

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE
HUAMANGA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGRICOLA



**EVALUACION DE LOS RECURSOS HIDRICOS
SUPERFICIALES EN LA MICROCUENCA DE APACHETA –
HUAMANGA – AYACUCHO – 2016**

Tesis para optar el Título Profesional de:
INGENIERO AGRÍCOLA

Presentado por:
RICHARD MENESES HUAMANCUSI

AYACUCHO – PERÚ
2016

DEDICATORIA

A Dios primero más que nada, quien guio mi camino y cuido de mi familia.

A mis padres por ser pilares importantes en mi vida que día a día me demuestran su amor, cariño y apoyo para seguir adelante, por su energía y confianza que me brindaron durante la carrera.

A mi mamá **Graciana Huamancusi Palomino** y a mi papá **Máximo Meneses Mendianta** como agradecimiento a sus esfuerzos de cada día para con sus hijos Richard y Yhony.

AGRADECIMIENTO

- ✚ A la UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA, alma mater de mi formación profesional.

- ✚ A la Facultad de Ciencias Agrarias, Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola y sus docentes quienes me impartieron sus sabias enseñanzas y colaboraron para el logro de mi formación profesional.

- ✚ Al Ingeniero Federico Quicaño Suarez, por el asesoramiento brindado en el trabajo de tesis.

- ✚ Agradezco a todas las personas que me apoyaron en el desarrollo de esta tesis por sus aportes en mi formación como ingeniero: Amigos y Familia.

INDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
INDICE GENERAL.....	iv
LISTA DE TABLAS.....	vii
LISTA DE FIGURAS.....	viii
RESUMEN.....	1
INTRODUCCIÓN.....	3
Objetivos.....	4
Objetivo General:.....	4
Objetivos Específicos:.....	4
I. REVISIÓN BIBLIOGRAFICA.....	5
1.1 Antecedentes.....	5
1.2 Ciclo hidrológico.....	5
1.3 Sistema hidrológico.....	7
1.3.1 Precipitación.....	7
1.3.2 Evaporación y evapotranspiración.....	9
1.3.3 Infiltración.....	10
1.3.4 Almacenamiento.....	10
1.3.5 Escorrentía.....	11
1.4 Inventario de fuentes de agua.....	12
1.4.1 Descripción de los recursos hídricos superficiales.....	12
1.5 Métodos de aforo.....	14
1.5.1 Método volumétrico.....	15
1.5.2 Método del flotador.....	15
1.5.3 Método del Correntómetro.....	16
1.6 Cuenca hidrográfica y cuenca hidrológica.....	17
1.6.1 Delimitación de la cuenca.....	18
1.6.2 Tamaño de la cuenca.....	19
1.6.3 Caracterización de la cuenca.....	20
1.6.4 Parámetros geomorfológicos.....	20
1.6.5 Tiempo de concentración de la cuenca.....	32
1.7 Tratamiento de la información pluviométrica.....	34
1.7.1 Análisis de consistencia de la información.....	35
1.7.2 Completación y/o extensión de datos hidrometeorológicos.....	43

1.8	Análisis pluviométrico de la cuenca	44
1.8.1	Precipitación areal media de la cuenca	44
1.9	Modelamiento Hidrológico: Relación Lluvia – Esgurrimiento	47
1.9.1	Modelo Determinístico y Estocástico de Lutz Scholz.....	48
1.9.2	Generación de Caudales según el modelo Lutz Scholz.....	61
1.10	Generación y sistematización hidrológica utilizando ArcGis10.3	64
1.10.1	Modelo de elevación digital	65
1.11	Definición de términos empleados en el estudio	66
II.	MATERIALES Y METODOS.....	70
2.1	Descripción de la zona del estudio	70
2.1.1	Ubicación Política.....	70
2.1.2	Ubicación Geográfica	71
2.1.3	Vías De Acceso.....	74
2.1.4	Topografía.....	74
2.1.5	Sistema hidrológico de la microcuenca del rio Apacheta.....	75
2.1.6	Caracterización de los Parámetros Climatológicos	75
2.2	Materiales y equipos.....	76
2.2.1	Materiales	76
2.2.2	Equipos y herramientas.....	76
2.2.3	Programas.....	77
2.3	Métodos.....	77
2.3.1	Fase preliminar	78
2.3.2	Trabajos de campo.....	79
2.3.3	Procesamiento y tratamiento de información.....	81
III.	RESULTADOS.....	95
3.1	Del inventario de recursos hídricos de la microcuenca Apacheta.....	95
3.1.1	Consolidado del inventario de fuentes de agua superficial – Microcuenca del rio Apacheta - Vinchos	101
3.2	Del cálculo de los caudales de aforo	103
3.3	De la descripción general de la cuenca	108
3.3.1	Caracterización geomorfológica	108
3.4	Tratamiento de la información pluviométrica	110
3.4.1	De la consistencia de la información pluviométrica	110
3.4.2	Extensión de la información pluviométrica.....	117

3.4.3	Análisis pluviométrico de la cuenca	119
3.4.4	Variables meteorológicas complementarias de la microcuenca Apacheta - vinchos.	121
3.5	Determinación de la disponibilidad del recurso hídrico	130
3.5.1	De la generación de caudales medios mensuales para el año promedio para la microcuenca Apacheta – Vinchos	131
3.6	Análisis de capacidad de vasos de almacenamiento.....	136
3.6.1	Coeficientes de escurrimientos.....	136
3.6.2	Escurrimiento medio anual (EMA)	137
3.6.3	Calculo del volumen anual escurrido	138
3.6.4	Dimensionamiento hidrológico del embalse Huaytaccocha	139
3.6.5	Dimensionamiento hidrológico del embalse Ccaccapaqui ..	141
3.6.6	Dimensionamiento hidrológico del embalse Anccolla	142
3.6.7	Dimensionamiento hidrológico del embalse Quichcahuasi .	144
3.6.8	Dimensionamiento hidrológico del embalse Rosario	145
IV.	DISCUSIONES	147
V.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	150
5.1	Conclusiones	150
5.2	Recomendaciones	151
	BIBLIOGRAFIA.....	152
	ANEXOS	154

LISTA DE TABLAS

TABLA 1: TAMAÑO DE LA CUENCA	20
TABLA 2: CLASES DE VALORES DE COMPACIDAD.	22
TABLA 3: CLASES DE VALORES DE ALARGAMIENTO	24
TABLA 4: CLASES DE DENSIDAD DE DRENAJE	28
TABLA 5: CLASES DE VALORES DE PENDIENTE DEL CAUCE	29
TABLA 6: CLASES DE ORDEN DE CORRIENTE	32
TABLA 7: COEFICIENTES PARA EL CÁLCULO DE LA PRECIPITACIÓN EFECTIVA	53
TABLA 8: ALMACENAMIENTO HÍDRICO DURANTE LA ÉPOCA DE LLUVIAS (R %).	60
TABLA 9: ESQUEMA A SEGUIR PARA LA REGRESIÓN MÚLTIPLE	63
TABLA 10: VÍAS DE ACCESO A LA ZONA DE ESTUDIO	74
TABLA 11: RÍOS EN LA MICROCUENCA APACHETA	95
TABLA 12: QUEBRADAS EN LA MICROCUENCA APACHETA	96
TABLA 13: QUEBRADAS INTERMITENTES EN LA MICROCUENCA APACHETA.....	97
TABLA 14: LAGUNAS NATURALES EN LA MICROCUENCA APACHETA	98
TABLA 15: DISTRIBUCIÓN DE LAGUNAS SIN NOMBRE EN LA MICROCUENCA APACHETA.....	98
TABLA 16: DISTRIBUCIÓN DE LAGUNAS ARTIFICIALES EN LA MICROCUENCA APACHETA.....	99
TABLA 17: INVENTARIO DE BOFEDALES DE LA MICROCUENCA APACHETA.....	100
TABLA 18: DISTRIBUCIÓN POR FUENTES HÍDRICAS EN LA MICROCUENCA DEL RÍO APACHETA ..	101
TABLA 19: RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIALES EN LA MICROCUENCA APACHETA	102
TABLA 20: INVENTARIO DE LA MICROCUENCA APACHETA -VINCHOS.....	104
TABLA 21: GEOMORFOLOGÍA DE LA MICROCUENCA APACHETA - VINCHOS	109
TABLA 22: ESTACIONES METEOROLÓGICAS UTILIZADAS PARA EL ESTUDIO DE LA MICROCUENCA DE APACHETA.....	111
TABLA 23: ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS SELECCIONADAS PARA EL ESTUDIO.....	112
TABLA 24: CONSISTENCIA EN LA MEDIA DE LOS DATOS DE PRECIPITACIÓN	115
TABLA 25: CONSISTENCIA CON LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR	115
TABLA 26: GRADIENTE TÉRMICA DE LA TEMPERATURA MÍNIMA MENSUAL	122
TABLA 27: GRADIENTE TÉRMICA DE LA TEMPERATURA MEDIA MENSUAL	123
TABLA 28: GRADIENTE TÉRMICA DE LA TEMPERATURA MÁXIMA MENSUAL	124
TABLA 29: VARIACIÓN MENSUAL PROMEDIO DE LA HUMEDAD RELATIVA.....	125
TABLA 30: VARIACIÓN MENSUAL PROMEDIO DE LA VELOCIDAD MEDIA DEL VIENTO.....	126
TABLA 31: VARIACIÓN MENSUAL PROMEDIO DE LAS HORAS DEL SOL	127
TABLA 32: EVAPOTRANSPIRACIÓN MENSUAL DE LA MICROCUENCA APACHETA	129
TABLA 33: PRECIPITACIÓN EFECTIVA I, II, III Y PE	130
TABLA 34: <i>DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO (C)</i>	132

TABLA 35: CALCULO DE LA RETENCIÓN "R"	132
TABLA 36: DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE AGOTAMIENTO	133
TABLA 37: CAUDALES MENSUALES GENERADOS PARA EL AÑO PROMEDIO	134
TABLA 38: DISPONIBILIDAD HÍDRICA	135
TABLA 39: COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTOS DE LA CUENCA	137
TABLA 40: DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL VASO Y VOLUMEN DE ESCURRIMIENTO.....	138

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: CICLO HIDROLÓGICO	6
FIGURA 2: REPRESENTACIÓN DEL SISTEMA HIDROLÓGICO.	7
FIGURA 3: TIPOS DE PRECIPITACIÓN	8
FIGURA 4: MÉTODO DEL FLOTADOR	16
FIGURA 5: CICLO HIDROLÓGICO EN UNA CUENCA.	18
FIGURA 6: CLASIFICACIÓN SEGÚN SU TAMAÑO CUENCA.	19
FIGURA 7: ORDEN DE UN CAUCE POR EL MÉTODO DE HORTON.....	30
FIGURA 8: ORDEN DE UN CAUCE POR EL MÉTODO DE STRAHLER.....	31
FIGURA 9: DIAGRAMA DE FLUJO PARA EL TRATAMIENTO DE DATOS HIDROMETEOROLÓGICOS	35
FIGURA 10: TIPOS DE ERRORES: ERRORES ALEATORIOS Y SISTEMÁTICOS	36
FIGURA 11: POLIGONO DE THIESSEN	46
FIGURA 12: MÉTODO DE ISOYETAS	47
FIGURA 13: MAPA DE UBICACIÓN NACIONAL.....	71
FIGURA 14: MAPA DE UBICACIÓN DEPARTAMENTAL	72
FIGURA 15: MAPA DE UBICACIÓN PROVINCIAL	72
FIGURA 16: MAPA DE UBICACIÓN DISTRITAL.....	73
FIGURA 17: MAPA DE UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	73
FIGURA 18: DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA EMPLEADA	77
FIGURA 19: PROCESO DE DELIMITACIÓN AUTOMÁTICA DE UNIDADES HIDROGRÁFICAS	84
FIGURA 20: DETERMINANDO ÁREA Y PERÍMETRO DE LA MICROCUENCA APACHETA	85
FIGURA 21: DISTRIBUCIÓN CUANTITATIVA DE FUENTES DE AGUA SUPERFICIAL.....	102
FIGURA 22: DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE FUENTES DE AGUA SUPERFICIAL	103
FIGURA 23: DIAGRAMA FLUVIAL MICROCUENCA APACHETA - VINCHOS.....	107
FIGURA 24: HISTOGRAMA DE PRECIPITACIÓN MENSUAL - E. HUAMANGA (SERIE HISTÓRICA)....	112
FIGURA 25: HISTOGRAMA DE PRECIPITACIÓN MENSUAL -E. APACHETA (SERIE HISTORICA)	113
FIGURA 26: HISTOGRAMA DE PRECIPITACION MENSUAL - E. CHIARA (SERIE HISTORICA).....	113
FIGURA 27: HISTOGRAMA DE PRECIPITACION MENSUAL - E. CUCHOQUESERA (SERIE HISTÓRICA)	113
FIGURA 28: HISTOGRAMA DE PRECIPITACION MENSUAL - E. PUTACCA (SERIE HISTÓRICA).....	114

FIGURA 29: DIAGRAMA ANÁLISIS DE DOBLE MASA (SERIE HISTÓRICA)	114
FIGURA 30: PRECIPITACIONES ANUALES CORREGIDAS – E. APACHETA (SERIE HISTÓRICA)	116
FIGURA 31: PRECIPITACIONES ANUALES CORREGIDOS – E. CHIARA (SERIE HISTÓRICA)	116
FIGURA 32: HISTOGRAMA DE PRECIPITACION MENSUAL - E. APACHETA (SERIE COMPLETADA Y EXTENDIDA)	117
FIGURA 33: HISTOGRAMA DE PRECIPITACION MENSUAL - E. CHIARA (SERIE COMPLETADA Y EXTENDIDA)	117
FIGURA 34: HISTOGRAMA DE PRECIPITACION MENSUAL - E. CUCHOQUESERA (SERIE COMPLETADA Y EXTENDIDA)	118
FIGURA 35: HISTOGRAMA DE PRECIPITACION MENSUAL - E. PUTACCA (SERIE COMPLETADA Y EXTENDIDA)	118
FIGURA 36: HISTOGRAMA DE PRECIPITACIÓN MENSUAL - E. HUAMANGA (SERIE COMPLETADA Y EXTENDIDA)	118
FIGURA 37: DIAGRAMA DE DOBLE MASA DE LA PRECIPITACIÓN ANUAL - COMPLETADAS Y EXTENDIDAS	119
FIGURA 38: HISTOGRAMA DE PRECIPITACIÓN TOTAL MEDIA MENSUAL GENERADA	120
FIGURA 39: VARIACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN - PROMEDIO MULTIMENSUAL GENERADA.....	120
FIGURA 40: REGIONALIZACIÓN TEMPERATURA MÍNIMA	122
FIGURA 41: REGIONALIZACIÓN TEMPERATURA MEDIA	123
FIGURA 42: REGIONALIZACIÓN TEMPERATURA MÁXIMA	124
FIGURA 43: HUMEDAD RELATIVA MENSUAL PROMEDIO.....	125
FIGURA 44: VELOCIDAD DEL VIENTO PARA LA ZONA DE ESTUDIO.....	126
FIGURA 45: HORAS DE SOL PARA LA ZONA DE ESTUDIO	127
FIGURA 46: PRECIPITACIÓN EFECTIVA CON RESPECTO A LAS CURVAS I, II Y III.....	130
FIGURA 47: REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA	132
FIGURA 48: REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL COEFICIENTE DE AGOTAMIENTO.....	133
FIGURA 49: VARIACIÓN MENSUAL DE LOS CAUDALES GENERADOS	135
FIGURA 50: VASOS DE ALMACENAMIENTO IDENTIFICADOS	136
FIGURA 51: CURVA ALTITUD - VOLUMEN - ÁREA (EMBALSE HUAYTACCOCHA)	139
FIGURA 52: DIMENSIONAMIENTO HIDROLÓGICO DEL EMBALSE HUAYTACCOCHA	140
FIGURA 53: CURVA ALTITUD - VOLUMEN - ÁREA (EMBALSE CcACCAPAQUI)	141
FIGURA 54: DIMENSIONAMIENTO HIDROLÓGICO DEL EMBALSE CcACCAPAQUI	142
FIGURA 55: CURVA ALTITUD - VOLUMEN - ÁREA (EMBALSE CcACCAPAQUI)	142
FIGURA 56: DIMENSIONAMIENTO HIDROLÓGICO DEL EMBALSE ANCCOLLA	143
FIGURA 57: CURVA ALTITUD - VOLUMEN - ÁREA (EMBALSE QUICHCAHUASI)	144
FIGURA 58: DIMENSIONAMIENTO HIDROLÓGICO DEL EMBALSE QUICHCAHUASI	145
FIGURA 59: CURVA ALTITUD - VOLUMEN - ÁREA (EMBALSE ROSARIO).....	145
FIGURA 60: DIMENSIONAMIENTO HIDROLÓGICO DEL EMBALSE ROSARIO	146

RESUMEN

La presente tesis titulada: *Evaluación de los recursos hídricos superficiales en la microcuenca de Apacheta – Vinchos*, consiste en proporcionar los elementos de juicio hidrológicos necesarios, para la toma de decisiones para el mejor aprovechamiento de los recursos hídricos superficiales en la microcuenca del río Apacheta - Vinchos, dentro del marco del desarrollo sustentable de los recursos hídricos, se considera evaluar y cuantificar para el aprovechamiento y uso racional del recurso hídrico en la microcuenca de Apacheta – Vinchos.

En ese sentido, la presente Tesis comprende los siguientes aspectos, el diagnóstico del recurso hídrico, ubicación, demarcación de la cuenca, accesibilidad, vías de comunicación, cobertura vegetal, suelos, geología, climatología, evaluación de la precipitación, disponibilidad de agua superficiales y generación de caudales medios mensuales.

En este trabajo de investigación, se obtuvo un inventario de recursos hídricos superficiales y la sistematización con el uso y la aplicación de sistemas de información geográfica (SIG), así como los parámetros geomorfológicos de la microcuenca y el cálculo de caudales medios para un año promedio y periodo extendido, que permite determinar la disponibilidad hídrica cuando no se cuenta con registro de caudales medios, para sus múltiples fines y aprovechamiento en la microcuenca Apacheta - Vinchos.

La superficie total de la microcuenca del río Apacheta es de 397.15 km², compuesto por 06 tributarios principales (río Rosaspampa, río Supaymayo, río Occo, río Quichcahuasi, río Churiacc y río Pascana), donde las variables climatológicas evaluadas son la precipitación, temperatura (media, máxima y mínima), humedad relativa, horas de sol, velocidad del viento y la

evapotranspiración potencial, todo ello previo un inventariado realizado en el trabajo de campo, así como los aforos de los ríos de la microcuenca en estudio.

La modelación hidrológica se ha realizado para generar los caudales medios mensuales en la microcuenca Apacheta, siguiendo los procedimientos elaborados por el experto Lutz Scholz, que se puede generar y/o verificar la aplicación de los sub modelos determinísticos parciales y generar una serie de caudales confiables aplicando un modelo estocástico; tomando como base para el estudio la microcuenca de Apacheta – Vinchos, que cuenta con información de precipitación en la parte media de la cuenca mas no en el punto de interés (salida de la red de drenaje).

Una vez hecho el diagnostico de campo para identificar los vasos de almacenamiento se procedió a determinar la capacidad de embalsamiento en gabinete, lográndose plantear 05 embalses que permitirán mejorar la disponibilidad hídrica con fines de aprovechamiento de los escurrimientos superficiales, los embalses servirán para incrementar los rendimientos de los cultivos, mejorar la actividad pecuaria que permitirá incrementar su peso y mejorar sus parámetros reproductivos y de sanidad. Todo esto va a repercutir en el incremento de sus ingresos y les permite mejorar las condiciones de vida de los pobladores que interactúan dentro de la microcuenca Apacheta - Vinchos.

INTRODUCCIÓN

El agua representa un recurso estratégico para el desarrollo de las poblaciones, la agricultura, la minería, sector energético, ecológico y otros, por lo que es primordial evaluar su disponibilidad, características y uso actual para proponer un manejo eficiente del recurso hídrico y elevar el nivel de gestión de una cuenca para evitar conflictos futuros por un recurso vital como es el agua.

El estudio del comportamiento de los recursos hídricos superficiales de una cuenca permite interpretar la correlación de los fenómenos físicos y humanos que se desarrollan en su ámbito. Los ríos tienen gran relación con todas las formas de vida, especialmente con las actividades humanas (Bohn & Campo, 2010).

En el año 2010, un estudio reciente titulado Evaluación de los recursos hídricos superficiales en el río Pampas, elaborado por el equipo técnico del ALA-Ayacucho menciona que la planificación del uso de los recursos hídricos es un tema que está tomando cada vez más importancia y relevancia, y su escasez en cantidad, calidad y oportunidad es cada vez más notoria, incluso esto se refleja en el stress hídrico que presentan algunos ríos de la costa peruana, científicos sociales hablan de posibles guerras futuras por el acceso al agua.

La cuenca del río Apacheta – Vinchos no escapa a ello, frente a la oferta hídrica y las diversas demandas de agua existentes en la zona, así como las obras de transvase, surge la necesidad de efectuar una Evaluación de Recursos Hídricos Superficiales del río Apacheta - Vinchos, que permita evaluar, cuantificar, el aprovechamiento racional en cantidad y oportunidad del recurso hídrico y que sirva como base para la planificación hidrológica, es decir, como un medio necesario para formular, ejecutar y controlar la política de desarrollo en todos los sectores que estén directa o

indirectamente relacionados con el uso y aprovechamiento del recurso agua y que se enmarque dentro la Ley N°29338 – Ley de Recursos Hídricos y su Reglamento.

La presente tesis se realizó, bajo una metodología directa, para realizar el inventario y evaluación de las fuentes de agua superficial de la microcuenca de Apacheta - Vinchos, tales como lagunas, ríos, quebradas, bofedales elaborándose la cartográfica digital de diferentes características físicas y de ubicación espacial de dichas fuentes, alcanzando los objetivos propuestos.

Objetivos

Objetivo General:

- Inventariar y evaluar el comportamiento de los recursos hídricos de la microcuenca del río Apacheta, que se encuentran dentro del ámbito del distrito de Vinchos, Provincia de Huamanga – Ayacucho .

Objetivos Específicos:

- a) Sistematizar el inventario de los recursos hídricos de la microcuenca Apacheta - Vinchos, en la plataforma de ArcGis 10.3, generando la cartografía digital (referencia geográfica en coordenadas UTM) e hidrográficamente con una base de datos (caudal o volumen).
- b) Determinar la disponibilidad hídrica de la microcuenca de Apacheta – Vinchos.
- c) Identificar vasos de almacenamiento para mejorar la disponibilidad hídrica y el aprovechamiento de los recursos hídricos superficiales en la microcuenca de Apacheta – Vinchos.

I. REVISIÓN BIBLIOGRAFICA

1.1 Antecedentes

La evaluación de los recursos hídricos superficiales en la microcuenca del río Apacheta - Vinchos, constituye una actividad básica y de significativa importancia en el conocimiento, no sólo de sus características físicas, sino principalmente de su distribución espacial, constituyéndose así en una imprescindible fuente de información para la planificación de su óptimo aprovechamiento y uso racional de los recursos hídricos de la microcuenca.

Bajo esta afirmación, es que se desarrolla la presente tesis: Evaluación de los Recursos Hídricos Superficiales en la microcuenca de Apacheta – Huamanga - Ayacucho, la realización de este trabajo de investigación se plantea, para determinar la disponibilidad hídrica de la microcuenca en estudio.

1.2 Ciclo hidrológico

El concepto de ciclo hidrológico es un punto útil, aunque académico, desde el cual comienza el estudio de la hidrología. Este ciclo inicia con la evaporación del agua de los océanos. El vapor de agua resultante es transportado por las masas móviles de aire. Bajo condiciones adecuadas el vapor se condensa para formar las nubes, las cuales, a su vez, pueden transformarse en precipitación. La precipitación que cae sobre la tierra se dispersa de diversas maneras. La mayor parte de ésta es retenida temporalmente por el suelo, en las cercanías del lugar donde cae, y regresa eventualmente a la atmósfera por evaporación y transpiración de las

plantas. Otra porción de agua que se precipita viaja sobre la superficie del suelo o a través de éste hasta alcanzar los canales de las corrientes. La porción restante penetra más profundamente en el suelo para hacer parte del suministro de agua subterránea. Bajo la influencia de la gravedad, tanto la escorrentía superficial como el agua subterránea se mueven cada vez hacia zonas más bajas y con el tiempo pueden incorporarse a los océanos. Sin embargo, una parte importante de la escorrentía superficial y del agua subterránea regresa a la atmósfera por medio de evaporación y transpiración, antes de alcanzar los océanos. (Linsley, Kohler, & Paulus, 1990).

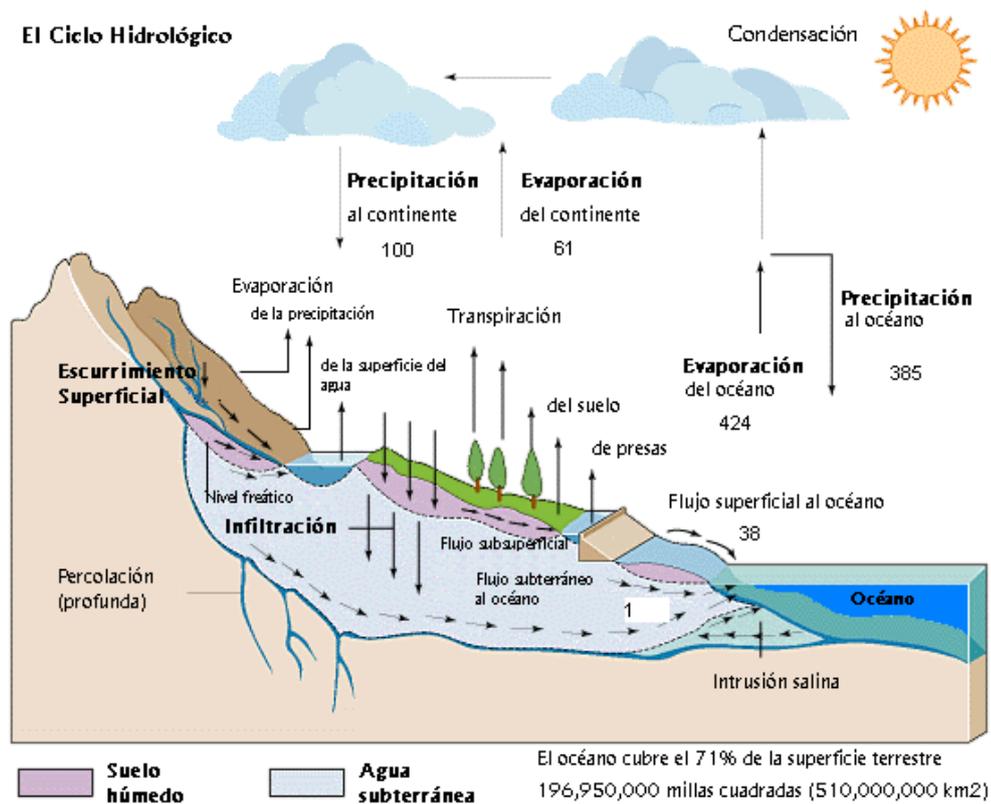


Figura 1: Ciclo Hidrológico

Se denomina ciclo hidrológico el conjunto de cambios que experimenta el agua en la naturaleza, tanto en su estado (sólido, líquido y gaseoso) como en su forma (agua superficial, agua subterránea, etc.). Es frecuente definir la Hidrología como la ciencia que se ocupa del estudio del ciclo hidrológico.

El ciclo hidrológico no es nada regular, todo lo contrario, una muestra de ello son los períodos de sequías y de inundaciones con los que estamos tan acostumbrados en el país. Prácticamente todos los años tenemos nosotros problemas de sequía en unos lugares y problemas de inundaciones en otros. El ciclo hidrológico es completamente irregular, y es precisamente contra estas irregularidades que lucha el hombre (Chereque, 1989).

1.3 Sistema hidrológico

El ciclo hidrológico puede representarse como un sistema cuyos componentes principales son la precipitación, la evaporación y el escurrimiento. Para su análisis puede dividirse en subsistemas, estudiarlos por separado y combinar luego los resultados de acuerdo a las interacciones entre ellos.

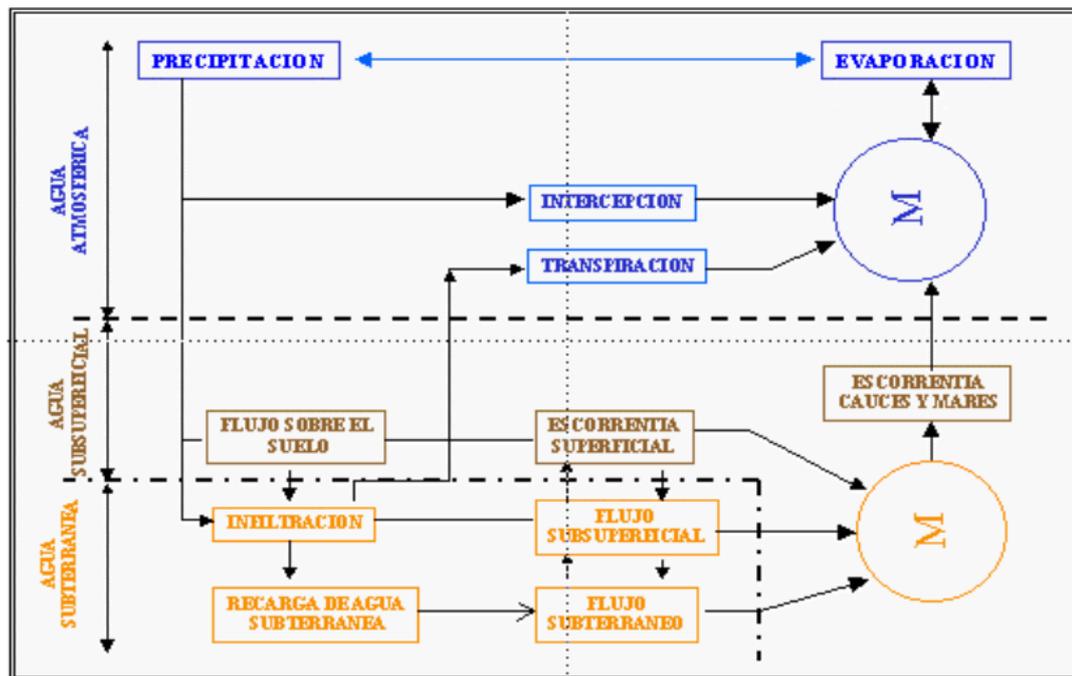


Figura 2: Representación del sistema hidrológico.

1.3.1 Precipitación

Desde el punto de vista de la ingeniería hidrológica, la precipitación es la fuente primaria del agua de la superficie terrestre, y sus mediciones forman

el punto de partida de la mayor parte de los estudios concernientes al uso y control del agua. Se estudiarán dos aspectos fundamentales de la precipitación: por un lado, la manera en que se produce y algunos métodos con que se puede predecir dadas ciertas condiciones atmosféricas, para lo cual será necesario revisar algunos aspectos básicos de meteorología y, por otro, la manera en que se mide la precipitación y diversos criterios para el análisis, síntesis, corrección y tratamiento de los datos (Aparicio, 1992).

Desde el punto de vista de la ingeniería, son necesarios tres parámetros para definir completamente una precipitación: su duración, su intensidad y su frecuencia. La duración D , es el tiempo transcurrido entre el inicio y fin de la lluvia expresada en horas o minutos. La intensidad I , está dado por la cantidad total de lluvia o lámina de agua dividida por la duración (cantidad de lluvia por unidad de tiempo), se mide en mm/h o mm/min. La Frecuencia F , es llamado periodo de recurrencia o de retorno (T) el periodo en años en el que una lluvia puede volver a ocurrir.

1.3.1.1 Tipos de precipitaciones

Existen diferentes tipos de precipitación: precipitación convectiva, precipitación orográfica y precipitaciones frontales.

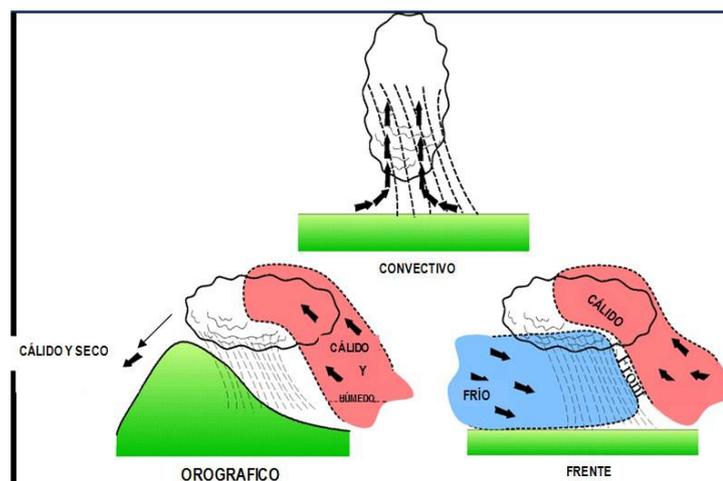


Figura 3: Tipos de precipitación

- a. Precipitación Convectiva.** Este tipo de precipitación tiene su origen en la inestabilidad de una masa de aire más caliente que las circundantes. Estas diferencias de temperatura pueden ser el resultado de calentamientos diferenciales en superficie o en la parte superior de la capa de aire.

Así, la masa de aire más liviana por su mayor temperatura, asciende y supera el nivel de equilibrio debido la velocidad vertical adquirida, formándose la característica nubosidad de tipo cumuliforme, origen de las precipitaciones en forma de chubascos o tormentas, generalmente de tipo puntual.

- b. Precipitación Orográfica.** Como su nombre indica (del griego oros = montaña), este tipo de precipitación se relaciona con la presencia de una barrera topográfica. La característica de la precipitación orográfica depende de la altitud, de la pendiente y de su orientación, pero también de la distancia que separa el origen de la masa del aire caliente del lugar del levantamiento. En general, presentan una intensidad y una frecuencia regular.

- c. Precipitación Frontal o del tipo ciclónico.** Se asocian a las superficies de contacto entre la temperatura de la masa de aire, el gradiente térmico vertical, la humedad y de los diversos índices del recorrido, que uno nombra Frentes. Los frentes fríos crean precipitaciones cortas e intensas. Los Frentes calientes generan precipitaciones de larga duración pero no muy intensas.

1.3.2 Evaporación y evapotranspiración

La evaporación se produce básicamente por el aumento de energía cinética que experimentan las moléculas de agua cercanas a la superficie de un suelo húmedo o una masa de agua, producido por la radiación solar, el viento y las diferencias en presión de vapor. (Aparicio, 1992)

La evaporación es una etapa permanente del ciclo hidrológico. Hay evaporación en todo momento y desde toda superficie húmeda. Considerada como un fenómeno puramente físico, la evaporación es el pasaje del agua al estado de vapor; sin embargo hay otra evaporación, la provocada por la actividad de las plantas y que recibe el nombre de transpiración. (Chereque, 1989)

1.3.3 Infiltración

Aparicio (1992) define la infiltración como el movimiento del agua, a través de la superficie del suelo y hacia adentro del mismo, producido por la acción de las fuerzas gravitacionales y capilares.

Se entiende por infiltración el volumen de agua procedente de las precipitaciones, que en un determinado tiempo, atraviesa la superficie del terreno y ocupa total o parcialmente los poros del suelo o de las formaciones geológicas subyacentes. No toda la infiltración alcanza la zona saturada, pues en mayor o menor proporción, una parte queda en la zona superior y vuelve a la atmósfera por el proceso de evapotranspiración.

1.3.4 Almacenamiento

El agua subterránea es proveniente de la precipitación y se forma por infiltración o percolación de corrientes y lagos; la percolación directa es el proceso más efectivo de la recarga del agua subterránea donde la capa freática está más cerca de la superficie del terreno y puede fluir más tarde en forma de manantiales o llegar a las corrientes como escurrimiento y a los cauces como gasto base o gasto de agua subterránea.

El almacenamiento en el subsuelo es la principal fuente de humedad del perfil del suelo. Una parte del agua aquí almacenada percola hacia el almacenaje de agua subterránea profunda y se pierde de la fase superficial del ciclo hidrológico.

El almacenaje de depresiones, es definido como el agua que es retenida en pequeñas depresiones del terreno y que no se convierte en escurrimiento superficial, pero puede contribuir a ambos (infiltración y evaporación) dependiendo del el tiempo que permanece en esas depresiones del terreno.

1.3.5 Escorrentía

La escorrentía superficial es el fenómeno más importante desde el punto de vista de ingeniería, y consiste en la ocurrencia y transporte de agua en la superficie terrestre. (Monsalve, 1999)

La escorrentía puede presentarse en forma de valores medios: anuales, mensuales, diarios y como valores extremos. La información de escorrentía, al ser procesada, puede presentarse de otras formas tales como: mapas de rendimiento de cuencas, hidrogramas unitarios, curvas de duración de caudales y curvas de frecuencia de caudales. (Rojas, 2009)

El escurrimiento se define como el agua proveniente de la precipitación que circula sobre o bajo la superficie terrestre y que llega a una corriente para finalmente ser drenada hasta la salida de la cuenca. El agua proveniente de la precipitación que llega hasta la superficie terrestre una vez que una parte ha sido interceptada y evaporada sigue diversos caminos hasta llegar a la salida de la cuenca. Conviene dividir estos caminos en tres clases: escurrimiento superficial, escurrimiento subsuperficial y escurrimiento subterráneo. (Aparicio, 1992)

De acuerdo con el ciclo hidrológico, el escurrimiento se puede definir como la porción de la precipitación pluvial que ocurre en una zona o cuenca hidrológica y que circula sobre o debajo de la superficie terrestre y que llega a una corriente para ser drenada hasta la salida de una cuenca o bien alimentar un lago, si se trata de cuencas abiertas o cerradas, respectivamente. (Breña & Jacobo, 2006)

La escorrentía es el agua generada por una cuenca en la forma de flujo superficial y por tanto constituye la forma más disponible del recurso. El estudio de la escorrentía reviste gran importancia en la planificación de recursos hídricos y en diseño de obras. En manejo de cuencas es muy importante puesto que ella es un reflejo del comportamiento y estado de una cuenca.

1.4 Inventario de fuentes de agua

1.4.1 Descripción de los recursos hídricos superficiales

Las fuentes hídricas superficiales que podemos citar son: lagunas, humedales, riachuelos y ríos.

1.4.1.1 Lagunas

Son masas de agua acumuladas en una depresión natural (vaso) de la superficie terrestre. Las aguas almacenadas provienen de deshielos de glaciares, aportes de otras lagunas o del agotamiento de aguas de precipitación retenidas en la cuenca de dicha laguna.

Estas lagunas emiten los excedentes de agua a través de canal (boquilla). Estas lagunas poseen agua todo el año (permanentes) o se agotan en época de estiaje (temporales).

a) Origen del vaso

La depresión puede formarse por el impacto y/o desplazamiento de masas de hielo (origen glaciar); por el hundimiento del terreno a causa de movimientos tectónicos o por el bloqueo natural de una corriente de agua, al desencadenarse un derrumbe (barrera).

b) Fisiografía del vaso

La fisiografía del vaso puede tener variantes. Laguna rodeada por formaciones rocosas abruptas (encañonado); laguna rodeada parcialmente por rocas abruptas (semi-encañonado) y laguna rodeada por lomadas de suave pendiente (explayada).

c) Cobertura

La cobertura dependerá de la altitud y la ecología de la zona. La cubierta por pastos naturales y ciertos cultivos podemos encontrar hasta los 4,000 msnm. Son áreas de pastoreo de ganado vacuno, ovino y camélidos sudamericanos. Sobre los 4,000 msnm la cobertura vegetal es muy escasa, predominan los afloramientos rocosos.

d) Abastecimiento

El abastecimiento de agua se manifiesta como pequeñas corrientes de agua (arroyos) que discurren hacia el vaso. También como concentraciones de humedad que se proyectan hacia la laguna (filtraciones).

e) Volumen de almacenamiento

El volumen total de las lagunas se estima, considerando una profundidad referencial dada por los lugareños y el área del espejo de agua calculado mediante el registro del perímetro con el GPS. El volumen útil actual (lagunas con represamiento) se determina en base a la altura del dique existente y el espejo de agua. El volumen útil proyectado (lagunas sin represamiento) se estima considerando la altura mínima de los bordes del vaso (en la boquilla) y el espejo de agua.

