

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

**FACULTAD DE AGRONOMIA Y ZOOTECNIA
CARRERA PROFESIONAL DE AGRONOMIA**



MODELACIÓN HIDROLÓGICA EN LA SUBCUENCA DE PITUMARCA CON LA APLICACIÓN DEL MODELO WEAP (SISTEMA DE EVALUACION Y PLANEACION DE AGUA) CANCHIS - CUSCO

Tesis presentado por los Bachilleres en Ciencias Agrarias: **CESAR TACUSI CALLA** y **ELOY HACHA CHUCTAYA**, Para optar al título profesional de **INGENIERO AGRÓNOMO**.

ASESORES:

Ing. Guido V. Huamán Miranda

Dr. Carlos Jesús Baca García

TESIS FINANCIADO POR:

Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

K'AYRA – CUSCO – PERÚ

2015

CONTENIDO

GLOSARIO DE TERMINOS	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iv
RESUMEN	v
INTRODUCCIÓN	vii
I. PROBLEMA OBJETO DE INVESTIGACION	1
1.1. Identificación del problema objeto de investigación	1
1.2. Problema general.....	1
1.3. Problemas específicos	1
II. OBJETIVOS Y JUSTIFICACION	2
2.1. Objetivo general.....	2
2.2. Objetivos específicos	2
2.3. Justificación	3
2.3.1. Justificación teórica	3
2.3.2. Justificación metodológica.....	3
2.3.3. Justificación práctica	3
III. MARCO TEORICO	4
3.1. Cuenca	4
3.1.1. Delimitación de la cuenca.....	5
3.1.2. Unidades hidrográficas.....	5
3.1.3. Clasificación de cuencas hidrográficas	6
3.1.4. Características geomorfológicas de una cuenca.....	8
3.1.5. Parámetros geomorfológicos de una cuenca	8
3.2. Hidrología	16
3.2.1. Importancia de la hidrología	16
3.2.2. Inventario del recurso hídrico	18
3.2.3. Caudal.....	22
3.2.4. Usos de agua	27
3.3. Información hidrológica.....	29
3.3.1. Precipitación.....	29
3.3.2. Regionalización de datos pluviométricos	36
3.3.3. Escorrentía.....	38

3.3.4. Clima	39
3.3.5. Requerimiento de agua de los cultivos.....	42
3.3.6. Demanda de agua de un proyecto de riego	43
3.4. Modelación hidrológica	44
3.4.1. Modelo	45
3.4.2. Modelo hidrológico	45
3.4.3. Tipos de modelos hidrológicos	46
3.5. Modelo WEAP (Sistema de Evaluación y Planeación de Agua)	49
3.5.1. Descripción del modelo	49
3.5.2. Uso de WEAP	50
3.5.3. Aplicaciones de WEAP	50
3.5.4. Datos requeridos para la aplicación de WEAP	51
3.6. Proceso de aplicación de WEAP	52
3.6.1. Definición del estudio	52
3.6.2. Búsqueda de información.....	52
3.6.3. Desarrollo del modelo	53
3.6.4. Calibración	64
3.6.5. Aspectos metodológicos de la calibración del modelo	64
3.6.6. Aspectos prácticos de la calibración del modelo	65
3.6.7. Creación de escenarios.....	66
3.6.8. Balance Hídrico	66
3.7. Sistema de información geográfica (SIG)	67
3.7.1. Definición de SIG	67
3.7.2. Objetivos del SIG	67
3.7.3. Funciones del SIG.....	68
3.8. Sistema de posicionamiento global (GPS)	71
3.9. Hydraccess	72
3.10. Sistema de información hidrológica (SIH)	73
IV. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	74
4.1. Aspectos generales de la subcuenca Pitumarca	74
4.1.1. Ubicación.....	74
4.1.2. Extensión de la subcuenca Pitumarca.....	76
4.1.3. Accesibilidad	76
4.2. Materiales e instrumentos.....	79

4.2.1. Información cartográfica	79
4.2.2. Equipos de medición	79
4.2.3. Software a utilizar	79
4.3. Metodología para la determinación de los parámetros geomorfológicos, inventario de fuentes hídricas e infraestructura de riego y agua potable.	80
4.3.1. Determinación de los parámetros geomorfológicos.....	80
4.3.2. Inventario de fuentes hídricas	85
4.4. Metodología para el cálculo de datos hidrometeorológicos	93
4.4.1. Estaciones meteorológicas.....	93
4.4.2. Vector regional	93
4.4.3. Variables climáticas.....	94
4.4.4. Análisis de consistencia de datos meteorológicos	94
4.4.5. Análisis gráfico de la precipitación por estaciones	96
4.4.6. Completación y extensión de datos meteorológicos faltantes	97
4.4.7. Regionalización de datos meteorológicos para la subcuenca	97
4.5. Metodología para el proceso de modelación hidrológico y simulación de escenarios	99
4.5.1. Incorporación de datos al modelo de simulación hidrológica WEAP	99
4.5.2. Generación de caudales para el escenario actual.....	103
4.5.3. Calibración del modelo de simulación hidrológica WEAP	104
4.5.4. Balance hídrico para la subcuenca de Pitumarca	105
4.5.5. Generación de escenarios futuros.....	105
V. RESULTADOS Y DISCUSIONES	107
5.1. Parámetros geomorfológicos, inventario de fuentes hídricas e infraestructuras de riego y agua potable.....	107
5.1.1. Determinación de parámetros geomorfológicos	107
5.1.2. Inventario de fuentes Hídricas	120
5.1.3. Inventario de infraestructura de riego y agua potable.....	126
5.2. Los parámetros hidrometeorológicos de la subcuenca Pitumarca	131
5.2.1. Estaciones meteorológicas.....	131
5.2.2. Vector regional	133
5.2.3. Variables climáticas.....	134
5.2.4. Análisis de consistencia de datos meteorológicos	136
5.2.5. Completación y extensión de datos meteorológicos faltantes	143

5.2.6. Regionalización de datos meteorológicos para la subcuenca.....	145
5.3. Modelación hidrológica	152
5.3.1. Proceso de modelación hidrológica.....	152
5.3.2. Incorporación de datos al modelo de simulación hidrológica WEAP ..	152
5.3.3. Calibración del modelo WEAP para la subcuenca	167
5.3.4. Generación de escenarios futuros.....	173
5.3.5. Escenario 1: Disminución de áreas de humedales andinos	173
5.3.6. Escenario 2: Aumento de la temperatura	178
CONCLUSIONES	185
RECOMENDACIONES	187
BIBLIOGRAFIA	188
ANEXOS.....	191

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 01. Unidades hidrográficas.	6
Cuadro 02. Clases de valores de compacidad.	10
Cuadro 03. Clases de valores de forma.	10
Cuadro 04. Clases de densidad de drenaje.	14
Cuadro 05. Datos requeridos para la elaboración del modelo WEAP.	51
Cuadro 06. Parámetros de uso del suelo.	55
Cuadro 07. Parámetros del clima e irrigación.	56
Cuadro 08. Coeficiente de cultivo (kc).	61
Cuadro 09. Comunidades y población en la subcuenca de Pitumarca.	75
Cuadro 10. Escenarios de cambio climático.	106
Cuadro 11. Cuadro del rectángulo equivalente.	110
Cuadro 12. Cuadro de polígono de frecuencia de altitudes.	112
Cuadro 13. Cálculo para la curva hipsométrica y frecuencia de altitudes.	113
Cuadro 14. Distribución de porcentajes de áreas parciales.	114
Cuadro 15. Clasificación de orden del río.	115
Cuadro 16. Resumen de cálculos de los parámetros geomorfológicas.	117
Cuadro 17. Inventario de manantes en la subcuenca Pitumarca.	120
Cuadro 18. Datos de la medición del caudal en el río Pitumarca.	122
Cuadro 19. Inventario de ríos/ riachuelos de la subcuenca Pitumarca.	123
Cuadro 20. Inventario de lagunas de la subcuenca Pitumarca.	125
Cuadro 21. Inventario de infraestructuras de riego - subcuenca Pitumarca.	126
Cuadro 22. Inventario de infraestructura de consumo humano de la subcuenca.	128
Cuadro 23. Estaciones meteorológicas tomadas en cuenta para el estudio.	131
Cuadro 24. Resultados del vector regional.	133
Cuadro 25. Promedio de la precipitación media mensual.	134
Cuadro 26. Temperatura media mensual.	135
Cuadro 27. Humedad relativa media mensual.	135
Cuadro 28. Velocidad de Viento.	136
Cuadro 29. Análisis estadístico de saltos - estación Pomacanchi.	139
Cuadro 30. Análisis estadístico de saltos - estación Sicuani.	140
Cuadro 31. Análisis estadístico de saltos - estación Yauri.	141
Cuadro 32. Análisis estadístico de tendencia de la estación Pomacanchi.	142

Cuadro 33. Análisis estadístico de tendencia de la estación Sicuani.	142
Cuadro 34. Análisis estadístico de tendencia de la estación Yauri.	143
Cuadro 35. Registro de datos pluviométricos completados.	144
Cuadro 36. Centroide y altitud media de las microcuencas.	145
Cuadro 37. Ecuación de regresión lineal de precipitación vs altitud.....	146
Cuadro 38. Precipitación mensual regionalizada por microcuencas.	147
Cuadro 39. Regionalización de temperatura – altitud vs posición geográfica.	148
Cuadro 40. Regionalización mensual de la Humedad Relativa.....	149
Cuadro 41. Regionalización velocidad de viento por regresión lineal.	150
Cuadro 42. Resumen de la regionalización de datos hidroclimatológicos.....	151
Cuadro 43. Área por microcuencas de la subcuenca Pitumarca.....	152
Cuadro 44. Cobertura vegetal - microcuenca Chillcamayo.	155
Cuadro 45. Cobertura vegetal - microcuenca Yanamayo.....	155
Cuadro 46. Cobertura vegetal - microcuenca Pitumarca.....	155
Cuadro 47. Cobertura vegetal en porcentaje.....	156
Cuadro 48. Datos de entrada de uso de suelo al WEAP.....	157
Cuadro 49. Datos de entrada de uso de suelo por microcuenca al WEAP.	157
Cuadro 50. Parámetros de clima de la microcuenca Chilcamayo.	158
Cuadro 51. Parámetros de clima de la microcuenca Yanamayo.....	158
Cuadro 52. Parámetros de clima de la microcuenca Pitumarca.....	158
Cuadro 53. Radiación extraterrestre diaria y N° de horas de sol máxima prob... 159	159
Cuadro 54. Cálculo de la evapotranspiración potencial - Hargreaves III Mod.	160
Cuadro 55. Cálculo del requerimiento de agua para uso agrícola - 999.33 ha. ..	161
Cuadro 56. Demanda agrícola mensual.....	162
Cuadro 57. Requerimiento de agua de las principales especies pecuarias.	163
Cuadro 58. Requerimiento de agua para uso pecuaria en la subcuenca.....	163
Cuadro 59. Demanda pecuaria mensual.....	164
Cuadro 60. Requerimiento de agua diaria para uso doméstico.....	165
Cuadro 61. Demanda poblacional mensual.....	165
Cuadro 62. Datos de aforo mensual año 2010.....	167
Cuadro 63. Caudales medios mensuales generados y caudales aforados.....	168
Cuadro 64. Caudal medio mensual (m ³ /s) por microcuencas.	170
Cuadro 65. Demanda hídrica de la subcuenca Pitumarca.	171
Cuadro 66. Balance hídrico en la subcuenca Pitumarca.....	172

Cuadro 67. Escenario 1 para la microcuenca Chillcamayo.	174
Cuadro 68. Escenario 1 para la microcuenca Yanamayo.	174
Cuadro 69. Escenario 1 para la microcuenca Pitumarca.	174
Cuadro 70. Caudales generados medio mensual m ³ /s del escenario 1.	176
Cuadro 71. Balance hídrico mensual, escenario 1.	177
Cuadro 72. Cambio climático para el escenario 2.	178
Cuadro 73. Escenario 2 en la microcuenca chilcamayo.	179
Cuadro 74. Escenario 2 en la microcuenca Yanamayo.	179
Cuadro 75. Escenario 2 en la microcuenca Pitumarca.	179
Cuadro 76. Escenario 2 mayor demanda de agua mensual para los cultivos.	180
Cuadro 77. Caudales generados medio mensuales (m ³ /s) del escenario 2.	181
Cuadro 78. Balance hídrico del escenario 2 en la subcuenca Pitumarca.	182
Cuadro 79. Resumen de escenario actual y escenarios futuros.	183

ÍNDICE DE GRAFICAS

Grafica 01. Rectángulo equivalente de la subcuenca de Pitumarca	111
Grafica 02. Polígono de frecuencias de altitudes.	112
Grafica 03. Curva hipsométrica y mediana de la altitud.	113
Grafica 04. Altitud media de la subcuenca.	114
Gráfica 05. Sección y caudal laminaria del rio Pitumarca.	123
Grafica 06. Índices del vector vs las estaciones en análisis.	133
Gráfica 07. Análisis de histograma de precipitación media mensual.	134
Gráfica 08. Histograma de datos originales-estación Pomacanchi.	137
Gráfica 09. Histograma de datos originales - estación Sicuani.	137
Gráfica 10. Histograma de datos originales estación Yauri.	137
Grafica 11. Análisis de doble masa.	138
Grafica 12. Análisis de saltos de la estación Pomacanchi.	139
Grafica 13. Análisis de saltos - estación Sicuani.	140
Grafica 14. Análisis de saltos - estación Yauri	140
Grafica 15. Análisis de tendencia de la estación Pomacanchi.	141
Grafica 16. Análisis de tendencia de la estación Sicuani.	142
Grafica 17. Análisis de tendencia de la estación Yauri.	143
Grafica 18. Regresión lineal de precipitación vs altitud histórica.	146

Grafica 19. Variación mensual de precipitación regionalizada.	147
Grafica 20. Variación de temperatura media mensual regionalizada.	148
Grafica 21. Distribución de la humedad relativa mensual.	149
Grafica 22. Distribución de velocidad de viento en la subcuenca Pitumarca.	150
Grafica 23. Cobertura vegetal por microcuencas.	156
Grafica 24. Demanda y oferta de agua en el modelo WEAP.	166
Grafica 25. Comparación de caudales generados vs aforados.	169
Gráfica 26. Caudal medio mensual (m ³ /s) por microcuencas.	170
Grafica 27. Balance hídrico en la subcuenca Pitumarca.	172
Gráfica 28. Caudales generados medio mensuales (m ³ /s), escenario 1.	176
Grafica 29. Balance hídrico del escenario 1 en la subcuenca Pitumarca.	177
Gráfica 30. Caudales generados medio mensuales (m ³ /s) del escenario 2.	181
Grafica 31. Balance hídrico del escenario 2 en la subcuenca Pitumarca.	182
Grafica 32. Resumen de escenario actual y escenarios futuros.	183

INDICE DE FOTOGRAFÍAS

Foto 01. Vista panorámica del distrito de Checacupe.	76
Foto 02. Aforo por el método volumétrico del manante Ccacasique, Pitumarca. ..	87
Foto 03. Aforo del manante Puchuylayocpucjio, Pachaschani Osefina.	87
Foto 04. Selección del lugar de aforo. Rio Sequeñanamayu. Sallani.	89
Foto 05. Medición de la longitud. Rio Sequeñanamayu. Sallani.	89
Foto 06. Medida de los tirantes. Rio Sequeñanamayu. Sallani.	89
Foto 07. Correntómetro modelo SEBA UNIVERSAL F1.	91
Foto 08. Aforo del rio Pitumarca en la desembocadura.	91
Foto 09. Aforo del rio Pitumarca.	91
Foto 10. Mapeo en campo de la cobertura vegetal. Chillca Pitumarca.	100
Foto 11. Vista panorámica del glaciar Ausangate, comunidad de Chillca.	100
Foto 12. Laguna Quelhuaccocha, sector Chimpachilca – Chillca.	124
Foto 13. Bocatoma de canal de riego comunidad de llave.	130
Foto 14. Captación de agua entubada, sector Japura Suyo – Pampachiri.	130
Foto 15. Reservorio de agua potable comunidad de Uchullocllo.	130
Foto 16. Vista panorámica de la microcuenca de Chillcamayo.	153
Foto 17. Vista panorámica de la microcuenca Yanamayo.	153

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 01. Diferencia entre modelacion y simulación.....	44
Figura 02. Esquema de clasificación de modelos hidrológicos.	45
Figura 03. Ecuación del modelo de los dos baldes.	56
Figura 04. Componentes de la zona no saturada.....	59

INDICE DE MAPAS

Mapa 01. Ubicación de la subcuenca de Pitumarca.....	77
Mapa 02. Delimitación de la subcuenca Pitumarca en la imagen Lanzad.....	78
Mapa 03. Mapeo de los humedales andinos en la microcuenca Chillcamayo.. ..	101
Mapa 04. Elementos geomorfometricos de superficie y dist. de subcuenca.	118
Mapa 05. Orden de ramificación de río según Strahler.	119
Mapa 06. Ubicación de las estaciones meteorológicas.....	132
Mapa 07. Microcuenca de la subcuenca de Pitumarca.	154
Mapa 08. Escenario 1. Disminución de áreas de humedales andinos.	175

GLOSARIO DE TERMINOS

Para una mayor comprensión en el proceso y desarrollo del presente trabajo de investigación, es necesaria la explicación de algunos términos o conceptos básicos:

WEAP: (Sistema de Evaluación y Planeación de Agua) es un software computacional para la planificación integrada de recursos hídricos.

SIG: (sistemas de información geográfica) software para definir bases informatizadas de datos del componente espacial.

HYDRACCESS: es un software que permite importar y guardar varios tipos de datos hidrológicos, así como el cálculo de los aforos con molinete y análisis de vector regional

SIH: (sistema de información hidrológica) es un software de almacenamiento, gestión, análisis de datos meteorológicos de la información relacionada con los recursos hídricos.

RBC: conocido como aforador RBC, fue desarrollado por Replogle, Bos y Clemmens (1984), para la medición de caudales.

MODELACIÓN HIDROLÓGICA: La modelación hidrológica se define como el uso de modelos matemáticos conceptuales para la simulación de los procesos de transporte de agua que ocurren dentro de una cuenca.

SIMULACIÓN: consisten en el trabajo con el computador y más específicamente, en el trabajo con o el desarrollo de software para, justamente, modelar y simular.

DEM: (Modelo Elevación Digital) o modelo basado en celdas, DEM es una representación gráfica de una superficie continua, usualmente referida como una superficie de la tierra.

SENAMHI: (servicio nacional de meteorología e hidrología) entidad encargada de los registros de datos meteorológico e hidrológicos.

DEDICATORIA

En primer lugar a Dios quien me dio la fe, la fortaleza, la salud y la esperanza para terminar este trabajo, el que en todo momento está conmigo ayudándome en mi vida cotidiana.

A mi padre Manuel Hacha C. con mucho amor y eterna gratitud, que mientras vivió fue un apoyo incondicional en mis estudios y estuvo atento de mis estudios y ha compartido mis logros profesionales y personales.

A mi madre Dominga Chuctaya C. por sus incansables sacrificios en mi formación profesional y la culminación de mi carrera profesional, por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor.

A mis queridos hermanos Simón, Igidio, Alejandrina, Wilber y Ruben, a mi hermana Mercedes por su apoyo y sacrificio infaltable en los momentos más difíciles y por sus consejos oportunos que siempre contribuyeron ejemplos y estímulo para seguir adelante.

A mi esposa Maribel y a mi adorada hija Lineth, quienes estuvieron a mi lado siempre apoyándome.

Eloy

DEDICATORIA

A Dios por iluminarme y ampararme durante todo los días de mi vida, a quien ha forjado mi camino, aunque fueran muchos los tropiezos, a él mi mayor agradecimiento por permitirme llegar este momento. Quien me ha dirigido por el sendero correcto, el que en todo momento está conmigo ayudándome a aprender de mis errores. Eres quien guía el destino de mi vida. Te lo agradezco, padre celestial.

A mis padres por el apoyo constante quienes son el motor de mi profesión y muchos de los logros se los debo a ustedes.

A mi padre Félix Tacusi C., por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad, me formaron con ciertas libertades, pero al final me sirvió para ser responsable, quien me motivo con sus alegrías siempre tenías una sonrisa que ofrecer a tu familia.

A mi madre Marcelina Calla Esperilla, por su apoyo y sacrificio a quien lo estimo mucho y siempre lo llevare en mi corazón quien me cuidó y Han pasado muchos años desde que nací. Desde ese momento ha buscado maneras de ofrecerme lo mejor.

A mis hermanos, Luis, María, Carmen Rosa, Juan, Mario, Carlos, por su apoyo, colaboración que me brindaron y unidos siempre por difíciles que fueran los tiempos. Parece como si nunca hubiéramos estado en paz, siempre batallando por cualquier cuestión, sin embargo siempre llegaron los momentos en los que nuestra lucha por tener una profesión. Les agradezco no solo por estar presentes, sino por los grandes deseos que siempre me han causado

A mis tíos Anselm, Paulina y a mis primos por las ayudas que me han brindado han formado bases de gran importancia, ahora soy consciente de eso... gracias.

César

AGRADECIMIENTO

En cumplimiento a una de nuestras metas quiero elevarle agradecimiento principalmente a Dios por ser la esperanza, el camino y la fortaleza.

Expresamos nuestro sincero agradecimiento a la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, por la formación académica en especial a la Facultad de Agronomía y Zootecnia.

Agradecemos a todos los docentes de la facultad de Agronomía y Zootecnia quienes supieron transmitirnos sus valiosos conocimientos impartidos en nuestra formación profesional y en especial a los docentes de la carrera profesional de Agronomía.

A los asesores: Ing° Agr. M.Sc. Guido V. Huamán Miranda, Dr. Carlos Jesús Baca García y al Ing° Percy Rosales Huamán, por sus orientaciones, confianza y su valioso tiempo dedicado en el asesoramiento y culminación del presente trabajo de investigación.

A los dictaminantes Ing. M.Sc. Roger Romero de la Cuba, Dr. Felix Hurtado Huaman, Por brindarnos sus valiosos consejos, observaciones y sugerencias efectuadas que contribuyeron para la mejor presentación del presente trabajo de investigación.

También se agradece a todos los compañeros del proyecto FOT (fortalecimiento del desarrollo de capacidades en ordenamiento territorial en la región del Cusco), que contribuyeron en el inventario de fuentes hídricas, por el apoyo incondicional y la amistad que brindaron a lo largo del trabajo de investigación.

Eloy, Cesar.

RESUMEN

El presente trabajo denominado "Modelación Hidrológica en la subcuenca de Pitumarca con la aplicación del modelo WEAP (Sistema de Evaluación y Planeación de Agua) Canchis- Cusco", se ha desarrollado en Marzo del año 2010 con recojo de información en campo y finalizado en Diciembre del año 2014; Que se encuentra ubicado geográficamente en latitud sur $13^{\circ} 92' 14.4''$, longitud oeste $71^{\circ} 25' 30.2''$, y a una altitud promedio de 4651.405 m.s.n.m., políticamente en el departamento de Cusco, Provincia de Canchis, Distrito de Pitumarca y Checacupe, que abarca un área de 689.347 km², y un perímetro de 165.898 km.

El proyecto de investigación tiene como objetivo general determinar el comportamiento hidrológico en la subcuenca de Pitumarca mediante el manejo del modelo de simulación hidrológica WEAP (Sistema de Evaluación y Planeación de Agua). Para la obtención de los datos de los escenarios del balance hídrico actual y futuro (año 2035), se realizaron cálculos propios de una evaluación hidrológica como características geomorfológicas de la subcuenca, análisis de los datos meteorológicos, regionalización de datos climáticos para nuestra área de estudio, datos que fueron necesarios para la generación de caudales con el modelo hidrológico WEAP, debido a que la subcuenca no cuenta con datos registrados de caudales, de la misma forma se determinó la demanda hídrica total considerando demanda poblacional, pecuario y agrícola de los que dependerán los cambios futuros de la demanda en la subcuenca.

Como resultado del trabajo de investigación se determinó los principales parámetros morfométricos de la subcuenca que indican un área de 689.347 km², longitud axial 48.730 km., ancho promedio 14.146 km., coeficiente de compacidad 1.782, dando la forma de la subcuenca de oval oblonga a rectangular oblonga, factor forma de 0.29 indica una clase de forma ligeramente achatada y la subcuenca es menos propensa a tener lluvias intensas. Los valores hidromorfométricos indican que el grado de ramificación de los cursos de agua son de 4° orden; y la densidad de drenaje es 0.81 km/km² el mismo que se considera baja, la respuesta de la subcuenca frente a una tormenta será lenta, evacuando el agua en más tiempo.

El inventario de fuentes hídricas da como resultado un total de 57 manantiales, 31 río/ riachuelos y 23 lagunas, para ello se realizaron las mediciones de caudal por los métodos de sección velocidad, volumétrico, conductor aforador y correntómetro. Además el inventario de las infraestructuras hidráulicas da un total de 40 infraestructuras de riego (gravedad y presurizado), 38 infraestructuras de agua potable para consumo humano, de los cuales 9 infraestructuras de riego están en la comunidad de Ccapacchapi y Pampachiri.

Los datos climatológicos para el cálculo han sido regionalizados tomando en cuenta las estaciones de Pomacanchi, Sicuani y Yauri con un registro históricos de 1992 al 2011, la subcuenca ha sido dividido en microcuencas las cuales son: microcuenca de Chillcamayo, Yanamayo y Pitumarca, para cada una estas microcuencas se ha regionalizado obteniendo las precipitaciones total anual de 1011.30 mm., para la microcuenca de Chillcamayo, 1000.03 mm., microcuenca de Yanamayo y 918.73 mm., microcuenca de Pitumarca.

Los resultados obtenidos en el balance hídrico con el modelo hidrológico WEAP, para el escenario actual y futuro (año 2035). La subcuenca de Pitumarca tiene una disponibilidad hídrica de 122.208 m³/s, y una demanda (poblacional, pecuaria y agrícola) de 6.158 m³/s para el escenario actual, con un superávit hídrico de 116.050 m³/s y no hay déficit hídrico durante todo el año, para el escenario futuro con disminución de área de humedales andinos en un 50%, se tiene una oferta hídrica de 117.202 m³/s, y un superávit hídrico de 111.044 m³/s, y una reducción en 0.251 m³/s al año, esto debido a que los humedales andinos almacenan y retienen agua en las épocas de lluvias y retardan el escurrimiento del flujo superficial de agua. Para el escenario futuro con aumento de temperatura se tiene una oferta hídrica de 118.747 m³/s, y un superávit hídrico de 111.159 m³/s, y una reducción en 0.173 m³/s al año, esto indica que al aumentar la temperatura aumentara la evaporación del agua y la evapotranspiración de los cultivos.

Finalizando que no existe déficit hídrico actual y futuro en la subcuenca de Pitumarca.

INTRODUCCIÓN

En el presente estudio de investigación se realizó el proceso de modelación hidrológica en la subcuenca de Pitumarca que cuenta con una superficie de 689.347 km², ubicado en los distritos de Pitumarca y Checacupe de la provincia de Canchis, la subcuenca se caracteriza por la disponibilidad de recursos naturales, especialmente agua y pastizales pero con muchas limitaciones referidas a lo accidentado de su territorio y los fuertes procesos de erosión que afectan al escaso recurso suelo.

La cantidad de recursos hídricos disponibles en la subcuenca es variable en cuanto a su importancia que puede limitar el desarrollo de la vida y también incidir en el desarrollo de actividades productivas tales como agricultura y ganadería, por ello, resulta fundamental el análisis de cuál será la disponibilidad futura de este vital elemento.

Por tal motivo en el presente estudio de investigación intitulado **“MODELACION HIDROLOGICO EN LA SUBCUENCA DE PITUMARCA CON LA APLICACIÓN DEL MODELO WEAP (SISTEMA DE EVALUACION Y PLANEACION DE AGUA) CANCHIS – CUSCO”** se realizó con el inventario de fuentes hídricas, infraestructuras de riego e infraestructuras de agua potable, realizado en el año 2010, información necesaria para comprender la disponibilidad futura, en términos de vulnerabilidad del sector de los recursos hídricos en la subcuenca, con el fin de contribuir al proceso de toma de decisiones.

Por ello se aplicó el modelo de simulación hidrológica WEAP generado por el Instituto del Medio Ambiente SEI (Stockholm Environment Institute), conocido como Water Evaluation And Planning System o simplemente WEAP es de uso comercial y libre, este modelo fue calibrado y validado a partir de datos históricos mensuales representativos de la cuenca, los parámetros calibrados y validados fueron utilizados para simular la disponibilidad futura del recurso hídrico a base de escenarios futuros de las variables meteorológicas de entrada (precipitación y temperatura) necesarias para la operación del modelo.

De todo esto se puede decir que el modelo de simulación hidrológica, es un medio relativamente de bajo costo, utilizado para evaluar los efectos de corto y largo plazo de las actividades humanas sobre los procesos hidrológicos en la subcuenca, por tal motivo el recurso hídrico pueda ser utilizado y gestionado de una manera equitativa por las instituciones y proyectistas para garantizar que este líquido sea utilizado para avanzar en las metas de desarrollo social y económico dentro de la subcuenca.

Finalmente se generó las simulaciones hidrológicas, con la disminución de área de humedales andinos y aumento de temperatura a futuro en la subcuenca de Pitumarca.

Los autores.

I. PROBLEMA OBJETO DE INVESTIGACION

1.1. Identificación del problema objeto de investigación

El manejo del recurso hídrico en la subcuenca de Pitumarca está supeditado en muchas ocasiones a las necesidades de abastecimiento de agua sin previo análisis de la máxima eficiencia, también se presenta el incremento del desarrollo comercial, poblacional y a la vez las altas condiciones de vulnerabilidad en la zona de estudio, haciendo notoria en la administración y control del recurso hídrico, por lo que el estudio y la caracterización de la subcuenca son necesarios para la planificación en el manejo del recurso hídrico.

En la subcuenca de Pitumarca se desconoce la disponibilidad y estado actual del recurso hídrico, lo cual limita una planificación prospectiva frente a una alta demanda del recurso hídrico.

1.2. Problema general

La subcuenca de Pitumarca no cuenta con el estudio y aplicación del modelo de simulación hidrológica WEAP (Sistema de Evaluación y Planeación de Agua).

1.3. Problemas específicos

- 1.3.1. La subcuenca de Pitumarca no cuenta con estudios geomorfológicos, inventario de fuentes hídricas e infraestructura de riego y agua potable que son necesarios para el modelo de simulación hidrológica.
- 1.3.2. La información hidrometeorológica en la subcuenca en estudio no está determinado para realizar la modelación hidrológica.
- 1.3.3. La subcuenca de Pitumarca no cuenta con un balance hídrico y tampoco con datos proyectados a escenarios futuros.

II. OBJETIVOS Y JUSTIFICACION

2.1. Objetivo general

Determinar el comportamiento hidrológico en la subcuenca de Pitumarca, mediante el manejo del modelo de simulación hidrológica WEAP (Sistema de Evaluación y Planeación de Agua).

2.2. Objetivos específicos

- 2.2.1. Determinar las características geomorfológicas de la subcuenca y realizar el inventario de las fuentes hídricas e infraestructura de riego y agua potable.
- 2.2.2. Establecer la información hidrometeorológica con la regionalización de datos climático para la subcuenca de Pitumarca.
- 2.2.3. Realizar modelación hidrológica en la subcuenca de Pitumarca en su "situación actual y efectuar simulaciones con el modelo WEAP.

2.3. Justificación

2.3.1. Justificación teórica

Es de importancia realizar una simulación del comportamiento hidrológico de la subcuenca Pitumarca, a partir del resultado del análisis de los datos obtenidos e información histórica, considerando que el área de estudio está comprendida dentro de la cuenca del Vilcanota, por tanto la aplicación de la simulación hidrológica es una herramienta que permite pronosticar a futuro los cambios en la disponibilidad de agua, en función a los escenarios de la variación de humedales andinos e incremento de temperatura.

El presente trabajo de investigación permitirá conocer el balance hidrológico de la subcuenca para el mejor aprovechamiento de los sistemas de riego, consumo poblacional y pecuario.

2.3.2. Justificación metodológica

Los modelos hidrológicos son herramientas que pueden ayudar a la planificación, explicando el comportamiento de la subcuenca en la actualidad y en el futuro, en este sentido WEAP es una herramienta de modelación, capaz de integrar ofertas de agua generadas por procesos hidrológicos a nivel de la subcuenca, con la gestión del agua regidas por demandas y necesidades ambientales. WEAP presenta ventajas sobre otros modelos de simulación hidrológica, pudiendo integrar la oferta y demanda de agua en la subcuenca, además de su capacidad de trabajar para escenarios futuros, como el escenario de cambio climático (incremento de temperatura), lo que permitiría saber el comportamiento de la subcuenca en estudio.

2.3.3. Justificación práctica

Debido a la ubicación geográfica de la subcuenca, la información de los recursos hídricos son insuficientes, esto hace necesaria la planificación de recursos a futuro para lograr satisfacer la demanda de agua de forma satisfactoria en la subcuenca en estudio.

III. MARCO TEORICO

3.1. Cuenca

Chereque M., W. (1990): Es el área de terreno donde todas las aguas caídas por precipitación se unen para formar un solo curso de agua, cada curso de agua tiene una cuenca bien definida para cada punto de su recorrido.

Guevara C., V. (2008): Es un área natural en el cual el agua que cae por precipitación se une para formar un curso de agua principal o colector común, que sirve de eje de la zona.

De forma más técnica se puede definir una cuenca: “como el área drenada por un río y sus afluentes, limitada por la divisoria de sus aguas, hasta un punto donde entrega sus aguas a un colector mayor”

Guevara P., E. (1997): Una cuenca hidrográfica es una unidad física bien definida y comprende toda el área que aporta a un sistema de drenaje común en un punto, a partir del cual hacia aguas arriba, la cuenca es bordeada por una divisoria o línea de separación de la precipitación (divortium aquarum) que cae sobre las cuencas vecinas.

Monsalve S., G. (1999): Una cuenca hidrográfica es un área definida por una divisoria topográfica de aguas, drenada por un curso de agua o un sistema conectado de cursos de agua tal que todo el caudal afluente es descargado a través de una salida simple.

Se llama cuenca hidrográfica o cuenca receptora de un río en un punto dado, al área limitada por el divortium aquarum que define un contorno en cuyo interior el agua precipitada se acumula en ese punto del río. Si el terreno es impermeable los límites de la cuenca están definidos topográficamente por la curva que separan las vertientes.

Vásquez V., A. (1998): Es el área natural o unidad de territorio, delimitada por una divisoria topográfica (*divortium aquarum*), que capta la precipitación y drena el agua de escorrentía hasta un colector común, denominado río principal.

3.1.1. Delimitación de la cuenca

Chereque Moran., W. (1990): La delimitación de una cuenca se hace sobre un plano a curvas de nivel, siguiendo las líneas del *divortium aquarum* o líneas de las altas cumbres con el fin de establecer grupos de cuencas hidrológicamente semejantes.

Villon B., M. (2002): La delimitación de una cuenca, se hace sobre un plano o mapa a curvas de nivel, siguiendo las líneas del *divortium aquarum* (*parteaguas*), la cual es una línea imaginaria, que divide a las cuencas adyacentes y distribuye el escurrimiento originado por la precipitación, que en cada sistema de corriente, fluye hacia el punto de salida de la cuenca. El *parteaguas* está formado por los puntos de mayor nivel topográfico y cruza las corrientes en los puntos de salida, llamado estación de aforo.

3.1.2. Unidades hidrográficas

Vásquez V., A. (1998): Un tema de permanente discusión es el referente a los conceptos de cuenca, subcuenca y microcuenca. Por consideraciones prácticas se puede dar una definición para trabajos de manejo de cuencas rangos de áreas para cada unidad hidrográfica.

Los rangos de área se determinaran en función del grado de ramificación de los cursos de agua, corresponden a microcuencas los cursos de agua de 1º, 2º y 3º; a subcuencas los cursos los cursos de agua de 4º al 5º orden, y a cuencas los recursos de agua de 6º o más orden.

El número de orden de un curso de agua o río se inicia a partir del cauce más pequeño de los límites del "*divortium aquarum*" o divisoria de agua, tal como se observa en el cuadro 01.

Cuadro 01. Unidades hidrográficas.

Unidad hidrográfica	Áreas		Número de orden del curso de agua
	km ²	ha	
Microcuenca	Menor a 50	Menor a 5 000	1°, 2° y 3°
Subcuenca	50 – 500	5 000 – 50 000	4° al 5°
Cuenca	500 – 8000	50 000 – 800 000	6° a más

Fuente: Manejo de cuencas alto andinas. Vásquez V., A. 1998.

3.1.3. Clasificación de cuencas hidrográficas

Criterio.

A. De acuerdo a su sistema de descarga o destino final de sus aguas

- **Cuencas exorreicas**, cuando las aguas de la cuenca llegan al mar directamente por vía sub superficial.
- **Cuencas endorreicas**, también llamadas lacustres o de evaporación. es un territorio sin desagüe aparente en que las aguas drenan hacia un lado.
- **Cuencas arreicas**, aquellas cuyas aguas no desembocan ni en el mar ni en un depósito interior, si no que sus aguas se pierden en el camino por evaporación o infiltración, sin que en este último caso se conviertan en corrientes subterráneas.
- **Cuencas criptorreicas**, región continental de drenaje subterráneo, carente de una red fluvial permanente y organizada superficialmente.

B. De acuerdo a su sistema de drenaje

Se llama sistema de drenaje al arreglo o distribución de los ríos, quebradas o arroyos, que se han venido formando a través de los años en la corteza terrestre, la clasificación, si bien es de sistemas de drenaje, también puede ser referida a las cuencas.

La clasificación da el orden primero, al escurrimiento menor, el río de segundo orden se forma de la unión de dos afluentes de primer orden, de la confluencia de dos cursos de segundo orden comienza un río de tercer orden y así sucesivamente, en caso de referirse a las cuencas, se hablará de acuerdo de primer orden, de segundo orden y así sucesivamente.

C. Su relieve (topografía)

- Cuecas de montaña y de alta montaña.
- Cuencas de llanos, pampas o praderas.

D. Según vertiente

- Vertiente del pacífico, del atlántico y del caribe.
- Vertiente de un lago u hoya, como en el caso del Titicaca.
- Vertiente sin desembocadura al mar o cuencas endorreicas.

E. Según su posición relativa dentro de una cuenca mayor

- Cuencas altas (situadas en la parte alta de la cuenca mayor, que no deben confundirse con cuencas de alta montaña).
- Cuencas bajas.

F. Según su tamaño relativo

(Aspecto controvertido y casi imposible de precisar).

- Cuencas muy grandes.
- Cuencas grandes.
- Cuencas medianas.
- Subcuencas.
- Microcuencas.

G. Según su balance hídrico en condiciones dadas

- Cuencas balanceadas (oferta y demanda de agua son equitativas).
- Cuencas deficitarias o críticas (poca oferta y mucha demanda de agua).
- Cuencas con exceso (mucha oferta y poca demanda de agua).

H. Según su densidad poblacional

- Densamente pobladas.
- Medianamente pobladas.
- Escasamente pobladas.

De las características que posee una cuenca, solo unas cuantas son relevantes en el análisis hidrológico.

3.1.4. Características geomorfológicas de una cuenca

Guevara P., E. (1997): La geomorfología estudia las características físicas de la unidad hidrológica, agrupados en los denominados parámetros geomorfológicos, los cuales se relacionan con los parámetros hidrológicos con el fin de estimar indirectamente estos últimos en función a los primeros, especialmente en aquellas cuencas que carecen de una red hidrometeorológica de observación. Los parámetros geomorfológicos se obtienen de los mapas cartográficos, geológicos y fotografías aéreas, imágenes satélite, por lo que su precisión depende de la escala y confiabilidad de la información disponible.

A continuación se describen aquellos parámetros de uso más frecuente para interpretar las características físicas de las cuencas.

3.1.5. Parámetros geomorfológicos de una cuenca

Ministerios de Agricultura. (1978): En su boletín técnico N°. 2, hace la descripción sistemática de la geometría de una cuenca, su red de drenaje y la desigualdad vertical de la forma de la cuenca a saber.

A. Superficie

Área total de la cuenca, se considera así a todo el área de terreno cuyas precipitaciones son evacuadas por un sistema común de cauces de agua, estando comprendida desde el punto donde se inicia la evacuación hasta su desembocadura, puede considerarse en su delimitación el divisor topográfico por ser prácticamente fijo.

B. Perímetro

Tiene influencia en el tiempo de concentración de una cuenca, se expresa en kilómetros.

C. Longitud axial

Distancia en línea recta entre la parte más alta de la cuenca, y la parte más baja o de desembocadura.

D. Ancho promedio

Distancia resultante de la relación entre el área de la cuenca y su longitud axial. Este coeficiente define la forma de la cuenca.

$$Ap = \frac{Ac}{La}$$

Dónde:

Ap = Ancho promedio.

Ac = Área de la cuenca.

La = Longitud axial.

E. Forma de la cuenca

Permite determinar la distribución de las descargas de agua a lo largo del curso principal y del comportamiento de las crecidas, los índices son:

- Coeficiente de compacidad o índice de gravellus.
- Factor forma de la cuenca.

- **Coeficiente de compacidad o índice de gravellus (K)**
Es la correlación entre el perímetro de la cuenca con el perímetro de una circunferencia del área equivalente.

$$K = \frac{P}{2x^2\sqrt{\pi x Ac}}$$

Donde:

K = Coeficiente de compacidad (adimensional)

P = Perímetro de la cuenca (km.)

Ac = Área de la cuenca (km².)

Existen tres categorías propuestos por Gravelius, para la clasificación según el valor de este parámetro y que se muestran en siguiente cuadro:

Cuadro 02. Clases de valores de compacidad.

Rangos de K_c	Clases de compacidad
- 1.25	Redonda a oval redonda
1.25 – 1.50	De oval redonda a oval oblonga
1.50 – 1.75	De oval oblonga a rectangular

Fuentes: Análisis morfométrico de cuencas. Fuentes J., J. 2004.

- **Factor forma de la cuenca**

Es la expresión cuantitativa, referida a la relación entre el ancho medio de una cuenca y la longitud axial de la cuenca.

$$Ff = \frac{Ap}{La}$$

Donde:

Ff = Factor de forma (adimensional)

Ap = Ancho promedio de la cuenca (km.)

La = Longitud axial de la cuenca (km.)

Este índice nos da una idea de la tendencia de la microcuenca hacia las crecidas, así, la microcuenca con un factor forma bajos (< 1) son menos propensas a tener lluvias intensas y simultaneas sobre su superficie, que una microcuenca con un área de igual tamaño pero con un factor de forma mayor a alto (>1).

Cuadro 03. Clases de valores de forma.

Rangos de F_f	Clases de forma
0.01-0.18	Muy poco achatada
0.18-0.36	Ligeramente achatada
0.36-0.54	Moderadamente achatada

Fuentes: Análisis morfométrico de cuencas. Fuentes J., J. 2004.

- Relación de Elongación (Re)

Es la relación entre el diámetro de un círculo de área igual a la cuenca y la longitud de la cuenca (La) expresado el diámetro en función del área de la cuenca (Ac).

$$Re = 2x \frac{\sqrt{Ac / \pi}}{La}$$

Donde:

Re = Relación de Elongación (adimensional)

Ac = Área de la cuenca (km².)

La = Longitud axial de la cuenca (km.)

Los valores de Re, inferiores a 1, implican formas alargadas, y cuanto menor sea Re más alargada será la forma de la cuenca. Por el contrario, valores de Re próximos a 1 no tienen, por qué implican formas redondeadas.

Re < 1 : Forma alargada

Re = 1 : Forma circular

La razón de elongación es adimensional, ya que se trata de un cociente entre dos longitudes, y con el fin de no tener que calcular el diámetro del círculo asociado para poder obtener Re, se puede usar cualquier expresión equivalente, tales como:

F. Características del relieve de una cuenca

Representa la declividad de una cuenca, se considera los siguientes parámetros:

- Altitud media de la cuenca

Con la siguiente relación

$$H' = \frac{\sum (hixSi)}{Ac}$$

Donde:

H' = Altitud media de la cuenca (m).

h_i = Altitud media de cada area parcial comprendida entre las curvas de nivel, se toma con respecto al emisor o desembocadura.

S_i = Area parcial entre curvas de nivel.

A_c = Area de la cuenca.

- **Polígono de frecuencia de altitudes**

Es un diagrama de relación entre las superficies parciales de una cuenca expresada en porcentaje y las alturas relativas a dichas áreas comprendidas entre las curvas de nivel.

- **Curva hipsométrica**

Representa la superficie denominada por encima o por debajo de cada altitud considerada y por lo tanto caracteriza en cierto modo el relieve.

- **Rectángulo equivalente**

El rectángulo equivalente o rectángulo de Gravelius. Se trata de una transformación puramente geométrica en virtud de la cual se asimila la cuenca a un rectángulo que tenga el mismo perímetro y superficie, y, por tanto, igual coeficiente de Gravelius (coeficiente de compacidad, K). Así, las curvas de nivel se transforman en rectas paralelas al lado menor del rectángulo, y el desagüe de la cuenca, que es un punto, queda convertido en el lado menor del rectángulo.

Para la construcción del rectángulo, se parte del perímetro, P, y el área de la cuenca, Así el lado menor y mayor del rectángulo son l y L, respectivamente.

$$L = \frac{K \times \sqrt{A_c}}{1.12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K} \right)^2} \right]$$

$$l = \frac{K \times \sqrt{A_c}}{1.12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K} \right)^2} \right]$$

Donde:

L = Lado mayor del rectángulo (km.)

l = Lado menor del rectángulo (km.)

K = Índice de gravelious (coeficiente de compacidad)

P' = Semiperímetro (km.)

Ac = Área de la cuenca (km².)

$$d_1 = \frac{\text{área parcial}}{\text{lado menor}} = \frac{A_1}{l}$$

Donde:

d_1 = Lados menores entre curvas de nivel.

A_1 = Área parcial.

l = Lado menor.

G. Sistema de drenaje

Está constituido por el curso principal y sus tributarios, dentro de estas características se consideran los siguientes parámetros.

- Orden de la corriente de agua

Refleja el grado de ramificación o bifurcación dentro de la cuenca hidrográfica.

Corriente de primer orden, pequeños canales que no tienen tributarios.

Corriente de segundo orden, cuando dos corrientes de primer orden se unen.

Corriente de orden n+1, cuando dos corrientes de orden n se unen.

- Densidad de drenaje

Indica la relación entre la longitud total de los cursos de agua: efímeros, intermitentes y perennes de una cuenca y el área total de la misma, cuando se observan:

Valores altos de este parámetro indican que las precipitaciones influirán inmediatamente sobre las descargas de los ríos y tiempos de concentración cortos.

Los valores bajos se presentan en suelos permeables con cobertura vegetal densa y de relieve llano.

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

Donde:

Dd = Densidad de drenaje.

Li = Largo total de cursos de agua (km).

A = Area de la cuenca (km²).

Usualmente toma los valores entre 0.5 km/km², para cuencas con drenaje pobre hasta 3.5 km/km² para hoyas bien drenadas.

Cuadro 04. Clases de densidad de drenaje.

Rangos de densidad	Clases
0.1-1.8	Baja
1.9-3.6	Moderada
3.7-5.6	Alta

Fuente: Análisis morfométrico de cuencas. Fuentes J., J. 2004.

- Extensión media de escurrimiento superficial (Es)

Nos indica la distancia en línea recta, que el agua de precipitación tendrá que escurrir para llegar al lecho de un curso de agua.

$$Es = \frac{Ac}{4xLi}$$

Dónde:

Es = Escurrimiento superficial.

Li = Distancia del agua que escurre en línea recta.

Ac = Área de la cuenca.

- **Frecuencia de ríos (Fr)**

Relaciona el total de los cursos de agua con el área total de la subcuenca.

$$Fr = \frac{\#ríos}{Ac}$$

Dónde:

Fr = Frecuencia de ríos.

Ríos = Número de ríos presentes en la subcuenca.

Ac = Área de la cuenca.

3.2. Hidrología

Etimológicamente proviene de las voces: hidros = agua; y logos = tratado, siendo la ciencia que estudia el agua.

Villon B., M. (2002): Hidrología es la ciencia natural que estudia al agua, su ocurrencia, circulación y distribución en la superficie terrestre, sus propiedades químicas y físicas y su relación con el medio ambiente, incluyendo a los seres vivos.

3.2.1. Importancia de la hidrología

Villon B., M. (2002): La hidrología proporciona al ingeniero o hidrólogo, los métodos para resolver los problemas prácticos que se presentan en el diseño, la planeación y la operación de estructuras hidráulicas.

Vásquez V., A. (1998): El manejo de cuencas y los proyectos agrícolas, implica la ejecución de actividades interdisciplinarias que tienen como eje principal de acción al recurso agua y como ámbito de planificación, la cuenca hidrográfica. Desde este punto de vista la hidrología juega un rol importante en la planificación de cuencas y formulación de proyectos agrícolas, principalmente en los aspectos que tiene relación con el dimensionamiento de estructuras de uso y control del agua así como estudios y gestión del medio ambiente.

Su aplicación directa se evidencia en los estudios de conservación de suelos (análisis de lluvias para el diseño de estructuras de control de escorrentía en zonas montañosas), abastecimiento de agua para el uso agrícola y/o poblacional (disponibilidad de agua en los ríos, quebradas, lagunas), control de avenidas (defensas ribereñas).

Guevara P., E. (1997): La hidrología es un componente esencial del análisis de cuencas, un conocimiento básico de los procesos hidrológicos es fundamental para la planificación y manejo de los recursos naturales renovables con fines de un uso sustentable de la cuenca.

Monsalve S., G. (1999): La hidrología tiene gran importancia cuya aplicación práctica se puede encontrar en:

- a) Selección de fuentes de abastecimiento de agua para uso doméstico o industrial.
- b) Estudio y construcción de obras hidráulicas:
 - Fijación de las dimensiones hidráulicas de obras de ingeniería, tales como puentes, canales.
 - Proyectos de presas.
 - Establecimiento de métodos de construcción.
- c) Drenaje:
 - Estudio de características del nivel freático.
 - Examen de las condiciones de alimentación y de escurrimiento natural del nivel freático: precipitación, nivel de agua de las corrientes.
- d) Irrigación:
 - Selección de agua necesaria.
 - Estudio de evaporación e infiltración.
- e) Regulación de los recursos de agua y control de inundaciones:
 - Estudio de la variación del caudal y previsión de crecientes máximas.
 - Examen de oscilaciones del nivel de agua y de las áreas de inundación.
- f) Control de erosión:
 - Análisis de intensidad y frecuencia de precipitaciones máximas, determinación del coeficiente de escorrentía superficial.
 - Estudio de la acción erosiva de las aguas, y de la protección contra esta por medio de la vegetación y otros recursos.

3.2.2. Inventario del recurso hídrico

Anten M. y Willet J. (2001): El inventario es el recojo detallado de información sobre recursos hídricos, sus usos, usuarios, demandas y aspectos ambientales que repercuten entre ellos, dentro del territorio comunal utilizando herramientas de posicionamiento global y de aforo. Se realiza en época de estiaje (julio a setiembre).

Olarte H., W. (1987): El inventario y evaluación de las fuentes de agua, en una microcuenca, está referido a una observación puntual referido al emisor del curso principal del río, que tiene sus nacientes en una batería de lagunas más o menos interconectadas a las altitudes promedio de 4500 msnm., que asociada a la red de manantiales y cursos permanentes, incluyendo el emisor, definen la oferta hídrica. Generalmente no se cuenta con información precedente sobre aforos de ningún tipo, especialmente a nivel de microcuenca.

Las fuentes principales de aporte hídrico en la microcuenca son de tres tipos, agua superficial, agua subterránea (fluyen a través de manantiales) y oferta potencial (lagunas y nevados).

- **Fuentes de agua superficial**

Se entiende por aguas superficiales a los cursos permanentes de aguas, que se presentan durante todo el año y tiene mucho significado en la época de máxima demanda y que en la zona andina son coincidentes con la época de menor aporte de este tipo de fuentes de agua.

El recurso hídrico superficial total dentro de la microcuenca, se presenta como el aporte de mayor importancia. Estas fuentes de abastecimiento, están formados por las aguas que discurren por las quebradas naturales, que a su vez se forma por la confluencia sucesiva de afluentes superficiales con características de aguas cristalinas en la época de estiaje. Sin embargo en la época de avenida, adquieren coloraciones turbias y crean problemas a las captaciones que en su mayoría en la actualidad son de tipo rústico.

Una característica importante, es que en épocas de estiaje aun atendiendo a las diferentes demandas de agua de las diferentes sistemas de riego en operación y cuando se ha derivado el total de aguas superficiales, el curso principal se recupera aguas abajo y siempre muestra remanentes de agua originados por las filtraciones del cauce principal y manteniendo el caudal ecológico del lecho del río.

- **Fuentes de agua subterránea**

Se entiende por aguas subterráneas a las aguas provenientes de las filtraciones, manantiales o cualquier otra forma de agua que emane a la superficie del suelo y que también se presentan generalmente con menor caudal en la época de estiaje, considerada en la zona de estudio como de máxima demanda.

Las aguas subterráneas, que fluyen a la superficie a través de manantiales, provienen normalmente de las filtraciones de la gran cantidad de lagunas ubicadas en la parte alta de la microcuenca.

3.2.2.1. Río

Zavaleta H., W. (1998): El flujo superficial o escorrentía es la diferencia entre la masa llovida y las pérdidas, que ocurren antes y durante el período a lo largo del cual discurren las aguas por la cuenca, formando caudales que se desplazan superficialmente; es decir, arroyos y ríos constituyendo parte de la red de drenaje de la cuenca. Estos caudales que discurren entre las corrientes pueden clasificarse en tres tipos:

- Corrientes efímeras; son las que sólo llevan agua cuando llueve o inmediatamente después.
- Corrientes intermitentes; cuando llevan agua la mayor parte del año, sobre todo en época de lluvias, la presencia del agua en el cauce, es debida al hecho que la napa freática se ubica por encima del río. el aporte de las corrientes intermitentes cesa cuando el nivel freático se ubica en el río.
- Corrientes permanentes; cuando llevan agua todo el año, pues en época que llueve y aún de cierta sequía conducen agua.

3.2.2.2. Manante

Zavaleta H., W. (1998): Las aguas subterráneas se derivan directa o indirectamente, de las lluvias; parte de las aguas caídas se infiltran en el suelo, subsuelo y estratos profundos de donde se deduce que las características geológicas de la cuenca son fundamentalmente para tal proceso.

La forma como se presenta el agua subterránea depende de la geometría y ubicación relativa del pertinente estrato permeable, denominado usualmente acuífero y la relación de este con respecto a los estratos poco permeables, que constituyen una barrera, ocasionando en mayor o menor grado el confinamiento del agua infiltrada. La descarga natural de aguas subterráneas se realiza por evaporación o a través de afloramientos que pueden ocurrir como:

- **Manantiales.-** Llamados también manantes, vertientes y ojos de agua que son puntos en los cuales emergen naturalmente las aguas subterráneas.
- **Aguas afluentes.-** Son caudales procedentes de un acuífero interceptado por una quebrada, que se vierten a ella formando el caudal base. Para que ocurran éstas, es necesario que el nivel de agua subterránea esté por encima del pelo de agua, del río.

3.2.2.3. Lago

Raasveldi y Tomic. (1958): Lago es un cuerpo de agua de profundidad considerable y rodeada de tierra por todas partes, y una laguna como algo similar pero más pequeño y poco profundo.

Los lagos pertenecen a la categoría de aguas quietas y son elementos permanentes del paisaje y están destinados a desaparecer por causa de la acumulación de sedimentos y materia orgánica, bien sea de origen autóctono (del propio metabolismo) o de origen aloctono (materiales arrastrados de afuera por acción de las lluvias y corrientes).

3.2.2.3.1. Origen de los lagos

Raasveldi y Tomic. (1958): El origen de la mayoría de los lagos en zonas templadas fue causada por procesos catastróficos, como deshielos de glaciares, actividad volcánica o procesos tectónico, en cambio en el trópico la mayor parte de las lagunas o ciénagas ha tenido un origen fluvial o por influencia del mar sobre la costa, y en las partes más altas de los andes han tenido origen glaciar.

- **Lagos de origen tectónico.-** Son aquellos que se han formado por fallas, hundimientos, doblamientos, fracturas o movimientos de la corteza terrestre.
- **Lagos de origen volcánico.-** La actividad volcánica ha desempeñado un papel muy importante en la formación de lagos en varias regiones del mundo, como son por deslizamientos del terreno en las partes altas de las montañas, represamiento de los ríos o inundaciones de valles por desprendimientos de rocas.
- **Lagos de origen glaciar.-** Son aquellos que se formaron durante el periodo de deshielo hace aproximadamente 10000 años, es decir a finales del pleistoceno y comienzo del holoceno, este periodo se caracterizó por una gran precipitación pluvial, alta nubosidad y bajas temperaturas. Las capas de hielo formadas comenzaron a derretirse lentamente y arrastraron consigo rocas y residuos vegetales formando depresiones que posteriormente se llenaron de agua, durante el último periodo de glaciación cerca del 31 % de la superficie de la tierra estaba cubierta por hielo.
- **Lagos formados por disolución del sustrato.-** Estos lagos son propios de regiones donde el terreno tiene una composición calcárea, principalmente carbonatos de calcio, por lo general estas regiones poseen cárcavas a distintas profundidades, los cuales se van formando por disolución del sustrato.
- **Lagos formados por acumulación de materia orgánica.-** Son un grupo pequeño de lagos que se han formado por la acumulación de restos de organismos resistentes a la descomposición que eventualmente forman presas o diques y así dieron origen a pequeños lagos.

3.2.3. Caudal

Vasquez V., A. (1998): Indica, de acuerdo al conocimiento del ciclo hidrológico, el agua superficial o escorrentía superficial es el agua que se encuentra fluyendo sobre la superficie de la tierra. El flujo en canales, es la principal forma de flujo del agua superficial, cuando decimos canales nos estamos refiriendo también a ríos y quebradas. La escorrentía superficial se expresa en mm y el flujo de un canal es el caudal o descarga, y este se expresa en m³/s. o l/s.

3.2.3.1. Componentes del caudal

Guevara P., E. (1997): El escurrimiento se constituye de cuatro procesos que se diferencian por la vía y el tiempo de llegada a la estación de medición.

- a) **Escurrecimiento superficial:** Viene hacer la lluvia efectiva que fluye sobre la superficie del terreno siguiendo la pendiente natural; es retardado por las irregularidades del suelo y por la cobertura vegetal y es más rápido a medida que se concentra en los temas de drenaje. Su magnitud depende de la naturaleza de la cuenca, topografía, manto vegetal, estado de humedad antecedentes y características de la precipitación.
- b) **Escurrecimiento subsuperficial:** Se conoce también como interflujo o escurrimiento hipodérmico y proviene de las aguas que se han infiltrado y que se desplazan por debajo, cerca de la superficie, en forma casi horizontal sin llegar al agua subterránea y que aflora en los taludes. Varía con la naturaleza geológica del suelo y con la topografía y generalmente solo representa una pequeña proporción de agua infiltrada.
- c) **Escurrecimiento subterráneo o flujo base:** Se constituye por el agua de percolación profunda que llega al nivel freático como recarga y sale de allí siguiendo la gradiente hidráulica. Dependiendo de la estructura geológica del suelo y subsuelo, de las características físicas del suelo y de la intensidad de la lluvia. La recarga del agua subterránea varia en tiempo y espacio.

d) **Precipitación que cae sobre los cauces:** Es la proporción de la lluvia, generalmente pequeña, que cae directamente sobre los cuerpos de agua fluye inmediatamente por el sistema de drenaje. Este componente puede ser importante si en la cuenca existen grandes cuerpos de agua, como lagos, lagunas, o embalses de grandes dimensiones.

3.2.3.2. Medición de caudales

Guevara P., E. (1997): El registro sistemático del escurrimiento en nuestro medio se hace comúnmente en términos del caudal medio mensual, obtenido ordinariamente mediante la medición de niveles de agua en la estación de aforo durante el mes y transformados en caudales mediante la denominada curva de gastos típica para la estación hidrométrica, la cual en este caso está equipada con una escala graduada denominado limnómetro o mira. Muchas estaciones están equipadas con limnigrafos que registran en forma continua la variación de los niveles, proporcionando información adicional sobre los eventos extremos instantáneos, máximos y mínimos.

Vasquez V., A. (1998): La medición del caudal de un canal de agua (ríos, arroyos y otros) se denomina aforo, que se realiza con diferentes aparatos dependiendo de la cantidad y forma de sección del canal.

Los métodos para la medición del caudal son dos, siendo estos los siguientes:

3.2.3.2.1. Métodos directos

Se realiza empleando aforos con conductos medidores, teniéndose:

a) Aforador RBC

Olarte H., W. (1987): Es la más difundida, debido a su simplicidad de construcción y manejo como también a su precisión, es un canal portátil el cual es colocado en la sección del cauce y nos da el caudal en l/s,

Delgadillo L., O. y Vega B., D. (2004): El aforador RBC fue desarrollado por Repogle, Bos y Clemmens (1984), constituye una de las mejores estructuras portátiles para la medición de caudales.

b) Limnómetro

El Limnómetro o escala es el modo más simple de medir el nivel de un río, dispuesta de forma que una porción de ella está inmersa en el agua todo el tiempo.

El Limnómetro puede consistir en una sola escala vertical ligada a una pila de un puente, estribo, malecón u otra estructura que se prolongue en el lecho de aguas bajas de la corriente, la escala del Limnómetro puede consistir en señales pintadas en una estructura existente o en un tablón de madera ligada a un apoyo, las escalas pintadas están, generalmente, graduadas en centímetros. Las marcas se hacen, frecuentemente, según las normas empleadas en las miras taquimétricas.

3.2.3.2.2. Métodos indirectos

Requiere de operaciones matemáticas para obtener la medida del caudal.

a) Correntómetro o molinete

Reyes C., L. (1992): Es un dispositivo que permite medir la velocidad de una corriente fluida a partir de una medición del número de revoluciones de una hélice o rotor, que es proporcional a dicha velocidad, de manera que:

$$V = K.n$$

Dónde:

V = Velocidad de la corriente.

K = Coeficiente de proporcionalidad.

n = Numero de revoluciones del rotor o hélice.

Para ello es necesario conocer el coeficiente de proporcionalidad K entre la velocidad V de la corriente y el numero n de revoluciones del rotor, lo que significa que el correntómetro debe ser previamente calibrado, esta calibración debe efectuarse en un laboratorio que disponga de una canal de calibración o un túnel aerodinámico, el correntómetro a hélice: de una manera general puede decirse que consta de los siguientes elementos:

- Rotor y soporte.
- Percha o cable de sujeción.
- Aletas estabilizadoras.
- Sistema eléctrico de detección de revoluciones
- Contador de revoluciones.

b) Flotadores

Es un método muy sencillo, consiste en colocar flotadores (materiales más ligeros que el agua) superficiales o sumergidos, los cuales proporcionan la velocidad media de desplazamiento; como también, se tienen que obtener valores del ancho del cauce, profundidad del cauce y de estos se obtiene la siguiente relación:

$$Q = S \cdot V_m$$

Dónde:

Q = Caudal (l/s)

S = Superficie o área obtenida de las secciones del cauce.

V_m = Velocidad media

c) Vertederos

Un vertedero es una escotadura de forma regular, a través de la cual se hace circular el agua, incluye esta definición a la estructura misma que contiene el dispositivo hidráulico.

El uso de vertederos para efectuar la medida de caudales, consiste en interceptar el curso de agua para represarla y obligarla a pasar por la escotadura o vertedor propiamente dicho; existen diversos tipos de vertederos:

- **Vertedero rectangular.**- Ideado y desarrollado por J. B. Francis en 1,852, plantea las siguientes fórmulas:

Vertedero trabaja sin contracciones laterales:

$$Q = 1.84 L H^{3/2}$$

Vertedero trabaja con contracciones laterales:

$$Q = 1.84 (L - 0.1 n H) H^{3/2}$$

Dónde:

Q = caudal medido en m³/s.

