

REPORTE
TECNICO

Volumen I

HIDROLOGIA



Ministerio de Agricultura
Instituto Nacional de Recursos Naturales
Intendencia de Recursos Hídricos
Administración Técnica del Distrito de Riego Juliaca

Evaluación de los Recursos Hídricos en las Cuencas de los Ríos Cabanillas y Lampa



INSTITUTO NACIONAL DE RECURSOS NATURALES
Intendencia de Recursos Hídricos

ATDR Juliaca
Juliaca – Perú
Diciembre 2007



Ministerio de Agricultura
Instituto Nacional de Recursos Naturales
Intendencia de Recursos Hídricos
Administración Técnica del Distrito de Riego Juliaca

PERSONAL DIRECTIVO

Ing. Luis Enrique Salazar Salazar	Intendente de Recursos Hídricos
Ing. Mario Aguirre Núñez	Director de Recursos Hídricos e Irrigaciones
Ing. Víctor Leandro Silva	Jefe de Proyectos Hidrológicos
Ing. Omar Velásquez Figueroa	Administrador Técnico del Distrito de Riego Juliaca

PERSONAL PARTICIPANTE

Ing. Elmer Francisco Tancayllo Ccalla	Estudio de Hidrología.
Ing. Neiser Antonio Pagan Luna	Inventario de Fuentes de Aguas Superficiales.
Ing. Karina Rocío Altamiza Chávez	Sistema de Información Geográfica (SIG).
Ing. Bach. Marina Castañeda Llamoca	Técnico de Campo.
Ing. Bach. Eberth Mendoza Huanca	Técnico de Campo.
Ing. Bach. Néstor Condori Condori	Técnico de Campo.
Ing. Bach. Federico Condori Quispe	Técnico de Campo.
Ing. Bach. Edwin Chucuya Canaza	Técnico de Campo.



Proyecto:

“Evaluación de los Recursos Hídricos en las Cuencas de los Ríos Cabanillas y Lampa”



ATDR Juliaca
Enero del 2008.

Proyecto:

Evaluación de los Recursos Hídricos en las Cuencas de los Ríos Cabanillas y Lampa

Resumen

El presente Reporte proporciona la información respecto a los estudios de hidrología realizados en el ámbito de la Cuenca del río Coata.

La cuenca del río Coata se ubica íntegramente dentro del Departamento de Puno, ocupa las superficies de las provincias de San Román, Lampa y parte de las provincias de Puno y Huancané.

La cuenca del río Coata esta conformada básicamente por las cuencas de los ríos Cabanillas y Lampa. La superficie total de la cuenca Coata es de 4,908.44 Km², su altitud máxima y mínima es de 5,300 y 3,800 msnm., respectivamente, y su altitud media es de 4,336.12 msnm. La longitud de curso mas largo es de 188.57 Km. con una pendiente media de 1.13%. Pluviométricamente es una cuenca con buen rendimiento hídrico. La precipitación total anual en la cuenca varia de 595.5 mm. (Juliaca) a 870.8 mm. (Quillisani). Los valores mas altos se registran en el entorno del Lago Titicaca y en el parte Alta de la cuenca. Las temperaturas mas bajas se producen en el mes de Julio, mientras que las mas elevadas se registran de Noviembre a Marzo, por lo general centradas en Enero.

En el ámbito de la cuenca del río Cabanillas se localiza el Proyecto de Irrigación Sistema Integral Lagunillas (el más relevante de la Región Puno). Su área total potencial de riego es de 33,919.83 Ha. y el área total disponible bajo riego es de 27,450 Ha., el respectivo volumen de demanda hídrica total anual es de 506.51 MMC.

Las fuentes de oferta hídrica en la cuenca del río Cabanillas esta representada por el escurrimiento del área de drenaje del río Ichocollo actualmente regulado con el embalse Lagunillas, y el escurrimiento natural del área de drenaje del río Verde. Se ha realizado el balance hídrico, mediante una simulación de operación del embalse Lagunillas bajo dos condiciones de regulación de las fuentes hídricas: (1) en la situación actual y (2) con regulación de los caudales del río Ichocollo y Verde mediante el embalse Lagunillas.

Los resultados obtenidos demuestran que en el primer caso solamente es posible suministrar el recurso hídrico a un 48% del requerimiento hídrico total. En el segundo caso es de 74%. Bajo estas condiciones de déficit de satisfacción al total de los requerimientos hídricos, es necesario limitar la expansión de mayores áreas para el riego.

Con la disponibilidad hídrica estimada en la cabecera de riego tanto en la cuenca del río Cabanillas como en la cuenca del río Lampa, se ha realizado una propuesta de asignaciones de agua en forma mensual a nivel de bocatomas de captación para cada uno de los bloques de riego considerados en cada una de las cuencas. Asimismo se ha considerado una asignación de un caudal de 1.5 m³/s para demanda poblacional (Juliaca y otros) en la cuenca del río Cabanillas.

Proyecto desarrollado en la Administración Técnica del Distrito de Riego Juliaca, en la Ciudad de Juliaca. Puno. Perú.

Tabla de Contenido

CAPITULO 1	1 – 1
El Agua, una Necesidad Básica	1 – 1
CAPITULO 2	2 – 4
Aspectos Generales	2 – 4
2.1. INTRODUCCION AL ANALISIS HIDROLOGICO	2–4
2.2. ANTECEDENTES	2–5
2.3. JUSTIFICACION	2–6
2.4. OBJETIVOS	2–6
2.4.1. GENERAL	2–6
2.4.2. ESPECIFICO	2–6
2.5. METODOLOGIA	2–7
2.6. INFORMACION BASICA	2–8
2.6.1. INFORMACION CARTOGRAFICA	2–8
2.6.2. INFORMACION HIDROMETRICA	2–9
2.6.3. INFORMACION PLUVIOMETRICA	2–9
2.6.4. OTRA INFORMACION METEOROLOGICA	2–12
2.6.5. REVISION Y ANTECEDENTES DE ESTUDIOS AFINES	2–12
CAPITULO 3	3 – 14
Descripción General de la Cuenca	3 – 14
3.1. UBICACION	3–14
3.1.1. UBICACION GEOGRAFICA	3–14
3.1.2. UBICACION POLITICA	3–16
3.1.3. UBICACION ADMINISTRATIVA	3–16
3.2. ASPECTO SOCIO-ECONOMICO	3–18
3.2.1. POBLACION	3–18
3.2.2. POBLACION ECONOMICAMENTE ACTIVA	3–18
3.2.3. DINAMICA DE LA ESTRUCTURA ECONOMICA	3–19
3.3. ACCESIBILIDAD – VIAS DE COMUNICACION	3–23
3.4. ASPECTOS FISIOGRAFICOS DEL AREA DEL PROYECTO	3–24
3.5. CLIMATOLOGIA	3–29
3.5.1. PRECIPITACION	3–30
3.5.2. TEMPERATURA DEL AIRE	3–41
3.5.3. EVAPORACION	3–53
3.5.4. HUMEDAD RELATIVA	3–57
3.5.5. VELOCIDAD DEL VIENTO	3–60
3.5.6. HORAS DE SOL	3–61
3.5.7. EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL	3–63
3.5.7.1. CONCEPTOS	3–63
3.5.7.2. INFORMACION BASICA	3–65
3.5.7.3. EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL EN LA CUENCA	3–67
3.6. ECOLOGIA	3–71
3.7. GEOLOGIA	3–73
3.8. USO MAYOR DE SUELOS	3–80
3.9. GEOMORFOLOGIA	3–85
3.9.1. CONCEPTO	3–85
3.9.2. DESCRIPCION DE LA CUENCA	3–85
3.9.2.1. TIPIFICACION HIDROGRAFICA DE LA CUENCA	3–86
3.9.2.2. PARAMETROS DE FORMA DE LA CUENCA	3–92
3.9.2.3. PARAMETROS DE RELIEVE	3–95
3.9.2.4. SISTEMA HIDROGRAFICO	3–99
3.9.2.5. PARAMETROS DE LA RED HIDROGRAFICA	3–101
3.9.2.6. ESQUEMA FLUVIAL	3–106
3.10. RECURSOS HIDRICOS SUPERFICIALES	3–117
3.10.1. RIOS	3–118
3.10.2. QUEBRADAS	3–119

3.10.3.	MANANTIALES.....	3-119
3.10.4.	BOFEDALES.....	3-119
3.10.5.	LAGUNAS.....	3-120
CAPITULO 4.....		4-121
Pluviometría.....		4-121
4.1.	GENERALIDADES.....	4-121
4.2.	RED DE ESTACIONES – INFORMACION HISTORICA.....	4-122
4.3.	ANALISIS DE CONSISTENCIA.....	4-122
4.3.1.	ANALISIS GRAFICO.....	4-126
4.3.2.	ANALISIS DE DOBLE MASA.....	4-129
4.3.3.	ANALISIS ESTADISTICO DE SALTOS Y TENDENCIAS.....	4-129
4.3.4.	COMPLETACION Y EXTENSION DE VALORES AUSENTES.....	4-133
4.4.	PRECIPITACION AREAL EN LA CUENCA.....	4-134
4.4.1.	METODOS DE ESTIMACION.....	4-134
4.4.2.	PRECIPITACION MEDIA AREAL (CUENCA COATA).....	4-135
4.4.3.	PRECIPITACION MEDIA AREAL (SUBCUENCAS).....	4-136
4.4.4.	PRECIPITACION MEDIA AREAL (POLIGONOS DE THIESSEN).....	4-138
4.4.5.	PRECIPITACION MEDIA AREAL (EN PUNTOS DE INTERES).....	4-141
CAPITULO 5.....		5-143
Hidrometría.....		5-143
5.1.	ESTACIONES DE AFORO DE CAUDALES.....	5-143
5.1.1.	ESTACION DE AFORO – PUENTE UNOCOLLA.....	5-144
5.1.2.	ESTACION DE AFORO – RIO VERDE.....	5-145
5.1.3.	ANALISIS DE CONSISTENCIA.....	5-146
5.1.4.	COMPLETACION Y EXTENSION DE VALORES AUSENTES.....	5-146
CAPITULO 6.....		6-148
Modelamiento Hidrológico: Relación Lluvia - Esguerrimiento.....		6-148
6.1.	GENERALIDADES.....	6-148
6.2.	IMPORTANCIA DEL MODELAMIENTO.....	6-148
6.3.	MODELO DETERMINISTICO-ESTOCASTICO LUTZ SCHOLZ.....	6-149
6.3.1.	DESCRIPCION GENERAL DEL MODELO.....	6-149
6.3.2.	APLICACION DEL MODELO.....	6-151
6.3.2.1.	AREA DE DRENAJE DEL RIO COATA.....	6-151
6.3.2.2.	AREA DE DRENAJE DEL RIO VERDE.....	6-153
6.3.3.	CAUDALES GENERADOS.....	6-153
6.3.4.	CAUDALES GENERADOS EN PUNTOS DE INTERES.....	6-154
CAPITULO 7.....		7-155
Determinación de la Disponibilidad Hídrica.....		7-155
7.1.	GENERALIDADES.....	7-155
7.2.	DISPONIBILIDAD HIDRICA CUENCA CABANILLAS.....	7-155
7.2.1.	DISPONIBILIDAD HIDRICA DEL RIO ICHOCOLLO.....	7-157
7.2.2.	DISPONIBILIDAD HIDRICA DEL RIO VERDE.....	7-158
7.2.3.	EMBALSE DE LAGUNILLAS.....	7-160
7.2.3.1.	CURVA ALTURA – AREA - VOLUMEN.....	7-161
7.2.3.2.	INFORMACION CLIMATOLOGICA.....	7-162
7.2.4.	ESTIMACION DE CAPACIDAD DE EMBALSE.....	7-162
7.2.5.	SIMULACION DE OPERACION DEL EMBALSE LAGUNILLAS.....	7-165
7.2.5.1.	DATOS Y VARIABLES DE CONITORNO.....	7-166
7.2.5.2.	ESCENARIOS DE OPERACION.....	7-166
7.2.5.3.	CRITERIOS DE EVALUACION.....	7-167
7.2.6.	DISPONIBILIDAD HIDRICA.....	7-167
7.3.	DISPONIBILIDAD HIDRICA CUENCA LAMPA.....	7-170
CAPITULO 8.....		8-174
Demandas de Agua.....		8-174
8.1.	GENERALIDADES.....	8-174
8.2.	DEMANDAS HIDRICAS CUENCA CABANILLAS.....	8-174
8.2.1.	DEMANDAS AGRICOLAS.....	8-174
8.2.1.1.	USO ACTUAL DE LA TIERRA Y CEDULA DE CULTIVO.....	8-176
8.2.1.2.	REQUERIMIENTO DE AGUA.....	8-178
8.2.1.3.	COEFICIENTES DE CULTIVO (Kc).....	8-178
8.2.1.4.	EVAPOTRANSPIRACION REAL (ET _o).....	8-179

8.2.1.5.	PRECIPITACION EFECTIVA.....	8-179
8.2.1.6.	EFICIENCIA DE RIEGO	8-180
8.2.1.7.	REQUERIMIENTOS TOTALES.....	8-180
8.2.2.	DEMANDAS POBLACIONES.....	8-181
8.3.	DEMANDAS HIDRICAS CUENCA LAMPA.....	8-181
8.3.1.	REQUERIMIENTOS DE AGUA AGRICOLA.....	8-182
CAPITULO 9.....		9-184
Balance Hídrico y Asignaciones		9-184
9.1.	GENERALIDADES.....	9-184
9.2.	BALANCE HIDRICO CUENCA RIO CABANILLAS.....	9-184
9.2.1.	BALANCE HIDRICO Y ASIGNACIONES – SITUACION ACTUAL.....	9-184
9.2.2.	BALANCE HIDRICO Y ASIGNACIONES – SITUACION PROYECTADA.....	9-188
9.3.	BALANCE HIDRICO Y ASIGNACIONES CUENCA RIO LAMPA.....	9-192
9.3.1.	BALANCE HIDRICO.....	9-192
9.3.2.	ASIGNACION MENSUAL DE VOLUMENES DE AGUA.....	9-193
CAPITULO 10.....		10-195
Análisis de Eventos Extremos		10-195
10.1.	GENERALIDADES.....	10-195
10.2.	ANALISIS DE FRECUENCIA DE MAXIMAS AVENIDAS.....	10-195
10.2.1.	INFORMACION BASICA.....	10-197
10.2.2.	ANALISIS DE FRECUENCIA.....	10-199
10.2.3.	CAUDALES DE RETORNO.....	10-203
10.3.	ANALISIS DE SEQUIAS.....	10-205
10.3.1.	INTRODUCCION.....	10-205
10.3.2.	QUE ES LA SEQUIA?.....	10-206
10.3.3.	TIPOS DE SEQUIA.....	10-207
10.3.4.	INDICES DE SEQUIA.....	10-208
10.3.4.1.	INDICE DE SEVERIDAD DE LA SEQUIA DE PALMER (ISSP).....	10-208
10.3.4.2.	INDICE DE PRECIPITACION ESTANDARIZADO (IPE).....	10-209
10.3.5.	CALCULO DE LOS EPISODIOS DE SEQUIA HISTORICA.....	10-211
10.3.6.	CARACTERIZACION ANUAL DE LA SEQUIA HISTORICA.....	10-214
10.3.7.	SEQUIA FEBRERO 1982 – ENERO 1984.....	10-216
10.3.8.	SEQUIA NOVIEMBRE 1991 – SEPTIEMBRE 1993.....	10-219
10.3.9.	SEQUIA FEBRERO 1969 – AGOSTO 1972.....	10-222
CAPITULO 11.....		11-224
Análisis Regional de Caudales de Crecidas		11-224
11.1.	REGIONALIZACION DE CAUDALES DE CRECIDAS.....	11-224
11.1.1.	METODO DE CRECIDA INDICE.....	11-224
11.1.2.	METODO BASADO EN LA REGRESION.....	11-224
11.2.	INFORMACION BASICA.....	11-225
11.3.	ECUACION REGIONAL DE CRECIDAS.....	11-226
CAPITULO 12.....		12-230
Conclusiones y Recomendaciones		12-230
11.1.	CONCLUSIONES.....	12-230
11.2.	RECOMENDACIONES.....	12-232
CAPITULO 13.....		13-233
Bibliografía		13-233

CAPITULO 1

El Agua, una Necesidad Básica

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

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

En los últimos años, los problemas del agua han sido objeto de una preocupación y un debate crecientes en el plano internacional. En enero de 1992 tuvo lugar en Dublín (Irlanda) la Conferencia Internacional sobre el Agua y el Medio Ambiente (ICWE), patrocinada por el sistema de las Naciones Unidas. En 1993 el Banco Mundial publicó un exhaustivo documento de política en el que se definían sus nuevos objetivos en el sector de los recursos hídricos. La FAO, por su parte, ha establecido recientemente un Programa de Acción Internacional sobre el Agua y el Desarrollo Agrícola Sostenible (PAI-ADAS). En el 2006, en México se realiza el IV Foro mundial del Agua.

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

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

Pese a la escasez de agua, su utilización errónea es un fenómeno generalizado. Las pequeñas comunidades y las grandes urbes, los agricultores y las industrias, los países en desarrollo y las economías industrializadas, todos están manejando mal los recursos hídricos. La calidad del agua de superficie se está deteriorando en las

principales cuencas a causa de los residuos urbanos e industriales. Las aguas freáticas se contaminan desde la superficie y se deterioran irreversiblemente con la intrusión de agua salada. Los acuíferos sobreexplotados están perdiendo su capacidad de contener agua, y las tierras se están hundiendo. Las ciudades no son capaces de atender debidamente las necesidades de agua potable y saneamiento. El anegamiento y la salinización están reduciendo la productividad de las tierras regadas. Y con la merma de los caudales están disminuyendo asimismo la generación de energía hidroeléctrica, la asimilación de la contaminación y el hábitat de los peces y de la flora y fauna silvestres.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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



Foto N° 1.1

Un sector del Lago Titicaca todavía poco contaminado por el hombre y las zonas urbanas.

Referencias:

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

CAPITULO 2

Aspectos Generales

2.1. INTRODUCCION AL ANALISIS HIDROLOGICO

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

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

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

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

En muchos casos, las variables medidas no son el tema más importante para un análisis. En el análisis de escurrimiento directo, por ejemplo, con frecuencia el hidrograma se divide en sus componentes para que la parte asociada con un acontecimiento particular de la lluvia pueda separarse del resto del hidrograma. Esta separación se obtiene por el cálculo basado en modelos analíticos más que por una medición física.

Los análisis incluyen casos de estudio y el examen estadístico de grandes cantidades de datos. Los análisis estadísticos abarcan el ajuste de los datos a las distribuciones de frecuencia y a los modelos paramétricos por regresión o análisis de series cronológicas.

La validez de las relaciones derivadas debe ser comprobada con datos independientes. La reconstitución de un hidrograma es una prueba hidrológica característica.

El grado de detalle y precisión en el análisis debe ser consistente con la calidad y el muestreo adecuado de los datos disponibles, y con la exactitud que requiere la aplicación del análisis. Se ha de tener en cuenta la relación que existe entre el costo y el tiempo dedicado a un análisis y los beneficios esperados. En muchos casos, los métodos gráficos y otros métodos de cálculo relativamente simples son más efectivos en costo que los métodos más complicados, y pueden ser suficientemente exactos para los datos y los fines que se persiguen.

2.2. ANTECEDENTES

Desde el año 2001, la Intendencia de Recursos Hídricos (ex Dirección General de Aguas y Suelos) del Instituto Nacional de Recursos Naturales, viene desarrollando estudios hidrológicos en diversas cuencas del Perú, como es el caso de las cuencas de los ríos Cañete, Chancay-Huaral, Chili, Caplina, Ramis, Pisco - Chincha, Yauca - Acari, etc; y conciente de la necesidad del país de disponer del conocimiento integral y homogéneo de la potencialidad de sus recursos hídricos que conlleven a un uso racional y planificado, desde los puntos de vista social, económico, ecológico y considerando la participación de todos los agentes consumidores de agua de la cuenca, dentro de sus limitaciones existentes, prosigue con sus objetivos iniciales extendiendo estos estudios en otras cuencas, como es el presente caso de los ríos Cabanillas y Lampa en la Región Puno.

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

Las dos actividades principales socio-económicas en la cuenca son la agricultura y la ganadería, constituyéndose esta en un eje para el desarrollo de otras labores productivas como transporte, comercio y consumo.

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

Por consiguiente, el agua superficial en la cuenca de los ríos Cabanillas y Lampa representa un “input” económico de singular importancia para el desarrollo socio-económico de la Región Puno.

2.3. JUSTIFICACION

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

Los resultados obtenidos, permitirá disponer de información necesaria para optimizar el ordenamiento y gestión de los recursos hídricos para la autoridad de aguas dentro de las cuencas hidrográficas señaladas.

El presente reporte se ha elaborado en dos partes o componentes: (1) Estudio Hidrológico, (2) Inventario de Fuentes de Agua Superficial.

El Estudio Hidrológico proporciona la información descriptiva de las características, fisiográficas y morfológicas de las cuencas, asimismo evalúa y cuantifica la disponibilidad y demanda hídrica, por consiguiente permite entender el funcionamiento hidrológico de las cuencas bajo las restricciones de contorno existentes. Luego de haber revisado los diversos estudios realizados sobre la hidrología de las cuencas en estudio, es de considerar que el presente reporte contiene sustanciales aportes, como la caracterización de la climatología, la modelación matemática de caudales medios mensuales a partir de la precipitación areal de la cuenca, la generación de series sintéticas de caudal, como una gran alternativa para disponer de información más confiable desde el punto de vista hidrológico y probabilística, la estimación del aporte hídrico mensualizado del sistema de almacenamiento existente, la simulación de operación del Sistema Hidráulico existente, entre otros.

El Inventario de Fuentes de Agua Superficial permitirá contar con una información sistematizada procesada bajo el entorno de un Sistema de Información Geográfica, conteniendo toda la información básica de las diferentes fuentes de agua superficial (ríos, lagunas, manantiales, aguas de recuperación, etc.) existentes en el ámbito de las cuencas de los ríos Cabanillas y Lampa. Así mismo, este inventario proporcionará información de los usos actuales de agua de los diferentes agentes consumidores de agua (uso: poblacional, agrícola, minero, energético, etc.)

2.4. OBJETIVOS

2.4.1. GENERAL

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

2.4.2. ESPECIFICO

- * Implementación y uso de programas modernos para la sistematización de la información hidrometeorológica, base para una adecuada Gestión de los

Recursos Hídricos en las cuencas de los ríos Cabanillas y Lampa.

- * Diagnóstico de la hidrología en general de las cuencas de los ríos Cabanillas y Lampa.
- * Estudio de la precipitación en las cuencas, como una base para la modelación matemática precipitación – escorrentía.
- * Estudio del almacenamiento en las cuencas y su aporte a la disponibilidad.
- * Estudio de la escorrentía superficial de los ríos Cabanillas y Lampa y su disponibilidad probabilística con series de datos históricos y generados mediante la modelación matemática de caudales.
- * Identificar, evaluar y cuantificar los diferentes agentes consuntivos de agua superficial en las cuencas de los ríos Cabanillas y Lampa.
- * Estudio del funcionamiento hidrológico de las cuencas y el establecimiento de las reglas de operación de los sistemas regulados.
- * Cálculo del balance hídrico en las cuencas.
- * Evaluación y cuantificación de los eventos extremos (Avenidas, Sequías).
- * Identificar y evaluar las fuentes de agua superficial en las cuencas a través de un inventario sustentado en trabajos de campo y mediciones puntuales.

2.5. METODOLOGIA

El presente trabajo ha sido orientado y realizado mediante la ejecución secuencial de las siguientes actividades y con la participación de un equipo técnico-profesional especialista en trabajos de esta naturaleza.

- * Coordinaciones Preliminares; realizadas en el ámbito de las cuencas, actividad que consideramos importante puesto que posibilita una inicial participación interinstitucional.
- * Recolección de Información Básica
- * Reprogramación de Actividades
- * Campo FASE I :
 - Reconocimiento de las Cuencas en Campo.
- * Campo FASE II :
 - Evaluación Hidrológica de las Cuencas: Delimitación hidrográfica, Fisiografía, Geomorfología.
 - Identificación de los principales agentes consumidores de agua.
 - Inventario de Fuentes de Agua Superficial.
 - Evaluación de Estaciones Hidrometeorológicas.
- * Trabajos de gabinete :
 - Procesamiento de la Información.
 - Cálculos e inferencias hidrológicas.

- Elaboración de Mapas Temáticos de las Cuencas.
- Informe Final de Resultados.

Cabe resaltar que las dos anteriores actividades de campo y gabinete han sido llevadas de forma alternada, considerando que todo estudio hidrológico está validado con información de campo. Las metodologías y/o técnicas de recolección de datos y manejo de información que han contribuido de sobremanera en el desarrollo del estudio son:

- * Métodos de recolección de Información:
 - Observación sistemática
 - Técnica documental
 - Análisis bibliográfico
 - Entrevista
- * Herramientas:
 - Software de Sistema de Información Geográfica. Software Estandarizado de tratamiento y procesamiento de información hidrológica.
 - Referencias bibliográficas.

2.6. INFORMACION BASICA

2.6.1. INFORMACION CARTOGRAFICA

La información cartográfica básica para la realización del estudio hidrológico y la generación de mapas temáticos de las cuencas de los ríos Cabanillas y Lampa, así como para el inventario y evaluación de fuentes de agua superficial, ha consistido en:

- * Mapas de la Carta Nacional a escala 1/100,000 del IGN digitalizados bajo el entorno de GIS con equidistancia mínima de curvas de nivel de 50 m.
- * Mapa de delimitación administrativa del Distrito de Riego Juliaca, 1/100,000, con la red hidrográfica, sin curvas de nivel
- * Mapa de Red de Estaciones Meteorológicas administradas por el Proyecto Especial Lago Titicaca (PELT) a escala 1/100,000, proporcionados por el PELT.
- * Mapa del Sistema de Riego Integral del Embalse Lagunillas, proporcionado por el PELT.
- * Información cartográfica complementaria existente en la oficina de la ATDR Juliaca.
- * Mapas de áreas de riego de los Bloques de Riego Cabana - Mañazo del Sistema Integral Lagunillas proporcionado por PELT en formato GIS.
- * Mapas de áreas de riego de los Bloques de Riego Cabanilla, Yanarico, Yocara del Sistema Integral Lagunillas proporcionado por PRORRIDRE (Gobierno Regional Puno) en formato AutoCad Land.

2.6.2. INFORMACION HIDROMETRICA

Las cuencas de los ríos Cabanillas y Lampa componen la cuenca del río Coata. La extensión del río Coata desde el punto de confluencia de los ríos Cabanillas y Lampa hasta su desembocadura al Lago Titicaca es de 56 Km.

La Estación Hidrométrica del puente Unocolla (N 8285652 m., E 385973 m., Z = 3,829 msnm.) actualmente existente sobre el río Coata registra los caudales del río Coata en forma diaria anotándose el caudal promedio diario y el caudal máximo promedio mensual, operada por el SENAMHI Puno. La longitud de información disponible corresponde al periodo 1965 - 1978 y 1989 - 2006, observándose 10 años sin registro de observación.

Sobre el río Verde, ubicado en la Cuenca del río Cabanillas, se localiza la estación Hidrométrica Río Verde (N 8267813 m., E 321841 m., Z = 4,109 msnm.), registra los caudales de escorrentía natural del río Verde en forma diaria anotándose el caudal promedio diario y el caudal máximo promedio mensual, operada por el SENAMHI Puno. La longitud de información disponible corresponde al periodo 1964 - 2006, observándose algunos pocos meses puntuales sin registro de observación.

No existe estaciones de aforo en puntos relevantes de las Cuencas materia de estudio, principalmente dentro del ámbito del Sistema Integral Lagunillas, sector donde están localizadas las mayores áreas bajo riego de la Región Puno.

2.6.3. INFORMACION PLUVIOMETRICA

Se ha utilizado 17 registros históricos de pluviométrica correspondiente a igual número de estaciones pluviométricas, tal como se presenta en la Tabla N° 2.1.

Tabla N° 2.1
Número de Estaciones/Cuenca

Cuenca	N° Estaciones
Coata	06
Ramis	04
Titicaca	03
Alto Tambo	01
Chili	02
Colca	01
TOTAL	17

Todas las estaciones son administradas por el SENAMHI. Para el presente reporte, se cuenta con información de precipitación total mensual y precipitación máxima en 24 horas mensual, con series de datos entre los años 1956 - 2006, con un promedio de 38 años de registro de observación, tal como se presenta en la Tabla N° 2.2. En la Figura N° 2.1 se presenta la longitud de registro histórico disponible de Pluviométrica en cada estación meteorológica considerada.

En el Anexo (Volumen II) se presenta la Información pluviométrica histórica en forma tabular.

Tabla N° 2.2
Estaciones Pluviométricas – Cuencas del río Cabanillas y Lampa y Estaciones de Apoyo

N°	ESTACION	CUENCA	TIPO ESTACION	PERIODO FUNCIONAMIENTO	AÑOS DE OBSERVACION	UBICACIÓN POLITICA			UBICACIÓN GEOGRAFICA			INSTITUCION RESPONSABLE
						DPTO	PROVINCIA	DISTRITO	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD	
1	Llalli	Ramis	CO.110761	1964 - 2006	43	Puno	Melgar	Llally	14°56'13.21"	70°53'09.59"	3980	SENAMHI
2	Ayaviri	Ramis	CO.114038	1964 - 2006	43	Puno	Melgar	Ayaviri	14°52'22,80"	70°35'34.79"	3928	SENAMHI
3	Pucara	Ramis	CO.115046	1963 - 2006	44	Puno	Lampa	Pucará	15°02'42.2"	70°21'59.9"	3900	SENAMHI
4	Pampahuta	Coata	CO.115027	1962 - 2006	45	Puno	Lampa	Paratía	15°29'00.7"	70°40'32.8"	4400	SENAMHI
5	Lagunillas/Santa Lucia	Coata	CO. s/c	1962 - 1999	46	Puno	Lampa	Santa Lucia	14°56'11.5"	70°53'09.4"	3980	SENAMHI
6	Cabanillas	Coata	CO.115033	1964 - 2006	43	Puno	San Román	Cabanillas	15°10'10.5"	69°58'11.6"	3892	SENAMHI
7	Mañazo	Titicaca	CO.115051	1958 - 2006	49	Puno	Puno	Mañazo	14°48'00.2"	70°03'59.7"	3920	SENAMHI
8	Lampa	Coata	CO.100081	1956 - 2006	51	Puno	Lampa	Lampa	15°21'40.17"	70°22'27.12"	3892	SENAMHI
9	Juliaca	Coata	CO.115060	1961- 2006	46	Puno	San Román	Juliaca	15°26'39,02"	70°12'28.32"	3826	SENAMHI
10	Taraco	Ramis	CO.115048	1963 - 2006	44	Puno	Huancané	Taraco	15°10'10.5"	69°58'11.6"	3820	SENAMHI
11	Capachica	Titicaca	CO.100021	1956 - 2006	51	Puno	Puno	Capachica	15°36'16.69"	69°49'55.20"	3828	SENAMHI
12	Puno	Titicaca	CO.100110	1964 - 2006	43	Puno	Puno	Puno	15°49'33,61"	70°00'43.22"	3820	SENAMHI
13	Quillisani	Coata	CO. s/c	1962 - 1988	27	Puno	Lampa	Paratia	15°23'00"	70°45'00"	4600	SENAMHI
14	Ichuña	Alto Tambo	CO.100059	1964 - 2006	43	Moquegua	Moquegua	Sanchez Cerro	16°07'58,80"	70°33'07.20"	3800	SENAMHI
15	Condorama	Colca	CO. s/c	1977 - 2006	30	Arequipa	Caylloma	Callalli	15°24'01"	71°18'01"	4160	SENAMHI
16	Crucero Alto	Chili	CO. s/c	1967 - 2006	40	Arequipa	Caylloma	San Antonio de Chuca	15°46'1,19"	70°55'01,21"	4470	SENAMHI
17	Imata	Chili	CO.765	1967 - 2006	40	Arequipa	Caylloma	San Antonio de Chuca	15°50'12"	71°5'16"	4519	SENAMHI

Fuente: Elaboración propia

2.6.4. OTRA INFORMACION METEOROLOGICA

Se tiene disponible información meteorológica de estaciones climatológicas ordinarias ubicadas en las cuencas de los ríos Cabanillas y Lampa y en cuencas vecinas, de las variables climáticas temperatura media, máxima y mínima, evaporación total mensual, horas de sol, velocidad de viento, humedad relativa. Todas las estaciones meteorológicas existentes son administradas por el SENAMHI y son de tipo Climatológica Ordinaria. El PELT posee estaciones meteorológicas propias, pero la longitud de registro es corta a partir del año 2004. Por consiguiente para el presente trabajo no se tomara en cuenta por la poca longitud de registro.

La longitud de registro de parámetros meteorológicos disponibles varía desde un periodo de 6 a 38 años. Por restricciones presupuestales no ha sido posible hacer una adquisición de esta información en mayores longitudes de registro.

2.6.5. REVISION Y ANTECEDENTES DE ESTUDIOS AFINES

Como parte preliminar a la elaboración del presente reporte se ha revisado información y reportes técnicos relacionados al uso de los recursos hídricos, realizados en la Región Puno por parte de diversas instituciones públicas y privadas. Dentro de los principales documentos revisados se pueden citar los siguientes:

- [1] *“Plan Director Global Binacional de Protección – Prevención de Inundaciones y aprovechamiento de los Recursos del lago Titicaca, Río Desaguadero, Lago Poopó y Lago Salar (Sistema T.D.P.S.)”*, realizado por un equipo multidisciplinario. Es un estudio hidrológico integral de las cuencas del entorno del Lago Titicaca, presentándose evaluación y análisis de precipitaciones, escorrentías, inundaciones y sequías, realizado en 1983.
- [2] *“Inventario, Evaluación de los Recursos Naturales del Sector Prioridad I. Puno”*; realizado por la ONERN, en 1971. En lo que concierne a hidrología contiene estudio a nivel de reconocimiento, orientados en las líneas generales, al inventario y evaluación de los recursos hidráulicos existentes y a los problemas que plantea su aprovechamiento, determinando su potencialidad y planteando soluciones de tipo general en el área de la Ciudad de Puno.
- [3] *“Estudio de Prefactibilidad Irrigación Yocara”*, Volumen II - Hidrología, realizado por PRORRIDRE (Gobierno Regional de Puno). Presenta un estudio hidrológico de la cuenca del río Cabanillas con fines de realizar el balance hídrico de la cuenca, realizado en 2006.
- [4] *“Estudio de la Cuenca del río Illpa”*, Tomo I – Diagnóstico de la Cuenca. Realizado por la Dirección General de Aguas en 1983. Describe una evaluación hidrológica local de la cuenca del río Illpa.
- [5] *“Análisis de Riesgos de Sequía en el Altiplano Boliviano”*, realizado por ORSTOM-SENAMHI de la Paz, Bolivia.

- [6] *“Balance Hidrológico del Lago Titicaca”*, Tesis de Maestría, UNALM, La Molina, 1984.
- [7] *“Memoria Descriptiva de la Unidad Hidrográfica de Análisis del río Coata”*, realizado por la ONERN, 1972.
- [8] *“Estudio de Factibilidad del Proyecto Integral Lagunillas”*, Tomo B: Formulación y evaluación del Proyecto; realizado por la C y A Consultores y Asesores Asociados SRL, Octubre 1985. Describe un balance hídrico del Sistema Integral Lagunillas, para ello realiza una simulación bajo varios escenarios de operación, asimismo con respecto al calculo de las demandas hídricas agrícolas asume una eficiencia de riego promedio de 70% para un sistema de riego por gravedad. Por consiguiente la demanda hídrica de las áreas bajo riego totales del sistema son satisfechas. Para el calculo de la oferta hídrica no se ha realizado un análisis hidrológico de la cuenca, solamente se utilizo los caudales aforados disponibles en río Verde y Lagunillas.
- [9] *“Estudio a Nivel de Prefactibilidad Bocatoma Irrigación Yanarico”*, realizado por PRORRIDRE PRASTER (Gobierno Regional de Puno). Presenta un estudio de la cuenca del río Cabanillas hasta el punto de captación de la bocatoma de la Irrigación Yanarico con fines de realizar el balance hídrico de la cuenca, realizado en 2004.
- [10] *“Perfil del Proyecto Irrigación Cabanilla II Etapa”*, realizado por PRORRIDRE PRASTER (Gobierno Regional de Puno). Presenta un estudio de la cuenca del río Cabanillas hasta el punto de captación de la bocatoma de la Irrigación Cabanilla con fines de realizar el balance hídrico de la cuenca, realizado en 2004.
- [11] *“Estudio a Nivel de Prefactibilidad Bocatoma Irrigación Yocara”*, realizado por PRORRIDRE PRASTER (Gobierno Regional de Puno). Presenta un estudio de la cuenca del río Cabanillas hasta el punto de captación de la bocatoma de la Irrigación Yocara con fines de realizar el balance hídrico de la cuenca, realizado en 2007.
- [12] *“Determinación de una Formula Empírica de Evapotranspiración Potencial en Puno”*, Tesis de Grado. Facultad de Ingeniería Agrícola, universidad Nacional del Altiplano, presentado por Vladimir Laura Quispe, 2006. Presenta una revisión de las formulas mas utilizadas para el calculo de la evapotranspiración y plantea otra formula realizando un análisis comparativo de resultados.

CAPITULO 3

Descripción General de la Cuenca

3.1. UBICACION

La cuenca del río Coata (Cuecas de los ríos Cabanillas y Lampa) presenta la siguiente ubicación geográfica, política y administrativa:

3.1.1. UBICACION GEOGRAFICA

Coordenadas Geográficas:

Latitud Sur : 15°06'36" - 15°55'12"
 Longitud Oeste : 71°12'00" - 69°55'12"

Coordenadas UTM (WGS84)

Norte : 8'328,509 - 8'239,696
 Este : 282,907 - 401,525
 Variación Altitudinal: 5,300 - 3,800 m.s.n.m.

Límites Hidrográficos:

Norte : Cuenca Ramis.
 Sur : Cuenca Illpa y cuenca Alto Tambo.
 Este : Lago Titicaca.
 Oeste : Cuenca Chili y cuenca Colca Siguas.

En la Figura N° 3.1 se presenta en forma gráfica la ubicación hidrográfica de la cuenca.

En el Anexo (Volumen III) se presenta el **Mapa N° H-C3.1** de ubicación hidrográfica de la cuenca a escala 1/400000, preparado en base a información digital del IGN 1/100000.

3.1.2. UBICACION POLITICA

La cuenca del río Coata se ubica íntegramente dentro del Departamento de Puno, ocupa las superficies de las provincias de San Román, Lampa y parte de las provincias de Puno y Huancané.

El 24.30% de área de la cuenca se ubica en San Román, el 74.98% en Lampa y el 0.52% en Puno y 0.20% en Huancané.

En el Anexo (Volumen III) se presenta el **Mapa N° H-C2.2** de ubicación política de la cuenca a escala 1/400000, preparado en base a información digital del IGN 1/100000.

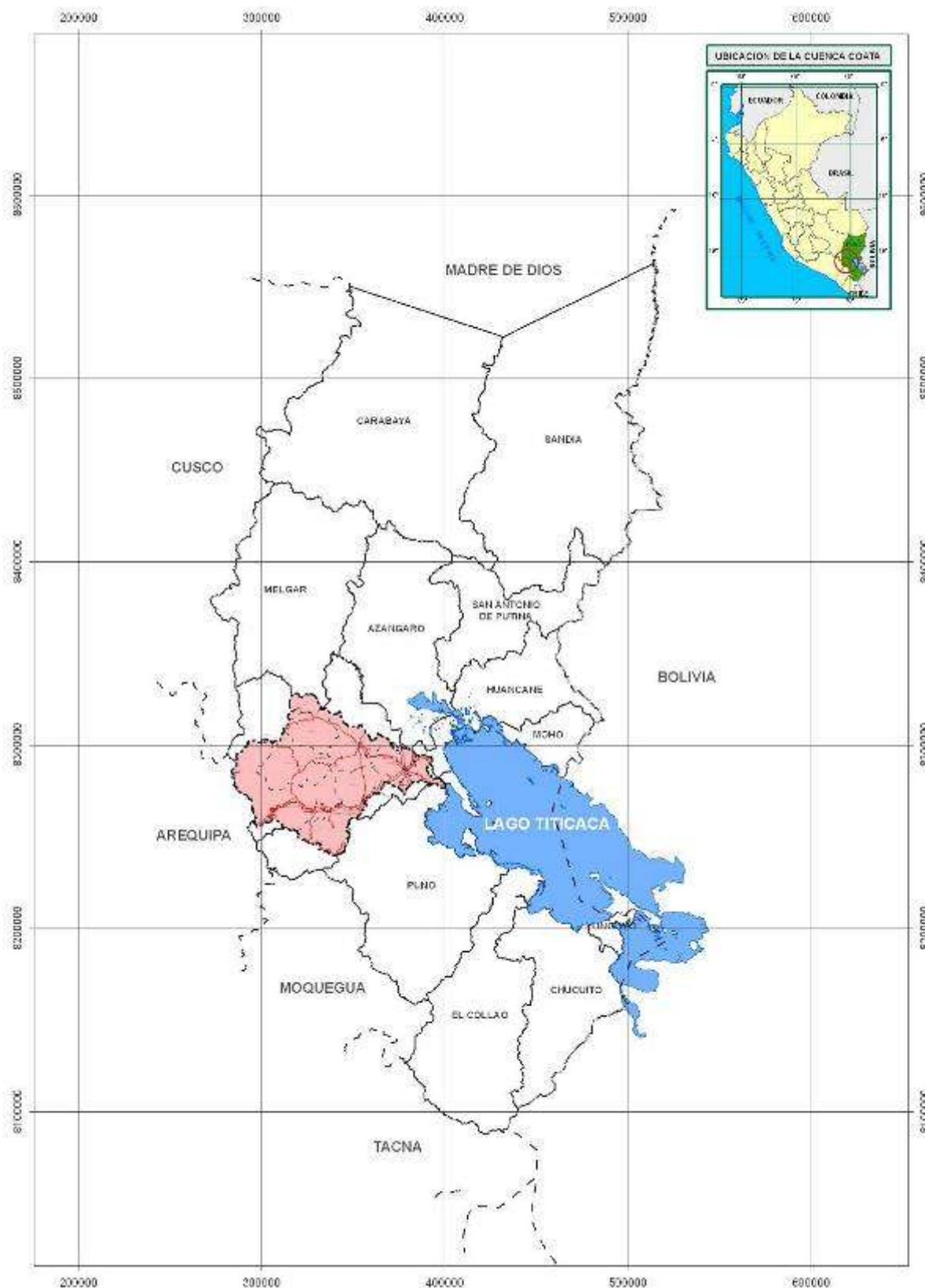
En la Figura N° 3.2 se presenta en forma gráfica la ubicación política de la cuenca.

3.1.3. UBICACION ADMINISTRATIVA

La entidad administrativa que regula el uso de los recursos hídricos en la cuenca del río Coata (Cuencas de los ríos Cabanillas y Lampa) es la Administración Técnica del Distrito de Riego Juliaca, la que tiene una dependencia, también de orden administrativo del Ministerio de Agricultura a través de la Intendencia de Recursos Hídricos del INRENA y de la Dirección Regional Agraria Puno. Las entidades, en orden jerárquico, que enmarcan la gestión hídrica en la cuenca del río Coata se listan a continuación:

- * Ministerio de Agricultura
- * Dirección Regional Agraria Puno
- * Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA)
- * Intendencia de Recursos Hídricos
- * Administración Técnica del Distrito de Riego Juliaca

Figura N° 3.2
Ubicación Política de la Cuenca del río Coata



3.2. ASPECTO SOCIO-ECONOMICO

3.2.1. POBLACION

En la Tabla N° 3.1 se presenta los resultados del XI Censo Nacional de población efectuada en 1993. En la indicada Tabla se aprecia lo siguiente:

La población total de la cuenca del Río Coata es de 221,097 habitantes. El 70.49% de población total, se ubica dentro del área urbana y el 29.51% en la zona rural; mientras que el 49.51% es de sexo masculino, y el 50.49% es de sexo femenino.

Por otro lado, la mayor población esta conformada por habitantes cuyas edades oscila entre 15 y 29 años (28.35%). Ver Tabla N° 3.1

Tabla N° 3.1
Población Total según Sexo y Tipo de Población
Cuenca del río Coata (IX Censo Poblacional 2003)

Descripción	Población			Urbana			Rural		
	Total	Hombres	Mujeres	Total	Hombres	Mujeres	Total	Hombres	Mujeres
Menores de 5 años	28,395	14,476	13,919	19,493	9,945	9,548	8,902	4,531	4,371
De 5 a 14 años	59,911	30,513	29,398	42,144	21,479	20,665	17,767	9,034	8,733
De 15 a 29 años	62,690	30,550	32,140	48,273	23,994	24,279	14,417	6,556	7,861
De 30 a 44 años	37,167	18,065	19,102	28,303	14,050	14,253	8,864	4,015	4,849
De 45 a 64 años	23,879	11,601	12,278	13,871	7,150	6,721	10,008	4,451	5,557
De 65 a mas años	9,055	4,259	4,796	3,778	1,767	2,011	5,277	2,492	2,785
TOTAL	221,097	109,464	111,633	155,862	78,385	77,477	65,235	31,079	34,156

Fuente: Instituto Nacional de Estadísticas e Informática (INEI) - Censo Nacional: IX de Población y X de Vivienda

3.2.2. POBLACION ECONOMICAMENTE ACTIVA

En la Tabla N° 3.2, podemos apreciar que 66,955 habitantes forman parte de la Población Económicamente Activa (PEA) representando el 35.92% de la población total; mientras que la Población Económicamente No Activa (PENA), esta constituida por 119,453 habitantes representando el 64.08% de la población total.

Observamos en la Tabla N° 3.2 que la mayor densidad de la Población Económicamente Activa, la conforman los habitantes cuyas edades oscilan entre 15 y 29 años y representando el 37.73%, en ese sentido indicaremos que la mayor densidad de la población Económicamente No Activa, la conforman los habitantes cuyas edades oscilan entre 6 y 14 años con el 43.38% de total de la población Económicamente No Activa. Por otro lado, la PEA en menor proporción, la conforman los habitantes cuyas edades oscilan entre 6 y 14 años con un total de 1,793 habitantes los que representan el 2.68%; mientras que la PENA en menor proporción, la conforman los habitantes cuyas edades oscilan entre 65 años a más (4.81% del total de PENA)

Tabla N° 3.2
Población Económicamente Activa de 6 a más años
Cuenca del río Coata (IX Censo Poblacional 2003)

DESCRIPCION	TOTAL	6-14 años	15-29 años	30-44 años	45-64 años	65 a mas
Lampa	10,158	2,725	3,032	1,806	1,698	897
PEA	3,337	70	993	1,081	907	286
PENA	6,821	2,655	2,039	725	791	611
Cabanilla	4,575	1,366	1,330	706	802	371
PEA	707	17	261	220	175	34
PENA	3,868	1,349	1,069	486	627	337
Santa Lucia	6,066	1,922	1,768	1,111	940	325
PEA	2,054	87	748	623	502	94
PENA	4,012	1,835	1,020	488	438	231
Cabanillas	4,148	1,208	1,156	725	753	324
PEA	1,132	27	322	355	312	116
PENA	3,046	1,181	834	370	423	208
Cabana	3,936	1,162	1,039	646	689	400
PEA	1,156	30	339	321	336	130
PENA	2,780	1,132	700	325	353	270
Juliaca	128,619	36,840	46,897	27,467	13,643	3,772
PEA	48,946	1,234	19,515	18,387	8,403	1,407
PENA	79,673	35,606	27,382	9,080	5,240	2,365
Caracoto	5,816	1,657	1,676	969	1,014	500
PEA	2,513	66	902	633	637	275
PENA	3,303	1,591	774	336	377	225
Pusi	5,747	1,726	1,554	1,037	955	475
PEA	2,330	86	806	699	555	184
PENA	3,417	1,640	748	338	400	291
Coata	5,200	1,673	1,391	928	861	347
PEA	981	30	310	299	265	77
PENA	4,219	1,643	1,081	629	596	270
Capachica	9,653	2,705	2,221	1,372	2,072	1,283
PEA	3,014	58	826	683	906	541
PENA	6,639	2,647	1,395	689	1,166	742
Huata	2,490	633	626	400	470	361
PEA	785	88	241	192	172	92
PENA	1,705	545	375	208	298	269
Total	186,408	53,617	37,167	37,167	23,879	9,055
PEA	66,955	25,263	23,493	23,493	13,170	3,236
PENA	119,453	37,427	13,674	13,674	10,709	5,816

Fuente: Instituto Nacional de Estadísticas e Informática (INEI) - Censo Nacional: IX de Población y X de Vivienda 2003

3.2.3. DINAMICA DE LA ESTRUCTURA ECONOMICA

A) ACTIVIDAD AGRICOLA

Principales Cultivos:

La actividad agrícola es una de las actividades importantes porque presenta el 11.86 % de la superficie agrícola total regional. El 95% de la superficie es cultivada bajo el régimen de secano, es decir, que depende de las lluvias, las que son irregulares en caridad y distribución; y en mínima proporción es bajo riego. Los cultivos están expuestos a las fuertes heladas es decir a las inclemencias del clima.

Como especies cultivables en esta región se tiene: cebada, alfalfa, otros pastos cultivados, avena grano, cañihua, cebada grano, maíz amiláceo, quinua, trigo, cebolla, arveja, habas, mashua, oca, olluco, papa, avena, y cebada forrajera.

Tabla N° 3.3
Principales Cultivos de la Región

CULTIVOS	SUPERFICIE SEMBRADA (HA.)	SUPERFICIE SEMBRADA (HA.)	PRODUCCION (TM)	RENDIMIENTO (KG/HA)	PERDIDAS SUPERFICIE (HA.)
QUINUA	4,042.0	3,985.0	5,062.0	1,281.0	57.0
CAÑIHUA	903.0	888.0	623.0	0.7	15.0
CEBADA GRANO	3,306.0	3,098.0	3,709.0	1,219.0	208.0
HABA GRANO	634.0	608.0	686.0	1,022.0	26.0
PAPA	4,811.0	4,629.0	47,028.0	10,082.0	182.0
AVENA FORRAJERA	5,580.0	5,403.0	107,959.0	19,683.0	177.0
ALFALFA	254.0	1,444.0	29,879.0	19,917.0	105.0
TOTAL	19,530.0	20,055.0	194,946.0		770.0

Fuente: Información Agraria San Román - Campaña Agrícola 2002-2003

El cultivo de papa con 4,629 has, tiene un rendimiento promedio de 10,082 kg/ha; con promedios de rendimientos de 1,281 y 1,219 kg/ha respectivamente. El segundo de ellos tiene proyección de llegar al mercado nacional e internacional, y en el ámbito de la agencia se tiene buen potencial en este cultivo, para ello se debe mejorar la organización productiva.

Los cultivos forrajeros ocupan un primer lugar en cantidad de Has. cosechadas, la avena con 5,403 has cebada 3,574 has y alfalfa 1,444 has, cultivos significativos por la vocación ganadera del medio rural. Los promedios de rendimientos no son los más significativos económicamente.

Los cultivos forrajeros ocupan un primer lugar en cantidad de Has. cosechadas, la avena con 5,403 Has, cebada 3, 574 Has y alfalfa 1,444 Has, cultivos significativos por la vocación ganadera del medio rural. Los promedios de rendimientos no son los más significativos económicamente.

Destino de la Producción:

La mayoría de los cultivos son de subsistencia, autoconsumo y un mínimo porcentaje se destina al mercado permitiendo la generación de escasos ingresos siendo necesario acudir a la producción de otros departamentos por no llegar a tener la cobertura de demanda interna de alimento; a excepción de la producción de quinua y cañihua en cierta zonas como son en Cabana y Cabanillas por la asistencia de varios proyectos y actualmente por la constitución de cadenas productivas de la Dirección de Promoción Agraria del Directorio Regional Agraria Puno, se ha revertido la situación anterior y actualmente la mayoría de la producción de quinua se destina al mercado para su comercialización en un promedio del 60% y para el auto consumo 40%, en cañihua se

destina al mercado en un 55% y para el auto consumo 45%.

Serie Histórica de los Cultivos Potenciales

Uno de los principales cultivos es la quinua que en la campaña agrícola 2002/2003 tuvo su mayor producción en 5,062 TM. En una superficie de 3,985 Has. mostrando un incremento del 21.8% respecto a la campaña anterior (4,156 TM.) y 157.5 % con respecto a la campaña 2000/2001 (1,966 TM.) debido a que en dicha campaña se tuvo efecto climáticos negativos (inundaciones, heladas) que ocasionó pérdidas de 551 Has mayormente en los distritos de Saman, Cabana y Taraco; en 1999/2000 presenta una producción de 2,784 TM. que es superior a la producción de 2,208 TM. De la campaña 1998/1999. El rendimiento promedio fue de 1,270 Kg/Ha, que es superior a la campañas agrícolas desde 1998 -2002. El cultivo se realiza en secano y la producción es mayormente de superávit a nivel de Agencia Agraria que permite cubrir la demanda a nivel local incluso se comercializa a mercados regionales. Las principales zonas productoras son los distritos de Cabana, Taraco, Juliaca, Pusi, Cabanillas.

Tabla N° 3.3
Producción de Principales Cultivos de la Región
Agencia Agraria San Román (TM.)

CULTIVOS	1998/99	1999/00	2000/01	2001/02	2002/03
Quinua	2208.0	2784.0	1966.0	4156.0	5062.0
Cañihua	529.0	527.0	389.0	581.0	623.0
Cebada Grano	2942.0	2851.0	2270.0	3479.0	3709.0
Haba Grano	229.0	333.0	249.0	755.0	686.0
Papa	31266.0	33994.0	22569.0	45031.0	47028.0
Avena forrajera	85804.0	70213.0	48969.0	106923.0	107959.0
alfalfa	23426.0	24759.0	2260.0	26137.0	29879.0

Fuente: Información Agraria San Román

B) ACTIVIDAD PECUARIA

Principales Crianzas:

La ganadería en el ámbito de la Agencia Agraria San Román es otra de las actividades principales por que constituyen fuente de ocupación e ingreso para el productor rural, representado por varias especies de ganado, vacuno, ovino, camélido, porcino y aves. Aproximadamente representa el 8.62% de la ganadería departamental se localiza en los diferentes distritos del ámbito de la Agencia Agraria, con significativa importancia en Taraco, Pusi, Saman, Cabana y Cabanillas (Vacunos) entre otros. En la Tabla N° 3.4 se presenta una estadística anual de la producción pecuaria de la región.

La existencia de pastos naturales, cultivos de forrajes y pastos cultivados favorecen la crianza del ganado, siendo los vacunos de doble propósito (carne y leche), los ovinos para carne, los camélidos (carne y fibra), y en mayor magnitud los porcinos y aves. Son estas especies los que aportan la mayor producción pecuaria de ámbito de la Agencia Agraria de San Román.

Sin embargo, el problema que afronta el productor pecuario es la escasez de alimentos para animales en ciertas épocas del año, una característica del espacio andino es de ser una zona que se ve limitada por las variaciones climáticas, ya que tiene tres épocas

bien marcadas:

- a) Verano lluvioso (Diciembre a Marzo)
- b) Invierno seco (Mayo a Agosto)
- c) Meses transitorios (Septiembre - Noviembre y Abril - Mayo)

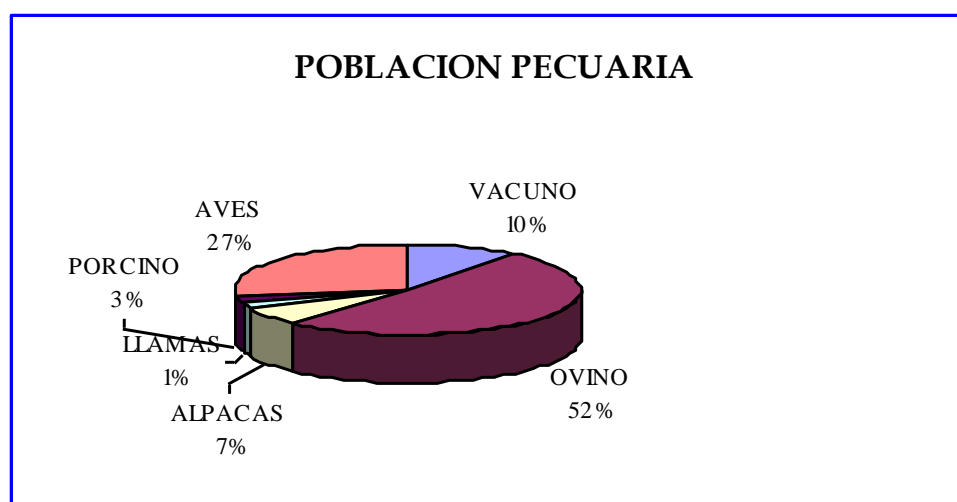
Es precisamente durante los meses que dura el invierno, mas los meses transitorios, el periodo mas critico para el ganado en lo que representa a disponibilidad de alimento y a las bajas temperaturas que afectan, disminuyendo en peso (carne) y producción de leche.

En cuanto a necesidades todas necesitan ampliar sus pastos cultivos, mejoramiento de su ganado y la comercialización de sus productos considerando los costos reales de producción.

Tabla N° 3.4
Producción Pecuaria de la Región
Agencia Agraria San Román (TM.)

ESPECIES	POBLACION PROMEDIO (AÑO)	LECHE -FIBRA- MANTEQUILLA -HUEVO		PRINCIPALES CARNES	
		N° ANIMALES ORD/ESQ/POST.	(TM)	SACA N° DE CABEZAS	(TM)
VACUNO	66,840	9,180	4,119	13,460	1,985
OVINO	330,730	291,240	414	60,840	824
ALPACAS	43,650	31,380	56	4,090	106
LLAMAS	9,540	5,200	8	810	28
PORCINO	19,440	12,110	524	12,110	414
AVES	174,660	34,830	216	331,230	411

Fuente: Información Agraria San Román 2003.



3.3. ACCESIBILIDAD – VIAS DE COMUNICACION

La ciudad de Juliaca es el centro urbano mas relevante en la cuenca del río Coata, prácticamente el tiempo de acceso en una unidad móvil desde la ciudad de Juliaca hacia a cualquier lugar de la cuenca es de un promedio de 1.5 horas.

Las vías de comunicación esta compuesto por los sistemas de transporte carretero, ferroviario y aéreo.

El sistema de transporte carretero es el mas extenso y uno de los mas importantes de la zona debido a su longitud y a la cantidad de vías de comunicación existente; así tenemos que toda la zona esta recorrida por una carretera principal que comunica el departamento de Puno con la costa peruana. Dicha carretera une las ciudades de Arequipa, Juliaca y unidades diversas, desde ligeras hasta pesadas, tanto nacionales como internacionales.

Además de esta vía de comunicación, existen otras importantes que comunican los departamentos de Puno y Cuzco, que partiendo de la ciudad de Juliaca, atraviesa a los poblados de Ayaviri, Sicuani y Urcos.

Otra carretera importante es la de Puno - Desaguadero, comunicando Puno con el vecino país de Bolivia, atravesando los poblados de Ilave, Juli, Pomata y Zepita.

Existen además otras vías secundarias de comunicación terrestre, tales como las de Juliaca- Huancané, Juliaca - Lampa, Cabanillas - Lampa, existiendo diversos caminos carrozables que unen los diferentes poblados de la zona.

Otros sistemas de transporte importante, lo constituye la vía férrea, la que sigue un recorrido casi paralelo a la carretera principal antes mencionada, uniendo las mismas ciudades, y por ultimo el otro medio de comunicación importante, lo constituye la vía aérea, mediante la cual se une al departamento de Puno con la Capital de la Republica y otras ciudades. Dicha comunicación aérea se lleva acabo mediante el aeropuerto de la ciudad de Juliaca.

3.4. ASPECTOS FISIOGRAFICOS DEL AREA DEL PROYECTO

El área del Proyecto esta representada por el sistema hidrográfico formado por las cuencas de los ríos Cabanillas y Lampa, que a su vez forman la cuenca del Río Coata, el cual desemboca en el Lago Titicaca.

La región del Proyecto forma parte de la vertiente de la cuenca hidrográfica del Lago Titicaca. Se caracteriza como un sistema de cuenca endorreica, ubicada entre las provincias de San Román, Lampa, Huancané y Puno en el Departamento de Puno.

La superficie total de la cuenca Coata es de 4,908.44 Km². Sus características fisiográficas principales que son materia de estudio son las siguientes:

Cota máxima de la cuenca Coata	: 5,300 msnm.
Cota mínima de la cuenca Coata	: 3,800 msnm.
Altitud media de la cuenca del río Lampa	: 4,225 msnm.
Altitud media de la cuenca del río Cabanillas	: 4,320 msnm.
Ríos principales	: Cabanillas y Lampa
Longitud de cauce más largo (Cuenca Cabanillas)	: 131.37 Km.
Longitud de cauce más largo (Cuenca Lampa)	: 101.44 Km.
Longitud del río Coata (desde la confluencia - Lago Titicaca)	: 57.20 Km.

Caracterizar la cuenca del río Coata es básicamente caracterizar las Cuencas de los ríos Cabanillas y Lampa, ya que el área de drenaje cuyo cauce natural se denomina río Coata se ubica en la parte baja desde la confluencia de los ríos Cabanillas y Lampa, con una longitud de cauce igual 57.20 Km. hasta la desembocadura al Lago Titicaca, el área correspondiente a este sector es de 459.96 Km² lo que equivale a un 9.3% de la superficie total de la cuenca del río Coata.

Cuenca del río Cabanillas

A lo largo del cauce de drenaje de la cuenca del río Cabanillas se observa las siguientes características fisiográficas:

En la parte alta de la cuenca, se encuentra reservas de agua almacenadas en forma natural con volúmenes significativos, actualmente sin explotación. (Laguna Ananta, área de espejo = 11.94 km²)



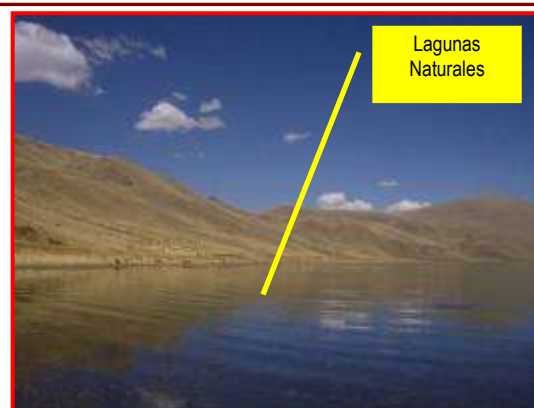
En la parte alta de cuenca, zona montañosa con llanuras angostas, en la mayor parte con cobertura vegetal compuesto principalmente de pastizales (ichu), actividad ganadera (auquénidos y ovejas), baja densidad poblacional, extremas condiciones climáticas; T_{med} , T_{max} , T_{min} (6.5°C, 12.6°C, -7.5°C), altas precipitaciones (830 mm. promedio total anual).



En la parte alta de cuenca, explotación de recursos mineros. Manantiales y fuentes de agua que dan origen y que mantienen en forma permanente el escurrimiento de los cauces principales de la cuenca.



En la parte media de la cuenca, quebradas endorreicas, llanuras amplias siempre con cobertura vegetal de pastizales (ichu). Estos terrenos se caracterizan por la existencia de áreas de pastoreo de ganado vacuno y ovino. Existen cuerpos de agua en forma natural y embalsada. La densidad poblacional es mayor con respecto a la parte alta de la cuenca. Existen mejores vías de comunicación.



En la parte media de la cuenca, escorrentía natural y regulada mediante los cauces de drenaje natural de la cuenca. Almacenamiento natural y artificial de agua (Embalse Lagunillas) para uso agrícola y poblacional.



En la parte media y baja (cuenca), implementación de proyectos de irrigación, llanuras planas amplias siempre con cobertura vegetal de pastizales, cultivo de pastos mejorados, implementación de sistema de riego tecnificado, ganadería intensiva.



En la parte baja de la cuenca, llanuras planas amplias con pendientes de terreno bajas, mejores condiciones climáticas, diversificación de cultivos, capacitación y mejoramiento de técnicas de riego,



Cuenca del río Lampa

Los nevados ubicados en la parte alta de la cuenca del río Lampa dan origen al río Vila Vila, el que aguas abajo recibe aportes de cauces secundarios para formar el río Palca, y este cauce a su vez aguas abajo se le reconoce con el nombre de río Lampa. A lo largo del cauce de drenaje de la cuenca del río Lampa se observa las siguientes características:

En la parte alta (cabecera) de la cuenca, zona montañosa con presencia de nevados y cuerpos de agua superficial almacenada (pequeñas lagunas), condiciones climáticas extremas.



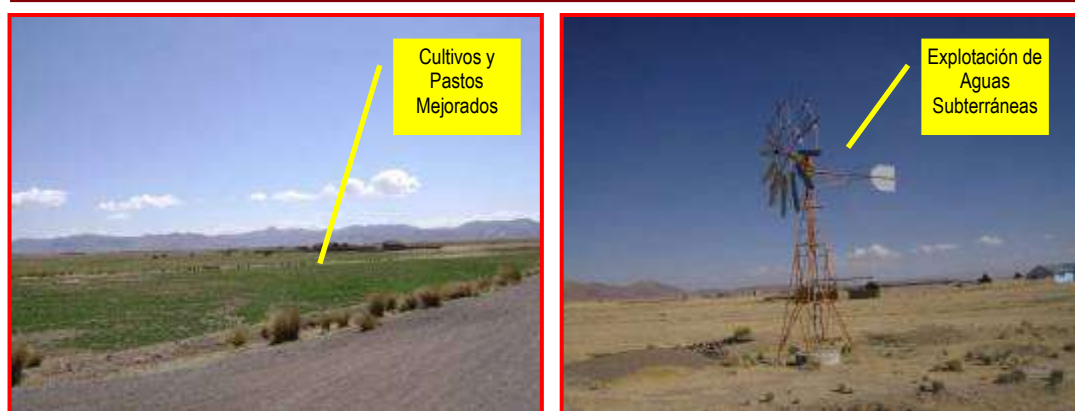
En la parte alta de la cuenca, zona montañosa con topografía irregular, estrechas áreas de pastizales, diversidad de flora silvestre, ganadería de subsistencia (única actividad económica), quebradas endorreicas, condiciones climáticas extremas.



En la parte media de la cuenca, áreas de terreno con cobertura vegetal (pastizales) con manantiales y/o bofedales, ganadería mejorada. Presencia de pequeños sistemas de riego, condiciones climáticas favorables.



En la parte baja de la cuenca, llanuras amplias con áreas de terreno planos, cultivos mejorados, ganadería mejorada. Explotación de aguas subterráneas, condiciones climáticas favorables.



Sistema Hidrográfico

El sistema hidrográfico de la cuenca del río Coata se compone básicamente de los ríos Cabanillas y Lampa, los cuales a su vez se forman por la confluencia de los ríos Verde - Cerrillos y Vila Vila - Palca, respectivamente. Las características hidrográficas en las cuencas de los ríos Cabanillas y Lampa son similares. Se observa las siguientes características:

En la parte alta de las cuencas se encuentran áreas de nevados y depósitos de agua superficial en forma natural con dimensiones variables. Representan las fuentes de agua permanente del sistema.



Los principales ejes de drenaje de las cuencas de los ríos Cabanillas y Lampa se caracterizan por fuertes pendientes en las partes altas, los cauces secundarios son de carácter endorreico. El flujo de la corriente de los cauces principales es turbulento, de régimen supercrítico. Lechos con bolonería, el fondo del lecho es irregular.



En las parte media las pendientes son bajas hasta aproximadamente a la confluencia de los ríos Lampa y Cabanillas para formar el río Coata. En la parte baja de las cuencas en el área de influencia del río Coata las pendientes del terreno son muy bajas prácticamente plana consecuentemente los cauces de los ríos son divagantes meándricos con fuertes cambios de curso.



La cuenca media y baja esta constituido por amplios valles aluviales de superficie del suelo prácticamente plano. En estas zonas los suelos están cubiertos por pastizales permanentes. La mayor parte del agua precipitada forma charcos y pequeñas lagunas hasta terminar infiltrándose en el terreno (aproximadamente el 78% del agua precipitada, Estudio TDPS).



3.5. CLIMATOLOGIA

El año se divide en cuatro estaciones astronómicas en función de la actividad atmosférica y de la circulación de masas de aire, no obstante desde el punto de vista climatológico, la región tiene una estación húmeda (Noviembre a Marzo), otra seca (Junio a Agosto) y dos periodos de transición (Septiembre - Octubre y Abril - Mayo).

En verano (Nov - Feb), el viento dominante viene del Sur - Este. Al inicio del mes de marzo, la entrada del otoño es marcado por un cambio brusco de dirección el viento sopla del Nor - Este hasta el mes de Mayo; de Junio a Agosto, el viento es del Oeste, mientras que en la Primavera (Sep - Oct) el viento toma una componente Nor - Oeste.

Otro aspecto localizado sobre la región es la anomalía depresionaria provocada por el fuerte calentamiento del suelo árido. En efecto, la altitud media es en torno a 4,000

msnm. Y la presión media es de 624 mb. Esta situación provoca fuertes movimientos convectivos, a la que se añade la humedad producida por la evaporación del Lago Titicaca, da como resultado la formación de grandes cumulus y cumulonimbos sobre la región.

Los principales parámetros climáticos que definen o caracterizan el clima de la cuenca son: precipitación, temperatura, humedad relativa y evaporación; son los de mayor importancia en cuanto a la tipificación o caracterización de la climatología de la cuenca del río Coata. Estos parámetros provienen de los registros históricos de las distintas estaciones meteorológicas instaladas en la cuenca, esta red ha sido descrita en la Tabla N° 2.2. (Capítulo 2). La ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas utilizadas se presenta en el **Mapa N° H-C3.3** (Anexo - Volumen III). Estas estaciones están a cargo del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI). En el Anexo (Volumen II) se presenta la información meteorológica histórica de los parámetros arriba indicados.

3.5.1. PRECIPITACION

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

Se le puede llamar **precipitación** a la caída del agua de las nubes, ya sea en estado sólido o en estado líquido. Las pequeñas gotas de agua que forman las nubes son de dimensiones tan diminutas que se necesita reunir unos cuantos de cientos de miles de estas gotitas para formar una gota de llovizna, y varios millones para formar una gota grande de lluvia, [Fuentes, 1989].

A. Régimen Anual de la Precipitación Total Promedio

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

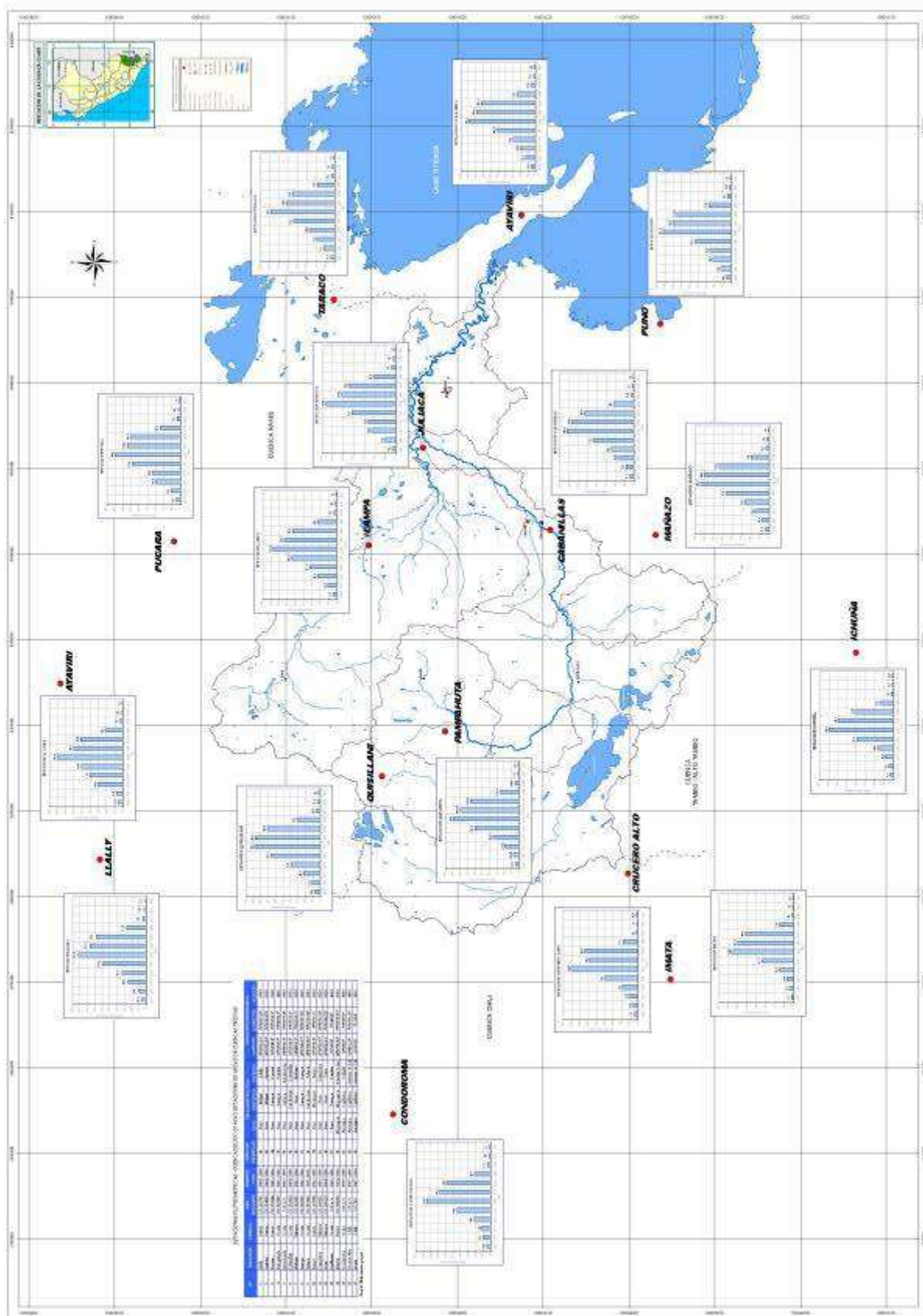
En el entorno de la cuenca del río Coata, la altitud también tiene su influencia en la precipitación, asimismo la influencia de la proximidad al Lago Titicaca (el lago es una fuente de humedad extraordinaria a alturas en que las masas de aire no reciben normalmente ningún nuevo aporte).

La información pluviométrica utilizada en el presente reporte proviene de los registros de 16 estaciones meteorológicas (ver Capítulo 2, ítem 2.5.3), de los cuales 05 están ubicadas dentro de la cuenca Coata y 11 fuera del ámbito de la cuenca (ver Figura N° 3.3). El registro histórico de la estación Lagunillas - Santa Lucía no se ha tomado en cuenta en el análisis pluviométrico de la cuenca debido a inconsistencias presentadas.

En el análisis de la precipitación media anual se ha utilizado los promedios multianuales de las precipitaciones totales en el periodo 1964 - 2006.

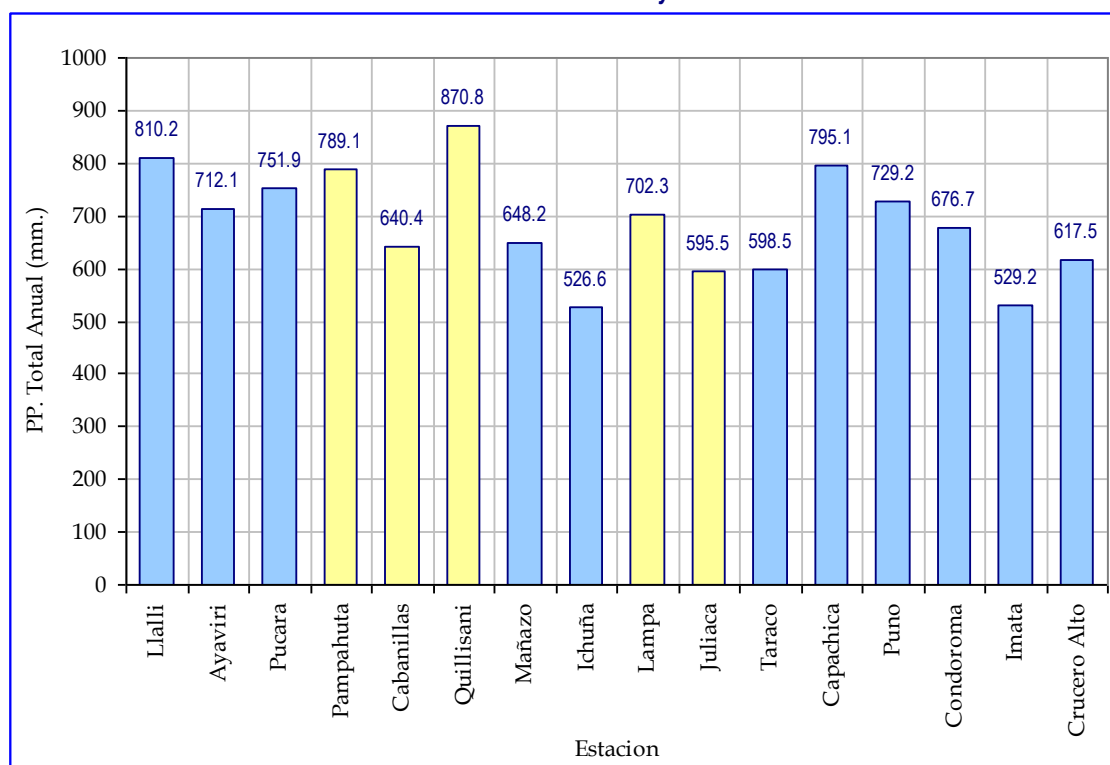
En la Figura N° 3.4 se presenta en forma gráfica la distribución de precipitación total

Figura N° 3.3
Ubicación Geográfica de Estaciones Pluviométricas
Cuenca del río Coata y Cuencas Vecinas



anual en la región. Se observa que la precipitación total anual en la cuenca (en color amarillo) varía de 595.5 mm. (Juliaca) a 870.8 mm. (Quillisani). Los valores más altos se registran en el entorno del Lago Titicaca y en la parte Alta de la región. Esta particularidad es a consecuencia de la alta radiación, vientos generalmente más fuertes que a niveles más bajos, originan una intensa evaporación del Lago, favoreciendo la

Figura N° 3.4
Precipitación Total Anual – Promedio Multianual (1964-2006)
Estaciones de la Cuenca del río Coata y Cuencas Vecinas



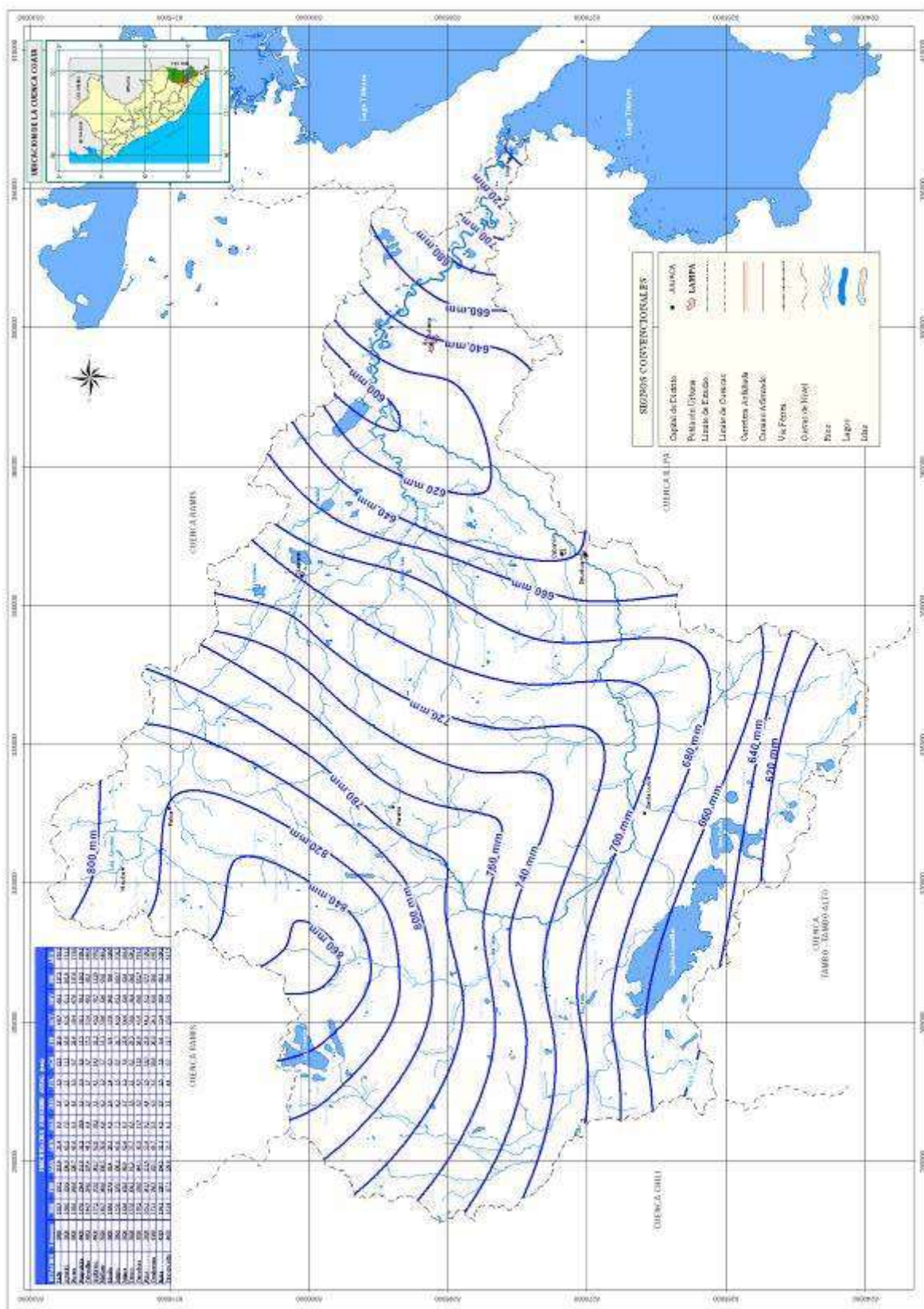
formación de masas nubosas que precipitarán en el mismo Lago o en zonas cercanas.

El número de días lluvia más altos en promedio, para todo el año, se da en las zonas de Quillisani y Paratia (parte alta de la cuenca Cabanillas) con 151 y 131 días de lluvia respectivamente, es decir que durante el periodo de los meses de noviembre y febrero, prácticamente llueve todos los días. Pero las intensidades de precipitaciones máximas se dan en la cabecera de la cuenca del río Ramis y en el entorno del Lago Titicaca.

En la Figura N° 3.5, mediante el trazado de las isocías de precipitación (Isoyetas) se presenta la distribución espacial de la precipitación anual, se observa que los valores de la precipitación en la cuenca varían de 600 a 860 mm. Los valores altos se registran en la cabecera de la cuenca y en el entorno del Lago Titicaca.

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

Figura N° 3.5
Distribución de la Precipitación Total Anual
Cuenca del río Coata



En el Mapa N° HC3.4 se ha trazado las isolíneas de la distribución espacial anual de la precipitación total anual.

B. Régimen de la Precipitación Estacional

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

En la Tabla N° 3.5 se presenta el promedio multianual de la precipitación total mensual correspondiente a cada una de las estaciones (las filas en amarillo pertenecen a estaciones ubicadas dentro de la cuenca del río Coata), asimismo en la Figura N° 3.6, se aprecia la uniformidad de variación de la precipitación en todas las estaciones, lo que demuestra el carácter estacional de la precipitación en toda la región.

El carácter estacional de las precipitaciones es evidente y con el objeto de apreciar en forma cuantitativa esta característica se ha calculado con respecto al total anual los porcentajes de la precipitación total mensual (ver Tabla N° 3.6).

El conjunto de estaciones de la región muestra gran estacionalidad en la precipitación, ya que, en promedio el 74 por ciento se produce de Diciembre a Marzo, y el 82 por ciento de Noviembre a Marzo. Los valores de las estaciones oscilan entre 68 y 81 por ciento para el primer periodo (Dic-Mar), y entre 77 y 87 por ciento para el segundo periodo (Nov-Mar).