1.4.1.2 Manantiales

Son corrientes de agua subterránea que afloran a la superficie en forma concentrada (ojo de agua) o en forma dispersa (filtraciones difusas). Estas corrientes son infiltraciones provenientes directamente de la precipitación o

de lagunas, bofedales, acequias, etc. (parte alta de la cuenca). Discurren a través de estratos permeables del subsuelo.

Estas fuentes pueden ser permanentes (emiten todo el año) o temporales (emiten en época de lluvia)

1.4.1.3 Riachuelos

Son pequeñas corrientes de agua que transitan por una quebrada. Se abastecen de aguas provenientes de manantiales o lagunas. El caudal puede reducirse pero no agotarse (permanentes) o agotarse totalmente (intermitentes). En época de lluvias se vuelven torrentosos, transformándose en algunos casos en aluviones (huaycos).

1.4.1.4 Ríos

Son corrientes de agua de mayor descarga que los riachuelos y transitan por cauces de mayor longitud, mayor anchura y menor pendiente. Se abastecen de riachuelos, manantiales y lagunas.

1.5 Métodos de aforo

El aforo es el procedimiento de medir un caudal, mediante el cual podemos determinar la cantidad de agua que está circulando en un punto determinado de nuestros canales, riachuelos, quebradas, etc.

Un aforo es la medición del caudal instantáneo de un cauce. Existen varios métodos de medición de la esorrentía los cuales se basan en diferentes principios físicos.

Los métodos de aforo aplicados para el presente trabajo podrían ser: El método volumétrico, el método del flotador y el método del correntómetro.

1.5.1 Método volumétrico

Se aplica para pequeños caudales de hasta 20 lps acondicionando un chorro de agua de manera que descargue en un balde de 20 lt. En algunos casos podría ser necesario partir la corriente en 02 chorros. Se toma el tiempo de llenado con un cronometro. Luego el caudal es determinado según la fórmula:

$$Q = \frac{V}{T} \quad \dots(1)$$

Donde:

- Q : Caudal calculado del rio en Lt/s
- V : Volumen de balde en Lt.
- T : Tiempo de llenado en Seg.

1.5.2 Método del flotador

Consiste en encontrar en el riachuelo, un tramo recto y de flujo uniforme (con mínima turbulencia). En muchos casos ante la ausencia de estas condiciones se puede acondicionar, ya sea removiendo piedras del cauce con la pala o encausando para mejorar las condiciones hidráulicas.

Para este método se necesita de un flotador (que puede ser una pelotita de plástico, una pequeña madera, o una hoja de algún arbusto; también se necesita de un reloj (para medir el tiempo de recorrido del flotador). Sin embargo el grado de precisión no es tanto como el de los métodos anteriores. La ecuación empleada para el cálculo del caudal que circula a través del río aforado es la siguiente:

$$Q = V * A \quad \dots(2)$$

Donde:

- Q : Caudal calculado para la sección de rio en m³/s
- V : velocidad promedio del rio en m/s.
- A : área de la sección transversal del rio en m².

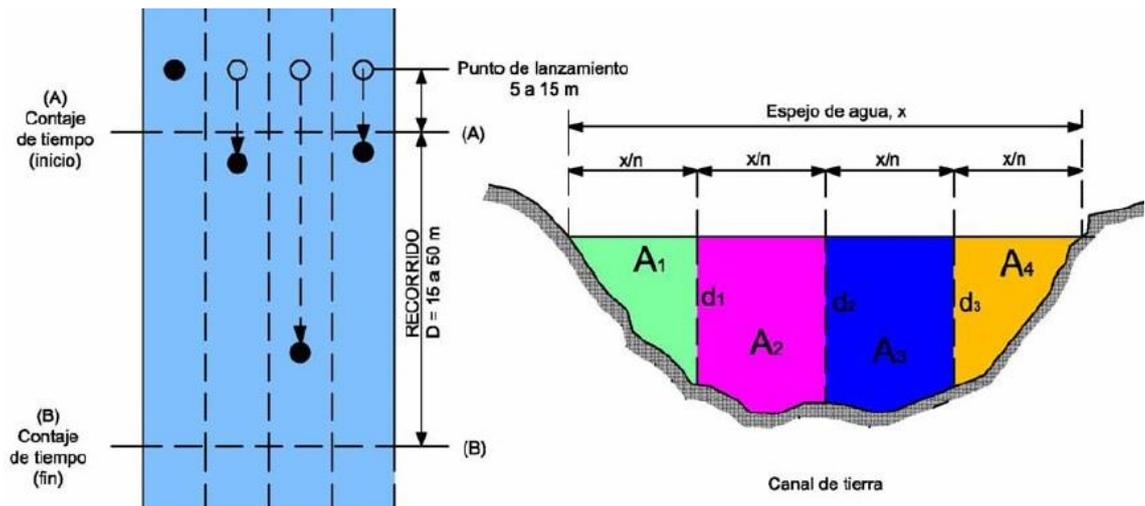


Figura 4: Método del flotador

1.5.3 Método del Correntómetro

Este método se aplica principalmente en ríos. Tiene el procedimiento siguiente:

- Reconocimiento del tramo de río y ubicación de la sección de aforo: La sección elegida además de tener el flujo uniforme, debía tener el suficiente tirante para que la hélice este lo suficientemente sumergida.
- Acondicionamiento de la sección: una vez definido la sección a aforar, es necesario acondicionar el cauce. Se remueve piedras, montículos de sedimentos y todo objeto que interfiera el flujo de agua y la labor de aforo.
- Preparación de la sección de aforo. Fijando un extremo de la wincha en una margen, se extendía hasta la otra margen. Por seguridad, los extremos se anclaban sobre objetos fijos (muros o montículos de piedra). La wincha debe ser tensada lo suficiente para minimizar la catenaria.
- Definición de las verticales de sondeo.
- Medición de tirantes de agua: En cada vertical se registra la medida del tirante de agua. El operador de aforos, recorrerá todos las verticales midiendo los tirantes. Con estos datos se calcula la ubicación del molinete en cada vertical.

- Montaje del equipo de aforo: Sigue el procedimiento siguiente:
 - 1º. Acoplar las varillas de vadeo (1, 2 o 3 según necesidad).
 - 2º. Colocar y fijar la base en el extremo inferior de la 1ra. varilla
 - 3º. En la varilla, Insertar el molinete, colocar en este el sujetador y fijar el molinete en la varilla.
 - 4º. Colocar y fijar el direccional, según la orientación del molinete.
 - 5º. Conectar los cables hacia el molinete y el contómetro
 - 6º. Finalmente se hizo la prueba del equipo, para comprobar si llega correctamente la señal del molinete hacia el contómetro.

- Lecturas del correntómetro: Con el equipo montado y probado, el operador se introduce al río y se ubica en la primera vertical de sondeo. Antes de sumergir el molinete, debe ubicar este a la profundidad correspondiente a cada vertical. La hélice se orienta contra la corriente y paralelo a ésta. El operador se debe situarse detrás del molinete (aguas abajo), sujetando la varilla en forma vertical. Una vez colocado correctamente, se enciende el contómetro y selecciona el tiempo de conteo en 30'

1.6 Cuenca hidrográfica y cuenca hidrológica

Una cuenca hidrográfica se define como la región geográfica dentro de la cual el agua se vierte a un río, quebrada o masa de agua en particular. La cuenca hidrográfica contiene agua en diversas formas, un afluente, un canal principal y un delta. (Villón, 2011)

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. (Vasquez, 2000)

La cuenca es aquella superficie en la cual el agua precipitada se transfiere

a las partes topográficas bajas por medio del sistema de drenaje, concentrándose generalmente en un colector que descarga a otras cuencas aledañas, o finalmente al océano. La cuenca hidrológica, junto con los acuíferos, son las unidades fundamentales de la hidrología (Breña & Jacobo, 2006).

La cuenca hidrológica se define como el área que contribuye al escurrimiento directo y que proporciona parte o todo el flujo de la corriente principal y sus tributarios.

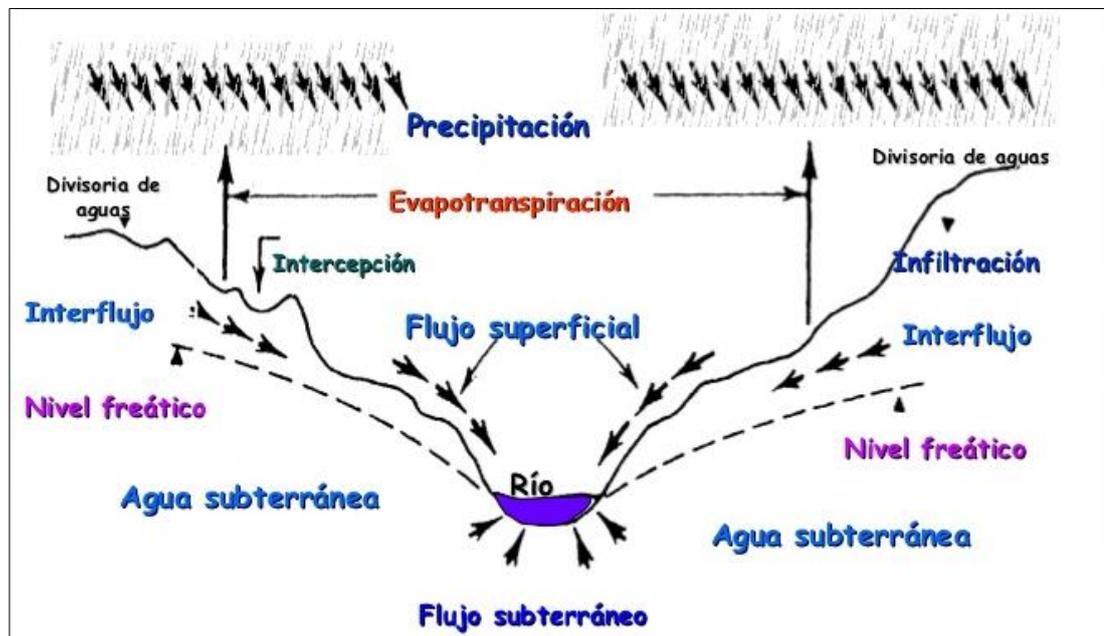


Figura 5: Ciclo hidrológico en una cuenca.

1.6.1 Delimitación de la cuenca

La delimitación de la cuenca, se hace siguiendo una línea formada por los puntos de mayor elevación topográfica, llamado divisoria, que divide las precipitaciones que caen en cuencas vecinas y que encaminan la escorrentía superficial resultante para un uso u otro sistema fluvial.

La delimitación de una cuenca se hace sobre un plano a curvas de un nivel, siguiendo las líneas de Divortium Acuarium o líneas de las altas cumbres. (Chereque, 1989)

1.6.2 Tamaño de la cuenca

Una cuenca pequeña puede ser definida como aquella que es sensible a las lluvias de alta intensidad y corta duración y en la cual predominan las características físicas del suelo con respecto a las del cauce.

De acuerdo con el tamaño, se clasifica en cuenca, subcuenca y microcuenca:

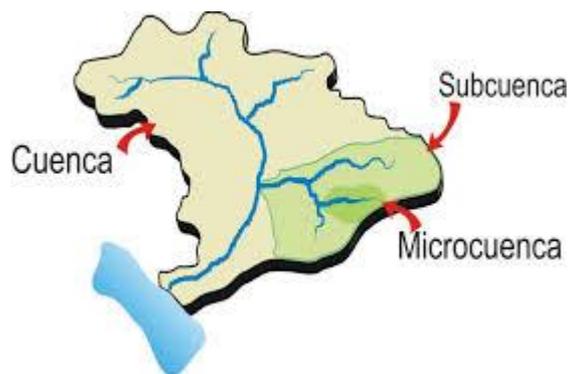


Figura 6: Clasificación según su tamaño cuenca.

- **Cuenca:** zona terrestre a partir de la cual toda la escorrentía superficial fluye a través de una serie de corrientes, ríos y, en ocasiones, lagos, hasta el mar por una única desembocadura (estuario o delta) y por las aguas subterráneas y costeras asociadas.
- **Subcuenca:** unidad del área o parte de una cuenca a partir de la cual toda la escorrentía superficial fluye a través de una serie de corrientes, ríos y, en ocasiones, lagos hacia un punto particular de un curso de agua que, por lo general, es un lago o una confluencia de ríos.
- **Microcuenca:** unidad del área o parte de la subcuenca que drena a ésta. Es una pequeña cuenca de primer o segundo orden, donde vive un cierto número de familias (comunidad) utilizando y manejando los recursos del área, principalmente el suelo, agua, vegetación incluyendo cultivos y vegetación nativa; fauna incluyendo animales domésticos y silvestres. En la microcuenca ocurren interacciones indivisibles entre los aspectos económicos (relacionados a los bienes y servicios producidos en su área), sociales (relacionados a los

patrones de comportamiento de los usuarios directos e indirectos de los recursos de la cuenca) y ambientales (relacionados al comportamiento o reacción de los recursos naturales frente a los dos aspectos anteriores). Por ello, las actividades a desarrollarse en la microcuenca deben considerar todas estas interacciones.

Tabla 1: Tamaño de la cuenca

TAMAÑO DE LA CUENCA (KM2)	DESCRIPCION	TAMAÑO	ÁREA (HA)
< 25	Muy pequeña	Cuenca	50000-80000
25-250	Pequeña	Subcuenca	5000-50000
250-500	Intermedia-pequeña	Microcuenca	<5000
500-2500	Intermedia grande		
2500-5000	Grande		
>5000	Muy grande		

Fuente: (Vasquez, 2000).

1.6.3 Caracterización de la cuenca

La caracterización de las cuencas permite también mejorar la evaluación de los riesgos de sequías, inundaciones y gestión de los recursos hídricos, en general, gracias a que es posible evaluar la entrada, acumulación y salida de sus aguas y planificar su aprovechamiento analíticamente. Por lo que se considera que la gestión integrada de las cuencas es el método más adecuado para el desarrollo de los recursos hídricos. (Vasquez, 2000)

1.6.4 Parámetros geomorfológicos

Nos permite establecer comparaciones entre cuencas estudiadas, con otras en las que no exista la suficiente información.

1.6.4.1 Área de la cuenca

El área (A) de la cuenca es quizá el parámetro más importante, siendo determinante de la escala de varios fenómenos hidrológicos tales como, el volumen de agua que ingresa por la precipitación, la magnitud de los

caudales. El área de la cuenca se define como la proyección horizontal de la superficie de la misma y se puede medir directamente del mapa topográfico.

1.6.4.2 Perímetro de la cuenca

El perímetro (P) es la longitud del límite exterior de la cuenca y depende de la superficie y forma de la cuenca. Se refiere al borde de la forma de la cuenca proyectada en un plano horizontal, es de forma muy irregular, se obtiene después de delimitar la cuenca.

1.6.4.3 Parámetros asociados de la longitud.

- a) Longitud de la cuenca.-** Es la longitud de una línea recta con dirección "paralela" al cauce principal.
- b) Longitud del cauce principal.-** La longitud de un río es la distancia entre la desembocadura y el nacimiento.
- c) Longitud máxima (Lm) o recorrido principal de la cuenca.-** Es la distancia entre el punto de desagüe y el punto más alejado de la cuenca siguiendo la dirección del drenaje.

1.6.4.4 Forma de la cuenca

La forma de la cuenca es la configuración geométrica de la cuenca tal está proyectada sobre el plano horizontal. Tradicionalmente se pensaba que era de gran importancia y que podía coincidir sensiblemente en el tiempo de respuesta de la cuenca, es decir, al tiempo de recorrido de las aguas a través de la red drenaje, y por consiguiente a la forma del hidrograma resultante de una lluvia. (Villón, 2011).

La cuenca superficial de una cuenca hidrográfica es importante debido a que influye en el valor del tiempo de concentración, definido como el tiempo

necesario para que toda la cuenca contribuya al flujo en la sección en estudio, a partir del inicio de la lluvia. (Monsalve, 1999)

En la actualidad no se da tanta importancia a la forma de la cuenca. Para determinar la forma de una cuenca se utilizan varios índices asociados a la relación área – perímetro, los más comunes son:

A. Índice o coeficiente de compacidad (Kc).- El Índice o coeficiente de compacidad (Kc) se debe a Gravelius, es la relación entre el perímetro de la cuenca y la longitud de la circunferencia de un círculo de área igual al de la cuenca. Da la siguiente expresión:

$$Kc = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad \dots(3)$$

Donde:

P : perímetro de la cuenca

A : área de la cuenca

Con base en la cuantificación de la forma propuesta por Gravelius, se han determinado las siguientes categorías para su clasificación:

Tabla 2: Clases de valores de compacidad.

Valores de Kc	Forma	Características
1,00 – 1,25	Compacta o redonda	Cuenca torrencial peligrosa. Presenta
1,25 – 1,50	Oval redonda a oval oblonga.	Presenta peligros torrenciales, pero no iguales a la anterior.
1,50 – 1,75	Oval oblonga a rectangular oblonga.	Son las cuencas que tienen menos torrencialidad.

Fuente: (Lodoño, 2001)

B. Factor de forma de Horton (Rf).- Fue definido por Horton, como el cociente entre la superficie de la cuenca y el cuadrado de su longitud máxima o longitud axial de la misma (L_a):

$$Rf = \frac{A}{L_a^2} \quad \dots(4)$$

Donde:

L_a : Longitud máxima o longitud axial

A: Área de la cuenca

El valor máximo que se puede obtener del factor de forma es 0,7854 para una cuenca completamente circular y, a medida que la cuenca se hace más alargada, el valor tiende a cero.

C. Razón circular de Miller (Rc).- Miller usó una razón circular adimensional, definida como la razón del área de la cuenca (A), al área de un círculo (Ac) que tiene el mismo perímetro de la cuenca (P).

$$R_c = 12.566 \frac{A}{p^2} \quad \dots(5)$$

Esta razón es menor o igual a uno; los valores disminuyen a medida que la cuenca es más alargada o rectangular, y tienden a la unidad para cuencas redondas.

D. Razón de elongación de Schum (Re).- La razón de elongación se define como la razón del diámetro de un círculo (Dc) que tiene la misma área que la cuenca (A), a la longitud máxima de la cuenca (L_m). (Lodoño, 2001)

$$R_e = 1.1284 \frac{\sqrt{A}}{L_m} \quad \dots(6)$$

El valor máximo que se puede obtener de esta razón es uno, para cuencas perfectamente redondas, y tiende a cero, a medida que la cuenca es alargada y estrecha.

E. Índice de alargamiento (Ia).- Este índice propuesto por Horton, relaciona la longitud máxima encontrada en la cuenca, medida en el

sentido del río principal y el ancho máximo de ella medido perpendicularmente; se lo calcula de acuerdo a la fórmula siguiente:

$$I_a = \frac{L_m}{a} \quad \dots(7)$$

Donde:

- I_a : Índice de alargamiento
- L_m : Longitud máxima de la cuenca
- a : Ancho máximo de la cuenca.

Cuando I_a toma valores mayores a la unidad, se trata de cuencas alargadas, mientras que para valores cercanos a 1, se trata de una cuenca cuya red de drenaje presenta la forma de abanico y puede tenerse un río principal corto.

Tabla 3: Clases de valores de alargamiento

Rangos de I	Clases de alargamiento
< 1,4	Poco alargada
1,4-3,0	Moderadamente alargada
>3,0	Muy alargada

F. Rectángulo Equivalente.- para comparar el comportamiento hidrológico de dos cuencas, se utiliza la noción de 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 lo tanto igual coeficiente de Gravelius (coeficiente de compacidad). 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. (Villón, 2011)

Sus lados están definidos por:

$$L = \frac{K_C \sqrt{A}}{1.12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_C} \right)^2} \right] \quad \dots(8)$$

$$l = \frac{K_C \sqrt{A}}{1.12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_C} \right)^2} \right] \quad \dots(9)$$

Donde:

- L : Largo del rectángulo.
- l : Ancho del rectángulo.
- K_C : Coeficiente de compacidad.
- A : Área de la cuenca.

Para que esta representación sea posible es necesario que la condición:
 $K_C \geq 1.12$

1.6.4.5 Altitud y relieve de la cuenca

La influencia del relieve sobre la respuesta hidrológica de la cuenca es importante, puesto que a mayores pendientes corresponden mayores velocidades del agua en las corrientes y menor será el tiempo de concentración. (Villón, 2011)

- a) La curva Hipsométrica.- Cuando uno o más factores de interés en la cuenca hidrográfica dependen de la elevación, es útil saber cómo es la distribución altitudinal de su territorio. Esta distribución se puede mostrar por medio del histograma de las áreas comprendidas en los distintos rangos de altura. Sin embargo, como el devenir de los caudales en una sección fluvial depende, en forma acumulativa, de todo lo que ocurre aguas arriba de ella, se prefiere representar la distribución altitudinal mediante una curva de área-elevación o curva hipsométrica, la cual permite establecer, para cada altura, el área comprendida en la cuenca, y situada a una altura mayor que la que es dada.

La curva hipsométrica, o curva hipsográfica, es la representación gráfica del relieve de una cuenca. Representa el estudio de la variación de la elevación de los varios terrenos de la cuenca, con referencia al nivel medio

del mar. Esta variación puede ser indicada por medio de un gráfico que muestre el porcentaje de área de drenaje que existe por encima, o por debajo de varias elevaciones. (Lodoño, 2001)

- b) Altitud media.- La altitud y la elevación media de una cuenca son importantes, por la influencia que ejercen sobre la precipitación, sobre las pérdidas de agua por evaporación y transpiración y, consecuentemente, sobre el caudal medio.

$$H_m = \left(\frac{\sum a_i * h_i}{A} \right) \quad \dots(10)$$

Donde:

- a_i : Área parcial de terreno entre curvas de nivel
 h_i : Altitud media de cada área parcial entre dos curvas de nivel.
 A : Área de la cuenca

- c) Índice de pendiente.- El gradiente de pendiente de una cuenca tiene importancia en el comportamiento hidrológico de la misma, dado que, indirectamente, a través de la velocidad, incide en el tiempo de concentración. Por ello, en lugar de definir todo el relieve a través de una curva o de un rectángulo, se lo puede definir por un determinado índice que sintetice la pendiente de la cuenca.

El índice de pendiente, es una ponderación que se establece entre las pendientes y el tramo recorrido por el río. Con este valor se puede establecer el tipo de granulometría que se encuentra en el cauce. Además, expresa en cierto modo, el relieve de la cuenca. Se obtiene utilizando el rectángulo equivalente, mediante la siguiente ecuación:

$$I_p = \sum_{i=2}^n \sqrt{\beta_i (a_i - a_{i-1})} \frac{1}{\sqrt{L}} \quad \dots(11)$$

Donde:

- I_p : índice de pendiente

N : número de curvas de nivel existente en el rectángulo equivalente, incluido los extremos.

$a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$: cotas de las n curvas de nivel consideradas (Km)

β_i : Fracción de la superficie total de la cuenca comprendida entre las cotas $a_i - a_{i-1}$

$$\beta_i = \frac{A_i}{A_T} \quad \dots(11.a)$$

L : longitud del lado mayor del rectángulo equivalente (Km)

- d) Pendiente de la cuenca.- Según Alvord este criterio está basado en la obtención previa de las pendientes existentes entre las curvas de nivel. Dividiendo el área de la cuenca, en áreas parciales por medio de sus curvas de desnivel, y las líneas medias de las curvas de nivel. (Villón, 2011)

Para, desnivel constante entre curvas de nivel (D):

$$S = \frac{DL}{A} \quad \dots(12.1)$$

Donde:

S : pendiente de la cuenca

D : desnivel constante entre curvas de nivel en Km.

L : longitud total de las curvas de nivel dentro de la cuenca en

A : área de la cuenca en Km²

En caso que la (D) no sea constante (eso puede suceder en la parte más alta y parte más baja de la cuenca) la ecuación se tiene.

$$S = \frac{D1*L1+D2*L2.....Dn*Ln}{A} \quad \dots(12.2)$$

Donde:

S : pendiente de la cuenca

D1 : desnivel en la parte más baja en Km.

Dn : desnivel en la parte más alta en Km.

A : área de la cuenca en Km².

1.6.4.6 Red de drenaje de la cuenca

- i. Densidad de drenaje.- La densidad de drenaje en una cuenca es la relación entre la longitud de las corrientes y la superficie de la cuenca, es decir:

$$D_d = \frac{L_{tc}}{A} \quad \dots(13)$$

Donde:

D_d : densidad de drenaje

L_{tc} : longitud total de corrientes perennes o intermitentes en Km.

A : área de la cuenca en Km²

La densidad de drenaje, es parámetro que indica la posible naturaleza de los suelos, que se encuentran en la cuenca. (Villón, 2011)

Según Monsalve (1999), la densidad de drenaje usualmente toma valores entre 0,5 Km/Km², para cuencas con drenaje pobre, hasta 3,5 Km/Km², para cuencas excepcionalmente bien drenadas.

Tabla 4: Clases de densidad de drenaje

Rangos de densidad	Clases
<5	Baja
5-10	Moderada
>10	Alta

- ii. Pendiente media del cauce.- Tiene gran importancia porque, a través de la velocidad del flujo de agua, influye en el tiempo de respuesta de la cuenca.

Según Zorrilla (2011) la pendiente del cauce se la puede estimar por

diferentes métodos, uno de ellos es el de los valores extremos, el cual consiste en determinar el desnivel H entre los puntos más elevado y más bajo del río en estudio y luego dividirlo entre la longitud del mismo cauce L, lo que significa:

$$S = \frac{\Delta H}{L} \quad \dots(14)$$

Donde:

- S : Pendiente media del cauce
- ΔH : Desnivel entre los puntos más elevado y más alto.
- L : Longitud del cauce.

Según la ecuación de Taylor y Schwars este método considera que un río está formado por n tramos de igual longitud cada uno de ellos con pendiente uniforme, para este caso es:

$$S = \left[\frac{n}{\frac{1}{\sqrt{S_1}} + \frac{1}{\sqrt{S_2}} + \frac{1}{\sqrt{S_3}} + \dots + \frac{1}{\sqrt{S_n}}} \right]^2 \quad \dots(15)$$

Donde:

- N : número de tramos iguales, en los cauces subdivide el perfil
- S_1, S_2, \dots, S_n : pendiente de cada tramo, según $S = \frac{\Delta H}{L}$
- S : pendiente

Se tiene una mejor aproximación, cuanto más grande sea el número de tramos, en los cuales subdivide el perfil longitudinal del río a analizar (Villón, 2011)

Tabla 5: Clases de valores de pendiente del cauce

Rangos de pendiente (%)	Clase
<10	Suave
10-30	Moderada
>30	Fuerte

Fuente: (Zorrilla, 2011)

iii. Número de orden de un cauce.- Existen diversos criterios para el ordenamiento de los cauces (o canales) en la red de drenaje de una cuenca hidrográfica; destacando **Horton y Strahler**.

- **En el sistema de Horton:** Horton propuso un esquema de ordenamiento para la red de drenaje, con base en este ordenamiento, encontró algunas regularidades existentes en la red de drenaje, relacionadas con la estructura de bifurcación, y su distribución espacial. Los primeros resultados empíricos sobre estas regularidades se conocen como las leyes de Horton: la llamada ley de los números de corriente y ley de las longitudes de corriente. (Perez, 2015)

Los cauces de primer orden son aquellos que no poseen tributarios, los cauces de segundo orden tienen afluentes de primer orden, los cauces de tercer orden reciben influencia de cauces de segundo orden, pudiendo recibir directamente cauces de primer orden. Entonces, un canal de orden u puede recibir tributarios de orden $u-1$ hasta 1.

Esto implica atribuir mayor orden al río principal, considerando esta designación en toda su longitud, desde la salida de la cuenca hasta sus nacientes.

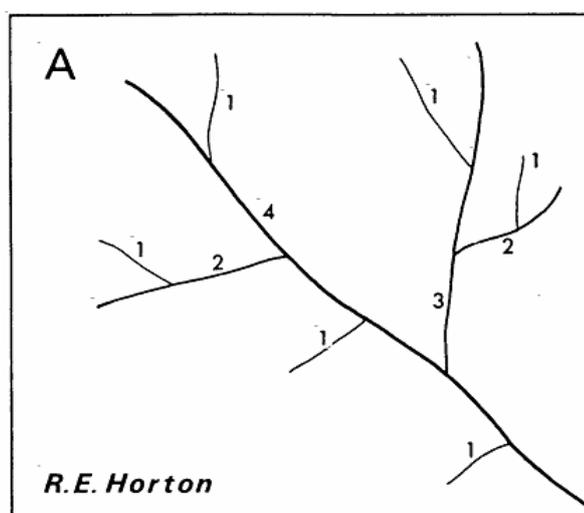


Figura 7: Orden de un cauce por el método de Horton.

- ❑ **El sistema de Strahler:** Strahler revisó y perfeccionó el esquema de Horton dando lugar al esquema de ordenación o de clasificación de Horton-Strahler, hoy en día el más utilizado en hidrología. Las redes de drenaje pueden ser modeladas o representadas como árboles, los cuales están conformados por un conjunto de nodos conectados unos a otros por segmentos de recta de manera que cada nodo tiene solo una ruta hacia la salida. Los nodos que se conectan a un solo segmento son llamados fuentes y los que conectan a más de uno son llamados uniones. Además los segmentos que se conectan a una fuente y a una unión se los denomina tramos exteriores o externos y a aquellos que se conectan a dos uniones se les denomina tramos interiores o internos. (Perez, 2015)

Para evitar la subjetividad de la designación en las nacientes determina que todos los cauces serán tributarios de aun cuando las nacientes sean ríos principales. El río en este sistema no mantiene el mismo orden en toda su extensión.

El orden de una cuenca hidrográfica está dado por el número de orden del cauce principal.

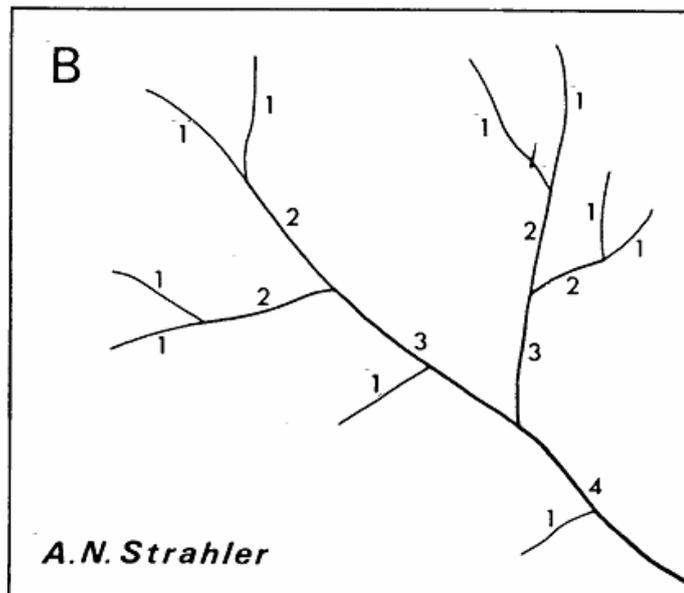


Figura 8: Orden de un cauce por el método de Strahler

Según **Strahler** una corriente puede tener uno o más segmentos. Un canal es una unión arbitraria de Segmentos. Strahler ordena las corrientes de acuerdo a los siguientes criterios:

- Los segmentos que se originan en un nudo externo son definidos como tramos de primer orden.
- Cuando dos segmentos del mismo orden, i , se unen en un nudo interior dan lugar a un segmento de orden superior, $i+1$, aguas abajo.
- Cuando se unen dos tramos de distinto orden en un nudo interior dan lugar a un tramo que conserva el mayor de los órdenes.
- El orden de la cuenca, es el de la corriente de mayor orden.

Tabla 6: Clases de orden de corriente

Rangos de ordenes	Clases de orden
< 3	Bajo
3 - 6	Medio
> 6	Alto

Fuente: (Zorrilla, 2011)

1.6.5 Tiempo de concentración de la cuenca

Se denomina tiempo de concentración, al tiempo transcurrido, desde que una gota de agua cae, en el punto más alejado de la cuenca hasta que llega a la salida de esta (estación de aforo). Este tiempo es función de ciertas características geográficas y topográficas de la cuenca. (Villón, 2011)

Por tener el concepto de tiempo de concentración una cierta base física, han sido numerosos los autores que han obtenido formulaciones del mismo, a partir de las características morfológicas y geométricas de la cuenca. A continuación, se muestran algunas de esas fórmulas empíricas:

1.6.5.1 *Formula de Kirpich*

Calcula el tiempo de concentración (T_c) en horas, según la expresión:

$$T_c = 0.000325 \left(\frac{L^{0.77}}{S^{0.385}} \right) \quad \dots(16)$$

Donde:

- T_c : tiempo de concentración en horas.
- L : longitud del cauce principal de la cuenca en metros.
- S : pendiente a lo largo del cauce en m/m

1.6.5.2 *Formula de Temez*

$$T_c = 0.3 \left(\frac{L}{S^{0.25}} \right)^{0.76} \quad \dots(17)$$

Donde:

- T_c : tiempo de concentración en horas.
- L : longitud del cauce principal de la cuenca en Km.
- S : pendiente del recorrido en m/m

1.6.5.3 *Fórmula de Bransby Williams.*

$$T_c = 0.243 \left(\frac{L}{A^{0.1} S^{0.2}} \right) \quad \dots(18)$$

Dónde:

- T_c : Tiempo de concentración en horas.
- L : Longitud del curso principal en kilómetros.
- A : Área de cuenca en Km².
- S : Pendiente a lo largo del cauce en m/m .

1.6.5.4 *Fórmula de Californiana (del U.S.B.R.)*

$$T_c = 0.066 \left(\frac{L}{S^{0.5}} \right)^{0.77} \quad \dots(19)$$

Dónde:

- T_c : Tiempo de Concentración en horas.
- L : Longitud del Cauce en Km.

S : Pendiente del Cauce Principal en m/m.

1.6.5.5 *Formula de Guiandotti*

$$T_C = \frac{(4A^{0.5} + 1.5L)}{25.3(SL)^{0.5}} \dots(20)$$

Dónde:

Tc : Tiempo de Concentración en horas.

A : Área de la Cuenca en km².

L : Longitud del Cauce en a Km.

S : Pendiente del Cauce Principal

1.7 Tratamiento de la información pluviométrica

Una de las áreas más descuidadas en el análisis de series hidrológicas es el tratamiento de los datos históricos registrados por medición directa por lectura o por conteo.

Aquí, tratamiento significa el ajuste de los datos históricos a una condición homogénea, incluyendo la corrección de los posibles errores sistemáticos, la completación, extensión de los mismos y la reducción de los datos a condiciones naturales.

La mayoría de las cuencas y las condiciones desarrolladas están en un constante estado de transición; por esta razón, los datos históricos pueden ser válidos sólo para una condición desarrollada e inválidos para otra; por ello, la confianza de la hidrología como una disciplina científica está realmente basada sobre la disponibilidad de suficientes datos (en cantidad y calidad) para verificar las teorías alrededor del fenómeno natural.

El procedimiento seguido para el tratamiento de datos hidrometeorológicos se presenta esquemáticamente en el figura 9 que, dentro del contexto general de un estudio se denomina **fase preliminar** y consiste básicamente de tres actividades principales: (1) **Análisis de consistencia de la**

información, (2) completación de los datos faltantes y (3) extensión de los registros.

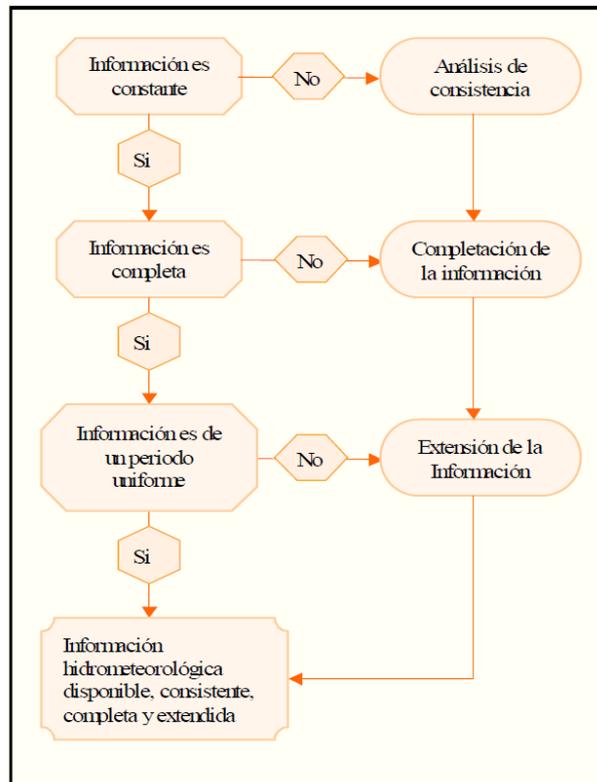


Figura 9: Diagrama de flujo para el tratamiento de datos hidrometeorológicos

Con la obtención de la información consistente, completa y extendida termina la fase preliminar, pudiendo a partir de este momento determinar los parámetros deseados de dichos datos desarrollando la **fase aplicativa** que, para la presente tesis vendría a ser la aplicación del modelo “Precipitación-Descarga” del experto Lutz Scholz.

1.7.1 Análisis de consistencia de la información

La no-homogeneidad e inconsistencia en series hidrológicas representa uno de los aspectos más importantes en los estudios hidrológicos contemporáneos, ya que, cuando no se identifica, elimina ni se ajustan a las condiciones futuras la inconsistencia y no-homogeneidad en la muestra histórica se puede introducir un error significativo en todos los análisis futuros que se realicen, obteniéndose resultados altamente sesgados.

Inconsistencia es sinónimo de error sistemático y se presenta como saltos y tendencias y, la no homogeneidad es definida como los cambios de los datos vírgenes con el tiempo. Por ejemplo, la no homogeneidad en los datos de precipitación son creados por tres fuentes principales: (1) el movimiento de las estaciones en una distancia horizontal, (2) el movimiento vertical, (3) cambios en el medio ambiente de una estación de control como tala árboles, construcción de casas, inundaciones, entre otros.

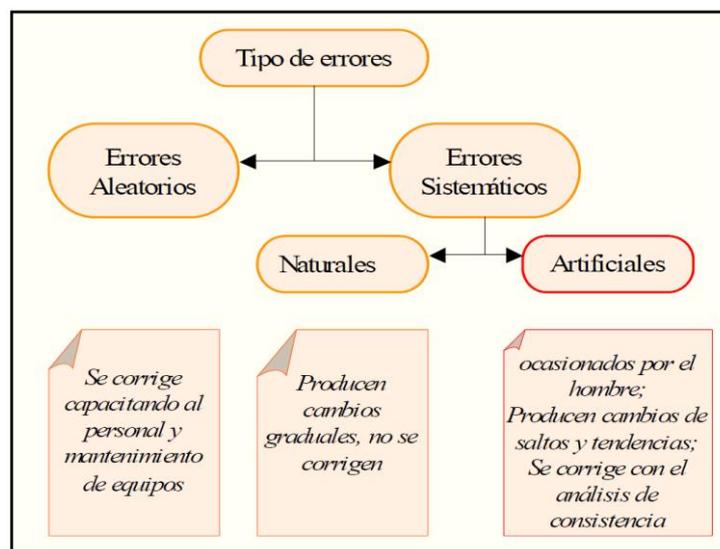


Figura 10: Tipos de errores: errores aleatorios y sistemáticos

- **Los errores aleatorios**, se presentan debido a la inexactitud en las mediciones y observaciones, son difíciles de evaluar después de transcurrido un tiempo y se originan por error de lectura de datos, equipos defectuosos, mal empleo de los equipos, transcripciones erróneas, entre otros.
- **Los errores sistemáticos**, son los de mayor importancia y como consecuencia de los mismos los datos pueden ser incrementados o reducidos sistemáticamente, con lo que los resultados finales se desvían pudiéndose producir grandes errores en los estudios que se realicen a partir de dichos datos (regularizaciones).

Los errores sistemáticos pueden ser a la vez de dos tipos: naturales y artificiales u ocasionados por la mano del hombre los mismos que ocurren en una dirección como saltos y tendencias, de allí que sean éste tipo de errores los que se analicen para eliminarlos como datos inconsistentes.