L = Longitud de cresta en metros.

H = Carga hidráulica del vertedor en metros.

n = Número de contracciones laterales.

En los mismos casos cuando la velocidad de llegada supera los 0.75 m/s las ecuaciones son:

$$Q = 1.84 (L - 0.1 n H) (h + h_o)^{3/2}$$

$$h_o = \frac{V_o^2}{2g}$$

Dónde:

Q = Caudal medido en m³/s.

H = Carga hidráulica del vertedor en metros.

n = Número de contracciones laterales.

h_o = Carga de presión.

V_o = Velocidad de llegada.

- **Vertedero trapezoidal.**- Planteado por R. Cipolletti en 1874, por combinación de los dos anteriores y con la idea de aprovechar la ventaja del vertedero triangular sin necesidades de efectuar correcciones por contracción lateral y la capacidad volumétrica del vertedero rectangular, por tanto el derrame de este medidor es igual a la suma de un vertedero rectangular y otro triangular con la condicionante que sus paredes verticales estén en la proporción 4V:1H; la fórmula general es:

$$Q = 1.86 L H^{3/2}$$

Dónde:

Q = Caudal medido en m³/s.

L = Longitud de la cresta en metros.

H = Carga sobre el vertedor en metros.

4:1= Relación vertical-horizontal de las paredes del vertedor.

d) Volumétrico (caudales pequeños)

El método consiste en encausar una corriente del fluido y tomar el tiempo que demora en llenarse un recipiente de volumen conocido, se mide el volumen entre el tiempo promedio, obteniéndose el Q en l/s.

$$Q = \frac{V}{T}$$

Dónde:

Q = Caudal (l/s).

V = Volumen (litros).

T = Tiempo (segundos).

3.2.4. Usos de agua

Instituto de Manejo de Agua y Medio Ambiente-IMA. (2006): En su estudio de Microzonificación Ecológica Económica de la subcuenca Pitumarca-Checacupe indica los siguientes usos de agua:

A) Uso domestico

Para conocer la demanda de agua para uso doméstico es necesario contar con información estadística acerca de la población de las zonas de estudio (censos), adicionalmente conocer las características climáticas de la zona, costumbres, y situación de los sistemas de abastecimiento de agua; se adopta los módulos de demanda que varía para la población urbana (70 litros/persona/día) y para el rural (50 litros/persona/día), según la OMS (Organismo Mundial de la Salud).

B) Uso agrícola

El riego constituye la fuente principal de consumo de agua por lo que su evaluación y uso racional resulta decisivo para el desarrollo de la subcuenca de Pitumarca; en la parte media baja de la subcuenca existen un gran número de obras de riego ejecutadas en donde se da un mayor uso de agua siendo la producción principal la de pastos cultivados, papa y tubérculos andinos como la oca y olluco, frente a esta demanda existe un gran potencial hídrico en la subcuenca la misma que está basada en lagunas que pueden ser reguladas para la incorporación y mejoramiento de nuevas áreas agrícolas.

C) Uso pecuario

El sistema pastoril, la alimentación del ganado depende exclusivamente de los pastos naturales, la ganadería de alpacas y ovinos en las zonas altas de la subcuenca está claramente identificada dentro de este sistema, el rebaño se compone sobre todo de ovino (criollo principalmente), alpaca y llamas en un número que llega a 30 cabezas en promedio entre las tres especies (microcuenca del río Chillcamayo), a diferencia de la zona de Sallani (microcuenca del río Yanamayu) donde cuentan con 400 cabezas en promedio.

La presencia de grandes extensiones de pastos y fuentes de agua crean las condiciones para realizar un pastoreo de gran movilidad según las estaciones del año, hay desplazamiento del rebaño lo que involucra también el movimiento de las personas.

Con estas condiciones el uso del recurso hídrico para estos animales se hace en condiciones naturales en riachuelos, puquiales y manantes, cumpliendo un rol fundamental estos últimos por ser los que mantienen a los bofedales.

3.3. Información hidrológica

Los estudios hidrológicos requieren gran cantidad de información, la cual puede ser obtenida a diferentes grados de detalle de acuerdo a su utilización e importancia en los procesos hidrológicos, la información hidrológica se refiere únicamente a aquellos factores que tienen influencia en las relaciones precipitación – escorrentía, como: precipitación, clima, escorrentía, suelos, vegetación y topografía.

3.3.1. Precipitación

Monsalve S., G. (1999): La precipitación es, en general el término que se refiere a todas las formas de humedad emanadas de la atmosfera y depositadas en la superficie terrestre y es el principal parámetro de entrada del ciclo hidrológico y el factor determinante del desprendimiento de las partículas del suelo en los procesos de erosión. Ocurre en forma líquida (lluvia y rocío) o solidos(nieve y granizo); se deriva del vapor de agua de las atmosferas con características determinadas por la influencia de otros factores climáticos, tales como viento, temperatura, altitud, radiación y presión atmosférica.

3.3.1.1. Medición de la precipitación

Monsalve S., G. (1999): La medición de la precipitación expresa la cantidad de lluvia, como la altura caída y acumulada sobre una superficie plana e impermeable en ausencia de escorrentía, infiltración, y evaporación.

La determinación de los valores precipitados se efectúa con instrumentos especiales estandarizados y registrándose los valores en horarios preestablecidos, con la finalidad de que los valores indicados para localidades diferentes sean científicamente comparables, la altura de precipitación se expresa generalmente en milímetros e indica la altura del agua de lluvia que cubriría la superficie del suelo, en el área de influencia de una estación pluviométrica, si pudiese mantenerse sobre la misma sin filtrarse ni evaporarse. La medición de la precipitación se efectúa por medio de pluviómetros o pluviógrafos, los segundos son utilizados principalmente cuando se trata de determinar precipitaciones intensas de corto período y alta intensidad.

3.3.1.2. Análisis de datos de precipitación

Chereque M., W. (1990): Los registros de precipitación varían a través del tiempo y el espacio, constituyendo un conjunto numeroso de datos, que son necesarios analizar y sintetizar en unos pocos valores más manuales y fáciles de utilizar en los proyectos agrícolas planteados. Para ello se utiliza la estadística, escogiendo un modelo matemático que represente el comportamiento de la precipitación en el lugar de estudio. El manejo estadístico de la información pluviométrica, es decir el estudio de su comportamiento según un modelo matemático, solo es posible realizarlo cuando la información reúne estos tres requisitos: es completa, consistente y de extensión suficiente. Dividiéndose a revisar en estos aspectos antes de estudiar su comportamiento.

En la mayoría de los casos la información disponible no se adapta a las necesidades de diseño para un determinado proyecto en tal caso habrá que analizar la información para adecuarla a las necesidades de cada caso en particular. Siendo los casos más comunes de: informaciones dispersas, falta de detalle, información incompleta, información indirecta, carencia de información, información inconsistente.

3.3.1.2.1. Completación y extensión de registros

Chereque M., W. (1990): En el Perú casi siempre nos encontramos con datos y/o registros incompletos, por lo que es necesario completar dichos datos, con el objeto de tener un periodo homogéneo de registros, se proceden a completar estimando los diferentes datos faltantes, denominándose correlación al procedimiento por el medio del cual se completan los datos faltantes, por la particularidad que presenta cada estación en sus registros históricos, se pueden aplicar el siguiente método matemático:

Matriz de correlación.- Que nos permite conocer el grado de similitud de los registros de las estaciones en estudio. Para ello se ha confeccionado un cuadro de doble entrada en el que se muestran las estaciones que en cuya intersección se halla su correspondiente coeficiente de correlación y las constantes respectivas de la ecuación de regresión.

3.3.1.2.2. Análisis de consistencia de datos meteorológicos

Aliaga V., S. (1983): La inconsistencia en secuencias hidrológicas, se presentan como saltos y tendencias, y la no homogeneidad es definida como en datos vírgenes en el tiempo. Indica que el procedimiento de análisis para detectar cambios en datos meteorológicos es el siguiente:

a) Análisis de saltos.

Los saltos se presentan en la media, desviación estándar y otros parámetros, pero generalmente el análisis más importante que se realiza es en los dos primeros, realizando las siguientes etapas:

- Identificación, mediante el análisis gráfico y análisis de doble masa.
- Evaluación y cuantificación, utilizando las pruebas estadísticas "T" y "F".

• Cálculo de la media y de la desviación estándar para un periodo:

$$\bar{x}_1 = \frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^{n_1} x_i; S_1(X) = \left[\frac{1}{n_1 - 1} \sum_{i=1}^{n_1} (x_i - \bar{x}_1)^2 \right]^{1/2}$$

$$\bar{x}_2 = \frac{1}{n_2} \sum_{j=1}^{n_2} x_j; S_2(X) = \left[\frac{1}{n_2 - 1} \sum_{j=1}^{n_2} (x_j - \bar{x}_2)^2 \right]^{1/2}$$

Dónde:

X_i = Valores de la serie del periodo 1.

X_j = Valores de la serie del periodo 2.

\bar{x}_1, \bar{x}_2 = Media de los periodos 1 y 2 respectivamente.

$S_1(X), S_2(X)$ = Desviación estándar de los periodos 1 y 2 respectivamente.

N = Tamaño de la muestra.

- **Calculo del t calculado (t_c):**

$$t_c = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)}{S_d}$$

$$S_d = S_p \left[\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right]^{1/2}$$

$$S_p = \left[\frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \right]^{1/2}$$

Siendo:

S_d = Desviación de las diferencias de los promedios.

S_p = Desviación estándar ponderada.

- **Comparación del T_c con el T_t :**

Si, $|t_c| \leq t_t(95\%) \rightarrow \bar{x}_1 = \bar{x}_2$ en este caso, siendo las medias $\bar{x}_1 = \bar{x}_2$, estadísticamente, no se debe realizar proceso de corrección.

Si, $|t_c| > t_t(95\%) \rightarrow \bar{x}_1 \neq \bar{x}_2$ en este caso, siendo las medias $\bar{x}_1 \neq \bar{x}_2$, estadísticamente, se debe corregir la información.

- **Cálculo de las varianzas de ambos periodos:**

$$S_1^2(x) = \left(\frac{1}{(n_1 - 1)} \right) \sum_{i=1}^{n_1} (x_i - \bar{x}_1)^2$$

$$S_2^2(x) = \left(\frac{1}{(n_2 - 1)} \right) \sum_{j=1}^{n_2} (x_j - \bar{x}_2)^2$$

- **Calculo del F calculado (F_c):**

$$F_c = \frac{S_1^2(x)}{S_2^2(x)}, \text{ si } S_1^2(x) > S_2^2(x)$$

$$F_c = \frac{S_2^2(x)}{S_1^2(x)}, \text{ si } S_2^2(x) > S_1^2(x)$$

- **Calculo del F tabular (Ft).**

Se obtiene con un valor de significancia = 0.05 y grados de libertad:

$$G.L.N = n_1 - 1$$

$$G.L.N = n_2 - 1, si S_1^2(x) > S_2^2(x)$$

$$G.L.N = n_2 - 1$$

$$G.L.N = n_1 - 1, si S_2^2(x) > S_1^2(x)$$

Dónde:

G.L.N. = Grados de libertad del numerador.

G.L.D. = Grados de libertad del denominador.

- **Corrección de los datos.**

En los casos en que la media y la desviación estándar, de las muestras resultan estadísticamente iguales, la información original no se corrige, por ser consistente con el 95% de probabilidad, aun cuando en la doble masa se observe pequeños quiebres. Caso contrario, se corrigen los valores de las sub muestras con las siguientes ecuaciones:

Cuando se va a corregir los valores de la sub muestra del tamaño n1.

$$X_1 = \frac{x_1 - \bar{x}_1}{S_1(x)}, S_2(x) + \bar{x}_2$$

Cuando se va a corregir los valores de la sub muestra del tamaño n2.

$$X_1 = \frac{x_1 - \bar{x}_2}{S_2(x)}, S_1(x) + \bar{x}_1$$

Dónde:

$X_{(1)}$ = Valor corregido de saltos.

X_1 = Valor a ser corregido.

b) Evaluación de la tendencia

Para averiguar si la tendencia es significativa, se analiza el coeficiente de regresión o el coeficiente de correlación R.

- **Calculo estadístico Tc:**

$$T_c = \frac{R\sqrt{n-2}}{\sqrt{n-R^2}}$$

Dónde:

T_c = Valor estadístico t calculado.

N = Número total de datos.

R = Coeficiente de correlación.

- **Calculo de Tt:**

El valor crítico de t, se obtiene de la tabla t de student, con un 95% probabilidad o con un nivel de significación del 5%:

$$\frac{\alpha}{2} = 0.025$$

$$G.L. = n - 2$$

- **Comparación del Tc con el Tt:**

Si $|t_c| \leq t_t(95\%) \rightarrow R$ no es significativo, este caso, la tendencia no es significativa y no se corrige.

- Si $|t_c| > t_t(95\%) \rightarrow R$ si es significativo, en este caso la tendencia es significativa y hay necesidad de corregir la información de la tendencia en la media.

- **Corrección de la información.**

La tendencia en la media se elimina haciendo uso de la ecuación:

$$Y_t = X_{(t)} - T_m$$

Dónde:

$X_{(t)}$ = Serie corregida de saltos.

T_m = Tendencias en la media.

Y_t = Serie sin tendencia.

Para que el proceso $X_{(t)}$ preserve la media constante, se devuelve el promedio de las $X_{(t)}$, luego la ecuación anterior toma la siguiente forma:

$$Y_t = X_{(t)}^I - T_m + \overline{T_m}$$

Donde $\overline{T_m}$ es el promedio de la tendencia en la media o promedio de los valores corregidos de saltos.

3.3.2. Regionalización de datos pluviométricos

PLAN MERISS II. (1980): Teniendo conocimiento que la variación de la precipitación es directamente proporcional a la altura, se hace uso de la ecuación de regresión lineal, considerando como variables independientes a las alturas "x", de ubicación de cada estación considerada, y como variable dependientes a las precipitaciones "y", de las estaciones seleccionadas respectivamente.

Con la aplicación de la ecuación así obtenida, se calcula la precipitación media anual para la cuenca en estudio, considerando su altitud media a partir de los datos de la estación índice, cuya relación de estos datos da el factor de corrección, y con este dato se puede calcular el registro histórico para la cuenca.

3.3.2.1. Matriz de correlación

- Método de la regresión lineal

Chereque M., W. (1990): Para completar dos o más datos faltantes en los registros de un año, por razones y comodidad se va a designar con "y" a la estación con datos incompletos y con "x" a la estación índice o con datos completos.

$$r = \left[\frac{\sum XY - (\sum X \sum Y)}{\left(\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n} \right) \left(\sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{n} \right)} \right]^{1/2}$$

Dónde:

Al valor de "r" varia de -1 a +1 no pudiendo exceder estos extremos:

r = 0, indica que no existe ningún grado de asociación entre las variables "x" y "y".

r = 1, hay correlación directa óptima, los puntos de dispersión se alinean en una recta de pendiente.

r = -1, correlación inversa óptima, los puntos de la dispersión se alinean en una sola.

En el caso de precipitación, la correlación es directa y entonces la ecuación de la recta de la ecuación es:

$$y = a + bx$$

$$a = y - bx$$

$$b = \frac{\sum XY - \frac{(\sum X \sum Y)}{n}}{\left(\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n} \right)}$$

Dónde:

El valor de "b" puede ser positivo, la relación de las variables es directa mientras con "b" negativo, la relación de las variables es inversa.

3.3.2.2. Calculo de la precipitación efectiva (PE)

Olarte H., W. (1987): La precipitación efectiva es la fracción de la precipitación total mensual que resulte útil para satisfacer las necesidades del agua del cultivo, mientras que el resto se pierde por percolación profunda, escorrentía superficial y por evaporación desde la superficie del suelo.

Existen diversos métodos para estimar la precipitación efectiva, en este caso se adopta el criterio del U.S.D.A. Soil Conservation Service. La precipitación efectiva se halla con la relación:

$$PE = PD \times Cp$$

Dónde:

PE = Precipitación efectiva, en milímetros.

PD = Precipitación confiable al 75% de probabilidad, en milímetros.

Cp = Factor de ajuste, en función a la precipitación y a la evapotranspiración del cultivo.

3.3.3. Escorrentía

Guevara P., E. (1997): La precipitación efectiva o excedente fluye por diferentes caminos hacia la red de drenaje y se evalúa en algún sitio de interés del cauce como escorrentía, escurrimiento o caudal.

El caudal o gasto de una corriente se define como el volumen de agua que atraviesa la sección transversal del cauce en una unidad de tiempo y se expresa en m^3/s o l/s . el caudal también puede expresarse mediante la ecuación de continuidad como sigue:

$$Q = A V$$

Dónde:

A = Área de la sección transversal de la estación de aforo.

V = Velocidad media, ambas en unidades métricas.

3.3.3.1. Análisis de datos de escorrentía

El análisis de datos de escorrentía es muy importante en hidrología porque nos permite predecir la disponibilidad de agua de un río a partir de datos históricos de los caudales.

Vásquez V., A. (1998): El análisis de los datos de caudales es similar al de la lluvia, recurriéndose también a la estadística como herramienta auxiliar, para calcular sus principales parámetros estadísticos y analizarlo probabilísticamente. La diferencia fundamental que hay que tener en cuenta en el tratamiento estadístico es que la lluvia es un fenómeno netamente aleatorio, mientras que el caudal además de aleatorio es una variable que está relacionada con el tiempo (auto correlacionado), los registros de los caudales se representan en:

- **Caudales medios diarios:** Son los caudales que se obtienen del promedio de 2 o 3 lecturas diarias de altura de agua del río, se expresa en m^3/s o l/s .
- **Caudales medios mensuales:** Son los caudales que se obtienen de promedio de los caudales medios diarios dentro de un mes.
- **Caudales medios anuales:** son los caudales obtenidos del promedio de los caudales correspondientes a los doce meses del año.

3.3.3.2. Generación de caudales

PLAN MERISS II. (1980): Es muy frecuente la ausencia de datos hidrométricos, por lo que se tiene que estimar dichos datos.

Para la obtención de datos de caudales mensuales, se puede conseguir mediante el uso de modelos matemáticos de autorrelación, como el modelo lluvia– escorrentía, utilizado en la sierra.

3.3.4. Clima

Los factores climáticos más importantes son: temperatura, viento, humedad relativa, radiación y evaporación.

3.3.4.1. Temperatura

Chereque M., W. (1990): La temperatura es un factor importante del ciclo hidrológico pues interviene en todas sus etapas. Desde el punto de vista práctico, la temperatura interviene como parámetro en las fórmulas para calcular la evapotranspiración y en las fórmulas para calcular las necesidades de agua de riego de las plantas. Y como factor de consideración en aquellos procesos en que interviene como factor modificador: movimiento del agua en el suelo, viscosidad, permeabilidad.

3.3.4.2. Radiación solar

Luque A. Jorge, citado por Olarte H., W. (1987): La radiación solar es la fuente principal de energía de nuestro planeta y determina sus características climatológicas haciendo posible la realización del ciclo hidrológico. Dentro de los conceptos de radiación se diferencian las siguientes modalidades:

Radiación solar teórica o extraterrestre (RMM): Cantidad de radiación llegada a los confines de la atmosfera con un valor constante de unos 2 cal,gr/cm²/min., en un punto de la superficie terrestre ubicado perpendicularmente a los rayos solares. (En toda la línea ecuatorial en el caso hipotético que el eje terrestre

fuese vertical = R_o), sin embargo en cualquier otro punto de la superficie de la tierra donde los rayos solares no son normales, se producirá un ángulo θ , cada vez mayor cuanto más alejado este de la línea de referencia; por lo que su valor varia constantemente con la latitud de un lugar cualquiera siendo su valor igual a $RMM = R_o (\cos \theta)$, por otra parte, siendo inclinado el eje terrestre, el valor de R_o cambia constantemente durante todo el año de acuerdo a las estaciones, por lo que el valor de la radiación extraterrestre para un punto cualquiera de la superficie de la tierra, varia con la latitud y los meses del año.

Radiación Incidente (RMS): Llamada también radiación recibida, es la cantidad de radiación real llegada a la superficie terrestre después de haber atravesado la atmosfera, luego ese valor es función de las horas reales del sol con relación al máximo número de horas sol probable de la zona de estudio (s) y la radiación teórica o extraterrestre (RMM) de acuerdo a la relación planteada por Hargreaves

$$RSM = 0.075 (RMM) S^{1/2}$$

Dónde:

RSM = Radiación incidente.

RMM = Radiación solar teórica o extraterrestre.

S = Máximo número de horas sol probable.

3.3.4.3. Humedad atmosférica

Chereque M., W. (1990): La humedad atmosférica expresa el contenido de vapor de agua de la atmosfera que proviene de la evaporación que tiene lugar en los espejos de agua, en los suelos húmedos o a través de las plantas.

- Formas de humedad atmosférica

Molina G., M. (1975): Se expresa de acuerdo a la relación que existe entre el vapor de agua y el aire seco.

- Humedad absoluta.
- Humedad relativa.
- Humedad específica.

3.3.4.4. Viento

Chereque M., W. (1990): La dirección del viento es la dirección donde sopla y la velocidad se expresa en m/s, km/h y en nudos (1 nudo = 0.514m/s = 1.85 km/h).

- Medición del viento

Doorenbos J. Pruitt W., O. (1976): El instrumento más común para la medida del viento es el anemómetro o contador del viento. La medida de la velocidad del viento se basa en el número de revoluciones del eje vertical por unidad de tiempo. El número de revoluciones se registra en el contador que esta calibrado en unidades de longitud (km), la dirección del viento se puede obtener por medio de las veletas en base a los cuatro rumbos norte, este, sur y oeste.

3.3.4.5. Evaporación

Chereque M., W. (1990): La evaporación es el proceso físico mediante el cual el agua pasa de su estado líquido al estado de vapor. La evaporación es una etapa permanente del ciclo hidrológico. Hay evaporación en todo momento y desde toda superficie húmeda, la evaporación provocada por la actividad de las plantas recibe el nombre de transpiración. Y el fenómeno combinado de estos dos aspectos se denomina evapotranspiración.

3.3.4.6. Evapotranspiración

Olarte H., W. (1987): En hidrología interesa conocer la evapotranspiración de los cultivos, lo cual se puede calcular indirectamente a partir de conceptos de evapotranspiración potencial.

- La evapotranspiración potencial (ETP)

Es la tasa de evapotranspiración de una superficie completamente cubierta de vegetación de altura uniforme, con adecuado suministro de agua.

- La evapotranspiración de los cultivos

Que crecen bajo las mismas condiciones que la cubierta de vegetación, de preferencia se calcula multiplicando la evapotranspiración potencial por un factor de cultivo Kc.

3.3.4.7. Cálculo de la evapotranspiración potencial

Son varios los procedimientos que se han desarrollado para el cálculo de la evapotranspiración, a los que podemos agrupar en:

- Métodos experimentales

llevados a cabo en estaciones agrícolas experimentales y pueden ser en parcelas de ensayo o con lisímetro, los que vienen hacer pequeños parcelas experimentales totalmente controladas en relación con los parámetros del ciclo hidrológico, donde la evaporación es la única incógnita a determinar mediante el balance de la parcela. Los lisímetros pueden simular diferentes tipos de suelo y cultivo.

3.3.5. Requerimiento de agua de los cultivos

Doorenbos J. Pruitt W., O. (1976): Como se ha indicado anteriormente, la evaporación de agua de los cultivos se determina multiplicando la evapotranspiración potencial por el factor o coeficiente de cultivo Kc así:

$$ETC = Kc \times ETP$$

Dónde:

ETC= Evapotranspiración de los cultivos (mm).

ETP= Evapotranspiración potencial (mm).

Kc = Coeficiente de cultivo.

3.3.6. Demanda de agua de un proyecto de riego

Vasquez V., A. (1998): La demanda o requerimiento de agua de un proyecto de riego se determina a partir de la evapotranspiración potencial de los cultivos considerados en el proyecto con los siguientes factores:

- Precipitación efectiva (PE)
- Eficiencia de riego del proyecto (Ep): Es el producto de la eficiencia de aplicación por la eficiencia de conducción del agua y la eficiencia de distribución.

La demanda de agua del proyecto estará dada por:

$$D = \frac{10(ETC - PE)}{Ep} \times A$$

Dónde:

D = Demanda de agua del proyecto (m³).

ETC = Evapotranspiración de los cultivos (mm).

PE = Precipitación efectiva (mm).

A = Área agrícola (ha).

Ep = Eficiencia de riego.

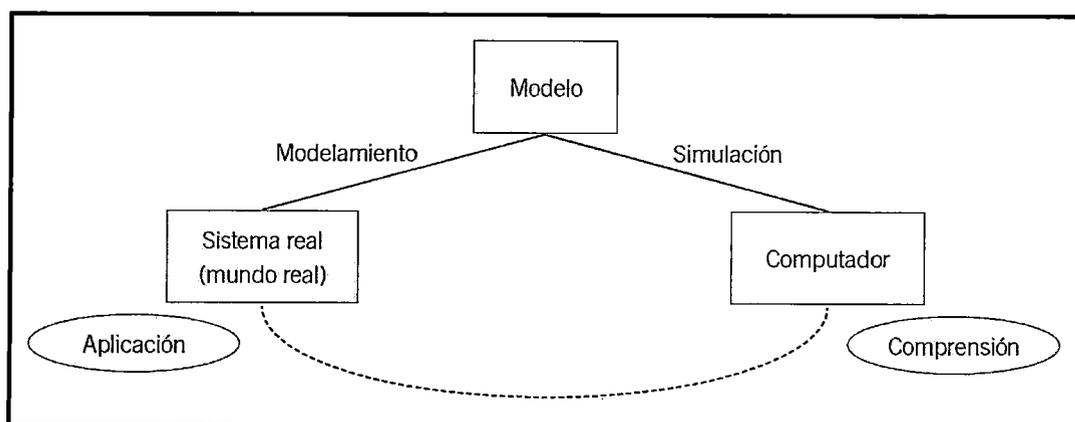
3.4. Modelación hidrológica

Cortes S., G. (2010): La modelación hidrológica se define como el uso de modelos matemáticos conceptuales para la simulación de los procesos de transporte de agua que ocurren dentro de una cuenca. Estos modelos pueden estar basados en las ecuaciones físicas que rigen el comportamiento de las variables dentro de una cuenca o pueden ser de naturaleza conceptual, donde se representan los procesos que ocurren dentro de la cuenca a través de esquemas y algoritmos simplificados.

Eduardo M., C. y Gómez C., N. (2010): El modelamiento y la simulación consisten en el trabajo con el computador y, más específicamente, en el trabajo con o el desarrollo de software para, justamente, modelar y simular.

La historia de la humanidad es el tránsito que se inicia con los dibujos y las pinturas, continua luego con la fotografía y llega finalmente a la película y el video, de esta forma, hemos hecho el tránsito de una concepción y representación estática del universo, el mundo y la sociedad a una comprensión y explicación dinámica de los mismos, tal es exactamente la especificidad de la simulación y el modelamiento respecto a los modelos.

Figura 01. Diferencia entre modelamiento y simulación.



Fuente: Modelamiento y simulación de sistemas complejos, Eduardo M., C. y Gómez C., N. 2010.

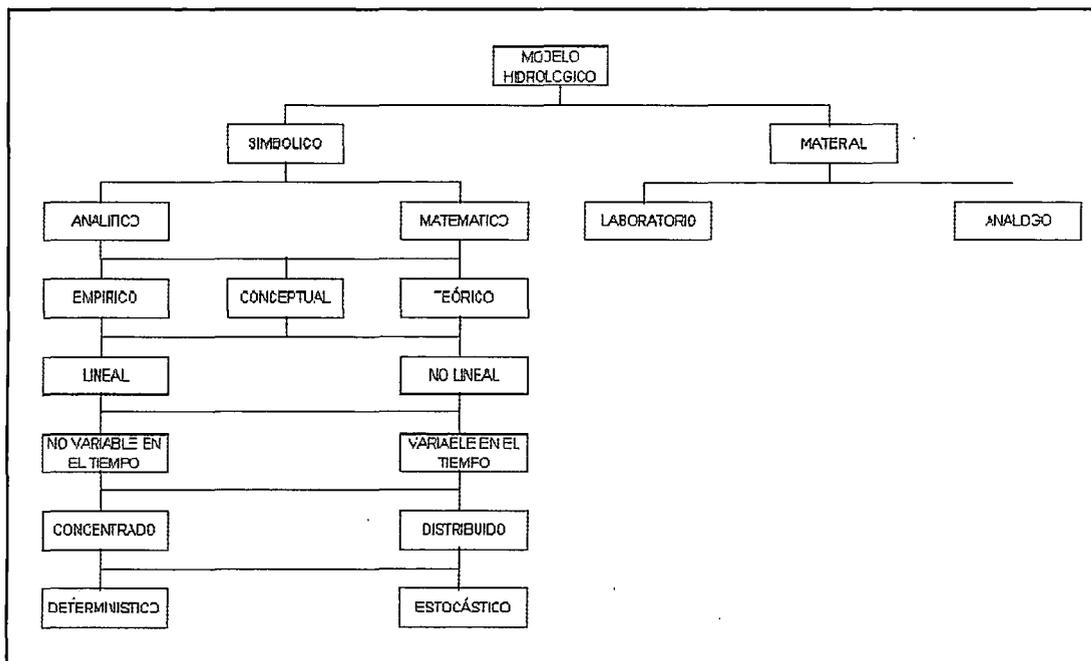
3.4.1. Modelo

Eduardo M., C. y Gómez C., N. (2010): Un modelo es sencillamente una interpretación del mundo o de una región del mundo, este modelo puede basarse en elementos matemáticos, conceptuales u otros y Modelamiento; es la programación computacional de un sistema, un problema o un modelo con vista a aplicaciones prácticas.

3.4.2. Modelo hidrológico

Lema C., M. y Plaza Q., V. (2009): El modelo hidrológico es una aplicación de los modelos matemáticos estocásticos, se utilizan para estudiar situaciones extremas, difícilmente observables en la realidad, como por ejemplo los efectos de precipitaciones muy intensas y prolongadas en cuencas hidrográficas, en su estado natural, o en las que ha intervenido la mano del hombre con la construcción de obras como canales, represas, caminos y puentes.

Figura 02. Esquema de clasificación de modelos hidrológicos.



Fuente: Modelos hidrológicos, Xu C., 2002. Citado por Cortes S., G. 2010.

Chow V., T; Maidment D., R; Mays L., W. (1987): El modelo hidrológico es una representación simplificada de un sistema real complejo llamado prototipo, bajo forma física o matemática, de manera matemática, el sistema real está representado por una expresión analítica. En un modelo hidrológico, el sistema físico real que generalmente representamos es la cuenca hidrográfica y cada uno de los componentes del ciclo hidrológico, de esta manera un modelo matemático nos ayudará a tomar decisiones en materia de hidrología, por lo que es necesario tener conocimiento de entradas al sistema y salidas a partir del sistema, para verificar si el modelo es representativo del prototipo.

Un modelo hidrológico es una simplificación de la realidad, a partir del cual podemos estudiar la relación causa –efecto de una cuenca a través de los datos de entrada y salida, con los cuales se logra un mejor entendimiento de los procesos físicos hidrológicos que tiene lugar dentro de la cuenca.

3.4.3. Tipos de modelos hidrológicos

Lema C., M. y Plaza Q., V. (2009): Los modelos en cualquier ámbito de la ciencia se clasifican en:

3.4.1.1. Modelo matemático

Un modelo matemático es una de las clasificaciones de los modelos científicos y se define como una descripción desde el punto de vista matemático de un hecho o fenómeno real, tomando en cuenta parámetros como la población, fenómenos físicos, fenómenos sociológicos.

El modelo matemático identifica variables (dependientes o independientes) y establece hipótesis lo más simples posibles para que sean tratadas de forma matemática.

Los modelos matemáticos se clasifican de la siguiente forma:

3.4.1.1.1. Según los resultados

Lema C., M. y Plaza Q., V. (2009): Dependen del tipo de resultados que se espera, pueden subdividirse en:

- a) **Estocásticos:** Son llamados también probabilísticos ya que el resultado depende de muchas variables aleatorias, el resultado no siempre es el esperado y por tanto existe cierto nivel de incertidumbre.
- b) **Determinísticos:** El resultados se conoce de manera puntual no existe incertidumbre, todos los parámetros utilizados en el modelo son completamente conocidos, determinados y exactos, al correr el programa se obtendrá siempre una misma respuesta.

3.4.1.1.2. Por el origen de la información

Lema C., M. y Plaza Q., V. (2009): Dependiendo de la fuente de información utilizada para la construcción de un modelo podemos distinguir entre modelos heurísticos y modelos empíricos:

- **Modelos empíricos:** Del griego empeiricos (experiencia, experimento). Son los que utilizan las observaciones directas o los resultados de experimentos del fenómeno estudiado.
- **Modelos heurísticos:** Del griego euriskein, que significa hallar, inventar. Son los que están basados en las explicaciones sobre las causas o mecanismos naturales que dan lugar al fenómeno estudiado.

3.4.1.1.3. Por el campo de aplicación

Según sus diversas aplicaciones los modelos matemáticos pueden dividirse en:

- **Modelos conceptuales:** Son los que reproducen mediante fórmulas y algoritmos matemáticos más o menos complejos los procesos físicos que se producen en la naturaleza.
- **Modelos de optimización:** Los modelos matemáticos de optimización, son ampliamente utilizados en diversas ramas de la ingeniería para resolver problemas que por su naturaleza son indeterminados, es decir presentan más de una solución posible.

Es importante saber que los modelos de cualquier tipo, sin importar su exactitud, pueden presentar resultados poco servibles si no están respaldados por datos confiables, es decir que la disponibilidad de datos tiene un efecto directo en la precisión del modelo. La recopilación de datos es muchas veces la parte más difícil para la modelación.

3.5. Modelo WEAP (Sistema de Evaluación y Planeación de Agua)

3.5.1. Descripción del modelo

Lema C., M. y Plaza Q., V. (2009): WEAP es una herramienta de modelación para la planificación y distribución de agua que puede ser aplicada a diferentes escalas, desde pequeñas zonas de captación hasta extensas cuencas. WEAP tiene una amplia base de usuarios en todo el mundo y está disponible en diferentes idiomas, incluido el español.

WEAP es un instrumento computacional para la planificación integrada de recursos hídricos, cuyo objetivo es la asistencia para el planificador experimentado, proporcionando un marco comprensivo, flexible y fácil de usar para el análisis de políticas.

La localización de recursos limitados de agua, la calidad ambiental y la política para el empleo sostenible de agua son características de preocupación. Modelos de simulación convencionales orientados son no siempre adecuados. Durante la década pasada, ha surgido un acercamiento integrado de desarrollo del agua que coloca proyectos de abastecimiento de agua en el contexto de características de lado de la demanda, así como características de calidad de agua y preservación del ecosistema.

Las capacidades de WEAP son las siguientes:

- **Base de datos de balance de agua:** Proporciona un sistema para mantener información de oferta y demanda de agua.
- **Herramienta de generación de escenarios:** Simula la demanda, oferta, escorrentía, caudal, almacenaje, generación, tratamiento y descarga de contaminantes y calidad del agua en los ríos.
- **Herramienta de análisis de políticas:** Evalúa en gama completa de las opciones del desarrollo y manejo del agua, y toma en cuenta los múltiples y opuestos usos de los recursos hídricos.

3.5.2. Uso de WEAP

Lema C., M. y Plaza Q., V. (2009): WEAP tiene una audiencia múltiple dependiendo del tipo de interacción. Abarca a un gran número de usuarios, desde aquellos encargados de la planificación hidrológica, hidrólogos, agrónomos, economistas, hasta funcionarios públicos encargados del recurso hídrico, y comunidades locales. Usando la esquemática de WEAP, entidades públicas de planeación de agua y comunidades locales pueden colaborar en la descripción física de la zona de interés. Una vez el sistema está construido, se pueden implementar las demandas y suministros de agua y observar el balance del recurso en la región.

3.5.3. Aplicaciones de WEAP

Lema C., M. y Plaza Q., V. (2009): WEAP a través de su interfaz gráfico con SIG (sistema de información geográfica) construye, ve y modifica la configuración, los elementos pueden ser sobrepuestos en un mapa construido en SIG (sistema de información geográfica) y otros archivos estándares de SIG.

Los datos para cualquier componente pueden ser corregidos directamente en el diagrama esquemático. El usuario puede consultar la característica de ayuda sensible al contexto en cualquier lugar dentro de WEAP. Con el sistema altamente flexible y comprensivo de información de resultados de WEAP, el usuario puede preparar informes tanto de salida gráfica o tabular y seleccionar de un número de posibles opciones de formato (ejemplo, unidades métricas o inglesas, años, niveles absolutos, partes porcentuales, o tasas de crecimiento), también puede ver resultados sobre un mapa del esquema y usar barras de deslizamiento de animación para ver los cambios en los resultados a través del tiempo.

3.5.4. Datos requeridos para la aplicación de WEAP

UNA La Molina. (2010): La recopilación de datos para aplicaciones de WEAP se muestra en el siguiente cuadro, en donde se presenta una lista de los datos que han sido procesados e incluye una clasificación de prioridad de datos según su importancia para el modelo.

Cuadro 05. Datos requeridos para la elaboración del modelo WEAP.

Datos requeridos	Formato preferido	Observaciones
Clima		
Precipitación	Excel, texto o csv.	Los datos de precipitación deben ser históricos y estos datos de clima son necesarios para alimentar al modelo.
Temperatura	Excel, texto o csv.	
Humedad relativa	Excel, texto o csv.	
Viento	Excel, texto o csv.	
Latitud	Excel, texto o csv.	
Uso de suelo		
DEM (modelo elevación digital)	GIS	Estos datos son necesarios para caracterizar la subcuenca.
Cobertura vegetal	GIS	
Tipo de suelo	GIS	
Geología	GIS	
Áreas de riego	GIS	
Datos para calibración		
Ríos	Excel, texto o csv.	Datos necesarios para el comportamiento del modelo y calibración.
Nevados	Excel, texto o csv.	
Fuentes de agua	Excel, texto o csv.	
Otros		
Número de usuarios	Excel, Word	El modelo requiere de estos datos para calcular la demanda.
Población pecuaria	Excel, Word	
Crecimiento per cápita	Excel, Word	
Calidad de agua	Excel, Word	
Canales de riego	Excel, Word	

Fuente: Guía metodológica-modelación hidrológica y de recursos hídricos con el modelo WEAP. Centro de cambio global-Universidad Católica de Chile. 2009.

3.6. Proceso de aplicación de WEAP

El desarrollo de un modelo de simulación hidrológica WEAP incluye generalmente las siguientes etapas:

- Definición del estudio.
- Búsqueda de información.
- Desarrollo del modelo.
- Calibración.
- Uso del modelo, generación de escenarios.

3.6.1. Definición del estudio

En esta etapa se establece el marco temporal, los límites espaciales, los componentes del sistema y la configuración del problema.

Una modelación efectiva requiere una cantidad considerable de datos, así como tiempo y recursos para diseñar, implementar y revisar el modelo. Por esta razón, la naturaleza del problema y el propósito del modelo deben ser claros desde el principio para asegurar un uso eficiente de los recursos disponibles para un determinado proyecto.

3.6.2. Búsqueda de información

En esta etapa se hace una recolección de datos de acuerdo al tipo de estudio definido. La recopilación de datos para la aplicación de WEAP generalmente se realiza en dos etapas. La etapa inicial de recopilación de datos tiene como objetivo dar soporte a la aplicación inicial del modelo WEAP. En esta etapa se busca recopilar la información existente en agencias de gobierno, bases de datos internacionales, información de satélite e información publicada en estudios previos. El modelo inicial implementado con estos datos permite evaluar la necesidad de recopilar más datos posteriormente. La aplicación inicial de WEAP no debe ser extremadamente detallada, pero tampoco debe arrojar resultados incorrectos. Por esta razón, se debe realizar una revisión preliminar del modelo. La revisión del modelo se debe enfocar en identificar qué modificaciones deben

realizarse en el modelo y qué datos adicionales deben recopilarse para hacer el modelo más preciso. Generalmente, los datos adicionales requeridos para mejorar la precisión del modelo pueden incluir un mayor procesamiento de datos como, por ejemplo, una delineación más detallada de las cuencas usando algún software de Sistema de Información Geográfico (SIG). Otros datos necesarios pueden ser de tipo hidrológico, uso de suelo o datos socioeconómicos.

3.6.3. Desarrollo del modelo

En esta etapa se construye el esquema, se realiza la entrada de datos y se realizan corridas (resultados) iniciales del modelo para observar su comportamiento preliminar y para eliminar posibles inconsistencias y errores.

En la etapa de desarrollo del modelo se busca representar la cuenca tomando como base la simulación de las condiciones históricas. Para llevar a cabo esta simulación es necesario rellenar el modelo con las diferentes características esenciales de oferta y demanda de agua.

A continuación se describe la metodología propuesta para cada una de estas sub-etapas.

3.6.3.1. Métodos de simulación

Proaño J., D. (2010): Hay tres métodos para simular la escorrentía de una cuenca a partir de datos meteorológicos, estos métodos son:

- Precipitación/escorrentía.
- Demanda de riego.
- Humedad del suelo.

3.6.3.1.1. Método precipitación escorrentía

Este método también determina evapotranspiración para cultivos irrigados y precipitados usando los coeficientes de cultivos, el resto de la precipitación no consumida por la evapotranspiración es simulada como escurrimiento hacia el río.

3.6.3.1.2. Método demanda de riego

Es el método más simple, usa los coeficientes de cultivo para calcular la evapotranspiración potencial, luego determina alguna demanda de riego que puede ser requerida para rellenar la porción de evapotranspiración necesaria, no simula procesos de escurrimiento o infiltración.

3.6.3.1.3. Método humedad del suelo o método de los dos baldes

Es el más complejo de los tres métodos, representado cada microcuencia con dos capas de suelo, simula la evapotranspiración, considerando precipitación y riego en tierras cultivadas y no cultivadas, escurrimiento de caudales poco profundos y cambios en la humedad del suelo, el método de humedad del suelo requiere parámetros más extensos de suelo y clima para simular los procesos.

Cuadro 06. Parámetros de uso del suelo.

Área	Área de tierra para el tipo de cobertura vegetal dentro de la microcuenca.
Kc	Coeficiente de cultivo, relativo al cultivo referencial, para un tipo de tierra.
Capacidad de agua en la zona de raíz (Sw)	El agua efectiva manteniendo la capacidad de la capa superficial de suelo, representado en (mm).
Capacidad de agua profunda (Dw)	Agua efectiva manteniendo la capacidad de la capa profunda del suelo (fondo del balde) es un valor singular para la microcuenca y no varía según el tipo de uso, es ignorado si el sitio de demanda tiene un vínculo de caudal hacia un nudo de agua subterránea.
Conductividad profundidad (Kd)	La tasa de conductividad (longitud/tiempo) de la capa profunda saturada (cuando hay un almacenaje relativo, $Z2 = 1$), que controla la transformación del caudal base. Es un valor singular para el catchment y no varía según el tipo de uso. El caudal base se incrementa si este parámetro incrementa.
Factor de Resistencia al Escurrimiento (RRF)	Usado para controlar la respuesta del escurrimiento superficial. El escurrimiento tenderá a decrecer con altos valores de este índice (rango 0.1 a 10). Este parámetro puede variar entre el tipo de uso.
Conductividad en la zona de raíz (Ks)	Tasa de conductividad en la zona de raíz a la saturación (cuando hay un almacenaje relativo $Z1=1$), que será repartida, de acuerdo con la preferencia de la dirección del flujo, entre el caudal poco profundo y caudal hacia la capa profunda de suelo. Esta tasa puede variar entre los tipos de uso.
Dirección de flujo preferente (PFD)	1= 100% horizontal, 0 = 100% vertical caudal. Usado para repartir el caudal fuera de la capa de la zona de raíz entre el caudal poco profundo y caudal hacia la capa profunda de suelo o agua subterránea. Este valor puede variar entre los tipos de uso.
Z1 inicial	El valor inicial Z1 al inicio de la simulación. Es el almacenaje relativo dado como porcentaje del almacenamiento total efectivo de la capacidad de agua en la zona de raíz.
Z2 inicial	El valor inicial Z2 al inicio de la simulación. Es el almacenaje relativo dado como porcentaje del almacenamiento total efectivo de la capacidad de agua profunda. Este parámetro es ignorado si el sitio de la demanda tiene un vínculo de escurrimiento/infiltración al nudo de agua subterránea.

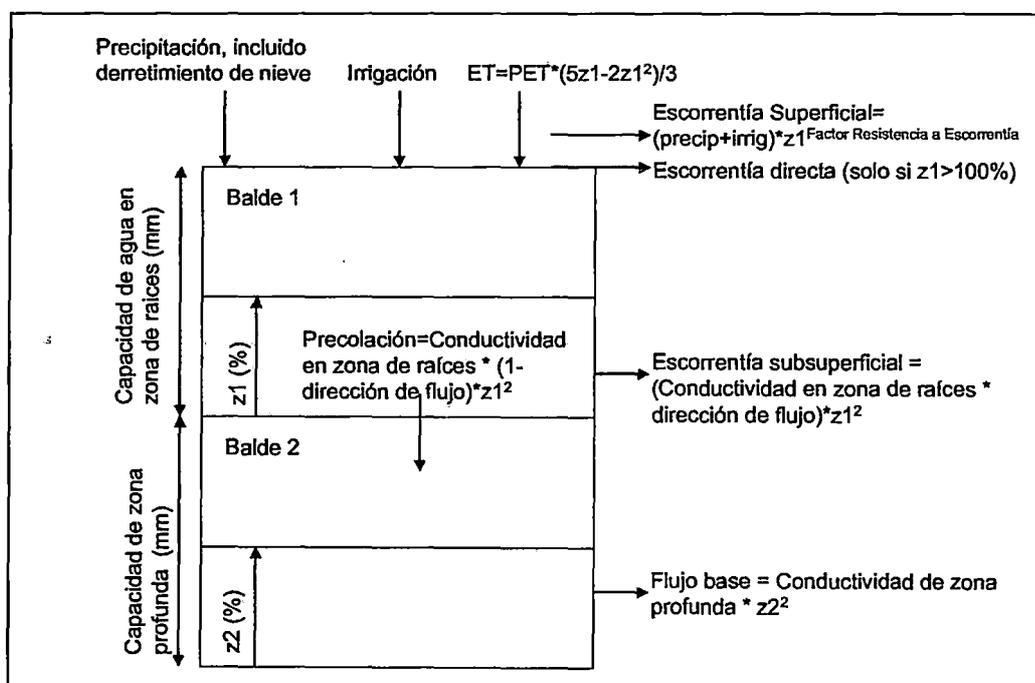
Fuente: Modelación hidrológica de la cuenca del río Pastaza aplicando el modelo de simulación WEAP, Lema C., M. y Plaza Q., V. 2009.

Cuadro 07. Parámetros del clima e irrigación.

Precipitación	Serie de precipitación mensual, que puede ser leída de un archivo o ingresados.
Temperatura	La media temperatura de los valores máximos y mínimos a nivel mensual.
Humedad	Promedio mensual de la humedad relativa.
viento	Promedio mensual de la velocidad de viento.
Area irrigada	El porcentaje de área irrigada.

Fuente: Modelación hidrológica de la cuenca del río Pastaza aplicando el modelo de simulación WEAP, Lema C., M. y Plaza Q., V. 2009.

Figura 03. Ecuación del modelo de los dos baldes.



Fuente: Modelación hidrológica de la cuenca del río Pastaza aplicando el modelo de simulación WEAP, Lema C., M. y Plaza Q., V. 2009.

Observando la ecuación del modelo hidrológico ilustrado en la Figura 03, para el balde 1 y en el balde 2 del modelo hidrológico se observa como cada término de la ecuación que corresponde a un elemento del balance hidrológico es afectado de forma diferente por los parámetros.

La ecuación es no lineal y por lo tanto al afectar un término, se afectan los otros de forma indirecta, los caudales modelados por la ecuación nos dan en unidades de l/s, m³/s.

Balde 1:

Cambio en la humedad del suelo = precipitación efectiva – evapotranspiración – escorrentía superficial – escorrentía subsuperficial – percolación.

$$Sw_j \frac{dz_{1,j}}{dt} = P_e(t) - PET(t) \cdot k_{c,j}(t) \left(\frac{5z_{1,j} - 2z_{1,j}^2}{3} \right) - P_e(t) \cdot z_{1,j}^{\frac{RRF_j}{2}} - f_j \cdot k_s \cdot z_{1,j}^2 - (1 - f_j) \cdot k_s \cdot z_{1,j}^2$$

Dónde:

Sw = Capacidad de almacenamiento agua en la zona de raíz (mm).

P_e = Precipitación efectiva (mm/mes).

t = Temperatura (°C).

PET = Evapotranspiración.

k_c = Coeficiente de cultivo.

Z₁ = Nivel de humedad inicial en la zona de las raíces (%).

Z₂ = Nivel de humedad inicial en la zona profunda (%).

RRF = Factor de resistencia a la escorrentía (-).

f = Dirección preferencial del flujo.

K_s = Conductividad de la zona de las raíces (mm/mes).

Balde 2:

Cambio en la humedad del suelo = – percolación + flujo base.

$$Dw_j \frac{dz_{2,j}}{dt} = -k_d z_{1,j}^2 + (1 - f_j) k_s z_{2,j}^2$$

Dónde:

D_w = Capacidad de almacenamiento agua en la zona profunda (mm).

K_d = Conductividad de la zona profunda (mm/mes).

Z_1 = Nivel de humedad inicial en la zona de las raíces (%).

Z_2 = Nivel de humedad inicial en la zona profunda (%).

f = Dirección preferencial del flujo.

K_s = Conductividad de la zona de las raíces (mm/mes).

3.6.3.2. Análisis de la oferta de agua

Proaño J., D. (2010): Para realizar la modelación se requiere de datos climáticos, entre los cuales se encuentran la precipitación, temperatura, humedad, viento, punto de derretimiento de la nieve, adicionalmente, se requiere de datos de los caudales, que son necesarios para poder comparar los resultados y poder realizar calibraciones.

La información meteorológica debe contar con un tratamiento, para posteriormente poder usarla como una base de datos dentro del modelo, los datos meteorológicos son la precipitación, temperatura, humedad, y viento.

3.6.3.3. Análisis de la demanda de agua

Proaño J., D. (2010): Para complementar el balance hidrológico realizado por el modelo en sus componentes naturales e intervenidos es importante realizar un análisis de la demanda de agua. Este análisis considera una serie de sub-etapas como son:

- Definición de usos de suelo.
- Cultivos de riego.
- Demanda urbana.

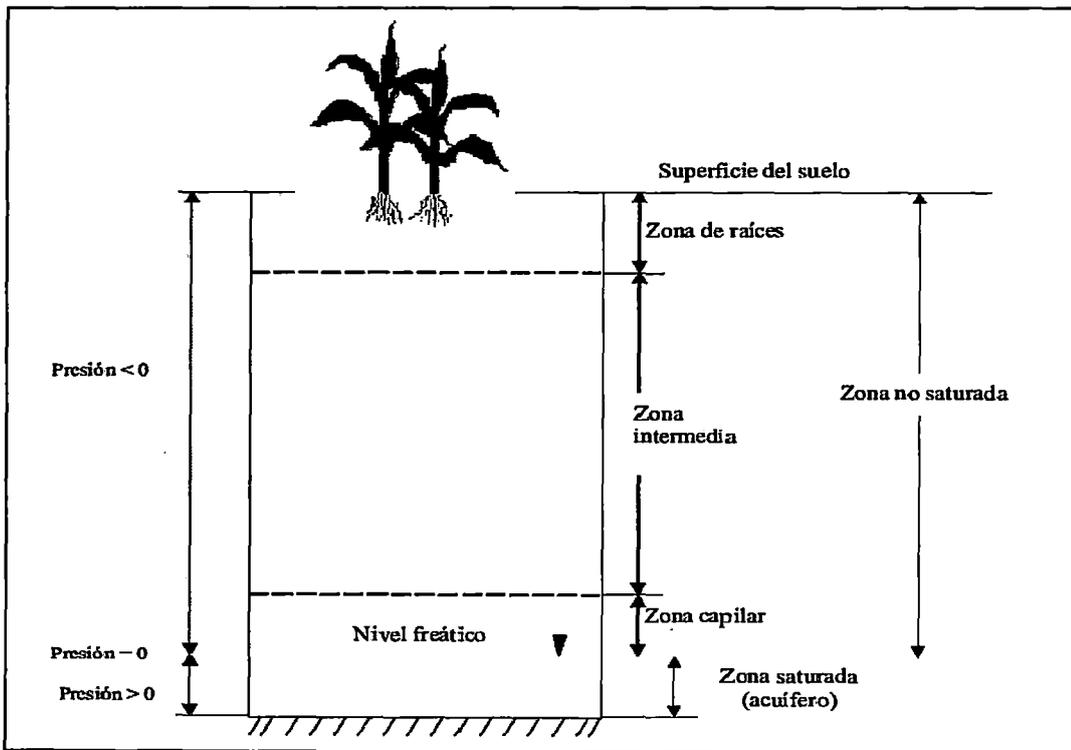
3.6.3.3.1. Definición de usos de suelo

Rojas M., R. (1986): La importancia de la información de suelos radica en la gran influencia que estos tienen en el proceso de precipitación – escorrentía. Entre los datos más necesarios se tiene: textura, estructura, capacidad de almacenamiento, infiltración y conductividad hidráulica. El detalle de esta información dependerá del grado de precisión del estudio.

a) Componentes de la zona no saturada

Para poder entender y modelar la zona no saturada, es necesario conocer los componentes de la siguiente figura.

Figura 04. Componentes de la zona no saturada.



Fuente: Curso sobre Sistema de evaluación y planeación de agua con el uso del software WEAP. UNALM (2010).

- Superficie del suelo como frontera

Las condiciones y características de la zona superficial del suelo están supeditadas al tipo y estado de la cobertura vegetal presente en el mismo, en función a esto el perfil de suelo puede ser drenado, humedecido o secado.

El conocimiento de esta parte del suelo nos permite realizar el balance hídrico en la humedad del suelo, para una situación actual y una situación con proyecto, cuando ya se ejecuten acciones de revegetación y reforestación.

- Zona de las raíces

Esta zona se analiza como un sistema con los componentes del ciclo hidrológico, precipitación, riego, evapotranspiración, escorrentía, percolación y el cambio de humedad del suelo. Además el máximo almacenamiento de agua en la zona de las raíces depende de la profundidad de la zona de las raíces, el tipo de suelo, tipo de planta y estado fenológico.

- Zona intermedia

La mayor dinámica de movimiento de la humedad del suelo ocurre en la zona de las raíces, entre los 3 primeros metros de la zona "no saturada", medidos desde la superficie del suelo. La zona intermedia es bastante menos dinámica y el frente húmedo se dirige desde la superficie del suelo hacia el acuífero, generalmente en esta zona el contenido de humedad es bajo, lo que implica una conductividad pequeña y como resultado una velocidad de flujo menor.

- Zona capilar

Esta zona se encuentra inmediatamente sobre el nivel freático y se relaciona con la curva de retención de humedad, depende de: las condiciones de las zonas que se mencionaron anteriormente, el drenaje que depende de la cantidad de agua que cae o asciende del acuífero, la relación del contenido de humedad del suelo, la relación de los poros y la profundidad.

- Nivel freático

Es la condición de frontera menor de la zona "no saturada" y es usualmente fluctuante debido a la recarga o descarga del acuífero, dependiendo de las condiciones climáticas de la zona de estudio.

b) Coeficiente de cultivo

El coeficiente de cultivo K_c describe las variaciones de la cantidad de agua que las plantas extraen del suelo a medida que se van desarrollando.

Cuadro 08. Coeficiente de cultivo (k_c).

Cultivos	K_c
Pastos naturales	1.00
Áreas de escasa vegetación	0.40
Matorral arbolado	0.87
Áreas agrícolas	1.00

Fuente: Estudio FAO, Riego y Drenaje 2006.
Citado por Lema C., M. y Plaza Q., V. 2009

En el cuadro se muestran los valores de K_c , utilizados para la modelación con el WEAP. Los valores de K_c utilizados son los establecidos por la FAO, en su documento: "Estudio FAO, riego y drenaje", que nos provee inclusive valores para forestación.

c) Índice de la lámina foliar (LAI)

Lema C., M. y Plaza Q., V. (2009): El índice de la lámina foliar, se refiere al área de las hojas de la cobertura vegetal por área de terreno que ocupa este tipo de cobertura. Este valor está directamente relacionado con la escorrentía superficial, por considerarse como el valor de "resistencia al flujo" o valor de la interferencia de la cobertura vegetal a la precipitación pluvial y el control de la respuesta de la escorrentía superficial. La escorrentía tendera a disminuir cuando el valor LAI (rango de 0.1 a 10) se incrementa.

d) Cobertura vegetal

FOT. (2010): El área de biología en su expediente técnico de la provincia de Canchis indica lo siguiente:

La vegetación ejerce un efecto significativo sobre la cantidad de agua que llega al suelo, debido a la interceptación en el follaje de la lluvia incidente. El valor de almacenamiento es la cantidad de agua que permanece en la parte aérea de la

unidad de cobertura vegetal después de parar el goteo a la superficie del suelo. El almacenamiento de la lluvia por el follaje de la cobertura vegetal está relacionado con las características morfológicas del cultivo y el índice de área foliar.

Por otro lado la porosidad de la superficie del suelo es mantenida en buen estado, protegiéndola con una cobertura de la erosión que causa el impacto de las gotas de lluvia; una buena cobertura vegetal absorbe la mayor parte de la energía de las gotas de lluvia que caen sobre la misma y cuando esta agua de lluvia llega al suelo debajo de la cobertura su capacidad para desintegrar los agregados de suelo y separar las partículas finas ha sido atenuada o anulada. Como consecuencia, hay escasa o ninguna obstrucción de los poros de la superficie del suelo y poca deposición de partículas de suelo que puedan formar una costra sobre la superficie.

Formaciones vegetales

- Humedales andinos

También llamados oconales, son pantanos de pastizales alto andinos que se presentan sobre suelos mal drenados que reciben constantemente agua, de tal forma que permanecen siempre húmedos, incluso durante las sequías prolongadas. Los suelos son usualmente de grava o arena con una rica capa de materia orgánica (turba). Aquí predominan plantas adaptadas a las condiciones de anegamiento permanente tales como juncos y ciperáceas.

- Pastizal y Césped de puna

Se encuentra por encima del límite de presencia de árboles, la mayor parte de la puna se caracteriza por una monótona extensión de planicies y laderas cubiertas por gramíneas altas, a las cuales se les conoce colectivamente como césped de puna, aquí las especies predominantes son las gramíneas, las más conocidas son el ichu (*stipa ichu*) y la chiliwa (*festuca dollicophylla*).

Los pastizales normales se presentan en zonas más bajas o más secas, donde no es posible el desarrollo de los densos pajonales aglomerados, muchas de las plantas presentes en esta formación vegetal también suelen presentarse dentro de matorrales y bosques; como ejemplo se muestran la gimnosperma *Ephedra rupestris* y la asterácea *Tagetes minuta*

- **Matorral sub húmedo de valles interandinos**

Se caracterizan por la presencia de comunidades arbustivas que mantienen su follaje siempre verde durante todo el año, alcanzando generalmente alturas hasta de 4 m, que se encuentran en forma dispersa y formando bosquetes, se localizan en las porciones elevadas de la cordillera de los andes entre los 3,000 a 3,900 m. Entre las especies que representan a esta comunidad tenemos a *Brachiotum naudinii*, *Baccharis odorata*, *Pterichis silvestris*.

- **Áreas intervención antrópica**

Corresponden a las áreas habilitadas por el hombre para desarrollar principalmente cultivo de secano y por lo general están ubicados en la ladera baja de los cerros y de poca pendiente. Los cultivos son papa, haba y maíz.

e) Cultivo bajo riego

Proaño J., D. (2010): WEAP puede representar la demanda de riego de la siguiente manera:

- a. Primero se selecciona aquellas unidades en las que la existencia de cultivos resulta relevante como utilización del espacio.
- b. Posteriormente se crean al interior del esquema WEAP las unidades asociadas a riego en cada microcuenca.
- c. Se considera en porcentaje las áreas de las unidades de cultivo bajo riego.

f) Demanda urbana

Proaño J., D. (2010): Para poder determinar la demanda de agua urbana se considera la información proveniente de los censos del INEI, en general se caracteriza esta demanda de acuerdo con el número de habitantes, tasa de crecimiento y consumo per cápita.

3.6.4. Calibración

Proaño J., D. (2010): El proceso de calibración se trata de encontrar un conjunto de parámetros hidrológicos que permitan obtener una representación de los caudales, que se asemejen a los datos históricos de la manera más cercana posible, para lograr esto, será necesario elaborar comparaciones entre las series de datos históricos versus los calculados en sitios donde existan estaciones hidrológicas.

Es importante anotar que desde el punto de vista de programación, WEAP no corre el modelo sino hasta que todos los datos necesarios están debidamente entrados en el modelo. Por ejemplo, si en un elemento específico falta un parámetro, WEAP suspende la corrida del modelo.

3.6.5. Aspectos metodológicos de la calibración del modelo

Proaño J., D. (2010): En el proceso de calibración, es de suma importancia el análisis de las características hidrológicas particulares asociadas a los ecosistemas que puedan ser relevantes dentro de la cuenca de estudio, es necesario establecer factores de calibración generales para todos las microcuencas, estos modificarán los parámetros de uso de suelo.

En general los problemas que se presentan dentro de la calibración, corresponden a ajustar los caudales pico y base.

Si se busca aumentar la respuesta de caudales pico se debe ajustar la escorrentía superficial la cual es directamente afectada por RRF (factor de resistencia al escurrimiento) y K_s (conductividad en la zona de raíz), ambos afectan la reactividad de las microcuencas. Por otra parte, si lo que se busca es afectar los caudales base se debe ajustar el Pfd (dirección de flujo preferente) y K_d (conductividad profundidad).

El proceso de calibración del modelo se realiza en tres etapas consecutivas. Estas etapas permiten revisar el comportamiento del modelo primero en las cuencas aportantes que corresponden a zonas de régimen natural, luego en las cuencas intermedias y finalmente en las cuencas bajas.

3.6.6. Aspectos prácticos de la calibración del modelo

Proaño J., D. (2010): Existen 3 aspectos prácticos esenciales para ser tomados en cuenta al momento de la calibración.

- El primero está relacionado con los supuestos claves y la creación de escenarios de calibración.
- El segundo hace referencia al uso de códigos de visual basic llamados SCRIPTS para poder sistematizar el análisis de varias corridas del modelo de simulación hidrológica WEAP.
- El tercero tiene que ver con la evaluación del modelo y con el uso de planillas de excel para hacer el seguimiento durante el proceso de calibración.

La calibración es evaluada por 4 índices/métricas, para establecer el grado de correspondencia entre los valores observados y los valores modelados, los índices de evaluación son: índice de eficiencia de Nash-sutcliffe, el sesgo (desviación relativa de los caudales), el error cuadrático medio (RMSE) y el coeficiente de correlación (R^2)

- Error medio cuadrático RMSE.

$$RMSE = \frac{100}{Q_a} \sqrt{\frac{\sum (Q_g - Q_a)^2}{n}}$$

Dónde:

RMSE = Error medio cuadrático.

Q_g = Caudal generado.

Q_a = Caudal aforado.

n = Número de aforos.

Este índice permite comparar el ajuste entre los datos observados y los simulados, los valores de RMSE iguales a cero son óptimos ya que los errores no existirían y la relación sería perfecta, puede darse cualquier valor positivo.

3.6.7. Creación de escenarios

Una vez que se cuente con el modelo para la cuenca completamente calibrado se pueden realizar una serie de estudios específicos. Una clase de estos estudios corresponde a la evaluación de diferentes escenarios potenciales futuros. Los escenarios futuros pueden ser de diferentes tipos:

- Escenarios de crecimiento o cambio en la población
- Escenarios de uso de suelo
- Escenarios de clima

Los escenarios de uso de suelo pueden considerar aspectos de cambio en la cobertura vegetal dada por tendencias futuras como por ejemplo disminución o aumento de zonas forestales, o cambio en tipos de cultivos por tendencias económicas.