Tabla N° 3.5
Precipitación Total Mensual – Promedio Multianual (1967-2006) – Completada y Consistente
Estaciones de la Cuenca del río Coata y Cuencas Vecinas

GRUPO	ESTACION	Altitud (msnm)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOT
1.1	Llalli	3980	183.7	153.2	135.9	53.4	9.7	5.7	3.0	12.1	20.6	49.7	66.1	117.2	810.2
1.2	Ayaviri	3928	160.0	119.9	104.0	43.5	7.8	4.0	2.1	11.1	16.0	61.6	81.1	101.0	712.1
1.3	Pucara	3900	159.0	130.6	120.7	48.8	8.3	4.6	3.0	9.7	22.6	59.4	67.6	117.6	751.9
2.1	Pampahuta	4400	177.8	159.4	131.8	51.2	10.9	3.3	3.0	8.8	15.5	38.1	70.1	119.2	789.1
2.2	Cabanillas	3820	144.7	134.0	107.4	44.3	6.4	2.8	1.7	8.7	17.3	35.4	49.3	88.3	640.4
2.3	Quillisani	4600	177.2	175.8	142.7	62.0	10.2	5.1	4.1	14.7	22.2	45.2	78.7	132.8	870.8
2.4	Mañazo	3920	148.7	140.6	108.3	39.0	6.6	4.2	1.9	7.7	15.1	30.6	52.6	93.0	648.2
2.5	Ichuña	3800	139.0	117.8	83.4	29.5	4.3	2.9	2.4	6.5	9.8	17.9	34.0	79.0	526.6
3.1	Lampa	3892	155.0	127.0	108.2	47.0	7.3	4.2	1.6	8.7	22.7	45.9	65.1	109.7	702.3
3.2	Juliaca	3826	132.6	102.8	89.9	42.6	8.7	5.7	2.2	7.8	21.0	46.4	52.9	82.8	595.5
3.3	Taraco	3820	137.8	104.1	91.2	37.7	6.5	5.8	2.1	8.1	23.3	38.9	54.4	88.6	598.5
3.4	Capachica	3828	178.2	158.0	146.1	50.3	11.7	5.0	4.0	11.8	26.0	41.4	60.0	102.7	795.1
3.5	Puno	3820	165.1	141.7	131.6	53.4	9.3	4.4	2.6	12.0	25.8	44.1	51.5	87.7	729.2
4.1	Condorama	4160	171.5	136.3	118.5	43.7	8.3	4.5	3.5	10.6	20.8	24.1	45.0	90.0	676.7
4.2	Imata	4519	134.1	120.7	104.3	31.1	4.3	2.7	2.6	5.6	9.6	15.4	30.9	68.1	529.2
4.3	Crucero Alto	4470	161.4	117.5	129.0	35.7	4.1	3.1	4.4	8.7	12.7	23.0	37.9	79.8	617.5

Figura N° 3.6
Precipitación Total Mensual – Promedio Multianual (1967-2006)
Estaciones de la Cuenca del río Coata y Cuencas Vecinas

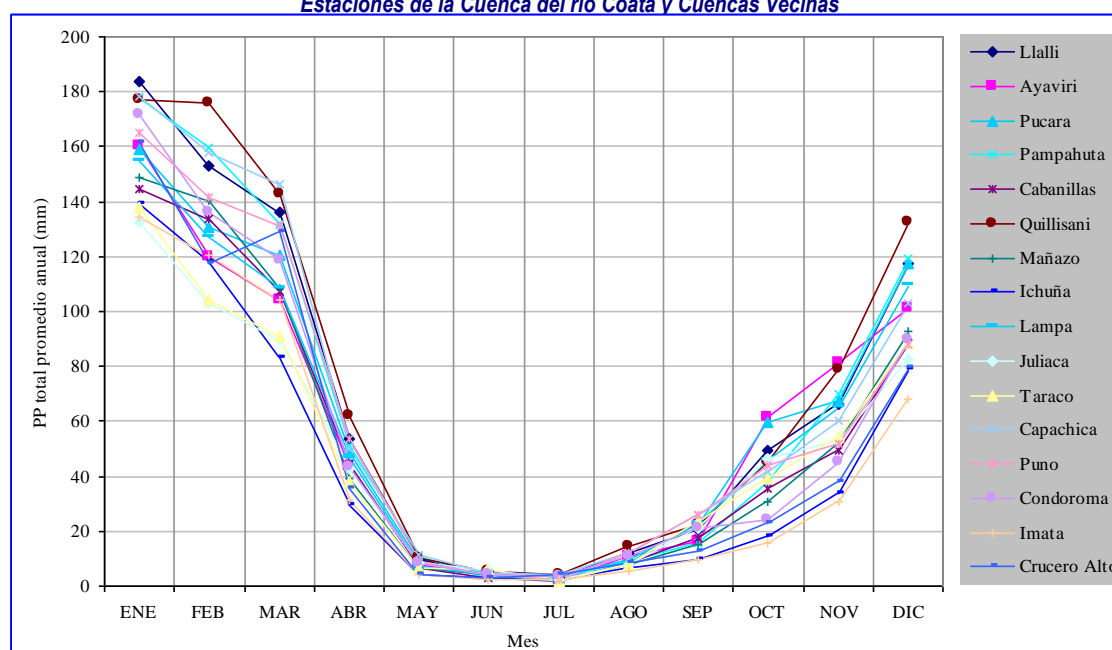
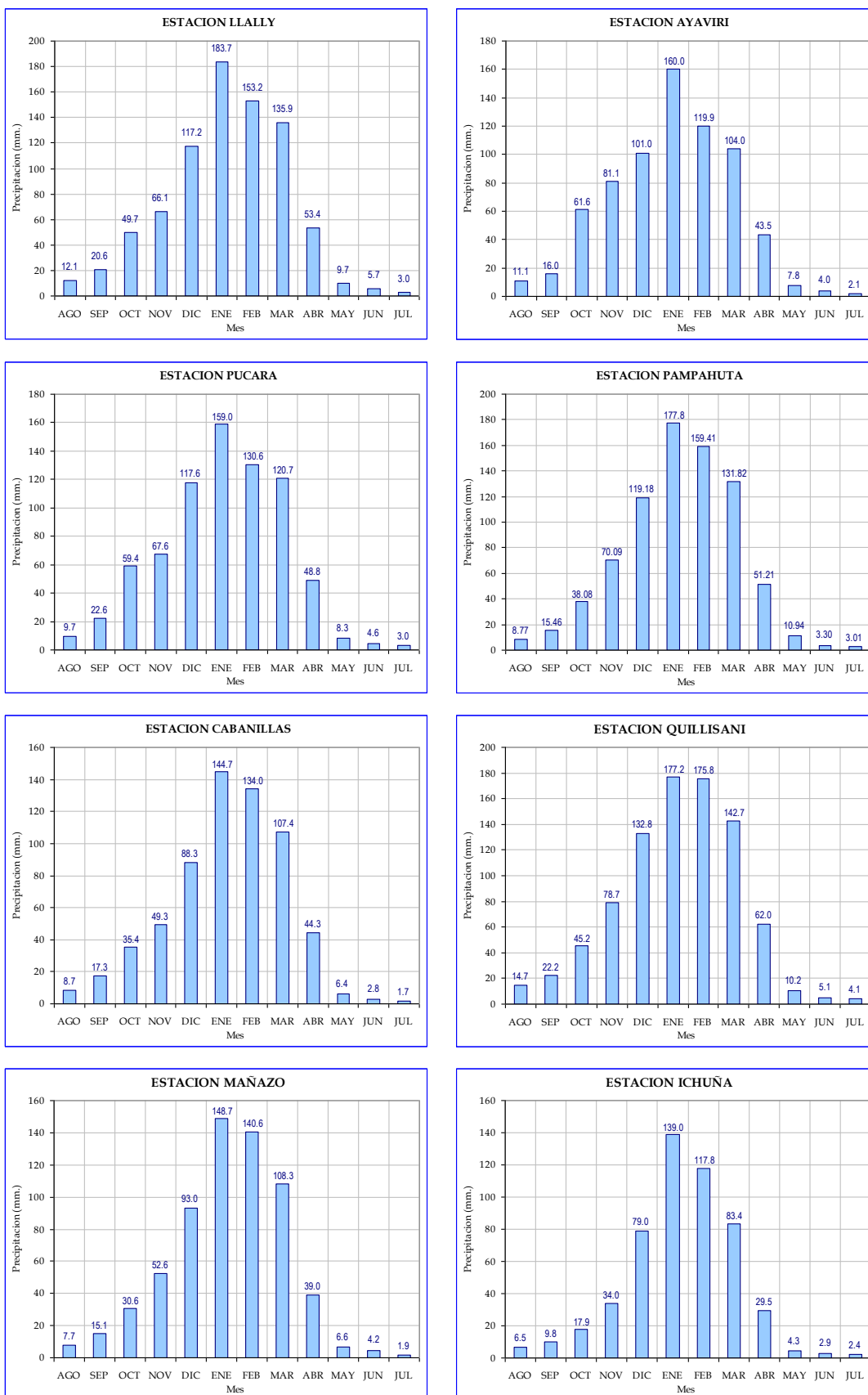


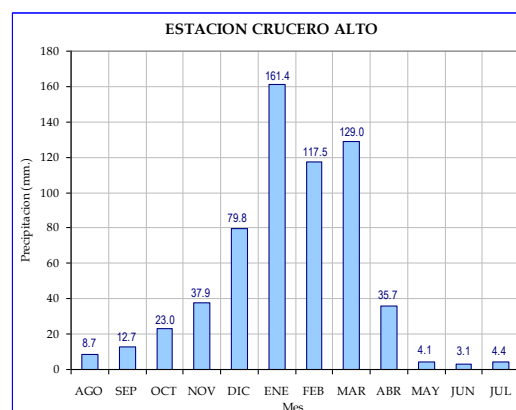
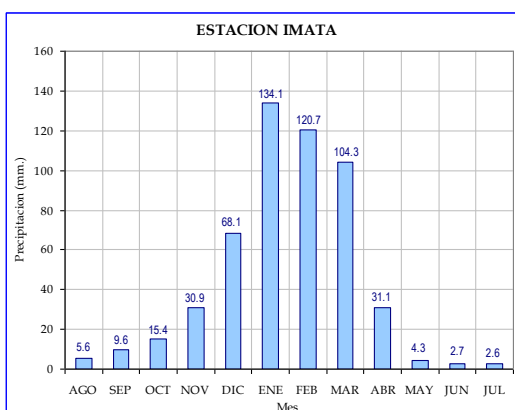
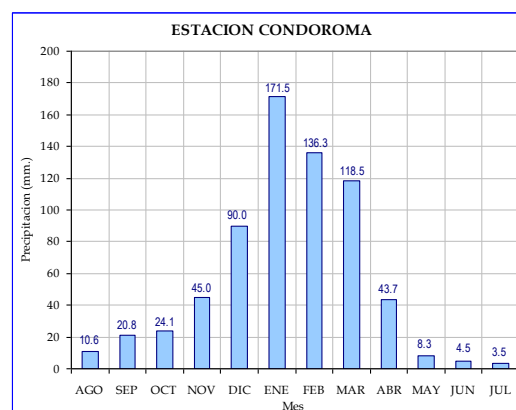
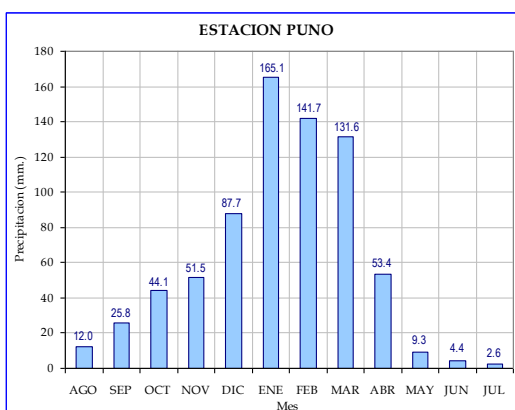
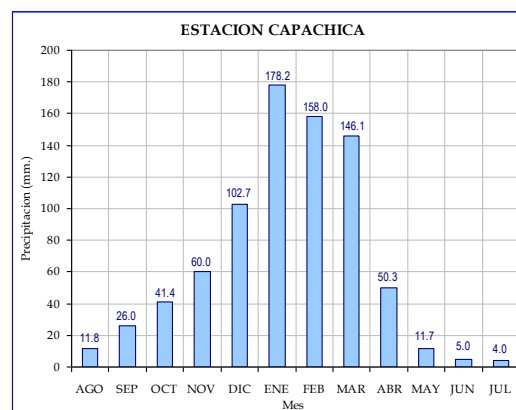
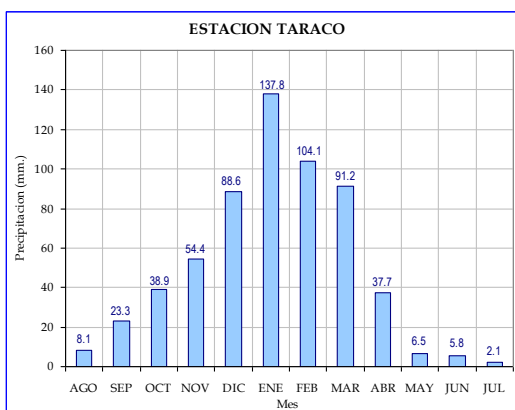
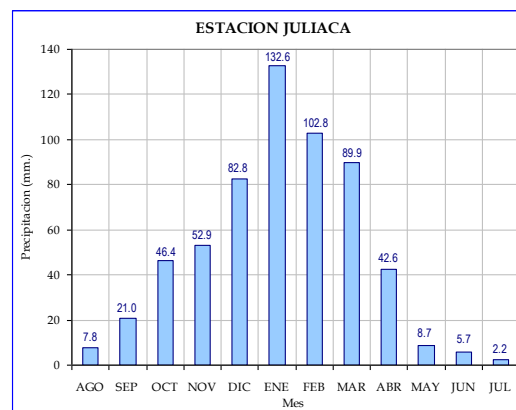
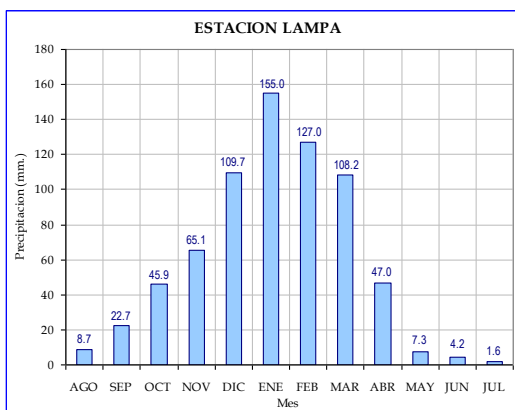
Tabla N° 3.6
Precipitación Total Mensual – Expresada en Porcientos del Total Anual
Estaciones de la Cuenca del río Coata y Cuencas Vecinas

ESTACION	Z (msnm)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
Llalli	3980	23	19	17	7	1	1	0	1	3	6	8	14	810.2
Ayaviri	3928	22	17	15	6	1	1	0	2	2	9	11	14	712.1
Pucara	3900	21	17	16	6	1	1	0	1	3	8	9	16	751.9
Pampahuta	4400	23	20	17	6	1	0	0	1	2	5	9	15	789.1
Cabanillas	3820	23	21	17	7	1	0	0	1	3	6	8	14	640.4
Quillisani	4600	20	20	16	7	1	1	0	2	3	5	9	15	870.8
Mañazo	3920	23	22	17	6	1	1	0	1	2	5	8	14	648.2
Ichuña	3800	26	22	16	6	1	1	0	1	2	3	6	15	526.6
Lampa	3892	22	18	15	7	1	1	0	1	3	7	9	16	702.3
Juliaca	3826	22	17	15	7	1	1	0	1	4	8	9	14	595.5
Taraco	3820	23	17	15	6	1	1	0	1	4	6	9	15	598.5
Capachica	3828	22	20	18	6	1	1	1	1	3	5	8	13	795.1
Puno	3820	23	19	18	7	1	1	0	2	4	6	7	12	729.2
Condoroma	4160	25	20	18	6	1	1	1	2	3	4	7	13	676.7
Imata	4519	25	23	20	6	1	1	0	1	2	3	6	13	529.2
Crucero Alto	4470	26	19	21	6	1	1	1	1	2	4	6	13	617.5

En la Figura N° 3.7 se presenta la distribución mensual de la precipitación para el año hidrológico con el fin de observar todas sus características en toda la región. Se puede apreciar el carácter estacional de la misma y en forma uniforme en toda la región se presenta dos periodos, uno mas lluvioso localizado en el verano (debido al descenso de la zona de convergencia intertropical), y otro con precipitaciones menores en el invierno (la dislocación hacia el norte de la zona de convergencia tropical ocasiona un movimiento de aire muy seco y estable).

Figura N° 3.7
Precipitación Total Mensual – Promedio Multianual (1967-2006)
Estaciones de la Cuenca del río Coata y Estaciones de Apoyo





C. Análisis de Precipitaciones Extremas

Se ha utilizado la información disponible de precipitaciones máximas anuales en 24 horas correspondiente al periodo de 1956 al 2006. La información pluviométrica proviene de 19 estaciones pluviométricas, tal como se presenta en la Tabla N° 3.7, se podrá apreciar que los valores de los registros históricos no son continuos.

Se ha utilizado un modelo probabilístico de distribución de Valor Extremo Tipo I (Gumbel) o distribución doble exponencial, para estudiar el análisis de frecuencia de las precipitaciones máximas.

La función de distribución acumulada de la distribución de Valor Extremo Tipo I, tiene la forma:

$$F(x) = e^{-e^{-\left(\frac{x-\beta}{\alpha}\right)}}$$

Donde α y β son los parámetros de la función. Los parámetros α y β se estiman como:

$$\alpha = \frac{1.2825}{S}$$

$$\beta = \bar{x} - 0.45S$$

Para la serie de precipitación máxima en cada estación se ha aplicado la función de distribución para calcular la precipitación de retorno para periodos de 5, 10, 25, 30, 40, 50, 75 y 100 años.

En la Tabla N° 3.8 se presenta las precipitaciones máximas en 24 horas para diferentes periodos de retorno.

En la Figura N° 3.8 se presenta en forma grafica. Se deduce que la mayor intensidad de las precipitaciones máximas en 24 horas sucede en las zonas de cabecera de la Cuenca Coata.

En el Anexo (Volumen III) se presenta la distribución espacial de la precipitación máxima en 24 horas. En el [Mapa N° H-C3.5](#), [N° H-C3.6](#), [N° H-C3.7](#), [N° H-C3.8](#) se presenta la distribución de las precipitaciones máximas en 24 horas, para periodos de retorno de 5, 10, 25 y 50 años, respectivamente.

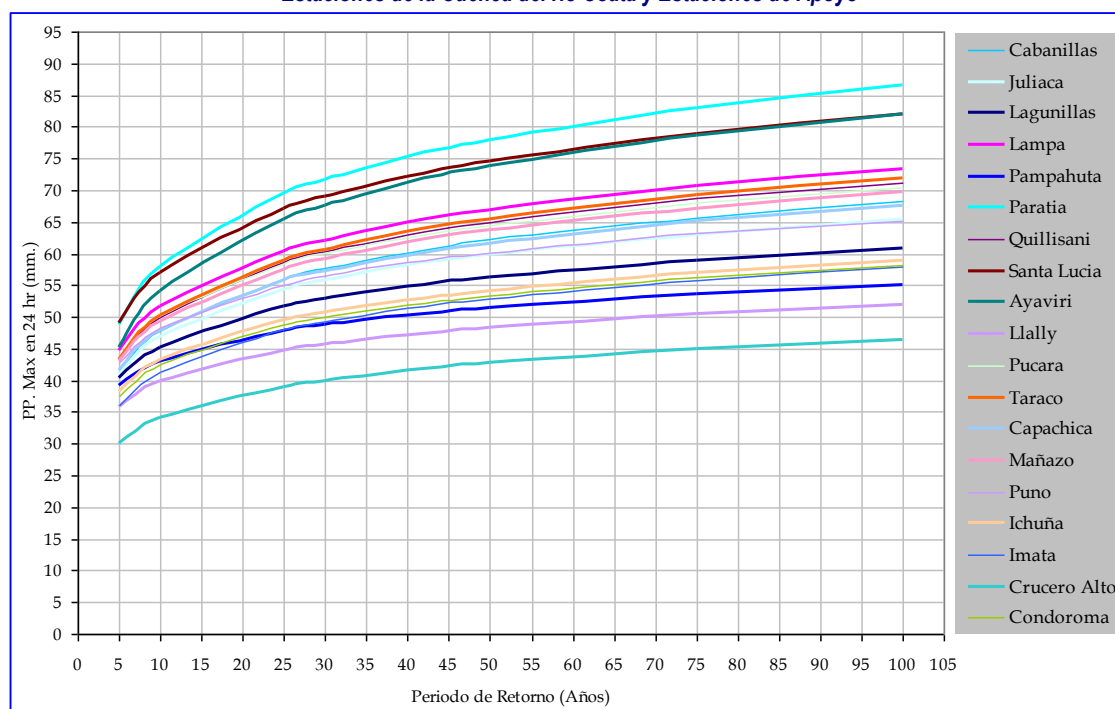
Tabla N° 3.7

Año	Cabanillas	Juliaca	Lagunillas	Lampa	Pampahuta	Paratía	Quillisani	Santa Lucía	Ayaviri	Llally	Pacara	Taraco	Capachica	Mañazo	Puno	Ichuna	Imata	Crucero Alto	Condorom a
1956				20.0				20.0											
1957				41.5				34.5					28.5						
1958				22.0				25.0					35.2	45.0					
1959				90.0				37.0					24.9	49.6					
1960				42.0				32.0					28.2	19.8					
1961		21.8						45.0					35.0	42.6					
1962		26.0	31.9		31.8		20.0	32.5					58.2	41.4					
1963		29.0	29.0	39.0	40.1		66.0				31.6		24.7	22.1					
1964	22.0	42.0	28.0	26.0	24.9		28.0		12.5	25.0	19.1	24.6	63.2	27.9	39.7				
1965	27.8	29.0	53.6	41.0	35.2		35.4	55.1	38.5	27.0	37.8	43.4	52.8	21.1	34.3				
1966	25.0	29.2	35.9	21.0	22.5		25.7	41.3	25.5	22.1	32.2	29.0	23.2	26.9	49.5				
1967	31.2	48.2	32.9	36.1	28.2		27.2	53.5	27.0	41.5	34.1	31.0	33.0	27.7	36.2	34.4	28.6	34.7	
1968	22.2	38.0	26.2	22.9	32.5	27.2	37.5	52.9	23.5	28.5	25.9	43.0	25.0	30.0	28.0	25.1	25.8	38.5	
1969	27.2	24.3	27.9	38.7	45.7	33.8	43.3	40.5	27.7	30.0	15.1	25.4	20.8	35.5	29.9	54.3	28.3	26.8	
1970	24.0	28.4	35.8	32.5	33.3	25.1	44.3	54.3	23.0	45.0	29.8	25.6	22.3	36.6	31.7	51.4	21.5	21.9	
1971	30.8	51.3	28.9	24.5	33.6	82.5	33.4	44.5	29.2	26.0	34.5	31.8	29.9	33.7	45.2	39.7	32.2	18.5	
1972	31.8	36.2	31.8	41.3	35.4	41.1	46.9	47.6	26.2	25.0	29.4	33.3	35.4	31.2	36.8	28.6	33.4	27.2	
1973	40.0	25.2	58.9	38.8	31.4	34.4	31.1	51.4	22.9	29.0	37.9	27.0	28.9	43.2	41.0	20.4	35.2	32.8	
1974	43.6	30.0	46.2	35.8	33.1	28.5	34.3	58.4	22.8	35.0	26.9	28.3	30.9	42.9	40.2	31.1	34.7	27.9	
1975	36.0	25.2	31.1	31.5	26.2	66.0	30.3	54.3	31.3	26.5	39.3	28.0	40.6	49.2	33.7	30.4	23.7	28.5	
1976	38.2	21.5	56.4	30.0	35.2	64.6	37.5	86.7	25.0	37.0	37.6	35.0	26.5	51.5	33.4	26.2	24.1	15.0	
1977	36.7	37.4	26.4	35.0	27.0	32.6	25.4	50.1	16.0	40.0	43.7	36.6	40.0	57.4	36.9	43.7	24.2	28.4	16.7
1978	25.9	34.0	26.7	44.0	34.0	43.2	39.0	28.4	29.4	36.6	38.6	31.3	29.5	20.8	34.5	23.2	35.1	14.9	28.0
1979	31.8	25.7	38.6	26.4	31.8	38.5	33.1	28.2	26.5	26.7	33.5	24.0	29.5	30.2	26.4	32.4	30.6	31.0	26.0
1980	33.2	30.3	29.3	40.0	36.5	25.5	46.3	31.5		22.0	25.5	20.0	14.0	16.6	25.0	21.9	21.2	24.7	26.0
1981	26.2	26.0	28.7	49.0	45.3	30.1	41.4	29.5	14.3		37.3	24.2			27.6	33.8	36.3	21.5	34.6
1982	13.4	49.0	42.4	64.0	22.9	27.4	28.0	22.6	42.7		40.7	28.0			51.8	50.3	20.7	38.9	28.0
1983	21.0	26.5	37.6	24.5	30.4	19.9	8.6	24.1	38.5		23.9	25.0			38.6	48.2	15.4	20.0	24.2
1984	28.2	52.0	40.3	50.4	43.6	48.4	46.0		87.3		43.4	39.5	17.5		71.6	28.8	29.3	28.3	36.0
1985	20.5	36.7	35.4	48.3	32.6	50.6	48.4	28.3	29.0		28.7	49.5	21.8		48.5	34.0	34.9	22.9	42.8
1986	54.2	38.6	35.8	37.0	35.7	29.4	43.9	36.2	30.5		27.6	53.0	28.4		38.7	31.7	27.8	19.2	28.9
1987	29.0	38.8	38.2	36.6	25.2	25.5	19.9	31.0	33.4		33.8	40.0	32.4		55.7	39.7	23.9	14.4	26.8
1988	46.0	33.0	22.4	35.7	32.4	38.1	24.3	33.8	36.2		36.0	31.5	27.0		31.4	14.3	20.1	18.8	58.8
1989	29.5	33.0	32.8	22.2	34.3	46.6		34.1	26.0		33.1	36.0	45.0		24.5	19.9	18.2	19.2	30.3
1990	31.0	20.0	30.3	30.3	27.1	33.0		30.8	40.2		33.4	48.1	31.0		23.6	34.2	37.0	18.0	42.8
1991	20.2	35.0	33.9	28.8	32.1	13.0		17.5	52.2		33.1	26.8	38.0		24.2	27.6	31.0	19.5	34.6
1992	21.2	22.0	28.6	39.3	36.6	35.8			43.8		29.4	43.0	50.0		35.8	25.9	27.1	13.9	20.1
1993	53.4	50.0	34.7	29.9	36.3				92.0	38.2	38.2	20.4	52.0	24.8	26.8	36.0	27.6	22.6	29.8
1994	54.6	24.0	29.3	35.2	37.3				35.5	29.0	35.9	34.2	49.0	49.0	29.9	37.0	28.6	32.1	26.8
1995	15.5	30.0	23.3	24.7	25.4				26.0	28.1	26.0	66.4	33.4	30.9	29.0	32.6	27.7	31.8	29.4
1996	42.7		37.3	42.7	39.8				31.6	41.0	46.6	22.4	51.0	53.0	36.9	29.8	23.9	27.6	31.2
1997	44.6		25.3	31.4	42.3				45.9	37.7	32.4	52.2	37.3	29.1	32.4	26.3	22.7	27.4	33.3
1998	39.5		35.2	32.8	38.0				43.2	36.2	37.0	55.8	41.0	43.8	42.9	31.1	30.6	23.6	33.7
1999	34.9		42.0	32.7	38.6				34.7	42.3	22.6	23.6	32.9	31.9	38.2	30.2	57.2	32.7	38.6
2000	31.6		24.1	33.4	34.4				43.4	28.6	28.6	26.0	25.6	24.6	31.6	31.3	21.9	21.9	28.0
2001	44.2	19.4		28.1	49.9			52.4	25.8	27.7	68.0	28.0	45.6	54.0	39.4	34.7	52.5	25.9	
2002	30.5	63.3		36.9	47.9			30.9	32.0	26.2	40.2	20.4	30.5	30.1	36.1	29.4	25.5	30.6	
2003	42.3	36.5		36.7	36.4			40.9	41.7	21.2	40.5	24.6	35.3	24.1	35.6	29.2	23.8	15.7	
2004	29.6	32.8		43.8	40.0			25.3	36.7	24.6	76.4	43.0	29.2	24.3	30.4	30.3	32.5	28.2	
2005	66.0	47.4		49.6	43.3			50.0	34.5	30.8	55.6	64.0	27.0	31.5	30.1	25.7	31.4	35.3	
2006	35.2	30.3		27.1	33.1			38.0	38.5	29.7	47.8	48.8	27.6	39.9	40.9	26.8	55.4	23.4	

Tabla N° 3.8
Precipitación Máxima en 24 Horas (mm.)
Estaciones de la Cuenca del río Coata y Estaciones de Apoyo

ITEM	ESTACION	GUMBEL		PERIODO DE RETORNO (AÑOS)							
		α	β	5	10	25	30	40	50	75	100
1	Cabanillas	0.11517	28.30058	41.32	47.84	56.07	57.69	60.22	62.18	65.73	68.24
2	Juliaca	0.12637	29.01856	40.89	46.83	54.33	55.80	58.11	59.89	63.13	65.42
3	Lagunillas	0.15052	30.34790	40.31	45.30	51.60	52.83	54.77	56.27	58.99	60.91
4	Lampa	0.10807	30.80452	44.68	51.63	60.40	62.12	64.82	66.91	70.69	73.37
5	Pampahuta	0.19785	31.73414	39.32	43.11	47.90	48.84	50.32	51.46	53.52	54.98
6	Paratia	0.08234	30.62264	48.84	57.95	69.47	71.73	75.27	78.01	82.98	86.49
7	Quillisani	0.11084	29.80054	43.33	50.10	58.66	60.33	62.97	65.00	68.69	71.30
8	Santa Lucia	0.09403	33.09554	49.05	57.03	67.11	69.09	72.19	74.59	78.94	82.02
9	Ayaviri	0.08426	27.49834	45.30	54.21	65.46	67.66	71.13	73.81	78.66	82.09
10	Llally	0.19220	28.10049	35.90	39.81	44.74	45.71	47.23	48.40	50.53	52.03
11	Pucara	0.11519	30.64215	43.66	50.18	58.41	60.02	62.56	64.52	68.06	70.58
12	Taraco	0.10794	29.34393	43.24	50.19	58.98	60.70	63.40	65.49	69.28	71.96
13	Capachica	0.11944	28.97026	41.53	47.81	55.75	57.30	59.75	61.64	65.06	67.48
14	Mañazo	0.11588	29.98983	42.93	49.41	57.59	59.20	61.71	63.66	67.19	69.69
15	Puno	0.13806	31.97315	42.84	48.27	55.14	56.49	58.60	60.24	63.20	65.29
16	Ichuña	0.14987	28.18918	38.20	43.20	49.53	50.77	52.72	54.22	56.95	58.88
17	Imata	0.14174	25.46830	36.05	41.34	48.03	49.34	51.40	53.00	55.88	57.92
18	Crucero Alto	0.19066	22.25831	30.13	34.06	39.03	40.01	41.54	42.72	44.87	46.39
19	Condoroma	0.15106	27.65440	37.58	42.55	48.83	50.06	51.99	53.49	56.19	58.11

Figura N° 3.8
Precipitación Máxima en 24 Horas (mm.)
Estaciones de la Cuenca del río Coata y Estaciones de Apoyo



3.5.2. TEMPERATURA DEL AIRE

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

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

Los registros de temperatura utilizados en el presente reporte es la información recopilada y adquirida de instituciones de la región y el SENAMHI, respectivamente. La longitud de registro varía desde 9 a 40 años.

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

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

En los Mapas N° H-C3.9, H-C3.10 y H-C3.11 (Ver Anexos, Volumen III) se ha trazado las isotermas correspondiente a la distribución de las temperaturas medias, máximas y mínimas respectivamente en la cuenca Coata.

A) Régimen de Temperaturas Medias

Debido a las diferencias de altitud, exposición a los vientos y al sol e influencia del Lago Titicaca, existen algunas variaciones en la distribución de la temperatura media del aire en la cuenca. En toda la región las temperaturas medias mas bajas se producen en el mes de Julio, mientras que las mas elevadas se registran de Noviembre a Marzo, por lo general centradas en Enero.

Debido a la carencia de estadísticas de temperatura media en algunas estaciones han sido estimados (ver Tabla N° 3.10), los valores de temperatura media de las estaciones pintadas en amarillo han sido estimados mediante un análisis de regresión lineal de los datos de las estaciones con registros existentes, relacionándolo con la altitud de ubicación de la estación respectiva. En la Tabla N° 3.9 se presenta los coeficientes de la ecuación de correlación Temperatura Media – Altitud, en forma mensual y promedio anual.

Ecuación de relación: $T_{med} = a + bZ$ donde Z es la Altitud en msnm.

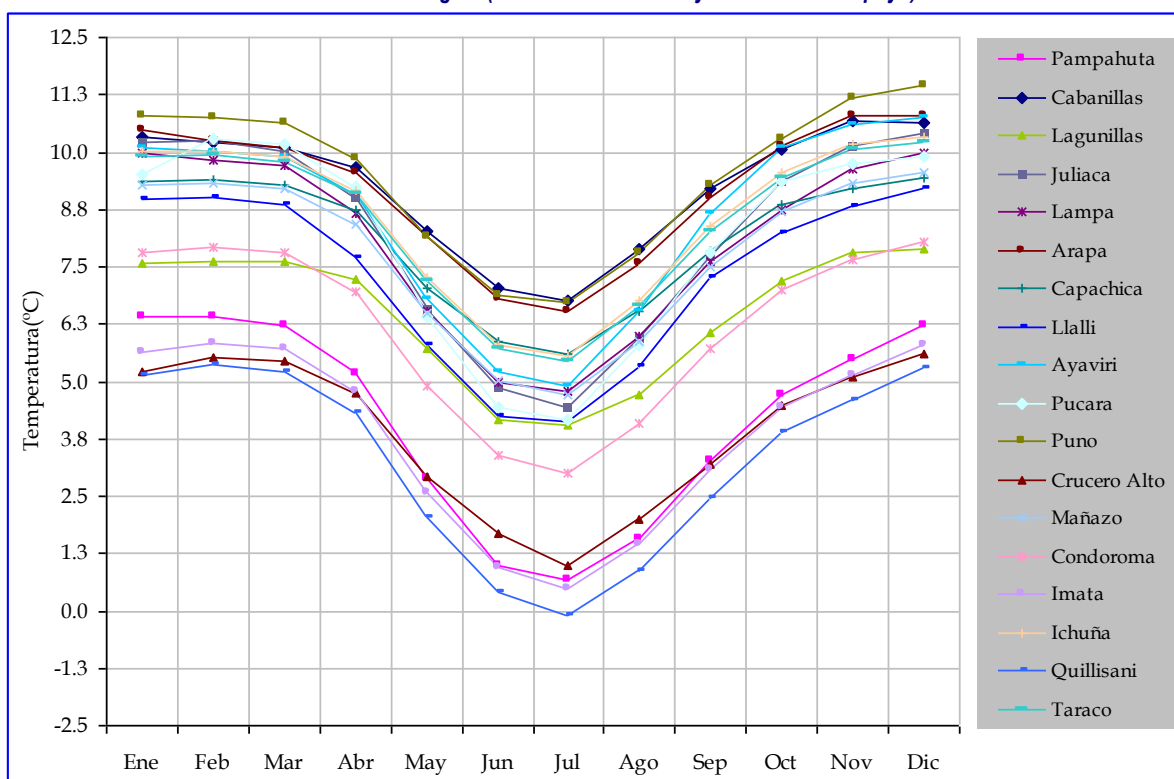
Tabla N° 3.9
Ecuación de relación Temperatura Media Mensual – Altitud

Coefficiente	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom
a	33.11	32.14	32.04	32.23	32.2	31.47	32.42	34.8	36.6	36.52	36.76	34.15	33.62
b	-0.0061	-0.0058	-0.0058	-0.0061	-0.0066	-0.0068	-0.0071	-0.0074	-0.0074	-0.0071	-0.0070	-0.0063	-0.0066
R ² (%)	77.1	75.1	76.2	83.0	86.0	82.6	83.8	85.0	83.0	80.3	78.6	74.36	83.1

Tabla N° 3.10
Temperatura Media Mensual (°C) – Promedio Multianual
Estaciones de la región (Cuenca del río Coata y Estaciones de Apoyo)

Estación	Z(msnm)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom
Pampahuta	4,400	6.4	6.4	6.2	5.2	2.9	1.0	0.7	1.6	3.3	4.7	5.5	6.2	4.2
Cabanillas	3,520	10.3	10.2	10.1	9.7	8.3	7.0	6.8	7.9	9.2	10.1	10.7	10.6	9.2
Lagunillas	3,980	7.6	7.6	7.6	7.2	5.7	4.2	4.1	4.7	6.1	7.2	7.8	7.9	6.5
Juliaca	3,826	10.2	10.3	10.0	9.0	6.6	4.9	4.4	5.9	7.7	9.4	10.1	10.4	8.3
Lampa	3,892	10.0	9.8	9.7	8.7	6.5	5.0	4.8	6.0	7.6	8.8	9.6	10.0	8.0
Arapa	3,820	10.5	10.3	10.1	9.6	8.2	6.8	6.5	7.6	9.0	10.1	10.8	10.8	9.2
Capachica	3,828	9.4	9.4	9.3	8.7	7.0	5.9	5.6	6.5	7.9	8.8	9.2	9.4	8.1
Llalli	3,980	9.0	9.0	8.8	7.7	5.8	4.2	4.1	5.3	7.3	8.2	8.8	9.2	7.3
Ayaviri	3,928	10.1	10.0	9.9	9.1	6.8	5.2	4.9	6.5	8.7	10.1	10.6	10.8	8.6
Pucara	3,900	9.5	10.3	10.2	9.2	6.4	4.5	4.2	5.8	7.8	9.4	9.8	9.9	8.1
Puno	3,892	10.8	10.8	10.7	9.9	8.2	6.9	6.7	7.8	9.3	10.3	11.2	11.4	9.5
Crucero Alto	4,470	5.2	5.5	5.4	4.8	2.9	1.7	1.0	2.0	3.2	4.5	5.1	5.6	3.9
Mañazo	3,920	9.3	9.3	9.2	8.4	6.5	5.0	4.7	5.9	7.5	8.7	9.3	9.6	7.8
Condoroma	4,160	7.8	7.9	7.8	7.0	4.9	3.4	3.0	4.1	5.7	7.0	7.7	8.1	6.2
Imata	4,519	5.6	5.8	5.7	4.8	2.6	1.0	0.5	1.5	3.1	4.5	5.1	5.8	3.8
Ichuña	3,800	10.0	10.0	9.9	9.2	7.3	5.8	5.6	6.8	8.4	9.6	10.2	10.3	8.6
Quillisani	4,600	5.2	5.4	5.2	4.3	2.0	0.4	-0.1	0.9	2.5	3.9	4.6	5.3	3.3
Taraco	3,815	9.9	9.9	9.8	9.1	7.2	5.7	5.5	6.7	8.3	9.5	10.1	10.2	8.5

Figura N° 3.9
Distribución de la Temperatura Media Mensual (°C) – Promedio Multianual
Estaciones de la región (Cuenca del río Coata y Estaciones de Apoyo)



En la Tabla N° 3.10 se presenta la temperatura media mensual de las estaciones ubicadas dentro de la región (cuenca Coata y cuencas vecinas). En la Figura N° 3.9 se presenta en forma gráfica.

En la Figura N° 3.10 se ha trazado las isotermas de la temperatura media anual, en donde se puede observar que la zona mas fría de la cuenca es la parte de Quillisani que registra una temperatura media anual de 3.3 °C. seguido de Pampahuta con 4.2 °C. El gradiente térmico para la temperatura media de la región corresponde a 0.79 °C por cada 100 m. de desnivel.

Por el contrario las regiones mas calidas de la cuenca Coata se encuentra en el sector de Cabanillas (6.2 °C), Juliaca (8.3 °C) y Lampa (8.0 °C), lugares que están cerca al Lago Titicaca, lo que demuestra la gran capacidad de almacenamiento de energía y posterior efecto de regulación termal.

B) Régimen de Temperaturas Máximas Promedio

Dentro de la cuenca Coata, las zonas mas cálidas se presenta en los sectores de Cabanillas, Juliaca, y Lampa con valores 16.7 °C de temperatura máxima promedio. Igual caso sucede en las zonas cercanas al Lago Titicaca según como se puede apreciar en los valores de la Tabla N° 3.12 y en forma grafica en la Figura N° 3.11.

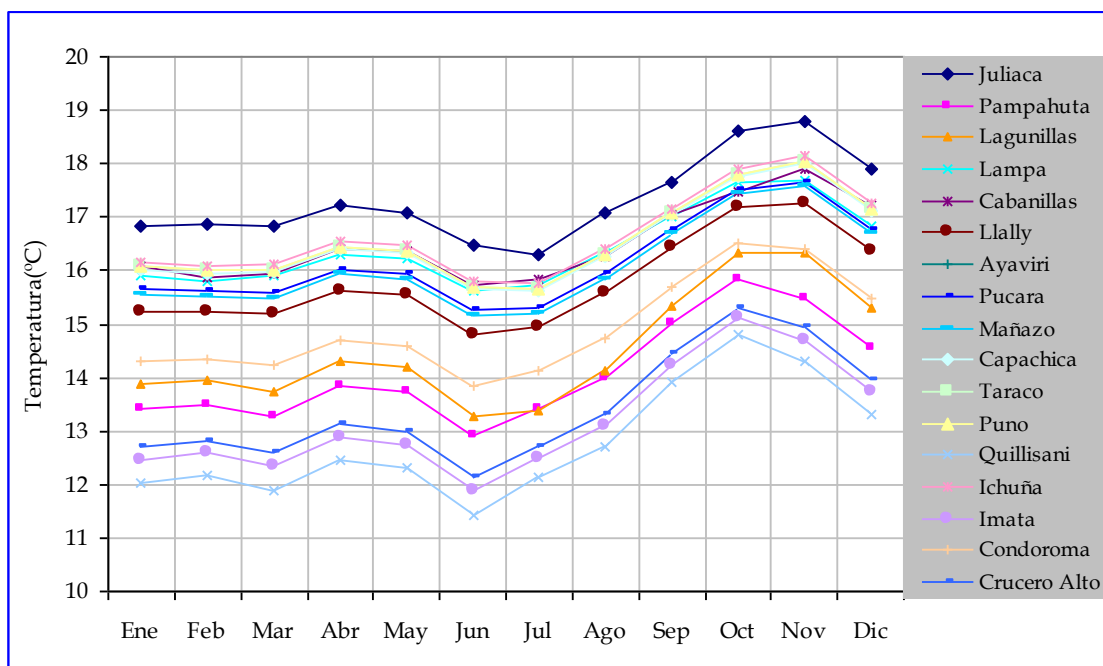
Tabla N° 3.11
Ecuación de relación Temperatura Máxima Promedio Mensual – Altitud

Coeficiente	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom
a	35.84	34.67	36.21	35.95	36.14	36.55	33.02	33.92	32.69	32.46	36.33	35.98	34.69
b	-0.0052	-0.0049	-0.0053	-0.0051	-0.0052	-0.0055	-0.0045	-0.0046	-0.0041	-0.0038	-0.0048	-0.0049	-0.0048
R² (%)	71.20	67.00	70.40	70.60	71.20	68.20	60.90	61.70	68.20	67.80	78.58	75.60	68.70

Tabla N° 3.12
Temperatura Máxima Promedio Mensual (°C) – Promedio Multianual
Estaciones de la región (Cuenca del río Coata y Estaciones de Apoyo)

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom
Juliaca	16.8	16.9	16.8	17.2	17.1	16.5	16.3	17.1	17.7	18.6	18.8	17.9	17.3
Pampahuta	13.4	13.5	13.3	13.8	13.7	12.9	13.4	14.0	15.0	15.8	15.5	14.6	14.1
Lagunillas	13.9	13.9	13.8	14.3	14.2	13.3	13.4	14.1	15.3	16.3	16.4	15.3	14.5
Lampa	15.9	15.8	15.9	16.3	16.2	15.6	15.7	16.3	17.0	17.7	17.7	16.8	16.4
Cabanillas	16.1	15.9	16.0	16.4	16.4	15.7	15.8	16.3	17.1	17.5	17.9	17.2	16.5
Llally	15.2	15.2	15.2	15.6	15.5	14.8	14.9	15.6	16.4	17.2	17.3	16.4	15.8
Ayaviri	15.5	15.5	15.5	15.9	15.8	15.1	15.2	15.8	16.6	17.4	17.5	16.6	16.0
Pucara	15.7	15.6	15.6	16.0	16.0	15.3	15.3	15.9	16.8	17.5	17.7	16.8	16.2
Mañazo	15.6	15.5	15.5	15.9	15.9	15.1	15.2	15.9	16.7	17.4	17.6	16.7	16.1
Capachica	16.0	16.0	16.0	16.4	16.3	15.7	15.6	16.3	17.1	17.8	18.0	17.1	16.5
Taraco	16.1	16.0	16.0	16.4	16.4	15.7	15.7	16.3	17.1	17.8	18.0	17.2	16.5
Puno	16.1	16.0	16.0	16.4	16.4	15.7	15.7	16.3	17.1	17.8	18.0	17.2	16.5
Quillisani	12.0	12.2	11.9	12.5	12.3	11.4	12.1	12.7	13.9	14.8	14.3	13.3	12.8
Ichuña	16.2	16.1	16.1	16.5	16.5	15.8	15.8	16.4	17.2	17.9	18.1	17.3	16.6
Imata	12.4	12.6	12.3	12.9	12.7	11.9	12.5	13.1	14.2	15.1	14.7	13.7	13.2
Condorama	14.3	14.3	14.2	14.7	14.6	13.8	14.1	14.7	15.7	16.5	16.4	15.5	14.9
Crucero Alto	12.7	12.8	12.6	13.1	13.0	12.1	12.7	13.3	14.4	15.3	14.9	14.0	13.4

Figura N° 3.11
Distribución de la Temperatura Máxima Promedio Mensual (°C) – Promedio Multianual
Estaciones de la región (Cuenca del río Coata y Estaciones de Apoyo)



Al igual que las temperaturas medias, debido a la carencia de estadísticas de temperatura máximas, los valores de temperatura máximas de las estaciones pintadas en amarillo (ver Tabla N° 3.12) han sido estimados mediante un análisis de regresión lineal de los datos de las estaciones con registros existentes, relacionándolo con la altitud de ubicación de la estación respectiva. En la Tabla N° 3.11 se presenta los coeficientes de la ecuación de correlación Temperatura Máxima Promedio – Altitud, en forma mensual y promedio anual.

Ecuación de relación: $T_{max} = a + bZ$ donde Z es la Altitud en msnm.

En la Figura N° 3.11 se verifica que durante el año la mayor temperatura máxima se registra en el mes de Octubre y Noviembre, esto en forma general en todas las estaciones de la región.

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

El gradiente térmico para la temperatura máxima promedio de la región corresponde a 0.58 °C por cada 100 m. de desnivel.

C) Régimen de Temperaturas Mínimas Promedio

En la parte alta de la cuenca Coata se registra las temperaturas mas bajas, específicamente en la zona de Quillisani (-7.6 °C) y Pampahuta (-5.4 °C). y los mese de mayor friaje dentro de la región es durante los meses de Junio a Agosto, en el mes de Julio se registra las temperaturas mas bajas en toda la región. Ver Tabla N° 3.13 y en forma grafica en la Figura N° 3.13.

En la Figura N° 3.14 se ha trazado las isotermas de la temperatura mínima promedio anual, se verifica la distribución espacial de las temperaturas mínimas acentuándose más en las partes altas de la cuenca.

De las temperaturas mínimas registradas en la región, se deduce un gradiente de temperatura de -1.03 °C por cada 100 m. de desnivel.

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

En la Tabla N° 3.12 se presenta los coeficientes de la ecuación de relación temperatura mínimas promedio - altitud de la estación respectiva.

Ecuación de relación: $T_{min} = a + bZ$ donde Z es la Altitud en msnm.

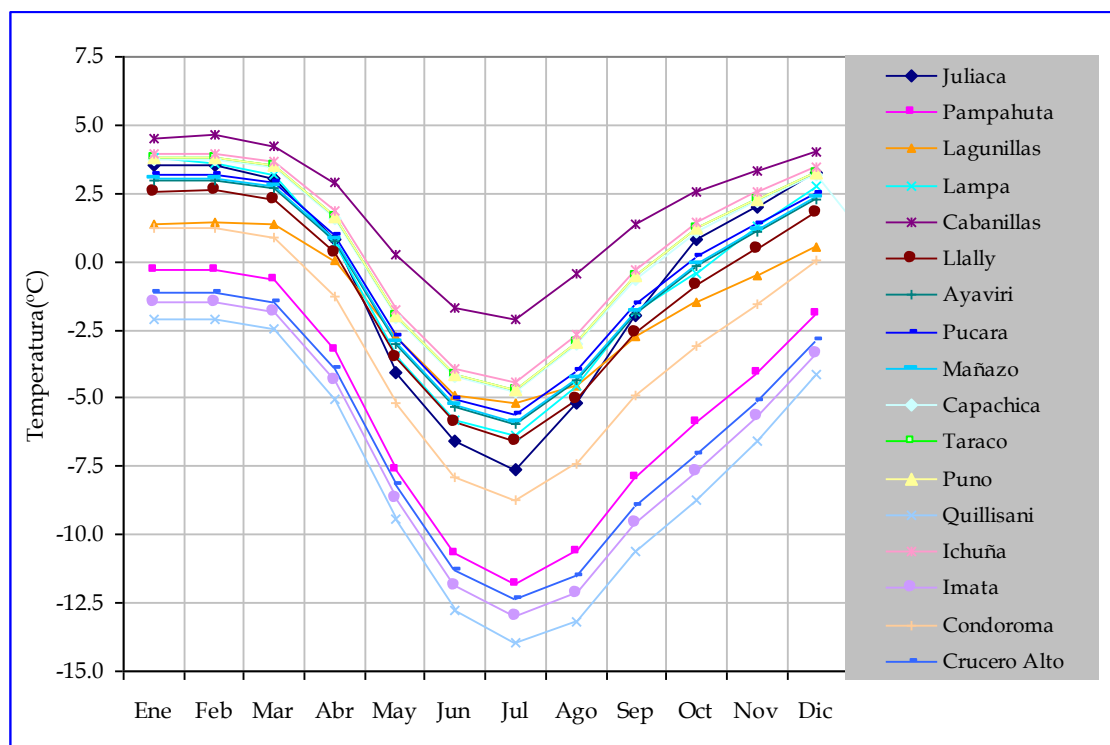
Tabla N° 3.12
Ecuación de relación Temperatura Mínima Promedio Mensual – Altitud

Coficiente	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom
a	32.69	32.67	32.67	34.35	34.54	38.24	40.61	47.38	48.89	49.75	45.74	39.41	39.84
b	-0.0076	-0.0076	-0.0076	-0.0086	-0.0096	-0.0111	-0.0119	-0.0132	-0.0129	-0.0127	-0.0114	-0.0095	-0.0103
R ² (%)	83.71	85.16	89.17	87.88	67.63	68.06	65.24	78.01	86.85	92.51	92.79	90.25	86.9

Tabla N° 3.13
Temperatura Mínima Promedio Mensual (°C) – Promedio Multianual
Estaciones de la región (Cuenca del río Coata y Estaciones de Apoyo)

Estación	Z(msnm)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom
Cabanillas	3,892	4.5	4.6	4.3	2.9	0.2	-1.7	-2.1	-0.5	1.4	2.6	3.4	4.0	2.0
Juliaca	3,826	3.5	3.5	3.1	0.8	-4.1	-6.6	-7.6	-5.2	-2.0	0.8	2.0	3.2	-0.7
Lagunillas	3,980	1.3	1.4	1.4	0.1	-2.7	-4.9	-5.2	-4.6	-2.8	-1.5	-0.5	0.5	-1.4
Lampa	3,892	3.8	3.6	3.2	0.7	-3.4	-5.8	-6.4	-4.6	-1.9	-0.4	1.3	2.8	-0.6
Pampahuta	4,400	-0.3	-0.3	-0.7	-3.2	-7.6	-10.7	-11.8	-10.6	-7.9	-5.9	-4.0	-1.9	-5.4
Llally	3,980	2.6	2.6	2.3	0.3	-3.5	-5.9	-6.6	-5.0	-2.6	-0.8	0.5	1.8	-1.2
Ayaviri	3,928	3.0	3.0	2.7	0.7	-3.0	-5.3	-6.0	-4.4	-1.9	-0.2	1.1	2.2	-0.6
Pucara	3,900	3.2	3.2	2.9	1.0	-2.7	-5.0	-5.6	-4.0	-1.6	0.2	1.4	2.5	-0.4
Mañazo	3,920	3.0	3.0	2.7	0.8	-2.9	-5.2	-5.9	-4.3	-1.8	-0.1	1.2	2.3	-0.6
Capachica	3,828	3.7	3.7	3.4	1.6	-2.0	-4.2	-4.8	-3.0	-0.6	1.1	2.2	3.2	0.4
Taraco	3,820	3.8	3.8	3.5	1.7	-2.0	-4.1	-4.7	-2.9	-0.5	1.2	2.3	3.3	0.5
Puno	3,820	3.8	3.8	3.5	1.7	-2.0	-4.1	-4.7	-2.9	-0.5	1.2	2.3	3.3	0.5
Quillisani	4,600	-2.1	-2.1	-2.4	-5.0	-9.4	-12.8	-13.9	-13.2	-10.6	-8.7	-6.6	-4.1	-7.6
Ichuña	3,800	3.9	3.9	3.7	1.8	-1.8	-3.9	-4.4	-2.7	-0.3	1.5	2.5	3.5	0.7
Imata	4,519	-1.5	-1.5	-1.8	-4.3	-8.6	-11.9	-13.0	-12.2	-9.6	-7.7	-5.7	-3.3	-6.7
Condorama	4,160	1.2	1.2	0.9	-1.2	-5.2	-7.9	-8.7	-7.4	-4.9	-3.1	-1.6	0.1	-3.0
Crucero Alto	4,470	-1.1	-1.1	-1.5	-3.9	-8.2	-11.3	-12.4	-11.5	-8.9	-7.1	-5.1	-2.9	-6.2

Figura N° 3.13
Distribución de la Temperatura Mínima Promedio Mensual (°C) – Promedio Multianual
Estaciones de la región (Cuenca del río Coata y Estaciones de Apoyo)



D) Régimen de Temperaturas en la Región

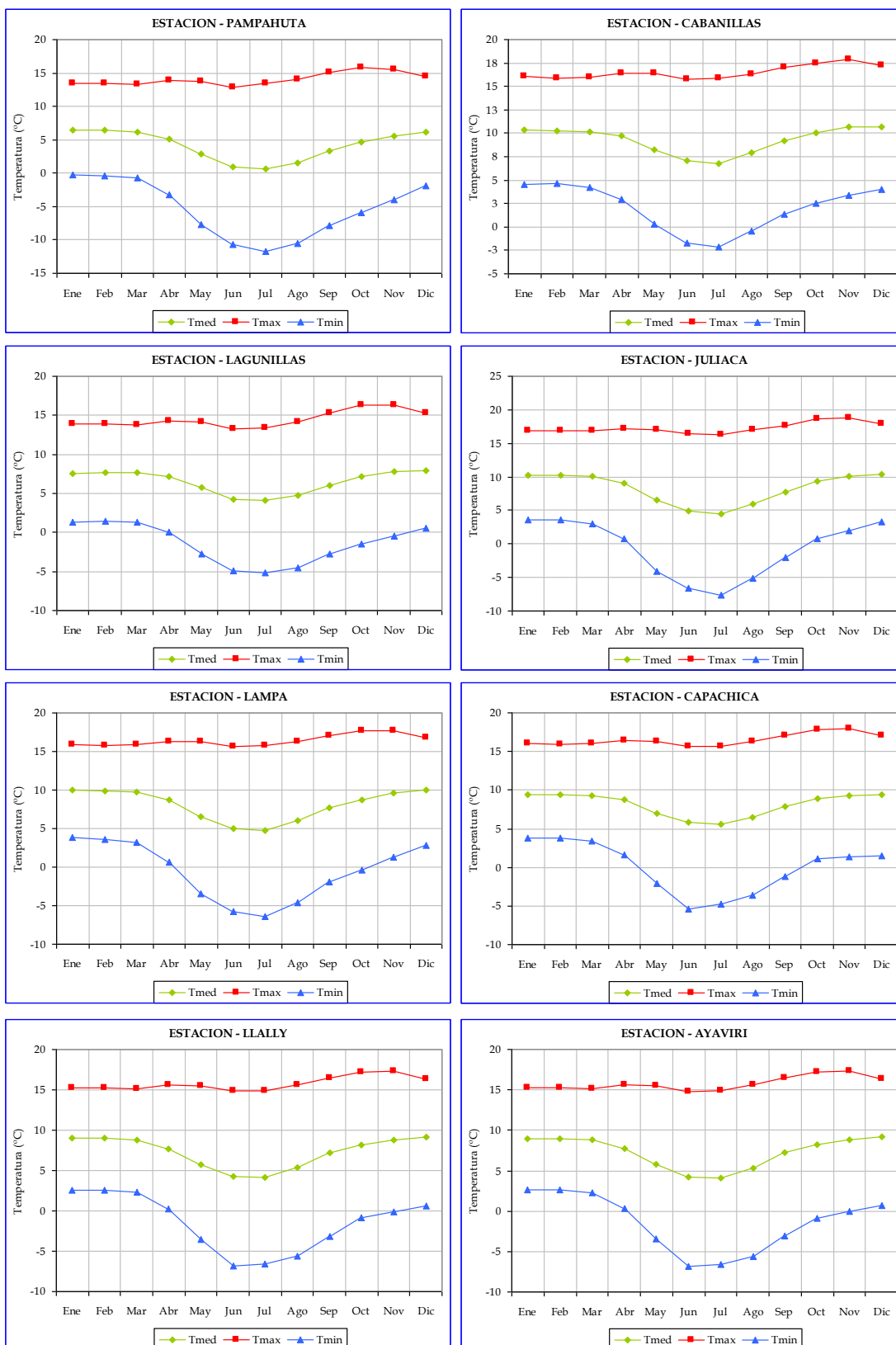
En todas las estaciones de la región (cuenca Coata y estaciones de apoyo), el régimen de temperaturas medias, máximas y mínimas varía uniformemente durante todo el año. Por consiguiente la variación térmica de la cuenca debido a la poca diferencia de altitud entre la cota mas alta y las mas baja tiene similares condiciones en cualquier punto localizado dentro de la cuenca.

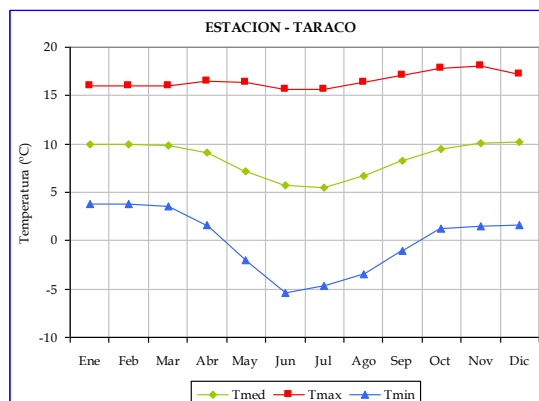
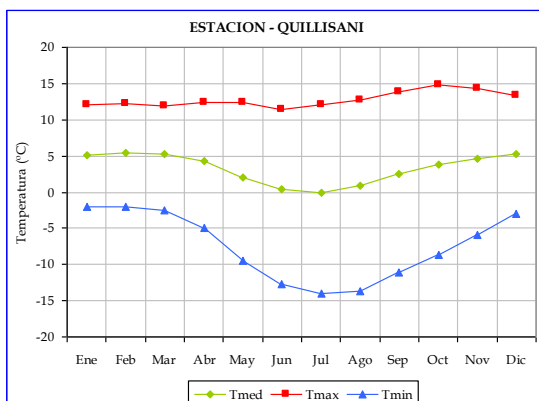
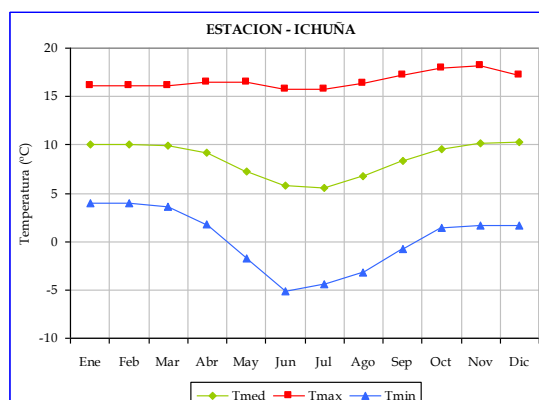
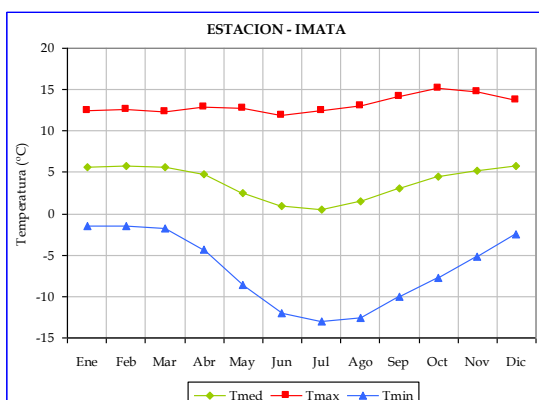
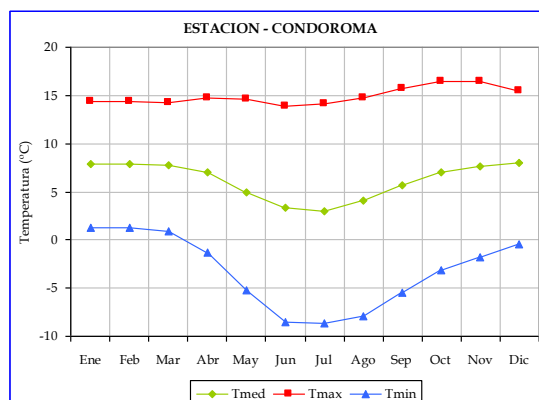
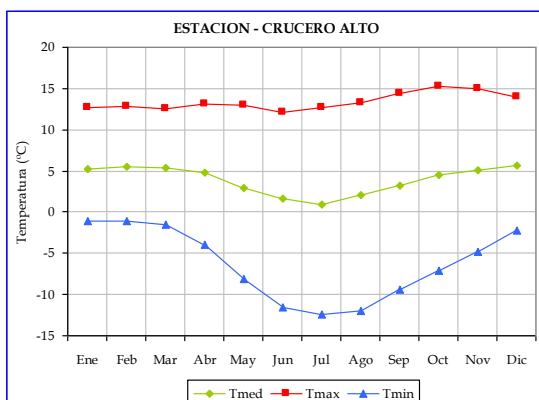
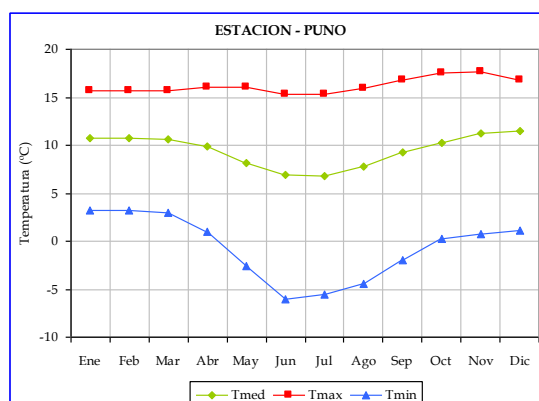
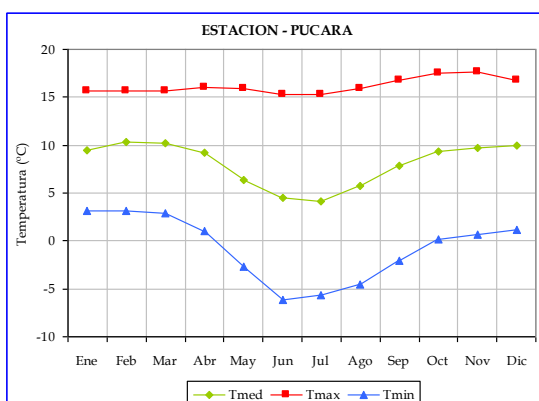
En la Tabla N° 3.14 se presenta la distribución de temperaturas media, máxima y mínima para todas las estaciones de la región. Y en la Figura N° 3.15 en forma grafica.

Tabla N° 3.14
Temperaturas Media, Máxima Promedio y Mínima Promedio Mensual (°C) – Promedio Multianual
Estaciones de la región (Cuenca del río Coata y Estaciones de Apoyo)

Estación	Z(msnm)		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom
Pampahuta	4,400	Tmed	6.4	6.4	6.2	5.2	2.9	1.0	0.7	1.6	3.3	4.7	5.5	6.2	4.2
		Tmáx	13.4	13.5	13.3	13.8	13.7	12.9	13.4	14.0	15.0	15.8	15.5	14.6	14.1
		Tmin	-0.3	-0.3	-0.7	-3.2	-7.6	-10.7	-11.8	-10.6	-7.9	-5.9	-4.0	-1.9	-5.4
Cabanillas	3,892	Tmed	10.3	10.2	10.1	9.7	8.3	7.0	6.8	7.9	9.2	10.1	10.7	10.6	9.2
		Tmax	16.1	15.9	16.0	16.4	16.4	15.7	15.8	16.3	17.1	17.5	17.9	17.2	16.5
		Tmin	4.5	4.6	4.3	2.9	0.2	-1.7	-2.1	-0.5	1.4	2.6	3.4	4.0	2.0
Lagunillas	3,980	Tmed	7.6	7.6	7.6	7.2	5.7	4.2	4.1	4.7	6.1	7.2	7.8	7.9	6.5
		Tmax	13.9	13.9	13.8	14.3	14.2	13.3	13.4	14.1	15.3	16.3	16.4	15.3	14.5
		Tmin	1.3	1.4	1.4	0.1	-2.7	-4.9	-5.2	-4.6	-2.8	-1.5	-0.5	0.5	-1.4
Juliaca	3,826	Tmed	10.2	10.3	10.0	9.0	6.6	4.9	4.4	5.9	7.7	9.4	10.1	10.4	8.3
		Tmax	16.8	16.9	16.8	17.2	17.1	16.5	16.3	17.1	17.7	18.6	18.8	17.9	17.3
		Tmin	3.5	3.5	3.1	0.8	-4.1	-6.6	-7.6	-5.2	-2.0	0.8	2.0	3.2	-0.7
Lampa	3,892	Tmed	10.0	9.8	9.7	8.7	6.5	5.0	4.8	6.0	7.6	8.8	9.6	10.0	8.0
		Tmax	15.9	15.8	15.9	16.3	16.2	15.6	15.7	16.3	17.0	17.7	17.7	16.8	16.4
		Tmin	3.8	3.6	3.2	0.7	-3.4	-5.8	-6.4	-4.6	-1.9	-0.4	1.3	2.8	-0.6
Capachica	3,828	Tmed	9.4	9.4	9.3	8.7	7.0	5.9	5.6	6.5	7.9	8.8	9.2	9.4	8.1
		Tmax	16.0	16.0	16.0	16.4	16.3	15.7	15.6	16.3	17.1	17.8	18.0	17.1	16.5
		Tmin	3.7	3.7	3.4	1.6	-2.0	-5.5	-4.8	-3.6	-1.2	1.1	1.4	1.5	0.0
Llalli	3,980	Tmed	9.0	9.0	8.8	7.7	5.8	4.2	4.1	5.3	7.3	8.2	8.8	9.2	7.3
		Tmax	15.2	15.2	15.2	15.6	15.5	14.8	14.9	15.6	16.4	17.2	17.3	16.4	15.8
		Tmin	2.6	2.6	2.3	0.3	-3.5	-6.9	-6.6	-5.6	-3.1	-0.8	-0.1	0.6	-1.5
Ayaviri	3,928	Tmed	10.1	10.0	9.9	9.1	6.8	5.2	4.9	6.5	8.7	10.1	10.6	10.8	8.6
		Tmax	15.5	15.5	15.5	15.9	15.8	15.1	15.2	15.8	16.6	17.4	17.5	16.6	16.0
		Tmin	3.0	3.0	2.7	0.7	-3.0	-6.4	-6.0	-4.9	-2.4	-0.2	0.4	0.9	-1.0
Pucara	3,900	Tmed	9.5	10.3	10.2	9.2	6.4	4.5	4.2	5.8	7.8	9.4	9.8	9.9	8.1
		Tmax	15.7	15.6	15.6	16.0	16.0	15.3	15.3	15.9	16.8	17.5	17.7	16.8	16.2
		Tmin	3.2	3.2	2.9	1.0	-2.7	-6.1	-5.6	-4.5	-2.1	0.2	0.7	1.1	-0.7
Puno	3,820	Tmed	10.8	10.8	10.7	9.9	8.2	6.9	6.7	7.8	9.3	10.3	11.2	11.4	9.5
		Tmax	15.7	15.6	15.6	16.1	16.0	15.3	15.3	16.0	16.8	17.5	17.7	16.8	16.2
		Tmin	3.3	3.3	3.0	1.0	-2.6	-6.1	-5.5	-4.4	-2.0	0.3	0.8	1.1	-0.7
Crucero Alto	4,470	Tmed	5.2	5.5	5.4	4.8	2.9	1.7	1.0	2.0	3.2	4.5	5.1	5.6	3.9
		Tmax	12.7	12.8	12.6	13.1	13.0	12.1	12.7	13.3	14.4	15.3	14.9	14.0	13.4
		Tmin	-1.1	-1.1	-1.5	-3.9	-8.2	-11.5	-12.4	-12.0	-9.4	-7.1	-4.7	-2.2	-6.3
Condorama	4,160	Tmed	7.8	7.9	7.8	7.0	4.9	3.4	3.0	4.1	5.7	7.0	7.7	8.1	6.2
		Tmax	14.3	14.3	14.2	14.7	14.6	13.8	14.1	14.7	15.7	16.5	16.4	15.5	14.9
		Tmin	1.2	1.2	0.9	-1.2	-5.2	-8.6	-8.7	-7.9	-5.4	-3.1	-1.8	-0.4	-3.3
Imata	4,519	Tmed	5.6	5.8	5.7	4.8	2.6	1.0	0.5	1.5	3.1	4.5	5.1	5.8	3.8
		Tmax	12.4	12.6	12.3	12.9	12.7	11.9	12.5	13.1	14.2	15.1	14.7	13.7	13.2
		Tmin	-1.5	-1.5	-1.8	-4.3	-8.6	-12.0	-13.0	-12.6	-10.1	-7.7	-5.2	-2.5	-6.7
Ichuña	3,800	Tmed	10.0	10.0	9.9	9.2	7.3	5.8	5.6	6.8	8.4	9.6	10.2	10.3	8.6
		Tmax	16.2	16.1	16.1	16.5	16.5	15.8	15.8	16.4	17.2	17.9	18.1	17.3	16.7
		Tmin	3.9	3.9	3.7	1.8	-1.8	-5.2	-4.4	-3.2	-0.8	1.5	1.7	1.7	0.2
Quillisani	4,600	Tmed	5.2	5.4	5.2	4.3	2.0	0.4	-0.1	0.9	2.5	3.9	4.6	5.3	3.3
		Tmax	12.0	12.2	11.9	12.5	12.3	11.4	12.1	12.7	13.9	14.8	14.3	13.3	12.8
		Tmin	-2.1	-2.1	-2.4	-5.0	-9.4	-12.7	-13.9	-13.7	-11.1	-8.7	-6.0	-2.9	-7.5
Taraco	3,815	Tmed	9.9	9.9	9.8	9.1	7.2	5.7	5.5	6.7	8.3	9.5	10.1	10.2	8.5
		Tmax	16.1	16.0	16.0	16.4	16.4	15.7	15.7	16.3	17.1	17.8	18.0	17.2	16.6
		Tmin	3.8	3.8	3.5	1.7	-2.0	-5.4	-4.7	-3.5	-1.1	1.2	1.5	1.6	0.0

Figura Nº 3.15
Temperaturas Media, Máxima Promedio y Mínima Promedio Mensual (°C) – Promedio Multianual
Estaciones de la región (Cuenca del río Coata y Estaciones de Apoyo)





3.5.3. EVAPORACION

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

Factores que Influyen en la evaporación

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

Cálculos de la Evaporación: Métodos Directos

1) El tanque de evaporación tipo A

Dentro de los métodos directos más empleados en el mundo, está el tanque de evaporación tipo A, que consiste en la medida de la evaporación partiendo de una superficie de agua, ésta se hace estableciendo la medida de la disminución de una superficie de agua a partir de una superficie evaporante en milímetros [mm]. El agua evaporada en un periodo es:

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

En donde:

EV = Evaporación en el periodo.

Li = Lectura al inicio del periodo en el micrómetro.

Lf = Lectura al final del periodo en el micrómetro.

P = Precipitación en el periodo.

A = Abastecimiento de agua en el periodo.

R = Retiro de agua en el periodo.

2) Lisímetros instalados en suelo libre de vegetación

También se puede conocer a partir de lisímetros instalados en suelo desnudo, el lisímetro es una caja de fibra de vidrio o lámina galvanizada la cual contiene el suelo "in situ". La muestra de suelo recibe las precipitaciones, las aguas excedentes o de drenaje son medidas en su salida, por lo tanto las pérdidas por evaporación pueden ser conocidas a través del balance hídrico del sistema.

Los registros disponibles de evaporación provienen de observaciones de Tanque evaporímetro tipo A.

Se ha realizado el análisis de la evaporación total mensual registrada en cuatro estaciones meteorológicas. Debido a la escasa información de este parámetro para otras estaciones, se ha realizado un análisis de regresión lineal en base a la información disponible y se ha estimado los valores de evaporación en forma mensual. En la Tabla N° 3.15 se presenta los coeficientes de la ecuación de relación evaporación - altitud.

Ecuación de relación: $Evap = a + bZ$ donde Z es la Altitud en msnm.

Los datos que aparecen en amarillo en la Tabla N° 3.16 son valores estimados utilizando la ecuación de relación evaporación – altitud.

Observando la variación estacional de la evaporación en la región (Figura N° 3.16) y haciendo una comparación con la distribución de las temperaturas máximas descritas en la Figura N° 3.11, hay una relación directa entre estos dos parámetros. Los mayores valores de la evaporación promedio mensual se producen en los meses de octubre y noviembre.

Los mayores valores de la evaporación promedio anual en la región se producen en los sectores de Juliaca, Cabanillas, Lampa y en las cercanías al Lago Titicaca. Los valores mas bajos se registran en la cabecera de la cuenca Coata, tal es el caso de Pampahuta que presenta un valor de 123.3 mm. como promedio anual.

En la Figura N° 3.17 se ha trazado las isoclinas de la distribución espacial de la evaporación regional en la cuenca del río Coata.

En el Mapa N° H-C3.12 (Ver Anexos, Volumen III) se ha trazado las isoclinas correspondiente a la distribución de la evaporación total anual en la cuenca Coata.

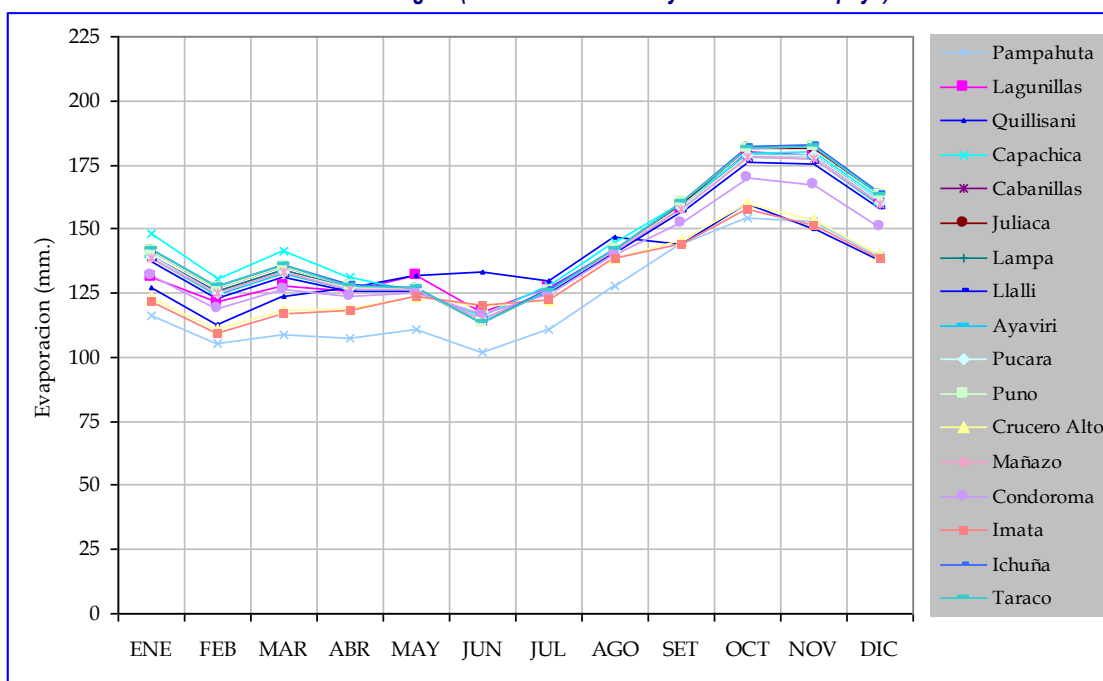
Tabla N° 3.15
Ecuación de relación Evaporación Total Mensual – Altitud

Coefficiente	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom
a	249.84	225.15	237.82	179.46	144.42	78.11	147.83	158.33	247.3	310.71	348.03	297.64	218.6
b	-0.0283	-0.0256	-0.0268	-0.0135	-0.0046	0.0093	-0.0057	-0.0043	-0.0228	-0.0338	-0.0434	-0.0352	-0.0195
R ² (%)	57.73	72.21	51.56	21.55	2.80	6.80	5.22	3.30	92.51	82.14	95.54	94.73	52.00

Tabla N° 3.16
Evaporación Total Mensual (mm.) – Promedio Multianual
Estaciones de la región (Cuenca del río Coata y Estaciones de Apoyo)

ESTACION	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	PROM
Pampahuta	116.1	105.4	108.6	107.6	110.7	101.8	110.6	127.6	143.8	154.5	153.2	139.1	123.3
Lagunillas	131.3	121.5	127.9	125.9	131.5	117.3	127.2	141.3	158.0	180.3	178.7	160.2	141.8
Quillisani	127.4	113.1	123.9	126.8	132.0	133.2	130.2	146.9	144.4	159.8	150.2	137.9	135.5
Capachica	148.2	130.5	141.1	131.1	125.8	116.4	127.5	144.5	159.6	179.8	179.8	161.7	145.5
Cabanillas	139.6	125.6	133.7	127.0	126.4	114.3	125.6	141.4	158.5	179.1	178.9	160.6	142.6
Juliaca	141.4	127.2	135.4	127.9	126.7	113.7	126.0	141.7	160.0	181.3	181.8	163.0	143.9
Lampa	139.6	125.6	133.7	127.0	126.4	114.3	125.6	141.4	158.5	179.1	178.9	160.6	142.6
Llalli	137.1	123.3	131.3	125.8	126.0	115.1	125.1	141.0	156.5	176.1	175.1	157.5	140.9
Ayaviri	138.6	124.6	132.7	126.5	126.3	114.6	125.4	141.3	157.7	177.9	177.4	159.4	141.9
Pucara	139.4	125.4	133.5	126.9	126.4	114.4	125.6	141.4	158.3	178.8	178.6	160.4	142.4
Puno	141.6	127.4	135.6	128.0	126.8	113.6	126.1	141.7	160.2	181.5	182.1	163.2	144.0
Crucero Alto	123.2	110.8	118.2	119.2	123.8	119.7	122.3	138.9	145.3	159.5	153.8	140.3	131.3
Mañazo	138.8	124.8	132.9	126.7	126.3	114.6	125.5	141.3	157.9	178.1	177.7	159.7	142.0
Condorama	132.0	118.7	126.5	123.4	125.2	116.8	124.1	140.3	152.4	170.0	167.3	151.2	137.3
Imata	121.8	109.5	116.9	118.6	123.5	120.1	122.1	138.7	144.2	157.9	151.7	138.6	130.3
Ichuña	142.2	127.9	136.1	128.3	126.9	113.4	126.2	141.8	160.6	182.2	182.9	163.9	144.4
Taraco	141.8	127.5	135.7	128.1	126.8	113.6	126.1	141.8	160.3	181.7	182.3	163.4	144.1

Figura N° 3.16
Evaporación Total Mensual (mm.) – Promedio Multianual
Estaciones de la región (Cuenca del río Coata y Estaciones de Apoyo)



3.5.4. HUMEDAD RELATIVA

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

$$HR = [Ed/Ea]*100$$

En donde:

HR = Humedad relativa [%]

Ed = Es la tensión de vapor actual en milibares [mb]

Ea = Es la tensión de vapor a saturación en milibares [mb]

En base a la información disponible de siete estaciones ubicadas en la cuenca (4) y el entorno de la cuenca (3) se ha realizado el análisis de la distribución espacial de este parámetro.

La variación estacional y espacial es similar a la precipitación, por lo que registra los valores más altos durante el verano. También se verifica que la variación estacional de

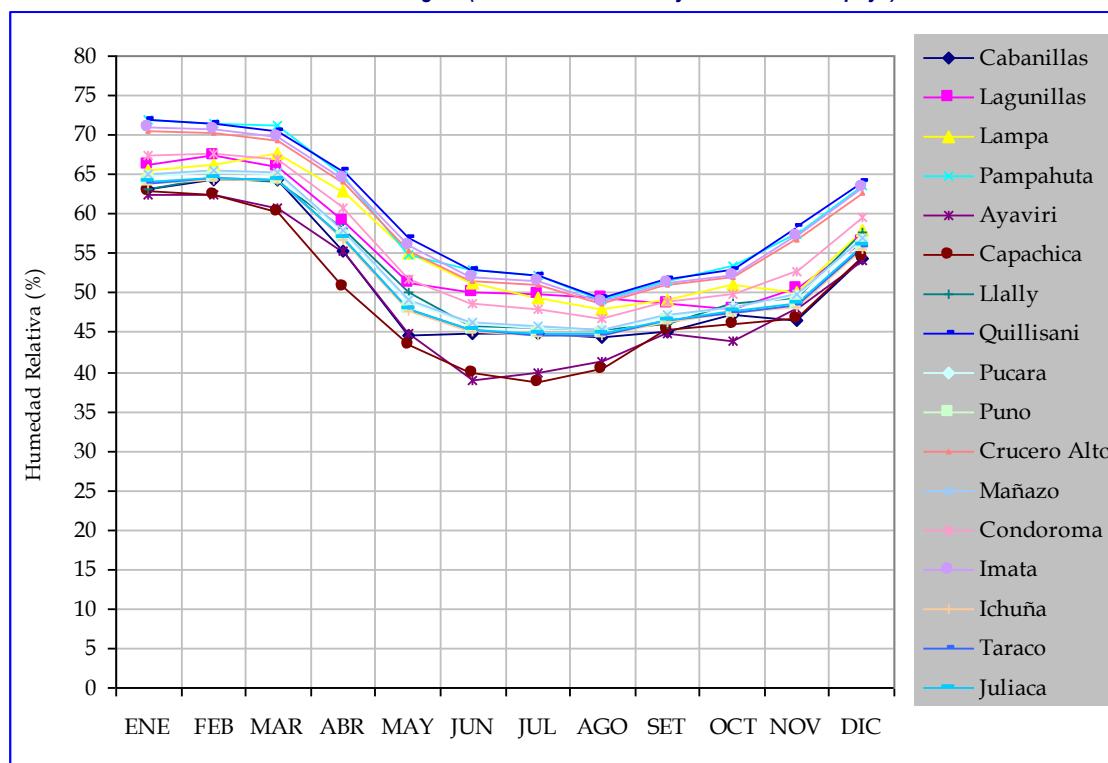
Tabla N° 3.17
Ecuación de relación Humedad Relativa Promedio Mensual – Altitud

Coefficiente	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom
a	25.25	31.25	35.02	14.70	4.27	8.24	8.24	21.71	20.70	21.73	0.81	15.25	17.35
b	0.0101	0.0087	0.0077	0.0111	0.0114	0.0097	0.0096	0.0060	0.0068	0.0068	0.0125	0.0106	0.0092
R ² (%)	61.30	45.58	52.50	36.70	36.74	21.49	24.00	19.60	50.52	32.44	80.33	69.70	43.00

Tabla N° 3.18
Humedad Relativa Promedio Mensual (%.) – Promedio Multianual
Estaciones de la región (Cuenca del río Coata y Estaciones de Apoyo)

ESTACION	Z(msnm)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	PROM
Cabanillas	3,892	63.1	64.2	64.3	55.4	44.5	44.8	44.8	44.5	45.2	47.1	46.6	54.3	51.6
Lagunillas	3,980	66.2	67.3	65.9	59.2	51.3	50.2	49.9	49.3	48.6	48.0	50.5	56.4	55.2
Lampa	3,892	65.6	66.1	67.6	62.8	55.1	51.4	49.4	47.9	49.1	51.0	50.0	57.9	56.2
Pampahuta	4,400	72.0	71.4	71.2	64.8	54.9	52.9	52.2	49.0	51.4	53.3	57.4	63.7	59.5
Ayaviri	3,928	62.4	62.5	60.9	55.3	44.9	39.0	39.8	41.3	44.9	43.9	47.9	54.2	49.7
Capachica	3,828	62.8	62.3	60.3	50.7	43.3	39.9	38.7	40.4	45.3	46.0	46.9	54.6	49.3
Llally	3,980	63.2	64.6	64.0	58.2	50.0	45.8	45.5	45.2	46.0	48.7	49.5	57.6	53.2
Quillisani	4,600	71.9	71.4	70.4	65.5	56.9	52.8	52.2	49.5	51.8	52.9	58.3	64.2	59.8
Pucara	3,900	64.8	65.3	65.0	57.8	48.9	46.1	45.5	45.2	47.1	48.1	49.5	56.7	53.3
Puno	3,820	64.0	64.6	64.4	56.9	48.0	45.3	44.8	44.8	46.5	47.6	48.5	55.9	52.6
Crucero Alto	4,470	70.6	70.3	69.4	64.1	55.4	51.6	51.0	48.7	50.9	52.0	56.7	62.8	58.6
Mañazo	3,920	65.0	65.5	65.2	58.0	49.1	46.3	45.7	45.4	47.2	48.3	49.8	56.9	53.5
Condoroma	4,160	67.4	67.5	67.0	60.7	51.8	48.6	48.0	46.8	48.8	49.9	52.8	59.5	55.7
Imata	4,519	71.1	70.7	69.8	64.6	56.0	52.1	51.5	49.0	51.3	52.3	57.3	63.3	59.0
Ichuña	3,800	63.8	64.4	64.2	56.7	47.7	45.1	44.6	44.6	46.4	47.5	48.3	55.6	52.4
Taraco	3,815	63.9	64.5	64.4	56.9	47.9	45.2	44.7	44.7	46.5	47.6	48.5	55.8	52.5
Juliaca	3,826	64.1	64.6	64.4	57.0	48.0	45.3	44.8	44.8	46.6	47.6	48.6	55.9	52.6

Figura N° 3.18
Distribución de Humedad Relativa Promedio Mensual (%) – Promedio Multianual
Estaciones de la Región (Cuenca del río Coata y Estaciones de Apoyo)



la humedad relativa en todo el bloque de las estaciones es uniforme. En las estaciones ubicadas en la cabecera de la cuenca y la ubicada cerca al Lago Titicaca registran mayores valores con respecto a las estaciones ubicadas en la cuenca media.

Mediante análisis de regresión lineal se ha estimado valores de humedad relativa para las estaciones sin registro.

En la Tabla N° 3.17 se presenta los coeficientes de la ecuación de relación humedad relativa - altitud.

Ecuación de relación: $HR = a + bZ$ donde Z es la Altitud en msnm.

Los datos que aparecen en amarillo en la Tabla N° 3.18 son valores estimados utilizando la ecuación de relación humedad relativa - altitud. En la Figura N° 3.18 se aprecia la variación estacional de la humedad relativa, registrándose en la estación de Quillisani y Pampahuta el valor más alto de 71.9% y 72% en el mes de Enero, y los valores más bajos se registra en la estación de Cabanillas (44.8%) y Lagunillas (50.1%) y durante los meses de Junio y Julio.

En la Figura N° 3.19 se ha trazado las isolíneas para describir la variación espacial de la humedad relativa promedio anual en la cuenca. En el Mapa N° H-C3.13 (Ver Anexos, Volumen III) se ha trazado las isolíneas correspondiente a la distribución de la humedad relativa promedio anual en la cuenca Coata.

3.5.5. VELOCIDAD DEL VIENTO

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

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

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

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

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

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

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

Velocidad: Espacio recorrido por unidad de tiempo (m/s; Km/h).

El registro de información de este parámetro en las estaciones de la cuenca es muy escaso, solamente se tiene disponible la información de velocidad de viento registrada en la estación de Cabanillas, y que corresponde a 15 años de registro (1992 – 2006).

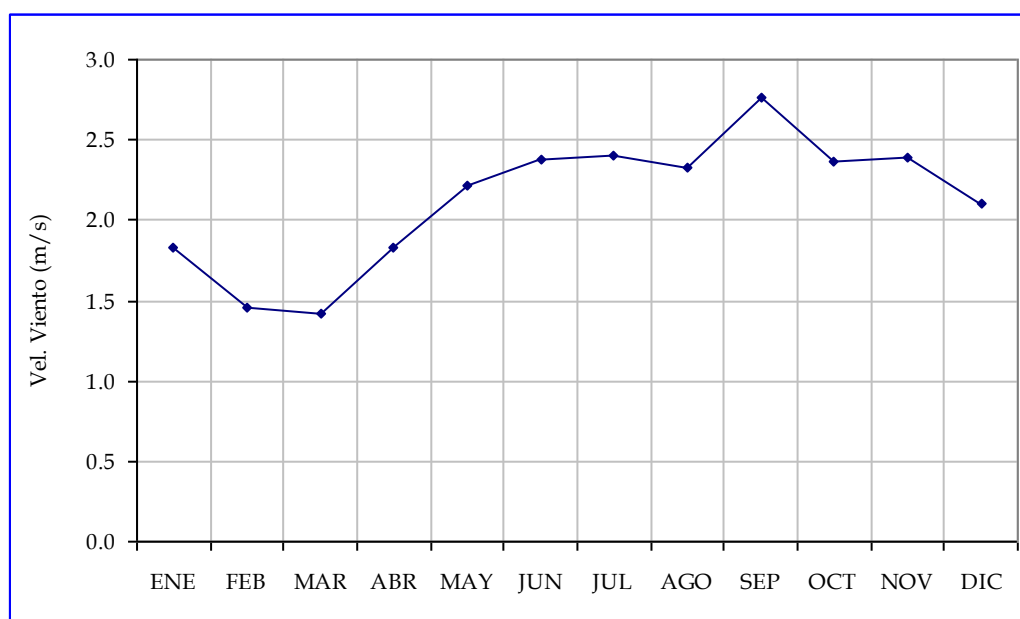
En la Tabla N° 3.19 se presenta la variación estacional de este parámetro registrado en la estación de Cabanillas. Y en la Figura N° 3.20 se presenta en forma grafica.

La distribución de los vientos varia de mes a mes, acentuándose los valores mas altos durante los meses de Mayo hasta Diciembre, centrado en el mes de Septiembre que registra el valor mas alto.

Tabla N° 3.19
Velocidad de Viento Promedio Mensual (m/s) – Promedio Multianual
Estación de Cabanillas

ESTACION	Z(msnm)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	PROM
Cabanillas	3,892	1.8	1.5	1.4	1.8	2.2	2.4	2.4	2.3	2.8	2.4	2.4	2.1	2.1

Figura N° 3.20
Velocidad de Viento Promedio Mensual (m/s) – Promedio Multianual
Estación de Cabanillas



3.5.6. HORAS DE SOL

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

Dentro de la cuenca Coata solo en las estaciones de Puno, Lampa y Juliaca se dispone de registros de este parámetro.

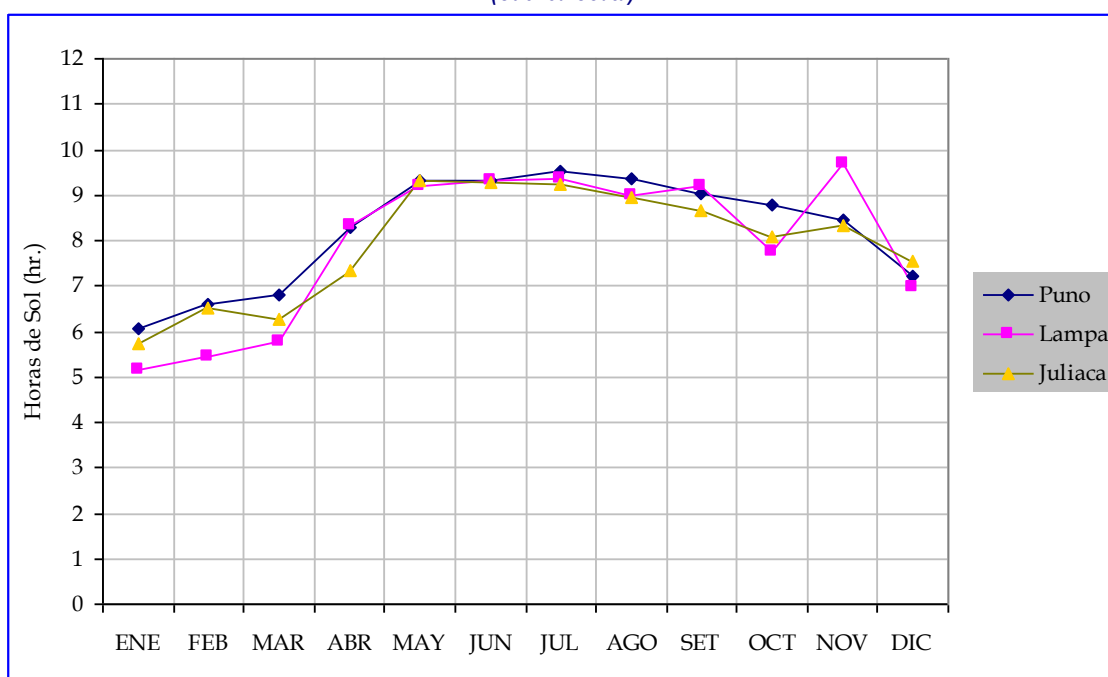
En la Tabla N° 3.20 se presenta la variación estacional de este parámetro registrado en las tres estaciones mencionadas. Y en la Figura N° 3.21 se presenta en forma gráfica.

La distribución de los vientos varía de mes a mes, acentuándose los valores más altos durante los meses de Mayo hasta Diciembre, centrado en el mes de Septiembre que registra el valor más alto.

Tabla N° 3.20
Horas de Sol Promedio Mensual (hr) – Promedio Multianual
(Cuenca Coata)

ESTACION	Z(msnm)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	PROM
Puno	3,820	6.08	6.58	6.80	8.30	9.32	9.31	9.54	9.37	9.04	8.80	8.46	7.21	8.23
Lampa	3,892	5.14	5.46	5.77	8.34	9.19	9.34	9.35	8.98	9.21	7.76	9.70	6.96	7.93
Juliaca	3,826	5.74	6.52	6.28	7.33	9.32	9.26	9.24	8.97	8.64	8.10	8.34	7.57	7.94

Figura N° 3.20
Horas de Sol Promedio Mensual (hr) – Promedio Multianual
(Cuenca Coata)



3.5.7. EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL

3.5.7.1. CONCEPTOS

La evapotranspiración [ET] es la combinación de dos procesos: Evaporación y Transpiración. La evaporación es el proceso físico mediante el cual el agua se convierte a su forma gaseosa. La evaporación del agua a la atmósfera ocurre en la superficie de ríos, lagos, suelos y vegetación. La transpiración es el proceso mediante el cual el agua fluye desde el suelo hacia la atmósfera a través del tejido de la planta. La transpiración es básicamente un proceso de evaporación. El agua se evapora dentro de las hojas y el vapor resultante se difunde hacia el exterior a través de las estomas.