Antes de iniciar cualquier análisis o utilizar los datos observados en las estaciones hidrométricas, hay necesidad de realizar ciertas verificaciones de los valores de precipitación. (Mejia, 2012)

1.7.1.1 Análisis gráfico de saltos

Mejia (2012) menciona que los saltos en el gráfico de una serie de tiempo hidrológica son, formas determinísticas transitorias que permiten a una serie hidrológica periódica o no periódica, pasar de un estado a otro como respuesta a cambios hechos por el hombre debido al continuo desarrollo del aprovechamiento de los recursos hídricos o cambios naturales continuos que pueden ocurrir. Ej. Derivaciones aguas arriba, cambio de estación hacia aguas arriba.

1.7.1.2 Análisis de doble masa

El análisis de doble masa denominado también de “dobles acumulaciones”, es una herramienta muy conocida y utilizada en la detección de inconsistencia de datos hidrológicos múltiples, cuando se dispone de dos o más series de datos, en lo que respecta a errores que se pueden haberse producido durante la obtención de los mismos. (Mejia, 2012)

Es la forma más usual de detectar períodos donde se han producido posibles errores, los cuales se observan en forma de quiebres en la pendiente de la curva doble masa. Esta curva se construye llevando a un sistema de coordenadas cartesianas los valores acumulados de una estación en cuestión (eje de ordenadas), contra los valores acumulados anuales de una estación Patrón (eje de las abscisas).

Cuando no se tiene una estación patrón cercana y de condiciones hidrológicas similares a la estación analizada, es decir una estación confiable para realizar el análisis de doble masa, se procede a utilizar más de dos estaciones vecinas de similar hidrología. Entonces, se realiza la acumulación de las precipitaciones anuales y de estas se saca el promedio, al final el grafico de doble masa tiene en el eje x el promedio acumulado y en el eje y, se tiene los valores acumulados de todas las estaciones utilizadas.

1.7.1.3 Análisis estadístico

La evaluación y cuantificación de los errores detectados en la forma de saltos se realiza mediante un análisis estadístico; vale decir, un proceso de inferencia para las medias y desviación estándar de ambos periodos separados en la fase anterior, mediante las pruebas de T de Student y F de Fisher respectivamente.

Después de obtener los gráficos contruidos para el análisis visual y del análisis de doble masa, el periodo de posible corrección de datos, lo que implica que un periodo de datos se mantendrá con sus valores originales, se procede a analizar los dos primeros parámetros de ambos periodos para comprobar estadísticamente si sus valores están dentro del rango permisible para un cierto nivel de significación según la hipótesis planteada. (Villón, 2002)

A. Consistencia de la media

Villón (2002) afirma que, el análisis estadístico consiste en probar, por medio de la prueba **T** de Student (prueba de hipótesis), que los valores promedio provienen de una misma población, lo cual será cierto si ambas medias son estadísticamente iguales con una probabilidad del 95% o con 5% de nivel de significación, de la siguiente manera:

1º. Se calcula la media y desviación estándar tanto del periodo dudoso como del confiable de la siguiente manera:

$$\bar{X}_1 = \frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^{n_1} X_i \quad \dots(21); \quad S_1(x) = \sqrt{\frac{1}{n_1-1} \sum_{i=1}^{n_1} (X_i - \bar{X}_1)^2} \quad \dots(22)$$

$$\bar{X}_2 = \frac{1}{n_2} \sum_{j=1}^{n_2} X_j \quad \dots(23); \quad S_2(x) = \sqrt{\frac{1}{n_2-1} \sum_{j=1}^{n_2} (X_j - \bar{X}_2)^2} \quad \dots(24)$$

Donde:

\bar{X}_1, \bar{X}_2 : *Media del periodo 1 y 2, respectivamente.*

X_i, X_j : *Información de análisis en el periodo 1 y 2, respectivamente.*

$S_1(x), S_2(x)$: *Desviación estándar del periodo 1 y 2, respectivamente.*

n_1, n_2 : *Tamaño de cada periodo 1 y 2, respectivamente.*

n : *Tamaño de la muestra ($n=n_1+n_2$)*

Cabe hacer notar que el tamaño de la muestra para cada periodo (n_1 y n_2), se refiere a todos los valores diferentes de cero y no se toman en cuenta los valores con que se llenaron, para el análisis de doble masa.

2º. Se realiza la prueba de medias, mediante el estadístico **T** de Student, en el orden siguiente:

i. Se determina la hipótesis nula, la hipótesis alternativa y el nivel de significación:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

$$H_a: \mu_1 \neq \mu_2$$

$$\alpha = 0.05$$

ii. Para demostrar la hipótesis planteada de que las muestras provienen de la misma población, es decir que la media ambos periodos son

estadísticamente iguales, se obtiene un valor de **T** calculado, y un valor de **T** de tablas de la forma que sigue:

⊖ Cálculo del T_c (T calculado):

$$T_c = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{S_d} \quad \dots(25)$$

⊖ Desviación estándar de las diferencias de promedios:

$$S_d = S_p * \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}} \quad \dots(26)$$

⊖ Desviación estándar ponderada:

$$S_p = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}} \quad \dots(27)$$

Donde:

T_c : **T** calculado.

S_d : Desviación estándar de los promedios

S_p : Desviación estándar ponderada

3º. Hallar el valor de T_t (T tabulado) en las tablas:

Con 95% de probabilidades

$\alpha = 0.05$ si tabla es de una sola cola

$\alpha/2 = 0.025$ si tabla es de dos colas

G.L. = $n_1 + n_2 - 2$

Donde:

G.L. : Grados de libertad

α : Nivel de significación

4º. Criterio de decisión: Para tomar la decisión sobre la consistencia o no de la media, se compara el valor de **T** calculado con el **T** de las tablas:

Si, $|T_c| \leq |T_t|$ **(95%)** $\Rightarrow \bar{X}_1 = \bar{X}_2$ Estadísticamente las medias son iguales.

Si, $|T_c| > |T_t|$ **(95%)** $\Rightarrow \bar{X}_1 \neq \bar{X}_2$ Estadísticamente las medias son diferentes,
(existe salto)

B. Consistencia de la desviación estándar

El análisis de consistencia en la desviación estándar se realiza con la prueba "F" de la forma que a continuación se describe:

- Cálculo de las variancias de ambos períodos:

$$S_1^2(x) = \left[\frac{1}{n_1-1} \right] * \sum_{i=1}^{n_1} (X_i - \bar{X}_1)^2 \quad \dots(28)$$

$$S_2^2(x) = \left[\frac{1}{n_2-1} \right] * \sum_{j=1}^{n_2} (X_j - \bar{X}_2)^2 \quad \dots(29)$$

Según Villón (2002), este análisis se realiza mediante el estadístico **F**, si los valores de las desviaciones estándares de las submuestras son estadísticamente iguales o diferentes, con un 95% de probabilidad o con un 5% de nivel de significación, de la siguiente manera:

1°. Se calculó las variancias, sencillamente elevando al cuadrado las desviaciones estándar para cada período.

2°. Se hizo la prueba del estadístico F como sigue:

- i. Se ensaya las hipótesis, tanto nula y la alternativa:

$$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$$

$$H_a: \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$$

$$\alpha = 0.05$$

- ii. Se calcula el estadístico F_c :

$$F_c = \frac{S_1^2(x)}{S_2^2(x)}, \quad \text{si} \quad S_1^2(x) > S_2^2(x) \quad \dots(30)$$

$$F_c = \frac{S_2^2(x)}{S_1^2(x)}, \quad \text{si} \quad S_2^2(x) > S_1^2(x) \quad \dots(31)$$

3° Hallar el valor de F_t (F tabulado) en las tablas con:

$$\alpha = 0.05$$

$$\begin{bmatrix} GLN = n_1 - 1 \\ GLD = n_2 - 1 \end{bmatrix} \quad \text{Si} \quad S_1^2(x) > S_2^2(x)$$

$$\begin{bmatrix} GLN = n_1 - 1 \\ GLD = n_2 - 1 \end{bmatrix} \quad \text{Si} \quad S_2^2(x) > S_1^2(x)$$

Donde:

α : Nivel de significación

G.L.N : Grado de libertad del numerador

G.L.D : Grado de libertad del denominador

4° Criterio de decisión:

Si, $F_c \leq F_t$ (95%) $\Rightarrow S_1(x) = S_2(x)$ Las desviaciones estándar son iguales estadísticamente

Si, $F_c > F_t$ (95%) $\Rightarrow S_1(x) \neq S_2(x)$ Las desviaciones estándar son diferentes (existe salto)

Esto significa que la muestra es consistente en la desviación estándar cuando las desviaciones de los períodos comparados son estadísticamente iguales.

1.7.1.4 Corrección de los datos

En los casos en que los parámetros media y desviación estándar resultasen estadísticamente iguales, la información original no se corrige por ser consistente al 95% de probabilidad, aun cuando en la *doble masa* se observe pequeños quiebres.

Puede suceder que sólo la media o la desviación estándar resulte ser homogénea, en este caso y como norma general se debe corregir siempre.

Procedimiento:

Si resulta la media y desviación estándar estadísticamente diferentes, entonces se corrige mediante una ecuación que permite mantener los parámetros del período más confiable. Dicha ecuación se expresa como:

~ **Modelo para corregir el primer período:**

$$X'_{(t)} = \left[\frac{X_t - \bar{X}_1}{S_1(x)} \right] * S_2(x) + \bar{X}_2 \quad \dots(32)$$

~ **Modelo para corregir el segundo período:**

$$X'_{(t)} = \left[\frac{X_t - \bar{X}_2}{S_2(x)} \right] * S_1(x) + \bar{X}_1 \quad \dots(33)$$

Donde:

$X'(t)$: Valor corregido de la información

X_t : Valor a ser corregido

1.7.2 Completación y/o extensión de datos hidrometeorológicos

La disponibilidad de registros simultáneos en dos estaciones de medición puede ser útil para extender el registro de uno de ellos a partir del otro. No siempre los resultados son satisfactorios al extender un registro corto a partir de uno largo, ya que los estimadores de los parámetros de la muestra extendida deben ser estadísticamente superiores a los que se obtienen con la muestra original.

La completación y extensión de la información se realiza con la finalidad de aumentar el contenido de la información de los registros cortos y tener en lo posible series completas más confiables y de un período uniforme.

Existen varios procedimientos para realizar la completación y extensión de los datos faltantes, desde la utilización de criterios prácticos como el relleno con el promedio hasta la aplicación de técnicas estadísticas y matemáticas.

Cuando se realiza la completación y/o extensión de datos hidrológicos o meteorológicos se debe asegurar la confiabilidad de la técnica utilizada debido a que:

- Al aumentar la longitud de un registro de datos se disminuye el error estándar de estimación de los parámetros ya que cuando el tamaño muestral tiende al infinito el estimador se asemeja más al parámetro Poblacional.
- Si el procedimiento no es el adecuado en vez de mejorar los estimados se empeoran, siendo preferible utilizar los registros cortos.

El proceso de completación se realiza en las series consistentes, vale decir, después de haber analizado la confiabilidad de los mismos.

1.8 Análisis pluviométrico de la cuenca

1.8.1 Precipitación areal media de la cuenca

Para determinar la precipitación areal promedio de una cuenca, es necesario contar con una buena cantidad de estaciones pluviométricas, distribuidas convenientemente. Si se tiene esto es posible determinar la precipitación areal promedio de la cuenca y subcuencas, tanto anual como mensual, de acuerdo a varios criterios, entre los que se encuentran los métodos: “promedio aritmético”, los “polígonos de Thiessen” y el de “Isoyetas”.

1.8.1.1 Promedio aritmético

Se suma la altura de lluvia registrada en un cierto tiempo, en varias estaciones localizadas dentro de la zona de estudio, y se divide entre el número total de estaciones.

$$P_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i \quad \dots(34)$$

Donde:

P_m : precipitación media de la cuenca

P_i : precipitación de la estación i
 n : número de estaciones dentro de la cuenca

1.8.1.2 Método de Thiessen

Consiste en trazar triángulos que ligan las estaciones más próximas entre sí y formar polígonos cuyas caras son las líneas bisectoras de los lados de los triángulos.

El método consiste en:

- 1°. Unir las estaciones formando triángulos;
- 2°. Trazar las mediatrices de los lados de los triángulos formando polígonos. Cada polígono es el área de influencia de una estación;
- 3°. Hallar las áreas A_1, A_2, \dots, A_n de los polígonos.
- 4°. Si p_1, p_2, \dots, p_n son las correspondientes precipitaciones, entonces:

$$P_m = \frac{1}{A_T} \sum_{i=1}^n A_i * P_i \quad \dots(35)$$

Donde:

P_m : precipitación media de la cuenca
 A_T : área total de la cuenca
 A_i : área de influencia parcial del polígono de Thiessen correspondiente a la estación i .
 P_i : precipitación de la estación i
 n : número de estaciones tomadas en cuenta.

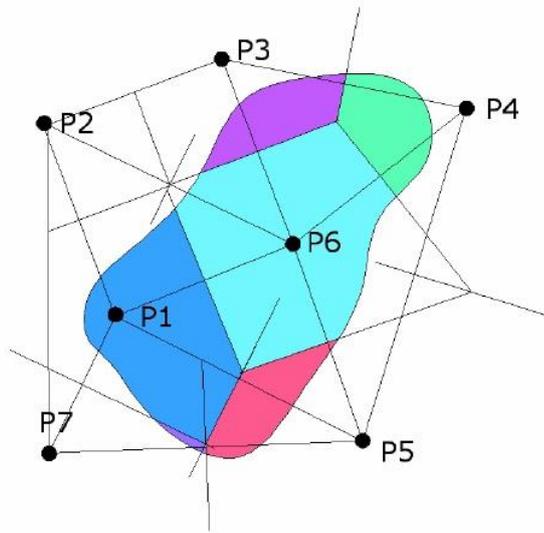


Figura 11: Polígono de Thiessen

1.8.1.3 Método de Isoyetas

Con los datos de precipitación se construye un plano de isoyetas, que son curvas que unen puntos de igual precipitación. Este método consiste en:

- 1°. Trazar las isoyetas, interpolando entre las diversas estaciones, de modo similar ha como se trazan las curvas de nivel;
- 2°. Hallar las áreas a_1, a_2, \dots, a_n entre cada 2 isoyetas seguidas;
- 3°. Si P_0, P_1, \dots, P_n son las precipitaciones representadas por las isoyetas respectivas, el cálculo de la precipitación se consigue de acuerdo con:

$$P_m = \frac{1}{A_T} \sum_{i=1}^n \frac{P_{i-1} + P_i}{2} * A_n \quad \dots(36)$$

Donde:

P_m : precipitación media

A_T : área total de la cuenca

P_i : altura de precipitación de las isoyetas i

A_i : área parcial comprendida entre las isoyetas P_{i-1} y P_i

n : número de áreas parciales.

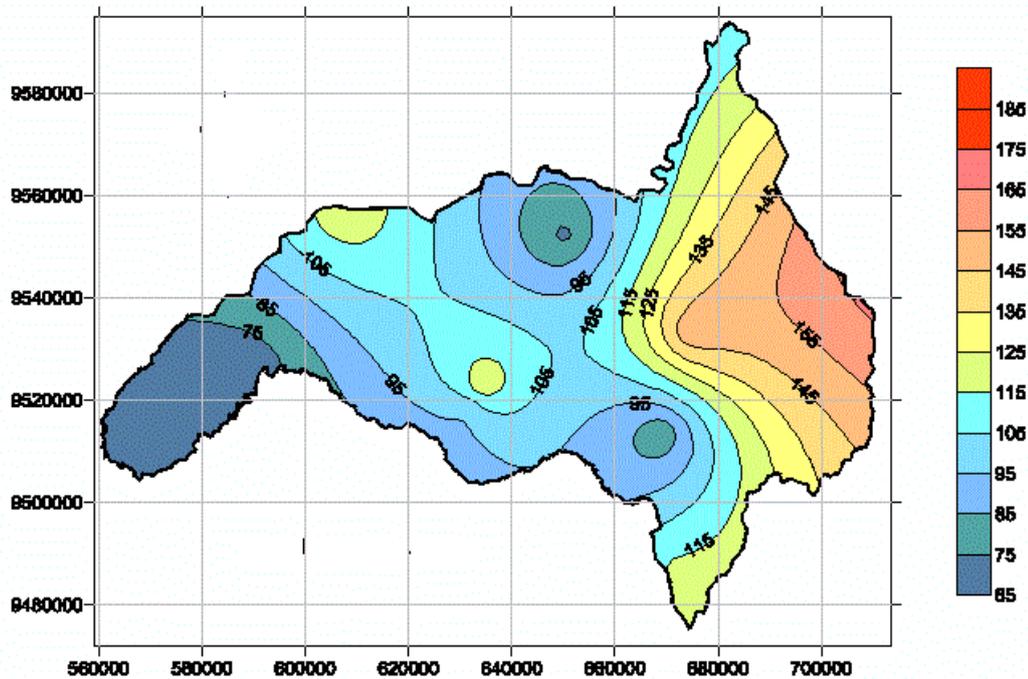


Figura 12: Método de isoyetas

De los tres métodos, el más preciso es el de las isoyetas, porque en la construcción de las curvas isoyetas el ingeniero puede utilizar todo su conocimiento sobre los posibles efectos orográficos. Por ejemplo, si existen dos estaciones en un valle, una en cada ladera, no se puede su poner que la precipitación que cae durante una tormenta varíe linealmente entre las dos estaciones.

1.9 Modelamiento Hidrológico: Relación Lluvia – Esgurrimiento

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

- La necesidad de contar con información hidrológica en puntos específicos de una cuenca, y que en la realidad en dichos puntos no existe información observada de caudales.

- La información histórica disponible de caudales medios mensuales en la estaciones de aforo existentes no es totalmente confiable, puesto que en los periodos de lluvia no se efectúan mediciones hidrológicas estandarizadas, y en muchos casos se tiene conocimiento que se han realizado “estimaciones subjetivas” de datos de caudal, además de extrapolar en los periodos de máximo escurrimiento la curva altura-caudal.
- El hecho de contar con escasas estaciones de aforo dentro de una cuenca, nos sitúa en un punto de incertidumbre por contar solamente con información localizada y a veces discontinuas mediciones de caudal, no existiendo la real posibilidad de contrastar y validar la información disponible.
- Considerando la directa dependencia o relación de la escorrentía respecto a la precipitación en la cuenca, es importante distinguir que la información de precipitación es más confiable que la hidrométrica, aspecto que nos impulsa a realizar modelaciones matemáticas que simulen dicha relación, es decir se emplee modelos de transformación lluvia-escorrentía.

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

1.9.1 Modelo Determinístico y Estocástico de Lutz Scholz

Este modelo hidrológico fue desarrollado por el experto Lutz Scholz (1980) para cuencas de la sierra peruana, en el marco de Cooperación Técnica de la República de Alemania a través del Plan Meriss II, es un modelo hidrológico combinado por que cuenta con una estructura determinística para el cálculo de los caudales mensuales para el año promedio (Balance Hídrico - Modelo determinístico); y una estructura estocástica para la

generación de series extendidas de caudal (Proceso markoviano - Modelo Estocástico).

Determinado el hecho de la ausencia de registros de caudal en la sierra peruana, el modelo se desarrolló tomando en consideración parámetros físicos y meteorológicos de las cuencas, que puedan ser obtenidos a través de mediciones cartográficas y de campo. Los parámetros más importantes del modelo son los coeficientes para la determinación de la precipitación efectiva, déficit de escurrimiento, retención y agotamiento de las cuencas. Los procedimientos que se han seguido en la implementación del modelo son:

Cálculo de los parámetros necesarios para la descripción de los fenómenos de esorrentía promedio.

Establecimiento de un conjunto de modelos parciales de los parámetros para el cálculo de caudales en cuencas sin información hidrométrica. En base a lo anterior se realiza el cálculo de los caudales necesarios.

Calibración del modelo y generación de caudales extendidos por un proceso markoviano combinado de precipitación efectiva del mes con el caudal del mes anterior.

Este modelo fue implementado con fines de pronosticar caudales a escala mensual, teniendo una utilización inicial en estudios de proyectos de riego y posteriormente extendiéndose el uso del mismo a estudios hidrológicos con prácticamente cualquier finalidad (abastecimiento de agua, hidroelectricidad etc).

Los resultados de la aplicación del modelo a las cuencas de la sierra peruana, han producido una correspondencia satisfactoria respecto a los valores medidos.

1.9.1.1 Conceptos Básicos empleados en el modelo por Lutz Scholz

- I. **Ecuaciones del Balance Hídrico.**- La ecuación fundamental que describe el balance hídrico mensual en mm/mes es la siguiente:

$$CM_i = P_i - D_i + G_i - A_i \quad \dots(37)$$

Donde:

- CM_i : Caudal mensual (mm/mes)
- P_i : Precipitación mensual sobre la cuenca (mm/mes)
- D_i : Déficit de escurrimiento (mm/mes)
- G_i : Gasto de la retención de la cuenca (mm/mes)
- A_i : Abastecimiento de la retención (mm/mes)

Asumiendo: Que para períodos largos (en este caso 1 año) el Gasto y Abastecimiento de la retención tienen el mismo valor es decir $G_i = A_i$, y. Que para el año promedio una parte de la precipitación retorna a la atmósfera por evaporación.

Reemplazando (P-D) por (C*P), y tomando en cuenta la transformación de unidades (mm/mes a m³/seg.) la ecuación (37) se convierte en:

$$Q = c' * C * P * AR \quad \dots(38)$$

Que es la expresión básica del método racional.

Donde:

- Q : Caudal (m³/s)
- c' : coeficiente de conversión del tiempo (mes/seg)
- C : coeficiente de escurrimiento
- P : Precipitación total mensual (mm/mes)
- AR : Área de la cuenca (m²)

- II. **Coeficiente de Escurrimiento.**- Se ha considerado el uso de la fórmula propuesta por L. Turc:

$$C = \frac{P-D}{P} \quad \dots(39)$$

Donde:

C: Coeficiente de escurrimiento (mm/año)

P: Precipitación Total anual (mm/año)

D: Déficit de escurrimiento (mm/año)

Para la determinación de D se utiliza la expresión:

$$D = P \frac{1}{\left[0.9 + \frac{P^2}{L^2}\right]^{\left(\frac{1}{2}\right)}} \quad \dots(40)$$

$$L = 300 + 25(T) + 0.05(T)^3 \quad \dots(40.a)$$

Donde:

L: Coeficiente de Temperatura

T: Temperatura media anual (°C)

Dado que no se ha podido obtener una ecuación general del coeficiente de escurrimiento para la toda la sierra, se ha desarrollado la fórmula siguiente, que es válida para la región sur:

$$\bar{C} = 3.16E12(P^{-0.571})(EP^{-3.686}) \quad r = 0.96 \quad (41)$$

$$\bar{D} = -1380 + 0.872(P) + 1.032(EP) \quad r = 0.96 \quad (42)$$

Donde:

C : Coeficiente de escurrimiento

D : Déficit de escurrimiento (mm/año)

P : Precipitación total anual (mm/año)

EP : Evapotranspiración anual según Hargreaves (mm/año)

r : Coeficiente de correlación

La evapotranspiración potencial, se ha determinado por la fórmula de Hargreaves:

$$ETP = 0.0075 * RSM * TF * FA \quad \dots(42.a)$$

$$RSM = 0.075 * RA \sqrt{\frac{n}{N}}$$

$$FA = 1 + 0.06 * AL$$

Dónde:

- RSM : Radiación solar media
- FA : Coeficiente de corrección por elevación
- TF : Temperatura media anual (°F)
- RA : Radiación extraterrestre (mm H₂O / año)
- (n/N) : Relación entre insolación actual y posible (%)
- AL : Elevación media de la cuenca (Km)

Para determinar la temperatura anual se toma en cuenta el valor de los registros de las estaciones y el gradiente de temperatura.

III. Precipitación Efectiva.- Para el cálculo de la Precipitación Efectiva, se supone que los caudales promedio observados en la cuenca pertenecen a un estado de equilibrio entre gasto y abastecimiento de la retención. La precipitación efectiva se calculó para el coeficiente de escurrimiento promedio, de tal forma que la relación entre precipitación efectiva y precipitación total resulta igual al coeficiente de escorrentía.

A fin de facilitar el cálculo de la precipitación efectiva se ha determinado el polinomio de quinto grado:

$$PE = a_0 + a_1P + a_2P^2 + a_3P^3 + a_4P^4 + a_5P^5 \quad \dots(43)$$

Donde:

- PE : Precipitación efectiva (mm/mes)
- P : Precipitación total mensual (mm/mes)
- a_i : Coeficiente del polinomio

Tabla 7: Coeficientes para el cálculo de la precipitación efectiva

COEFICIENTE PARA EL CALCULO DE PE SEGÚN CURVA			
ai	CURVA I	CURVA II	CURVA III
a0	(-0.018)	(-0.021)	(-0.028)
a1	-0.0185	0.1358	0.2756
a2	0.001105	-0.002295	-0.004103
a3	-1.204E-05	4.35E-05	5.534E-05
a4	1.44E-07	-8.90E-08	1.24E-07
a5	-2.85E-10	-8.79E-11	-1.42E-09

FUENTE: (Scholz, 1980)

~ Límite superior para la Precipitación Efectiva:

- Curva I : PE = P - 120.6 para P > 177.8 mm/mes
- Curva II : PE = P - 86.4 para P > 152.4 mm/mes
- Curva III : PE = P - 59.7 para P > 127.0 mm/mes

De esta forma es posible llegar a la relación entre la precipitación efectiva y precipitación total:

$$C = \frac{Q}{P} = \sum_{i=1}^{12} \frac{PE_i}{P} \quad \dots(43.a)$$

Donde:

- C : Coeficiente de escurrimiento
- Q : Caudal anual
- $\sum_{i=1}^{12} PE_i$: Suma de la precipitación efectiva mensual (mm/año)
- P : Precipitación Total anual

El cálculo de la “PE” característica para cada mes se realiza mediante la interpolación de dos curvas de “PE” determinados por los coeficientes del polinomio. El valor de “C” promedio indica aproximadamente cual es la combinación de curvas que se debe emplear.

Las combinaciones pueden ser: I y II ó II y III; la decisión de optar por una de las combinaciones lo dará el cálculo de los coeficientes de ponderación, que debe ser un numero positivo entre cero y uno.

Luego los coeficientes de ponderación son:

$$C_I = \frac{C * P - PE_{II}}{PE_I - PE_{II}} \quad \dots(43.b)$$

$$C_{II} = \frac{C * P - PE_I}{PE_{II} - PE_I} \quad \dots(43.c)$$

Condición: $0 < C_I$ y $C_{II} > 0$ y $C_I + C_{II} = 1$, si no se cumplen estas dos condiciones, probar con la siguiente combinación, es decir: II y III.

Así, la precipitación efectiva “PE” característica mensual para el ejemplo, se calcula de la siguiente manera:

$$PE = C_I * PE_I - C_{II} * PE_{II} \quad \dots(44)$$

Dónde:

- CI, CII : Coeficientes de ponderación de las curvas I y II
- PEI, PEII : Precipitación efectiva calculada por la curva I y II
- PE : Precipitación efectiva característica media mensual (mm)
- C : Coeficiente de escorrentía “C” promedio
- P : Precipitación mensual total (mm)

IV. Retención de la cuenca.- Bajo la suposición de que exista un equilibrio entre el gasto y el abastecimiento de la reserva de la cuenca y además que el caudal total sea igual a la precipitación efectiva anual, la contribución de la reserva hídrica al caudal se puede calcular según las fórmulas:

$$R_i = CM_i - P_i \quad \dots(45)$$

$$CM_i = PE_i + G_i - A_i$$

Donde:

- CM_i : Caudal mensual (mm/mes)
- PE_i : Precipitación Efectiva Mensual (mm/mes)
- R_i : Retención de la cuenca (mm/mes)
- G_i : Gasto de la retención (mm/mes)
- A_i : Abastecimiento de la retención (mm/mes)
- R_i = G_i para valores mayores que cero (mm/mes)
- R_i = A_i para valores menores que cero (mm/mes)

Sumando los valores de G o A respectivamente, se halla la retención total **R** de la cuenca para el año promedio, que para el caso de las cuencas de la sierra varía de 43 a 188 (mm/año).

❖ Variables influyentes en la retención de la cuenca:

1º. Relación entre descargas y retención

Durante la estación seca, el gasto de la retención alimenta los ríos, constituyendo el caudal o descarga básica. La reserva o retención de la cuenca se agota al final de la estación seca; durante esta estación la descarga se puede calcular en base a la ecuación:

$$Q_t = Q_0 e^{-a(t)} \quad \dots(46)$$

Donde:

- Q_t : descarga en el tiempo t
- Q₀ : descarga inicial
- a : Coeficiente de agotamiento
- t : tiempo

Al principio de la estación lluviosa, el proceso de agotamiento de la reserva termina, comenzando a su vez el abastecimiento de los almacenes hídricos. Este proceso está descrito por un déficit entre la precipitación efectiva y el caudal real.

Analizando los hidrogramas de contribución de la retención a los caudales, se constata que el abastecimiento es más fuerte al inicio de la estación lluviosa y cuando los almacenes naturales - lagunas, pantanos, nevados o los acuíferos ya están recargados parcialmente, la restitución acaba poco a poco.

2º. Coeficiente de Agotamiento

Este coeficiente no es constante durante toda la estación seca, ya que va disminuyendo gradualmente. Con fines prácticos se puede despreciar la variación del coeficiente "a" durante la estación seca empleando un valor promedio.

El coeficiente de agotamiento de la cuenca tiene una dependencia logarítmica del área de la cuenca.

$$a = f(\ln AR) \quad \dots(47)$$

$$a = 3.1249E67(AR)^{-0.1144}(EP)^{-19.336}(T)^{-3.369}(R)^{-1.429} \quad \dots(47.a)$$

$$r = 0.86$$

El análisis de las observaciones disponibles muestra, además cierta influencia del clima, la geología y la cobertura vegetal. Se ha desarrollado una ecuación empírica para la sierra peruana:

En principio, es posible determinar el coeficiente de agotamiento real mediante aforos sucesivos en el río durante la estación seca; sin embargo cuando no sea posible ello, se puede recurrir a las ecuaciones desarrolladas para la determinación del coeficiente "a" para cuatro clases de cuencas:

- Cuencas con agotamiento muy rápido. Debido a temperaturas elevadas (>10°C) y retención que va de reducida (50 mm/año) a mediana (80 mm/año):

$$a = -0.00252 * LnAR + 0.034 \quad \dots(47.1)$$

- Cuencas con agotamiento rápido. Retención entre 50 y 80 mm/año y vegetación poco desarrollada (puna):

$$a = -0.00252 * LnAR + 0.030 \quad \dots(47.2)$$

- Cuencas con agotamiento mediano. Retención mediana (80 mm/año) y vegetación mezclada (pastos, bosques y terrenos cultivados):

$$a = -0.00252 * LnAR + 0.026 \quad \dots(47.3)$$

- Cuencas con agotamiento reducido. Debido a la alta retención (> 100 mm/año) y vegetación mezclada:

$$a = -0.00252 * LnAR + 0.023 \quad \dots(47.4)$$

Donde:

- A : coeficiente de agotamiento por día
- AR : área de la cuenca (km²)
- EP : evapotranspiración potencial anual (mm/año)
- T : duración de la temporada seca (días)
- R : retención total de la cuenca (mm/año)

3º. Almacenamiento Hídrico

Tres tipos de almacenes hídricos naturales que inciden en la retención de la cuenca son considerados:

- ⊖ Acuíferos
- ⊖ Lagunas y pantanos
- ⊖ Nevados

La determinación de la lámina "L" que almacena cada tipo de estos almacenes está dado por:

❖ Acuíferos:

$$L_A = -750(I) + 315 \text{ (mm/año)} \quad \dots \text{ (48.1)}$$

Donde:

L_A : lámina específica de acuíferos

I : pendiente de desagüe: $I \leq 15 \%$

❖ Lagunas y Pantanos

$$L_L = 500 \text{ (mm/año)} \quad \dots \text{ (48.2)}$$

Donde:

L_L : Lámina específica de lagunas y pantanos

❖ Nevados

$$L_N = 500 \text{ (mm/año)} \quad \dots \text{ (48.3)}$$

Donde:

L_N : lámina específica de nevados

Las respectivas extensiones o áreas son determinadas de los mapas o aerofotografías. Los almacenamientos de corto plazo no son considerados para este caso, estando los mismos incluidos en las ecuaciones de la precipitación efectiva.

El almacenamiento se expresa en milímetros sobre toda la cuenca. Se considera como referencia los reportes del modelo elaborado por el PLAN MERISS II (Misión Técnica Alemana).

4º. Gasto de la Retención

La contribución mensual de la retención durante la estación seca se puede determinar experimentalmente en base a datos históricos de la cuenca en estudio por siguiente expresión:

$$G_i = [b_i / \sum_{i=1}^m b_i] R \quad \dots(49)$$

Donde:

- b_i : relación entre el caudal del mes actual y anterior (coeficiente del gasto de la retención).
- $\sum_{i=1}^m b_i$: Sumatoria de la relación entre el caudal del mes i y el caudal inicial. (Coeficiente del gasto de la retención).
- G_i : gasto mensual de la retención (mm/mes).
- R : retención de la cuenca (mm/mes).

Pero el coeficiente del gasto de la retención se calcula de la siguiente expresión:

$$b_i = e^{-at} \quad \dots(49.a)$$

Donde:

- b_i : relación entre el caudal del mes actual y anterior (coeficiente del gasto de la retención).
- a : Coeficiente de agotamiento.
- t : número de días del mes, es acumulativo para los meses siguientes.

5º. Restitución

Se utiliza como referencia los valores de la tabla 8 para estimar la cuota del almacenamiento mensual en la zona de interés.

$$R_i = \left(\frac{r_i}{\sum r_i} \right) \cdot A \quad \dots(50)$$

$$r_i = r/100 \quad \dots(50.a)$$

Donde:

- R_i : Proporción del agua de lluvia que entra en el almacén hídrico para el mes (i).
- A : Almacenamiento hídrico.
- r : almacenamiento hídrico (mm/año).
- r_i : almacenamiento hídrico durante la época de lluvia para el mes (i).

La extensión de cada tipo de la cuenca se mide con precisión suficiente en mapas de 1:100 000. Además, se toma como referencia aerofotos en caso que estén disponibles.

6º. *Abastecimiento de la Retención*

El abastecimiento durante la estación lluviosa es uniforme para cuencas ubicadas en la misma región climática.

Los coeficientes mensuales expresados en porcentaje del almacenamiento total anual se muestran en el **Tabla 8**.

Tabla 8: Almacenamiento Hídrico durante la Época de Lluvias (r %).

Mes	Cuzco	Ayacucho	Junín	Cajamarca
	1	5	3	4
Ene	40.0	65.0	30.0	20.0
Feb	20.0	15.0	30.0	25.0
Mar	-	5.0	5.0	35.0
Abr				
May				
Jun				
Jul				
Ago				
Sep				
Oct	-	10.0	10.0	25.0
Nov	5.0	-	-	- 5.0
Dic	35.0	5.0	25.0	-
Total	100.0	100.0	100.0	100.0

Comparando cuencas vecinas respecto a la lámina de agua que entra en la retención de la cuenca se puede demostrar que el abastecimiento durante la estación lluviosa es casi uniforme para cuencas ubicadas en la misma región climática.

Se determina el abastecimiento de la Retención experimentalmente en base a datos históricos de la cuenca en estudio o por similitud con cuencas vecinas.

La lámina de agua que entra en la reserva de la cuenca se muestra en forma de un déficit mensual de la precipitación efectiva mensual y se calcula mediante la siguiente expresión:

$$A_i = (a_i * R)/100 \quad \dots(51)$$

Donde:

- A_i : abastecimiento mensual déficit de la precipitación efectiva (mm/mes)
- a_i : coeficiente de abastecimiento (%)
- R : retención de la cuenca (mm/año)

1.9.2 Generación de Caudales según el modelo Lutz Scholz

1.9.2.1 Caudal mensual para un año promedio

Está basado en la ecuación fundamental que describe el balance hídrico mensual a partir de los componentes descritos anteriormente:

$$CM_i = PE_i + G_i - A_i \quad \dots(52)$$

Donde:

- CM_i : Caudal del mes i (mm/mes)
- PE_i : Precipitación efectiva del mes i (mm/mes)
- G_i : Gasto de la retención del mes i (mm/mes)
- A_i : abastecimiento del mes i (mm/mes)

1.9.2.2 Generación de caudales para periodos extendidos

A fin de generar una serie sintética de caudales para períodos extendidos, se ha implementado un modelo estocástico que consiste en una combinación de un proceso markoviano de primer orden, según la ecuación (53) con una variable de impulso, que en este caso es la precipitación efectiva en la ecuación (54):

$$Q_t = f(Q_{t-1}) \quad \dots(53)$$

$$Q = g(PE_t) \quad \dots(54)$$

Con la finalidad de aumentar el rango de valores generados y obtener una óptima aproximación a la realidad, se utiliza además una variable aleatoria.

$$Z = z(S)\sqrt{(1 - r^2)} \quad \dots(55)$$

La ecuación integral para la generación de caudales mensuales es:

$$Q_t = B1 + B2(Q_{t-1}) + B3(PE_T) + z(S)\sqrt{1 - r^2} \quad \dots(56)$$

Donde:

- Q_t : Caudal del mes t
- Q_{t-1} : Caudal del mes anterior
- PE_t : Precipitación efectiva del mes
- B1 : Factor constante o caudal básico.
- S : Error estándar de la regresión múltiple
- r : Coeficiente de correlación múltiple
- Z : Número aleatorio normalmente distribuido (0,1) del año t

Se calcula los parámetros B1, B2, B3, r y S sobre la base de los resultados del modelo para el año promedio por un cálculo de regresión múltiple con Q_t como valor dependiente y Q_{t-1} y PE_t, como valores independientes.

El proceso de generación requiere de un valor inicial, el cual puede ser obtenido en una de las siguientes formas:

- ~ Empezar el cálculo en el mes para el cual se dispone de un aforo.
- ~ Tomar como valor inicial el caudal promedio de cualquier mes.
- ~ Empezar con un caudal cero, calcular un año y tomar el último valor como valor Q_o sin considerar estos valores en el cálculo de los parámetros estadísticos del período generado.

□ **Regresión múltiple**

Se calculan los parámetros B0, B1, B2, r y S, sobre la base de los resultados del modelo para el año promedio, mediante el cálculo de

regresión con Q_t como valor dependiente y Q_{t-1} y PE_t , como valores independientes.

Ejemplo: sea “ Q_i ” los caudales generados por el modelo de Lutz Scholz para el mes i del año promedio, y “ PE_i ” la precipitación efectiva calculada para el mes i del año promedio, entonces las series para la regresión múltiple se elabora como se muestra en la Tabla N° 9 adjunto.