Los escenarios de clima constituyen uno de los aspectos de mayor uso en un modelo agregado como WEAP.

3.6.8. Balance Hídrico

Proaño J., D. (2010): El concepto de balance hídrico se deriva del concepto de balance en contabilidad, es decir, que es el equilibrio entre todos los recursos hídricos que ingresan al sistema y los que salen del mismo, en un intervalo de tiempo determinado.

Un balance hídrico es la cuantificación tanto de los parámetros involucrados en el ciclo hidrológico, como de los consumos de agua de los diferentes sectores de usuarios, en un área determinada, cuenca, y la interrelación entre ellos, dando como resultado un Diagnóstico de las condiciones reales del recurso hídrico en cuanto a su oferta, disponibilidad y demanda en dicha área. Dado que el Balance Hídrico presenta un diagnóstico de las condiciones reales del recurso hídrico en un área en particular, permite tomar medidas y establecer lineamientos y estrategias para su protección y utilización de una manera integrada, de tal forma que se garantice su disponibilidad tanto en cantidad como en calidad.

3.7. Sistema de información geográfica (SIG)

3.7.1. Definición de SIG

Universidad Nacional Agraria La Molina (1993): Denominado también sistemas de información geográfica (SIG) que se puede definir como bases informatizadas de datos con algún tipo de componente espacial. Esto significa que la información que almacena está referida geográficamente, ya se trate de mapas estadísticas o datos climáticos sobre un territorio concreto por lo que todas estas variables pueden relacionarse mutuamente de forma muy diversa.

3.7.2. Objetivos del SIG

La aplicación de los sistemas de información geográfica debe cumplir con los siguientes objetivos:

- a) Tener la ubicación espacial del problema en estudio
- b) Normalizar la correlación de datos.
- c) Proporcionar un almacenamiento coherente de la información espacial, pudiendo ser actualizada o manipulada con el mínimo esfuerzo.
- d) Permitir la obtención de modelos cartográficos a partir de la transformación o combinación de diversas variables
- e) Facilitar la presentación grafica de los resultados mediante diversos periféricos de salida (impresoras, graficadores).
- f) Simular las consecuencias de determinada decisión, antes que un error de planeamiento modifique irreversiblemente el paisaje mismo.

Estos objetivos hacen que el sistema tenga un papel decisivo en la renovación y dinamización de todas las actividades que involucra la evaluación del espacio geográfico.

3.7.3. Funciones del SIG

El SIG ofrece la posibilidad de almacenar datos espaciales (elementos cartográficos), de almacenar y relacionar datos sobre atributos de elementos espaciales (por ejemplo tipo de suelo, tipo de cubierta vegetal, propiedades, profundidad de suelos), y el análisis de datos espaciales (por ejemplo cálculo de las partes de una cuenca hidrográfica que presentan diversas formas de pendiente), por cuanto la información que contiene se almacena en formato digital, los SIG aprovechan las posibilidades analíticas de los ordenadores, facilitando múltiples operaciones que resultan difícilmente accesible por medios convencionales.

- a. **Entrada de datos.-** Cuya procedencia puede ser de teledetección (sensores remotos), cartografía en diversas escalas y proyecciones, estadísticas, modelamiento digital del terreno.
- b. **Almacenamiento y organización de la base de datos.-** Que permita una estructura relacional y facilite búsquedas complejas.
- c. **Análisis.-** Que permita efectuar cualquier operación que transforme las variables originales para un objetivo determinado.
- d. **Presentación gráfica.-** Debe permitir la obtención de los resultados del análisis en formatos de alta calidad cartográfica.

3.7.3.1. Componentes del SIG

El SIG está compuesto por unos equipos físicos especializados en el manejo de información espacial y una serie de programas que, conectados con aquellos, permiten realizar múltiples transformaciones a partir de las variables espaciales introducidas a los sistemas, el SIG no es un producto cerrado en sí, sino un compuesto de elementos diversos: Ordenador, digitalizador, trazador gráfico, impresoras, distintos paquetes de programas, orientados hacia una finalidad específica.

3.7.3.2. Tipos de SIG

Los sistemas de información geográfica, atendiendo a la forma como ingresan los datos, se pueden clasificar en:

A.- Raster.- Representa al mundo real a través de unidades discretas o celdas, la información se almacena explícitamente en una estructura de celdas, conformando una matriz cartesiana donde las columnas representan al eje de las ordenadas y las filas al eje de las abscisas.

La conversión de un mapa original a una estructura celular se logra a través de:

- Muestreo puntual: donde se asigna a la celda el valor del atributo que ocurre en un punto dato dentro de la celda.
 - Muestreo modal: donde se asigna a la celda el valor dominante del atributo.
- Ventajas.
- La estructura de datos es simple.
 - Facilidad en la sobre posesión y combinación de mapas con datos de percepción remota.
 - Facilidad en el análisis espacial.
 - Facilidad en la simulación por el tamaño y forma de la unidad espacial.
 - Tecnología barata y en pleno desarrollo.
 - Permite el uso de las mismas celdas para varias variables.

B.- Vectorial.- La estructura vectorial está formado por secuencias ordenadas de pares de coordenadas interconectadas que pueden ser enlazadas a atributos, este modelo está representado por tres entidades geográficas principales: puntos (dimensión 0), líneas (dimensión 1), y superficies (dimensión 2).

Ventajas.

- Buena representación de las estructuras fenológicas de datos.
- Compacta estructura de datos.
- La topología puede ser completamente descrita con enlace de redes.
- Posibilita la búsqueda, actualización y generalización de gráficos y atributos.

3.7.3.3. Procesos aplicativos del SIG en el modelo WEAP

a) Procesamiento de datos previo a construcción del modelo

Los datos de SIG y los datos climatológicos obtenidos deben ser procesados antes de ser incorporados en el modelo. Por ejemplo, debe ser analizado para obtener los datos de área de las distintas microcuencas. Por otro lado, los datos climatológicos deben ser analizados respecto a la cobertura de la zona y convertidos al paso de tiempo seleccionado para el modelo.

b) Delimitación de microcuencas en SIG

Las microcuencas se deben delimitar en ciertos puntos de interés hidrológico donde se desea conocer exactamente el valor del caudal en un momento determinado durante el uso del modelo, ya sea para la calibración o la simulación de escenarios futuros. Estos puntos son:

- Confluencia de ríos.
- Puntos de aforo de caudales.
- Reservorios existentes (y proyectados).
- Puntos de inicio y de terminación de canales de derivación de agua.

3.8. Sistema de posicionamiento global (GPS)

Caro M., K. (2009): El GPS es un sistema de navegación a base de un satélite desarrollado por el departamento de defensa de los estados unidos a fin de ofrecer un método simple de navegación consistente y precisa, aunque originalmente se diseñó para aplicaciones militares, se tiene un uso comercial y recreacional con un cubrimiento de navegación a nivel mundial de 24 horas y una precisión de hasta 15 m.

La navegación con GPS usa extensión de satélites para determinar su posición en relación con un grupo de satélites que orbitan la tierra. La constelación GPS está formada por 24 satélites, los cuales continuamente responden enviando señales de radio que contienen la posición exacta y la hora para cada satélite, el GPS actualiza continuamente la posición y le ofrece información de velocidad y rastreo. Los GPS, son usados comúnmente para determinar el emplazamiento geográfico y también para cartografía de suelos, bosques, ríos, campos agrícolas.

3.8.1. Tipos de GPS

a) GPS absolutos (navegador)

Caro M., K. (2009): Es el utilizado por los navegadores más sencillos, en el cual el usuario no tiene que hacer prácticamente nada, pues el navegador se encarga de sintonizar la señal de cada satélite, ajustar su reloj, computar las distancias y calcular la posición en consecuencia, en función del tipo de receptor que dispongamos, este método tiene una precisión planimetría entre 7 metros y 25 metros, dependiendo de la geometría de la constelación y de la calidad con que nos llegue la señal.

b) GPS diferencial

Caro M., K. (2009): Consiste en la utilización de un receptor móvil y una estación de referencia sobre coordenadas conocidas, en tiempo real, las estaciones de referencia transmiten las correcciones a realizar a los receptores del usuario, que también está leyendo directamente la señal GPS y que al vuelo coge dichas correcciones y las aplica a sus medidas, con lo cual se mejora notablemente la precisión del sistema.

3.9. Hydraccess

Hydraccess es un software completo, homogéneo, que permite importar y guardar varios tipos de datos hidrológicos en una base de datos en formato Microsoft Access 2000, y realizar los procesamientos básicos que un hidrólogo pueda necesitar.

3.9.1. Definición de hydraccess

El software fue desarrollado por un hidrólogo para hidrólogos. Su desarrollo empezó en el año 2000, y se ha continuado con regularidad desde esta fecha. Su autor es Philippe Vauchel, Hidrólogo del IRD (Instituto Francés de Investigación para el Desarrollo).

Hydraccess proporciona numerosas posibilidades de visualizar los datos, en gráficos simples o comparativos, que es posible desfilarse libremente bajo Microsoft Excel gracias a una pequeña macro incluida con el software. Así se puede visualizar los datos al intervalo de tiempo que conviene a la variabilidad de los datos.

El análisis de los aforos con molinete es todavía un pasaje indispensable para el hidrólogo que efectúa mediciones de campo. En otro tiempo, se analizaban los aforos en papel milimetrado, y se trazaba el perfil de velocidad de cada vertical con atención, cuidando que el trazado sea lo mejor posible según el conocimiento que se tenía de la estación.

3.9.2. Funciones de hydraccess

- Funciones gráficas, que producen datos y gráficos simples o comparativos bajo Excel.
- Cálculo automático de los caudales y caudales sólidos, a partir de datos obtenidos en campo.
- Cálculo del vector regional de datos climatológicos.
- Cálculo de la ETP.

3.10. Sistema de información hidrológica (SIH)

UNALM. (2003): En su manual indica lo siguiente; el sistema de información hidrológica SIH 2000 es un programa de almacenamiento, gestión, análisis y modelación de la información relacionada con los recursos hídricos en las cuencas del país. La primera versión del SIH ha sido presentada en abril de 1999. La versión actual del programa incorpora sustanciales mejoras y ha sido creado con la finalidad de brindar una eficiente ayuda a los profesionales en hidrología y administración de los recursos hídricos. Este programa conlleva las más modernas técnicas de la ciencia hidrológica, estadística e informática.

3.10.1. Objetivos del SIH

- Almacenamiento de datos hidrometeorológicos.
- Análisis de consistencia y doble Masa.
- Análisis de persistencia.
- Análisis de frecuencias de máximas avenidas.
- Completación y extensión de datos hidrometeorológicos.
- Modelación estocástica.

Se advierte el hecho de que el SIH 2000 es una herramienta de gran ayuda al hidrólogo y no pretende reemplazarlo, en tal sentido está orientado al uso por profesionales con conocimientos en hidrología.

IV. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

. Tipo de investigación

Por el tipo de investigación, el presente estudio reúne las condiciones metodológicas de una investigación aplicada o tecnológica, en razón que se utilizaran conocimientos de las ciencias agronómicas, el trabajo se ha iniciado en el Marzo del año 2010 con recojo de información en campo y se ha finalizado en Diciembre del año 2014.

. Nivel de investigación

De acuerdo a la naturaleza del estudio de la investigación, reúne por su nivel las características de un estudio descriptivo.

4.1. Aspectos generales de la subcuenca Pitumarca

4.1.1. Ubicación

4.1.1.1. Ubicación política

Departamento	: Cusco
Provincia	: Canchis
Distrito	: Pitumarca – Checacupe

4.1.1.2. Ubicación geográfica

Latitud Sur	: 13° 92' 14.4"
Longitud Oeste	: 71° 25' 30.2"
Altitud	: 3420 a 6370 m.s.n.m.

4.1.1.3. Ubicación hidrográfica

Cuenca	: Vilcanota
Subcuenca	: Pitumarca

4.1.1.4. Ubicación ecológica

Temperatura media anual : 5.14 °C
 Precipitación media anual : 1036.26 mm.

4.1.1.5. Límites

Por el Norte : Distrito Ocongata.
 Por el Sur : Distrito Combapata, Checacupe.
 Por el Este : Distrito Pitumarca - CC. Phinaya.
 Por el Oeste : Distrito Cusipata.

4.1.1.6. Comunidades y población en la subcuenca de Pitumarca

Cuadro 09. Comunidades y población en la subcuenca de Pitumarca.

Distrito	Comunidad	Pob. urbano	Pob. rural	Población total	%	
Pitumarca	1 Ccapacchapi (Qapaqchapi)		700	700	6.58	
	2 Chillca		461	461	4.33	
	3 llave		970	970	9.12	
	4 Ananiso		271	271	2.55	
	5 Osefina		265	265	2.49	
	6 Pampachiri I			720	720	6.77
		Pampachiri II		107	107	1.01
		Pampachiri III		223	223	2.10
	7 Uchulluclo		215	215	2.02	
8 Pitumarca	2996		3346	28.17		
9 Sallani		128	128	1.20		
Checacupe	10 Checacupe	2034		2034	19.12	
	11 Cangalli	985		985	9.26	
	12 Ccafiocota		130	130	1.22	
	13 Chari		432	432	4.06	
TOTAL POB. SUBCUENCA		6365	4272	10637	100.00	

Fuente: Elaboración propia, con los datos del INEI. 2007.

4.1.2. Extensión de la subcuenca Pitumarca

La subcuenca de Pitumarca, se encuentra ubicado dentro de los distritos de Pitumarca y Checacupe de la provincia de Canchis, región del Cusco; presenta una superficie de 689.374 Km²., constituida el 95% por el distrito de Pitumarca y 5 % al distrito de Checacupe.

4.1.3. Accesibilidad

Para acceder a la subcuenca de Pitumarca se encuentra:

- En la vía principal asfaltada de primer orden, de importancia socio-económica, constituida por la carretera Cusco – Sicuani – Puno - Arequipa, a 92 km., de Cusco hasta el distrito de Checacupe a lado izquierdo de la vía.
- El acceso al distrito de Pitumarca se realiza por una vía carrozable afirmada de 7 km., Checacupe-Pitumarca.

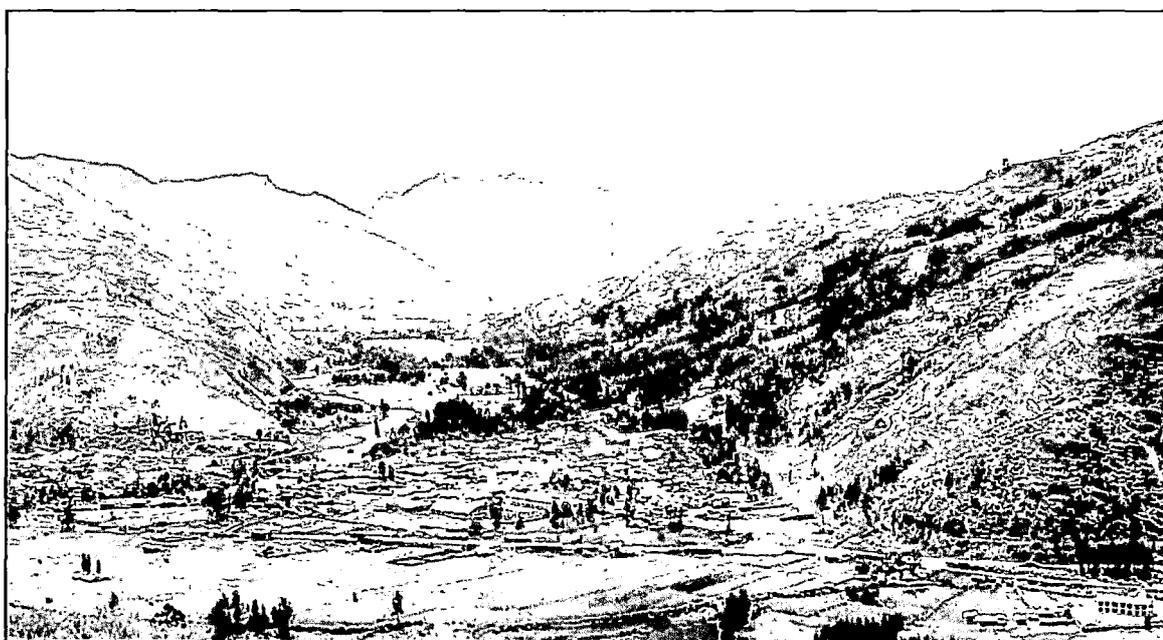
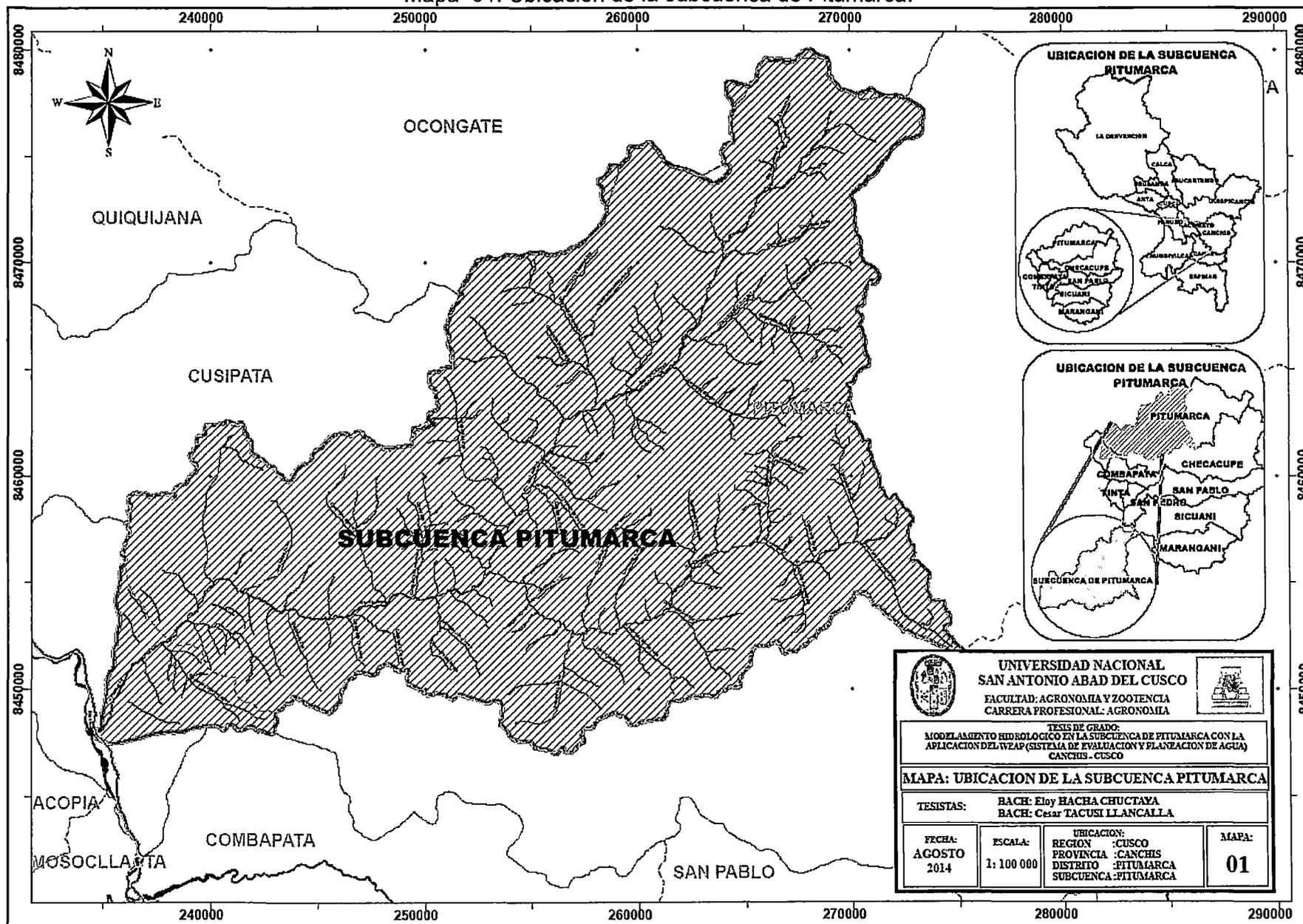


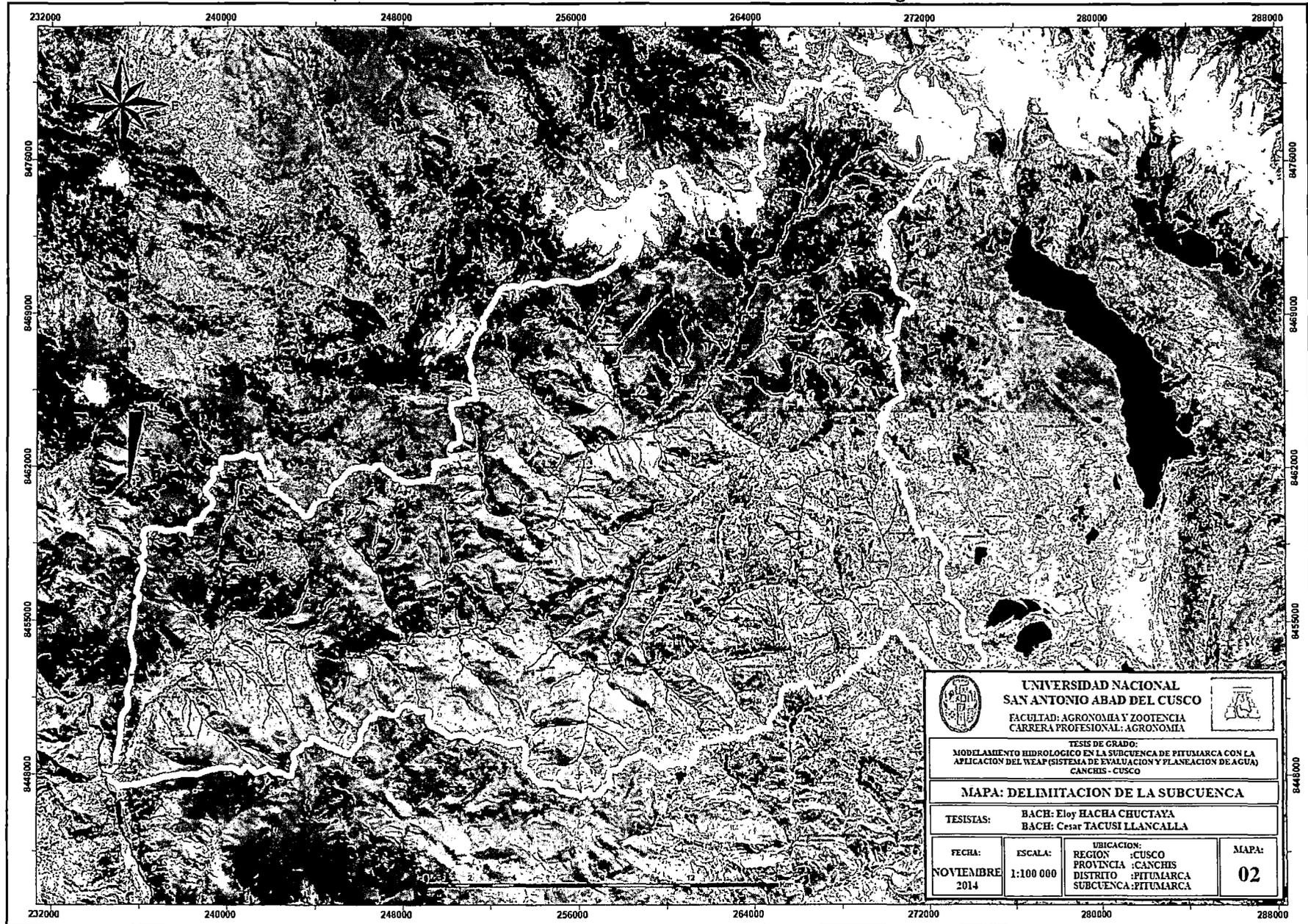
Foto 01. Vista panorámica del distrito de Checacupe.

Mapa 01. Ubicación de la subcuenca de Pitumarca.



Fuente: Elaboración propia. 2014.

Mapa 02. Delimitación de la subcuenca Pitumarca en la imagen Lanzad.



Fuente: Elaboración propia. 2014.

4.2. Materiales e instrumentos

4.2.1. Información cartográfica

- Carta nacional a escala 1/50 000 con curvas a nivel a cada 50 metros del Instituto Geográfico Nacional (IGN)
- Imagen satelital Landsat de 30 metros de resolución espacial del año 2010 obtenidas del proyecto FOT (fortalecimiento del desarrollo de capacidades en ordenamiento territorial en la región del Cusco)
- Mapa hidrográfico, digitalizada por medio de Sistema de Información Geográfico (SIG)

4.2.2. Equipos de medición

- Correntómetro Tipo seba – universal, proporcionada por el proyecto FOT (fortalecimiento del desarrollo de capacidades en ordenamiento territorial en la región del Cusco).
- Receptores de GPS (Sistema de Posicionamiento Global).
- Vertederos con capacidades de: 1.5 litros y 5.0 litros.
- Baldes transparentes graduados de 5.0 litros.
- Tubos (PVC) de 4 pulgadas de diámetro con una longitud de 50 centímetros.
- Nivel de Carpintero.
- Cinta métrica de 5 metros y 30 metros.
- Cronómetros portátiles.

4.2.3. Software a utilizar

- ARC GIS (sistema de información geográfica).
- SIH (sistema de información hidrológica).
- WEAP (sistema de evaluación y planeación de agua).
- Hydraccess.
- Map Source.

4.3. Metodología para la determinación de los parámetros geomorfológicos, inventario de fuentes hídricas e infraestructura de riego y agua potable.

4.3.1. Determinación de los parámetros geomorfológicos

Para el estudio se consideró los siguientes parámetros:

- Parámetros geomorfológicos.
- Parámetros hidromorfométricos

4.3.1.1. Parámetros geomorfológicos

4.3.1.1.1. Elementos de superficie

Área de la subcuenca (Ac)

Se determinó por el método de areado en el software ArcGis 9.3 utilizando la imagen satelital Landsat de 30 metros de resolución del año 2010 y carta nacional a escala 1/50 000 con curvas a nivel equidistante a cada 50 metros.

4.3.1.1.2. Elementos de distancia

Perímetro (P)

Se obtiene a partir de la longitud de la línea de división de aguas y que se conoce como "divortium aquarum" mediante la utilización del software ArcGis 9.3.

Longitud axial (LA)

Se ha determinado en el software ArcGis 9.3 graficando la distancia que existe entre la desembocadura y el punto más lejano de la subcuenca.

Ancho promedio (Ap)

Se halla dividiendo el área de la subcuenca por su longitud axial, así:

$$Ap = \frac{Ac}{La}$$

Donde:

Ap = Ancho promedio.

Ac = Área de la subcuenca.

La = Longitud axial.

4.3.1.1.3. Elementos de forma de la subcuenca

Factor forma (Ff)

Este índice morfométrico expresa la relación entre el ancho promedio y la longitud axial de la subcuenca.

$$Ff = \frac{Ap}{La}$$

Donde:

Ff = Factor formas.

Ap = Ancho promedio.

La = Longitud axial.

Coefficiente de compacidad (K)

Se obtiene de la división del perímetro de la subcuenca por el perímetro de una circunferencia cuya área (igual a la de un círculo) es equivalente al área de la subcuenca en estudio.

$$K = \frac{P}{2x\sqrt{\pi Ac}}$$

Donde:

K = Coeficiente de compacidad.

P = Perímetro.

Ac = Área de la subcuenca

Razón de elongación (Re)

Se determina a partir de la división entre el diámetro de un círculo de área igual a la de la subcuenca y el largo máximo (**Lm**) o longitud axial (**La**) de la misma.

$$Re = 2x \frac{\sqrt{Ac / \pi}}{La}$$

Donde:

Re = Razón de elongación.

Ac = Área de la subcuenca

La = Longitud axial.

4.3.1.1.4. Elementos de configuración de relieve

Rectángulo equivalente

Los lados del rectángulo equivalente viene dado por:

$$L = \frac{Kx\sqrt{Ac}}{1.12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K} \right)^2} \right] \quad l = \frac{Kx\sqrt{Ac}}{1.12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K} \right)^2} \right]$$

Donde:

L = Lado mayor del rectángulo (km.)

l = Lado menor del rectángulo (km.)

K = Coeficiente de compacidad.

Ac = Area de la subcuenca (km².)

Polígono de frecuencia de altitudes

Se calcula tomando el porcentaje de cada área parcial.

Curva hipsométrica y mediana de la altitud (MH)

Para la determinación de la curva hipsométrica se trabajó en curvas de nivel cada 200 metros que caracteriza en cierto modo el relieve de la cuenca, se graficó en función de la altitud de la subcuenca y el área de la misma, la mediana de la altitud es el 50% del área sobre la cota.

Altitud media de la subcuenca Pitumarca (HM)

Para el presente estudio se realizó el método de la altitud media y para su cálculo se utiliza la siguiente formula.

$$HM = \frac{\sum(hixSi)}{Ac}$$

Donde:

HM = Altitud media de la subcuenca.

hi = Altitud media de cada area parcial, entre las curvas de nivel, se toma con respecto al emisor o desembocadura.

Si = Area parcial entre curvas de nivel sucesivas.

Ac = Area de la subcuenca.

4.3.1.2. Parámetros hidromorfométricos

4.3.1.2.1. Grado de ramificación

Para este estudio se utilizó el sistema propuesto por Horton (1945), modificado por Strahler (1952), el método de Strahler consiste en que la corriente de primer orden, no tienen tributarios, la unión de dos corrientes de primer orden hacen el segundo orden y la corriente de orden $n+1$, cuando dos corrientes de orden n se unen.

4.3.1.2.2. Densidad de drenaje (Dd)

Se calcula mediante la relación.

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

Dónde:

Dd = Densidad de drenaje.

Li = Distancia del agua que escurre en línea recta.

A = Área de la subcuenca.

La red hidrográfica es densa, cuando tiene una densidad de drenaje superior a 2.5 km/km^2 ; y una subcuenca muy mal drenada, tiene una Dd de algunas décimas de km/km^2 .

4.3.1.2.3. Extensión media de escurrimiento superficial (Es)

Nos indica la distancia en línea recta, que el agua de precipitación tendrá que escurrir para llegar al lecho de un curso de agua.

$$Es = \frac{Ac}{4xLi}$$

Dónde:

Es= Escurrimiento superficial.

Li = Distancia del agua que escurre en línea recta.

A = Área de la subcuenca.

4.3.1.2.4. Frecuencia de ríos (Fr)

Relaciona el total de los cursos de agua con el área total de la subcuenca, para el presente estudio se calculó con la siguiente ecuación:

$$Fr = \frac{\#ríos}{A}$$

Dónde:

Fr = Frecuencia de ríos.

Ríos = Número de ríos presentes en la subcuenca.

A = Área de la subcuenca.

4.3.2. Inventario de fuentes hídricas

Previa al inventario de recursos hídricos en cada uno de las comunidades, se realizó una reunión de trabajo con los directivos de cada comunidad con la finalidad de llevar a cabo la sensibilización para la identificación de fuentes hídricas, para ello se formó una comisión de apoyo integrada por un representante del comité de regantes un directivo comunal.

El inventario de fuentes hídricas superficiales en la subcuenca de Pitumarca se ha realizado en el mes de Abril del año 2010, con trabajos de campo, que ha incluido la medición de caudales por los diferentes métodos de medición.

4.3.2.1. Inventario de manantes

Los manantes constituyen importantes fuentes hídricas en zonas altas de la subcuenca de Pitumarca, para el inventario de manantes se ha codificado con una clave de ubicación según el orden correlativo de manante, provincia, distrito y comunidad, para tener una mejor representación en el mapa.

A continuación se describe la clave de ubicación:

M01_CAPIAN

Dónde:

M01 = Corresponde a un orden correlativo de los manantiales dentro de la subcuenca, estos códigos están expresados en los planos.

CA = Corresponde a un código asignado a la provincia a la que se hace referencia (Canchis).

PI = Corresponde a un código asignado al distrito a la que se hace referencia (Pitumarca).

AN = Corresponde a un código asignado a la comunidad a la que se hace referencia (Ananiso).

Una vez ubicado las fuentes de agua, se procedió a la georeferenciación con un GPS, esto para la ubicación exacta de cada fuente de agua, posteriormente se realizaron los aforos respectivos, para el aforo de los manantes se escogieron los equipos de aforo (RBC y balde) por su precisión, comodidad en el transporte y por su sencillez, ya que las fuentes de agua se ubican en lugares muy lejanos y de difícil acceso, terminándose con la descripción del uso actual tales como consumo humano, riego de cultivos, terminando todo ello con el llenado de la ficha técnica de campo, para la medición de caudal se ha utilizado los métodos:

a) Método volumétrico

Para este método se utilizó un recipiente graduado (balde), cronometro, calculadora y una libreta de campo, una vez ubicado la fuente de agua, por debajo de esta se coloca el recipiente graduado y se procede al llenado de este, tomando el tiempo con un cronometro, luego se calcula con una operación de regla de tres simple, la cantidad del caudal de la fuente, procedimiento que se realizó 5 veces en cada fuente y luego se saca un promedio final de cada prueba.

b) Método conductor aforador

Para este método se utilizó el aforador RBC, ya que es el más difundido para la medición de caudales de poco volumen y fácil manejo, es un canal portátil el cual es colocado en la sección del cauce y nos da el caudal en l/s.



Foto 02. Aforo por el método volumétrico del manante Qacasique, Putucuni Pitumarca.



Foto 03. Aforo del manante Puchuylayocpucjio, Pachaschani Osefina.

4.3.2.2. Inventario de ríos y riachuelos

El inventario de ríos en la subcuenca se ha realizado considerando el concepto que un río es un cauce natural con agua durante todo el año, y los cauces con poco caudal tienen la denominación de “riachuelos”, que son una parte importante del sistema de drenaje de la cuenca durante la época de precipitaciones pluviales.

El trabajo de levantamiento de información en campo se ha realizado en el año 2010, en el cual se ha inventariado los principales riachuelos y ríos incluyendo la medición del caudal por el método sección velocidad (flotador) y por el método de correntómetro en los principales ríos.

a) Método de sección velocidad (método del flotador)

Los materiales utilizados son un flotador (trozo de madera), wincha, cronometro, calculadora y libreta de campo.

Se realizó por este método a los riachuelos que tienen poco caudal, siguiendo los siguientes pasos:

Selección del lugar. Se seleccionó en el riachuelo un tramo, uniforme, dejando que el agua fluya libremente, sin turbulencias ni impedimentos.

Medición de velocidad. Se ubicaron dos puntos, un punto de entrada y uno de salida, con una distancia de la longitud en metros, se procedió a la toma de velocidades con el cronometro y el flotador (trozo de madera), se tomaron 3 tiempos, a los cuales se les realizó la media para obtener un tiempo promedio.

Medición de área de la sección transversal. Se midió el ancho del cauce y luego las alturas de la sección transversal, se midieron los tirantes “y” para obtener un tirante promedio.

Con los datos obtenidos se procede a calcular el caudal del río, en base a la siguiente ecuación:

$$Q \text{ (l/s)} = \text{Velocidad (m/s)} \times \text{Área (m}^2\text{)}$$

Donde:

$$Q = \text{Caudal del río (l/s)}.$$



Foto 04. Selección del lugar de aforo. Rio Sequeñanamayu. Sallani.



Foto 05. Medición de la longitud. Rio Sequeñanamayu. Sallani.



Foto 06. Medida de los tirantes. Rio Sequeñanamayu. Sallani.

b) Método de correntómetro

Para medir la velocidad del flujo superficial de los principales ríos de la subcuenca se ha utilizado el equipo llamado "correntómetro tipo molinete-universal marca SEBA Current F1".

Se realizó el aforo a los ríos que tienen caudal fuerte, siguiendo los siguientes pasos:

Elección del sitio de aforo. Con fácil acceso, de flujo normal sin oleajes, remolinos, remansos y obstrucciones de rocas, la profundidad del agua debe ser suficiente para el ingreso a pie.

Medición de área de la sección transversal. Primero se ha medido el ancho total del río y luego se ha dividido por tramos, en cada tramo se ha medido el espejo de agua y la profundidad o tirante.

Medición de velocidad. Para la medición de la velocidad en un tirante se ha colocado el molinete a una profundidad, luego se multiplica por 0.6 la longitud del tirante, posteriormente se ha registrado el número de revoluciones y el tiempo en segundos para ese número de revoluciones, todo ese proceso se realizó para cada tirante con tres repeticiones para sacar un promedio del número de revoluciones.

Calculo del caudal. Para obtener el caudal, se ha utilizado el software hidrológico hydraccess, para el procesamiento de datos se realizó los siguientes pasos:

- Edición de la estación de aforo con el nombre del río.
- Edición del aforo del río con el ingreso de fecha, lugar y tiempo.
- Se Ingreso la ecuación del helice que tiene el equipo correntómetro.
- Procesamiento de aforo con ingreso de datos obtenidos en campo.
- Finalmente el software hydraccess genero el caudal en m^3/s .

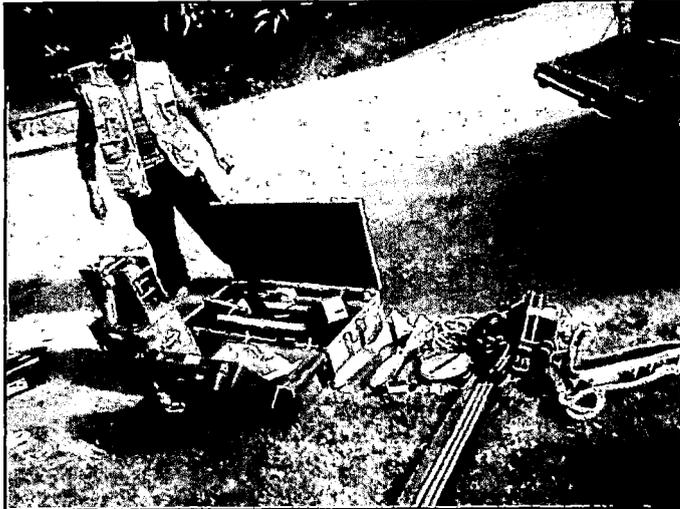


Foto 07. Vista del equipo correntómetro modelo SEBA UNIVERSAL F1.

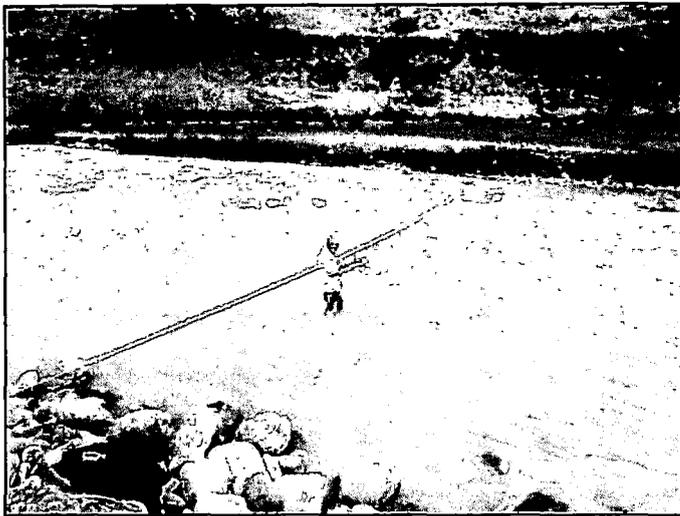


Foto 08. Aforo del río Pitumarca con Correntómetro en la desembocadura.

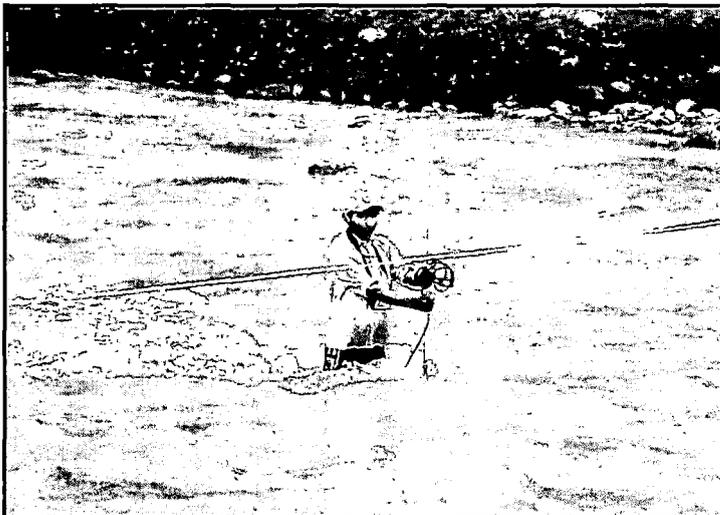


Foto 09. Aforo del río Pitumarca.

4.3.2.3. Inventario de lagunas

El inventario de lagunas en la subcuenca se ha realizado mediante el uso de la imagen Satelital Lansadt con una aproximación de 30 metros de resolución que hace posible la identificación de los cuerpos de agua.

Una vez ubicado la laguna en campo, se procedió a la georeferenciación con un GPS y su respectiva descripción.

4.3.2.4. Inventario de infraestructuras de riego y agua potable

Los diferentes sistemas de aprovechamiento se han localizado espacialmente e identificado por su importancia dentro de la construcción del modelo WEAP, por lo que se realizó el inventario de todos los sistemas de aprovechamiento hidráulico de la subcuenca y se tiene lo siguiente:

a) Inventario de Infraestructuras de riego

El inventario de infraestructuras de riego en la subcuenca de Pitumarca se ha realizado en el mes de Abril del año 2010, una vez ubicado la infraestructura se ha realizado el recorrido por todo el trayecto de la infraestructura, comenzando desde la captación hasta el final del canal y/o tubería principal, utilizando un GPS (sistema de posicionamiento global), posteriormente se ha realizado una descripción del uso de la infraestructura, de igual manera se realizó la medición de caudal de ingreso en los canales de la margen derecha e izquierda del río Pitumarca, ya que tienen un área de riego considerable.

c) Inventario de Infraestructuras de agua potable

Para el inventario de las infraestructuras de agua potable, primero se ha considerado la Ubicación de las captaciones y reservorios usando un GPS (sistema de posicionamiento global), posteriormente se ha realizado una breve descripción del tipo de infraestructura, longitud de la línea de conducción, ubicación política del sistema y el diámetro de la tubería principal.

4.4. Metodología para el cálculo de datos hidrometeorológicos

Dentro de la subcuenca de Pitumarca no existe ninguna estación meteorológica, por lo que se regionalizó los datos climatológicos según los modelos matemáticos propuestos, que a continuación se hace una descripción del proceso:

4.4.1. Estaciones meteorológicas

Para el presente estudio se han considerado 3 estaciones meteorológicas, (Sicuani, Pomacanchi y Yauri). Estas estaciones meteorológicas son operadas por SENAMHI (servicio nacional de meteorología e hidrología) y se encuentra en funcionamiento y las más cercanas al ámbito de estudio.

4.4.2. Vector regional

Para el estudio se realizó el análisis del vector regional utilizando el software Hydraccess para las 3 estaciones meteorológicas (Pomacanchi, Sicuani y Yauri), la idea básica del vector regional, es la siguiente: en lugar de comparar dos por dos estaciones por correlación o doble masa, se elabora una estación ficticia que sea una “especie de promedio” de todas las estaciones de la zona, con la cual se comparan cada una de las estaciones.

Los parámetros considerados son:

- a) La desviación estándar de los desvíos (D.E.D), compara la desviación de una estación meteorológica respecto al vector regional.
- b) Correlación entre la estación y el vector, si la zona es homogénea climáticamente, los valores serán cercanos entre sí, si un valor es sensiblemente más bajo que el promedio de la zona, entonces la estación tiene fuerte probabilidad de tener errores o que se encuentre en el margen de la zona.

4.4.3. Variables climáticas

Los parámetros climatológicos utilizados para el estudio son:

- Precipitación media mensual.
- Temperatura media mensual.
- Humedad relativa.
- Velocidad de viento.

Para el estudio de la subcuenca los datos de precipitación fueron considerados de los periodos de 1992 a 2011 para garantizar la validez de la información completada y extendida.

4.4.4. Análisis de consistencia de datos meteorológicos

Con la finalidad de poder detectar posibles datos inconsistentes en las series históricas se ha procedido al análisis visual de la información, el mismo que ha consistido en un análisis de los histogramas que representan la información de la precipitación en el tiempo a una escala mensual para detectar saltos y/o tendencias en la información histórica.

Para la realización del análisis de consistencia de la información meteorológica se utilizó el software SIH (sistema de información hidrológica), el SIH realiza el análisis de saltos y tendencias, con la formula estadística.

4.4.4.1. Análisis de saltos

Los saltos se presentan en la media, desviación estándar y otros parámetros, pero generalmente el análisis más importante que se realiza es en los dos primeros, etapas:

- Identificación, mediante el análisis gráfico y análisis de doble masa.
- Evaluación y cuantificación, utilizando las pruebas estadísticas "T" y "F".

- **Comparación del Tc con el Tt:**

Si, $t_c \leq t_t$ (95%), en este caso, siendo las medias iguales, estadísticamente, no se debe realizar proceso de corrección.

Si, $t_c > t_t$ (95%), en este caso, siendo las medias iguales, estadísticamente, se debe corregir la información.

- **Comparación del Fc con el Ft:**

Si, $F_c \leq F_t$ (95%), en este caso, siendo las medias iguales, estadísticamente, no se debe realizar proceso de corrección.

Si, $F_c > F_t$ (95%), en este caso, siendo las medias iguales, estadísticamente, se debe corregir la información.

4.4.4.2. Análisis de tendencias

Previamente a este análisis de tendencias se debe de tener analizado y corregido los saltos existentes, para luego recién analizar físicamente en la información de campo obtenido.

Se analiza en los dos primeros parámetros de una serie: tendencia en la media y tendencia en la desviación estándar. Para calcular y analizar una tendencia:

- Se estiman los parámetros de la tendencia.
- Se evalúa el grado de significación a un nivel de probabilidades mediante la prueba "T".

- **Evaluación de la tendencia:**

Para averiguar si la tendencia es significativa, se analiza el coeficiente de regresión o el coeficiente de correlación con la siguiente ecuación.

- **Calculo estadístico Tc:**

$$T_c = \frac{R\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-R^2}}$$

Dónde:

T_c = Valor estadístico t calculado.

N = Número total de datos.

R = Coeficiente de correlación.

- **Calculo estadístico Tt:**

El valor crítico de t, se obtiene de la tabla t de student, con un 95% probabilidad o con un nivel de significación del 5%.

$$\frac{\alpha}{2} = 0.025$$

$$G.L. = n - 2$$

Dónde:

G.L.= Grado de libertad.

N = número total de datos.

- **Comparación del Tc con el Tt:**

Si, $T_c \leq T_t$ (95%), entonces R no es significativo en este caso, en este, la tendencia no es significativo y no se corrige.

Si, $T_c \leq T_t$ (95%), entonces R no es significativo en este caso, en este, la tendencia no es significativo y no se corrige.

4.4.5. Análisis gráfico de la precipitación por estaciones

Para una buena visualización se realizó las comparaciones graficas de los histogramas a nivel anual de las 3 estaciones meteorológicas con registros históricos de los periodos de 1992-2011, a fin de detectar posibles saltos durante el periodo de información registrada.

4.4.6. Completación y extensión de datos meteorológicos faltantes

Para el estudio, ha sido necesario homogenizar la información a través de la completación y extensión de los registros. Este proceso de completación y extensión de la información pluviométrica total mensual se ha realizado con el software SIH, con el componente HEC4 (Centro de Ingeniería Hidrológica). El cual realiza una correlación múltiple cruzada entre los datos de precipitación mensual de todas las estaciones de trabajo, utilizando el coeficiente de correlación más adecuado.

4.4.7. Regionalización de datos meteorológicos para la subcuenca

Una vez realizado el proceso de homogenización y complementación de la información faltante se procedió a la regionalización de los datos meteorológicos según los modelos matemáticos, considerando la relación de variación de precipitación es directamente proporcional a la altura, considerando como variables independientes a las altitudes, y como variables dependientes a las precipitaciones, de las estaciones seleccionadas.

4.4.7.1. Regionalización de precipitación

Para la modelación hidrológica se sectorizo la subcuenca de Pitumarca en 3 microcuencas con sus respectivas altitudes medias, posteriormente se realizó la regionalización de la precipitación mediante la ecuación de regresión lineal, correlacionando la altitud de las estaciones meteorológicas y la precipitación media anual en las mismas, siendo la ecuación de regionalización:

Ecuación de regionalización por regresión lineal, el procedimiento se muestra en el cuadro 37.

$$P^2 = B_0 + B_1 * HM$$

Dónde:

P = Precipitación del mes.

B0 = Coeficientes independientes (altitudes de la estación meteorológica)

B1 = Coeficientes dependientes (precipitaciones)

H = Altitud media de la microcuenca

Ecuación de regionalización por influencia altitud y geográfico, el procedimiento se realiza en la hoja de cálculos que se encuentra en anexos.

$$E.E.i = a_i * b_i * E_i$$

Dónde:

E.E.i = Ecuación de precipitación de las estaciones base.

a_i = Factor de corrección altitudinal.

b_i = Factor de influencia geográfica.

E_i = Estación meteorológica.

De igual manera para la regionalización de temperatura, humedad relativa y velocidad de viento, se ha utilizado la ecuación de regresión lineal por influencia altitudinal y geográfica, el procedimiento se realizó en la hoja de cálculo del software que se encuentra en anexos.

4.5. Metodología para el proceso de modelación hidrológica y simulación de escenarios

Se realizó siguiendo los siguientes pasos.

4.5.1. Incorporación de datos al modelo de simulación hidrológica WEAP

La incorporación de datos es para generar el esquema base del modelo de simulación hidrológica WEAP, Los datos incorporados presentan características esenciales de oferta y demanda de agua, que continuación se describe cada una de estas sub-etapas.

4.5.1.1. Datos físicos

a) Área

El área total de la subcuenca de Pitumarca se dividió en tres microcuencas esto con la ayuda del software SIG, la denominación del nombre de las microcuencas se dio al nombre de los ríos principales de cada microcuenca.

b) Cobertura vegetal

La cobertura vegetal en las tres microcuencas, fue identificado a través de tonalidades presentes en la imagen satelital lanzada de 30 metros de resolución espacial y los mapeos realizados en campo, que permitió caracterizar el tipo de vegetación y el área que ocupa cada especie.

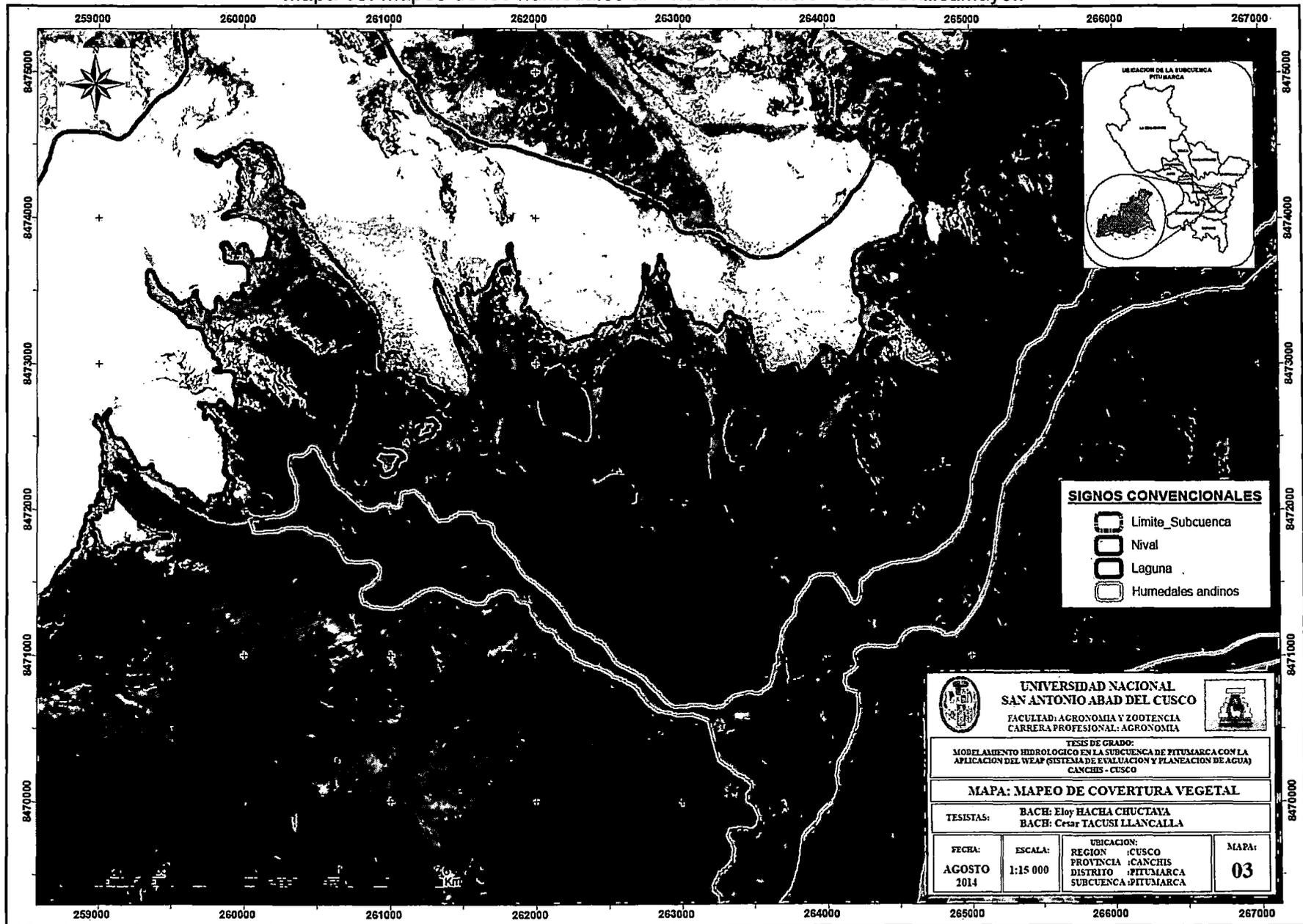


Foto 10. Mapeo en campo de la cobertura vegetal. Chillca Pitumarca.



Foto 11. Vista panorámica del glaciar Ausangate, comunidad de Chillca.

Mapa 03. Mapeo de los humedales andinos en la microcuenca Chillcamayo..



Fuente: Elaboración propia. 2014.

4.5.1.2. Datos climáticos

Los parámetros climatológicos utilizados para la modelación en WEAP son los datos obtenidos a partir de la regionalización para cada microcuenca de las estaciones de Pomacanchi, Sicuani, y Yauri, como son la precipitación, temperatura, humedad relativa, velocidad del viento.

4.5.1.3. Datos de las demandas

Para complementar el balance hidrológico realizado por el modelo en sus componentes naturales e intervenidas es importante realizar un análisis de la demanda de agua. Este análisis considera una serie de sub-etapas que se describen a continuación:

a) Agrícola

Para determinar la demanda agrícola primero se ha determinado la cedula de cultivo para diferentes especies y su respectivo periodo vegetativo, áreas de cobertura de cada especie y numero de campañas agrícolas al año.

Luego se procedió al cálculo de la evapotranspiración potencial por el método de Hargreaves III modificado para luego calcular la demanda hídrica por cada mes en la subcuenca.

b) Pecuaria

Para la demanda pecuaria se utilizó el cuadro de requerimiento de agua de las principales especies pecuarias de M.E. Ensminger 1996. Donde indica el consumo de agua por día por unidad animal en litros por día, luego con una regla de tres simple se calculó la demanda en m³ por mes.

c) Poblacional

La población demandante está caracterizada por ser eminentemente rural, según lo demuestran los datos obtenidos del censo INEI 2014 y las observaciones de campo, para el presente estudio se adoptó los módulos de la demanda que varía para la población urbana (70 l/per./día) y para el rural (50l /per./día), según la O.M.S. (Organización Mundial de la Salud).

4.5.2. Generación de caudales para el escenario actual

Una vez introducido los datos requeridos al software de modelación hidrológica WEAP, nos da un caudal en unidades de l/s y m³/s.

La ecuación que utiliza este modelo no es lineal, porque al afectar un parámetro se afectan otros de forma indirecta, la ecuación es la siguiente:

$$Sw_j \frac{dz_{1,j}}{dt} = P_e(t) - PET(t).k_{c,j}(t) \cdot \left(\frac{5z_{1,j} - 2z_{1,j}^2}{3} \right) - P_e(t) \cdot \frac{RRF_j}{z_{1,j}^2} - f_j \cdot k_s \cdot z_{1,j}^2 - (1 - f_j) \cdot k_s \cdot z_{1,j}^2$$

Dónde:

Sw = Capacidad de almacenamiento agua en la zona de raíz (mm).

P_e = Precipitación efectiva (mm/mes).

t = Temperatura (°C).

PET = Evapotranspiración potencial para un cultivo.

k_c = Coeficiente de cultivo para cada fracción de cobertura de suelo.

Z₁ = Nivel de humedad inicial en la zona de las raíces (%).

Z₂ = Nivel de humedad inicial en la zona profunda (%).

RRF = Factor de resistencia a la escorrentía de la cobertura del suelo (-).

f = Dirección preferencial del flujo relacionado al suelo, tipo de cobertura y topografía.

K_s = Conductividad de la zona de las raíces (mm/mes).

4.5.3. Calibración del modelo de simulación hidrológica WEAP

Para la calibración del presente modelo se realizó las 4 fases principales:

1. Primero se importaron los datos hidrometeorológicos.
2. Luego se da la corrida al modelo y se verificó las áreas de riego, para esto se modificaron los valores de módulo de riego y la eficiencia del sistema. únicamente estos parámetros ya que es más sensible al resto de los parámetros.
3. Luego, se modificaron los parámetros de suelo y escorrentía.
4. Finalmente se realizó las comparaciones de las variaciones con los datos de caudales aforados y caudales generados por el modelo, con la siguiente ecuación

Método error medio cuadrático RMSE.

$$RMSE = \frac{100}{Q_a} \sqrt{\frac{\sum (Q_g - Q_a)^2}{n}}$$

Dónde:

RMSE = Error medio cuadrático.

Q_g = Caudal generado.

Q_a = Caudal aforado.

n = Número de aforos.

Una vez realizado las comparaciones de caudales aforados con los generados se realiza el balance hídrico para la subcuenca en estudio.

4.5.4. Balance hídrico para la subcuenca de Pitumarca

El balance hídrico se realiza con el total de la demanda agrícola, población y pecuario, y el recurso actual generado, en metros cúbicos por segundo valores mensuales.

4.5.5. Generación de escenarios futuros

Con el modelo de simulación hidrológica WEAP completamente calibrado se realizó el cálculo para los escenarios futuros en la subcuenca de Pitumarca, estos escenarios son proyectados para el año 2035.

- Escenario 1, disminución de áreas de humedales andinos.
- Escenario 2, aumento de la temperatura.

4.5.5.1. Escenario 1, disminución de áreas de humedales andinos

En este escenario principalmente se tomó en cuenta las áreas de humedales andinos por la alta capacidad de absorción y retención de agua, amortiguando las inundaciones y manteniendo reservas para la temporada seca, según el estudio "humedal andino de importancia para el desarrollo de la región de Cusco" realizado en 2011, indica: Los humedales constituyen una reserva importante de agua dulce, sin embargo, como resultado de los cambios climáticos ocurridos en los últimos 25 años, la superficie total de glaciares se ha reducido en un 22%, Como consecuencia de esa merma se ha perdido alrededor del 12% del volumen de agua dulce de reserva.

Para el escenario 1 se ha reducido el 50% de áreas de humedales andinos, las cuales se determinaron con un mapa de cobertura vegetal en el software Argis 9.3, al reducir las áreas de humedales andinos se aumenta el área de pastizal y césped de puna.

Una vez reducido las áreas de humedales andino se importó los nuevos datos al modelo de simulación hidrológica WEAP para obtener los nuevos caudales generados, y con estos resultados se realiza el balance hídrico.

4.5.5.2. Escenario 2, aumento de la temperatura

Para este escenario se tomó en cuenta como referencia el estudio de “escenarios de cambio climático en la cuenca del río Urubamba para el año 2100”, realizado por SENAMHI, en 2007, para el presente estudio se tomó los datos de la estación Sicuani del siguiente cuadro.

Cuadro 10. Escenarios de cambio climático.

N°	Estación	Provincia	Región	DEF (°C)	+/- (°C)	MAM (°C)	+/- (°C)	JJA (°C)	+/- (°C)	SON (°C)	+/- (°C)
1	Anta Ancachuro	Anta	Cusco	1.9	1.1	2.3	1.0	3.0	0.9	3.0	1.0
2	Granja Kayra	Cusco	Cusco	2.3	1.1	2.4	1.2	2.8	1.3	2.7	1.0
3	Sicuani	Canchis	Cusco	2.6	1.1	2.8	1.0	3.2	1.2	2.9	1.2
4	Urubamba	Urubamba	Cusco	2.4	0.9	2.5	0.9	3.4	1.0	3.0	0.9

Fuente: Escenarios de cambio climático para el año 2100, MINAM. 2007.

Dónde:

DEF = Diciembre, Enero, Febrero.

MAM = Marzo, Abril, Mayo.

JJA = Junio, Julio, Agosto.

SON = Septiembre, Octubre, Noviembre.

+/- = Intervalo de variación con un 95% de confianza.

los datos de temperatura se incrementaron a los datos regionalizados de temperatura para cada microcuenca, posteriormente se importaron los nuevos datos al modelo de simulación hidrológica WEAP, ya que la temperatura afecta directamente a la demanda agrícola, a mayor temperatura mayor evapotranspiración de los cultivos, se realizó nuevo cálculo para esta demanda.

Con los nuevos datos importados al modelo se obtiene nuevos caudales generados para el escenario 2, y con estos resultados se realiza el balance hídrico para el escenario 2 sobre el incremento de temperatura.

V. RESULTADOS Y DISCUSIONES

5.1. Parámetros geomorfológicos, inventario de fuentes hídricas e infraestructuras de riego y agua potable

Se presentan los resultados en el siguiente orden:

- Parámetros geomorfológicos.
- Inventario de fuentes hídricas.
- Inventario de infraestructura de riego y agua potable.

5.1.1. Determinación de parámetros geomorfológicos

Se ha evaluado los parámetros geomorfológicos y hidromorfométricos, se describe a continuación.

5.1.1.1. Parámetros geomorfológicos

5.1.1.1.1. Elementos de superficie

a) Área de la subcuenca (Ac)

$$\text{Área} = 689.347 \text{ km}^2$$

El área de 689.347km², pertenece a la unidad hidrográfica de subcuenca.

5.1.1.1.2. Elementos de distancia

a) Perímetro (P)

$$P = 165.898 \text{ km.}$$

Es la medición de la línea envolvente del área de la cuenca y tiene una influencia en el tiempo de concentración y tiene una influencia en la forma de la subcuenca.

b) Longitud axial (LA).

$$La = 48.730 \text{ km.}$$

Es la longitud del cauce principal o eje de la subcuenca, se ha medido desde la desembocadura hasta el punto más lejano.

c) Ancho promedio (Ap)

$$Ap = \frac{Ac}{La} \qquad Ap = \frac{689.347km^2}{48.730km}$$

$$Ap = 14.146Km$$

Donde:

Ap = Ancho promedio.

Ac = Area de la subcuenca.

La = Longitud axial.

5.1.1.1.3. . Elementos de forma de la subcuenca

a) Factor forma (Ff).

$$Ff = \frac{Ap}{La} \qquad Ff = \frac{14.146km}{48.730km}$$

$$Ff = 0.29$$

Donde:

Ff = Factor formas.

Ap = Ancho promedio.

La = Longitud axial.