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

Evapotranspiración Potencial [ETP]

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

La Estimación de la Evapotranspiración Potencial (ETP): Métodos Indirectos

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

Hay diferentes métodos para estimar o medir la ET y la ETP. La precisión y confiabilidad varía de unos a otros, muchos sólo provee una aproximación. Cada técnica se ha desarrollado con los datos de clima disponibles para estimar la ET.

Muchas de las investigaciones han dado lugar a modificaciones de las ecuaciones ya establecidas. Así encontramos modificaciones en las fórmulas de Blaney-Criddle, Hargreaves, Bandeja de evaporación, etc. Allen [1986] trabajó en la evaluación de 13 variaciones de la ecuación de Penman, encontrando como más precisa la fórmula de Penman-Monteith. Actualmente se recomiendan las ecuaciones modificadas por la FAO y el SCS como las más confiables.

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

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

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

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

Para el cálculo de las demandas en el Sistema Integral Lagunillas (SIL):

Método de Penman modificado por Doorenbos y Pruitt [1977] - FAO

$$ETP = c \cdot \{W \cdot R_n + [1 - W] \cdot F[u] \cdot [ea - ed] \}$$

En donde:

ETP = Evapotranspiración potencial, mm/día.

W = Factor relacionado a temperatura y elevación.

R_n = Radiación neta, mm/ día.

F[u] = Función relacionada al viento.

c = Factor de ajuste.

[ea - ed] = Diferencia entre la presión de vapor de aire saturado a temperatura promedio y la presión de vapor del aire, mb.

Esta ecuación requiere datos de temperatura máxima y mínima, humedad relativa, velocidad de viento, horas de sol. Esta fórmula es la más recomendable a nivel universal por la FAO.

Para Regionalizar la Evapotranspiración en la cuenca Coata:

Método de Hargreaves modificado [Linacre, E. T., 1977]

$$ETP = 0.0023 Ra \times [T + 17.8] \times [TD]^{0.50}$$

En donde:

ETP = Evapotranspiración potencial.

R_a = Radiación extraterrestre, mm/ día.

T = Temperatura promedio, °C.

TD = Temperatura máxima menos temperatura mínima, °C.

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

Para Calibrar:

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

$$ETP = K_p \cdot PE$$

En donde:

ETP = Evapotranspiración potencial, mm/ día.

K_p = Coeficiente de bandeja. [Tabla N° 3.21]

PE = Evaporación de bandeja clase A.

La bandeja de evaporación integra los factores de clima y provee un buen estimado de la ETP si se le da buen servicio de mantenimiento y manejo. Los coeficientes de tanque de evaporación clase A dados por Doorenbos y Pruitt [1977], para diferentes condiciones alrededor del tanque, aparecen en la Tabla N° 3.21.

Tabla N° 3.21
Coeficiente para el Tanque de Evaporación clase A (Kp) bajo diferentes condiciones.

Bandeja Clase A		Condición A Bandeja rodeada por grama			Condición B* Bandeja rodeada por tierra seca y descubierta			
Promedio de HR, %		Baja	Media	Alta		Baja	Media	Alta
		40	40 - 70	70		40	40-70	70
Viento** Km/día	Distancia de la grama verde, m.				Distancia del suelo seco, m.			
Suave 175	0	0.55	0.55	0.75	0	0.70	0.80	0.85
	10	0.65	0.75	0.85	10	0.60	0.70	0.80
	100	0.70	0.80	0.85	100	0.55	0.65	0.75
	1000	0.75	0.85	0.85	1000	0.50	0.60	0.70
Moderado 175- 425	0	0.50	0.60	0.65	0	0.65	0.75	0.80
	10	0.60	0.70	0.75	10	0.55	0.65*	0.70
	100	0.65	0.75	0.80	100	0.50	0.60	0.65
	1000	0.70	0.80	0.80	1000	0.45	0.55	0.60
Fuerte 425-700	0	0.45	0.50	0.60	0	0.60	0.65	0.70
	10	0.55	0.60	0.65	10	0.50	0.55	0.65
	100	0.60	0.65	0.70	100	0.45	0.45	0.60
	1000	0.65	0.70	0.75	1000	0.40	0.45	0.55
Muy fuerte 700	0	0.40	0.45	0.50	0	0.50	0.60	0.65
	10	0.45	0.55	0.60	10	0.45	0.50	0.55
	100	0.50	0.60	0.65	100	0.40	0.45	0.50
	1000	0.55	0.60	0.65	1000	0.35	0.40	0.45

* Para áreas extensivas de suelos descubiertos y no desarrollados en la fase agrícola, reduzca los valores de Kp en 20% bajo condiciones de viento caliente y en 5 a 10 % para condiciones moderadas de viento, temperatura y humedad.

** Movimiento de viento total en km/día.

3.5.7.2. INFORMACION BASICA

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

A) Cálculo de Demandas Hídricas del Sistema Integral Lagunillas (SIL)

Se ha utilizado la fórmula de evapotranspiración potencial de **Penman modificado** por Doorenbos y Pruitt [1977] - FAO para estimar las demandas hídricas en cada uno de

los bloques de riego (11 en total) de la Irrigación Sistema Integral Lagunillas (SIL). Los datos utilizados para la aplicación de este método, son los que se resume en la Tabla N° 3.22. Los valores de temperatura máxima (Tmax), temperatura minina (Tmin), humedad relativa (HR) y velocidad de viento (Vel. Viento) corresponden a la estación climatológica de Cabanillas; los valores de horas de sol corresponde a la estación climatológica de Juliaca, este parámetro no se registra en Cabanillas.

Tabla N° 3.22
Cálculo de Evapotranspiración Potencial – Parámetros Climatológicos
(Estación Cabanillas)

Mes	Tmax	Tmin	HR	Vel. Viento	Horas de Sol
	(°C)	(°C)	(%)	(km/d)	(Hr.)
Enero	16.1	4.5	63.1	157.8	5.7
Febrero	15.9	4.6	64.2	125.6	6.5
Marzo	16.0	4.3	64.3	122.1	6.3
Abril	16.4	2.9	55.4	157.8	7.3
Mayo	16.4	0.2	44.5	191.2	9.3
Junio	15.7	-1.7	44.8	205.6	9.3
Julio	15.8	-2.1	44.8	207.9	9.2
Agosto	16.3	-0.5	44.5	201.6	9.0
Septiembre	17.1	1.4	45.2	239.0	8.6
Octubre	17.5	2.6	47.1	204.5	8.1
Noviembre	17.9	3.4	46.6	206.2	8.3
Diciembre	17.2	4.0	54.3	181.4	7.6

B) Cálculo de la Evapotranspiración Regional (Cuenca Coata)

En función de la disponibilidad de parámetros climáticos en todas las estaciones de la región materia del presente reporte, para regionalizar la evapotranspiración potencial en la Cuenca del río Coata, se ha utilizado la fórmula de **Hargreaves modificado** [Linacre, E. T., 1977]. Los parámetros necesarios son la temperatura media, temperatura máxima y temperatura minina corresponden a los valores registrados en cada una de las estaciones respectivas. Además de los valores de temperatura también se ha estimado la Radiación Extraterrestre expresada en unidades de evaporación (mm/día) utilizando los valores de la Tabla N° 3.23. este valor se calcula en función a la latitud de ubicación geográfica de la estación meteorológica respectiva.

C) Cálculo de la Evapotranspiración (Tanque Evaporímetro tipo A)

Con fines de verificar la variación de la evapotranspiración estimada con las formulas de Pennman modificado, Hargreaves modificado y otras formulas empleadas, se ha utilizado el método del tanque evaporímetro en función a la evaporación registrada disponible en algunas estaciones meteorológicas de la cuenca Coata. Se ha utilizado un coeficiente de bandeja (Kp) igual a 0.75 (ver Tabla N° 3.21) para una velocidad de viento promedio de 183 Km/hr., una humedad relativa promedio de 52%, y en la mayor parte de las estaciones meteorológicas existentes se ha observado de que el terreno que rodea a los instrumentos de medición esta descubierta, mayormente en el

área de ubicación de los instrumentos el suelo esta compuesto de una capa de grava gruesa. En la parte externa existen gramas y pastos en poca densidad.

Tabla N° 3.23
Radiación Extraterrestre (Ra) expresada en unidades de Evaporación (mm/día)

LATITUD SUR	MESES											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
30	17.8	16.4	14	11.3	8.9	7.8	8.1	10.1	12.7	15.3	17.3	18.1
28	17.7	16.4	14.3	11.6	9.3	8.2	8.6	10.4	13	15.4	17.2	17.9
26	17.6	16.4	14.4	12	9.7	8.7	9.1	10.9	13.2	15.5	17.2	17.8
24	17.5	16.5	14.6	12.3	10.2	9.1	9.5	11.2	13.4	15.6	17.1	17.7
22	17.4	16.5	14.8	12.6	10.6	9.6	10	11.6	13.7	15.7	17	17.5
20	17.3	16.5	15.0	13.0	11.0	10.0	10.4	12.0	13.9	15.8	17.0	17.4
18	17.1	16.5	15.1	13.2	11.4	10.4	10.8	12.3	14.1	15.8	16.8	17.1
16	16.9	16.4	15.2	13.5	11.7	10.8	11.2	12.6	14.3	15.8	16.7	16.8
14	16.7	16.4	15.3	13.7	12.1	11.2	11.6	12.9	14.5	15.8	16.5	16.6
12	16.6	16.4	15.4	14.0	12.5	11.6	12.0	13.2	14.7	15.8	16.4	16.5
10	16.4	16.3	15.5	14.2	12.8	12.0	12.4	13.5	14.8	15.9	16.2	16.2
8	16.1	16.1	15.5	14.4	13.1	12.4	12.7	13.7	14.9	15.8	16.0	16.0
6	15.8	16.0	15.6	14.7	13.4	12.8	13.1	14.0	15.0	15.7	15.8	15.7
4	15.5	15.8	15.6	14.9	13.8	13.2	13.4	14.3	15.1	15.6	15.5	15.4
2	15.3	15.7	15.7	15.1	14.1	13.5	13.7	14.5	15.2	15.5	15.3	15.1
0	15.0	15.2	15.7	15.3	14.4	13.9	14.1	14.8	15.3	15.4	15.1	14.8

En la Figura N° 3.21 se observa que la variación de la evapotranspiración calculada para la estación de Cabanillas con las formulas de Penman modificado, Hargreaves modificado describen una variación similar al descrito utilizando el método del Tanque evaporímetro. La formula de Serruto muestra divergencias. Como se podrá concluir, el método del tanque evaporímetro nos da una idea de la variación del fenómeno de la evapotranspiración, lo que sirve para calibrar los resultados obtenidos con las diferentes formulas de calculo de la evapotranspiración.

3.5.7.3. EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL EN LA CUENCA

Con las formulas de evapotranspiración seleccionada y los datos de climatología disponibles se ha realizado el cálculo de de la evapotranspiración potencial en la cuenca, tal como se describe a continuación:

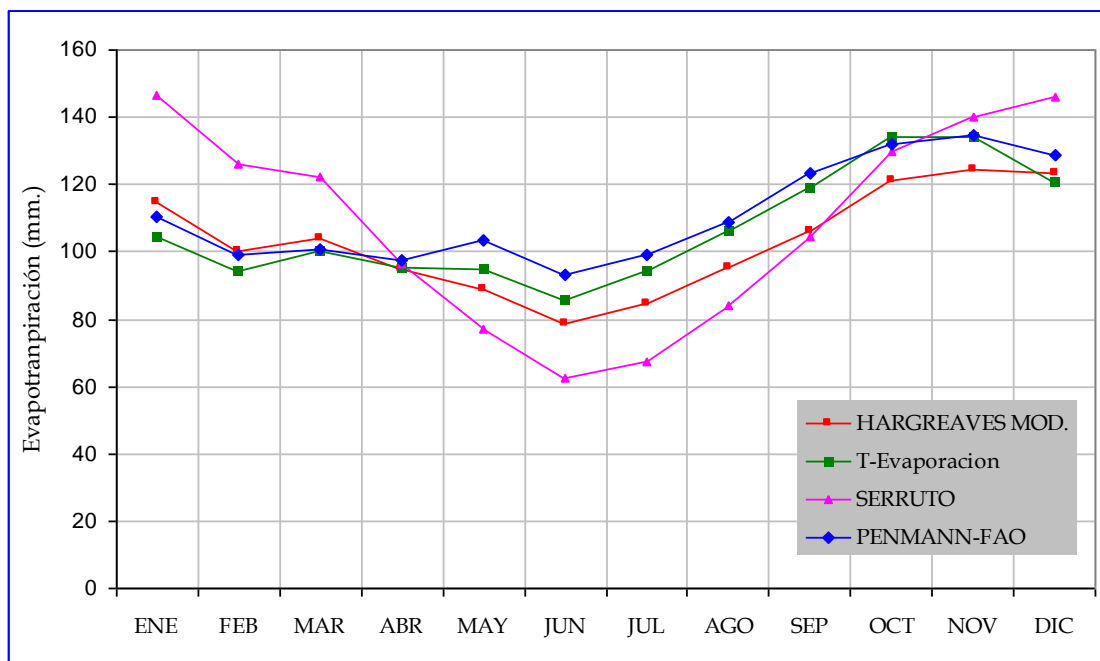
A) Evapotranspiración Potencial del Sistema Integral Lagunillas (SIL)

Utilizando los datos de la Tabla N° 3.22 y aplicando las formulas de Penman modificado, Hargreaves modificado, Serruto y Tanque Evaporímetro se ha calculado los valores de la evapotranspiración mensual para la estación de Cabanillas. En la Tabla N° 3.24 se presenta los valores mensuales de la evapotranspiración potencial y en la Figura N° 3.21 se presenta la variación de la evapotranspiración potencial.

Tabla N° 3.24
Evapotranspiración Potencial (mm/mes) – Estación Cabanillas

ETP	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
HARGREAVES MOD.	114.88	99.97	103.75	94.61	88.63	78.46	84.43	95.30	106.26	121.21	124.44	123.18
Tanque Evaporación	104.68	94.17	100.25	95.27	94.82	85.72	94.23	106.06	118.89	134.31	134.20	120.48
SERRUTO	146.77	126.13	122.29	96.44	76.83	62.40	67.07	84.06	104.35	130.07	140.04	146.20
PENMANN-FAO	110.63	99.21	100.76	97.41	103.17	93.14	98.88	108.76	123.40	131.80	134.69	128.79

Figura N° 3.21
Evapotranspiración Potencial (mm/mes) – Estación Cabanillas



Los resultados obtenidos de los valores de la evapotranspiración potencial mediante la fórmula de Pennman modificado (Tabla N° 3.24) se utilizó para calcular las demandas hídricas agrícolas de los bloques de riego del SIL.

B) Evapotranspiración Regional (Cuenca Coata)

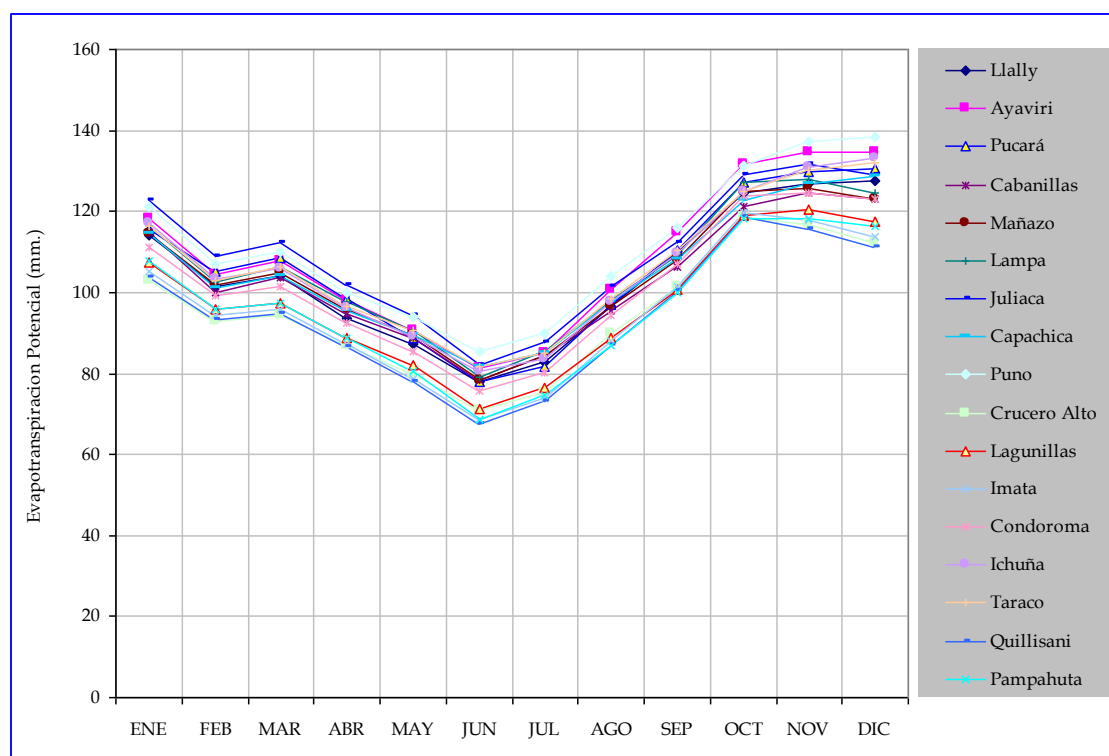
Con la aplicación de la fórmula de evapotranspiración potencial de Hargreaves modificado, se ha calculado la evapotranspiración potencial para cada una de las estaciones de la Región. En la Tabla N° 3.25 se presenta los valores de la evapotranspiración potencial en todas las estaciones de la Región (Cuenca del río Coata y estaciones de apoyo correspondiente a cuencas vecinas), consideradas en el presente reporte. En la Figura N° 3.22 se observa en forma gráfica.

En la Figura N° 3.23 se presenta la distribución espacial de la evapotranspiración potencial para los valores del promedio anual, dentro el ámbito de la cuenca del río Coata. Se observa que los valores altos (109 mm.) se registran en la parte baja de la cuenca (cerca al Lago Titicaca), lugares donde las temperaturas son mas bajas con respecto a las zonas ubicadas en la cabecera (parte alta) de la cuenca (94 mm.).

Tabla N° 3.25
Evapotranspiración Potencial (mm/mes)
Estaciones de la Región (Cuenca Coata y Estaciones de Apoyo)

ESTACION	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM
Llally	114.06	101.34	104.01	93.80	87.36	78.02	82.70	96.70	110.15	124.46	126.92	127.47	103.92
Ayaviri	118.16	104.60	107.66	98.27	90.68	81.21	85.04	100.82	114.96	131.67	134.47	134.67	108.52
Pucará	115.50	105.26	108.39	98.42	88.67	78.03	81.67	96.97	110.42	127.36	129.96	130.66	105.94
Pampahuta	107.84	95.77	97.42	88.69	80.51	68.71	74.70	86.80	99.95	118.20	118.17	116.43	96.10
Cabanillas	114.88	99.97	103.75	94.61	88.63	78.46	84.43	95.30	106.26	121.21	124.44	123.18	102.93
Mañazo	114.60	101.88	104.87	95.86	89.60	78.41	84.31	96.75	108.30	124.88	125.73	123.26	104.04
Lampa	116.28	102.58	106.37	97.64	90.47	79.10	85.36	98.10	109.28	127.22	127.96	124.56	105.41
Juliaca	122.77	109.00	112.11	101.65	94.38	81.96	87.69	101.33	112.26	129.20	131.57	128.90	109.40
Capachica	114.52	101.15	104.08	95.37	89.40	81.60	85.02	97.80	108.31	122.61	126.63	128.54	104.59
Puno	121.36	106.91	109.89	100.07	93.80	85.26	89.76	104.16	115.97	131.35	137.18	138.46	111.18
Crucero Alto	102.95	92.68	94.45	86.82	79.95	70.89	75.50	89.77	101.32	118.66	116.84	112.42	95.19
Lagunillas	107.58	95.75	97.21	88.69	82.20	71.18	76.60	88.58	100.88	118.80	120.46	117.48	97.12
Imata	105.33	94.30	95.90	87.39	78.78	68.45	73.85	87.90	101.61	119.74	117.82	113.60	95.39
Condoroma	111.28	99.08	101.41	92.58	85.24	75.57	80.29	94.38	107.17	123.78	124.68	123.00	101.54
Ichuña	117.23	103.21	105.90	96.17	89.21	80.39	83.62	97.56	109.48	124.92	130.95	133.13	105.98
Taraco	116.45	103.05	106.12	96.78	90.52	81.69	85.04	98.62	110.24	125.11	130.13	131.96	106.31
Quillisani	103.59	93.13	94.72	86.44	77.95	67.46	72.95	86.79	100.40	118.47	115.74	111.11	94.06
Pampahuta													

Figura N° 3.22
Evapotranspiración Potencial (mm/mes)
Estaciones de la Región (Cuenca Coata y Estaciones de Apoyo)



3.6. ECOLOGIA

En la cuenca del río Cabanillas y Lampa se han identificado y cartografiado cinco (05) zonas de vida, comprendidas dentro de la región latitudinal subtropical y templada cálida, que a continuación se describe. En la Figura N° 3.24 se presenta la distribución espacial de las zonas de vida en la cuenca del río Coata. Se observa que las zonas de vida que predominan son el Páramo Muy Húmedo Subalpino Subtropical (45.73% de área), Tundra pluvial Alpino Subtropical (31% de área) y Bosque Húmedo Montano subtropical (19.62% de área).

Zonas de vida

1.) Bosque Húmedo Montano SubTropical (bh-MS)

Se distribuye generalmente entre los 3,850 y 4,050 msnm., sobre una extensión superficial de 962.84 Km², equivalente al 19.62% del área de la cuenca. Posee un clima semiárido- Frío, con temperatura media anual entre 6 °C y 22 °C; y precipitación pluvial total, promedio anual, entre 500 y 1,000 mm. La cubierta vegetal lo conforma especies graminales altoandinas con una distribución muy dispersa, asociada con cactáceas. Las tierras de esta zona de vida son utilizadas para el pastoreo estacional o temporal.

2.) Nivel Subtropical (NS)

Se distribuye, entre los 4,880 y 5,400 msnm., sobre una extensión superficial de 141.39 Km², equivalente al 19.62% del área de la cuenca. Posee un clima Súper húmedo muy frío, con temperatura media anual entre 0 °C y 15 °C; y precipitación pluvial total, promedio anual, entre 500 y 1,000 mm. La cubierta vegetal es escasa, observándose en forma muy esparcida matas de gramíneas altoandinas, tayas y algunas cactáceas. Las condiciones topográficas y ecológicas son factores que limitan toda actividad antrópica dentro de esta zona de vida.

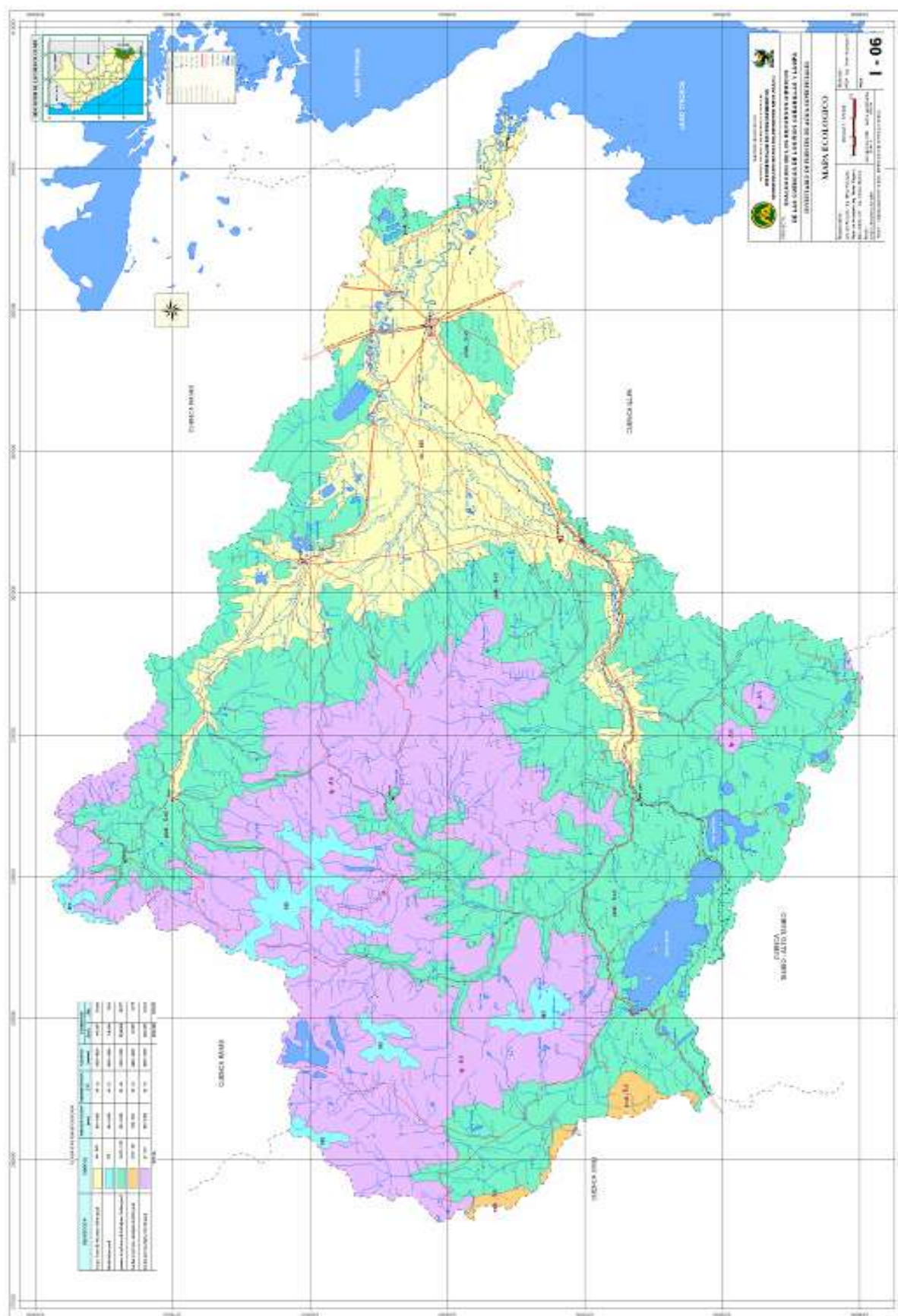
3.) Páramo Muy Húmedo Subalpino Subtropical (Pmh-SaS)

Se distribuye en los valles interandinos y laderas de la vertiente occidental de la Cordillera de los Andes, entre los 3,850 y 3,950 msnm., sobre una extensión superficial de 2,244.50 Km², equivalente al 45.73% del área de la cuenca. Posee un clima semiárido-frío, con temperatura media anual entre 3 °C y 6 °C; Y precipitación pluvial total, promedio anual entre 250 y 500 mm. La cubierta vegetal lo conforma especies graminales altoandinos con una distribución muy dispersa, asociada con cactáceas. Las tierras de esta zona de vida son utilizadas para el pastoreo estacional o temporal.

4.) Tundra Muy Húmeda Alpino Subtropical (tmh-AS)

Se distribuye sobre la estepa espinosa entre los 4,400 y 4,600 msnm., sobre una extensión superficial de 38.04 Km², equivalente al 0.78% del área de la cuenca. Posee un clima Perhúmedo - Frío, con temperatura media anual entre 3 °C y 15 °C; y precipitación pluvial total, promedio anual entre 500 y 1000 mm. La cubierta vegetal lo conforma una vegetación graminal de pradera altoandina algo dispersa asociado con cactáceas del género Opuntia. En las tierras de esta zona de vida.

Figura N° 3.24
Distribución de las Zonas de Vida - Cuenca del río Coata



5.) Tundra pluvial Alpino Subtropical (Tp-AS)

Se distribuye entre los 4,300 y 5,000 msnm. sobre una extensión superficial de 154.67 Km², equivalente al 31% del área de la cuenca. Posee un clima húmedo-muy frío, con temperatura media anual entre 3 °C y 15 °C; y precipitación pluvial total, promedio anual, entre 500 y 1,000 milímetros. La cubierta vegetal lo conforma una vegetación típica de pradera altoandina constituida por pastos naturales principalmente de la familia Gramíneas más o menos denso. Las tierras de esta zona de vida son utilizadas para el pastoreo de auquénidos y ovino.

3.7. GEOLOGIA

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

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

En la Figura N° 3.25 se presenta las características geológicas en la cuenca del río Coata.

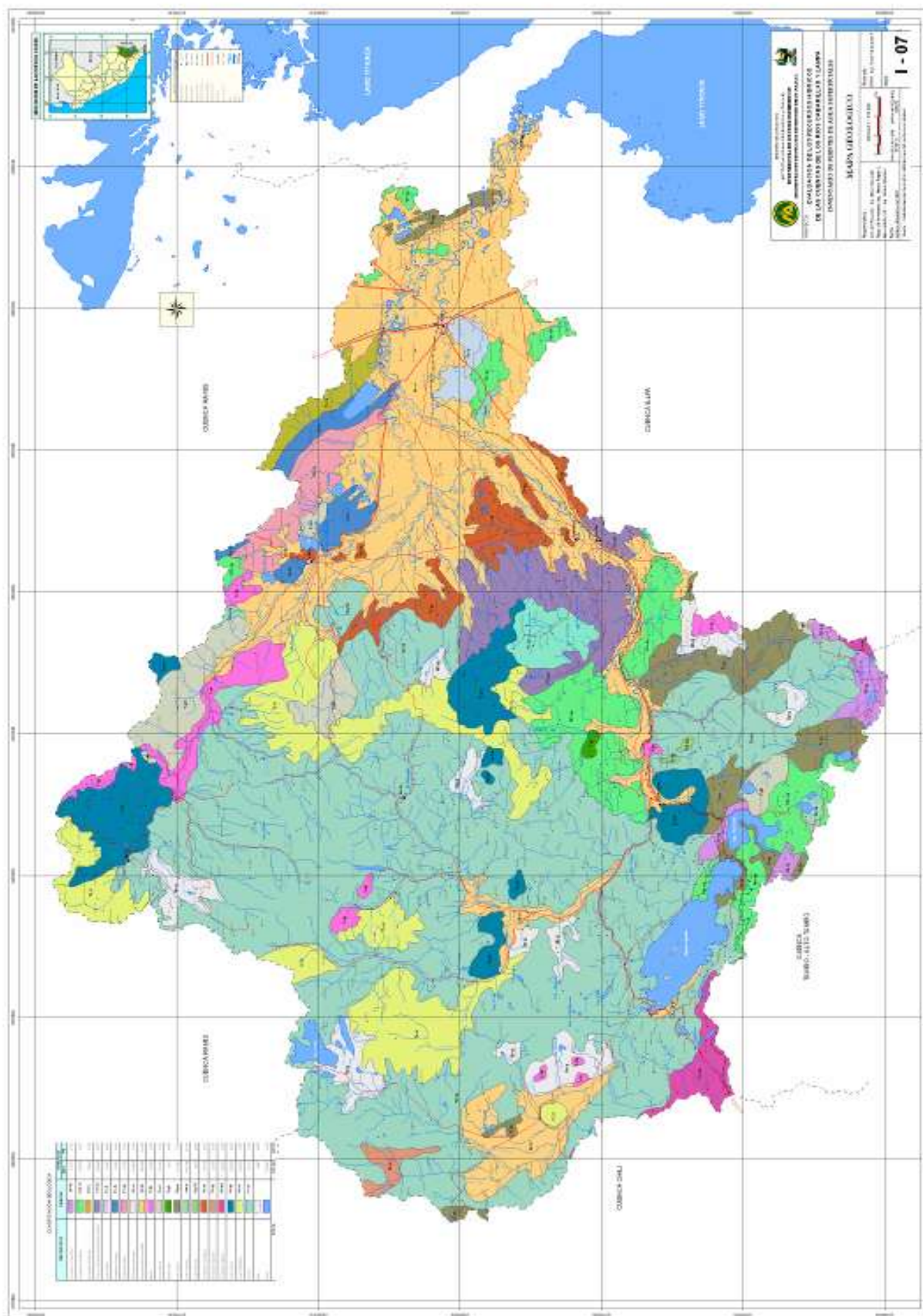
1) Formación Lagunillas (JKi-lg)

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

2) Formación Ayabaca (Km-ay)

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

Figura N° 3.25
Geología - (Cuenca del río Coata)



Regionalmente y sobre todo la base, es un contacto teutónico por lo que las relaciones estratigráficas no son bien conocidas, sin embargo, en el cuadrángulo de puno al SO de Cabanillas y en la hacienda Taya-Taya, la formación parece descansar concordadamente sobre una secuencia delgada de transición sobre la formación arenisca angostura.

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

En términos generales, la formación consiste de una matriz fangolítica roja isótropa alrededor del bloque y escamas de caliza fallados y plegados complejamente.

3) Formación Calapuja (Pi-Ca)

La formación Calapuja deriva su nombre del pueblo Calapuja en el cuadrángulo de Juliaca. La descripción fue hecha por Laubacher en la Hacienda buena Vista 2.5 Km al SSE de Calapuja, esta formación aflora como una faja rumbo NW en el cuadrángulo de Juliaca y por la presencia de capas de arenitas cuarcífera en la parte superior de la secuencia, produce una presencia fotogeológica muy distintiva, estas forman espinazos de tono gris claro, dentro de un terreno color grismas moderado, la secuencia se extiende al NO del cerro Lulicunca donde a un kilómetro al NO de la Hacienda Ccoa, afloran calizas delgadas, de 20 cm. de grosor en una secuencia de limonitas micáceas, gris verdosas, conteniendo pelecipodos y corales solitarios.

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

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

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

5) Grupo Iscay (Ps-ls)

El grupo deriva su nombre del cerro Iscay Pucara, cuadrángulo de Juliaca y puede ser designado como el área tipo para este grupo.

Este grupo puede ser dividido aproximadamente en dos litologías principales: una secuencia inferior de flujo de lava que producen un tono pálido y trazas de capamiento espaciado estrechamente sobre las fotografías aéreas, y una unidad superior rosácea que ocasiona tonos mas pálidos, intemperiza formando pináculos y trazas de estratificación fina y esta cubierta por vegetación fina.

La parte basal de la secuencia esta expuesta en la hacienda Chañocahua donde brechas y tufitas descansan sobre arenisca del Grupo Mitu. Arenitas arcositas líticas predominan con granos angulosos de cuarzo y feldespatos en una matriz de limonita, las areniscas están intercaladas con brechas volcánicas y arenitas tobáceas con capamientos sobre una escala de 10 a 20 cm. Sobre las lavas existe una secuencia de rocas piroclásticas en la cual predominan las tobas de cristal

6) Formación Lampa (Ps-la)

Esta formación deriva su nombre del pueblo de Lampa en el cuadrángulo de Juliaca, la mayor exposición de su cuenca en el corte de la carretera Pucara- Lampa en el valle de la quebrada Matara.

Esta formación presenta una expansión fotogeológica muy distintiva, siendo reconocida por dos criterios: soporta una cobertura constituida vegetación de maleza y arbustos bajos llamados Queñuas.

Se calcula una potencia de 750 m. para la sección de la quebrada Piñara, sin embargo esta es variable en el área.

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

7) Formación Mitu (Ps-mi)

El nombre Mitu fue originalmente aplicado por Mc Laughlin (1924) para una secuencia de capas rojas persianas en el Perú central. Una fase volcánica fue reconocida y designada con el nombre de Volcánicos santa Catalina (Yauli) posteriormente Newell (1953) aplicaron el nombre de grupo Mitu en forma genérica para definir la sucesión de capas rojas persianas los volcánicos suproyasentes como un solo grupo.

La formación Mitu aflora como una faja estrecha con rumbo NO Pocahumpu el SE, hasta el Cerro Mojón. El afloramiento se repite por fallas de rumbo, especialmente en la sección entre lampa y el abra de lampa

Las capas rojas caracterizan al grupo Mitu pero a diferencia del área tipo, los conglomerados no son frecuentes. La litológicas más típicas son areniscas arcósicas a subarcósicas de grano fino a medio

Turner (1980) remarco que las capas rojas continentales no necesariamente tienen significancia paleo climática, la presencia de granos de cuarzo bien redondeados y esféricos en las arenas mixtas con muchos granos angulares es tomada como indicativa de una fuente árida para parte de este grupo. No se han reconocido plantas fósiles.

8) Deposito Glaciares (Qp-g)

Consisten en gran parte de derrubios estratificados, compuestos de gravas y arenas depositadas por agua de derretimiento, forman llanuras de depósitos Glaciares a altitudes bajo las cuales, han sido alcanzados por hielos glaciales estas gravas tardías

descansan en una superficie de erosión muy uniforme, suavemente inclinada desarrollada a una altura de aproximadamente 4 150 a 4 200 m u esta inmediatamente pendiente debajo de las morrenas terminales en la parte norte de la laguna Sutunta.

Los tamaños de los granos gruesos de los sedimentos aluviales preservados como terrazas en alguno de los valles principales, sugieren que estos fueron depósitos por derretimiento de aguas acompañado al retroceso de glaciares, pero como han sido bien diferenciados, en los mapas geológicos han sido relevados como aluviales.

9) Deposito Aluvial Resiente (Qr-al)

Se presentan esparcidas sobre el altiplano cerrando al Lago Titicaca. Comprenden por arcillas y limos, arena, y gravas no consolidadas depositadas por la corriente de ríos, flujos de agua y corrientes laminares todas ellas incluyen sedimentos fluviales y coluviales. En los valles principales, los sedimentos coluviales y los depósitos fluviales jóvenes como los mas antiguos, pueden distinguirse perfectamente.

En el río Cabanillas, área del valle del río Verde aproximadamente 20 m. de grava de Guijarros y área con rodados están depositados en cuatro terrazas de las cuales las mas altas tienen 20 m. por encima del presente nivel del río. Cerca al poblado de Cabanillas se tiene evidencias de que algunas de estas gravas se interdigital en la formación Azángaro.

10) Dacitas (T-da)

Pequeños stocks de andesitas subvolcánicas y de dacitas se encuentran en muchas áreas con el vulcanismo de Tacaza. Sillapaca y Barroso, ellos representan los conductos de chimeneas volcánicas para las lavas sobreyacentes. Las erosiones generalmente forman pequeños cerros subcirculares de lados escalonados, verticales los que con frecuencia presentan fracturas de enfriamiento hexagonal complejamente orientadas. Composicionalmente se distinguen de las lavas asociadas.

11) Granodiorita (T-gd)

Este grupo aflora principalmente en los cuadrángulos de Ocuviere y Juliaca, forman una cadena de plutones, los cuales son paralelos ala faja de sobreescorrimento del Mioceno.

Los rangos del color de la roca son de anaranjado, rosado verdoso a gris marrón claro.

12) Porfiroides (T-pf)

Los porfidos intrusivos están asociados con la fase principal del vulcanismo y en algunos casos el porfido en el cuadrángulo de Callalli esta asociado con la Ignimbrita Confital, descrita con al sección de la unidad volcánica pertinente. Incluye un grupo variado de rocas porfiritica, de grano fino cuya composición alcanza el rango de diorita a monzogranita. Los siguientes ejemplos sirven para ilustrar las diferentes composiciones y relaciones estructurales encontradas.

13) Grupo Puno (Ti-pu)

Generalmente, en la unidad mas baja, ocurren tobas con estratificación gradada, con frecuencia muestran en el tope, un banco de ignimbrita blanca con una extensión lateral amplia.

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

El contacto con las principales secuencias de lavas suprayacentes, no es claro. Las lavas tienden a formar una superficie plana suavemente ondulada a la altura de los 4 200 m en el sur, llegando hasta los 4 640m en el centro de Jilarata. Grandes farallones abruptos caracterizan a los afloramientos en la valle Ccallaccame.

14) Grupo Tacaza (Tm-ta)

Más hacia el este, en el área de Mañazo el grupo consiste predominantemente de areniscas con menos conglomerados en el tramo lagunillas- mañazo, los sedimentos parecen llegar a ser de grano fino hacia el este.

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

15) Grupo Barroso (TQ-ba)

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

16) Formación Azángaro(Ts-az)

La formación Azángaro fue descrita por Newell (1949) como depósitos lacustre del río Azángaro. La formación aflora en muchos lugares del altiplano en el cuadrángulo de Juliaca a lo largo del valle de Cabanillas, en el cuadrángulo de Puno y en el cuadrángulo de Juli.

En el cuadrángulo de Juliaca, cerca de Santiago de Pupuja la superficie, superior de la formación constituye planicies de aproximadamente 3 900m. cuyas pendientes bajan gradualmente a 3 850 en la laguna Luncha. La erosión a través de largos ríos a cortado ala formación re-depositando los materiales como aluviales resientes, la erosión en el borde del afloramiento es acelerada.

La sección expuesta en la cantera cerro Puruntane en el cuadrángulo de Juliaca es mas conglomerada, unidades de arena con estratificación cruzada se intercalan se intercalan con conglomerados de poca matriz, los cantos exceden 10 cm. de diámetro y se observan cóncavas.

17) Formación Ipururo (Ts-ip)

En el modelo niomal usualmente consiste de arenitas con estratificación gradada, sin embargo, en el area de Juliaca, esta propiedad no es muy reconocible. Las areniscas ocurren en capas de entre 12 y 60 cm. De grosor sus bases son distintas y erosivas y abecés muestran estructuras de compactación. Se compone de arenisca cuarcífera limolíticas en la que la moscovita tiene un pronunciado paralelismo con la estratificación, siendo el sorteo usualmente pobre.

18) Formación Maure (Ts-ma)

El termino Formación Maure fue introducido por primera ves por Wilson y García (1962) para una secuencia de sedimentos y piro clásticos post- grupo Barroso, en el área de palca en el sur del Perú, derivado aparentemente del nombre Mauri usado previamente Douglas (1914) para rocas en el área del río Mauri en el norte de Bolivia.

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

19) Grupo Palca (Ts-pa)

El nombre de este grupo ignimbrítico, ha sido tomado del pueblo de palca, en el cuadrángulo de Ocuviere donde se le ha definido; aun no se ha definido una sección tipo.

Este grupo tiene una gran extensión árela en el sector de Ocuviere, pasando ala esquina NO y SO del cuadrángulo de Juliaca y en la parte NE del cuadrángulo de Lagunillas, donde se le encuentra infrayeciendo a la secuencia de loa cordillera de la Cordillera de Sillapaca.La base esta expuesta al norte de Palca, donde este grupo descansa en discordancia angular sobre el grupo Tacaza.

Las igninbritas forman una superficie de plataforma disectada a una cota de aproximadamente 4 600 m en el sector E. subiundo hasta los 5 000m.y en la parte central del cuadrángulo de Ocuviere. El control morfológico principal, es el grado de intemperismo, el mismo que es notable al sur de Palca donde la expresión fotogeologica esta caracterizada por un tono gris claro a medio y junturas por enfriamiento producto de un diseño ortogonal. Sobre los lados escarpados de los

valles, el Grupo semeja una intrusión sobre una topografía tipo mesa, cerrando espacios en la Junturas y produciendo efectos muy similares a Karst; donde la signinbritas podrían ser confundidas con calizas en las fotografías aéreas.

20) Grupo Sillapaca (Ts-si)

El término se ha derivado de la cordillera Sillapaca al NO del cuadrángulo de Lagunillas, nominado por Jenks y Newell (1949) usando ambos el nombre de volcánicos Sillapata y "Grupo Sillapaca". Posteriormente Portugal (1948) introduce el temino formación sillapaca, alo largo de los volcánicos de la cordillera.

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

En el área tipo el Grupo Sillapaca descansa coordinadamente sobre el grupo Palca con una ínter digitalización local den la región de Qello Apacheta. También descansa en discordancia angular sobre el grupo Tacaza mas joven en el cerro Pucasalla.

21) Granito (Ps-gr)

Este grupo afora en lo cuadrángulos de Ocuviiri y Juliaca, forman una cadena de plutones, los cuales son paralelos ala faja de sobre escurrimiento del Mioseno.

El grupo de intrusiones se ubica al O de la hacienda Sucre en el cuadrángulo de Juliaca es la intrusión mas extensa y presenta la variación mas amplia en composición y litología. Los rangos del color de la roca son de anaranjado, rosado verdoso a gris marrón claro.

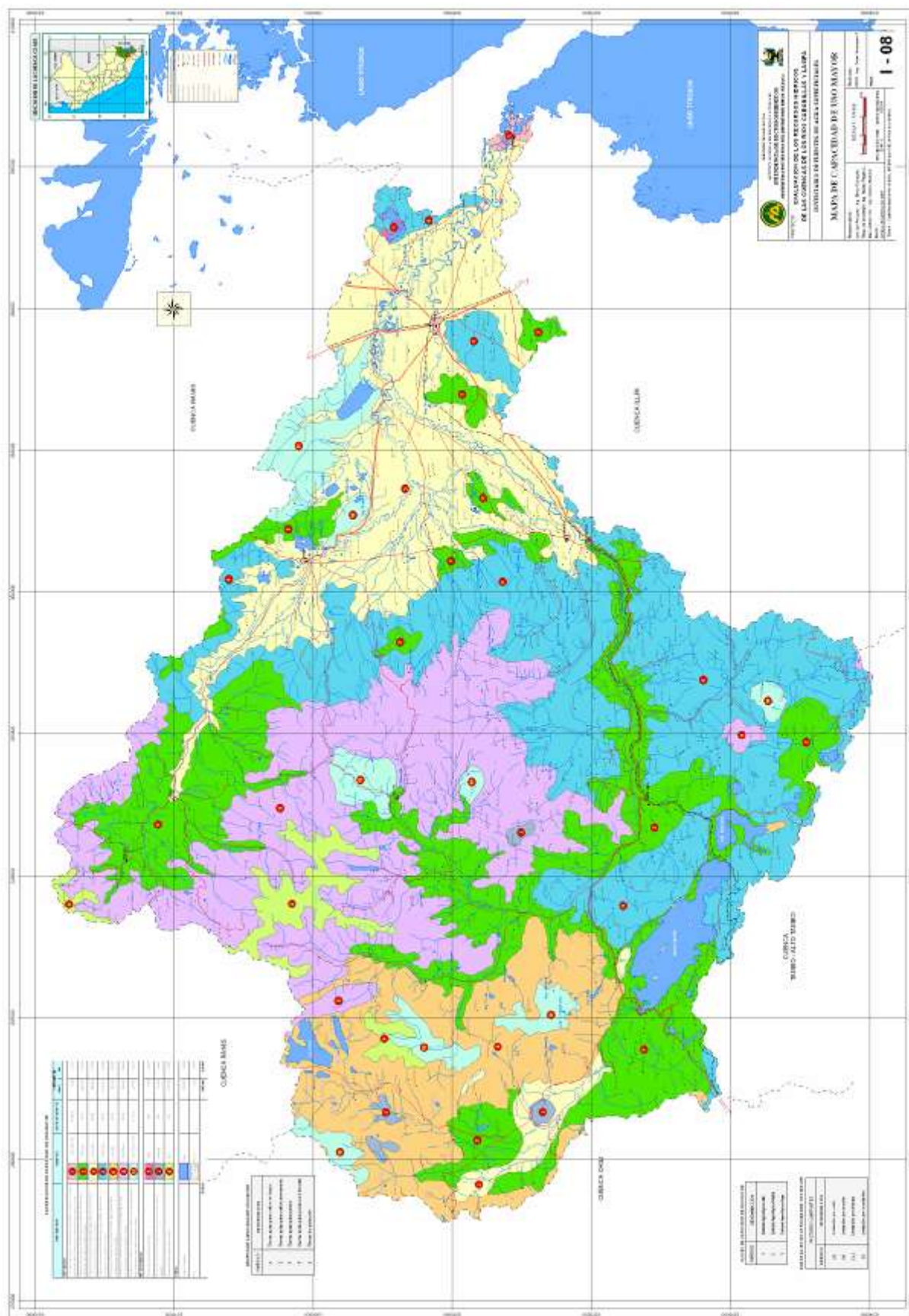
En secciones delgadas las plagioclasas forman cristales subhedrales zonificados hasta de 5 mm. de largo en un mosaico de grano grueso con cuarzo plagioclasa y ortoclasa, los minerales maficos son Biotitas y tremolitas euhedral a subhedral muy pálido, los accesorios son: zirrones con minerales opacos.

3.8. USO MAYOR DE SUELOS

Según la clasificación de suelos elaborada por ONERN se ha representado los suelos mediante una unidad cartográfica amplia: La Asociación de Suelos, utilizando como unidades taxonómicas los Grandes Grupos de Suelos significativos. Ver Figura N° 3.26 (Mapa de Capacidad de Uso Mayor).

Las asociaciones se identifican en el Mapa H-08 (Ver Anexo, Volumen III), Mapa de Grandes Grupos de Suelos y Capacidad de Uso mediante símbolos literales, complementariamente a la simbología edáfica, se ha añadido las Clases de Capacidad de Uso dominantes, expresados en números romanos, con el fin de señalar el potencial agropecuario de cada una de ellas. En algunos casos se ha recurrido al empleo de una

Figura Nº 3.26
Uso Mayor de Suelos - Cuenca del río Coata



fracción donde el numerador representa la clase dominante y el denominador la clase subdominante.

1) Cultivos en Limpio (A3sc-P1sc-Xs)

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

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

Se reúnen en este grupo las tierras que aparecen aptas para cultivos temporales y permanentes. En esta clasificación la extensión es de 8.71 Km², que representa un 0.18 % del área total de la cuenca, área que sirve para cultivo en limpio como fagáceas, poaceas. Limitada por el clima y el suelo, también apta para el pastoreo.

La clasificación es la siguiente:

Calidad agrológica baja- pastoreo, calidad agrológica alta, limitaciones por suelo y clima. En una proporción de 50-40-10.

2) Pastoreo de Paramo (P2sc-Xse)

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

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

Descrita como de calidad agrológica media, protección limitación por suelo y clima. Abarca un área de 1,021.43 Km², que representa un 20.81 % de la cuenca.

El uso de estas tierras requiere de prácticas intensas de conservación y manejo de suelos, para manejar las áreas con drenaje imperfecto del suelo Gris, se recomienda un uso racional de los pastos, evitando el sobre pastoreo, mediante las siguientes prácticas: instalación de cercos, poca carga animal, pastoreo distanciado para que se recuperen los pastos, etc. También se recomienda la incorporación de abonos orgánicos y de fertilizante sintéticos en forma racional y balanceada y también se recomienda realizar encaladuras para elevar el pH del suelo.

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

3) Pastoreo de Paramo (P2sec-Xse)

Está conformada por suelos superficiales a profundos, de textura moderadamente fina

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

Descrita como calidad agrológica media - protección. Limitada por suelo, erosión y clima. Abarca un área de 862.83 Km² la que representa un 17.58% del área de la cuenca.

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

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

4) Pastoreo de Paramo (P3sec-Xse)

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

Descrita como calidad agrológica baja-protección. Limitaciones por suelo y erosión. Abarca un área de 1,118.48 Km², la que representa un 22.79% del área de la cuenca.

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

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

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

5) Protección (Xs-P3se)

Está conformado por las unidades de áreas misceláneas identificadas como Cauce, que se encuentra en algunas zonas. La limitación principal está referida al factor edáfico, debido a la ausencia del recurso suelo. Incluye a la unidad de área miscelánea identificada como Misceláneo Cauce (Rw) en pendiente plana a ligeramente inclinada (0-4%). Abarca un área de 495.19 Km², la que representa un 10.10% del área total de la cuenca.

Agrupar aquellas tierras que presentan limitaciones extremas para hacerlas apropiadas para la explotación silbo-agropecuaria, quedando relegadas para otros propósitos como por ejemplo áreas recreacionales, zonas de protección de vida silvestre, plantaciones forestales para protección de cuencas, lugares de belleza escénica, ubicación de nuevas localidades, extracción de minerales, crianza de peces, y ranas, etc. Dentro de estas tierras se incluyen a las áreas de ríos, lagunas y localidades.

6) Protección (X se-P3sec)

Está conformado en algunos casos por suelos moderadamente profundos a profundos, ubicados en pendiente muy empinada a extremadamente empinada, de textura moderadamente fina a moderadamente gruesa, de drenaje bueno a moderado y de reacción muy fuerte a extremadamente ácida (pH 4,5 a 6,2), donde la limitación principal está referida al riesgo de erosión, por la fuerte pendiente que presentan. Además, en algunos casos se adiciona la fertilidad baja por deficientes contenidos de fósforo y potasio disponibles. En otros casos a la ausencia del recurso edáfico como es la unidad de área miscelánea identificada como Afloramiento Lítico localizada en la zona de vida de estepa montano subtropical. Abarca un área de 916.37 Km², la que representa un 18.67% del área total de la cuenca.

7) Protección (Xse-P3sec-A3sec)

Comprende una superficie de 226.96 Km², equivalente al 4.62% del área total. Está constituida por los mismos suelos, cuyas características son mencionadas en la unidad Xs; con la diferencia que se ubican en zonas de pendientes, lo cual le dan una mayor susceptibilidad a los riesgos de erosión hídrica.

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

B) No Asociadas

1) Protección (X dd)

Comprende una superficie de 2.23 Km² equivalente al 0.04% del área Total. Tierras de Protección. Agrupa suelos de textura gruesa, conformada por arena blanca cuarzosa que le confiere un drenaje excesivo, baja capacidad de retención de nutrientes, reacción extremadamente ácida a fuertemente ácida.

Están constituidas por aquellas que no reúnen las condiciones ecológicas mínimas requeridas para cultivos, pastoreo, producción forestal. Se incluye dentro de este grupo: picos, nevados, pantanos, playas, cauces de ríos y otras tierras que aunque presentan vegetación natural boscosa, arbustivas o herbácea, su uso no es económico y deben ser manejados con fines de protección de cuencas hidrográficas, vida silvestre, valores escénicos, científicos, recreativos y otros.

2) Protección-(Xse (dd))

Comprende una superficie de 19.94 Km² equivalente al 0.41% del área Total. Estas tierras están limitadas en su uso potencial, porque presentan fuerte pendiente y

en algunos casos por la superficialidad de los suelos para practicar usos agropecuarios. Sin embargo, hay que notar que estos suelos tienen una cobertura vegetal de bosque, por lo que se debería de conservar con el fin de proteger la cuenca y la biodiversidad de esta zona.

3) Protección (Xsexx) (Formación de Nivales)

Se llama así a los procesos cuyo agente activo es la nieve acumulada en cualquiera de sus formas, tanto como consecuencia de su desplazamiento rápido (aludes o avalanchas) como por la acción de la nieve acumulada, sobre todo cuando se funde (nivación). Comprende una superficie total de 107.38 Km², equivalente al 2.19% del área de la cuenca.

3.9. GEOMORFOLOGIA

3.9.1. CONCEPTO

La geomorfología es la disciplina geográfica que estudia los fenómenos que han configurado la superficie terrestre como resultado de un balance dinámico —que evoluciona en el tiempo— entre procesos constructivos y destructivos. El término proviene del griego: Γηος, es decir, geos (Tierra), μορφή o morfós (forma) y λόγος, logos (estudio, conocimiento). Habitualmente la geomorfología se centra en el estudio de las formas del relieve, pero dado que estos son el resultado de la dinámica geográfica en general estudia, como insumos, por un lado, fenómenos atmosféricos y climáticos, hidrográficos, pedológicos y, por otro, biológicos y geológicos. Esta disciplina es estudiada en mayor o menor medida dentro de la geografía, la arqueología, la geología, la ingeniería civil y ambiental.

Morfología de Cuencas

La morfología de una cuenca queda definida por su forma, relieve y drenaje, para lo cual se han establecido una serie de parámetros, que a través de ecuaciones matemáticas, sirven de referencia para la clasificación y comparación de cuencas. Para un mejor estudio de las cuencas se han establecido los siguientes parámetros:

- Parámetros de forma
- Parámetros de relieve
- Parámetros de red hidrográfica.

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

3.9.2. DESCRIPCION DE LA CUENCA

La cuenca del río Coata presenta dos ejes principales de drenaje —ríos Cabanillas y Lampa— que se unen para formar el río Coata a 57.20 Km. del Lago Titicaca.

La cuenca posee una Superficie Total de 4,908.44 Km², a la que le corresponde una superficie de 1,559.87 Km² (31.78%) a la cuenca del río Lampa y una superficie de 2,888.61 Km² (58.85%) a la cuenca del río Cabanillas y la superficie restante de 459.96 Km² (9.37%) a la subcuenca del Bajo Coata.

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

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

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

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

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

3.9.2.1. TIPIFICACION HIDROGRAFICA DE LA CUENCA

La denominación de las unidades hidrográficas circunscritas al área de la cuenca Coata se ha realizado en función de su extensión y nombre de sus cursos de agua finales o ríos; estableciéndose en base a una relación entre unidades hidrográficas y rangos, nueve (09) unidades hidrográficas básicas o subcuencas. Ver Tabla N° 3.26 y Tabla N° 3.27. En la Figura N° 3.27 se presenta la divisoria de las subcuencas (9). Esta subdivisión de ha realizado utilizando el método de Pfafstetter.

La cuenca del río Coata esta conformado por nueve subcuencas: Subcuenca río Lampa, río Cotaña, río Cerrillos, río Verde, río Jarpaña, río Paratía, Tramo río Coata, Río Cabanillas, Tramo río Cabanillas. Las seis primeras tienen un aporte efectivo de caudal, las tres últimas están definidas como intercuenas al recibir el aporte de las

Tabla N° 3.26
Unidades Hidrográficas y Rangos

Unidad Hidrográfica	Area (Km ²)	N° de Orden del Río
Microcuenca (Pequeña)	10 – 100	1° , 2° ó 3°
Sub Cuenca (Mediana)	100 – 700	4° ó 5°
Cuenca (Grande)	700 – 6000	6° a más

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

Tabla N° 3.27
Sub Unidades Hidrográficas (Subcuencas) - Cuenca del río Coata

Item	Código	Unidad Hidrográfica	Denominación	Río Principal	Superficie		Numero de Orden
					(Km ²)	(%)	
1	01761	Subcuenca	Bajo Coata	Tramo Río Coata	459.96	9.37	6
2	01762	Subcuenca	Lampa	Río Lampa	1,559.87	31.78	5
3	01763	Subcuenca	Medio Bajo Coata	Río Cabanillas	314.53	6.41	5
4	01764	Subcuenca	Cotaña	Río Cotaña	251.10	5.12	4
5	01765	Subcuenca	Medio Coata	Tramo Río Cabanillas	495.56	10.10	5
6	01766	Subcuenca	Cerrillos	Río Cerrillos	868.15	17.69	4
7	01767	Subcuenca	Medio Alto Coata	Río Verde	210.52	4.29	5
8	01768	Subcuenca	Jarpaña	Río Jarpaña	328.91	6.70	4
9	01769	Subcuenca	Paratia	Río Paratia	419.85	8.55	5
	0176	Cuenca	Coata	Río Coata	4,908.44	100.00	6

anteriores.

1) Subcuenca BAJO COATA

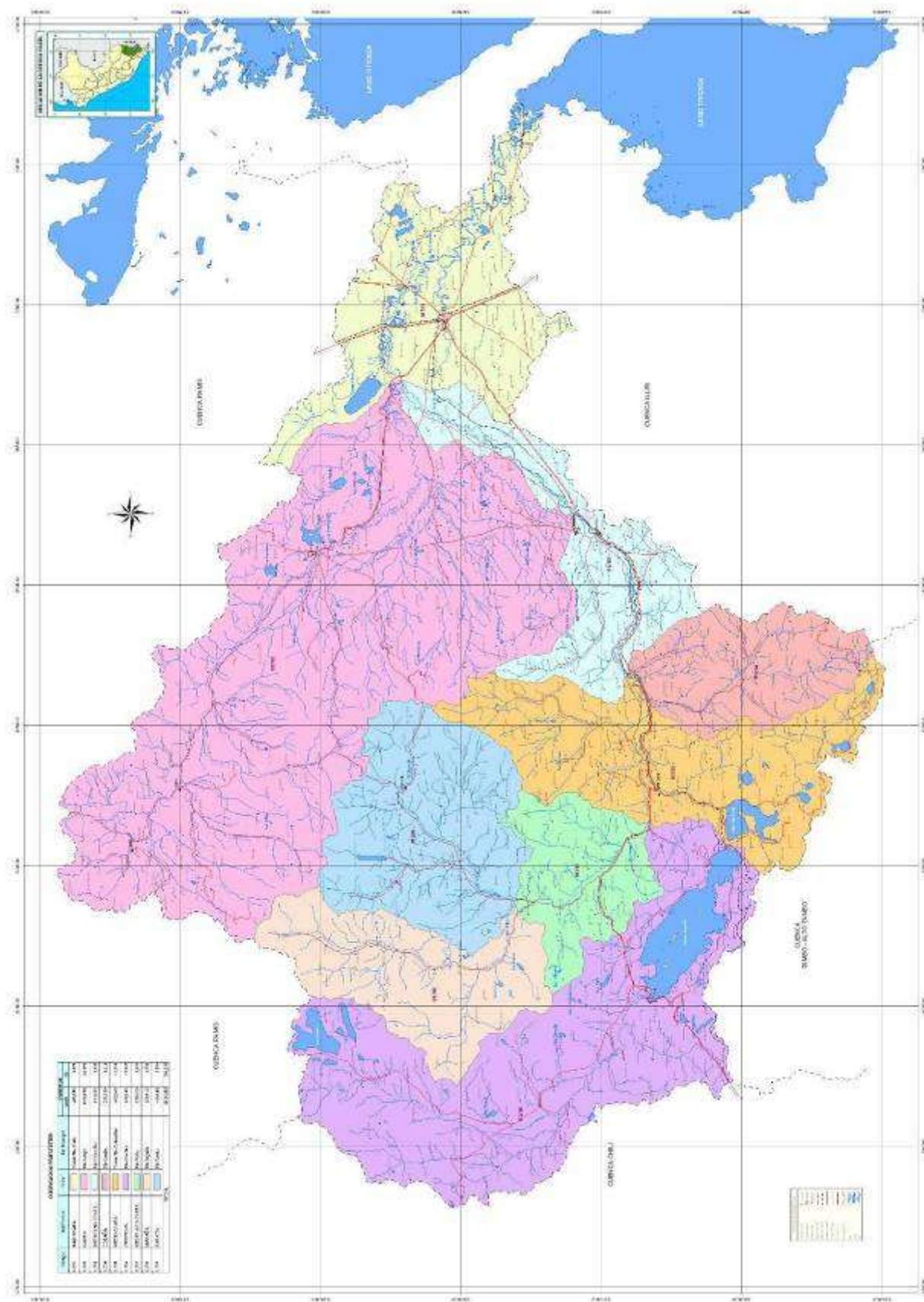
La subcuenca Bajo Coata políticamente en el distrito de Paratía, provincia Lampa, en el departamento de Puno. Hidrográficamente se localiza en la parte baja del río Coata. La cuenca Bajo Coata abarca 459.96 Km², y representa el 9.37% de la cuenca del río Coata (4,908.44 Km²). La longitud del curso del río Coata es 57.20 Km., desde la confluencia de los ríos Cabanillas y Lampa hasta su desembocadura al lago Titicaca.

El cauce del Río Coata presenta una pendiente media de 0.007%. El cauce en su recorrido presenta formas meándricas y divagantes a consecuencia de la baja pendiente del cauce. Las vías de acceso en esta subcuenca son ejes viales principales y secundarios que comunican con los departamentos de Arequipa, Cuzco y provincias y distritos del entorno a la Ciudad de Juliaca.

2) Subcuenca LAMPA

La subcuenca Lampa políticamente se encuentra ubicada en los distritos de Vilavila, Palca y Lampa, provincia de Lampa, en el departamento de Puno. Hidrográficamente es uno de los ejes principales de drenaje de la cuenca Coata. Ocupa una superficie de 1,559.87 Km², representa el 31.78% del total del área de la cuenca Coata.

Figura N° 3.27
Sub Unidades Hidrográficas (Subcuencas) - Cuenca del río Coata



La subcuenca Lampa nace en la parte alta del río Vilavila que presenta una pendiente de 5.31%, seguidamente el tramo intermedio se le reconoce con el nombre de río Palca que presenta una pendiente de cauce de 1.45%, y la parte baja del curso de agua se le llama río Lampa cuyo pendiente de cauce es de 0.12%.

Para llegar a la cuenca del río Lampa es través de carretera Juliaca -Lampa que une los distritos de Lampa, Palca, Vilavila Sur a Norte, la vía se inicia en la ciudad de Juliaca, cuyo rumbo es por la margen derecha del río Lampa, hasta llegar al distrito de Lampa, capital de la provincia de Lampa, para seguir hasta el distrito de Palca donde el río adopta este nombre, seguidamente se llega al distrito de Vilavila donde el río adopta el mismo nombre.

Las superficies aptas para el cultivo en esta subcuenca mayormente esta enmarcada dentro de los distritos de Palca y Lampa (en cultivos de Pastos), las mismas que se encuentran en ambas márgenes y su uso en agricultura es con agua proveniente del río Lampa.

Debido al carácter endorreico de esta subcuenca, en la parte baja existe gran cantidad de pozos para la explotación de las aguas subterráneas. El río Lampa es uno de los afluentes principales que junto con el río Cabanillas forman el río Coata.

3) Subcuenca MEDIO BAJO COATA

La subcuenca Medio Bajo Coata políticamente se encuentra ubicada en el distrito de Cabanillas, provincia de San Román, departamento de Puno. La superficie ocupada por esta subcuenca es de 314.53 Km² lo que representa el 6.41% del área total de la cuenca Coata. El río Cabanillas es el cauce principal de drenaje, presenta una pendiente de cauce de 0.22% y una longitud de 53 Km. El relieve del terreno es plano con amplias llanuras cubiertas de vegetación mayormente de pastizales. Las actividades económicas predominantes son la agricultura y ganadería. Debido a que el caudal del río Cabanillas es regulado, actualmente el recurso hídrico en esta subcuenca es en forma permanente, facilitando las actividades agrícolas y pecuarias de esta zona.

Esta subcuenca abarca la mayor longitud del río Cabanillas, longitudinalmente a lo largo del cauce del río se encuentra ubicada la mayor parte de las áreas de riego de los bloques de riego de la Irrigación Sistema Integral Lagunillas (SIL), ubicándose las bocatomas mas importantes del SIL.

Para llegar a la cuenca es a través de una carretera Asfaltada que se inicia en la ciudad de Juliaca (Carretera Juliaca - Arequipa), cuyo rumbo es por la margen derecha del río Cabanillas hasta llegar al distrito de Cabanillas.

4) Subcuenca COTAÑA

La subcuenca Cotaña políticamente se encuentra ubicada en el distrito de Cabanillas, provincia de San Román, departamento de Puno. La superficie ocupada por esta subcuenca es de 251.10 Km² lo que representa el 5.12% del área total de la cuenca Coata.

Las nacientes de esta subcuenca es el río Cuchuchune y el río Livare, siendo su cauce

principal el río Cotaña que tiene una pendiente de cauce en la parte alta de 3.45% y de 0.56% en la parte baja de la subcuenca.

Para llegar a la cuenca se realiza a través de una carretera que parte de la ciudad de Juliaca, y se toma el desvío por el sector denominado Maravillas a partir de este sector la carretera es sin afirmar la carretera llega hasta el centro poblado de Laripata, cuyo rumbo es por la margen izquierda del río Laripata. La otra vía de acceso a la subcuenca es a través de la vía sin asfaltada que se inicia en la carretera mañazo, cruzando los poblados de Cabana y Mañazo.

5) Subcuenca MEDIO COATA

La subcuenca Medio Coata políticamente se encuentra ubicada en el distrito de Santa Lucía, provincia de Lampa en el departamento Puno. Esta subcuenca ocupa una superficie de 495.55 Km² lo que representa el 10.10% del área total de la cuenca Coata. Es una subcuenca endorreica, solamente aporta caudales al río Cabanillas en la época húmeda.

La afluencia de los ríos Chacalaya y Quebrada Andamarca a la quebrada Compuerta desembocando en el río Cabanillas y que tiene una pendiente del cauce es de 0.54%.

Para llegar a la subcuenca es a través de la carretera Juliaca-Arequipa, esta carretera asfaltada llega al distrito de Santa Lucía, desde donde existe una carretera sin asfaltar para llegar al río Chacalaya, de igual manera para llegar a la quebrada Quinsachata, Laguna Saracocha existe una carretera sin asfaltar.

6) Subcuenca CERRILLOS

La subcuenca Cerrillos políticamente se encuentra ubicada en el centro poblado de Pinaya, distrito de Santa Lucía, provincia de Lampa en el departamento Puno. Ocupa una superficie de 868.15 Km.², lo que representa el 17.69% del área total de la cuenca Coata. La subcuenca es de forma alargada con características geomorfológicas definidas por la existencia de numerosas lagunas que garantizan un caudal permanente durante el año. En esta subcuenca se encuentran ubicadas importantes cuerpos de almacenamiento de agua, como son la laguna Ananta y el embalse Lagunillas.

La laguna Ananta cuya área de espejo de aguas es de 11.94 Km² (4,828 msnm.), políticamente pertenece a las provincias de Lampa y Ayaviri, Hidrográficamente pertenece a la cuenca del río Cabanillas. El embalse Lagunillas cuya área de espejo de agua es de 65.12 Km², ubicado a una cota de 4,168.80 msnm., y tiene una capacidad de almacenamiento de 500 millones de metros cúbicos disponible para suministrar del recurso hídrico a los diferentes demandas aguas abajo del embalse. El agua liberada por la presa del embalse es derivado al río Cerrillos, el cual desemboca al río Cabanillas.

En la subcuenca Cerrillos la denominación del río principal cambia en el transcurso de su cauce en la parte más alta toma el nombre de río Orduña que tiene una longitud de 12.52 Km. y una pendiente de 3.80%, luego toma el nombre de río Borracho que tiene una longitud 34 Km. y una pendiente de 0.68%, posteriormente se llama río Ichocollo

que tiene una longitud de 11.21 Km. con una pendiente de cauce de 0.18%, seguidamente aguas abajo se encuentra el embalse Lagunillas, a la salida del embalse el cauce de río se llama río Cerrillos con una pendiente de cauce de 0.98%.

La vía de acceso a la subcuenca Cerrillos, se inicia en la carretera asfaltada Juliaca-Arequipa, luego se desvía por la carretera que conduce al centro poblado de Pinaya en el lugar denominado cruce; al interior de la cuenca la movilización se realiza través de una carretera afirmada que parte del centro poblado de Pinaya; el resto son carreteras sin afirmar para llegar a las comunidades de Orduña y Atecata.

7) Subcuenca MEDIO ALTO COATA

La subcuenca Medio Alto Coata políticamente se encuentra ubicada en el centro poblado de Choroma, distrito de Santa Lucía, provincia de Lampa en el departamento Puno. Ocupa una superficie de 210.52 Km², y representa el 4.29% del área total de la cuenca Coata. Es una de las subcuencas del sistema hidrográfico del Coata con mayor rendimiento hídrico en forma regular durante todo el año. El cauce principal de drenaje de esta subcuenca es el río Verde. La longitud de su curso es de 19.68 Km. desde río Sillapaca hasta unirse con el río Cabanillas. La pendiente del cauce es de 0.62%.

La vía de acceso a la subcuenca Medio Alto Coata, se inicia en la carretera asfaltada Juliaca- Arequipa, luego se desvía por la carretera que conduce al distrito de Paratía en el lugar denominado desvío Paratía. Al interior de la cuenca la movilización es en parte a través de una carretera afirmada, y por otra la misma vía asfaltada Juliaca - Arequipa.

8) Subcuenca JARPAÑA

La subcuenca Jarpaña políticamente se encuentra en el distrito de Paratía, provincia de Lampa en el departamento Puno. Ocupa una superficie de 328.91 Km², lo que representa el 6.70% del área total de la cuenca Coata. Su curso principal de drenaje es el río Jarpaña, cuya longitud es 10.71Km. desde el río Quillisani hasta unirse con el río Verde. Esta subcuenca es la región mas lluviosa de la cuenca del río Coata, prácticamente es el que aporta el recurso hídrico durante todo el año en forma regular.

El río Jarpaña en la parte alta se denomina río Quillisani que tiene una longitud de 26.79 Km. y una pendiente de cauce de 1.95%, posteriormente toma el nombre de río Jarpaña con una longitud de 10.71 Km. hasta unirse al río Verde y una pendiente de cauce de 0.87%

La vía de acceso a la subcuenca Jarpaña, se inicia en la carretera asfaltada Juliaca-Arequipa, luego se desvía por la carretera que conduce al distrito de Paratía en el lugar denominado desvío Paratía; luego en el centro poblado Chilahuito existe un desvío por una carretera sin afirmar que recorre las comunidades de Cochapata, Llanca hasta la comunidad de Quillisani.

9) Subcuenca PARATIA

La subcuenca Paratía políticamente se encuentra en el distrito de Paratía, provincia de

Lampa en el departamento Puno. Ocupa una superficie de 419.85 Km², lo que representa el 8.55% del área total de la cuenca Coata. El río Paratía es el curso principal de drenaje de esta subcuenca, con una longitud de 19.68 Km. y una pendiente de cauce igual a 1.63%. En esta subcuenca existe gran cantidad de lagunas, y la más relevante es la laguna de Saito con un área de espejo de agua igual a 10.35 Km².

La vía de acceso a la subcuenca Paratía, se inicia en la carretera asfaltada Juliaca-Arequipa, luego se desvía por la carretera que conduce al distrito de Paratía en el lugar denominado desvío Paratía. Al interior de la cuenca la movilización es en parte través de una carretera afirmada, partiendo de los poblados de Chilahuico y del distrito de Paratía.

3.9.2.2. PARAMETROS DE FORMA DE LA CUENCA

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

Por ello se hace necesario establecer algún parámetro, que permita evaluar la uniformidad o irregularidad de los contornos de la cuenca.

Es importante mantener la consideración que la geomorfología en una cuenca está representada por parámetros de carácter estático y sus características hidrológicas son altamente estocásticas.

Se ha determinado valores de los parámetros de forma y relieve de mayor importancia e interpretación de la cuenca y subcuencas del río Coata; que se resumen en la Tabla N° 3.28. Los índices más empleados para representar esta característica son:

1) Área de la Cuenca (A)

El área (A) se estima a través de la sumatoria de las áreas comprendidas entre las curvas de nivel y los límites de la cuenca. Esta suma será igual al área de la cuenca en proyección horizontal.

La cuenca del río Coata tiene una superficie de 4,908.44 Km². De las subcuencas hidrográficas la subcuenca Lampa tiene el mayor área y es el 31.78% del área total de la cuenca Coata. Las subcuencas Cerrillos, Medio Coata, Bajo Coata tiene superficies del mismo orden y equivalentes al 17.69%, 10.10% y 9.37% del total, respectivamente. Las otras subcuencas son de menores dimensiones tal como se puede apreciar en la Tabla N° 3.27.

2) Coeficiente de Compacidad o de Gravelius (Kc)

Permite evaluar la uniformidad o irregularidad del contorno de la cuenca con respecto a un círculo, y se define como el cociente entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de un círculo de igual área.

Tabla N° 3.28 – Parámetros Geomorfológicos de la Cuenca y Subcuencas del río Coata

PARAMETRO	UNIDAD	CUENCA				SUBCUENCA						
		COATA	BAJO COATA	LAMPA	MEDIO BAJO COATA	COTAÑA	MEDIO COATA	CERRILLOS	MEDIO ALTO COATA	JARPAÑA	PARATIA	
Código Pfafstetter	*	0176	01761	01762	01763	01764	01765	01766	01767	01768	01769	
Superficie Total de Cuenca	Km ²	4,908.44	459.96	1,559.87	314.53	251.10	495.56	868.15	210.52	328.91	419.85	
Perímetro de la Cuenca	Km	464.65	164.63	236.41	129.08	78.34	159.70	201.82	77.78	107.77	98.80	
Coefficiente de Compacidad (Kc)	*	1.87	2.16	1.69	2.05	1.39	2.02	1.93	1.51	1.68	1.36	
Radio de Circularidad (Rc)	*	0.29	0.21	0.35	0.24	0.51	0.24	0.27	0.44	0.36	0.54	
Factor de Forma	Longitud (Curso+largo)	Km	188.57	57.64	101.44	53.30	33.91	48.84	65.28	19.68	38.57	31.06
	Ancho Medio	Km	26.03	7.98	15.38	5.90	7.40	10.15	13.30	10.70	8.53	13.52
	Factor de Forma	*	0.14	0.14	0.15	0.11	0.22	0.21	0.20	0.54	0.22	0.44
Rectángulo Equivalente	Lado mayor	Km	208.82	76.29	103.07	59.23	31.09	73.07	91.41	32.39	46.87	38.49
	Lado menor	Km	23.51	6.03	15.13	5.31	8.08	6.78	9.50	6.50	7.02	10.91
Grado de Ramificación (Longitud Total)	Orden 1	Km	1,641.98	73.34	565.62	81.41	125.66	141.28	266.62	67.35	115.29	205.41
	Orden 2	Km	570.54	9.70	239.76	13.38	35.29	55.65	100.28	32.65	28.54	55.31
	Orden 3	Km	344.36	6.03	177.49	23.15	14.33	24.68	38.16	0.00	25.43	35.10
	Orden 4	Km	235.64	0.00	165.94	0.00	17.40	0.00	32.49	0.00	10.71	9.10
	Orden 5	Km	126.47	0.00	21.47	53.00	0.00	20.15	0.00	19.68	0.00	12.17
	Orden 6	Km	57	56.85	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Número de Ríos para los Diferentes Grados de Ramificación	Orden 1	*	687	45	245	44	50	49	98	21	42	93
	Orden 2	*	312	13	119	12	28	30	44	9	18	39
	Orden 3	*	182	3	69	18	9	13	16	0	28	26
	Orden 4	*	73	0	34	0	11	0	17	0	4	7
	Orden 5	*	46	0	5	7	0	8	0	13	0	13
	Orden 6	*	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Longitud Total de los Ríos de Diferentes Grados	Km	2,975.84	145.92	1,170.28	170.94	192.68	241.75	437.54	119.68	179.96	317.09	
Numero de Ríos para los diferentes grados	*	1,301	62	472	81	98	100	175	43	92	178	
Longitud de Ríos Principales	Km	418.96	56.85	187.41	53.00	17.40	20.15	32.49	19.68	10.71	21.27	
Densidad de drenaje	Km/Km ²	0.61	0.32	0.75	0.54	0.77	0.49	0.50	0.57	0.55	0.76	
Longitud de Flujo de Superficie	*	0.909	1.577	0.768	0.929	0.729	1.044	1.053	0.898	0.958	0.717	
Extensión Media para los Diferentes grados	Km	0.41	0.79	0.33	0.46	0.33	0.51	0.50	0.44	0.46	0.33	
Frecuencia de los Ríos	n/Km ²	0.27	0.13	0.30	0.26	0.39	0.20	0.20	0.20	0.28	0.42	
Cota máxima de la Cuenca	msnm.	5,300.00	4,400.00	5,200.00	4,400.00	4,700.00	4,900.00	5,200.00	5,000.00	5,300.00	5,300.00	
Cota mínima de la Cuenca	msnm.	3,800.00	3,800.00	3,800.00	3,800.00	3,900.00	3,900.00	4,000.00	4,000.00	4,200.00	4,100.00	
Desnivel Total de la cuenca	Km	1.50	0.60	1.40	0.60	0.80	1.00	1.20	1.00	1.10	1.20	
Altitud Media de Cuenca	msnm.	4,336.116	3,875.91	4,260.95	4,060.71	4,320.70	4,312.22	4,505.30	4,446.92	4,771.36	4,606.89	
Pendiente de la Cuenca	%	6.38	9.95	9.25	11.30	9.91	14.74	12.64	15.39	15.67	11.00	
Pendiente Media de los Ríos	%	1.13	0.01	2.29	0.22	2.00	0.54	1.41	0.62	1.41	1.63	
Tiempo de Concentración (Tc)	Hr.	268.40	170.68	140.53	155.92	69.37	84.58	98.53	29.61	58.54	41.78	

$$Kc = \frac{0.28P}{\sqrt{A}} \geq 1$$

Donde: P = Perímetro de la cuenca (Km.), A = Área de la cuenca (Km²)

De la expresión se desprende que Kc siempre es mayor o igual a 1, y se incrementa con la irregularidad de la forma de la cuenca.

Los valores altos de este parámetro que relaciona el área y perímetro, obtenidos para la subcuenca Bajo Coata, Medio Bajo Coata y Medio Coata, de 2.16, 2.05 y 2.03 respectivamente, indica una alta tendencia a las crecientes, indicando una respuesta hidrológica inmediata, mientras que en las otras subcuencas hidrográficas su menor valor, que promedia 1.59, la tendencia a crecientes es menor. Ver Tabla N° 3.28.

3) Factor de Forma (Ff)

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

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

Donde: A = Área de la cuenca (Km²), Lm = Longitud de cauce principal de la cuenca (Km.)

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

El factor de forma hallado para la cuenca del río Coata es de 0.14, lo cual explica o describe su forma alargada. Sin embargo sus subcuencas integrantes poseen factores de forma mayores, del orden promedio de 0.25, evidenciando superficies con un mayor ancho medio, respecto a su mayor longitud, es decir mayor capacidad receptora de precipitaciones pluviales. Ver Tabla N° 3.28.

4) Radio de Circularidad (Rc)

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

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

Donde: P = Perímetro de la cuenca (Km.), A = Área de la cuenca (Km²)

Los valores del Radio de Circularidad de la cuenca Coata y subcuencas denotan que las formas son alargadas, ya que todos los valores están por debajo de 0.785. Ver Tabla N° 3.28.

5) Rectángulo Equivalente Rc)

Asimila la superficie y el perímetro de la cuenca a un rectángulo equivalente. En el caso de dos cuencas con rectángulos equivalentes similares, se admite que poseen un comportamiento hidrológico análogo siempre que posean igual clima y que el tipo y la distribución de sus suelos, de su vegetación y de su red de drenaje sean comparables (Martínez et al, 1996).

3.9.2.3. PARAMETROS DE RELIEVE

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

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

1) Curva Hipsométrica

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

La representación gráfica entre los porcentajes de área acumulada por encima y por debajo de las elevaciones altitudinales para la cuenca y subcuencas del río Coata se muestra en la Figura N° 3.28.

Las características de las curvas hipsométricas de todas las subcuencas, las pendientes s son crecientes, lo que es un indicador de que el mayor porcentaje de superficie se concentra en altitudes menores.

La distribución de superficie en la cuenca Coata el mayor porcentaje es desde la parte media de la cuenca hacia la parte baja.

2) Polígono de Frecuencias

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

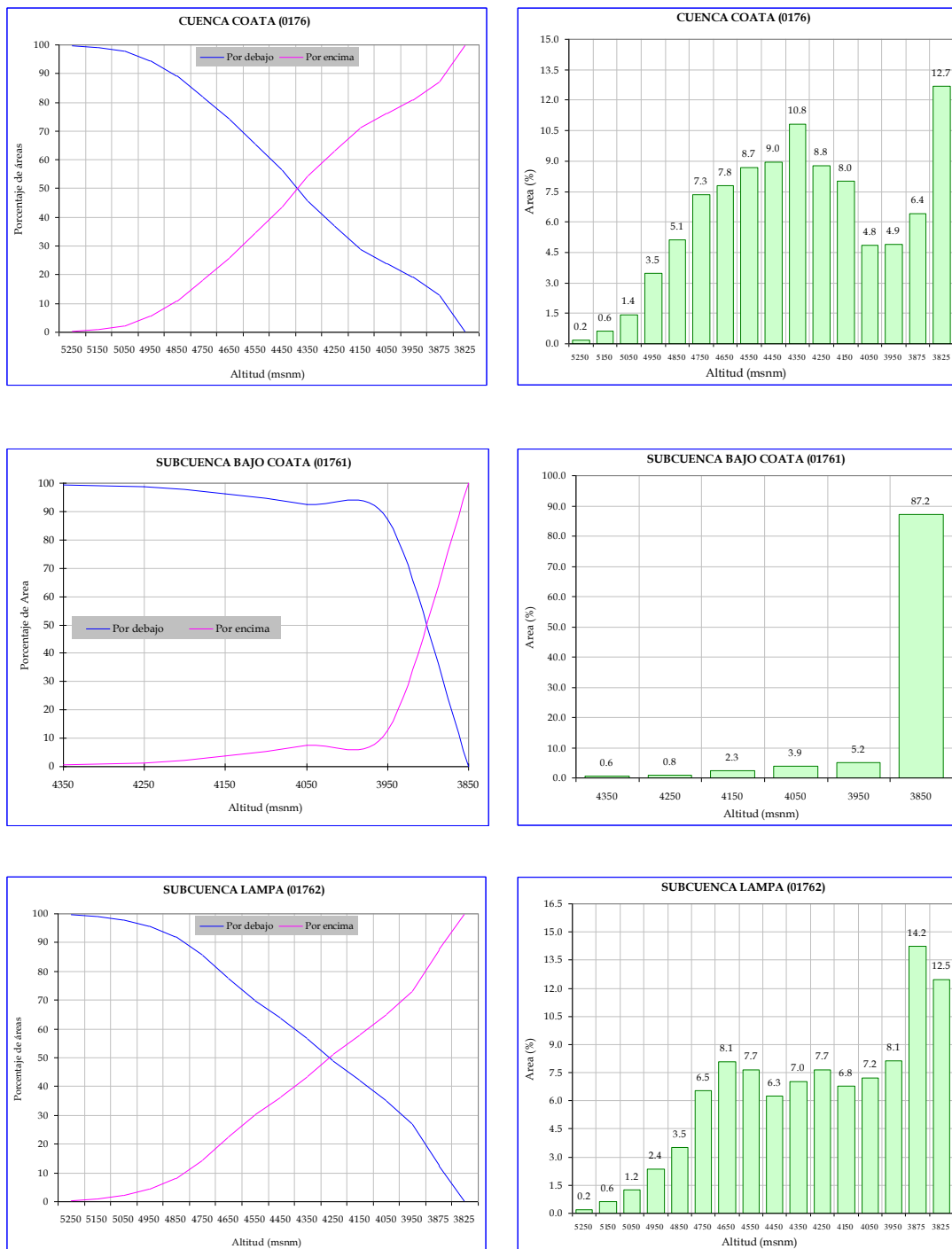
En el polígono de frecuencias existen valores representativos como: la altitud más frecuente, que es el polígono de mayor porcentaje o frecuencia.

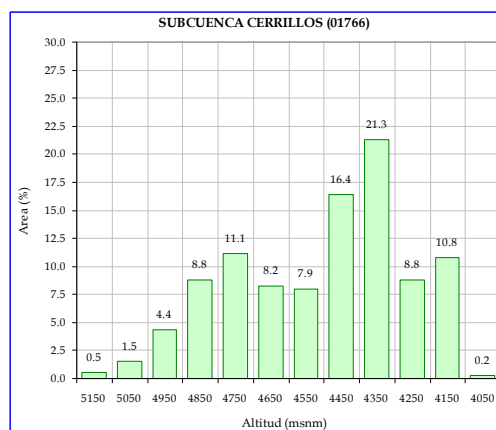
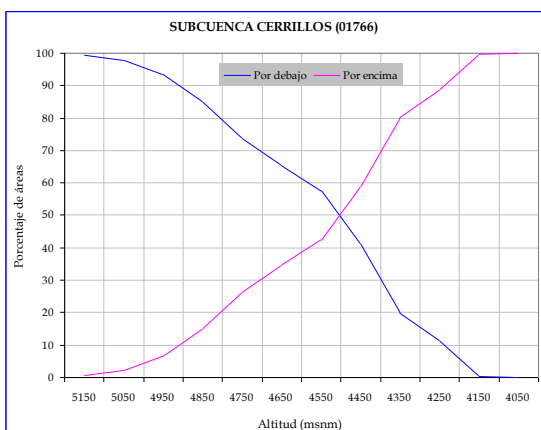
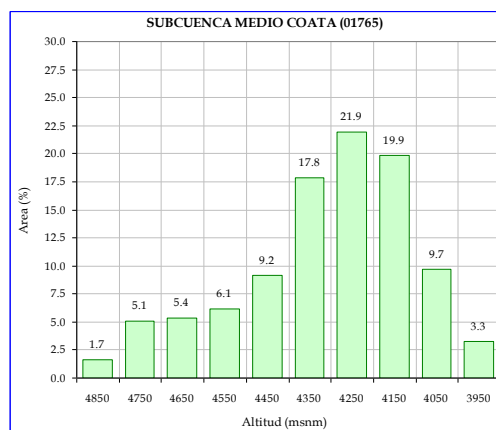
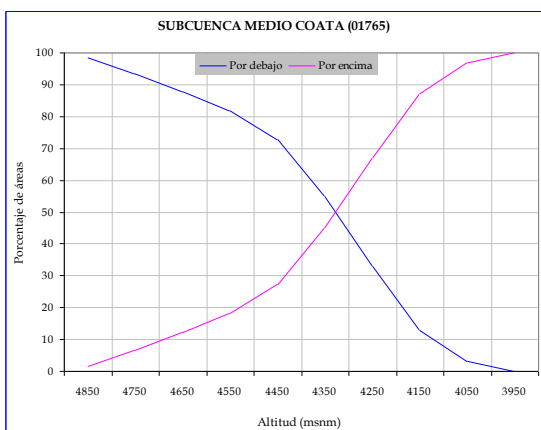
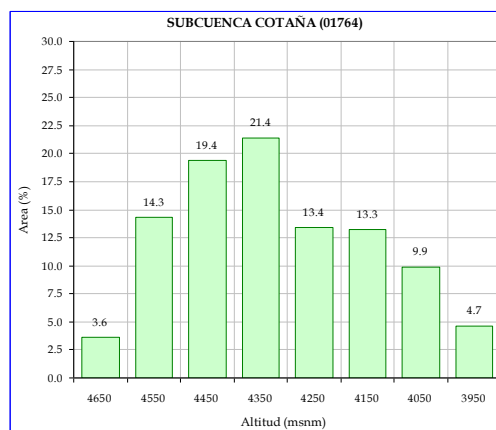
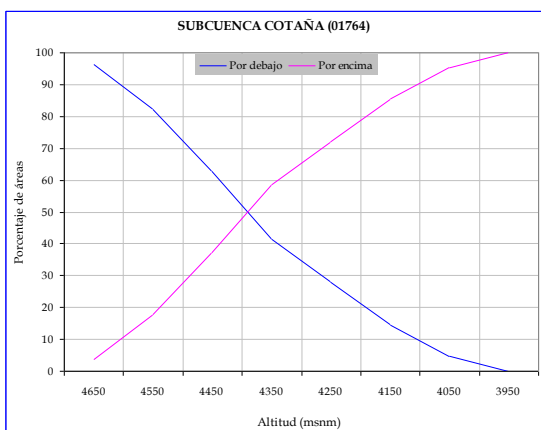
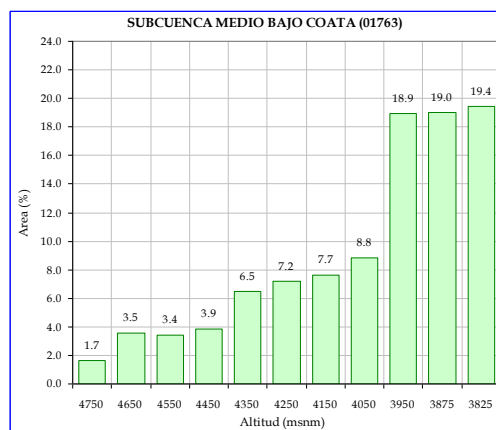
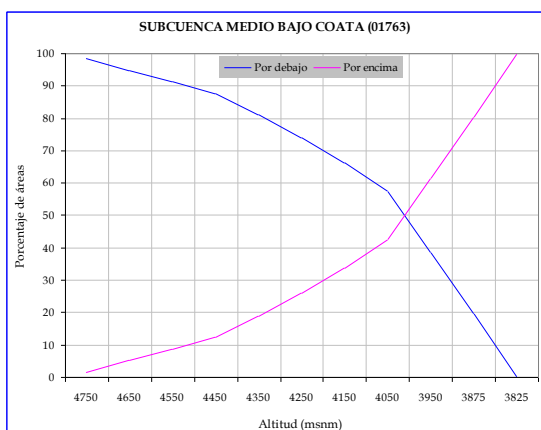
La distribución gráfica del porcentaje de superficies ocupadas por diferentes rangos de altitud para la cuenca y subcuencas del río Coata, se distingue en la Figura N° 3.28.