Luego, las ecuaciones para el cálculo de las variables son como sigue:

Ecuación de regresión lineal múltiple para dos variables:

Variables:

$$Y = B_0X_{0i} + B_1X_{1i} + B_2X_{2i} + E_i \quad \dots(57)$$

Se define:

$$\hat{Y} = Y - \bar{Y}$$

$$\hat{X}_1 = X_1 - \bar{X}_1$$

$$\hat{X}_2 = X_2 - \bar{X}_2$$

Los coeficientes se calculan:

$$B_0 = \bar{Y} - B_1\bar{X}_1 - B_2\bar{X}_2$$

Tabla 9: Esquema a seguir para la regresión múltiple

MES	Q_i	Q_{i-1}	Pe_i
	Y	X_1	X_2
Ene	Q1	Q12	PE1
Feb	Q2	Q1	PE2
Mar	Q3	Q2	PE3
Abr	Q4	Q3	PE4
May	Q5	Q4	PE5
Jun	Q6	Q5	PE6
Jul	Q7	Q6	PE7
Ago	Q8	Q7	PE8
Sep	Q9	Q8	PE9
Oct	Q10	Q9	PE10
Nov	Q11	Q10	PE11
Dic	Q12	Q11	PE12

$$B_1 = \frac{\sum(\bar{Y} \bar{X}_1) * \sum(\hat{X}_2^2) - \sum(\bar{Y} \bar{X}_2) * \sum(\hat{X}_1 \hat{X}_2)}{\sum(\hat{X}_1^2) * \sum(\hat{X}_2^2) - \sum(\hat{X}_1 \hat{X}_2)}$$

$$B_2 = \frac{\sum(\bar{Y} \bar{X}_2) * \sum(\hat{X}_1^2) - \sum(\bar{Y} \bar{X}_1) * \sum(\hat{X}_1 \hat{X}_2)}{\sum(\hat{X}_1^2) * \sum(\hat{X}_2^2) - \sum(\hat{X}_1 \hat{X}_2)}$$

Se define:

$$SPX_1Y = \sum (X_1 - \bar{X}_1)(Y - \bar{Y})$$

$$SPX_2Y = \sum (X_2 - \bar{X}_2)(Y - \bar{Y})$$

$$SCY = \sum (Y - \bar{Y})^2$$

Luego el coeficiente de correlación múltiple “r” se calcula:

$$r = \frac{B_1(SPX_1Y) + B_2(SPX_2Y)}{SCY}$$

Definimos:

Y : Valores muestrales (Qi'), de la variable dependiente

Y' : Valores estimados de la variable dependiente con la ecuación de regresión múltiple

e = Y - Y' : Error entre los valores observados y estimados de la variable dependiente

n : Número de grupos de la muestra (para nuestro caso 12)

p : Número de parámetros a estimar (para nuestro caso 3)

Luego el error estándar de la regresión múltiple “S” se calculan:

$$S = \sqrt{\frac{\sum(Y - Y')^2}{n - p}} = \sqrt{\frac{\sum e^2}{n - p}}$$

1.10 Generación y sistematización hidrológica utilizando ArcGis10.3

La forma de una superficie determina el modo en que el agua pueda fluir a través de la misma. Las herramientas de análisis hidrológico de ArcGIS proveen un método que permite describir las características físicas de una

superficie. Utilizando un modelo de elevación digital, es posible delinear un sistema de drenaje y cuantificar las características del sistema. Estas herramientas permiten determinar para cualquier ubicación de la cuenca el área de contribución para cualquier punto de interés y la cantidad de agua que puede recibir dicho punto. Las cuencas y las redes de drenaje creadas a partir de un modelo de elevación digital utilizando ArcGIS son las fuentes primarias para la mayoría de los modelados hidrológicos de superficie.

No obstante, los sistemas de información geográfica (SIG), desde su misma creación, han marcado una pauta fundamental a seguir en cualquier disciplina relacionada con el manejo de información espacial - la hidrología entre ellas, por lo que su papel en la evolución de la parte de la hidrología que aquí se estudia es, sin duda alguna, de vital importancia. La manera en que las aplicaciones más actuales se acercan a esa pauta y se hacen partícipes de los conceptos SIG dentro de sus propias características, define formas diversas de entender la relación entre la cartografía digital, el análisis hidrológico y la utilización de métodos computacionales. (Olaya, 2004)

1.10.1 Modelo de elevación digital

La forma más común de representar digitalmente la forma de la tierra es a través de un modelo basado en celdas, conocido como modelo de elevación digital (DEM). Estos datos son utilizados en ArcGIS para cuantificar las características de la superficie de la tierra. (Fuente: Aplicación de SIG a Recursos Hídricos)

Un DEM es una representación gráfica de una superficie continua, usualmente referida como una superficie de la tierra. La precisión de estos datos es determinada primariamente por resolución del modelo y resulta de vital importancia para la determinación de la dirección de flujo del agua.

Los mapas de pendiente (grado o porcentaje), aspecto de la pendiente, relieve de sombras, vistas en perspectiva 3D, son algunos los productos derivados del análisis topográfico a partir de un DEM.

1.11 Definición de términos empleados en el estudio

- **Río**; corriente de agua continua que sirve de canal natural de drenaje de una cuenca, que va a desembocar en otra, en un lago o en el mar. Se denomina también corriente de agua, curso de agua, riachuelo o canal.

Un río es una corriente natural de agua que fluye con continuidad. Posee un caudal determinado, rara vez constante a lo largo del año, y desemboca en el mar, en un lago o en otro río, en cuyo caso se denomina afluente. La parte final de un río es su desembocadura. Algunas veces terminan en zonas desérticas donde sus aguas se pierden por infiltración y evaporación: es el caso de los ríos alóctonos (llamados así porque sus aguas proceden de otros lugares con clima más húmedo), como el caso del Okavango en el falso delta donde desemboca o numerosos wadis (uadis) del Sahara y de otros desiertos. Cuando el río es corto y estrecho recibe el nombre de riacho, riachuelo o arroyo.

Tipos de ríos

a. Perennes

Estos ríos están formados por cursos de agua que son de las regiones donde no existe un río mayor de escorrentía excesivamente largo. Incluso en las áreas donde llueve muy poco pueden existir ríos con caudal permanente si existe una alimentación freática (es decir, de aguas subterráneas) suficiente. La mayoría de los ríos pueden experimentar cambios estacionales y diarios en su caudal, debido a las fluctuaciones de las características de la cobertura vegetal, de las precipitaciones y de otras variaciones del tiempo atmosférico como la nubosidad, insolación, evaporación o más bien, evapotranspiración, etc.

b. Estacionales

Estos ríos y ramblas son de zonas con clima tipo mediterráneo, en donde hay estaciones muy diferenciadas, con inviernos húmedos y veranos secos.

c. Transitorios

Son los ríos de zonas con clima desértico o seco, de caudal esporádico, en los cuales se puede estar sin precipitaciones durante años. Esto es debido a la poca frecuencia de las tormentas en zonas de clima de desierto. Pero cuando existen descargas de tormenta, que muchas veces son torrenciales, los ríos surgen rápidamente y a gran velocidad.

Reciben el nombre de wadis o uadis, a los cauces casi siempre secos de las zonas desérticas, que pueden llegar a tener crecidas violentas y muy breves.

d. Alóctonos

Son ríos, generalmente de zonas áridas, cuyas aguas proceden de otras regiones (de ahí su nombre) más lluviosas.

- **Quebrada;** abertura estrecha y continua entre dos vertientes que sirve de medio de escurrimiento hídrico, generalmente es causada por la erosión del flujo de agua que se presenta en forma esporádica o continua.

- **Laguna;** depósito natural de agua de menores dimensiones que un lago.

Es la denominación que recibe cualquier extensión natural de agua estancada, sea esta dulce o salada. La diferencia con los lagos no es muy precisa, salvo que se supone que una laguna tiene menor extensión y profundidad. Las lagunas que se encuentran cercanas al litoral y están asociadas a un origen marino se llaman marismas. No obstante, existen

lagunas más grandes y profundas que algunos lagos, motivo por el que la diferencia se limita exclusivamente a la toponimia o a la denominación tradicional de un área lacustre. Otra característica habitual de las lagunas es que se presentan agrupadas en aquellos lugares en los que los cursos fluviales no pueden desembocar en otros ríos mayores o en el mar, y desaguan en depresiones de suelos impermeables, que contienen el agua sin filtrarla, desecándose por evaporación. Este fenómeno se denomina endorreísmo.

- **Manantial;** lugar donde el agua aflora naturalmente de una roca o del suelo a la tierra o a una masa de agua superficial natural o artificial. Denominado también manante, y en nuestro medio andino como puquio.

Un manantial es el punto en donde el agua emana desde el suelo y es, entonces, el lugar en donde la superficie del acuífero se encuentra con la superficie del suelo.

- **Nombre de Fuente;** es la denominación que tiene la fuente de agua, la misma que se obtiene de la Carta Nacional, por indicación del guía de campo o por versión de los habitantes del lugar. ejemplo: río “Cabanillas”, quebrada “**Juana Ríos**”, manantial “Ojo de Toro”, laguna “Allpacchocha”.

- **Coordenadas UTM Norte – Y (m) y Coordenadas UTM Este – X (m);** posicionamiento geográfico, en el sistema UTM-WGS84, Zona 18 para el caso de la cuencas Cachi, de un determinado punto del terreno coincidente con la ubicación de una fuente hídrica. La información puede ser brindada por un GPS o mapa topográfico local.

- **Altitud (m.s.n.m);** ubicación o distancia altitudinal en metros de un determinado lugar geográfico tomando como referencia el nivel medio del mar. Para su determinación se utiliza el altímetro barométrico, GPS o un mapa topográfico local.

- **Área de Superficie Libre de Agua (m²);** llamada también espejo de agua, corresponde a la superficie de agua horizontal cuyos puntos de intersección con el terreno tienen una misma cota bajo condiciones atmosféricas normales.

- **Almacenamiento Máximo (m³);** volumen total no desbordable que puede almacenar una laguna, depende de las condiciones topográficas y disponibilidad de la depresión del vaso.

- **Almacenamiento Útil (m³);** volumen aprovechable almacenado en una laguna, generalmente resulta de la diferencia del volumen total y el volumen de material sedimentado en el vaso o laguna.

- **Caudal de Salida (l/s) (De una laguna o embalse);** caudal de salida de un vaso de almacenamiento; para el caso de lagunas, generalmente es el inicio de un río, y en otros casos es la fuente de abastecimiento de un sistema de conducción o aprovechamiento de la fuente.

- **Profundidad Media (m) (De una laguna o embalse);** diferencia de nivel promedio entre la superficie libre y el fondo del vaso de una laguna o embalse. Para su determinación se emplea sondas mecánicas y ecosondas.

- **Caudal continuo (l/s);** corriente de agua o manantial que fluye durante todo un año hidrológico, en época de estiaje es alimentado por el flujo del acuífero de su cuenca receptora.

- **Caudal Esporádico (l/s);** corriente de agua o manantial que fluye solamente durante el periodo hidrológico de precipitaciones, o mientras tenga una fuente base de alimentación.

II. MATERIALES Y METODOS

2.1 Descripción de la zona del estudio

La zona de estudio se encuentra en el distrito de Vinchos, provincia de Huamanga, que está ubicado a 45 Km. (punto de aforo), al Sur Oeste de la ciudad de Ayacucho, que se ubica en la parte alta del distrito de Vinchos, específicamente la microcuenca del río Apacheta se localiza desde la coordenada UTM Datum WGS 84: 546137.4382 Este, 8523921.1227 Norte, desde una altitud de 3300.00 msnm hasta los 5150.00 msnm, con una superficie aproximada de 397.15 Km².

2.1.1 Ubicación Política

Políticamente, la cuenca se encuentra ubicada en las regiones Ayacucho y Huancavelica, comprende los distritos de Pillpichaca ubicado en la provincia de Huaytara, región de Huancavelica; los distritos Paras y Chuschi ubicados en la provincia de Cangallo, y el distrito de Vinchos ubicado en la provincia de Huamanga, en la región de Ayacucho.

Limita, por el norte con las sub cuencas de Lircay y Paccha por el sur con la sub-cuenca Paras y Chuschi por el Oeste con la sub cuenca Pillpichaca, y por el Este con el río Rosaspata.

La microcuenca Apacheta (Ver en el figura 16, muestra la ubicación de la microcuenca)

2.1.2 Ubicación Geográfica

La cuenca del río Apacheta incluye a las regiones de Ayacucho y Huancavelica, se encuentra ubicada en los cuadrantes 27N y 27Ñ de la carta nacional, en la coordenada UTM Datum WGS 84: 546137.4382 Este, 8523921.1227 Norte, en la sierra centro de los andes peruanos.

Región : Ayacucho y Huancavelica.
Provincias : Huaytara, Huamanga y Cangallo.
Distritos : Pillpichaca, Paras, Chuschi y Vinchos
Ubigeo : 090607 – 050205 – 050202 – 050114.
Lugar : Microcuenca de Apacheta



Figura 13: Mapa de ubicación nacional

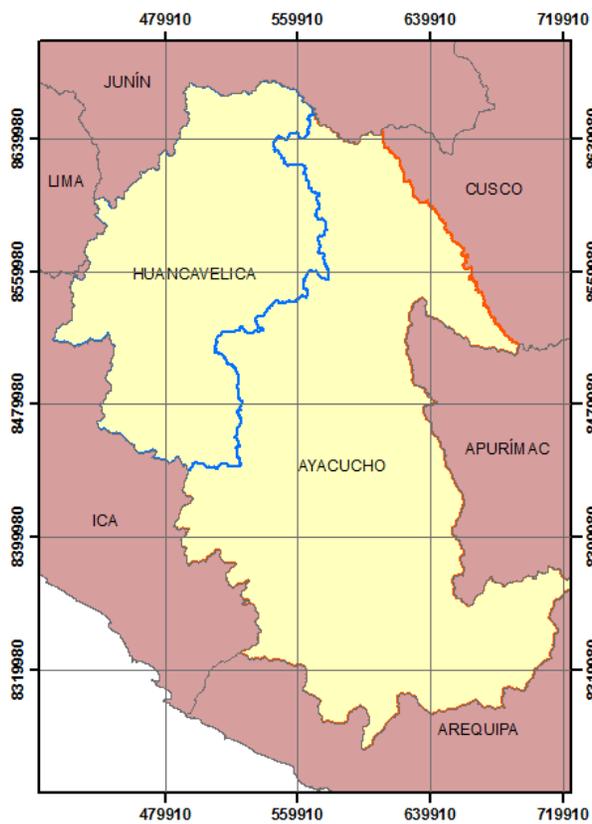


Figura 14: Mapa de ubicación departamental

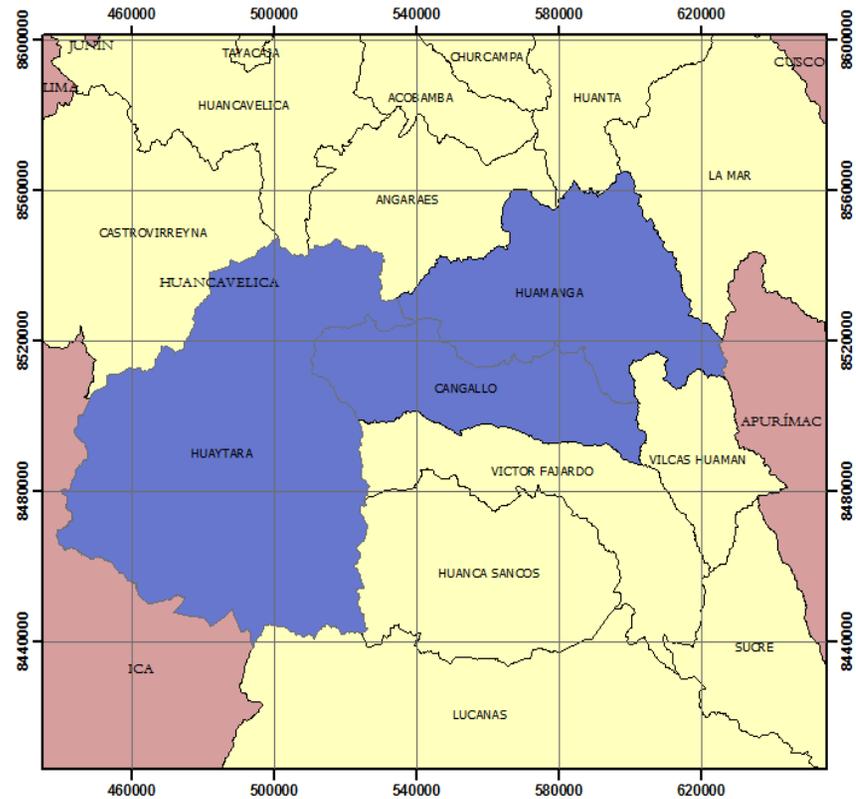


Figura 15: Mapa de ubicación provincial

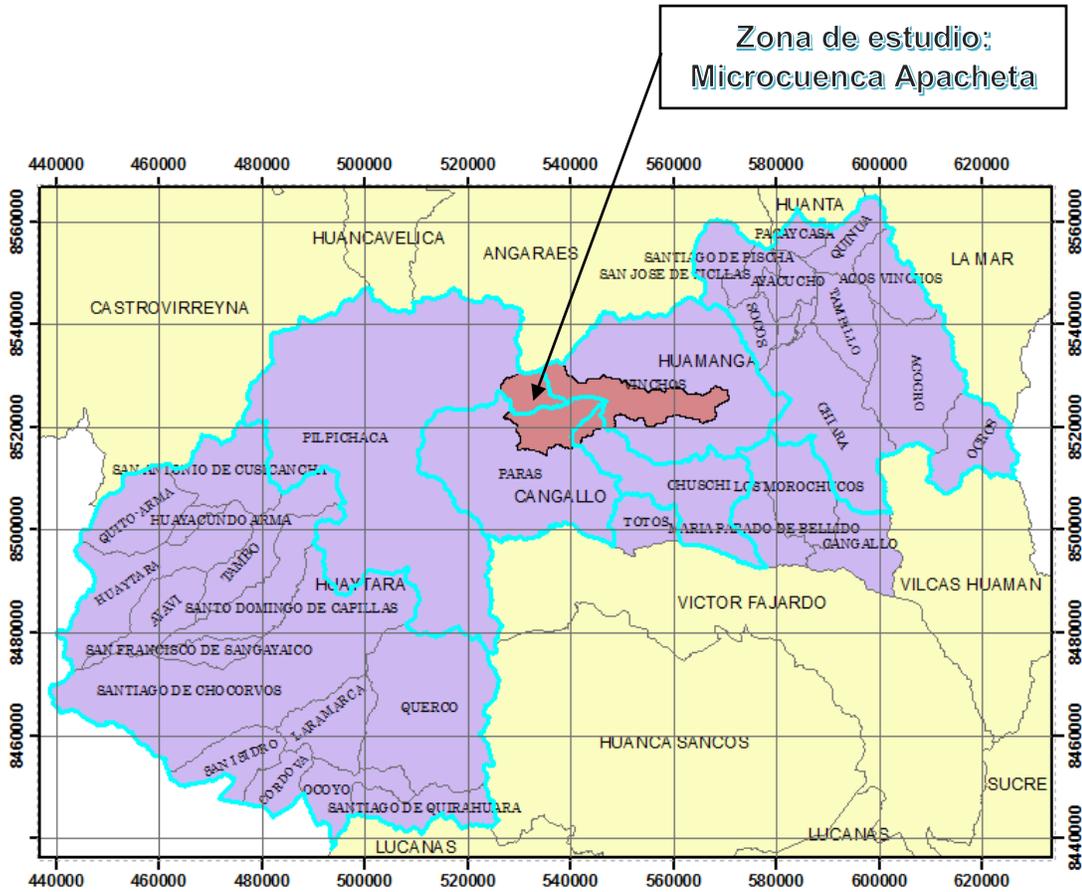


Figura 16: Mapa de ubicación distrital

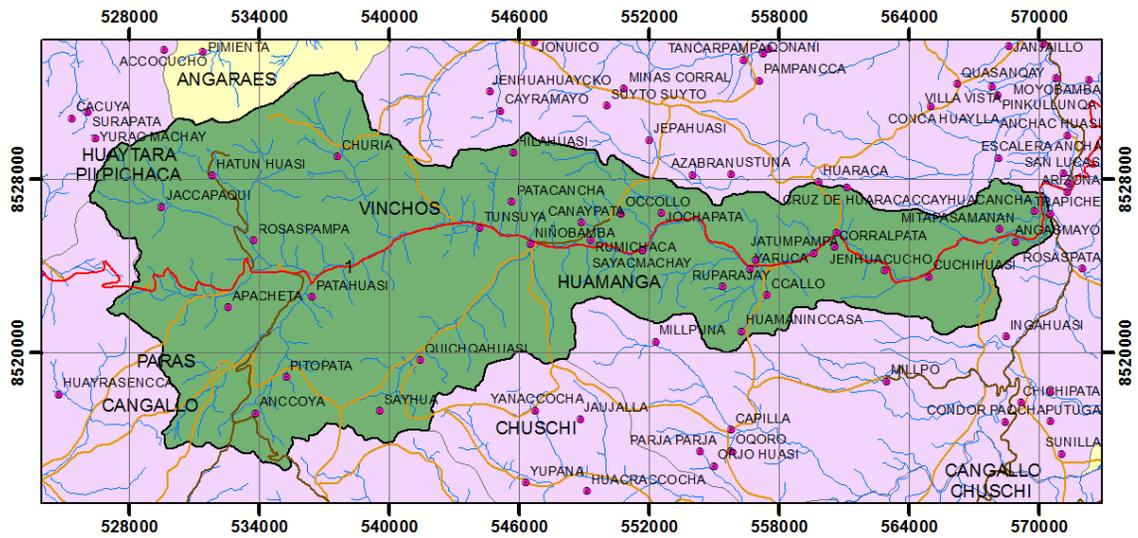


Figura 17: Mapa de ubicación de la zona de estudio

2.1.3 Vías De Acceso

A la zona de estudio se tiene acceso a través de una vía carretera asfaltada Ayacucho-Apacheta de 98 km. el tiempo de viaje es de dos horas con 30 minutos. En la tabla 10 se muestra con mayor detalle.

Tabla 10: Vías de acceso a la zona de estudio

Desde	Hasta	Distancia	Tiempo	Tipo de vía	Estado
		(Kms.)	(hora:min)		
Ayacucho	San Lucas	45	01:00	Carretera asfaltada	Buena
San Lucas	Abra Apacheta	53	01:30	Carretera asfaltada	Buena
TOTAL		98	02:30		

Fuente: elaboración propia

2.1.4 Topografía

La microcuenca del río Apacheta, se extiende desde la cota 3300 hasta 5150 m.s.n.m. que abarca desde el nacimiento de los ríos Supaymayo, Quichcahuasi, Rosaspampa, Occo y Churiac, hasta la desembocadura en el encuentro con el río Rosaspata.

En la parte del Divortium Acuarium, presenta una configuración topográfica variada, desde ligera ondulada y colina con laderas de gradiente moderada, hasta fuertes relieves de quebradas que en muchos casos presentan afloramientos rocosos. La parte media de la microcuenca, posee una configuración topográfica dominante de quebrada, donde los cursos principales son encañonados; relieves muy accidentados, laderas de fuertes pendientes.

El relieve general de la cuenca es accidentado teniendo una hoya hidrográfica alargada de fondo profundo con fuertes pendientes y de relieve escarpado y abrupto, estando cortada por profundas quebradas y estrechas gargantas.

2.1.5 Sistema hidrológico de la microcuenca del río Apacheta

La microcuenca hidrográfica Apacheta cuenta con seis ríos principales (tributarios) Churiacc, Quichcahuasi, Rosaspampa, Supaymayo, Occo y Pascana; y las lagunas naturales producto de la desglaciación de los nevados que son la fuente principal de abastecimiento del escurrimiento en las épocas de estiaje, también se puede mencionar la obras de captación del proyecto especial río cachi dentro de su superficie, así mismo se encuentran ubicados los centros poblados a lo largo de la extensión de la microcuenca Apacheta.

La hidrología del río Apacheta, está conformado básicamente por la confluencia de los seis tributarios principales antes mencionados, desde el nacimiento de los mismos hasta la desembocadura en el encuentro con el río Rosaspata. El río Apacheta tiene una longitud aproximada de 52.75 km. desde sus nacientes hasta su desembocadura, presentando una pendiente promedio de 2.44 %.

Estos ríos nacen de una serie de tributarios de orden 1 y 2 alimentados por lagunas, nevados y quebradas de caudal perenne y temporales cuyo escurrimiento se produce en los meses de precipitación.

2.1.6 Caracterización de los Parámetros Climatológicos

La caracterización está referida a los siguientes parámetros: Precipitación, temperatura, humedad relativa, evaporación y vientos, registrados en la estación Cuchoquesera, Putucca, Apacheta, Chiara, Huamanga, y las

estaciones vecinas al área de estudio, Sachabamba y Pampa Cangallo que se asume por su cercanía e información disponible.

La microcuenca del Río Apacheta presenta una precipitación promedio anual de 920.62 mm., la temperatura media es de 8.06°C (ver tabla 27), presentando valores que podrían variar de -7.33°C para la temperatura mínima a una temperatura máxima de 17.35°C (ver tabla 26 y 28).

La humedad relativa tiene poca variación durante el año y su valor promedio anual es de 66.7%, que varía entre los valores extremos de 53.7% a 76.6%.

2.2 Materiales y equipos

2.2.1 Materiales

- Carta nacional digitalizada de los cuadrantes 27n, 27ñ (E = 1/100,000)
- Libreta de campo

2.2.2 Equipos y herramientas

- Computadora portátil
- Impresora
- GPS
- Cámara fotográfica
- Wincha,
- Flexómetro
- Balde milimetrado de 10Lts y 18Lts.
- Calculadora científica

2.2.3 Programas

- AutoCAD Civil 3D 2015
- ArcGIS 10.3
- Global Mapper 16
- Google earth
- SAS Planet
- Microsoft office 2013

2.3 Métodos

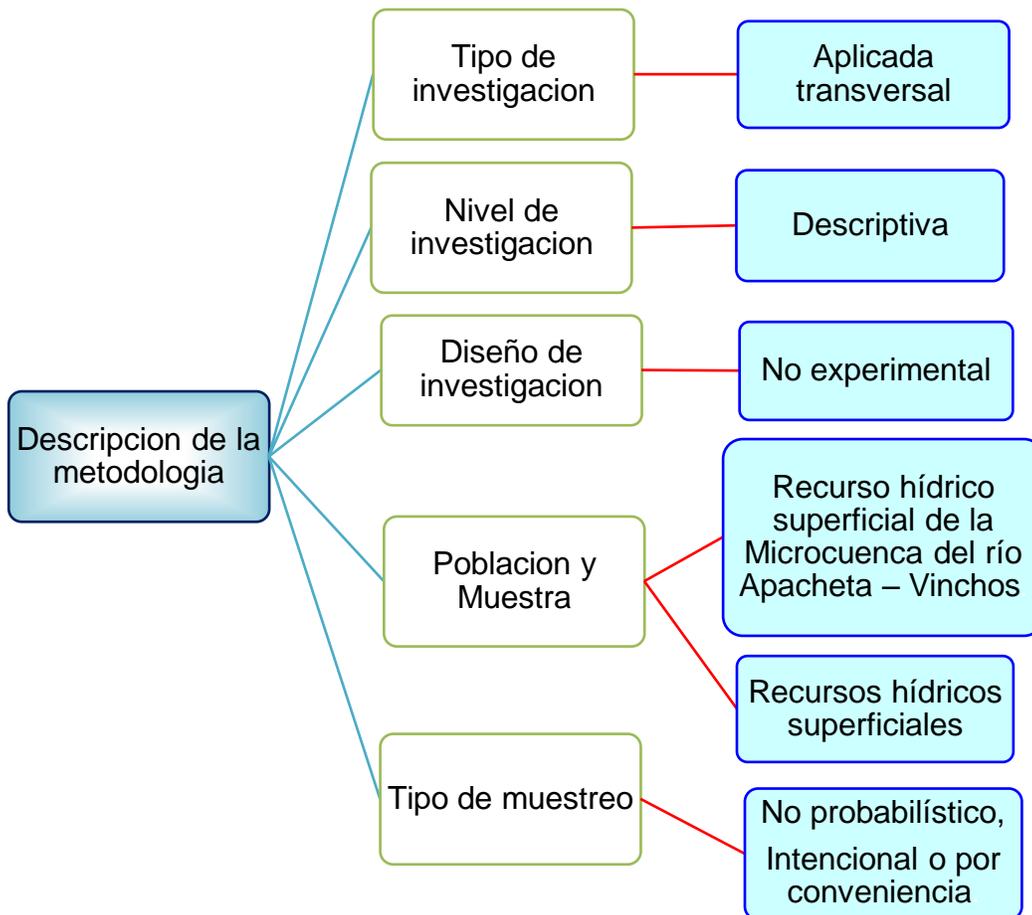


Figura 18: descripción de la metodología empleada

2.3.1 Fase preliminar

Se ha realizado la recolección de información referente al tema de la presente tesis. Por lo tanto existe información de estudios realizados a nivel regional y nacional, se menciona como referencia las siguientes fuentes de información consultadas:

- ✓ Evaluación de Recursos Hídricos Superficiales en la cuenca del Río Pampas Sector Ayacucho (2010); realizado por la Autoridad Local del Agua de Ayacucho.
- ✓ Evaluación de los Recursos Hídricos en las Cuencas de los Ríos Huancané y Suches (2010); realizado por la Autoridad Nacional del Agua.
- ✓ Evaluación de los recursos hídricos - Elaboración del balance hídrico integrado por cuencas hidrográficas, Programa Internacional de la UNESCO Para América Latina y el Caribe (PHI-LAC)

A) Información cartográfica

La obtención de información cartográfica y mapas temáticos consiste en:

- Cartas Nacionales a escala 1/100,000 con equidistancia mínima de curvas de nivel de 50 m del IGN, descargadas de la página web del IGN digitalizadas en Sistema de Información Geográfica (SIG) para la investigación fueron necesarios los cuadrantes 27N y 27Ñ que contiene: la red hidrográfica, curvas de nivel, cotas y nombre de los cerros.
- Mapa Físico Político del Perú, escala 1/1000000 Instituto Geográfico Nacional (IGN).

B) Información Hidrometeorológica

La Información de datos hidrometeorológicos históricos está constituidos por registros de precipitación media mensual, obtenidos de las entidades como del proyecto especial del Rio Cachi (OPEMAN – GRA) y otros.

2.3.2 Trabajos de campo

Una vez realizado la exploración satelital de la zona de estudio mediante las cartas nacionales y los programas satelitales como el SASPlanet, se hizo el trabajo de campo dentro de la microcuenca Apacheta-Vinchos, para ello se programó la salida a la zona de estudio, contando para ello con mapa de delimitación preliminar de la cuenca y movilidad alquilada. A mediados del mes de febrero se realizó el trabajo sobre el inventario de recursos hídricos superficiales y aforo de algunos tributarios para determinar el caudal instantáneo.

Los trabajos de campo realizados durante la elaboración de la tesis fueron:

- Reconocimiento de la microcuenca del río Apacheta - Vinchos, que está conformado básicamente por lagunas y ríos principales tales como, río Quichcahuasi, río Supaymayo, río Rosaspampa, río Occo, río Churiac y río Pascana, contando para ello con carta nacional digitalizadas a escala 1:250 000, GPS, y una movilidad alquilada.
- Reconocimiento in situ de las principales características geomorfológicas de la cuenca, cobertura vegetal, recursos hídricos, y otros.
- Reconocimiento del sistema hidrográfico de la cuenca, en cuanto a la red de drenaje, características principales de las fuentes hídricas superficiales, disponibilidad hídrica superficial (ríos, quebradas, manantiales), y otros.

2.3.2.1 Inventario de recursos hídricos superficiales de la Microcuenca

Apacheta - Vinchos

El inventario de recursos hídricos, se realizó por un equipo de trabajo conformado por dos cuadrillas sobre las fuentes de agua superficial en la

microcuenca del río Apacheta, registrando la información en la libreta de campo, de **lagunas, ríos, quebradas y humedales**, luego se procedió a consolidar la información recabada de campo construyendo una base de datos, la cartográfica digital de las diferentes características físicas y la ubicación espacial de dichas fuentes inventariadas, que reúne la información del caudal instantáneo disponible para optimizar la disponibilidad hídrica de la cuenca para su uso potencial.

Los datos de campo fueron anotados en el respectivo formato para el inventario de fuentes de agua superficial.

Para la ubicación geográfica de las fuentes de agua se utilizó GPS con información cartográfica digital adjunta de: ríos, lagunas, curvas de nivel y centros poblados. Los mapas para el trabajo de campo se confeccionaron según las unidades hidrográficas mínimas de trabajo, pre-establecidas en función de la densidad de las fuentes a inventariarse, este Mapa se ubica en el **Mapa IH-01 del Anexo A.X.**

A. Método de recolección de datos

Debido a la naturaleza de la elaboración de la presente tesis, se determinó por muestro intencional o conveniencia, utilizando el método directo, para la obtención de los caudales instantáneos a través de los aforos realizados.

Las principales técnicas de recolección de datos que se utilizó en el trabajo son:

- Mediciones directas en el campo (aforos realizados)
- Identificación de fuentes de agua
- Entrevistas con los actores de microcuenca
- Obtención de imágenes fotográficas

Los métodos de aforo utilizados en el inventario de fuentes de aguas superficiales fueron:

➤ **Métodos que miden la velocidad del flujo.**

El método del flotador con el cual se realizó el aforo para la presente tesis, que consiste en medir la sección de aforo en un tramo con régimen estable posteriormente se mide la velocidad del flujo superficial utilizando un flotador en un tramo de longitud" (m) en un tiempo "t" (seg.).

- Se realizó los aforos en puntos estratégicos optando como principales puntos de aforo los tributarios más importantes q aportan a la microcuenca de Apacheta, utilizando materiales como flexómetro, cronometro y un objeto flotante.

➤ **Métodos que miden el volumen de agua.**

Se Realizó la medición del caudal con este método que consiste en medir un volumen de agua "X" por unidad de tiempo, generalmente se toma un promedio por unidad de tiempo, fue empleado para caudales pequeños generalmente para el aforo de los tributarios ubicados en la cabecera de cuenca.

- Para el método volumétrico se utilizó un balde milimetrado de 10Lts y 18Lts y cronometro para determinar el tiempo (seg.)

2.3.3 Procesamiento y tratamiento de información

2.3.3.1 *Procesamiento del inventario realizado de los recursos hídricos superficiales*

Con la información recabada de campo, se precede con el procesamiento de los datos obtenidos de las distintas fuentes hídricas superficiales de la microcuenca del río Apacheta - Vinchos, con el uso de la hoja de cálculo Excel 2013, de la siguiente manera:

- Digitación de los datos de inventario de las fichas de campo a una base de datos (hojas de Excel).
- La presentación de los resultados del inventario se hizo según la delimitación hidrográfica de la microcuenca.
- Clasificación de las fuentes de agua por: tipo de fuente, rendimiento hídrico, frecuencia de caudal (intermitente o continuo).

Según el “Inventario de fuentes de agua superficial” de la microcuenca del río Apacheta; se distingue básicamente seis tipos de fuentes de agua superficial: quebradas, quebradas intermitentes, humedales, lagunas, lagunas represadas y ríos. En lo que respecta a la distribución espacial, el inventario realizado en la microcuenca del río Apacheta - Vinchos, existen en total 118 fuentes de agua superficial.

2.3.3.2 Sistematización de información a través del sistema de información geográfica – ArcGis 10.3

Esta sistematización de información se realiza paralelamente a los trabajos de campo; transcribiendo la información de campo a las hojas de cálculo Excel, los mismos que son exportados luego al programa del sistema de información geográfica, generando puntos y/o líneas de representación cartográfica de humedales, ríos, riachuelos y lagunas.

Sistematización de la base de datos alfa-numérica y cartográfica del inventario en un sistema de información geográfica; actividad que implica los siguientes trabajos:

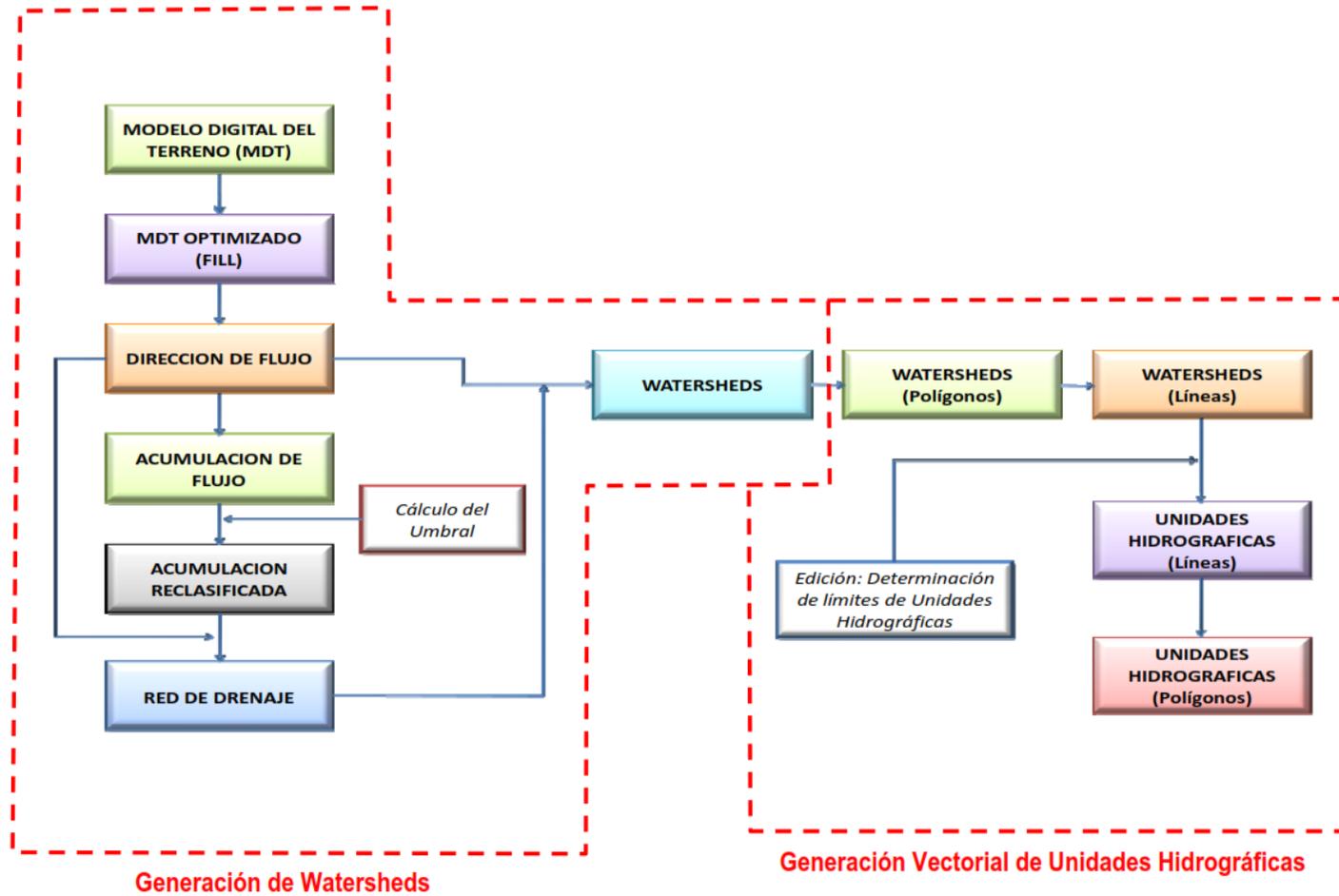
- Se incorporó a la información digital la división política, considerando los departamentos, provincias y distritos.
- Se emplearon las Unidades del Sistema Internacional (SI).

- La proyección está dada en UTM (Universal Transverse Mercator)
- Adecuación al sistema de georeferenciación WGS84-18S de las capas de información cartográfica de la cuenca, tales como: curvas topográficas de nivel, red hidrográfica, sistema vial, centros poblados, coberturas temáticas (suelos, cobertura vegetal, geología, etc.) y coberturas temáticas generadas (ríos, riachuelos, lagunas, humedales, etc.).
- Edición y composición final de los mapas temáticos del inventario a nivel de unidad hidrográfica del río Apacheta - Vinchos. La edición implica la presentación en los mapas de: tablas, figuras y fotografías, que sinteticen de manera clara los resultados del inventario.

2.3.3.3 Delimitación Hidrográfica De La Cuenca

La delimitación de la microcuenca Apacheta - Vinchos, la cual es motivo de estudio de la presente tesis, se logra a partir del divortium acuarium, es decir de las cotas más elevadas que circundan a la cuenca. Uniendo las proyecciones de los puntos de máximas alturas, manteniendo el criterio que el agua que cae en ellos estaría en la disyuntiva de escurrir en la cuenca y llegar al dren.

La microcuenca en estudio contempla el río Apacheta - Vinchos, los mismos que presentan características fisiográficas, que fueron obtenidos utilizando el Sistema de Información Geográfica consistente en la representación de mapas cartográficas en escalas 1:75,000 de la microcuenca de Apacheta, permitiendo visualizar el MDT (modelo digital de terreno) de la microcuenca y desplegar los mapas con variables hidrológicas empleadas por el modelo.



Fuente: (Ruiz & Torres, 2008)

Figura 19: Proceso de delimitación automática de unidades hidrográficas

2.3.3.4 Caracterización geomorfológica de la cuenca

Para la obtención de los parámetros geomorfológicos de la microcuenca Apacheta se recurrió a los programas de ArcGis10.3 y hojas de cálculo Excel en base a las ecuaciones citadas en el ítem 1.6.4. Los principales parámetros geomorfológicos son:

Área de la cuenca (A).

La magnitud del área se ha obtenido con el uso del programa ArcGis 10.3 mediante la base de datos descargados de la página web del instituto geográfico nacional (<http://www.geogpsperu.com/2014/08/descargar-cartas-nacionales-del-peru.html>), la microcuenca de Apacheta se encuentra enmarcado dentro de los cuadrantes 27n y 27ñ.

