4 a 5 años) es mayor que el periodo de escasez de descarga en el río (2 a 4 años). Asimismo el déficit porcentual de lluvia en dichos periodos es de 98% mayor que el déficit porcentual de descarga del río que llega al 52%.

#### **14.2. RECOMENDACIONES**

- Utilizar la información calculada de la precipitación total mensual al 75% de persistencia sobre los subsectores de riego ubicados en la parte alta de la cuenca con el fin de calcular en el futuro la cantidad de riego complementario necesario para dichas áreas agrícolas actualmente regadas en su mayoría bajo secano.
- Recopilar información relativa a la cédula de cultivos (Porcentaje de cultivos, coeficientes de cultivos, época de siembra y cosecha), de los subsectores ubicados en la parte alta de la cuenca del río Chillón.
- Solicitar al SENAMHI el procesamiento de la información de descargas máximas instantáneas de las estaciones limnigráficas Obrajillo y Puente Magdalena, actualmente no disponibles para su venta.
- Mejorar la infraestructura de riego existente en el valle del río Chillón, así como la operación de las lagunas reguladas con el fin de mejorar la eficiencia de riego.

- Realizar la integración de canales de riego con el fin de mejorar la eficiencia de distribución del agua, así como utilizar compuertas automáticas tipo pico de pato o Neypic.
- Adquirir y procesar imágenes satélite de la cuenca del río Chillón con el objeto de actualizar la infraestructura hidráulica, las áreas bajo riego y cédula de cultivos, así como el mapa de uso actual de la cuenca.
- Ejecutar el Proyecto Río Chillón II para abastecimiento de agua poblacional.
- Los estudios de regulación de lagunas de la parte alta de la cuenca deberán tener muy en cuenta el aspecto de la evolución geomorfológica de las áreas superiores de la cuenca que requieren estudios más detallados desde el punto de vista de su seguridad.
- Ejecutar una planta de tratamiento de aguas residuales en la parte baja de la cuenca debido a la gran cantidad de descargas que recibe el río sin tratamiento alguno y que son utilizadas en la agricultura de los subsectores de riego de la parte baja.

## **15. ANEXOS**