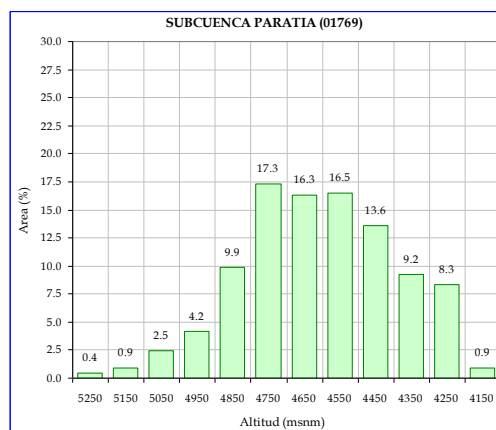
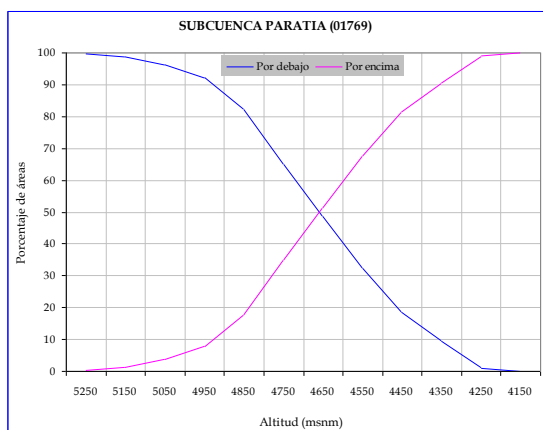
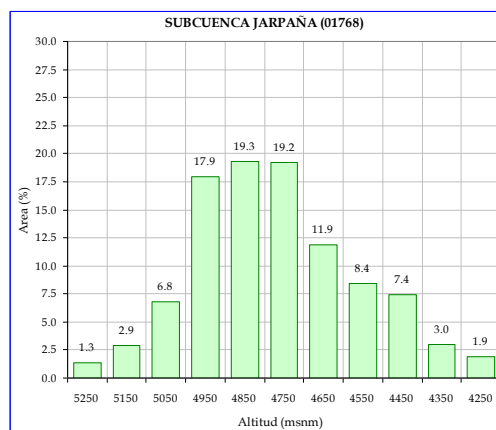
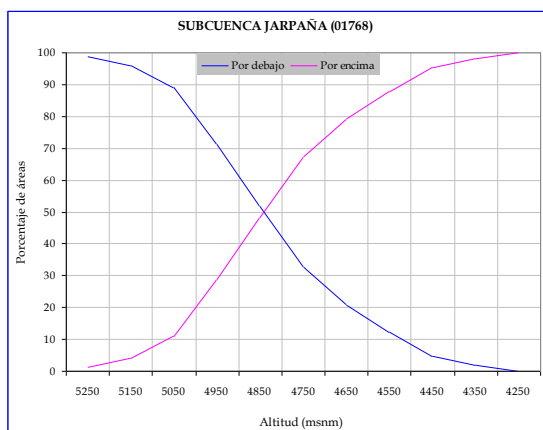
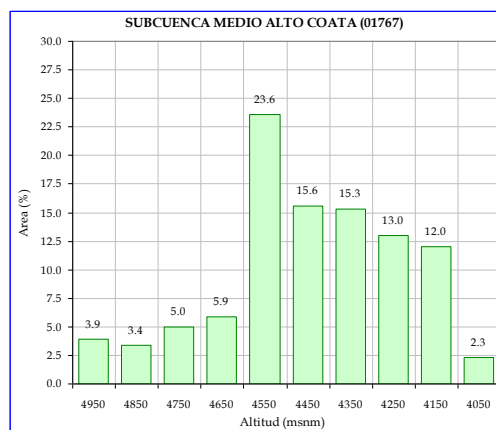
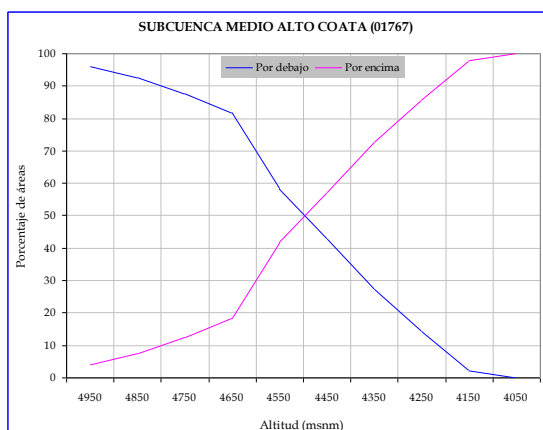
La subcuenca Bajo Coata (87.2%) concentra mayor porcentaje de área en las altitud 3,850 msnm. La cuenca Coata presenta una tendencia de concentración de superficie en la parte baja de la cuenca (65.40%) a partir de la altitud media (4,336.12 msnm.) de la cuenca.

En la mayor parte de las subcuencas el mayor porcentaje la altitud mas frecuente ocurre desde la altitud media hacia la parte baja de la subcuenca. En las subcuencas ubicadas en la parte alta de la cuenca Coata las altitudes mas frecuentes se concentra localizándose en la altitud media de la subcuenca.

Figura Nº 3.28
Curva Hipsométrica y Polígono de Frecuencias - Cuenca y Subcuencas del río Coata







3) Altitud Media de la Cuenca

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

La altitud media de la cuenca Coata es de 4,336.12 msnm. Las subcuencas la mayor parte tienen altitudes medias mayores a 4,060 msnm., excepto la subcuenca Bajo Coata que tiene una altitud media de 3,875.91 msnm., y es por lo mismo que se encuentra ubicada en la parte mas baja de la cuenca Coata. Ver Tabla N° 3.29.

Tabla N° 3.29
Altitudes Características – Cuenca río Coata

Cuenca/Subcuenca	Altitud		
	Media (msnm)	Frecuencia Media (msnm)	Mas Frecuente (msnm)
COATA	4,336.12	4,506	3,825-4,450
BAJO COATA	3,875.91	4,100	3,850-3,950
LAMPA	4,260.95	4,506	3,825-4,650
MEDIO BAJO COATA	4,060.71	4,259	3,825-4,050
COTAÑA	4,320.70	4,300	4,150-4,550
MEDIO COATA	4,312.22	4,400	4,050-4,450
CERRILLOS	4,505.30	4,600	4,250-4,850
MEDIO ALTO COATA	4,446.92	4,500	4,150-4,650
JARPAÑA	4,771.36	4,750	4,450-5,050
PARATIA	4,606.89	4,700	4,250-4,850

4) Altitud de Frecuencia Media

Corresponden a las abscisas medias de las curvas hipsométricas de la cuenca y subcuencas del río Coata (ver Figura N° 3.28). La cuenca del río Coata tiene una altitud de frecuencia media de 4,506 msnm. Para las subcuencas la altitud de frecuencia media es del orden de los 4,4157 msnm. Ver Tabla N° 3.29.

5) Altitud más Frecuente

En la Figura N° 3.28 se observa que los límites de altitud de 3,825 a 4,450 msnm. es donde se tiene el mayor porcentaje de área de la cuenca Coata para las subcuencas los mayores porcentajes varían entre los 3,850 a 5,050 msnm. Ver Tabla N° 3.29.

6) Pendiente Media de la Cuenca

Este parámetro de relieve es importante debido a su relación con el comportamiento hidráulico de drenaje de la cuenca. Para la estimación se ha empleado el sistema del "Rectángulo Equivalente". La cuenca del río Coata tiene una pendiente promedio de 6.38%, las subcuencas presentan pendientes mayores al 9%. Observándose que la subcuenca Jarpaña presenta la mayor pendiente con 15.67%.

3.9.2.4. SISTEMA HIDROGRAFICO

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

La vertiente del Lago Titicaca tiene una extensión de 56,270 Km², en esta existen cinco

ríos (Ramis, Coata, Ilave, Huancané y Suches) que desembocan al Lago Titicaca, el río desaguadero es el cauce natural de salida del lago Titicaca.

La cuenca del río Coata por su extensión - 4,908.44 Km² - es la tercera en importancia de las que vierten sus aguas al Lago Titicaca, solamente precedida por las de los ríos Ramis e Ilave. Sin embargo, según estudios del TDPS, en cuanto a sus aportaciones sobrepasa al río Ilave (aunque por escaso margen), convirtiéndose en el segundo tributario principal y siendo además el de mayor aportación hídrica específica. Ello es debido fundamentalmente a la elevada pluviosidad que soportan los macizos montañosos que establecen la divisoria con la cuenca del río Ramis.

Se encuentra situado a una altitud de 3,800 a 5,200 msnm. La configuración de la cuenca del río Coata es la de una hoya hidrográfica variable en cuanto a su fisiografía general, en la parte alta de la cuenca la pendiente de los ríos de 1.20% a 3.80%, con régimen de flujo supercrítico, en la parte baja de la cuenca las pendientes de los ríos son bajas que varían de 0.007% a 0.22%, presentando regímenes de flujo subcrítico, en esta zona baja de la cuenca los cauces de los ríos son de poca profundidad, meándricos, divagantes y el cauce esta ocupado por material sólido transportado de la parte alta de la cuenca.

En la cuenca se encuentra cuerpos de agua superficial (Lagunas) con volúmenes de almacenamiento importantes, los cuales son alimentados principalmente por la escorrentía superficial y precipitaciones pluviales, y en forma secundaria por los deshielos de los nevados. Estas lagunas por su ubicación representan un potencial hídrico para su aprovechamiento dentro de la cuenca.

La cuenca del río Coata básicamente se compone de las Cuencas de los Ríos Cabanillas y Lampa.

La cuenca del río Cabanillas tiene una superficie de drenaje total hasta la confluencia con el río Lampa de 2,888.61 km² lo que equivale al 58.85% del área total del Coata. La altitud media de esta cuenca es de 4,320 msnm.

La cuenca del río Lampa tiene una extensión de 1,559.87 Km² lo que equivale al 31.78% del área total del Coata. La altitud media de esta cuenca es de 4,225 msnm.

El río Cabanillas tiene sus nacientes en las subcuencas de Cerrillos, Paratia y Jarpaña, aguas abajo de estas subcuencas se forma por la confluencia de los ríos Verde y Cerrillos en la coata 4,100 msnm. La escorrentía en los cauces indicados es de régimen sostenido durante todo el año. La longitud del cauce mas largo es de 131.37 Km. Hasta la confluencia con el río Lampa.

El embalse Lagunillas es uno de los elementos hidrográficos de mayor importancia que existe en la cuenca del río Cabanillas. Este embalse ha sido afianzado mediante la construcción de una presa sobre la laguna natural de Lagunillas, con lo cual se ha ganado una capacidad de almacenamiento para 500 millones de metros cúbicos. El desagüe del embalse desemboca al río Cerrillos. En la parte alta de esta cuenca también existen lagunas naturales con almacenamientos de agua significativos, los cuales actualmente permanecen como reservas y como potencial hídrico de la cuenca. En la parte alta de esta cuenca no hay presencia de nevados perpetuos.

El río Lampa tiene sus nacientes en el área de nevados perpetuos existentes en la parte alta de la cuenca. Los deshielos dan origen al río Vila Vila, en su recorrido recibe los aportes secundarios de la escorrentía de ríos y quebradas endorreicas. Aguas abajo se le reconoce con el nombre de río Palca, el que a su vez aguas abajo toma el nombre de río Lampa. El cauce mas largo de esta cuenca es de 101.44 Km. Hasta la confluencia con el río Cabanillas.

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

3.9.2.5. PARAMETROS DE LA RED HIDROGRAFICA

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

Diversos autores coinciden en afirmar que mientras mayor sea el grado de bifurcación del sistema de drenaje de una cuenca, es decir, entre más corrientes tributarias presente, más rápida será la respuesta de la cuenca frente a una tormenta, evacuando el agua en menos tiempo. En efecto, al presentar una densa red de drenaje, una gota de lluvia deberá recorrer una longitud de ladera pequeña, realizando la mayor parte del recorrido a lo largo de los cauces, donde la velocidad del escurrimiento es mayor.

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

1) Número de Orden de los Ríos

La clasificación (orden) de la cuenca hidrográfica es función del número de orden o medida de la ramificación del cauce principal.

Se ha clasificado los cauces según el grado de ramificación, encontrándose que el cauce principal de la cuenca Coata, el río Coata es de orden seis (6), los ríos Cabanillas, Lampa, Verde y Paratía son de orden 5, en tanto los ríos Cotaña, Cerrillos y Jarpaña son de orden 4.

En la cuenca predominan los cauces de 1º orden, representan en número el 52.8% del total y en longitud el 55.2% de total. La Clasificación total Ordinal de los ríos de la cuenca Coata se presenta en la Tabla N° 3.30.

En la Tabla N° 3.31 se presenta para cada subcuenca el número de ríos y su respectiva longitud en kilómetros para los seis tipos de clasificación ordinal. Como se podrá observar la subcuenca del río Lampa presenta mayor número de ríos, seguido por las subcuencas de Cerrillos y Paratia.

Tabla N° 3.30
Clasificación Total Ordinal de Ríos – Cuenca río Coata

Orden del río	Numero de Ríos		Longitud de Ríos (Km.)	
	Total	%	Total	%
1	687	52.8	1,642.0	55.2
2	312	24.0	570.5	19.2
3	182	14.0	344.4	11.6
4	73	5.6	235.6	7.9
5	46	3.5	126.5	4.2
6	1	0.1	56.9	1.9
Total	1,301	100.0	2,975.8	100.0

Tabla N° 3.31
Clasificación Ordinal de Ríos – Cuenca y Subcuencas del río Coata

Subcuenca	Código	ORDENES DE RIOS											
		1°		2°		3°		4°		5°		6°	
		N°	Long. (km.)	N°	Long. (km.)	N°	Long. (km.)	N°	Long. (km.)	N°	Long. (km.)	N°	Long. (km.)
Bajo Coata	01761	45	73.3	13	9.7	3	6.0	0	0.0	0	0.0	1	56.9
Lampa	01762	245	565.6	119	239.8	69	177.5	34	165.9	5	21.5	0	0.0
Medio Bajo Coata	01763	44	81.4	12	13.4	18	23.1	0	0.0	7	53.0	0	0.0
Cotaña	01764	50	125.7	28	35.3	9	14.3	11	17.4	0	0.0	0	0.0
Medio Coata	01765	49	141.3	30	55.6	13	24.7	0	0.0	8	20.1	0	0.0
Cerrillos	01766	98	266.6	44	100.3	16	38.2	17	32.5	0	0.0	0	0.0
Medio Alto Coata	01767	21	67.4	9	32.7	0	0.0	0	0.0	13	19.7	0	0.0
Jarpaña	01768	42	115.3	18	28.5	28	25.4	4	10.7	0	0.0	0	0.0
Paratía	01769	93	205.4	39	55.3	26	35.1	7	9.1	13	12.2	0	0.0
Total		687	1642.0	312	570.5	182	344.4	73	235.6	46	126.5	1	56.9

2) Densidad de Drenaje

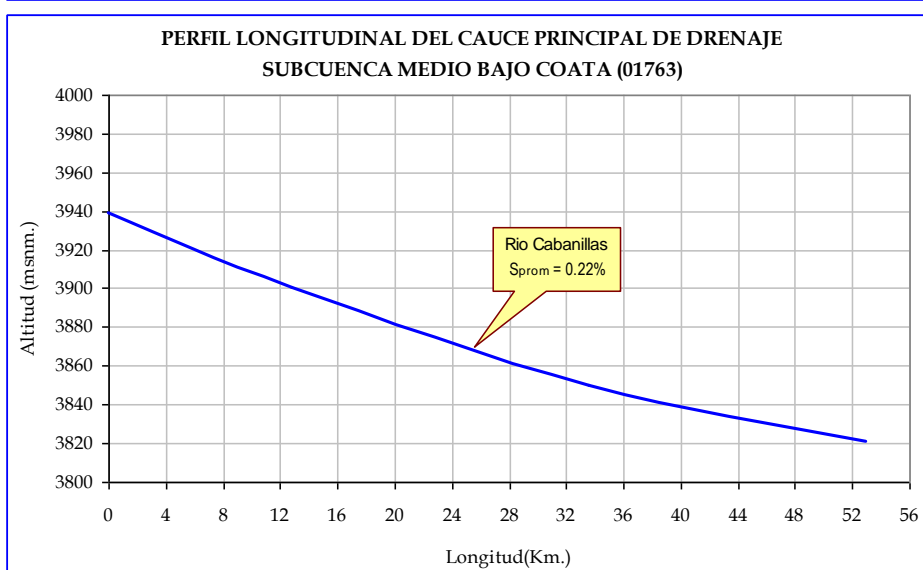
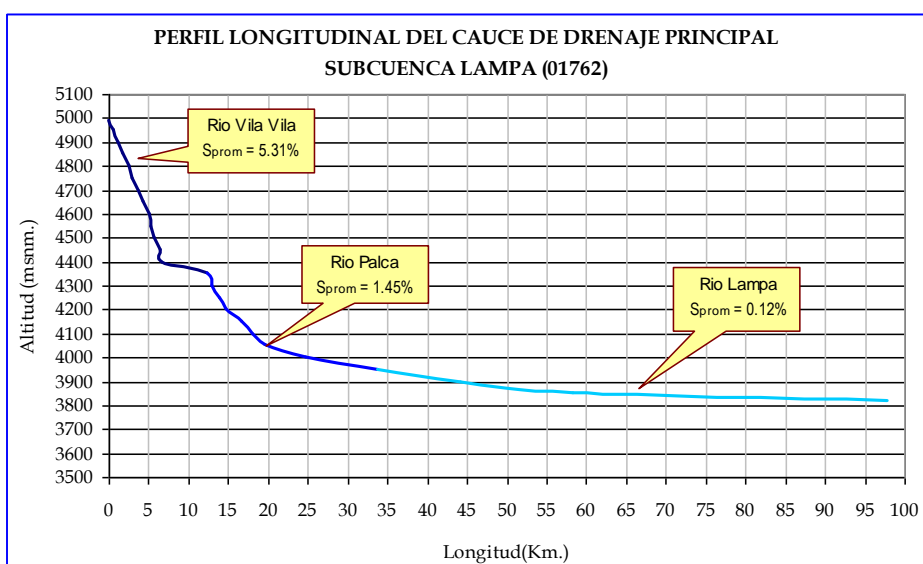
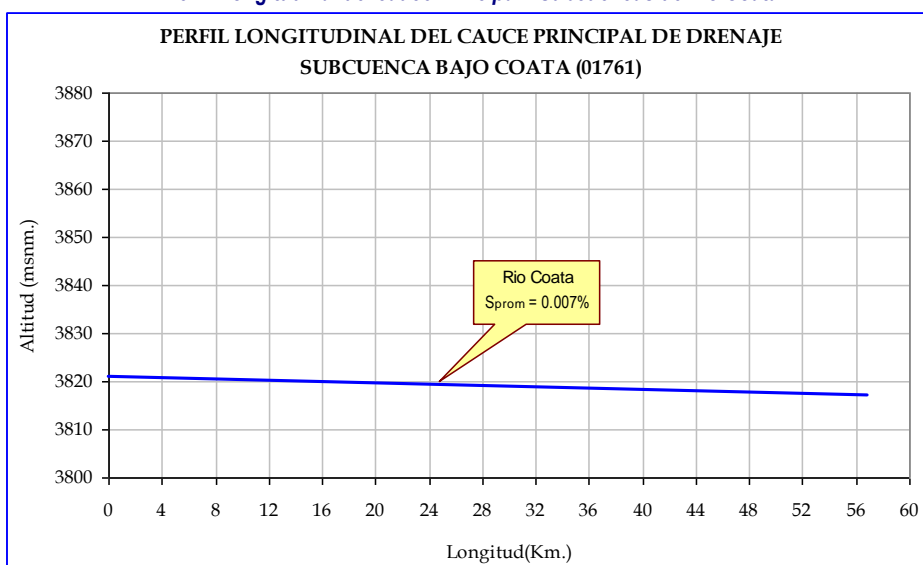
Que corresponde al cociente entre la sumatoria del largo total de los cursos de agua, de una unidad hidrográfica, y la superficie de la misma. Representa la cantidad de Kilómetros de curso que existe por cada unidad de superficie.

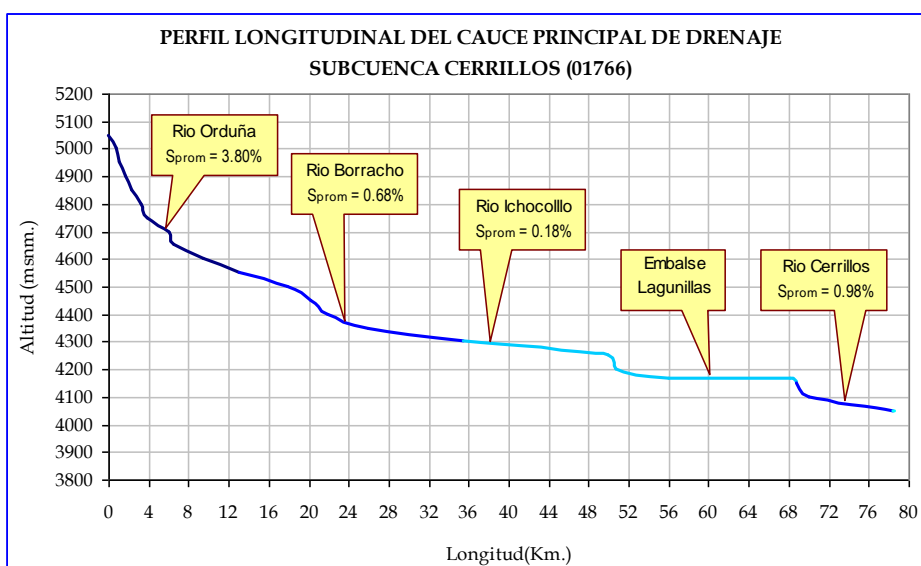
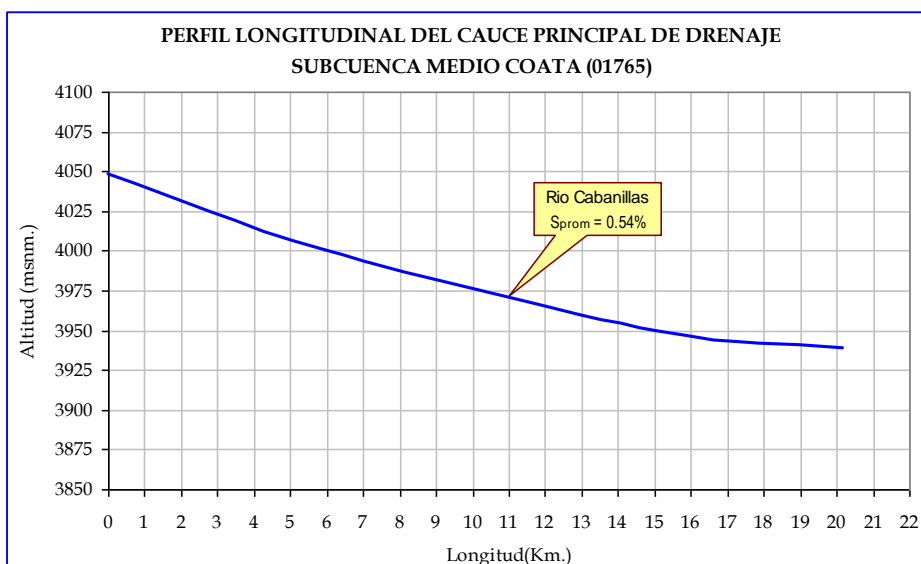
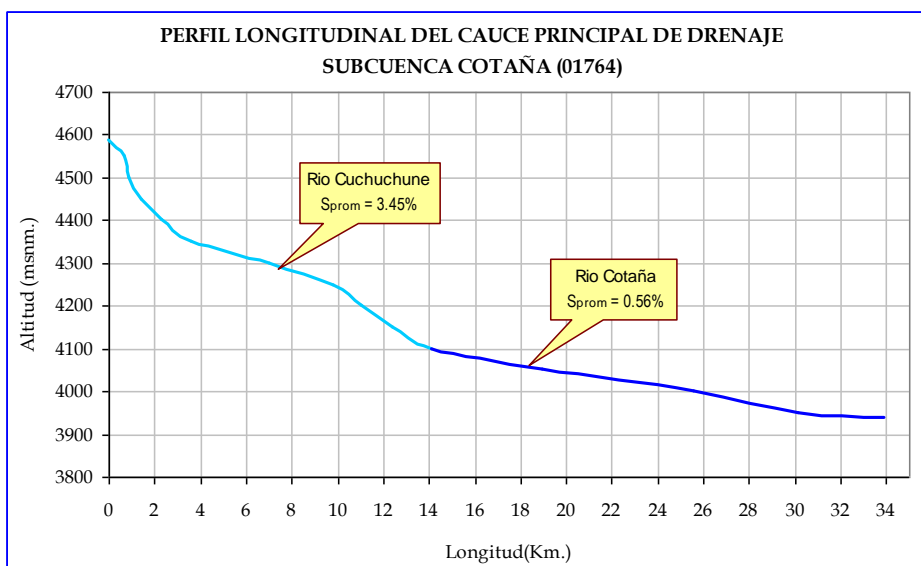
El parámetro que relaciona la longitud total de ríos y el área de la cuenca, tiene como valor promedio 0.61 Km/Km² para la cuenca Coata, lo que indica que la cuenca del río Coata está bien drenada. Las subcuencas de Lampa, Cotaña y Paratía tienen un drenaje más denso, del orden 0.76 Km/Km². Ver Tabla N° 3.28.

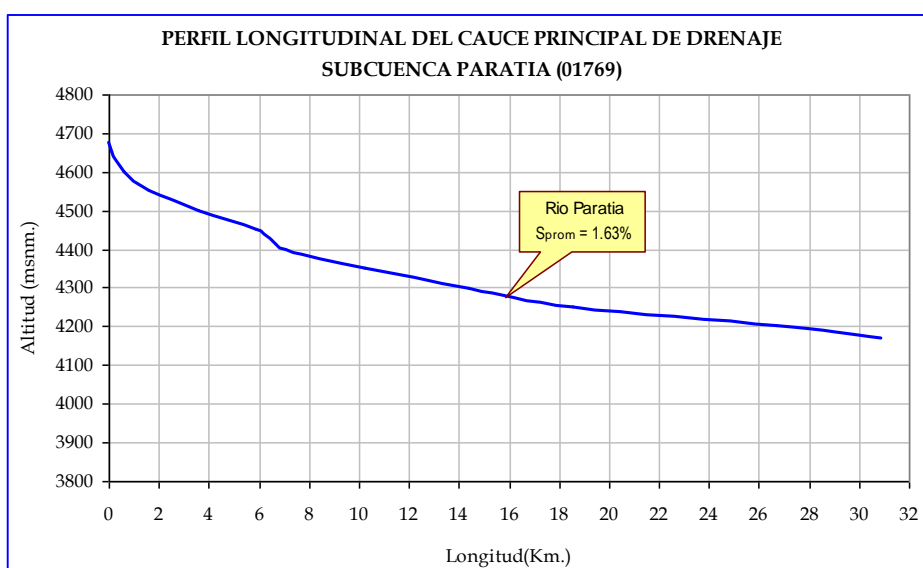
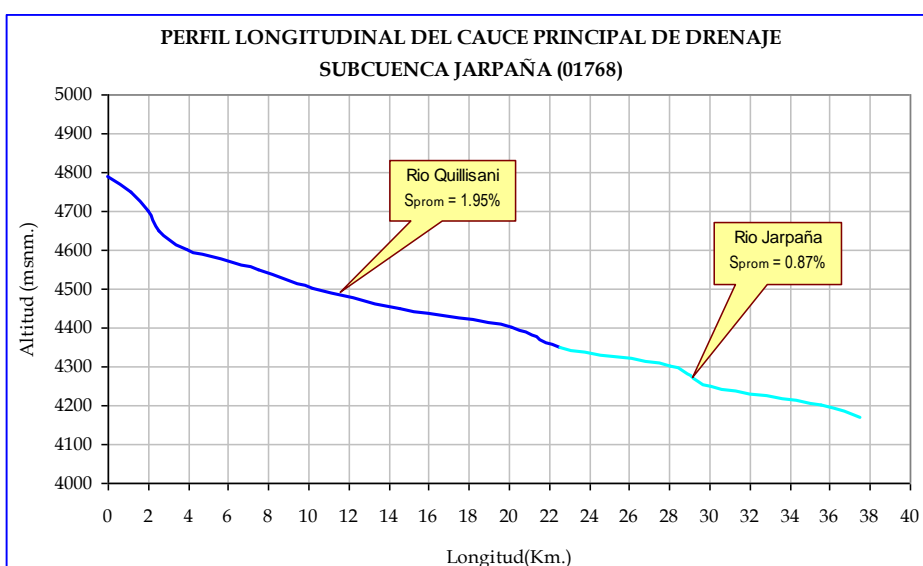
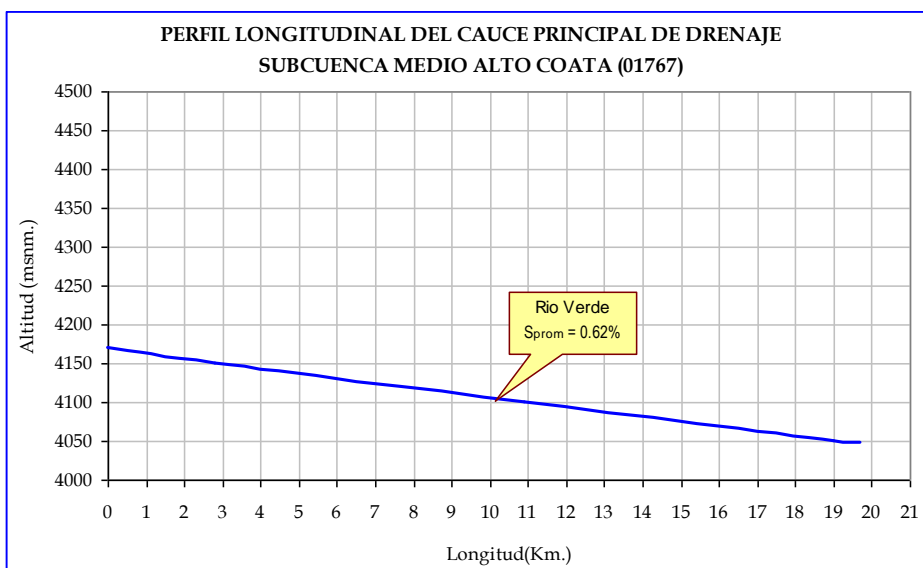
3) Pendiente Media del Río Principal

El valor de la pendiente longitudinal se ha efectuado con el método de áreas compensadas para el cauce principal de cada subcuenca. El río Pisco Coata presenta una pendiente media de 1.13%, pero en la parte baja cerca al Lago Titicaca la pendiente es de 0.007%. Los ríos de las subcuencas ubicadas en las partes superiores tienen pendientes medias más altas. Ver Tabla N° 3.28. En la Figura N° 3.29 se presenta el perfil longitudinal del cauce principal correspondiente a las subcuencas del río Coata.

Figura N° 3.29
Perfil Longitudinal del cauce Principal - Subcuencas del río Coata







4) Tiempo de Concentración (Tc)

Definido como el tiempo necesario para que una gota de lluvia caída se movlice desde el punto más alejado de la cuenca hasta su lugar de salida.

Para el cálculo del tiempo de concentración se ha utilizado la formula californiana, cuya ecuación es la siguiente:

$$T_c = \frac{(0.87L^3)^{0.385}}{H}$$

Donde: L = Longitud de cauce principal de la cuenca (Km.)

H = Desnivel entre la salida y el punto mas alejado de la cuenca (Km.)

Los resultados indican que para la cuenca Coata el tiempo de concentración es igual a 268.4 hr., para las subcuencas ubicadas en la parte alta de la cuenca el tiempo de concentración es alrededor de 63 hr., para la subcuenca de Lampa le corresponde un valor de 140 hr. Ver Tabla N° 3.28.

3.9.2.6. ESQUEMA FLUVIAL

En las Figuras N° 3.30 hasta la Figura N° 3.39 se presenta los esquema fluviales de la Cuenca y Subcuencas del río Coata.

Los esquemas fluviales han sido elaborados por el equipo de Inventario de Fuentes de Agua Superficial del presente Proyecto.

Figura N° 3.30
Esquema Fluvial - Cuenca del río Coata

Figura N° 3.31
Esquema Fluvial - Subcuenca Paratía

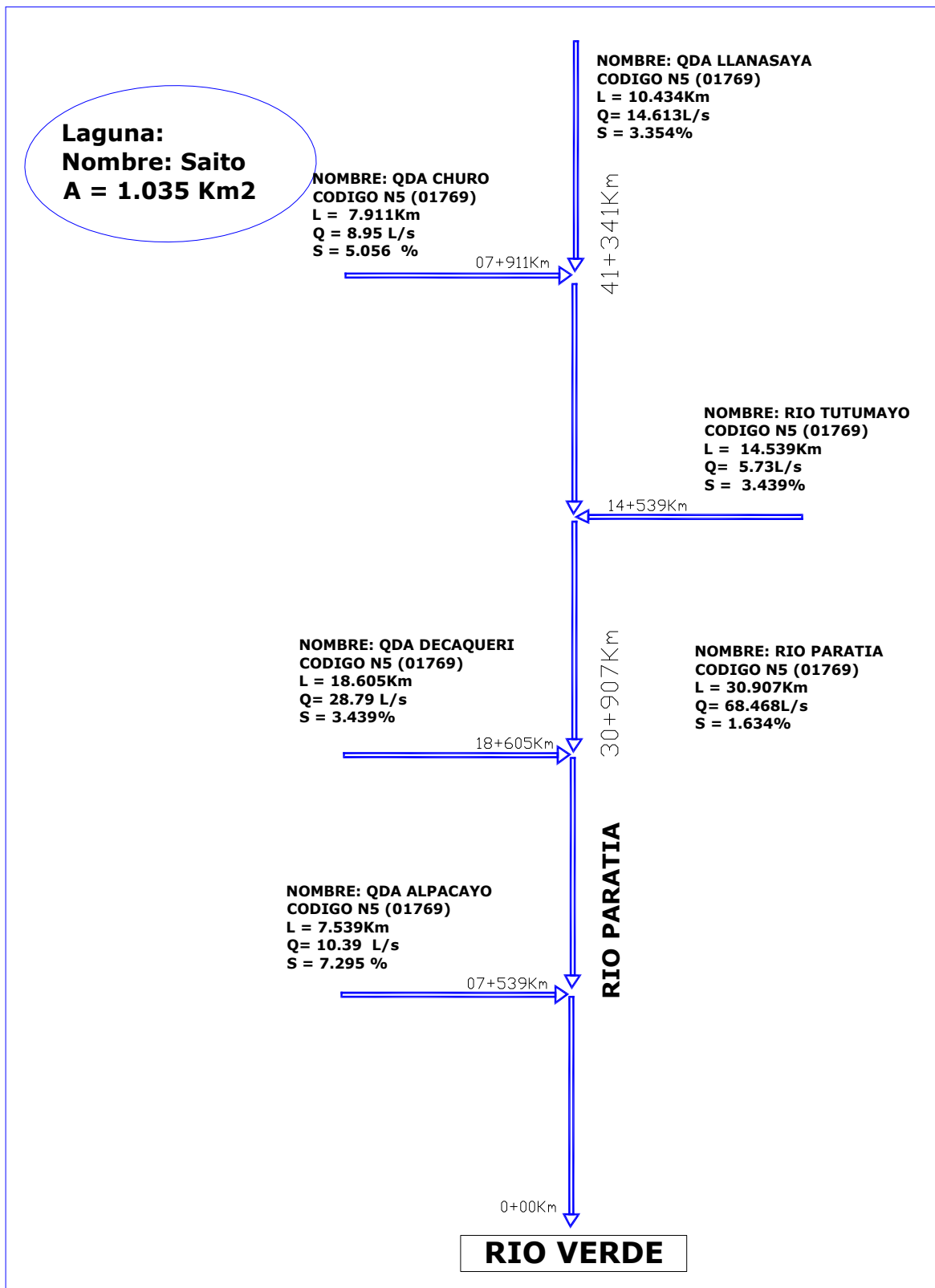


Figura N° 3.32
Esquema Fluvial - Subcuenca Jarpaña

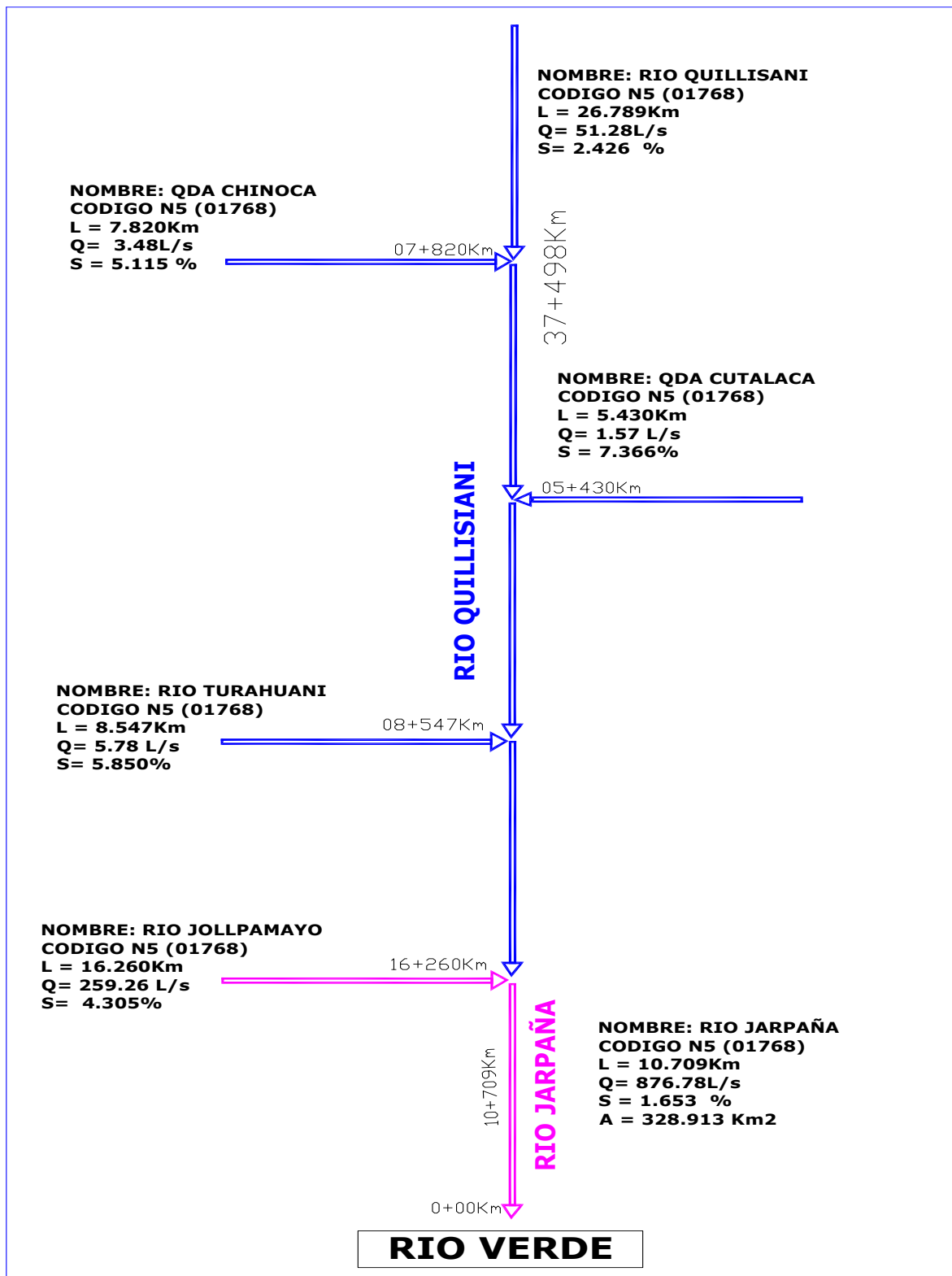


Figura N° 3.33
Esquema Fluvial - Subcuenca Medio Alto Coata

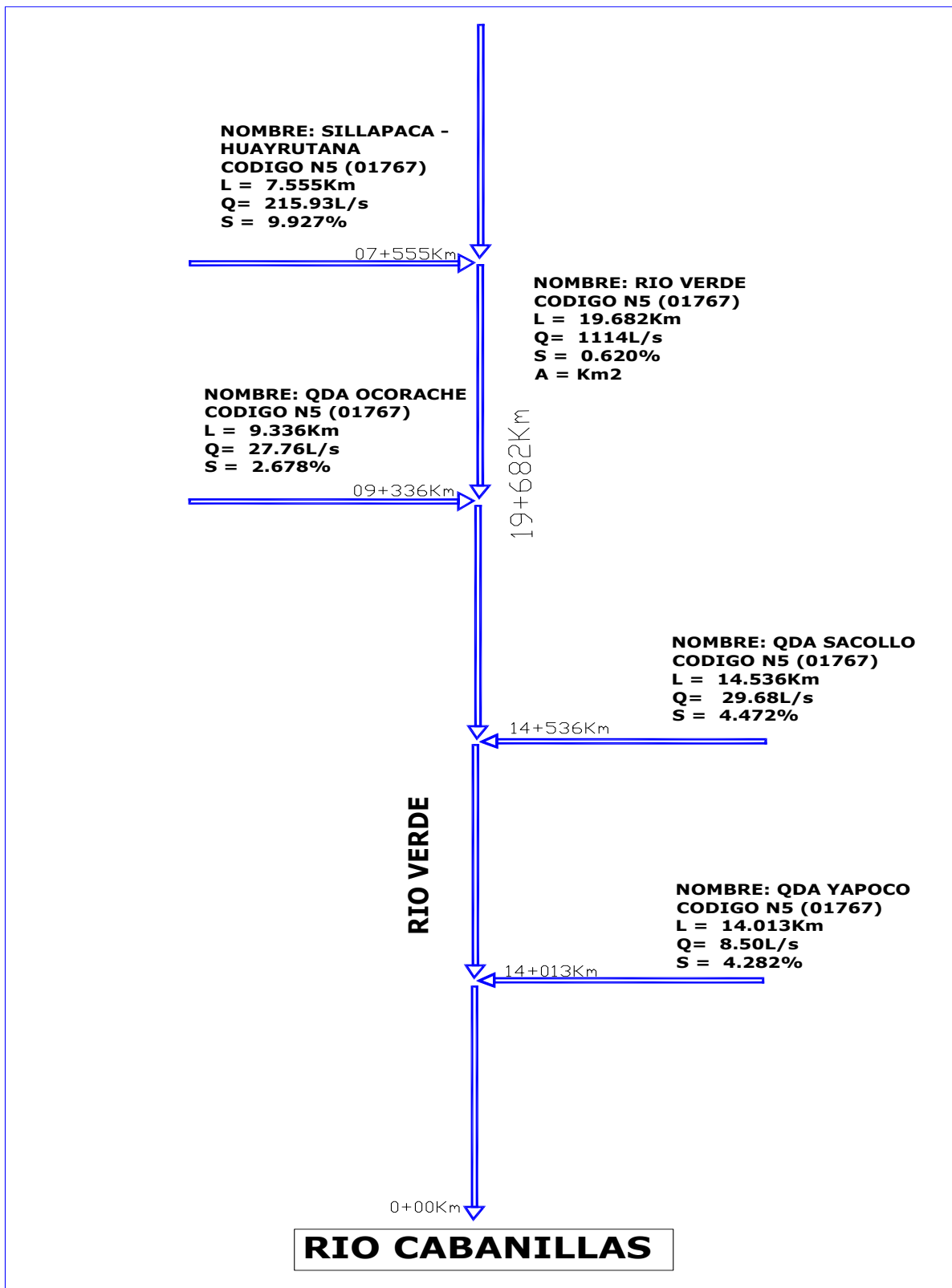


Figura Nº 3.34
Esquema Fluvial – Subcuenca Cerrillos

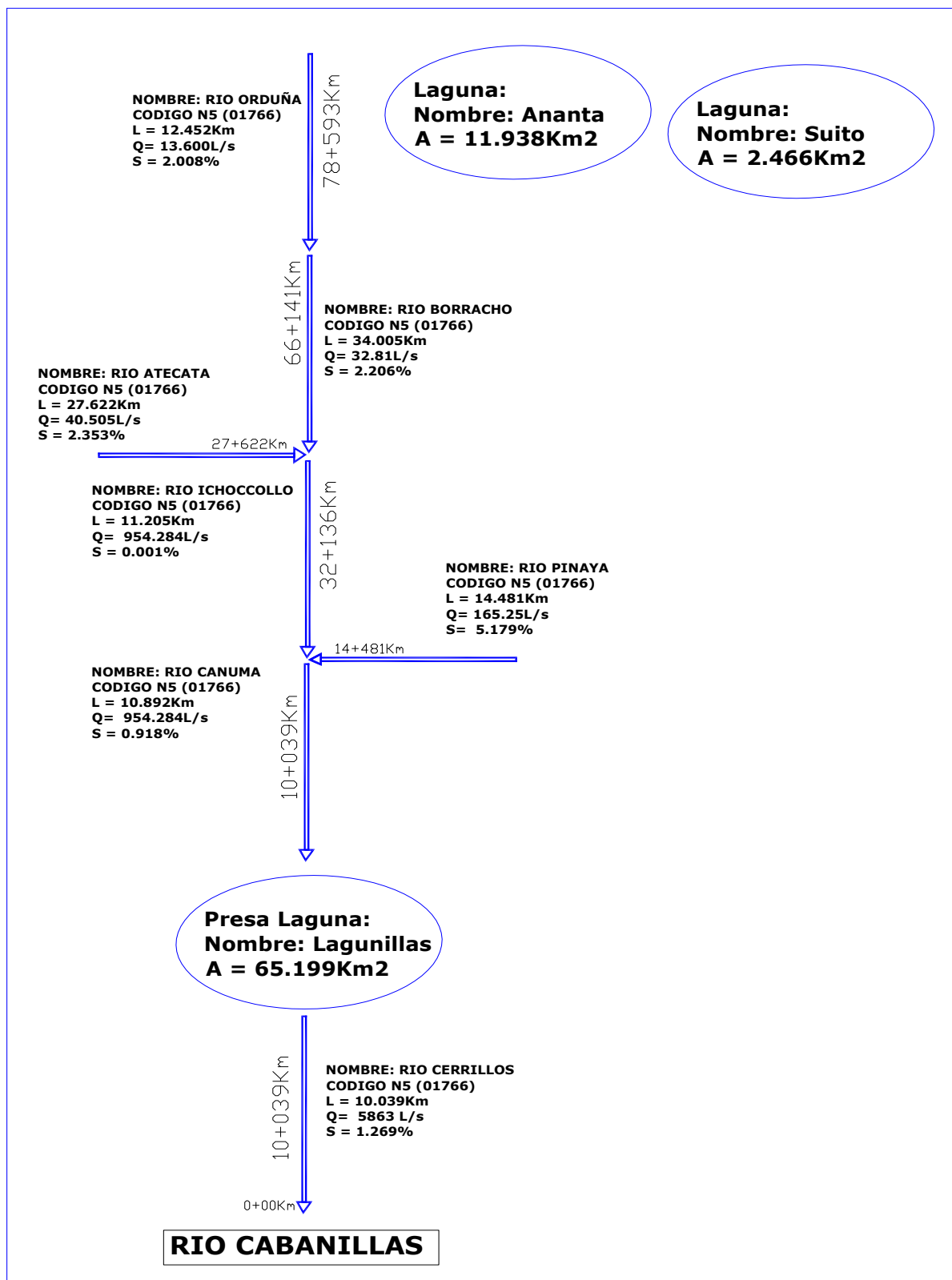


Figura N° 3.35
Esquema Fluvial – Subcuenca Medio Coata

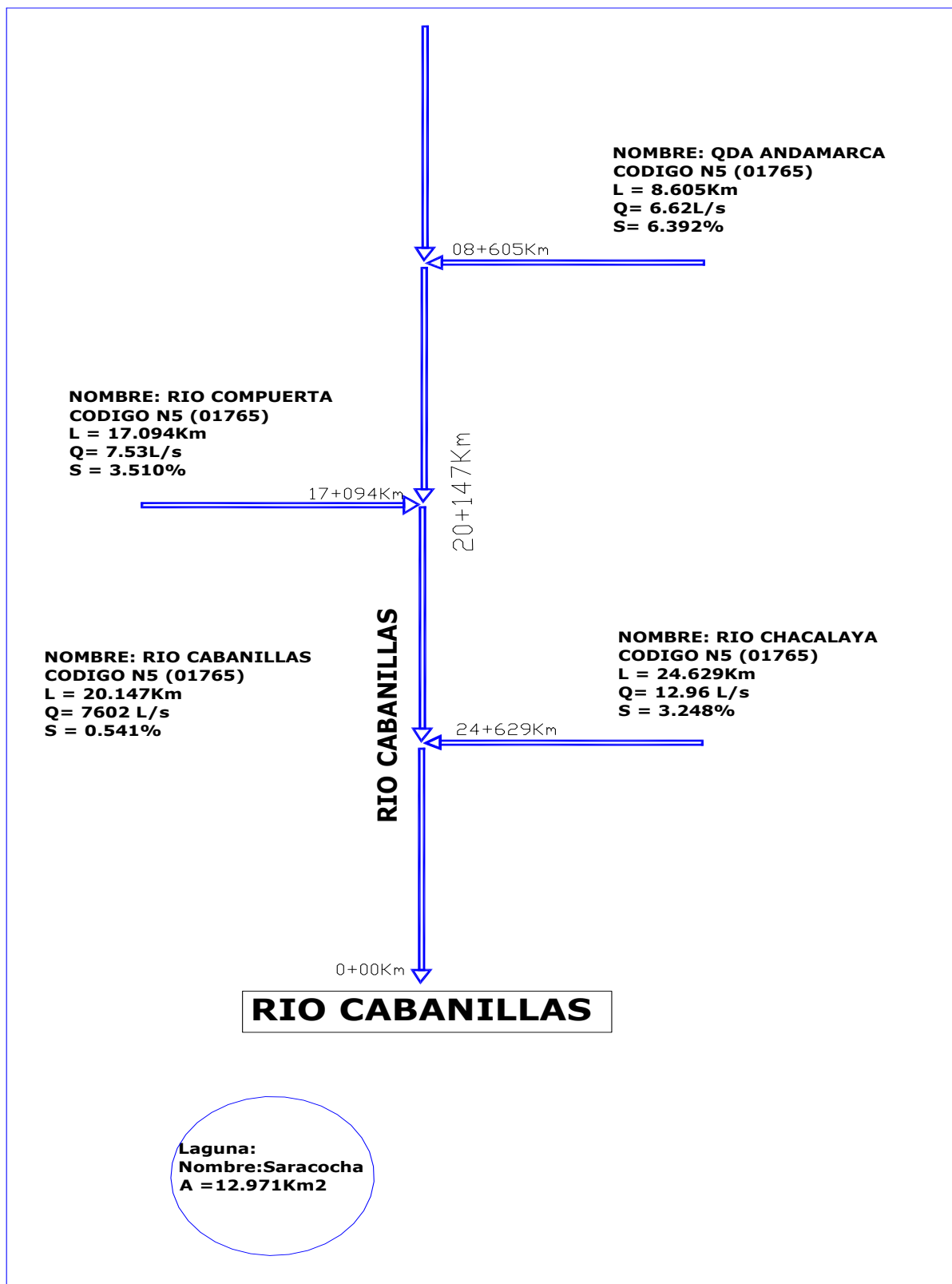


Figura N° 3.36
Esquema Fluvial – Subcuenca Cotaña

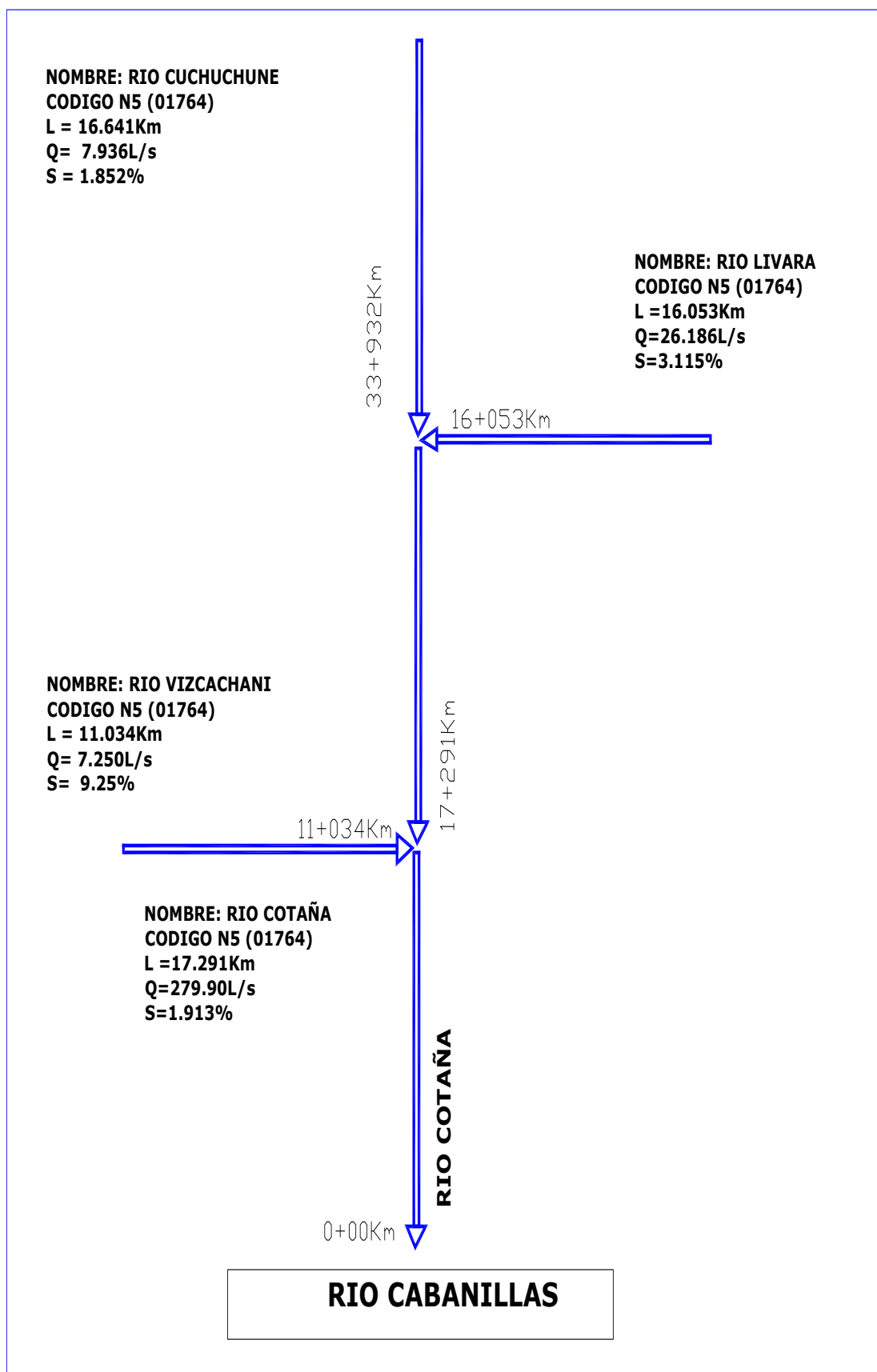


Figura N° 3.37
Esquema Fluvial – Subcuenca Medio Bajo Coata

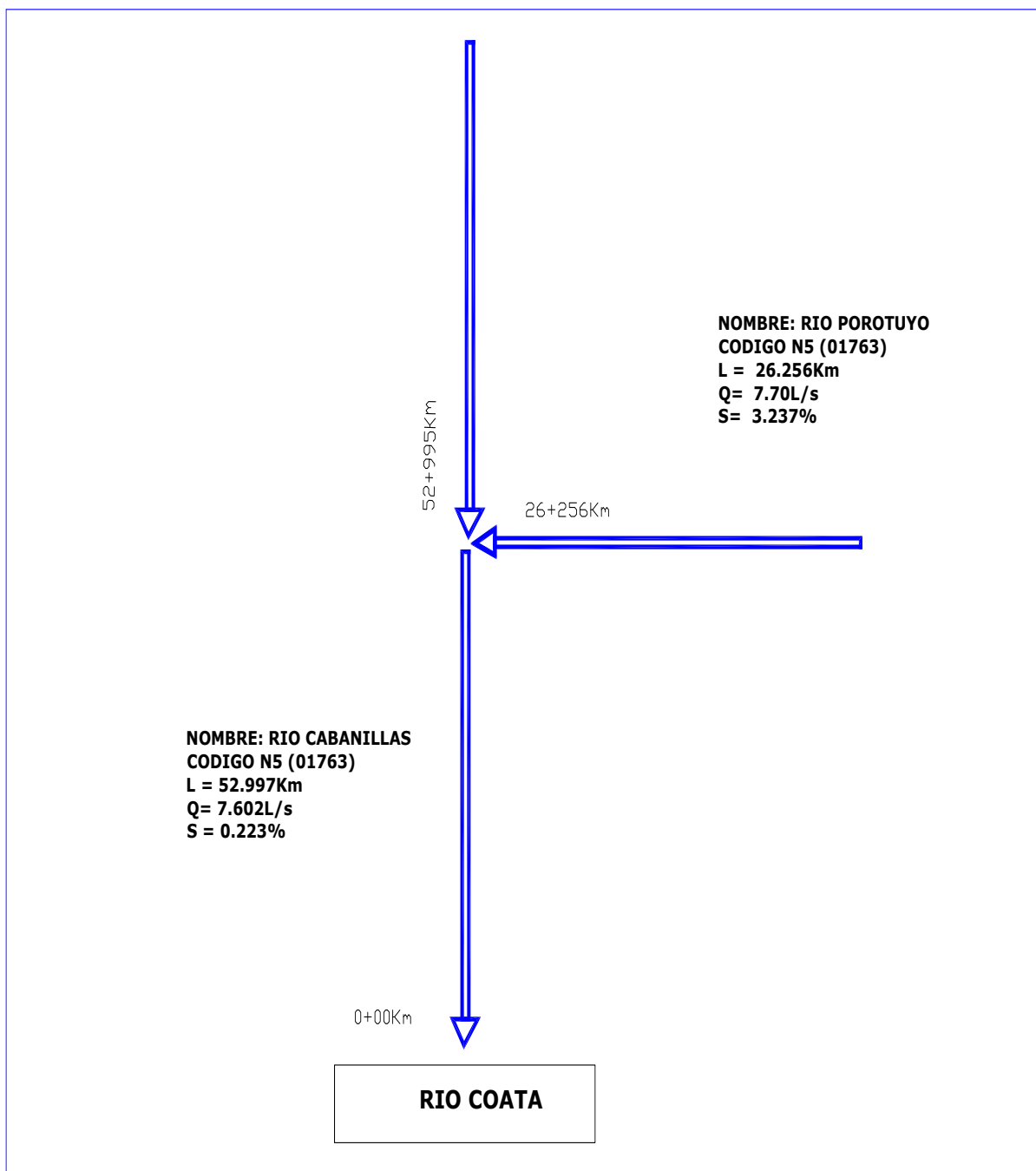


Figura N° 3.38
Esquema Fluvial – Subcuenca Lampa

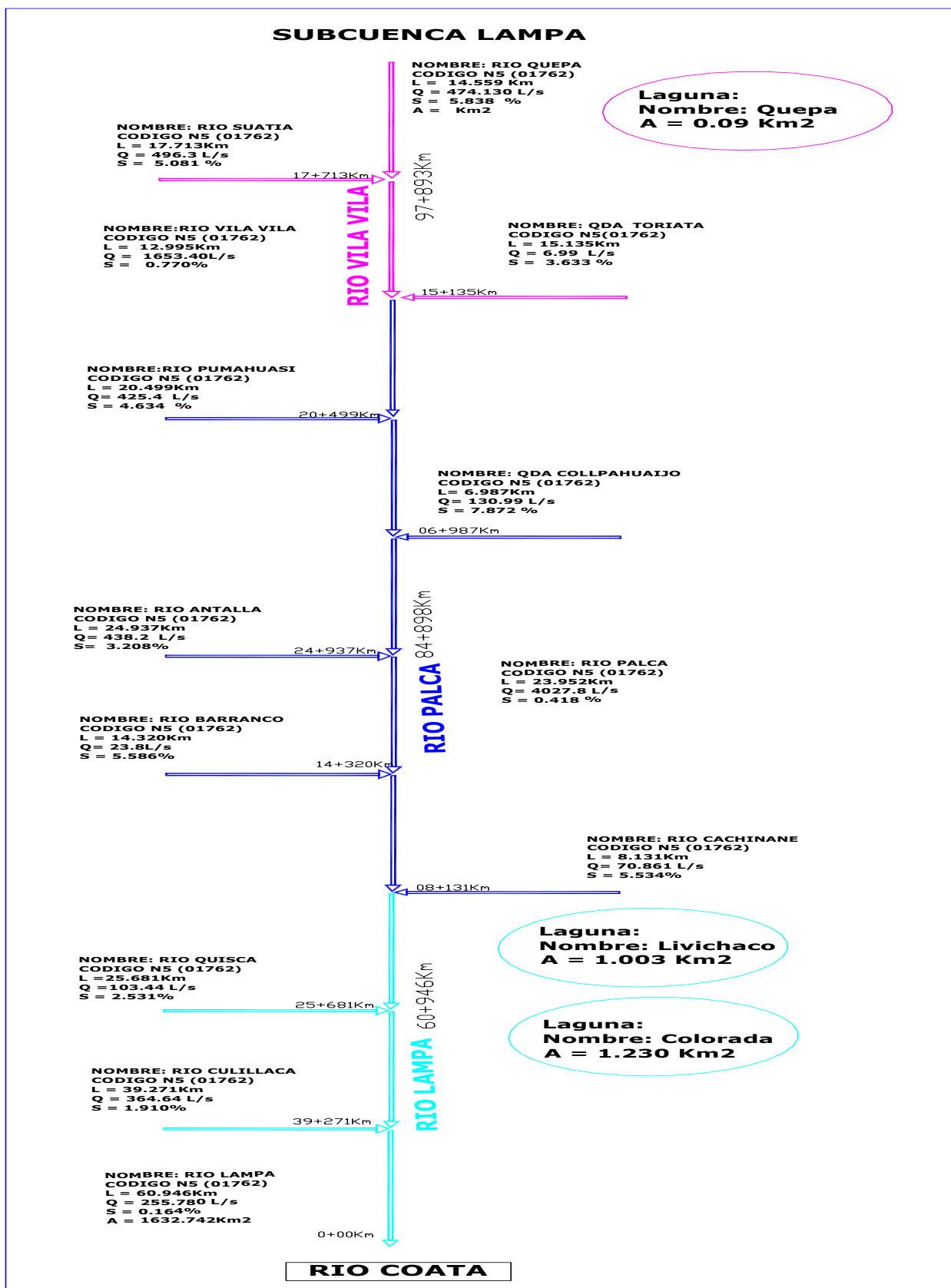
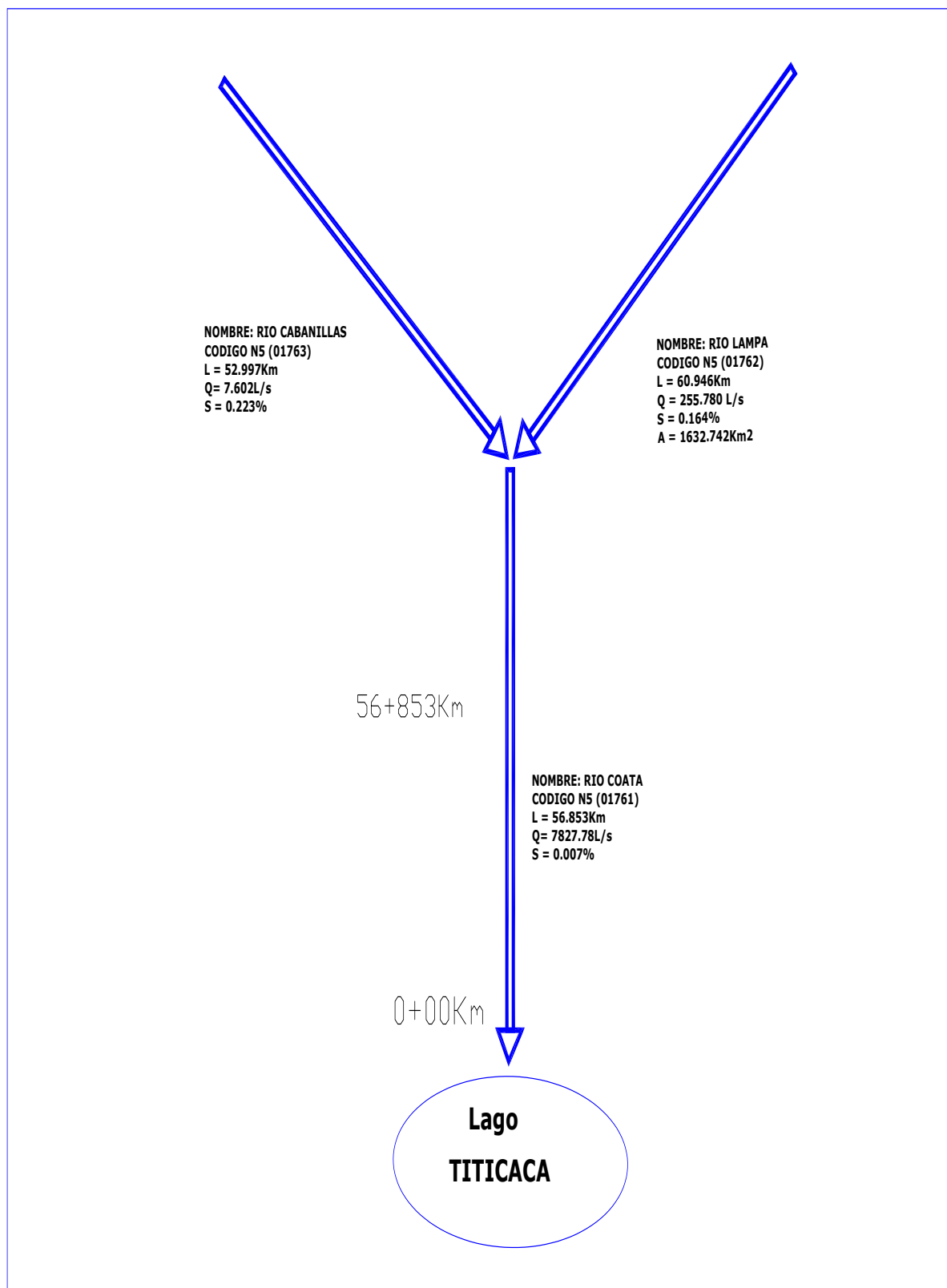


Figura N° 3.39
Esquema Fluvial – Subcuenca Bajo Coata



3.10. RECURSOS HIDRICOS SUPERFICIALES

La identificación de las distintas fuentes hídricas superficiales en la cuenca del río Coata se ha realizado mediante los trabajos desarrollados por el componente "Inventario y Evaluación de fuentes de agua superficial de las cuencas de los ríos Cabanillas y Lampa" del presente proyecto, trabajos desarrollados paralelamente al desarrollo del presente reporte, y en cuyo informe final se detalla la actividad.

En la cuenca se distingue básicamente cinco tipos de fuentes de agua superficial: Ríos, Quebradas, Lagunas, Manantiales y Bofedales.

En lo que respecta a la distribución espacial, según unidades hidrográficas, de la cantidad de fuentes inventariadas (Ríos, Quebradas, Lagunas, Manantiales y Bofedales) se tiene: En la subcuenca Lampa se concentra el mayor número de fuentes, sumando 586 fuentes (36% del total); en la subcuenca Cerrillos 203 fuentes (13% del total); en la subcuenca Cotaña 192 fuentes (12% del total); en la subcuenca Paratia 183 fuentes (11% del total); el restante porcentaje (28%) de fuentes se ubica en las subcuencas Bajo Coata, Medio Bajo Coata, Medio Alto Coata y Jarpaña. La mayor concentración de fuentes hídricas se da en la parte alta de la cuenca Coata, lo que significa para el caso de lagunas, que sus 49.84 Km² de superficie almacenada o espejo de agua, tienen una importante contribución en la retención de la cuenca.

En la Tabla N° 3.32, se presenta el consolidado del inventario de fuentes de agua superficial por subcuencas, según número total de cada tipo de fuente. En la Figura N° 3.40 se aprecia la distribución del número total de fuentes de agua superficial en la cuenca Coata. Y en la Figura N° 3.41, el porcentaje de fuentes de agua superficial por cada subcuenca.

En la Figura N° 3.40 se observa que las quebradas existen en mayor número en total 687 unidades, seguido por manantiales (564 unid.), Bofedales (163 unid.), Lagunas (121 unid.) y Ríos (94 Unid.) en el ámbito de la cuenca Coata.

Tabla N° 3.32
Consolidado del Inventario de Fuentes de Agua Superficial – Cuenca del río Coata

Subcuenca	Número de Fuentes de Agua Superficial						Total
	Código	Ríos	Quebradas	Lagunas	Manantiales	Bofedales	
Bajo Coata	01761	2	12	20	16	0	50
Lampa	01762	43	245	57	191	50	586
Medio Bajo Coata	01763	4	52	2	11	1	70
Cotaña	01764	9	55	3	110	15	192
Medio Coata	01765	7	61	9	57	19	153
Cerrillos	01766	12	73	24	75	22	206
Medio Alto Coata	01767	5	28	1	19	10	63
Jarpaña	01768	6	57	2	43	18	126
Paratia	01769	6	104	3	42	28	183
Totales		94	687	121	564	163	1629

Figura N° 3.40
Distribución del Numero de Fuentes de Agua Superficial – Cuenca Coata

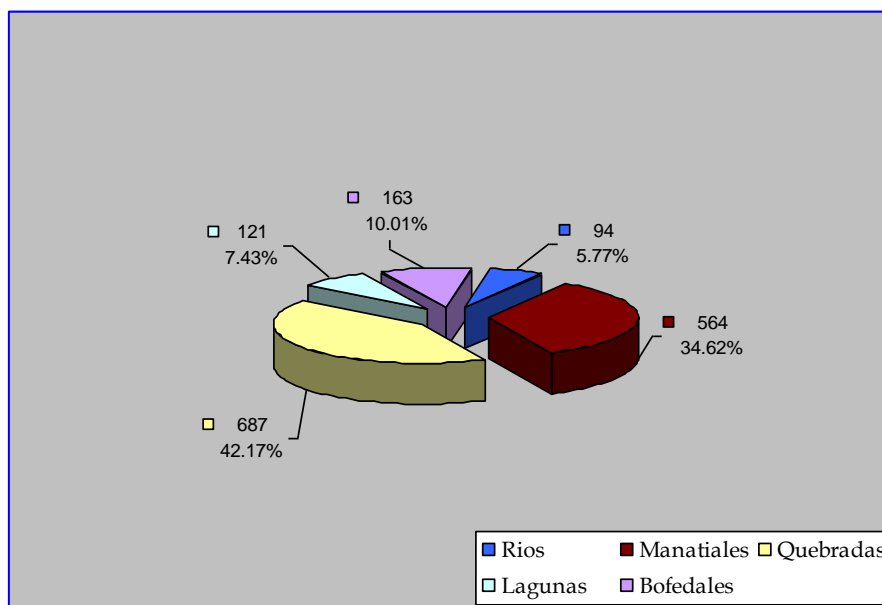
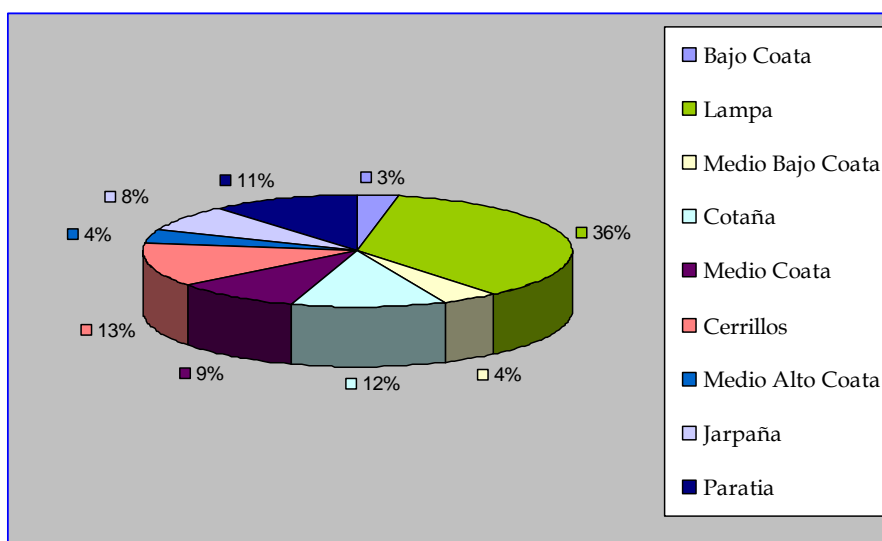


Figura N° 3.41
Distribución del Porcentaje de Fuentes de Agua Superficial – por Subcuencas



3.10.1. RIOS

El inventario de ríos en la cuenca del río Coata se ha realizado considerando el concepto de que un río es un cauce natural con agua durante un año hidrológico, los otros cauces endorreicos tienen la denominación de “quebradas”, que son una parte importante del sistema de drenaje de la cuenca durante la época de precipitaciones pluviales. Una primera descripción del sistema de drenaje de la cuenca, en la que se distingue los principales ríos de esta, se ha realizado en el ítem 3.9.2.1 del presente

capítulo.

La fuente de escorrentía superficial más importante en la cuenca Coata es el río Cabanillas y el río Lampa, siendo el río Coata como un dren final hacia el lago Titicaca. El río Coata como río de orden 6, posee 781 afluentes, entre ríos y quebradas según el trabajo de inventario. Se ha identificado 94 ríos, de los cuales 82 son de régimen continuo y 12 son de carácter esporádico. En la Tabla N° 3.32 se presenta la distribución de ríos por cada subcuenca.

El resumen, de la información de campo se muestra en la Tabla N° 3.32 de distribución se ve que la Subcuenca Lampa presenta la mayor cantidad de ríos, 45.7% del total, en las subcuencas Cerrillos y Cotaña se presenta el 12.8% y 9.6% respectivamente de los ríos de la cuenca.

3.10.2. QUEBRADAS

Los cauces de la mayoría de quebradas existentes son cauces de drenaje de carácter endorreico. Del inventario efectuado se resume, en la Subcuenca Lampa (35.7%), Paratía (15.1%) y Cerrillos (10.6%) es donde se ubica en mayor porcentaje el número de quebradas del total de la cuenca. En la Tabla N° 3.32 se presenta la cantidad de quebradas contenidas en cada subcuenca.

Los cauces de las quebradas en su mayor parte presentan altas pendientes. Generalmente son cauces erosivos, y el material producido en el lecho de estos cauces es transportado en forma de avalancha hacia la parte baja de la cuenca, quedando depositados en los cauces de pendiente baja. A consecuencia de este fenómeno, los terrenos de la cuenca media y baja son lechos aluviales.

3.10.3. MANANTIALES

Los manantiales revisten singular importancia en todo el ámbito de la cuenca, pues sus aguas, que generalmente son de buena calidad, son utilizadas para el consumo poblacional, pecuario y de riego. Estas fuentes se presentan con mayor frecuencia en las subcuencas ubicadas en la parte alta y media de la cuenca. Estas fuentes son vitales para la subsistencia del medio biológico, ya que en muchos sectores son las únicas fuentes que suministran el recurso hídrico en forma permanente.

Del inventario efectuado se resume, en la Subcuenca Lampa (33.9%), Cotaña (19.5%) y Cerrillos (13.3%) es donde se ubica en mayor porcentaje el número de manantiales del total de la cuenca. En la Tabla N° 3.32 se presenta la cantidad de manantiales contenidas en cada subcuenca.

3.10.4. BOFEDALES

Los bofedales o humedales son fuentes de gran importancia. Se ubican mayormente en la parte alta de la cuenca. Son fuentes de agua que mayormente sirven para mantener la humedad de los terrenos aledaños a su ubicación y cumplen una función para la actividad pecuaria.

Del inventario efectuado se resume, en la Subcuenca Lampa (30.7%), Paratía (17.2%) y

Cerrillos (13.5%) es donde se ubica en mayor porcentaje el número de bofedales del total de la cuenca. En la Tabla N° 3.32 se presenta la cantidad de bofedales contenidas en cada subcuenca.

3.10.5. LAGUNAS

La cuenca alta del río Coata presenta, como la mayoría de casos, depresiones de terreno en las que se han formado almacenamientos de agua o lagunas, que se ubican entre las altitudes 4,100 y 4,850 msnm. Se ha inventariado un total de 121 almacenamientos naturales. La mayor parte de estos almacenamientos de agua permanecen en estado natural, representando un potencial hídrico para futuras demandas de la cuenca.

Dentro de la Subcuenca Cerrillos se ubica la laguna Lagunillas, el cual mediante una construcción de una presa en el cauce de su efluente ha sido incrementado su capacidad de almacenamiento. Este embalse de Lagunillas ha permitido planificar proyectos de irrigación (Sistema Integral Lagunillas) en la parte media y baja de la cuenca del río Cabanillas. En esta misma subcuenca se localiza otro importante almacenamiento de agua, que es laguna Ananta, ubicado en la cabecera de esta subcuenca, actualmente se encuentra en estado natural sin explotación. La fuente de alimentación de las lagunas en la mayor parte son las filtraciones.

Dentro de la subcuenca Lampa existe gran cantidad de lagunas de pequeñas dimensiones, alimentada por los nevados existentes en la parte alta y también por filtraciones.

Como se aprecia en la Tabla N° 3.32, en la subcuenca Lampa se ubica la mayor cantidad de lagunas (57 fuentes, que representa el 47.1% del total), mientras que en las subcuencas Cerrillos y Bajo Coata se presenta 24 y 20 lagunas (19.8% y 16.5%) respectivamente.

CAPITULO 4

Pluviometría

4.1. GENERALIDADES

Se entiende por precipitación al agua que proviene de la humedad atmosférica y cae a la superficie terrestre, principalmente en estado líquido (llovizna y lluvia) o en estado sólido (escarcha, nieve y granizo). La precipitación es la fase del ciclo hidrológico que da origen a todas las corrientes superficiales y profundas, debido a lo cual su evaluación y el conocimiento de su distribución, tanto en el tiempo como en el espacio, son problemas básicos en hidrología. La precipitación junto a la evaporación constituyen la forma mediante la cual la atmósfera interactúa con el agua superficial en el ciclo hidrológico del agua.

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

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

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

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

4.2. RED DE ESTACIONES - INFORMACION HISTORICA

La información pluviométrica disponible corresponde a una red de dieciseis estaciones de meteorología para el estudio de la precipitación ubicadas dentro de la Cuenca Coata y en el entorno externo de esta. En el Item 2.5.3 del capítulo 2 del presente reporte se ha descrito las estaciones pluviométricas utilizadas (Ver Tabla N° 2.2) asimismo se presentó en forma gráfica la longitud de registro histórico de la precipitación total mensual de cada estación meteorológica. (Ver Figura N° 2.1).

Las estaciones ubicadas en la cuenca del río Coata son cinco: Pampahuta, Cabanillas, Lampa, Juliaca y Quillisani, de las que actualmente sólo funcionan las cuatro primeras, la última estación solo tiene registros en el periodo (1962 - 1987). La estación de Lagunillas - Santa Lucía durante el proceso de análisis se ha descartado la información registrada en esta estación por presentar inconsistencias.

Las estaciones de apoyo que se ubican en las cuencas vecinas son once: Llally, Ayaviri, Pucará y Taraco (cuenca Ramis), Capachica, Puno, Mañazo (cuenca Titicaca), Ichuña (cuenca Alto Tambo), Crucero Alto e Imata (cuenca Chili) y Condorama (cuenca Colca). Algunas estaciones en la cuenca del río Ramis, a pesar de encontrarse próximas a la cuenca Coata, no se han tomado en cuenta dado que su ámbito de influencia (Polígonos de Thiessen) no es incidente.

El horizonte de análisis de la precipitación total mensual para todas las estaciones se ha fijado en 40 años, lo que corresponde al periodo de tiempo desde el año 1967 hasta el 2006. En la Figura N° 4.1 se presenta el histograma de la precipitación total mensual de cada una de las estaciones pluviométricas.

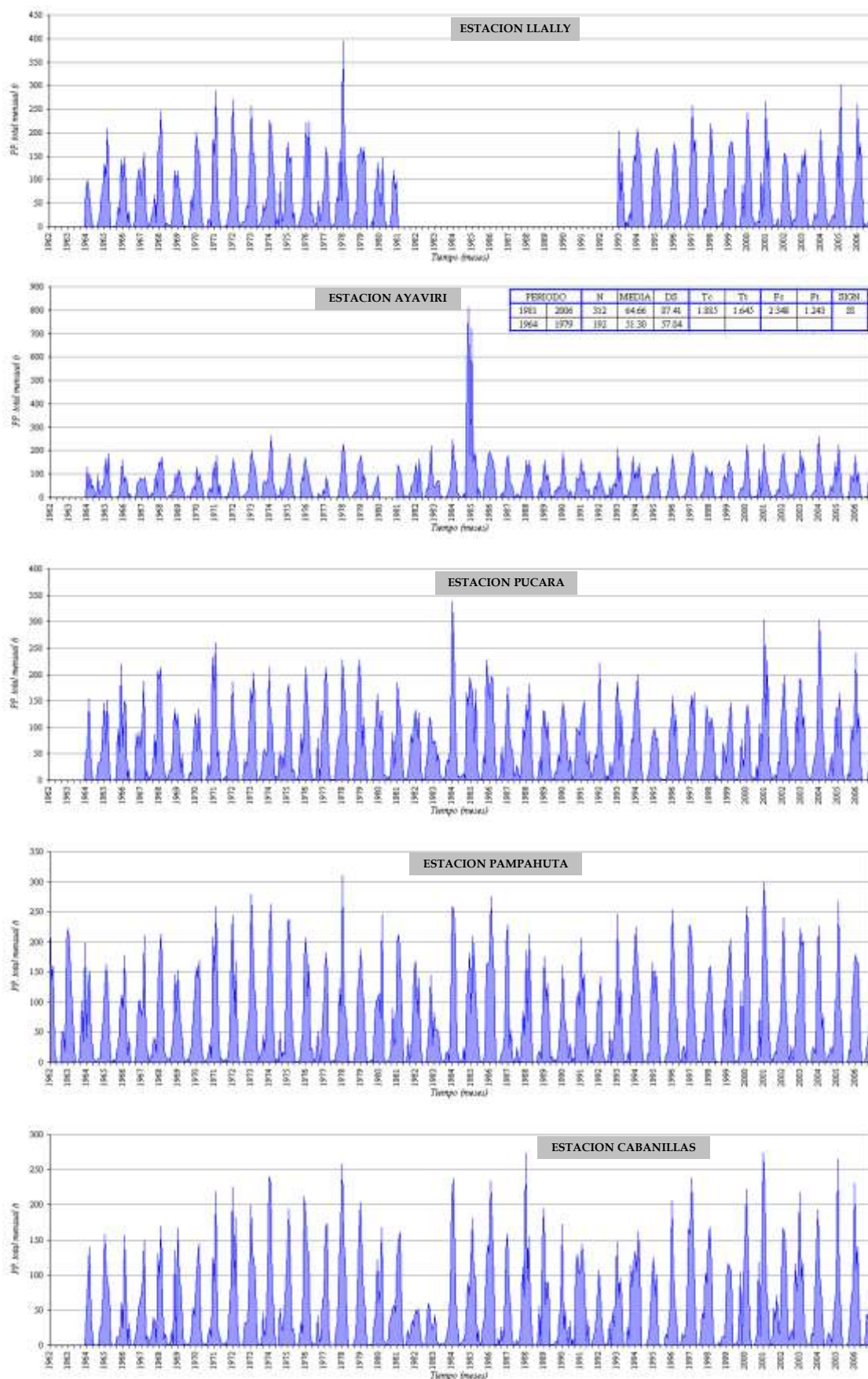
4.3. ANALISIS DE CONSISTENCIA

Este tipo de análisis es empleado para comprobar si los datos (generalmente valores totales anuales) con los que contamos son consistentes, es decir, verificar si la estación ha sido bien observada, ya que pequeños cambios en la ubicación de la estación meteorológica, exposición e instrumentación pueden producir variaciones en la precipitación captada. Por otro lado, la importancia de este tipo de análisis radica en que mediante él se puede saber si las variaciones en la tendencia de la precipitación son independientes de la medición, y pueden deberse sólo a condiciones meteorológicas.

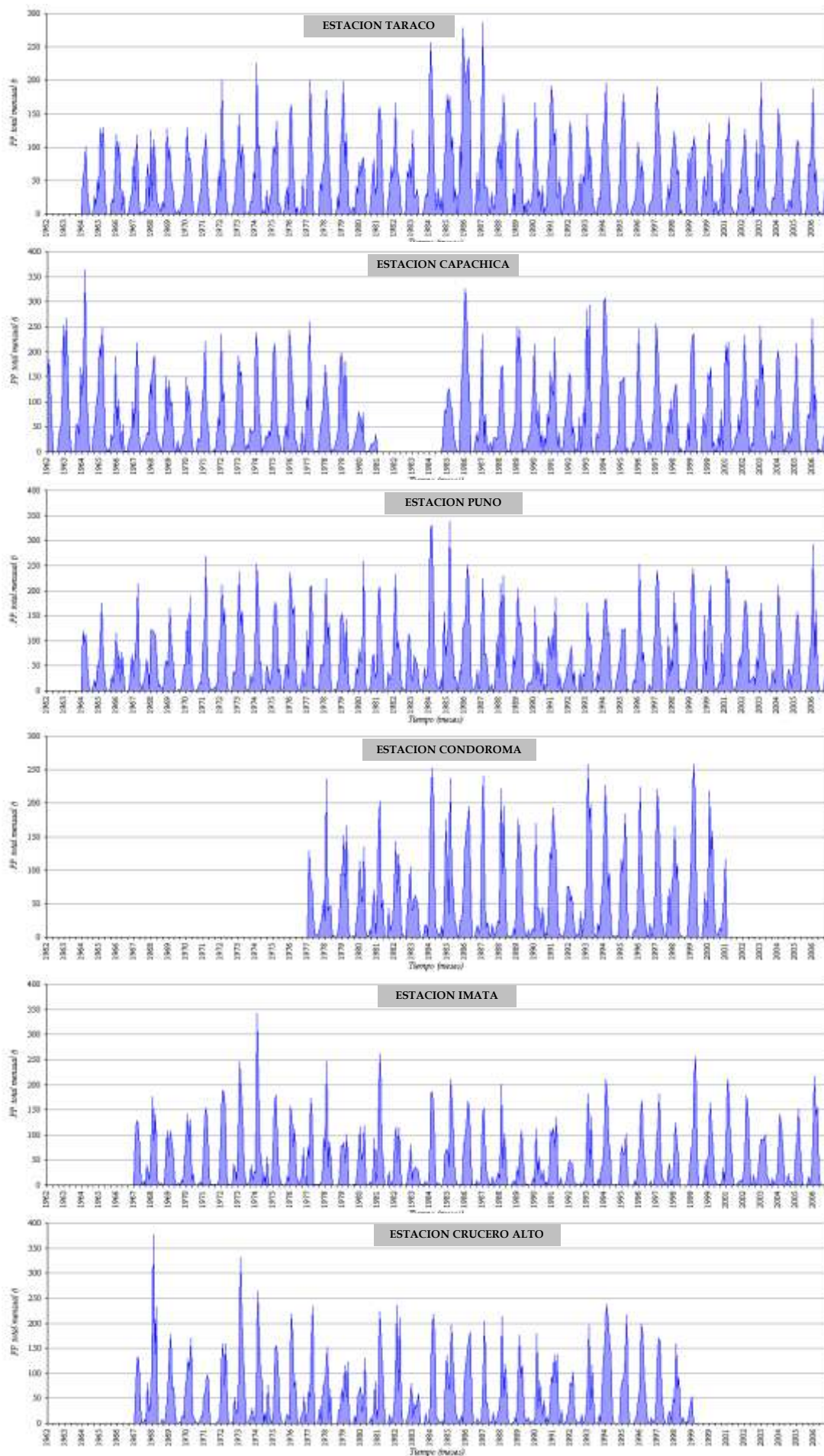
Para la realización del análisis de consistencia se emplean las curvas Doble Masa, en las cuales se relaciona la precipitación anual acumulada de una estación X (estación que se analiza) con el correspondiente valor medio de la precipitación anual acumulada de un grupo de estaciones vecinas. Si la estación que se analiza ha sido bien observada, los puntos deberán alinearse en una recta, pero si existe algún quiebre, o cambio de pendiente en la recta, ello indicará que la estadística de la estación debe ser corregida. Los registros a corregir serán, por lo general, los más antiguos y se harán con base en los registros más recientes, ya que se considera que los datos de los últimos años son realizados con una mejor técnica que la empleada en sus predecesores.