Perímetro de la cuenca (P).

Es la longitud de la línea de divortium acuarium (línea de delimitación)

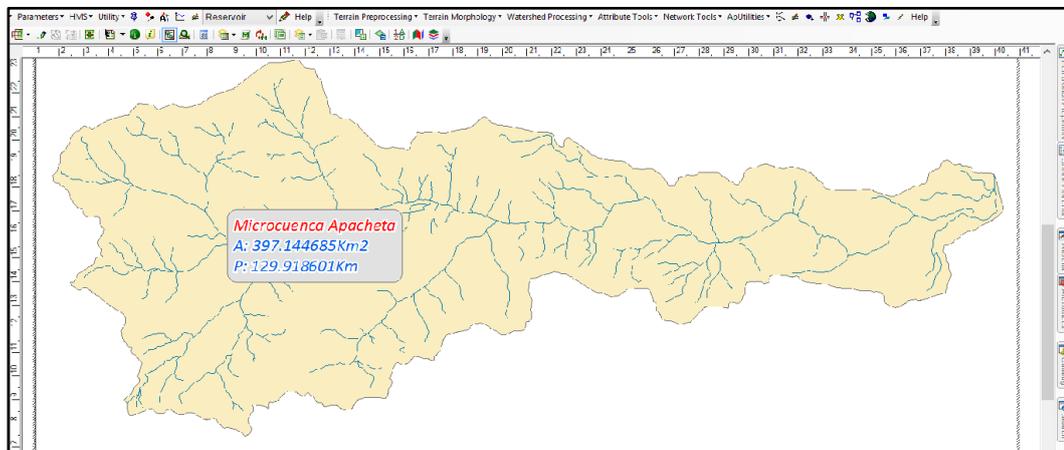


Figura 20: Determinando área y perímetro de la microcuenca Apacheta

Parámetros asociados de la longitud.

Longitud de la cuenca, longitud del cauce principal y longitud máxima (Lm) o recorrido principal de la cuenca; se determinó mediante los programas antes mencionados

De igual forma también se procedió a calcular los siguientes parámetros con el uso del programa ArcGis10.3 y Excel:

- ❑ Parámetros asociados a la forma de la cuenca

Índice o coeficiente de compacidad (Kc)

Factor de forma de Horton (Rf)

Razón circular de Miller (Rc)

Razón de elongación de Schum (Re)

Índice de alargamiento (Ia)

Rectángulo Equivalente

- ❑ Parámetros asociados a la altitud y relieve de la cuenca

La curva Hipsométrica

Altitud media

Índice de pendiente

Pendiente de la cuenca (Según Alvord)

- ❑ Parámetros asociados a la red de drenaje de la cuenca

Densidad de drenaje

Pendiente media del cauce

Número de orden del cauce

2.3.3.5 Análisis y tratamiento de la información pluviométrica

La precipitación, incluye todas las formas que el agua cae a la superficie terrestre, ya sea en forma líquida o sólida. La precipitación ocurre principalmente en la forma de llovizna, lluvia, nieve, o granizo. En la cuenca de estudio (microcuenca Apacheta - Vinchos) se pudo identificar que la precipitación es principalmente en forma de lluvia, ocasionalmente, es en forma de granizo, por lo que, en la presente tesis trataremos la lluvia que es referida como la precipitación.

❑ REGISTRO HISTÓRICO

Para el estudio hidrológico de la microcuenca Apacheta - Vinchos, se utilizó 05 estaciones pluviométricas, de las cuales 01 se encuentran dentro de la microcuenca Apacheta - Vinchos y 04 en cuencas vecinas. En la tabla 22, muestra la relación de estaciones meteorológicas utilizadas en el estudio de la microcuenca.

De las 05 estaciones pluviométricas utilizadas en la microcuenca de estudio, solamente 01 cuenta con información de registro de periodo largo, en el mejor de los casos, desde 1962 hasta el año 2012; esta estación fue utilizada para la extensión de los periodos faltantes de las otras 04 estaciones.

❑ ANALISIS DE CONSISTENCIA

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

Inconsistencia es sinónimo de error sistemático y se presenta como saltos y tendencias, y no-homogeneidad es definido como los cambios de los datos vírgenes con el tiempo.

En general, los datos medidos incluyen dos tipos de errores:

- (a) Errores aleatorios o accidentales y
- (b) Errores sistemáticos;

Desde un punto de vista práctico son de mayor interés los errores sistemáticos ocasionados por la intervención de la mano del hombre y en ellos se concentra el análisis de consistencia. Antes de evaluar la consistencia de la información pluviométrica, se realizó la completación de

los datos mensuales faltantes, utilizando para ello, el método deductivo racional, obteniéndose de esta manera la precipitación promedio multi-anual a nivel mensual y anual.

El análisis de consistencia de la información, comprende la elaboración de tablas con valores promedios a nivel mensual y anual de la variable precipitación, la construcción de histogramas, curvas de doble masa y pruebas estadísticas, con el fin de identificar si es necesario cuantificar inconsistencias, saltos o tendencias de los datos.

❑ ANÁLISIS GRÁFICO

Las estaciones pluviométricas de mayor importancia en la cuenca de estudio son, Cuchoquesera, Putacca, Chiara y Apacheta puesto que se encuentran ubicadas en altitudes similares al de la cuenca (ver la tabla 22), zonas de mayor precipitación, por lo que se analizará en estas estaciones la variación temporal de la precipitación.

El análisis grafico consiste en identificar saltos representativos que sean de importancia a través de los histogramas obtenidos.

- ❖ Histogramas: son gráficos que se construyeron en coordenadas cartesianas, ploteando la precipitación mensual vs el tiempo.

❑ ANÁLISIS DOBLE MASA

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

Los posibles errores se pueden detectar por el quiebre o quiebres que presenta la recta de doble masa; considerándose un registro de datos con

menos errores sistemáticos, en la medida que presenta un menor número de puntos de quiebre.

Para el análisis de doble masa de las 05 estaciones, indicadas anteriormente; se tiene 23 años comunes, de 1991 al 2013 (ver el Anexo A.I), ploteándose en el eje de las abscisas el promedio anual acumulado de la información de las 05 estaciones y, en el eje de las ordenadas la información anual acumulada de cada una de las estaciones de análisis (ver figura 29). Observando este gráfico, se seleccionó la estación Huamanga como estación base, puesto que presenta mayor regularidad, vale decir tiene menor número de puntos de quiebre, por tanto se considera como la más confiable.

Una vez identificado el o los periodos con información dudosa, se procedió a evaluar y cuantificar el salto, tratándolos a cada uno de los registros como series simples independientes y de tiempo de cambio conocido.

□ ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE SALTOS Y TENDENCIAS

Las pruebas estadísticas que se empleó para la presente tesis fueron tests de: T – Student y F – Fisher, con la finalidad de cuantificar la inconsistencia de la información.

Mediante la prueba de T de Student se analiza si los valores son estadísticamente iguales, es decir probar que ambos valores provienen de la misma población.

En la tabla 24 y 25, se presenta el análisis y tratamiento estadístico completo de las 05 estaciones utilizadas en el estudio de la microcuenca Apacheta - Vinchos, incluido el análisis de saltos y tendencias, así como las respectivas correcciones.

2.3.3.6 Completación y extensión de la información pluviométrica

Una vez comprobada la consistencia del registro pluviométrico, es necesario extender los datos faltantes por medio de métodos estadísticos – matemáticos, la que debe asegurarnos que esta no altera sustancialmente los indicadores poblacionales.

Dentro de los métodos estadísticos utilizados en la presente tesis fueron los modelos de regresión lineal simple y múltiple.

El análisis de regresión lineal simple (RLS), fue la que empleamos para la extensión de datos (periodos sin registro), este método consiste en graficar el diagrama de dispersión, ajustar una recta a ese diagrama de dispersión, esta recta es llamada línea de regresión del cual se tiene la ecuación lineal que se usa para completar y extender la información faltante.

La ecuación de RLS comprende una variable aleatoria dependiente (Y_i) y una variable aleatoria independiente (X_i) y los coeficientes de la ecuación de regresión (α , β) donde α es el punto de intersección entre la línea de regresión y el eje "Y"; y β es el coeficiente de regresión o pendiente de la línea. El mismo que explica cuán rápido aumenta o disminuye la variable "Y" con un cambio de "X".

Su expresión matemática es:

$$Y = \alpha + \beta X \quad \dots(58)$$

Donde:

Y: variable aleatoria dependiente

X: variable aleatoria independiente

α : es el punto de intersección entre la línea de regresión y el eje "Y"

B: es el coeficiente de regresión o pendiente de la línea

2.3.3.7 Modelación hidrológica - generación de caudales medios mensuales

❑ Modelo determinístico y estocástico de Lutz Scholz

Determinado el hecho de la ausencia de registros de caudal en la sierra peruana, el modelo se desarrolló tomando en consideración parámetros físicos y meteorológicos de las cuencas.

Los parámetros más importantes del modelo son los coeficientes para la determinación de la precipitación efectiva, déficit de escurrimiento, retención y agotamiento de las cuencas.

Dentro de la microcuenca Apacheta específicamente en el punto de la red de drenaje no se dispone del registro de aforos mensuales ni de registros de precipitaciones, todo esto nos hace disponer la utilización de métodos para la generación de caudales medios mensuales.

La aplicación del modelo precipitación - descarga de Lutz Scholz comprende tres etapas bien definidas y se presenta en el siguiente organigrama.

A. Análisis cartográfico y estadístico de la información

- Análisis cartográfico de la cuenca: se determinó los parámetros geomorfológicos de la microcuenca Apacheta – Vinchos, mediante los métodos antes descritos.
- Análisis y regionalización de la información meteorológica: la regionalización de la precipitación para la zona de estudio se realizó mediante una ecuación con factores de influencia: factor de corrección altitudinal (a_i) y factor de influencia geográfica (b_i), obteniendo una ecuación de la siguiente forma:

$$Ec.Sist. = \sum_{i=1}^n E_i * (a_i b_i) \quad \dots(59)$$

B. Aplicación de los modelos determinísticos parciales

- Precipitación media: se obtiene de la precipitación regionalizada para la microcuenca Apacheta - Vinchos, expresándose la precipitación promedio anual en mm/año.
- Coeficiente de escorrentía: se calcula con la ecuación (41)
- Evapotranspiración potencial: se calculó con la ecuación de Hargreaves III modificado para la sierra peruana mediante la ecuación (42.a recomendado por el experto Lutz Scholz).
- Precipitación Efectiva: se determinó mediante las ecuación (44) desarrollado en la revisión bibliográfica
- Calculo de la retención en la cuenca: para determinar este parámetro se hizo el análisis cartógrafo para obtener el área de las fuentes de almacenamiento hídrico naturales de la microcuenca, la cantidad de agua que es retenida se expresa en mm/año.
- Gastos de la retención y abastecimiento de la retención: se obtiene mediante las ecuaciones (49) y (51)
- Caudal para el año promedio: Fundamento del balance hídrico, partiendo de la ecuación (52)

C. Generación de caudales para un periodo extendido

- Generación con el modelo markoviano de primer orden, el modelo de Lutz Scholz interactúa una serie de modelos determinísticos y estocásticos parciales con la finalidad de generar un caudal promedio característico en la microcuenca; para luego extender la serie con un modelo puramente estocástico como es el modelo markoviano de primer orden.

2.3.3.8 *Determinación de vasos de almacenamiento*

La selección de posibles vasos de almacenamiento fueron identificados tomando ciertos criterios y factores que afectan la determinación del lugar de embalse:

1º. Condiciones topográficas

La presa debe tener la menor longitud posible, lo cual se logra ubicándola en cañones estrechos. En este caso la presa resultante suele ser de mayor altura para lograr el embalsamiento necesario que si se ubica en valles amplios. Un valle amplio permite la construcción de las obras en etapas. Si existe un rápido en el cauce, resulta mejor localizar la presa aguas arriba de él, en zonas de más bajas pendientes.

2º. Condiciones geológicas

La ubicación de la presa se fija por la necesidad de aprovechar una buena cimentación o estribación. Así mismo, se requiere estabilidad de las laderas del embalse creado.

3º. Calculo de una presa

Muro de la presa; es el elemento que distingue a una presa de otra: de tierra, de concreto, de enrocados, etc.

2.3.3.9 Condición de diseño usual para la altura de presas

La cota de coronamiento de la presa deberá ser mayor que la carga eventual del vertedero (NAME) operando con su caudal de diseño, más la sobre elevación producida en el embalse por el viento del diseño adoptado para el tipo de presa considerado.

NAMO: Nivel de aguas máximas normales o de operación. Es el que se considera el cálculo de la H de la central.

NAME: Nivel de aguas máximas eventual de un embalse. Es el nivel de aguas en el embalse cuando se encuentra operando el vertedero de seguridad con su caudal de diseño.

Borde libre (BL): El bordo libre o resguardo, es la distancia vertical entre el nivel máximo del agua y la corona de la presa. Sirve para evitar que se

presente rebosamiento por oleaje, prever cualquier contingencia como asentamientos no previstos, aportes de la hoya superiores a los estimados, obstrucciones en el aliviadero que reduzcan su capacidad. Su valor en presas pequeñas va de 0.5 m a 3.0 m.

III. RESULTADOS

3.1 Del inventario de recursos hídricos de la microcuenca Apacheta

La microcuenca de Apacheta tiene una extensión de 397.15 Km². Posee una gran cantidad de volumen de agua almacenado en lagunas, con numerosos humedales que son la fuente principal de regulación de caudal en épocas de estiaje, también existe la presencia de quebradas torrentosas. La superficie de la cuenca tiene retención de mm/año, a continuación describiremos las fuentes inventariadas.

□ Ríos

En el inventariado de fuentes de agua, se ha registrado 6 ríos importantes que contribuyen al río Apacheta (cauce principal) que tienen sus orígenes en la parte alta de la microcuenca Apacheta, que representan el 6% del total de fuentes hídricas superficiales.

Tabla 11: Ríos en la microcuenca Apacheta

N°	NOMBRE DEL RIO	Longitud Km
1	R. APACHETA	44.62
2	R. CHURIACC	5.17
3	R. OCCO	3.06
4	R. PASCANA	5.67
5	R. QUICHCAHUASI	10.24
6	R. ROSASPAMPA	3.09
7	R. SUPAYMAYO	4.09

Fuente: elaboración propia

☐ Quebradas

En el inventariado de las fuentes de agua en la microcuenca de Apacheta, se ha identificado 38 quebradas que representa el 32% del total de fuentes superficiales y 11 quebradas intermitentes, que representa el 9% del total de fuentes hídricas superficiales, los cuales se muestra en las siguientes tablas 12 y 13 respectivamente.

Tabla 12: Quebradas en la microcuenca Apacheta

N°	NOMBRE DE QUEBRADA	Longitud Km	N°	NOMBRE DE QUEBRADA	Longitud Km
1	ACHCAHUASI	1.147	20	MANCAYLLO	1.709
2	ANCACCOLLA	2.518	21	ROMERO	4.234
3	ARTEZO	1.924	22	MARTACHAYOC	1.981
4	AULUYOCC	3.322	23	PAQCHAPATA	1.002
5	CCANCCA HUAYCCO	1.542	24	PAUCALLA	2.267
6	CHACAPAMPA	2.303	25	PICHJAPUQUIO	3.347
7	CUTIMACHAY	4.041	26	QUICHCAHUASI	2.399
8	DANZARUMI	0.741	27	ROSARIO	4.668
9	HUAMANINCCASA	2.572	28	ROSASPAMPA	0.788
10	HUAYCO	3.089	29	RUMICHACA	0.808
11	HUAYTACCOCHA	1.596	30	RUPARACCAY	2.326
12	HUERTAHUAYCCO	1.157	31	TAMBO A	1.668
13	ILAHUASI	1.861	32	TAMBO B	1.035
14	JALLOBADO	2.572	33	TINCOHUAYCCO	3.034
15	JATUNORCCO	1.753	34	TOMACUCHO	2.137
16	JOLLPAMACHAY	1.853	35	TOROPAUPIANAN	1.065
17	CCACCAPAQUI	4.649	36	YANAHUAYCCO	1.776
18	CHULLUNZA	4.275	37	YANASALLA	2.659
19	JUHUICHAYOC	1.109	38	MILLOHUAYCCO	1.899

Fuente: elaboración propia

Estas quebradas fueron identificadas con el aporte de los pobladores de la zona quienes manifestaron a la hora del inventariado que el caudal es constante en épocas de estiaje, el cual nos facilitó la clasificación de dichas quebradas.

De igual forma se clasifico las quebradas intermitentes que se muestran en la tabla 13.

Tabla 13: Quebradas intermitentes en la microcuenca Apacheta

N°	NOMBRE DE QUEBRADA	Longitud Km
1	NIÑOBAMBA	0.844
2	MARCAPAMPA	3.119
3	PUTUCO	1.043
4	PUTUNGO	2.333
5	SORAPATA	1.449
6	TORREYACUPIÑA	2.367
7	OCCOLLO	2.790
8	PUCACORRAL	1.866
9	HUATANA	1.190
10	YANAMA	2.148
11	PARCCAYSO	1.324

Fuente: elaboración propia

❑ Almacenamientos naturales – lagunas

Existen 35 lagunas, que representa el 30% del total de las fuentes superficiales del río Apacheta; de las cuales fueron identificadas 22 lagunas y 13 no se pudieron identificar, los resultados se muestra en la tabla 14 y 15 respectivamente la distribución de las lagunas en la microcuenca Apacheta.

Los almacenamientos naturales del presente estudio son producto de la desglaciación de los nevados que se ubican en la parte alta de la microcuenca Apacheta (en la actualidad de estos nevados solo se ve el rastro que quedaron).

La fisiografía del vaso puede tener variantes. Laguna rodeada por formaciones rocosas abruptas (encañonado); laguna rodeada parcialmente por rocas abruptas (semi-encañonado) y laguna rodeada por lomadas de suave pendiente (explayada).

Esta característica nos permite conocer la potencialidad de almacenamiento del vaso. En esta microcuenca puede encontrarse las tres variantes.

Tabla 14: Lagunas naturales en la microcuenca Apacheta

N°	NOMBRE DE LA LAGUNA	AREA Km2	COORD_X	COORD_Y
1	LAG. QUINGUA	0.010	539829.356	8529887.623
2	LAG. VELASQUE	0.013	529779.385	8523342.718
3	LAG. YAHUARCOCHA	0.017	529785.809	8520631.843
4	LAG. YANACOCOA	0.015	531113.609	8529092.644
5	LAG. HUAYTACCOCHA	0.061	534170.921	8528617.397
6	LAG. PUTUCO	0.012	535729.686	8524954.860
7	LAG. ISLACCOCHA	0.018	536862.562	8526819.370
8	LAG. MOLLORCO	0.016	540568.481	8521103.047
9	LAG. YANCOCHA	0.005	541049.603	8522246.955
10	LAG. JORIMINA	0.010	541741.080	8522481.459
11	LAG. JORIMINA	0.009	541868.142	8522336.935
12	LAG. PUMACOCOA	0.033	542808.732	8524843.233
13	LAG. OSHCOCOCHA	0.009	547228.130	8527079.478
14	LAG. LERCCONA CHICO	0.007	547443.709	8527134.470
15	LAG. LERCCONA	0.017	547619.727	8527092.386
16	LAG. JACHACOCOA	0.025	550671.567	8525907.143
17	LAG. VIUDACOCOA	0.012	552332.764	8523714.020
18	LAG. VIUDA	0.005	552525.197	8523618.379
19	LAG. SACCSALCOCHA	0.011	553778.545	8522122.063
20	LAG. PUMACOCOA CHICO	0.008	542433.944	8524350.172
21	LAG. TAGRACOCOA	0.025	542637.441	8523712.121
22	LAG. ALLPACCOCHA	0.027	538034.749	8531068.923

Fuente: elaboración propia

Tabla 15: Distribución de lagunas sin nombre en la microcuenca Apacheta

N°	NOMBRE DE LA LAGUNA	AREA Km2	COORD_X	COORD_Y
1	LAG. S/N	0.007	532650.526	8517649.973
2	LAG. S/N	0.011	533569.081	8521804.275
3	LAG. S/N	0.007	527503.260	8529234.773
4	LAG. S/N	0.013	527756.297	8528423.694
5	LAG. S/N	0.011	530070.563	8520276.762
6	LAG. S/N	0.007	530791.415	8519247.185
7	LAG. S/N	0.006	534749.640	8517324.466
8	LAG. S/N	0.008	535199.700	8517207.564
9	LAG. S/N	0.006	535436.997	8517680.291
10	LAG. S/N	0.007	536424.375	8517486.763
11	LAG. S/N	0.010	537004.443	8519805.823
12	LAG. S/N	0.006	544508.628	8520503.390
13	LAG. S/N	0.031	566760.042	8522783.902

Fuente: elaboración propia

En la microcuenca Apacheta también encontramos 13 lagunas que no se pudieron identificar (no se conoce el nombre) se muestran en la tabla 15.

❑ **Almacenamientos artificiales – lagunas represadas**

En la microcuenca Apacheta existe 8 lagunas que disponen de un volumen de agua, que representa el 8%, y que regula las descargas del río Apacheta y que almacenan agua durante el periodo de avenidas, aumentando la disponibilidad de agua para diversos fines durante el periodo de estiaje como: uso poblacional y pecuario, que es el único sustento de los centros poblados y anexos de la microcuenca Apacheta - Vinchos.

Tabla 16: Distribución de lagunas artificiales en la microcuenca Apacheta

N°	NOMBRE DE LA LAGUNA	AREA Km2	VOLUMEN m3	COORD_X	COORD_Y
1	LAG. VERDECCOCHA	0.012	2,500	530927.299	8517145.440
2	LAG. QASACCOCHA	0.019	120,000	532365.729	8517255.629
3	LAG. AZULCCOCHA	0.015	10,000	532624.431	8517916.260
4	LAG. ANCCOLLA	0.019	20,000	533468.853	8516143.191
5	LAG. GUITARACCOCHA	0.032	60,000	533925.589	8519105.434
6	LAG. YANACCOCHA	0.027	120,000	534967.274	8517416.223
7	LAG. CHAUPICCOCHA	0.010	40,000	535589.064	8517546.245
8	LAG. CRUZCCOCHA	0.029	180,000	536012.525	8517656.662

Fuente: elaboración propia

❑ **Humedales (bofedales)**

Un bofedal es un humedal de altura, y se considera una pradera nativa poco extensa con permanente humedad. Los bofedales se forman en zonas alto andino, en donde las planicies almacenan aguas provenientes de precipitaciones pluviales, deshielo de glaciares y principalmente afloramientos superficiales de aguas subterráneas.

Al principio de la época seca (mayo) los bofedales están en su máxima extensión porque el reservorio de aguas subterráneas está lleno luego de la época de lluvias. A medida que transcurre la época seca el reservorio de aguas subterráneas va disminuyendo, los niveles de la napa freática

también disminuyen y por ende, la extensión de los bofedales. Los bofedales se encuentran en su mínima extensión en el mes de octubre, para luego ser vegetados de nuevo por la época de lluvias a partir de noviembre. Bajo esta afirmación se identificó los bofedales de mayor extensión dentro de la microcuenca Apacheta – Vinchos,

En la visita al campo se observó 19 bofedales que representa el 16% de todas las fuentes superficiales en la microcuenca Apacheta tal como se muestra en la tabla 17.

Tabla 17: Inventario de bofedales de la microcuenca Apacheta.

N°	NOMBRE	AREA_Ha
1	JILLOPUQUIO	2.76
2	ESCOLAPAYACHANAN	4.13
3	PALLCCA	6.73
4	LLIHUAHAYCCO	109.93
5	PALMADERA	18.25
6	CUTIMACHAY	22.32
7	JOLLPAMACHAY	24.18
8	CHULLUNZA	105.28
9	CCOLLPA	16.09
10	ASNAQCOCHA	6.45
11	MANCAYLLO	23.83
12	MANCAYLLO	33.94
13	MILLOHUAYCCO	20.26
14	CCANCCAHUAYCCO	10.99
15	QUICHCHUASI	36.31
16	RAYUSCCA	30.17
17	YANASALLA	20.44
18	RAGRAPAMPA	36.32
19	CCACCAPAQUI	37.26

Fuente: elaboración propia

3.1.1 Consolidado del inventario de fuentes de agua superficial – Microcuenca del río Apacheta - Vinchos

Tabla 18: Distribución por fuentes hídricas en la microcuenca del río Apacheta

UNIDAD HIDROGRÁFICA	RIO PRINCIPAL	Código	Área (Km2)	NÚMERO DE FUENTES DE AGUAS SUPERFICIALES						TOTAL
				Rio	Quebrada	Quebrada Intermitente	Lagunas	Lag. Represada	Bofedal	
Apacheta	Rio Apacheta	499628	397.15	7	38	11	35	8	19	118
TOTAL			397.15	7	38	11	35	8	19	118
		TOTAL (%)		6%	32%	9%	30%	7%	16%	100.00%

Fuente: elaboración propia

La microcuenca en estudio está conformada por 6 tributarios principales que aportan al río Apacheta durante toda la época del año, siendo estas identificadas en el campo, donde podemos resumir de la siguiente manera: río Rosaspampa, río Supaymayo, río Occo, río Quichcahuasi, río Churiacc y río Pascana.

Según el Inventario de fuentes de agua superficial, se distingue básicamente seis tipos de fuentes de agua superficial: quebradas, quebradas intermitentes, lagunas naturales, lagunas represadas, ríos y bofedales. En lo que respecta a la distribución espacial, el inventario realizado en la microcuenca Apacheta, existen en total 118 fuentes de recurso hídrico superficial distribuidos en todo el área de estudio.

Tabla 19: Recursos hídricos superficiales en la microcuenca Apacheta

TIPO DE RECURSO HÍDRICO	CANTIDAD	PORCENTAJE
Rio	7	6%
Quebrada	38	32%
Quebrada Intermitente	11	9%
Lagunas	35	30%
Lag. Represada	8	7%
Bofedal	19	16%
TOTAL	118	100.00%

Fuente: elaboración propia

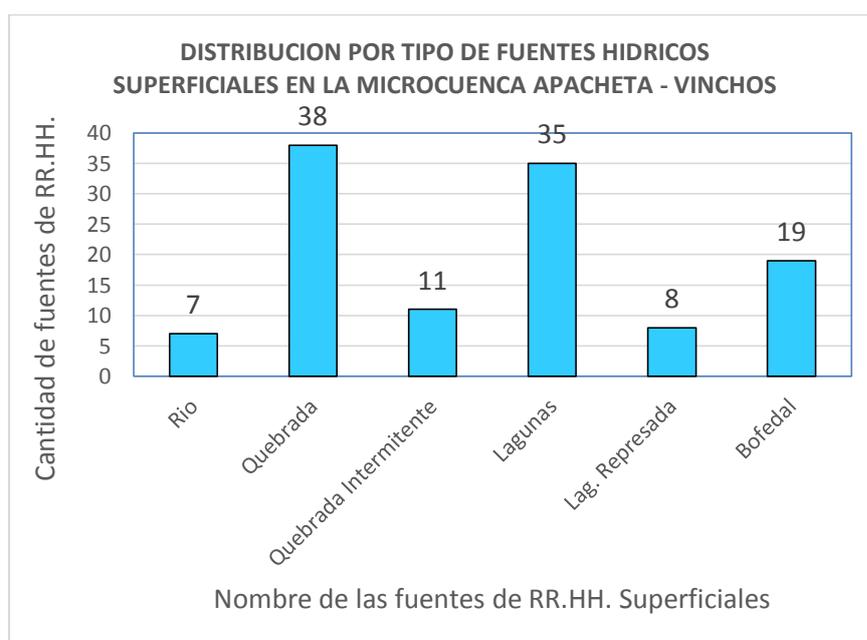


Figura 21: Distribución cuantitativa de fuentes de agua superficial

El conocimiento previo del inventario de la microcuenca en estudio, es un requisito importante para ver con que informaciones se dispone, para un mejor manejo y uso racional del recurso hídrico y en la gestión de recursos hídricos.

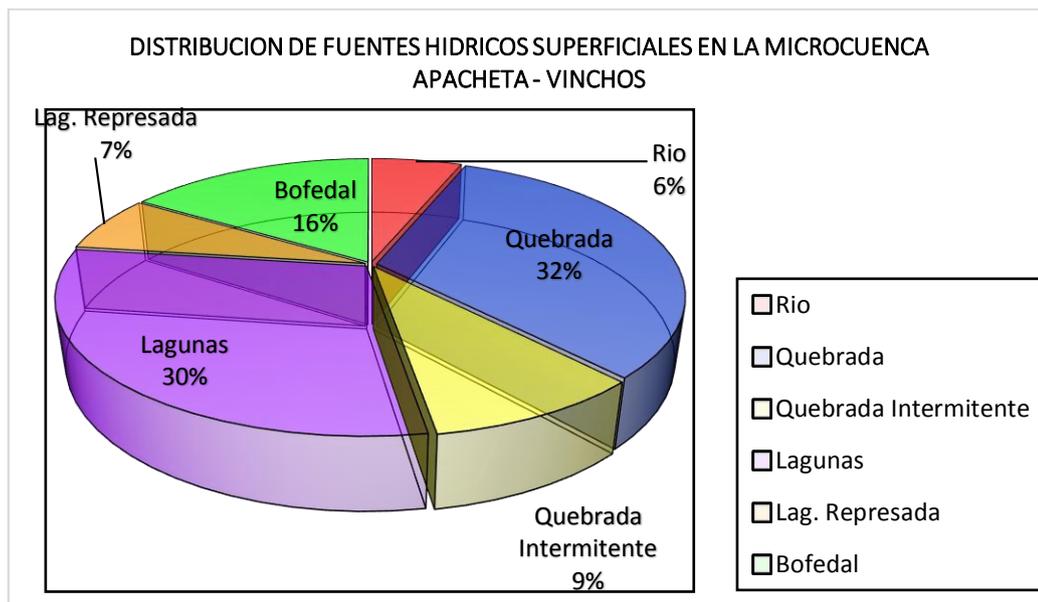


Figura 22: Distribución porcentual de fuentes de agua superficial

Las principales características del inventario fue conocer los caudales de los tributarios más importantes de la microcuenca Apacheta.

3.2 Del cálculo de los caudales de aforo

El cálculo de caudal del inventario de fuentes de agua (aforos), la distribución hídrica de estas fuentes en la microcuenca Apacheta, se presentan en la tabla 20.

La sistematización en formato SIG, de los caudales y puntos de aforo de la microcuenca Apacheta, se presentan en el Mapa **IH-01**, del **Anexo A-X**.

Donde el caudal aforado de los ríos y riachuelos nos permitirá conocer la cantidad de recurso hídrico que dispone la microcuenca del río Apacheta.

Tabla 20: Inventario de la microcuenca Apacheta -Vinchos

FUENTES DE AGUA											
ID	NOMBRE	DERIVA a:	TIPO	PEIODO	REFERENCIA		UBICACIÓN		ELEVACION	Q (M3/S) OFERTA	METODO DE MEDICION
					RIO	MARGEN	NORTE	ESTE	msnm		
1	Cutimachay	Supaymayo	Q	Permanente	Supaymayo	Derecha	8522654.93	530644.41	4567.94	0.590	FLOTADOR
2	Jollpamachay	Supaymayo	Q	Permanente	Supaymayo	Derecha	8522586.72	530770.59	4564.31	0.350	FLOTADOR
3	Yanama	Supaymayo	QI	Temporal	Supaymayo	Derecha	8522807.47	531377.46	4560.24	0.005	VOLUMETRICO
4	Parccayso	Supaymayo	QI	Temporal	Supaymayo	Derecha	8523132.84	531666.09	4592.40	0.006	VOLUMETRICO
5	Jatunorcco	Rosaspampa	Q	Permanente	Rosaspampa	Derecha	8524181.02	533650.43	4388.30	0.022	FLOTADOR
6	Supaymayo	Apacheta	R	Permanente	Rosaspampa	Derecha	8523883.51	534139.53	4365.47	1.009	FLOTADOR
7	Yanasalla	Churiacc	Q	Permanente	Churiacc	Izquierda	8529470.56	537605.33	4435.87	0.360	FLOTADOR
8	MDRA N1	Apacheta	Q	Permanente	Apacheta	Derecha	8524487.66	539312.50	4203.19	0.036	FLOTADOR
9	MDRA N2	Apacheta	Q	Permanente	Apacheta	Derecha	8524541.48	539698.71	4197.88	0.191	FLOTADOR
10	MDRA N3	Apacheta	Q	Permanente	Apacheta	Derecha	8524634.50	539782.60	4200.12	0.055	FLOTADOR
11	MDRA N4	Apacheta	QI	Temporal	Apacheta	Derecha	8524727.87	539972.56	4205.31	0.005	VOLUMETRICO
12	MDRA N5	Apacheta	Q	Permanente	Apacheta	Derecha	8525112.17	540586.93	4203.54	0.142	FLOTADOR
13	MDRA N6	Apacheta	Q	Permanente	Apacheta	Derecha	8525292.86	542818.27	4188.50	0.109	FLOTADOR
14	Tunsulla	Apacheta	Q	Permanente	Apacheta	Derecha	8525081.95	543893.99	4190.50	0.011	FLOTADOR
15	Niñobamba	Apacheta	QI	Temporal	Apacheta	Derecha	8525089.79	544587.70	4193.70	0.004	VOLUMETRICO
16	Quichcahuasi	Apacheta	R	Permanente	Apacheta	Derecha	8522514.34	544266.69	4194.47	0.929	FLOTADOR

Continuación

17	Saccsalccochoa	Apacheta	Q	Permanente	Apacheta	Derecha	8523124.64	553275.27	4186.81	0.006	VOLUMETRICO
18	Viuda	Apacheta	Q	Permanente	Apacheta	Derecha	8523420.97	552755.09	4179.98	0.011	VOLUMETRICO
19	Artezo	Apacheta	Q	Permanente	Apacheta	Derecha	8523654.03	551560.73	4173.26	0.007	VOLUMETRICO
20	Rumichaca	Apacheta	Q	Permanente	Apacheta	Derecha	8523566.37	550141.48	4243.35	0.006	VOLUMETRICO
21	Martachayoc	Apacheta	Q	Permanente	Apacheta	Derecha	8524065.92	549138.07	4211.55	0.009	VOLUMETRICO
22	Chacapampa	Apacheta	Q	Permanente	Apacheta	Izquierda	8525290.98	549660.96	3881.64	0.056	FLOTADOR
23	Tambo_A	Apacheta	Q	Permanente	Apacheta	Izquierda	8525509.97	560804.76	3528.17	0.059	FLOTADOR
24	Tambo_B	Apacheta	Q	Permanente	Apacheta	Izquierda	8525360.91	561041.57	3537.72	0.003	VOLUMETRICO
25	Huerta Huaycco	Apacheta	Q	Permanente	Apacheta	Derecha	8524185.76	562085.12	3517.36	0.004	VOLUMETRICO
26	Tincohuaycco	Apacheta	Q	Permanente	Apacheta	Derecha	8523299.99	563394.24	3475.14	0.006	VOLUMETRICO
27	Pichccapuquio	Apacheta	Q	Permanente	Apacheta	Derecha	8525206.13	568446.99	3389.57	0.005	VOLUMETRICO
28	Ccaccapaqui	Rosaspampa	Q	Permanente	Rosaspampa	Izquierda	8525918.00	532440.00	4450.00	0.534	FLOTADOR
29	Huaytacochoa	Rosaspampa	Q	Permanente	Rosaspampa	Izquierda	8528214.00	533814.00	4474.00	0.317	FLOTADOR
30	Sora pata	Rosaspampa	QI	Temporal	Rosaspampa	Izquierda	8528003.00	533887.00	4466.00	0.001	VOLUMETRICO
31	Yanahuaycco	Rosaspampa	Q	Permanente	Rosaspampa	Izquierda	8527287.00	533277.00	4381.00	0.228	FLOTADOR
32	Puca corral	Apacheta	QI	Temporal	Apacheta	Izquierda	8524244.00	535136.00	4348.00	0.004	VOLUMETRICO
33	Putungo	Apacheta	QI	Temporal	Apacheta	Izquierda	8524109.00	537038.00	4220.00	0.003	VOLUMETRICO
34	Huatana	Apacheta	QI	Temporal	Apacheta	Izquierda	8524159.00	538330.00	4207.00	0.003	VOLUMETRICO
35	Chullunza	Occo	Q	Permanente	Occo	Derecha	8520947.00	534355.00	4386.00	0.354	FLOTADOR

Continuación											
36	Romero	Occo	Q	Permanente	Occo	Derecha	8520383.00	535121.00	4373.00	0.380	FLOTADOR
37	Ilahuasi	Apacheta	Q	Permanente	Apacheta	Izquierda	8526091.00	542733.00	4035.00	0.195	FLOTADOR
38	Danzarumi	Apacheta	Q	Permanente	Apacheta	Izquierda	8526135.00	543286.00	4030.00	0.085	FLOTADOR
39	Paqchapata	Apacheta	Q	Permanente	Apacheta	Izquierda	8526052.00	543834.00	4003.00	0.002	VOLUMETRICO
40	Mancayllo	Apacheta	Q	Permanente	Apacheta	Izquierda	8525914.00	544618.00	3999.00	0.250	FLOTADOR
41	MIRA N1	Apacheta	QI	Temporal	Apacheta	Izquierda	8525914.00	545084.00	4063.00	0.002	VOLUMETRICO
42	Millohuayjo	Apacheta	Q	Permanente	Apacheta	Izquierda	8525603.00	545746.00	3961.00	0.009	VOLUMETRICO
43	Ccancchahuayco	Apacheta	Q	Permanente	Apacheta	Izquierda	8525337.00	546465.00	3929.00	0.080	FLOTADOR
44	Pascana	Apacheta	R	Permanente	Apacheta	Izquierda	8527631.00	551054.00	4028.00	1.144	FLOTADOR
45	Occollo	Apacheta	QI	Temporal	Apacheta	Izquierda	8526660.00	550442.00	4035.00	0.004	VOLUMETRICO
46	Churiacc	Apacheta	R	Permanente	Apacheta	Izquierda	8527161.67	538729.79	4367.89	1.259	FLOTADOR
47	Auloyocc	Apacheta	Q	Permanente	Apacheta	Izquierda	8524543.00	557120.00	3612.00	0.125	FLOTADOR
48	Jallobado	Apacheta	Q	Permanente	Apacheta	Derecha	8523721.00	557123.00	3620.00	0.355	FLOTADOR
49	Tomacucho	Apacheta	Q	Permanente	Apacheta	Derecha	8523534.00	558839.00	3657.00	0.135	FLOTADOR

Fuente: elaboración propia

Caudal de oferta total 8.525 m3/s
Caudal para el mes de aforo: Febrero-2016

MDRA Margen Derecha del rio Apacheta
MIRA Margen Izquierda del rio Apacheta
Q Quebradas
QI Quebradas Intermitentes
R Ríos

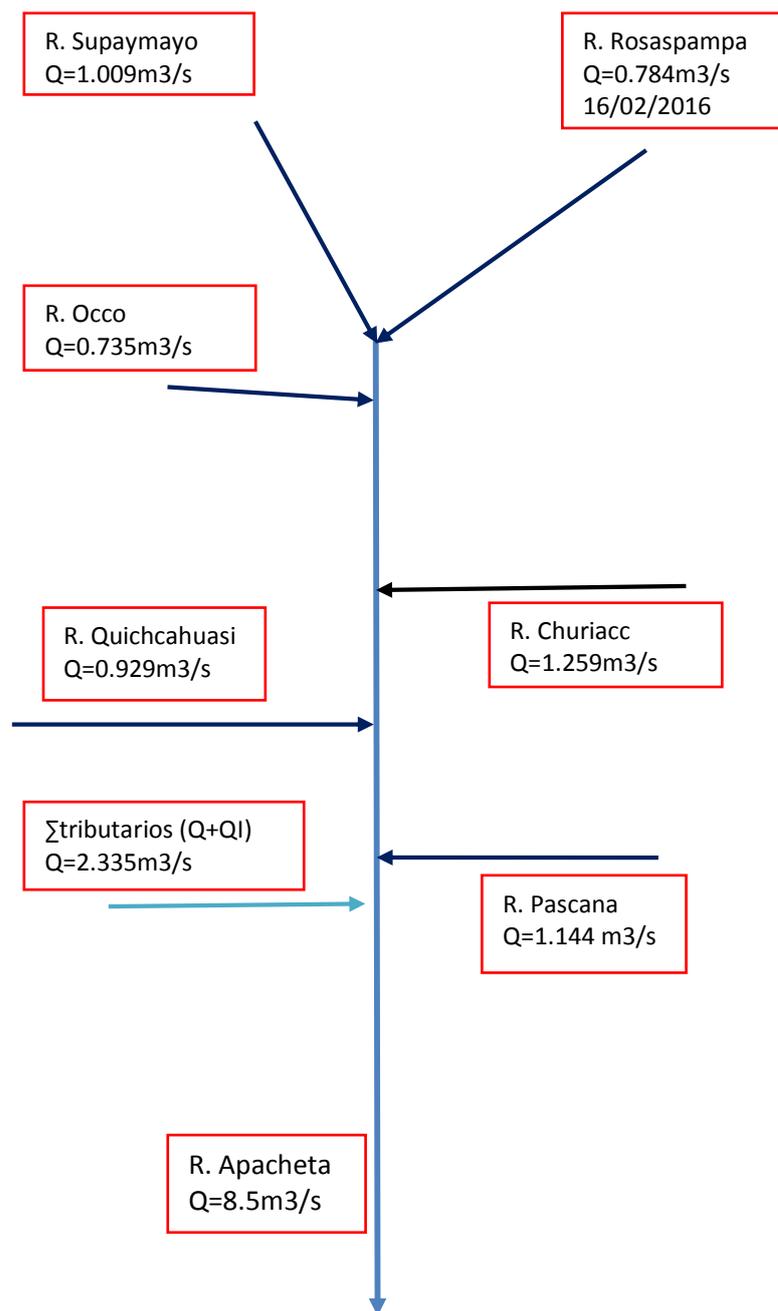


Figura 23: Diagrama fluvial microcuenca Apacheta - Vinchos

El trabajo de inventario de fuentes de agua desarrollado en la presente tesis dentro de la microcuenca Apacheta – Vinchos, nos permite determinar un caudal instantáneo de $8.5\text{m}^3/\text{s}$ para el mes de febrero de año 2016, en anexo se agregan los mapas de los puntos de aforo realizados.