Este resultado de 0.29 indica que el factor forma es bajo y tiene una clase de forma ligeramente achatada, el cual indica que la subcuenca de Pitumarca es menos propensa a tener lluvias intensas y simultaneas sobre su superficie.

b) Coeficiente de compacidad (K).

$$K = \frac{P}{2x\sqrt{\pi xAc}} \quad K = \frac{165.898km}{2x\sqrt{3.1416x689.347km^2}}$$

$$K = 1.782$$

Este resultado de 1.78 indica que la subcuenca de Pitumarca tiene una clase de compacidad de oval oblonga a rectangular oblonga.

c) Razón de elongación.

$$Re = 2x \frac{\sqrt{Ac/\pi}}{La} \quad Re = 2x \frac{\sqrt{689.347km^2/3.1416}}{48.730km}$$

$$Re = 0.608$$

El valor obtenido de $Re = 0.608$ es inferior a 1, lo que implica que la subcuenca tiene una forma alargada.

5.1.1.1.4. Elementos de configuración de relieve

a) Rectángulo equivalente:

Lado mayor (L):

$$L = \frac{Kx\sqrt{Ac}}{1.12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K} \right)^2} \right] \quad L = \frac{1.78x\sqrt{689.347km^2}}{1.12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{1.78} \right)^2} \right]$$

$$L = 74.270km$$

La longitud de: $L = 74.27$ km., representa el lado mayor de la longitud máxima de la subcuenca

Lado menor (l):

$$l = \frac{Kx\sqrt{Ac}}{1.12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K} \right)^2} \right] \quad l = \frac{1.78x\sqrt{689.347\text{km}^2}}{1.12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{1.78} \right)^2} \right]$$

$$l = 9.282\text{km}$$

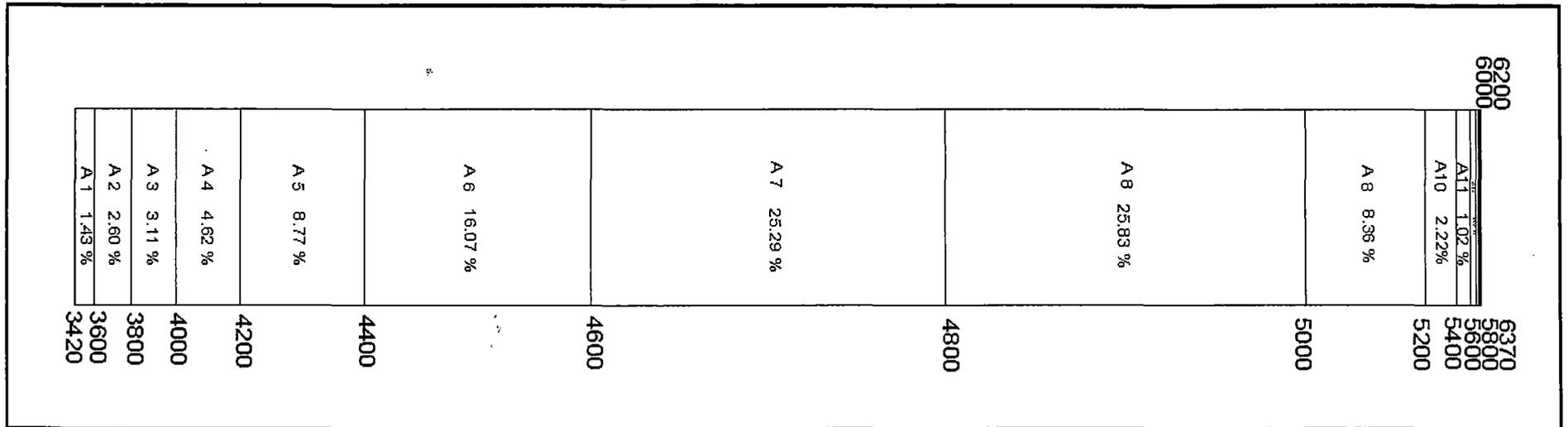
La longitud de: $l = 9.282 \text{ km}$., representa el lado menor del ancho máximo de la subcuenca.

Cuadro 11. Cuadro del rectángulo equivalente.

Altitud (msnm)	Áreas parciales (km ²)	Áreas acumuladas (km ²)	Longitud acumulada del rectángulo equivalente (km)	Total (%)
3420 a 3600	9.840	9.840	1.060	1.43
3600 a 3800	17.921	27.761	2.991	2.60
3800 a 4000	21.419	49.180	5.299	3.11
4000 a 4200	31.866	81.046	8.732	4.62
4200 a 4400	60.465	141.511	15.246	8.77
4400 a 4600	110.766	252.276	27.180	16.07
4600 a 4800	174.353	426.629	45.965	25.29
4800 a 5000	178.061	604.690	65.149	25.83
5000 a 5200	57.641	662.331	71.359	8.36
5200 a 5400	15.312	677.643	73.009	2.22
5400 a 5600	7.016	684.659	73.765	1.02
5600 a 5800	2.801	687.460	74.067	0.41
5800 a 6000	1.105	688.566	74.186	0.16
6000 a 6200	0.602	689.168	74.251	0.09
6200 a 6370	0.179	689.347	74.270	0.03
TOTAL	689.347			100.00

Fuente: Elaboración propia. 2014.

Grafica 01. Rectángulo equivalente de la subcuenca de Pitumarca



Fuente: Elaboración propia. 2014.

La grafica nos indica la transformación geométrica de la subcuenca real en una superficie rectangular de lados donde las curvas de nivel se convierten en rectas paralelas al lado menor, cada una con sus respectivas áreas parciales siendo estas desde la primera y la última curva de nivel, tiene como eje o lado mayor la longitud máxima de la subcuenca y por el eje al lado menor el ancho máximo de la subcuenca.

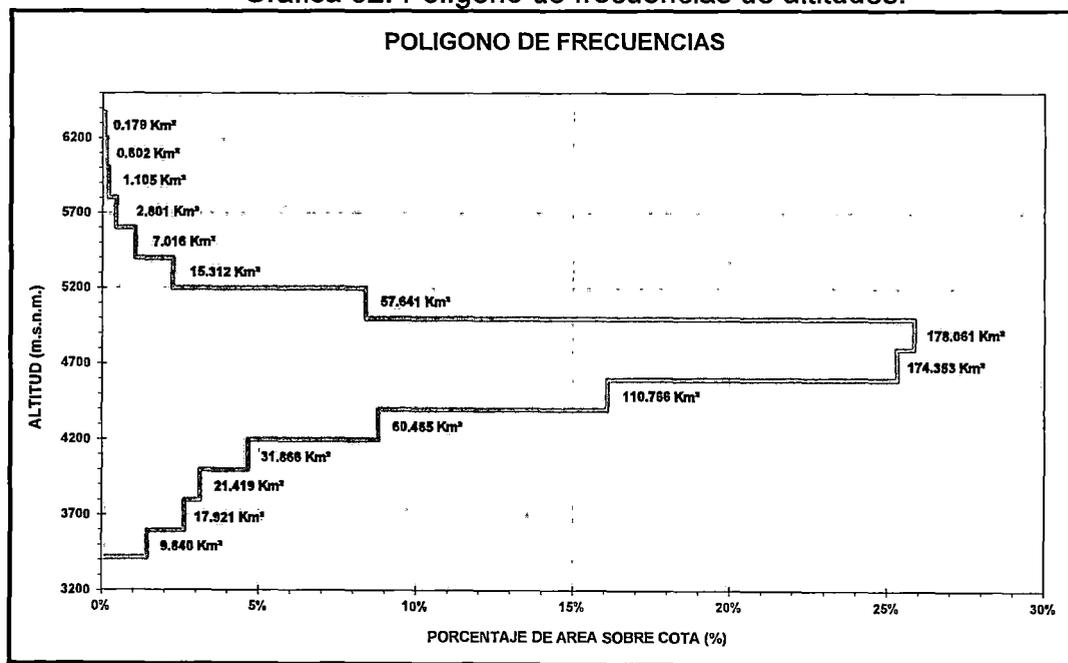
b) Polígono de frecuencia de altitudes

Cuadro 12. Cuadro de polígono de frecuencia de altitudes.

Cota baja (msnm)	Cota alta (msnm)	Áreas parciales (km ²)	Porcentaje del área parcial (%)
3420	3600	9.840	1.427
3600	3800	17.921	2.600
3800	4000	21.419	3.107
4000	4200	31.866	4.623
4200	4400	60.465	8.771
4400	4600	110.766	16.068
4600	4800	174.353	25.292
4800	5000	178.061	25.830
5000	5200	57.641	8.362
5200	5400	15.312	2.221
5400	5600	7.016	1.018
5600	5800	2.801	0.406
5800	6000	1.105	0.160
6000	6200	0.602	0.087
6200	6370	0.179	0.026
TOTAL		689.347	100.00

Fuente: Elaboración propia. 2014.

Grafica 02. Polígono de frecuencias de altitudes.



Fuente: Elaboración propia. 2014.

El polígono de frecuencia de altitudes nos indica una representación de la superficie en km², en la subcuenca Pitumarca la mayor superficie es de 178.061 km², que encuentra entre las cotas de 4800 a 5000 metros de altitud

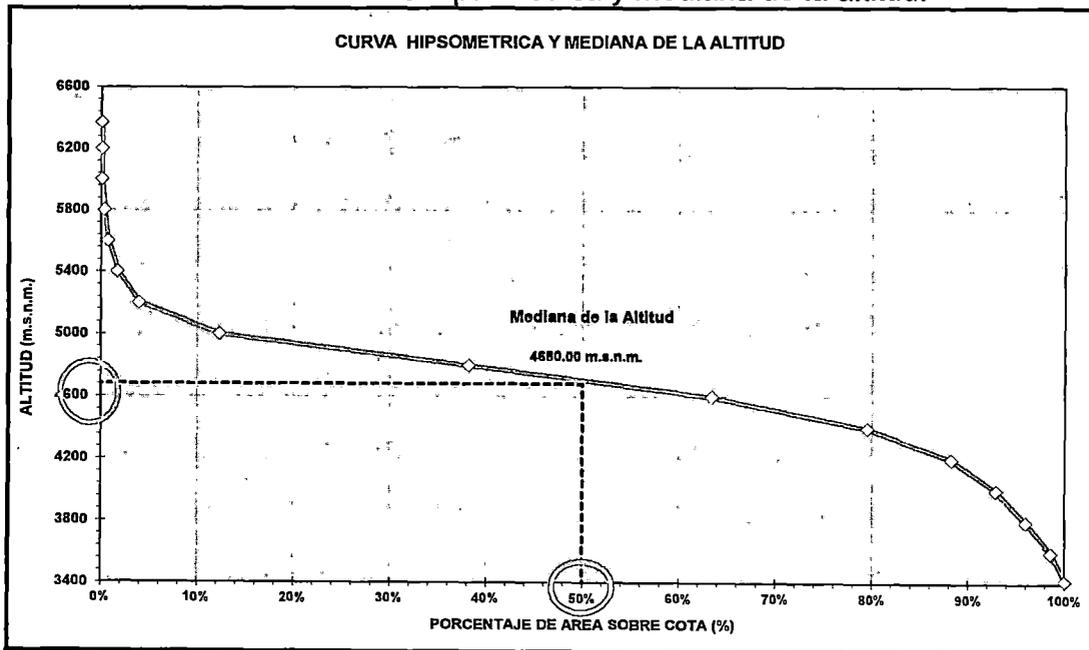
c) Curva hipsométrica y mediana de la altitud (MH)

Cuadro 13. Cálculo para la curva hipsométrica y frecuencia de altitudes.

Altitud (msnm)	Áreas parciales (km ²)	Áreas acumuladas (km ²)	Áreas que quedan sobre las altitudes (km ²)	Total (%)	Total que queda sobre la altitud (%)
3420	0.000	0.000	689.347	0.000	100.000
3600	9.840	9.840	679.507	1.427	98.573
3800	17.921	27.761	661.586	2.600	95.973
4000	21.419	49.180	640.167	3.107	92.866
4200	31.866	81.046	608.302	4.623	88.243
4400	60.465	141.511	547.837	8.771	79.472
4600	110.766	252.276	437.071	16.068	63.404
4800	174.353	426.629	262.718	25.292	38.111
5000	178.061	604.690	84.657	25.830	12.281
5200	57.641	662.331	27.016	8.362	3.919
5400	15.312	677.643	11.704	2.221	1.698
5600	7.016	684.659	4.688	1.018	0.680
5800	2.801	687.460	1.887	0.406	0.274
6000	1.105	688.566	0.782	0.160	0.113
6200	0.602	689.168	0.179	0.087	0.026
6370	0.179	689.347	0.000	0.026	0.000
TOTAL	689.347			100.000	

Fuente: Elaboración propia. 2014.

Gráfica 03. Curva hipsométrica y mediana de la altitud.



Fuente: Elaboración propia. 2014.

En la gráfica se observa que el área de la subcuenca tiene una variación abrupta con la altura en los dos extremos y una variación suave en las cotas de 4200 a 6000 metros de altitud.

d) Altitud media de la subcuenca Pitumarca (HM)

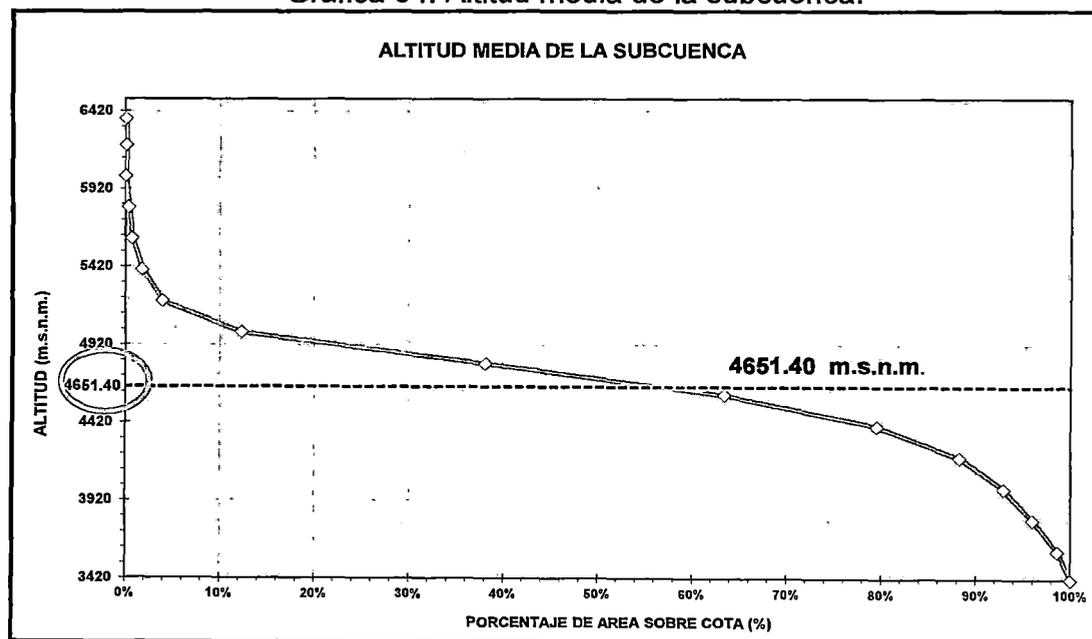
Cuadro 14. Distribución de porcentajes de áreas parciales.

Cota baja (msnm)	Cota alta (msnm)	Áreas parciales S (km ²)	Altitud media del área parcial H (msnm)	(H X S)
3420	3600	9.840	3510	34539.874
3600	3800	17.921	3700	66306.638
3800	4000	21.419	3900	83534.038
4000	4200	31.866	4100	130649.628
4200	4400	60.465	4300	259998.115
4400	4600	110.766	4500	498444.872
4600	4800	174.353	4700	819458.672
4800	5000	178.061	4900	872498.533
5000	5200	57.641	5100	293970.018
5200	5400	15.312	5300	81152.969
5400	5600	7.016	5500	38587.659
5600	5800	2.801	5700	15968.009
5800	6000	1.105	5900	6521.364
6000	6200	0.602	6100	3675.146
6200	6370	0.179	6285	1126.863
TOTAL		689.347		3206432.398

Fuente: Elaboración propia. 2014.

$$HM = \frac{\sum (h \times S)}{Ac} \quad HM = \frac{3206432.398}{689.347} = 4651.40$$

Grafica 04. Altitud media de la subcuenca.



Fuente: Elaboración propia. 2014.

En la subcuenca en estudio tiene una altitud promedio de 4651.40 m.s.n.m., y nos da una idea de la zona climática al que se encuentra.

5.1.1.2. Parámetros hidromorfométricos

5.1.1.2.1. Grado de ramificación

Cuadro 15. Clasificación de orden del río.

Orden de río	Numero de río	Longitud de río (km)
1°	193	344.693
2°	38	116.470
3°	6	52.090
4°	1	47.097
TOTAL	238	560.350

Fuente: Elaboración propia. 2014.

La subcuenca de Pitamarca de acuerdo a la clasificación de Strahler A., N. (1952) presenta hasta el cuarto orden, el cuarto orden nos indica que pertenece a la unidad hidrográfica de subcuenca.

5.1.1.2.2. Densidad de drenaje (Dd)

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

$$Dd = \frac{560.350km}{689.347km^2}$$

$$Dd = 0.81km / km^2$$

Dónde:

Dd = Densidad de drenaje.

Li = Distancia del agua que escurre en línea recta.

A = Área de la subcuenca.

La densidad de drenaje es baja, la respuesta de la subcuenca frente a una tormenta será lenta, evacuando el agua en más tiempo. Así mismo esta densidad de drenaje baja, infiere una mayor infiltración de agua.

5.1.1.2.3. Extensión media de escurrimiento superficial (Es)

$$Es = \frac{A}{4 \times Li}$$

$$Es = \frac{689.347 km^2}{4 \times 560.350 km}$$

$$Es = 0.31 km$$

Dónde:

Es= Escurrimiento superficial.

Li = Distancia del agua que escurre en línea recta.

A = Área de la subcuenca.

El escurrimiento superficial tiene una distancia de 310 metros, este valor nos indica la distancia en línea recta, que el agua de precipitación tendrá que escurrir para llegar al lecho de un curso de agua.

5.1.1.2.4. Frecuencia de ríos (Fr)

$$Fr = \frac{\# rios}{A}$$

$$Fr = \frac{238}{689.347 km^2}$$

$$Fr = 0.35 rio / km^2$$

Dónde:

Fr = Frecuencia de ríos.

Ríos = Número de ríos presentes en la subcuenca.

A = Área de la subcuenca.

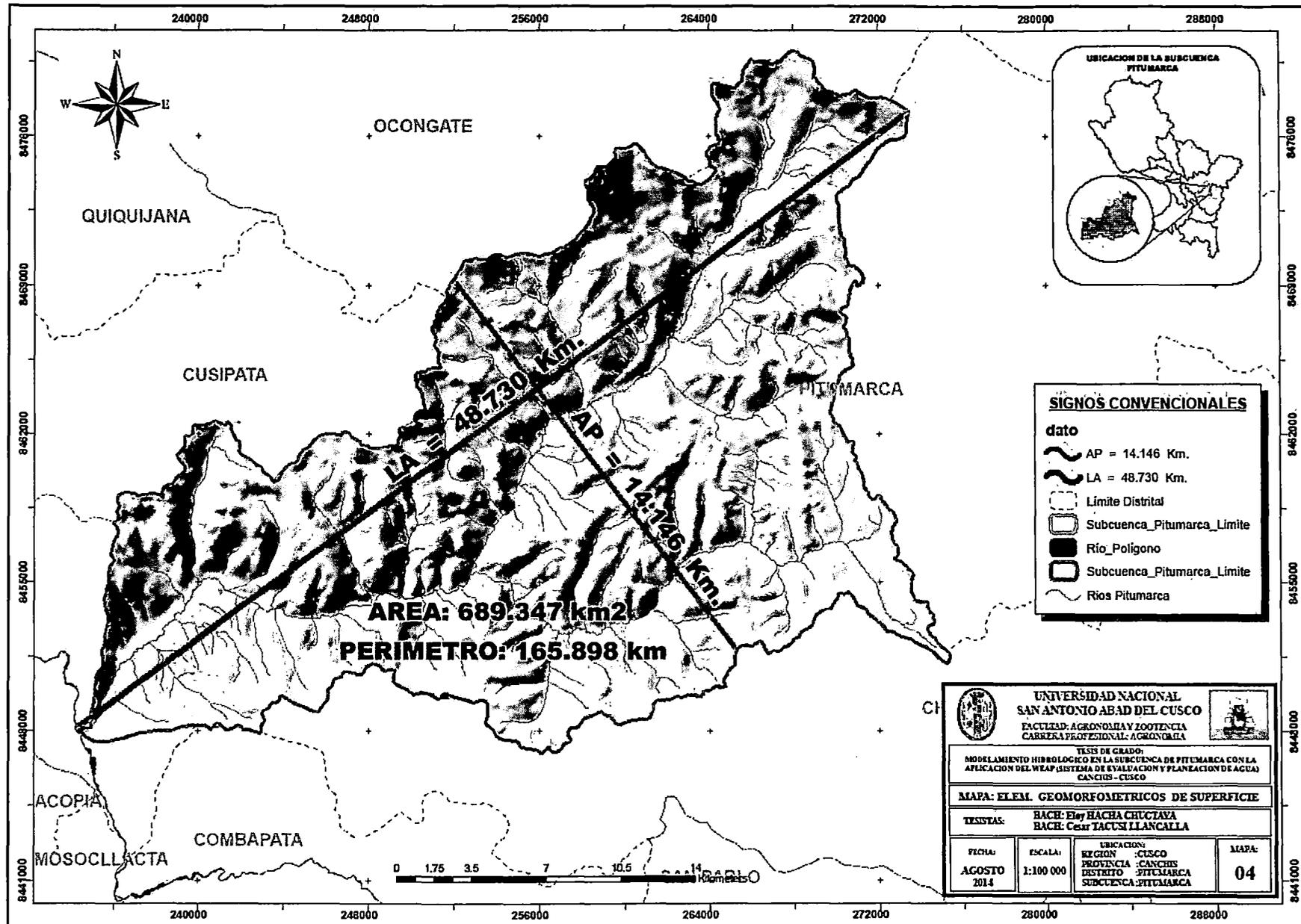
La subcuenca presenta una Fr = 0.35, esto indica que en un km² de superficie se encuentra un total de 0.35 rio.

Cuadro 16. Resumen de cálculos de los parámetros geomorfológicas

Parámetros		Und	Nome nclatu ra	sc. Pitumarc a	Descripción del resultado		
PARAMETROS GEOMORFOLOGICOS	ELEMENTOS DE SUPERFICIE	Área	Km ²	Ac	689.347	Según la unidad hidrográfica pertenece a una subcuenca.	
	ELEMENTOS DE DISTANCIA	Perímetro	Km.	P	165.898	-	
		Longitud Axial	Km.	LA	48.730	Longitud del cauce principal, desde la desembocadura hasta el punto más lejano.	
		Ancho Promedio	Km.	Ap	14.146	Es la relación de la cuenca que tiene respecto al longitud axial.	
	ELEMENTOS DE FORMA	Factor Forma	*	Ff	0.290	Analizando este valor se deduce que el factor forma es ligeramente achatada por consiguiente se deduce es poco susceptible a las crecidas.	
		Coefficiente de Compacidad	*	Kc	1.782	Tiene una compacidad de oval oblonga a rectangular oblonga, nos indica una tendencia a concentrar pocos volúmenes de aguas de escurrimiento.	
		Razón de Elongación	*	Re	0.608	El valor obtenido es inferior a 1, lo que implica que tiene una forma alargada.	
	ELEMENTOS DE CONFIGURACION DE RELIEVE	Rectángulo Equivalente	Lado Mayor	Km.	L	74.270	El lado mayor representa la longitud máxima de la subcuenca y el lado menor el ancho máximo de la subcuenca.
			Lado Menor	Km.	I	9.282	
	PARAMETROS HIDROMORFOMETRICOS	Grado de Ramificación (Longitud Total)	Orden 1	Km.	1°	344.693	El grado de ramificación tiene orden 4, que pertenece a una unidad hidrográfica de subcuenca.
Orden 2			Km.	2°	116.470		
Orden 3			Km.	3°	52.090		
Orden 4			Km.	4°	47.097		
Numero de Rio Para los diferentes Grados de Ramificación		Orden 1	*	1°	193	A menor número menor capacidad de coleccionar agua y menor erosión.	
		Orden 2	*	2°	38		
		Orden 3	*	3°	6		
		Orden 4	*	4°	1		
densidad de drenaje		Km./Km ²	Dd	0.81	La densidad de drenaje es baja, infiere una mayor infiltración de agua, evacuando el agua en más tiempo.		
Cota Máxima de la Subcuenca		msnm.	Hmáx	6370	Presenta una altitud de 3420m en la desembocadura y una altitud de 6370m en la parte más alta.		
Cota Mínima de la Subcuenca		msnm.	Hmín	3420			
Mediana de la Altitud de la Subcuenca		msnm.	MH	4690	-		
Altitud Media de la Subcuenca		msnm.	HM	4651.405	-		

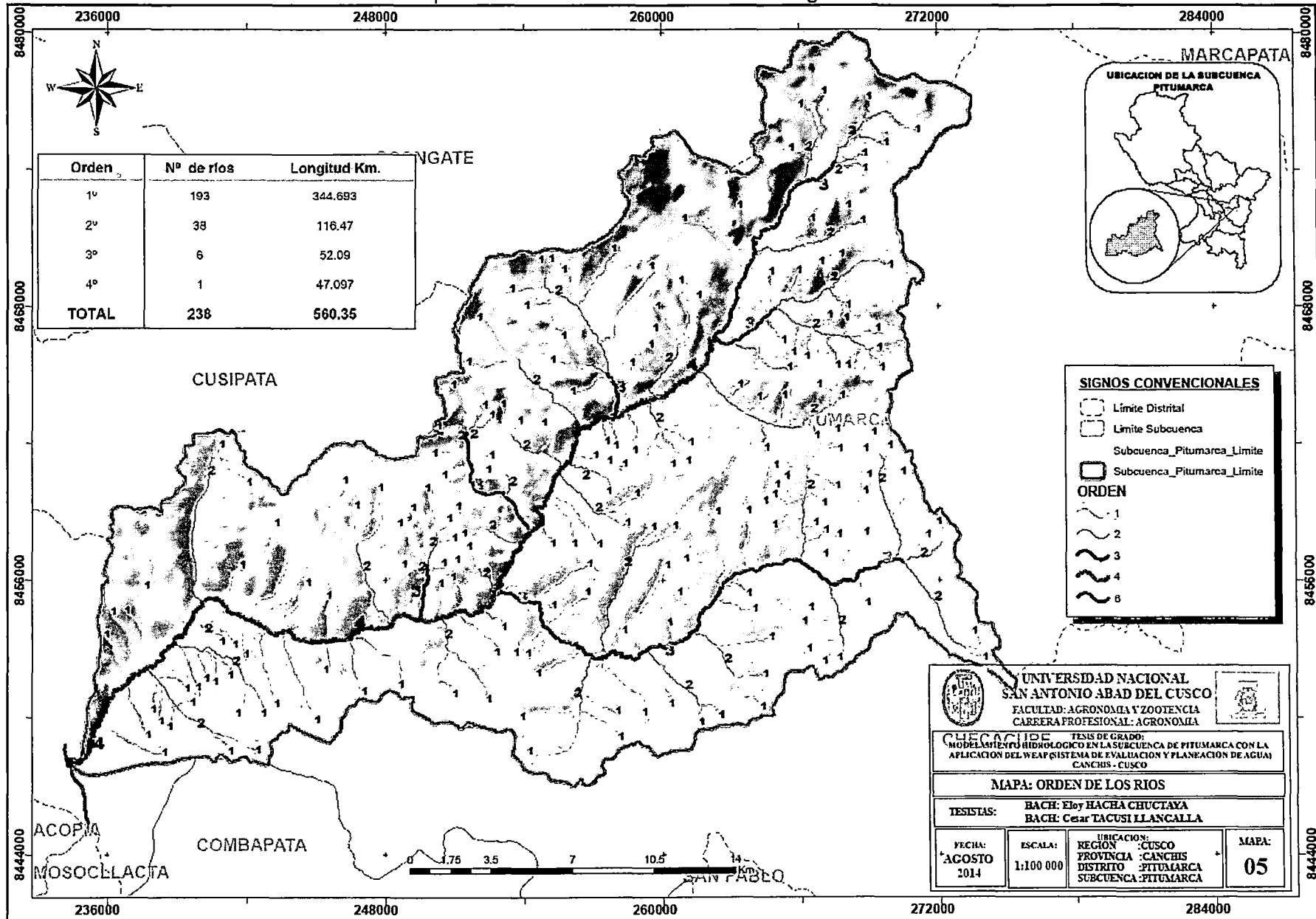
Fuente: Elaboración propia. 2014.

Mapa 04. Elementos geomorfométricos de superficie y distancia de subcuenca.



Fuente: Elaboración propia. 2014.

Mapa 05. Orden de ramificación de río según Strahler



Fuente: Elaboración propia. 2014.

5.1.2. Inventario de fuentes Hídricas

Para el inventario se ha considerado las siguientes fuentes hídricas:

- Inventario de manantes.
- Inventario de río y riachuelos.
- Lagunas.

5.1.2.1. Inventario de manantes

Dada la geología del lugar, se ha apreciado que la mayoría de los manantes no llegan al cauce del río Pitumarca, puesto que la alta permeabilidad del suelo impide que el mismo circule superficialmente, a más que también se tiene en cuenta las diferentes captaciones que se realizan para la agricultura, como para el consumo humano.

En la subcuenca se ha inventariado un total de 57 puntos de manantes.

Cuadro 17. Inventario de manantes en la subcuenca Pitumarca.

	Código	Nombre de manante	Ubicación			Coord. UTM. Huso 19 L			Datos generales			
			Distrito	Comunidad	Sector	Este (m)	Norte (m)	Alt. (m)	Q (l/s)	Metodo de aforo	Usos	Fecha
1	M01_CAPIAN	OQORORUYOC	PITUMARCA	ANANISO	ANANISO	259230	8452653	4310	2.50	F	Pe	12/04/10
2	M02_CAPICP	PUCUTANI	PITUMARCA	CCAPACCHAPI	HUASAPAMPA	243583	8453384	3788	1.52	V	Pe	11/04/10
3	M03_CAPICP	CCAUCAUNA	PITUMARCA	CCAPACCHAPI	HUASAPAMPA	243232	8452961	3725	0.42	V	Ag/Pe	12/04/10
4	M04_CAPICP	CHACONE	PITUMARCA	CCAPACCHAPI	HUATABAMBA	240123	8450853	4148	1.50	RBC	Ag/Pe/Po	12/04/10
5	M05_CAPICP	TAYTANCHIS HUAYCCO	PITUMARCA	CCAPACCHAPI	HUATABAMBA	242785	8450287	4460	3.30	V	Ag/Pe	12/04/10
6	M06_CAPICP	TOCOPATACCUCHO	PITUMARCA	CCAPACCHAPI	HUATABAMBA	242015	8451104	4169	2.25	V	Po	12/04/10
7	M07_CAPICP	ILAVE	PITUMARCA	CCAPACCHAPI	ILAVE	239948	8450946	4114	1.00	RBC	Ag/Pe	11/04/10
8	M08_CAPICP	HUATABAMBA	PITUMARCA	CCAPACCHAPI	ILAVE	239869	8450726	4116	2.50	RBC	Ag/Pe	11/04/10
9	M09_CAPICP	PATAILAVE	PITUMARCA	CCAPACCHAPI	ILAVE CENTRAL	240133	8451023	4148	0.75	RBC	Ag/Pe	11/04/10
10	M10_CAPICP	CCAPACCHAPI I	PITUMARCA	CCAPACCHAPI	CCAPACCHAPI	243324	8450767	4340	0.30	RBC	Pe	12/04/10
11	M11_CAPICP	CCAPACCHAPI II	PITUMARCA	CCAPACCHAPI	CCAPACCHAPI	242076	8450685	4220	0.50	RBC	Pe	12/04/10
12	M12_CAPICL	YANAPUCIJO	PITUMARCA	CHILLCA	CHIMPA CHILLCA	262090	8462011	4766	0.40	RBC	Pe	12/04/10
13	M13_CAPICL	CHIMPACHILLCA	PITUMARCA	CHILLCA	CHIMPA CHILLCA	259530	8463562	4346	4.52	F	Pe	12/04/10
14	M14_CAPICL	JAÑO	PITUMARCA	CHILLCA	CHILLCA	265861	8470805	4817	1.30	RBC	Pe	12/04/10
15	M15_CAPICL	LLOCLLASCAPUJIO	PITUMARCA	CHILLCA	LLOCLLASCA	262673	8466674	4350	0.75	RBC	Pe	12/04/10
16	M16_CAPICL	JAÑUY	PITUMARCA	CHILLCA	LLOSLLAUY	266502	8470994	4840	2.30	F	Pe	12/04/10
17	M17_CAPICL	MISKIPUJIO	PITUMARCA	CHILLCA	CHILLCA	259700	8464346	4358	1.70	V	Pe	12/04/10
18	M18_CAPICL	MISKIPUJIO	PITUMARCA	CHILLCA	CHILLCA	259700	8464346	4358	1.70	V	Pe	11/04/10
19	M19_CAPICL	SAPOSANI II	PITUMARCA	CHILLCA	PISHUÑO	257543	8466367	4397	0.45	RBC	Pe	11/04/10
20	M20_CAPICL	AUCATARIA PUCIJO	PITUMARCA	CHILLCA	AUCATAURI	256884	8467398	4463	1.25	RBC	Pe	11/04/10
21	M21_CAPICL	PUCARUMI PUCIJO	PITUMARCA	CHILLCA	ALCATAURI	257245	8466777	4405	2.30	RBC	Pe	12/04/10
22	M22_CAPIOS	MORAYANA	PITUMARCA	OSEFINA	PACHASCHANI	249805	8456730	4215	0.50	RBC	Pe/Po	11/04/10

23	M23_CAPIOS	PUCHUYLAYOC PUQUIO	PITUMARCA	OSEFINA	PACHASCHANI	250465	8457622	4376	1.20	RBC	Pe/Po	11/04/10
24	M24_CAPIOS	SORAPATA I	PITUMARCA	OSEFINA	PACHASCHANI	249790	8460852	4740	2.84	F	Pe/Po	11/04/10
25	M25_CAPIOS	UNU PUQUIO	PITUMARCA	OSEFINA	PACHACHANI	250218	8457920	4350	1.50	RBC	Pe/Po	11/04/10
26	M26_CAPIOS	SORAPATA	PITUMARCA	OSEFINA	PACHASCHACA	249852	8460146	4601	0.70	RBC	Pe/Po	11/04/10
27	M27_CAPIOS	YURAC MAYUCHA	PITUMARCA	OSEFINA	PACHACHANI	250041	8457305	4293	1.60	RBC	Ag/Pe /Po	12/04/10
28	M28_CAPIOS	LLAMA RUMI PALTHA II	PITUMARCA	OSEFINA	PACHACHANI	249946	8457192	4276	0.70	RBC	Pe/Po	12/04/10
29	M29_CAPIOS	TAHUA TACARPO I	PITUMARCA	OSEFINA	PACHACHANI	249890	8457033	4258	1.50	RBC	Ag/Pe /Po	12/04/10
30	M30_CAPIOS	PUCARA PATA	PITUMARCA	OSEFINA	ACOTUCO	245514	8453558	3831	0.37	V	Po	12/04/10
31	M31_CAPIOS	PHATANA	PITUMARCA	OSEFINA	PHTANA	251400	8455090	3992	0.50		Po	12/04/10
32	M32_CAPIPA	CHALLHUANA PUCJIO	PITUMARCA	PAMPACHIRI	JAPURA QUELLCA	254163	8457082	4153	3.96	F	Pe	12/04/10
33	M33_CAPIPA	YANACANCHA PUCJIO I	PITUMARCA	PAMPACHIRI	JAPURA SUYO	252517	8458167	4279	2.30	V	Ag/Pe /Po	12/04/10
34	M34_CAPIPA	YANACANCHA PUCJIO II	PITUMARCA	PAMPACHIRI	JAPURA SUYO	252845	8458144	4271	2.20	V	Pe	12/04/10
35	M35_CAPIPA	OCCIJANCO PUCJIO	PITUMARCA	PAMPACHIRI	JAPURA SUYO	253107	8457867	4204	2.80	V	Pe/Po	12/04/10
36	M36_CAPIPA	CCACCAPATA	PITUMARCA	PAMPACHIRI	PAMPAHUASI	253870	8462786	4709	0.92	V	Pe	12/04/10
37	M37_CAPIPA	PAMPAUZANGATE	PITUMARCA	PAMPACHIRI	PAMPACHIRI	258032	8470207	4601	2.30	RBC	Pe/Po	12/04/10
38	M38_CAPIPA	Q'ELLOCUNCA PUÑUNA	PITUMARCA	PAMPACHIRI	PATAK'AYRAWIRI	253489	8465747	4725	0.40	RBC	Pe	11/04/10
39	M39_CAPIPA	SALAMAYO	PITUMARCA	PAMPACHIRI	PATAK'AYRAWIRI	254876	8464593	4562	1.10	RBC	Pe/Po	11/04/10
40	M40_CAPIPA	PHACCHAPATA	PITUMARCA	PAMPACHIRI	PHACCHAPATA	256698	8461826	4313	1.50	RBC	Pi/Pe	11/04/10
41	M41_CAPIPA	AUSANGATE PUCJIO	PITUMARCA	PAMPACHIRI	PAMPACHIRI	257841	8469981	4654	1.50	RBC	Pe	11/04/10
42	M42_CAPIPA	GOLOYOCPUCJIO	PITUMARCA	PAMPACHIRI	JAPURA QUELLCA	254313	8456586	4254	0.96	V	Po	11/04/10
43	M43_CAPIPI	CRUZCUNCA	PITUMARCA	PITUMARCA	CRUZCUNCA	239005	8456283	4189	0.30	V	Pe	12/04/10
44	M44_CAPIPI	CRUZCUNCA	PITUMARCA	PITUMARCA	PITUMARCA	238735	8455855	3935	0.50	RBC	Po	12/04/10
45	M45_CAPIPI	PALCOYO	PITUMARCA	PITUMARCA	PALCCOYO	237975	8458413	4508	0.50	RBC	Po	12/04/10
46	M46_CAPIPI	CCACASIQUE	PITUMARCA	PITUMARCA	PUTUCUNI	247014	8456615	4200	1.50	V	Pe	12/04/10
47	M47_CAPISA	SALLANI	PITUMARCA	SALLANI	SALLANI	270428	8456892	4778	0.38	V	Po	14/04/10
48	M48_CAPIUC	KARWI	PITUMARCA	UCHULLOCLLO	UCHULLOCLLO	247089	8453414	3876	1.20	RBC	Pe	11/04/10
49	M49_CAPIUC	UCHULLOCLLO	PITUMARCA	UCHULLOCLLO	UCHULLOCLLO	251131	8452616	4194	1.58	V	Po	11/04/10
50	M50_CAPIUC	QUEUÑA CCOMO	PITUMARCA	UCHULLOCLLO	QUEUÑA CCOMO	247677	8453718	3843	0.44	V	Po	11/04/10
51	M51_CACHCA	MOLINO PAMPA	CHECAUPE	CANGALLI	CHECAUPE	237610	8452420	3544	6.47	F	Ag/Pe /Po	08/04/10
52	M52_CACHC Ñ	CHILCANIYOC PUGIO	CHECAUPE	CAÑOCCOTA	CHILCANIYOC PUGIO	237276	8448738	3874	1.50	RBC	Pe/Po	09/04/10
53	M53_CACHC Ñ	LLAULLINAYOQ	CHECAUPE	CAÑOCCOTA	LLAULLINAYOQ HUAYQO	237525	8448641	3935	1.50	RBC	Ag/Pe /Po	09/04/10
54	M54_CACHC Ñ	CHALLHUAYOC HUAYCCO	CHECAUPE	CAÑOCCOTA	CHALHUAYOC HUAYCO	237609	8449590	3928	0.50	RBC	Ag	09/04/10
55	M55_CACHCR	SIGWINCAYOC	CHECAUPE	CHARI	PAMPA REJA	237762	8450905	3747	0.54	V	Pe	07/04/10
56	M56_CACHCR	MARCAIYOC CCACCAYOC I	CHECAUPE	CHARI	CHARI CENTRAL	238801	8450193	3873	1.30	RBC	Ag/Pe	07/04/10
57	M57_CACHCR	RUPHU CANCHA	CHECAUPE	CHARI	CHARI CENTRAL	239251	8450161	3884	1.00	RBC	Ag	07/04/10

Fuente: Elaboración propia, en base a los datos recolectados en campo. 2010.

Dónde:

Usos

Ag = Agrícola.

Pe = Pecuario.

Po = Poblacional.

Métodos

F = Flotador.

V = Volumétrico.

RBC = conductor aforador.

5.1.2.2. Inventario de ríos y riachuelos

En la subcuenca se ha realizado el inventario solo de corrientes permanentes, ya que las corrientes efímeras e intermitentes tienen presencia de agua en el cauce solo en época de lluvias, en la subcuenca en estudio se tiene un total de 31 ríos/riachuelos inventariados.

Se realizaron aforos puntuales con correntómetro, en la desembocadura del río Pitumarca dando un caudal de 5.149 m³/s y sus dos afluentes principales Chillcamayo con un caudal de 3.404 m³/s. y Yanamayo con un caudal de 0.546 m³/s.

- Aforo del río Pitumarca (desembocadura)

El aforo se realizó en la desembocadura del río Pitumarca que se encuentra entre las comunidades de Cangalli y Checacupe, en este lugar el caudal aumenta considerablemente producto de la unión de varios afluentes que se encuentra dentro de la subcuenca.

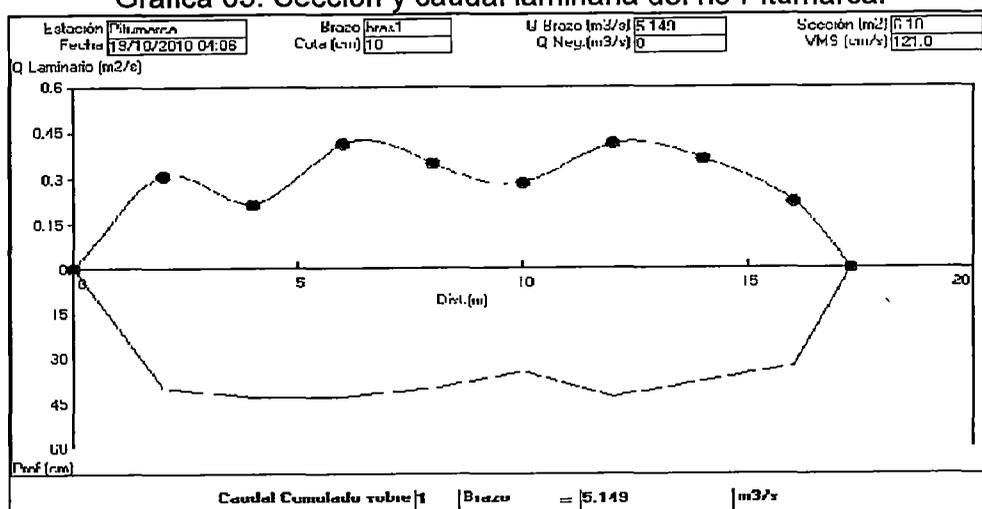
Cuadro 18. Datos de la medición del caudal en el río Pitumarca.

	Distancia (m)	Profundidad (cm)	coeficiente	Tirante (cm)	N° de revoluciones			promedio	fecha
					Rev. 1	Rev. 2	Rev. 3		
1	0.00	00	0.6	00	19/10/2010
2	2.00	40	0.6	24	84	83	84	84	
3	4.00	43	0.6	26	55	55	55	55	
4	6.00	43	0.6	26	105	104	105	105	
5	8.00	40	0.6	24	95	94	95	95	
6	10.00	35	0.6	21	90	89	89	89	
7	12.00	43	0.6	26	105	105	106	105	
8	14.00	38	0.6	23	104	105	105	105	
9	16.00	33	0.6	20	74	74	73	74	
10	17.30	00	0.6	00	

Fuente: Elaboración propia, en base a los datos recolectados en campo. 2010.

Los datos del cuadro anterior fueron ingresados a la base de datos del software Hydraccess, para calcular de manera directa la hidrometría del río y nos da un resultado del caudal en m³/s., como se muestra en el siguiente gráfico.

Gráfica 05. Sección y caudal laminaria del río Pitumarca.



Fuente: Elaboración propia, en base a aforo realizado, Octubre 2010.

Cuadro 19. Inventario de ríos/ riachuelos de la subcuenca Pitumarca.

	Código	Nombre de río	Ubicación			Coord. UTM. Huso 19 L			Datos generales			
			Distrito	Comunidad	Sector	Este (m)	Norte (m)	Alt. (m)	Caudal (l/s)	Mét. aforo	Usos	Fecha
1	RI01_CAPIAN	MUNAYPATA	PITUMARCA	ANANISO	CCACCACHACA	259491	8452881	4290	21.00	F	Pe	12/04/10
2	RI02_CAPIAN	QUILLE	PITUMARCA	ANANISO	BILLUYOC KILLITA	259125	8453314	4325	17.00	F	Pe	12/04/10
3	RI03_CAPIAN	QUINARIA	PITUMARCA	ANANISO	ANANISO	256893	8452332	4260	3.00	F	Pe	12/04/10
4	RI04_CAPIAN	CCOCHA	PITUMARCA	ANANISO	A CCOCHA	257577	8452986	4240	20.00	F	Pe	12/04/10
5	RI05_CAPICP	ASERUNCA	PITUMARCA	CCAPACCHAPI	HUATABAMBAMBA	239261	8452816	3605	8.50	F	Pe	11/04/10
6	RI06_CAPICP	HUATABAMBAMBA	PITUMARCA	CCAPACCHAPI	HUATABAMBAMBA	242067	8451504	4107	5.90	F	Ag	11/04/10
7	RI07_CAPICP	CCOLONE	PITUMARCA	CCAPACCHAPI	HUATABAMBAMBA	240604	8452267	3858	4.10	F	Pe	11/04/10
8	RI08_CAPICP	PITUMARCA	PITUMARCA	CCAPACCHAPI	HUASAPATA	242571	8453205	3720	3.50	F	Ag	11/04/10
9	RI09_CAPICL	YANAMAYO	PITUMARCA	CHILLCA	CHIMPA CHILLCA	261110	8462088	4732	43.90	F	Pe	12/04/10
10	RI10_CAPICL	AUSANGATE MAYU	PITUMARCA	CHILLCA	ALCATAURI	256382	8467980	4508	819.90	F	Pe	12/04/10
11	RI11_CAPICL	PACSEHUAYCO	PITUMARCA	CHILLCA	CHIMBOYA	259550	8464561	4348	105.00	F	Pe	12/04/10
12	RI12_CAPICL	ANTAPARRARA	PITUMARCA	CHILLCA	LLOCLA	262595	8464097	4577	81.00	F	Pe	12/04/10
13	RI13_CAPICL	JASCOUNUJ	PITUMARCA	CHILLCA	LLOCLLASCA	262715	8466420	4475	337.00	F	Pe	12/04/10
14	RI14_CAPICL	JAMPAMAYO	PITUMARCA	CHILLCA	UYUNI	263361	8468785	4425	200.00	F	Pe	12/04/10
15	RI15_CAPIOS	MUKMUCCA	PITUMARCA	OSEFINA	MUKMUCCA	247742	8459120	4547	66.40	F	Pe/Po	11/04/10
16	RI16_CAPIOS	PHATANA PUCJIO	PITUMARCA	OSEFINA	PHATANA	251350	8454972	3973	8.50	F	Ag	12/04/10
17	RI17_CAPIOS	MACHAYPUNCO	PITUMARCA	OSEFINA	CONGUMIRE	249593	8454836	3948	25.40	F	Ag	11/04/10
18	RI18_CAPIOS	CAURE	PITUMARCA	OSEFINA	CAURE	247820	8454642	3940	190.00	F	Ag	11/04/10
19	RI19_CAPIPA	CHACCO	PITUMARCA	PAMPACHIRI I	PAMPACHIRI	239922	8455324	3670	15.00	F	Pe	12/04/10
20	RI20_CAPIPA	ANCHIPACHAMAYO	PITUMARCA	PAMPACHIRI II	PAMPA HUASI	255025	8461574	4297	6.30	F	Ag	12/04/10
21	RI21_CAPIPA	PUMACANCHA	PITUMARCA	PAMPACHIRI II	PAMPACHIRI II	253597	8457594	4111	3.50	F	Ag	12/04/10
22	RI22_CAPIPI	PALCOYO	PITUMARCA	PITUMARCA	PALCCOYO	237978	8458412	3418	7.30	F	Ag	11/04/10
23	RI23_CAPISA	YANAMAYU	PITUMARCA	SALLANI	YANAMAYU	270087	8456926	4762	21.20	F	Pe	14/04/10
24	RI24_CAPISA	SEQUEÑANAMAYU	PITUMARCA	SALLANI	SALLANI	271851	8454938	4827	11.80	F	Pe	14/04/10
25	RI25_CAPIUC	HUALLA HUALLA	PITUMARCA	UCHULLOCLLO	HUALLA HUALLA	250936	8452826	4160	127.80	F	Pe	11/04/10
26	RI26_CAPIUC	CALLANGA	PITUMARCA	UCHULLOCLLO	CALLANGA	250722	8452872	4136	8.70	F	Pe	11/04/10
27	RI27_CAPIUC	CHIHUITA MAYO	PITUMARCA	UCHULLOCLLO	UCHULLUCLLO	251331	8454374	3986	9.00	F	Ag	11/04/10
28	RI28_CACHCR	UNUTINCUYOC	CHECACUPE	CHARI	CHARI CENTRAL	239340	8450236	3857	32.50	F	Ag/Pe	07/04/10
29	RO1-CAPIAN	RIO CHILLCAMAYO	PITUMARCA	ANANISO		252802	8455588	3998	3404.0	C	Ag/Pe	19/10/10
30	RO4-CAPIPI	RIO YANAMAYO	PITUMARCA	PITUMARCA		252833	8455390	4003	546.00	C	Ag/Pe	19/10/10
31	RO6-CACHCH	RIO PITUMARCA	CHECACUPE	CHECACUPE		234568	8448040	3560	5149.0	C	Ag	19/10/10

Fuente: Elaboración propia, en base a los datos recolectados en campo. 2010.

Dónde: F = Flotador. C = Correntómetro.

5.1.2.3. Inventario de lagunas

La subcuenca cuenta con la mayor cantidad de lagunas que se encuentran en la parte alta, las lagunas se ubican a altitudes mayores a los 4200 m.s.n.m., se ha inventariado un total de 23 lagunas, observándose con mayor superficie de espejo de agua a la laguna Unucuri (10.69 Ha.), de todas las lagunas inventariadas ninguna cuenta con represamiento para incrementar en su capacidad de almacenamiento, en el siguiente cuadro se muestra las principales lagunas de la subcuenca con las características necesarias para el presente estudio.



Foto 12. Laguna Quelhuaccocha, sector Chimpachillca – Chillca.

Cuadro 20. Inventario de lagunas de la subcuenca Pitumarca.

	Codigo	Nombre de Lagunas	Ubicación			Coord. UTM. Huso 19 L			Datos Generales		
			Distrito	Comunidad	Sector	Este (m)	Norte (m)	Altitud (m)	Área (Ha.)	Perímetro (m.)	Fecha
1	L01_CAPICP	QUELHUACCOCHA	PITUMARCA	CCAPACCHAPI	QUELHUA	245743	8449948	4697	1.107	385.781	11/04/10
2	L02_CAPICP	HATUN LLULLUCHA	PITUMARCA	CCAPACCHAPI	QUELHUA	245031	8449969	4642	1.139	416.730	11/04/10
3	L03_CAPICL	CANCHACCOCHA	PITUMARCA	CHILLCA	CHIMPA CHILLCA	261351	8462018	4739	7.158	1262.691	12/04/10
4	L04_CAPICL	TINQUICOCHA	PITUMARCA	CHILLCA	SOCONAHUE	263339	8461302	4889	1.223	462.363	12/04/10
5	L05_CAPICL	ALTO CANCHA COCHA	PITUMARCA	CHILLCA	CHILLCA	262179	8462464	4873	0.700	350.123	12/04/10
6	L06_CAPICL	JAÑOCOCHA 1	PITUMARCA	CHILLCA	CHILLCA	268779	8471833	4933	4.099	746.096	12/04/10
7	L07_CAPICL	JAÑOCOCHA 2	PITUMARCA	CHILLCA	CHILLCA	268914	8472027	4937	2.407	778.909	12/04/10
8	L08_CAPICL	CALENTE	PITUMARCA	CHILLCA	LLOCLLA	265575	8464334	4896	0.702	333.489	12/04/10
9	L09_CAPICL	JAÑO	PITUMARCA	CHILLCA	CHILLCA	266297	8470789	4804	2.247	577.709	12/04/10
10	L10_CAPICL	SURINI	PITUMARCA	CHILLCA	PATAK'AYRAW IRI	252314	8467877	4826	1.290	416.582	12/04/10
11	L11_CAPIOS	MUKMUCCA	PITUMARCA	OSEFINA	MUKMUCCA	248106	8460358	4624	5.831	943.067	11/04/10
12	L12_CAPIPA	QUIULLACCOCHA	PITUMARCA	PAMPACHIRI II	PAMPACHIRE II	259009	8459150	4750	1.350	480.133	12/04/10
13	L13_CAPIPA	AUZANGATECOCHA	PITUMARCA	PAMPACHIRI III	AUZANGATE	258186	8470626	4619	6.741	1076.122	12/04/10
14	L14_CAPIPA	KAYRAHUIRI	PITUMARCA	PAMPACHIRI II	KAYRAHUIRI	253507	8463761	4824	0.500	145.232	12/04/10
15	L15_CAPIPA	CCOCHAK'ASA	PITUMARCA	PAMPACHIRI II	URAK'AYRAW IRI	255453	8464326	4539	0.800	216.231	12/04/10
16	L16_CAPIPI	COMERCCOCHA	PITUMARCA	PITUMARCA	PITUMARCA	237978	8458412	4508	0.600	450.212	11/04/10
17	L17_CAPIPI	HUACRACCOCHA	PITUMARCA	PITUMARCA	PITUMARCA	237992	8458615	4557	3.622	816.532	11/04/10
18	L18_CAPIPI	TECTEC CCOCHA	PITUMARCA	PITUMARCA	PITUMARCA	237451	8457408	4252	1.852	584.072	11/04/10
19	L19_CAPIPI	QUEULLACCOCHA	PITUMARCA	PITUMARCA	PITUMARCA	242702	8458852	4630	2.897	908.040	11/04/10
20	L20_CAPIPI	AZULCCOCHA	PITUMARCA	PITUMARCA	PITUMARCA	244926	8456067	4470	1.662	723.712	11/04/10
21	L21_CAPIPI	UNUCURI	PITUMARCA	PITUMARCA	PITUMARCA	246633	8460772	4625	10.688	1540.466	11/04/10
22	L22_CAPISA	HUALLATA	PITUMARCA	SALLANI	HUALLATA	267974	8459900	5061	2.721	772.954	14/04/10
23	L23_CAPISA	PATAHUASI	PITUMARCA	SALLANI	SALLANI	271166	8455564	4829	1.250	526.232	14/04/10

Fuente: Elaboración propia, en base al inventario realizado en campo. 2010.

5.1.3. Inventario de infraestructura de riego y agua potable

5.1.3.1. Infraestructura de riego

Con respecto a las infraestructuras de riego se tiene 23 sistemas de riego presurizado, 16 sistemas de riego por gravedad y 1 sistemas de riego mixto (gravedad y presurizado), encontrándose canales de riego en la parte baja de la subcuenca tanto en la margen derecha e izquierda del rio Pitumarca que tienen un área de riego considerable, la infraestructura de riego que tiene mayor longitud (13.972Km.) es para riego por gravedad cuya bocatoma se encuentra en el rio Pitumarca.

Cuadro 21. Inventario de infraestructuras de riego - subcuenca Pitumarca.

Código	Tipo de sistema	Componentes del sistema	Fuente	Ubicación			Coord. UTM. Huso 19 L		Longitud (m.) Canal /tubería	Sección (m)	Fecha	
				Distrito	Comunidad	Sector	Este (m)	Norte (m)				
1	IR01-CAPICP	RIEGO POR GRAVEDAD	RAMAL DE CONCRETO	RIO PITUMARCA	PITUMARCA	CCAPACCHAPI	HUASAPAMPA	244019	8453669	3792.91	B = 0,9 X b = 0,40 X H = 0,35	11/04/10
2	IR02-CAPICP	RIEGO PRESURIZADO	CAPTACION DE CONCRETO	QDA PAMPAREJA	PITUMARCA	CCAPACCHAPI	PAMPAREJA	241323	8452032	253.35	TUBERIA DE 3"	11/04/10
	RESERVORIO DE CONCRETO		241352					8452175				
3	IR03-CAPICP	RIEGO PRESURIZADO	CAPTACION DE CONCRETO	QDA CALLAC	PITUMARCA	CCAPACCHAPI	CALLAC	241928	8450558	1265.17	TUBERIA DE 3"	11/04/10
	RESERVORIO DE CONCRETO		241682					8451642				
4	IR04-CAPICP	RIEGO PRESURIZADO	BOCATOMA DE CONCRETO	RIO JACHOJO	PITUMARCA	CCAPACCHAPI	HUASAPAMPA	242561	8453282	1932.14	TUBERIA DE 4"	11/04/10
5	IR05-CAPICP	RIEGO POR GRAVEDAD	RAMAL DE CONCRETO	RIO PITUMARCA	PITUMARCA	CCAPACCHAPI	PITUMARCA	240184	8455166	13972.40	B = 1,32 X b = 0,60 X H = 0,70	11/04/10
6	IR06-CAPICP	RIEGO PRESURIZADO	BOCATOMA DE CONCRETO	QDA ZEA	PITUMARCA	CCAPACCHAPI	HUASAPAMPA	243630	8453398	778.15	TUBERIA de 3"	11/04/10
7	IR07-CAPICP	RIEGO PRESURIZADO	CAPTACION DE CONCRETO	MANANTE CCACCA	PITUMARCA	CCAPACCHAPI	PUCUTUNE	243235	8450780	1079.27	TUBERIA de 3"	11/04/10
8	IR08-CAPICP	RIEGO PRESURIZADO	CAPTACION DE CONCRETO	QDA OLLUNE	PITUMARCA	CCAPACCHAPI	OLLUNE	242071	8451488	304.69	TUBERIA de 3"	11/04/10
9	IR09-CAPICP	RIEGO PRESURIZADO	CAPTACION DE CONCRETO	QDA QUISHUARNILLO	PITUMARCA	CCAPACCHAPI	QUISHUARNIL LOC	241899	8451495	405.82	TUBERIA de 3"	11/04/10
10	IR10-CAPICL	RIEGO POR GRAVEDAD	CAPTACION RUSTICA	QDA KILLITAMAYU	PITUMARCA	CHILLCA	UYUNI	262584	8466361	783.91	B = 0,50 X H = 0,12	12/04/10
11	IR11-CAPIIL	RIEGO POR GRAVEDAD	BOCATOMA DE CONCRETO	RIO PITUMARCA	PITUMARCA	ILAVE	ILAVE	239212	8453612	3558.08	B = 0,50 X H = 0,50	12/04/10
12	IR12-CAPIIL	RIEGO PRESURIZADO	CAPTACION DE CONCRETO	RIO PITUMARCA	PITUMARCA	ILAVE	CHACACHAPA MPA	238969	8454128	3347.68	TUBERIA DE 4"	12/04/10
13	IR13-CAPIIL	RIEGO PRESURIZADO	CAPTACION DE CONCRETO	QDA CONDORHUACHANA	PITUMARCA	ILAVE	CONDORWACHANA	237909	8455523	843.03	TUBERIA DE 3"	12/04/10
14	IR14-CAPIOS	RIEGO PRESURIZADO	BOCATOMA DE CONCRETO	QDA PACHACHANI	PITUMARCA	OSEFINA	PACHACHANE	249596	8454826	535.82	TUBERIA DE 3"	11/04/10
15	IR15-CAPIOS	RIEGO PRESURIZADO	BOCATOMA DE CONCRETO	QDA OSEFINA	PITUMARCA	OSEFINA	PHATANA	251350	8454972	705.60	TUBERIA DE 3"	11/04/10
16	IR16-CAPIOS	RIEGO PRESURIZADO	BOCATOMA DE CONCRETO	QDA PACHACHANI	PITUMARCA	OSEFINA	OSEFINA	250352	8454708	827.92	TUBERIA DE 3"	12/04/10
17	IR17-CAPIOS	RIEGO POR GRAVEDAD	BOCATOMA DE CONCRETO	QDA LABRACO	PITUMARCA	OSEFINA	CAURI	248092	8454356	764.21	B = 0,50 X H = 0,40	12/04/10

18	IR18-CAPIOS	RIEGO MIXTO	BOCATOMA DE CONCRETO	QDA LABRACO	PITUMARCA	OSEFINA	OSEFINA	249776	8460518	880.10	TUBERIA DE 2"	12/04/10
19	IR19-CAPIPA	RIEGO POR GRAVEDAD	BOCATOMA DE CONCRETO	RIO PITUMARCA	PITUMARCA	PAMPACHIRI I	HUASAPAMPA	244331	8453411	4970.36	B = 0,9 X b = 0,4 X H = 0,35	12/04/10
20	IR20-CAPIPA	RIEGO POR GRAVEDAD	BOCATOMA DE CONCRETO	RIO PITUMARCA	PITUMARCA	PAMPACHIRI I	PAMPACHIRI	240335	8455207	5665.22	B = 1,20 Xb = 0,5 X H = 0,65	12/04/10
21	IR21-CAPIPA	RIEGO POR GRAVEDAD	BOCATOMA RUSTICA	QDA HUAYLLASCA	PITUMARCA	PAMPACHIRI I	LACCAYMARCA	239703	8455646	1414.23	B = 0,50 X H = 0,40	12/04/10
22	IR22-CAPIPA	RIEGO PRESURIZADO	BOCATOMA DE CONCRETO	QDA HUAYLLASCA	PITUMARCA	PAMPACHIRI I	HUISCACHANI	239679	8457233	2772.15	TUBERIA DE 6"	12/04/10
23	IR23-CAPIPA	RIEGO POR GRAVEDAD	CAPTACION DE CONCRETO	QDA CHILCAMAYO	PITUMARCA	PAMPACHIRI II	HANCHIPACHA	255262	8460280	1008.34	B = 0,40 X b = 0,35 X H = 0,3	12/04/10
24	IR24-CAPIPA	RIEGO POR GRAVEDAD	CAPTACION RUSTICA	QDA CHULLUNQUIA	PITUMARCA	PAMPACHIRI II	JAPURASUYO	255025	8461574	594.45	B = 0,40 X H = 0,50	12/04/10
25	IR25-CAPIPA	RIEGO POR GRAVEDAD	CAPTACION RUSTICA	QDA CHILCAMAYO	PITUMARCA	PAMPACHIRI II	JAPURASUYO	253302	8457696	413.98	B = 0,40 X H = 0,50	12/04/10
26	IR26-CAPIPA	RIEGO POR GRAVEDAD	CAPTACION RUSTICA	RIO PITUMARCA	PITUMARCA	PAMPACHIRI II	HANCHIPACHA	255749	8460403	414.29	B = 0,5 X H = 0,10	12/04/10
27	IR27-CAPIPA	RIEGO POR GRAVEDAD	BOCATOMA DE CONCRETO	QDA JAPURASUYO	PITUMARCA	PAMPACHIRI II	PAMPACHIRI II	253597	8457594	294.55	B = 0,40 X H = 0,50	12/04/10
28	IR28-CAPIPI	RIEGO PRESURIZADO	BOCATOMA DE CONCRETO	M. HUAMANCUNCA	PITUMARCA	PITUMARCA	CONDORWACHANA	246928	8456572	763.91	TUBERIA DE 3"	11/04/10
29	IR29-CAPIPI	RIEGO PRESURIZADO	BOCATOMA RUSTICA	QDA LAMBRACO	PITUMARCA	PITUMARCA	LABRACO	247416	8455556	791.73	TUBERIA DE 3"	11/04/10
30	IR30-CAPIPI	RIEGO PRESURIZADO	BOCATOMA DE CONCRETO	QDA LABRACO	PITUMARCA	PITUMARCA	CAURE	247820	8454642	710.76	TUBERIA DE 3"	11/04/10
31	IR31-CAPIPI	RIEGO PRESURIZADO	BOCATOMA DE CONCRETO	QDA JACHIOJO	PITUMARCA	PITUMARCA	HUITO	243534	8456297	2112.63	TUBERIA DE 3"	11/04/10
32	IR32-CAPIPI	RIEGO PRESURIZADO	BOCATOMA DE CONCRETO	QDA HATUNHUAYCO	PITUMARCA	PITUMARCA	PALCOYO	237978	8458412	848.50	TUBERIA DE 2"	11/04/10
33	IR33-CAPIPI	RIEGO PRESURIZADO	BOCATOMA DE CONCRETO	QDA CCORACHIWITA	PITUMARCA	UCHULLUCCLO	CCORACHIWIT A - I	252092	8453848	1256.75	TUBERIA DE 3"	11/04/10
34	IR34-CAPIPI	RIEGO PRESURIZADO	BOCATOMA DE CONCRETO	QDA CCORACHIWITA	PITUMARCA	UCHULLUCCLO	CCORACHIWIT A - II	251323	8454375	733.23	TUBERIA DE 3"	11/04/10
35	IR35-CAPIPI	RIEGO PRESURIZADO	BOCATOMA DE CONCRETO	RIO PITUMARCA	PITUMARCA	UCHULLUCCLO	KARWI	247090	8453409	636.68	TUBERIA DE 3"	11/04/10
36	IR36-CACHCA	RIEGO POR GRAVEDAD	BOCATOMA DE CONCRETO	RIO PITUMARCA	CHECACUPE	CANGALLI	CANGALLI	235858	8450187	8558.67	B = 0,7 X H = 0,8	08/04/10
37	IR37-CACHCÑ	RIEGO PRESURIZADO	BOCATOMA DE CONCRETO	MANANTE ESTANCOHUAYCO	CHECACUPE	CCAÑOCCOTA	QUINCHACUCHO	237686	8449586	621.96	TUBERIA DE 3"	09/04/10
	RESERVORIO DE CONCRETO		237616					8449578				
38	IR38-CACHCR	RIEGO POR GRAVEDAD	BOCATOMA DE CONCRETO	QDA CHARI	CHECACUPE	CHARI	CHARI	238777	8450777	1854.67	B = 1,20 X b = 0,70 X H = 0,90	07/04/10
39	IR39-CACHCR	RIEGO PRESURIZADO	BOCATOMA DE CONCRETO	QDA CHARI	CHECACUPE	CHARI	CHARI	238870	8450578	1585.66	TUBERIA DE 4"	07/04/10
40	IR40-CACHCH	RIEGO POR GRAVEDAD	BOCATOMA DE CONCRETO	RIO PITUMARCA	CHECACUPE	CHECACUPE	HUAYLLOJO	238191	8452471	6850.62	B = 0,50 X H = 0,12	07/04/10

Fuente: Elaboración propia, en base al inventario realizado en campo. 2010.