La no-homogeneidad e inconsistencia en secuencias hidrológicas representa uno de los aspectos más importantes del estudio en la hidrología, puesto que si éstos no son identificados y eliminados, un error significativo puede introducirse en todos los análisis futuros obteniendo resultados altamente sesgados.

Figura N° 4.1
Histograma de Precipitación Total Mensual Histórica (mm.) - Estaciones Pluviométricas







Como es caso típico en nuestro medio, en los registros históricos proporcionados por las instituciones pertinentes responsables del monitoreo meteorológico, con frecuente regularidad siempre existe en las series de tiempo valores ausentes en forma puntual o continua por periodos mayor a un año.

Antes de evaluar la consistencia de la información pluviométrica, se realizó la completación de los valores ausentes puntuales, utilizando para ello, la información de los años con registros completos (es decir, aquellas que tengan durante los doce meses) aún éstas no sean consecutivas, obteniéndose de esta manera la precipitación promedio multi-anual a nivel mensual y anual, luego se procedió a hallar el factor adimensional (k) para cada mes del año, con la siguiente ecuación:

$$K_i = \frac{\bar{x}_i}{X}$$

Donde: \bar{x}_i = Precipitación promedio multi-anual del mes i

X = Precipitación promedio multi-anual a nivel anual.

Con este factor k se procedió a hallar la precipitación de los valores ausentes. En las Tablas del Anexo (Volumen II), se presenta la información completada de las series de tiempo correspondiente a cada una de las estaciones.

Puesto que se dispone de series múltiples de la información pluviométrica en la cuenca de estudio, se procedió a realizar el análisis de doble masa para la identificación de saltos.

La completación de valores ausentes continuos por más de un año completo, se ha completado utilizando métodos de regresión múltiple, como se verá posteriormente en el ítem 4.3.4.

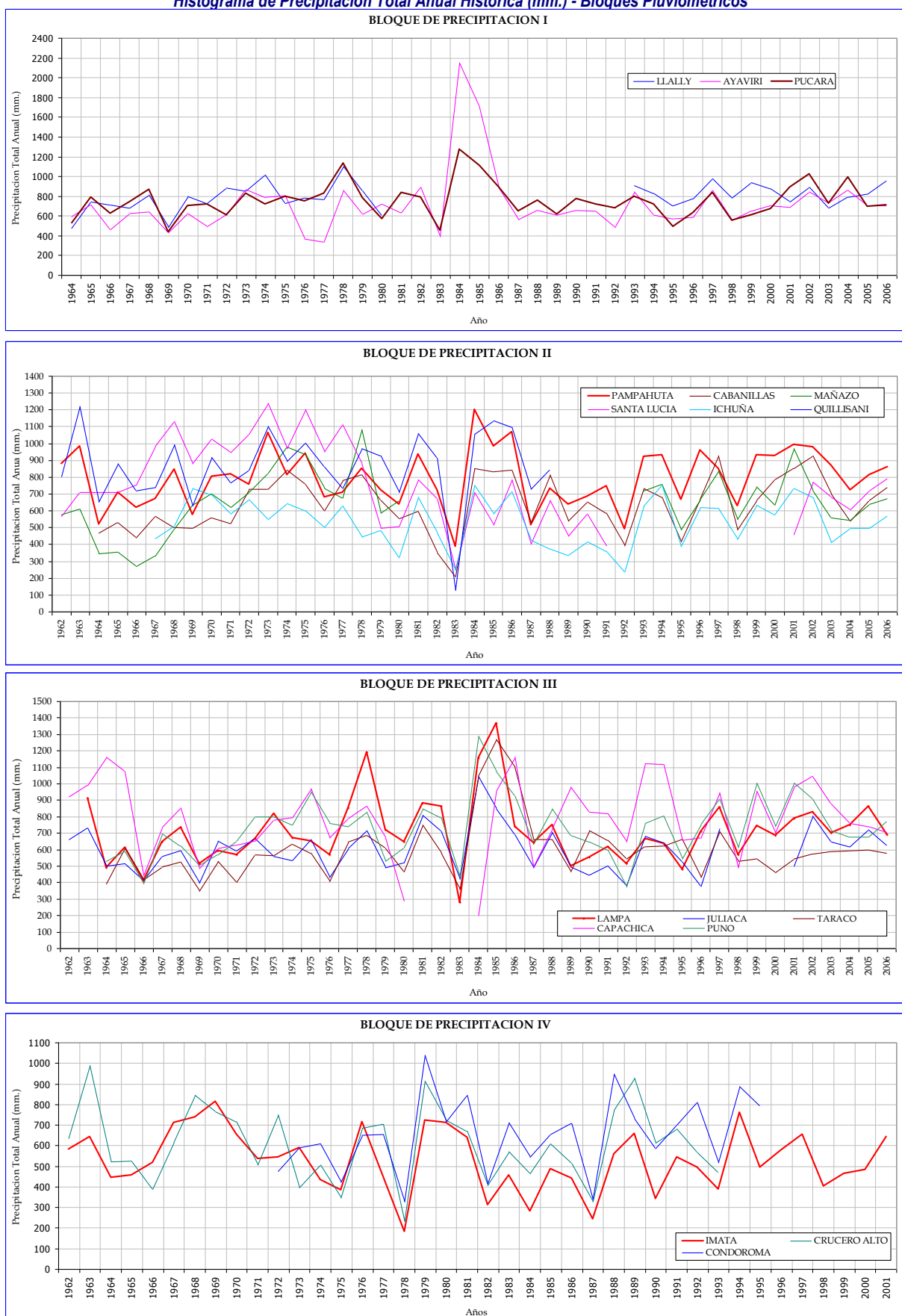
4.3.1. ANALISIS GRAFICO

Para iniciar con el análisis de consistencia de la información pluviométrica, se ha conformado 4 bloques pluviométricos interdependientes de análisis de la precipitación. Los bloques se presentan en la Tabla N° 4.1.

Tabla N° 4.1
Bloques Pluviométricos – Análisis de Precipitación

Bloque	Estaciones	Estación Master
I	Llally, Ayaviri, Pucará	Pucará
II	Pampahuta, Cabanillas, Quillisani, Mañazo. Ichuña	Pampahuta
III	Lampa, Juliaca, Taraco, Capachica, Puno	Lampa
IV	Condorama, Imata, Crucero Alto	Imata

Figura N° 4.2
Histograma de Precipitación Total Anual Histórica (mm.) - Bloques Pluviométricos



El agrupamiento de las estaciones para formar un bloque se ha realizado en base a criterios de ubicación geográfica y distribución espacial de la precipitación. Además otro factor que se tomó en cuenta es la estación master del bloque, que es la estación que tiene el mayor número de años de registro permanente y con el cual se completó los valores ausentes de precipitación en las demás estaciones.

La estación pluviométrica de Pampahuta representa la de mayor incidencia dentro de la cuenca Coata, por las siguientes razones: (1) Su posición geográfica, lo localiza en la zona de altas precipitaciones de la cuenca. (2) Toda el área de influencia (Polígonos de Thiessen) esta dentro de la cuenca, y también esta área es el de mayor incidencia en la precipitación areal en la cuenca. (3) La longitud y calidad de registro histórico es el mejor dentro de la cuenca Coata.

En la Figura N° 4.2 se presenta el histograma de la precipitación total anual de la información histórica disponible. El “spaghetti” ploteado para cada bloque pluviométrico, nos permite en forma preliminar evaluar a simple vista la variación de la precipitación total anual registrada en cada una de las estaciones.

Para cada bloque se ha seleccionado una estación maestra (master) (Ver Tabla N° 4.2). Esta estación es la que tiene mayor longitud de observación y también presenta mayor calidad y regularidad de la variación de la información mensual histórica.

En el primer bloque la traza de la precipitación total anual nos muestra una similar variación temporal en las tres estaciones, excepto en la estación de Ayaviri, en el año 1984 (Octubre y Noviembre) y 1985 (Enero) hay valores elevados de la precipitación. Las causas posiblemente son por precipitaciones anómalas extraordinarias ocurridas o por errores de anotación de los datos. En este bloque la estación de Pucará es el que presenta con mayor regularidad la información histórica de precipitación.

En el segundo bloque se observa la traza de la precipitación total anual en forma similar en todas las estaciones. En este bloque se ha anulado la información pluviométrica registrada en la estación Santa Lucia, ya que por encontrarse en una zona anómala de la cuenca Coata, y también, esta estación ha sido reubicada desde otro lugar en donde funcionaba con el nombre de Lagunillas. En este bloque la información registrada en al estación de Pampahuta es la que presenta mayor consistencia.

En el tercer bloque también se observa la traza de precipitación total anual en forma similar en todas las estaciones del bloque. En este bloque la estación de Lampa se ha seleccionado como la estación master.

En el último bloque, la traza de la precipitación total anual tiene una variación temporal similar en todas las estaciones. Aquí las estaciones de Condorama y Crucero Alto presentan menor longitud de registro histórico. En este bloque la estación de Imata se ha seleccionado como la estación master.

4.3.2. ANALISIS DE DOBLE MASA

El análisis de doble masa, es una herramienta muy conocida y utilizada en la detección de inconsistencias en los datos hidrológicos múltiples (cuando se disponen de dos o más series de datos) en lo que respecta a errores que pueden haberse producido durante la obtención de los mismos, pero no para realizar una corrección a partir de la curva de doble masa.

Los posibles errores se pueden detectar por el quiebre o quiebres que presenta la recta de doble masa; considerándose un registro de datos con menos errores sistemáticos, en la medida que presenta un menor número de quiebres.

Un quiebre de la recta de doble masa o un cambio de pendiente, puede o no ser significativo, ya que si dicho cambio está dentro de los límites de confianza de la variación de la recta para un nivel de probabilidades dado, entonces el salto no es significativo, el mismo que se comprobará mediante un análisis estadístico.

En la Figura N° 4.3 se presenta la Curva Doble Masa correspondiente a la información histórica de la precipitación total mensual de cada una de las estaciones de los cuatro bloques de precipitación.

El análisis de Doble Masa se realiza para cada bloque de precipitación. Se ha ploteado en el eje de las abscisas el promedio anual acumulado de la precipitación anual de las estaciones y, en el eje de las ordenadas la precipitación anual acumulada de cada una de las estaciones de análisis. En cada uno de los bloques de precipitación se verifica la uniformidad de la traza de las estaciones master.

En cada una de las estaciones –excepto en las estaciones master– se verifica la traza respectiva, observándose que existe saltos aparentes. Una vez identificado los posibles periodos dudosos se evalúa la igualdad estadística entre dos periodos de la misma muestra mediante un análisis estadístico.

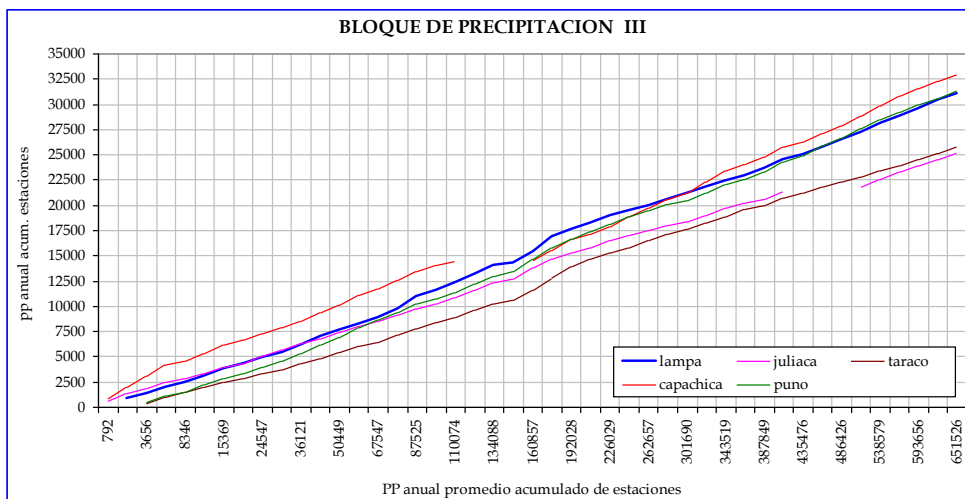
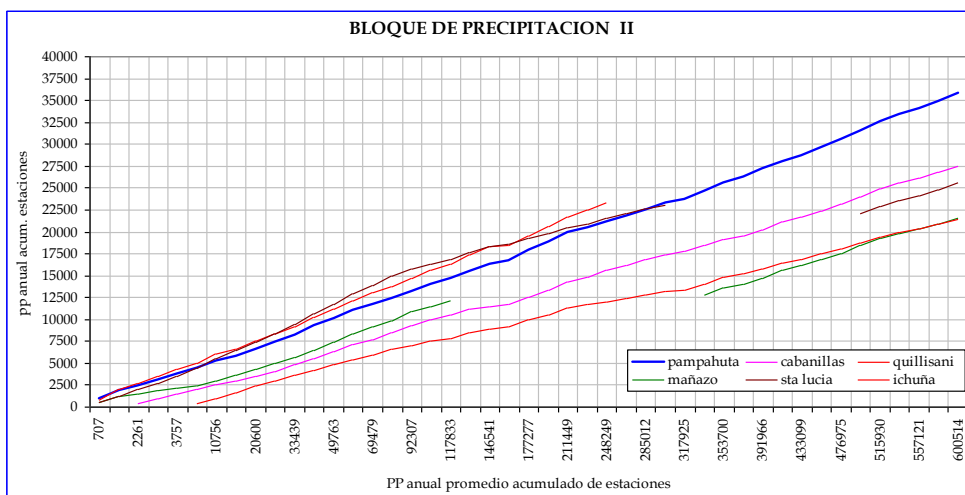
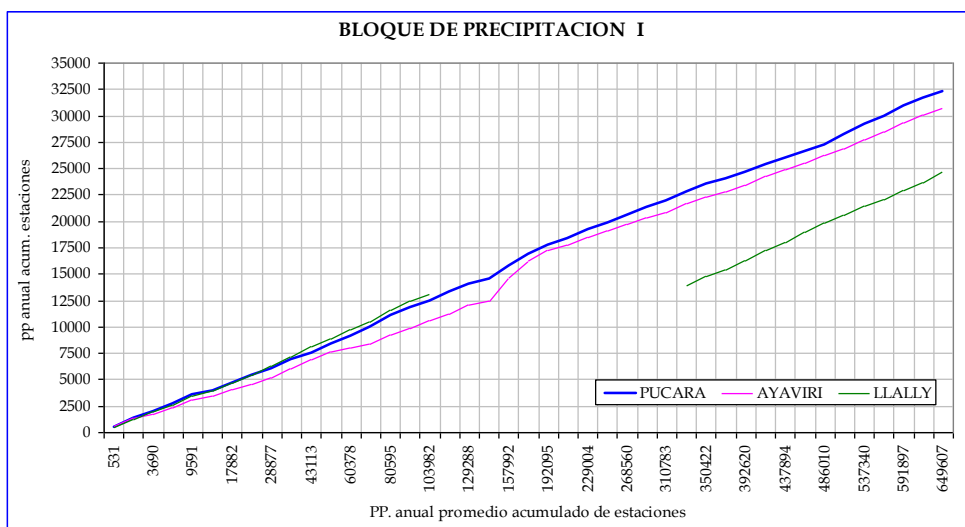
4.3.3. ANALISIS ESTADISTICO DE SALTOS Y TENDENCIAS

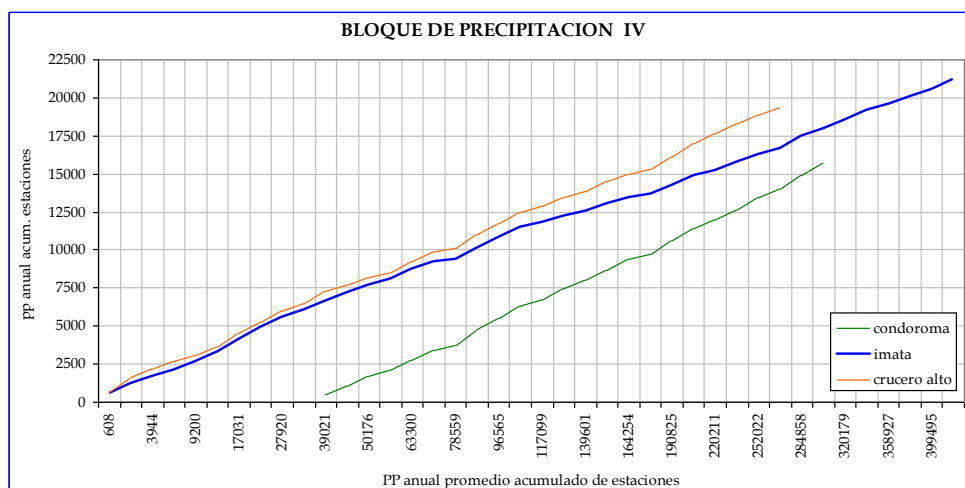
El análisis estadístico de presencia de "Saltos y Tendencias" de la información pluviométrica a escala mensual, se realiza mediante los estadísticos "T" de Student para la comprobación de variaciones en la media, y "F" de Fischer en la evaluación de variancias. Estos test prueban si dos series de datos corresponden a una misma población. Se ha asumido periodos consistentes e inconsistentes luego de la correspondiente evaluación de los histogramas y la identificación de saltos mediante la curva Doble Masa.

Los valores de T_c y F_c son comparados con los valores teóricos límites esperados obtenidos de las Tablas estadísticas con una probabilidad del 95% (o un grado de significancia de $\alpha = 0.05$) y con $N_1 + N_2 - 2$ grados de libertad para la prueba T Student y con $N_1 - 1$, $N_2 - 1$ grados de libertad para la prueba F. Si $|T_c| < T_t$ y $F_c < F_t$, entonces el salto en la media y desviación estándar respectivamente no es significativo, aún presentando quiebres en la curva Doble Masa; pero si el resultado es contrario a lo anterior, entonces si es necesario realizar la corrección respectiva. Este análisis se efectúa con el apoyo de una hoja de cálculo electrónica.

El análisis de inconsistencias para las estaciones pluviométricas materia de análisis ha partido de la observación de los histogramas (Figura N° 4.1), es decir variaciones de la tendencia gráfica de la representación de la lluvia total mensual en el tiempo, luego en el histograma de precipitación total anual se observa la variación temporal evaluando

Figura N° 4.3
Curva de Doble Masa Histórico - Bloques Pluviométricos





la similaridad en todas las estaciones del bloque, y finalmente con la traza de la curva Doble Masa se identifica posibles saltos y tendencias que son evaluadas estadísticamente, y si es necesario corregirlas.

Se ha utilizado rutinas de análisis estadístico, cuyos algoritmos previamente han sido codificados en Visual Basic e insertados en una hoja de cálculo electrónica mediante macros. Paralelamente se ha utilizado software estadístico para el cálculo de los valores teóricos de los parámetros "Tt" y "Ft".

Luego de haber concluido con el análisis estadístico de saltos y tendencias en cada uno de los bloques de precipitación, se puede concluir lo siguiente con respecto a la consistencia y homogeneidad de las series de tiempo:

En el Bloque I (Tabla N° 4.2), en la estación Ayaviri presenta un salto significativo en el periodo 1984-1985, esto es a causa de la existencia de tres datos muy altos, lo cual se ha descrito en el ítem 4.3.1. Se ha eliminado estos tres valores en forma puntual reemplazándolos con valores calculados haciendo uso del factor adimensional "k" (ver ítem 4.3.), luego se hizo el análisis estadístico de la nueva serie corregida, y se verifica que la serie no presenta saltos ni tendencias.

Tabla N° 4.2
Análisis Estadístico – Bloque de Precipitación I

ESTACION	PERIODO	N	MEDIA	DS	Tc	Tt	Fc	Ft	SIGNIF.
Llally	1993 2006	168	69.34	72.31	0.733	1.645	1.030	1.274	NO
	1964 1980	204	63.86	71.24					
Ayaviri	1981 2006	312	59.42	62.03	1.471	1.645	1.183	1.243	NO (*)
	1964 1979	192	51.30	57.04					
Pucará	1964 1992	348	63.14	65.60	0.241	1.645	1.027	1.252	NO
	1993 2006	168	61.66	64.74					

(*) Serie corregida en el primer periodo.

Las series de Llally y Pucará estadísticamente son consistentes y homogéneas.

En el Bloque II (Tabla N° 4.3), en las estaciones de Cabanillas, Quillisani, Mañazo e Ichuña se presentan aparentes saltos, aunque la pendiente de la traza de cada una de las estaciones mantienen uniformidad. Se ha verificado los saltos aparentes en los

periodos indicados en la Tabla para cada estación, estadísticamente no presentan desigualdad.

Tabla N° 4.3
Análisis Estadístico – Bloque de Precipitación II

ESTACION	PERIODO	N	MEDIA	DS	Tc	Tt	Fc	Ft	SIGNIF.
Pampahuta	1983 2006	288	67.78	74.53	0.504	1.645	1.065	1.224	NO
	1962 1982	252	64.58	72.23					
Cabanillas	1984 2006	276	57.35	63.98	1.567	1.645	1.159	1.230	NO
	1964 1983	240	48.78	59.44					
Quillisani	1962 1982	252	72.72	78.28	0.316	1.645	1.186	1.348	NO
	1983 1988	72	69.35	85.26					
Mañazo	1993 2006	168	56.51	65.37	0.499	1.645	1.071	1.272	NO
	1962 1980	228	53.13	67.66					
Ichuña	1967 1986	240	46.87	61.46	0.819	1.645	1.163	1.238	NO
	1987 2006	240	42.43	56.98					

En el Bloque III (Tabla N° 4.4), en las estaciones de Lampa, Juliaca, Capachica y Puno las curvas Doble Masa presenta quiebres, pero se ha verificado que estadísticamente no presentan desigualdad. En la estación de Taraco en el periodo 1984 -1986 presenta altos valores de precipitación, pero es compatible con los registros de la región, y realizando el análisis estadístico en el periodo que se indica en la Tabla, la serie es homogénea.

Tabla N° 4.4
Análisis Estadístico – Bloque de Precipitación III

ESTACION	PERIODO	N	MEDIA	DS	Tc	Tt	Fc	Ft	SIGNIF.
Lampa	1984 2006	276	60.92	66.95	0.732	1.645	1.090	1.226	NO
	1963 1983	252	56.73	64.13					
Juliaca	2001 2006	72	54.27	58.66	0.742	1.645	1.291	1.324	NO
	1962 1997	432	49.29	51.63					
Taraco	1986 2006	252	51.02	55.01	0.464	1.645	1.008	1.228	NO
	1964 1985	264	48.78	54.80					
Capachica	1985 2006	264	69.65	76.65	0.984	1.645	1.150	1.236	NO
	1962 1980	228	63.04	71.47					
Puno	1985 2006	264	63.13	68.68	0.805	1.645	1.021	1.229	NO
	1964 1984	252	58.29	67.98					

En el Bloque IV (Tabla N° 4.5), la traza de la curva Doble Masa presenta pequeños quiebres en las tres estaciones, se ha verificado los saltos aparentes en los periodos indicados en la Tabla para cada estación, estadísticamente no presentan desigualdad.

Tabla N° 4.5
Análisis Estadístico – Bloque de Precipitación IV

ESTACION	PERIODO	N	MEDIA	DS	Tc	Tt	Fc	Ft	SIGNIF.
Condorama	1989 2000	144	57.06	67.24	0.689	1.645	1.103	1.318	NO
	1977 1988	144	51.73	64.01					
Imata	1967 1983	204	46.08	61.39	0.634	1.645	1.169	1.238	NO
	1984 2006	276	42.64	56.77					
Crucero Alto	1967 1982	192	51.55	68.83	0.345	1.645	1.228	1.270	NO
	1983 1998	192	49.25	62.10					

4.3.4. COMPLETACION Y EXTENSION DE VALORES AUSENTES

En cada uno de los Bloques de precipitación, la mayor parte de las estaciones excepto la estación master del bloque, presentan períodos incompletos, por lo que se realizó el proceso de uniformización al período base (1967 – 2006).

Para realizar la completación y extensión de valores ausentes, se utilizó los modelos de regresión lineal múltiple mediante una correlación espacial y, para ello se hizo uso del software: completación y extensión de datos para series hidrológicas estacionales basado en la regresión múltiple, MISSEL7 (Colorado State University).

En todos los bloques de precipitación la extensión y completación de los valores ausentes de las series incompletas se ha realizado en base a la serie completa de la estación master.

En el Item 3.5.A. (ver Capítulo 3) se ha presentado en forma tabular y gráfica los resultados finales obtenidos de la precipitación media. Asimismo en la Figura N° 3.7 (Capítulo 3) se presentó en forma gráfica la precipitación total mensual –promedio multianual- para cada una de las estaciones del presente estudio.

En la Tabla N° 4.6 se presenta la precipitación total mensual completada y consistente de las estaciones de trabajo. En el Anexo (Volumen II) se presenta las series completas de Precipitación para cada una de las estaciones. Las líneas en amarillo son las estaciones que están ubicadas dentro de la cuenca Coata.

Tabla N° 4.6
Precipitación Total Mensual – Promedio Multianual (1967-2006) – Completada y Consistente
Estaciones de la Cuenca del río Coata y Cuencas Vecinas

GRUPO	ESTACION	Altitud (msnm)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOT
1.1	Llalli	3980	183.7	153.2	135.9	53.4	9.7	5.7	3.0	12.1	20.6	49.7	66.1	117.2	810.2
1.2	Ayaviri	3928	160.0	119.9	104.0	43.5	7.8	4.0	2.1	11.1	16.0	61.6	81.1	101.0	712.1
1.3	Pucara	3900	159.0	130.6	120.7	48.8	8.3	4.6	3.0	9.7	22.6	59.4	67.6	117.6	751.9
2.1	Pampahuta	4400	177.8	159.4	131.8	51.2	10.9	3.3	3.0	8.8	15.5	38.1	70.1	119.2	789.1
2.2	Cabanillas	3820	144.7	134.0	107.4	44.3	6.4	2.8	1.7	8.7	17.3	35.4	49.3	88.3	640.4
2.3	Quillisani	4600	177.2	175.8	142.7	62.0	10.2	5.1	4.1	14.7	22.2	45.2	78.7	132.8	870.8
2.4	Mañazo	3920	148.7	140.6	108.3	39.0	6.6	4.2	1.9	7.7	15.1	30.6	52.6	93.0	648.2
2.5	Ichuña	3800	139.0	117.8	83.4	29.5	4.3	2.9	2.4	6.5	9.8	17.9	34.0	79.0	526.6
3.1	Lampa	3892	155.0	127.0	108.2	47.0	7.3	4.2	1.6	8.7	22.7	45.9	65.1	109.7	702.3
3.2	Juliaca	3826	132.6	102.8	89.9	42.6	8.7	5.7	2.2	7.8	21.0	46.4	52.9	82.8	595.5
3.3	Taraco	3820	137.8	104.1	91.2	37.7	6.5	5.8	2.1	8.1	23.3	38.9	54.4	88.6	598.5
3.4	Capachica	3828	178.2	158.0	146.1	50.3	11.7	5.0	4.0	11.8	26.0	41.4	60.0	102.7	795.1
3.5	Puno	3820	165.1	141.7	131.6	53.4	9.3	4.4	2.6	12.0	25.8	44.1	51.5	87.7	729.2
4.1	Condorama	4160	171.5	136.3	118.5	43.7	8.3	4.5	3.5	10.6	20.8	24.1	45.0	90.0	676.7
4.2	Imata	4519	134.1	120.7	104.3	31.1	4.3	2.7	2.6	5.6	9.6	15.4	30.9	68.1	529.2
4.3	Crucero Alto	4470	161.4	117.5	129.0	35.7	4.1	3.1	4.4	8.7	12.7	23.0	37.9	79.8	617.5

4.4. PRECIPITACION AREAL EN LA CUENCA

Para evaluar la cantidad promedio de precipitación sobre un área es necesario basarse en los valores puntuales registrados en cada estación pluviométrica que conforma la red. Pero como la contribución de cada estación al total de la tormenta es desconocida, han surgido varios métodos que intentan darnos una aproximación de la distribución de la precipitación dentro del área en consideración. La selección del método requiere de buen sentido para tener en cuenta la calidad y la naturaleza de los datos y de la precisión requerida en el resultado.

4.4.1. METODOS DE ESTIMACION

A) Método de la Media Aritmética

La media aritmética de los valores de precipitación observados en las estaciones de una cuenca de drenaje es la estimación objetiva más simple de la precipitación media en la cuenca. Este método es adecuado para cuencas con un gran número de estaciones pluviométricas espaciadas uniformemente, o que permitan obtener muestras adecuadas de la distribución de la precipitación sobre la cuenca. Se puede verificar si este método es conveniente al compararlo con métodos más complejos en situaciones determinadas.

B) Método de los Polígonos

El método de los polígonos, con frecuencia denominado método de polígonos de Thiessen, se usa cuando las estaciones no están espaciadas uniformemente. Consiste en ponderar los datos de estaciones teniendo en cuenta la distancia que existe entre ellas. En este procedimiento, se trazan en un mapa las líneas que unen las estaciones cercanas. Los bisectores perpendiculares de estas líneas forman un dibujo de polígonos alrededor de cada estación. La superficie de cada estación representa la superficie del polígono que la rodea y esta superficie se usa como un factor de ponderación de la precipitación de esa estación. La suma de los productos de la superficie correspondiente a cada estación y la precipitación se divide entre la superficie total de la cuenca para obtener la lluvia promedio.

Si bien el método tiene la ventaja de ser objetivo, tiene en cambio el inconveniente de excluir información que no sea sobre el espaciamiento de las estaciones y las cantidades de precipitación. Este método es aceptable en zonas no montañosas donde la precipitación no está influenciada por la variación orográfica del ámbito

C) Método de las Isoyetas

Las isoyetas son contornos de igual altura de precipitación, que se calculan a partir de la interpolación entre pluviómetros adyacentes. Las áreas entre isoyetas sucesivas son medidas y se multiplica por el promedio de precipitación entre las isoyetas adyacentes, el promedio total para el área es entonces la sumatoria de éste producto entre el área total considerada. Este método tiene la ventaja que las isoyetas pueden ser trazadas para tener en cuenta efectos locales. La influencia orográfica es superada de algún modo mediante la construcción de isoyetas, y por ello es posiblemente el que mejor nos aproxima a la verdadera precipitación promedio del área.

D) Método de Polígonos de Thiessen Modificado

El método Thiessen Modificado o ponderado efectúa una doble ponderación de la precipitación, es decir considera como valor promedio de la precipitación de cada polígono la que resulta empleando el método de isoyetas. Para cada polígono se calcula su precipitación areal mediante las isoyetas y esta precipitación obtenida se hace una ponderación con el área de influencia de la estación.

Para el cálculo de la precipitación areal en la cuenca, se ha utilizado el Método de Polígonos de Thiessen Modificado. Los resultados de este método son los más representativos de la precipitación media en la cuenca.

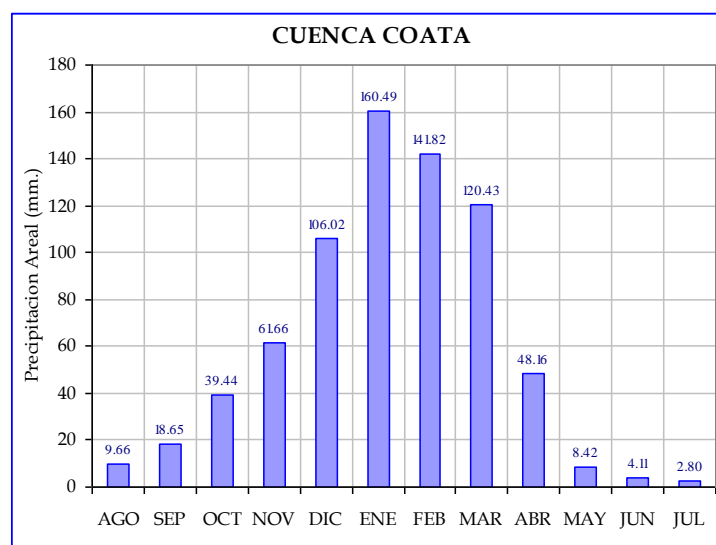
4.4.2. PRECIPITACION MEDIA AREAL (CUENCA COATA)

En la Tabla N° 4.7 se presenta el resumen del procedimiento de cálculo de la precipitación media areal total anual correspondiente a la superficie total de la cuenca del río Coata. En la misma Tabla se presenta cada uno de los polígonos de Thiessen con su altitud correspondiente a la estación del polígono, el área de influencia, la precipitación media total en la estación, los factores de ponderación del área y de la precipitación, y en la última columna las precipitaciones parciales corregidas de cada polígono. Como resultado final se tiene una precipitación media areal de 721.66 mm. para la cuenca del río Coata. En la Figura N° 4.4 se presenta la distribución de la precipitación media areal total mensual. En el Anexo (Volumen II) se presenta la serie completa a nivel mensual de la precipitación media areal.

Tabla N° 4.7
Precipitación Media Areal Total Anual (mm.) – Método Thiessen Modificado - Cuenca del río Coata

Item	Polígono	Altitud	Area de Influencia	Precipitación Total Anual	Factores de Ponderación			Precipitación Total Anual
		(msnm)	(Km ²)	Estación (mm.)	Area α	Precipitación β	Total γ	Corregido (mm.)
1	Llalli	3980	0.54	810.17	0.0001	0.9751	0.0001	0.09
2	Ayaviri	3928	6.68	712.06	0.0014	1.1095	0.0015	1.07
3	Pucara	3900	29.52	751.86	0.0060	1.0613	0.0064	4.80
4	Pampahuta	4400	1,018.48	789.08	0.2075	0.9478	0.1967	155.19
5	Cabanillas	3892	582.02	640.38	0.1186	1.0532	0.1249	79.97
6	Quillisani	4600	960.84	870.83	0.1958	0.9382	0.1837	159.94
7	Mañazo	3920	424.76	648.24	0.0865	1.0081	0.0872	56.55
8	Lampa	3892	704.28	702.31	0.1435	1.0379	0.1489	104.59
9	Juliaca	3826	588.77	595.52	0.1200	1.0617	0.1274	75.84
10	Taraco	3820	23.40	598.48	0.0048	1.1097	0.0053	3.17
11	Capachica	3828	43.29	795.14	0.0088	0.9030	0.0080	6.33
12	Crucero Alto	4470	525.86	626.71	0.1071	1.1040	0.1183	74.13
Cuenca			4,908.44					721.66

Figura N° 4.4
Precipitación Media Areal Total Mensual (mm.) – Método Thiessen Modificado - Cuenca del río Coata



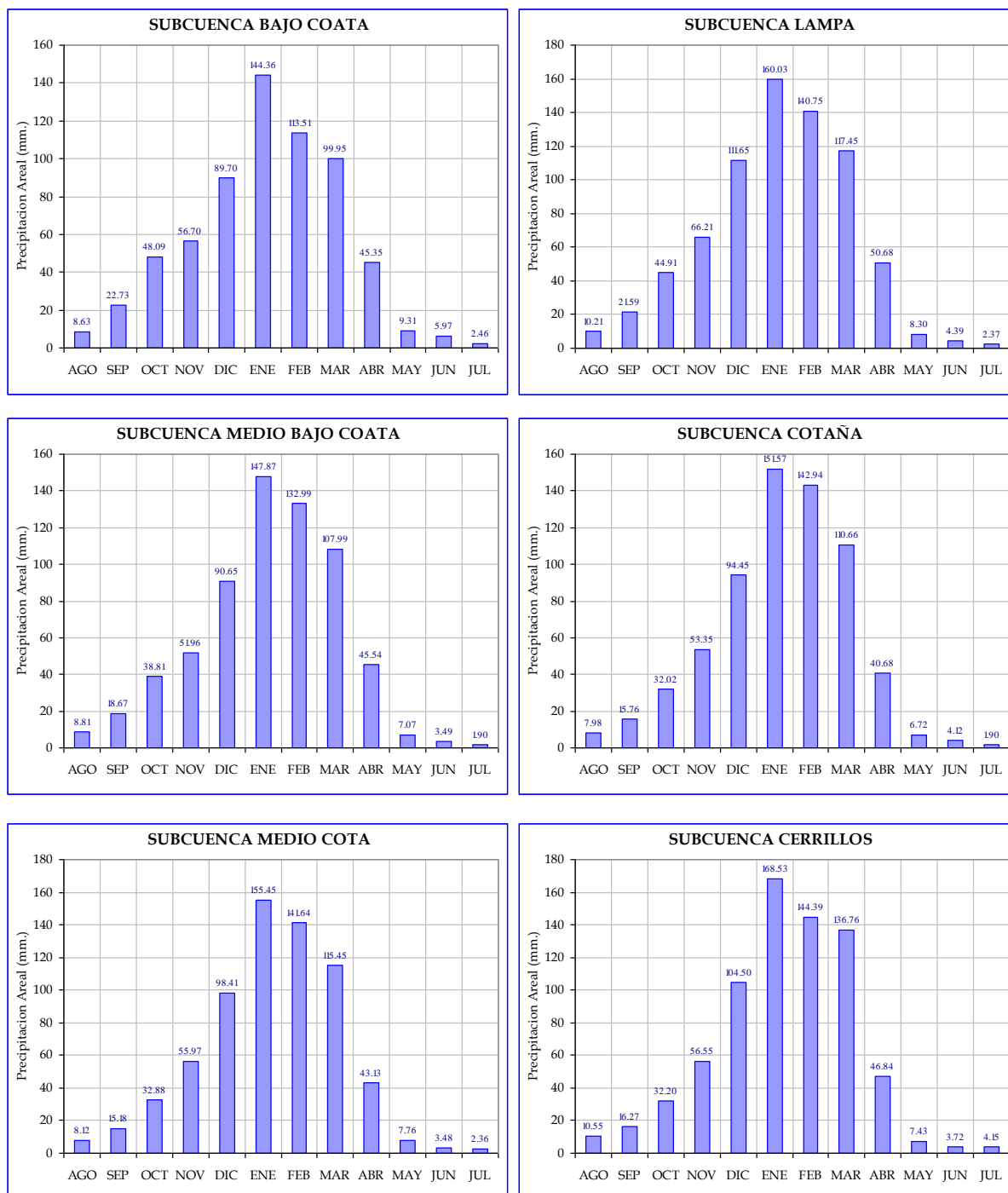
4.4.3. PRECIPITACION MEDIA AREAL (SUBCUENCAS)

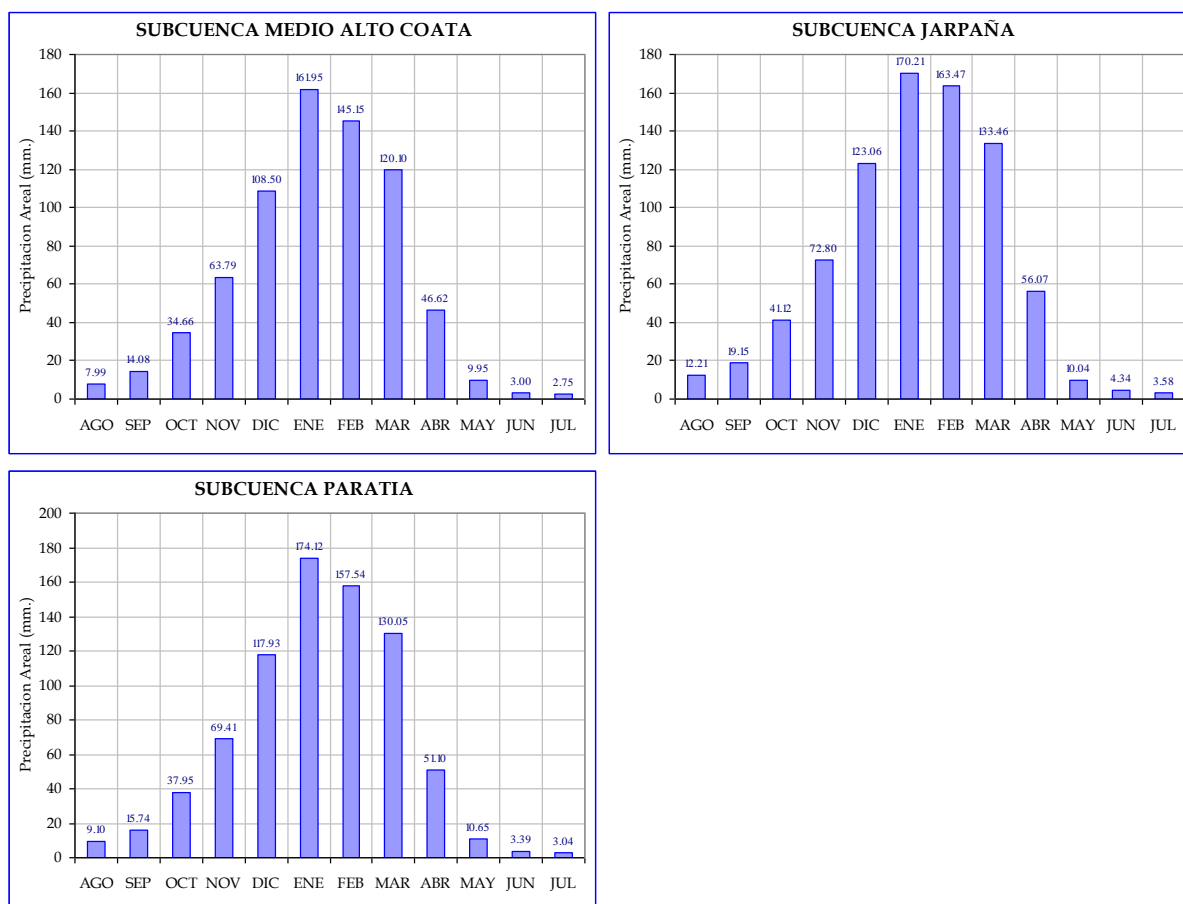
En la Tabla N° 4.8 se presenta la precipitación media areal total anual de cada una de las nueve subcuencas del sistema. En la Figura N° 4.5 se presenta la distribución de la precipitación media areal total mensual en las subcuencas.

Tabla N° 4.8
Precipitación Media Areal Total Anual (mm.) – Método Thiessen Modificado - Subcuencas del río Coata

Item	Polígono	Altitud	Area de Influencia	Precipitación Total Anual	Factores de Ponderación			Precipitación Total Anual
		(msnm)	(Km ²)	Estación (mm.)	Area α	Precipitación β	Total γ	Corregido (mm.)
Subcuenca Bajo Coata			459.96					646.76
1	Lampa	3892	6.73	702.31	0.0146	0.9535	0.0139	9.80
2	Juliaca	3826	386.55	595.52	0.8404	1.0702	0.8994	535.60
3	Taraco	3820	23.40	598.48	0.0509	1.1097	0.0565	33.79
4	Capachica	3828	43.29	795.14	0.0941	0.9030	0.0850	67.57
Subcuenca Lampa			1,559.87					738.54
1	Llalli	3980	0.54	810.17	0.0003	0.9751	0.0003	0.27
2	Ayaviri	3928	6.68	712.06	0.0043	1.1095	0.0047	3.38
3	Pucara	3900	29.52	751.86	0.0189	1.0613	0.0201	15.10
4	Pampahuta	4400	67.47	789.08	0.0433	0.9832	0.0425	33.56
5	Cabanillas	3892	220.17	640.38	0.1411	1.0378	0.1465	93.80
6	Quillisani	4600	397.76	870.83	0.2550	0.9449	0.2409	209.83
7	Lampa	3892	696.70	702.31	0.4466	1.0387	0.4639	325.81
8	Juliaca	3826	141.04	595.52	0.0904	1.0546	0.0953	56.78
Subcuenca Medio Bajo Coata			314.53					655.76
1	Cabanillas	3892	246.18	640.38	0.7827	1.0413	0.8150	521.91
2	Mañazo	3920	7.15	648.24	0.0227	1.0288	0.0234	15.16
3	Juliaca	3826	61.19	595.52	0.1946	1.0244	0.1993	118.69
Subcuenca Cotaña			251.10					662.15
1	Cabanillas	3892	33.44	640.38	0.1332	1.0932	0.1456	93.23
2	Mañazo	3920	217.66	648.24	0.8668	1.0125	0.8776	568.92
Subcuenca Medio Coata			495.56					679.86
1	Pampahuta	4400	177.59	789.08	0.3584	0.9134	0.3273	258.30
2	Cabanillas	3892	82.23	640.38	0.1659	1.1137	0.1848	118.33
3	Mañazo	3920	199.96	648.24	0.4035	0.9829	0.3966	257.08
4	Crucero Alto	4470	35.79	626.71	0.0722	1.0196	0.0736	46.15
Subcuenca Cerrillos			868.15					731.89
1	Pampahuta	4400	74.20	789.08	0.0855	0.8973	0.0767	60.51
2	Quillisani	4600	304.38	870.83	0.3506	0.9138	0.3204	279.01
3	Crucero Alto	4470	489.57	626.71	0.5639	1.1102	0.6261	392.37
Subcuenca Medio Alto Coata			210.52					718.54
1	Pampahuta	4400	210.02	789.08	0.9976	0.9107	0.9086	716.95
2	Crucero Alto	4470	0.50	626.71	0.0024	1.0851	0.0026	1.60
Subcuenca Jarpaña			328.91					809.52
1	Pampahuta	4400	107.78	789.08	0.3277	0.9669	0.3169	250.03
2	Quillisani	4600	221.13	870.83	0.6723	0.9556	0.6425	559.50
Subcuenca Paratía			419.85					780.02
1	Pampahuta	4400	381.41	789.08	0.9085	0.9813	0.8915	703.47
2	Quillisani	4600	37.58	870.83	0.0895	0.9630	0.0862	75.05
3	Lampa	3892	0.86	702.31	0.0020	1.0469	0.0021	1.50

Figura N° 4.5
Precipitación Media Areal Total Mensual (mm.) – Método Thiessen Modificado - Subcuencas del río Coata





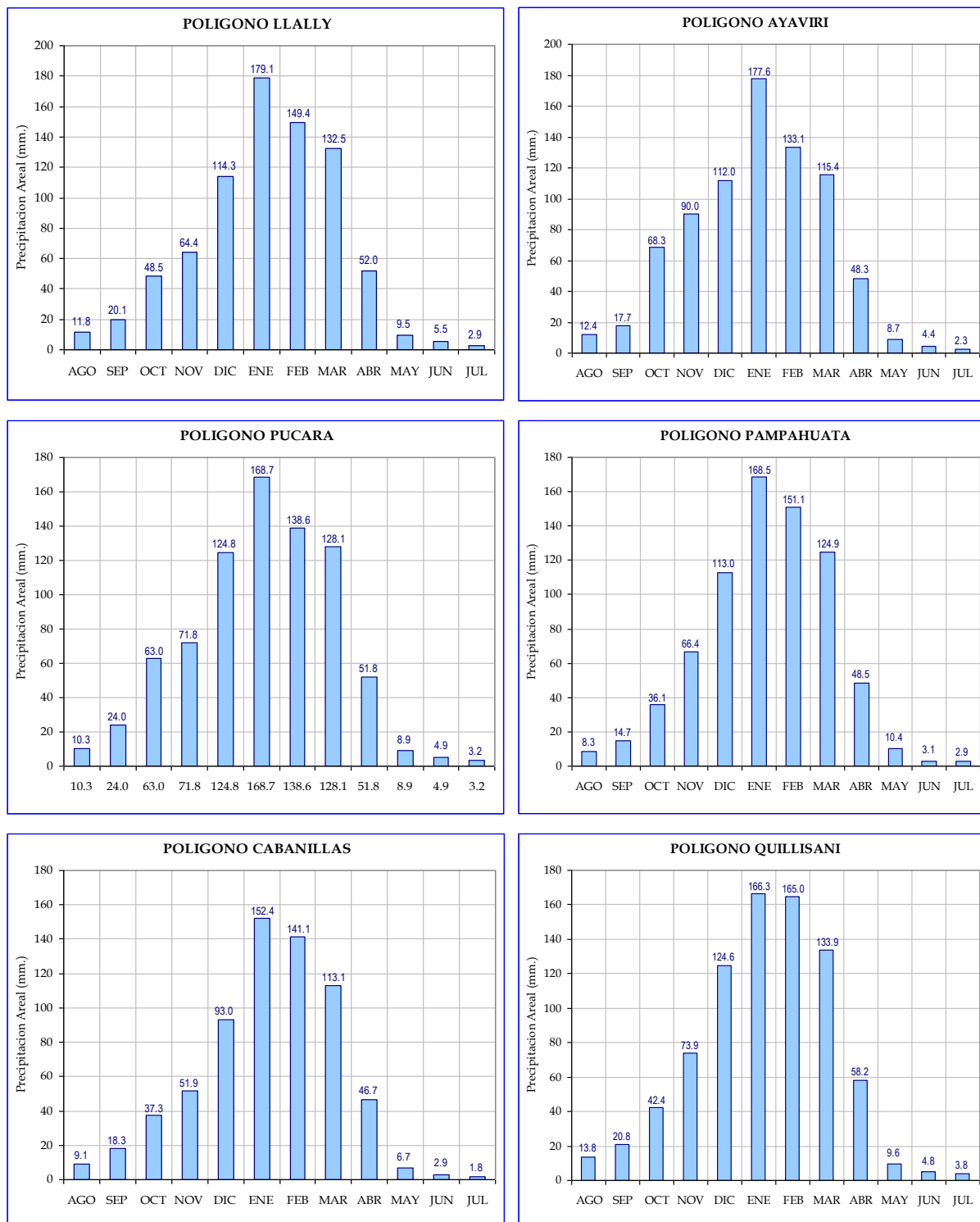
4.4.4. PRECIPITACION MEDIA AREAL (POLIGONOS DE THIESSEN)

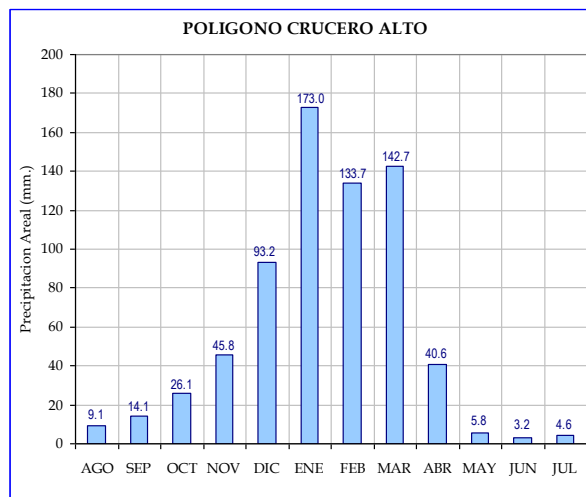
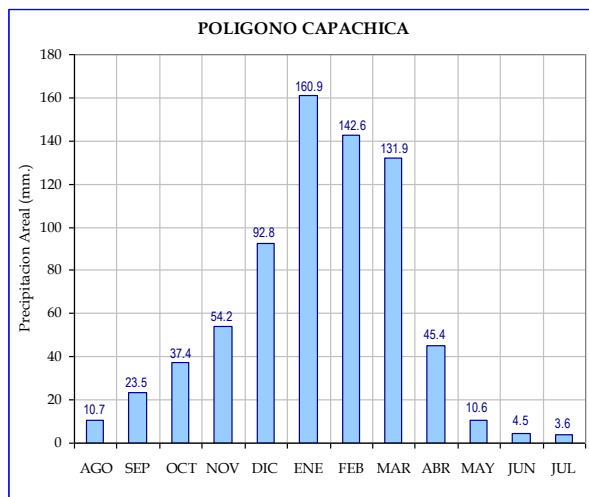
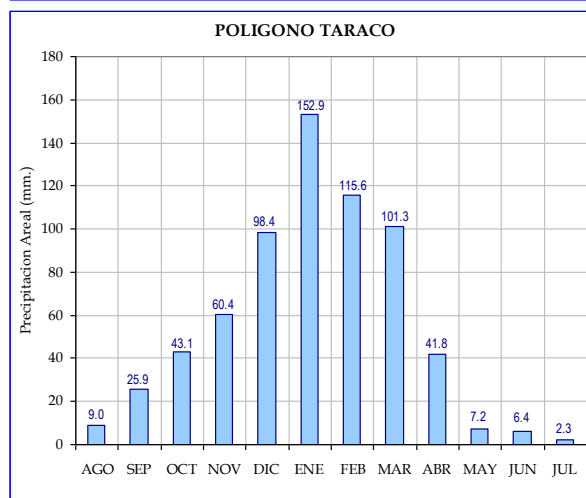
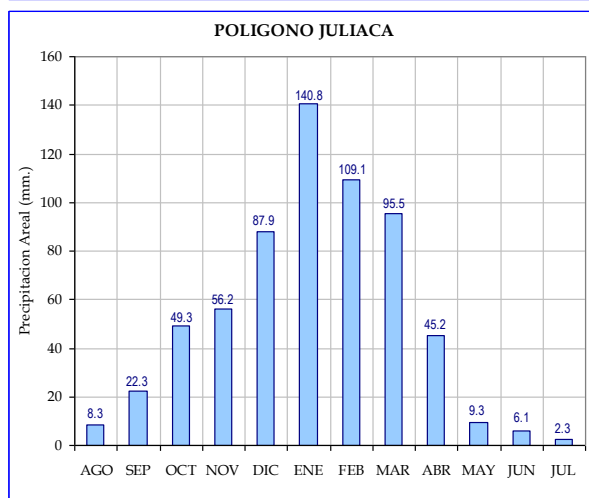
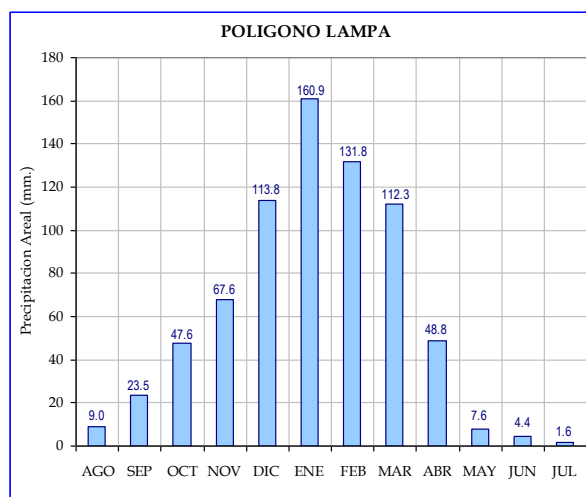
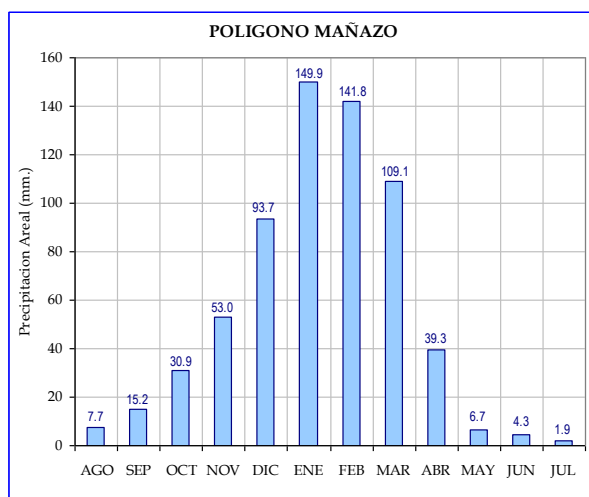
En la Tabla N° 4.9 se presenta la precipitación media areal total anual de cada uno de los polígonos de Thiessen correspondiente a la Cuenca Coata. En la Figura N° 4.6 se presenta la distribución de la precipitación media areal total mensual en los polígonos.

Tabla N° 4.9
Precipitación Media Areal Total Anual (mm.) – Método Thiessen Modificado - Polígonos del río Coata

Item	Polígono	Altitud (msnm)	Área de Influencia (Km ²)	Precipitación Total Anual Estación (mm.)	Factores de Ponderación			Precipitación Total Anual Corregido (mm.)
					Área α	Precipitación β	Total γ	
1	Llalli	3980	0.54	810.17	1.0000	0.9751	0.9751	790.00
2	Ayaviri	3928	6.68	712.06	1.0000	1.1095	1.1095	790.00
3	Pucara	3900	29.52	751.86	1.0000	1.0613	1.0613	797.93
4	Pampahuta	4400	1018.48	789.08	1.0000	0.9478	0.9478	747.91
5	Cabanillas	3892	582.02	640.38	1.0000	1.0532	1.0532	674.43
6	Quillisani	4600	960.84	870.83	1.0000	0.9382	0.9382	817.05
7	Mañazo	3920	424.76	648.24	1.0000	1.0081	1.0081	653.46
8	Lampa	3892	704.28	702.31	1.0000	1.0379	1.0379	728.90
9	Juliaca	3826	588.77	595.52	1.0000	1.0617	1.0617	632.26
10	Taraco	3820	23.40	598.48	1.0000	1.1097	1.1097	664.16
11	Capachica	3828	43.29	795.14	1.0000	0.9030	0.9030	717.99
12	Crucero Alto	4470	525.86	626.71	1.0000	1.1040	1.1040	691.91

Figura N° 4.6
Precipitación Media Areal Total Mensual (mm.) – Método Thiessen Modificado - Polígonos del río Coata





La precipitación media areal correspondiente a los polígonos de Thiessen es una información relevante, ya que es la base para generar caudales en cualquier punto de la cuenca utilizando un modelo hidrológico de transformación precipitación – escorrentía. En el Anexo (Volumen II) se presenta las series completas de precipitación media areal correspondiente a cada uno de los polígonos de la cuenca Coata.

4.4.5. PRECIPITACION MEDIA AREAL (EN PUNTOS DE INTERES)

Dentro de la cuenca del río Coata se ha definido cuatro puntos de interés, los cuales son de mucha importancia para el análisis y balance hidrológico de la cuenca. Estos puntos son: (1) La estación de Aforo sobre el río Coata (Puente Unocolla) del área de drenaje del río Coata, (2) La cabecera de riego de la Cuenca del río Lampa, del área de drenaje del río Lampa (3) El Embalse Lagunillas, el área de drenaje de la subcuenca Cerrillos hasta el área del embalse y (4) La estación de Aforo sobre el río Verde, del área de drenaje del río Verde.

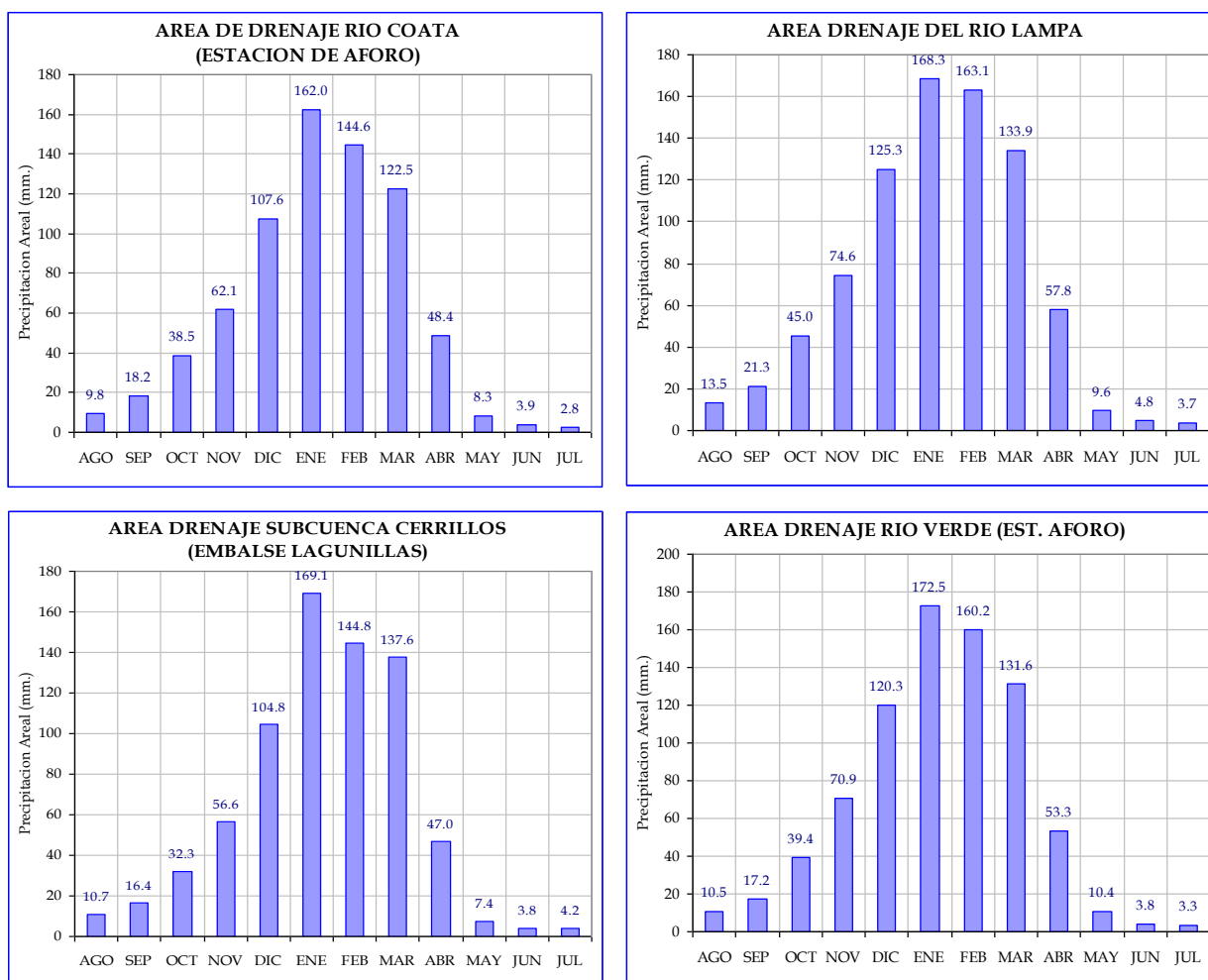
En la Tabla N° 4.10 se presenta la precipitación media areal total anual de cada uno de los cuatro puntos de interés señalado, los cuales están ubicados dentro del ámbito de la Cuenca Coata. En la Figura N° 4.7 se presenta la distribución de la precipitación media areal total mensual en los cuatro puntos de interés, respectivamente.

Tabla N° 4.10
Precipitación Media Areal Total Anual (mm.) – Método Thiessen Modificado – Puntos de Interés

Item	Polígono	Altitud	Área de Influencia	Precipitación Total Anual	Factores de Ponderación			Precipitación Total Anual
		(msnm)	(Km ²)	Estación (mm.)	Área α	Precipitación β	Total γ	Corregido (mm.)
Área Drenaje Río Coata (Punto de Aforo)			4,448.48					728.83
1	Llalli	3980	0.54	810.17	0.0001	0.9751	0.0001	0.10
2	Ayaviri	3928	6.68	712.06	0.0015	1.1095	0.0017	1.19
3	Pucara	3900	29.52	751.86	0.0066	1.0613	0.0070	5.30
4	Pampahuta	4400	1,018.48	789.08	0.2289	0.9478	0.2170	171.23
5	Cabanillas	3892	582.02	640.38	0.1308	1.0532	0.1378	88.24
6	Quillisani	4600	960.84	870.83	0.2160	0.9382	0.2027	176.48
7	Mañazo	3920	424.76	648.24	0.0955	0.9988	0.0954	61.82
8	Lampa	3892	697.56	702.31	0.1568	1.0387	0.1629	114.39
9	Juliacá	3826	202.23	595.52	0.0455	1.0454	0.0475	28.30
10	Crucero Alto	4470	525.86	626.71	0.1182	1.1040	0.1305	81.79
Área Drenaje Río Lampa (Cabecera de Riego)			389.22					820.91
1	Llalli	3980	0.54	810.17	0.0014	0.9751	0.0013	1.09
2	Ayaviri	3928	6.68	712.06	0.0172	1.1095	0.0190	13.55
3	Pucara	3900	29.34	751.86	0.0754	1.0612	0.0800	60.14
4	Quillisani	4600	341.48	870.83	0.8773	0.9461	0.8300	722.83
5	Lampa	3892	11.19	702.31	0.0287	1.1533	0.0332	23.29
Área Drenaje Embalse Lagunillas			828.61					734.54
1	Pampahuta	4400	45.19	789.08	0.0545	0.9232	0.0503	39.73
2	Quillisani	4600	304.38	870.83	0.3673	0.9138	0.3357	292.32
3	Crucero Alto	4470	479.05	626.71	0.5781	1.1109	0.6422	402.49
Área Drenaje Río Verde (Punto de Aforo)			748.76					793.43
1	Pampahuta	4400	489.20	789.08	0.6533	0.9790	0.6396	504.73
2	Quillisani	4600	258.70	870.83	0.3455	0.9567	0.3306	287.86
3	Lampa	3892	0.86	702.31	0.0011	1.0469	0.0012	0.84

La utilidad de los puntos de interés son las siguientes: el punto (1) Para la calibración del modelo hidrológico de transformación precipitación – escorrentía aplicado a toda el área de drenaje del río Coata, hasta la estación de aforo existente en el mismo río; el punto (2) para estimar el balance hídrico de la cuenca del río Lampa, ubicado en la cabecera de riego de las áreas de demanda hídrica de la cuenca del río Lampa; el punto (3) y el punto(4) para estimar el balance hídrico del sistema regulado (Irrigación Sistema Integral Lagunillas) existente en la cuenca del río Cabanillas.

Figura N° 4.7
Precipitación Media Areal Total Mensual (mm.) – Método Thiessen Modificado – Puntos de Interés



Para el cálculo de la precipitación areal en la cuenca, se ha utilizado el Método de Polígonos de Thiessen Modificado. Los resultados de este método son los más representativos de la precipitación media en la cuenca.

CAPITULO 5

Hidrometría

5.1. ESTACIONES DE AFORO DE CAUDALES

A) Objetivo de las Estaciones de Aforo de Caudales

El objetivo de las estaciones de aforo de caudales es suministrar registros sistemáticos de niveles y caudales. Los registros continuos de flujo de corriente son necesarios en proyectos de abastecimiento de agua y sistemas de saneamiento, en el diseño de estructuras hidráulicas, en la gestión del agua y en la estimación de cargas de sedimentos o de sustancias químicas de los ríos, incluidos los contaminantes.

Como no se puede realizar una medición continua del caudal, los registros de los caudales se calculan con ayuda de la relación entre nivel y caudal, definidas mediante mediciones periódicas de los caudales y un registro sistemático de los niveles, o usando estructuras de medición que han sido calibradas en el laboratorio o sobre el terreno.

B) Selección del Sitio

La selección de los ríos que han de medirse se determina por los principios del diseño de redes y del uso que se dará a los datos. La selección de un sitio ideal para una estación de aforo en un río dado podría basarse en los siguientes criterios:

- a) El curso general del río debe ser recto unos 100 metros aguas arriba y aguas abajo de la estación de aforo;
- b) La corriente total debe estar confinada en un solo cauce para todos los niveles y no pueden existir corrientes subterráneas;
- c) El lecho del río no debe estar sujeto a socavaciones ni a rellenos y debe estar libre de plantas acuáticas;
- d) Las orillas deben ser permanentes, lo suficientemente altas para contener las crecidas y deben estar libres de arbustos;
- e) Debe haber controles naturales inalterables: afloramiento de rocas en el fondo o un cañón estable durante el estiaje, y un cauce encajonado para las crecientes caídas o cascadas, insumergible en todos los niveles de manera de tener una relación estable entre el nivel y el caudal. Si no hay condiciones naturales satisfactorias para un control de aguas bajas, se debe prever la instalación de un control artificial;
- f) Se debe disponer de un sitio conveniente para alojar el limnógrafo, inmediatamente aguas arriba del control, y protegerlo contra posibles daños por los escombros llevados por las aguas durante las crecidas del río. El limnógrafo debe estar por encima de toda crecida probable que pueda ocurrir durante el período de vida de la estación;
- g) El sitio de aforo debe estar lo suficientemente aguas arriba de la confluencia con otro río o de los efectos de la marea, para evitar toda influencia variable que puedan ejercer sobre el nivel en el sitio de la estación;
- h) el sitio debe ser fácilmente accesible para facilitar la instalación y el funcionamiento de la estación de aforo;

estación de aforo cuenta con un limnógrafo y un limnómetro. El histograma del registro de caudales histórico se presenta en la Figura N° 5.2.

5.1.2. ESTACION DE AFORO - RIO VERDE

La estación hidrométrica Río Verde, geográficamente se localiza en las coordenadas UTM E-xxx, N-xx y a una altitud de xxx msnm. en la estación de aforo existente sobre el río Verde.

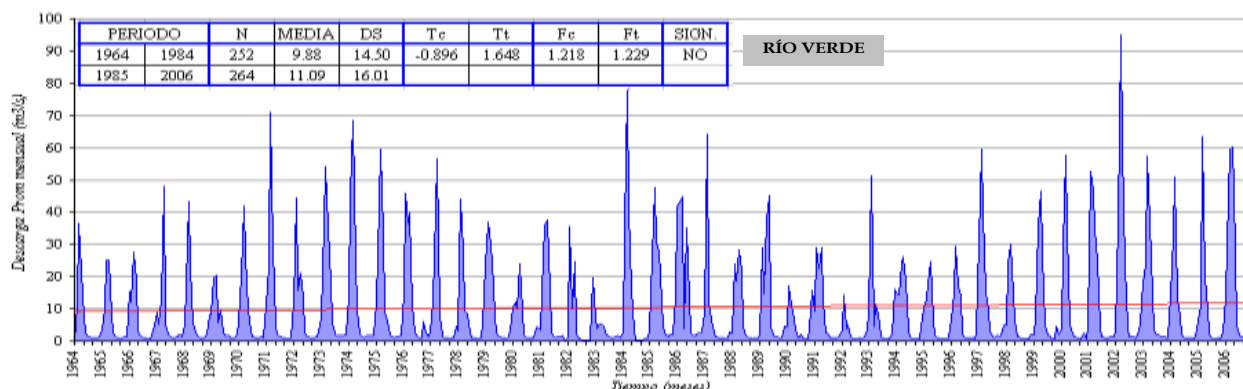
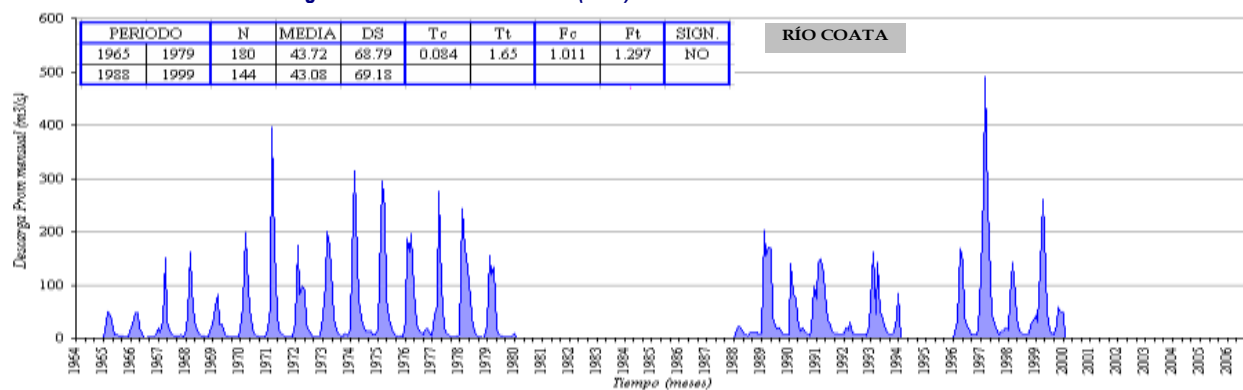


Se ubica en la parte baja de la subcuenca Medio Alto Coata, después de la confluencia con el río Paratía, mide todo el escurrimiento del área de drenaje la subcuenca Medio Alto Coata hasta el punto de aforo, siendo su área de drenaje de 748.76 Km².

El registro histórico disponible para esta estación es continuo con algunos valores ausentes puntuales. El periodo registro es desde el año 1964 hasta la fecha actual.

La estación cuenta con un limnómetro, registrándose los tirantes de nivel de agua, posteriormente se estima el caudal con la ecuación de calibración de la estación. Esta estación esta bajo la administración del SENAMHI - Puno. El histograma del registro de caudales histórico se presenta en la Figura N° 5.2.

Figura N° 5.2
Histograma de Caudales de Aforo (m³/s) - Estaciones de Aforo - Cuenca Coata



5.1.3. ANALISIS DE CONSISTENCIA

En los dos histogramas de caudales históricos de los dos puntos de aforo, se puede observar que la variación temporal del caudal en ambos puntos de aforo es similar, por lo tanto, se ha realizado el análisis estadístico de las dos estaciones. En la Tabla N° 5.1 se presenta los resultados. Como se podrá verificar en el histograma del río Verde, la información es consistente, por otra parte los periodos con registro de la estación Puente Unocolla son similares, por lo que se puede concluir que la las muestras son consistentes y homogéneas.

Es importante hacer notar que en la estación del Puente Unocolla, existen registros hasta la actualidad, pero en vista de que el Embalse Lagunillas ha entrado en operación a partir del año 1999-2000, la información actual registrada en esta estación es el caudal de un sistema regulado. Por consiguiente, solamente se ha tomado en cuenta como registro histórico de la estación Unocolla hasta el año 1999.

Tabla N° 5.1
Análisis Estadístico de Consistencia - Estaciones de Aforo – Cuenca Coata

ESTACION	PERIODO		N	MEDIA	DS	Tc	Tt	Fc	Ft	SIGNIF.
Puente Unocolla	1965	1979	180	43.72	68.79	0.084	1.65	1.011	1.297	NO
	1988	1999	144	43.08	69.18					
Río Verde	1964	1984	252	9.88	14.50	0.896	1.648	1.218	1.229	NO
	1985	2006	264	11.09	16.01					

En cuanto a la información hidrométrica del río Verde, esta no presenta inconsistencias, por lo tanto esta información es consistente y homogénea.

5.1.4. COMPLETACION Y EXTENSION DE VALORES AUSENTES

El registro histórico de caudales de la estación de aforo del Río Verde, presenta una información continua en el periodo 1964-2006, con algunos valores ausentes puntuales, los cuales han sido completados utilizando el índice “k” de promedio multianual.

Con respecto a la información histórica de la estación Puente Unocolla, esta presenta valores ausentes por más de un año, por lo que ha sido necesario utilizar métodos de regresión múltiple para hacer la completación de los valores ausentes de descargas.

La completación de la serie de caudales del Puente Unocolla se ha realizado en base a la información del río Verde.

En la Tabla N° 5.2 se presenta los caudales para diferentes módulos de persistencia correspondiente a las dos estaciones de aforo de la cuenca Coata.

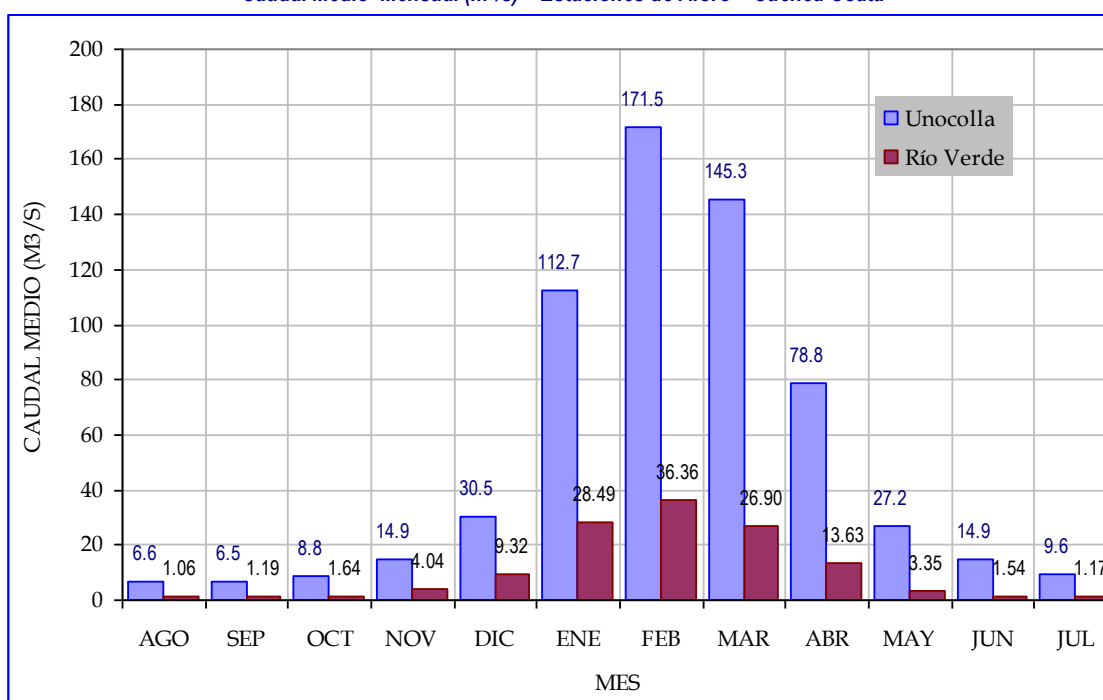
En la Figura N° 5.3 se presenta la distribución mensual del caudal promedio de las dos estaciones de aforo.

En el Anexo (Volumen II) se presenta las series históricas y las series completadas y extendidas de las dos estaciones de aforo.

Tabla N° 5.2
Módulos de Caudal (m^3/s) - Estaciones de Aforo – Cuenca Coata

Modulo	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL
RÍO COATA - ESTACION DE AFORO (PUENTE UNOCOLLA)												
Medio	6.64	6.49	8.77	14.92	30.49	112.69	171.50	145.35	78.81	27.24	14.86	9.62
50%	6.58	6.16	5.90	5.70	19.90	101.60	155.70	140.20	64.37	24.50	14.70	9.88
75%	3.60	2.40	2.02	3.76	14.60	40.46	53.35	90.60	37.81	14.60	8.50	5.50
95%	1.30	1.50	0.00	1.50	6.50	15.60	18.15	26.30	11.50	6.70	3.60	2.10
RÍO VERDE - ESTACION DE AFORO												
Medio	1.06	1.19	1.64	4.04	9.32	28.49	36.36	26.90	13.63	3.35	1.54	1.17
50%	1.32	2.08	2.13	13.46	41.52	26.33	47.80	30.40	28.11	12.38	4.52	1.76
75%	1.09	0.90	0.76	2.64	31.10	15.07	29.32	17.18	14.50	2.33	1.14	0.97
95%	0.84	0.96	0.89	2.73	13.71	10.69	63.61	20.08	10.05	2.45	1.05	0.87

Figura N° 5.3
Caudal Medio Mensual (m^3/s) – Estaciones de Aforo – Cuenca Coata



CAPITULO 6

Modelamiento Hidrológico: Relación Lluvia - Esgurrimiento

6.1. GENERALIDADES

Las relaciones lluvia-esgurrimiento se utilizan principalmente para el diseño, los pronósticos y la evaluación. Si los datos de esgurrimientos no están disponibles o son insuficientes para una interpretación o extrapolación fiables, las relaciones lluvia-esgurrimiento pueden ser muy útiles porque permiten extraer la información de esgurrimiento a partir de los registros de precipitación. Como los datos de lluvia son relativamente fáciles y poco costosos de recoger, son generalmente más abundantes que los datos de esgurrimiento. Si se puede establecer una relación estrecha entre lluvia y esgurrimiento para una cuenca determinada, la relación lluvia-esgurrimiento, aplicada a los datos de lluvia, puede dar estimaciones más fiables de la frecuencia de grandes caudales que los que puede dar una relación regional entre las crecidas o una extrapolación basada en los datos de esgurrimientos de la cuenca.

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

6.2. IMPORTANCIA DEL MODELAMIENTO

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

- * La necesidad de contar con información hidrológica en puntos específicos de una cuenca, y que en la realidad en dichos puntos no existe información observada de caudales.
- * La información histórica disponible de caudales medios mensuales en la estaciones de aforo existentes no es totalmente confiable, puesto que en los periodos de lluvia no se efectúan mediciones hidrológicas estandarizadas, y en muchos casos se tiene conocimiento que se han realizado "estimaciones subjetivas" de datos de caudal, además de extrapolar en los periodos de máximo esgurrimiento la curva altura-caudal.
- * El hecho de contar con escasas estaciones de aforo dentro de una cuenca, nos

sitúa en un punto de incertidumbre por contar solamente con información localizada y a veces discontinuas mediciones de caudal, no existiendo la real posibilidad de contrastar y validar la información disponible.

- * Considerando la directa dependencia o relación de la escorrentía respecto a la precipitación en la cuenca, es importante distinguir que la información de precipitación es más confiable que la hidrométrica, aspecto que nos impulsa a realizar modelaciones matemáticas que simulen dicha relación, es decir se emplee modelos de transformación lluvia-escorrentía.

Los modelos Precipitación-Escorrentía mas extendidos en hidrología son aquellos que estiman el balance entre las entradas (precipitación) de agua al sistema y las salidas del mismo (evaporación, transpiración, escorrentía superficial y aporte a los acuíferos) reproduciendo simplifícadamente el proceso del ciclo hidrológico.

6.3. MODELO DETERMINISTICO-ESTOCASTICO LUTZ SCHOLZ

El proyecto especial “Plan de mejoramiento de riego en la sierra y selva”, PLAN MERISS, en el año 1980 ha implementado un modelo matemático combinado para la estimación de caudales a escala mensual, el que ha sido calibrado en cuencas de la sierra peruana comprendidas entre Cusco y Cajamarca; el mismo que consideramos importante para su aplicación en la presente cuenca del río Coata, puesto que validará la información hidrométrica histórica a partir de información de la precipitación efectiva de la cuenca, aplicación que además está sustentada en el hecho que la cuenca está inscrita en el área de cuencas de calibración del modelo.

Este modelo matemático es combinado porque tiene una parte determinística y otra estocástica. La parte determinística describe los procesos físicos que se producen en la cuenca y que pueden ser determinados, correspondiendo a esta parte la generación de caudales mensuales durante el año promedio. La parte estocástica considera una influencia aleatoria, que en el presente caso es en la generación de series hidrológicas para periodos extendidos.

6.3.1. DESCRIPCION GENERAL DEL MODELO

El elemento constitutivo del modelo es el cálculo en base a la precipitación mensual teniendo en cuenta las características de la cuenca. En base a los datos disponibles se ha establecido y calibrado modelos parciales para las influencias de mayor importancia al escurrimiento y la retención de la cuenca. El modelo comprende dos etapas:

Primero se establece el balance hídrico, para determinar la influencia de los parámetros meteorológicos de la cuenca durante el año promedio.

Posteriormente se determina los caudales para el periodo extendido, mediante un proceso Markoviano (de regresión triple) teniendo en cuenta la precipitación efectiva como variable de impulso para determinar los parámetros estadísticos de la distribución empírica tales como el promedio, la desviación estándar y sesgo.

A) Generación de Caudales Mensuales durante el Año Hidrológico

Se lleva a cabo mediante el cálculo del balance hídrico de la cuenca:

$$CM = P - D + G - A \quad (mm/mes)$$

Donde: C_m = Caudal medio mensual
 P = Precipitación total mensual
 D = Déficit de escurrimiento
 G = Gaste de la retención
 A = Alimentación de la retención

El término $(P-D)$ se reemplaza por la precipitación efectiva PE , que indica la parte de la precipitación que causa escurrimiento, entonces:

$$CM = PE + G - A$$

Esta operación permite tener en cuenta una relación variable entre el escurrimiento y la precipitación que representa a la naturaleza de manera más adecuada que un coeficiente de escurrimiento fijo durante todo el año.

i) Precipitación Efectiva

Asumiendo que los caudales promedio observados pertenecen a un estado de equilibrio entre el gasto y abastecimiento de la retención de la cuenca, se calcula la precipitación efectiva para el coeficiente de escurrimiento promedio de manera que la relación entre precipitación efectiva y total sea igual a dicho coeficiente.

Su cálculo está en base al método del USBR en su forma polinomial.

ii) Gasto y Abastecimiento de la Retención

Durante la estación seca el gasto de la retención alimenta los ríos y mantiene la descarga básica, la cual se puede representar mediante un proceso de agotamiento según la fórmula:

$$CM_t = e^{-at} \cdot CM_o$$

Donde: CM_t = Caudal del mes t
 CM_o = Caudal inicial
 a = Coeficiente de agotamiento
 t = Tiempo

Los caudales del periodo seco se calculan sumando la lámina de escurrimiento del proceso de agotamiento y la precipitación efectiva del mes respectivo.

$$CM_t = PE_t + Gt$$

La retención de la cuenca que se agota al final de la estación seca es alimentada por las lluvias y descargas de la estación lluviosa que sigue.

Los caudales del periodo lluvioso son calculados restando de la precipitación efectiva

una parte que entra en la retención de la cuenca:

$$CM_t = PE_t - A_t$$

La retención depende de la extensión de los almacenes hídricos de la cuenca. Se puede distinguir como los de mayor importancia. Acuíferos, lagunas, pantanos y nevados. Cada uno tiene una lámina específica de retención, variando para esta región entre 200 y 500 mm/año.

B) Generación de Caudales Mensuales para Periodos Extendidos

El modelo consiste en una combinación de un proceso Markoviano de primer orden con una variable de impulso. El elemento constitutivo del modelo Markoviano es la autorregresión del evento en el tiempo con el mismo evento en el tiempo t-1.

La variable de impulso para descargas es la precipitación efectiva. Para aumentar el rango de los valores y obtener una aproximación adecuada a la realidad, se considera además una variable aleatoria. La ecuación integral es:

$$CM_t = B1 + B2.CM_{t-1} + B3.PE_t + z.S.(1-r^2)^{1/2}$$

Donde: CM_t = Caudal del mes t
 CM_{t-1} = Caudal del mes anterior
 PE_t = Precipitación efectiva
 B1 = Factor constante
 B2 = Factor de influencia del valor CM_{t-1}
 B3 = Factor de influencia del valor PE_t
 r = Coeficiente de regresión
 S = Desviación de residuos
 z = Variable aleatoria con distribución normal, con media cero y desviación tipo unitaria.

Los valores B1, B2, y B3 se obtiene por un proceso de regresión triple mediante los caudales y precipitaciones efectivas durante el año promedio. Para iniciar el proceso de simulación, la elección del valor inicial se puede hacer siguiendo los siguientes criterios:

- Empezar el cálculo en el mes para el cual se dispone de un aforo
- Con el caudal promedio de cualquier mes.

6.3.2. APLICACION DEL MODELO

6.3.2.1. AREA DE DRENAJE DEL RIO COATA

Se presenta en forma resumida la secuencia de la implementación del modelo a la modelación hidrológica del área de drenaje del río Coata hasta el punto de aforo (Puente Unocolla), de la forma siguiente:

i) Requerimiento de información

Registro de precipitaciones mensuales sobre la cuenca (precipitación areal). Es la correspondiente a la determinada en el ítem 4.4.4., siendo la precipitación media anual del área de drenaje $P = 730.28$ mm/año.

Precipitación Efectiva. Calculada en la Tabla N° 6.1, mediante la utilización de las curvas PEII y PEIII del método USBR. La precipitación efectiva total anual resultante es de $PE = 322.09$ mm/año.

Registro de caudales medios mensuales. Se utiliza los caudales completados y extendidos de la estación de Puente Unocolla, determinados en el ítem 5.1.4., para el año promedio histórico, cuyo valor medio anual es de 52.28 m³/s.

ii) Determinación de los Parámetros del Modelo

Coefficientes anuales medios de esorrentía: Determinados mediante la aplicación de las ocho fórmula empíricas propuestas en el modelo; asumiéndose finalmente un valor de $C = 0.50$.

Coefficiente de agotamiento: Calculado mediante la aplicación de las fórmulas empíricas del modelo, están en función del área, retención, vegetación de la cuenca; asumiéndose finalmente un valor de $a = 0.01283$.

Retención de la cuenca: Es la correspondiente a los datos de campo de la cuenca del río Coata; las fuentes hídricas, en orden de mayor a menor contribución a la retención son: Lagunas (113 Km² de superficie), nevados (38 Km² de área) y acuíferos (459.5 Km²). La retención determinada es de 41.1 mm/año.

Parámetros del modelo en su segunda parte estocástica: Factores resultantes de la regresión triple: $B1 = 1.373$ mm/mes, $B2 = 0.309$, $B3 = 0.816$, $S = 1.669$ mm/mes y $r = 0.999$, mostrados en Tabla N° 6.1.

En el Anexo (Volumen II) se presenta las hojas de cálculo.

Tabla N° 6.1
Generación de Caudales para el Año Promedio (m³/s)
Cuenca del río Coata - Estación de Aforo (Puente Unocolla)

MES	DIAS	PRECIPITACION MENSUAL					CONTRIBUCION DE LA RETENCION				CAUDALES			PARAMETROS		
		E F E C T I V A					GASTO		ABASTO		MENSUALES			REGRESION		
		P	PE I	PE II	PE III	PE	bi	Gi	ai	Ai	GENERADOS	AFOR.	Qt	Qt-1	PE t	
mm/mes	mm/mes	mm/mes	mm/mes	mm/mes	mm/mes	mm/mes	mm/mes	mm/mes	mm/mes	m ³ /s	m ³ /s	mm/mes	mm/mes	mm/mes		
JUL	123	2.9	0.0	0.4	0.7	0.6	0.21	4.42	0.00	0.0	5.1	5.60	9.62	5.1	7.4	0.6
AGO	154	9.9	0.0	1.1	2.3	2.1	0.14	2.95	0.00	0.0	5.0	5.70	6.64	5.0	5.1	2.1
SET	184	18.2	0.0	1.9	4.0	3.6	0.09	1.90	0.00	0.0	5.5	7.40	6.4878	5.5	5.0	3.6
OCT	215	38.6	0.5	4.1	7.8	7.2	0.06	1.26	0.00	0.0	8.4	14.00	8.77	8.4	5.5	7.2
NOV		62.2	2.1	8.6	15.1	14.0		0.00	0.00	0.0	14.0	29.10	14.92	14.0	8.4	14.0
DIC		107.7	11.0	29.1	47.3	44.2		0.00	-0.10	4.1	40.1	65.90	30.49	40.1	14.0	44.2
ENE		162.9	42.9	76.5	103.2	98.6		0.00	-0.10	4.1	94.5	152.90	112.69	94.5	40.1	98.6
FEB		145.0	29.2	59.0	85.3	80.8		0.00	0.45	-18.5	99.3	166.30	171.50	99.3	94.5	80.8
MAR		122.7	16.8	39.8	62.8	58.8		0.00	0.45	-18.5	77.3	120.20	145.35	77.3	99.3	58.8
ABR	30	48.6	1.0	5.6	10.3	9.5	0.68	14.32	0.20	-8.2	32.0	54.00	78.81	32.0	77.3	9.5
MAY	61	8.3	0.0	1.0	2.0	1.8	0.46	9.69	0.10	-4.1	15.6	19.70	27.24	15.6	32.0	1.8
JUN	92	4.0	0.0	0.5	1.0	0.9	0.31	6.53	0.00	0.0	7.4	9.40	14.86	7.4	15.6	0.9
TOTAL		730.8	103.5	227.6	341.8	322.09	1.95	41.1	1.00	-41.1	404.2	54.18	52.28	404.2	404.2	322.09
Resultados de la Regresión Triple					b1=	1.373	b2=	0.309	b3=	0.816	r=	0.999	S=	1.669	S(1-r ²) ^{1/2} =	0.075
Ecuación de generación					CMT=1.373+0.309CMT-1+0.816Pet+0.999Z											

6.3.2.2. AREA DE DRENAJE DEL RIO VERDE

Se presenta en forma resumida la secuencia de la implementación del modelo a la modelación hidrológica del área de drenaje del río Verde hasta el punto de aforo, de la forma siguiente:

i) Requerimiento de información

Registro de precipitaciones mensuales sobre la cuenca (precipitación areal). Es la correspondiente a la determinada en el ítem 4.4.4., siendo la precipitación media anual del área de drenaje del río Verde $P = 730.8$ mm/año.