3.3 De la descripción general de la cuenca

3.3.1 Caracterización geomorfológica

Las principales características geomorfológicas son: de superficie (área de nevados, área de lagunas, área colectora entre otros); de forma (índice de compacidad, factor de forma, razón de circularidad, rectángulo equivalente) y, de relieve y drenaje.

Las principales curvas que se elaboraron son las hipsométricas, frecuencia de altitudes, rectángulos equivalentes, perfil longitudinal del cauce y frecuencia de pendientes.

Los resultados se utilizaron para calcular los parámetros de la modelación hidrológica.

El análisis de los parámetros geomorfológicos permitió comparar el comportamiento de la precipitación y del escurrimiento en la microcuenca en estudio, así mismo al realizar el análisis estadístico con el apoyo de la cartografía permitió inferir la importancia que tienen las lagunas y ríos para mantener el régimen de los caudales del río Apacheta el cual es motivo de estudio de la presente tesis.

A continuación se describen el análisis geomorfológico que se puede notar las siguientes tendencias fisiográficas más relevantes:

3.3.1.1 Microcuenca del río Apacheta (S1)

Se ubica en la región Ayacucho y Huancavelica, la microcuenca tiene una área colectora de 397.15 Km² de extensión. Tiene una altitud media de 4354.19 m.s.n.m., una pendiente media de la cuenca 42.03%, el coeficiente de Compacidad determinado es 1.83 y que corresponde a cuencas de forma **rectangular oblonga** (ver tabla 21: parámetros geomorfológicos de la microcuenca Apacheta - Vinchos).

Tabla 21: Geomorfología de la microcuenca Apacheta - Vinchos

PARAMETROS		UND	NOMENCLATURA	CUENCA		
Superficie total de la cuenca		Km ²	At	397.153		
Perímetro		Km.	P	129.919		
UBICACIÓN	Latitud		°	Lat.	13°21'6''	
	Longitud		°	Long.	74°34'26''	
	Zona de Proyección UTM		s/U	Zona	18	
	X		m	Coord. X	546137.44	
	Y		m	Coord. Y	8523921.12	
	Altura del centoride		m.s.n.m.	Alt.	4354.19	
RELACIONES DE FORMA	FACTOR DE CUENCA	Coeficiente de Compacidad (Gravelius)		s/U	Ecuación (3)	1.84
		FACTOR DE FORMA	Longitud max. de la Cuenca		Km.	LB
	Ancho Medio de la Cuenca		Km.	AM = At / LB	8.925	
	Factor de Forma		s/U	Kf = AM / LB	0.201	
	RECTANGULO EQUIVALENTE	Lado Mayor		Km.	Ecuación (8)	58.128
		Lado Menor		Km.	Ecuación (9)	6.832
SISTEMA DE DRENAJE	GRADO DE RAMIFICACIÓN	longitud		Km.	Orden 1	188.878
		longitud		Km.	Orden 2	58.850
		longitud		Km.	Orden 3	27.271
		longitud		Km.	Orden 4	7.342
		longitud		Km.	Orden 5	42.344
		LONGITUD TOTAL		Km.		324.684
	NÚMEROS DE RIOS PARA LOS DIFERENTES GRADOS DE RAMIFICACIÓN			s/U	Orden 1	137
				s/U	Orden 2	54
				s/U	Orden 3	23
				s/U	Orden 4	5
				s/U	Orden 5	34
		CANTIDAD TOTAL		s/U		253
	Longitud del río principal		Km.	Lr	52.750	
	Densidad de drenaje		Km./Km ² .	Dd = Lt / At	0.818	
	Relación de Bifurcación	Nivel 1		s/U	Rb = N°R1 / N°R2	2.537
		Nivel 2		s/U	Rb = N°R2 / N°R3	2.348
		Nivel 3		s/U	Rb = N°R3 / N°R4	4.600
		Nivel 4		s/U	Rb = N°R4 / N°R5	0.147
		Nivel 5		s/U	Rb = N°R5 / N°R6	
		Promedio		s/U	Rb = N°Rn / (N°Rn+1)	2.408
Extensión media de la escorrentía superficial		Km.	Es = At / 4Lt	0.306		
Frecuencia de los ríos		r/Km ²	Fr = N°Ríos / At	0.637		
Desnivel total de la cuenca		Km.	Ht	1.85		
Altura máxima cuenca		m.s.n.m.	Hcu	5150		

PARAMETROS	UND	NOMENCLATURA	CUENCA
Altura máxima río	m.s.n.m.	Hmáx	4800
Altura mínima río	m.s.n.m.	Hmín	3300
Desnivel total del río	m.	Htm	1500
Altura media de la cuenca	m.s.n.m.	Hm	4354
Pendiente cuenca (Análisis GIS)	%		42.03%
Pendiente cuenca (Met. Rectángulo Equivalente)	%	Ht / Lma	3.18%
Pendiente cuenca (Met. Alvord)	%	$\Delta \sum L / A$	36.15%
Pendiente cuenca (Escogido)	%		42.03%
Pendiente general del cauce principal	%	$\Delta h / L$	2.84%
Pendiente media del cauce principal (Anal. GIS)	%		2.44%

3.4 Tratamiento de la información pluviométrica

3.4.1 De la consistencia de la información pluviométrica

Las 05 estaciones seleccionadas y agrupadas fueron completadas y extendidas para un periodo de 52 años de 1962 - 2013, se presenta las estaciones utilizadas para la presente tesis en la tabla 22.

Las 05 estaciones pluviométricas seleccionadas se encuentran distribuidas a lo largo de la margen derecha de la microcuenca del río Apacheta, por este motivo los criterios que se utilizaron para la agrupación de las estaciones son: (1) Por su ubicación en la cuenca; (2) Por las “características geomorfológicas de las cuencas que controlan”.

El análisis de consistencia permite regionalizar la información, es decir garantizar que el registro con que se cuenta tenga un comportamiento propio de la zona eliminando los posibles errores sistemáticos que se pudo haber cometido.

Tabla 22: Estaciones meteorológicas utilizadas para el estudio de la microcuenca de Apacheta

ESTACIONES METEOROLOGICAS UTILIZADAS EN EL ESTUDIO DE LA MICROCUENCA APACHETA											
ESTACIONES	TIPO	PROPIETARIO	COORDENADAS GEOGRAFICAS		ALTITUD m.s.n.m.	CUENCA	UBICACIÓN			PERIODO DE REGISTRO	RECORD DE AÑOS
			LATITUD SUR	LONGITUD OESTE			Departamento	Provincia	Distrito		
1. APACHETA	PLU	PERC	13°20' 51"	74°38'44"	4150	CACHI	AYACUCHO	CANGALLO	PARAS	1991-2013	23
2. CHIARA	PLU	PERC	13°17'25"	74°12'39"	3587	CACHI	AYACUCHO	HUAMANGA	CHIARA	1991-2013	23
3. CUCHOQUESERA	PLU	PERC	13°25'50"	74°20'33"	3740	CACHI	AYACUCHO	CANGALLO	CHUSCHI	1992-2013	22
4. HUAMANGA	PLU	PERC	13°08'51"	74°13'06"	2772	CACHI	AYACUCHO	HUAMANGA	AYACUCHO	1962-2012	51
5. PUTACCA	PLU	PERC	13°24'16.26"	74°21'01.14"	3589	CACHI	AYACUCHO	HUAMANGA	VINCHOS	1991-2010	20
6. PAMPA CANGALLO	PLU	PERC	13°33'19"	74°11'04"	3375	PAMPAS	AYACUCHO	CANGALLO	MOROCHUCOS	1991-2013	23
7. SACHABAMBA	PLU	PERC	13°27'38"	74°06'02"	3544	CACHI	AYACUCHO	HUAMANGA	CHIARA	1995-2013	18
8. TAMBILLO	PLU	PERC	13°13'06.72"	74°06'22.68"	3328	CACHI	AYACUCHO	HUAMANGA	TAMBILLO	1992-2013	21

La información de las estaciones Apacheta y Chiara no presentan registros faltantes significativos a nivel mensual para un periodo de 1991 – 2013; mientras las estaciones de Cuchoquesera, Huamanga y Putacca si presentan datos incompletos a nivel mensual, por lo tanto se procedió a completar con el método racional deductivo, para realizar el análisis de saltos.

Los resultados del análisis de consistencia, el análisis de doble masa, los histogramas de la información pluviométrica original y corregida se presentan en las siguientes figuras:

Tabla 23: Estaciones pluviométricas seleccionadas para el estudio

ESTACIONES	TIPO	PROPIETARIO	COORDENADAS GEOGRAFICAS		ALTITUD m.s.n.m.	CUENCA	UBICACIÓN			PERIODO DE REGISTRO	RECORD DE AÑOS
			LATITUD SUR	LONGITUD OESTE			Departamento	Provincia	Distrito		
1. APACHETA	PLU	PERC	13°20' 51"	74°38'44"	4150	CACHI	AYACUCHO	CANGALLO	PARAS	1991-2013	23
2. CHIARA	PLU	PERC	13°17'25"	74°12'39"	3587	CACHI	AYACUCHO	HUAMANGA	CHIARA	1991-2013	23
3. CUCHOQUESERA	PLU	PERC	13°25'50"	74°20'33"	3740	CACHI	AYACUCHO	CANGALLO	CHUSCHI	1992-2013	22
4. HUAMANGA	PLU	PERC	13°08'51"	74°13'06"	2772	CACHI	AYACUCHO	HUAMANGA	AYACUCHO	1962-2012	51
5. PUTACCA	PLU	PERC	13°24'16.26"	74°21'01.14"	3589	CACHI	AYACUCHO	HUAMANGA	VINCHOS	1991-2010	20

Histogramas de las Estaciones Seleccionados

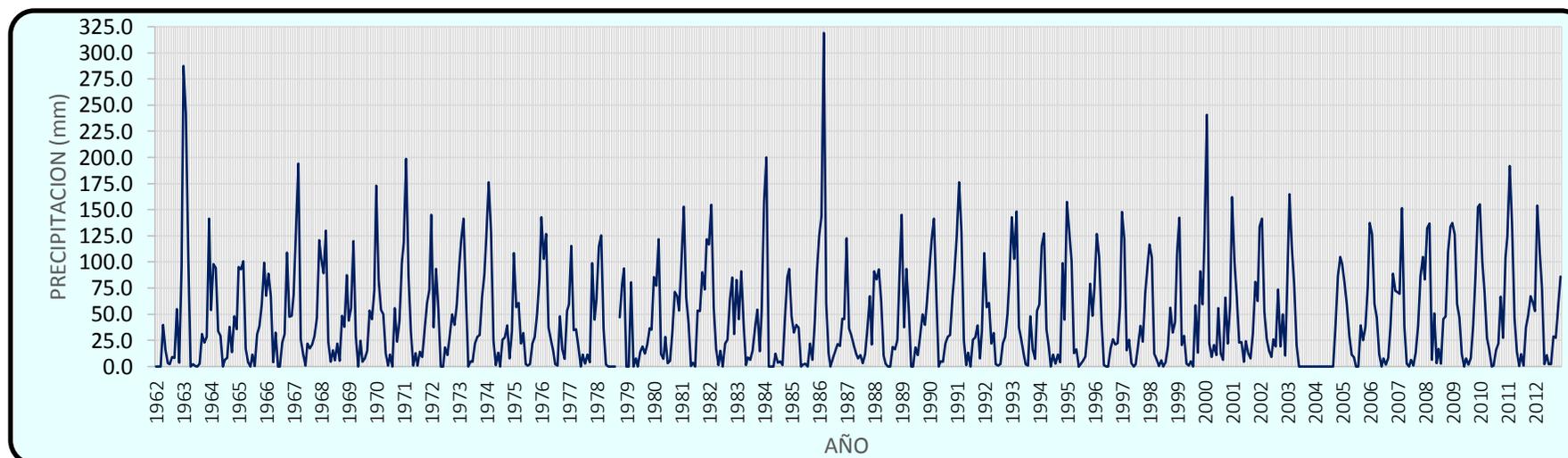


Figura 24: histograma de precipitación mensual - E. Huamanga (serie histórica)

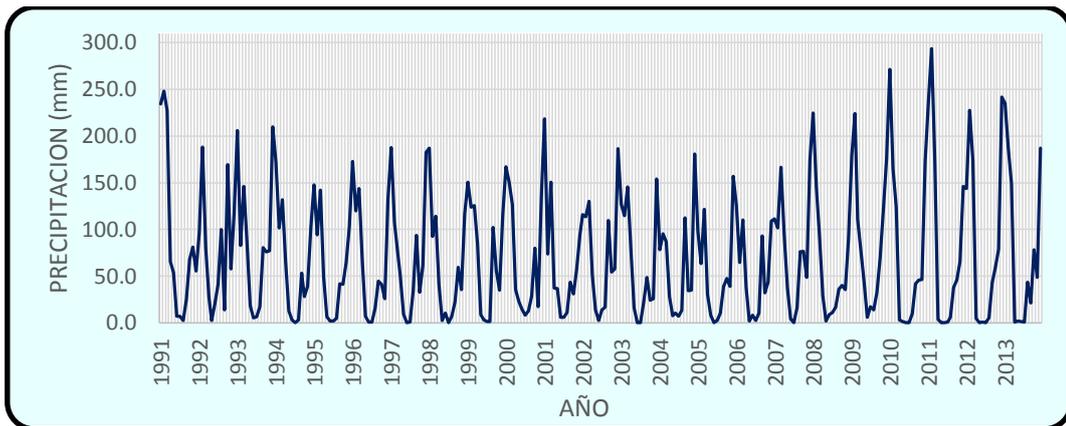


Figura 25: Histograma de precipitación mensual -E. Apacheta (serie historica)

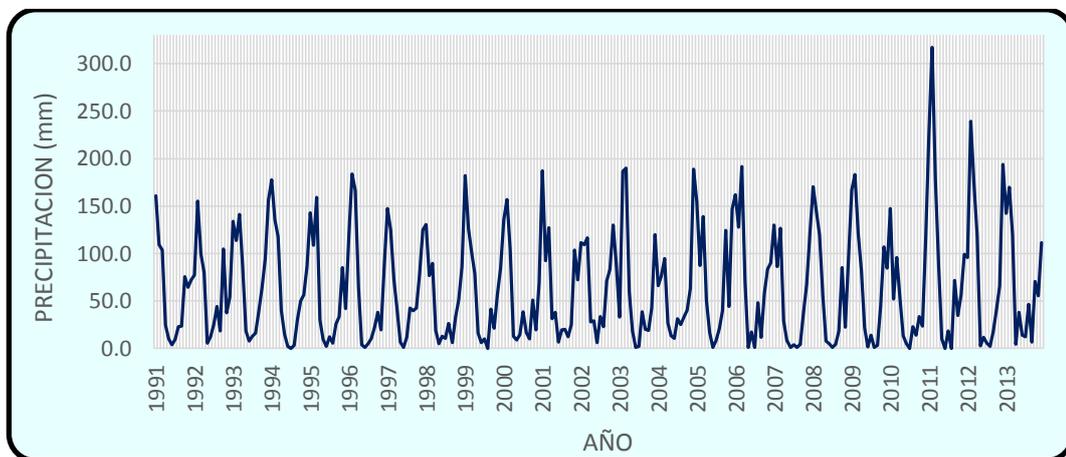


Figura 26: Histograma de precipitación mensual - E. Chiara (serie historica)

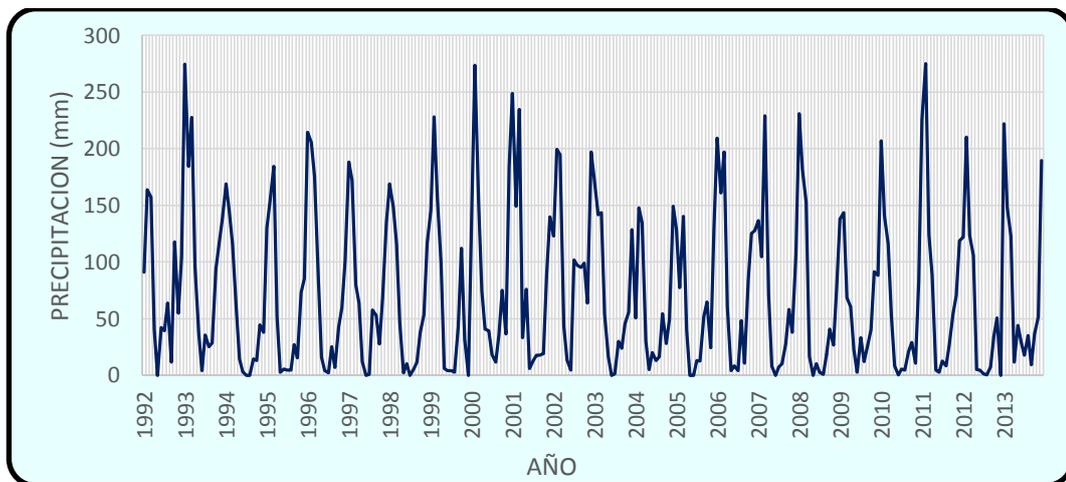


Figura 27: Histograma de precipitación mensual - E. Cuchoquesera (serie historica)

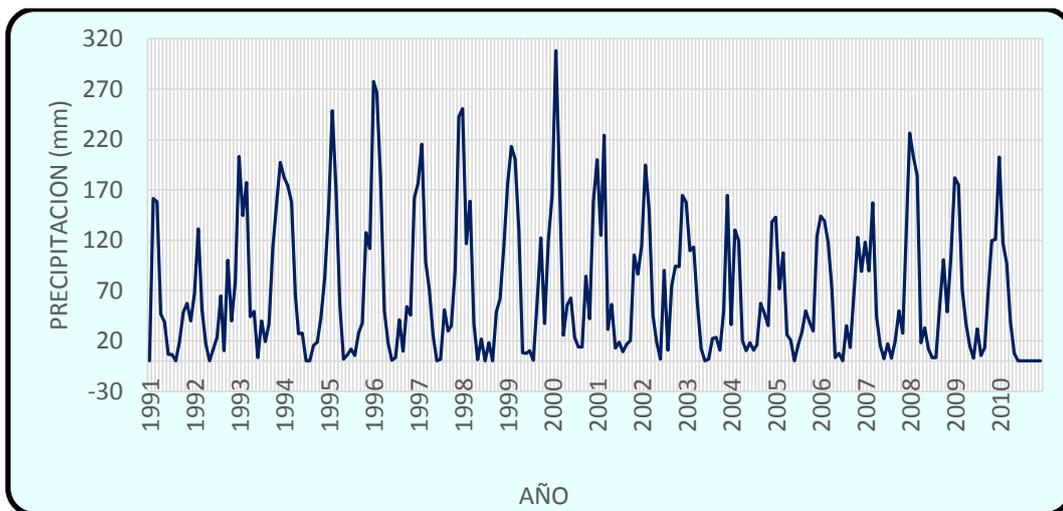


Figura 28: Histograma de precipitación mensual - E. Putacca (serie histórica)

De las figuras de histogramas podemos ver que existen saltos, por lo tanto se procede a realzar el análisis de doble masa para determinar los quiebres o cambio de pendiente.

3.4.1.1 Análisis de doble masa de las estaciones – selección de la estación base

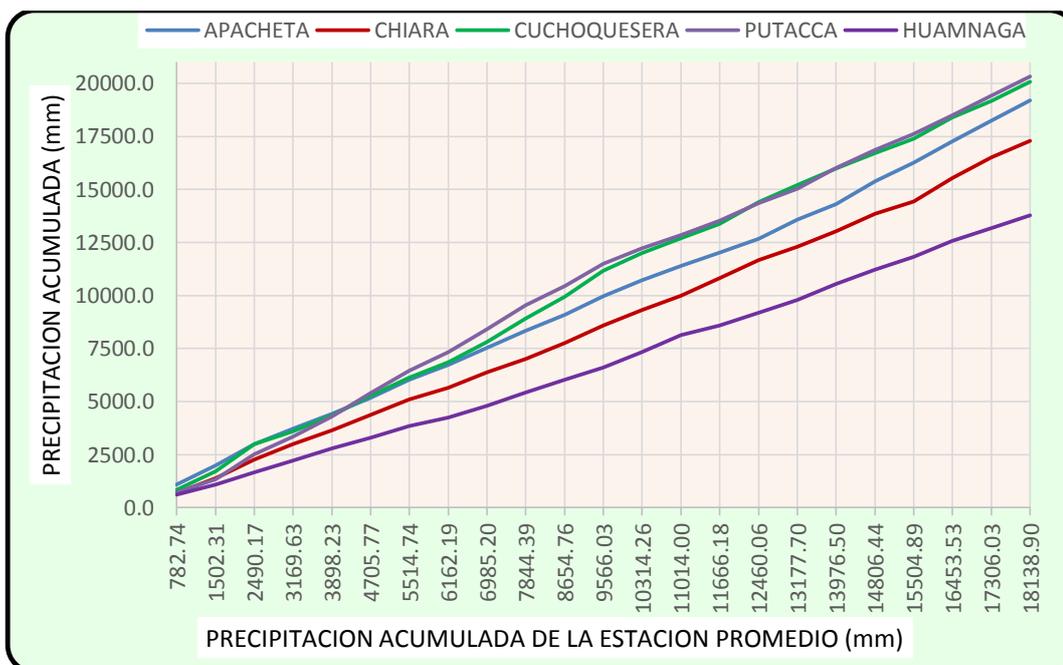


Figura 29: diagrama análisis de doble masa (serie histórica)

De la figura 27; análisis de doble masa, determinamos la estación base que presenta menos quiebres para proceder con el análisis estadístico. La estación de Huamanga presenta menos puntos de quiebre entonces será la estación base, de manera que ploteando en el eje “x” la precipitación acumulada de dicha estación y en el eje “y” la precipitación aculada de las demás estaciones determinamos los periodos o grupos para el posterior análisis.

3.4.1.2 Análisis estadístico.

Conociendo los periodos de posible corrección de los datos, se procede analizarlos estadísticamente, en la media y la desviación estándar, para ver si sus valores están dentro del rango permisible para un cierto nivel de significación, según la hipótesis que se plantea.

Combinando estos criterios se llega a tener una idea de la confiabilidad de la muestra, para corregir, si fuese necesario, mejorando su bondad estadística y obteniendo finalmente una serie de datos homogéneos y consistentes.

Tabla 24: Consistencia en la media de los datos de precipitación

Estación	Sp	Sd	Tc	Alfa	G.L.	Tt (95%) Tabla	Comparc.	Diferencia Signific.
Apacheta	66.62	8.09	-0.25	0.05	274.00	1.64	Tc < Tt	HOMOGENEO
Chiara	57.61	9.15	-1.18	0.05	274.00	1.64	Tc < Tt	HOMOGENEO
Cuchoquesera	69.63	8.57	1.27	0.05	262.00	1.64	Tc < Tt	HOMOGENEO
Putacca	69.27	8.94	1.37	0.05	238.00	1.64	Tc < Tt	HOMOGENEO
Huamanga	48.62	3.93	-1.14	0.05	610.00	1.64	Tc < Tt	HOMOGENEO

Tabla 25: Consistencia con la desviación estándar

Estación	Fc	Alfa	G.L.N.	G.L.D.	Ft (95%)	Comparación	Calculado
Apacheta	1.38	0.05	119	155	1.32	Fc > Ft	NO HOMOGENEO
Chiara	1.93	0.05	47	227	1.45	Fc > Ft	NO HOMOGENEO
Cuchoquesera	1.07	0.05	131	131	1.36	Fc < Ft	HOMOGENEO
Putacca	1.39	0.05	119	119	1.40	Fc < Ft	HOMOGENEO
Huamanga	1.06	0.05	299	311	1.26	Fc < Ft	HOMOGENEO

La tabla 24 y 25 muestra los resultados del análisis estadístico, del cual deducimos que la estaciones de Apacheta y Chiara no son consistentes con la desviación estándar, por lo tanto procedemos a corregir los datos de registro para dichas estaciones.

Del resultado del análisis estadístico, las estaciones antes mencionadas corrigieron los datos mediante la ecuación (32) y (33), de los cuales se presentan en las siguientes figuras con datos originales corregidos:

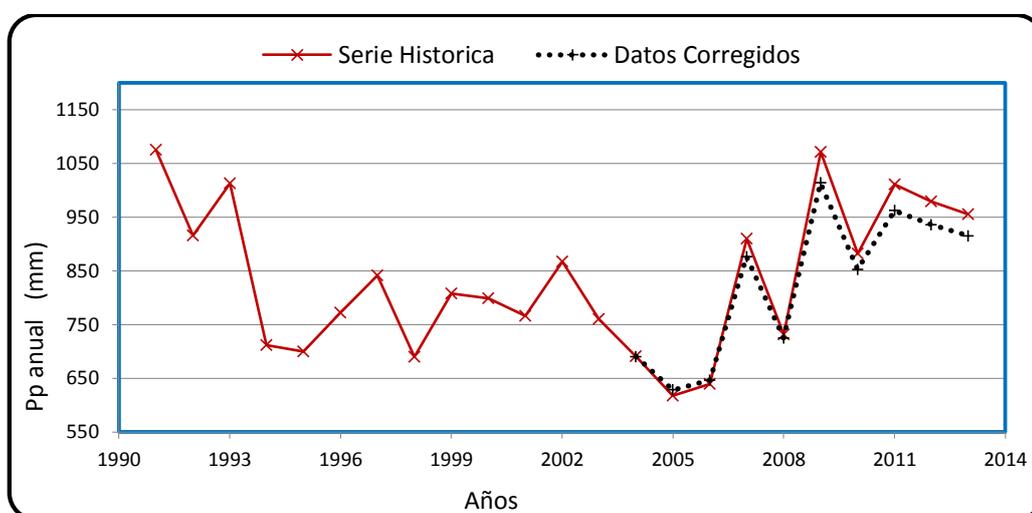


Figura 30: Precipitaciones anuales corregidas – E. Apacheta (serie histórica)

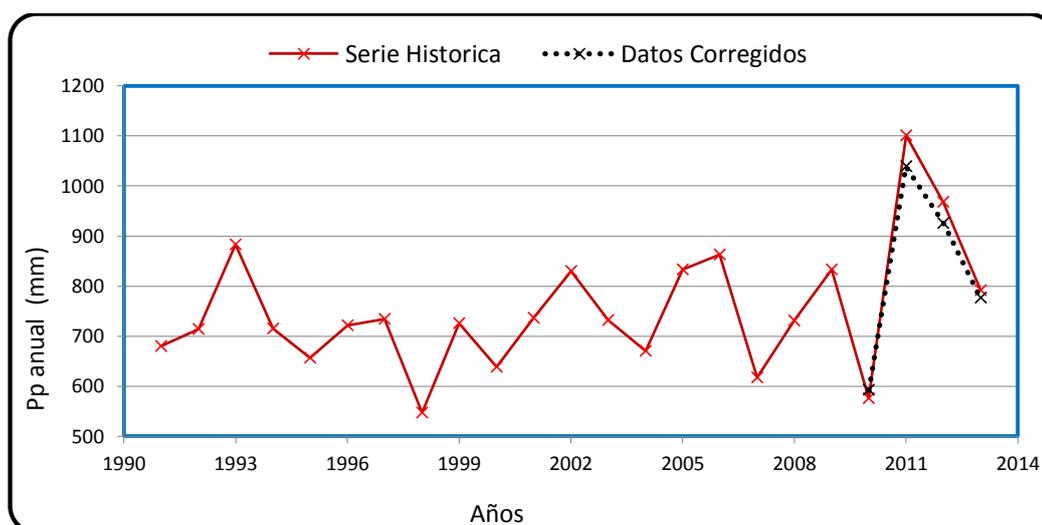


Figura 31: Precipitaciones anuales corregidos – E. Chiara (serie histórica)

3.4.2 Extensión de la información pluviométrica

Una vez corregida la información se procedió a la extensión de datos de precipitaciones mensuales, de las estaciones seleccionadas para realizar el modelamiento hidrológico en el área de estudio de la microcuenca Apacheta, para un periodo de 1962 – 2013.

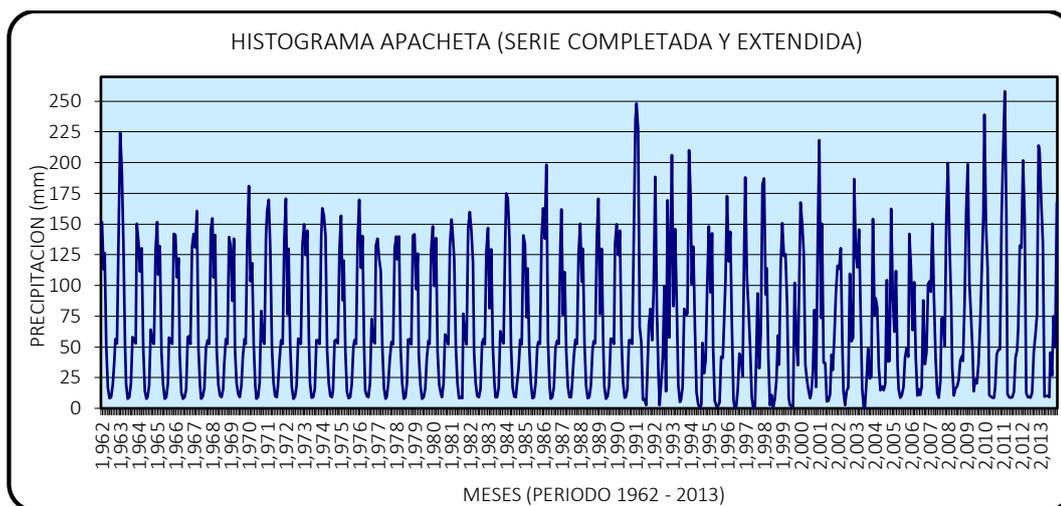


Figura 32: Histograma de precipitación mensual - E. Apacheta (serie completada y extendida)

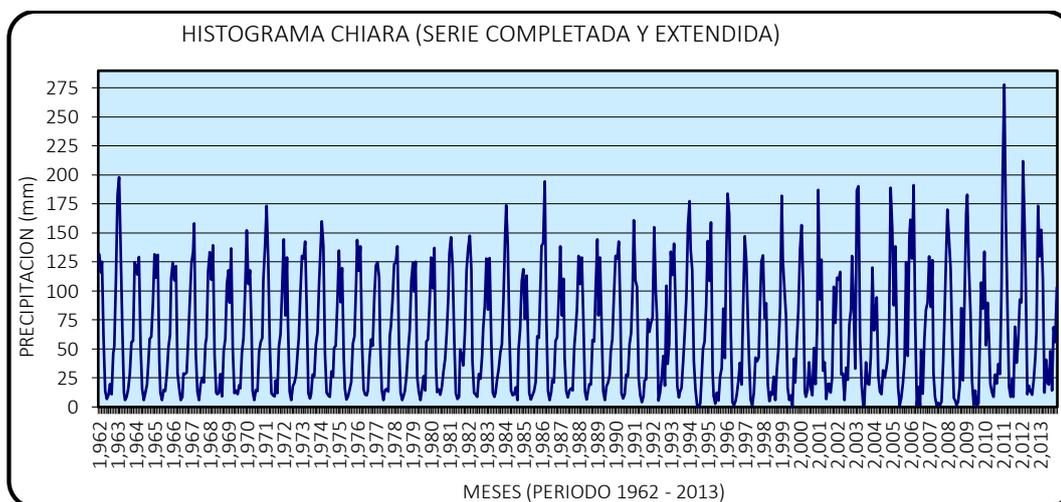


Figura 33: Histograma de precipitación mensual - E. Chiara (serie completada y extendida)

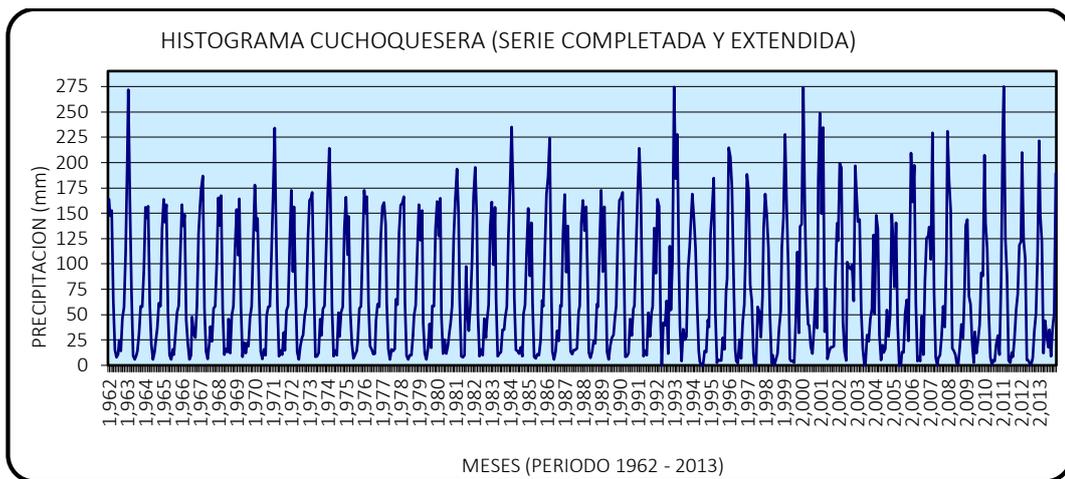


Figura 34: Histograma de precipitación mensual - E. Cuchoquesera (serie completada y extendida)

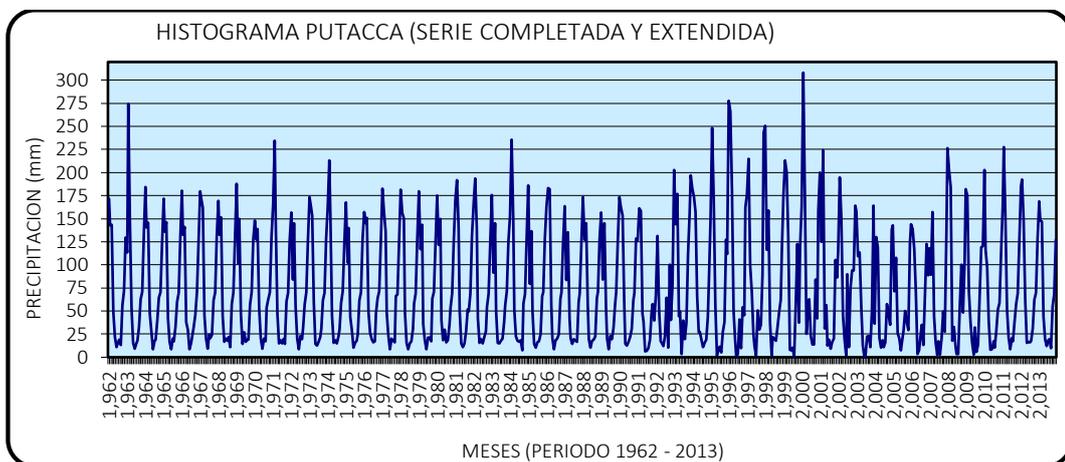


Figura 35: Histograma de precipitación mensual - E. Putacca (serie completada y extendida)

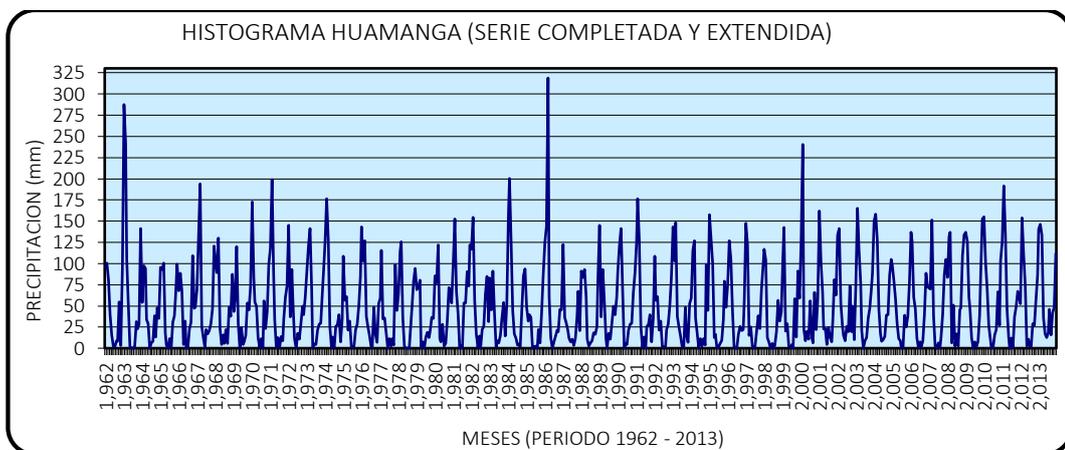


Figura 36: Histograma de precipitación mensual - E. Huamanga (serie completada y extendida)

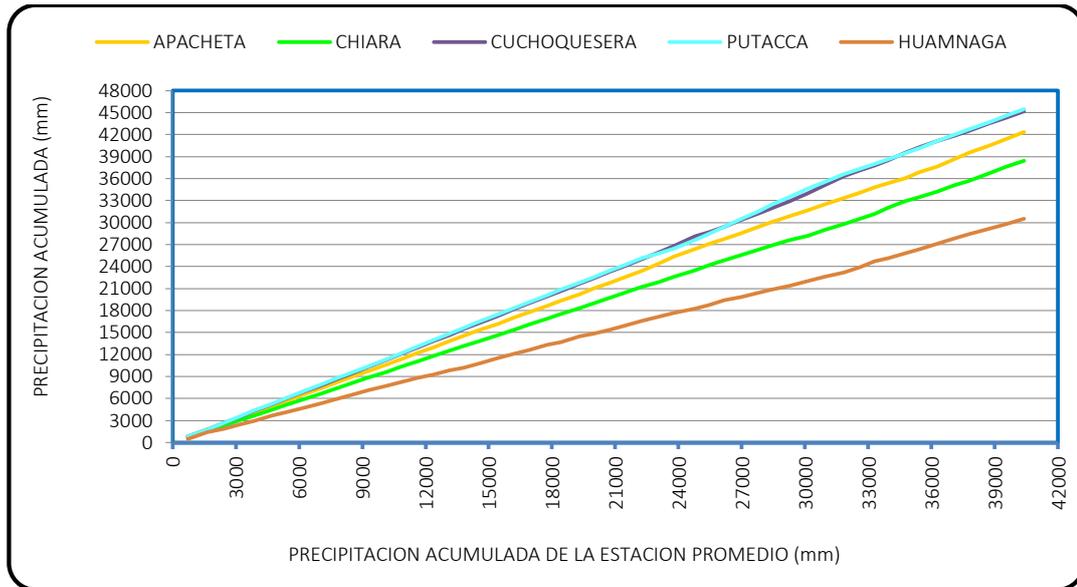


Figura 37: Diagrama de doble masa de la precipitación anual - completadas y extendidas

3.4.3 Análisis pluviométrico de la cuenca

3.4.3.1 Ecuación regional de la precipitación

El comportamiento pluviométrico de la microcuenca describe una correlación respecto a la altitud, es decir que se produce una gradiente de precipitación, donde se evidencia que a mayor altitud mayor precipitación.