5.1.3.2. Infraestructura de agua potable.

En la subcuenca la mayor parte de las comunidades cuentan con agua potable, sin embargo las comunidades lejanas no cuentan con agua potable ni agua entubada por lo que se ven obligado al consumo de agua de manantes cercanas a su domicilio sin previo tratamiento, las comunidades que cuentan con agua potable están ubicadas en la parte baja de la subcuenca y son las que cuentan con un mejor servicio y organización para la administración del servicio a través de las juntas administradoras de los servicios de saneamiento (JASS).

Sobre las infraestructuras de agua potable se identificaron 38 infraestructuras de agua potable que se detallan en el siguiente cuadro:

Cuadro 22. Inventario de infraestructura de consumo humano de la subcuenca.

	Código	Tipo de infraestructura	Compenente del sistema	Ubicación			Coord. UTM. Huso 19 L			Long. línea de conduccion (m)	Diámetro (pulg.)	Fecha
				Distrito	Comunidad	Sector	Este (m)	Norte (m)	Altitud (m)			
1	IC01-CAPICP	AGUA ENTUBADA	CAPTACION	PITUMARCA	CCAPACCHAPI	HUATABAMBA	242015	8451104	4169	699.58	2"	11/04/10
	RESERVORIO		241738				8451682	4067				
2	IC02-CAPICP	AGUA ENTUBADA	CAPTACION	PITUMARCA	CCAPACCHAPI	CCAPACCHAPI	240642	8452192	3872	1610.72	2"	11/04/10
	RESERVORIO		239505				8453176	3634				
3	IC03-CAPICP	AGUA ENTUBADA	RESERVORIO	PITUMARCA	CCAPACCHAPI	CENTRAL HANCCOACCA	243583	8453384	3788	130.00	1"	11/04/10
4	IC04-CAPICL	AGUA ENTUBADA	CAPTACION	PITUMARCA	CHILLCA	ALCATARHUI	255330	8468327	4570	1454.40	2"	12/04/10
	RESERVORIO		256495				8467567	4489				
5	IC05-CAPICL	AGUA ENTUBADA	CAPTACION	PITUMARCA	CHILLCA	CHILLCA	259575	8464584	4427	277.40	2"	12/04/10
	RESERVORIO		259395				8464332	4370				
6	IC06-CAPICL	AGUA ENTUBADA	CAPTACION	PITUMARCA	CHILLCA	ALCATAURI	256511	8468193	4548	244.63	2"	12/04/10
	RESERVORIO		256522				8467951	4543				
7	IC07-CAPIOS	AGUA ENTUBADA	CAPTACION	PITUMARCA	OSEFINA	PACHACHANI	250463	8457626	4392	138.83	1.5"	12/04/10
	RESERVORIO		250323				8457628	4358				
8	IC08-CAPIOS	AGUA ENTUBADA	CAPTACION Y RESERVORIO	PITUMARCA	OSEFINA	ACOTUCO	246270	8453498	3799	80.00	1"	11/04/10
9	IC09-CAPIOS	AGUA POTABLE	CAPTACION	PITUMARCA	OSEFINA	OSEFINA	250212	8454802	4071	162.68	1.5"	11/04/10
	RESERVORIO		250337				8454896	3096				
10	IC10-CAPIOS	AGUA ENTUBADA	CAPTACION Y RESERVORIO	PITUMARCA	OSEFINA	ACOTUCO	245514	8453558	3831	150.00	1"	12/04/10
11	IC11-CAPIOS	AGUA ENTUBADA	CAPTACION	PITUMARCA	OSEFINA	CAURI	247109	8454200	3870	30.00	1"	11/04/10
	RESERVORIO		247113				8454176	3862				
12	IC12-CAPIOS	AGUA POTABLE	CAPTACION	PITUMARCA	OSEFINA	CAURI	249596	8454826	3949	65.99	1"	12/04/10
	RESERVORIO		249592				8454764	3935				
13	IC13-CAPIOS	AGUA ENTUBADA	CAPTACION Y RESERVORIO	PITUMARCA	OSEFINA	PHTANA	251400	8455090	3992	35.00	1"	12/04/10
14	IC14-CAPIPA	AGUA POTABLE	CAPTACION	PITUMARCA	PAMPACHIRI	JAPURA QUELLCA	254313	8456586	4254	457.60	2"	12/04/10
	RESERVORIO		254007				8456906	4123				
15	IC15-CAPIPA	AGUA POTABLE	CAPTACION	PITUMARCA	PAMPACHIRI	JAPURA QUELLCA	254163	8457082	4153	156.45	2"	12/04/10
	RESERVORIO		254006				8457099	4129				
16	IC16-CAPIPA	AGUA POTABLE	CAPTACION	PITUMARCA	PAMPACHIRI	PAMPACHIRI	253588	8457756	4147	173.85	2"	12/04/10
	RESERVORIO		253592				8457588	4106				
17	IC17-CAPIPA	AGUA ENTUBADA	CAPTACION	PITUMARCA	PAMPACHIRE I	HUITO	243038	8455290	3905	808.50	2"	12/04/10
	RESERVORIO		242333				8454942	3807				
18	IC18-CAPIPA	AGUA	CAPTACION	PITUMARCA	PAMPACHIRE I	LLAULLIRE	243609	8454414	3873	614.60	2"	12/04/10

	IC18-CAPIPA	ENTUBADA	RESERVORIO				243342	8453890	3766			
19	IC19-CAPIPI	AGUA POTABLE	CAPTACION	PITUMARCA	PITUMARCA	PITUMARCA	238734	8455881	3960	1833.95	3"	11/04/10
	CAPTACION		238735				8455855	3935				
	RESERVORIO		239177				8454170	3625				
20	IC20-CAPIPI	AGUA ENTUBADA	CAPTACION	PITUMARCA	PITUMARCA	PALCOYO	237975	8458413	4508	250.20	2"	11/04/10
21	IC21-CAPIPI	AGUA ENTUBADA	RESERVORIO	PITUMARCA	PITUMARCA	PAMPACHIRI I	239606	8458426	4124	500.30	2.5"	12/04/10
22	IC22-CAPIPI	AGUA ENTUBADA	RESERVORIO	PITUMARCA	PITUMARCA	HACHOJO	243668	8456747	4231	300.50	2"	12/04/10
23	IC23-CAPIPI	AGUA ENTUBADA	CAPTACION	PITUMARCA	PITUMARCA	HACHOJO	247471	8456486	4239	300.00	1"	12/04/10
	IC24-CAPIPI	AGUA ENTUBADA	CAPTACION	PITUMARCA	PITUMARCA	CONGUMIRI	247478	8455287	4025	330.20	1"	12/04/10
24	IC24-CAPIPI	AGUA ENTUBADA	RESERVORIO			LABRACO	247483	8454980	4009			
25	IC25-CAPIUC	AGUA POTABLE	CAPTACION	PITUMARCA	UCHULLUCLLO	KARHUI	247069	8453395	3864	40.00	1"	11/04/10
	IC25-CAPIUC		RESERVORIO				247047	8453420	3853			
26	IC26-CAPIUC	AGUA ENTUBADA	CAPTACION	PITUMARCA	UCHULLUCLLO	UCHULLUCLLO	251131	8452616	4194	1651.87	2"	11/04/10
	IC26-CAPIUC		RESERVORIO				250729	8454170	4004			
27	IC27-CAPIUC	AGUA ENTUBADA	CAPTACION	PITUMARCA	UCHULLUCLLO	QEUÑA CCOMO	247677	8453718	3843	20.50	1"	11/04/10
	IC27-CAPIUC		RESERVORIO				247671	8453736	3841			
28	IC28-CACHCA	AGUA ENTUBADA	CAPTACION Y RESERVORIO	CHECACUPE	CANGALLI	CANGALLI	237506	8452014	3561	10.00	1"	08/04/10
29	IC29-CACHCA	AGUA ENTUBADA	RESERVORIO	CHECACUPE	CANGALLI	HUAYLLAOJO	236985	8451626	4814	500.30	1"	08/04/10
30	IC30-CACHCA	AGUA ENTUBADA	RESERVORIO	CHECACUPE	CANGALLI	HUAYLLAOJO	236608	8450878	3519	50.00	1"	08/04/10
31	IC31-CACHCA	AGUA ENTUBADA	RESERVORIO	CHECACUPE	CANGALLI	CANGALLI	234936	8448359	3484	60.00		08/04/10
32	IC32-CACHCÑ	AGUA ENTUBADA	CAPTACION	CHECACUPE	CCAÑOCCOTA	LLAULLINAYOC HUAYCO	237471	8448630	3915	120.00	1"	09/04/10
33	IC33-CACHCÑ	AGUA ENTUBADA	CAPTACION Y RESERVORIO	CHECACUPE	CCAÑOCCOTA	CHALLHUAYO Q HUAYQO	237575	8449544	3921	5.00	1"	09/04/10
34	IC34-CACHCÑ	AGUA ENTUBADA	CAPTACION	CHECACUPE	CCAÑOCCOTA	CCAÑOCCOTA	237444	8449020	3951	140.50	1.5"	09/04/10
	IC34-CACHCÑ		RESERVORIO				237359	8449123	3940			
35	IC35-CACHCR	AGUA ENTUBADA	CAPTACION	CHECACUPE	CHARI	PAMPA REJA	237541	8451079	3695	186.79	1.5"	07/04/10
	IC35-CACHCR		RESERVORIO				237680	8451205	3676			
36	IC36-CACHCR	AGUA ENTUBADA	CAPTACION	CHECACUPE	CHARI	CHARI CENTRAL	238797	8450677	3778	920.50	2.5"	07/04/10
	IC36-CACHCR		RESERVORIO				238512	8450978	3743			
	IC36-CACHCR		RESERVORIO				238394	8451446	3637			
37	IC37-CACHCR	AGUA POTABLE	CAPTACION	CHECACUPE	CHARI	HUAYLLAOJO	238749	8450274	3874	120.00	2"	07/04/10
38	IC38-CACHCH	AGUA POTABLE	CAPTACION	CHECACUPE	CHECACUPE	PUSARATI	236704	8449148	3639	1750.80	2.5"	07/04/10
	IC38-CACHCH		RESERVORIO				235521	8448310	3521			

Fuente: Elaboración propia, en base al inventario realizado en campo. 2010.



Foto 13. Bocatoma de canal de riego comunidad de llave.

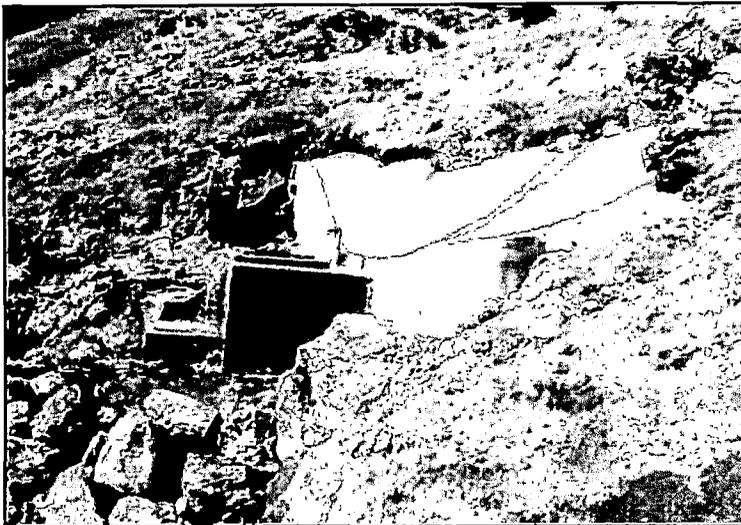


Foto 14. Captación de agua entubada, sector Japura Suyo – Pampachiri.

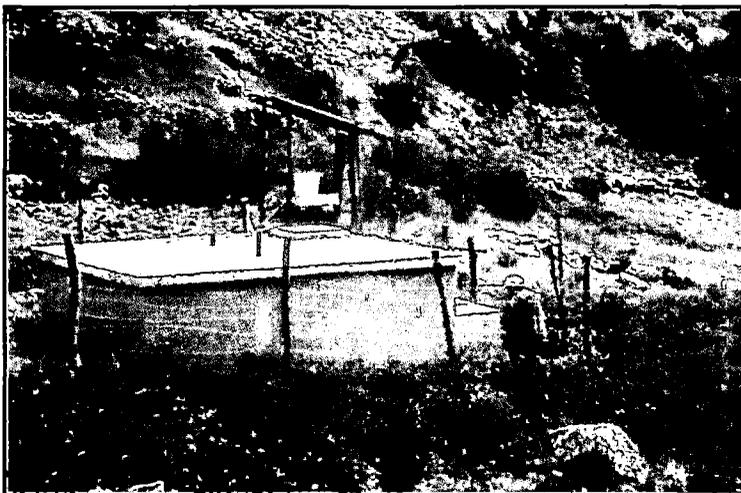


Foto 15. Reservorio de agua potable comunidad de Uchullocco.

5.2. Los parámetros hidrometeorológicos de la subcuenca Pitumarca

Dentro de la subcuenca de Pitumarca no existe ninguna estación meteorológica, por lo que se regionalizó los datos climatológicos según los modelos matemáticos propuestos, a partir de las estaciones cercanas a la subcuenca, previo al análisis, se realizó un proceso de homogenización y complementación de la información faltante.

5.2.1. Estaciones meteorológicas

En el ámbito de influencia de la unidad hidrográfica, las estaciones meteorológicas operadas por SENAMHI (servicio nacional de meteorología e hidrología) en funcionamiento más cercanas al ámbito de estudio, se han considerado 3 estaciones meteorológicas, de las cuales se encuentran 2 estaciones (Sicuani y Pomacanchi) localizadas en el ámbito de la cuenca del río Vilcanota y una estación (Yauri) en la cuenca Apurímac, estas estaciones son próximas a la subcuenca en estudio y cuentan con datos de registros históricos de los periodos de 1992 a 2011, las cuales se tomaron para la regionalización de la subcuenca.

Cuadro 23. Estaciones meteorológicas tomadas en cuenta para el estudio.

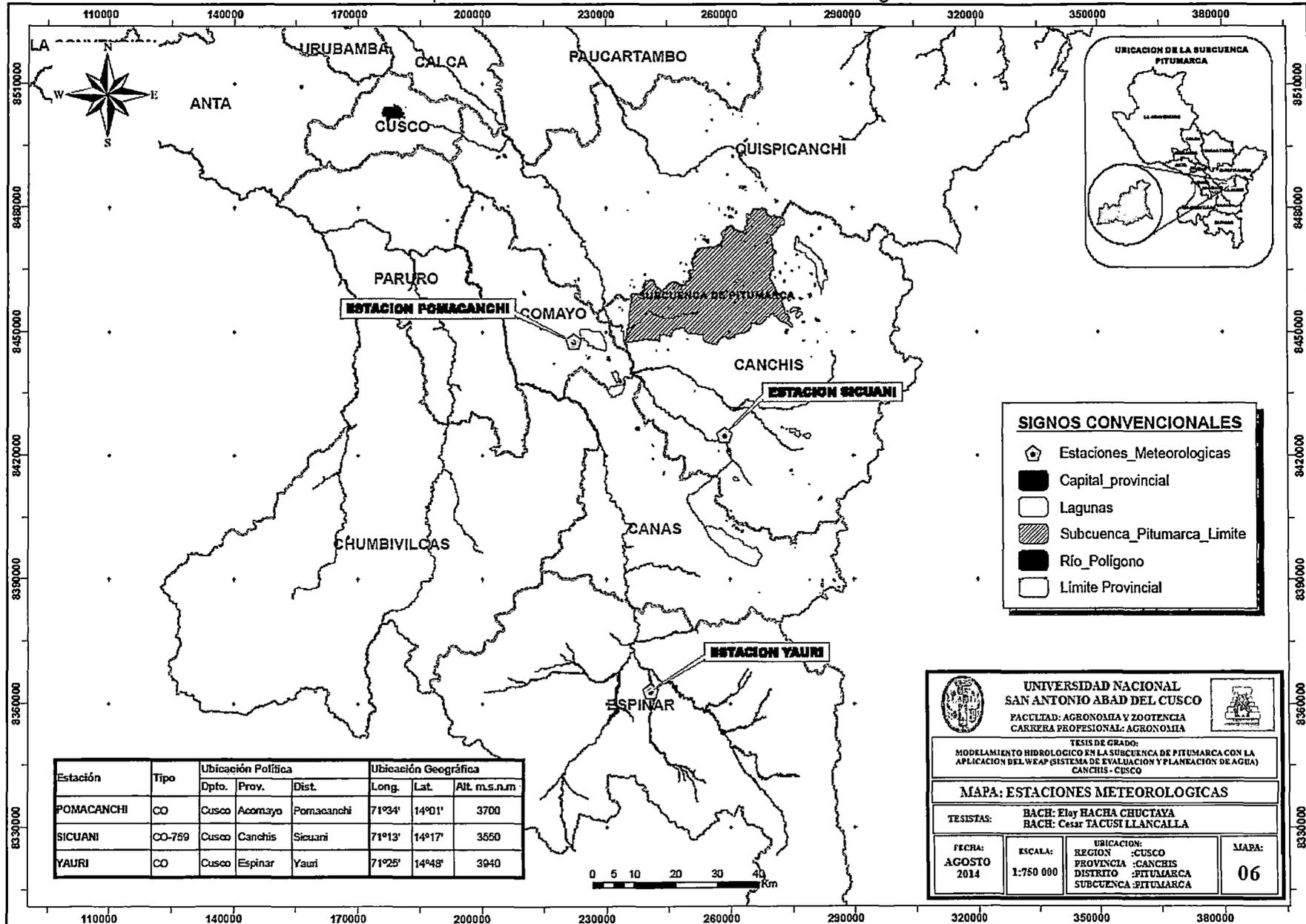
Estación	Tipo	Ubicación Política			Ubicación Geográfica			Periodo
		Dpto.	Prov.	Dist.	Long.	Lat.	Alt.	
POMACANCHI	CO	Cusco	Acomayo	Pomacanchi	71°34'	14°01'	3700	1992-2011
SICUANI	CO		Canchis	Sicuani	71°13'	14°17'	3550	1992-2011
YAURI	CO		Espinar	Yauri	71°25'	14°48'	3940	1992-2011

Fuente: Elaboración propia, en base a datos de SENAMHI. 2014.

Dónde:

CO = Climática ordinaria

Mapa 06. Ubicación de las estaciones meteorológicas.



Fuente: Elaboración propia. 2014.

5.2.2. Vector regional

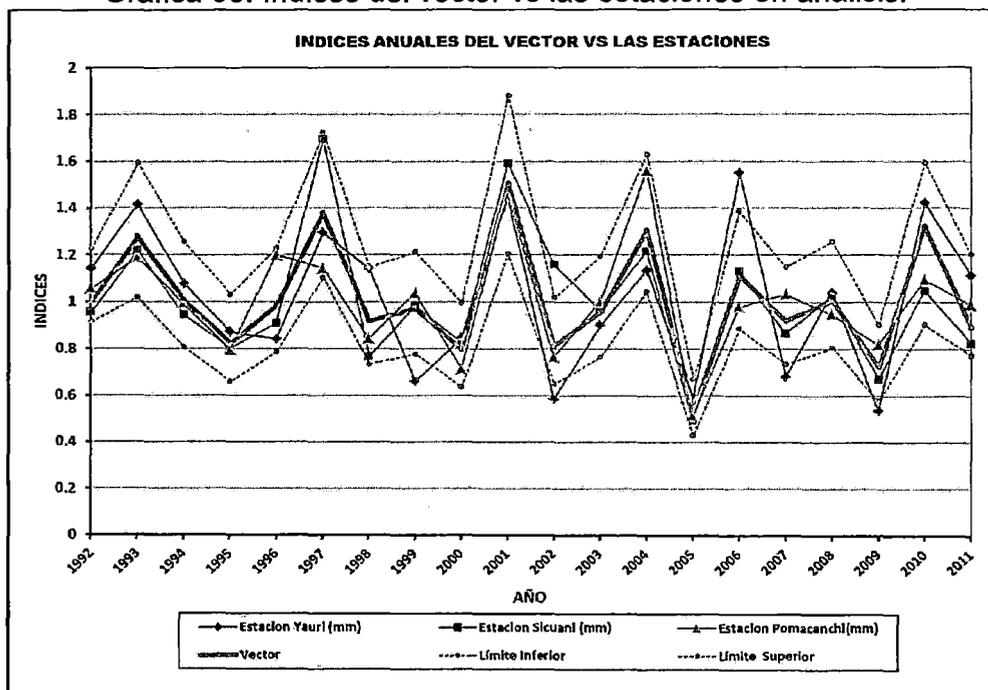
Para el estudio se realizó el análisis del vector regional de las 3 estaciones meteorológicas (Pomacanchi, Sicuani y Yauri) utilizando el software Hydraccess, lo cual ejecuta el vector regional y proporciona información diversa en hojas de cálculo. Los parámetros calculados más importantes se muestran en el siguiente cuadro:

Cuadro 24. Resultados del vector regional.

Estación	N° años '	Desviación estándar de los desvíos	Correlación / Vector
Yauri	20	0.19	0.81
Sicuani	20	0.13	0.91
Pomacanchi	20	0.12	0.89

Fuente: Elaboración propia, en base a datos de SENAMHI. 2014.

Grafica 06. Índices del vector vs las estaciones en análisis.



Fuente: Elaboración propia, en base a datos de SENAMHI. 2014.

La desviación estándar de los desvíos (D.E.D) y la correlación entre la estación y el vector, los resultados obtenidos son aceptables, con coeficientes de correlación entre 0.81 a 0.91 y valores de desviación estándar de los desvíos de 0.12 a 0.19, eso indica que las estaciones pertenecen a una misma zona homogénea.

5.2.3. Variables climáticas

Los principales parámetros climáticos utilizados para la modelación son:

5.2.3.1. Precipitación

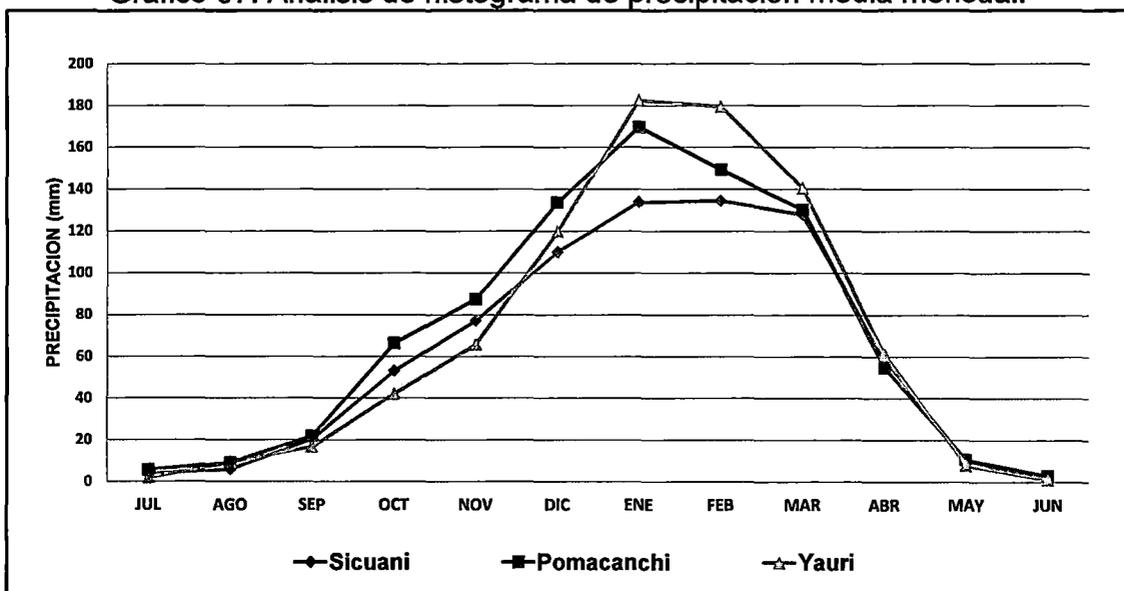
La información básica para el presente estudio, se obtiene de las 3 estaciones pluviométricas más próximas a la subcuenca antes mencionadas, que cuentan con datos de registros históricos de los periodos de 1992 a 2011, lo cual garantiza la validez de la información completada y extendida, para determinar la variabilidad multianual de la precipitación, necesaria para identificar los años húmedos, secos y normales, las cuales tienen características climáticas casi similares y se encuentran localizadas en zonas más próximas a la unidad hidrográfica de la subcuenca.

Cuadro 25. Promedio de la precipitación media mensual.

Precipitaciones media mensuales (mm)/ de las estaciones													
Estación	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Total
Sicuari	3.92	5.90	20.45	53.17	77.33	109.95	134.33	134.56	127.92	58.57	10.48	1.70	737.71
Pomacanchi	5.96	9.02	21.85	66.42	87.56	133.64	169.79	149.41	130.35	53.66	10.28	3.15	837.42
Yauri	1.96	9.38	16.66	42.15	65.91	119.78	182.18	178.10	141.11	60.48	8.16	1.37	828.99

Fuente: Elaboración propia, en base a datos de SENAMHI. 2014.

Gráfico 07. Análisis de histograma de precipitación media mensual.



Fuente: Elaboración propia, en base a datos de SENAMHI. 2014.

5.2.3.2. Temperatura

El comportamiento térmico de la subcuenca Pitumarca es variado debido a que presenta zonas altas donde la temperatura es baja, y en los valles profundos y quebradas es templado, cuyo comportamiento está influido principalmente por la variabilidad de la topografía del terreno, sin embargo existen factores locales como la fisiografía y la dirección de los vientos que crean una serie de microclimas, que configuran diferentes espacios micro térmicos, lo cual se muestra el registro de datos de temperatura de las estaciones más próximas a la subcuenca.

Cuadro 26. Temperatura media mensual.

TEMPERATURA MEDIA MENSUAL														
ESTACION	ALTITUD msnm	MES / TEMPERATURA MEDIA (C°)												
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	MEDIA/A.
POMACANCHI	3700	11.05	10.95	10.82	10.35	8.92	7.91	7.58	8.92	10.31	11.25	11.53	11.17	10.06
SICUANI	3574	12.40	12.31	12.19	11.32	9.12	7.75	7.54	9.20	11.09	12.26	12.74	12.6	10.87
YAURI	3927	9.90	9.85	9.70	8.65	6.20	5.00	5.00	6.20	7.80	9.13	9.88	9.9	8.10

Fuente: Elaboración propia, en base a datos de SENAMHI. 2014.

5.2.3.3. Humedad relativa

Para la humedad relativa media mensual de la subcuenca Pitumarca se consideró la información de la estación de Pomacanchi, Sicuani y Yauri, por lo general la humedad relativa media mensual disminuye con la altura tomando mayores valores en zonas bajas de la subcuenca y menores valores en zonas altas, por ende en la zona de estudio la humedad relativa como parámetro tiene una fluctuación estacional muy pequeña.

Cuadro 27. Humedad relativa media mensual.

HUMEDAD RELATIVA - VS - ALTITUD														
ESTACION	ALTITUD msnm	HUMEDAD RELATIVA (%)												
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	MEDIA A.
POMACANCHI	3700	78.24	78.59	78.45	74.31	63.11	57.48	55.58	54.34	60.00	63.26	64.94	72.25	66.71
SICUANI	3574	68.04	70.52	68.75	65.13	59.07	58.04	56.82	53.28	55.27	60.07	61.47	64.5	61.74
YAURI	3927	75.00	76.00	75.00	72.00	67.00	63.50	60.50	58.00	58.50	62.10	64.10	71.00	66.89

Fuente: Elaboración propia, en base a datos de SENAMHI. 2014.

5.2.3.4. Velocidad de viento

Para la velocidad de viento se optó tomar los datos de la estación de Ccatca, Sicuani y Kayra, ya que en la subcuenca de Pitumarca no existe datos de registro de velocidad de viento, por lo que para este parámetro se utilizó otras estaciones por ser un fenómeno que está en función a variables locales.

Cuadro 28. Velocidad de Viento.

VELOCIDAD DE VIENTO														
ESTACION	ALTITUD msnm.	MES / VELOCIDAD DE VIENTO (m/s)												
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	MEDIA A.
CCATCCA	3726	2.00	2.12	2.16	2.08	2.00	1.84	2.04	3.24	3.52	3.18	2.60	2.10	2.41
SICUANI	3574	1.72	2.02	1.75	1.97	1.73	1.85	2.64	2.35	2.72	2.00	2.10	1.85	2.06
KAYRA	3219	1.22	1.30	1.38	1.35	1.42	1.30	1.80	1.93	2.50	2.40	2.17	1.73	1.71

Fuente: Elaboración propia, en base a datos de SENAMHI. 2014.

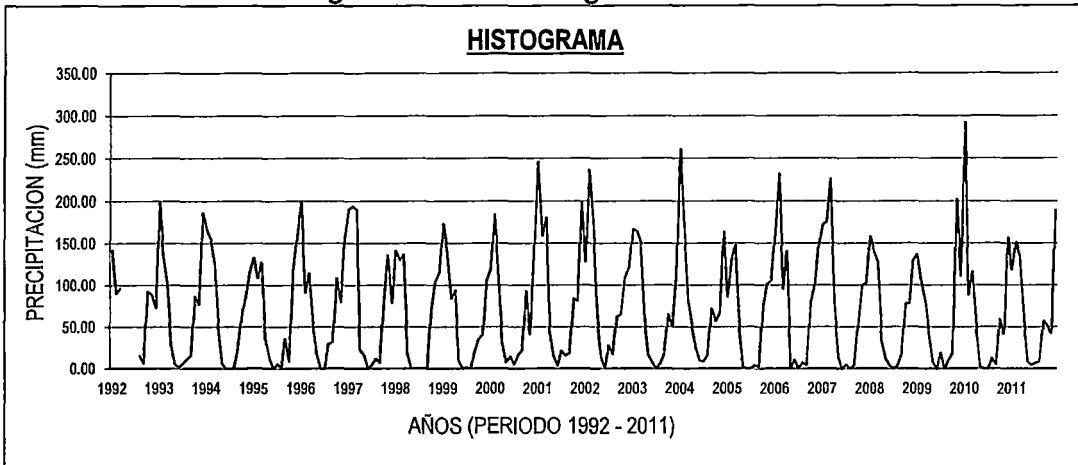
5.2.4. Análisis de consistencia de datos meteorológicos

Con la finalidad de poder detectar posibles datos inconsistentes en las series históricas se ha procedido al análisis visual de la información, el mismo que ha consistido en un análisis de los histogramas que representan la información pluviométrica en el tiempo a una escala mensual. Mediante el análisis de histogramas es posible detectar saltos y/o tendencias en la información histórica.

5.2.4.1. Análisis gráfico de la precipitación por estaciones

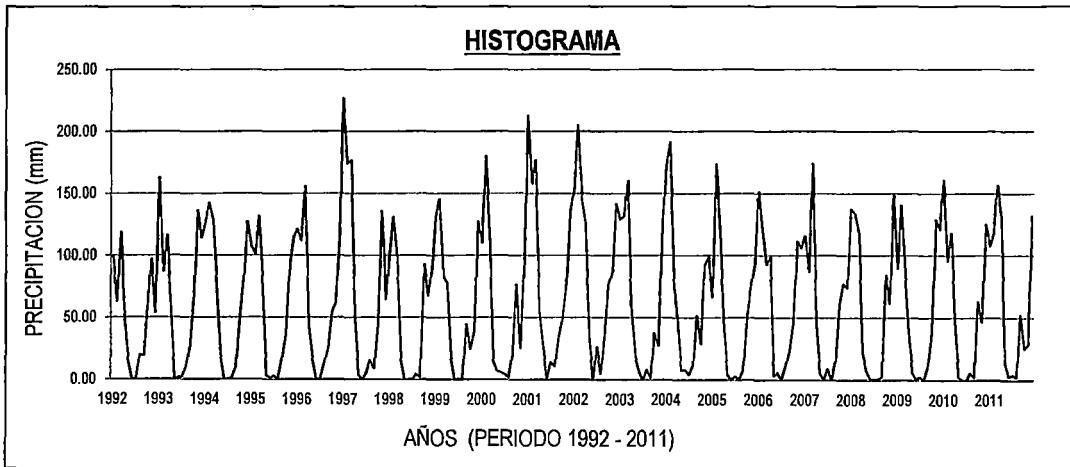
Para una buena visualización se realizó las comparaciones graficas de los histogramas a nivel mensual y anual de las 3 estaciones meteorológicas con registros históricos de los periodos de 1992-2011, a fin de detectar posibles saltos durante el periodo de información registrada, observándose aquellos periodos en los cuales la información varía notablemente. El histograma de Pomacanchi, Sicuani y Yauri, es casi similar, existiendo ciertos picos no significativos.

Gráfica 08. Histograma de datos originales-estación Pomacanchi.



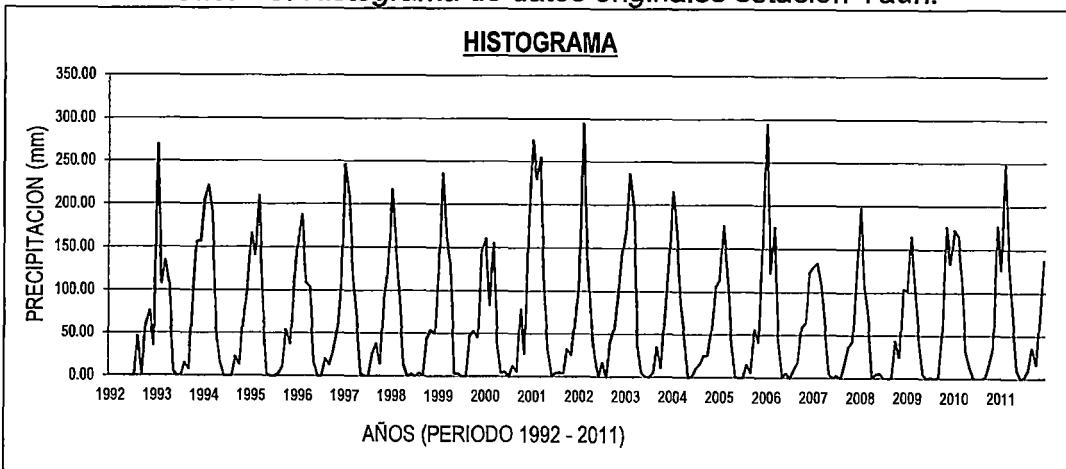
Fuente: Elaboración propia, en base a datos de SENAMHI. 2014.

Gráfica 09. Histograma de datos originales - estación Sicuani.



Fuente: Elaboración propia, en base a datos de SENAMHI. 2014.

Gráfica 10. Histograma de datos originales estación Yauri.



Fuente: Elaboración propia, en base a datos de SENAMHI. 2014.

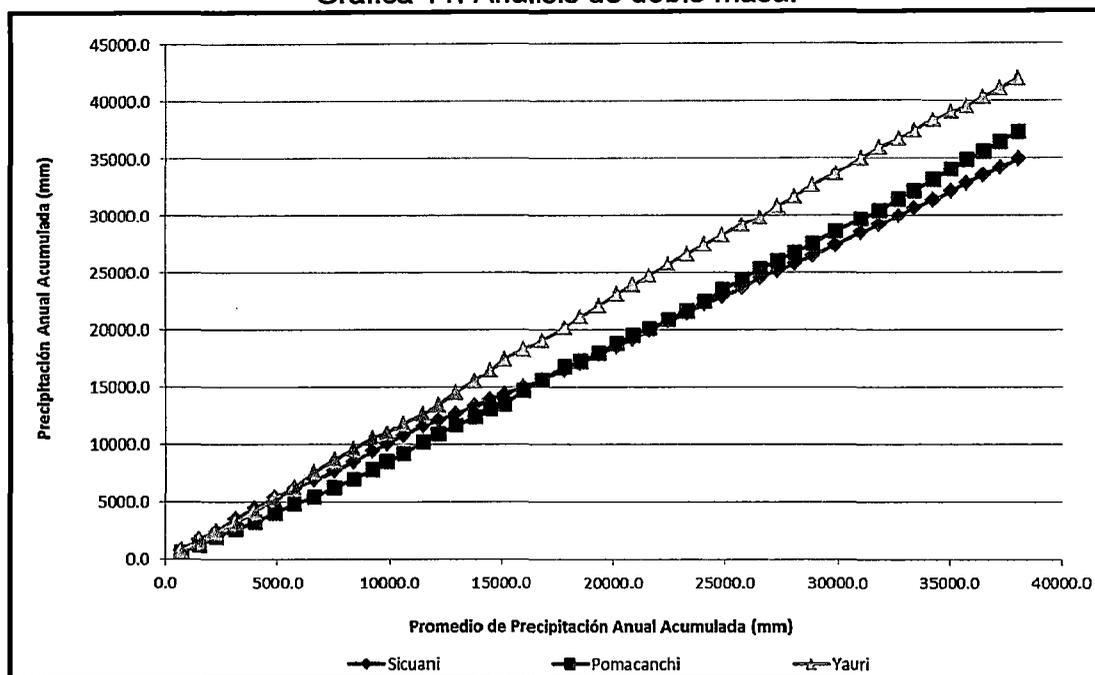
5.2.4.2. Análisis de doble masa

El análisis de doble masa se realizó con el fin de conocer la consistencia de la información histórica de precipitación total anual de cada una de las estaciones de Pomacanchi, Sicuani y Yauri.

La comparación se optó por agrupar estaciones teniendo como criterio la ubicación de la cuenca, altitud, régimen pluviométrico y período de registro, así se estableció el análisis de doble masa para las estaciones de Pomacanchi, Sicuani y Yauri con periodos desde 1992 hasta 2011. Este análisis permitió verificar, no sólo la consistencia de la información, sino también el proceso de análisis de saltos, tendencias y completación de las series de datos de las 3 estaciones seleccionadas.

En el gráfico se puede observar que la estación de Sicuani presenta un pequeño quiebre por lo que se procedió a comparar con información de otras estaciones. Por tanto los resultados obtenidos son aceptables tal como se puede ver en el gráfico siguiente por presentar una línea recta de pendiente constante.

Grafica 11. Análisis de doble masa.



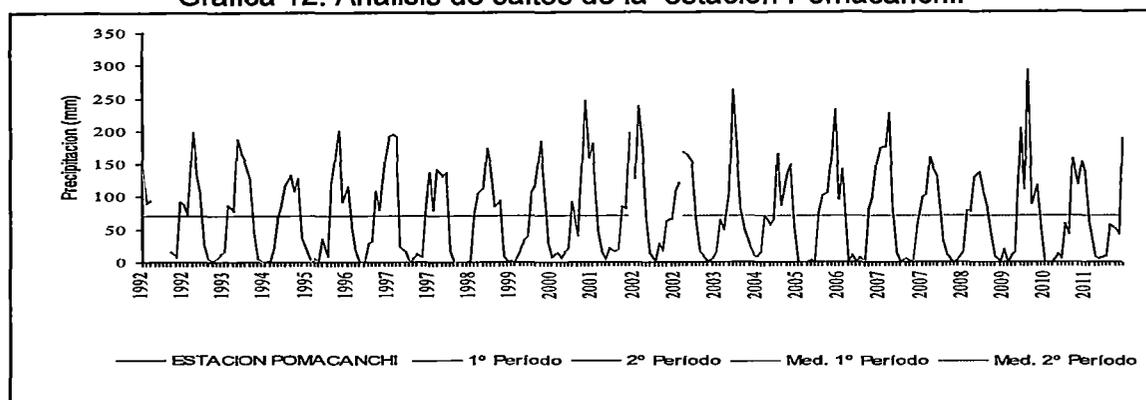
Fuente: Elaboración propia, en base a datos de SENAMHI. 2014.

5.2.4.3. Análisis de saltos

En este análisis 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 de Student y con $N_1 - 1$, $N_2 - 1$ grados de libertad para la prueba F. Si $|T_c| < T_t$ y $F_c < F_t$.

Para las estaciones de Pomacanchi, Sicuani y Yauri, presentan en la media, valores de T_c menores a los de la F_c , por lo que no se realiza corrección alguna, en cuanto a la desviación estándar, para la obtención de este análisis se ha utilizado el software SIH (Sistema de Información Hidrológica) desarrollado por la dirección de aguas y suelos.

Grafica 12. Análisis de saltos de la estación Pomacanchi.



Fuente: Elaboración propia, en base a datos de SENAMHI. 2014.

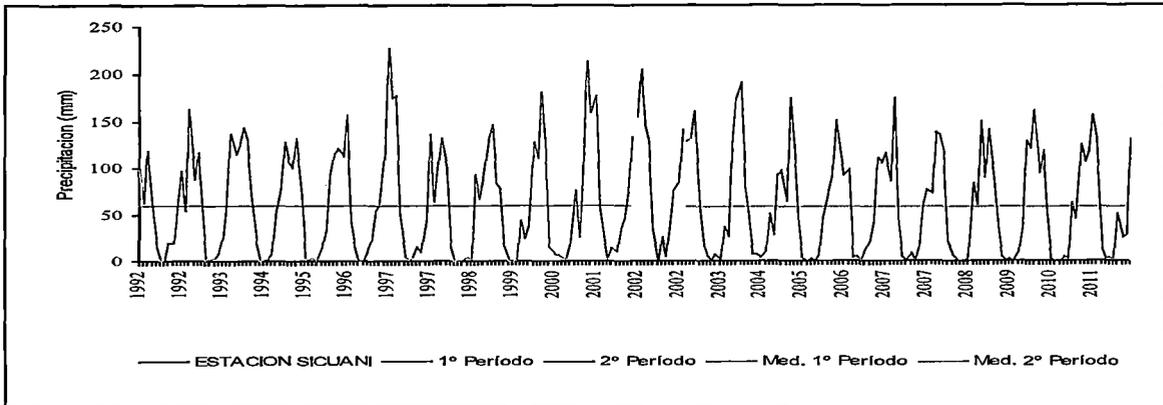
Cuadro 29. Análisis estadístico de saltos - estación Pomacanchi.

Estación: POMACANCHI		Código: 156328		Cuenca: Vilcanota					
Periodos	N	Media	Desv. Est.	Prueba Estadística 95%			Cambios		
				Tc	Tt	Fc	Ft	Media	Desv. Est.
1992-2002	116	69.8681	64.6631	0.07596	1.9600	1.1310	1.3770	No	No
2003-2011	108	70.5454	68.7684						

Fuente: Elaboración propia, en base a datos de SENAMHI. 2014.

La prueba estadística al 95% de confianza, para los datos de precipitación en la estación Yauri, da un valor de $T_c = 0.07596$, que es menor a la $T_t = 1.9600$, y la $F_c = 1.1310$, también es menor a la $F_t = 1.3770$, en ambas pruebas es menor, por lo tanto no se realizó el proceso de corrección.

Grafica 13. Análisis de saltos - estación Sicuani.



Fuente: Elaboración propia, en base a datos de SENAMHI. 2014.

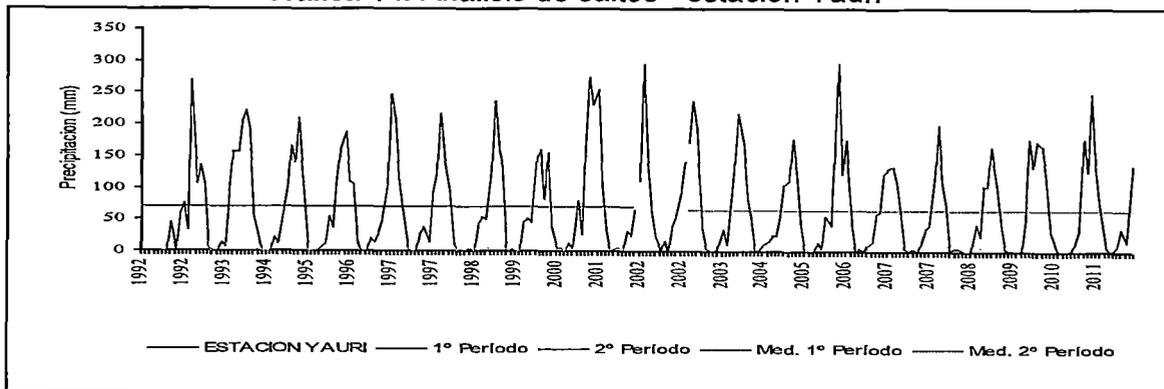
Cuadro 30. Análisis estadístico de saltos - estación Sicuani.

Estación: SICUANI			Código: 156328			Cuenca: Vilcanota			
Periodos	N	Media	Desv. Est.	Prueba Estadística 95%			Cambios		
				Tc	Tt	Fc	Ft	Media	Desv. Est.
1992-2002	120	61.1335	57.3597	0.25941	1.9600	1.0504	1.3773	No	No
2003-2011	108	59.1824	55.9673						

Fuente: Elaboración propia, en base a datos de SENAMHI. 2014.

La prueba estadística al 95% de confianza, para la estación de Sicuani da un valor de $T_c = 0.25941$, que es menor a la $T_t = 1.9600$, y la $F_c = 1.0504$, también es menor a la $F_t = 1.3773$, en ambos en menor, por lo tanto no se realizó el proceso de corrección.

Grafica 14. Análisis de saltos - estación Yauri



Fuente: Elaboración propia, en base a datos de SENAMHI. 2014.

Cuadro 31. Análisis estadístico de saltos - estación Yauri.

Estación: YAURI			Código: 156328			Cuenca: Vilcanota			
Periodos	N	Media	Desv. Est.	Prueba Estadística 95%			Cambios		
				Tc	Tt	Fc	Ft	Media	Desv. Est.
1992-2002	115	70.0652	76.0690	0.61175	1.9600	1.1748	1.3836	No	No
2003-2011	108	64.0584	70.1816						

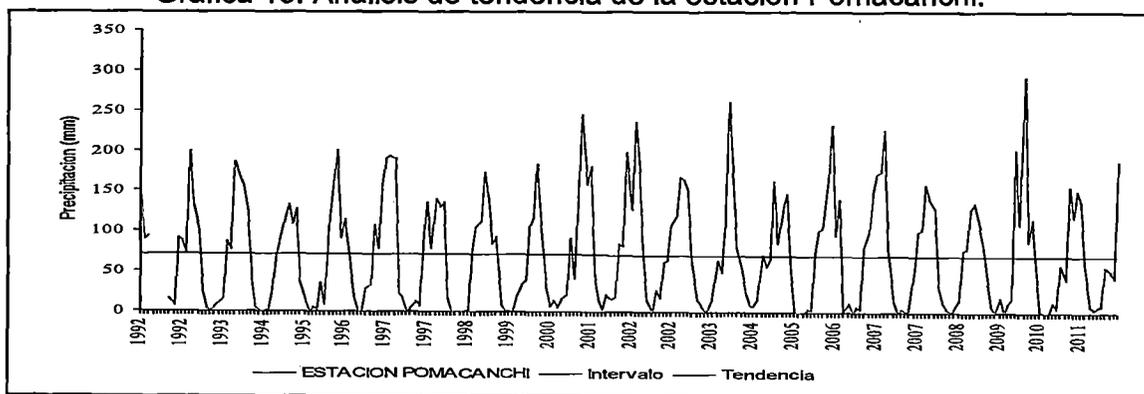
Fuente: Elaboración propia, en base a datos de SENAMHI. 2014.

La prueba estadística al 95% de confianza, para la estación de Yauri, da un valor de $T_c = 0.61175$, que es menor a la $T_t = 1.9600$, y la $F_c = 1.1748$, también es menor a la $F_t = 1.3836$, en ambas pruebas es menor, por lo tanto no se realizó el proceso de corrección.

5.2.4.4. Análisis de tendencias

El análisis de tendencias para las 3 estaciones propuestas para el estudio no se corrigieron por presentar valores de T_c es menor a T_t , que han sido determinados utilizando software (SIH Sistema de Información Hidrológica) desarrollado por la Dirección de Aguas y Suelos

Grafica 15. Análisis de tendencia de la estación Pomacanchi.



Fuente: Elaboración propia, en base a datos de SENAMHI. 2014.

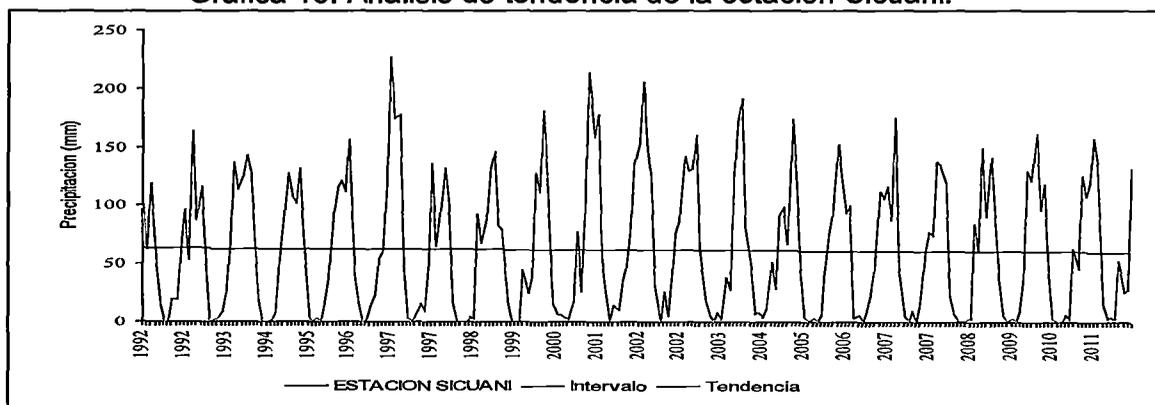
Cuadro 32. Análisis estadístico de tendencia de la estación Pomacanchi.

Estación: Pomacanchi			Código:				Cuenca: Vilcanota		
Tendencia	N	Media	Desv. Estan.	Coefic. Correl. Regr.	Coef.Ecua. Regr.		Estadística 95%		Análisis
					Am	Bm	Tc	Tt	
Media	236	70.9678	66.6934	--0.012	72.3900	-0.0120	0.1840	1.9600	No
Des. Est	20	93.7095	23.2178	0.0820	90.3290	0.3220	0.3490	2.1009	No

Fuente: Elaboración propia, en base a datos de SENAMHI. 2014.

Para la estación de Pomacanchi, con la prueba estadística al 95% de confianza, da un valor de $T_c = 0.1840$, que es menor a la $T_t = 1.9600$, entonces la tendencia no es significativo y no se corrige.

Gráfica 16. Análisis de tendencia de la estación Sicuani.



Fuente: Elaboración propia, en base a datos de SENAMHI. 2014.

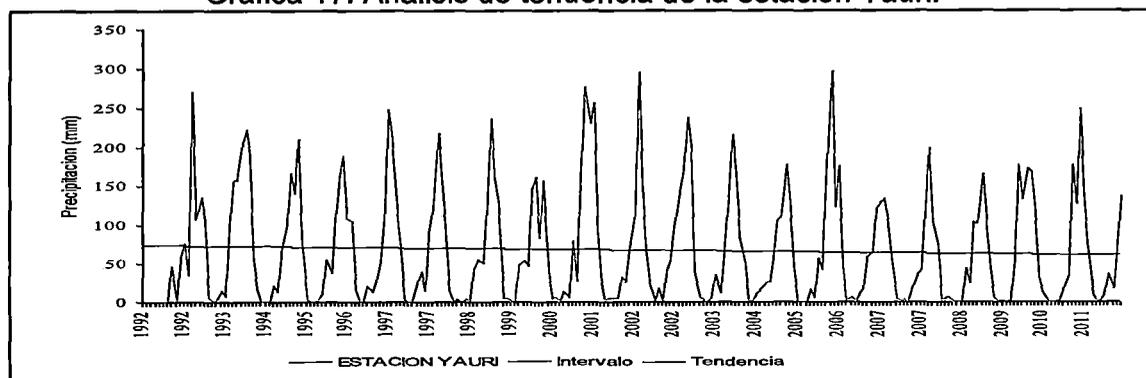
Cuadro 33. Análisis estadístico de tendencia de la estación Sicuani.

Estación: Sicuani			Código:				Cuenca: Vilcanota		
Tendencia	N	Media	Desv. Estan.	Coefic. Correl. Regr.	Coef.Ecua. Regr.		Estadística 95%		Análisis
					Am	Bm	Tc	Tt	
Media	240	615213	57.3046	-0.017	63.2080	-0.0140	0.2620	1.9600	No
Des. Est	20	87.9040	22.6578	0.0880	84.3660	0.3370	0.3750	2.1009	No

Fuente: Elaboración propia, en base a datos de SENAMHI. 2014.

La prueba estadística al 95% de confianza, para la estación de Sicuani, da un valor de $T_c = 0.2620$, que es menor a la $T_t = 1.9600$, entonces los datos de la tendencia no son significativos y no se corrige.

Grafica 17. Análisis de tendencia de la estación Yauri.



Fuente: Elaboración propia, en base a datos de SENAMHI. 2014.

Cuadro 34. Análisis estadístico de tendencia de la estación Yauri.

Estación: Yauri			Código:				Cuenca: Vilcanota		
Tendencia	N	Media	Desv. Estan.	Coefic. Correl. Regr.	Coef.Ecua. Regr.		Estadística 95%		Análisis
					Am	Bm	Tc	Tt	
Media	235	67.9771	73.6484	-0.051	74.4670	-0.0550	0.7790	1.9600	No
Des. Est	20	99.8140	22.4124	0.0610	97.3890	0.2310	0.2590	2.1009	No

Fuente: Elaboración propia, en base a datos de SENAMHI. 2014.

Realizado la prueba estadística al 95% de confianza, para la estación de Yauri, da un valor de $T_c = 0.7790$, que es menor a la $T_t = 1.9600$, entonces los datos de la tendencia no son significativos y no se corrigen.

5.2.5. Completación y extensión de datos meteorológicos faltantes

La información pluviométrica de las estaciones de Yauri y Pomacanchi presentan datos discontinuos, debido a la ausencia del observador o por falta de instrumentos, careciéndose de datos de pluviométricos de varios meses durante el año de 1992, por lo que, ha sido necesario homogenizar la información a través de la completación y extensión de los registros. Este proceso de completación y extensión de la información pluviométrica total mensual se ha realizado con el software HEC4 instalado como un módulo o componente del programa de cómputo "SIH". El cual realiza una correlación múltiple cruzada entre los datos de precipitación mensual de todas las estaciones de trabajo, optimizando el coeficiente de correlación más adecuado.

Cuadro 35. Registro de datos pluviométricos completados.

REGISTRO HISTORICO DE PRECIPITACION ANUAL COMPLETADO				
ITEM	AÑO	SICUANI	POMACANCHI	YAURI
1	1992	597.42	702.80	702.00
2	1993	779.90	854.00	1054.90
3	1994	758.60	795.00	891.50
4	1995	678.30	752.00	816.00
5	1996	715.80	885.70	796.50
6	1997	905.30	937.30	935.10
7	1998	601.30	718.10	625.90
8	1999	690.00	702.90	948.90
9	2000	660.00	784.60	840.70
10	2001	948.40	1070.30	1031.10
11	2002	1037.40	1024.80	998.80
12	2003	705.70	818.50	901.80
13	2004	784.30	990.30	756.90
14	2005	635.50	706.40	738.70
15	2006	769.00	986.80	919.20
16	2007	662.90	930.10	651.80
17	2008	716.50	784.50	581.50
18	2009	661.90	735.10	783.30
19	2010	668.40	829.10	729.40
20	2011	777.50	837.30	875.70
DATOS		20	20	20
MEDIA		737.71	842.28	828.99
DESV. STD		111.34	111.56	130.89
CV		0.15	0.13	0.16
P.MAXIMA		597.42	702.80	581.50
P.MINIMA		1,037.40	1,070.30	1,054.90

Fuente: Elaboración propia, en base a datos de SENAMHI. 2014.

5.2.6. Regionalización de datos meteorológicos para la subcuenca

Es necesario realizar la regionalización de los datos meteorológicos para la subcuenca de Pitumarca, según los modelos matemáticos propuestos, a partir de las estaciones cercanas a la subcuenca, previo al análisis, se realizó un proceso de homogenización y complementación de la información faltante.

Teniendo conocimiento de la relación de variación de precipitación es directamente proporcional a la altura, se hace uso de datos hidrometeorológicos, considerando como variables independientes a las altitudes, y como variables dependientes a las precipitaciones, de las estaciones seleccionadas.

5.2.6.1. Determinación de la altura media de microcuencas

Cuadro 36. Centroide y altitud media de las microcuencas.

Microcuenca	Coordenadas UTM		Coordenadas geográficas		Altitud Media (m.s.n.m.)
	X	Y	Longitud	Latitud	
Yanamayo	263093.95	8454963.12	71° 11' 34.6607" W	13° 57' 56.8262" S	4756.96
Chillcamayo	261146.85	8467266.70	71° 12' 35.7100" W	13° 51' 16.0390" S	4822.75
Pitumarca	247024.02	8455247.70	71° 20' 29.7743" W	13° 57' 42.5762" S	4304.94

Fuente: Elaboración propia SIG. 2014.

5.2.6.2. Regionalización de precipitación por microcuencas

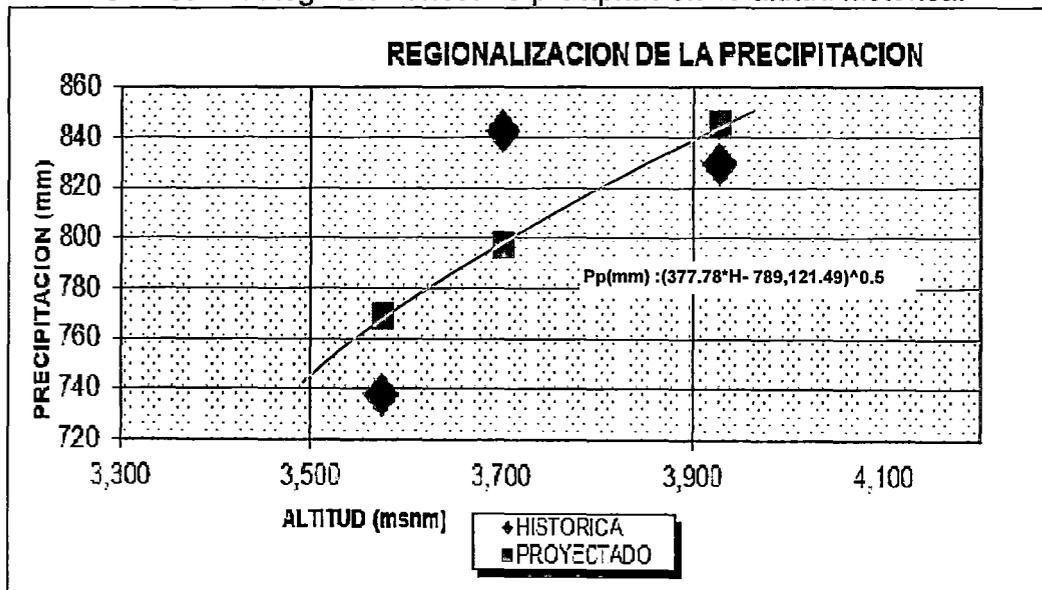
A partir de los registros de datos históricos de precipitación completados se procede a regionalizar mediante la obtención de las ecuaciones de regresión, se correlacionaron la altitud de las estaciones seleccionadas y la precipitación media anual en las mismas y realizando un análisis estadístico, mediante fórmulas, se obtuvieron las siguientes relaciones, como se muestra en el siguiente cuadro:

Cuadro 37. Ecuación de regresión lineal de precipitación vs altitud.

NOMBRE DE LA ESTACION	ALTITUD MEDIA msnm	PRECIPITACION MEDIA ANUAL mm	ECUACION DE REGRESION				PRECIP. MEDIA ANUAL CORREGIDA mm		
			X^2	Y^2	$X*Y^2$	Y^4			
SICUANI	3,574.00	737.71	1.28E+07	5.44E+05	1.95E+09	2.96E+11	769.32		
YAURI	3,927.00	828.99	1.54E+07	6.87E+05	2.70E+09	4.72E+11	844.79		
POMACANCHI	3,700.00	842.28	1.37E+07	7.09E+05	2.62E+09	5.03E+11	797.08		
SUMA	11,201.00	2,408.97	4.19E+07	1.94E+06	7.27E+09	1.27E+12	2,411.19		
n	3	3	3	3	3	3	3		
PROMEDIO	3,733.67	802.99	1.40E+07	6.47E+05	2.42E+09	4.24E+11	803.73		
FORMULAS PARA EL CALCULO DE PARAMETROS DE REGRESION			VALORES DE PARAMETROS DE REGRESION						
A= SUM X	1.12E+04	G= C-(A^2)/n	6.40E+04	COEF. INDEPENDIENTE		Bo =	-6.41E+05		
B= SUM Y	2.41E+03	H = F-A*D/n	2.21E+07	COEF. DEPENDIENTE		B1 =	3.45E+02		
C= SUM X^2	4.19E+07	I = F-(D^2)/n	1.61E+10	COEF. DE CORRELACION		r =	0.69		
D= SUM Y^2	1.94E+06	J = H/G	3.45E+02	PRECIPITACION REGIONALIZADA					
E= SUM X*Y^2	7.27E+09	K = (D-J*A)/n	-6.41E+05						
F= SUM Y^4	1.27E+12			MICROCUENCAS	ALT. MEDIA	PRECIPITACION mm			
FORMULAS DE PARAMETROS DE REGRESION			CHILCAMAYO					4822.75	1,011.31
COEF. INDEPENDIENTE	Bo= (D-J*A)/n		YANAMAYO					4756.96	1,000.02
COEF. DEPENDIENTE	B1= H/G		PITUMARCA					4304.94	918.74
COEF. DE CORRELACION	r = H/SQRT (G*I)								
DESVIACION ESTANDAR	S = (D-A^2/n)-(K*(A*D-A*B)/n)								

Fuente: Elaboración propia, en base a datos de SENAMHI. 2014.