Precipitación Efectiva. Calculada en la Tabla N° 6.2, mediante la utilización de las curvas PEII y PEIII del método USBR. La precipitación efectiva total anual resultante es de $PE = 413.8$ mm/año.

Registro de caudales medios mensuales. Se utiliza los caudales completados y extendidos de la estación de Aforo (Río Verde), determinados en el ítem 5.1.4., para el año promedio histórico, cuyo valor medio anual es de 10.72 m³/s.

ii) Determinación de los Parámetros del Modelo

Coefficientes anuales medios de escorrentía: Determinados mediante la aplicación de las ocho fórmula empíricas propuestas en el modelo; asumiéndose finalmente un valor de $C = 0.57$.

Coefficiente de agotamiento: Calculado mediante la aplicación de las fórmulas empíricas del modelo, están en función del área, retención, vegetación de la cuenca; asumiéndose finalmente un valor de $a = 0.03823$.

Retención de la cuenca: Es la correspondiente a los datos de campo de la cuenca del río Coata; las fuentes hídricas, en orden de mayor a menor contribución a la retención son: Lagunas (14.2 Km² de superficie), nevados (22.2 Km² de área) y acuíferos (2.0 Km²). La retención determinada es de 24.0 mm/año.

Parámetros del modelo en su segunda parte estocástica: Factores resultantes de la regresión triple: $B1 = 0.554$ mm/mes, $B2 = 0.215$, $B3 = 0.86$, $S = 1.665$ mm/mes y $r = 0.999$, mostrados en Tabla N° 6.2.

En el Anexo (Volumen II) se presenta las hojas de cálculo.

6.3.3. CAUDALES GENERADOS

Para el río Coata, el proceso ha consistido primeramente en la aplicación del modelo en su parte determinística para la generación de caudales medios mensuales para el año promedio hidrológico, cuyos resultados se muestran en Tabla N° 6.1, resultando el caudal mensual medio anual generado de 54.20 m³/s, mayor al aforado de 52.28 m³/s, para el periodo 1967-2006 y 1964-2006 respectivamente.

Tabla N° 6.2
Generación de Caudales para el Año Promedio (m³/s)
Área de Drenaje del río Verde - Estación de Aforo

Mes	Días	PRECIPITACION MENSUAL					CONTRIBUCION DE LA RETENCION				CAUDALES			PARAMETROS			
		TOTAL	E F E C T I V A					GASTO		ABASTO		MENSUALES			REGRESION		
		P	PE I	PE II	PE III	PE	bi	Gi	ai	Ai	GENERADOS	AFOR.	Q t	Q t-1	PE t		
mm/mes	mm/mes	mm/mes	mm/mes	mm/mes	mm/mes	mm/mes	mm/mes	mm/mes	mm/mes	mm/mes	m ³ /s	m ³ /s	mm/mes	mm/mes	mm/mes		
JUL	123	2.9	0.0	0.4	0.7	0.9	0.01	0.52	0.00	0.0	1.4	0.405	1.17	1.4	2.9	0.9	
AGO	154	9.9	0.0	1.1	2.3	3.1	0.00	0.00	0.00	0.0	3.1	0.897	1.06	3.1	1.4	3.1	
SET	184	18.2	0.0	1.9	4.0	5.3	0.00	0.00	0.00	0.0	5.3	1.585	1.19	5.3	3.1	5.3	
OCT	215	38.6	0.5	4.1	7.8	10.1	0.00	0.00	0.00	0.0	10.1	2.924	1.64	10.1	5.3	10.1	
NOV		62.2	2.1	8.6	15.1	19.2		0.00	0.00	0.0	19.2	5.743	4.04	19.2	10.1	19.2	
DIC		107.7	11.0	29.1	47.3	58.8		0.00	-0.10	2.4	56.4	16.326	9.32	56.4	19.2	58.8	
ENE		162.9	42.9	76.5	103.2	120.0		0.00	-0.10	2.4	117.6	34.041	28.49	117.6	56.4	120.0	
FEB		145.0	29.2	59.0	85.3	101.9		0.00	0.45	-10.8	112.7	36.118	36.36	112.7	117.6	101.9	
MAR		122.7	16.8	39.8	62.8	77.3		0.00	0.45	-10.8	88.1	25.502	26.90	88.1	112.7	77.3	
ABR	30	48.6	1.0	5.6	10.3	13.3	0.32	16.67	0.20	-4.8	34.8	10.409	13.63	34.8	88.1	13.3	
MAY	61	8.3	0.0	1.0	2.0	2.6	0.10	5.21	0.10	-2.4	10.2	2.953	3.35	10.2	34.8	2.6	
JUN	92	4.0	0.0	0.5	1.0	1.3	0.03	1.56	0.00	0.0	2.9	0.867	1.54	2.9	10.2	1.3	
TOTAL		730.8	103.5	227.6	341.8	413.8	0.46	24.0	1.00	-24.0	461.8	11.481	10.72	461.8	461.8	413.8	
Resultados de la Regresión Triple		b1= 0.554					b2= 0.215		b3= 0.860		r= 0.999		S= 1.650		S(1-r) ^{1/2} = 0.074		
Ecuación de generación		CMt=0.554+0.215CMt-1+0.860Pet+0.999Z															

De igual forma para el río Verde, según los resultados que se muestran en Tabla N° 6.2, resultando el caudal mensual medio anual generado de 11.78 m³/s, mayor al aforado de 10.72 m³/s, para el periodo 1967-2006 y 1964-2006 respectivamente.

6.3.4. CAUDALES GENERADOS EN PUNTOS DE INTERES

Para generación de caudales en las secciones de interés, fue preciso utilizar: las series de precipitación areal mensual que se muestran en el ítem 4.4.4, los parámetros físicos de las cuencas desde las secciones de interés, y luego poder reproducir descargas sintéticas haciendo uso del modelo Lutz Scholz calibrado.

Se ha obtenido caudales medios mensuales en los siguientes puntos de interés: (1) La estación de Aforo sobre el río Coata (Puente Unocolla) del área de drenaje del río Coata, (2) La cabecera de riego de la Cuenca del río Lampa, del área de drenaje del río Lampa (3) El Embalse Lagunillas, el área de drenaje de la subcuenca Cerrillos hasta el área del embalse y (4) La estación de Aforo sobre el río Verde, del área de drenaje del río Verde. En la Tabla N° 6.3 se presenta los caudales promedio mensuales.

Tabla N° 6.3
Caudales Promedio Mensuales Generados (m³/s) – Puntos de Interés

Punto de Interés	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	PROM
Puente Unocolla	5.60	5.70	7.40	14.00	29.10	65.90	152.90	166.30	120.20	54.00	19.70	9.40	54.18
Cabecera Riego Lampa	0.30	0.43	1.17	3.08	6.98	13.19	15.78	11.62	5.67	2.01	0.78	0.32	5.11
Embalse Lagunillas	0.70	0.70	0.90	1.60	3.50	8.40	21.40	22.40	17.80	7.20	2.30	1.00	7.33
Est. Aforo Río Verde	0.40	0.60	0.80	2.20	5.90	14.00	28.60	30.90	21.10	7.70	2.00	0.70	9.58

CAPITULO 7

Determinación de la Disponibilidad Hídrica

7.1. GENERALIDADES

En el presente capítulo se presenta la determinación de la disponibilidad hídrica con fines de realizar el balance hídrico en sectores donde existe requerimientos o demandas hídricas localizadas dentro del ámbito de la Cuenca Coata.

Las necesidades hídricas geográficamente se localizan en la cuenca del río Cabanillas y la cuenca del río Lampa. Por consiguiente, el presente capítulo trata de la disponibilidad hídrica en el ámbito de las dos cuencas en forma independiente.

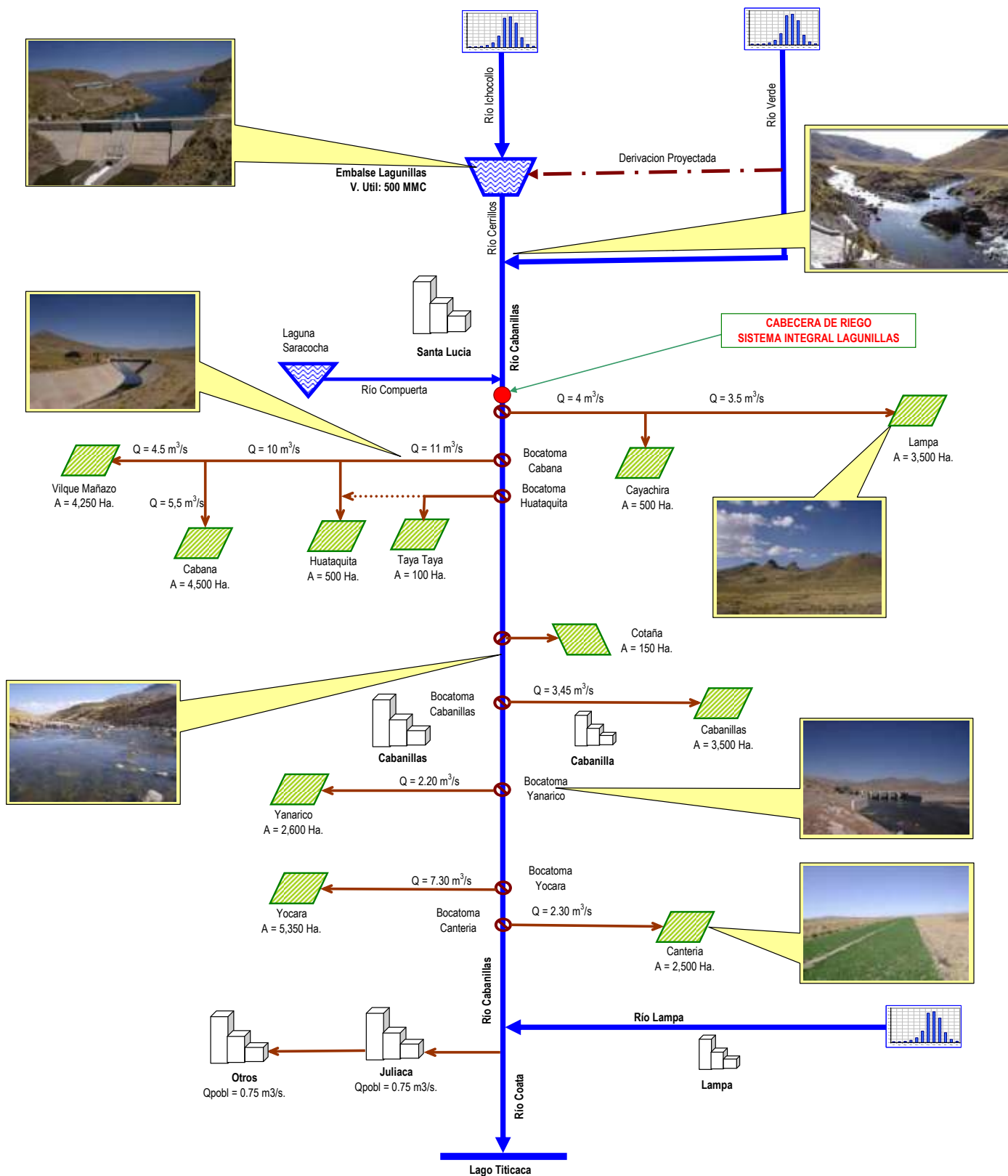
7.2. DISPONIBILIDAD HIDRICA CUENCA CABANILLAS

La cuenca del río Cabanillas ocupa una superficie de 2,888.61 Km² equivalente al 58.85% de la superficie total de la cuenca del río Coata. En la cuenca del río Cabanillas se ubica las mayores áreas potenciales de riego, por consiguiente existen grandes demandas hídricas. Esta cuenca presenta grandes bondades hídricas, ya que pluviométricamente su cuenca alta es la región con mayor precipitación (830 mm. Anual) de la cuenca Coata, además aloja importantes reservas hídricas naturales como son las lagunas. Entre estas se encuentra la Laguna de Ananta (área = 11.94 Km²) ubicada en la parte alta de la cuenca (4,828 msnm.) y en la parte media (4,168 msnm.) se encuentra el embalse Lagunillas (área = 65.12 Km²), y cerca de esta la Laguna Saracocha.

Dentro de esta cuenca se encuentra ubicado el Proyecto de Irrigación Sistema Integral Lagunillas (SIL) con un área total potencial de 33,850 Ha. y un área total bajo riego de 27,450 Ha., compuesto por 11 bloques de riego (ver Figura N° 7.1). Es el mayor sistema regulado de la Región Puno.

Según el Esquema Topológico (Figura N° 7.1), el sistema hidráulico del SIL es un sistema regulado. Donde tiene dos fuentes hídricas: (1) La escorrentía natural del río Verde, (2) La escorrentía regulada mediante el embalse Lagunillas del río Cerrillos. La unión de estos dos cauces forma el río Cabanillas. El río Compuerta es un efluente de la Laguna Saracocha, es un cauce endorreico y de poca longitud, y no tiene mayor incidencia en la disponibilidad hídrica de la cuenca.

Figura N° 7.1
Esquema Topológico - Irrigación Sistema Integral Lagunillas (SIL)



Con fines de realizar el Balance Hídrico del SIL es necesario determinar la Disponibilidad Hídrica en la Cabecera de Riego de las áreas de riego del SIL, el cual esta ubicado aguas arriba de la primera bocatoma de captación del río (actualmente Bocatoma Cayachira), localizado aguas debajo del Distrito de Santa Lucia.

La disponibilidad hídrica en la cabecera de riego del SIL se determinará realizando una simulación de operación del embalse Lagunillas.

Antes de determinar la disponibilidad hídrica, es necesario describir las características hidrológicas e hidráulicas de los elementos fisiográficos de la cuenca Cabanillas.

Según el esquema topológico del sistema (Figura N° 7.1), los elementos principales con respecto a las disponibilidades del sistema son el río Ichocollo, el río Verde y el embalse Lagunillas. La interacción de estos tres elementos determina la disponibilidad hídrica del sistema. Por consiguiente a continuación se describe las características hidrológicas de cada uno de los elementos.

7.2.1. DISPONIBILIDAD HIDRICA DEL RIO ICHOCOLLO

El río Ichocollo es el último cauce del área de drenaje de la subcuenca Cerrillos que desemboca en el embalse Lagunillas (ver Figura N° 7.1). su area de drenaje hasta la entrada al embalse lagunillas es de 631.2 Km², tiene un régimen hidrológico regular durante todo el año, aunque en el periodo de estiaje sus caudales medios son mínimos (alrededor de 700 lt/s).

En este cauce de escurrimiento natural no existe punto de aforo, por consiguiente no se tiene disponible registros de caudal observado que ingresa al embalse Lagunillas. Utilizando el modelo hidrológico de transformación precipitación - escorrentía (ver Capitulo 6) se ha generado caudales ubicado en el punto de ingreso al embalse Lagunillas. Los caudales generados corresponden al periodo 1967 - 2006.

En la Tabla N° 7.1 se presenta los módulos de caudal del río Ichocollo, se podrá apreciar que el caudal promedio anual le corresponde un modulo medio de 7.32 m³/s y para un modulo del 75% de persistencia un valor de 4.11 m³/s.

Tabla N° 7.1
Módulos de Caudal Promedio Mensual (m³/s) – Río Ichollo (Punto de Ingreso al Embalse Lagunillas)

Modulo	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	PROM
Qm	0.73	0.92	1.60	3.53	8.36	21.35	22.38	17.81	7.15	2.32	1.04	0.65	7.32
Q50	0.65	0.76	1.01	2.06	6.63	20.99	21.76	18.26	6.50	2.15	0.99	0.61	6.86
Q75	0.52	0.62	0.81	1.09	3.99	10.68	12.25	11.71	4.76	1.58	0.81	0.54	4.11
Q95	0.43	0.46	0.53	0.70	1.74	3.61	3.33	3.73	1.65	0.72	0.56	0.43	1.49

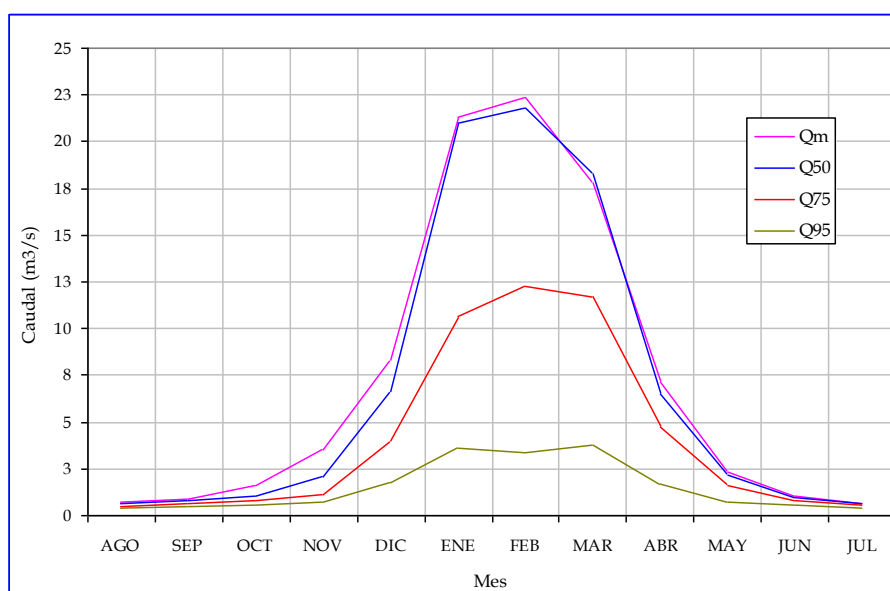
En la Tabla N° 7.2 se presenta la misma información hidrológica en módulos de volumen promedio anual. Al volumen promedio anual le corresponde un módulo medio total de 228.40 MMC (Millones de metros cubicos), y para un módulo del 75% de persistencia le corresponde un valor total anual de 128.40 MMC.

Tabla N° 7.2
Módulos de Volumen Promedio Mensual (MMC) – Río Ichollo (Punto de Ingreso al Embalse Lagunillas)

Modulo	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	TOTAL
Vm	1.95	2.37	4.30	9.16	22.40	57.19	54.13	47.70	18.55	6.22	2.69	1.75	228.40
V50	1.73	1.97	2.69	5.34	17.75	56.22	52.63	48.90	16.85	5.77	2.55	1.63	214.05
V75	1.39	1.62	2.18	2.82	10.68	28.61	29.65	31.36	12.33	4.23	2.09	1.45	128.40
V95	1.14	1.19	1.42	1.81	4.66	9.67	8.06	9.98	4.27	1.93	1.44	1.16	46.74

En la Figura No 7.2 se presenta la distribución del caudal promedio mensual en sus diferentes módulos. La serie completa de caudales medios mensuales generados se presenta en el Anexo (Volumen II).

Figura N° 7.2
Módulos de Caudal Promedio Mensual (m³/s) – Río Ichollo (Punto de Ingreso al Embalse Lagunillas)



7.2.2. DISPONIBILIDAD HIDRICA DEL RIO VERDE

El río Verde es el cauce de drenaje de tres subcuencas, las cuales se caracterizan por las altas precipitaciones que reciben. El área de drenaje del río Verde hasta el punto de aforo ubicado en la parte media de la subcuenca Medio Alto Coata es de 775.30 Km². Tiene un régimen hidrológico regular durante todo el año. La escorrentía de este cauce es el de mayor aporte en la cuenca del río Coata.

En este cauce de escurrimiento natural existe una estación de aforo ubicada a una

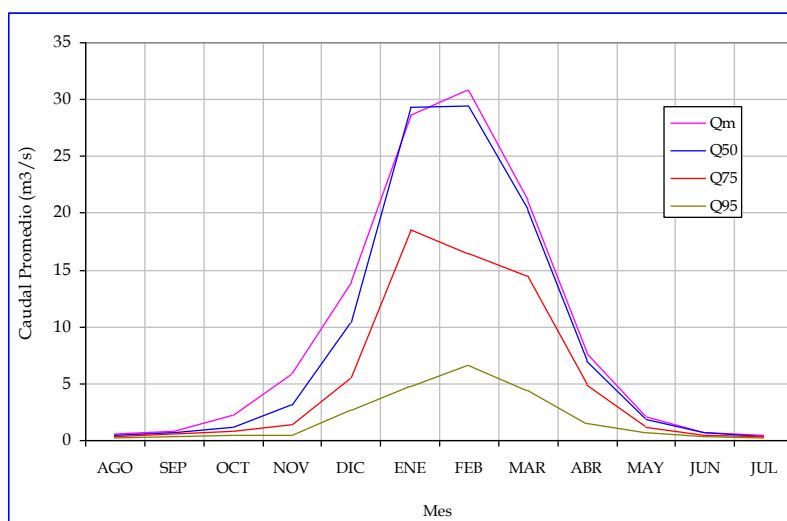
altitud de 4,096 msnm. Los registros históricos de esta estación son continuas, a la fecha se encuentra operativa y esta administrada por el SENAMHI - Puno. Con fines de validar la performance del modelo hidrológico de transformación precipitación - escorrentía, se ha generado caudales en este punto de aforo. Los resultados obtenidos son similares (ver ítem 6.3.2.2.).

En la Tabla N° 7.3 se presenta los módulos de caudal del río Verde, se podrá apreciar que el caudal promedio anual le corresponde un modulo medio de 9.59 m³/s y para un modulo del 75% de persistencia un valor de 5.41 m³/s. en la Figura N° 7.3 se presenta en forma gráfica.

Tabla N° 7.3
Módulos de Caudal Promedio Mensual (m³/s) – Río Verde (Punto de Aforo)

Modulo	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	PROM
Qm	0.58	0.83	2.22	5.94	14.04	28.65	30.87	21.06	7.70	2.04	0.74	0.42	9.59
Q50	0.46	0.74	1.10	3.13	10.40	29.29	29.49	20.24	6.95	1.88	0.67	0.38	8.73
Q75	0.32	0.54	0.78	1.39	5.60	18.51	16.48	14.45	4.82	1.21	0.51	0.29	5.41
Q95	0.25	0.30	0.49	0.51	2.61	4.79	6.59	4.37	1.56	0.68	0.39	0.22	1.90

Figura N° 7.3
Módulos de Caudal Promedio Mensual (m³/s) – Río Verde (Punto de Aforo)



En la Tabla N° 7.4 se presenta la misma información hidrológica en módulos de volumen promedio anual. Al volumen promedio anual le corresponde un módulo medio total de 298.96 MMC (Millones de metros cúbicos), y para un módulo del 75% de persistencia le corresponde un valor total anual de 223.68 MMC.


Tabla N° 7.4
Módulos de Volumen Promedio Mensual (MMC) – Río Verde (Punto de Aforo)

Modulo	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	TOTAL
Vm	1.57	2.16	5.94	15.40	37.61	76.72	74.67	56.42	19.96	5.47	1.93	1.13	298.96
V50	1.23	1.93	2.96	8.12	27.86	78.45	71.35	54.21	18.02	5.04	1.73	1.02	271.91
V75	1.08	1.65	2.86	6.10	20.85	68.02	53.29	48.10	15.19	4.05	1.61	0.88	223.68
V95	0.66	0.77	1.32	1.32	6.99	12.83	15.93	11.72	4.03	1.82	1.01	0.60	59.00

7.2.3. EMBALSE DE LAGUNILLAS

El embalse Lagunillas es uno de los elementos hidrológicos e hidráulicos de mucho interés dentro de la concepción e implementación del Proyecto de Irrigación Sistema Integral Lagunillas.

Este embalse se ha conseguido realizando obras de afianzamiento en la laguna natural de Lagunillas. En el cauce efluente de la laguna natural se ha construido una presa de gravedad, con lo cual se ha incrementado la capacidad de almacenamiento para un volumen útil de 500 MMC. En la Tabla N° 7.5 se presenta las características hidráulicas del embalse Lagunillas.

Tabla N° 7.5 Presa Lagunillas		
Volumen Util (aprox.)	: 500 MMC	
Capacidad máxima de descarga	: 20 m ³ /s	
Cota máxima de operación	: 4168.80 msnm.	
Cota mínima de operación	: 4157.25 msnm.	
Año de inicio de operación	: 1999	
Control de aforo	: No funciona	
Reglas de operación	: No tiene	
Administración Actual	: PELT	
Demanda Actual	: 10 m ³ /s	
Área espejo de agua actual	: 65.12 Km ²	
Área espejo antes de embalse	: 25.31 Km ²	

No se ha conseguido información técnica que describa las características hidráulicas del embalse Lagunillas. Es así que la operación actual del embalse se realiza en forma empírica, sin reglas ni políticas de operación definidas.



en el mismo lugar de la presa es de longitud corta; para el presente reporte no se ha tomado en cuenta esta información.

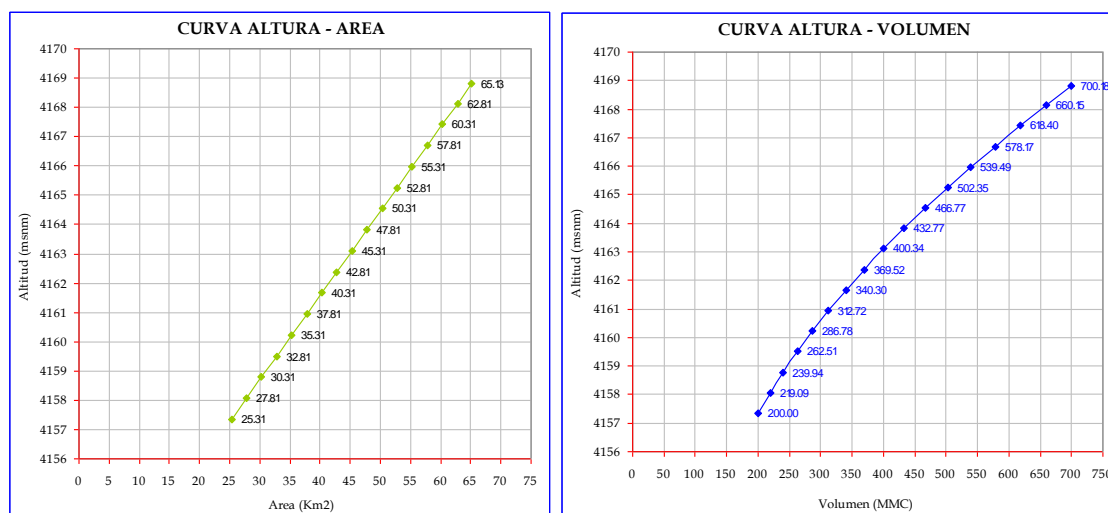
7.2.3.1. CURVA ALTURA - AREA - VOLUMEN

Con fines de realizar la simulación de operación del embalse Lagunillas, y ante la falta de estudios de batimetría que permitan obtener la relación altura - área - volumen del embalse, se ha elaborado en forma aproximado la curva de la relación altura - área - volumen de la siguiente manera:

1. Utilizando las imágenes satelitales del espejo de agua del embalse Lagunillas en los dos escenarios, es decir antes y después del embalse. Con estas imágenes procesadas en el entorno del Arc Gis se ha determinado las áreas de ambos escenarios.
2. Con un trabajo de campo en el entorno del embalse Lagunillas se ha evaluado y estimado en forma aproximada el volumen ocupado por las islas existentes en el embalse, asimismo se ha evaluado las cotas, niveles de agua, y coordenadas de posición geográfica de la presa e islas.
3. Una vez determinado el área del espejo de agua y altura máxima y mínima de almacenamiento del volumen útil, el cual se asume en 500 MMC., se utilizó las herramientas digitales del Autocad Land, para estimar el volumen del embalse asemejando a una forma geométrica de tipo tronco de pirámide.
4. Finalmente realizando interpolaciones se ha determinado el rango de las alturas, áreas y volúmenes respectivos del embalse.

En la Figura N° 7.4 se presenta la relación altura - área - volumen del embalse Lagunillas.

Figura N° 7.4
Curva Altura - Area - Volumen - Embalse Lagunillas



Haciendo una comparación de alturas de operación del reservorio, en la realidad la diferencia de altura existente de los niveles agua en la presa es de 11.55 m., y el valor obtenido de los cálculos realizados se tiene un valor de 11.45 m.

7.2.3.2. INFORMACION CLIMATOLOGICA

En el entorno del embalse Lagunillas no existen registros históricos de parámetros climatológicos propios del ambiente natural del embalse Lagunillas. Con fines de realizar la simulación de operación del embalse, se ha asumido la evaporación registrada en la estación de Lagunillas – Santa Lucia y la precipitación registrada en Pampahuta, en el periodo 1997 -2006.

En la Tabla N° 7.6 se presenta el promedio multianual de la evaporación neta total mensual para el embalse Lagunillas. En el Anexo (volumen II) se presenta la serie completa.

Tabla N° 7.6
Evaporación Neta Total Mensual Promedio Anual (mm.) – Embalse Lagunillas

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
-53.46	-38.14	-5.36	73.16	121.65	113.75	124.07	131.98	142.15	141.01	109.15	39.23

7.2.4. ESTIMACION DE CAPACIDAD DE EMBALSE

El análisis de la variabilidad natural del caudal de un río puede indicar si con frecuencia será deficiente con respecto a las necesidades estimadas de agua para un proyecto particular de explotación. Si el caudal es bajo se puede aumentar almacenando agua en un embalse, cuya capacidad dependerá del volumen de extracción, que se denomina descarga del embalse D , de su capacidad de almacenamiento S , y de la estructura de la serie temporal de los caudales. La relación entre la capacidad de almacenamiento del embalse, la descarga, y la fiabilidad resultante R del suministro de agua se denomina ecuación de almacenamiento. En el diseño de un embalse, cualquier par de estas tres variables se puede considerar como independiente y se le pueden asignar valores específicos. El valor de la tercera variable se calcula mediante la ecuación de almacenamiento para el régimen hidrológico dado. Existen varios métodos para resolver las ecuaciones de almacenamiento que dependen de la representación del régimen de afluencia, por ejemplo un registro histórico o sintético de caudales, propiedades probabilísticas del proceso de afluencia, o curvas de duración-caudal del afluente.

Con fines de evaluar el rendimiento volumétrico a nivel promedio anual de las áreas de drenaje del río Ichocollo y del río Verde se ha planteado hacer un análisis de la capacidad de embalse de las áreas de drenaje indicado. Este análisis comprende la superficie de drenaje de los ríos hasta los puntos de control definidos en ambos lugares.

Este análisis también tiene por objetivo evaluar el dimensionamiento actual de la capacidad de almacenamiento del embalse Lagunillas.

Hay muchos métodos para estimar la capacidad de embalse de un área de drenaje. Para el presente análisis se ha utilizado el método probabilístico, específicamente un modelo estocástico marcoviano de primer orden.

En base al registro de caudales medios generados (periodo 1967 - 2006) para el río Ichocollo y el río Verde (ver Item 6.3.2.), se ha generado estocásticamente 25 series sintéticas de la misma longitud cada una, para cada uno de los puntos de análisis. Con

la ayuda del software Stochastic Analysis, Modeling And Simulation Program (SAMS) Version 98, se ha elaborado el análisis de capacidad de embalse de las dos áreas de drenaje.

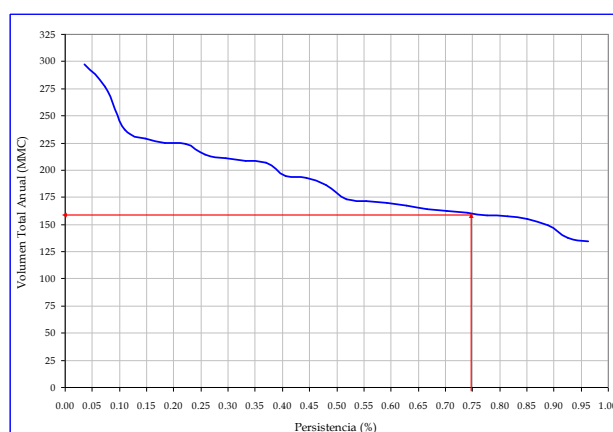
i) Capacidad de Embalse del Río Ichocollo

En la Tabla N° 7.7 se presenta el volumen total anual promedio para la serie histórica y las 25 series sintéticas del río Ichocollo y en la Figura N° 7.5 se presenta la curva de persistencia de volumen total anual.

Tabla N° 7.7
Volumen Total Promedio Anual (MMC) – Río Ichocollo

ITEM	SERIE	VOLUMEN	WEIBULL	VOLUMEN Z...A
1	HISTORICA	193.77	0.04	297.23
2	Ichocollo 1	137.79	0.07	276.84
3	Ichocollo 2	171.52	0.11	237.13
4	Ichocollo 3	162.35	0.15	228.40
5	Ichocollo 4	214.16	0.19	224.55
6	Ichocollo 5	210.41	0.22	223.55
7	Ichocollo 6	186.28	0.26	214.16
8	Ichocollo 7	133.78	0.30	210.41
9	Ichocollo 8	154.99	0.33	208.05
10	Ichocollo 9	169.67	0.37	206.24
11	Ichocollo 10	192.55	0.41	193.77
12	Ichocollo 11	223.55	0.44	192.55
13	Ichocollo 12	224.55	0.48	186.28
14	Ichocollo 13	157.53	0.52	172.99
15	Ichocollo 14	208.05	0.56	171.52
16	Ichocollo 15	206.24	0.59	169.67
17	Ichocollo 16	166.80	0.63	166.80
18	Ichocollo 17	172.99	0.67	163.46
19	Ichocollo 18	149.05	0.70	162.35
20	Ichocollo 19	157.82	0.74	160.68
21	Ichocollo 20	297.23	0.78	157.82
22	Ichocollo 21	237.13	0.81	157.53
23	Ichocollo 22	228.40	0.85	154.99
24	Ichocollo 23	276.84	0.89	149.05
25	Ichocollo 24	160.68	0.93	137.79
26	Ichocollo 25	163.46	0.96	133.78

Figura N° 7.5
Curva de Persistencia de Volumen de Almacenamiento – Río Ichocollo



De los resultados obtenidos se puede concluir que el área de drenaje del río Ichocollo hasta el punto de entrada al embalse Lagunillas tiene una capacidad de embalse de 159.97 MMC. para una persistencia del 75% de duración. Esto quiere decir que en un año promedio el área de drenaje del río Ichocollo tiene una capacidad promedio de aporte al embalse Lagunillas de solamente un volumen de 159.97 MMC. Este volumen de aportación es mucho menor a la capacidad útil (500 MMC) de almacenamiento del embalse Lagunillas. Por consiguiente, el volumen promedio anual disponible en el área de drenaje del río Ichocollo es de 159.97 MMC.

ii) Capacidad de Embalse del Río Verde

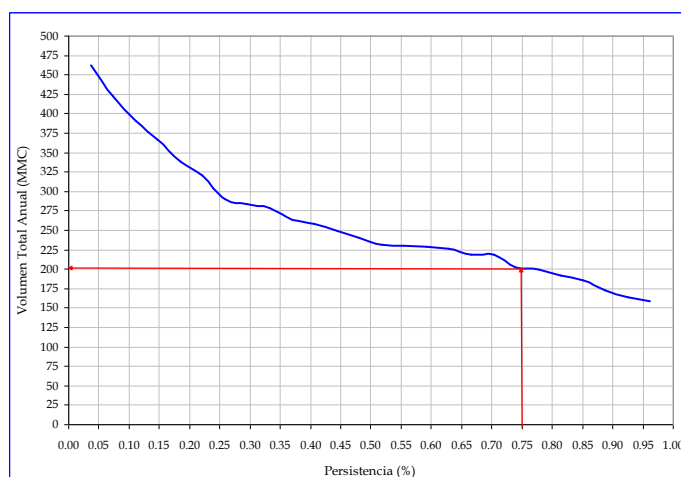
En la Tabla N° 7.8 se presenta el volumen total anual promedio para la serie histórica y las 25 series sintéticas del río Verde y en la Figura N° 7.6 se presenta la curva de persistencia de volumen total anual.

Tabla N° 7.8
Volumen Total Promedio Anual (MMC) – Río Verde

ITEM	SERIE	VOLUMEN	WEIBULL	VOLUMEN Z...A
1	HISTORICA	263.22	0.04	462.35
2	Río Verde 1	230.10	0.07	422.10
3	Río Verde 2	462.35	0.11	390.05
4	Río Verde 3	157.74	0.15	366.30
5	Río Verde 4	337.82	0.19	337.82
6	Río Verde 5	282.58	0.22	319.59
7	Río Verde 6	217.81	0.26	289.82
8	Río Verde 7	277.53	0.30	282.58
9	Río Verde 8	218.59	0.33	277.53
10	Río Verde 9	257.78	0.37	263.22
11	Río Verde 10	319.59	0.41	257.78
12	Río Verde 11	171.79	0.44	248.53
13	Río Verde 12	230.72	0.48	239.84
14	Río Verde 13	199.44	0.52	230.72
15	Río Verde 14	289.82	0.56	230.10
16	Río Verde 15	248.53	0.59	228.29
17	Río Verde 16	422.10	0.63	226.39
18	Río Verde 17	191.65	0.67	218.59
19	Río Verde 18	202.03	0.70	217.81
20	Río Verde 19	390.05	0.74	202.03
21	Río Verde 20	163.31	0.78	199.44
22	Río Verde 21	239.84	0.81	191.65
23	Río Verde 22	228.29	0.85	185.05
24	Río Verde 23	185.05	0.89	171.79
25	Río Verde 24	226.39	0.93	163.31
26	Río Verde 25	366.30	0.96	157.74

De los resultados obtenidos se puede concluir que el área de drenaje del río Verde hasta el punto localizado en la estación de aforo existente en el río Verde una capacidad de embalse de 201.38 MMC. para una persistencia del 75% de duración. Esto quiere decir que en un año promedio el área de drenaje del río Verde tiene una capacidad promedio de aporte al río Cabanillas de solamente un volumen de 201.38 MMC.

Figura N° 7.6
Curva de Persistencia de Volumen de Almacenamiento – Río Verde



7.2.5. SIMULACION DE OPERACION DEL EMBALSE LAGUNILLAS

El motivo de realizar la simulación de operación del embalse Lagunillas es determinar la disponibilidad hídrica para satisfacer las demandas hídricas existentes.

En la Figura N° 7.1 se observa la distribución topológica espacial de los principales elementos del sistema hidráulico del SIL. El planteamiento e implementación paulatina de las áreas de riego del SIL esta sujeto al funcionamiento óptimo del principal elemento hidráulico del sistema, el embalse de Lagunillas.

Dada las expectativas de atención de cada vez mayor de las demandas hídricas, es de vital importancia limitar estas demandas, ya que también las fuentes de agua son limitadas.

Con el estudio del comportamiento hidrológico del sistema bajo la operación del embalse Lagunillas se definirá caudales medios disponibles a nivel mensual en la cabecera de riego del SIL.

Para iniciar con la simulación, previamente se ha realizado el análisis hidrológico de la Cuenca Coata, y en forma localizada el área de drenaje aguas arriba del embalse Lagunillas (río Ichocollo) y el área de drenaje del río Verde, aguas arriba de la estación de aforo, determinándose los caudales medios a nivel mensual en cada uno de estos dos puntos (ver Item 7.2.2.). Asimismo se ha determinado las demandas hídricas del sistema (ver Capítulo N° 8).

El proceso de simulación se ha realizado en forma dinámica en una hoja electrónica, en donde se ha insertado el algoritmo en Visual Basic correspondiente al diagrama de flujo de la operación del embalse. Los resultados se presentan en forma tabular y gráfica.

7.2.5.1. DATOS Y VARIABLES DE CONTORNO

El horizonte de operación del embalse esta comprendido en el periodo 1967 – 2006, a una escala mensual. Los datos y variables de contorno son los siguientes:

i) Aportes

- Caudales medios mensuales generados del río Ichocollo (Punto de ingreso al embalse Lagunillas) y del río Verde (punto estación de aforo existente), en una longitud de 40 años (1967 – 2006).

ii) Demandas

- Demanda de riego de las áreas de riego de la Irrigación Sistema Integral Lagunillas, a nivel mensual.
- Demanda poblacional de la ciudad de Juliaca y otros: 1.5 m³/s, en forma permanente y de prioridad número uno.
- Caudal ecológico en cauce de escurrimiento natural en una proporción del 5% del caudal medio disponible.
- Pérdidas por evaporación en embalse de Lagunillas, proporcional al nivel de almacenamiento y área del espejo de agua, calculado en base al registro mensual de evaporación neta (evaporación menos precipitación) en el embalse en el periodo 1967 – 2006.
- Pérdidas en el sistema de conducción en proporción a un 5% de las demandas hídricas.

iii) Volúmenes de Operación del Embalse.

En vista de que no hay fuentes de información que demuestre las reales características hidráulicas del embalse, se asume los siguientes volúmenes de operación: Volumen Máximo de Operación igual a 700 MMC., Volumen Mínimo de Operación igual a 200 MMC., Volumen Útil de Operación igual a 500 MMC.

7.2.5.2. ESCENARIOS DE OPERACION

La infraestructura hidráulica mayor ya esta implementada así como las áreas bajo riego ya están definidas, pero debido a la creciente escasez del recurso hídrico en otras regiones no consideradas en el planteamiento de la concepción original del proyecto, hay una tendencia de requerimiento de mayores demandas al sistema, por lo que es necesario plantear dos alternativas o escenarios de operación del embalse, con fines de evaluar la performance hidrológica y definir las ofertas hídricas en módulos de caudales promedio mensual.

En ambos escenarios de operación, las demandas hídricas (Item anterior) son las mismas. La diferencia esta en parte del manejo de las fuentes hídricas.

En el algoritmo de simulación para cada año hidrológico se hace un balance hídrico anual preliminar, y de acuerdo al porcentaje de satisfacción de las demandas se realiza una distribución mensual de las demandas.

iii) Escenario I

El escenario I, corresponde a la situación actual de la configuración de aportes naturales al sistema. Es decir, el aporte natural de la escorrentía del río Verde y la escorrentía del río Ichocollo regulada mediante el embalse de Lagunillas. En el proceso de operación del sistema para satisfacer las demandas requeridas, se prioriza la utilización de los caudales naturales del río Verde y se complementa con los caudales regulados del embalse Lagunillas.

iv) Escenario II

El escenario II, corresponde a la situación proyectada de la derivación de los caudales naturales del río Verde hacia el embalse Lagunillas. Por consiguiente, todo el caudal suministrado a las demandas hídricas es regulado.

7.2.5.3. CRITERIOS DE EVALUACION

Se ha tomado en consideración la aplicación de índices de seguridad hidrológica como criterios de evaluación de la performance de la operación del sistema, cuyo objetivo es calificar el nivel de satisfacción de las demandas requeridas. Los índices de seguridad empleados son: (1) la relación de la suma del caudal promedio multianual suministrado y la de los caudales requeridos durante un año, (2) La duración del caudal mensual suministrado, que es la relación del tiempo en el cual el caudal suministrado es mayor al caudal requerido y el tiempo total del horizonte de operación.

7.2.6. DISPONIBILIDAD HIDRICA

Los resultados obtenidos respecto de la disponibilidad hídrica disponible en la cabecera de riego del Proyecto de Irrigación Sistema Integral Lagunillas, se presenta los resúmenes en forma tabular y gráfica en los siguientes ítems. En el Anexo (Volumen II) se presenta las series completas de caudales y volúmenes de operación del embalse.

i) Escenario I

En la situación de infraestructura, fuentes y demandas hídricas existentes actualmente, la disponibilidad hídrica promedio mensual en la cabecera de riego del SIL se presenta en la Tabla N° 7.9, en unidades de caudal (m^3/s) y volumen (MMC) para el modulo medio, 50%, 75% y 95% de duración. El volumen promedio total anual medio disponible es de 480.09 MMC, y para el módulo de 75% es de 385.82 MMC.

En la Figura N° 7.7 se observa la distribución mensual del caudal y volumen promedio

Tabla N° 7.9
Módulos de Caudal y Volumen Promedio Mensual – Escenario I
Disponibilidad Hídrica en Cabecera de Riego - SIL

MODULO	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	CANT.
CAUDAL PROMEDIO ANUAL (M3/S)													PROM
Medio	10.04	11.55	13.43	14.81	16.75	28.66	30.88	21.12	9.55	9.35	8.47	9.05	15.31
50%	10.43	12.04	14.00	15.12	11.59	29.29	29.49	20.24	8.30	9.58	8.68	9.41	14.85
75%	10.43	12.04	14.00	15.12	11.59	18.69	14.53	14.51	8.30	9.58	8.68	9.41	12.24
95%	3.20	3.69	4.29	4.63	10.19	5.53	6.59	4.37	6.15	7.10	6.43	2.88	5.42
VOLUMEN PROMEDIO ANUAL (MMC)													TOTAL
Medio	26.89	29.94	35.98	38.38	44.86	76.77	74.70	56.56	24.76	25.05	21.96	24.23	480.09
50%	27.94	31.21	37.49	39.19	31.03	78.45	71.35	54.21	21.50	25.66	22.50	25.20	465.75
75%	27.94	31.21	37.49	39.19	31.03	50.05	35.16	38.87	21.50	25.66	22.50	25.20	385.82
95%	8.56	9.56	11.49	12.01	27.30	14.81	15.93	11.72	15.93	19.01	16.67	7.72	170.70

Figura N° 7.7
Distribución de Disponibilidad Hídrica para el Módulo de 75% – Escenario I
Cabecera de Riego del SIL

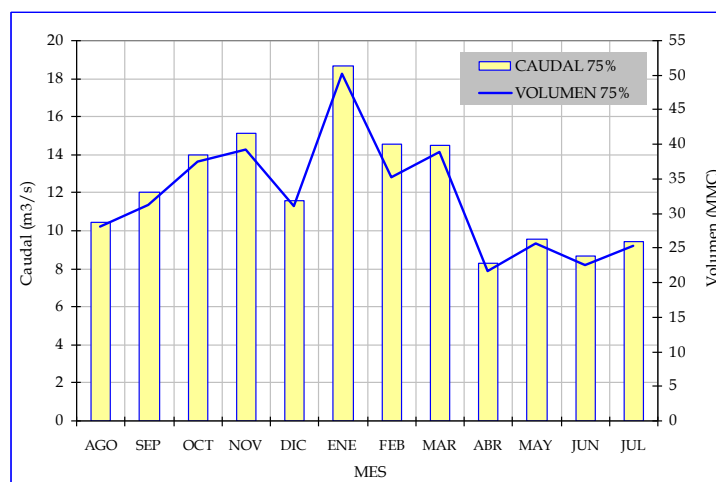


Figura N° 7.8
Distribución de Disponibilidad Hídrica para Módulos de Caudal Promedio (m3/s)
Cabecera de Riego del SIL – Escenario I

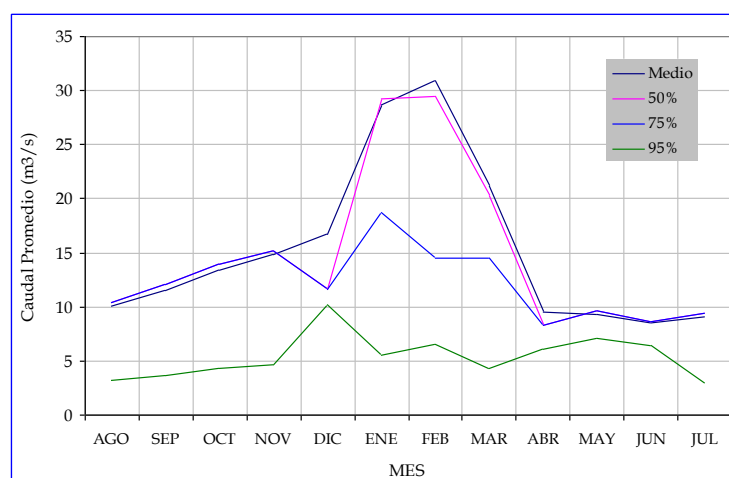


Tabla N° 7.10
Módulos de Caudal y Volumen Promedio Mensual – Escenario II
Disponibilidad Hídrica en Cabecera de Riego - SIL

Modulo	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	CANT.
CAUDAL PROMEDIO ANUAL (M3/S)													PROM
Medio	17.38	19.92	22.46	20.96	15.12	8.82	5.13	6.72	13.76	15.98	14.43	15.69	14.70
50%	19.54	22.62	26.40	28.55	21.76	10.11	5.13	6.72	15.42	17.91	16.18	17.58	17.33
75%	16.46	19.06	21.05	14.11	8.47	10.08	5.13	6.72	12.99	15.09	13.63	14.81	13.13
95%	5.13	3.58	0.00	0.00	0.00	1.14	5.13	6.72	5.95	6.91	6.24	6.78	3.97
VOLUMEN PROMEDIO ANUAL (MMC)													TOTAL
Medio	46.54	51.62	60.17	54.33	40.49	23.63	12.41	18.01	35.66	42.80	37.41	42.01	465.09
50%	52.34	58.64	70.71	73.99	58.29	27.09	12.41	18.01	39.97	47.96	41.93	47.08	548.44
75%	44.09	49.40	56.37	36.58	22.69	27.01	12.41	18.01	33.67	40.41	35.32	39.66	415.63
95%	13.75	9.29	0.00	0.00	0.00	3.06	12.41	18.01	15.42	18.50	16.17	18.16	124.77

Figura N° 7.9
Distribución de Disponibilidad Hídrica para el Modulo de 75% – Escenario II
Cabecera de Riego del SIL

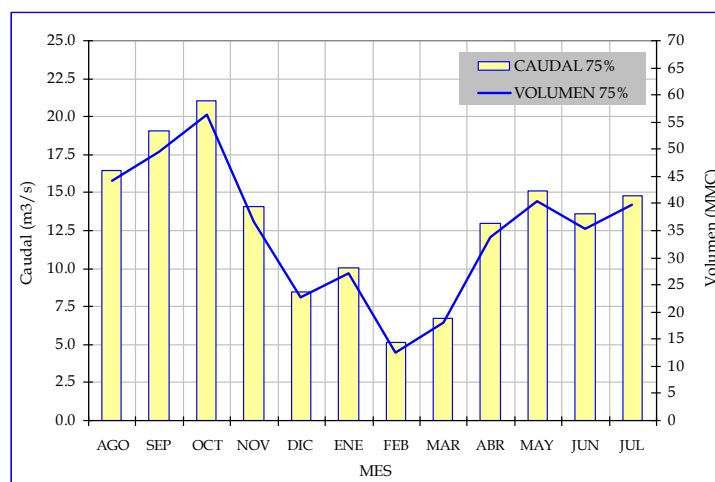
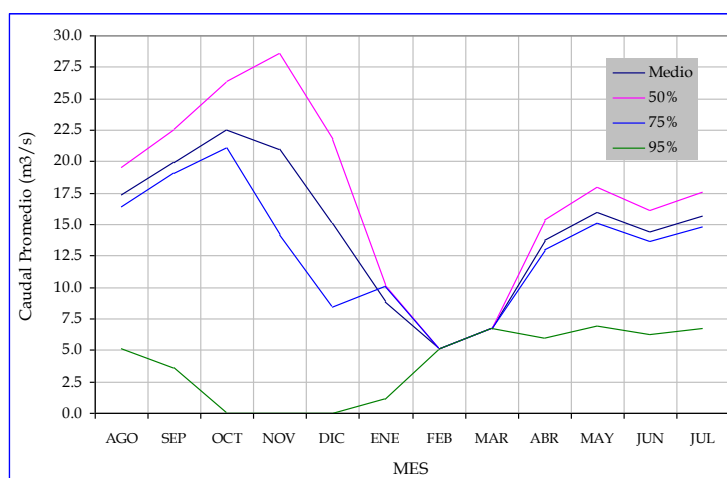


Figura N° 7.10
Distribución de Disponibilidad Hídrica para Módulos de Caudal Promedio (m3/s)
Cabecera de Riego del SIL – Escenario II



disponible en la cabecera de riego del SIL para una persistencia del 75% de duración, verificándose que el mes de Enero tiene la mayor disponibilidad de agua igual a 50.05 MMC (18.69 m³/s), y el mes de Abril el de menor disponibilidad de agua igual a 21.50 MMC (8.30 m³/s).

En la Figura N° 7.8 se presenta la variación mensual del caudal promedio disponible en la cabecera de riego del SIL para los diferentes módulos de persistencia.

ii) Escenario II

Los resultados de este escenario corresponden a la situación proyectada, cuando los caudales del río Verde sean derivados al embalse Lagunillas, y de esta forma la disponibilidad hídrica disponible será totalmente regulado.

La disponibilidad hídrica promedio mensual en la cabecera de riego del SIL se presenta en la Tabla N° 7.10, en unidades de caudal (m³/s) y volumen (MMC) para el módulo medio, 50%, 75% y 95% de duración. El volumen promedio total anual medio disponible es de 465.09 MMC, y para el módulo de 75% es de 415.63 MMC.

En la Figura N° 7.9 se observa la distribución mensual del caudal y volumen promedio disponible en la cabecera de riego del SIL para una persistencia del 75% de duración, verificándose que el mes de Octubre tiene la mayor disponibilidad de agua igual a 56.37 MMC (21.05 m³/s), y el mes de Febrero el de menor disponibilidad de agua igual a 12.41 MMC (5.13 m³/s).

En la Figura N° 7.10 se presenta la variación mensual del caudal promedio disponible en la cabecera de riego del SIL para los diferentes módulos de persistencia.

7.3. DISPONIBILIDAD HÍDRICA CUENCA LAMPA

La cuenca del río Lampa ocupa una superficie de 1,559.87 Km² equivalente al 31.78% de la superficie total de la cuenca del río Coata. La fisiografía de esta cuenca es de carácter endorreico muy diferente a la del Cabanillas. En la parte alta de la cuenca se ubica áreas de nevados, si mismo se ubican gran número de lagunas de pequeña dimensión. Por consiguiente, los nevados y depósitos de agua natural representan la fuente hídrica de esta cuenca. Su precipitación total anual media es de 702.3 mm. El principal cauce de drenaje de esta cuenca es el río Lampa, con un régimen de caudales de tipo estacional.

Las áreas cultivables en esta cuenca son escasas, mayormente se concentran en la parte baja de la cuenca. Debido a la restricción de la irregularidad del recurso hídrico en esta cuenca no existen áreas de riego importantes, por lo tanto las demandas son pequeñas.

El río Lampa nace en el área de nevados de la parte alta de la cuenca, siendo el área de drenaje es de 389.20 Km² hasta la cabecera de riego de la cuenca ubicado antes de la captación de agua hacia el bloque de riego Chullunquiani. Tiene un régimen hidrológico irregular de tipo endorreico. A lo largo de este cauce natural de drenaje (río Lampa) no existe control de aforos.

En esta cuenca existen cuatro bloques de riego con áreas de riego significativas, cuya fuente hídrica es el caudal captado del río Lampa. En la parte baja del río Lampa existe un área cuyo potencial cultivable es de aproximadamente 5,000 Ha., esta área se pretende irrigar con caudales derivados del río Cabanillas. En el Balance hídrico del río Cabanillas se ha tomado en cuenta las demandas hídricas de esta área.

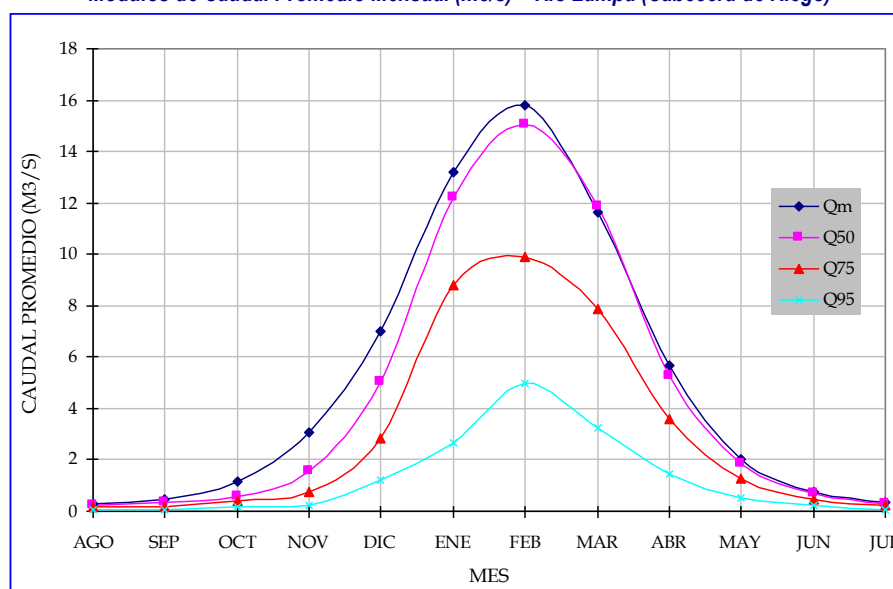
Con fines de realizar el balance hídrico en esta cuenca, se ha estimado los caudales medios mensuales del río Lampa en la cabecera de las áreas de riego existentes utilizando el modelo hidrológico de transformación precipitación – escorrentía.

En la Tabla N° 7.11 se presenta los módulos de caudal del río Lampa, se podrá apreciar que el caudal promedio anual le corresponde un modulo medio de 9.59 m³/s y para un modulo del 75% de persistencia un valor de 5.41 m³/s. en la Figura N° 7.3 se presenta en forma gráfica.

Tabla N° 7.11
Módulos de Caudal Promedio Mensual (m³/s) – Río Lampa (Cabecera de Riego)

Modulo	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	PROM
Qm	0.30	0.43	1.17	3.08	6.98	13.19	15.78	11.62	5.67	2.01	0.78	0.32	5.11
Q50	0.25	0.34	0.58	1.57	5.04	12.23	15.07	11.89	5.29	1.87	0.72	0.31	4.60
Q75	0.15	0.19	0.39	0.74	2.85	8.78	9.89	7.88	3.59	1.26	0.49	0.21	3.03
Q95	0.09	0.06	0.15	0.24	1.20	2.67	4.97	3.25	1.44	0.52	0.25	0.05	1.24

Figura N° 7.3
Módulos de Caudal Promedio Mensual (m³/s) – Río Lampa (Cabecera de Riego)



En la Tabla N° 7.12 se presenta la misma información hidrológica en módulos de volumen promedio anual. Al volumen promedio anual le corresponde un módulo medio total de 159.33 MMC (Millones de metros cúbicos), y para un módulo del 75%

de persistencia le corresponde un valor total anual de 94.53 MMC.

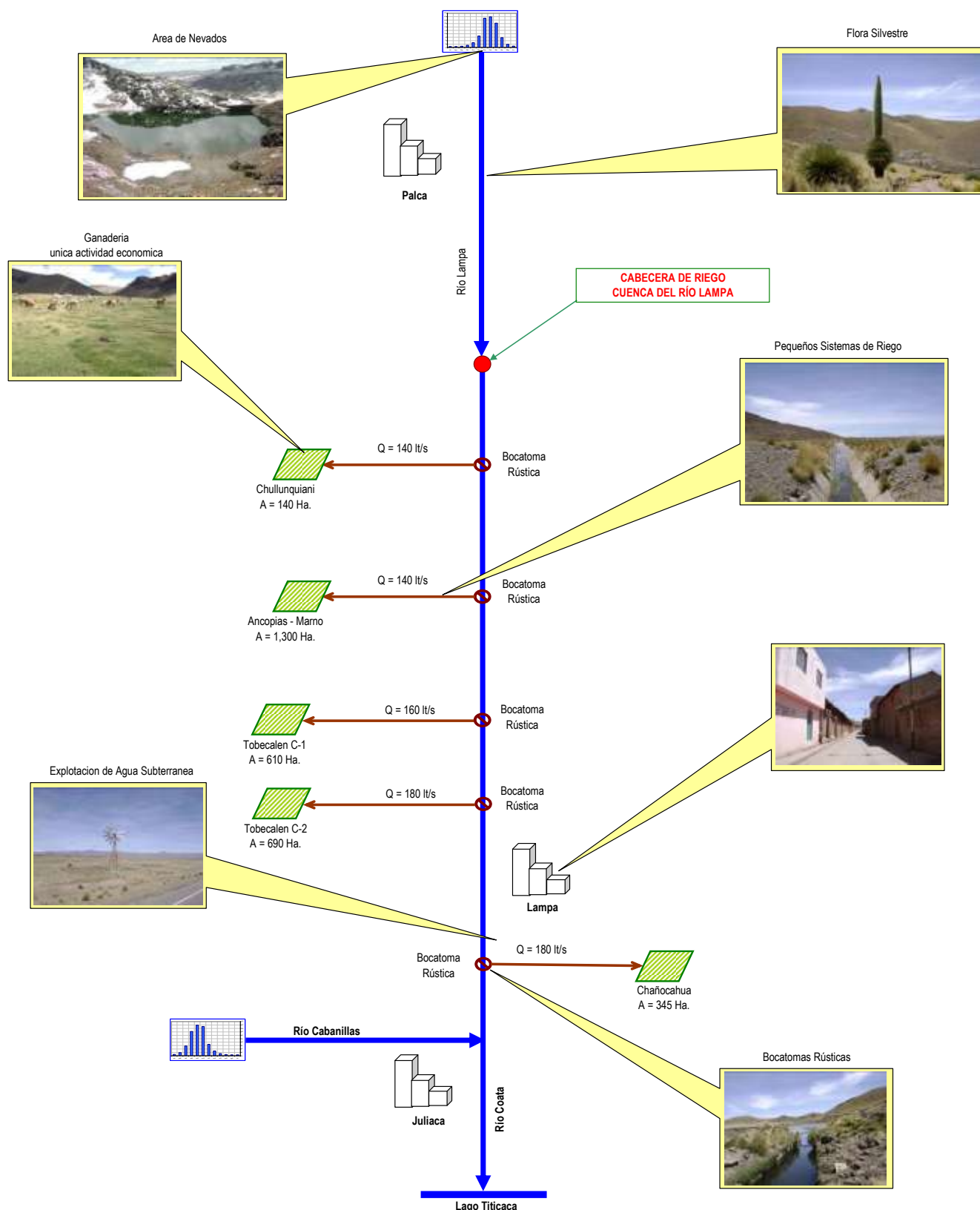
Tabla N° 7.12
Módulos de Volumen Promedio Mensual (MMC) – Río Lampa (Cabecera de Riego)

Modulo	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	TOTAL
Vm	0.80	1.13	3.14	7.97	18.70	35.32	38.18	31.13	14.71	5.38	2.02	0.87	159.33
V50	0.66	0.89	1.54	4.07	13.50	32.75	36.45	31.85	13.72	5.01	1.87	0.83	143.15
V75	0.39	0.50	1.04	1.91	7.62	23.51	23.94	21.10	9.29	3.38	1.27	0.56	94.53
V95	0.23	0.14	0.41	0.62	3.22	7.14	12.02	8.69	3.73	1.38	0.65	0.13	38.36

Con la información de disponibilidades se realizará el balance hídrico de la cuenca del río Lampa.

En la Figura N° 7.4 se presenta el esquema topológico de la cuenca del río Lampa. Se observa pequeñas áreas de riego, también la mayor parte del sistema de conducción no están revestidos. La única actividad económica es la pecuaria. Hay escasez de fuentes de agua superficial en la parte media y baja de la cuenca, por consiguiente hay una significativa explotación de las aguas subterráneas para consumo poblacional y pecuario.

Figura N° 7.4
Esquema Topológico – Cuenca del Río Lampa



CAPITULO 8

Demandas de Agua

8.1. GENERALIDADES

La determinación del uso y demanda actual del agua en las cuencas de los ríos Cabanillas y Lampa tiene como principal objetivo la determinación del balance hídrico con énfasis en el consumo de agua con fines agrícolas en el ámbito de las dos cuencas señaladas.

Es necesario precisar que en las dos cuencas se distingue varios tipos de uso o consumo de agua superficial; siendo en orden de prioridad, por la magnitud de volumen consumido: Demanda agrícola, poblacional, industrial y pecuario.

El consumo agrícola es el de mayor significación no sólo por ser notablemente superior respecto a los otros, sino también por su importancia socio-económica.

En la cuenca del río Cabanillas la demanda poblacional es significativa, en tanto que el agua subterránea es la fuente de las demandas industriales y otros usos, asimismo es una alternativa importante para el uso poblacional.

En la cuenca Lampa la demanda de agua superficial más significativa es la demanda agrícola. Las otras demandas se suministran con las aguas subterráneas.

Para el presente reporte, en el cálculo de las demandas hídricas se considera las demandas agrícolas y poblacionales.

8.2. DEMANDAS HIDRICAS CUENCA CABANILLAS

8.2.1. DEMANDAS AGRICOLAS

Debido a la disponibilidad de grandes extensiones de terreno, en la cuenca del río Cabanillas se ha proyectado la implementación de un sistema de riego regulado con fines de aprovechar las ofertas hídricas superficiales disponibles en la cuenca.

En el ámbito de la cuenca del río Cabanillas se localiza el Proyecto de Irrigación Sistema Integral Lagunillas. Este proyecto fue concebido con el fin de irrigar los terrenos disponibles ubicados en la cuenca media y baja. El área total potencial es de 33,919.83 Ha. y el área total disponible bajo riego es de 27,450 Ha.

En la Figura N° 7.1 (Capitulo 8, Esquema Topológico del SIL) se observa la

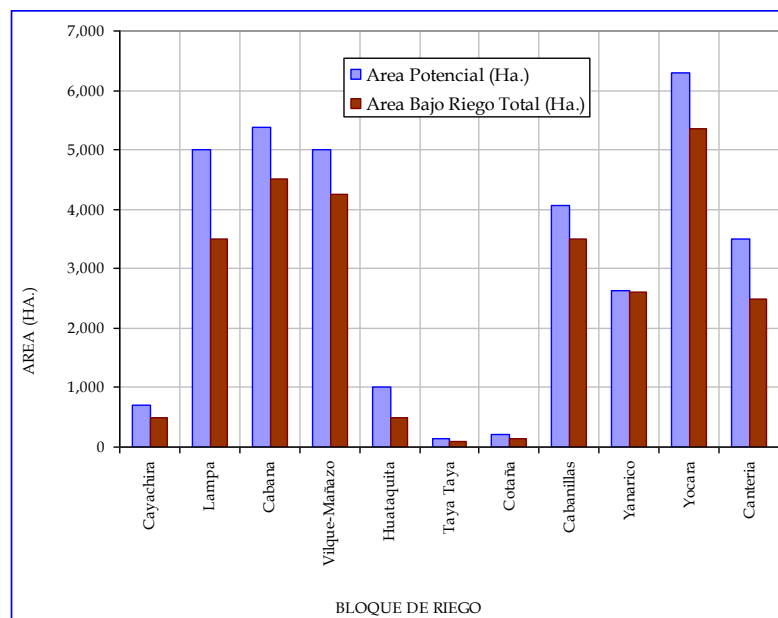
distribución topológica de los bloques de riego del SIL. El área de riego del SIL esta conformado por once bloques de riego, distribuidos a lo largo del río Cabanillas. El primer bloque (Captación Cayachira) llamado así al primer área de riego que hace uso de las aguas superficiales del río Cabanillas, sucesivamente cada bloque de riego deriva las aguas del río hacia los lugares de sembrío, siendo el bloque de Cantería el último en hacer la captación del agua del río.

En la Tabla N° 8.1 se presenta los bloques de riego con sus respectivas áreas. En la Figura N° 8.1 se observa en forma gráfica.

Tabla N° 8.1
Áreas de Riego (Ha.) – Bloques de Riego del SIL

ITEM	BLOQUE DE RIEGO	Área Potencial (Ha.)	Área Bajo Riego Total (Ha.)
1	Cayachira	700.00	500.00
2	Lampa	5,000.00	3,500.00
3	Cabana	5,374.00	4,500.00
4	Vilque-Mañazo	5,000.00	4,250.00
5	Huataquita	1,000.00	500.00
6	Taya Taya	150.00	100.00
7	Cotaña	200.00	150.00
8	Cabanillas	4,056.83	3,500.00
9	Yanarico	2,638.00	2,600.00
10	Yocara	6,300.00	5,350.00
11	Cantería	3,501.00	2,500.00
TOTAL SIL		33,919.83	27,450.00

Figura N° 8.1
Áreas de Riego (Ha.) – Bloques de Riego del SIL



Se observa que los bloques de riego con mayor área de riego son Yocará (5,350 Ha.), Cabana (4,500 Ha.), Vilque Mañazo (4,250 Ha.), Lampa (3,500 Ha.), Cabanillas (3,500).

Cada uno de los bloques de riego tiene una estructura hidráulica de captación de agua del río, los bloques de mayor dimensión disponen de una bocatoma con barraje fijo

construido en el cauce del río Cabanillas.

A la fecha las áreas bajo riego están por debajo del área total disponible para cada bloque, pero se observa que hay una creciente implementación de áreas disponibles al cultivo. Actualmente se están ejecutando obras de construcción de canales para la derivación del recurso hídrico y de esta forma incrementar las áreas bajo riego.

8.2.1.1. USO ACTUAL DE LA TIERRA Y CEDULA DE CULTIVO

En todos los bloques de riego del SIL, las tierras agrícolas son trabajadas en parcelas familiares muy fraccionadas y cuya producción agrícola generalmente es de usufructo familiar. Las tierras de pastos (en su mayor extensión), en los casos de las comunidades, son de usufructo común, empleándoseles para el pastoreo de ganado que es de propiedad familiar.

En la actualidad según el Plan de Cultivo de Riego (PCR) de los últimos años, la cédula de cultivo esta compuesto en la mayor parte por pasturas las cuales llegan a cubrir entre el 75 a 90% de las áreas bajo riego. La cédula de cultivo de implementación de proyecto también mantiene la misma proporción de cultivos, así como consta en la formulación e implementación de las áreas de riego en el sistema del SIL. Para el cálculo de las demandas hídricas del presente reporte se ha tomado las cédulas de cultivo planteadas por las instituciones que actualmente intervienen en el SIL, estas son el Proyecto Especial Lago Titicaca (PELT) y el Gobierno Regional de Puno mediante la sub gerencia del Programa Regional de Riego y Drenaje (PRORRIDRE). Se ha considerado dos cédulas de cultivo en el ámbito del SIL (Tabla N° 8.2), una cédula para la parte alta del sistema y otro para la parte baja (Tabla N° 8.3).

Tabla N° 8.2
Cédula de Cultivo – Parte Alta del SIL

Cultivo	Area (%)	Meses											
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Habas (verde)	9.03	x	x	x				x	x	x	x	x	x
Papa	6.40	x	x	x	x						x	x	x
Avena Forrajera	20.09	x	x	x							x	x	x
Cebada Grano	4.34	x	x	x	x						x	x	x
Cebada forrajera	4.31	x	x	x	x							x	x
Pastos cultivados	46.46	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Trigo de Invierno-Cebada Forrajera	2.46	r	r	r							r	r	r
Alfalfa Asociado	5.34	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Trebol Asociado	1.57	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
TOTAL	100.00												

Fuente: PRORRIDRE - Gobierno Regional Puno

Tabla N° 8.3
Cédula de Cultivo – Parte Baja del SIL

Cultivo	Area (%)	Meses											
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Papa dulce	1.91	x	x	x	x							x	x
Papa amarga	1.94	x	x							x	x	x	x
Alfalfa Asociado	2.34	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Trebol Asociado	1.20	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Pastos cultivados	59.48	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Avena Forrajera	29.33	x	x	x							x	x	x
Cebada Forrajera	3.81	x	x	x							x	x	x
TOTAL	100.00												

Fuente: PRORRIDRE - Gobierno Regional Puno

En las Figuras N° 8.2 y N° 8.3 se presenta en forma gráfica la distribución de cultivos en cédula para la parte alta y para la parte baja del SIL.

Figura N° 8.2
Distribución de Cultivos - Cédula de Cultivo (Parte Alta del SIL)

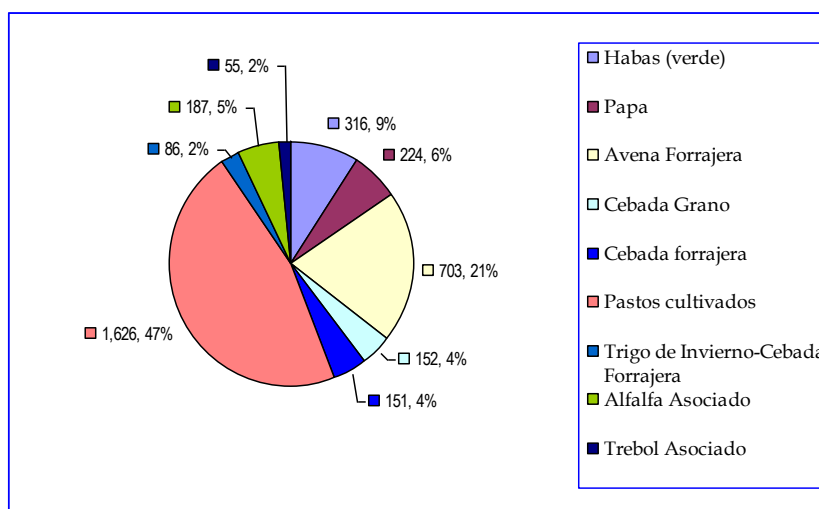
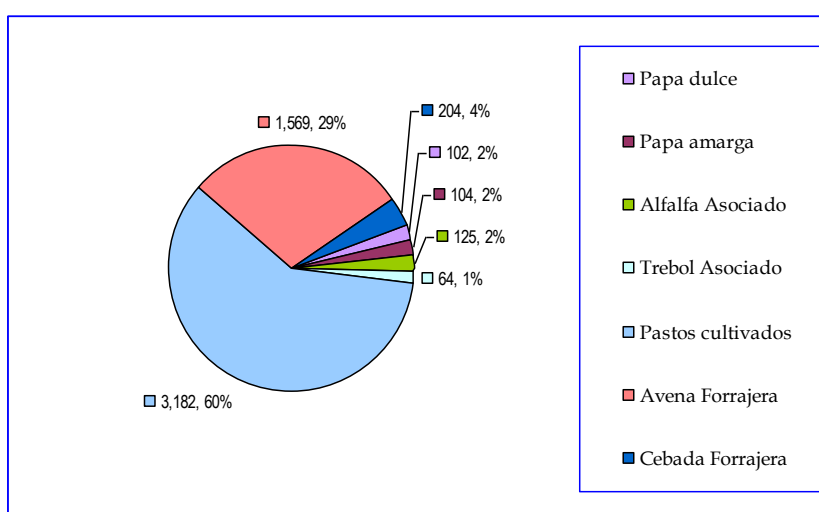


Figura N° 8.3
Distribución de Cultivos - Cédula de Cultivo (Parte Baja del SIL)



Las cédulas de cultivo expuestas están básicamente orientadas a las actividades pecuarias, que es la base de la economía de las comunidades existentes en el ámbito del SIL.

De acuerdo a estudios del T.D.P.S., las experiencias realizadas en las zonas del altiplano, los pastos cultivados propuestos a introducirse tienen buena resistencia ante los fenómenos climáticos adversos, pero aun así, se prevé su complementación con pastos naturales mejorados para casos extremos de eventos climáticos, con el fin de disponer de alimentación para el ganado, aun en estos casos de emergencia.

En este planteamiento, la actividad agrícola de cultivos de consumo humano se limita solo a explotar las áreas necesarias con los cultivos tradicionales sin sobrepasar en mucho la superficie porcentual histórica utilizada para satisfacer los requerimientos de autoconsumo de las comunidades en forma prioritaria y accediendo al mercado local con los excedentes.

8.2.1.2. REQUERIMIENTO DE AGUA

La demanda de agua del SIL se refiere esencialmente a los requerimientos de agua de los cultivos y la demanda poblacional en proporción relativa al crecimiento demográfico. En el ámbito del SIL no existen industrias con uso intensivo de agua y la demanda poblacional actualmente emplea básicamente recursos de agua subterránea en volúmenes muy pequeños.

En el cálculo de los requerimientos de agua para riego se ha hecho un análisis detallado, en particular para la estimación de la evapotranspiración potencial. En el Capítulo 3 (ítem 3.5.7.3.) se ha analizado este parámetro climático. Para el ámbito del SIL se ha considerado la información meteorológica registrada en la estación de Cabanillas, por motivos de que esta estación registra los valores de la mayor parte de los parámetros meteorológicos necesarios para utilizar la fórmula de **Penman modificado** por Doorenbos y Pruitt [1977] - FAO.

De acuerdo a lo indicado, la evapotranspiración potencial (ETP) se ha calculado usando los datos meteorológicos de temperatura, horas de sol, velocidad de viento y humedad relativa. En la Tabla N° 3.22 (Capítulo 3), se presenta los valores promedio mensuales utilizados.

8.2.1.3. COEFICIENTES DE CULTIVO (Kc)

Los coeficientes de uso consuntivo (Kc) de cada uno de los cultivos considerados en las cédulas de cultivo, corresponden a los mismos valores proporcionados por el PELT y PRORRIDRE, estos valores están previstos para el año de estabilización de los proyectos del SIL.

A los valores de Kc proporcionados, para el presente reporte se ha hecho algunas correcciones con fines de compatibilizar la realidad práctica observada en campo.

En las Tablas N° 8.4 y N° 8.5 se presenta los valores del Kc, para las dos cédulas de cultivo planteadas en el SIL.

Tabla N° 8.4
Coeficiente de Cultivo (Kc)– Parte Alta del SIL

Cultivo	Meses											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Habas (verde)	1.09	0.57	0.52				0.57	0.73	0.74	0.76	0.87	1.06
Papa	1.00	0.73	0.69	0.57						0.52	0.75	1.00
Avena Forrajera	1.07	0.80	0.18							0.64	0.84	1.04
Cebada Grano	1.00	0.80	1.01	0.50					0.35	0.75	0.95	1.00
Cebada forrajera	1.05	1.07	0.67	0.16							0.58	0.83
Pastos cultivados	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
Trigo de Invierno-Cebada Forrajera	1.07	0.67	0.16	0.95	0.95	0.92	0.90	0.85	0.90	0.58	0.83	1.05
Alfalfa Asociado	0.80	0.84	0.95	0.99	1.01	0.98	0.77	0.83	0.96	1.01	1.00	0.98
Trebol Asociado	0.92	0.94	0.99	1.02	1.02	0.97	0.77	0.84	0.96	0.99	1.02	0.99

Fuente: PRORRIDRE - Gobierno Regional Puno

Tabla N° 8.5
Coefficiente de Cultivo (Kc)– Parte Baja del SIL

Cultivo	Meses											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Papa dulce	0.87	1.05	1.05	0.73							0.53	0.57
Papa amarga	1.10	0.69							0.52	0.56	0.80	1.07
Alfalfa Asociado	0.80	0.84	0.95	0.99	1.01	0.98	0.77	0.83	0.96	1.01	1.00	0.98
Trebol Asociado	0.92	0.94	0.99	1.02	1.02	0.97	0.77	0.84	0.96	0.99	1.02	0.99
Pastos cultivados	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
Avena Forrajera	1.08	0.80	0.20							0.42	0.63	0.86
Cebada Forrajera	1.08	0.67	0.22							0.42	0.63	0.86

Fuente: PRORRIDRE - Gobierno Regional Puno

En el Anexo (Volumen II), se adjunta las cédulas de cultivo para cada bloque de riego.

8.2.1.4. EVAPOTRANSPIRACION REAL (ET_o)

Con los valores del coeficiente de cultivo (Kc) de los cultivos, y la evapotranspiración potencial estimada, se efectuaron los cálculos de la evapotranspiración real de los cultivos para cada uno de los cultivos en las cedulas de cultivo de cada uno de los bloques de riego. En el Anexo (Volumen II) se presenta estos valores en las hojas de cálculo del requerimiento de agua de cada uno de los bloques de riego.

8.2.1.5. PRECIPITACION EFECTIVA

La precipitación efectiva para los fines de los proyectos de riego, se define como la parte de la lluvia estacional o anual total que es útil directa o indirectamente para la producción de los cultivos. En el caso de deficiencias, se complementa (cuando necesario y disponible) a través del suministro de agua de riego superficial.

Para el cálculo de la precipitación efectiva se ha tomado en cuenta la precipitación registrada en la Estación Meteorológica de Cabanillas a una persistencia del 75%, cuyos cálculos son mostrados en la Tabla N° 8.6; además se ha calculado la precipitación efectiva (PE) utilizando el método del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (USSCS), mostrado en Tabla N° 8.6, cuya fórmula es la siguiente:

$$PE = (125 - 0.2 * PP) * PP / 125 \quad (PP < 250 \text{ mm/mes})$$

$$PE = 0.1 * PP - 125 \quad (PP > 250 \text{ mm/mes})$$

Donde:

PE = Precipitación Efectiva en mm/mes

PP = Precipitación Total del mes en mm.

Tabla N° 8.6
Precipitación Efectiva (PE) – Estación Cabanillas

Precipitación	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
PP 75%	93.70	92.50	78.20	16.90	0.00	0.00	0.00	0.00	6.30	13.80	24.00	59.60
PE	79.65	78.81	68.42	16.44	0.00	0.00	0.00	0.00	6.24	13.50	23.08	53.92

8.2.1.6. EFICIENCIA DE RIEGO

Según las referencias de estudios técnicos revisados se han utilizado diferentes valores de eficiencias de riego. En el caso del SIL se propuso el sistema de riego por subirrigación, para el cual se consideró una eficiencia de riego de 80%. Considerándose la falta de experiencia comprobada en el uso de este sistema (en el área de riego propuesta), así como la aparente carencia de condiciones apropiadas para su empleo en muchas de las áreas consideradas; en el presente reporte se ha preferido utilizar una eficiencia de 40% valor similar que también manejan las instituciones que intervienen en la implementación de los proyectos del SIL. El valor de 40% de eficiencia de riego, también es recomendado por el estudio del sistema T.D.P.S. realizado en el año 1993.

La eficiencia de riego global de 40% resulta del producto de los siguientes valores:

Eficiencia de Conducción : 90%

Eficiencia de Distribución : 80%

Eficiencia de Aplicación en Campo : 55%

8.2.1.7. REQUERIMIENTOS TOTALES

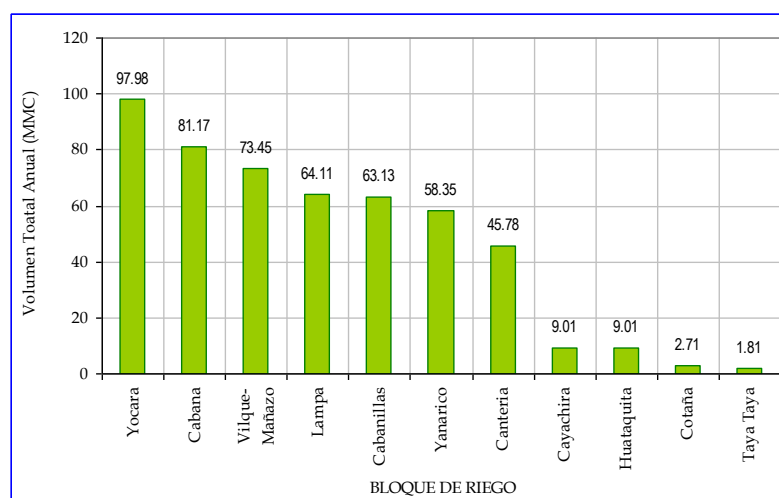
La demanda neta de agua de riego para cada bloque de riego del SIL, fue calculada a partir de los factores climatológicos, de las exigencias de los varios cultivos y de la eficiencia de riegos definidos. Teniendo en cuenta de que la fuente hídrica del sistema del SIL es regulada se establece el empleo de los requerimientos de agua para 24 horas. En la Tabla N° 8.7 se presenta la demanda neta de agua de riego para cada bloque de riego del SIL, en unidades de Volumen (MMC). La demanda requerida total anual para todo el sistema es de 506.51 MMC.

Tabla N° 8.7
Demanda Neta de Agua (MMC) – Bloques de Riego del SIL

N°	BLOQUE	AREA (HA)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	TOTAL
1	Cayachira	500	0.435	0.168	0.259	0.635	0.743	0.667	0.753	0.852	0.953	1.203	1.282	1.062	9.014
2	Huataquita	500	0.435	0.168	0.259	0.635	0.743	0.667	0.753	0.852	0.953	1.203	1.282	1.062	9.014
3	Cabana	4,500	3.919	1.514	2.326	5.719	6.693	6.010	6.784	7.675	8.586	10.836	11.543	9.568	81.172
4	Vilque-Mañazo	4,250	3.701	1.430	2.197	4.814	5.561	5.014	5.854	6.591	8.112	10.235	10.902	9.036	73.446
5	Cabanillas	3,500	3.048	1.177	1.809	4.447	5.204	4.673	5.275	5.968	6.677	8.428	8.978	7.441	63.127
6	Yanarico	2,600	2.336	1.342	2.002	4.599	5.756	5.190	5.472	6.032	6.577	7.085	6.987	4.972	58.350
7	Yocara	5,350	4.846	2.124	3.180	7.292	9.039	8.144	8.551	9.437	10.409	12.409	12.925	9.622	97.978
8	Canteria	2,500	2.265	0.993	1.486	3.408	4.223	3.805	3.995	4.410	4.864	5.798	6.039	4.496	45.781
9	Taya Taya	100	0.087	0.033	0.051	0.127	0.149	0.134	0.152	0.173	0.193	0.241	0.257	0.213	1.809
10	Cotaña	150	0.131	0.050	0.077	0.191	0.224	0.201	0.228	0.257	0.287	0.362	0.385	0.319	2.712
11	Lampa	3,500	3.170	1.390	2.081	4.772	5.915	5.330	5.595	6.176	6.812	8.119	8.456	6.295	64.111
	TOTAL	27,450	24.37	10.39	15.73	36.64	44.25	39.84	43.41	48.42	54.42	65.92	69.04	54.09	506.514

En la Figura N° 8.4 se presenta en forma gráfica las demandas hídricas en unidades de volumen total anual (MMC) de los bloques de riego del SIL, observándose que los bloques de riego Yocará, Cabana y Vilque - Mañazo son los de mayor requerimiento hídrico con volumen total anual de 97.98, 81.17 y 73.45 MMC, respectivamente.

Figura N° 8.4
Demanda Neta de Agua (MMC) – Bloques de Riego del SIL



8.2.2. DEMANDAS POBLACIONES

Actualmente el caudal mas significativo para uso poblacional está en la ciudad de Juliaca que utiliza agua del río Coata en un caudal aproximado de 300 lt/s. En el sector rural y las periferias de la ciudad de Juliaca la fuente abastecimiento de agua poblacional es el agua subterránea. Esta fuente es de preferencia por la población marginal por el fácil acceso y los costos de suministro son mínimos.

En el presente reporte, se considera un caudal permanente de 1.50 m³/s para uso poblacional. En la Tabla N° 8.8 se presenta el requerimiento de agua poblacional del proyecto Sistema Integral Lagunillas. Se observa que la demanda total anual es de 47.30 MMC.

Tabla N° 8.8
Demanda de Agua Poblacional (MMC) – Sistema Integral Lagunillas

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
4.02	3.63	4.02	3.89	4.02	3.89	4.02	4.02	3.89	4.02	3.89	4.02	47.30

8.3. DEMANDAS HIDRICAS CUENCA LAMPA

La cuenca del río Lampa, como se ha indicado antes, es una cuenca con poca extensión de terrenos agrícolas por lo que la demanda de agua se refiere esencialmente a los requerimientos de agua de los cultivos ya que no existen otros usos importantes.

En el ámbito de esta cuenca no existen industrias con uso intensivo de agua y el uso poblacional actualmente emplea básicamente recursos de agua subterránea en volúmenes muy pequeños. Para el cálculo de las demandas hídricas en esta cuenca solo se considera la demanda de requerimiento de riego. Todos los cultivos existentes en esta cuenca son de secano.

Para el cálculo de las demandas hídricas de riego, se ha considerado cuatro bloques de riego. En la Tabla N° 8.9 se presenta las áreas bajo riego total disponible de esta cuenca.

Tabla N° 8.9
Área Bajo Riego Total Disponible (Ha) – Cuenca del Río Lampa

N°	BLOQUE	Area (Ha)
1	Chullunquiani	140.00
2	Chañocahua	345.00
3	Tobecalen	1,300.00
4	Ancopias Marno	1,300.00
	TOTAL	3,085.00

En esta cuenca no existe información cartográfica de las áreas de riego, por lo que se asume que las áreas bajo riego total mostrado en la Tabla N° 8.9 representan las áreas potenciales de la cuenca.

8.3.1. REQUERIMIENTOS DE AGUA AGRICOLA

Para el cálculo de los requerimientos de agua de los bloques de riego de la cuenca del río Lampa, se ha seguido la misma metodología realizada en la cuenca del río Cabanillas (SIL).

La cedula de cultivo para esta cuenca se ha planteado la misma configuración de cédula que corresponde a la parte baja del SIL (ver Tabal N° 8.3 y Figura N° 8.3).

En cuanto al cálculo de la evapotranspiración potencial también se ha utilizado la formula de Pennman Modificado, y los parámetros meteorológicos corresponden a la estación de Cabanillas, ya que en la estación de Lampa no registra todos los parámetros necesarios. Las diferencias climatológicas entre una y otra estación son mínimas, por consiguiente los valores considerados son admisibles.

Para el calculo de la precipitación efectiva se ha tomado en cuenta la precipitación registrada en la Estación Meteorológica de Lampa a una persistencia del 75%, cuyos cálculos son mostrados en la Tabla N° 8.10; además se ha calculado la precipitación efectiva (PE) utilizando el método del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (USSCS), mostrado en la misma Tabla.