Previo a la generación de caudales medios mensuales, se realizaron la generación de precipitación promedio que cae en la microcuenca Apacheta, que depende directamente del ajuste realizado por la ecuación de influencia de las estaciones base el cual involucra el factor de corrección por altura y la ubicación geográfica de la estación en estudio respecto a la estaciones base.

Ecuaciones de precipitación para la estación en estudio en función de las estaciones base: (E.S. = $\sum a_i \times b_i \times E_i$)

$$Ec. Sist. = 0.532 * E1 + 0.12 * E2 + 0.173 * E3 + 0.192 * E4 + 0.138 * E5$$

Donde:

Ei : viene a ser a cada una de las estaciones seleccionadas para el estudio de la microcuenca Apacheta.

Las precipitaciones generadas para la microcuenca Apacheta se basaron en la ecuación de influencia, los resultados se muestran en la figura 38 y 39.

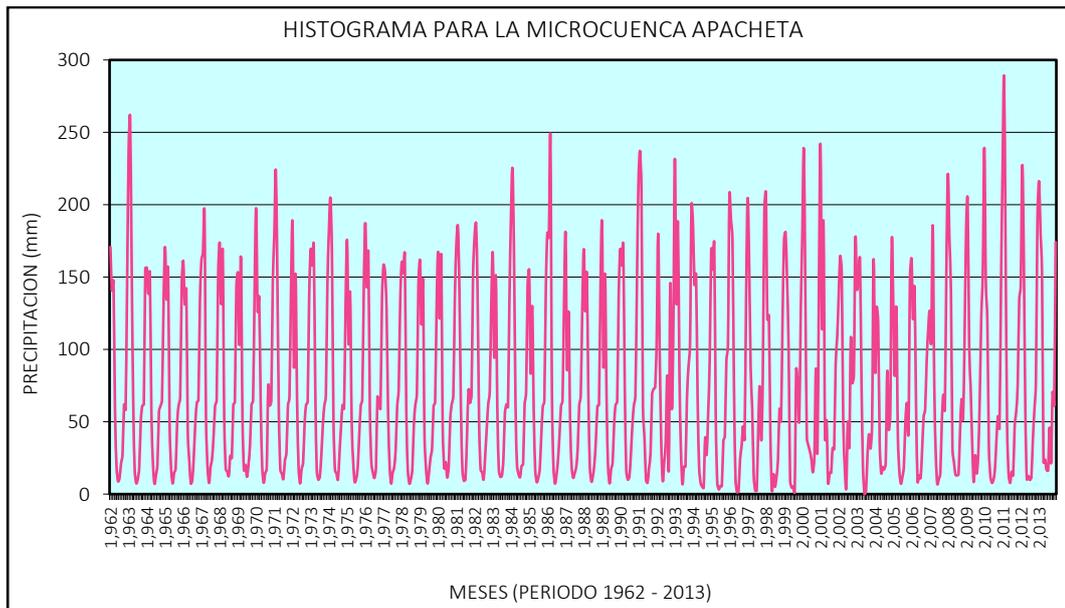


Figura 38: Histograma de precipitación total media mensual generada

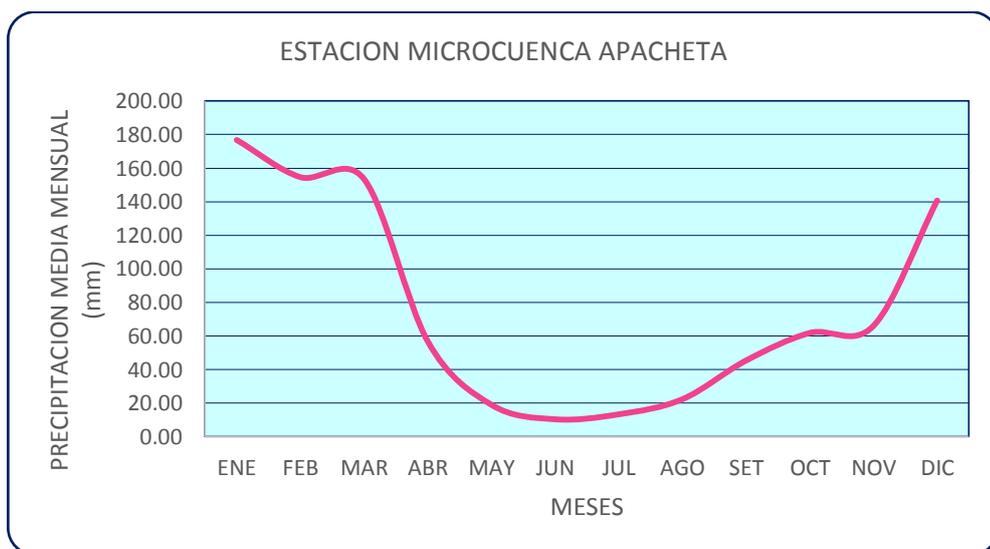


Figura 39: Variación de la precipitación - promedio multimensual generada

3.4.4 Variables meteorológicas complementarias de la microcuenca

Apacheta - vinchos.

RESULTADOS

- La gradiente térmica de las temperaturas mínima, media y máxima mensual de la microcuenca en estudio se presenta en los tablas 26, 27 y 28 respectivamente.
- La variación mensual promedio de la Humedad Relativa, Velocidad de Viento y Horas Sol de la zona en estudio se presentan en los tablas 29, 30 y 31 respectivamente.

Tabla 26: Gradiente térmica de la temperatura mínima mensual

ESTACIONES	ALTITUD msnm	MESES												MEDIA
		JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	
APACHETA	4,150	-8.40	-8.40	-7.00	-4.60	-5.80	-4.80	-4.00	-2.40	-1.80	-3.60	-7.00	-6.40	-5.35
CHIARA	3,587	-4.20	-2.60	-2.40	-0.40	-2.80	-4.80	-4.60	-3.20	-1.80	-1.80	-2.80	-8.00	-3.28
CUCHOQUESERA	3,740	-3.44	-1.98	-1.67	-0.80	-0.64	0.43	1.15	1.29	1.53	0.63	-1.83	-2.70	-0.67
PUTACCA	3,589	-5.72	-5.05	-3.50	-2.18	-2.53	-0.82	0.98	1.50	1.86	-1.14	-4.04	-5.99	-2.22
HUAMANGA	2,772	1.98	2.95	5.24	6.33	6.63	7.24	8.52	7.98	6.81	4.68	3.03	1.65	5.25
PAMPA CANGALLO	3,375	-1.70	-1.20	-0.20	0.00	1.10	0.40	-6.00	-2.00	-2.00	1.00	0.00	-3.00	-1.13
SACHABAMBA	3,544	-2.00	-3.80	-2.40	-1.20	-1.60	-0.60	-6.00	-2.00	-2.00	1.00	-1.80	-3.00	-2.12
ECUACION DE REGRESION LINEAL: $Y = mx + b$	a	22.71	24.63	28.83	26.86	30.72	29.50	25.92	24.40	19.82	20.52	23.08	16.57	24.46
	b	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.007
	r	-0.93	-0.92	-0.97	-0.96	-0.95	-0.87	-0.60	-0.73	-0.69	-0.91	-0.94	-0.75	-0.92
M. APACHETA	4,354	-9.38	-9.23	-8.76	-6.71	-8.09	-7.34	-7.74	-5.44	-4.12	-4.61	-7.87	-8.65	-7.33

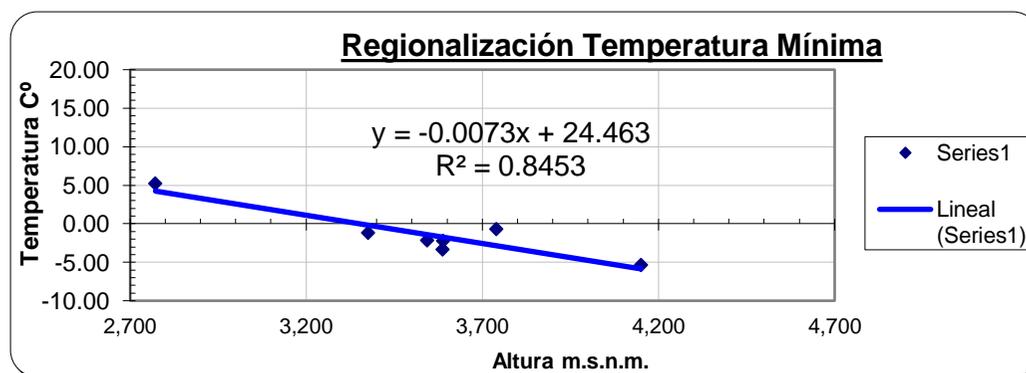


Figura 40: Regionalización temperatura mínima

Tabla 27: Gradiente térmica de la temperatura media mensual

ESTACIONES	ALTITUD msnm	MESES												MEDIA
		JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	
APACHETA	4,150	4.39	4.96	5.59	6.75	7.00	6.29	6.54	6.42	6.35	6.16	5.35	4.80	5.88
CHIARA	3,587	16.31	13.65	13.35	13.73	14.30	13.52	14.25	12.30	12.93	13.39	12.97	12.76	13.62
CUCHOQUESERA	3,740	7.73	9.10	9.66	10.54	10.70	10.98	10.61	10.21	10.21	9.76	8.70	8.16	9.70
PUTACCA	3,589	7.01	7.95	9.11	10.23	10.19	10.85	10.91	10.93	10.79	9.51	8.02	6.82	9.36
HUAMANGA	2,772	9.12	9.49	10.64	11.60	11.91	10.76	10.79	10.54	10.30	10.12	9.73	9.24	10.35
PAMPA CANGALLO	3,375	10.23	10.91	12.40	13.37	13.94	13.42	13.16	12.83	12.67	12.44	11.70	10.87	12.33
SACHABAMBA	3,544	10.56	10.79	12.15	13.09	13.67	13.20	12.87	12.68	12.52	12.23	11.48	10.66	12.16
ECUACION DE REGRESION	A	19.96	19.63	22.45	23.06	23.81	21.43	20.98	20.56	19.91	19.86	20.39	19.80	20.99
	b	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003
	r	-0.33	-0.44	-0.54	-0.56	-0.54	-0.47	-0.45	-0.51	-0.47	-0.45	-0.48	-0.47	-0.48
M. APACHETA	4,354	6.88	7.22	7.63	8.62	8.87	8.94	9.07	8.60	8.72	8.36	7.24	6.56	8.06

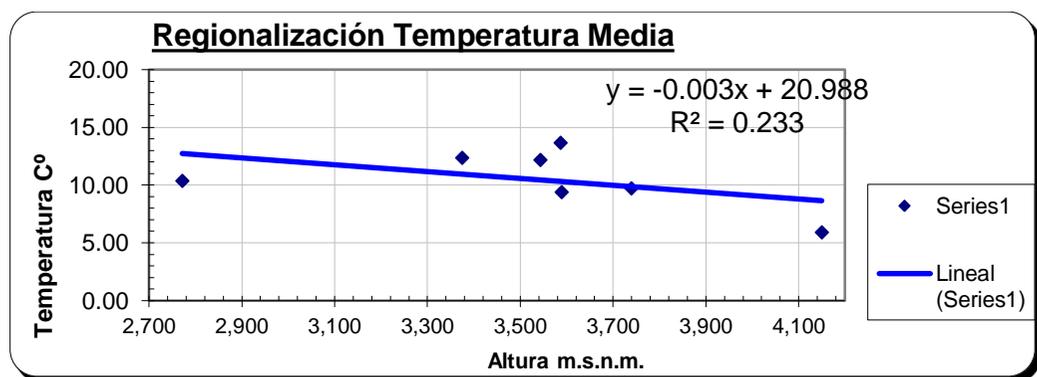


Figura 41: Regionalización temperatura media

Tabla 28: Gradiente térmica de la temperatura máxima mensual

ESTACIONES	ALTITUD msnm	MESES												MEDIA
		JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	
APACHETA	4,150	19.80	19.40	18.40	20.00	18.60	19.20	18.20	18.80	16.40	16.60	17.40	17.60	18.37
CHIARA	3,587	22.00	24.20	24.20	28.50	25.20	26.40	24.60	22.40	22.00	25.60	26.00	23.20	24.53
CUCHOQUESERA	3,740	18.91	20.19	20.99	21.89	22.03	21.53	20.07	19.14	18.89	18.90	19.23	19.03	20.07
PUTACCA	3,589	19.74	20.95	21.72	22.65	22.91	22.44	20.84	20.37	19.72	18.62	20.08	19.63	20.80
HUAMANGA	2,772	26.14	27.31	28.11	29.20	29.52	29.35	27.43	26.67	26.59	27.00	26.84	26.20	27.53
PAMPA CANGALLO	3,375	23.10	28.80	28.80	26.80	26.90	26.40	25.10	24.10	24.60	23.70	23.30	22.80	25.37
SACHABAMBA	3,544	23.10	28.80	28.80	26.80	26.90	26.40	25.10	24.10	24.60	23.20	22.60	22.80	25.27
ECUACION DE REGRESION	a	40.40	48.24	51.93	49.52	53.23	51.44	47.98	44.48	49.54	49.41	46.81	44.55	48.13
	b	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01
	r	-0.86	-0.68	-0.76	-0.80	-0.92	-0.89	-0.87	-0.89	-0.89	-0.89	-0.82	-0.82	-0.90
M. APACHETA	4,354	17.53	18.69	18.08	19.48	17.96	18.31	17.29	17.08	15.42	15.60	16.52	16.30	17.35

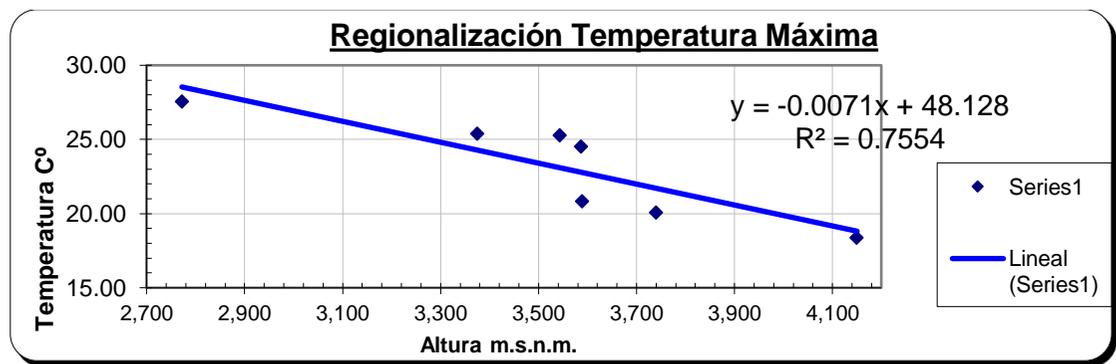


Figura 42: Regionalización temperatura máxima

Tabla 29: Variación mensual promedio de la humedad relativa

ESTACION	MESES												ALTITUD: 4150 msnm.	Media
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC		
APACHETA	69.2	67.8	67.2	70.2	72.6	76.8	75.6	74.2	70.6	66.6	63.5	69.3	70.3	
BELLAVISTA-CHIARA	76.3	80.2	77.4	73.2	66.2	66.7	67.6	65.0	66.3	71.9	70.3	77.4	71.5	
HUAMANGA	66.4	68.6	69.4	67.7	55.7	50.8	48.5	49.7	55.5	55.1	55.0	55.3	58.15	
PROMEDIO	70.6	72.2	71.3	70.4	64.8	64.8	63.9	63.0	64.1	64.5	62.9	67.4	66.7	
Máxima	80.4	81.3	79.6	79.9	76.7	75.6	76.4	73.1	75.1	76.4	69.2	75.2	76.6	
Mínima	57.8	59.4	57.3	56.3	53.3	52.0	51.5	52.7	52.2	49.7	50.3	51.7	53.7	

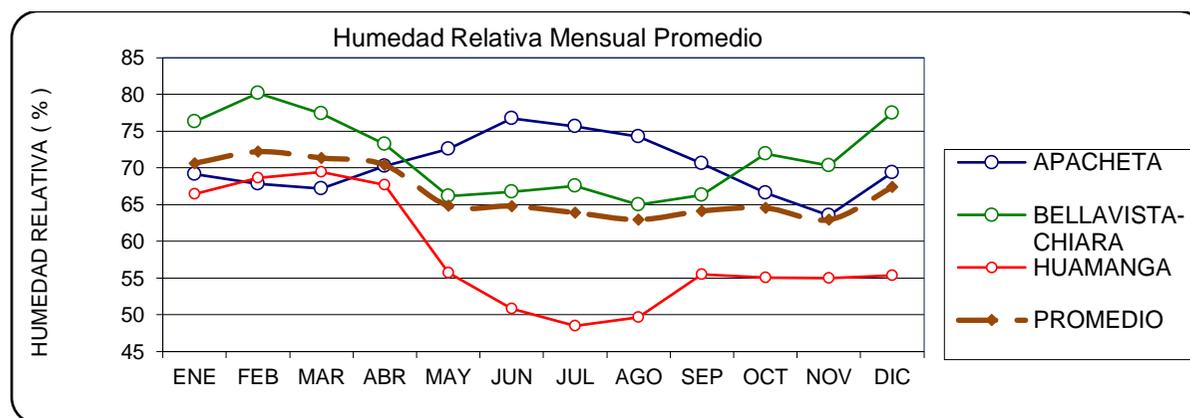


Figura 43: Humedad relativa mensual promedio

Tabla 30: Variación mensual promedio de la velocidad media del viento

ESTACIONES	ALTITUD msnm	MESES												MEDIA
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
APACHETA	4,150	2.36	2.25	2.22	2.08	2.54	2.59	2.78	2.63	2.70	2.94	2.98	2.64	2.56
BELLAVISTA - CHIARA	3,587	1.94	1.87	1.86	1.86	1.91	2.09	2.10	2.35	2.43	2.32	2.25	2.15	2.09
CUCHOQUESERA	3,740	3.36	3.13	2.89	2.99	3.08	3.10	2.91	3.28	3.27	3.31	3.31	3.49	3.18
PUTACCA	3,589	1.30	1.41	1.79	1.42	1.49	1.41	1.41	1.56	1.27	1.54	1.68	1.46	1.48
HUAMANGA	2,772	0.84	0.63	0.62	0.55	0.48	0.44	0.56	0.67	0.88	0.90	0.88	0.81	0.69
Promedio	3,568	1.96	1.86	1.88	1.78	1.90	1.93	1.95	2.10	2.11	2.20	2.22	2.11	2.00
Des. Estandar	501	0.98	0.93	0.82	0.90	1.00	1.04	0.98	1.01	1.00	0.99	0.98	1.04	0.96
ECUACION DE REGRESION LINEAL	a	-2.86	-3.19	-3.00	-3.04	-4.14	-4.34	-4.27	-3.75	-3.27	-3.65	-3.78	-3.47	-3.56
	b	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
	r	0.69	0.76	0.83	0.76	0.85	0.85	0.89	0.81	0.75	0.83	0.86	0.76	0.81
M. APACHETA	4354.19	3.02	2.97	2.95	2.85	3.23	3.31	3.32	3.39	3.30	3.49	3.54	3.34	-3.44

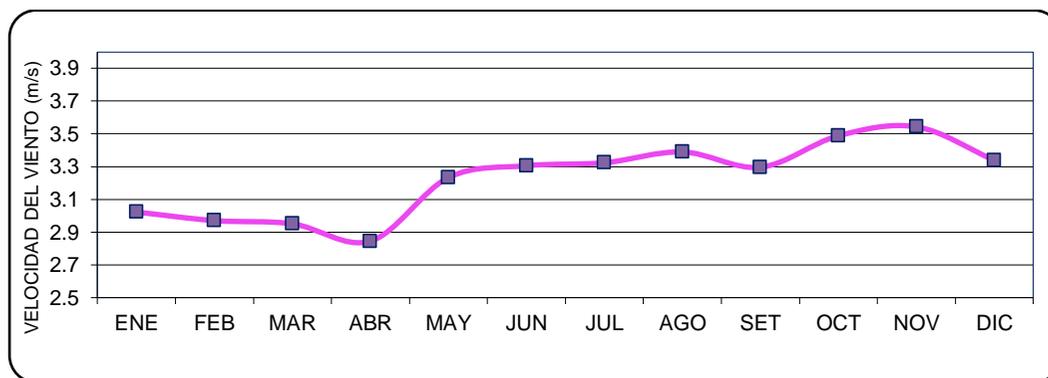


Figura 44: Velocidad del viento para la zona de estudio

Tabla 31: Variación mensual promedio de las horas del sol

ESTACIONES	ALTITUD msnm	MESES												MEDIA
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
PUTACCA	3,589	5.20	4.68	4.85	6.54	8.59	8.21	8.70	8.69	7.31	7.06	6.87	5.58	6.86
TAMBILLO	3,250	4.67	4.40	4.40	6.07	8.06	7.74	8.09	7.69	6.50	6.43	6.32	4.89	6.27
BELLAVISTA - CHIARA	3,587													
CUCHOQUESERA	3,740													
APACHETA	4,150													
HUAMANGA	2,772													
Promedio	3,515	4.94	4.54	4.63	6.31	8.32	7.98	8.39	8.19	6.90	6.74	6.60	5.23	6.56
Des. Estandar	466	0.37	0.20	0.32	0.33	0.37	0.33	0.43	0.71	0.57	0.45	0.38	0.49	0.41
M. APACHETA	4354.19	4.94	4.54	4.63	6.31	8.32	7.98	8.39	8.19	6.90	6.74	6.60	5.23	6.56

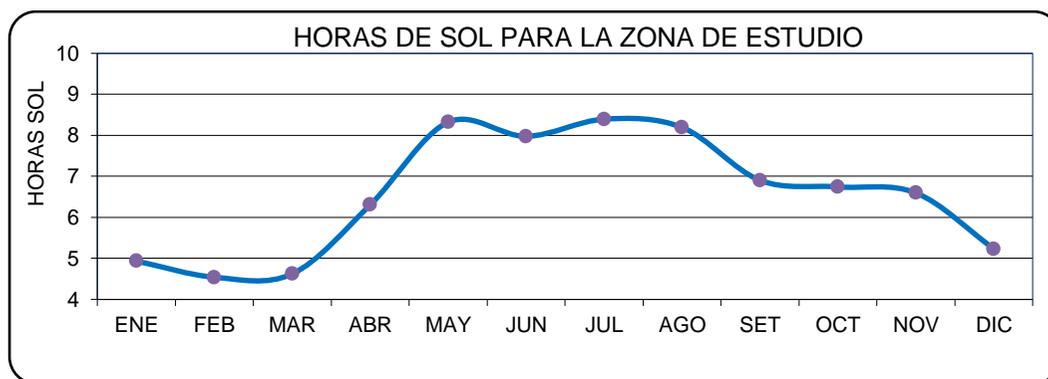


Figura 45: Horas de sol para la zona de estudio

En el ítem 3.4.1 se menciona la ubicación de las estaciones meteorológicas complementarias de la zona de estudio, como son: la temperatura, humedad relativa, velocidad del viento y horas de sol.

De los cuadros y gráficos presentados de las variables climatológicas complementarias se puede notar las siguientes tendencias:

- En los cuadros se puede verificar que la variable de temperatura máxima, mínima y promedio mensual guarda una relación inversa con la altura (mayor altura menor temperatura); y la variación espacial vertical de la temperatura media mensual es directamente proporcional con la precipitación, es decir en los meses que llueve la temperatura no desciende mucho y en los meses secos hay un ligero descenso.
- El comportamiento mensual de la temperatura máxima y mínima, se describe de la siguiente manera: en los meses secos se registra los valores extremos, es decir altas temperaturas en el día y bajas en las noches; en los meses húmedos hay una ligera variación en ambos registros, es decir, los valores de la temperatura alta descienden y los valores de la temperatura baja aumentan.
- Las variables meteorológicas de la velocidad media del viento y horas de sol, no guardan una relación directa con la altura, es decir que estas variables no dependen de la altura pero sí mantienen un comportamiento mensual. El comportamiento mensual de la humedad relativa es similar al de la precipitación, es decir valores altos (81%) en los meses lluviosos y bajos (63%) en los meses secos.
- El comportamiento mensual de la velocidad media del viento y las horas de sol registradas tienen una relación inversa al de la precipitación, es decir valores bajos en los meses lluviosos y altos en los meses sin precipitación.

3.4.4.1 *Calculo de la evapotranspiración potencial*

La evapotranspiración potencial calculado por el método de Hargreaves III; se presentan a continuación en la tabla 32.

Tabla 32: Evapotranspiración mensual de la microcuenca Apacheta

MESES	EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL (E.T.P.) Hargreaves III	EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL (E.T.P.) Hargreaves III mod.
	mm.	mm./dia
JUL	97.26	3.14
AGO	107.66	3.47
SET	108.35	3.61
OCT	122.36	3.95
NOV	120.71	4.02
DIC	111.90	3.61
ENE	109.71	3.54
FEB	92.61	3.31
MAR	99.66	3.21
ABR	101.00	3.37
MAY	102.63	3.31
JUN	88.33	2.94
TOTAL	1,262.19	41.49

3.4.4.2 *Calculo de la precipitación efectiva*

La precipitación efectiva calculado a partir de las ecuaciones (43) desarrolladas en el ítem 1.9.1; se presentan a continuación en la tabla 33.

Tabla 33: Precipitación efectiva I, II, III y PE

MES	DIAS	PRECIPITACION MENSUAL				
		TOTAL P	PE I	PE II	PE III	PE
		mm/mes	mm/mes	mm/mes	mm/mes	mm/mes
JUL	31	13.3	0.0	1.5	3.0	2.0
AGO	31	22.3	0.0	2.3	4.7	3.2
SET	30	45.4	0.8	5.1	9.5	6.7
OCT	31	61.8	2.1	8.5	14.9	10.8
NOV	30	66.1	2.5	9.7	16.8	12.3
DIC	31	140.7	26.5	55.1	81.0	64.5
ENE	31	176.8	56.1	90.4	117.1	100.1
FEB	28	154.6	36.2	68.2	94.9	77.9
MAR	31	153.5	35.3	67.1	93.8	76.8
ABR	30	56.8	1.6	7.3	13.0	9.4
MAY	31	19.0	0.0	2.0	4.1	2.8
JUN	30	10.3	0.0	1.2	2.4	1.6
TOTAL		920.6	161.1	318.4	455.2	368.1

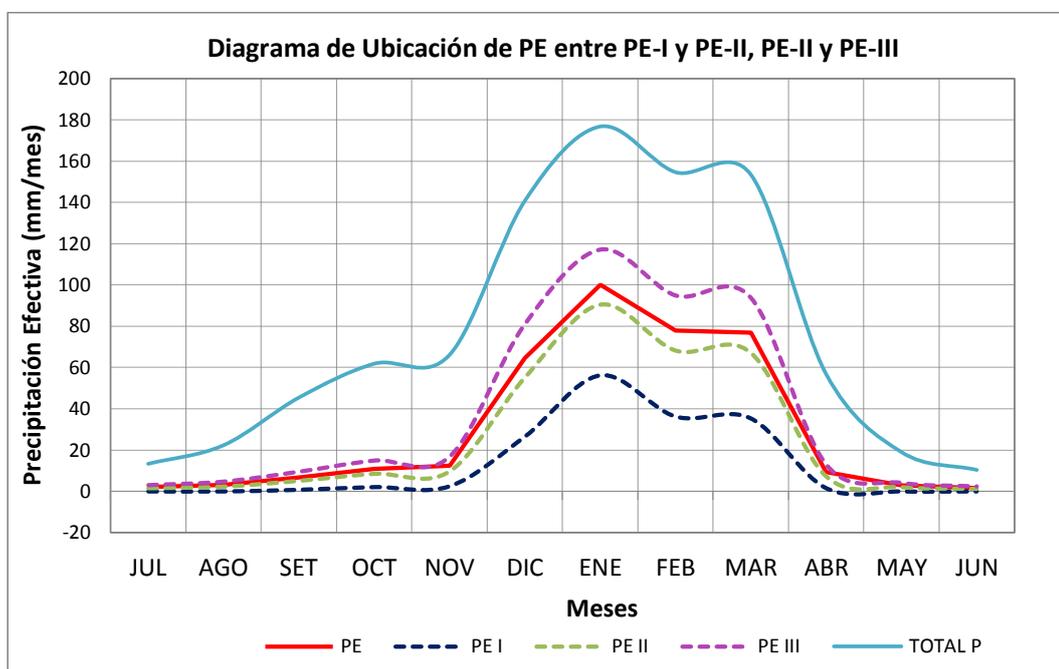


Figura 46: Precipitación efectiva con respecto a las curvas I, II y III

3.5 Determinación de la disponibilidad del recurso hídrico

La estimación de la disponibilidad de agua para la microcuenca Apacheta, fue realizada por medio del modelo determinístico-estocástico de Lutz Scholz, explicado en el ítem 1.9.1.

3.5.1 De la generación de caudales medios mensuales para el año promedio para la microcuenca Apacheta – Vinchos

Para el cálculo de los caudales medios para el año promedio necesitaremos de los siguientes datos básicos que corresponden a las características de la microcuenca en estudio:

DATOS BASICOS		MICROCUEENCA APACHETA
AR =	397.15	Area de la cuenca (Km ²)
Hc =	4354.19	Altura Media de la Cuenca (msnm)
LS =	13°21'6''	Latitud Sur Centro de Gravedad de la Cuenca (° ' ")
Ra =	5259.45	Radiación extraterrestre para la cuenca (mm/año)
R =	68	Retención de la Cuenca (mm/año)
TD =	214.00	Duración de la Temporada Seca (días)
Pc =	920.62	Precipitación Media de la Cuenca (mm/año)

DATOS DE LA ESTACION BASE APACHETA		
He =	4150.00	Altura de la estación de referencia (temperatura)
Te =	5.88	Temperatura media anual de la Estación de Referencia
Gd =	-0.002969	Gradiente de Temperatura

TEMPERATURA MEDIA DE LA CUENCA (°C)	RESULTADOS
TC=	Tc = 5.28
°F = 1.8*TC+32	°F = 41.50

ETP DE LA MICROCUENCA APACHETA		
ETP = Hargreaves III Modificado para la Sierra Peruana		
ETP = 0.0075*0.075*Ra*((n/N*100) ^{.5})*F*(1+0.06*Hc/1000)		ETP = 1,262.19
COEF. TEMPERATURA (°C)	Ct=300+25*Tc+0.05*Tc ³	Ct = 439.26
DEFICIT ESCURR. (D0,D1)	D0 = 0.872*Pc+1.032*ETP-1380	D0 = 725.37
	D1 = Pc*(0.9+Pc ² /Ct ²) ^(-0.5)	D1 = 400.17

Estos datos nos permitirán calcular los coeficientes de escorrentía, agotamiento y la retención de la microcuenca Apacheta – Vinchos, para determinar la disponibilidad hídrica en la cuenca en estudio.

Tabla 34: Determinación del coeficiente de escurrimiento (C)

$C1 = 0.914 - 2.36E-4 * Pc - 0.0581 * Tc$	C1 =	0.39
$C2 = 0.682 - 0.0526 * Tc - 1.36E-4 * Tc^2$	C2 =	0.40
$C3 = 1.813 - 1.87E-4 * Pc - 1.12E-3 * ETP$	C3 =	0.23
$C4 = 5.21 - 7.31E-3 * ETP + 2.68E-6 * ETP^2$	C4 =	0.25
$C5 = 3.16E12 * Pc^{-0.571} * ETP^{-3.686}$	C5 =	0.24
$C6 = 6.47 - 0.0691 * \ln(Pc) - 0.8 * \ln(ETP)$	C6 =	0.29
$C7 = (Pc - D0) / Pc$	C7 =	0.21
$C8 = (Pc - D1) / Pc$	C8 =	0.57
COEFICIENTE ASUMIDO	C =	0.40



Figura 47: Representación gráfica del coeficiente de escurrimiento

Tabla 35: Calculo de la retención "R"

Descripción	Pendiente (%)	Lamina (mm/año)	Area (Km2)	Total (km2-mm/año)
Lagunas	0.00	500	0.655	327
Napa Freática	Pend. Cuenca 0 - 2 %	300	55.919	16776
	Pend. Cuenca 2 < 8 %	250	13.970	3492
	Pend. Cuenca 8 < 15 %	200	29.723	5945
Nevados	Var.	500	0.536	268
			$\Sigma =$	26808.1
			R (mm/año)=	68

Tabla 36: Determinación del coeficiente de agotamiento

Características de la cuenca	a
1. Agotamiento muy rápido por temperatura elevada > 10°, y R reducida a mediana (50 mm/año - 80 mm/año) $a = -0.00252 \cdot \ln(AR) + 0.034$	0.0189
2. Agotamiento rápido por la retención entre (50 mm/año - 80 mm/año) y vegetación poco desarrollada (puna) $a = -0.00252 \cdot \ln(AR) + 0.030$	0.0149
3. Agotamiento mediano por retención mediana (80 mm/año) y vegetación mezclada (pastos, bosques y terrenos cultivados) $a = -0.00252 \cdot \ln(AR) + 0.026$	0.0109
4. Agotamiento reducido por alta retención arriba de (100 mm/año) y vegetación mezclada (pastos, bosques y terrenos cultivados) $a = -0.00252 \cdot \ln(AR) + 0.023$	0.0079
Se asume el coeficiente de agotamiento según las características de la cuenca	0.01492

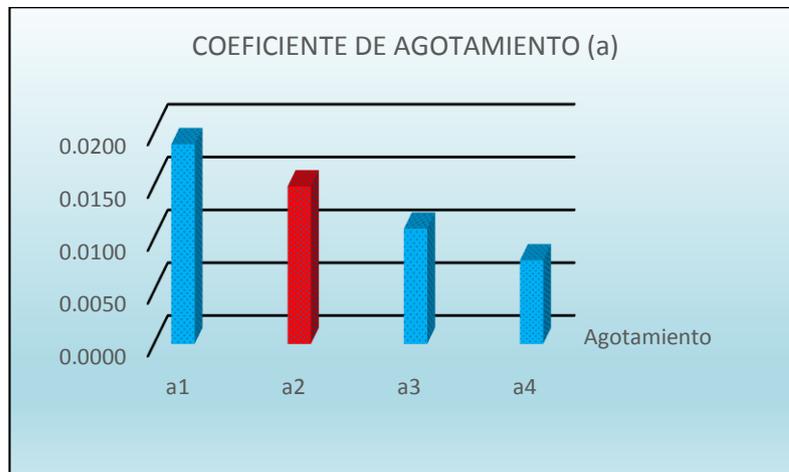


Figura 48: Representación gráfica del coeficiente de agotamiento

Tabla 37: Caudales mensuales generados para el año promedio

MES	DIAS	PRECIPITACION MENSUAL						CONTRIBUCION DE LA RETENCION				CAUDALES MENSUALES GENERADOS		
		TOTAL P mm/mes	PE I (mm/mes)	PE I mm/mes	PE II mm/mes	PE III mm/mes	PE mm/mes	GASTO		ABASTE CIM.		mm/mes	l/s	m3/s
								bi	Gi mm/mes	ai	Ai mm/mes			
JUL	31	13.3	(0.1)	0.0	1.5	3.0	2.0	0.16	6.39	0.00	0.0	8.4	1244.03	1.244
AGO	31	22.3	0.0	0.0	2.3	4.7	3.2	0.10	4.02	0.00	0.0	7.2	1071.12	1.071
SET	30	45.4	0.8	0.8	5.1	9.5	6.7	0.07	2.77	0.00	0.0	9.5	1451.17	1.451
OCT	31	61.8	2.1	2.1	8.5	14.9	10.8	0.04	1.60	0.10	6.8	5.6	837.10	0.837
NOV	30	66.1	2.5	2.5	9.7	16.8	12.3	0.00	0.00	0.00	0.0	12.3	1884.64	1.885
DIC	31	140.7	26.5	26.5	55.1	81.0	64.5	0.00	0.00	0.10	6.8	57.7	8563.14	8.563
ENE	31	176.8	56.1	56.1	90.4	117.1	100.1	0.00	0.00	0.60	40.5	59.6	8837.40	8.837
FEB	28	154.6	36.2	36.2	68.2	94.9	77.9	0.00	0.00	0.15	10.1	67.8	11126.39	11.126
MAR	31	153.5	35.3	35.3	67.1	93.8	76.8	0.00	0.00	0.05	3.4	73.4	10887.44	10.887
ABR	30	56.8	1.6	1.6	7.3	13.0	9.4	0.64	25.97	0.00	0.0	35.4	5420.24	5.420
MAY	31	19.0	0.0	0.0	2.0	4.1	2.8	0.40	16.11	0.00	0.0	18.9	2804.61	2.805
JUN	30	10.3	(0.1)	0.0	1.2	2.4	1.6	0.26	10.61	0.00	0.0	12.2	1871.12	1.871
TOTAL		920.6	160.9	161.1	318.4	455.2	368.1	1.66	67.50	1.00	67.5	368.1	4666.53	4.67



Figura 49: Variación mensual de los caudales generados

Resultados

La Disponibilidad Hídrica de la microcuenca del ámbito del estudio fue determinado a nivel mensual en el punto de aforo específicamente en el encuentro con el río Rosaspata.

Tabla 38: Disponibilidad hídrica

N°	Mes	N° Días	Caudal Generados
		días	m³/s
1	Ene	31	8.84
2	Feb	28	11.13
3	Mar	31	10.89
4	Abr	30	5.42
5	May	31	2.80
6	Jun	30	1.87
7	Jul	31	1.24
8	Ago	31	1.07
9	Sep	30	1.45
10	Oct	31	0.84
11	Nov	30	1.88
12	Dic	31	8.56
	Año	365	4.67

El mes de mayor disponibilidad hídrica es el mes de febrero con 11.13m³/s, siendo el mes de menor disponibilidad hídrica el mes de octubre con un caudal de 0.84m³/s.

3.6 Análisis de capacidad de vasos de almacenamiento

En la parte alta de la microcuenca Apacheta – Vinchos se identificaron 05 vasos de almacenamiento, las cuales se describen como sigue: embalse Huaytaccocha, Ccaccapaqui, Ancolla, Quichcahuasi y Rosario, estos permitirán mejorar la disponibilidad hídrica de la microcuenca del río Apacheta, los vasos de almacenamiento antes mencionados se muestran en la figura 50.

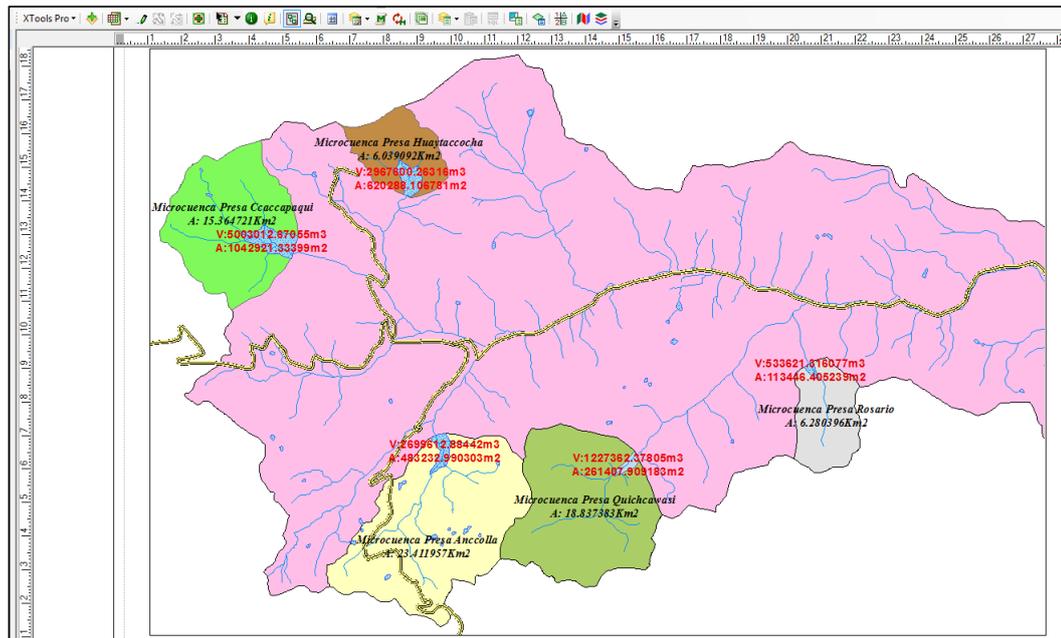


Figura 50: vasos de almacenamiento identificados

La capacidad de almacenamiento de embalse, se determinó mediante el uso del programa ArcGis 10.3

3.6.1 Coeficientes de escurrimientos

Para calcular el coeficiente de escurrimiento tenemos que saber las variables como el área de la cuenca la precipitación media, el tipo de terreno, que suelo es y la vegetación existente, para esto nos basamos en las cartas como son las topográficas, edafológicas y de uso de suelo para obtener los valores planteados. En las tablas posteriores podemos ver los coeficientes en función a las características de las variables mencionadas.