Grafico 18. Regresión lineal de precipitación vs altitud histórica.



Fuente: Elaboración propia, en base a datos de SENAMHI. 2014.

5.2.6.3. Regionalización de precipitación para las zonas de estudio

La subcuenca de Pitumarca para la modelación hidrológica se sectorizo por microcuencas, denominadas:

- Microcuenca Chilcamayo.
- Microcuenca Yanamayo.
- Microcuenca Pitumarca (desembocadura).

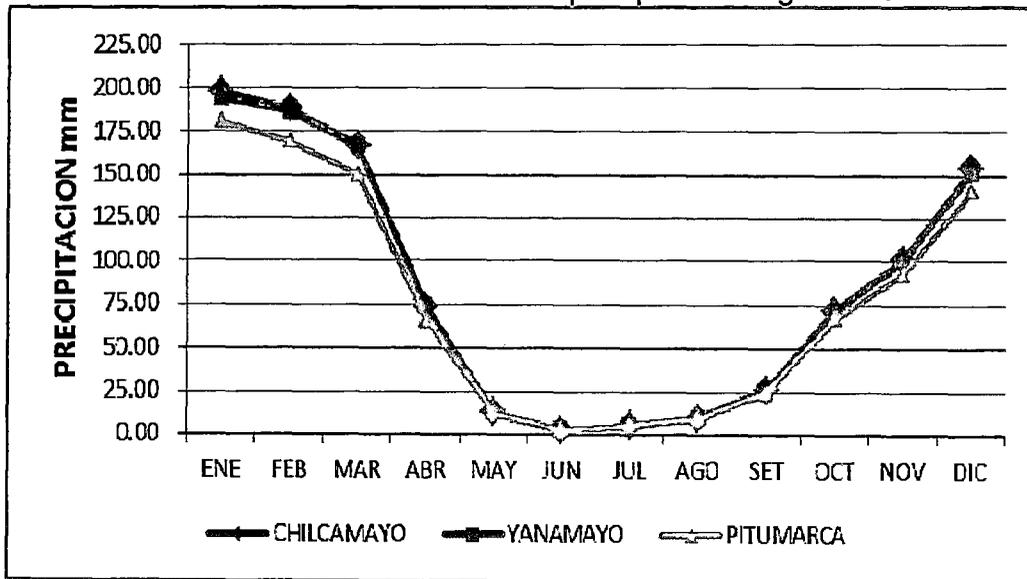
Es necesario realizar la regionalización para estas 3 microcuencas ya que serán utilizados para la modelación hidrológica mediante el software WEAP.

Cuadro 38. Precipitación mensual regionalizada por microcuencas.

PRECIPITACION MEDIA MENSUAL (mm) REGIONALIZADA POR MICROCUENCA													
MICROCUENCA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
CHILCAMAYO	198.25	188.03	166.96	73.39	13.13	2.74	5.47	9.75	26.03	72.19	101.42	153.96	1011.31
YANAMAYO	194.43	185.80	166.20	73.45	13.11	2.65	5.36	9.45	25.93	71.26	100.63	151.76	1000.02
PITUMARCA	180.77	169.06	149.90	65.39	11.95	2.64	5.22	9.01	23.74	67.05	92.97	141.03	918.74

Fuente: Elaboración propia, en base a datos de SENAMHI. 2014.

Grafica 19. Variación mensual de precipitación regionalizada.



Fuente: Elaboración propia, en base a datos de SENAMHI. 2014.

5.2.6.4. Regionalización de temperatura

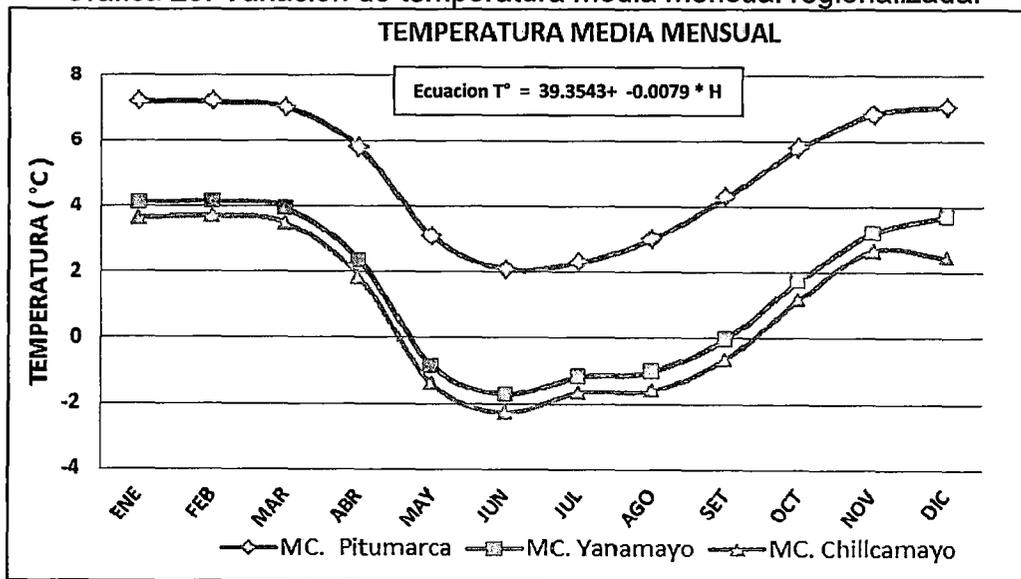
En el área de estudio, el régimen de temperaturas sigue el típico patrón anual de variación que corresponde a su ubicación geográfica, es decir las temperaturas son altas en los meses de verano (enero a marzo) y bajas en los meses de otoño e invierno y de medianas a altas en los meses de primavera (setiembre a diciembre). Como se puede apreciar en el siguiente cuadro de regionalización de temperatura para cada microcuenca.

Cuadro 39. Regionalización de temperatura – altitud vs posición geográfica.

TEMPERATURA MEDIA MENSUAL - VS - ALTITUD														
ITEM	ESTACION	ALTITUD msnm	MES / TEMPERATURA MEDIA (°C)											
			ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1	POMACANCHI	3700	11.05	10.95	10.82	10.35	8.92	7.91	7.58	8.92	10.31	11.25	11.53	11.17
2	SICUANI	3574	12.40	12.31	12.19	11.32	9.12	7.75	7.54	9.20	11.09	12.26	12.74	12.6
3	YAURI	3927	9.90	9.85	9.70	8.65	6.20	5.00	5.00	6.20	7.80	9.13	9.88	9.9
Promedio		3733.67	11.12	11.04	10.90	10.11	8.08	6.89	6.71	8.11	9.73	10.88	11.38	11.21
Desv. Estándar		178.89	1.25	1.23	1.25	1.35	1.63	1.64	1.48	1.66	1.72	1.59	1.43	1.33
Coefic. a			36.70	36.12	36.27	38.34	40.59	38.26	35.46	41.36	45.29	44.13	41.19	38.53
Coefic. b			-0.007	-0.007	-0.007	-0.008	-0.009	-0.008	-0.008	-0.009	-0.010	-0.009	-0.008	-0.007
Coefic. r			-0.98	-0.97	-0.98	-1.00	-0.96	-0.92	-0.93	-0.96	-0.99	-1.00	-1.00	-0.98
REGIONALIZACION DE TEMPERATURA MEDIA MENSUAL PARA LAS MICROCUENCAS														
Mc Chillcamayo		4,822.75	3.66	3.72	3.50	1.87	-1.40	-2.26	-1.68	-1.60	-0.64	1.18	2.69	3.24
Mc Yanamayo		4,756.96	4.11	4.16	3.95	2.37	-0.83	-1.71	-1.17	-1.01	-0.01	1.77	3.21	3.73
Mc Pitumarca		4,304.94	7.20	7.20	7.02	5.79	3.11	2.09	2.31	3.02	4.29	5.79	6.82	7.03

Fuente: Elaboración propia, en base a datos de SENAMHI. 2014.

Grafica 20. Variación de temperatura media mensual regionalizada.



Fuente: Elaboración propia, en base a datos de SENAMHI. 2014.

La serie histórica de temperatura promedio mensual de la estación meteorológica microcuenca de Chilcamayo, muestran una variación de temperatura media mensual de -2.26 °C en el mes de Junio, hasta una temperatura media mensual de 3.72°C en el mes de febrero, esto a factor de altitud frente a las demás microcuencas (Chilcamayo, Yanamayo).

5.2.6.5. Regionalización de la humedad relativa

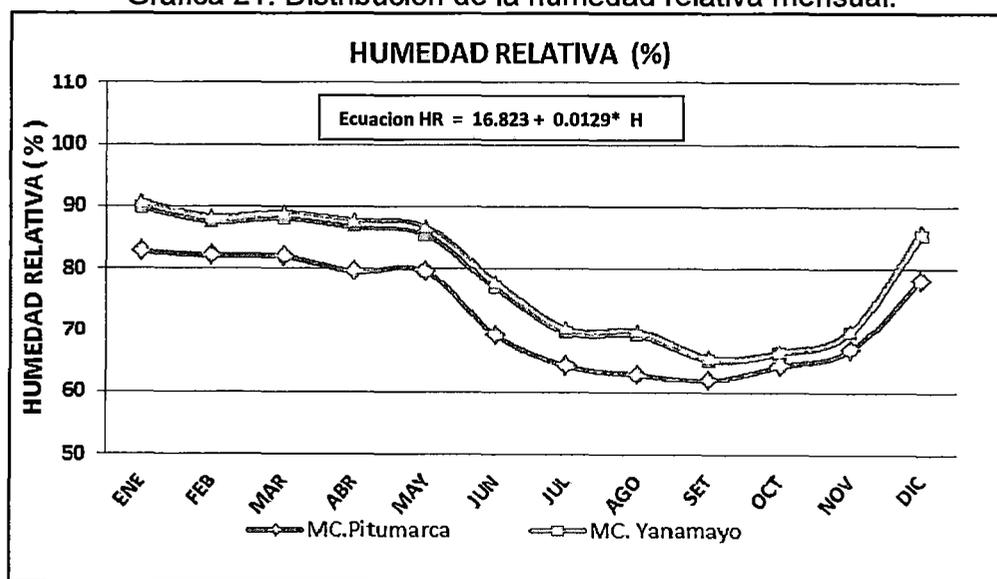
En el ámbito del estudio no existen estaciones meteorológicas, por lo que se regionalizo para las tres microcuencas.

Cuadro 40. Regionalización mensual de la Humedad Relativa.

HUMEDAD RELATIVA - VS - ALTITUD														
ITEM	ESTACION	ALTITUD msnm.	MES / HUMEDAD RELATIVA (%)											
			ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1	POMACANCHI	3700	78.24	78.59	78.45	74.31	63.11	57.48	55.58	54.34	60.00	63.26	64.94	72.25
2	SICUANI	3574	68.04	70.52	68.75	65.13	59.07	58.04	56.82	53.28	55.27	60.07	61.47	64.5
3	YAURI	3927	75.00	76.00	75.00	72.00	67.00	63.50	60.50	58.00	58.50	62.10	64.10	71.00
Promedio		3733.67	73.76	75.04	74.07	70.48	63.06	59.67	57.63	55.20	57.92	61.81	63.50	69.24
Desv. Estándar		178.89	5.21	4.12	4.91	4.77	3.96	3.32	2.56	2.48	2.41	1.61	1.81	4.18
Coefic. a			15.27	29.10	22.65	11.06	-18.42	-2.96	13.64	4.01	30.82	45.20	40.61	10.89
Coefic. b			0.016	0.012	0.014	0.016	0.022	0.017	0.012	0.014	0.007	0.004	0.006	0.016
Coefic. r			0.54	0.53	0.50	0.60	0.98	0.90	0.82	0.99	0.54	0.49	0.61	0.67
REGIONALIZACION DE HUMEDAD RELATIVA MEDIA MENSUAL PARA LAS MICROCUENCAS														
Mc Chilcamayo		4,822.75	90.82	88.44	89.06	87.81	86.83	77.95	70.46	70.14	65.83	66.65	70.18	86.26
Mc Yanamayo		4,756.96	89.79	87.63	88.16	86.77	85.39	76.84	69.69	69.24	65.35	66.36	69.77	85.23
Mc Pitumarca		4,304.94	82.71	82.06	81.93	79.57	75.53	69.26	64.36	63.04	62.07	64.35	67.00	78.17

Fuente: Elaboración propia, en base a datos de SENAMHI. 2014.

Gráfica 21. Distribución de la humedad relativa mensual.



Fuente: Elaboración propia, en base a datos de SENAMHI. 2014.

5.2.6.6. Regionalización de velocidad de viento

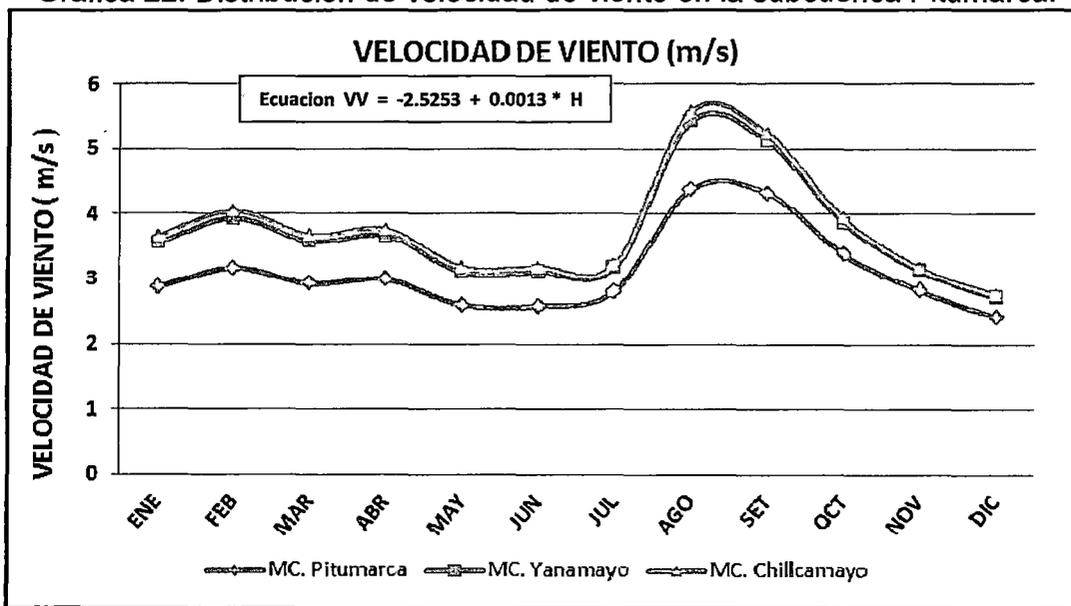
Para la regionalización de la velocidad de viento del ámbito de estudio las estaciones establecidas no cuentan con registro de estos datos, por lo que se optó regionalizar con los registros de datos de las estaciones de Ccatca, Sicuani y Kayra.

Cuadro 41. Regionalización velocidad de viento por regresión lineal.

VELOCIDAD DE VIENTO - VS - ALTITUD														
ITEM	ESTACION	ALTITUD msnm.	VELOCIDAD DE VIENTO (m/s)											
			ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1	CCATCCA	3726	2.00	2.12	2.16	2.08	2.00	1.84	2.04	3.24	3.52	3.18	2.60	2.10
2	SICUANI	3574	1.72	2.02	1.75	1.97	1.73	1.85	2.64	2.35	2.72	2.00	2.10	1.85
3	KAYRA	3219	1.22	1.30	1.38	1.35	1.42	1.30	1.80	1.93	2.50	2.40	2.17	1.73
Promedio		3506.33	1.64	1.81	1.76	1.80	1.72	1.66	2.16	2.51	2.91	2.53	2.29	1.89
Desv. Estándar		260.19	0.40	0.45	0.39	0.39	0.29	0.31	0.43	0.67	0.54	0.60	0.27	0.19
Coefic. a			-3.69	-4.11	-3.30	-3.41	-2.16	-2.37	-0.68	-5.66	-3.27	-1.21	-0.06	-0.40
Coefic. b			0.002	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001
Coefic. r			1.00	0.98	0.97	0.99	0.98	0.95	0.49	0.91	0.85	0.46	0.64	0.91
REGIONALIZACION DE VELOCIDAD DE VIENTO m/s PARA LAS MICROCUENCAS														
Mc Chillcamayo		4,822.75	3.65	4.04	3.66	3.75	3.17	3.18	3.23	5.57	5.23	3.93	3.17	2.75
Mc Yanamayo		4,756.96	3.65	3.92	3.57	3.66	3.10	3.10	3.17	5.42	5.12	3.86	3.13	2.71
Mc Pitumarca		4,304.94	2.86	3.16	2.92	2.98	2.60	2.68	2.81	4.37	4.32	3.38	2.82	2.42

Fuente: Elaboración propia, en base a datos de SENAMHI. 2014.

Grafica 22. Distribución de velocidad de viento en la subcuenca Pitumarca.



Fuente: Elaboración propia, en base a datos de SENAMHI. 2014.

Cuadro 42. Resumen de la regionalización de datos hidroclimatológicos

MES	SUBCUENCA DE PITUMARCA											
	Chilcamayo				Yanamayo				Pitumarca			
	LAT:	LONG:	ALT:		LAT:	LONG:	ALT:		LAT:	LONG:	ALT:	
	13° 51'	71° 12'	4823		13° 51'	71° 12'	4823		13° 51'	71° 12'	4823	
PRECIPITACION (mm)	TEMPERATURA °C	HUMEDAD RELATIVA %	VIENTO m/s	PRECIPITACION (mm)	TEMPERATURA °C	HUMEDAD RELATIVA %	VIENTO m/s	PRECIPITACION (mm)	TEMPERATURA °C	HUMEDAD RELATIVA %	VIENTO m/s	
ENE	198.25	3.66	90.82	3.65	194.43	4.11	89.79	3.55	180.77	7.2	82.71	2.86
FEB	188.03	3.72	88.44	4.04	185.8	4.16	87.63	3.92	169.06	7.2	82.06	3.16
MAR	166.96	3.5	89.06	3.66	166.2	3.95	88.16	3.57	149.9	7.02	81.93	2.92
ABR	73.39	1.87	87.81	3.75	73.45	2.37	86.77	3.66	65.39	5.79	79.57	2.98
MAY	13.13	-1.4	86.83	3.17	13.11	-0.83	85.39	3.1	11.95	3.11	75.53	2.6
JUN	2.74	-2.26	77.95	3.18	2.65	-1.71	76.84	3.1	2.64	2.09	69.26	2.58
JUL	5.47	-1.68	70.46	3.23	5.36	-1.17	69.69	3.17	5.22	2.31	64.36	2.81
AGO	9.75	-1.6	70.14	5.57	9.45	-1.01	69.24	5.42	9.01	3.02	63.04	4.37
SET	26.03	-0.64	65.83	5.23	25.93	-0.01	65.35	5.12	23.74	4.29	62.07	4.32
OCT	72.19	1.18	66.65	3.93	71.26	1.77	66.36	3.86	67.05	5.79	64.35	3.38
NOV	101.42	2.69	70.18	3.17	100.63	3.21	69.77	3.13	92.97	6.82	67	2.82
DIC	153.96	3.24	86.26	2.75	151.76	3.73	85.23	2.71	141.03	7.03	78.17	2.42
TOTAL	1011.32	12.28	950.43	45.33	1000.03	18.57	940.22	44.31	918.73	61.67	870.05	37.22
Media anual	84.28	1.02	79.20	3.78	83.34	1.55	78.35	3.69	76.56	5.14	72.50	3.10

Fuente: Elaboración propia. 2014.

Se ha obtenido una precipitación total anual para la microcuenca de Chilcamayo de 1011.32 mm/año, microcuenca de Yanamayo 1000.03 mm/año y para la microcuenca de Pitumarca con 918.73 mm/año, temperaturas sigue el típico patrón anual de variación que corresponde a su ubicación geográfica, la variación de temperatura media mensual a nivel de la subcuenca varía de -2.26 °C (Junio), hasta 7.2 °C (febrero).

5.3. Modelación hidrológica

5.3.1. Proceso de modelación hidrológica

Para la modelación hidrológica se realizó siguiendo las etapas de trabajo que a continuación se hace una descripción de los pasos.

5.3.2. Incorporación de datos al modelo de simulación hidrológica WEAP

La incorporación de datos es para generar el esquema base del modelo de simulación hidrológica WEAP, Los datos incorporados presentan características esenciales de oferta y demanda de agua, que a continuación se describen en cada una de estas sub-etapas.

5.3.2.1. Datos físicos

5.3.2.1.1. Área

El área total de la subcuenca de Pitumarca se dividió en tres microcuencas esto con la ayuda del software SIG, la denominación del nombre de las microcuencas se dio al nombre de los ríos principales de cada microcuenca, una vez obtenidos las tres microcuencas el modelo de simulación hidrológica WEAP estimara la evapotranspiración, infiltración, escorrentía superficial, flujo horizontal entre capas, y flujo base.

Cuadro 43. Área por microcuencas de la subcuenca Pitumarca.

N°	Nombre de microcuenca	Perímetro (km)	Área (km ²)	Área (ha)	%
1	Microcuenca Chillcamayo	94.242	302.195	30219.519	43.82
2	Microcuenca Yanamayo	74.410	188.181	18818.147	28.88
3	Microcuenca Pitumarca	70.711	198.971	19897.074	27.30
TOTAL		239.363	689.347	68934.740	100.00

Fuente: Elaboración propia. 2014.

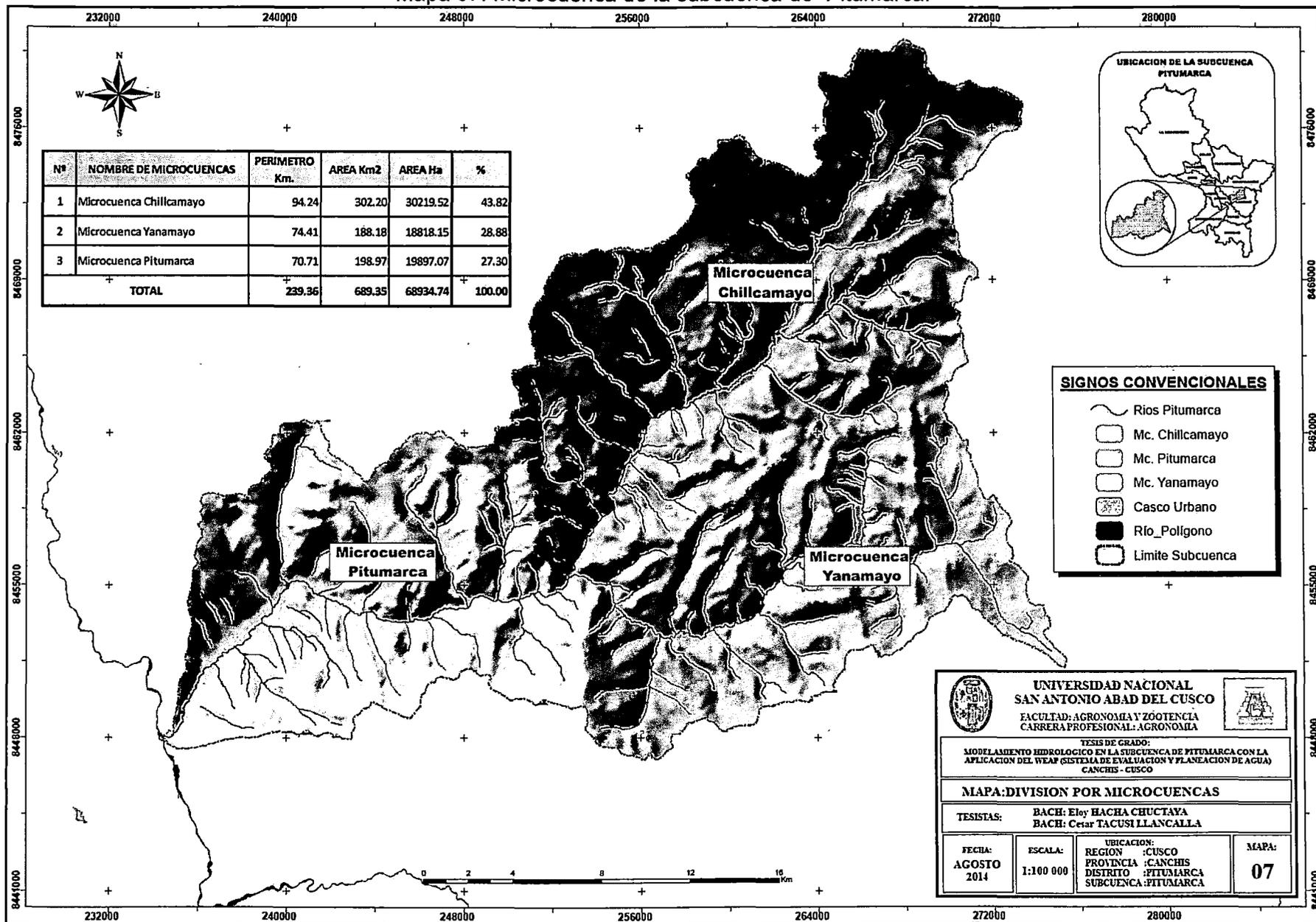


Foto 16. Vista panorámica de la microcuenca de Chillcamayo.



Foto 17. Vista panorámica de la microcuenca Yanamayo.

Mapa 07. Microcuenca de la subcuenca de Pitumarca.



Fuente: Elaboración propia. 2014.

5.3.2.1.2. Cobertura vegetal

La cobertura vegetal en las tres microcuencas, fue identificado a través de tonalidades presentes en la imagen satelital Landsat de 30 metros de resolución espacial y los mapeos realizados en campo, que permitió caracterizar el tipo de vegetación y el área que ocupa cada especie.

Cuadro 44. Cobertura vegetal - microcuenca Chillcamayo.

	Cobertura vegetal	Perímetro (km)	Área (km ²)	Área (ha)	%
1	Áreas con intervención antrópica	1.55	0.12	11.86	0.04
2	Áreas desnudas o con escasa vegetación	331.95	81.59	8159.44	27.00
3	Humedales andinos	175.99	24.62	2461.54	8.15
4	Laguna	22.24	0.84	84.44	0.28
5	Nival	144.30	23.86	2386.25	7.90
6	Pastizal y césped de puna	319.27	171.16	17115.99	56.64
TOTAL		995.29	302.20	30219.52	100.00

Fuente: Elaboración propia. 2014.

Cuadro 45. Cobertura vegetal - microcuenca Yanamayo.

	Cobertura vegetal	Perímetro (km)	Área (km ²)	Área (ha)	%
1	Áreas con intervención antrópica	1.83	0.22	21.73	0.12
2	Áreas desnudas o con escasa vegetación	86.54	32.08	3207.83	17.05
3	Humedales andinos	109.62	19.26	1926.14	10.24
4	Laguna	6.11	0.19	19.26	0.10
5	Pastizal y césped de puna	170.17	136.43	13643.19	72.50
TOTAL		374.27	188.18	18818.15	100.00

Fuente: Elaboración propia. 2014.

Cuadro 46. Cobertura vegetal - microcuenca Pitumarca.

	Cobertura vegetal	Perímetro (km)	Área (km ²)	Área (ha)	%
1	Áreas con intervención antrópica	77.18	57.59	5758.82	28.94
2	Áreas desnudas o con escasa vegetación	13.30	2.81	281.31	1.41
3	Humedales andinos	30.14	2.68	268.50	1.35
4	Laguna	14.37	0.51	50.69	0.25
5	Nival	4.89	0.72	71.72	0.36
6	Pastizal y césped de puna	179.04	128.09	12808.55	64.37
7	Matorral sub húmedo de valles interandinos	24.04	6.57	657.48	3.30
TOTAL		342.96	198.97	19897.07	100.00

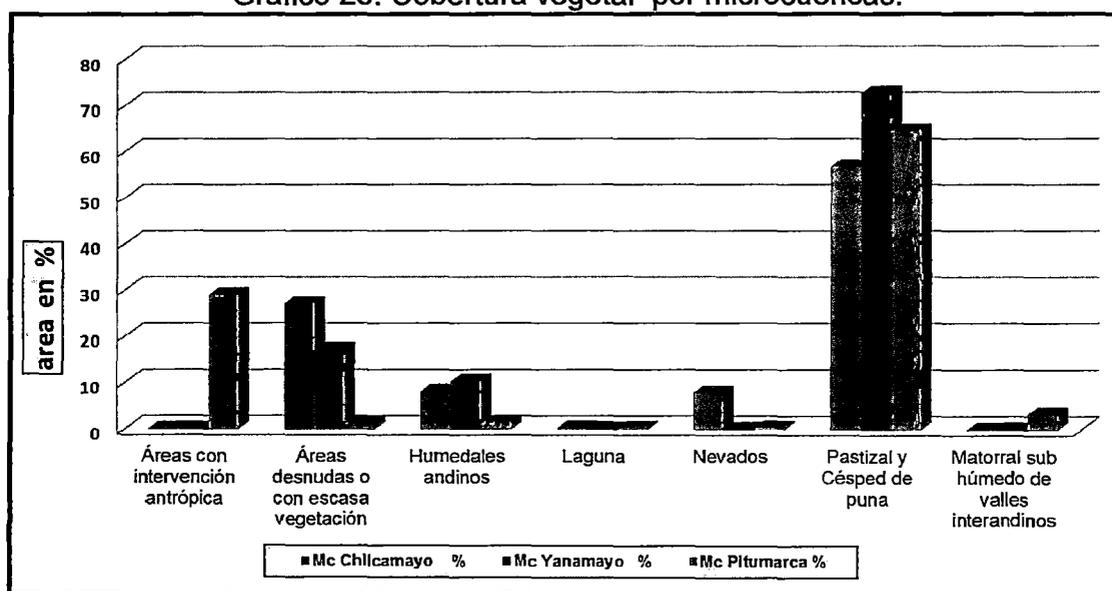
Fuente: Elaboración propia. 2014.

Cuadro 47. Cobertura vegetal en porcentaje.

	Cobertura vegetal	Mc Chilcamayo %	Mc Yanamayo %	Mc Pitumarca %
1	Áreas con intervención antrópica	0.04	0.12	28.94
2	Áreas desnudas o con escasa vegetación	27.00	17.05	1.41
3	Humedales andinos	8.15	10.24	1.35
4	Laguna	0.28	0.10	0.25
5	Nival	7.90	—	0.36
6	Pastizal y Césped de puna	56.64	72.50	64.37
7	Matorral sub húmedo de valles interandinos	—	—	3.30
TOTAL		100.00	100.00	100.00

Fuente: Elaboración propia. 2014.

Grafico 23. Cobertura vegetal por microcuencas.



Fuente: Elaboración propia. 2014.

Cuadro 48. Datos de entrada de uso de suelo al WEAP.

	Cobertura vegetal	Kc	Sw mm.	RRF	Ks mm/mes.	Pfd	Z₁ %
1	Áreas con intervención antrópica	1.0	35000	1.7	0.15	1.0	10
2	Áreas desnudas o con escasa vegetación	0.4	35000	7	0.15	0	40
3	Humedales andinos	1.1	35000	0.1	0.15	1.0	60
4	Laguna	0		0.1	0	1.0	10
5	Nevados	0		0.1	0	1.0	0
6	Pastizal y Césped de puna	1.0	35000	1.7	0.15	0.5	50
7	Matorral sub húmedo de valles interandinos	1.0	35000	0.1	0.15	0.5	10

Fuente: Elaboración propia con los datos del manual WEAP. UNALM. 2014.

Dónde:

- Kc = Coeficiente de cultivo.
- Sw = Capacidad de almacenamiento de agua en la zona de raíces.
- RRF = Factor de resistencia a la escorrentía.
- Ks = Conductividad en la zona de raíces.
- Pfd = Dirección preferencial de flujo.
- Z₁ = Nivel de humedad en la zona de raíces inicial.

Cuadro 49. Datos de entrada de uso de suelo por microcuenca al WEAP.

	Microcuenca	Dw (mm)mes	Kd (mm/mes)	Z₂ %
1	Microcuenca	240	50	20

Fuente: Elaboración propia con los datos del manual WEAP. UNALM. 2014.

Dónde:

- Dw = Capacidad de almacenamiento de agua en la zona profunda.
- Kd = Conductividad en la zona profunda.
- Z₂ = Nivel de humedad en la zona profunda inicial.

5.3.2.2. Datos climáticos

Los parámetros climatológicos utilizados para la modelación en WEAP son los datos obtenidos a partir de la regionalización para cada microcuenca de las estaciones de Pomacanchi, Sicuani, y Yauri, como son la precipitación, temperatura, humedad relativa, velocidad del viento.

En el caso de la variable clima los datos para precipitación, temperatura, humedad, viento, para el ingreso a WEAP los datos serán en archivo tipo CSV los cuales serán leídos desde su ubicación por el programa.

Cuadro 50. Parámetros de clima de la microcuenca Chilcamayo.

Estación:	Chilcamayo	COORDENADAS	LAT:	LONG:	ALT:	UBICACIÓN	Depart.	Prov.	Distr.			
Tipo:	CO		13° 51'	71° 12'	4823		Cusco	Canchis	Pitumarca			
Clima	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
PRECIPITACION (mm)	198.25	188.03	166.96	73.39	13.13	2.74	5.47	9.75	26.03	72.19	101.42	153.96
TEMPERATURA °C	3.66	3.72	3.50	1.87	-1.40	-2.26	-1.68	-1.60	-0.64	1.18	2.69	3.24
HUMEDAD RELATIVA %	90.82	88.44	89.06	87.81	86.83	77.95	70.46	70.14	65.83	66.65	70.18	86.26
VIENTO m/s	3.65	4.04	3.66	3.75	3.17	3.18	3.23	5.57	5.23	3.93	3.17	2.75

Fuente: Elaboración propia. 2014.

Cuadro 51. Parámetros de clima de la microcuenca Yanamayo.

Estación:	Yanamayo	COORDENADAS	LAT:	LONG:	ALT:	UBICACIÓN	Depart.	Prov.	Distr.			
Tipo:	CO		13° 57'	71° 11'	4757		Cusco	Canchis	Pitumarca			
Clima	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
PRECIPITACION (mm)	194.43	185.80	166.20	73.45	13.11	2.65	5.36	9.45	25.93	71.26	100.63	151.76
TEMPERATURA °C	4.11	4.16	3.95	2.37	-0.83	-1.71	-1.17	-1.01	-0.01	1.77	3.21	3.73
HUMEDAD RELATIVA %	89.79	87.63	88.16	86.77	85.39	76.84	69.69	69.24	65.35	66.36	69.77	85.23
VIENTO m/s	3.55	3.92	3.57	3.66	3.10	3.10	3.17	5.42	5.12	3.86	3.13	2.71

Fuente: Elaboración propia. 2014.

Cuadro 52. Parámetros de clima de la microcuenca Pitumarca.

Estación:	Pitumarca	COORDENADAS	LAT:	LONG:	ALT:	UBICACIÓN	Depart.	Prov.	Distr.			
Tipo:	CO		14° 37'	70° 47'	4120		Cusco	Canchis	Pitumarca			
Clima	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
PRECIPITACION (mm)	180.77	169.06	149.90	65.39	11.95	2.64	5.22	9.01	23.74	67.05	92.97	141.03
TEMPERATURA °C	7.20	7.20	7.02	5.79	3.11	2.09	2.31	3.02	4.29	5.79	6.82	7.03
HUMEDAD RELATIVA %	82.71	82.06	81.93	79.57	75.53	69.26	64.36	63.04	62.07	64.35	67.00	78.17
VIENTO m/s	2.86	3.16	2.92	2.98	2.60	2.58	2.81	4.37	4.32	3.38	2.82	2.42

Fuente: Elaboración propia. 2014.

5.3.2.3. Datos de las demandas

Para complementar el balance hidrológico realizado por el modelo en sus componentes naturales e intervenidas es importante realizar un análisis de la demanda de agua, este análisis considera una serie de sub-etapas que se describen a continuación:

5.3.2.3.1. Demanda agrícola

Para determinar la demanda agrícola primero se ha determinado la cedula de cultivo para diferentes especies y su respectivo periodo vegetativo, áreas de cobertura de cada especie y numero de campañas agrícolas al año.

Luego se procedió al cálculo de la evapotranspiración potencial por el método de Hargreaves III modificado para luego calcular el requerimiento de agua para cada mes.

Para las variables climatológicas, en el cálculo de la demanda de agua agrícola se ha utilizado los datos regionalizados para la microcuenca de Pitumarca.

Cuadro 53. Radiación extraterrestre diaria y número horas sol máxima probable.

Latitud		Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
	Lat =		13.9661		AL =	4305							
12	B =	12	13.2	14.7	15.8	16.4	16.5	16.6	16.3	15.4	14	12.5	11.6
14	D =	11.6	12.9	14.5	15.8	16.5	16.5	16.7	16.4	15.3	13.7	12.1	11.2
	"X" =	359.81	400.06	435.10	489.80	494.95	511.50	517.65	459.15	474.35	411.15	375.31	336.20
10	B =	11.6	11.8	12	12.3	12.6	12.7	12.6	12.4	12.1	11.8	11.6	11.5
15	D =	11.3	11.6	12	12.5	12.8	13	12.9	12.6	12.2	11.8	11.4	11.2
	"X" =	352.22	360.88	360.00	386.22	382.76	401.08	397.98	351.64	377.56	354.00	354.68	337.86

Fuente: Elaboración propia. 2014.

Cuadro 54. Cálculo de la evapotranspiración potencial - Hargreaves III Modificado.

Calculo ETP (Hargreaves III modificado) Altitud: 4305 m.s.n.m. Latitud: 13° 57' 58.10" S													
Variables	Unidad	Meses											
		Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
Precipitación Media Mensual	mm	5.22	9.01	23.74	67.05	92.97	141.03	180.77	169.06	149.90	65.39	11.95	2.64
Desviación Estándar	mm	7.40	7.54	18.28	20.15	37.43	28.86	46.52	39.79	35.64	26.96	7.21	3.80
Precip. Al 75 % Persistencia	mm	0.23	3.93	11.41	53.46	67.72	121.56	149.40	142.22	125.86	47.21	7.08	0.08
P. Efectiva Al 75 % Persistencia	mm	0.21	3.54	10.27	46.75	59.26	82.19	86.40	86.40	86.40	41.44	6.38	0.07
Temperatura Media Mensual	C°	2.31	3.02	4.29	5.79	6.82	7.03	7.20	7.20	7.02	5.79	3.11	2.09
Temperatura Media Mensual	°F	36.16	37.43	39.73	42.42	44.28	44.66	44.97	44.96	44.63	42.42	37.59	35.76
Temperatura Mínima Media Mensual	C°	-12.49	-11.38	-7.10	-5.50	-4.20	-1.14	1.76	2.06	1.56	-0.64	-7.33	-12.68
# Días Por Mes	Días	31.00	31.00	30.00	31.00	30.00	31.00	31.00	28.00	31.00	30.00	31.00	30.00
Factor De Corrección Por Altura (F.C.A.)		1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26
Radiación Extra-Terrestre (Ra)	mm/día	359.81	400.06	435.10	489.80	494.95	511.50	517.65	459.15	474.35	411.15	375.31	336.20
H. De Sol Total Mensual - E. Yauri	hr/m	268.90	306.50	214.60	236.10	239.60	172.30	172.90	156.10	133.60	213.40	262.50	277.50
H. De Sol Total Mensual - E. Perayoc (N2)	hr/m	249.60	243.60	205.50	213.20	186.60	161.20	140.30	131.60	158.60	187.80	237.20	237.40
H. De Sol Total Mensual (N = (N1+N2)/2)	hr/m	259.25	275.05	210.05	224.65	213.10	166.75	156.60	143.85	146.10	200.60	249.85	257.45
Horas Teóricas De Fuerte Insolación (N)	hr/día	352.22	360.88	360.00	386.22	382.76	401.08	397.98	351.64	377.56	354.00	354.68	337.86
Radiación Solar Media (R.S.M)		231.52	261.94	249.27	280.17	276.98	247.36	243.54	220.25	221.31	232.13	236.25	220.11
Evapotranspiración Potencial (E.T.P.) -Hargreaves	mm.	79.00	92.53	93.45	112.17	115.75	104.25	103.35	93.46	93.22	92.92	83.81	74.28

Fuente: Elaboración propia. 2014.

Cuadro 55. Calculo del requerimiento de agua para uso agrícola - 999.33 ha.

Descripción	Unidad		Periodo											
			Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
Papa	172.78	17.29%		1.50	1.00	0.71	0.95	0.98	0.81	0.33				
Maíz	261.92	26.21%		1.50	0.25	0.65	0.95	1.00	0.98	0.85	0.53			
Haba	161.09	16.12%			1.50	1.20	0.84	1.00	0.91	0.46				
Trigo	113.72	11.38%				1.50	0.15	0.40	0.65	0.88	0.70			
Oca	24.28	2.43%				1.50	0.28	0.73	0.95	0.98	0.82	0.34		
Quinua	10.49	1.05%				1.50	0.68	1.15	1.15	1.15	0.82	0.25		
Cebada	177.98	17.81%					1.50	0.15	0.40	0.65	0.88	0.70		
Hortalizas	37.67	3.77%	0.28								0.22	0.50	0.60	0.55
Forraje	39.37	3.94%	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Total	999.33	100.00%												
Área Cultivada	ha		77.05	474.08	635.17	783.67	961.66	961.66	961.66	961.66	665.45	289.81	77.05	77.05
	%		7.71%	47.44%	63.56%	78.42%	96.23%	96.23%	96.23%	96.23%	66.59%	29.00%	7.71%	7.71%
Kc ponderado			0.65	1.46	0.82	0.95	0.92	0.76	0.79	0.67	0.68	0.67	0.80	0.78
ETP	mm		79.00	92.53	93.45	112.17	115.75	104.25	103.35	93.46	93.22	92.92	83.81	74.28
ETR (Consumo Teórico)	mm		51.19	134.95	76.40	107.12	106.60	79.54	81.99	62.66	63.21	62.10	67.42	57.94
PE 75 %	mm		0.21	3.54	10.27	46.75	59.26	82.19	86.40	86.40	86.40	41.44	6.38	0.07
Demanda unitaria neta	m ³ /ha		509.80	1314.13	661.29	603.62	473.37	-26.49	-44.14	-237.41	-231.89	206.59	610.39	578.67
Eficiencia del Sistema	%		0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28
Demanda bruta de agua	m ³ /ha		1845.43	4757.02	2393.82	2185.07	1713.55	-95.89	-159.79	-859.39	-839.43	747.85	2209.56	2094.75
Días por mes	días		31	31	30	31	30	31	31	28	31	30	31	30
Jornada de riego	horas		12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
módulo de riego	l/s/ha		1.38	3.55	1.85	1.63	1.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.58	1.65	1.62
volumen requerido por mes	m³		142,18	2,255,21	1,520,49	1,712,38	1,647,84	0	0	0	0	216,73	170,24	161,39

Fuente: Elaboración propia. 2014.

Cuadro 56. Demanda agrícola mensual.

Mes	Dda. Agrícola (m ³ /mes)	Dda. Agrícola (m ³ /s)	Dda. Agrícola (%)
Enero	0.000	0.000	0.000
Febrero	0.000	0.000	0.000
Marzo	0.000	0.000	0.000
Abril	216732.297	0.167	2.819
Mayo	170243.233	0.127	2.143
Junio	161397.062	0.125	2.099
Julio	142187.378	0.106	1.790
Agosto	2255217.924	1.684	28.386
Setiembre	1520490.523	1.173	19.776
Octubre	1712380.847	1.279	21.554
Noviembre	1647841.763	1.271	21.433
Diciembre	0.000	0.000	0.000
Total	7826491.028	5.932	100.000

Fuente: Elaboración propia. 2014.

La subcuenca de Pitumarca tiene un área total cultivada de **999.33 hectáreas**, para la preparación del terreno (riego de machaco) se ha utilizado los valores de **Kc 1.50**. Para fines de cálculo de la demanda agrícola se ha asumido una jornada de riego de 12 horas por día. Dando como resultado un requerimiento de **7831.71 m³/hectárea** de agua, de igual manera la mayor demanda de agua es en el mes agosto con un caudal de **1.68 m³/s**, haciendo el **28.82 %** de la demanda agrícola anual, esto debido a que en este mes se utiliza el agua para la preparación se terreno agrícola.

5.3.2.3.2. Demanda pecuaria

La presencia de grandes extensiones de pastos y fuentes de agua en la parte alta crean las condiciones para realizar un pastoreo de gran movilidad o desplazamiento según las estaciones del año, Con estas condiciones el uso del recurso hídrico para estos animales se hacen en condiciones naturales ya sea de riachuelos y manantes. Para fines de cálculo se asume ciertas condiciones homogéneas en especial respecto a la edad del animal, para los que se asume pesos corporales cercanos a la madurez plena por lo tanto la materia seca, la cantidad de agua calculada resulta mayor a lo que se obtendría considerando todas las particularidades heterogéneas. Para los que se asume pesos corporales cercanos a la madurez plena.

Cuadro 57. Requerimiento de agua de las principales especies pecuarias.

Especies	Peso vivo promedio unidad animal. (Kg/peso vivo)	Consumo de materia seca por unidad peso vivo. (Kg mat seca /peso vivo)	Materia seca consumida por unidad animal por día. (Kg m.s /día)	Consumo de agua por unidad peso materia seca consumida. (lt/día) (Kg m.s)	Consumo de agua por día por unidad animal. (lt/día)
Camelidos	80	0.03	0.90	2	1.8
Vacunos	400	0.03	9.00	3.5	31.5
Ovinos	30	0.03	0.90	2	1.8
Porcinos	80	0.03	2.40	2.5	6
Equinos	300	0.03	12.00	4	48
Burros/ Mulas	300	0.03	12.00	4	48
Aves	2.5	0.033	0.08	2	0.163
Cuyes	0.5	0.033	0.02	2	0.033

Fuente: Manual del Ganadero, M.E. Ensminger.1996.

Cuadro 58. Requerimiento de agua para uso pecuaria en la subcuenca.

Distrito	Comunidad	Vacunos	Ovinos	Camélidos	Equinos	Porcinos	Aves	Cuyes	Total (L/Día)	total (m ³ /Día)
Pitumarca	Capacchapi	142	707	427	34	13	43	120	8235.17	8.24
	Chilca	90	2761	5940	23	0	0	0	19600.80	19.60
	Ilave	184	491	350	9	4	32	115	7774.81	7.77
	Ananiso	41	2116	4404	18	0	0	0	13891.50	13.89
	Osefina	31	517	1027	3	0	0	25	3900.53	3.90
	Pampachiri I	246	1881	2723	32	3	49	287	17607.66	17.61
	Pampachiri II	255	1964	3607	-	-	-	-	18060.30	18.06
	Pampachiri III	0	260	592	-	-	-	-	1533.60	1.53
	Uchulluclo	100	1477	1906	4	-	-	5	9431.57	9.43
	Pitumarca	209	955	940	22	-	-	300	11060.40	11.06
Sallani	86	2113	5193	29	0	0	0	17251.80	17.25	
Checacupe	Checacupe	272	751	0	10	28	152	397	10605.68	10.61
	Cangalle	283	400	16	2	38	171	286	10024.61	10.02
	Canocota	89	479	0	7	1	17	83	4013.21	4.01
	Chari	216	540	151	7	17	87	326	8510.74	8.51
Total población. pecuaria		2244	17412	27276	200	104	551	1944	49731.00	161.50
Total l/día		70686	31341.6	49096.8	9600	624	89.813	64.152	161502.37	
Total m ³ /día		70.69	31.34	49.10	9.60	0.62	0.09	0.06	161.50	

Fuente: Elaboración propia en base a censos agropecuarios. 2014.

Cuadro 59. Demanda pecuaria mensual.

Mes	Dda. Pecuaria (m ³ /mes)	Dda. Pecuaria (m ³ /s)	Dda. Pecuaria (%)
Enero	5006.500	0.0037	8.333
Febrero	4522.000	0.0037	8.333
Marzo	5006.500	0.0037	8.333
Abril	4845.000	0.0037	8.333
Mayo	5006.500	0.0037	8.333
Junio	4845.000	0.0037	8.333
Julio	5006.500	0.0037	8.333
Agosto	5006.500	0.0037	8.333
Setiembre	4845.000	0.0037	8.333
Octubre	5006.500	0.0037	8.333
Noviembre	4845.000	0.0037	8.333
Diciembre	5006.500	0.0037	8.333
Total	58947.500	0.0449	100.000

Fuente: Elaboración propia. 2014.

La subcuenca de Pitumarca tiene una población pecuaria de **49 731 animales**, para fines de cálculo de la demanda pecuaria se ha asumido 12 horas por día, ya que en la noche los animales no consumen agua. Dando un requerimiento real de agua pecuaria para la subcuenca de **0.0037 m³/s.** o 3.70 l/s.

5.3.2.3.3. Demanda poblacional

La población demandante está caracterizada por ser eminentemente rural, según lo demuestra los datos obtenidos del censo INEI 2007 y las observaciones de campo, además se caracteriza por ser concentrada geográficamente en centros poblados y condiciones de vida precarias con escaso nivel de desarrollo y elevado nivel de pobreza presentes en las comunidades conformantes de la subcuenca en estudio.

El agua es utilizada de manera doméstica en mayor medida para la preparación de alimentos, lavado de ropas y en menor proporción para el aseo personal, por información utilizada en estudios anteriores al presente estudio se adoptó los módulos de la demanda que varía para la población urbana (70 l/per/día) y para el rural (50l /per./día), según la O.M.S. (Organización Mundial de la Salud).

Cuadro 60. Requerimiento de agua diaria para uso doméstico.

Distrito	Comunidad	Pob. Urbano	Pob. Rural	Población total de la subcuenca	Uso doméstico de agua (Litros/Habitante/Diarios)		Consumo total por comunidad (m ³ diarios)
					Total (L/H/D)	Consumo por comunidad (L/H/D)	
Pitumarca	Capacchapi		700	700	50	35000	35.00
	Chilca		461	461	50	23050	23.05
	Ilave		970	970	50	48500	48.50
	Ananiso		271	271	50	13550	13.55
	Osefina		265	265	50	13250	13.25
	Pampachiri I		720	720	50	36000	36.00
	Pampachiri II		107	107	50	5350	5.35
	Pampachiri III		223	223	50	11150	11.15
	Uchulluclo		215	215	50	10750	10.75
	Pitumarca	2996		2996	70	209720	209.72
Sallani		128	128	50	6400	6.40	
Checacupe	Checacupe	2034		2034	70	142380	142.38
	Cangalle	985		985	70	68950	68.95
	Canocota		130	130	50	6500	6.50
	Chari		432	432	50	21600	21.60
Población total				10637		652150	652.15
Total consumo doméstico de agua diario en la subcuenca (en m ³)				652.15			

Fuente: Elaboración propia. 2014.

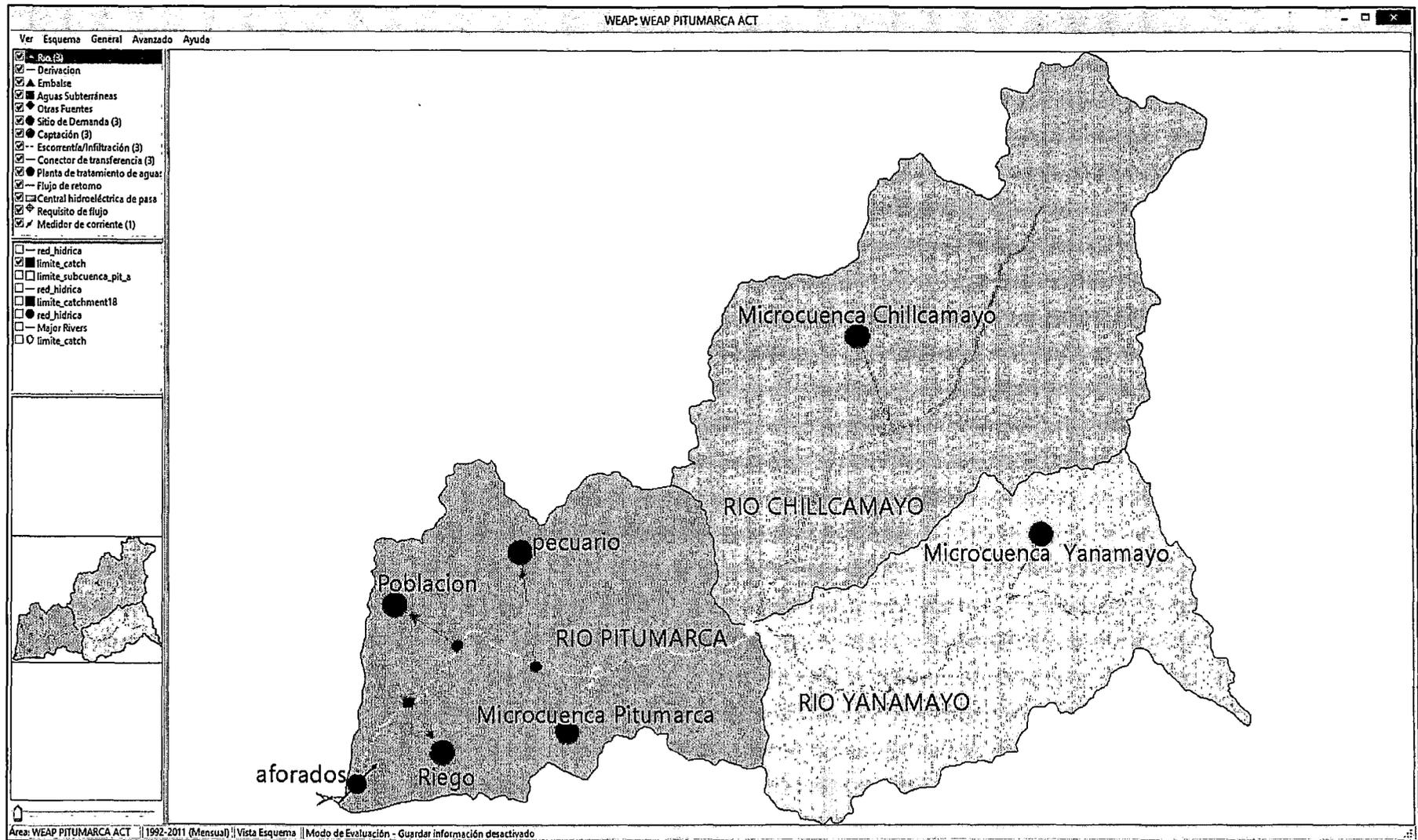
Cuadro 61. Demanda poblacional mensual.

Mes	Dda. Poblacional (m ³ /mes)	Dda. Poblacional (m ³ /s)	Dda. Poblacional (%)
Enero	20216.650	0.0151	8.333
Febrero	18260.200	0.0151	8.333
Marzo	20216.650	0.0151	8.333
Abril	19564.500	0.0151	8.333
Mayo	20216.650	0.0151	8.333
Junio	19564.500	0.0151	8.333
Julio	20216.650	0.0151	8.333
Agosto	20216.650	0.0151	8.333
Setiembre	19564.500	0.0151	8.333
Octubre	20216.650	0.0151	8.333
Noviembre	19564.500	0.0151	8.333
Diciembre	20216.650	0.0151	8.333
Total	238034.750	0.1812	100.000

Fuente: Elaboración propia. 2014.

La subcuenca de Pitumarca tiene **10 637 habitantes** según el censo INEI del 2007, para los fines de cálculo, en la demanda poblacional se ha asumido 12 horas por día, dando un requerimiento real de agua para uso poblacional de **0.0151 m³/s**.

Grafico 24. Demanda y oferta de agua en el modelo WEAP.



Fuente: Elaboración propia. 2014.

5.3.3. Calibración del modelo WEAP para la subcuenca

La calibración del presente modelo se efectúa para la subcuenca de Pitumarca por ello es importante dividir por microcuenca para generar la descarga de caudal llamado sitios o nodos en donde son generados para un periodo de 20 años (1992-2011) con el registro de precipitación histórica.

Para esta calibración del modelo se requiere datos de aforos mensuales, que se muestra en el siguiente cuadro.

5.3.3.1. Aforos mensuales del rio Pitumarca

Para la calibración del modelo son necesario los datos de aforo de cada mes de la subcuenca, las cuales se han obtenido del Proyecto especial Plan Meriss – de la región Cusco, para hacer comparaciones de las variaciones mensuales del comportamiento mensual de los caudales generados.

Cuadro 62. Datos de aforo mensual año 2010.

Caudal	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Caudal aforado m ³ /s	20.20	19.58	18.63	10.00	6.60	5.20	4.94	4.32	4.12	6.70	11.20	15.20	126.69

Fuente: Elaboración propia, en base a los datos de Plan Meriss. 2010.

5.3.3.2. Corrida del modelo de calibración (período 1992 – 2011)

En el programa se le denomina corrida a la obtención de los valores de parámetros hidrológicos para poder contar con los resultados y compararlos con los aforados para tener una primera salida del programa.

Con los primeros resultados del programa podremos saber en qué parámetros hidrológicos hacer ajustes.

A continuación se presenta los resultados, en los cuales se incluyen la comparación grafica de los caudales aforados y los caudales simulados por WEAP.

Cuadro 63. Caudales medios mensuales generados y caudales aforados.

Caudal	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Caudal generado m ³ /s	19.241	20.628	16.716	9.185	4.292	3.791	3.724	3.810	4.915	8.234	12.023	15.649	122.208
Caudal aforado m ³ /s	20.200	19.590	18.630	10.000	6.600	5.200	4.940	4.320	4.120	6.700	11.200	15.200	126.700
Variación Qg-Qa	-0.959	1.038	-1.914	-0.815	-2.308	-1.409	-1.216	-0.510	0.795	1.534	0.823	0.449	
(Qg-Qa) ²	0.920	1.077	3.663	0.664	5.327	1.985	1.479	0.260	0.632	2.353	0.677	0.202	19.240

Fuente: Elaboración propia. 2014.

Método error medio cuadrático RMSE.

$$RMSE = \frac{100}{\bar{Q}_a} \sqrt{\frac{\sum (Q_g - Q_a)^2}{n}}$$

$$RMSE = \frac{100}{10.558} \sqrt{\frac{19.240}{12}} = 0.119$$

Dónde:

RMSE = Error medio cuadrático.

Q_g = Caudal generado.

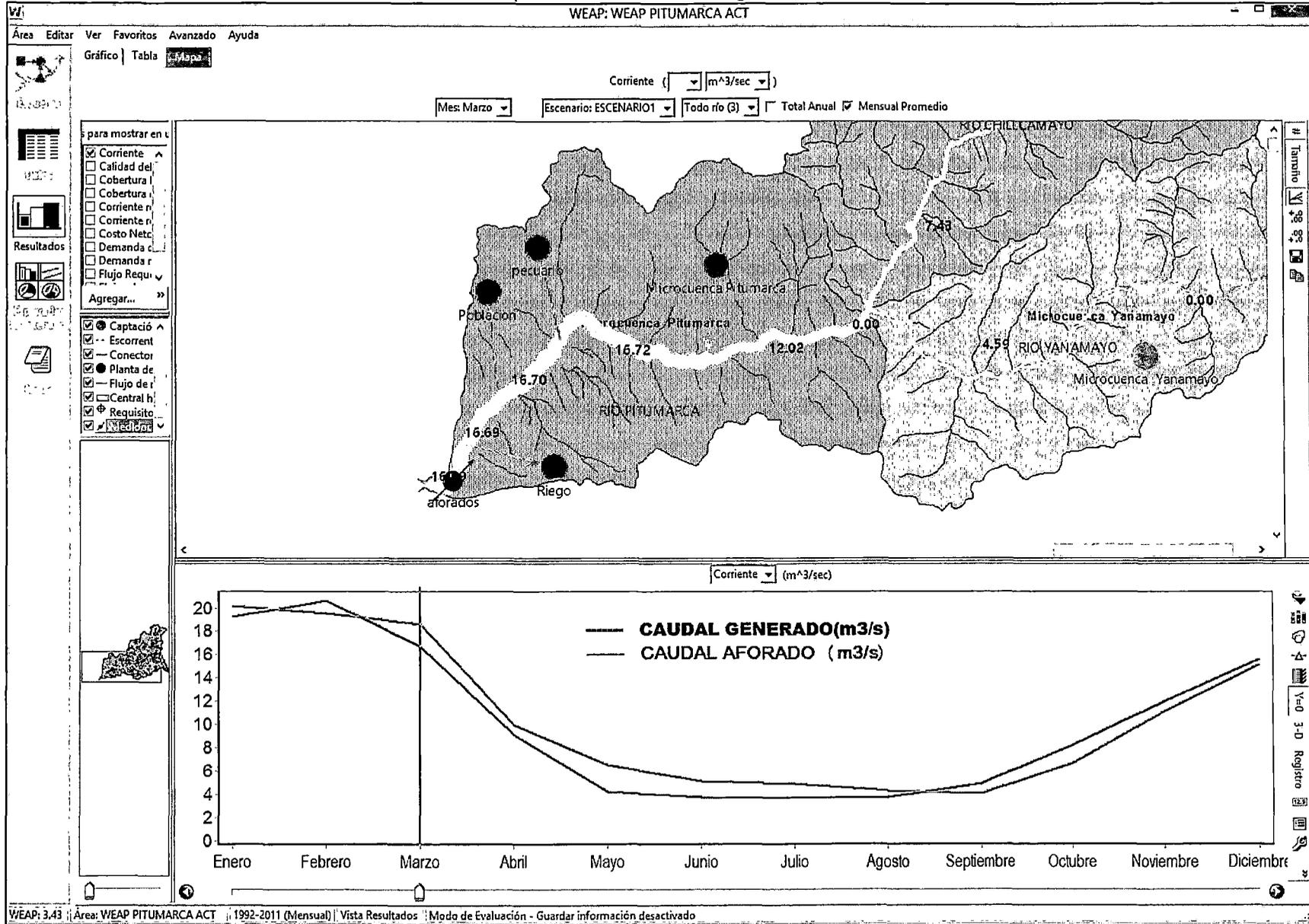
Q_a = Caudal aforado.

\bar{Q}_a = Promedio de caudal aforado.

n = Número de aforos.

Utilizando el método de error medio cuadrático se tiene como resultado de 0.119, en porcentaje 11.99 %, lo cual es aceptable por que se aproxima al cero.

Grafico 25. Comparación de caudales generados vs aforados.



Fuente: Elaboración propia. 2014.