Tabla N° 8.10
Precipitación Efectiva (PE) – Estación Lampa

Precipitación	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
PP 75%	100.60	82.00	73.40	19.40	0.00	0.00	0.00	0.00	5.50	23.00	26.60	63.50
PE	84.41	71.24	64.78	18.80	0.00	0.00	0.00	0.00	5.45	22.15	25.47	57.05

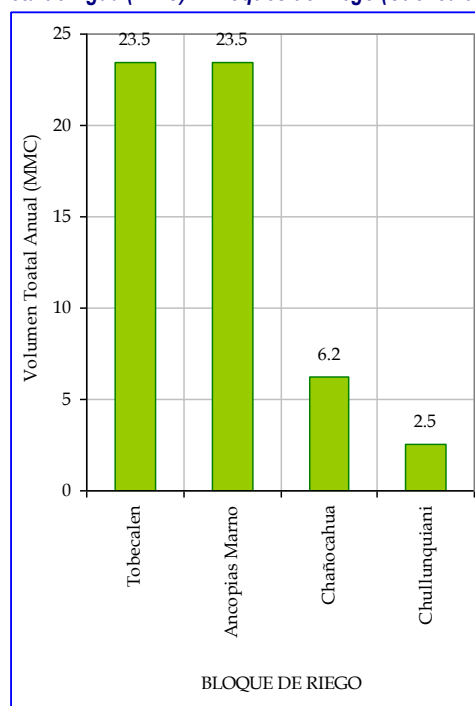
La demanda hídrica total anual de la cuenca Lampa es de 55.70 MMC. En la Tabla N° 8.11 se presenta la demanda neta de agua de riego para cada bloque de riego en unidades de Volumen (MMC). En la Figura N° 8.5 se presenta en forma gráfica las demandas hídricas en unidades de volumen total anual (MMC) de los bloques de riego de la cuenca del río Lampa, observándose que los bloques de riego Tobecalen,

Ancopias – Marno, Chañocahua y Chullunquiani tienen un requerimiento hídrico total anual de 23.5, 23.5, 6.2 y 2.5 MMC, respectivamente.

Tabla N° 8.7
Demanda Neta de Agua (MMC) – Bloques de Riego (Cuenca del río Lampa)

N°	BLOQUE	Area (Ha)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1	Chullunquiani	140.00	0.110	0.080	0.092	0.186	0.236	0.213	0.223	0.246	0.274	0.295	0.330	0.240	2.524
2	Chañocahua	345.00	0.272	0.198	0.225	0.457	0.582	0.524	0.551	0.608	0.675	0.727	0.813	0.593	6.223
3	Tobecalén	1,300.00	1.025	0.746	0.849	1.723	2.196	1.979	2.078	2.293	2.545	2.741	3.063	2.235	23.474
4	Ancopias Marno	1,300.00	1.025	0.746	0.849	1.723	2.196	1.979	2.078	2.293	2.545	2.741	3.063	2.235	23.474
	TOTAL	3,085.00	2.43	1.77	2.01	4.09	5.21	4.69	4.93	5.44	6.04	6.50	7.27	5.30	55.696

Figura N° 8.4
Demanda Neta de Agua (MMC) – Bloques de Riego (Cuenca del río Lampa)



CAPITULO 9

Balance Hídrico y Asignaciones

9.1. GENERALIDADES

El balance hídrico o comparación entre la oferta y demanda hídrica se ha realizado en forma independiente para la Cuenca del río Lampa y la Cuenca del río Cabanillas.

En el ámbito de cada una de las cuencas se ha fijado un punto conocido como la "Cabecera de Área de Riego". El balance hídrico se ha efectuado en este punto, tanto la disponibilidad hídrica como la demanda hídrica se contabiliza a partir de este punto.

Una vez definido la disponibilidad hídrica así como las demandas hídricas en forma global, a partir de la cabecera de riego hacia aguas abajo se ha realizado una propuesta de asignaciones (distribución) de volúmenes de agua a nivel mensual y a nivel de bocatoma para cada uno de los bloques de riego en orden descendente respecto a la altitud de ubicación geográfica.

9.2. BALANCE HIDRICO CUENCA RIO CABANILLAS

En el Item 7.2.5. (Capítulo 7), se había definido dos alternativas o escenarios de operación del sistema hidráulico del SIL, por consiguiente, para el balance hídrico del sistema también se considera las dos alternativas. La primera alternativa es en la situación de configuración topológica actual del sistema de aportes a la disponibilidad hídrica (Figura N° 7.1, Capítulo 7), la segunda alternativa es en la situación proyectada, en donde se considera la derivación del río Verde al embalse Lagunillas, con lo que el sistema sería completamente regulado.

9.2.1. BALANCE HIDRICO Y ASIGNACIONES – SITUACION ACTUAL

1. Balance Hídrico

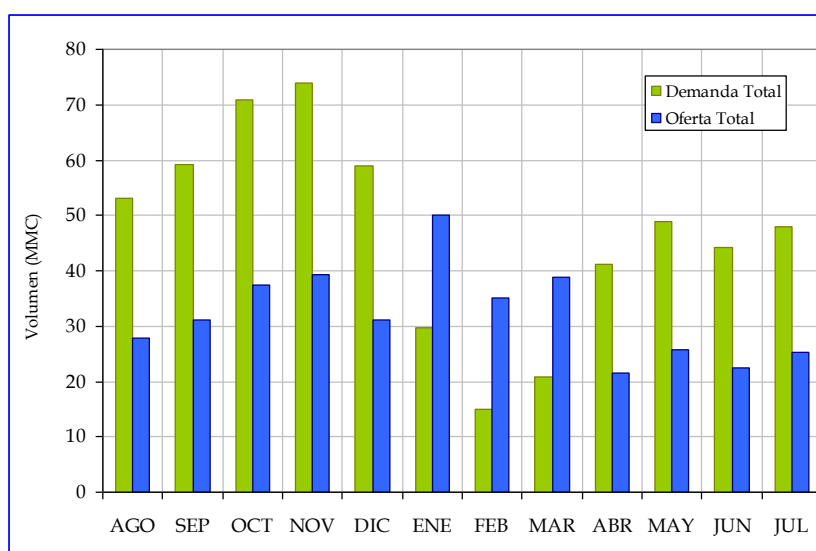
Luego de haber realizado la simulación de operación del embalse Lagunillas respecto al primer escenario de simulación, se obtuvo la disponibilidad hídrica promedio mensual en la cabecera del área de riego del SIL para diferentes módulos de duración (ver Tabla N° 7.9). Por otra parte en el Capítulo 8 se ha estimado las demandas hídricas agrícolas (Tabla N° 8.7) y las demandas poblacionales (Tabla N° 8.8), a estas demandas le agregamos la demanda ecológica considerada para el cauce principal de la cuenca del río Cabanillas. En la Tabla N° 9.1 se presenta las demandas y ofertas hídricas

totales. En la Figura N° 9.1 la oferta y demanda total.

Tabla N° 9.1
Demandas y Oferta Hídrica Total Mensual (MMC) – Cabecera de Riego del SIL
Situación de Configuración de Aportes Actual

Volumen	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	Total
DEMANDAS HIDRICAS													
Agrícola	48.42	54.42	65.92	69.04	54.09	24.37	10.39	15.73	36.64	44.25	39.84	43.41	506.51
Poblacional	4.02	3.89	4.02	3.89	4.02	4.02	3.63	4.02	3.89	4.02	3.89	4.02	47.30
Ecológica	0.70	0.78	0.94	0.98	0.78	1.25	0.88	0.97	0.54	0.64	0.56	0.63	9.65
Demanda Total	53.14	59.09	70.87	73.91	58.88	29.64	14.90	20.71	41.06	48.91	44.29	48.06	563.46
OFERTA HIDRICA													
Oferta Total	27.94	31.21	37.49	39.19	31.03	50.05	35.16	38.87	21.50	25.66	22.50	25.20	385.82

Figura N° 9.1
Demanda y Oferta Hídrica Total Mensual (MMC) – Cabecera de Riego del SIL
Situación de Configuración de Aportes Actual



En la Tabla N° 9.2 se presenta en unidades de volumen a nivel promedio mensual la Disponibilidad Hídrica Total Asignable (385.82 MMC), de este volumen restamos las demandas poblacional (47.30 MMC) y ecológica (9.65 MMC), quedando la Oferta Hídrica Neta Asignable (328.87 MMC) a las demandas agrícolas del SIL.

Tabla N° 9.2
Disponibilidad Hídrica Neta Mensual Asignable (MMC) a los Bloques de Riego (SIL)
Situación de Configuración de Aportes Actual

VOLUMEN	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	Total
Oferta Hídrica Total Asignable	27.94	31.21	37.49	39.19	31.03	50.05	35.16	38.87	21.50	25.66	22.50	25.20	385.82
Demanda Poblacional	4.02	3.89	4.02	3.89	4.02	4.02	3.63	4.02	3.89	4.02	3.89	4.02	47.30
Demanda Ecológica	0.70	0.78	0.94	0.98	0.78	1.25	0.88	0.97	0.54	0.64	0.56	0.63	9.65
Oferta Hídrica Neta Asignable	23.22	26.55	32.54	34.33	26.24	44.78	30.65	33.89	17.08	21.00	18.05	20.56	328.87

En la Tabla N° 9.3 se presenta en unidades de volumen la Oferta Hídrica Total disponible en la cabecera del área de riego del SIL, asimismo en la línea siguiente están los requerimientos hídricos totales mensuales de riego. Como se podrá observar el volumen total requerido (506.51 MMC) es mayor al volumen disponible (385.82 MMC). Líneas mas abajo en el Balance Preliminar se observa los volúmenes de demanda hídrica atendida (factible) igual a un total de 270.04 MMC. En la línea siguiente se observa el porcentaje del volumen hídrico atendido o derivado hacia los bloques de riego. En tanto que en las líneas siguientes se observa los meses con superávit y los meses con déficit de oferta hídrica. Se observa que solamente en los meses de Enero, Febrero y Marzo hay superávit de oferta del recurso hídrico.

Tabla N° 9.3
Balance Hídrico Preliminar (MMC) - Bloques de Riego (SIL)
Situación de Configuración de Aportes Actual

VOLUMEN	Unidad	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	Total
Oferta Hídrica en la Cabecera de Area de Riego	MMC	27.94	31.21	37.49	39.19	31.03	50.05	35.16	38.87	21.50	25.66	22.50	25.20	385.82
Demanda Total Irrigación SIL	MMC	48.42	54.42	65.92	69.04	54.09	24.37	10.39	15.73	36.64	44.25	39.84	43.41	506.51
BALANCE PRELIMINAR														
Demanda Atendida	MMC	23.22	26.55	32.54	34.33	26.24	24.37	10.39	15.73	17.08	21.00	18.05	20.56	270.04
	(%DA)	47.96	48.78	49.36	49.72	48.51	100.00	100.00	100.00	46.61	47.46	45.31	47.35	
Superávit	MMC	---	---	---	---	---	25.675	24.766	23.149	---	---	---	---	73.590
Déficit	MMC	25.20	27.88	33.38	34.71	27.85	---	---	---	19.56	23.25	21.79	22.86	236.47
	(%DF)	52.04	51.22	50.64	50.28	51.49	---	---	---	53.39	52.54	54.69	52.65	

2. Propuesta de Asignaciones de Volúmenes de Agua Mensual

Como complemento al Balance Hídrico del Proyecto de Irrigación Sistema Integral Lagunillas, se ha realizado una distribución a nivel mensual del recurso hídrico disponible en la Cabecera de riego del SIL. La distribución de agua a nivel de bocatomas de captación es una propuesta de Asignación de Caudales a cada bloque de riego. Estos valores significan una máxima disponibilidad del recurso hídrico en la toma de captación para cada bloque de riego. Por otra parte estos valores representan una referencia para dimensionar la implementación de áreas bajo riego en cada bloque de riego.

En la Tabla N° 9.4 se presenta el proceso de asignación de volúmenes de agua mensual a cada uno de los bloques de riego. Para cada mes se ha fijado un porcentaje de asignación y en base a ese porcentaje se ha determinado el volumen mensual que le corresponde a cada bloque de riego. Se podrá observar en cada bloque de riego una demanda hídrica requerida y una asignación hídrica factible (las líneas en azul).

En el Anexo (Volumen II), se presenta los valores de las tablas anteriores en unidades de caudal (m³/s).

Tabla N° 9.4
Asignación de Volúmenes de Agua (MMC) - Bloques de Riego (SIL)

VOLUMEN	Und	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Total
Oferta Hídrica en la Cabecera de Area de Riego	MMC	27.94	31.21	37.49	39.19	31.03	50.05	35.16	38.87	21.50	25.66	22.50	25.20	385.82
Porcentaje de Asignación	(%)	47.96	48.78	49.36	49.72	48.51	100.00	100.00	100.00	46.61	47.46	45.31	47.35	
Cayachira														
Demanda Hídrica	MMC	0.85	0.95	1.20	1.28	1.06	0.44	0.17	0.26	0.64	0.74	0.67	0.75	9.01
Asignación	MMC	0.41	0.47	0.59	0.64	0.52	0.44	0.17	0.26	0.30	0.35	0.30	0.36	4.79
Saldo 1 Ofta Asignable	MMC	27.53	30.75	36.90	38.56	30.52	49.61	34.99	38.62	21.21	25.31	22.20	24.85	381.03
Lampa														
Demanda Hídrica	MMC	6.18	6.81	8.12	8.46	6.29	3.17	1.39	2.08	4.77	5.92	5.33	5.60	64.11
Asignación	MMC	2.96	3.32	4.01	4.20	3.05	3.17	1.39	2.08	2.22	2.81	2.41	2.65	34.29
Saldo 2 Ofta Asignable	MMC	24.57	27.43	32.89	34.35	27.46	46.44	33.60	36.54	18.98	22.50	19.78	22.20	346.74
Cabana														
Demanda Hídrica	MMC	7.67	8.59	10.84	11.54	9.57	3.92	1.51	2.33	5.72	6.69	6.01	6.78	81.17
Asignación	MMC	3.68	4.19	5.35	5.74	4.64	3.92	1.51	2.33	2.67	3.18	2.72	3.21	43.13
Saldo 3 Ofta Asignable	MMC	20.89	23.24	27.54	28.61	22.82	42.52	32.08	34.21	16.32	19.32	17.06	18.98	303.61
Vilque - Mañazo														
Demanda Hídrica	MMC	6.59	8.11	10.23	10.90	9.04	3.70	1.43	2.20	4.81	5.56	5.01	5.85	73.45
Asignación	MMC	3.16	3.96	5.05	5.42	4.38	3.70	1.43	2.20	2.24	2.64	2.27	2.77	39.23
Saldo 4 Ofta Asignable	MMC	17.73	19.28	22.49	23.19	18.44	38.82	30.65	32.01	14.07	16.68	14.79	16.21	264.38
Huataquíta														
Demanda Hídrica	MMC	0.85	0.95	1.20	1.28	1.06	0.44	0.17	0.26	0.64	0.74	0.67	0.75	9.01
Asignación	MMC	0.41	0.47	0.59	0.64	0.52	0.44	0.17	0.26	0.30	0.35	0.30	0.36	4.79
Saldo 5 Ofta Asignable	MMC	17.32	18.82	21.90	22.55	17.92	38.39	30.49	31.75	13.78	16.33	14.49	15.86	259.59
Taya Taya														
Demanda Hídrica	MMC	0.17	0.19	0.24	0.26	0.21	0.09	0.03	0.05	0.13	0.15	0.13	0.15	1.81
Asignación	MMC	0.08	0.09	0.12	0.13	0.10	0.09	0.03	0.05	0.06	0.07	0.06	0.07	0.96
Saldo 6 Ofta Asignable	MMC	17.24	18.72	21.78	22.43	17.82	38.30	30.45	31.70	13.72	16.26	14.42	15.78	258.63
Cotaña														
Demanda Hídrica	MMC	0.26	0.29	0.36	0.38	0.32	0.13	0.05	0.08	0.19	0.22	0.20	0.23	2.71
Asignación	MMC	0.12	0.14	0.18	0.19	0.15	0.13	0.05	0.08	0.09	0.11	0.09	0.11	1.44
Saldo 7 Ofta Asignable	MMC	17.11	18.58	21.60	22.24	17.66	38.17	30.40	31.63	13.63	16.16	14.33	15.68	257.19
Cabanillas														
Demanda Hídrica	MMC	5.97	6.68	8.43	8.98	7.44	3.05	1.18	1.81	4.45	5.20	4.67	5.28	63.13
Asignación	MMC	2.86	3.26	4.16	4.46	3.61	3.05	1.18	1.81	2.07	2.47	2.12	2.50	33.55
Saldo 8 Ofta Asignable	MMC	14.25	15.33	17.44	17.77	14.05	35.12	29.22	29.82	11.56	13.69	12.22	13.18	223.64
Yanarico														
Demanda Hídrica	MMC	6.03	6.58	7.08	6.99	4.97	2.34	1.34	2.00	4.60	5.76	5.19	5.47	58.35
Asignación	MMC	2.89	3.21	3.50	3.47	2.41	2.34	1.34	2.00	2.14	2.73	2.35	2.59	30.98
Saldo 9 Ofta Asignable	MMC	11.36	12.12	13.94	14.30	11.64	32.79	27.88	27.81	9.41	10.95	9.86	10.59	192.66
Yocara														
Demanda Hídrica	MMC	9.44	10.41	12.41	12.92	9.62	4.85	2.12	3.18	7.29	9.04	8.14	8.55	97.98
Asignación	MMC	4.53	5.08	6.13	6.43	4.67	4.85	2.12	3.18	3.40	4.29	3.69	4.05	52.40
Saldo 10 Ofta Asignable	MMC	6.83	7.04	7.82	7.87	6.97	27.94	25.76	24.64	6.01	6.66	6.17	6.54	140.26
Cantería														
Demanda Hídrica	MMC	4.41	4.86	5.80	6.04	4.50	2.26	0.99	1.49	3.41	4.22	3.81	4.00	45.78
Asignación	MMC	2.11	2.37	2.86	3.00	2.18	2.26	0.99	1.49	1.59	2.00	1.72	1.89	24.48
Saldo 11 Ofta Asignable	MMC	4.72	4.67	4.95	4.87	4.79	25.68	24.77	23.15	4.43	4.66	4.45	4.65	115.77
Demanda Poblacional														
Demanda Hídrica	MMC	4.02	3.89	4.02	3.89	4.02	4.02	3.63	4.02	3.89	4.02	3.89	4.02	47.30
Asignación	MMC	4.02	3.89	4.02	3.89	4.02	4.02	3.63	4.02	3.89	4.02	3.89	4.02	47.30
Volumen Ecológico	MMC	0.70	0.78	0.94	0.98	0.78	21.66	21.14	19.13	0.54	0.64	0.56	0.63	68.47

En la Tabla N° 9.5 se presenta el resumen de los caudales medios mensuales (m^3/s) asignados a cada bloque de riego. También se podrá apreciar el porcentaje de área bajo riego (ha.) factible para cada bloque de riego.

Tabla N° 9.5
Asignación de Caudales Medios de Agua (m³/s) - Bloques de Riego (SIL)

BLOQUE	Caudal	Area	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Prom
Cayachira	Requerido	500	0.32	0.37	0.45	0.50	0.40	0.16	0.07	0.10	0.25	0.28	0.26	0.28	0.28
	Asignado	239	0.15	0.18	0.22	0.25	0.19	0.16	0.07	0.10	0.11	0.13	0.12	0.13	0.15
Lampa	Requerido	3,500	2.31	2.63	3.03	3.26	2.35	1.18	0.57	0.78	1.84	2.21	2.06	2.09	2.03
	Asignado	1,676	1.11	1.28	1.50	1.62	1.14	1.18	0.57	0.78	0.86	1.05	0.93	0.99	1.08
Cabana	Requerido	4,500	2.87	3.31	4.05	4.45	3.57	1.46	0.63	0.87	2.21	2.50	2.32	2.53	2.56
	Asignado	2,155	1.37	1.62	2.00	2.21	1.73	1.46	0.63	0.87	1.03	1.19	1.05	1.20	1.36
Vilque - Mañazo	Requerido	4,250	2.46	3.13	3.82	4.21	3.37	1.38	0.59	0.82	1.86	2.08	1.93	2.19	2.32
	Asignado	2,036	1.18	1.53	1.89	2.09	1.64	1.38	0.59	0.82	0.87	0.99	0.88	1.03	1.24
Huataquita	Requerido	500	0.32	0.37	0.45	0.49	0.40	0.16	0.07	0.10	0.25	0.28	0.26	0.28	0.28
	Asignado	239	0.15	0.18	0.22	0.25	0.19	0.16	0.07	0.10	0.11	0.13	0.12	0.13	0.15
Taya Taya	Requerido	100	0.06	0.07	0.09	0.10	0.08	0.03	0.01	0.02	0.05	0.06	0.05	0.06	0.06
	Asignado	48	0.03	0.04	0.04	0.05	0.04	0.03	0.01	0.02	0.02	0.03	0.02	0.03	0.03
Cotaña	Requerido	150	0.10	0.11	0.14	0.15	0.12	0.05	0.02	0.03	0.07	0.08	0.08	0.08	0.09
	Asignado	72	0.05	0.05	0.07	0.07	0.06	0.05	0.02	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.05
Cabanillas	Requerido	3,500	2.23	2.58	3.15	3.46	2.78	1.14	0.49	0.68	1.72	1.94	1.80	1.97	1.99
	Asignado	1,676	1.07	1.26	1.55	1.72	1.35	1.14	0.49	0.68	0.80	0.92	0.82	0.93	1.06
Yanarico	Requerido	2,600	2.25	2.54	2.65	2.70	1.86	0.87	0.55	0.75	1.77	2.15	2.00	2.04	1.84
	Asignado	1,245	1.08	1.24	1.31	1.34	0.90	0.87	0.55	0.75	0.83	1.02	0.91	0.97	0.98
Yocara	Requerido	5,350	3.52	4.02	4.63	4.99	3.59	1.81	0.88	1.19	2.81	3.37	3.14	3.19	3.10
	Asignado	2,562	1.69	1.96	2.29	2.48	1.74	1.81	0.88	1.19	1.31	1.60	1.42	1.51	1.66
Canteria	Requerido	2,500	1.65	1.88	2.16	2.33	1.68	0.85	0.41	0.55	1.31	1.58	1.47	1.49	1.45
	Asignado	1,197	0.79	0.92	1.07	1.16	0.81	0.85	0.41	0.55	0.61	0.75	0.67	0.71	0.77
Dem. Poblacional	Requerido		1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
	Asignado		1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
Caudal Ecológico	Asignado		0.26	0.30	0.35	0.38	0.29	8.09	8.74	7.14	0.21	0.24	0.22	0.24	2.20

9.2.2. BALANCE HÍDRICO Y ASIGNACIONES - SITUACION PROYECTADA

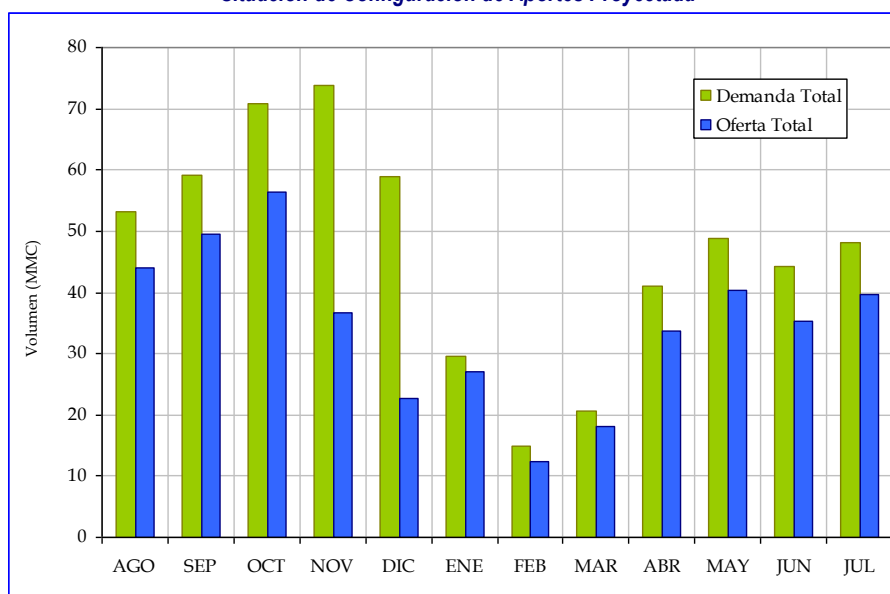
1. Balance Hídrico

Luego de haber realizado la simulación de operación del embalse Lagunillas respecto al segundo escenario de simulación, se obtuvo la disponibilidad hídrica promedio mensual en la cabecera del área de riego del SIL para diferentes módulos de duración (ver Tabla N° 7.10). Por otra parte en el Capítulo 8 se ha estimado las demandas hídricas agrícolas (Tabla N° 8.7) y las demandas poblacionales (Tabla N° 8.8), a estas demandas le agregamos la demanda ecológica considerada para el cauce principal de la cuenca del río Cabanillas. En la Tabla N° 9.6 se presenta las demandas y ofertas hídricas totales. En la Figura N° 9.2 la oferta y demanda total.

Tabla N° 9.6
Demandas y Oferta Hídrica Total Mensual (MMC) – Cabecera de Riego del SIL
Situación de Configuración de Aportes Proyectada

Volumen	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	Total
DEMANDAS HIDRICAS													
Agrícola	48.42	54.42	65.92	69.04	54.09	24.37	10.39	15.73	36.64	44.25	39.84	43.41	506.51
Poblacional	4.02	3.89	4.02	3.89	4.02	4.02	3.63	4.02	3.89	4.02	3.89	4.02	47.30
Ecológica	0.70	0.78	0.94	0.98	0.78	1.25	0.88	0.97	0.54	0.64	0.56	0.63	9.65
Demanda Total	53.14	59.09	70.87	73.91	58.88	29.64	14.90	20.71	41.06	48.91	44.29	48.06	563.46
OFERTA HIDRICA													
Oferta Total	44.09	49.40	56.37	36.58	22.69	27.01	12.41	18.01	33.67	40.41	35.32	39.66	415.63

Figura N° 9.2
Demanda y Oferta Hídrica Total Mensual (MMC) – Cabecera de Riego del SIL
Situación de Configuración de Aportes Proyectada



En la Tabla N° 9.7 se presenta en unidades de volumen a nivel promedio mensual la Disponibilidad Hídrica Total Asignable (415.63 MMC), de este volumen restamos las demandas poblacional (47.30 MMC) y ecológica (9.65 MMC), quedando la Oferta Hídrica Neta Asignable (357.94 MMC) a las demandas agrícolas del SIL.

Tabla N° 9.7
Disponibilidad Hídrica Neta Mensual Asignable (MMC) a los Bloques de Riego (SIL)
Situación de Configuración de Aportes Proyectada

VOLUMEN	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Total
Oferta Hídrica Asignable	44.09	49.40	56.37	36.58	22.69	27.01	12.41	18.01	33.67	40.41	35.32	39.66	415.63
Demanda Poblacional	4.02	3.89	4.02	3.89	4.02	4.02	3.63	4.02	3.89	4.02	3.89	4.02	47.30
Demanda Ecológica	1.10	1.24	1.41	0.91	0.57	0.68	0.31	0.45	0.84	1.01	0.88	0.99	10.39
Oferta Hídrica Neta Asignable	38.97	44.28	50.95	31.77	18.10	22.32	8.47	13.54	28.94	35.38	30.55	34.65	357.94

En la Tabla N° 9.8 se presenta en unidades de volumen la Oferta Hídrica Total disponible y los requerimientos hídricos totales mensuales de riego en la cabecera del área de riego del SIL. Como se podrá observar el volumen total requerido (506.51 MMC) es mayor al volumen disponible (415.63 MMC). La demanda hídrica atendida es igual a un total de 357.94 MMC. En la línea siguiente se observa el porcentaje del volumen hídrico atendido o derivado hacia los bloques de riego. En tanto que en las líneas siguientes se observa los meses con superávit y los meses con déficit de oferta hídrica. Se observa que hay déficit continuo de oferta del recurso hídrico.

2. Propuesta de Asignaciones de Volúmenes de Agua Mensual

En la Tabla N° 9.9 se presenta el proceso de asignación de volúmenes de agua mensual a cada uno de los bloques de riego. Para cada mes se ha fijado un porcentaje de

asignación y en base a ese porcentaje se ha determinado el volumen mensual que le corresponde a cada bloque de riego. Se podrá observar en cada bloque de riego una demanda hídrica requerida y una asignación hídrica factible (las líneas en azul).

Tabla N° 9.8
Balance Hídrico Preliminar (MMC) - Bloques de Riego (SIL)
Situación de Configuración de Aportes Proyectada

VOLUMEN	Und	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Total
Oferta Hídrica en la Cabecera de Area de Riego	MMC	44.09	49.40	56.37	36.58	22.69	27.01	12.41	18.01	33.67	40.41	35.32	39.66	415.63
Demanda Total Irrigación SIL	MMC	48.42	54.42	65.92	69.04	54.09	24.37	10.39	15.73	36.64	44.25	39.84	43.41	506.51
BALANCE PRELIMINAR														
Demanda Atendida	MMC	38.97	44.28	50.95	31.77	18.10	22.32	8.47	13.54	28.94	35.38	30.55	34.65	357.94
	(%DA)	80.49	81.36	77.29	46.02	33.47	91.56	81.52	86.13	78.99	79.95	76.69	79.83	
Superávit	MMC	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.00
Déficit	MMC	9.45	10.14	14.97	37.26	35.98	2.06	1.92	2.18	7.70	8.87	9.28	8.76	148.58
	(%DF)	19.51	18.64	22.71	53.98	66.53	8.44	18.48	13.87	21.01	20.05	23.31	20.17	

Tabla N° 9.9
Asignación de Volúmenes de Agua (MMC) - Bloques de Riego (SIL)

VOLUMEN	Und	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Total
Oferta Hídrica en la Cabecera de Area de Riego	MMC	44.09	49.40	56.37	36.58	22.69	27.01	12.41	18.01	33.67	40.41	35.32	39.66	415.63
Porcentaje de Asignación	(%)	80.49	81.36	77.29	46.02	33.47	91.56	81.52	86.13	78.99	79.95	76.69	79.83	
Cayachira														
Demanda Hídrica	MMC	0.85	0.95	1.20	1.28	1.06	0.44	0.17	0.26	0.64	0.74	0.67	0.75	9.01
Asignación	MMC	0.69	0.78	0.93	0.59	0.36	0.40	0.14	0.22	0.50	0.59	0.51	0.60	6.30
Saldo 1 Ofta Asignable	MMC	43.41	48.63	55.44	35.99	22.33	26.61	12.27	17.79	33.17	39.81	34.81	39.06	409.33
Lampa														
Demanda Hídrica	MMC	6.18	6.81	8.12	8.46	6.29	3.17	1.39	2.08	4.77	5.92	5.33	5.60	64.11
Asignación	MMC	4.97	5.54	6.28	3.89	2.11	2.90	1.13	1.79	3.77	4.73	4.09	4.47	45.67
Saldo 2 Ofta Asignable	MMC	38.44	43.08	49.17	32.09	20.23	23.71	11.14	16.00	29.40	35.08	30.72	34.60	363.66
Cabana														
Demanda Hídrica	MMC	7.67	8.59	10.84	11.54	9.57	3.92	1.51	2.33	5.72	6.69	6.01	6.78	81.17
Asignación	MMC	6.18	6.99	8.37	5.31	3.20	3.59	1.23	2.00	4.52	5.35	4.61	5.42	56.77
Saldo 3 Ofta Asignable	MMC	32.26	36.10	40.79	26.78	17.02	20.12	9.90	13.99	24.88	29.73	26.11	29.18	306.89
Vilque - Mañazo														
Demanda Hídrica	MMC	6.59	8.11	10.23	10.90	9.04	3.70	1.43	2.20	4.81	5.56	5.01	5.85	73.45
Asignación	MMC	5.30	6.60	7.91	5.02	3.02	3.39	1.17	1.89	3.80	4.45	3.85	4.67	51.07
Saldo 4 Ofta Asignable	MMC	26.96	29.50	32.88	21.76	14.00	16.73	8.74	12.10	21.08	25.29	22.27	24.51	255.82
Huataquita														
Demanda Hídrica	MMC	0.85	0.95	1.20	1.28	1.06	0.44	0.17	0.26	0.64	0.74	0.67	0.75	9.01
Asignación	MMC	0.69	0.78	0.93	0.59	0.36	0.40	0.14	0.22	0.50	0.59	0.51	0.60	6.30
Saldo 5 Ofta Asignable	MMC	26.27	28.72	31.95	21.17	13.64	16.33	8.60	11.88	20.58	24.69	21.76	23.91	249.51
Taya Taya														
Demanda Hídrica	MMC	0.17	0.19	0.24	0.26	0.21	0.09	0.03	0.05	0.13	0.15	0.13	0.15	1.81
Asignación	MMC	0.14	0.16	0.19	0.12	0.07	0.08	0.03	0.04	0.10	0.12	0.10	0.12	1.27
Saldo 6 Ofta Asignable	MMC	26.13	28.57	31.77	21.06	13.57	16.25	8.57	11.83	20.48	24.57	21.65	23.78	248.25
Cotaña														
Demanda Hídrica	MMC	0.26	0.29	0.36	0.38	0.32	0.13	0.05	0.08	0.19	0.22	0.20	0.23	2.71
Asignación	MMC	0.21	0.23	0.28	0.18	0.11	0.12	0.04	0.07	0.15	0.18	0.15	0.18	1.90
Saldo 7 Ofta Asignable	MMC	25.92	28.33	31.49	20.88	13.47	16.13	8.53	11.77	20.33	24.39	21.50	23.60	246.35
Cabanillas														
Demanda Hídrica	MMC	5.97	6.68	8.43	8.98	7.44	3.05	1.18	1.81	4.45	5.20	4.67	5.28	63.13
Asignación	MMC	4.80	5.43	6.51	4.13	2.49	2.79	0.96	1.56	3.51	4.16	3.58	4.21	44.15
Saldo 8 Ofta Asignable	MMC	21.12	22.90	24.97	16.75	10.97	13.34	7.57	10.21	16.81	20.23	17.92	19.39	202.20
Yanarico														
Demanda Hídrica	MMC	6.03	6.58	7.08	6.99	4.97	2.34	1.34	2.00	4.60	5.76	5.19	5.47	58.35
Asignación	MMC	4.85	5.35	5.48	3.22	1.66	2.14	1.09	1.72	3.63	4.60	3.98	4.37	42.10

Saldo 9 Ofa Asignable	MMC	16.27	17.55	19.50	13.53	9.31	11.20	6.48	8.49	13.18	15.63	13.94	15.02	160.10
Yocara														
Demanda Hídrica	MMC	9.44	10.41	12.41	12.92	9.62	4.85	2.12	3.18	7.29	9.04	8.14	8.55	97.98
Asignación	MMC	7.60	8.47	9.59	5.95	3.22	4.44	1.73	2.74	5.76	7.23	6.25	6.83	69.79
Saldo 10 Ofa Asignable	MMC	8.67	9.08	9.91	7.58	6.09	6.77	4.75	5.75	7.42	8.40	7.69	8.20	90.31
Cantería														
Demanda Hídrica	MMC	4.41	4.86	5.80	6.04	4.50	2.26	0.99	1.49	3.41	4.22	3.81	4.00	45.78
Asignación	MMC	3.55	3.96	4.48	2.78	1.50	2.07	0.81	1.28	2.69	3.38	2.92	3.19	32.61
Saldo 11 Ofa Asignable	MMC	5.12	5.12	5.43	4.80	4.58	4.69	3.94	4.47	4.73	5.03	4.77	5.01	57.69
Demanda Poblacional														
Demanda Hídrica	MMC	4.02	3.89	4.02	3.89	4.02	4.02	3.63	4.02	3.89	4.02	3.89	4.02	47.30
Asignación	MMC	4.02	3.89	4.02	3.89	4.02	4.02	3.63	4.02	3.89	4.02	3.89	4.02	47.30
Volumen Ecológico	MMC	1.10	1.24	1.41	0.91	0.57	0.68	0.31	0.45	0.84	1.01	0.88	0.99	10.39

En la Tabla N° 9.10 se presenta el resumen de los caudales medios mensuales (m^3/s) asignados a cada bloque de riego. También se podrá apreciar el porcentaje de área bajo riego (ha.) factible para cada bloque de riego.

Tabla N° 9.10
Asignación de Caudales Mensuales de Agua (m^3/s) - Bloques de Riego (SIL)

BLOQUE	CAUDAL	Area	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Prom
Cayachira	Requerido	500	0.32	0.37	0.45	0.50	0.40	0.16	0.07	0.10	0.25	0.28	0.26	0.28	0.28
	Asignado	372	0.26	0.30	0.35	0.23	0.13	0.15	0.06	0.08	0.19	0.22	0.20	0.22	0.20
Lampa	Requerido	3,500	2.31	2.63	3.03	3.26	2.35	1.18	0.57	0.78	1.84	2.21	2.06	2.09	2.03
	Asignado	2,605	1.86	2.14	2.34	1.50	0.79	1.08	0.47	0.67	1.45	1.77	1.58	1.67	1.44
Cabana	Requerido	4,500	2.87	3.31	4.05	4.45	3.57	1.46	0.63	0.87	2.21	2.50	2.32	2.53	2.56
	Asignado	3,350	2.31	2.70	3.13	2.05	1.20	1.34	0.51	0.75	1.74	2.00	1.78	2.02	1.79
Vilque - Mañazo	Requerido	4,250	2.46	3.13	3.82	4.21	3.37	1.38	0.59	0.82	1.86	2.08	1.93	2.19	2.32
	Asignado	3,164	1.98	2.55	2.95	1.94	1.13	1.27	0.48	0.71	1.47	1.66	1.48	1.74	1.61
Huataquita	Requerido	500	0.32	0.37	0.45	0.49	0.40	0.16	0.07	0.10	0.25	0.28	0.26	0.28	0.28
	Asignado	372	0.26	0.30	0.35	0.23	0.13	0.15	0.06	0.08	0.19	0.22	0.20	0.22	0.20
Taya Taya	Requerido	100	0.06	0.07	0.09	0.10	0.08	0.03	0.01	0.02	0.05	0.06	0.05	0.06	0.06
	Asignado	74	0.05	0.06	0.07	0.05	0.03	0.03	0.01	0.02	0.04	0.04	0.04	0.05	0.04
Cotaña	Requerido	150	0.10	0.11	0.14	0.15	0.12	0.05	0.02	0.03	0.07	0.08	0.08	0.08	0.09
	Asignado	112	0.08	0.09	0.10	0.07	0.04	0.04	0.02	0.02	0.06	0.07	0.06	0.07	0.06
Cabanillas	Requerido	3,500	2.23	2.58	3.15	3.46	2.78	1.14	0.49	0.68	1.72	1.94	1.80	1.97	1.99
	Asignado	2,605	1.79	2.10	2.43	1.59	0.93	1.04	0.40	0.58	1.36	1.55	1.38	1.57	1.39
Yanarico	Requerido	2,600	2.25	2.54	2.65	2.70	1.86	0.87	0.55	0.75	1.77	2.15	2.00	2.04	1.84
	Asignado	1,936	1.81	2.06	2.04	1.24	0.62	0.80	0.45	0.64	1.40	1.72	1.54	1.63	1.33
Yocara	Requerido	5,350	3.52	4.02	4.63	4.99	3.59	1.81	0.88	1.19	2.81	3.37	3.14	3.19	3.10
	Asignado	3,983	2.84	3.27	3.58	2.29	1.20	1.66	0.72	1.02	2.22	2.70	2.41	2.55	2.20
Cantería	Requerido	2,500	1.65	1.88	2.16	2.33	1.68	0.85	0.41	0.55	1.31	1.58	1.47	1.49	1.45
	Asignado	1,861	1.33	1.53	1.67	1.07	0.56	0.77	0.33	0.48	1.04	1.26	1.13	1.19	1.03
Dem. Poblacional	Requerido		1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
	Asignado		1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
Caudal Ecológico	Asignado		0.41	0.48	0.53	0.35	0.21	0.25	0.13	0.17	0.32	0.38	0.34	0.37	0.33

9.3. BALANCE HIDRICO Y ASIGNACIONES CUENCA RIO LAMPA

9.3.1. BALANCE HIDRICO

La oferta hídrica en al Cuenca del río lampa es natural, por otra parte, las demandas hídricas superficiales significativas es para uso agrícola.

En el Item 7.3. (Capitulo 7), se había definido la disponibilidad hídrica en al cabecera de las áreas de riego. Así mismo en el Capitulo 8 (Item 8.3.) se ha definido las demandas hídricas.

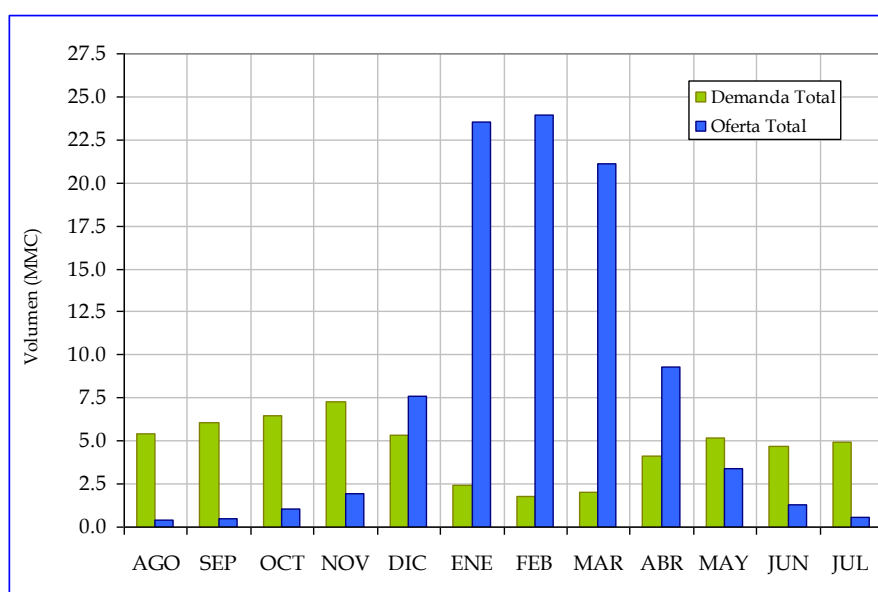
En base a la información procesada, seguidamente se ha realizado el balance hídrico en esta cuenca.

En la Tabla N° 9.11 se presenta el resumen de la oferta y demanda hídrica a nivel mensual en unidades de volumen (MMC). En forma grafica en la Figura N° 9.3.

Tabla N° 9.11
Demandas y Oferta Hídrica Total Mensual (MMC) – Cabecera de Riego de la Cuenca Lampa
Situación de Configuración de Demandas Hídricas Totales

Volumen	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	Total
DEMANDAS HIDRICAS													
Agrícola	5.44	6.04	6.50	7.27	5.30	2.43	1.77	2.01	4.09	5.21	4.69	4.93	55.68
Demanda Total	5.44	6.04	6.50	7.27	5.30	2.43	1.77	2.01	4.09	5.21	4.69	4.93	55.68
OFERTA HIDRICA													
Oferta Total	0.39	0.50	1.04	1.91	7.62	23.51	23.94	21.10	9.29	3.38	1.27	0.56	94.51

Figura N° 9.3
Demandas y Oferta Hídrica Total Mensual (MMC) – Cabecera de Riego de la Cuenca Lampa
Situación de Configuración de Demandas Hídricas Totales



En la Tabla N° 9.12 se presenta en unidades de volumen a nivel promedio mensual la

Disponibilidad Hídrica Total Asignable (94.51 MMC), y así mismo la Oferta Hídrica Neta Asignable (94.51 MMC) a las demandas agrícolas de los bloques de riego de la cuenca del río Lampa.

Tabla N° 9.12
Disponibilidad Hídrica Neta Mensual Asignable (MMC) a los Bloques de Riego (Cuenca Lampa)
Situación de Configuración de Demandas Hídricas Totales

VOLUMEN	UNIDAD	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	Total
Oferta Hídrica Total Asignable	MMC	0.39	0.50	1.04	1.91	7.62	23.51	23.94	21.10	9.29	3.38	1.27	0.56	94.51
Oferta Hídrica Neta Asignable	MMC	0.39	0.50	1.04	1.91	7.62	23.51	23.94	21.10	9.29	3.38	1.27	0.56	94.51

En la Tabla N° 9.13 se presenta en unidades de volumen la Oferta Hídrica Total disponible en la cabecera del área de riego de la cuenca del río Lampa, asimismo en la línea siguiente están los requerimientos hídricos totales mensuales de riego. Como se podrá observar el volumen anual total requerido (55.68 MMC) es menor al volumen anual disponible (94.51 MMC). Líneas más abajo en el Balance Preliminar se observa los volúmenes de demanda hídrica atendida (factible) igual a un total anual de 24.65 MMC. En la línea siguiente se observa el porcentaje del volumen hídrico atendido o derivado hacia los bloques de riego. En tanto que en las líneas siguientes se observa los meses con superávit y los meses con déficit de oferta hídrica. Se observa que en los meses de Diciembre hasta Abril hay superávit de oferta del recurso hídrico.

Tabla N° 9.13
Balance Hídrico Preliminar (MMC) - Bloques de Riego (Cuenca Lampa)
Situación de Configuración de Demandas Hídricas Totales

VOLUMEN	Unidad	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	Total
Oferta Hídrica en la Cabecera de Area de Riego	MMC	0.39	0.50	1.04	1.91	7.62	23.51	23.94	21.10	9.29	3.38	1.27	0.56	94.51
Demanda Total para riego	MMC	5.44	6.04	6.50	7.27	5.30	2.43	1.77	2.01	4.09	5.21	4.69	4.93	55.68
BALANCE PRELIMINAR														
Demanda Atendida	MMC	0.39	0.50	1.04	1.91	5.30	2.43	1.77	2.01	4.09	3.38	1.27	0.56	24.65
	(%DA)	7.17	8.28	16.00	26.27	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	64.88	27.08	11.36	
Superávit	MMC	---	---	---	---	2.32	21.08	22.17	19.09	5.20	---	---	---	69.86
Déficit	MMC	5.05	5.54	5.46	5.36	---	---	---	---	---	1.83	3.42	4.37	31.03
	(%DF)	92.83	91.72	84.00	73.73	---	---	---	---	---	35.12	72.92	88.64	

9.3.2. ASIGNACION MENSUAL DE VOLUMENES DE AGUA

Como una propuesta de distribución de agua en forma equitativa entre los bloques de riego, se ha realizado una distribución a nivel mensual del recurso hídrico disponible en la Cabecera de riego de la cuenca. La distribución de agua a nivel de bocatomas de captación del río es una propuesta de Asignación de Caudales a cada bloque de riego. Estos valores significan una máxima disponibilidad del recurso hídrico en la toma de

captación para cada bloque de riego. Por otra parte estos valores representan una referencia para dimensionar la implementación de áreas bajo riego en cada bloque de riego.

En la Tabla N° 9.14 se presenta el proceso de asignación de volúmenes de agua mensual a cada uno de los bloques de riego. Para cada mes se ha fijado un porcentaje de asignación y en base a ese porcentaje se ha determinado el volumen mensual que le corresponde a cada bloque de riego. Se podrá observar en cada bloque de riego una demanda hídrica requerida y una asignación hídrica factible (las líneas en azul).

En el Anexo (Volumen II), se presenta los valores de las tablas anteriores en unidades de caudal (m³/s).

Tabla N° 9.14
Asignación de Volúmenes de Agua (MMC) - Bloques de Riego (Cuenca Lampa)
Situación de Configuración de Demandas Hídricas Totales

VOLUMEN	Und	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Total
Oferta Hídrica en la Cabecera de Area de Riego	MMC	0.39	0.50	1.04	1.91	7.62	23.51	23.94	21.10	9.29	3.38	1.27	0.56	94.51
Porcentaje de Asignación	(%)	7.17	8.28	16.00	26.27	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	64.88	27.08	11.36	
Chullunquiani														
Demanda Hídrica	MMC	0.25	0.27	0.29	0.33	0.24	0.11	0.08	0.09	0.19	0.24	0.21	0.22	2.52
Asignación	MMC	0.02	0.02	0.05	0.09	0.24	0.11	0.08	0.09	0.19	0.15	0.06	0.03	1.12
Saldo 1 Ofta Asignable	MMC	0.37	0.48	0.99	1.82	7.38	23.40	23.86	21.01	9.10	3.23	1.21	0.53	93.39
Ancopias - Marno														
Demanda Hídrica	MMC	2.29	2.55	2.74	3.06	2.24	1.02	0.75	0.85	1.72	2.20	1.98	2.08	23.47
Asignación	MMC	0.16	0.21	0.44	0.80	2.24	1.02	0.75	0.85	1.72	1.42	0.54	0.24	10.39
Saldo 2 Ofta Asignable	MMC	0.21	0.27	0.55	1.02	5.14	22.38	23.11	20.16	7.38	1.80	0.68	0.30	83.00
Tobecalén														
Demanda Hídrica	MMC	2.29	2.55	2.74	3.06	2.24	1.02	0.75	0.85	1.72	2.20	1.98	2.08	23.47
Asignación	MMC	0.16	0.21	0.44	0.80	2.24	1.02	0.75	0.85	1.72	1.42	0.54	0.24	10.39
Saldo 3 Ofta Asignable	MMC	0.04	0.06	0.12	0.21	2.91	21.35	22.37	19.31	5.66	0.38	0.14	0.06	72.61
Chañocahua														
Demanda Hídrica	MMC	0.61	0.67	0.73	0.81	0.59	0.27	0.20	0.23	0.46	0.58	0.52	0.55	6.22
Asignación	MMC	0.04	0.06	0.12	0.21	0.59	0.27	0.20	0.23	0.46	0.38	0.14	0.06	2.76
Saldo Disponible	MMC	0.00	0.00	0.00	0.00	2.32	21.08	22.17	19.09	5.20	0.00	0.00	0.00	69.85

En la Tabla N° 9.15 se presenta el resumen de los caudales medios mensuales (lt/s) asignados a cada bloque de riego. También se podrá apreciar el porcentaje de área bajo riego (ha.) factible para cada bloque de riego.

Tabla N° 9.15
Asignación de Caudales Medios de Agua (lt/s) - Bloques de Riego (Cuenca Lampa)

BLOQUE	Caudal	Area	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Prom
Chullunquiani	Requerido	140	92	106	110	127	90	41	33	34	72	88	82	83	80
	Asignado	32	7	9	18	33	90	41	33	34	72	57	22	9	35
Ancopias - Marno	Requerido	1,300	856	982	1023	1182	835	383	309	317	665	820	763	776	743
	Asignado	299	61	81	164	311	835	383	309	317	665	532	207	88	329
Tobecalén	Requerido	1,300	856	982	1023	1182	835	383	309	317	665	820	763	776	743
	Asignado	299	61	81	164	310	835	383	309	317	665	532	207	88	329
Chañocahua	Requerido	345	227	260	271	313	221	101	82	84	176	217	202	206	197
	Asignado	79	16	22	43	82	221	101	82	84	176	141	55	23	87

CAPITULO 10

Análisis de Eventos Extremos

10.1. GENERALIDADES

En el presente capítulo se ha elaborado un análisis de eventos extremos de naturaleza hidrometeorológica como escasez de lluvias (sequías) y exceso de escorrentías (avenidas) en el ámbito de la cuenca del río Coata.

Con respecto al análisis de sequías se ha identificado los periodos de déficit de precipitación en el ámbito y entorno de la cuenca Coata en base a la información disponible de registros históricos de precipitación total mensual.

También se ha realizado el análisis de frecuencia de máximas avenidas, en función a los registros históricos de descargas máximas disponibles solamente para el río Coata y el río Verde.

10.2. ANALISIS DE FRECUENCIA DE MAXIMAS AVENIDAS

Uso del Análisis de Frecuencias en Hidrología

En el ámbito de la hidrología, numerosos fenómenos extremos no pueden pronosticarse en base a una información determinística, con la suficiente destreza y tiempo de antelación, para poder tomar las decisiones pertinentes a su ocurrencia. En dichos casos, se requiere un enfoque probabilístico con el fin de incorporar los efectos de esos fenómenos en las decisiones. Si se puede suponer que las ocurrencias son temporalmente independientes, esto es, el tiempo y la magnitud de un evento no tiene relación con los eventos anteriores, entonces se puede usar el análisis de frecuencias para describir la probabilidad de cualquier evento o de una combinación de ellos, durante el intervalo de tiempo necesario para una decisión. Los fenómenos hidrológicos que se describen en general mediante el análisis de frecuencias son las precipitaciones y las crecidas anuales máximas.

El análisis de frecuencias puede ser gráfico o matemático. En el enfoque gráfico, las observaciones históricas de la variable de interés se ordenan en orden ascendente o descendente, y se traza un gráfico de las magnitudes de los eventos en función de su frecuencia de excedencia o intervalo de repetición. Después, se ajusta una curva a través de los puntos representados gráficamente para describir la probabilidad de ocurrencia futura de cualquier evento. Se dispone de un papel especial para gráficos, que puede usarse para ilustrar la curva suave como una línea recta.

El enfoque matemático para el análisis de frecuencias se basa en la suposición de una descripción matemática específica, conocida como distribución de probabilidades, para definir el equivalente de la curva del enfoque gráfico. Los parámetros de la distribución de probabilidades se definen como funciones de las estadísticas de las observaciones hidrológicas.

Series Estadísticas y Períodos de Retorno

En el análisis probabilístico, una serie es una secuencia conveniente de datos, como son las observaciones horarias, diarias, estacionales o anuales de una variable hidrológica. Si el registro de estas observaciones contiene todos los eventos que ocurrieron dentro de un período dado, a la serie se le llama serie de duración completa. Por razones de conveniencia, el registro contiene frecuentemente sólo los eventos cuya magnitud es superior a una base preseleccionada. A esta serie se le llama serie de duración parcial. Una serie que contiene sólo el evento con la magnitud más grande que ocurrió en cada año se denomina serie de máximos anuales.

El uso de las series de máximos anuales es muy común en el análisis probabilístico por dos razones. La primera es por conveniencia, ya que la mayoría de los datos se procesan de manera que la serie anual está fácilmente disponible. La segunda es que hay una base teórica para extrapolar los datos de series anuales más allá de las posibilidades de observación, pero esa teoría hace falta para datos de series parciales. Una razón de la ausencia de una teoría estadística para las series de duración parcial es la falta de independencia de los eventos que podrían seguirse uno a otro en secuencia contigua.

Una limitación de los datos de series anuales es que cada año está representado por sólo un evento. El segundo evento más alto en un año en particular puede ser más alto que los más altos de otros años, y aun así no estaría contenido en la serie. Por tanto, un evento de una magnitud dada tendría una frecuencia de ocurrencia diferente para cada una de las dos series.

Las series de duración completa pueden requerirse para el enfoque estocástico en el cual no se requiere la independencia. También pueden servir para el análisis probabilístico de datos en regiones áridas, donde los eventos son raros y casi independientes.

El período de retorno, T_r , de un evento dado, es el número promedio de años dentro del cual se espera que el evento sea igualado o excedido sólo una vez. El evento que se espera sea igualado o excedido cada N años, es el evento de N años, X_{Tr} . Ambos términos se refieren a la frecuencia de ocurrencia promedio esperada de un evento durante un largo período de años. El período de retorno es igual al inverso de la probabilidad de excedencia en un solo año.

Para los períodos de retorno que exceden de diez años, no es necesario hacer las diferencias en períodos de retorno entre las series anuales y parciales pues son insignificantes.

Enfoque Matemático para el Análisis de Frecuencias

Distribuciones de Probabilidades usadas en Hidrología

Las distribuciones de probabilidades se usan en una amplia variedad de estudios hidrológicos, por ejemplo los estudios de recursos hídricos, de caudales extremos altos y bajos, de sequías, de volúmenes en embalses, de cantidades de lluvia y de modelos de series cronológicas. Las distribuciones principales que se usan en hidrología se indican en la Tabla N° 10.1. Sus definiciones matemáticas figuran en la bibliografía de referencias.

Los totales anuales, como los volúmenes de escurrimiento o la cantidad de lluvia, tienden a estar distribuidos normalmente o casi debido al teorema estadístico del límite central. Los totales semanales y mensuales son menos simétricos (asimetría casi siempre positiva) y, por lo general, no se pueden modelar con la distribución normal.

Estimación de Parámetros

Además de la elección de una distribución, el método de estimación de parámetros que se usa con la distribución puede tener un efecto en los resultados. Tradicionalmente, el método de momentos ordinarios (MMO) y el método de máxima verosimilitud (MV) han sido muy usados en hidrología.

Un método más reciente, basado en las estadísticas de L-momentos, constituye una mejora considerable con respecto a los métodos más convencionales de máxima

verosimilitud o el de momentos. Las aplicaciones de este método regionalizado están comenzando a ser señaladas en el análisis de datos de valores extremos.

Homogeneidad de Datos

La homogeneidad de los datos hidrológicos es indispensable para una aplicación estadística válida. Existen muchas razones por las cuales una serie de datos pudiera no ser homogénea, por ejemplo:

- a) una serie cronológica de caudales máximos puede contener caudales procedentes de nieve derretida y de lluvia;
- b) una serie cronológica puede contener datos de caudales medidos antes de la construcción de una estructura hidráulica, en condiciones inalteradas, y después de la construcción, cuando el régimen de escurrimiento está controlado; o
- c) una serie cronológica puede contener datos de caudales que incluyen mezclas de errores sistemáticos y aleatorios.

La homogeneidad de los datos también puede ser alterada por los cambios antropógenos del clima.

Tabla N° 10.1
Distribuciones de Probabilidades usadas en Hidrología

Nombre	Acronimo	Referencia
Normal	(N)	(Gauss)
Log-normal	(LN)	(Hazen, 1914)
Pearson de tipo 3	(P3)	(Foster, 1924)
Valores extremos tipo 1	(EV1)	(Gumbel, 1941)
Valores extremos tipo 2	(EV2)	(Gumbel, 1941)
Valores extremos tipo 3	(EV3)	(Jenkinson, 1969)
Distribución Gamma de tres parámetros		(Kritsky, Menkel, 1946)
Gamma	(G)	(Moran, 1957)
Log-Pearson tipo 3	(LP3)	(U.S. Water Resources Council, 1967, 1981)
Valores extremos generalizados	(GEV)	(Jenkinson, 1955)
Weibull		(Wu et Goodbridge, 1976)
Wakeby	(WAK)	(Houghton, 1978)
Boughton		(Boughton, 1980)
Valores extremos con dos componentes	(TCEV)	(Rossi, y col., 1984)
Logística logarítmica	(LLG)	(Ahmad, y col., 1988)
Logística generalizada	(GLG)	(Ahmad, 1988)

10.2.1. INFORMACION BASICA

La información básica utilizada para el análisis probabilístico del suceso de caudales máximos extremos u extraordinarios del río Coata para el periodo 1958 - 1979 y 1991 - 2006 y del río Verde para el periodo 1992 - 2005. Esta información proviene de una selección de los caudales máximos diarios respectivos a cada año de los registros históricos-aforados en las estaciones de aforo Puente Unocolla y río Verde, respectivamente. En la Tabla N° 10.2 se presenta las descargas máximas anuales del río Coata y en la Tabla N° 10.3 las del río Verde. Para el río Coata le corresponde el mayor registro de 986 m³/s para el año 1971 y el menor 48.48 m³/s para el año 1992. En cambio en el río Verde según la información disponible el mayor registro es de 158.29 m³/s en el 2004 y el menor valor de 23.94 m³/s en 1992.

Tabla N° 10.2
Caudales Máximos Aforados del río Coata
(Estación Hidrométrica Unocolla)

Años	i	Q (m ³ /s)
1958	1	282.20
1959	2	365.00
1960	3	292.20
1961	4	469.50
1962	5	337.50
1963	6	453.80
1964	7	138.15
1965	8	117.50
1966	9	135.00
1967	10	326.50
1968	11	238.40
1969	12	151.80
1970	13	428.00
1971	14	986.00
1972	15	315.00
1973	16	624.00
1974	17	410.00
1975	18	420.00
1976	19	300.00
1977	20	350.00
1978	21	527.50
1979	22	229.80
1991	23	121.75
1992	24	48.48
1993	25	97.50
1994	26	260.42
1995	27	103.82
1996	28	277.25
1997	29	501.39
1998	30	107.50
1999	31	225.26
2000	32	296.76
2001	33	338.56
2002	34	166.98
2003	35	254.69
2004	36	377.16
2005	37	365.25
2006	38	212.36
Promedio		306.66
Desv. Est.		176.05
Coef. Asim.		1.58
Kurtosis		4.80

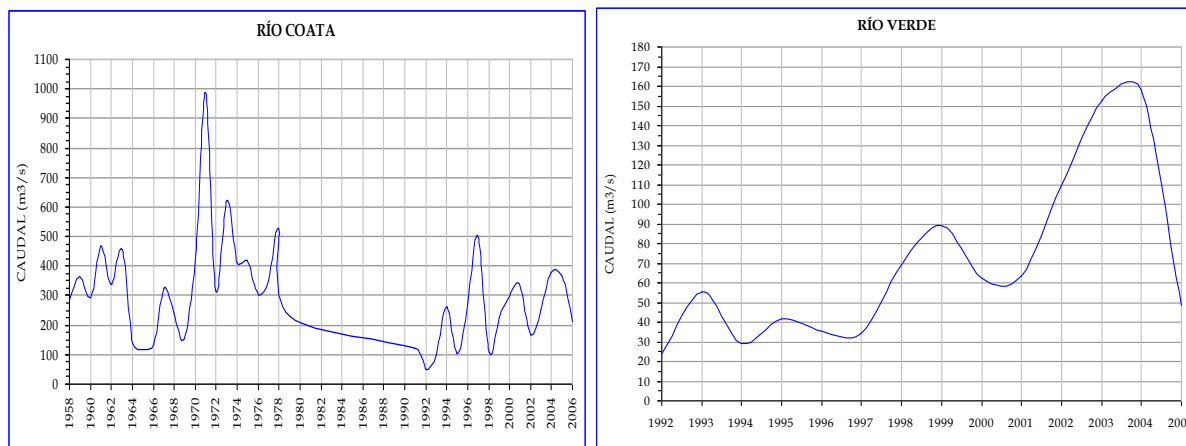
Tabla N° 10.3
Caudales Máximos Aforados del río Verde
(Estación Hidrométrica Río Verde)

Años	i	Q (m ³ /s)
1992	1	23.94
1993	2	55.60
1994	3	29.23
1995	4	41.97
1996	5	35.17
1997	6	34.51
1998	7	69.32
1999	8	88.95
2000	9	62.26
2001	10	63.41
2002	11	109.85
2003	12	152.84
2004	13	158.29
2005	14	48.33
Promedio		69.55
Desv. Est.		43.35
Coef. Asim.		1.18
Kurtosis		0.44

Estación de Aforo – Río Verde



Figura N° 10.1
Histograma de Caudales Máximos (m³/s) – río Coata y río Verde



10.2.2. ANALISIS DE FRECUENCIA

El análisis de frecuencia es una herramienta utilizada para, predecir el comportamiento futuro de los caudales en un sitio de interés, a partir de la información histórica de caudales. Es un método basado en procedimientos estadísticos que permite calcular la magnitud del caudal asociado a un período de retorno. Su confiabilidad depende de la longitud y calidad de la serie histórica, además de la incertidumbre propia de la distribución de probabilidades seleccionada.

El análisis de frecuencia consiste en determinar los parámetros de las distribuciones de probabilidad y determinar con el factor de frecuencia la magnitud del evento para un período de retorno dado.

Para realizar el análisis de frecuencia se ha utilizado la Distribución de probabilidad Log Gamma o Log Pearson de 3 parámetros.

1. Distribución Log Gamma o Log Pearson de 3 parámetros (LP3)

Si los logaritmos Y de una variable aleatoria X se ajustan a una distribución Pearson tipo III, se dice que la variable aleatoria X se ajusta a una distribución Log Pearson Tipo III. Esta distribución es ampliamente usada en el mundo para el análisis de frecuencia de Caudales máximos. Esta se trabaja igual que para la Pearson Tipo III pero con X_y y S_y como la media y desviación estándar de los logaritmos de la variable original X .

La función de Densidad es la siguiente:

$$f_x(x) = \frac{1}{\alpha x \Gamma(\beta)} \left(\frac{\ln x - \gamma}{\alpha} \right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{\ln x - \gamma}{\alpha} \right)}, \text{ para } x \geq \gamma; \gamma \neq 0$$

Estimación de Parámetros:

$$\begin{aligned} \beta &= \left(\frac{2}{\gamma_1} \right)^2 \\ \gamma_1 &= (\text{coef. de asim. de } \ln x) \\ \alpha &= \frac{\sigma}{\sqrt{\beta}} \\ \gamma &= \mu - \sigma \sqrt{\beta} \end{aligned}$$

Aplicando la distribución LP3 a las dos series de descargas máximas (Tabla N° 10.2 y N° 10.3) se ha realizado el análisis de frecuencias, verificándose mediante método gráfico que las dos series se ajustan a la distribución de probabilidad aplicada.

En la Tabla N° 10.4 y la Tabla N° 10.5 se presenta el proceso de cálculo de análisis de frecuencias del río Coata y río Verde, así mismo la estimación de los parámetros. En la Figura N° 10.3 y N° 10.2 se presenta en forma gráfica, respectivamente.

Tabla Nº 10.4
Análisis de Frecuencias - río Coata

Años	i	Q (m3/s)	A...Z	$F(x)=\frac{i}{(n+1)}$	f(x)	Area	F(x)
1958	1	282.2	48.5	0.026	0.000	0.000	0.000
1959	2	365.0	97.5	0.051	0.002	0.044	0.044
1960	3	292.2	103.8	0.077	0.002	0.012	0.056
1961	4	469.5	107.5	0.103	0.002	0.008	0.064
1962	5	337.5	117.5	0.128	0.003	0.025	0.089
1963	6	453.8	121.7	0.154	0.003	0.012	0.101
1964	7	138.2	135.0	0.179	0.003	0.041	0.143
1965	8	117.5	138.2	0.205	0.003	0.011	0.153
1966	9	135.0	151.8	0.231	0.004	0.047	0.200
1967	10	326.5	167.0	0.256	0.004	0.054	0.255
1968	11	238.4	212.4	0.282	0.003	0.155	0.409
1969	12	151.8	225.3	0.308	0.003	0.040	0.450
1970	13	428.0	229.8	0.333	0.003	0.014	0.463
1971	14	986.0	238.4	0.359	0.003	0.025	0.488
1972	15	315.0	254.7	0.385	0.003	0.044	0.532
1973	16	624.0	260.4	0.410	0.003	0.015	0.547
1974	17	410.0	277.3	0.436	0.002	0.040	0.587
1975	18	420.0	282.2	0.462	0.002	0.011	0.598
1976	19	300.0	292.2	0.487	0.002	0.022	0.620
1977	20	350.0	296.8	0.513	0.002	0.009	0.629
1978	21	527.5	300.0	0.538	0.002	0.007	0.636
1979	22	229.8	315.0	0.564	0.002	0.029	0.664
1991	23	121.7	326.5	0.590	0.002	0.020	0.685
1992	24	48.5	337.5	0.615	0.002	0.018	0.703
1993	25	97.5	338.6	0.641	0.002	0.002	0.705
1994	26	260.4	350.0	0.667	0.001	0.017	0.722
1995	27	103.8	365.0	0.692	0.001	0.021	0.743
1996	28	277.3	365.2	0.718	0.001	0.000	0.744
1997	29	501.4	377.2	0.744	0.001	0.015	0.759
1998	30	107.5	410.0	0.769	0.001	0.038	0.797
1999	31	225.3	420.0	0.795	0.001	0.010	0.807
2000	32	296.8	428.0	0.821	0.001	0.008	0.814
2001	33	338.6	453.8	0.846	0.001	0.022	0.836
2002	34	167.0	469.5	0.872	0.001	0.012	0.849
2003	35	254.7	501.4	0.897	0.001	0.022	0.870
2004	36	377.2	527.5	0.923	0.001	0.015	0.885
2005	37	365.2	624.0	0.949	0.000	0.042	0.927
2006	38	212.4	986.0	0.974	0.000	0.073	0.999

Promedio	306.7	306.7
Desv. Est.	176.0	176.0
Coef. Asim.	1.6	1.6
Kurtosis	4.8	4.8

α	β	γ
0.171	12.516	3.421
Gamma b	1E+08	
Ln(Gamma)	18.774	

Tabla Nº 10.5
Análisis de Frecuencias - río Verde

Años	i	Q (m3/s)	A...Z	$F(x)=\frac{i}{(n+1)}$	f(x)	Area	F(x)
1992	1	23.9	23.9	0.067	0.009	0.109	0.000
1993	2	55.6	29.2	0.133	0.013	0.057	0.057
1994	3	29.2	34.5	0.200	0.014	0.072	0.129
1995	4	42.0	35.2	0.267	0.015	0.009	0.138
1996	5	35.2	42.0	0.333	0.015	0.100	0.239
1997	6	34.5	48.3	0.400	0.014	0.092	0.330
1998	7	69.3	55.6	0.467	0.012	0.095	0.426
1999	8	88.9	62.3	0.533	0.011	0.077	0.502
2000	9	62.3	63.4	0.600	0.010	0.012	0.514
2001	10	63.4	69.3	0.667	0.009	0.057	0.572
2002	11	109.9	88.9	0.733	0.005	0.142	0.714
2003	12	152.8	109.9	0.800	0.003	0.090	0.804
2004	13	158.3	152.8	0.867	0.001	0.093	0.898
2005	14	48.3	158.3	0.933	0.001	0.006	0.904

Promedio	69.5	69.5
Desv. Est.	43.3	43.3
Coef. Asim.	1.2	1.2
Kurtosis	0.4	0.4

α	β	γ
0.093	39.854	0.367
Gamma b	1E+46	
Ln(Gamma)	106.09	

Figura Nº 10.2
Distribución de Frecuencias
Río Verde

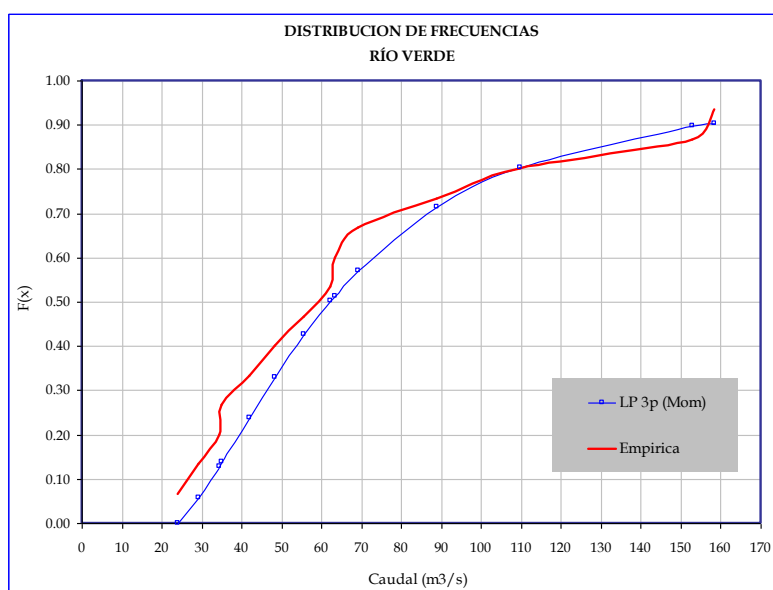
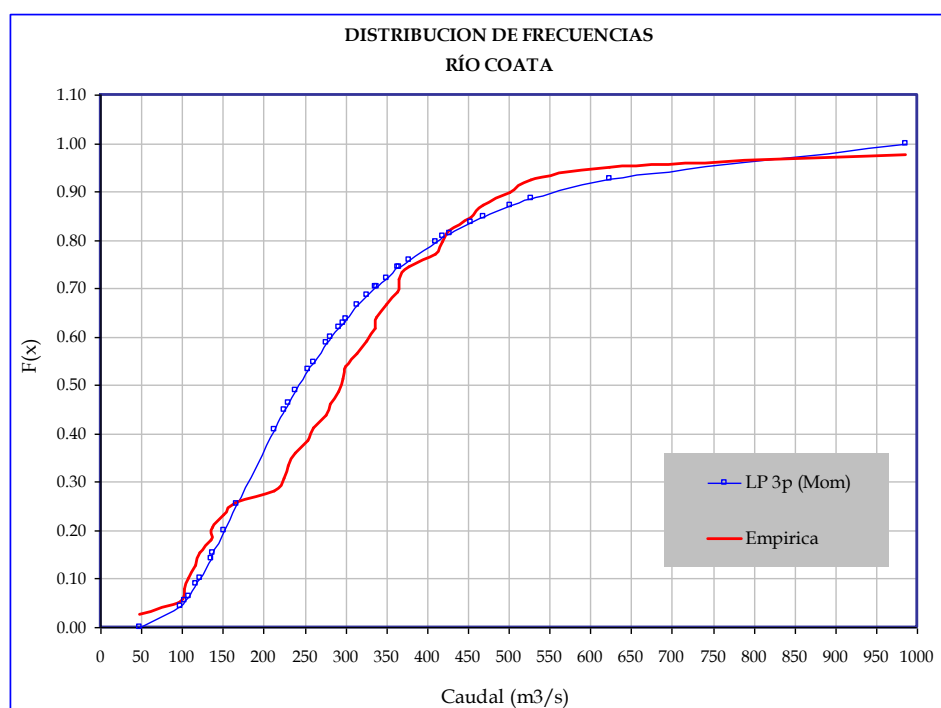


Figura N° 10.3
Distribución de Frecuencias - Río Coata



2. Pruebas de Ajuste

Para determinar que tan adecuado es el ajuste de los datos a una distribución de probabilidades se han propuesto una serie de pruebas estadísticas que determinan si es adecuado el ajuste. Estos son análisis estadísticos y como tal se deben entender, es decir, no se puede ignorar el significado físico de los ajustes. Estas pruebas se conocen como la prueba Smirnov Kolmogorov y la prueba Chi Cuadrado.

3. Prueba Smirnov Kolmogorov

El estadístico Smirnov Kolmogorov Δ considera la desviación de la función de distribución de probabilidades de la muestra $P(x)$ de la función de probabilidades teórica, escogida $P_0(x)$ tal que. La prueba requiere que el valor Δ_n calculado con la expresión anterior sea menor que el valor tabulado Δ_0 para un nivel de probabilidad requerido. Esta prueba es fácil de realizar y comprende las siguientes etapas:

- El estadístico Δ_n es la máxima diferencia entre la función de distribución acumulada de la muestra y la función de distribución acumulada teórica escogida.
- Se fija el nivel de probabilidad α , valores de 0.05 y 0.01 son los más usuales.
- El valor crítico Δ_α de la prueba debe ser obtenido de tablas en función de α y n .

- Si el valor calculado Δn es mayor que el $\Delta \alpha$, la distribución escogida se debe rechazar.

Se ha realizado las pruebas de ajuste a la distribución de probabilidad Log Pearson III, utilizando la prueba Smirnov Kolmogorov para un 5% de nivel de significancia, observándose que los datos se ajustan a la distribución probabilística. En la Tabla N° 10.6 se presenta los parámetros de ajuste.

Tabla N° 10.6
Estadístico Smirnov Kolmogorov

Muestra	n	Δ	Δ_0	AJUSTA
Río Coata	38	0.151	0.221	SI
Río Verde	14	0.128	0.363	SI

Tabla N° 10.7
Prueba de Bondad de Ajuste - río Coata

i	EMPIRICA		LOG PEARSON III	
	P(x)=i/(n+1)	F(x)	Abs(P(x)-F(x))	
1	0.026	0.000	0.026	
2	0.051	0.044	0.008	
3	0.077	0.056	0.021	
4	0.103	0.064	0.039	
5	0.128	0.089	0.039	
6	0.154	0.101	0.052	
7	0.179	0.143	0.037	
8	0.205	0.153	0.052	
9	0.231	0.200	0.030	
10	0.256	0.255	0.002	
11	0.282	0.409	0.127	
12	0.308	0.450	0.142	
13	0.333	0.463	0.130	
14	0.359	0.488	0.129	
15	0.385	0.532	0.148	
16	0.410	0.547	0.137	
17	0.436	0.587	0.151	
18	0.462	0.598	0.137	
19	0.487	0.620	0.133	
20	0.513	0.629	0.116	
21	0.538	0.636	0.097	
22	0.564	0.664	0.100	
23	0.590	0.685	0.095	
24	0.615	0.703	0.087	
25	0.641	0.705	0.064	
26	0.667	0.722	0.055	
27	0.692	0.743	0.051	
28	0.718	0.744	0.026	
29	0.744	0.759	0.015	
30	0.769	0.797	0.027	
31	0.795	0.807	0.012	
32	0.821	0.814	0.006	
33	0.846	0.836	0.010	
34	0.872	0.849	0.023	
35	0.897	0.870	0.027	
36	0.923	0.885	0.038	
37	0.949	0.927	0.022	
38	0.974	0.999	0.025	
Total			0.151	

Tabla N° 10.8
Prueba de Bondad de Ajuste - río Verde

i	EMPIRICA		LOG PEARSON III	
	P(x)=i/(n+1)	F(x)	Abs(P(x)-F(x))	
1	0.067	0.000	0.067	
2	0.133	0.057	0.076	
3	0.200	0.129	0.071	
4	0.267	0.138	0.128	
5	0.333	0.239	0.095	
6	0.400	0.330	0.070	
7	0.467	0.426	0.041	
8	0.533	0.502	0.031	
9	0.600	0.514	0.086	
10	0.667	0.572	0.095	
11	0.733	0.714	0.019	
12	0.800	0.804	0.004	
13	0.867	0.898	0.031	
14	0.933	0.904	0.030	
Total			0.128	

El estadístico Δ_0 tabulado se extrae de tablas estadísticas o se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\Delta_0 = \frac{1.36}{\sqrt{n}}$$

Donde, n es el tamaño de la muestra. Ver Tabla N° 10.6.

10.2.3. CAUDALES DE RETORNO

El Factor de Frecuencia

El Factor de Frecuencia es un valor característico de la ley de distribución Log - Normal, que tiene gran significación en el análisis de eventos extremos y es conocido matemáticamente como la variable reducida. Este término fue usado por Ven Te Chow en combinación con la fórmula general para el análisis de frecuencias hidrológicas, siguiente:

$$Q = \bar{Q} + KS_Q$$

Donde K es el factor de frecuencia que depende de la ley de ocurrencia del evento hidrológico y es teóricamente idéntico al factor de asimetría de la curva logarítmica.

El factor de frecuencia K para la Distribución Log Pearson III se calcula en forma aproximada por la siguiente ecuación:

$$K = Z + (Z^2 - 1)\left(\frac{C}{6}\right) + \frac{1}{3}(Z^3 - 6Z)\left(\frac{C}{6}\right)^2 - (Z^2 - 1)\left(\frac{C}{6}\right)^3 + Z\left(\frac{C}{6}\right)^4 + \frac{1}{3}\left(\frac{C}{6}\right)^5$$

Donde, C es el coeficiente de asimetría de la muestra y Z puede ser obtenida de tablas o calculada con la siguiente ecuación de aproximación:

$$Z = W - \frac{2.515517 + 0.802853W + 0.010328W^2}{1 + 1.432788W + 0.189269W^2 + 0.001308W^3}$$

$$W = \left[\ln\left(\frac{1}{P^2}\right) \right]^{1/2}$$

Utilizando el factor de frecuencia se ha estimado los caudales máximos para periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100, 150, 200, 300, 400, 500 y 1,000 años. En la Tabla N° 10.9 y la Tabla N° 10.10 se presenta los resultados.

Tabla N° 10.9
Caudales Máximos - río Coata

T(años)	P	w	z	K	y	Q(m3/s)
2	0.5000	1.1774	0.0000	0.0934	5.6206	276
5	0.2000	1.7941	0.8415	0.8556	6.0823	438
10	0.1000	2.1460	1.2817	1.2053	6.2942	541
25	0.0400	2.5373	1.7511	1.5431	6.4988	664
50	0.0200	2.7971	2.0542	1.7429	6.6198	750
100	0.0100	3.0349	2.3268	1.9107	6.7215	830
150	0.0067	3.1656	2.4752	1.9976	6.7741	875
200	0.0050	3.2552	2.5762	2.0549	6.8088	906
300	0.0033	3.3775	2.7134	2.1304	6.8546	948
400	0.0025	3.4616	2.8074	2.1806	6.8850	978
435	0.0023	3.4858	2.8343	2.1948	6.8936	986
500	0.0020	3.5255	2.8785	2.2178	6.9075	1,000
1,000	0.0010	3.7169	3.0905	2.3247	6.9723	1,067

Tabla N° 10.10
Caudales Máximos - río Verde

T(años)	P	w	z	K	y	Q(m ³ /s)
2	0.5000	1.1774	0.0000	-0.0527	4.0466	57
5	0.2000	1.7941	0.8415	0.8220	4.5606	96
10	0.1000	2.1460	1.2817	1.3104	4.8477	127
18	0.0546	2.4112	1.6017	1.6791	5.0644	158
25	0.0400	2.5373	1.7511	1.8551	5.1678	176
50	0.0200	2.7971	2.0542	2.2203	5.3825	218
100	0.0100	3.0349	2.3268	2.5579	5.5809	265
150	0.0067	3.1656	2.4752	2.7454	5.6911	296
200	0.0050	3.2552	2.5762	2.8746	5.7670	320
300	0.0033	3.3775	2.7134	3.0519	5.8712	355
400	0.0025	3.4616	2.8074	3.1747	5.9434	381
500	0.0020	3.5255	2.8785	3.2683	5.9984	403
1,000	0.0010	3.7169	3.0905	3.5510	6.1646	476

Observando las Tabla N° 10.9, para el caudal máximo (986 m³/s) registrado en la estación de aforo del Puente Unocolla sobre el río Coata corresponde un periodo de retorno de 435 años. De forma similar en la Tabla N° 10.10, el caudal máximo (158.29 m³/s) registrado en la estación de aforo del río Verde corresponde a un periodo de retorno de 18 años.

En la Figura N° 10.4 se presenta la relación Periodo de Retorno (T) – Caudal Máximo para el río Coata. De igual forma se presenta para el río Verde en la Figura N° 10.5.

Figura N° 10.4
Relación Caudal Máximo – Periodo de Retorno
Río Coata

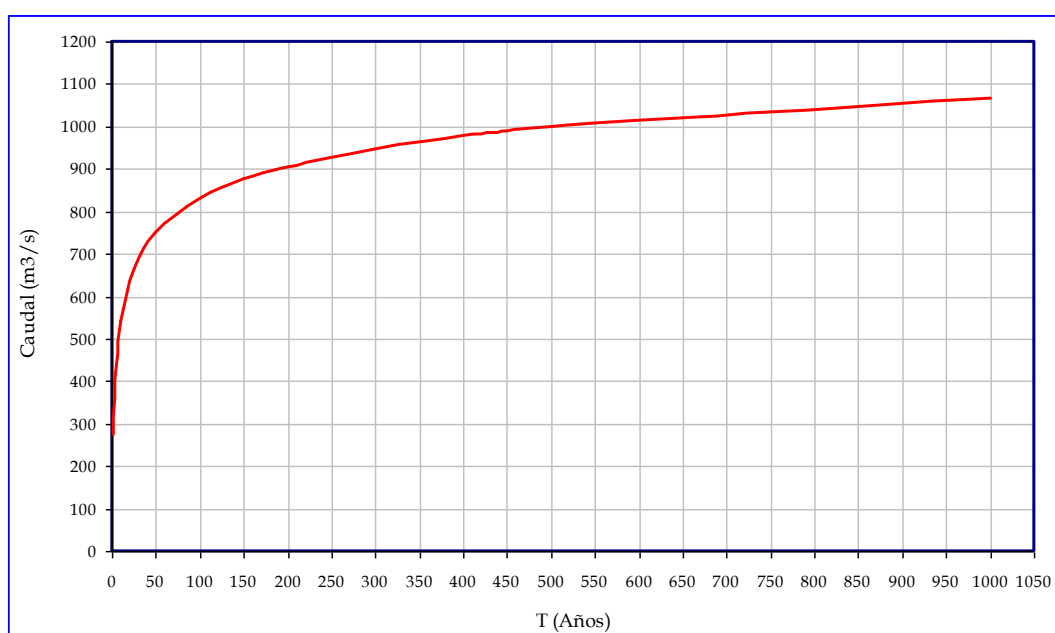
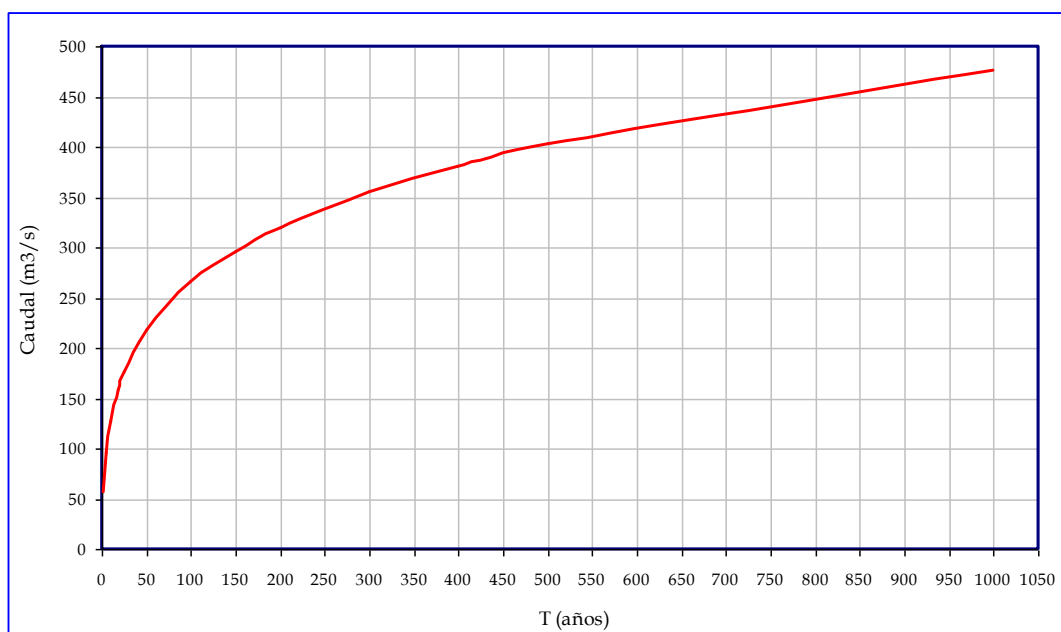


Figura N° 10.5
Relación Caudal Máximo – Periodo de Retorno
Río Verde



10.3. ANALISIS DE SEQUIAS

10.3.1. INTRODUCCION

Los sistemas climáticos y el tiempo de la tierra cambian constantemente. Como parte de estos procesos dinámicos ocurren, de forma natural, temperaturas extremas, lluvias y movimientos del aire. Los periodos inusuales de sequedad, por ejemplo, las sequías, son por lo tanto características normales de los sistemas del clima y tiempo en todos los países, incluyendo aquellos que generalmente se consideran "secos" y "fríos", y también las regiones usualmente asociadas con el término "sequía" - las áreas semiáridas de los trópicos. Las sequías no deben considerarse como sucesos "anormales" y todos los países deberían estar preparados para recibirlas.

En las últimas décadas, se ha registrado un mayor ritmo de deterioro de los recursos naturales, lo cual, a su vez ha creado las condiciones para un incremento de la vulnerabilidad de la población ante fenómenos naturales como las sequías.

En todos los países, el agua constituye un elemento que determina en gran medida el buen funcionamiento de los sistemas productivos e influye, al mismo tiempo, en la calidad de vida de sus habitantes. Sin embargo, la disponibilidad de agua por habitante, tiende a una reducción notoria en los próximos 20 años y se tornará definitivamente crítica, por lo que en un futuro cercano, el agua dejará de ser un problema y se convertirá en un asunto estratégico de supervivencia.

Es difícil estimar la cantidad de agua que se necesita para mantener estándares de vida aceptables o mínimos; sin embargo, la Organización de Naciones Unidas considera

que cuando la disponibilidad per cápita alcanza valores inferiores a los 1.000 m³/hab/año, la situación de escasez es crítica, y una vez que un país sufre de escasez, ésta puede amenazar la producción de alimentos, obstaculizar el desarrollo económico y dañar los ecosistemas.

La sequía es un desastre natural relacionado con el tiempo atmosférico. Afecta a vastas regiones por meses o años.

Las sequías, de todos los desastres causados por fenómenos naturales, son las que tienen mayor impacto económico y pueden afectar al mayor número de personas. Los terremotos y ciclones pueden tener una gran intensidad física pero son de duración corta y su impacto geográfico es limitado. El número de muertes ocasionadas por dichos desastres puede ser muy alto si resultan afectadas áreas densamente pobladas. En contraste, las sequías afectan grandes extensiones geográficas, llegando a cubrir países enteros o regiones de continentes, y pueden durar varios meses o, en algunos casos, hasta varios años. Invariablemente, tienen un impacto directo y significativo sobre la producción alimenticia y la economía en general.

La carencia de lluvias da lugar a que no haya un caudal suficiente de agua para las plantas, los animales y la población. La sequía provoca otros desastres, a saber: inseguridad alimentaria, hambruna, desnutrición, epidemias y desplazamiento de poblaciones de una zona a otra.

10.3.2. QUE ES LA SEQUIA?

Es muy difícil definir el concepto de sequía y existen multitud de acepciones diferentes. Sin embargo, es importante que aquellos que están encargados de los preparativos, mitigación y actividades pertinentes a sequías compartan un término común por medio del cual se pueda determinar la sequía y las conjeturas y restricciones que implica.

Entre los factores que dificultan la definición de sequía se encuentran los siguientes:

- En muchos casos el fenómeno de sequía es temporal. Una "sequía" que dura un mes puede ocurrir en una región donde a menudo se experimentan ciclos de periodos lluviosos y secos alternativos (digamos cada 5 años) y donde también se sabe que se ha experimentado un aumento en el clima más seco durante los últimos 50 años. Definir como sequía la disminución temporal de disponibilidad de agua/humedad dados tales procesos dinámicos, es extremadamente difícil y depende en gran parte de la duración del periodo bajo consideración.
- Sequías de gravedad similar pueden tener impactos sorprendentemente diferentes como resultado de diferencias ecológicas, socioeconómicas y culturales. Esto, a su vez, afecta a cómo se percibe la sequía y cómo se utiliza el término. Por lo tanto, es difícil definir el término tomando en cuenta el evento físico, es decir, la disminución de la disponibilidad de agua/humedad. Invariablemente la definición debe considerar la forma en que el evento físico repercute en la sociedad.