5.3.3.3. Caudales generados para el escenario actual

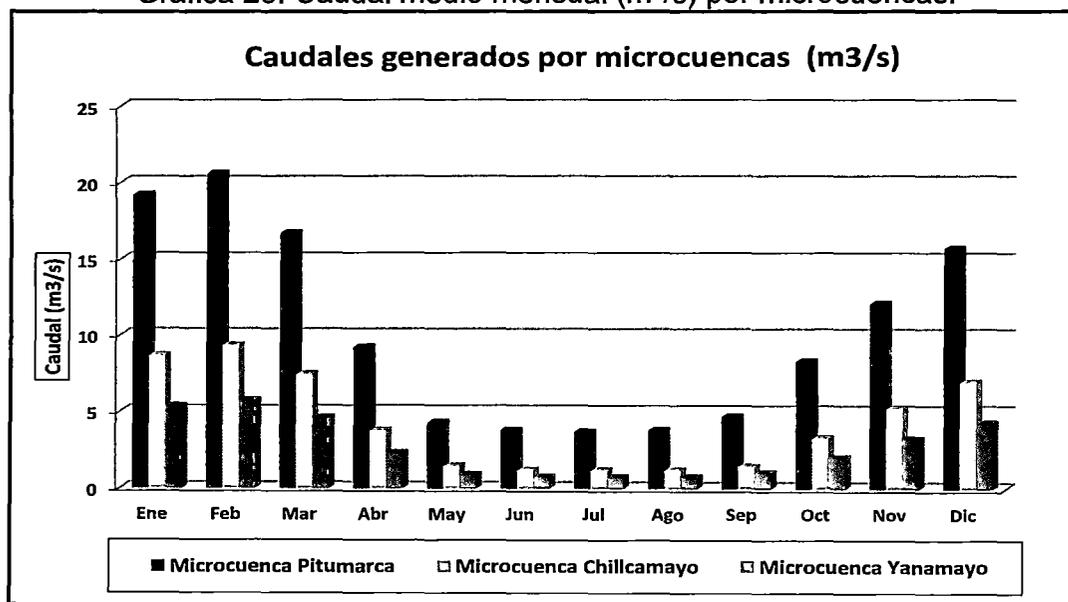
Los caudales generados, por el modelo de simulación hidrológica WEAP, con la utilización de los parámetros de uso de suelo y clima ya mencionados, se tiene los siguientes caudales medios mensuales.

Cuadro 64. Caudal medio mensual (m^3/s) por microcuencas.

Caudal	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Microcuenca Chillcamayo	8.65	9.32	7.44	3.77	1.47	1.20	1.20	1.20	1.46	3.30	5.25	6.96	51.23
Microcuenca Yanamayo	5.33	5.72	4.59	2.29	0.90	0.73	0.72	0.73	1.03	2.02	3.23	4.29	31.58
Microcuenca Pitumarca	19.241	20.628	16.716	9.185	4.292	3.791	3.724	3.810	4.915	8.234	12.023	15.649	122.207

Fuente: Elaboración propia. 2014.

Gráfica 26. Caudal medio mensual (m^3/s) por microcuencas.



Fuente: Elaboración propia. 2014.

La microcuenca Chillcamayo genera un caudal total anual de $51.23 m^3/s$, mientras que la microcuenca de Yanamayo genera un caudal total de $31.58 m^3/s$, y la microcuenca Pitumarca representa como una colectora de las 2 microcuencas que genera un caudal total de $122.207 m^3/s$, el caudal generado para la microcuenca de Pitumarca es utilizado para el balance hídrico de la subcuenca de Pitumarca

5.3.3.4. Demanda hídrica en la subcuenca

Para la demanda hídrica de la subcuenca se tomó en cuenta la demanda poblacional, agrícola y pecuaria, se detalla en el siguiente cuadro.

Cuadro 65. Demanda hídrica de la subcuenca Pitumarca.

Meses	Dda. Poblacional (m ³ /s)	Dda. Pecuaria (m ³ /s)	Dda. Agrícola (m ³ /s)	Total (m ³ /s)
Enero	0.0151	0.0037	0.0000	0.019
Febrero	0.0151	0.0037	0.0000	0.019
Marzo	0.0151	0.0037	0.0000	0.019
Abril	0.0151	0.0037	0.1672	0.186
Mayo	0.0151	0.0037	0.1271	0.146
Junio	0.0151	0.0037	0.1245	0.143
Julio	0.0151	0.0037	0.1062	0.125
Agosto	0.0151	0.0037	1.684	1.703
Setiembre	0.0151	0.0037	1.1732	1.192
Octubre	0.0151	0.0037	1.2787	1.297
Noviembre	0.0151	0.0037	1.2715	1.290
Diciembre	0.0151	0.0037	0.0000	0.019
Total (m³/s)	0.1812	0.0444	5.9324	6.158

Fuente: Elaboración propia. 2014.

Los cálculos nos dan un resultado de una demanda total poblacional de 0.181 m³/s, demanda pecuaria 0.044 m³/s y una demanda agrícola de 5.932 m³/s, haciendo un demanda total para la subcuenca de **6.158 m³/s**.

5.3.3.5. Balance hídrico en la subcuenca de Pitumarca

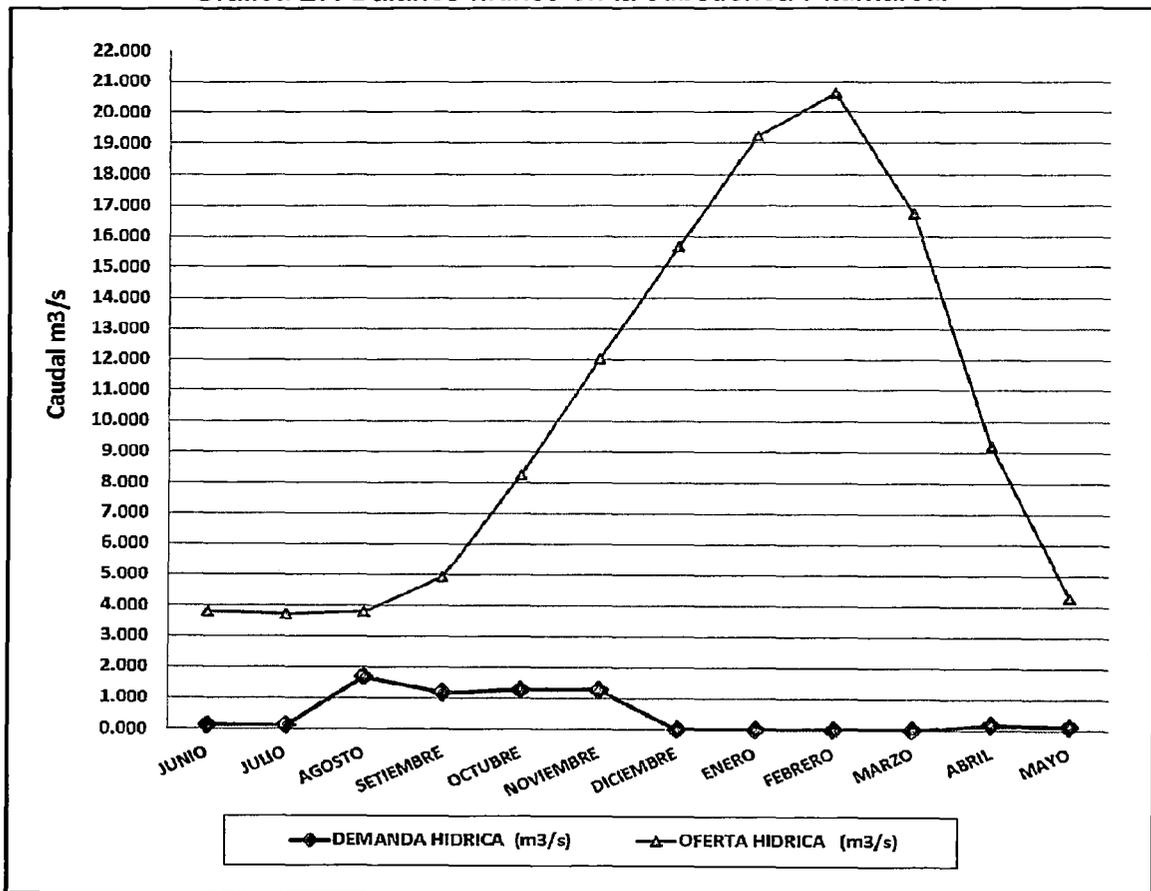
El balance hídrico general de la subcuenca, se da entre la oferta hídrica y la demanda de agua, constituyendo principalmente por la demanda (poblacional, agrícola y pecuaria), cuyos resultados se muestran en el siguiente cuadro:

Cuadro 66. Balance hídrico en la subcuenca Pitumarca.

Caudal	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Oferta m ³ /s	19.241	20.628	16.716	9.185	4.292	3.791	3.724	3.810	4.915	8.234	12.023	15.649	122.207
Demanda m ³ /s	0.019	0.019	0.019	0.186	0.146	0.143	0.125	1.703	1.192	1.297	1.290	0.019	6.158
Superávit del recurso hídrico m ³ /s	19.222	20.609	16.697	8.999	4.146	3.648	3.599	2.107	3.723	6.937	10.733	15.63	116.049

Fuente: Elaboración propia. 2014.

Grafica 27. Balance hídrico en la subcuenca Pitumarca.



Fuente: Elaboración propia. 2014.

En la gráfica se aprecia un incremento de la demanda en los periodos de Julio a Diciembre, esto debido a la época del calendario agrícola, de la misma forma se observa la variación de la oferta hídrica, que satisface por todo el año a la demanda de la subcuenca. De acuerdo al balance hídrico de la subcuenca se puede observar una demanda (poblacional, pecuaria y agrícola) total de 6.158 m³/s y comparando con la disponibilidad del recurso hídrico que es de 122.207 m³/s, se puede decir que existe un **superávit hídrico de 116.049 m³/s**.

5.3.4. Generación de escenarios futuros

Con el modelo de simulación hidrológica WEAP completamente calibrado se realiza los escenarios futuros para la subcuenca de Pitumarca, estos escenarios son proyectados para el año 2035.

- Escenario1, disminución de áreas de humedales andinos.
- Escenario 2, aumento de la temperatura.

5.3.5. Escenario 1: Disminución de áreas de humedales andinos

Para el escenario 1 se asume una reducción de 50% de áreas de humedales andinos, por la importancia de alta capacidad de absorción y retención de agua, amortiguando y manteniendo reservas para la temporada seca, las cuales se determinaron con el mapa de cobertura vegetal mediante el uso del software Argis 9.3 de la subcuenca de Pitumarca, al reducir las áreas de humedales andinos se aumenta el área de pastizal y césped de puna como se detalla en el siguiente cuadro:

Cuadro 67. Escenario 1 para la microcuenca Chillcamayo.

N°	Cobertura Vegetal	Perímetro (km)	Área (Km ²)	Área (Ha)	%
1	Áreas con intervención antrópica	1.55	0.12	11.86	0.04
2	Áreas desnudas o con escasa vegetación	331.95	81.59	8159.44	27.00
3	Humedales andinos	130.68	12.31	1230.77	4.07
4	Laguna	22.24	0.84	84.44	0.28
5	Nival	144.30	23.86	2386.25	7.90
6	Pastizal y Césped de puna	342.85	183.47	18346.76	60.71
TOTAL		973.57	302.20	30219.52	100.00

Fuente: Elaboración propia. 2014.

Cuadro 68. Escenario 1 para la microcuenca Yanamayo.

N°	Cobertura Vegetal	Perímetro (km)	Área (Km ²)	Área (Ha)	%
1	Áreas con intervención antrópica	1.83	0.22	21.73	0.12
2	Áreas desnudas o con escasa vegetación	86.48	32.08	3207.84	17.05
3	Humedales andinos	84.69	9.63	963.07	5.12
4	Laguna	6.11	0.19	19.26	0.10
7	Pastizal y Césped de puna	222.54	146.06	14606.25	77.62
TOTAL		401.65	188.18	18818.16	100.00

Fuente: Elaboración propia. 2014.

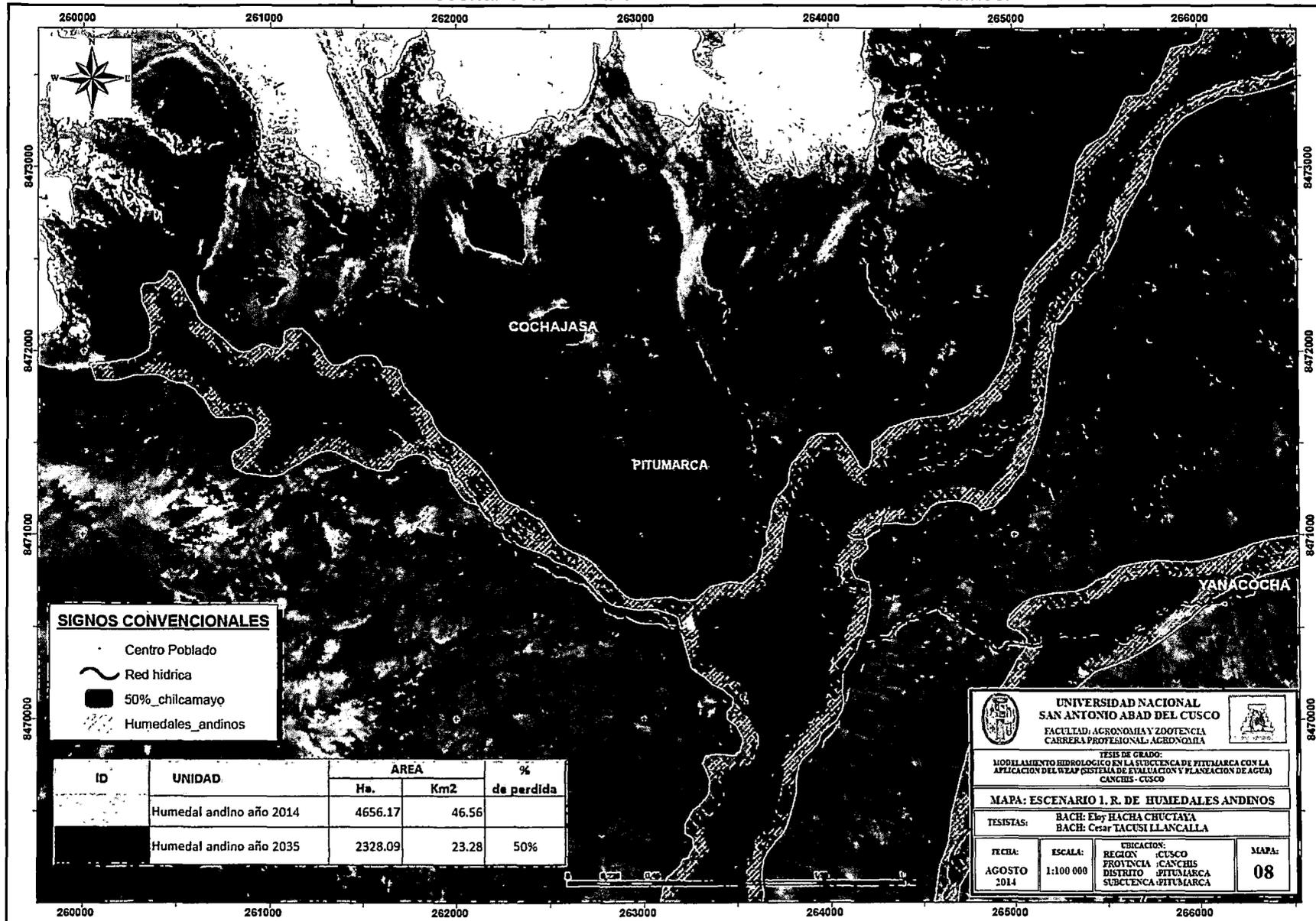
Cuadro 69. Escenario 1 para la microcuenca Pitumarca.

N°	Cobertura Vegetal	Perímetro (km)	Área (Km ²)	Área (Ha)	%
1	Áreas con intervención antrópica	77.18	57.59	5758.82	28.94
2	Áreas desnudas o con escasa vegetación	13.30	2.81	281.31	1.41
3	Humedales andinos	14.16	1.34	134.25	0.67
4	Laguna	14.37	0.51	50.69	0.25
5	Matorral sub húmedo de valles interandinos	24.04	6.57	657.48	3.30
6	Nival	4.89	0.72	71.72	0.36
7	Pastizal y césped de puna	167.24	129.43	12942.80	65.05
TOTAL		315.19	198.97	19897.07	100.00

Fuente: Elaboración propia. 2014.

La subcuenca de Pitumarca presenta un área actual de **46.56 km²** de humedales andinos; para el escenario 1, con la disminución del **50 %** del área actual, el cual se reduce a un área de **23.28 km²**, al disminuir las áreas de humedales andinos se aumenta el área de pastizal y césped de puna.

Mapa 08. Escenario 1. Disminución de áreas de humedales andinos.



Fuente: Elaboración propia. 2014.

5.3.5.1. Caudales generados en el escenario 1

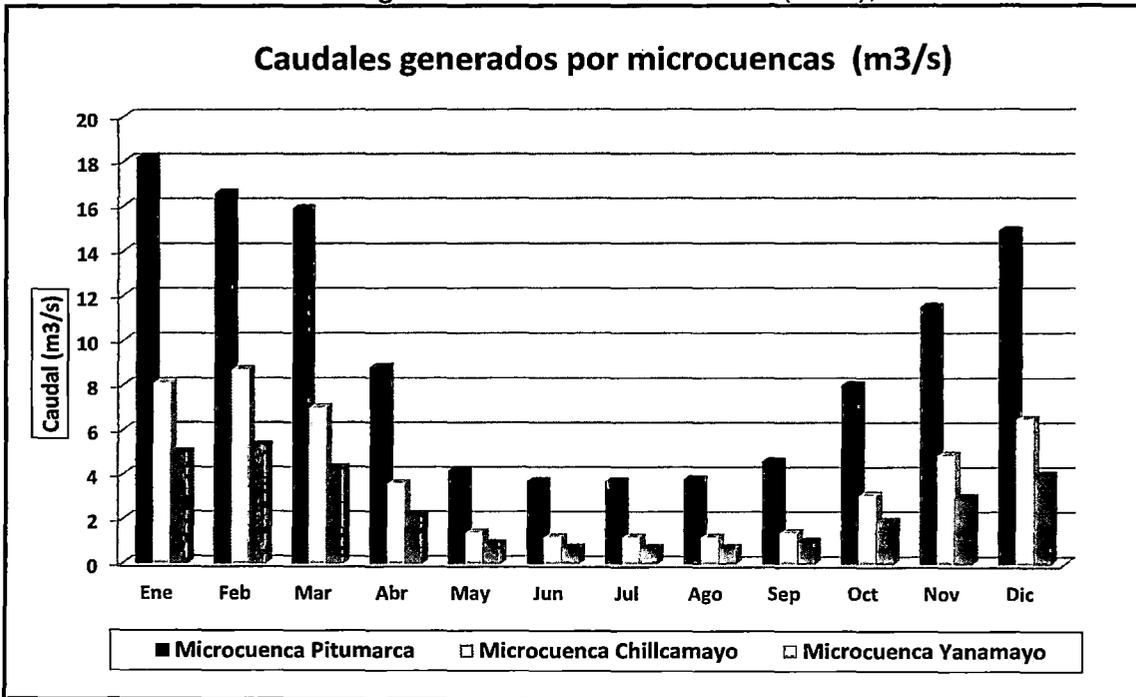
Los caudales generados para el escenario 1 se tienen para las tres microcuencas como se observa en el siguiente cuadro:

Cuadro 70. Caudales generados medio mensual m³/s del escenario 1.

Caudal	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Microcuenca Pitumarca	18.274	19.600	15.919	8.842	4.219	3.752	3.682	3.766	4.814	7.939	11.498	14.899	117.202
Microcuenca Chillcamayo	8.10	8.70	7.00	3.60	1.40	1.20	1.20	1.20	1.40	3.10	4.90	6.50	48.30
Microcuenca Yanamayo	5.00	5.30	4.30	2.20	0.90	0.70	0.70	0.70	1.00	1.90	3.00	4.00	29.70

Fuente: Elaboración propia. 2014.

Gráfico 28. Caudales generados medio mensuales (m³/s), escenario 1.



Fuente: Elaboración propia. 2014.

Desde el punto de vista de uso de suelo se puede apreciar los caudales medios mensuales en el escenario 1 con humedales andinos reducida en un 50%, generando un caudal al año 2035 en la microcuenca chillcamayo de 48.30 m³/s, microcuenca de Yanamayo 29.70 m³/s, y la microcuenca Pitumarca como una colectora de las 2 microcuencas genera un caudal total de 117.202 m³/s.

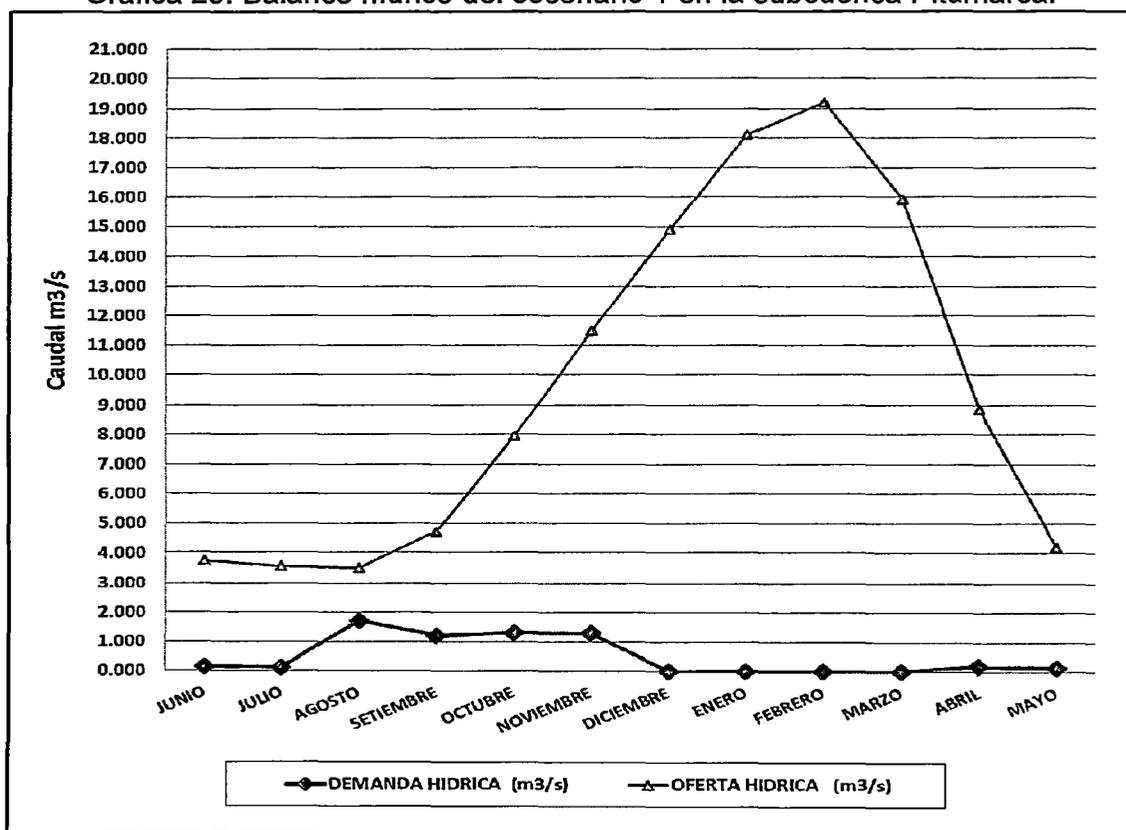
5.3.5.2. Balance hídrico en el escenario 1

Cuadro 71. Balance hídrico mensual, escenario 1.

Caudal	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Oferta (m ³ /s)	18.274	19.600	15.919	8.842	4.219	3.752	3.682	3.766	4.814	7.939	11.498	14.899	117.202
Demanda(m ³ /s)	0.019	0.019	0.019	0.186	0.146	0.143	0.125	1.703	1.192	1.297	1.29	0.019	6.158
Superávit hídrico (m ³ /s)	18.255	19.581	15.900	8.656	4.073	3.609	3.557	2.063	3.622	6.642	10.208	14.880	111.044

Fuente: Elaboración propia. 2014.

Grafica 29. Balance hídrico del escenario 1 en la subcuenca Pitumarca.



Fuente: Elaboración propia. 2014.

Para el escenario futuro, con la reducción del área de humedales andinos en un 50%, se tiene un caudal de 117.202 m³/s y considerándose una demanda actual (poblacional, pecuaria y agrícola) de 6.158 m³/s y comparando con la disponibilidad hídrica, se puede decir que existe un **superávit hídrico de 111.044 m³/s.**, esto se debe a que los humedales andinos almacenan aun cuando se reducen retienen agua en las épocas de lluvia y retardan la escorrentía superficial en los meses de mayor estiaje.

5.3.6. Escenario 2: Aumento de la temperatura

Para este escenario 2, se tomó en cuenta como referencia el estudio de “escenarios de cambio climático en la cuenca del río Urubamba para el año 2100”, realizado por SENAMHI, en 2007. En donde se muestra en el siguiente cuadro:

Cuadro 72. Cambio climático para el escenario 2.

N°	Estación	Provincia	Región	DEF (°C)	MAM (°C)	JJA (°C)	SON (°C)
1	Sicuani	Canchis	Cusco	2.6	2.8	3.2	2.9

Fuente: Escenarios de cambio climático para el año 2100, MINAM. 2007.

Dónde:

DEF = Diciembre, Enero, Febrero.

MAM = Marzo, Abril, Mayo.

JJA = Junio, Julio, Agosto.

SON = Septiembre, Octubre, Noviembre.

5.3.6.1. Aumento de temperatura para el escenario 2

Para este escenario se tomó los datos del cuadro “escenario de cambio climático” para la estación de Sicuani, los resultados se ven en los siguientes cuadros:

Cuadro 73. Escenario 2 en la microcuenca chilcamayo.

Estación:	Chilcamayo	Coordenadas	LAT:	LONG:	ALT:	Ubicación	Depart.	Prov.	Distr.			
Tipo:	CO		13° 51'	71° 12'	4823		Cusco	Canchis	Pitumarca			
Clima	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
PRECIPITACION (mm)	198.25	188.03	166.96	73.39	13.13	2.74	5.47	9.75	26.03	72.19	101.42	153.96
TEMPERATURA °C	6.26	6.32	6.30	4.67	1.40	0.94	1.52	1.60	2.26	4.08	5.59	5.84
HUMEDAD RELATIVA %	90.82	88.44	89.06	87.81	86.83	77.95	70.46	70.14	65.83	66.65	70.18	86.26
VIENTO m/s	3.65	4.04	3.66	3.75	3.17	3.18	3.23	5.57	5.23	3.93	3.17	2.75

Fuente: Elaboración propia. 2014.

Cuadro 74. Escenario 2 en la microcuenca Yanamayo.

Estación:	Yanamayo	Coordenadas	LAT:	LONG:	ALT:	Ubicación	Depart.	Prov.	Distr.			
Tipo:	CO		13° 57'	71° 11'	4757		Cusco	Canchis	Pitumarca			
Clima	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
PRECIPITACION (mm)	194.43	185.80	166.20	73.45	13.11	2.65	5.36	9.45	25.93	71.26	100.63	151.76
TEMPERATURA °C	6.71	6.76	6.75	5.17	1.97	1.49	2.03	2.19	2.89	4.67	6.11	6.33
HUMEDAD RELATIVA %	89.79	87.63	88.16	86.77	85.39	76.84	69.69	69.24	65.35	66.36	69.77	85.23
VIENTO m/s	3.55	3.92	3.57	3.66	3.10	3.10	3.17	5.42	5.12	3.86	3.13	2.71

Fuente: Elaboración propia. 2014.

Cuadro 75. Escenario 2 en la microcuenca Pitumarca.

Estación:	Pitumarca	Coordenadas	LAT:	LONG:	ALT:	Ubicación	Depart.	Prov.	Distr.			
Tipo:	CO		14° 37'	70° 47'	4120		Cusco	Canchis	Pitumarca			
Clima	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
PRECIPITACION (mm)	180.77	169.06	149.90	65.39	11.95	2.64	5.22	9.01	23.74	67.05	92.97	141.03
TEMPERATURA °C	9.80	9.80	9.82	8.56	5.91	5.29	5.51	6.22	7.19	8.69	9.72	9.63
HUMEDAD RELATIVA %	82.71	82.06	81.93	79.57	75.53	69.26	64.36	63.04	62.07	64.35	67.00	78.17
VIENTO m/s	2.86	3.16	2.92	2.98	2.60	2.58	2.81	4.37	4.32	3.38	2.82	2.42

Fuente: Elaboración propia. 2014.

Con respecto al aumento de temperatura para el año 2035, se incrementó a la temperatura actual regionalizada para las tres microcuencas en: 2.6 °C para los meses de Diciembre a Febrero, 2.8 °C para los meses de Marzo a Mayo, 3.2 °C en los meses de Junio a Agosto y 2.9 °C para los meses de Setiembre a Noviembre con un intervalo de variación 95 % de confianza, el aumento de la temperatura afecta directamente a la demanda agrícola, a mayor temperatura mayor evapotranspiración de los cultivos.

Cuadro 76. Escenario 2 mayor demanda de agua mensual para los cultivos.

Descripción	Unidad		Periodo											
			Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
Papa	172.78	17.29%		1.50	1.00	0.71	0.95	0.98	0.81	0.33				
Maiz	261.92	26.21%		1.50	0.25	0.65	0.95	1.00	0.98	0.85	0.53			
Haba	161.09	16.12%			1.50	1.20	0.84	1.00	0.91	0.46				
Trigo	113.72	11.38%				1.50	0.15	0.40	0.65	0.88	0.70			
Oca	24.28	2.43%				1.50	0.28	0.73	0.95	0.98	0.82	0.34		
Quinua	10.49	1.05%				1.50	0.68	1.15	1.15	1.15	0.82	0.25		
Cebada	177.98	17.81%					1.50	0.15	0.40	0.65	0.88	0.70		
Hortalizas	37.67	3.77%	0.28								0.22	0.50	0.60	0.55
Forraje	39.37	3.94%	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Total	999.33	100.00%												
Área Cultivada	Ha		77.05	474.08	635.17	783.67	961.66	961.66	961.66	961.66	665.45	289.81	77.05	77.05
	%		7.71%	47.44%	63.56%	78.42%	96.23%	96.23%	96.23%	96.23%	66.59%	29.00%	7.71%	7.71%
Kc ponderado			0.65	1.46	0.82	0.95	0.92	0.76	0.79	0.67	0.68	0.67	0.80	0.78
ETP	Mm		91.59	106.78	105.72	125.97	129.38	115.16	114.09	103.18	103.75	103.85	95.06	86.25
ETR (Consumo Teórico)	Mm		59.34	155.74	86.43	120.29	119.15	87.86	90.50	69.18	70.35	69.41	76.47	67.27
PE 75 %	Mm		0.21	3.54	10.27	46.75	59.26	82.19	86.40	86.40	86.40	41.44	6.38	0.07
Demanda unitaria neta	m ³ /ha		591.35	1522.01	761.61	735.36	598.89	56.77	41.03	-172.21	-160.50	279.69	700.94	672.01
Eficiencia del Sistema	%		0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28
Demanda bruta de agua	m ³ /ha		2140.65	5509.54	2756.94	2661.94	2167.94	205.51	148.52	-623.37	-580.99	1012.45	2537.32	2432.61
Días por mes	Días		31	31	30	31	30	31	31	28	31	30	31	30
Jornada de riego	Horas		12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
módulo de riego	l/s/ha		1.60	4.11	2.13	1.99	1.67	0.15	0.11	0.00	0.00	0.78	1.89	1.88
volumen requerido por mes	m ³		164,934	2,611,975	1,751,139	2,086,099	2,084,816	197,632	142,825	0	0	293,414	195,496	187,429
Volumen Requerido / Mes	%		1.70%	26.88%	18.02%	21.47%	21.46%	2.03%	1.47%	0.00%	0.00%	3.02%	2.01%	1.93%

Fuente: Elaboración propia. 2014.

5.3.6.2. Caudales generados en el escenario 2

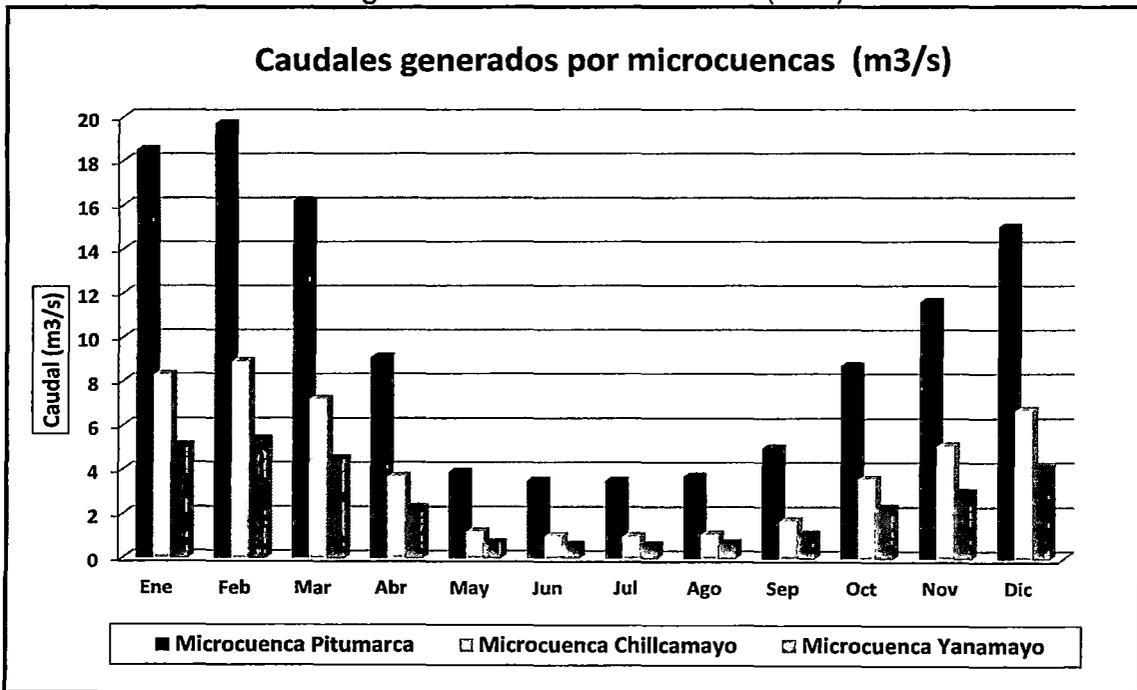
Los caudales generados para el escenario 2 con el aumento de temperatura, se tiene los resultados en el siguiente cuadro:

Cuadro 77. Caudales generados medio mensuales (m³/s) del escenario 2.

Caudal	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Microcuenca Pitumarca	18.533	19.771	16.236	9.060	3.892	3.523	3.507	3.698	5.014	8.723	11.653	15.137	118.747
Microcuenca Chillcamayo	8.30	8.90	7.20	3.70	1.20	1.00	1.00	1.10	1.70	3.60	5.10	6.70	49.50
Microcuenca Yanamayo	5.10	5.40	4.50	2.30	0.70	0.60	0.60	0.70	1.10	2.30	3.00	4.10	30.40

Fuente: Elaboración propia. 2014.

Gráfica 30. Caudales generados medio mensuales (m³/s) del escenario 2.



Fuente: Elaboración propia. 2014.

Con respecto al escenario 2, la microcuenca Chillcamayo genera un caudal anual de 49.50 m³/s., mientras que la microcuenca de Yanamayo genera un caudal de 30.40 m³/s., y la microcuenca Pitumarca representa como una colectora de las 2 microcuencas un caudal anual total de 118.747 m³/s.

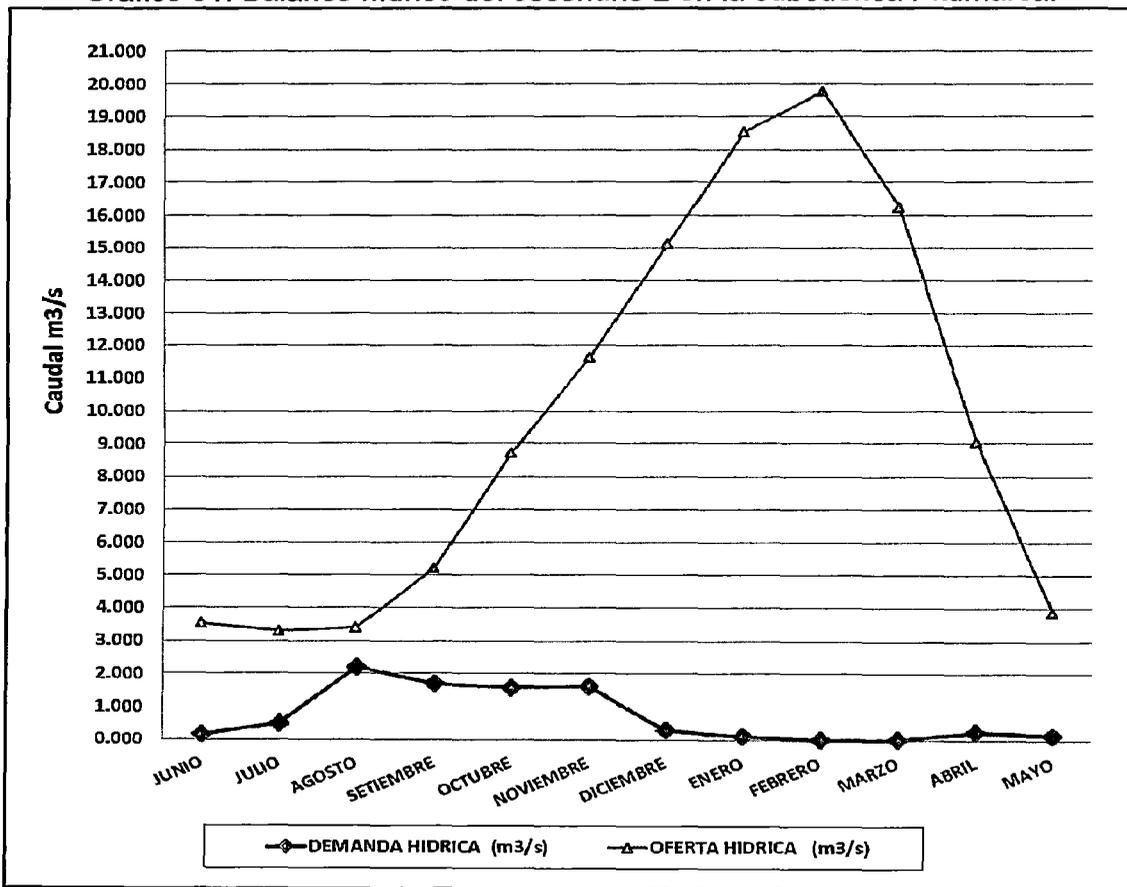
5.3.6.3. Balance hídrico en el escenario 2

Cuadro 78. Balance hídrico del escenario 2 en la subcuenca Pitumarca.

Caudal	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	TOTAL
Oferta m ³ /s	18.533	19.771	16.236	9.060	3.892	3.523	3.507	3.698	5.014	8.723	11.653	15.137	118.747
Demanda m ³ /s	0.125	0.019	0.019	0.245	0.165	0.163	0.142	1.969	1.370	1.577	1.627	0.166	7.588
Superávit hídrico m ³ /s	18.407	19.752	16.217	8.815	3.727	3.360	3.365	1.729	3.644	7.146	10.025	14.970	111.159

Fuente: Elaboración propia. 2014.

Grafico 31. Balance hídrico del escenario 2 en la subcuenca Pitumarca.



Fuente: Elaboración propia. 2014.

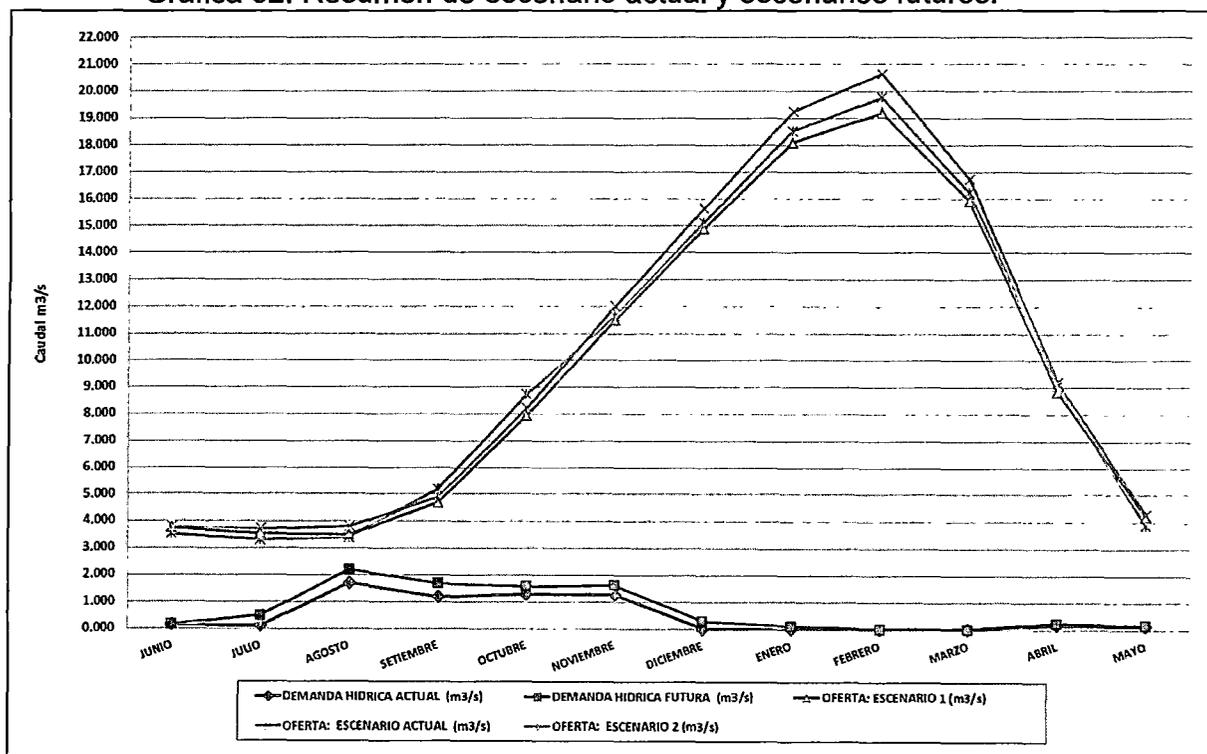
Para el escenario 2, el aumento de temperatura, afecta directamente en la evapotranspiración de los cultivos, por ende se ha considerado la nueva demanda hídrica, dando un resultado de **7.588 m³/s.**, y una disponibilidad hídrica de **118.747 m³/s.**, realizando la comparación se puede decir que existe un **superávit hídrico de 111.159 m³/s.**

Cuadro 79. Resumen de escenario actual y escenarios futuros.

MES	Escenario actual			Escenarios futuros al año 2035							
				Escenario 1, disminución de áreas húmedas andinas				Escenario 2, Aumento de temperatura			
	Demanda (m ³ /s)	Oferta (m ³ /s)	Balance (m ³ /s)	Demanda (m ³ /s)	Oferta (m ³ /s)	Balance (m ³ /s)	Variación %	Demanda (m ³ /s)	Oferta (m ³ /s)	Balance (m ³ /s)	Variación %
Junio	0.143	3.791	3.648	0.143	3.752	3.609	-1.04	0.163	3.523	3.360	-7.06
Julio	0.125	3.724	3.599	0.125	3.682	3.557	-1.13	0.142	3.507	3.365	-5.82
Agosto	1.703	3.810	2.107	1.703	3.766	2.063	-1.15	1.969	3.698	1.729	-2.93
Setiembre	1.192	4.915	3.723	1.192	4.814	3.622	-2.06	1.370	5.014	3.644	2.02
Octubre	1.297	8.234	6.937	1.297	7.939	6.642	-3.58	1.577	8.723	7.146	5.94
Noviembre	1.290	12.023	10.733	1.290	11.498	10.208	-4.36	1.627	11.653	10.025	-3.08
Diciembre	0.019	15.649	15.630	0.019	14.899	14.880	-4.79	0.166	15.137	14.970	-3.27
Enero	0.019	19.241	19.222	0.019	18.274	18.255	-5.03	0.125	18.533	18.407	-3.68
Febrero	0.019	20.628	20.609	0.019	19.600	19.581	-4.99	0.019	19.771	19.752	-4.15
Marzo	0.019	16.716	16.697	0.019	15.919	15.900	-4.77	0.019	16.236	16.217	-2.87
Abril	0.186	9.185	8.999	0.186	8.842	8.656	-3.74	0.245	9.060	8.815	-1.36
Mayo	0.146	4.292	4.146	0.146	4.219	4.073	-1.70	0.165	3.892	3.727	-9.32
TOTAL (m³/s)	6.158	122.208	116.050	6.158	117.202	111.044	-4.10	7.588	118.747	111.159	-2.83

Fuente: Elaboración propia. 2014.

Grafica 32. Resumen de escenario actual y escenarios futuros.



Fuente: Elaboración propia. 2014.

En el escenario actual se puede apreciar un caudal máximo en el mes de febrero con 20.628 m³/s., y el más bajo en Julio con 3.724 m³/s., realizado el análisis los meses de octubre a abril, son los meses con precipitaciones altas y mayo a septiembre épocas donde las lluvias no son notorias y la máxima demanda hídrica es de 1.703 m³/s., en agosto y la mínima es 0.019 m³/s., de diciembre a marzo, esto debido a que en el mes de agosto comienza la campaña agrícola y en los meses de diciembre a marzo la demanda agrícola es mínima, además en el escenario actual se ha obtenido una demanda hídrica total de 6.158 m³/s., una oferta total de **122.208 m³/s.**, realizando las comparaciones se tiene un superávit de 116.050 m³/s.

En el escenario futuro al año 2035 con la reducción de humedales andinos en un 50 %, se tiene una oferta hídrica de 117.202 m³/s y en el escenario actual una oferta hídrica de 122.208 m³/s, haciendo la comparación se tiene una reducción en **4.10 %** en 20 años, el cual nos indica una reducción en **0.251 m³/s.**, al año, y se tiene un superávit hídrico de 111.044 m³/s., realizando el análisis, se debe a que en el escenario actual existe en su totalidad la cobertura vegetal de humedales andinos, ya que estos almacenan y retienen agua en las épocas de lluvias y retardan la escorrentía superficial, producto de la disminución de áreas de humedales andinos en 50% se ve una reducción en el caudal, cabe recalcar la importancia de los humedales andinos debido a que retardan el escurrimiento del flujo de agua.

Con respecto al aumento de la temperatura para el año 2035, se tiene una nueva demanda hídrica de 7.588 m³/s., y un oferta hídrica de 118.747 m³/s., realizando las comparaciones con el escenario actual se tiene una reducción de **2.83 %** en 20 años, esto indica una disminución de **0.173 m³/s.**, al año, realizando el balance hídrico con la nueva demanda se tiene un superávit hídrico de 111.159 m³/s., Realizando el análisis se deduce que debido al aumento de la temperatura aumentara la evaporación del agua y por ende la disminución del caudal, también aumentara la evapotranspiración de los cultivos, por lo tanto se necesitara mayor demanda de agua para los mismos cultivos.

CONCLUSIONES

El presente estudio denominado “modelación hidrológica en la subcuenca de Pitumarca con la aplicación del modelo WEAP (sistema de evaluación y planeación de agua) Canchis – cusco” de la subcuenca de Pitumarca ubicada en la provincia de Canchis, distritos de Checacupe con cuatro comunidades y Pitumarca con 9 comunidades, se llegó a las siguientes conclusiones:

De las características geomorfológicas, inventario de las fuentes hídricas e infraestructura de riego y agua potable en la subcuenca se tiene:

Los principales parámetros geomorfológicos indican que el área de estudio se ha dividido en tres unidades hidrográficas principales denominados microcuenca Chilcamayo con un área de 302,195 km², microcuenca Yanamayo con 188.181 km² y la microcuenca Pitumarca con un área de 198,971 km², estas tres microcuencas hacen la subcuenca de Pitumarca con una superficie total de 689,347 Km² y un perímetro de 165,898 Km., la forma de la microcuenca, según el coeficiente de compacidad (k) es igual a 1.78, definiéndose como clase k de forma oval oblonga a rectangular oblonga, con un factor de forma igual 0.29 lo que la define como una subcuenca ligeramente achatada por consiguiente se deduce que es poco susceptible a las crecidas, con un tiempo de concentración bajo por la forma que presenta, el grado de ramificación; presenta hasta cuarto orden según la clasificación de Strahler, lo cual corresponde a una subcuenca, y con una altitud media de 4651.405 m.s.n.m.

El Inventario de las fuentes hídricas da como resultado a 23 lagunas, 57 manantes y 31 ríos/riachuelos, también se realizó la medición de los caudales por los métodos de sección velocidad, volumétrico, conducto aforador y correntómetro.

Con respecto a las infraestructuras hidráulicas se tiene un total de 40 infraestructuras de riego (gravedad y presurizado), 38 infraestructuras de agua potable para consumo humano, esto nos indica que la mayor parte de las comunidades campesinas cuentan con servicio de agua potable.

De la información hidrometeorológica se tiene:

La regionalización de datos climáticas se efectúa con un registro históricos de 1992 al 2011, los datos son utilizados de las tres estaciones meteorológicas base (Pomacanchi, Sicuani y Yauri), los análisis de consistencia de datos climatológicos son realizados en SIH., el cual nos indica como no significativo, la precipitación total anual generada para la microcuenca de Chilcamayo es de 1011.30 mm., microcuenca Yanamayo con 1000.03 mm., para la microcuenca de Pitumarca es de 918.73 mm., la temperatura media anual generada para la microcuenca Pitumarca varía de 2.09 °C (Junio) hasta 7.20 °C (Enero), con una humedad relativa que fluctúa desde 62.07 % (setiembre) hasta 82.71% (Enero) y los vientos desde 2.42 m/s (Diciembre) hasta 4.37 m/s (Agosto).

De la modelación hidrológica con el modelo WEAP se tiene:

Para el modelo se utilizó datos de parámetros geomorfológicos, climáticos y cobertura vegetal de los suelos, dando como resultado una disponibilidad hídrica actual de 122.208 m³/s., y una demanda (poblacional, pecuaria y agrícola) de 6.158 m³/s., dando como resultado un superávit hídrico de 116.050 m³/s., y no hay déficit hídrico durante todo el año.

Para el escenario 1, se ha disminuido el área de humedales andinos en un 50 %, para una proyección futuro al año 2035, se tiene una oferta hídrica de 117.202 m³/s., haciendo la comparación con la demanda actual, da un escenario con un superávit hídrico de 111.044 m³/s., además no existe déficit hídrico mensual, por lo que se considera a la subcuenca eficiente en la disponibilidad hídrica, sin embargo hay una disminución en **0.251 m³/s.**, al año, esto se debe que los humedales andinos almacenan y retienen agua en las épocas de lluvias y retardan el escurrimiento del flujo superficial de agua.

Para el escenario 2. Con el aumento de la temperatura se tiene una nueva demanda hídrica de 7.588 m³/s., una oferta de 118.747 m³/s., realizando las comparaciones hay una disminución de **0.173 m³/s.**, al año, el balance da un superávit hídrico de 111.159 m³/s., esto indica que al aumentar la temperatura aumentara la evaporación del agua y por ende la disminución del caudal, también aumentara la evapotranspiración de los cultivos, por lo tanto se necesitara mayor demanda de agua para los mismos cultivos.

RECOMENDACIONES

1. Por la importancia que tiene la subcuenca de Pitumarca se recomienda a las instituciones en el manejo del agua, Autoridad Nacional del Agua, Senamhi-Cusco, para instalar una estación hidrométrica que nos permita establecer un registro de la variación de los caudales en la subcuenca.
2. Conservar las áreas de los humedales andinos existentes en la parte alta de la subcuenca mediante la institución IMA (instituto de manejo de agua y medio ambiente) ya que las áreas humedales cumplen un rol importante en la regulación de la escorrentía y almacenamiento en épocas de lluvia, para luego aportar un caudal base en el curso principal en épocas de estiaje.
3. Realizar práctica de reforestación y conservación en la parte alta y media de la subcuenca, para mejorar la retención hídrica, mediante el apoyo de gobierno municipal, instituciones públicas del sector agropecuario y proyectos de desarrollo local.
4. Se recomienda aplicar el modelo hidrológico WEAP a los proyectistas para promover la planificación, gestión e implementación de las propuestas de proyectos de desarrollo para tener una mejor perspectiva sobre el mejor manejo y distribución del recurso hídrico en la subcuenca Pitumarca.

BIBLIOGRAFIA

1. **ALIAGA VITO, S.** "Hidrología tratamiento de datos hidrometeorológicos". INAF, Lima – Perú. 1983.
2. **ANTEN, M. y WILLET, J.** "Guía para el inventario y planeamiento de los recursos hídricos en microcuencas". PRONAMACHCS. Cajamarca - Perú. 2001.
3. **CARO MONTOYA, K.** "Sistema de información geográfica". Manual de SIG. Cusco – Perú. 2009.
4. **CHEREQUE MORAN, W.** "Hidrología para estudiantes de Ingeniería civil". Pontificia Universidad Católica del Perú – CONCYTEC. Lima-Perú. 1990.
5. **CHOW VEN, T.; MAIDMENT R, D.; MAIYS W, L.** "Hidrología Aplicada". Editorial Interamericana, McGraw Hill. Santa Fe de Bogotá - Colombia. 1987.
6. **CORTES SARUCO, G. C.** "Evaluación de un modelo hidrológico semi distribuido para la estimación de la escorrentía de deshielo en el rio Junca". Universidad de Chile-Ciencias Físicas y Matemáticas. Tesis. Santiago- Chile. 2010.
7. **DELGADILLO L, O. y VEGA B, D.** "Guía de medición de caudales". Centro andino para la gestión y uso del agua, Facultad de ciencias agrícolas y pecuarias. Martin Cárdenas. boletín N° 01. Cochabamba – Bolivia. 2004.
8. **DIRECCION DE PRESERVACION Y CONSERVACION DE MANEJO DE CUENCAS.** "Estudio de los parámetros geomorfológicos de una cuenca". Boletín técnico N° 2. 1978.
9. **DOORENBOS J. y PRUITT W, O.** "Las necesidades de agua de los cultivos". Estudio FAO: Riego y Drenaje Nro. 24. Roma. 1976.
10. **EDUARDO MALDONADO, C. y GOMEZ CRUZ, N. A.** "Modelamiento y simulación de sistemas complejos". Documento de investigación N°. 66. Universidad del Rosario. Bogotá – Colombia. 2010.
11. **FORTALECIMIENTO DE CAPACIDADES EN ORDENAMIENTO TERRITORIAL – FOT.** "Expediente técnico de la provincia de Canchis". Área de biología. Cusco – Perú. 2010.
12. **FUENTES J, JOSE DE JESUS** "Análisis morfométrico de cuencas". Instituto Nacional de Ecología. Michigan – México. 2004.

13. **GUEVARA CARAZAS, V.** "Manejo de cuencas". Copia Universitaria. UNSAAC – FAZ. Cusco – Perú. 2008.
14. **GUEVARA PEREZ, E.** "Manejo Integrado de Cuencas". Documento de referencia para los países de América Latina. Santiago – Chile. 1997.
15. **INSTITUTO DE MANEJO DE AGUA Y MEDIO AMBIENTE - IMA.** "Microzonificación Ecológica Económica de la subcuenca de Pitumarca-Checacupe". Cusco – Perú. 2006.
16. **LEMA CHANGOLUISA, M. A. y PLAZA QUEZADA, V. C.** "Modelación Hidrológica del río Pastaza Aplicando el Modelo de Simulación WEAP". Escuela Politécnica Nacional de Ingeniería. Tesis. Quito-Ecuador. 2009.
17. **MOLINA, G. MEDARDO.** "Hidrología". Universidad Agraria la Molina. Lima-Perú. 1975.
18. **MONSALVE SAENZ, G.** "Hidrología en la Ingeniería". 2da Edición Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. Santa Fe de Bogotá-Colombia. 1999.
19. **OLARTE HURTADO, W.** "Manual de Riego por Gravedad". Serie de Coordinación de Tecnologías Andinas. Cusco, Perú. 1987.
20. **PROAÑO JARAMILLO, D. E.** "Modelación oferta-demanda de agua en cuencas desarrolladas, cuenca alta del río Guayllabamba y cuencas de abastecimiento de agua para la ciudad de Quito, con la ayuda de la herramienta WEAP". Escuela Politécnica Nacional de Ingeniería. Tesis. Quito-Ecuador. 2010.
21. **PROGRAMA NACIONAL DE PEQUEÑAS Y MEDIANAS IRRIGACIONES-PLAN MERISS II.** "Agrometeorología e Hidrología, Métodos Aplicados en los Estudios Ejecutados en la sierra del Perú". Cusco – Perú. 1980.
22. **REYES CARRASCO, L. V.** "Hidrología Básica". 1ra Edición Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología - CONCYTEC, Lima-Perú. 1992.
23. **ROJAS M, R.** "Hidrología de Tierras Agrícolas". Serie Hidrológica H-19 CINDIT, 3ra Edición. Lima-Perú. 1986.
24. **RASSVELDI y TOMIC.** "Lagunas colombianas". Revista de la academia de ciencias exactas físicas y naturales. Vol. X. Bogotá- Colombia. 1958.
25. **SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA-SENAMH.** "Manual de funcionarios del observador meteorológico", impreso en Lima-Perú. 2005

- 26. UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA.** "Guía de sistema de evaluación y planeación de agua con el uso de Software WEAP". Departamento de recursos hídricos, Lima-Perú. 2010.
- 27. UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA.** "Guía Sistema de Información Hidrológica (SIH)". Departamento de recursos hídricos, Lima-Perú, 2003.
- 28. UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA.** "Curso Introdutoria sobre Sistemas de Información Geográfica (SIG)" I-II. Facultad de Ingeniería Agrícola. Lima-Perú. 1993.
- 29. VASQUEZ VILLANUEVA, A.** "Manejo de Cuencas Alto Andinas I y II". Universidad Nacional La Agraria. Lima, Perú. 1998.
- 30. VILLON BEJAR, M.** "Hidrología". Instituto Tecnológico de Costa Rica-Escuela de Ingeniería Agrícola, 2da Edición. Editorial Billón. Lima-Perú. 2002.
- 31. ZVALETA H, W.** "Evaluación del recurso hídrico en las subcuencas Challhuanca y Pachachaca". Tesis UNSAAC- FAZ. Cusco- Perú. 1998.

ANEXOS

A. CLIMATOLOGICOS

1. Registro histórico de precipitación, periodo (1992-2011).
2. Registro histórico de precipitación completados periodo (1992-2011).
3. Análisis de salto de las 3 estaciones periodo (1992-2011).
4. Análisis de tendencia de las 3 estaciones periodo (1992-2011).
5. Análisis de doble masa de las 3 estaciones periodo (1992-2011).
6. Regionalización de precipitación por microcuencas de zona de estudio.
7. Ecuaciones de influencia de la subcuenca en estudio.

B. FICHAS TECNICAS

1. Ficha técnica de inventario de río.
2. Ficha técnica de inventario de manante.
3. Ficha técnica de inventario de laguna.
4. Ficha técnica de inventario de infraestructuras riego y consumo humano.

C. MAPAS

1. Mapa de manante, rio y laguna.
2. Mapa de infraestructura de riego y uso de suelo.
3. Mapa de cobertura vegetal.

CLIMATOLOGICOS

1. Registro históricos de precipitación originales periodo (1992-2011)

Precipitación mensual (mm) de la estación Pomacanchi

REGISTRO HIDROMETEOROLOGICO															
PRECIPITACION TOTAL MENSUAL (mm)															
Estacion : POMACANCHI		Tipo: CO		Latitud : 14°01' S		Departamento Cusco									
				Longitud : 71°34' W		Provincia Acomayo									
				Altitud : 3,700 m.s.n.m.		Distrito Pomacanchi									
N°	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL	
1	1992	142.00	90.50	96.00					15.50	6.50	92.30	89.00	73.00	604.80	
2	1993	198.80	134.00	102.50	26.50	5.00	2.00	6.00	12.00	16.50	87.00	77.00	186.70	854.00	
3	1994	166.00	154.50	125.00	47.50	5.50	0.00	0.00	1.00	24.50	66.50	88.00	116.50	795.00	
4	1995	133.00	108.50	127.00	37.00	13.50	0.00	5.50	1.50	36.00	9.00	120.00	161.00	752.00	
5	1996	200.50	91.50	114.60	55.50	17.00	0.00	0.00	28.80	32.30	108.00	79.50	158.00	885.70	
6	1997	191.00	194.00	190.50	23.00	16.00	0.00	5.00	12.50	7.50	83.00	135.80	79.00	937.30	
7	1998	141.00	130.30	136.80	17.50	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	72.00	104.50	115.00	718.10	
8	1999	173.50	140.60	84.20	93.30	9.20	0.00	1.60	0.00	19.10	34.40	40.70	106.30	702.90	
9	2000	119.20	184.20	112.00	30.60	7.50	14.80	6.00	16.10	22.50	92.30	41.30	138.10	784.60	
10	2001	246.00	159.60	180.90	45.20	15.70	3.30	21.30	15.80	18.90	84.00	81.30	198.30	1070.30	
11	2002	128.00	236.10	174.20	69.00	13.70	0.60	27.80	17.30	62.30	65.50	108.40	121.90	1024.80	
12	2003	167.20	164.40	150.60	63.50	16.40	8.70	0.00	6.00	17.10	64.40	50.20	110.00	818.50	
13	2004	260.90	175.40	81.50	51.20	25.40	10.20	8.90	16.90	71.50	57.20	67.20	164.00	990.30	
14	2005	85.80	130.00	148.00	52.00	2.10	0.00	0.20	4.30	2.60	74.20	101.50	105.70	706.40	
15	2006	163.70	232.30	95.60	140.60	1.10	11.10	0.00	7.30	4.30	80.20	101.30	149.30	986.80	
16	2007	172.60	175.60	226.50	77.60	14.10	0.00	4.80	0.00	4.00	52.50	99.70	102.70	930.10	
17	2008	158.60	140.80	128.30	33.70	12.90	4.40	0.00	3.70	17.00	77.90	78.30	129.70	785.30	
18	2009	136.70	105.60	80.50	41.80	8.60	0.00	19.10	0.00	11.00	18.20	202.50	111.10	735.10	
19	2010	292.10	88.40	116.60	53.80	2.40	0.00	0.00	12.80	5.30	58.90	42.10	156.70	829.10	
20	2011	119.10	151.80	135.70	60.20	9.30	4.70	7.10	8.90	57.10	50.90	42.80	189.70	837.30	
N° Datos	20	20	20	19	19	19	19	20	20	20	20	20	20	20	
Media	169.79	149.41	130.35	53.66	10.28	3.15	5.96	9.02	21.85	66.42	87.56	133.64	837.42	837.42	
Desv. Estandar	51.04	42.66	39.15	28.41	6.66	4.66	8.16	7.96	20.54	24.83	38.64	35.70	122.54	122.54	
Coef. Variacion	0.30	0.29	0.30	0.53	0.65	1.48	1.37	0.88	0.94	0.37	0.44	0.27	0.15	0.15	
Prec. Max.	292.10	236.10	226.50	140.60	25.40	14.80	27.80	28.80	71.50	108.00	202.50	198.30	292.10	292.10	
Prec. Min.	85.80	88.40	80.50	17.50	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	9.00	40.70	73.00	0.00	0.00	
Prec. 75%	135.36	120.63	103.95	34.49	5.79	0.01	0.46	3.65	8.00	49.67	61.49	109.56	754.77	754.77	

Precipitación mensual (mm) de la estación Sicuani.