Según el National Weather Service de Estados Unidos la sequía es una situación climatológica anormal que se da por la falta de precipitación en una zona, durante un período de tiempo prolongado. Esta ausencia de lluvia presenta la condición de anómala cuando ocurre en el período normal de precipitaciones para una región bien determinada. Así, para declarar que existe sequía en una zona, debe tenerse primero un estudio de sus condiciones climatológicas.

La sequía difiere de la aridez en que la sequía es temporal; la aridez es una característica permanente de regiones con baja lluvia.

Por otra parte, Ramírez y Brenes (2001) definen la sequía como un desastre natural lento que no presenta trayectorias definidas y tiende a extenderse de manera irregular a través del tiempo y el espacio. La severidad de una sequía depende no solamente del grado de reducción de la lluvia, de su duración o de su extensión geográfica, sino también de las demandas del recurso hídrico para la permanencia de los sistemas naturales y para el desarrollo de las actividades humanas, razón por la cual es posible expresar el grado de severidad de la sequía en términos de sus impactos sociales y económicos.

10.3.3. TIPOS DE SEQUIA

Se distinguen diferentes tipos de sequía: meteorológica, hidrológica, agrícola y socioeconómica. De estos tipos de sequía, los dos primeros describen fenómenos físicos, mientras que el tercero describe el impacto de los dos primeros en la producción agrícola.

- **Sequía meteorológica:** Desde el punto de vista meteorológico, la sequía puede definirse como una condición anormal y recurrente del clima que ocurre en todas las regiones climáticas de la Tierra. Este fenómeno se caracteriza por una marcada reducción de la cantidad de precipitación que se presenta en una zona, y puede producir serios desbalances hidrológicos. Describe una situación en la cual hay una disminución en la caída de lluvias durante un periodo específico por debajo de una cantidad específica. Su definición sólo comprende datos de precipitación.
- **Sequía hidrológica:** En términos hidrológicos, se habla de sequía cuando se presenta una precipitación menor a la media estacional en escala regional, lo que se traduce en un nivel de aprovisionamiento anormal de los cursos de agua y de los reservorios de agua superficial o subterránea. Es decir, existe una disminución de los recursos acuáticos por debajo de un nivel determinado durante un periodo dado de tiempo. Su definición incorpora datos de disponibilidad y tasas de consumo basadas en el suministro normal del sistema (uso doméstico, industrial y agricultura de riego).
- **Sequía agrícola:** En el sector agrícola, la sequía se refiere al déficit marcado y permanente de lluvia que reduce significativamente la producción agrícola con relación a la normal o los valores esperados para una región dada. La sequía agrícola es el impacto que las sequías meteorológica y/o hidrológica tienen en el

rendimiento de los cultivos. Estos últimos requieren de condiciones particulares de temperatura, humedad y nutrientes durante su crecimiento para que puedan alcanzar su máximo desarrollo. Si la disponibilidad de humedad es menor que la cantidad requerida durante el ciclo de crecimiento, entonces éste se verá afectado y la producción se reducirá. Sin embargo, las sequías pueden causar diversos impactos en los diferentes cultivos. Para algunos especialistas, el déficit de humedad en el suelo, que está ligado a los efectos sobre la producción vegetal - agricultura y pastizales en ganadería-, es frecuentemente denominado sequía edáfica.

- **Sequía socioeconómica:** La sequía en el sector socio-económico ocurre cuando las lluvias son insuficientes y tienen un efecto significativo sobre las comunidades y su economía (energía hidroeléctrica, aprovisionamiento en agua potable, en la industria, etc.).

10.3.4. INDICES DE SEQUIA

Para cuantificar la sequía se han desarrollado diferentes índices de sequía, cada uno con sus aciertos y desaciertos. Dos de los más comúnmente usados son el Índice de Severidad de la Sequía de Palmer (PDSI) y el Índice Estándar de Precipitación (SPI). Las condiciones de sequía son monitorizadas constantemente usando éstos y otros índices para proveer información actual sobre regiones afectadas por la sequía.

10.3.4.1. INDICE DE SEVERIDAD DE LA SEQUIA DE PALMER (ISSP)

Ha sido el índice de sequía más comúnmente usado en los Estados Unidos. Fue desarrollado para medir la intensidad, duración y extensión espacial de la sequía. Los valores del ISSP se derivan de las medidas de precipitación, temperatura del aire y humedad del suelo local, conjuntamente con valores anteriores de estas medidas. Los valores varían desde -6.0 (sequía extrema) a +6.0 (condiciones extremas de humedad), y han sido estandarizadas para facilitar comparaciones de región en región. Este índice de sequía ha sido usado para evaluar el impacto de la sequía en la agricultura. En la Tabla N° 10.11 se presenta los valores de los índices de evaluación de la sequía de Palmer.

Tabla N° 10.11

Valores de Índice	Categorías
>4	Condición húmeda extrema
3 - 3,99	Condición muy húmeda
2 - 2,99	Condición húmeda moderada
1 - 1,99	Condición húmeda suave
0,5 - 0,99	Condición húmeda incipiente
0,49 - -0,49	Condiciones normales
-0,5 - - 0,99	Sequía incipiente
-1 - -1,99	Sequía suave
-2 - -2,99	Sequía moderada
-3 - -3,99	Sequía severa
-4	Sequía extrema

Fuente: Palmer (1965): Meteorological drought.

10.3.4.2. INDICE DE PRECIPITACION ESTANDARIZADO (IPE)

Internacionalmente muy conocido por las siglas en ingles SPI (Standard Precipitation Index).

1. Que es el Indice de Precipitación Estandarizado (IPE)?

El Índice de Precipitación Estandarizado (IPE) cuantifica las condiciones de déficit o exceso de precipitación en un lugar, para un lapso determinado de tiempo el cual varía, generalmente, entre 1 y 24 meses. Fue desarrollado por McKee y otros en 1993, con la finalidad de mejorar la detección del inicio de las sequías meteorológicas (definición de sequía en función de la precipitación, únicamente, sin considerar la temperatura ni las variables del suelo) y su ulterior monitoreo.

2. Como se Calcula?

El cálculo del IPE se hace en dos etapas. En la primera, se ajusta una distribución teórica (generalmente la Gamma de dos parámetros) a la serie de precipitación usada como serie de referencia (el período considerado es 1967 - 2006 para el presente reporte). En la segunda, los parámetros de la distribución ajustada se usan para convertir la serie de precipitación de interés (que puede ser distinta de la de referencia), en una distribución normal estandarizada, con media 0 y varianza 1, en cuya abscisa se encuentra el IPE. Los valores negativos indican déficit y los positivos superávit.

La serie de precipitación de interés depende de la escala de tiempo elegida. Por ejemplo, el IPE de 1 mes correspondiente a enero surge de considerar la serie de referencia de totales de precipitación de todos los eneros, en tanto que el IPE de 3 meses, para el mismo mes, se calcula en base a la serie de referencia de totales de precipitación de los trimestres que finalizan en enero, es decir, noviembre, diciembre y enero. Así sucesivamente, la escala puede ampliarse según sean los meses previos al actual que se vayan incorporando.

3. Que valores puede tomar?

De acuerdo a su valor, el IPE puede clasificarse según los índices mostrados en la Tabla N° 10.12.

Tabla N° 10.12
Clasificación del IPE

IPE	CATEGORÍA	FRECUENCIA TEÓRICA DE OCURRENCIA
-2.00 o menor	Extremadamente Seco (sequía extrema)	1 en 50 años
-1.50 a -1.99	Muy Seco (sequía severa)	1 en 20 años
-1.00 a -1.49	Moderadamente Seco (sequía moderada)	1 en 10 años
-0.5 a -0.99	Ligeramente Seco	1 en 3 años
0.49 a -0.49	Normal	
0.50 a 0.99	Ligeramente Húmedo	1 en 10 años
1.00 a 1.49	Moderadamente Húmedo (exceso moderado)	
1.50 a 1.99	Muy Húmedo (exceso severo)	1 en 20 años
2.00 o mayor	Extremadamente Húmedo (exceso extremo)	1 en 50 años

4. Ventajas y Desventajas de IPE

El IPE tiene tres ventajas principales:

- La primera es su simplicidad de cálculo, dado que esta basado solamente en la precipitación.
- La segunda es que puede ser calculado para escalas de tiempo variables, lo cual lo hace aplicable en el ámbito de la meteorología, agricultura e hidrología superficial y subterránea. Esta versatilidad temporal es particularmente útil en el análisis de la dinámica de la sequía (al igual que la de los períodos con excesos hídricos), especialmente en la determinación del comienzo y el fin de estos episodios, lo que es difícil de reconocer por medio de otros índices.
- La tercera proviene de la estandarización, lo que asegura que la frecuencia de los eventos extremos en cualquier localidad y en cualquier escala de tiempo es consistente.

No obstante, el IPE tiene tres potenciales desventajas:

- La primera depende de la calidad de los datos de precipitación utilizados. Datos erróneos conducen a IPE erróneos.
- Una segunda limitación del IPE surge de la naturaleza estandarizada del mismo índice, es decir que los eventos extremos (secos o húmedos) tienen la misma probabilidad de ocurrencia en cualquier lugar. Luego, el IPE no es capaz de identificar regiones que son más propensas que otras a la ocurrencia de estos tipos de episodios
- Un tercer problema puede surgir cuando el IPE es empleado en las escalas de tiempo más cortas (1, 2 ó 3 meses), en regiones de baja precipitación estacional. En estos casos, pueden ocurrir valores positivos (o negativos) altos que son susceptibles de ser erróneamente interpretados. En estas situaciones, un acabado conocimiento de la climatología de estas regiones mejora la interpretación del IPE.

5. Cuándo empieza y cuándo termina una sequía o un período excesivamente húmedo?

Para cualquier escala temporal, un período seco comienza cuando el IPE se hace negativo por primera vez y finaliza cuando se torna positivo. En el caso que el IPE sea continuamente negativo y alcance el valor -1 ó menor, se considera que la deficiencia de agua es suficientemente importante como para definir una "sequía meteorológica". La misma puede alcanzar distinta severidad en las diferentes escalas temporales. Del mismo modo, para cualquier escala temporal, un período húmedo comienza cuando el IPE se hace positivo por primera vez y finaliza cuando se torna negativo. En el caso que el IPE sea continuamente positivo y alcance el valor 1 ó mayor, se considera que el exceso de agua es significativo. El mismo puede alcanzar distinta severidad en las diferentes escalas temporales.

10.3.5. CALCULO DE LOS EPISODIOS DE SEQUIA HISTORICA

Se ha realizado una caracterización meteorológica de las sequías históricas ocurridas en la Cuenca del río Coata en el periodo comprendido entre el año 1967 y 2006.

En el Capítulo 4 del presente reporte se ha realizado el análisis de consistencia y homogeneidad de la precipitación total mensual registrada en 16 estaciones meteorológicas ubicadas en el ámbito y contorno exterior de la cuenca Coata. En base a la información pluviométrica procesada se ha realizado el presente análisis de sequías.

En 1993 McKee et al, desarrollaron el Índice de Precipitación Estandarizado (IPE), que nos permite fijar el comienzo y fin de la sequía, así como su intensidad. Este índice se calcula a partir de los datos de precipitación acumulada mensual de una serie de datos suficientemente larga (mínimo de 30 años).

Para determinar los periodos de sequía se ha partido de los datos de precipitaciones mensuales de las 16 estaciones pluviométricas desde Enero de 1967 hasta Diciembre del 2006, y tomando como periodo de referencia 12 meses. Una vez calculado el IPE para cada uno de los observatorios, se ha determinado el IPE medio. En la Tabla N° 10.13 se presenta los resultados IPE medio mensual para la cuenca coata obtenido. En base a esta Tabla de valores se ha realizado el análisis de sequía histórica en el ámbito de la cuenca Coata. Los valores en rojo, indican los meses de déficit de precipitación, y estas son la materia del análisis de sequías.

Para su mejor visualización se ha representado en forma gráfica la variación mensual del IPE medio, ver Figura N° 10.6., en el Anexo se presenta en formato más grande.

Aunque la distribución es muy irregular, y como se puede apreciar no se ajusta a ningún tipo de periodicidad. En el periodo 1967 - 2006 se ha registrado 11 episodios de sequía. En el periodo 1967 - 1980 fueron mas duraderos pero con poca intensidad. En el periodo 1981 - 1993 se han registrado los episodios más intensos y duraderos, mientras que en el último periodo 1993 - 2006 se ha registrado episodios menos intensos y duraderos.

El valor del IPE más bajo (IPE = -2.9, Noviembre 1983) se alcanza en la sequía 1982 - 1984. Otro valor muy bajo del IPE (-1.95, Junio, Julio 1992) se registra en la sequía 1991 - 1993 y por también otro valor significativamente bajo del IPE (-1.70, abril 1990) correspondiente al episodio de sequía 1989 - 1991.

Partiendo de los datos de la red pluviométrica, se ha calculado el IPE para cada una de las estaciones y con ayuda de software de Sistema de Información Geográfica (Arc Gis) se ha estimado la *intensidad, extensión y duración* de las mismas. En la Tabla N° 10.14 aparece de forma resumida el análisis de cada uno de los episodios de sequía registrados en la cuenca del río Coata.

La intensidad de la sequía se ha estimado a través de la suma del IPE (en la Tabla N° 10.14 aparecen los valores máximos mínimos y medios) para cada uno de los periodos. Se observa que la sequía más intensa fue la del feb/82 - ene/84, seguida de la del nov/91 - sep/93, la del nov/88 - feb/91 y en cuarto lugar la del feb/69 - ago/72.

Figura N° 10.6
Evolución Mensual del IPE Medio – Cuenca Coata

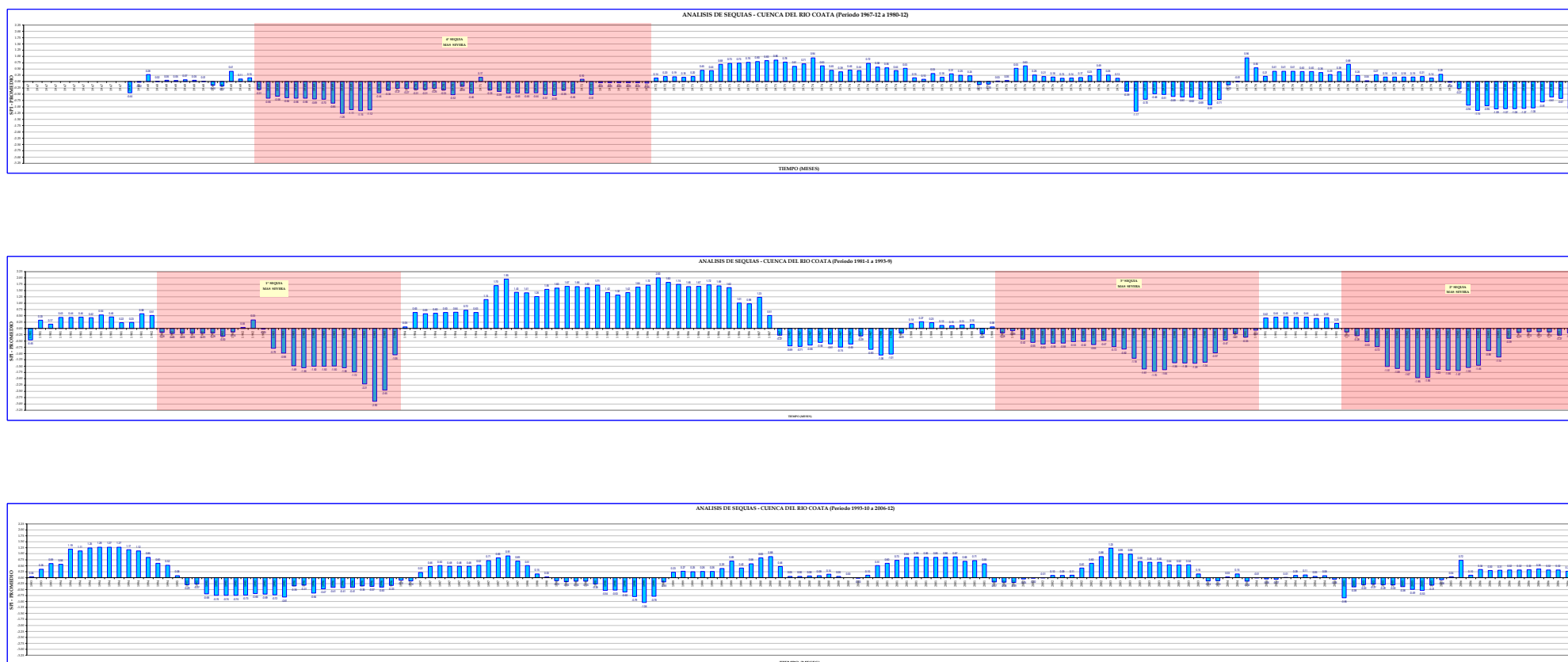


Tabla N° 10.13
IPE medio Mensual – Cuenca Coata

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1967												-0.4
1968	-0.02	0.28	0.02	0.05	0.05	0.07	0.05	0.01	-0.14	-0.17	0.41	0.11
1969	0.15	-0.31	-0.66	-0.58	-0.64	-0.66	-0.66	-0.69	-0.7	-0.85	-1.26	-1.11
1970	-1.15	-1.12	-0.44	-0.34	-0.27	-0.27	-0.31	-0.31	-0.26	-0.33	-0.52	-0.19
1971	-0.46	0.17	-0.33	-0.39	-0.46	-0.45	-0.46	-0.44	-0.51	-0.55	-0.35	-0.46
1972	0.1	-0.51	-0.04	-0.05	-0.04	-0.05	-0.04	-0.05	0.14	0.2	0.19	0.18
1973	0.2	0.45	0.44	0.68	0.73	0.73	0.76	0.8	0.83	0.86	0.78	0.61
1974	0.71	0.94	0.63	0.45	0.39	0.46	0.44	0.72	0.58	0.55	0.44	0.53
1975	0.15	0.1	0.33	0.18	0.31	0.25	0.24	-0.11	-0.1	0.03	0.05	0.53
1976	0.63	0.26	0.21	0.18	0.13	0.14	0.17	0.23	0.49	0.26	0.13	-0.39
1977	-1.17	-0.7	-0.48	-0.51	-0.59	-0.61	-0.62	-0.69	-0.91	-0.71	-0.12	-0.01
1978	0.94	0.55	0.21	0.41	0.41	0.41	0.4	0.4	0.36	0.29	0.39	0.69
1979	0.24	0.04	0.27	0.18	0.19	0.18	0.19	0.21	0.14	0.29	-0.03	-0.27
1980	-0.94	-1.15	-0.95	-1.09	-1.07	-1.08	-1.07	-1.05	-0.81	-0.61	-0.67	-1.07
1981	-0.45	0.33	0.17	0.43	0.44	0.44	0.42	0.54	0.45	0.22	0.23	0.58
1982	0.51	-0.16	-0.2	-0.18	-0.19	-0.19	-0.18	-0.3	-0.14	0.04	0.33	-0.03
1983	-0.79	-0.98	-1.49	-1.56	-1.5	-1.5	-1.5	-1.56	-1.72	-2.21	-2.9	-2.45
1984	-1.05	0.05	0.63	0.59	0.6	0.63	0.64	0.72	0.63	1.14	1.7	1.95
1985	1.43	1.41	1.26	1.55	1.6	1.67	1.66	1.62	1.71	1.42	1.32	1.42
1986	1.64	1.72	2.	1.83	1.74	1.65	1.67	1.72	1.69	1.62	1.01	0.98
1987	1.23	0.51	-0.27	-0.69	-0.71	-0.66	-0.56	-0.61	-0.74	-0.63	-0.29	-0.83
1988	-1.06	-1.01	-0.19	0.18	0.27	0.23	0.12	0.1	0.13	0.16	-0.21	0.06
1989	-0.18	-0.09	-0.42	-0.55	-0.63	-0.59	-0.58	-0.53	-0.52	-0.64	-0.47	-0.72
1990	-0.82	-1.18	-1.61	-1.7	-1.64	-1.36	-1.38	-1.39	-1.34	-0.97	-0.47	-0.21
1991	-0.35	-0.07	0.42	0.44	0.45	0.43	0.44	0.4	0.42	0.2	-0.14	-0.28
1992	-0.53	-0.72	-1.51	-1.59	-1.67	-1.95	-1.95	-1.63	-1.66	-1.67	-1.55	-1.46
1993	-0.88	-1.14	-0.39	-0.16	-0.13	-0.13	-0.14	-0.27	-0.18	0.04	0.35	0.59
1994	0.56	1.19	1.11	1.25	1.28	1.27	1.27	1.17	1.12	0.85	0.6	0.52
1995	0.08	-0.29	-0.27	-0.68	-0.74	-0.74	-0.74	-0.73	-0.66	-0.69	-0.72	-0.81
1996	-0.35	-0.31	-0.64	-0.47	-0.41	-0.41	-0.41	-0.35	-0.37	-0.4	-0.33	-0.11
1997	-0.14	0.22	0.46	0.5	0.48	0.48	0.48	0.52	0.71	0.83	0.91	0.69
1998	0.51	0.15	0.03	-0.13	-0.16	-0.15	-0.15	-0.26	-0.54	-0.53	-0.6	-0.79
1999	-1.04	-0.78	-0.18	0.23	0.27	0.25	0.26	0.26	0.39	0.69	0.4	0.58
2000	0.83	0.88	0.46	0.05	0.06	0.08	0.09	0.14	0.05	-0.	-0.03	0.1
2001	0.51	0.6	0.73	0.84	0.86	0.85	0.85	0.86	0.87	0.68	0.71	0.58
2002	-0.17	-0.18	-0.19	-0.05	-0.02	-0.01	0.1	0.09	0.11	0.4	0.6	0.88
2003	1.23	0.99	0.98	0.68	0.65	0.65	0.54	0.52	0.54	0.15	-0.14	-0.13
2004	0.03	0.15	-0.14	-0.01	-0.06	-0.07	0.01	0.09	0.11	0.05	0.08	-0.06
2005	-0.85	-0.38	-0.3	-0.27	-0.29	-0.3	-0.38	-0.49	-0.53	-0.31	-0.08	0.04
2006	0.72	0.1	0.34	0.3	0.31	0.32	0.32	0.33	0.36	0.32	0.32	0.27

Los valores en rojo, indican el grado de déficit de precipitación

Tabla N° 10.14
Caracterización de Periodos Históricos de Sequía – Cuenca Coata

Item	PERIODO		ΣIPE			% Observatorios		Numero de Meses	
	Desde	Hasta	MEDIO	MAX	MIN	IPE < -1.5	IPE _{medio} < 0	IPE _{medio} < -1.5	
1	feb-69	ago-72	-18.98	-41.57	31.53	7	41	0	
2	dic-76	dic-77	-7.50	-32.01	1.73	14	13	0	
3	nov-79	ene-81	-12.32	-33.32	-2.97	16	15	0	
4	feb-82	ene-84	-22.40	-60.99	-2.34	32	22	6	
5	mar-87	mar-88	-8.25	-17.05	6.19	6	13	0	
6	nov-88	feb-91	-20.57	-40.35	8.16	19	27	3	
7	nov-91	sep-93	-21.74	-39.71	3.71	29	23	9	
8	feb-95	ene-97	-11.77	-34.47	8.40	5	24	0	
9	abr-98	mar-99	-5.29	-10.82	-1.00	4	12	0	
10	ene-02	jun-02	-0.63	-10.30	3.78	6	6	0	
11	dic-04	nov-05	-4.26	-12.04	3.30	1	12	0	

En la séptima columna se ha calculado el porcentaje de observatorios dentro de cada sequía, en el que ha habido sequía severa o extrema. La extensión de la severidad fue más importante en la del feb/82 – ene/84, seguida de la del nov/91 – sep/93 y la del nov/88 – feb/91.

Para conocer su duración se ha analizado de la Figura N° 10.6 del IPE medio y contando el número de meses en los que el IPE se mantiene por debajo de 0: las sequías del feb/69 – ago/72, la del nov/88 – feb/91, la del feb/95 – ene/97, la del nov/91 – sep/93 y la del feb/82 – ene/84 tienen una duración de 41, 27, 24, 23 y 22 meses, respectivamente.

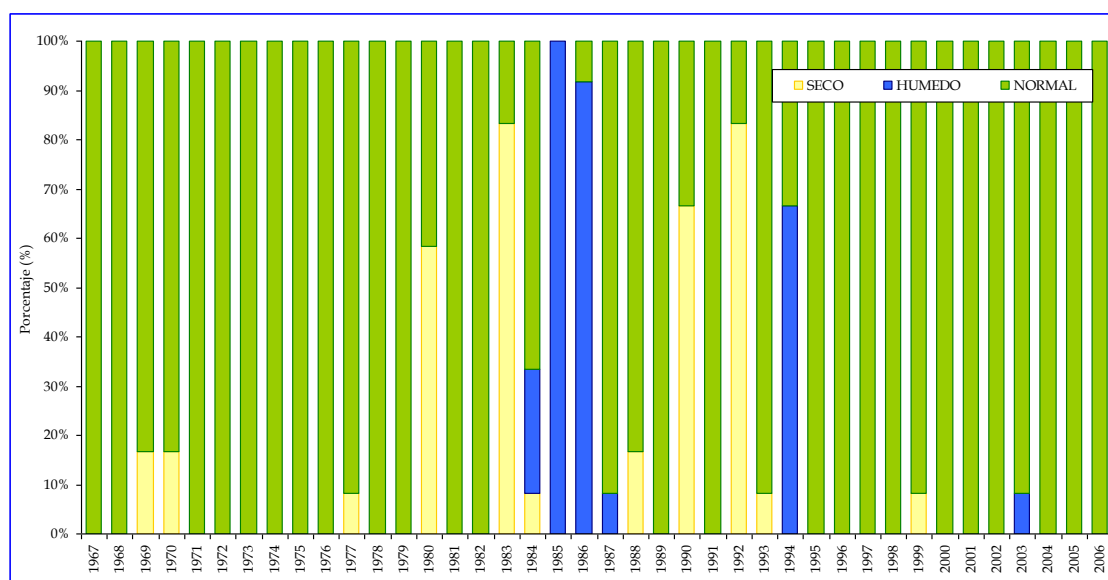
En la última columna aparece el número medio de meses (calculado con el IPE medio inferior a -1,5) en la que la sequía fue severa o extrema. Destaca los nueve meses del episodio nov/91 – sep/93, los seis del feb/82 – ene/84 y los tres del nov/88 – feb/91.

10.3.6. CARACTERIZACION ANUAL DE LA SEQUIA HISTORICA

El método de evaluación utilizado para el análisis de la sequía en el presente Reporte, también permite realizar una caracterización de los periodos secos, normales y húmedos a nivel anual.

En la Figura N° 10.7 se presenta la distribución de los periodos secos, normales y húmedos en valores de porcentaje ocurridos en forma anual en la cuenca Coata.

Figura N° 10.7
Distribución Anual de Periodos Seco, Normal y Húmedo (%) – Cuenca Coata



De acuerdo a la metodología de evaluación de la sequía a nivel promedio anual, los periodos secos es cuando el IPE es menor a -1, los periodos húmedos cuando el IPE es mayor a 1 y los periodos normales cuando $-1 < \text{IPE} < 1$. Como se podrá verificar en la Figura N° 10.7, en el mayor tiempo del horizonte de análisis se tipifica como periodos normales, en tanto que los periodos secos se han producido con menor frecuencia, tal

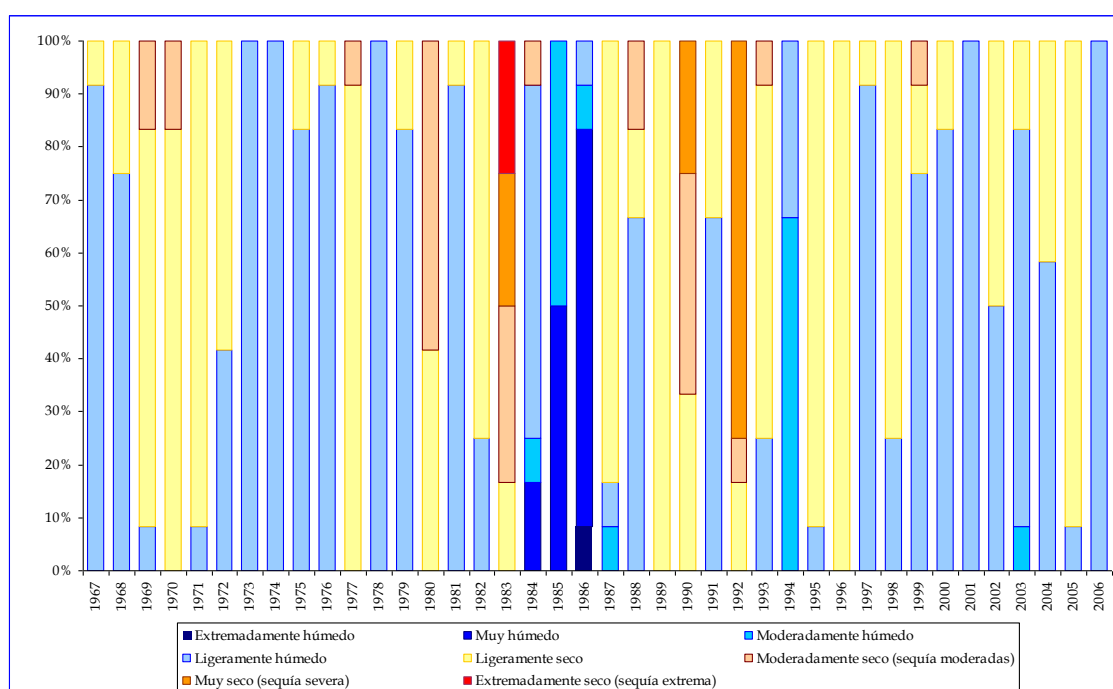
es el caso de los años 1983, 1993 donde se tipifica los años mas secos, seguido de los años 1990 y 1980. En cuanto a los periodos húmedos, se verifica que el año 1985 y 1986 han sido los más húmedos, seguido del año 1994. En la Tabla N° 10.15 se presenta los resultados en forma tabular.

Tabla N° 10.15
Porcentaje Anual de Periodos Seco, Normal y Húmedo - Cuenca Coata

AÑO	SECO	HUMEDO	NORMAL
1967	0	0	100
1968	0	0	100
1969	16.67	0.00	83.33
1970	16.67	0.00	83.33
1971	0.00	0.00	100.00
1972	0.00	0.00	100.00
1973	0.00	0.00	100.00
1974	0.00	0.00	100.00
1975	0.00	0.00	100.00
1976	0.00	0.00	100.00
1977	8.33	0.00	91.67
1978	0.00	0.00	100.00
1979	0.00	0.00	100.00
1980	58.33	0.00	41.67
1981	0.00	0.00	100.00
1982	0.00	0.00	100.00
1983	83.33	0.00	16.67
1984	8.33	25.00	66.67
1985	0.00	100.00	0.00
1986	0.00	91.67	8.33
1987	0.00	8.33	91.67
1988	16.67	0.00	83.33
1989	0.00	0.00	100.00
1990	66.67	0.00	33.33
1991	0.00	0.00	100.00
1992	83.33	0.00	16.67
1993	8.33	0.00	91.67
1994	0.00	66.67	33.33
1995	0.00	0.00	100.00
1996	0.00	0.00	100.00
1997	0.00	0.00	100.00
1998	0.00	0.00	100.00
1999	8.33	0.00	91.67
2000	0.00	0.00	100.00
2001	0.00	0.00	100.00
2002	0.00	0.00	100.00
2003	0.00	8.33	91.67
2004	0.00	0.00	100.00
2005	0.00	0.00	100.00
2006	0.00	0.00	100.00

En la Figura N° 10.8 se presenta los resultados anteriores, en forma más rigurosa. En esta figura se quiere mostrar en porcentajes la clasificación del IPE (Tabla N° 10.12) del episodio anual del comportamiento climático.

Figura N° 10.8
Clasificación del IPE (%) – Cuenca Coata



En lo que sigue analizaremos de forma más detallada la sequía de febrero 1982 – enero 1984, y la de noviembre 1991 - septiembre 1993.

10.3.7. SEQUIA FEBRERO 1982 – ENERO 1984

Es el episodio de sequía histórica más severa registrada en el periodo del horizonte de análisis de sequías del presente Reporte (1967 – 2006). Tuvo una duración de 24 meses, y alcanza los IPE medios más bajo (-22.40). En la Figura N° 10.6 se observa que en el mes de noviembre de 1983 alcanzó el IPE mensual más bajo igual a -2.90. El año 1983 ha sido el año más seco.

Para una mejor visualización de la evolución, se ha elaborado la Tabla N° 10.16 en donde se ha calculado el área, la altitud media, las subcuencas (1...9) de la cuenca Coata y el tanto por ciento de superficie afectada (columnas en color verde) por la sequía severa o extrema mes a mes, y en la Figura N° 10.9 se ha representado el porcentaje de área afectada en cada mes.

El índice IPE es negativo durante todo el periodo del episodio de esta sequía. Desde marzo hasta diciembre de 1983, la sequía fue extrema, afectando prácticamente el área total de la cuenca Coata. Las subcuencas de Lampa (2) y Medio Bajo Coata (3) fueron las áreas más afectadas; específicamente dentro de estas áreas se ubican los poblados de Lampa, Cabanillas y Santa Lucía.

Para ver la distribución espacial, sobre los mapas de la cuenca se ha representado los valores del IPE mes por mes (ver Figura N° 10.10, también ver en formato más grande

Tabla N° 10.16
Estadística de la Sequía febrero 1982 – enero 1984 – Cuenca Coata

Año	Mes	Sequía Severa (1.5>IPE>-2.0)									Sequía Extrema (IPE<-2.0)									% Area IPE<-1.5				
		Area	Altitud	Subcuenca									Area	Altitud	Subcuenca									
		(Km2)	(msnm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	(Km2)	(msnm)	1	2	3	4	5		6	7	8	9
1982	2	220.28	4065.00									8.85	3905.00										4.67	
	3	322.54	4186.25									312.51	4186.25										12.94	
	4	332.12	4186.25									338.11	4186.25										13.65	
	5	321.19	4186.25									313.76	4186.25										12.94	
	6	315.89	4186.25									308.86	4186.25										12.73	
	7	296.05	4186.25									300.93	4186.25										12.16	
	8	546.15	4186.25									363.46	4186.25										18.53	
	9	338.79	4186.25									235.03	4156.67										11.69	
	10	237.67	4135.00									97.74	4065.00										6.83	
	11	167.78	4065.00									86.48	4065.00										5.18	
	12	412.60	4186.25									222.45	4156.67										12.94	
	1983	1	949.73	4320.00									958.16	4186.25										38.87
2		1817.61	4320.00									1564.31	4378.75										68.90	
3		585.72	3993.33									3691.00	4320.00										87.13	
4		579.65	3993.33									4328.79	4320.00										100.00	
5		618.81	3993.33									4235.35	4320.00										98.89	
6		639.19	3993.33									4227.82	4320.00										99.16	
7		720.57	3993.33									4146.59	4320.00										99.16	
8		559.28	3993.33									4349.17	4320.00										100.00	
9		391.17	3993.33									4517.28	4320.00										100.00	
10		174.27	3850.00									4734.17	4320.00										100.00	
11		0.00										4908.44	4320.00										100.00	
12		338.32	3993.33									4570.12	4320.00										100.00	
1984	1	991.41	4262.50								3167.11	4384.29										84.72		

Figura N° 10.9
Porcentaje de Area Afectada de la Cuenca Coata por la Sequía Severa (IPE < -1.5)
Sequía febrero 1982 – enero 1984

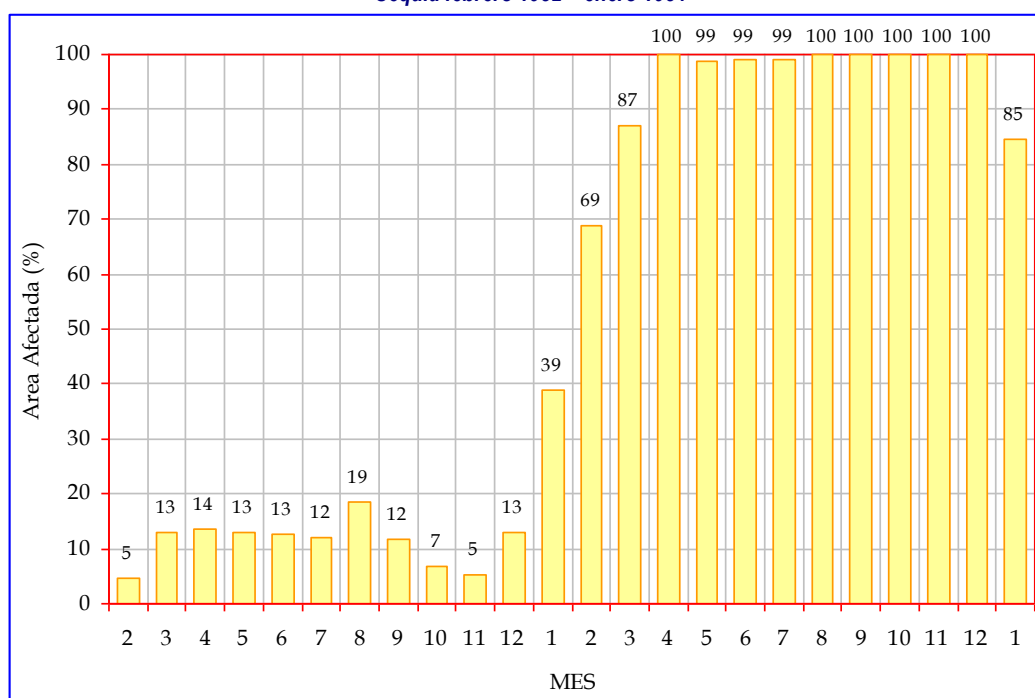
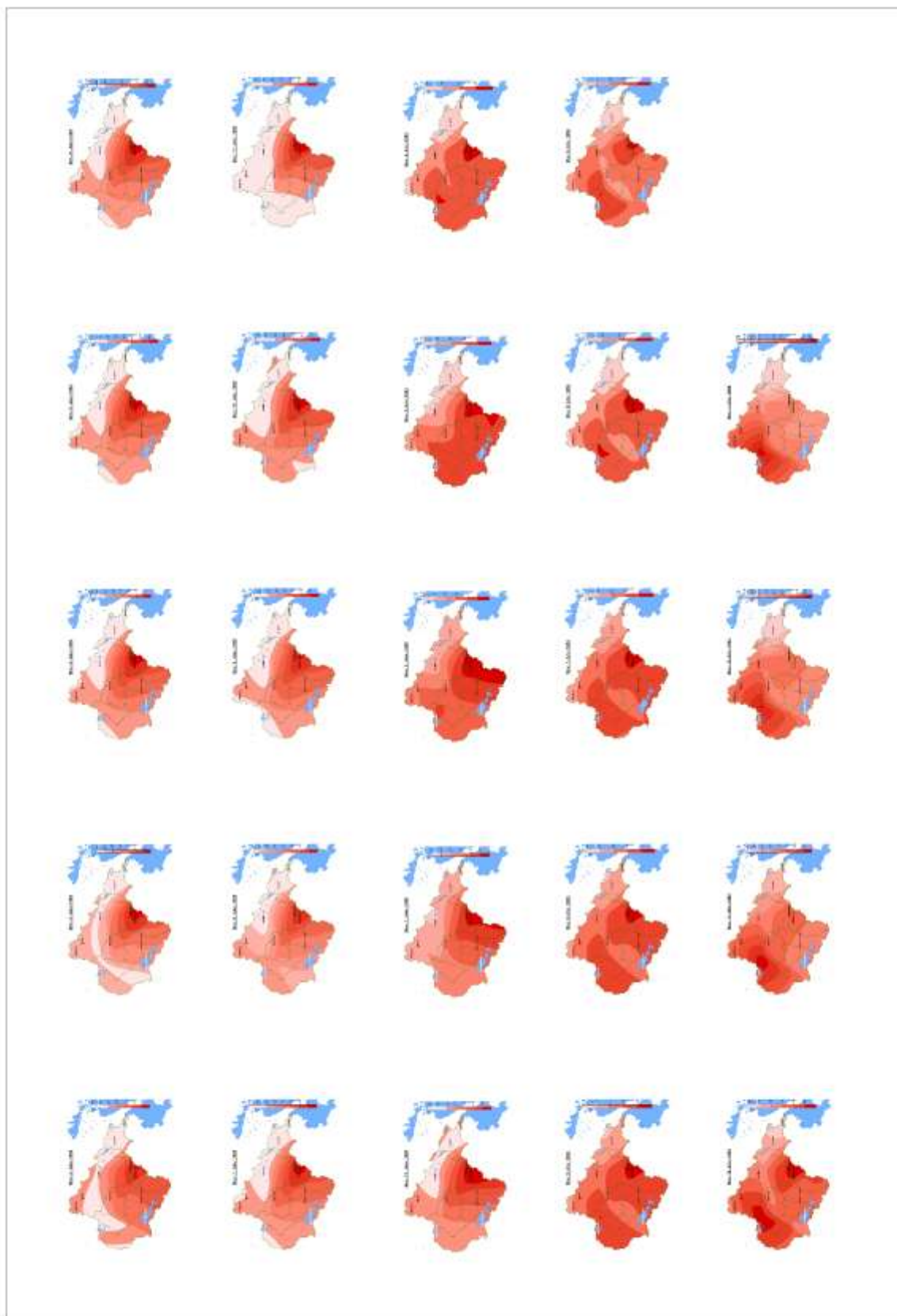


Figura N° 10.10
Evolución del IPE Mensual de la Cuenca Coata durante la Sequía febrero 1982 – enero 1984



en el Anexo, volumen II). Vemos como el episodio empieza a ser severa en el sur – oeste del Coata y se extiende por todo el centro. En el mes de marzo del 83, la sequía es severa o extrema en la totalidad de la cuenca, es importante ver los índices IPE de cada mes descrito en los mapas mensuales.

El valor pico (más bajo) del IPE registrado en este episodio de sequía es de -2.90 (Noviembre 1983), y de acuerdo a la frecuencia teórica de ocurrencia de la Tabla N° 10.12, este valor podría volver a presentarse dentro de 50 años.

10.3.8. SEQUÍA NOVIEMBRE 1991 – SEPTIEMBRE 1993

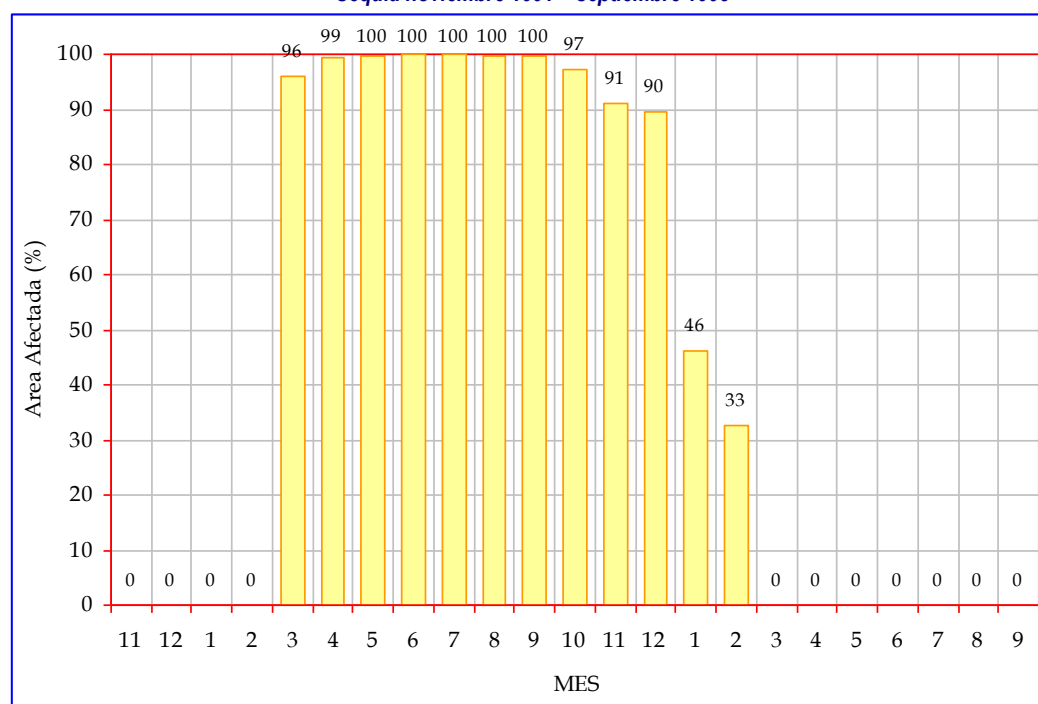
Este episodio de sequía por su carácter de ser uno de los más severos y extremos, en duración y extensión es inferior a la anterior. Dentro del episodio, solamente ha sido 10 meses de carácter extremo, tal como se puede ver en la Tabla N° 10.17. El valor del IPE mas bajo registrado es de -1.95 ocurrido en Junio y Julio del 92 (Figura N° 10.6). Sus efectos extremos fueron a nivel global de toda la Cuenca, tal como se observa en la Tabla.

Tabla N° 10.17
Estadística de la Sequía noviembre 1991 – septiembre 1993 – Cuenca Coata

Año	Mes	Sequía Severa (1.5>IPE>-2.0)									Sequía Extrema (IPE<-2.0)									% Area IPE<-1.5				
		Area (Km2)	Altitud (msnm)	Subcuenca									Area (Km2)	Altitud (msnm)	Subcuenca									
				1	2	3	4	5	6	7	8	9			1	2	3	4	5		6	7	8	9
1991	11	0.00										0.00										0.00		
	12	0.00										0.00										0.00		
1992	1	0.00										0.00										0.00		
	2	0.00										0.00										0.00		
	3	1436.72										3279.75										96.09		
	4	1708.87										3173.51										99.47		
	5	1597.24										3301.97										99.81		
	6	61.74										4846.70										100.00		
	7	60.83										4847.62										100.00		
	8	1546.40										3340.43										99.56		
	9	1803.62										3091.99										99.74		
	1993	10	884.83										3890.98										97.30	
11		1340.95										3123.07										90.95		
12		1291.25										3102.87										89.52		
1		2227.08										33.22										46.05		
2		1600.65										1.78										32.65		
3		0.00										0.00										0.00		
4		0.00										0.00										0.00		
5		0.00										0.00										0.00		
6		0.00										0.00										0.00		
7		0.00										0.00										0.00		
8	0.00										0.00										0.00			
9	0.00										0.00										0.00			

En la Figura N° 10.11 se ha representado el porcentaje de área afectada en cada mes.

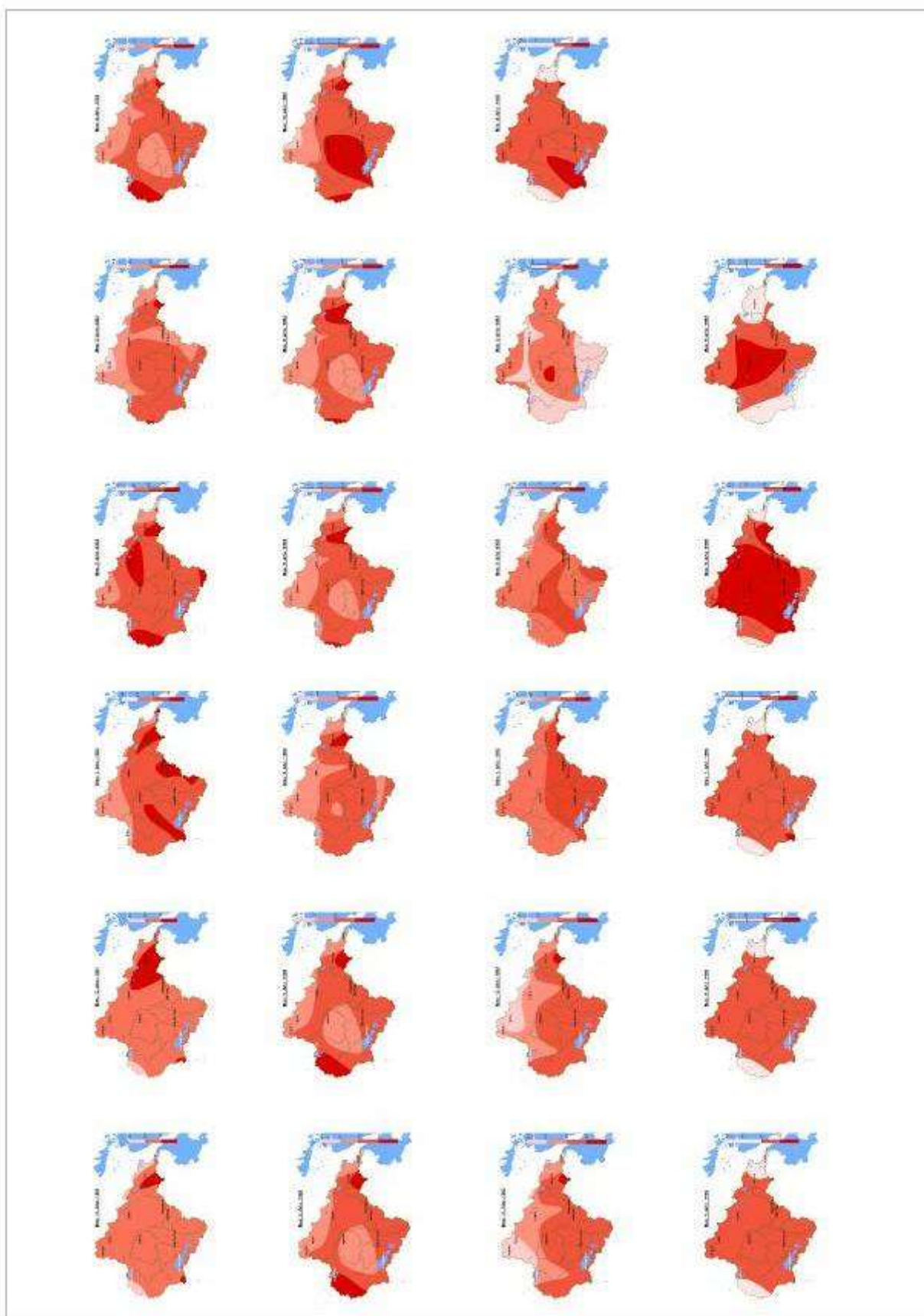
Figura N° 10.11
Porcentaje de Área Afectada de la Cuenca Coata por la Sequía Severa (IPE < -1.5)
Sequía noviembre 1991 – septiembre 1993



Para ver la distribución espacial, sobre los mapas de la cuenca se ha representado los valores del IPE mes por mes (ver Figura N° 10.12, también ver en formato mas grande en el Anexo, volumen II). Esta vez el episodio empieza a ser severa en el centro de la cuenca Coata y se extiende en forma radial hasta ocupar toda la extensión de la cuenca. En el mes de junio y julio del 92, la sequía es extrema en la totalidad de la cuenca, es importante ver los índices IPE de cada mes descrito en los mapas mensuales.

Igual que el episodio anterior, el valor más bajo del IPE registrado en este episodio de sequía es de -1.95, y de acuerdo a la frecuencia teórica de ocurrencia de la Tabla N° 10.12, este valor pico de este episodio podría volver a presentarse dentro de 20 años.

Figura N° 10.12
 Evolución del IPE Mensual de la Cuenca Coata durante la Sequía noviembre 1991 – septiembre 1993



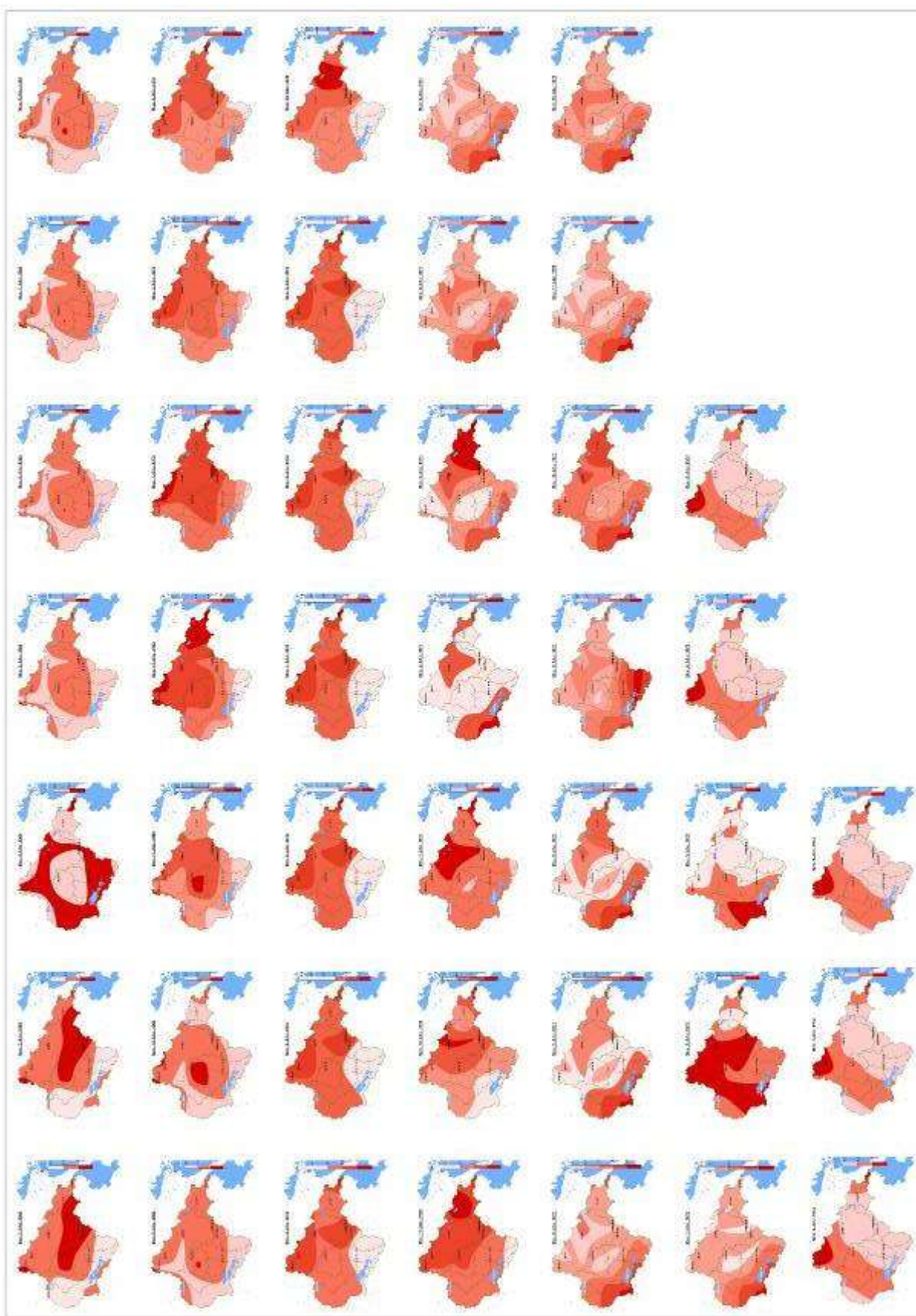
10.3.9. SEQUIA FEBRERO 1969 - AGOSTO 1972

Este episodio de sequía por su carácter de sequía moderada, fue uno de los de mayor periodo en duración y extensión (41 mese). El valor del IPE mas bajo registrado es de -1.26 ocurrido en Noviembre del 92 (Figura N° 10.6). Sus efectos mas intensos se acentuaron en la parte central y las áreas de entorno al lago Titicaca.

Con fines de ilustrar la evolución espacial del episodio, sobre los mapas de la cuenca se ha representado los valores del IPE mes por mes (ver Figura N° 10.13, también ver en formato mas grande en el Anexo, volumen II).

El valor más bajo del IPE registrado en este episodio de sequía es de -1.95, y de acuerdo a la frecuencia teórica de ocurrencia de la Tabla N° 10.12, un evento similar a este episodio podría volver a presentarse dentro de 10 años.

Figura N° 10.13
 Evolucion del IPE Mensual de la Cuenca Coata durante la Sequía febrero 1969 – agosto 1972



CAPITULO 11

Análisis Regional de Caudales de Crecidas

11.1. REGIONALIZACION DE CAUDALES DE CRECIDAS

Para un sitio que no tiene un gran número de observaciones en su serie máxima anual se recomienda el uso del análisis regional de frecuencia de crecidas para la estimación de los cuantiles de crecidas. Se han perfeccionado y se utilizan con frecuencia dos procedimientos de regionalización: el método de crecida índice y el método basado en la regresión.

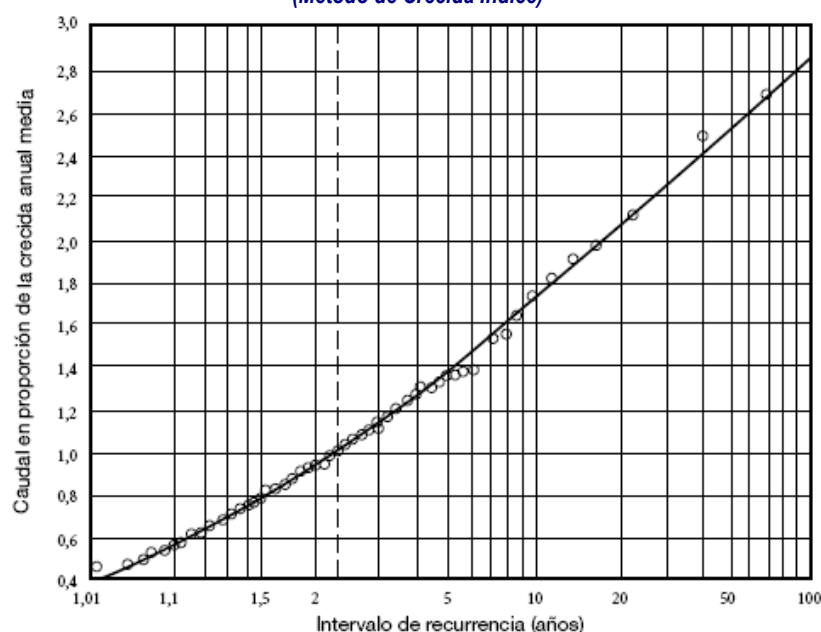
11.1.1. METODO DE CRECIDA INDICE

El método de crecida índice, propuesto por Dalrymple, constituye dos etapas mayores. La primera es el establecimiento de la curva de frecuencia adimensional para una región homogénea. La curva resulta del análisis de frecuencia para todos los sitios. La curva para cada sitio se convierte en adimensional al dividirla por un índice, como el caudal correspondiente al período de retorno de dos años o de 2,33 años. Los valores adimensionales de la media son seleccionados para los sitios y para varios períodos de retorno. Estos valores se trazan en un papel de probabilidades como el de la Figura N° 11.1. La segunda etapa consiste en establecer la relación entre el índice y las características físicas y climatológicas de la cuenca. Se pueden utilizar métodos basados en regresiones. La combinación del índice con la curva adimensional provee una curva de frecuencia para cualquier cuenca dentro de la región. Este método asume que todas las crecidas de la región son del tipo I (distribución exponencial doble o de Gumbel) y que la región está definida geográficamente.

11.1.2. METODO BASADO EN LA REGRESION

Los métodos de regresión pueden ser usados para estimar la magnitud de una crecida que ocurrirá, en promedio, una vez en T_r años, denotada como Q_{TR} , usando las características físicas y climatológicas de la cuenca. Las magnitudes de la crecida para varios períodos de retorno de cada estación son estimadas a partir de un análisis de frecuencia en el sitio usando una distribución preseleccionada. A su vez, las características de cada cuenca se derivan de mapas topográficos o de información climatológica generalizada. Los parámetros de las ecuaciones que relacionan Q_{TR} con las características pueden ser obtenidos usando los métodos de los mínimos cuadrados ordinarios, los mínimos cuadrados ponderándose los mínimos cuadrados

Figura N° 11.1
Curva de Frecuencia Regional Adimensional
(Método de Crecida Índice)



generalizados. La relación regional de frecuencia de crecidas que estableció, para la parte noreste de Estados Unidos es:

$$Q_{TR} = aA^bZ^cS^dP^eD^fM^g \quad (11.1)$$

Donde Q_{TR} es el caudal máximo anual en T años, A el área de drenaje, Z la pendiente media del canal, S el porcentaje del área de almacenamiento en la superficie más el 0,5 por ciento, P la intensidad de la lluvia de los T años para una duración particular, D el promedio de los grados por debajo del punto de congelamiento en enero, M un factor orográfico, y a, b, c, d, e, f, y g son coeficientes de regresión. Una transformación logarítmica de la ecuación (11.1) se puede efectuar para crear un modelo lineal aditivo para los métodos de regresión.

11.2. INFORMACION BASICA

En el ámbito de la cuenca del río Coata solamente se dispone de registro histórico de caudales máximos en dos puntos de aforo de la cuenca, estas son los registros de aforo de la Estación Puente Unocolla sobre el río Coata y otro de la estación de aforo Río Verde sobre el río del mismo nombre.

Para realizar el análisis de regionalización de caudales de crecidas se ha utilizado el método basado en la regresión. En vista de que son muy escasas las estaciones de aforo existentes dentro de la cuenca (apenas dos), la ecuación regional de crecidas (11.1), por consiguiente al aplicar la ecuación N° 11.1 se ha obtenido una relación regional de frecuencia de crecidas en función a una variable (el Área superficial de drenaje hacia arriba del punto de aforo de referencia).

La información básica utilizada corresponde a los caudales máximos para cada periodo de retorno calculados para cada estación de aforo en el Capítulo anterior. En la Tabla N° 11.1 se presenta estos datos.

Tabla N° 11.1
Relación Caudal Máximo – Periodo de Retorno

Periodo de Retorno	CAUDAL MAXIMO (m ³ /s)	
	COATA	VERDE
2	276.1	57.2
5	438.1	95.6
10	541.4	127.4
25	664.3	158.3
50	749.8	175.5
100	830.1	217.6
150	874.9	265.3
200	905.8	296.2
300	948.2	319.6
400	977.5	354.7
500	999.8	402.8
1,000	1,066.7	475.6
Area drenaje (Km ²)	4,508.0	702.5

11.3. ECUACION REGIONAL DE CRECIDAS

Utilizando la ecuación general de frecuencia de crecidas (ecuación N° 11.1), y en base a la disponibilidad de información existente, se ha planteado la ecuación de regionalización de caudales de crecida para la cuenca del río Coata.

$$Q_{TR} = aA^b \quad (11.2)$$

Donde, A es el área de drenaje del punto de interés (Km²), Q_{TR} es el caudal máximo (m³/s) para un periodo de retorno dado, a y b son coeficientes obtenidos mediante regresión.

Haciendo uso del apoyo de un software estadístico (Minitab, Release 13.1), se ha obtenido los valores de los coeficientes de la ecuación N° 11.2, para cada periodo de retorno (Ver Tabla N° 11.1).

En la Tabla N° 11.2 se presenta la ecuación de regionalización de crecidas para cada periodo de retorno, así mismo los valores de los respectivos coeficientes de regresión. Con las ecuaciones obtenidas para un periodo de retorno especificado se podrá calcular en forma aproximada el caudal de crecidas en cualquier punto de interés dentro del ámbito de la cuenca Coata, para ello se debe tener el valor del área de drenaje del cauce principal sobre el cual se localiza el punto de interés.

Como ejemplo utilizando la ecuación de regionalización calcularemos el caudal de crecida del río Coata en el punto de aforo Puente Unocolla, para un periodo de retorno de 50 años. El área de drenaje hasta este punto es de 4,508 Km².

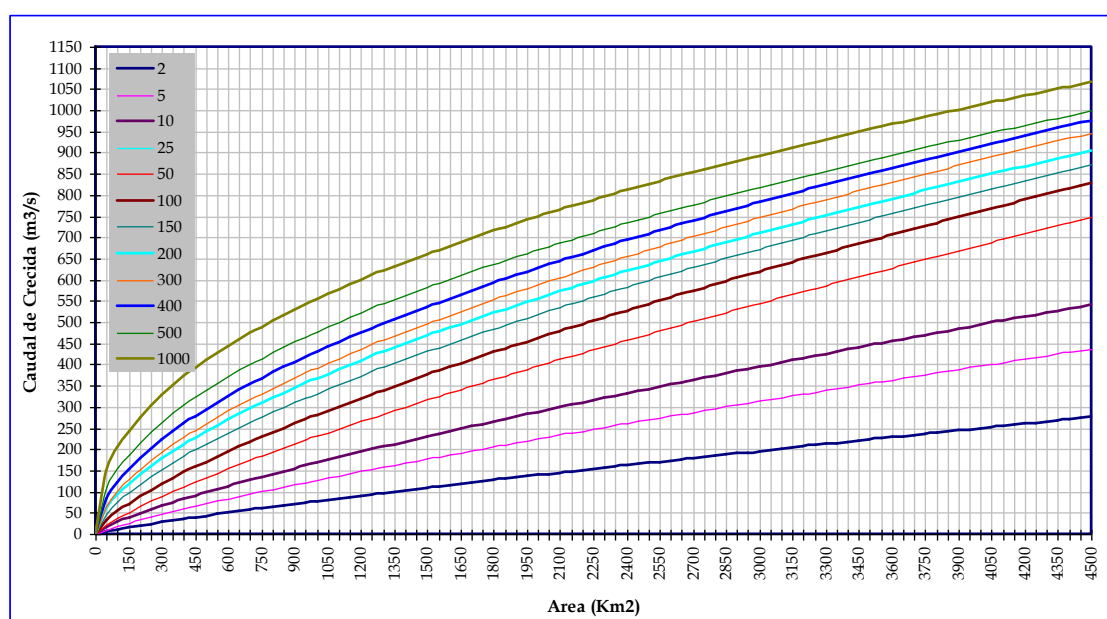
De la Tabla N° 11.2 seleccionamos la ecuación que corresponde para $T = 50$ años y reemplazando el valor del área obtenemos un caudal de crecida igual a 749.87 m³/s.

Tabla N° 11.2
Ecuación de Regionalización de Crecidas – Cuenca Río Coata

T (Años)	a	b	R ²	Ecuación
2	0.22076	0.84758	0.98	$Q_{TR} = 0.22076(A)^{0.84758}$
5	0.44573	0.81908	0.98	$Q_{TR} = 0.44573(A)^{0.81908}$
10	0.76906	0.77943	0.98	$Q_{TR} = 0.76906(A)^{0.77943}$
25	1.00261	0.77200	0.98	$Q_{TR} = 1.00261(A)^{0.77200}$
50	1.04209	0.78191	0.98	$Q_{TR} = 1.04209(A)^{0.78191}$
100	1.94223	0.71995	0.98	$Q_{TR} = 1.94223(A)^{0.71995}$
150	3.94964	0.64188	0.98	$Q_{TR} = 3.94964(A)^{0.64188}$
200	5.76737	0.60099	0.98	$Q_{TR} = 5.76737(A)^{0.60099}$
300	6.91576	0.58488	0.98	$Q_{TR} = 6.91576(A)^{0.58488}$
400	9.94792	0.54523	0.98	$Q_{TR} = 9.94792(A)^{0.54523}$
500	16.27373	0.48947	0.98	$Q_{TR} = 16.27373(A)^{0.48947}$
1,000	27.46085	0.43494	0.98	$Q_{TR} = 27.46085(A)^{0.43494}$

Teniendo en cuenta cada una de las ecuaciones de regionalización, los periodos de retorno y un rango de valores de área de drenaje, se ha elaborado las curvas de caudales de crecidas, las cuales se muestra en la Figura N° 11.2.

Figura N° 11.2
Relación Caudal de Crecida – Área de Drenaje – Periodo de Retorno



En la Tabla N° 11.3 se presenta en forma tabular los valores mostrados en la Figura N° 11.2.

Tabla N° 11.3
Relación Caudal de Crecida – Area de Drenaje – Periodo de Retorno

AREA (Km ²)	PERIODO DE RETORNO (Años)											
	2	5	10	25	50	100	150	200	300	400	500	1000
0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
50	6.1	11.0	16.2	20.5	22.2	32.5	48.7	60.5	68.2	84.0	110.4	150.5
100	10.9	19.4	27.8	35.1	38.2	53.5	75.9	91.8	102.2	122.5	155.0	203.5
150	15.4	27.0	38.2	48.0	52.4	71.6	98.5	117.2	129.6	152.8	189.1	242.8
200	19.7	34.2	47.8	59.9	65.6	88.1	118.5	139.3	153.3	178.8	217.7	275.1
250	23.8	41.0	56.9	71.2	78.1	103.4	136.7	159.3	174.7	201.9	242.8	303.2
300	27.8	47.6	65.6	81.9	90.1	118.0	153.7	177.7	194.4	223.0	265.4	328.2
350	31.6	54.1	73.9	92.3	101.7	131.8	169.6	195.0	212.7	242.6	286.2	350.9
400	35.4	60.3	82.1	102.3	112.8	145.1	184.8	211.2	230.0	260.9	305.6	371.9
450	39.2	66.4	89.9	112.0	123.7	157.9	199.3	226.7	246.4	278.2	323.7	391.5
500	42.8	72.4	97.6	121.5	134.4	170.4	213.3	241.6	262.1	294.6	340.8	409.8
550	46.4	78.3	105.2	130.8	144.8	182.5	226.8	255.8	277.1	310.4	357.1	427.2
600	50.0	84.1	112.5	139.9	154.9	194.3	239.8	269.5	291.6	325.4	372.6	443.7
650	53.5	89.8	119.8	148.8	164.9	205.8	252.4	282.8	305.5	340.0	387.5	459.4
700	56.9	95.4	126.9	157.6	174.8	217.1	264.7	295.7	319.1	354.0	401.9	474.4
750	60.4	100.9	133.9	166.2	184.5	228.1	276.7	308.2	332.2	367.5	415.7	488.9
800	63.8	106.4	140.8	174.7	194.0	239.0	288.4	320.4	345.0	380.7	429.0	502.8
850	67.1	111.8	147.7	183.1	203.4	249.7	299.8	332.3	357.4	393.5	441.9	516.2
900	70.5	117.2	154.4	191.3	212.7	260.1	311.1	343.9	369.6	405.9	454.5	529.2
950	73.8	122.5	161.0	199.5	221.9	270.5	322.0	355.3	381.5	418.1	466.6	541.8
1000	77.0	127.7	167.6	207.5	231.0	280.6	332.8	366.4	393.1	430.0	478.5	554.0
1050	80.3	132.9	174.1	215.5	240.0	290.7	343.4	377.3	404.5	441.5	490.1	565.9
1100	83.5	138.1	180.5	223.4	248.9	300.6	353.8	388.0	415.6	452.9	501.4	577.5
1150	86.7	143.2	186.9	231.2	257.7	310.3	364.1	398.5	426.6	464.0	512.4	588.8
1200	89.9	148.3	193.2	238.9	266.4	320.0	374.1	408.8	437.3	474.9	523.2	599.8
1250	93.1	153.4	199.4	246.6	275.0	329.6	384.1	419.0	447.9	485.6	533.7	610.5
1300	96.2	158.4	205.6	254.1	283.6	339.0	393.9	429.0	458.3	496.1	544.1	621.0
1350	99.3	163.3	211.8	261.7	292.1	348.3	403.5	438.8	468.5	506.4	554.2	631.3
1400	102.5	168.3	217.8	269.1	300.5	357.6	413.1	448.5	478.6	516.5	564.2	641.4
1450	105.5	173.2	223.9	276.5	308.9	366.7	422.5	458.1	488.5	526.5	573.9	651.2
1500	108.6	178.1	229.9	283.8	317.2	375.8	431.8	467.5	498.3	536.3	583.6	660.9
1550	111.7	182.9	235.8	291.1	325.4	384.8	440.9	476.8	507.9	546.0	593.0	670.4
1600	114.7	187.7	241.7	298.3	333.6	393.6	450.0	486.0	517.5	555.5	602.3	679.7
1650	117.8	192.5	247.6	305.5	341.7	402.5	459.0	495.1	526.9	564.9	611.4	688.9
1700	120.8	197.3	253.4	312.6	349.8	411.2	467.9	504.0	536.1	574.2	620.4	697.9
1750	123.8	202.0	259.2	319.7	357.8	419.9	476.7	512.9	545.3	583.4	629.3	706.7
1800	126.8	206.7	265.0	326.7	365.8	428.5	485.4	521.6	554.4	592.4	638.0	715.4
1850	129.8	211.4	270.7	333.7	373.7	437.0	494.0	530.3	563.3	601.3	646.6	724.0
1900	132.7	216.1	276.4	340.7	381.6	445.5	502.5	538.9	572.2	610.1	655.1	732.5
1950	135.7	220.7	282.0	347.6	389.4	453.9	510.9	547.3	580.9	618.8	663.5	740.8
2000	138.6	225.4	287.7	354.4	397.2	462.3	519.3	555.7	589.6	627.4	671.8	749.0
2050	141.6	230.0	293.3	361.2	404.9	470.5	527.6	564.0	598.2	635.9	680.0	757.1
2100	144.5	234.6	298.8	368.0	412.6	478.8	535.8	572.3	606.7	644.3	688.0	765.1
2150	147.4	239.1	304.3	374.8	420.3	487.0	544.0	580.4	615.1	652.6	696.0	772.9
2200	150.3	243.7	309.8	381.5	427.9	495.1	552.1	588.5	623.4	660.9	703.9	780.7
2250	153.2	248.2	315.3	388.1	435.5	503.2	560.1	596.5	631.6	669.0	711.7	788.4
2300	156.1	252.7	320.8	394.8	443.1	511.2	568.1	604.4	639.8	677.1	719.4	795.9
2350	158.9	257.2	326.2	401.4	450.6	519.2	576.0	612.3	647.9	685.1	727.0	803.4
2400	161.8	261.7	331.6	408.0	458.1	527.1	583.8	620.1	655.9	693.0	734.5	810.8
2450	164.6	266.1	337.0	414.5	465.5	535.0	591.6	627.8	663.9	700.8	741.9	818.1
2500	167.5	270.6	342.3	421.0	472.9	542.8	599.3	635.5	671.8	708.6	749.3	825.3
2550	170.3	275.0	347.6	427.5	480.3	550.6	607.0	643.1	679.6	716.3	756.6	832.5
2600	173.1	279.4	352.9	434.0	487.6	558.4	614.6	650.6	687.4	723.9	763.8	839.5
2650	176.0	283.8	358.2	440.4	495.0	566.1	622.1	658.1	695.1	731.5	771.0	846.5
2700	178.8	288.2	363.5	446.8	502.2	573.7	629.6	665.6	702.7	738.9	778.1	853.4
2750	181.6	292.5	368.7	453.2	509.5	581.4	637.1	673.0	710.3	746.4	785.1	860.3
2800	184.4	296.9	373.9	459.5	516.7	589.0	644.5	680.3	717.8	753.7	792.1	867.0
2850	187.2	301.2	379.1	465.9	523.9	596.5	651.9	687.6	725.3	761.1	799.0	873.7
2900	189.9	305.5	384.3	472.2	531.1	604.0	659.2	694.8	732.7	768.3	805.8	880.4
2950	192.7	309.8	389.4	478.4	538.3	611.5	666.5	702.0	740.1	775.5	812.6	886.9
3000	195.5	314.1	394.6	484.7	545.4	619.0	673.7	709.1	747.4	782.6	819.3	893.4
3050	198.2	318.4	399.7	490.9	552.5	626.4	680.9	716.2	754.6	789.7	825.9	899.9
3100	201.0	322.7	404.8	497.1	559.5	633.7	688.0	723.2	761.9	796.8	832.5	906.3
3150	203.7	326.9	409.9	503.3	566.6	641.1	695.1	730.2	769.0	803.7	839.1	912.6

3200	206.5	331.2	414.9	509.4	573.6	648.4	702.2	737.1	776.1	810.7	845.6	918.9
3250	209.2	335.4	420.0	515.6	580.6	655.7	709.2	744.0	783.2	817.5	852.0	925.1
3300	211.9	339.6	425.0	521.7	587.6	662.9	716.2	750.9	790.2	824.4	858.4	931.3
3350	214.6	343.9	430.0	527.8	594.5	670.1	723.1	757.7	797.2	831.2	864.7	937.4
3400	217.3	348.1	435.0	533.8	601.5	677.3	730.1	764.5	804.2	837.9	871.0	943.4
3450	220.1	352.2	440.0	539.9	608.4	684.5	736.9	771.2	811.1	844.6	877.3	949.4
3500	222.8	356.4	445.0	545.9	615.2	691.6	743.8	777.9	817.9	851.3	883.5	955.4
3550	225.4	360.6	449.9	551.9	622.1	698.7	750.6	784.6	824.7	857.9	889.6	961.3
3600	228.1	364.7	454.8	557.9	628.9	705.8	757.3	791.2	831.5	864.4	895.7	967.2
3650	230.8	368.9	459.7	563.9	635.8	712.8	764.1	797.8	838.2	871.0	901.8	973.0
3700	233.5	373.0	464.7	569.9	642.6	719.8	770.8	804.3	844.9	877.4	907.8	978.8
3750	236.2	377.1	469.5	575.8	649.3	726.8	777.4	810.8	851.6	883.9	913.8	984.5
3800	238.8	381.3	474.4	581.7	656.1	733.8	784.1	817.3	858.2	890.3	919.8	990.2
3850	241.5	385.4	479.3	587.6	662.8	740.7	790.7	823.8	864.8	896.7	925.7	995.8
3900	244.2	389.4	484.1	593.5	669.6	747.6	797.3	830.2	871.3	903.0	931.5	1001.4
3950	246.8	393.5	488.9	599.4	676.3	754.5	803.8	836.6	877.9	909.3	937.4	1007.0
4000	249.4	397.6	493.8	605.2	682.9	761.4	810.3	842.9	884.3	915.5	943.1	1012.5
4050	252.1	401.7	498.6	611.0	689.6	768.2	816.8	849.2	890.8	921.8	948.9	1018.0
4100	254.7	405.7	503.4	616.9	696.3	775.0	823.3	855.5	897.2	928.0	954.6	1023.5
4150	257.4	409.8	508.1	622.7	702.9	781.8	829.7	861.8	903.6	934.1	960.3	1028.9
4200	260.0	413.8	512.9	628.4	709.5	788.6	836.1	868.0	909.9	940.2	965.9	1034.2
4250	262.6	417.9	517.7	634.2	716.1	795.4	842.5	874.2	916.3	946.3	971.5	1039.6
4300	265.2	421.9	522.4	640.0	722.7	802.1	848.8	880.4	922.6	952.4	977.1	1044.9
4350	267.8	425.9	527.1	645.7	729.2	808.8	855.2	886.5	928.8	958.4	982.7	1050.2
4400	270.4	429.9	531.8	651.4	735.8	815.5	861.4	892.6	935.0	964.4	988.2	1055.4
4450	273.0	433.9	536.5	657.1	742.3	822.1	867.7	898.7	941.2	970.3	993.7	1060.6
4500	275.6	437.9	541.2	662.8	748.8	828.8	874.0	904.7	947.4	976.3	999.1	1065.8
4550	278.2	441.9	545.9	668.5	755.3	835.4	880.2	910.8	953.6	982.2	1004.5	1070.9
4600	280.8	445.8	550.6	674.2	761.8	842.0	886.4	916.8	959.7	988.0	1009.9	1076.0
4650	283.4	449.8	555.2	679.8	768.3	848.6	892.6	922.8	965.8	993.9	1015.3	1081.1
4700	286.0	453.8	559.9	685.4	774.7	855.1	898.7	928.7	971.8	999.7	1020.6	1086.1
4750	288.6	457.7	564.5	691.1	781.2	861.7	904.8	934.6	977.9	1005.5	1025.9	1091.1
4800	291.1	461.6	569.2	696.7	787.6	868.2	910.9	940.5	983.9	1011.2	1031.2	1096.1
4850	293.7	465.6	573.8	702.3	794.0	874.7	917.0	946.4	989.8	1017.0	1036.4	1101.0
4900	296.3	469.5	578.4	707.9	800.4	881.2	923.1	952.3	995.8	1022.7	1041.6	1106.0
4950	298.8	473.4	583.0	713.4	806.8	887.6	929.1	958.1	1001.7	1028.3	1046.8	1110.9
5000	301.4	477.3	587.6	719.0	813.1	894.1	935.1	963.9	1007.6	1034.0	1052.0	1115.7

CAPITULO 12

Conclusiones y Recomendaciones

12.1. CONCLUSIONES

- 1) Los resultados del presente Reporte corresponden al análisis de las variables meteorológicas de 16 estaciones de observación ubicadas en el ámbito y contorno exterior de la cuenca Coata. El registro meteorológico disponible corresponde al periodo 1967 - 2006.
- 2) La cuenca del río Coata, se compone básicamente de las cuencas de los ríos Cabanillas y Lampa. Para el presente reporte, el análisis de las variables meteorológicas se ha hecho a nivel de la cuenca Coata. El análisis de ofertas y demandas hídricas se ha hecho en forma independiente en las cuencas de los ríos Cabanillas y Lampa.
- 3) El régimen de precipitaciones total anual en la cuenca Coata, describe los valores altos en la parte alta de la cuenca (Quillisani, 870.8 mm) y en el entorno del Lago Titicaca (Puno, 729.2) y en la parte media a baja se registran valores mas bajos (Juliaca, 595.5 mm).
- 4) Las áreas de oferta hídrica de la cuenca del río Cabanillas esta representada por el área de drenaje del río Ichocollo (aguas arriba del embalse Lagunillas) y el área de drenaje del río Verde. En la cuenca del río Lampa, el río del mismo nombre.
- 5) Mediante un análisis de capacidad de embalse se ha determinado el rendimiento hídrico promedio anual en unidades de volumen de las áreas de drenaje del río Ichocollo (159.97 MMC) y del río Verde (201.38 MMC), correspondiente al 75% de duración.
- 6) Se ha determinado la disponibilidad hídrica en la *cabecera de riego* de la cuenca del río Cabanillas mediante simulación de operación del embalse Lagunillas (Capacidad Util 500 MMC), para dos alternativas de operación: para la situación actual el volumen promedio total anual disponible es de 385.82 MMC, y para la situación proyectada es de 415.63 MMC, correspondiente al 75% de duración.
- 7) La disponibilidad hídrica en la cabecera de riego de la cuenca del río Lampa se ha determinado utilizando el modelo hidrológico, estimándose un volumen

promedio total anual de 94.53 MMC, correspondiente al 75% de duración.

- 8) Las demandas hídricas de agua superficial en forma significativa en la cuenca del río Cabanillas es la demanda agrícola y poblacional. En la cuenca del río Lampa solamente la demanda agrícola.
- 9) En la cuenca del río Cabanillas, el área total potencial del proyecto de Irrigación Sistema Integral Lagunillas es de 33,919.83 ha. y el área total bajo riego disponible es de 27,450 ha. En la cuenca del río Lampa el área total bajo riego disponible es de 3,085 ha.
- 10) En la cuenca del río Cabanillas, el volumen de la demanda hídrica total anual para riego requerida es de 506.51 MMC, y la demanda poblacional es de 1.5 m³/s. En la cuenca del río Lampa la demanda agrícola es de 55.70 MMC.
- 11) En la cuenca del río Cabanillas se ha realizado el balance hídrico, verificándose que en la situación actual las ofertas solo satisfacen al 48% del requerimiento de riego, y en situación proyectada (con regulación del río Verde en el embalse Lagunillas) la satisfacción solo alcanza al 74%. En la cuenca del río Lampa, la oferta hídrica solo satisface al 23% de los requerimientos hídricos para riego.
- 12) La cuenca del río Coata, por su ubicación geográfica, sus condiciones climáticas adversas y características particulares de su configuración fisiográfica, esta propensa a los daños por efectos de los eventos extremos de la naturaleza. Tal es el caso de las inundaciones en la faja marginal de los cauces principales de la cuenca a efectos de las fuertes precipitaciones que ocurren en la época húmeda. Asimismo las sequías afecta principalmente el sistema productivo de la región, el cual es la única fuente de subsistencia de la mayor parte de la población existente. Según los episodios históricos de periodos de sequía en la cuenca Coata, en los últimos 40 años se ha producido magnitudes de sequía muy significativos. Según las investigaciones acerca de la frecuencia de sequías, se estima que la magnitud de sequía del periodo febrero 1982 a enero 1984 podría volver a presentarse dentro de 50 años.

12.2. RECOMENDACIONES

- 1) Para elaborar el análisis hidrológico de la cuenca Coata se ha utilizado 16 estaciones meteorológicas, de estas solamente 5 están ubicados dentro de la cuenca Coata. Esta cantidad de observatorios es insuficiente para la magnitud de la cuenca. Se recomienda implementar observatorios meteorológicos en las localidades de Vila Vila, Palca, Lagunillas, Quillisani y Orduña.
- 2) Las fuentes de oferta hídrica son limitadas, por consiguiente, es necesario poner restricciones a la expansión de nuevas áreas para el riego, las mismas que no están consideradas en el plan de implementación de las áreas bajo riego.
- 3) Se observa que el sistema hidrométrico de la cuenca es deficiente. Es conveniente instalar estaciones de aforo en los siguientes lugares: (1) sobre el río Ichocollo, antes del ingreso al embalse Lagunillas, (2) en la presa Lagunillas, debe existir un sistema hidrométrico de mediana precisa del caudal liberado por la operación del embalse Lagunillas, (3) en el río Cabanillas, localizado en la cabecera de riego del Sistema Integral Lagunillas, este punto es muy importante para la distribución del agua a nivel de los bloques de riego en el Sistema Integral Lagunillas. Este punto de aforo debe estar ubicado aguas arriba de la primera captación (bocatoma Cayachira) de agua del río. En la cuenca del río Lampa también es necesario una estación de aforo ubicado inmediatamente aguas arriba de la cabecera de riego.
- 4) Es necesario que los criterios de optimización del recurso hídrico se oriente mayormente a la parte de las demandas y los usuarios. El cambio paulatino de los sistemas de riego tradicional a los tecnificados favorecerá el ahorro de volúmenes de agua, los mismos que podrían ser aprovechados para el riego de mayor cantidad de terrenos de cultivo.
- 5) En el Sistema Integral Lagunillas es necesario la implementación de estructuras de aforo en las canales principales de conducción. Asimismo se debería implementar registros de aforo en forma permanente, y no puntual como sucede actualmente. La información de aforo permite optimizar la operación del sistema de riego, asimismo mejorar la planificación agronómica.
- 6) La información hidrológica que se ha procesado y esta disponible en el presente Reporte Técnico, debería ser utilizada en forma inmediata para una mejor Gestión de la administración del agua dentro del ámbito de la ATDR Juliaca.

CAPITULO 13

Bibliografía

- [1] Aparicio M., F.J., “*Fundamentos de Hidrología de Superficie*”, Editorial Limusa. México, 1996.
- [2] ATDR Juliaca, “*Plan de Cultivo y Riego 2007 - 2008*”, Agencia Agraria San Roman. Juliaca, 2007.
- [3] Gumbel, E.J., “*Les Valeurs Extremes des Distributions Statistiques*”, Annales de L’I.H.P., Tome 5, N° 2 (1935), p. 15-158.
- [4] INRENA, “*Estudio Integral de los Recursos Hídricos en las Cuencas de los Ríos Acari y Yauca*”, Estudio de Hidrología, Intendencia de Recursos Hídricos. Lima, 2003.
- [5] INRENA, “*Evaluación y Ordenamiento de los Recursos Hídricos de la Cuenca del río Pisco*”, Estudio de Hidrología, Intendencia de Recursos Hídricos. Lima, 2003.
- [6] INRENA, “*Estudio Integral de los Recursos Hídricos de la Cuenca del río Ramis*”, Estudio de Hidrología, Intendencia de Recursos Hídricos. ATDR Ramis. Ayaviri, 2003.
- [7] INTECSA, “*Plan Director Global Binacional de Protección – Prevención de Inundaciones y Aprovechamiento de los Recursos del Lago Titicaca, Río Desaguadero, Lago Poopó y Lago Salar de Coipasa (Sistema T.D.P.S.)*”, Convenios ALA/86/03 y ALA/87/03 – Perú –Bolivia, 21 Volúmenes. Puno, 2003.
- [8] McKee TB, Doesken NJ, Kliest J., “*The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales*”, In Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology, 17–22 January, Anaheim, CA. American Meteorological Society: Boston, MA; 179–184. 1993.
- [9] OMM, Organización Meteorológica Mundial, “*Guide to Hydrological Practices*”, Acquisition and Process of Data, Analysis, Prediction and Other Applications, 5ª Edition. 1994.
- [10] Ponce, V.M., “*Engineering Hydrology, Principles and Practices*”, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1989.
- [11] Tancayllo C., E.F., “*Aplicación de un Algoritmo Matemático de Programación Dinámica a la Optimización de Operación de Reservorios del Proyecto Majes – Sigvas*”, Tesis de Grado, Universidad Nacional de San Agustín, Facultad de Ingeniería Civil. Arequipa, 2003.
- [12] Tarboton D.G., “*Rainfall - Runoff Processes*”, Utah Water Research Laboratory, Utah State University. Utah, 2003.
- [13] UNESCO, “*Cooperación sobre el Lago Titicaca*”, Documento Técnico de Hidrología, División de Ciencias de Agua – UNESCO-PHI. 2004.
- [14] Universidad Nacional de Ingeniería, “*Apuntes del Curso de Hidrología Avanzada*”, Facultad de Ingeniería Civil, Sección de Post Grado. Lima, 2000.
- [15] Universidad Nacional Agraria La Molina, “*Apuntes del Curso de Hidrología Avanzada*”, Escuela de Post Grado. La Molina, Lima, 2001.
- [16] U.S.Army Corps of Engineers, “*Statistical Methods in Hydrology*”, Engineering and Design Manual. Davis, California, 1962.
- [17] USGS, “*Regional Analysis of Streamflow Characteristics*”, Techniques of Water Resources Investigations of the United States Geological Survey. Washington, 1982.
- [18] Villón B., M., “*Hidrología Estadística*”, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago – Costa Rica. Junio, 2001.

© **INRENA**

El presente Reporte Técnico ha sido elaborado por encargo de la Dirección de Recursos Hídricos e Irrigaciones de la Intendencia de Recursos Hídricos del INRENA, administrado y supervisado por la Administración Técnica del Distrito de Riego Juliaca.

La edición del presente Reporte se terminó el día de hoy 29 de Enero del 2008, en la Oficina de la ATDR Juliaca, Ciudad de Juliaca, Puno, Perú.