REGISTRO HIDROMETEOROLOGICO														
PRECIPITACION TOTAL MENSUAL (mm)														
Estacion : SICUANI		Latitud			14°17'	S	Departamento		Cusco					
		Longitud			71°13'	W	Provincia		Canchis					
Tipo:		Altitud			3,550	msnm	Distrito		Sicuani					
CO-759														
N°	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1	1992	99.2	63.0	118.6	49.6	15.2	0.0	0.0	19.5	19.1	62.8	96.8	53.6	597.42
2	1993	163.0	87.1	116.2	57.4	0.0	1.2	2.0	9.8	26.7	66.0	136.4	114.1	779.90
3	1994	126.4	142.4	128.4	72.9	18.8	0.3	0.0	1.2	9.3	50.5	81.0	127.4	758.60
4	1995	107.4	101.1	131.3	72.5	3.1	1.2	2.8	0.0	16.6	36.0	92.7	114.6	679.30
5	1996	121.3	112.0	155.5	42.7	16.3	0.0	0.0	12.0	24.5	54.2	61.6	115.7	715.80
6	1997	226.7	173.8	176.9	49.9	3.5	0.0	5.2	15.2	8.9	45.1	135.5	64.6	905.30
7	1998	102.3	131.0	97.8	15.5	0.0	0.0	0.0	4.2	1.7	92.2	67.4	89.2	601.30
8	1999	131.4	145.4	83.4	77.7	17.6	0.0	0.3	0.0	44.1	24.4	38.5	127.2	690.00
9	2000	110.4	180.0	121.9	15.6	7.2	6.0	4.4	1.7	18.6	76.4	25.2	92.6	660.00
10	2001	213.0	158.1	176.9	55.3	25.9	1.2	13.9	10.5	34.7	48.3	76.2	134.4	948.40
11	2002	154.7	205.2	145.7	126.4	32.9	0.0	26.1	4.7	37.4	75.9	86.9	141.5	####
12	2003	129.2	131.8	160.0	59.6	18.7	6.6	0.0	8.0	1.6	37.5	27.2	125.5	705.70
13	2004	172.6	191.0	80.4	47.0	7.6	8.2	4.2	12.0	51.6	28.9	92.4	98.4	794.30
14	2005	66.3	173.5	120.3	44.9	4.5	0.0	2.7	0.0	7.6	48.3	74.2	93.2	635.50
15	2006	151.2	120.6	92.8	99.0	3.3	5.7	0.0	10.3	23.3	45.5	111.3	106.0	769.00
16	2007	115.8	86.9	174.2	45.0	5.3	0.0	9.0	0.0	15.2	60.7	77.0	73.8	662.90
17	2008	137.3	133.5	117.9	21.6	7.0	0.7	0.6	0.6	2.6	84.1	61.6	149.0	716.50
18	2009	89.8	140.6	85.8	37.6	5.7	0.0	2.7	0.0	11.1	38.5	129.0	121.1	661.90
19	2010	161.0	95.8	118.0	48.4	2.6	0.0	0.0	5.7	2.4	62.8	46.6	125.1	668.40
20	2011	107.6	118.4	156.4	132.7	14.4	2.9	4.4	2.6	51.9	25.3	29.0	131.9	777.50
N° Datos		20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Media		134.33	134.56	127.92	58.57	10.48	1.70	3.92	5.90	20.45	53.17	77.33	109.95	738.26
Desv. Estandar		39.68	37.92	31.24	31.65	9.04	2.66	6.32	5.91	16.19	19.29	34.23	25.72	114.44
Coef. Variacion		0.30	0.28	0.24	0.54	0.86	1.57	1.61	1.00	0.79	0.36	0.44	0.23	0.16
Prec. Max.		226.70	205.20	176.90	132.70	32.90	8.20	26.10	19.50	51.90	92.20	136.40	149.00	226.70
Prec. Min.		66.30	63.00	80.40	15.50	0.00	0.00	0.00	0.00	1.60	24.40	25.20	53.60	0.00
Prec. 75%		107.56	108.98	106.85	37.22	4.38	0.00	0.00	1.92	9.52	40.16	54.23	92.60	661.07

Precipitación mensual (mm) de la estación Yauri.

REGISTRO HIDROMETEOROLOGICO														
PRECIPITACION TOTAL MENSUAL (mm)														
Estacion : YAURI		Latitud			14°48'	S	Departamento		Cusco					
		Longitud			71°25'	W	Provincia		Espinar					
		Altitud			3,940	msnm	Distrito		Yauri					
Tipo:	CO													
N°	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1	1992						0	0	45.3	1.2	59.9	75.6	35.0	217.00
2	1993	269.3	107.2	134.6	107.3	5.5	0	0.8	15	7.6	93.7	156.7	157.1	####
3	1994	205.0	221.6	189.3	56.6	16.7	0	0	0	22.2	13.1	66.4	100.6	891.50
4	1995	165.8	141.2	209.4	81.7	2.7	0	0	2.8	10.8	53.8	37.6	110.2	816.00
5	1996	160.2	187.8	109.3	104.1	16.2	0	0	20.3	13.6	29.0	51.1	104.9	796.50
6	1997	246.5	209.7	115.6	66.7	3.2	0	0	26.2	38.4	14.6	91.6	122.6	935.10
7	1998	217.1	150.4	89.8	13.8	0	2.5	0	3.6	0.8	43.6	54.1	50.2	625.90
8	1999	125.7	235.9	159.8	129.1	3.6	3.6	0	0	47.3	52.9	45.3	145.7	948.90
9	2000	160.7	83.4	155.8	38.5	4.2	5.6	0	12.7	6.2	78.5	26.8	168.3	740.70
10	2001	274.9	230.1	254.9	99.5	32	0.9	4.3	4.8	4.2	32.2	25.8	67.5	1031.10
11	2002	111.4	294.3	148.0	67.6	24.7	1	16.7	0	40.5	56.0	95.8	142.8	998.80
12	2003	171.1	236.0	195.1	36.9	5.7	0.8	0	5.5	34.8	11.1	73.4	131.4	901.80
13	2004	215.7	167.5	84.4	48.4	0	1.8	10.7	15.7	25	25.7	56.7	105.3	756.90
14	2005	113.9	176.5	123.2	43.1	1.1	0	0	15.3	5.6	55.9	41.9	162.2	738.70
15	2006	295.0	122.7	175.4	45.8	0.8	5.4	0	9.7	18.6	59.1	64.1	122.6	919.20
16	2007	129.7	133.6	108.1	58.6	4.6	0	3.4	0	16.3	36.3	43.5	117.7	651.80
17	2008	197.9	107.5	72.5	1.2	4.9	5.8	0	0	0.2	43.4	24.8	103.3	561.50
18	2009	102.0	164.6	102.2	44.5	5.5	0	1.4	0	2.0	51.1	176.1	133.9	783.30
19	2010	172.6	165.7	114.9	32.0	13.6	0	0	0	1.7	16.21	36.0	176.7	729.41
20	2011	127.0	248.2	138.8	73.7	10.0	0	1.9	10.6	36.1	16.9	74.9	137.6	875.70
N° Datos		19	19	19	19	19	20	20	20	20	20	20	20	20
Media		182.18	178.10	141.11	60.48	8.16	1.37	1.96	9.38	16.66	42.15	65.91	119.78	798.73
Desv. Estandar		59.01	56.47	47.44	32.93	8.77	2.07	4.31	11.56	15.40	22.65	40.16	37.41	192.03
Coef. Variacion		0.32	0.32	0.34	0.54	1.07	1.51	2.20	1.23	0.92	0.54	0.61	0.31	0.24
Prec. Max.		295.00	294.30	254.90	129.10	32.00	5.80	16.70	45.30	47.30	93.70	176.10	176.70	295.00
Prec. Min.		102.00	83.40	72.50	1.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	11.10	24.80	35.00	0.00
Prec. 75%		142.38	140.01	109.11	38.27	2.24	0.00	0.00	1.58	6.27	26.87	38.82	94.55	669.21

2. Registro históricos de precipitación completados periodos 1992-2011.

Precipitación mensual (mm) completado de la estación Pomacanchi

REGISTRO HIDROMETEOROLOGICO														
PRECIPITACION TOTAL MENSUAL (mm)														
Estacion : POMACANCHI		Latitud		14°01'	S	Departamento		Cusco						
		Longitud		71°34'	W	Provincia		Acomayo						
Tipo:		Altitud		3,700	msnm	Distrito		Pomacanchi						
		CO												
N°	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1	1992	142.00	90.50	96.00	76.00	22.00	0.00	0.00	15.50	6.50	92.30	89.00	73.00	702.80
2	1993	198.80	134.00	102.50	26.50	5.00	2.00	6.00	12.00	16.50	87.00	77.00	186.70	854.00
3	1994	166.00	154.50	125.00	47.50	5.50	0.00	0.00	1.00	24.50	66.50	88.00	116.50	795.00
4	1995	133.00	108.50	127.00	37.00	13.50	0.00	5.50	1.50	36.00	9.00	120.00	161.00	752.00
5	1996	200.50	91.50	114.60	55.50	17.00	0.00	0.00	28.80	32.30	108.00	79.50	158.00	885.70
6	1997	191.00	194.00	190.50	23.00	16.00	0.00	5.00	12.50	7.50	83.00	135.80	79.00	937.30
7	1998	141.00	130.30	136.80	17.50	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	72.00	104.50	115.00	718.10
8	1999	173.50	140.60	84.20	93.30	9.20	0.00	1.60	0.00	19.10	34.40	40.70	106.30	702.90
9	2000	119.20	184.20	112.00	30.60	7.50	14.80	6.00	16.10	22.50	92.30	41.30	138.10	784.60
10	2001	246.00	159.60	180.90	45.20	15.70	3.30	21.30	15.80	18.90	84.00	81.30	198.30	1070.30
11	2002	128.00	236.10	174.20	69.00	13.70	0.60	27.80	17.30	62.30	65.50	108.40	121.90	1024.80
12	2003	167.20	164.40	150.60	63.50	16.40	8.70	0.00	6.00	17.10	64.40	50.20	110.00	818.50
13	2004	260.90	175.40	81.50	51.20	25.40	10.20	8.90	16.90	71.50	57.20	67.20	164.00	990.30
14	2005	85.80	130.00	148.00	52.00	2.10	0.00	0.20	4.30	2.60	74.20	101.50	105.70	706.40
15	2006	163.70	232.30	95.60	140.60	1.10	11.10	0.00	7.30	4.30	80.20	101.30	149.30	986.80
16	2007	172.60	175.60	226.50	77.60	14.10	0.00	4.80	0.00	4.00	52.50	99.70	102.70	930.10
17	2008	158.60	140.80	128.30	33.70	12.90	4.40	0.00	3.70	17.00	77.90	78.30	129.70	785.30
18	2009	136.70	105.60	80.50	41.80	8.60	0.00	19.10	0.00	11.00	18.20	202.50	111.10	735.10
19	2010	292.10	88.40	116.60	53.80	2.40	0.00	0.00	12.80	5.30	58.90	42.10	156.70	829.10
20	2011	119.10	151.80	135.70	60.20	9.30	4.70	7.10	8.90	57.10	50.90	42.80	189.70	837.30
N° Datos	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Media	169.79	149.41	130.35	54.78	10.87	2.99	5.67	9.02	21.85	66.42	87.56	133.64	842.32	
Desv. Estandar	51.04	42.66	39.15	28.10	6.99	4.59	8.05	7.96	20.54	24.83	38.64	35.70	114.44	
Coef. Variacion	0.30	0.29	0.30	0.51	0.64	1.53	1.42	0.88	0.94	0.37	0.44	0.27	0.14	
Prec. Max.	292.10	236.10	226.50	140.60	25.40	14.80	27.80	28.80	71.50	108.00	202.50	198.30	292.10	
Prec. Min.	85.80	88.40	80.50	17.50	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	9.00	40.70	73.00	0.00	
Prec. 75%	135.36	120.63	103.95	35.82	6.15	0.00	0.23	3.65	8.00	49.67	61.49	109.56	765.13	

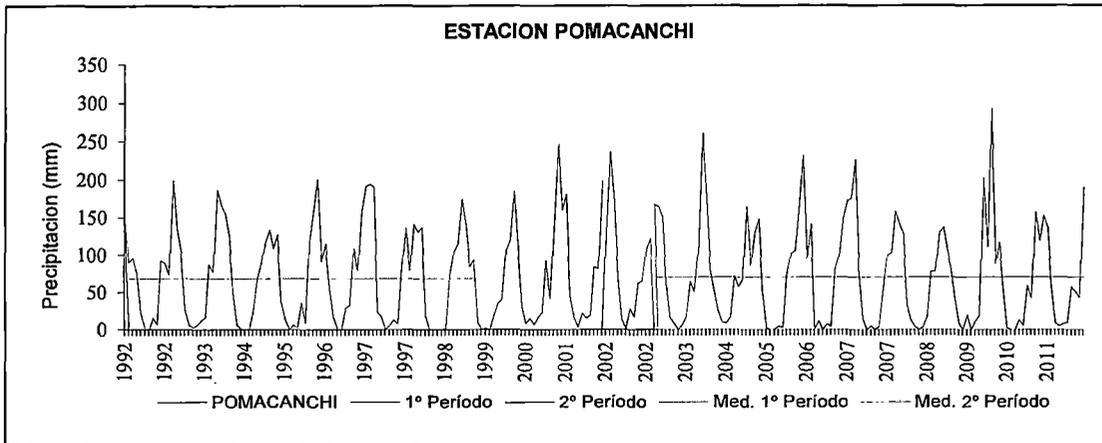
Precipitación mensual (mm) completado de la estación Sicuani.

REGISTRO HIDROMETEOROLOGICO														
PRECIPITACION TOTAL MENSUAL (mm)														
Estacion : SICUANI		Latitud		14°17'	S	Departamento		Cusco						
		Longitud		71°13'	W	Provincia		Canchis						
Tipo:		Altitud		3,550	msnm	Distrito		Sicuani						
CO-759														
Nº	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1	1992	99.2	63.0	118.6	49.6	15.2	0.0	0.0	19.5	19.1	62.8	96.8	53.6	597.42
2	1993	163.0	87.1	116.2	57.4	0.0	1.2	2.0	9.8	26.7	66.0	136.4	114.1	779.90
3	1994	126.4	142.4	128.4	72.9	18.8	0.3	0.0	1.2	9.3	50.5	81.0	127.4	758.60
4	1995	107.4	101.1	131.3	72.5	3.1	1.2	2.8	0.0	16.6	36.0	92.7	114.6	679.30
5	1996	121.3	112.0	155.5	42.7	16.3	0.0	0.0	12.0	24.5	54.2	61.6	115.7	715.80
6	1997	226.7	173.8	176.9	49.9	3.5	0.0	5.2	15.2	8.9	45.1	135.5	64.6	905.30
7	1998	102.3	131.0	97.8	15.5	0.0	0.0	0.0	4.2	1.7	92.2	67.4	89.2	601.30
8	1999	131.4	145.4	83.4	77.7	17.6	0.0	0.3	0.0	44.1	24.4	38.5	127.2	690.00
9	2000	110.4	180.0	121.9	15.6	7.2	6.0	4.4	1.7	18.6	76.4	25.2	92.6	660.00
10	2001	213.0	158.1	176.9	55.3	25.9	1.2	13.9	10.5	34.7	48.3	76.2	134.4	948.40
11	2002	154.7	205.2	145.7	126.4	32.9	0.0	26.1	4.7	37.4	75.9	86.9	141.5	1037.40
12	2003	129.2	131.8	160.0	59.6	18.7	6.6	0.0	8.0	1.6	37.5	27.2	125.5	705.70
13	2004	172.6	191.0	80.4	47.0	7.6	8.2	4.2	12.0	51.6	28.9	92.4	98.4	794.30
14	2005	66.3	173.5	120.3	44.9	4.5	0.0	2.7	0.0	7.6	48.3	74.2	93.2	635.50
15	2006	151.2	120.6	92.8	99.0	3.3	5.7	0.0	10.3	23.3	45.5	111.3	106.0	769.00
16	2007	115.8	86.9	174.2	45.0	5.3	0.0	9.0	0.0	15.2	60.7	77.0	73.8	662.90
17	2008	137.3	133.5	117.9	21.6	7.0	0.7	0.6	0.6	2.6	84.1	61.6	149.0	716.50
18	2009	89.8	140.6	85.8	37.6	5.7	0.0	2.7	0.0	11.1	38.5	129.0	121.1	661.90
19	2010	161.0	95.8	118.0	48.4	2.6	0.0	0.0	5.7	2.4	62.8	46.6	125.1	668.40
20	2011	107.6	118.4	156.4	132.7	14.4	2.9	4.4	2.6	51.9	25.3	29.0	131.9	777.50
Nº Datos	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Media	134.33	134.56	127.92	58.57	10.48	1.70	3.92	5.90	20.45	53.17	77.33	109.95	738.26	738.26
Desv. Estandar	39.68	37.92	31.24	31.65	9.04	2.66	6.32	5.91	16.19	19.29	34.23	25.72	114.44	114.44
Coef. Variacion	0.30	0.28	0.24	0.54	0.86	1.57	1.61	1.00	0.79	0.36	0.44	0.23	0.16	0.16
Prec. Max.	226.70	205.20	176.90	132.70	32.90	8.20	26.10	19.50	51.90	92.20	136.40	149.00	226.70	226.70
Prec. Min.	66.30	63.00	80.40	15.50	0.00	0.00	0.00	0.00	1.60	24.40	25.20	53.60	0.00	0.00
Prec. 75%	107.56	108.98	106.85	37.22	4.38	0.00	0.00	1.92	9.52	40.16	54.23	92.60	661.07	661.07

Precipitación mensual (mm) completado de la estación Yauri.

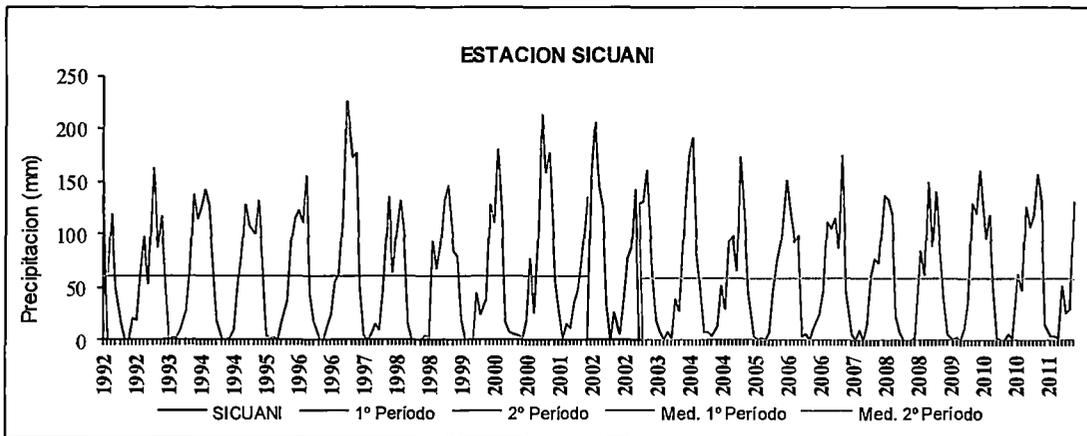
REGISTRO HIDROMETEOROLOGICO														
PRECIPITACION TOTAL MENSUAL (mm)														
Estación : YAURI		Latitud		14°48'	S	Departamento		Cusco						
		Longitud		71°25'	W	Provincia		Espinar						
		Tipo:		CO	Altitud	3,940	msnm	Distrito		Yauri				
N°	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1	1992	186.0	105.0	129.0	54.0	11.0	0	0	45.3	1.2	59.9	75.6	35.0	702.00
2	1993	269.3	107.2	134.6	107.3	5.5	0	0.8	15	7.6	93.7	156.7	157.1	1054.80
3	1994	205.0	221.6	189.3	56.6	16.7	0	0	0	22.2	13.1	66.4	100.6	891.50
4	1995	165.8	141.2	209.4	81.7	2.7	0	0	2.8	10.8	53.8	37.6	110.2	816.00
5	1996	160.2	187.8	109.3	104.1	16.2	0	0	20.3	13.6	29.0	51.1	104.9	796.50
6	1997	246.5	209.7	115.6	66.7	3.2	0	0	26.2	38.4	14.6	91.6	122.6	935.10
7	1998	217.1	150.4	89.8	13.8	0	2.5	0	3.6	0.8	43.6	54.1	50.2	625.90
8	1999	125.7	235.9	159.8	129.1	3.6	3.6	0	0	47.3	52.9	45.3	145.7	948.90
9	2000	160.7	83.4	155.8	38.5	4.2	5.6	0	12.7	6.2	78.5	26.8	168.3	740.70
10	2001	274.9	230.1	254.9	99.5	32	0.9	4.3	4.8	4.2	32.2	25.8	67.5	1031.10
11	2002	111.4	294.3	148.0	67.6	24.7	1	16.7	0	40.5	56.0	95.8	142.8	998.80
12	2003	171.1	236.0	195.1	36.9	5.7	0.8	0	5.5	34.8	11.1	73.4	131.4	901.80
13	2004	215.7	167.5	84.4	48.4	0	1.8	10.7	15.7	25	25.7	56.7	105.3	756.90
14	2005	113.9	176.5	123.2	43.1	1.1	0	0	15.3	5.6	55.9	41.9	162.2	738.70
15	2006	295.0	122.7	175.4	45.8	0.8	5.4	0	9.7	18.6	59.1	64.1	122.6	919.20
16	2007	129.7	133.6	108.1	58.6	4.6	0	3.4	0	16.3	36.3	43.5	117.7	651.80
17	2008	197.9	107.5	72.5	1.2	4.9	5.8	0	0	0.2	43.4	24.8	103.3	561.50
18	2009	102.0	164.6	102.2	44.5	5.5	0	1.4	0	2.0	51.1	176.1	133.9	783.30
19	2010	172.6	165.7	114.9	32.0	13.6	0	0	0	1.7	16.21	36.0	176.7	729.41
20	2011	127.0	248.2	138.8	73.7	10.0	0	1.9	10.6	36.1	16.9	74.9	137.6	875.70
N° Datos	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Media	182.38	174.45	140.51	60.16	8.30	1.37	1.96	9.38	16.66	42.15	65.91	119.78	822.98	
Desv. Estandar	57.44	57.35	46.26	32.09	8.56	2.07	4.31	11.56	15.40	22.65	40.16	37.41	137.61	
Coef. Variacion	0.31	0.33	0.33	0.53	1.03	1.51	2.20	1.23	0.92	0.54	0.61	0.31	0.17	
Prec. Max.	295.00	294.30	254.90	129.10	32.00	5.80	16.70	45.30	47.30	93.70	176.10	176.70	295.00	
Prec. Min.	102.00	83.40	72.50	1.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	11.10	24.80	35.00	0.00	
Prec. 75%	143.63	135.76	109.30	38.51	2.53	0.00	0.00	1.58	6.27	26.87	38.82	94.55	730.16	

3. Análisis de salto de las 3 estaciones completados periodo (1992-2011).



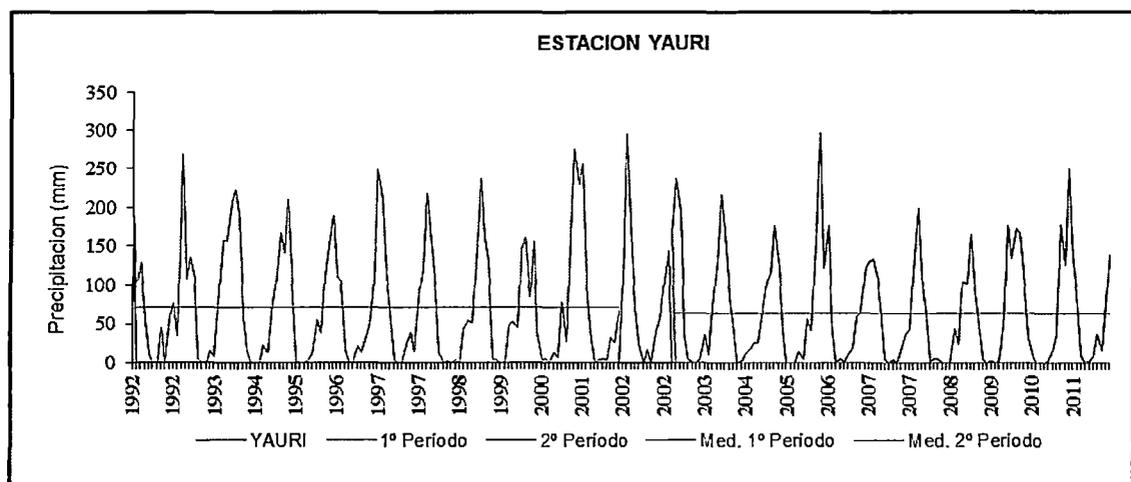
Análisis estadístico de saltos estación Pomacanchi

Estación: Pomacanchi		Código: V6CJOX		Cuenca: Vilcanota					
Periodos	N	Media	Desv. Est.	Prueba estadística 95%			Cambios		
				Tc	Tt	Fc	Ft	Medi a	Desv. Est.
1992-2002	120	68.3558	64.3435	0.24832	1.9600	1.1423	1.3693	No	No
2003-2011	108	70.5454	68.7684						



Análisis estadístico de saltos estación Sicuani.

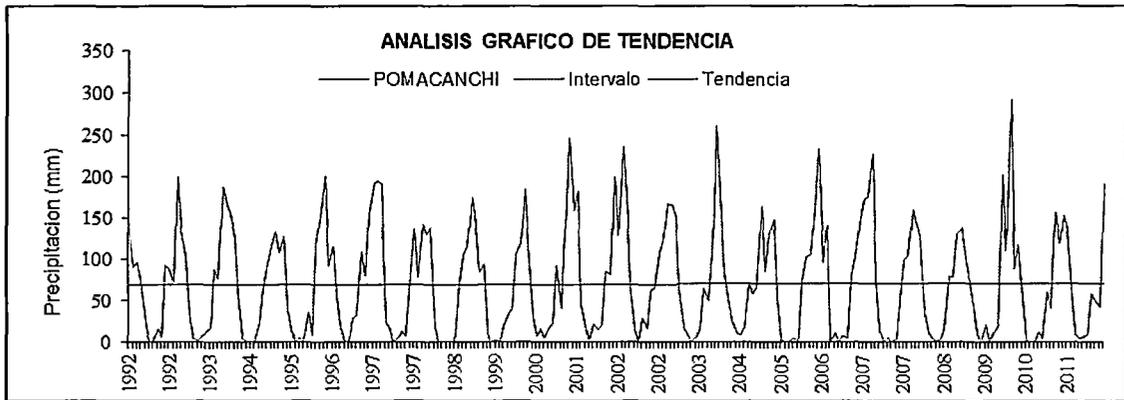
Estación: SICUANI		Código: 1560102		Cuenca: Vilcanota					
Periodos	N	Media	Desv. Est.	Prueba Estadística 95%			Cambios		
				Tc	Tt	Fc	Ft	Media	Desv. Est.
1992-2002	120	61.1335	57.3597	0.25941	1.9600	1.0504	1.377	No	No
2003-2011	108	59.1824	55.9673						



Análisis estadístico de saltos estación Yauri.

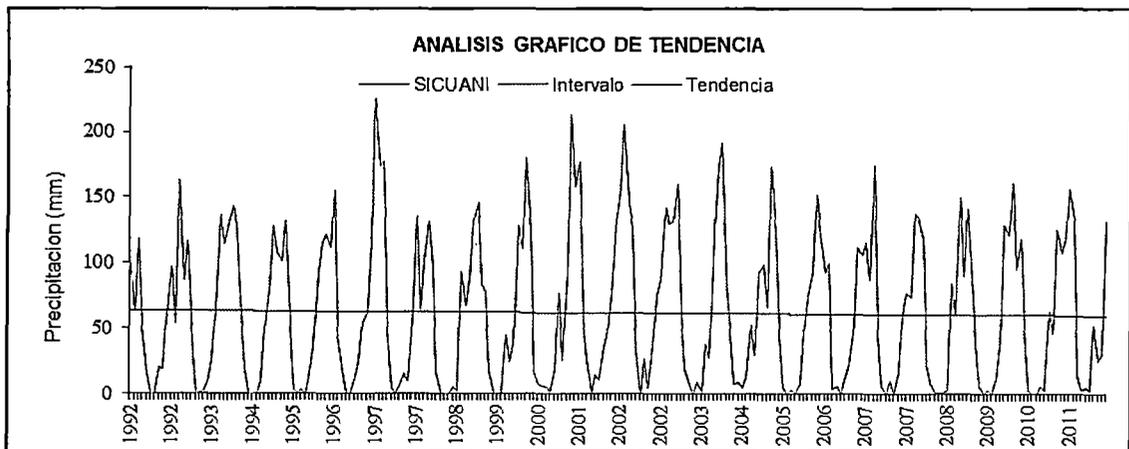
Estación: YAURI		Código: V9VFOX		Cuenca: Vilcanota					
Periodos	N	Media	Desv. Est.	Prueba Estadística 95%			Cambios		
				Tc	Tt	Fc	Ft	Media	Desv. Est.
1992-2002	120	71.1875	75.6701	0.73504	1.96	1.1625	1.3773	No	No
2003-2011	108	64.0584	70.1816						

4. Análisis tendencia de las 3 estaciones completados periodo (1992-2011).



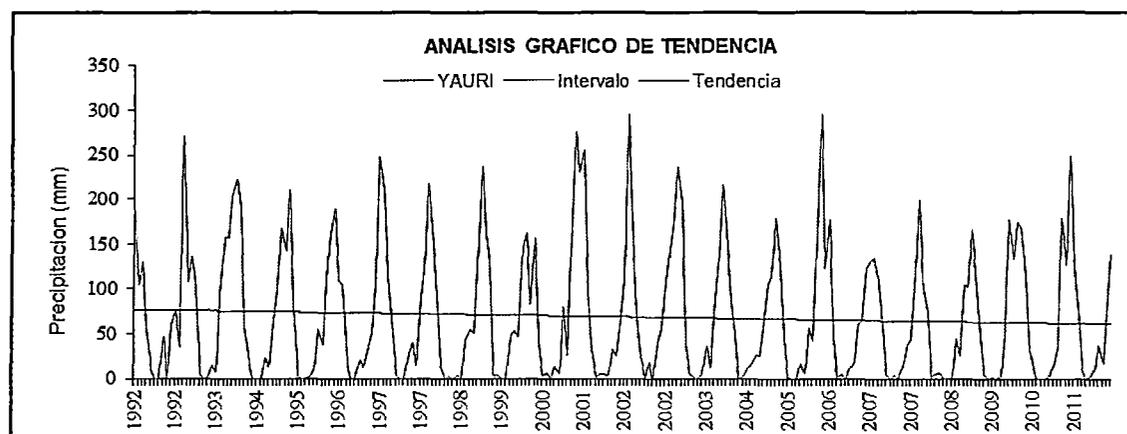
Análisis estadístico de tendencia estación Pomacanchi.

Estación: POMACANCHI			Código: 156328			Cuenca: Vilcanota			
TENDENCIA	N	Media	Desv. Estan.	Coefic. Correl. Regr.	Coef.Ecua. Regr.		Estadística 95%		Análisis
					Am	Bm	Tc	Tt	
Media	228	70.4557	67.0527	-0.012	71.8300	-0.0120	0.1800	1.9600	No
Des. Est	20	93.280	22.7757	0.1390	87.6410	0.5350	0.5960	2.1009	No



Análisis estadístico de tendencia estación Sicuani.

Estación: SICUANI			Código: 150102				Cuenca: Vilcanota		
TENDENCIA	N	Media	Desv. Estan.	Coefic. Correl. Regr.	Coef.Ecu. Regr.		Estadística 95%		Análisis
					Am	Bm	Tc	Tt	
Media	240	61.5213	57.3046	-0.017	63.2080	-0.0140	0.2620	1.9600	No
Des. Est	20	87.9040	22.6578	0.0880	84.3660	0.3370	0.3750	2.1009	No

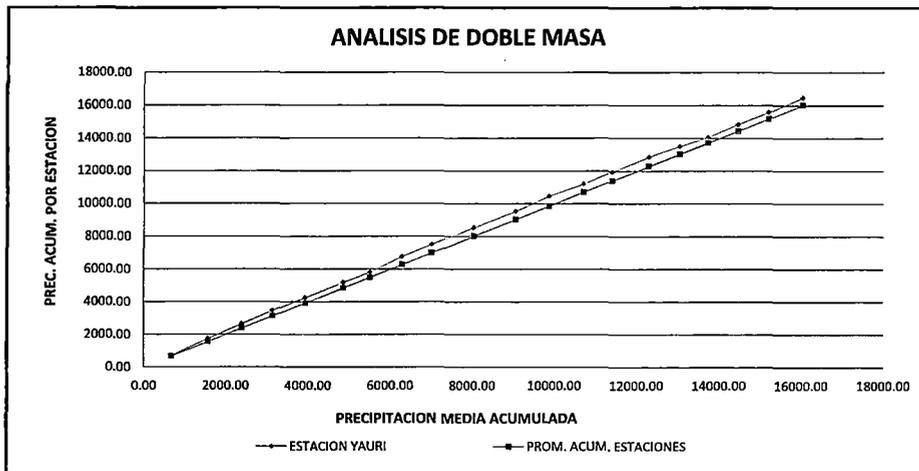
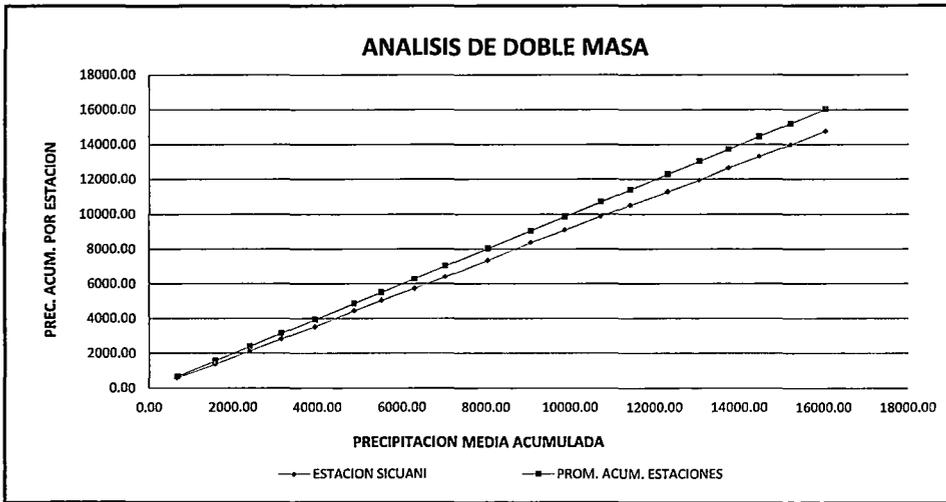
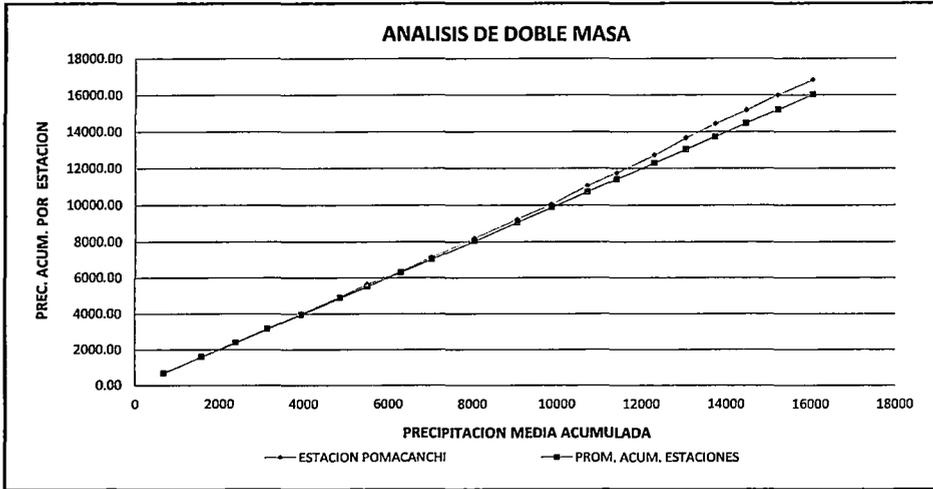


Análisis estadístico de tendencia estación Yauri.

Estación: YAURI			Código: V9UFOX				Cuenca: Vilcanota		
TENDENCIA	N	Media	Desv. Estan.	Coefic. Correl. Regr.	Coef.Ecu. Regr.		Estadística 95%		Análisis
					Am	Bm	Tc	Tt	
Media	240	68.5817	73.5135	-0.063	76.6550	-0.0670	0.9740	1.9600	No
Des. Est	20	101.768	22.4009	0.0040	101.6110	0.0150	0.0170	2.1009	No

5. Análisis doble masa de 3 estaciones completados periodo (1992-2011).

ITEM	POMACANCHI		SICUANI		YAURI		PROMEDIO	
	Precp.	Prec. Acum.	Precp.	Prec. Acum.	Precp.	Prec. Acum.	Precp.	Prec. Acum.
1	702.80	702.80	597.42	597.42	702.00	702.00	667.41	667.41
2	854.00	1556.80	779.90	1377.32	1054.80	1756.80	896.23	1563.64
3	795.00	2351.80	758.60	2135.92	891.50	2648.30	815.03	2378.67
4	752.00	3103.80	679.30	2815.22	816.00	3464.30	749.10	3127.77
5	885.70	3989.50	715.80	3531.02	796.50	4260.80	799.33	3927.11
6	937.30	4926.80	905.30	4436.32	935.10	5195.90	925.90	4853.01
7	718.10	5644.90	601.30	5037.62	625.90	5821.80	648.43	5501.44
8	702.90	6347.80	690.00	5727.62	948.90	6770.70	780.60	6282.04
9	784.60	7132.40	660.00	6387.62	740.70	7511.40	728.43	7010.47
10	1070.30	8202.70	948.40	7336.02	1031.10	8542.50	1016.60	8027.07
11	1024.80	9227.50	1037.40	8373.42	998.80	9541.30	1020.33	9047.41
12	818.50	10046.00	705.70	9079.12	901.80	10443.10	808.67	9856.07
13	990.30	11036.30	794.30	9873.42	756.90	11200.00	847.17	10703.24
14	706.40	11742.70	635.50	10508.92	738.70	11938.70	693.53	11396.77
15	986.80	12729.50	769.00	11277.92	919.20	12857.90	891.67	12288.44
16	930.10	13659.60	662.90	11940.82	651.80	13509.70	748.27	13036.71
17	785.30	14444.90	716.50	12657.32	561.50	14071.20	687.77	13724.47
18	735.10	15180.00	661.90	13319.22	783.30	14854.50	726.77	14451.24
19	829.10	16009.10	668.40	13987.62	729.41	15583.91	742.30	15193.54
20	837.30	16846.40	777.50	14765.12	875.70	16459.61	830.17	16023.71



6. Regionalización de precipitación mensual por microcuencas.

Regionalización de precipitación mensual (mm) para la microcuenca Chilcamayo.

ESTACION:	Chilcamayo	COORDENADAS			LAT:	LONG:	ALT:	UBICACIÓN					Depart.	Prov.	Distr.
TIPO:	CO				13° 51'	71° 12'	4822.75						Cusco	Canchis	Pitumarca
ITEM	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL	
1	1992	165.09	102.37	142.28	77.22	21.91	0.00	0.00	28.07	14.57	94.12	115.44	74.26	835.3	
2	1993	246.95	138.32	145.21	67.99	3.57	1.69	4.29	14.63	25.24	100.13	148.82	190.04	1086.9	
3	1994	196.58	203.55	174.37	77.24	17.01	0.17	0.00	1.19	21.95	64.86	103.90	151.84	1012.7	
4	1995	161.38	140.70	181.07	76.84	9.01	0.70	4.35	1.30	29.60	36.18	120.17	168.27	929.6	
5	1996	201.67	147.98	169.01	73.10	21.13	0.00	0.00	25.27	32.93	90.68	85.35	166.37	1013.5	
6	1997	275.65	238.95	220.20	53.77	10.58	0.00	5.50	20.27	16.57	70.16	164.28	101.15	1177.1	
7	1998	172.62	170.71	142.46	20.43	0.00	0.50	0.00	3.17	1.64	97.97	101.66	118.76	829.9	
8	1999	187.33	201.29	122.11	117.14	15.51	0.72	0.96	0.00	44.58	41.78	51.58	155.72	938.7	
9	2000	155.30	232.46	157.46	31.89	8.74	11.92	5.52	11.48	23.18	105.77	40.43	155.78	939.9	
10	2001	300.50	216.91	243.34	74.43	29.24	2.51	19.47	14.87	30.38	76.04	89.68	189.67	1287.0	
11	2002	175.58	294.95	200.46	121.21	30.87	0.50	32.27	11.28	60.64	87.75	123.29	171.16	1310.0	
12	2003	192.02	205.14	206.57	73.44	20.13	8.30	0.00	8.72	16.33	55.85	55.31	153.69	995.5	
13	2004	266.64	231.35	103.95	62.33	16.96	10.17	8.98	18.47	70.35	50.21	98.34	159.33	1097.1	
14	2005	103.76	200.55	167.77	60.44	3.88	0.00	1.67	5.18	6.83	75.94	101.70	138.91	866.6	
15	2006	227.90	209.45	136.34	136.23	2.63	9.88	0.00	11.54	19.42	77.91	127.66	159.97	1118.9	
16	2007	178.59	164.02	234.89	76.24	10.97	0.00	8.29	0.00	14.09	68.53	102.77	117.23	975.6	
17	2008	197.86	168.77	146.51	33.46	11.42	3.74	0.35	1.88	9.94	96.12	79.49	171.38	920.9	
18	2009	140.19	166.96	110.16	51.44	8.67	0.00	11.28	0.00	12.30	41.63	210.32	152.17	905.1	
19	2010	272.49	132.59	149.28	61.15	5.42	0.00	0.00	9.64	4.35	68.89	55.13	185.57	944.5	
20	2011	146.87	193.55	185.86	121.76	14.98	4.01	6.45	8.03	65.64	43.24	53.00	197.99	1041.4	
Nro. DATOS	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.0	
MEDIA	198.25	188.03	166.96	73.39	13.13	2.74	5.47	9.75	26.03	72.19	101.42	153.96	1011.3		
DESV.STD	44.95	51.14	34.82	27.63	9.20	3.66	9.50	9.04	14.59	22.26	36.44	33.43	151.5		
C.V.	0.23	0.27	0.21	0.38	0.70	1.34	1.74	0.93	0.56	0.31	0.36	0.22	0.1		
PRECIP.AL 75 % PERSISTENCIA	167.93	153.54	143.48	54.75	6.92	0.27	0.00	3.65	16.19	57.17	76.84	131.42	909.1		
P.MINIMA	103.76	102.37	103.95	20.43	0.00	0.00	0.00	0.00	1.64	36.18	40.43	74.26	829.9		
P.MAXIMA	300.50	294.95	243.34	136.23	30.87	11.92	32.27	28.07	70.35	105.77	210.32	197.99	1310.0		

Regionalización de precipitación mensual (mm) para la microcuenca Yanamayo.

ESTACION:	Yanamayo	COORDENADAS			LAT:		LONG:		ALT:	4756.96	UBICACIÓN			Depart.	Cusco	Prov.	Canchis	Distr.	Pitumarca
TIPO:	CO				13° 57'	71° 11'													
ITEM	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL					
1	1992	160.23	99.49	143.40	75.08	21.45	0.00	0.00	27.87	15.74	91.84	116.08	73.00	824.2					
2	1993	242.09	134.32	145.56	69.23	3.11	1.64	4.01	14.36	26.22	97.95	152.39	183.71	1074.6					
3	1994	192.01	200.92	173.22	79.14	17.95	0.20	0.00	1.22	20.60	64.18	103.40	152.71	1005.6					
4	1995	158.22	139.19	179.68	79.06	8.25	0.80	4.19	1.14	28.24	37.74	118.75	164.64	919.9					
5	1996	194.91	147.87	172.31	71.01	21.03	0.00	0.00	23.87	32.48	87.03	84.04	163.14	997.7					
6	1997	277.25	236.37	219.73	55.29	9.66	0.00	5.58	20.23	16.15	67.78	164.61	98.94	1171.6					
7	1998	167.58	170.06	139.47	20.27	0.00	0.46	0.00	3.47	1.70	99.99	98.99	117.28	819.3					
8	1999	183.98	199.70	120.53	114.92	16.31	0.66	0.87	0.00	46.22	40.50	51.19	156.55	931.4					
9	2000	153.49	231.58	157.26	30.37	8.74	11.27	5.47	10.24	23.05	104.35	39.15	150.93	925.9					
10	2001	296.44	215.13	241.22	74.26	29.80	2.36	19.05	14.55	31.94	73.57	89.93	185.76	1274.0					
11	2002	177.80	290.60	197.93	126.01	32.31	0.44	32.22	10.43	58.67	88.62	121.32	172.15	1308.5					
12	2003	188.18	200.63	206.20	73.37	20.46	8.22	0.00	8.89	14.65	54.23	52.78	154.35	981.9					
13	2004	258.13	232.32	103.57	61.87	15.78	10.11	8.52	18.02	69.20	48.12	100.50	154.16	1080.3					
14	2005	101.35	203.15	165.36	59.83	4.10	0.00	1.89	4.61	7.21	73.79	100.04	136.57	857.9					
15	2006	224.13	200.95	134.47	133.81	2.82	9.48	0.00	11.74	20.81	75.03	128.85	156.23	1098.3					
16	2007	173.89	156.53	231.70	73.51	10.32	0.00	8.67	0.00	14.84	69.36	101.45	114.17	954.5					
17	2008	194.89	168.29	146.17	32.52	11.01	3.38	0.40	1.71	8.93	97.01	78.72	173.13	916.2					
18	2009	136.31	168.69	110.02	50.91	8.44	0.00	10.10	0.00	12.42	42.79	203.81	152.33	895.8					
19	2010	262.29	131.67	149.09	60.89	5.24	0.00	0.00	9.20	4.15	69.78	55.50	182.04	929.9					
20	2011	145.40	188.60	187.20	127.64	15.38	3.92	6.28	7.43	65.37	41.45	51.14	193.31	1033.1					
Nro.DATOS	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20					
MEDIA	194.43	185.80	166.20	73.45	13.11	2.65	5.36	9.45	25.93	71.26	100.63	151.76	1000.0						
DESV.STD	45.23	50.82	34.55	28.24	9.62	3.51	9.45	8.82	14.48	21.99	37.26	32.80	153.1						
C.V.	0.23	0.27	0.21	0.38	0.73	1.33	1.76	0.93	0.56	0.31	0.37	0.22	0.2						
PRECIP.AL 75 % PERSISTENCIA	163.92	151.53	142.90	54.40	6.62	0.28	0.00	3.50	16.16	56.42	75.50	129.63	896.8						
P.MINIMA	101.35	99.49	103.57	20.27	0.00	0.00	0.00	0.00	1.70	37.74	39.15	73.00	819.3						
P.MAXIMA	296.44	290.60	241.22	133.81	32.31	11.27	32.22	27.87	69.20	104.35	203.81	193.31	1308.5						

Regionalización de precipitación mensual (mm) para la microcuenca Pitumarca.

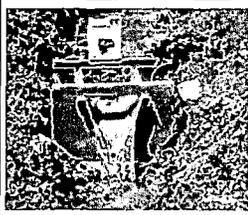
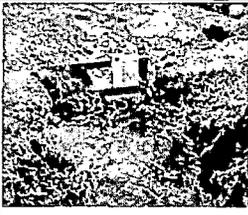
ESTACION:	Pitumarca	COORDENADAS					LAT:	LONG:	ALT:	UBICACIÓN				Depart.	Prov.	Distr.
TIPO:	CO						14° 37'	70° 47'	4120					Cusco	Canchis	Pitumarca
ITEM	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL		
1	1992	150.22	93.77	124.61	72.60	20.74	0.00	0.00	23.65	12.26	88.50	103.70	70.02	760.1		
2	1993	222.11	129.48	128.04	55.10	3.61	1.67	4.41	13.22	22.20	91.53	125.39	178.29	975.1		
3	1994	178.47	181.21	153.78	66.90	13.69	0.13	0.00	1.10	21.13	61.93	94.93	136.27	909.5		
4	1995	145.89	125.75	158.96	64.19	9.44	0.53	4.37	1.24	29.32	28.35	113.92	157.38	839.3		
5	1996	189.76	127.25	148.71	64.76	19.09	0.00	0.00	24.50	31.06	89.43	79.45	155.42	929.4		
6	1997	242.47	215.90	202.30	44.21	11.11	0.00	5.14	17.41	13.48	69.18	149.60	90.33	1061.1		
7	1998	155.29	152.59	133.38	18.69	0.00	0.34	0.00	2.34	1.43	87.57	96.68	111.71	760.0		
8	1999	174.02	176.56	106.68	105.14	13.47	0.50	1.05	0.00	36.77	37.63	46.37	136.57	834.8		
9	2000	138.63	209.40	138.89	29.62	8.02	11.85	5.36	11.69	21.86	97.03	38.33	142.65	853.3		
10	2001	271.77	192.18	216.01	63.78	24.74	2.53	18.85	14.29	26.59	73.58	83.40	181.48	1169.2		
11	2002	156.30	265.37	183.77	104.17	25.66	0.48	29.62	11.94	57.56	78.41	113.21	151.35	1177.8		
12	2003	175.71	184.20	183.06	67.49	18.35	7.97	0.00	7.69	15.26	54.75	50.70	135.97	901.1		
13	2004	250.00	207.01	93.43	56.52	17.84	9.67	8.40	17.08	66.90	48.88	86.72	151.31	1013.8		
14	2005	93.76	174.66	154.25	55.32	3.32	0.00	1.30	4.56	5.59	71.25	96.28	123.58	783.9		
15	2006	200.44	202.44	119.46	130.02	2.19	9.58	0.00	10.02	15.24	73.89	115.50	148.63	1027.4		
16	2007	167.21	156.78	220.63	72.12	11.01	0.00	7.16	0.00	11.20	61.61	96.70	107.23	911.6		
17	2008	178.05	153.77	134.96	31.64	11.11	3.62	0.26	2.03	10.87	87.35	75.15	153.54	842.4		
18	2009	131.49	144.65	97.68	46.49	8.17	0.00	12.28	0.00	11.43	34.32	196.47	135.01	818.0		
19	2010	261.18	115.33	134.17	56.36	4.38	0.00	0.00	9.81	4.31	63.41	49.44	168.69	867.1		
20	2011	132.70	172.80	165.22	102.75	13.01	3.96	6.25	7.68	60.34	42.49	47.48	185.13	939.8		
Nro.DATOS	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20		
MEDIA	180.77	169.06	149.90	65.39	11.95	2.64	5.22	9.01	23.74	67.05	92.97	141.03	918.74			
DESV.STD	46.52	39.79	35.64	26.96	7.21	3.80	7.40	7.54	18.28	20.15	37.43	28.86	118.3			
C.V.	0.26	0.24	0.24	0.41	0.60	1.44	1.42	0.84	0.77	0.30	0.40	0.20	0.1			
PRECIP.AL 75 % PERSISTENCIA	149.40	142.22	125.86	47.21	7.08	0.08	0.23	3.93	11.41	53.46	67.72	121.56	838.9			
P.MINIMA	93.76	93.77	93.43	18.69	0.00	0.00	0.00	0.00	1.43	28.35	38.33	70.02	760.0			
P.MAXIMA	271.77	265.37	220.63	130.02	25.66	11.85	29.62	24.50	66.90	97.03	196.47	185.13	1177.8			

7. Relacion de estaciones base para las ecuaciones de influencia de la subcuena en estudio.

COD.	Estación	Latitud				Longitud				Altitud	Precip.	Factores de corrección altitudinal (ai)			Factor influencia geográfica (bi)		
		°	'	"		°	'	"		Media	Media	Chilcamayo	Yanamayo	Pitumarca	Chilcamayo	Yanamayo	Pitumarca
	<u>ESTACIONES BASE (Ei)</u>																
E2	SICUANI	14	14	0	14.23	71	14	0	71.23	3,574.00	737.71	1.37	1.36	1.25	0.42	0.49	0.35
E3	YAURI	14	49	0	14.82	71	25	0	71.42	3,927.00	828.99	1.22	1.21	1.11	0.16	0.15	0.12
E4	POMACANCHI	14	1	0	14.02	71	34	0	71.57	3,700.00	842.28	1.20	1.19	1.09	0.41	0.35	0.52
	<u>ESTACIONES EN ESTUDIO (E.E.i)</u>																
												ECUACIONES DE PRECIPITACION DE LAS ESTACIONES EN ESTUDIO EN FUNCION DE LAS ESTACIONES BASE (E.E.i = ai x bi x Ei)					
Rep1	CHILCAMAYO	13	51	14	13.85	71	12.0	32	71.21	4,822.75	1,011.31	CHILCAMAYO	0.58	0.20	0.49		
Rep2	YANAMAYO	13	57	56	13.97	71	11.0	35	71.19	4,756.96	1,000.02	YANAMAYO	0.67	0.18	0.42		
Rep3	PITUMARCA	13	57	58.1	13.97	71	22	15	71.37	4,304.94	918.74	PITUMARCA	0.44	0.14	0.57		
													x E1	x E2	+	x E3	+

FICHAS TECNICAS

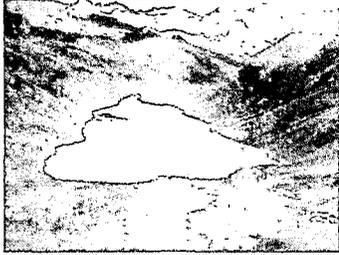
1. Ficha técnica de inventario de manantes.

FICHA TECNICA DE MANANTE								
MANANTE	Muyoc Sora				WAYPOINT	21	FECHA	12/04/2010
DEPARTAMENTO	PROVINCIA	DISTRITO	COMUNIDAD	CENTRO POBLADO	ANEXO	SECTOR		
Cusco	Canchis	Pitumarca	Pitumarca			Quehna		
CUENCA	SUB CUENCA	MICROCUENCA	ZONA	ESTE	NORTE	ALTITUD	ERROR: ±	
Vilcanota	Pitumarca	Quehna	19 L	245170	8449917	4641	7	
TIPO DE USO	TIPO DE AFORO	CAUDAL l/s	BENEFICIA AL SECTOR:			VEGETACION PREDOMINANTE		
			POBLACIONAL (N° de familias)	AGRICOLA (area bajo riego ha)	PECUARIO (N° de ganados)			
Pe	RBC	1.50	5		1200 Camellidos	Pastos naturales de la zona		
POTENCIALIDAD	Riego tecnificado de pastos naturales, se tiene un area regable de 20 has. Aproximadamente							
DATOS DE AFORO								
METODO VOLUMETRICO			METODO DEL FLOTADOR					
V1:	T1:		LARGO (m)	Ancho Mayor (cm)	Ancho Menor (cm)	Tabla N° 01		
V2:	T2:		ANCHO (cm)			Canal Concreto	0.8	
V3:	T3:		Profundidades (cm)			Canal Tierra	0.7	
V4:	T4:					Riachuelo H ≥ 15 cm	0.5	
V5:	T5:		tiempos (seg)			Riachuelo H < 15 cm	0.25	
PROM.	PROM.					tx =		
caudal l/s			Velocidad Superficial (m/s):		Area del río (cm2):			
			Velocidad media (m/s):		Caudal del río (l/s):			
ANEXO FOTOGRAFICO								
CARACTERISTICAS DEL MANANTE	METODOLOGIA DE AFORO	POBLACION BENEFICIARIA	AREA BAJO RIEGO					
								
OBSERVACION Y DESCRIPCION DEL MANANTE								
Este manante se puede dar para riego tecnificado de pasto natural, ya que se tiene un area regable aproximado de 20 has, en el momento beneficia 5 a familias del lugar.								

2. Ficha técnica de inventario de río.

FICHA TECNICA DE CORRENTOMETRO												
NOMBRE DEL RIO O QUEBRADA:					Rio Pitumarca							
UBICACIÓN:		DEPARTAMENTO			PROVINCIA		DISTRITO		COMUNIDAD			
		Cusco			Canchis		Checaupe		Checaupe			
COORDENADAS:		WAYPOINT			ZONA	ESTE		NORTE		ALT.	ERROR	
		84			19 L	234568		8448040		3445	8	
MARGEN	Tº (seg)	DIST.(m)	TIRANTE (m)	CONSTANTE	TIRANTE MOLINETE (m)	Nº REV. 1	Nº REV. 2	Nº REV. 3	PROMEDIO			
derecha	30"	0.00	0.00	0.0	0.00	0	0	0				
	30"	2.00	0.40	0.6	0.24	84	83	84	84			
	30"	4.00	0.43	0.6	0.26	55	55	55	55			
	30"	6.00	0.43	0.6	0.26	105	104	105	105			
	30"	8.00	0.40	0.6	0.24	95	94	95	95			
	30"	10.00	0.35	0.6	0.21	90	89	89	89			
	30"	12.00	0.43	0.6	0.26	105	105	106	105			
	30"	14.00	0.38	0.6	0.23	104	105	105	105			
izquierda	30"	16.00	0.33	0.6	0.20	74	74	73	74			
	30"	17.30	0.00	0.0	0.00							
CARACTERISTICAS DEL CORRENTOMETRO												
FECHA DE AFORO:		16/10/2010			PH - CONDUCTIVIMETRO			EQUIPO:		MOLINETE - SEBA - UNIVERSAL		
REGIMEN:		Permanente			CE	TDS (SALINIDAD)	TEMPERATURA	PH	ECUACION:		0.0193 + 0.3117 * n (0,00 < n < 1,98)	
LUGAR DE AFORO:		Desembocadura						
TIPO DE AFORO:		Correntometro										
GRAFICO DEL CAUDAL LAMINAR DEL AGUA (HYDRACCESS)						DATOS DEL AFORO						
<p>Estación: Pitumarca Brazo: Brazo1 Q Brazo (m³/s): 5.149 Sección (m²): 6.18</p> <p>Fecha: 16/10/2010 04:05 Cota (cm): 10 Q Neg. (m³/s): 0 VMS (cm/s): 121.0</p> <p style="text-align: center;">Caudal Caudado sobre <input type="checkbox"/> Brazo = 5.149 m³/s</p>						CUENCA:		Vilcanota				
						SUBCUENCA:		Pitumarca				
						ANCHO:		17.38 m				
						AREA:		6.18 m²				
						VELOCIDAD MEDIA:		121.0 cm/s				
						CAUDAL:		5.149 m³/s				
						RESPONSABLE DEL AFORO:		eloy HACHA CHUCTAYA, cesar TACUSI CALLA				
						PROCESAMIENTO DE AFORO:		eloy HACHA CHUCTAYA, cesar TACUSI CALLA				
						HORA DE INICIO:		02:05 p.m.				
						HORA DE FINALIZACION:		02:56 p.m.				
ANEXO FOTOGRAFICO												
METODOLOGIA DE AFORO				VISTA AGUAS ARRIBA			VISTA AGUAS ABAJO					
											VISTA LATERAL	
OBSERVACION Y DESCRIPCION												
DESCRIPCION DEL PUNTO DE AFORO: el aforo se realizo en la desembocadura del rio pitumarca que se encuentra entre la comunidad de cangalli y checaupe y esta se une al rio vilcanota en la cual se aumenta el caudal de dicha cuenca.												

3. Ficha técnica de inventario de lagunas.

FICHA TECNICA DE LAGUNA											
LAGUNA			Canchacocha				WAYPOINT	144	FECHA	12/06/2010	
DPTO	PROVINCIA	DISTRITO	COMUNIDAD	CENTRO POBLADO			SECTOR		ANEXO		
Cusco	Canchis	Pitumarca	Chilca				Chimpa Chilca				
ZONA	ESTE		NORTE	ALTITUD (m)	ERROR: ± m	TIPO DE USO	CAUDAL (l/s)	TIPO DE AFORO	AREA (Ha)	PERIMETRO (Km)	
19 L	261351		8462018	4739	7	PI/Pe	43.89	F			
UBICACIÓN HIDROGRAFICA					BENEFICIARIOS						
CUENCA	SUB CUENCA		MICROCUENCA	POBLACIONAL (N° de familias)			AGRICOLA (área bajo riego en has)		PECUARIO (N° de ganados)		
Vilcanota	Pitumarca			12			8		100		
POTENCIALIDAD	Tiene un vaso represable, puede ser aprovechado para la crianza de truchas.										
CAUDAL DE REBOSE											
DATOS DE LA SECCION DEL CAUDAL DE REBOSE											
LARGO (cm)	300			Ancho Mayor (cm)			320				
ANCHO (cm)	192			Ancho Menor (cm)			185				
Profundidades (cm)	10	12	15	9	hx =			11.60			
tiempos (seg)	3.87	3.45	4.00		tx =			3.77			
ANEXO FOTOGRAFICO											
VISTA PANORAMICA			VISTA PANORAMICA DE ARRIBA				CAUDAL DE REBOSE DE LA LAGUNA				
											
OBSERVACIONES											
Es una de las lagunas principales de la zona, que tiene un potencial para el represamiento, tiene una longitud de 500m de largo, tiene un rebose de 43,89 l/s, lo cual beneficia a 12 familias del sector.											

4. Ficha técnica de inventario de infraestructura de riego y consumo poblacional.

FICHA TECNICA DE INFRAESTRUCTURAS DE RIEGO Y CONSUMO POBLACIONAL													
INFRAESTRUCTURA		Bocatoma de concreto											
NOMBRE DEL SISTEMA		Sistema de riego Presurizado Osefina											
SISTEMA		Sistema de riego Presurizado							FECHA	11/06/2010			
DEPARTAMENTO	PROVINCIA	DISTRITO	COMUNIDAD	CENTRO POBLADO	ANEXO	SECTOR							
Cusco	Canchis	Pitumarca	Osefina	Congumire							
TIPO DE USO	TIPO DE AFORO	CUENCA	SUB CUENCA	MICROCUENCA	TIPO DE FUENTE		AMBITO DE USO DE FUENTE						
Ag	F	Vilcanota	Pitumarca	Congumire	RIO/QUEBRADA		C.C. CENTRAL						
					Machaypunco		Osefina						
BOCATOMA Y/O CAPTACION													
CARACTERISTICAS		WAYPOINT	N°	ZONA	ESTE	NORTE	ALTITUD	ERROR±					
TIPO	Concreto armado	164		19L	249593	8454836	3948	4					
CAUDAL TOTAL l/s	230.20												
CAUDAL INGRESO l/s	25.50												
ESTADO	Regular estado												
INST. Y AÑO DE EJECUCION:	Municipalidad de Pitumarca en el año 1990												
LINEA DE CONDUCCION													
CARACTERISTICAS DE LINEA DE CONDUCCION				CARACTERISTICAS GEOMETRICAS (m)									
TIPO DE LINEA	ESTADO	LONGITUD (m)	INSTITUCION Y AÑO DE EJECUCION	SECCION RECTANGULAR	SEC. TRAPEZOIDAL	TUBERIA (Pulg.)							
Canal revestido	Buen estado	5.00	Municipalidad de Pitumarca en el año 1990	ANCHO	0.3 m.	B MAYOR	DIAMT.	4 pulg.					
				ALTURA	0.2 m.	b MENOR	ALTURA						
CAMARA DE CARGA													
RECTANGULAR/TRAPEZOIDAL				CILINDRICO			WAYPOINT	N°	ZONA	ESTE	NORTE	ALTITUD	ERROR±
LARGO	1.35	2	3	4	DIAMT.	165		19L	249523	8454885	3947	4	
ANCHO	1.35				ALTURA								
ALTURA	1.00				VOLUMEN								
VOLUMEN	1.82				ESTADO DEL RESERVORIO								
LINEA DE DISTRIBUCION													
CARACTERISTICAS DE LINEA DE DISTRIBUCION				CARACTERISTICAS GEOMETRICAS (m)									
TIPO DE LINEA	ESTADO	INSTITUCION Y AÑO DE EJECUCION		SEC. RECTANGULAR	SEC. TRAPEZOIDAL	TUBERIA							
Tuberia	Buen estado	Municipalidad de Pitumarca en el año 1990		ANCHO		DIAMT.	2 pulg.						
				ALTURA		ALTURA							
OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO													
COMITÉ RIEGO	INSCRITO ATDR	JASS	LIMPIEZA/AÑO	N° FAM. BENEF.	AREA BAJO RIEGO (ha)	TIPO DE CULTIVO			TARIFA DE AGUA				
SI	NO		3	15	8	pastos, hortalizas			1.0\$/ mes				
OBSERVACION Y DESCRIPCION DE LA INFRAESTRUCTURA													
Fue ejecutado por la municipalidad distrital de Pitumarca en el año 1990, el sistema beneficia a 15 familias, riega un area de 8.0 ha de terreno, no presenta reservorio es un sistema directo.													
ANEXO FOTOGRAFICO													
BOCATOMA DE CONCRETO		VISTA PANORAMICA DEL SISTEMA		CAMARA DE CARGA Y DESHARENADOR			POBLACION BENEFICIARIA						