Con los valores obtenidos de la tabla 39 sustituimos en la ecuación para obtener el coeficiente de escurrimiento.

Tabla 39: Coeficientes de escurrimientos de la cuenca

Coeficientes de escurrimientos	
Coeficientes de escurrimientos por áreas de cultivo	Área de la cuenca (Km ²) $\frac{C_e}{A_c}$
Menor de 10	0.20
11 a 100	0.15
101 a 500	0.10
Coeficientes de escurrimientos por precipitación	Precipitación media anual en (mm) $\frac{C_e}{P_m}$
Menor de 800	0 a 0.05
801 a 1200	0.06 a 0.15
1201 a 1500	0.16 a 0.25
Mayor de 1500	0.35
Coeficientes de escurrimientos por cubierta vegetal	Cubierta vegetal $\frac{C_e}{C_v}$
Bosque matorral	0.005 a 0.20
Pastos y cultivos	0.01 a 0.30
Sin vegetación	0.25 a 0.50
Coeficientes de escurrimientos por permeabilidad del terreno	Grupos de suelos $\frac{C_e}{G_s}$
Alta permeabilidad	0.05 a 0.25
Moderada permeabilidad	0.15 a 0.30
Baja permeabilidad	0.25 a 0.60

Ecuación para determinar el coeficiente de escurrimiento:

$$C_e = \left(\frac{C_e}{A_c} + \frac{C_e}{P_m} + \frac{C_e}{C_v} + \frac{C_e}{G_s} \right) / 4 \quad \dots(60)$$

Dónde:

- Ac : área de la cuenca.
- Pm : precipitación media anual de la cuenca.
- Cv : cobertura vegetal.
- Gs : tipo de suelo

3.6.2 Escurrimiento medio anual (EMA)

Para el cálculo del EMA tomamos en cuenta la precipitación media anual de la zona y el área de la cuenca y los datos los plasmaremos en la siguiente ecuación.

$$EMA = A * C_e * P_m \quad \dots(61)$$

Dónde:

- EMA : escurrimiento medio anual (m3)
- Ce : coeficiente de escurrimiento
- A : área de la cuenca (m2)
- Pm : precipitación media anual (m)

3.6.3 Calculo del volumen anual escurrido

Tenemos que estimar el valor del volumen anual escurrido para que nos pueda llevar a un volumen anual por lluvia, esta operación es muy sencilla y consta en multiplicar el coeficiente de escurrimiento que obtuvimos de la cuenca de estudio por el escurrimiento medio anual y así obtenemos el volumen anual escurrido.

$$V_a \text{ esc.} = C_e * EMA \quad \dots(62)$$

Dónde:

- Ce : coeficiente de escurrimiento
- EMA : escurrimiento medio anual (m3)

Tabla 40: Determinación de la capacidad del vaso y volumen de escurrimiento

Vasos de almacenamiento			
Nombre	Capacidad del vaso (ArcGis)	Capacidad del vaso (C: H-A-V)	Volumen de escurrimiento
	m3	m3	m3
Huaytaccocha	2,967,600.26	1,530,371.65	1,331,897.72
Ccaccapaqui	5,003,012.67	1,996,274.40	3,237,628.04
Ancolla	2,699,612.88	716,452.84	5,889,676.93
Quichcahuasi	1,227,362.38	519,013.73	3,632,383.58
Rosario	533,621.32	182,676.52	1,261,215.23

Fuente: elaboración propia

Una vez determinado la capacidad de almacenamiento, se estima el volumen de escurrimiento anual, para ver la posibilidad de ser llenado o rebasado los embalses planteados en la presente tesis.

3.6.4 Dimensionamiento hidrológico del embalse Huaytaccocha

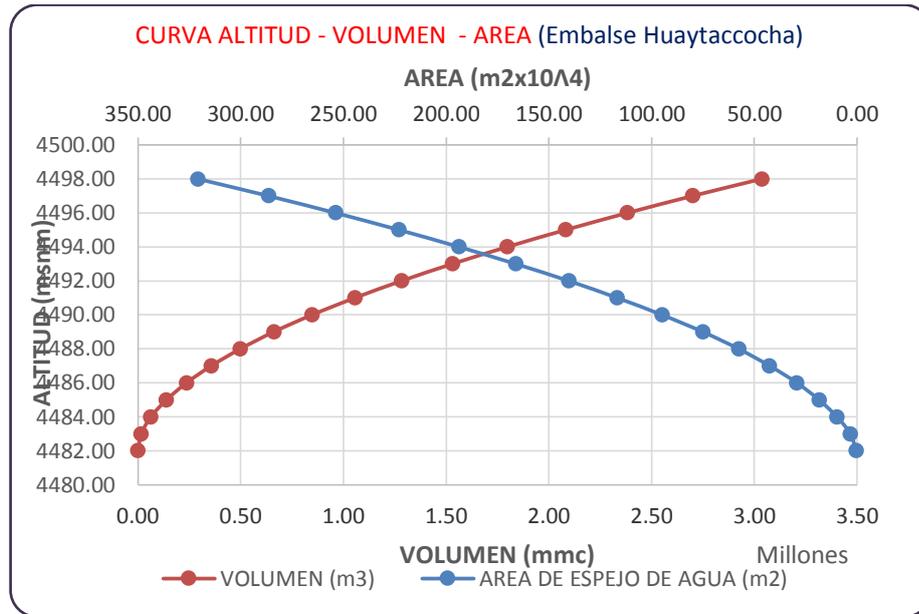


Figura 51: curva altitud - volumen - área (embalse Huaytaccocha)

3.6.4.1 Cálculo de la capacidad de almacenamiento Huaytaccocha

Del análisis de Curva Altitud-Volumen-Área, se obtiene la capacidad de almacenamiento de la presa:

Capacidad de Almac.	=	1,530,371.65	m ³
Área de espejo de Agua.	=	1661630.84	m ²

Area de la Subcuenca	=	6.039	Km ²
precipitacion media anual	=	928.61	mm

3.6.4.2 Cálculo del coeficiente de escurrimiento

Los valores parciales se obtienen de la tabla 39, y finalmente se reemplaza estos valores en la ecuación desarrollada en el ítem 3.6.1, obteniendo el siguiente valor:

$$C_e = 0.2375$$

3.6.4.3 Cálculo del escurrimiento medio anual (EMA)

$$EMA = 1,331,897.72 \text{ m}^3$$

3.6.4.4 Capacidad de azolves o vol. de sedimentos

Se obtiene Usando el 5% del escurrimiento anual

Vol. Sedim. =	66,594.8860	m ³	ó Vol. Muerto
---------------	-------------	----------------	---------------

3.6.4.5 Capacidad total del almacenamiento

$$\text{VOL TOT} = \text{VOL MUERTO} + \text{VOL UTIL}$$

Vol. Total del embalse =	1,3 98,493.61	m ³
--------------------------	---------------	----------------

3.6.4.6 NAN (nivel de aguas normales)

Según la capacidad del embalse el NAN (cresta del aliviadero) se ubica en la cota: 4493.00 m.s.n.m. se obtuvo de la curva altitud - Volumen - Área.

3.6.4.7 NAME (nivel de aguas máximas extraordinarias)

Considerando un tránsito de avenidas por encima de la cresta del aliviadero pasa una altura de agua de 1 m. (altura de superalmacenamiento). La cota del NAME sería: 4494.00 m.s.n.m.

3.6.4.8 Altura de la presa (H)

Si el eje de la presa (cortina) hasta la profundidad del dentellón tiene la cota de: 4480.00 m.s.n.m. entonces la altura H=15.5 m.

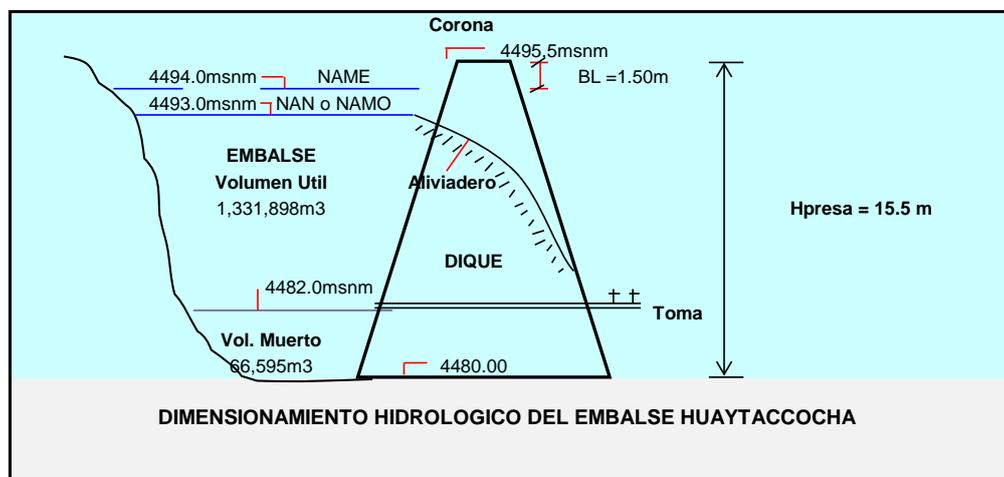


Figura 52: Dimensionamiento hidrológico del embalse Huaytaccocha

3.6.5 Dimensionamiento hidrológico del embalse Ccaccapaqui

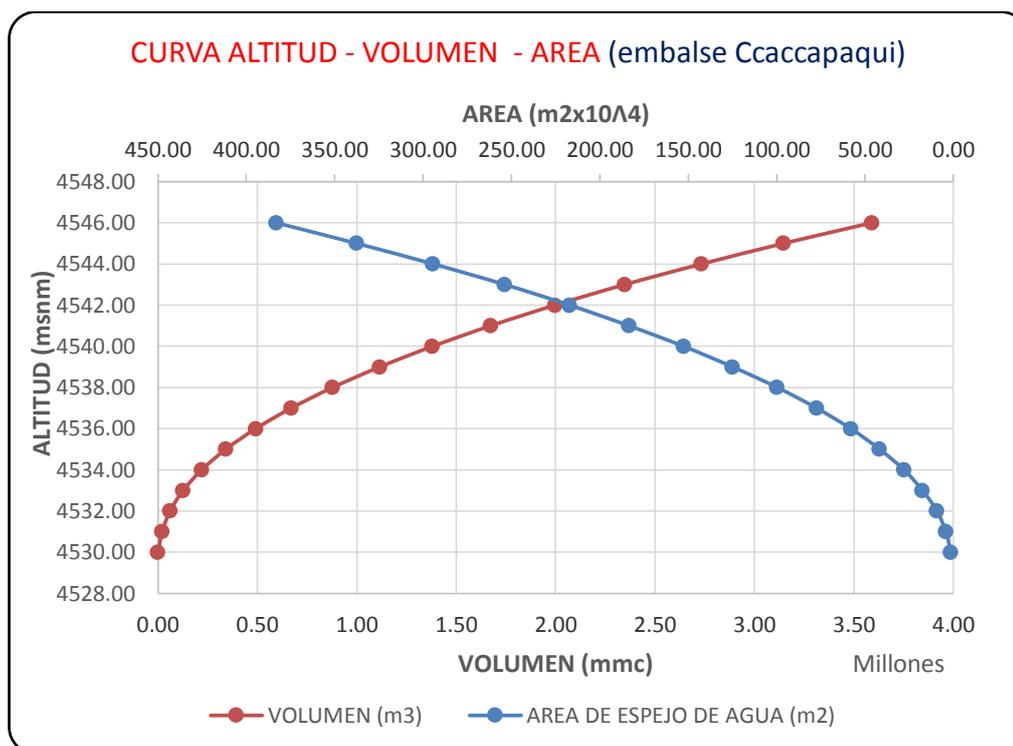


Figura 53: curva altitud - volumen - área (embalse Ccaccapaqui)

3.6.5.1 Cálculo de la capacidad de almacenamiento Ccaccapaqui

Del análisis de Curva Altitud-Volumen-Área, se obtiene la capacidad de almacenamiento de la presa:

Capacidad de Almac. = 1,996,274.40 m3
 Área de espejo de Agua. = 2,171,042.16 m2

Area de la Subcuenca = 15.365 Km2
 precipitacion media anual = 936.53 mm

3.6.5.2 Cálculo del coeficiente de escurrimiento

Los valores parciales se obtienen de la tabla 39, y finalmente se reemplaza estos valores en la ecuación desarrollada en el ítem 3.6.1, obteniendo el siguiente valor:

$$C_e = 0.225$$

3.6.5.3 Calculo del escurrimiento medio anual (EMA)

$$\text{EMA} = 3, 237,628.04 \text{ m}^3$$

3.6.5.4 Altura de la presa (H)

Si el eje de la presa (cortina) hasta la profundidad del dentellón tiene la cota de: 4529.00 m.s.n.m. entonces la altura H=15.5 m.

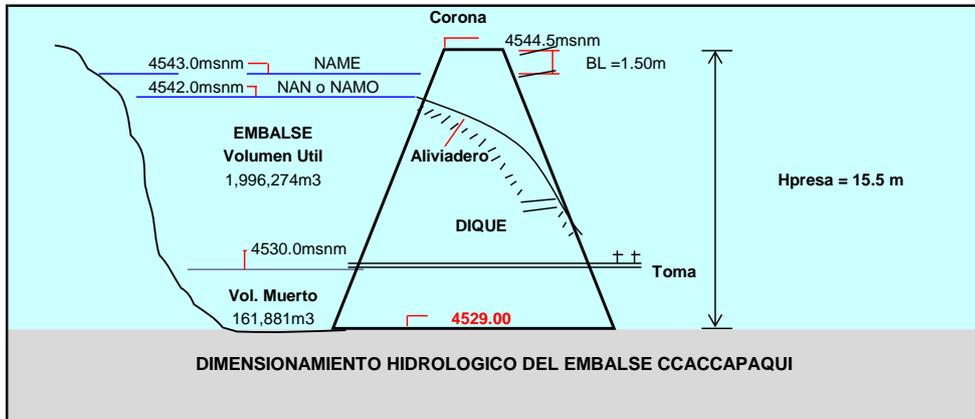


Figura 54: Dimensionamiento hidrológico del embalse Ccaccapaqui

3.6.6 Dimensionamiento hidrológico del embalse Anccolla

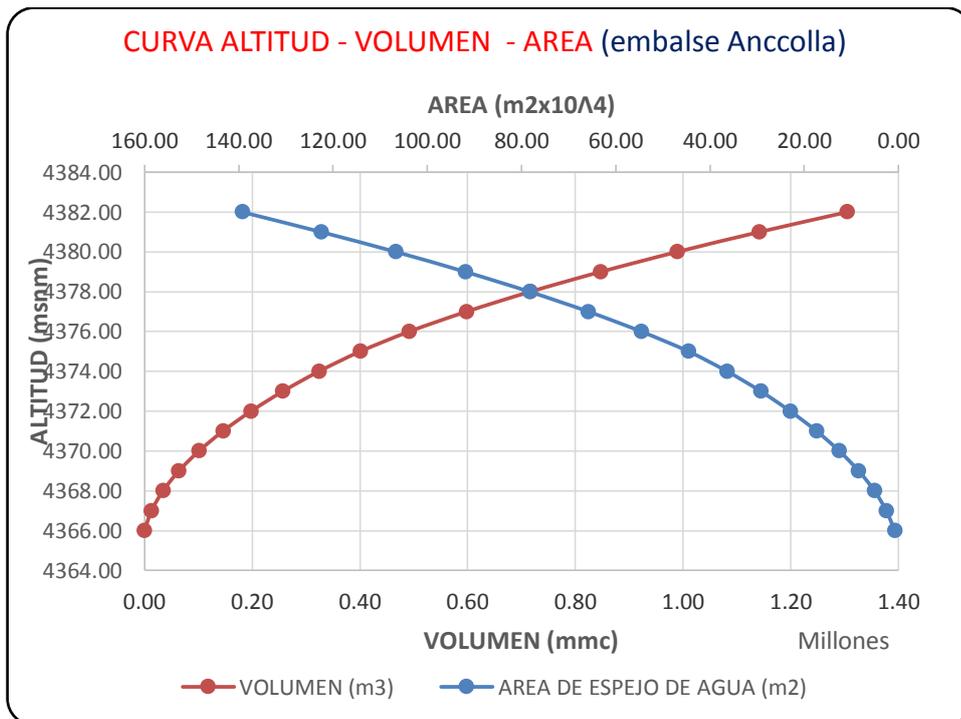


Figura 55: curva altitud - volumen - área (embalse Ccaccapaqui)

3.6.6.1 Cálculo de la capacidad de almacenamiento Anccolla

Del análisis de Curva Altitud-Volumen-Área, se obtiene la capacidad de almacenamiento de la presa:

Capacidad de Almac.	=	716,452.84	m ³
Área de espejo de Agua.	=	782,823.26	m ²

Area de la Subcuenca	=	23.412	Km ²
precipitación media anual	=	914.79	mm

3.6.6.2 Cálculo del coeficiente de escurrimiento

Los valores parciales se obtienen de la tabla 39, y finalmente se reemplaza estos valores en la ecuación desarrollada en el ítem 3.6.1, obteniendo el siguiente valor:

$$C_e = 0.275$$

3.6.6.3 Cálculo del escurrimiento medio anual (EMA)

$$EMA = 5,889,676.93 \text{ m}^3$$

3.6.6.4 Altura de la presa (H)

Si el eje de la presa (cortina) hasta la profundidad del dentellón tiene la cota de: 4365.00 m.s.n.m. entonces la altura H=15.5 m.

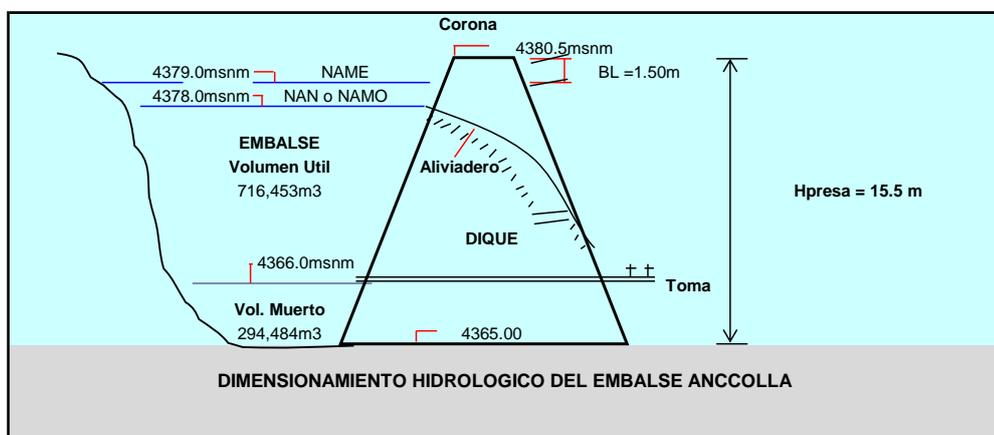


Figura 56: Dimensionamiento hidrológico del embalse Anccolla

3.6.7 Dimensionamiento hidrológico del embalse Quichcahuasi

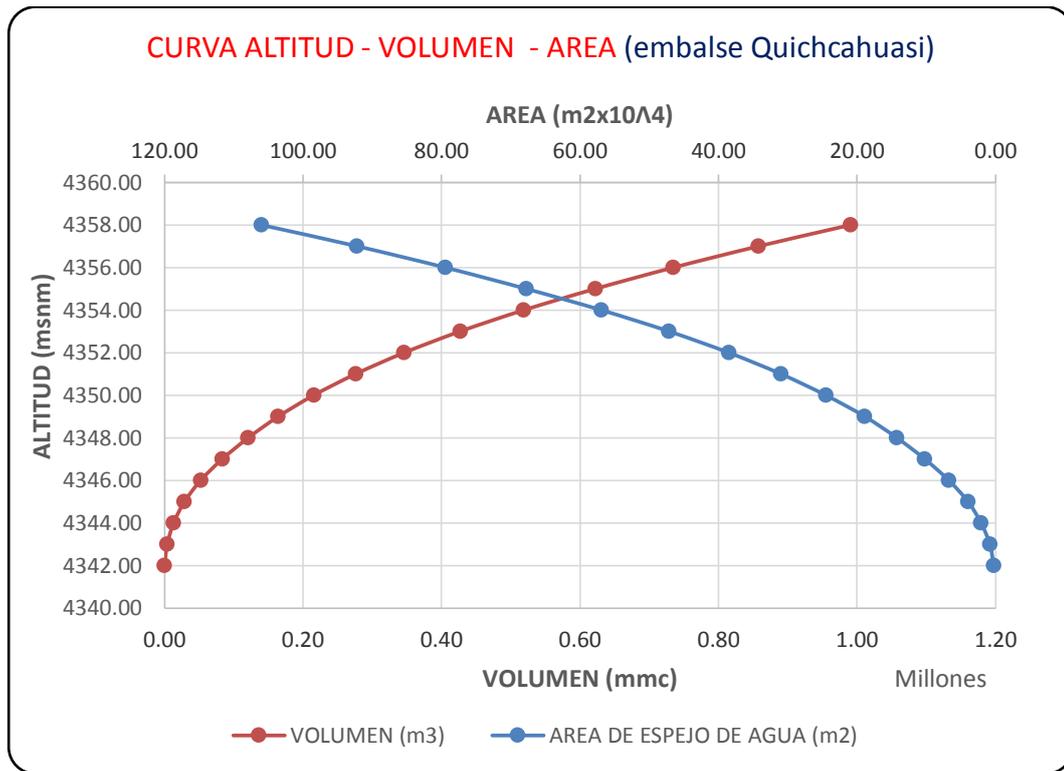


Figura 57: curva altitud - volumen - área (embalse Quichcahuasi)

3.6.7.1 Cálculo de la capacidad de almacenamiento Quichcahuasi

Del análisis de Curva Altitud-Volumen-Área, se obtiene la capacidad de almacenamiento de la presa:

Capacidad de Almac. = 519,013.73 m³
 Área de espejo de Agua. = 569,082.04 m²

Área de la Subcuenca = 18.837 Km²
 Precipitación media anual = 907.43 mm

3.6.7.2 Cálculo del coeficiente de escurrimiento

Los valores parciales se obtienen de la tabla 39, y finalmente se reemplaza estos valores en la ecuación desarrollada en el ítem 3.6.1, obteniendo el siguiente valor:

$$C_e = 0.213$$

3.6.7.3 Cálculo del escurrimiento medio anual (EMA)

$$\text{EMA} = 3,632,383.58 \text{ m}^3$$

3.6.7.4 Altura de la presa (H)

Si el eje de la presa (cortina) hasta la profundidad del dentellón tiene la cota de: 4365.00 m.s.n.m. entonces la altura $H=15.5$ m.

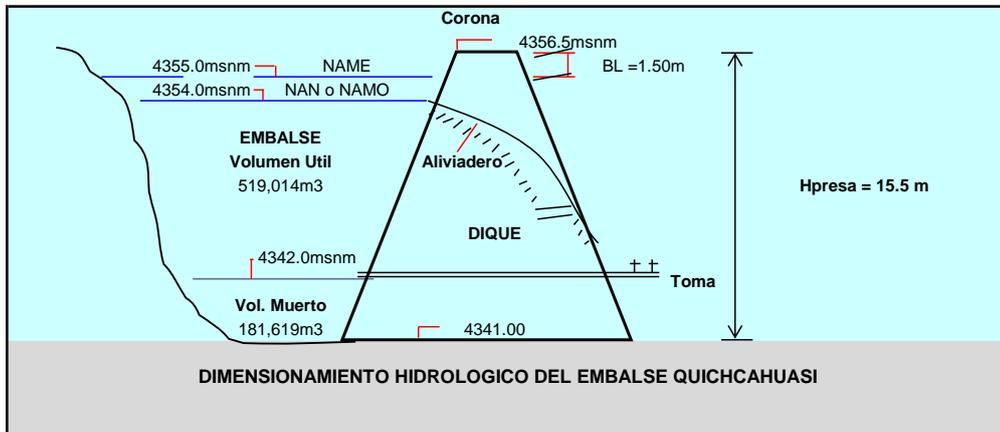


Figura 58: Dimensionamiento hidrológico del embalse Quichcahuasi

3.6.8 Dimensionamiento hidrológico del embalse Rosario

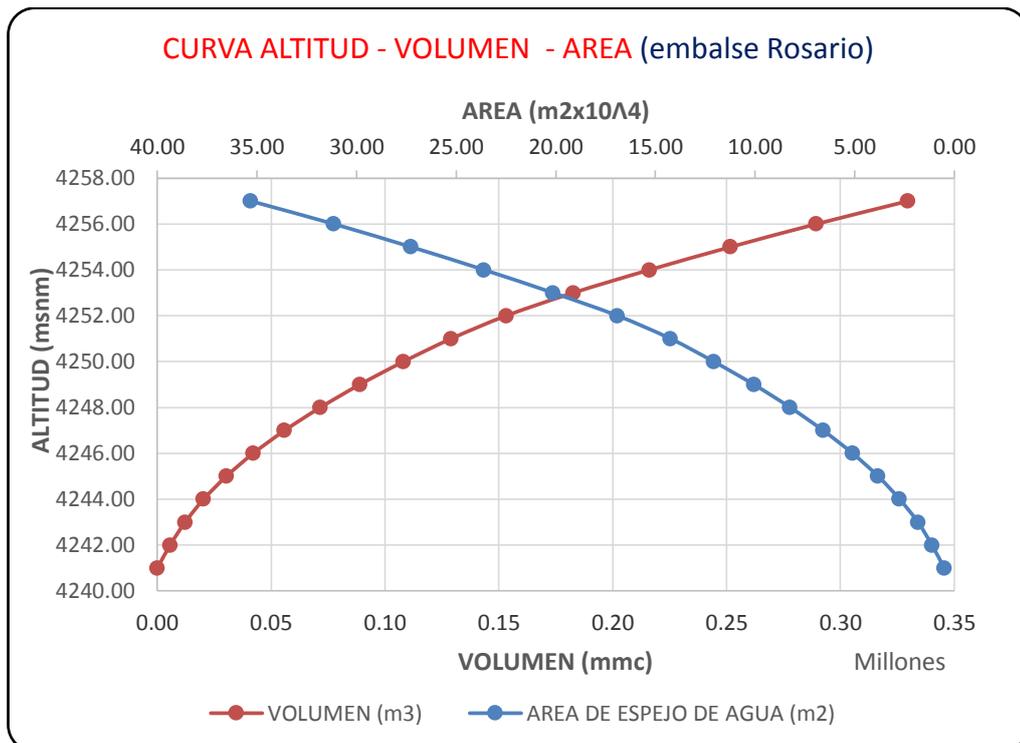


Figura 59: curva altitud - volumen - área (embalse Rosario)

3.6.8.1 Cálculo de la capacidad de almacenamiento Rosario

Del análisis de Curva Altitud-Volumen-Área, se obtiene la capacidad de almacenamiento de la presa:

Capacidad de Almac.	=	182,676.52	m ³
Área de espejo de Agua.	=	201,348.16	m ²

Área de la Subcuenca	=	6.280	Km ²
Precipitación media anual	=	892.52	mm

3.6.8.2 Cálculo del coeficiente de escurrimiento

Los valores parciales se obtienen de la tabla 39, y finalmente se reemplaza estos valores en la ecuación desarrollada en el ítem 3.6.1, obteniendo el siguiente valor:

$$C_e = 0.225$$

3.6.8.3 Cálculo del escurrimiento medio anual (EMA)

$$EMA = 1,261,215.23 \text{ m}^3$$

3.6.8.4 Altura de la presa (H)

Si el eje de la presa (cortina) hasta la profundidad del dentellón tiene la cota de: 4365.00 m.s.n.m. entonces la altura H=15.5 m.

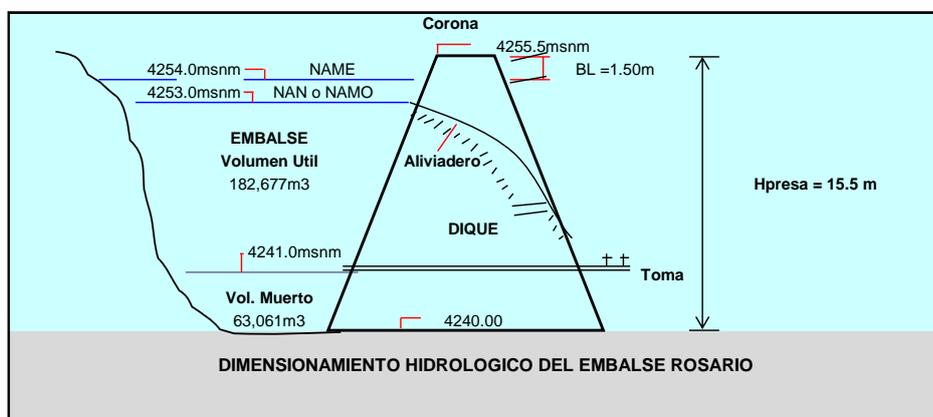


Figura 60: Dimensionamiento hidrológico del embalse Rosario

IV. DISCUSIONES

1. Del inventariado de las fuentes hídricas superficiales

Según el inventario realizado se identificó que en la zona existen prácticas de siembra y cosecha de agua específicamente en el sector del Distrito de Paras, el cual con mayor razón motivaron la identificación de vasos de almacenamiento razón de estudio de la presente tesis, se determinó un total de 118 fuentes superficiales, de las cuales se identificó 8 lagunas que cuentan con una capacidad de almacenamiento que varía desde los 2,500m³ (Verdecocha) hasta los 180,000m³ (Cruzcocha).

2. Del análisis de datos pluviométricos

Sabemos que el análisis de consistencia tiene como objetivo: regionalizar la información disponible del lugar, es decir encontrar una tendencia de ocurrencia de los registros propios de la zona en base a datos promedios registrados; sin embargo los registros de precipitación son acumulados en el tiempo, aunque sean de tipo aleatorio, este hecho lleva a concluir que un análisis de consistencia para el caso de los registros de precipitación introduciría un error de tipo aleatorio, es decir al realizar el análisis de consistencia, específicamente el análisis de saltos, se corre el riesgo de incluir o remover (según el tramo que se escoja como confiable), los errores sistemáticos de tipo natural en todos el registro que se está analizando.

Para completar la información faltante se empleó el método racional deductivo, esto debido a que en las estaciones dicha información mensual no existía.

La extensión de los datos se realizó con el método de regresión simple, para las estaciones Apacheta, Chiara, Cuchoquesera y Putacca, a partir de los datos de registro histórico de la estación de Huamanga. Estas extensiones fueron realizadas para un periodo desde el año 1962 al año 2013.

3. De las características geomorfológicas de la microcuenca

El conocimiento previo de la geomorfología de la microcuenca Apacheta, fue un requisito importante para poder caracterizar la zona en estudio, esta caracterización se realiza en base a la elaboración de los mapas temáticos típicos.

El análisis de los parámetros geomorfológicos ayudó a comparar el comportamiento de la precipitación y del escurrimiento en la microcuenca en estudio, así mismo al realizar el análisis estadístico con el apoyo de la cartografía permitió inferir la importancia que tienen los glaciares y lagos para mantener el régimen de los caudales de las subcuencas en estudio.

Del análisis geomorfológico se puede notar las siguientes tendencias fisiográficas.

- El área de la microcuenca Apacheta – Vinchos, es de 397.15 km².
- El área de lagunas y glaciares no guarda ninguna relación con el área de las microcuenca que la contienen, al parecer su presencia de mayor o menor cantidad en la microcuenca es de origen tectónico, desglaciación o por bloqueo natural de los cursos del agua.

4. De la disponibilidad Hidrica

Previo a la generación de caudales, se realizó el cálculo la precipitación efectiva (en mm) según los procedimientos descritos en el ítem 1.9.1.

- El cálculo de la Retención (R) que se muestra en la tabla 35, al respecto podemos mencionar que la retención de la microcuenca es 68 mm/año.

- Los caudales promedios generados se estimaron siguiendo los métodos desarrollados por el experto Lutz Scholz
- Los coeficientes estadísticos que se mencionan en la tabla 9, es resultado de la regresión múltiple de los caudales promedios mensuales generados (Q_i y Q_{i-1}) y la precipitación efectiva promedio mensual (PE) generadas en la aplicación del modelo, (los coeficientes estadísticos se emplearon para la generación de caudales medios mensuales para un periodo extendido).
- En forma general, los caudales generados para un periodo extendido tienen la finalidad de determinar la correspondencia que existe con datos registrados según las pruebas estadísticas de la media y la variancia, debido a que la microcuenca en estudio no cuenta con datos de registro, los caudales generados pueden ser empleado únicamente para el caso de estudios hidrológicos.

5. De la identificación de los vasos de almacenamiento

Los vasos de almacenamiento identificados en campo fueron definidos en gabinete previo un análisis de la capacidad de almacenamiento y considerando los factores que implican para determinar las presas, logrando identificar 5 vasos de almacenamiento en la microcuenca Apacheta, la microcuenca en estudio cuenta con un potencial hídrico muy alto, pero la topografía del terreno abrupto y accidentado no permite el aprovechamiento óptimo de los recursos.

De los 5 embalses que se plantea podemos resumir que el embalse de Huaytaccocha cuenta con una capacidad de almacenamiento mayor al del volumen de escurrimiento anual. Mientras que en los embalses de Ccaccapaqui, Anccolla, Quichcahuasi y Rosario la capacidad de los vasos de almacenamiento fueron sobrepasados por el volumen de escurrimiento anual, tal como se muestra en la tabla 40.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Del estudio realizado de la evaluación de los recursos hídricos superficiales en la microcuenca Apacheta, llegamos a las siguientes conclusiones:

1.- Se realizó la sistematización de la información cartográfica de la microcuenca Apacheta, mediante el uso del programa ArcGis 10.3, del cual obtuvimos los mapas generados como son; mapas de ubicación geográfica, hidrográfica y mapas temáticos de la geomorfología.

2.- Se determinó la disponibilidad hídrica de la microcuenca Apacheta – Vinchos, realizando el estudio hidrológico, que nos permitió regionalizar la precipitación para la microcuenca en estudio, para luego generar los caudales para un año promedio mediante el modelo determinístico-estocástico de Lutz Scholz. Los resultados de los caudales medios generados varía desde un caudal máximo en el mes de febrero de $11.13\text{m}^3/\text{s}$, hasta un caudal mínimo de $0.84\text{m}^3/\text{s}$ para el mes de octubre, obteniendo una disponibilidad hídrica promedio de $4.67\text{ m}^3/\text{s/año}$.

3.- Se identificaron 5 vasos de almacenamiento que permitirán mejorar la disponibilidad hídrica y el aprovechamiento de los recursos hídricos superficiales dentro de la microcuenca Apacheta - Vinchos. Con fines de aprovechamiento hídrico para los diferentes tipos de demandas que surgen en el ámbito de estudio realizado para la presente tesis.

5.2 Recomendaciones

1. Se recomienda a los interesados en investigar en este tema contar con información detallada y precisa de las características geomorfológicas de la zona de estudio. Un aspecto que se debería tomar en cuenta también es la realización de más visitas al campo para lograr obtener mayor información acerca del comportamiento hidrológico de la cuenca y así mismo conocer de esta forma el historial de la misma.
2. Se recomienda implementar con una estación hidrométrica en el punto de interés de la microcuenca Apacheta – Vinchos, para contar con datos de registro de caudales mensuales.
3. El represamiento de las lagunas, es una alternativa para mitigar el déficit hídrico en la microcuenca. Por esta razón es necesario proponer a las entidades públicas y privadas la priorización de estudios y trabajos de investigación que permitan identificar los lugares óptimos de represamientos, a fin de incluir en los planes de trabajo.
4. A las entidades públicas y privadas involucradas en el manejo del recurso hídrico a nivel de la cuenca Cachi, se recomienda realizar la estimación de la oferta hídrica de la microcuenca en los próximos 25 años considerando el efecto del cambio climático sobre la lluvia y temperatura con el fin de evaluar los escenarios en el futuro.

BIBLIOGRAFIA

- 1) Aparicio, F. J. (1992). *Fundamentos de Hidrología de superficie*. (Noriega Editores, Ed.). Mexico: Editorial Limusa.
- 2) Bohn, V. Y., & Campo, A. M. (2010). Estimación de escurrimientos superficiales para cuencas no aforadas en Corrientes, Argentina. *Investigaciones Geograficas*, 31–42.
- 3) Breña, A., & Jacobo, M. (2006). Principios y Fundamentos de la Hidrología Superficial. Mexico: Universidad Autónoma Metropolitana.
- 4) Chereque, W. (1989). Hidrologia para estudiantes de ingenieria civil. Lima, Perú: Pontificia universidad católica del Perú - CONCYTEC.
- 5) Linsley, R. K., Kohler, M. A., & Paulus, J. (1990). Hidrología para ingenieros. Bogotá, Colombia: Editorial McGRAW-HILL.
- 6) Lodoño, C. H. (2001). Cuencas hidrográficas. *Trabajo Realizado Durante El Período de Año Sabático*.
- 7) Mejia, J. A. (2012). *Hidrología Aplicada* (1ra edición). Lima, Perú: Universidad Agraria la Molina.
- 8) Monsalve, G. (1999). Hidrologia en la Ingenieria, 382.
- 9) Olaya, V. (2004). Hidrología Computacional y Modelos Digitales del Terreno, 365. Retrieved from <http://www.gabrielortiz.com/index.asp?Info=099>
- 10) Perez, G. (2015). Manual de hidrologia aplicada.
- 11) Rojas, R. (2009). Hidrologia aplicada al manejo de cuencas. *Igarss 2014*. Mérida, Venezuela: Universidad de los Andes. <http://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- 12) Ruiz, R., & Torres, H. (2008). Manual de Procedimientos de Delimitación y Codificación de Unidades Hidrográficas. *Uicn Sur*, 4–15.
- 13) Scholz, L. (1980). Generacion de Caudales Mensuales en la Sierra Peruana - Plan MERISS II. Cusco - Perú.
- 14) Vasquez, A. (2000). *Manejo de Cuencas Alto Andinos*. Lima, Perú:

Univ. Nac. Agraria la Molina.

- 15) Villón, M. (2002). *Hidrología Estadística*. (Villón, Ed.) (2da. Edici). Lima, Perú: MaxSoft.
- 16) Villón, M. (2011). *Hidrología*. (Villón, Ed.) (3ra. edici). Lima, Perú: MaxSoft.
- 17) Zorrilla, E. (2011). Gestion De Cuencas Hidrograficas. *Gestion*, 179–188. <http://doi.org/10.2307/780148>

ANEXOS

La información anexa se presenta de la siguiente manera:

- A.I** Registro de la información pluviométrica
- A.II** Parámetros geomorfológicos de la microcuenca
- A.III** Análisis regional de la precipitación
- A.IV** Precipitación media mensual generada
- A.V** Determinación de la evapotranspiración
- A.VI** Precipitación efectiva generada
- A.VII** Generación de descargas mensuales y test estadístico para un periodo extendido
- A.VIII** Números aleatorios
- A.IX** Panel fotográfico
- A.X** Planos y mapas.

ANEXO A.I

 GOBIERNO REGIONAL DE AYACUCHO GERENCIA REGIONAL DE INFRAESTRUCTURA RED HIDROMETEOROLOGICA REGISTRO DE PRECIPITACIONES MENSUALES (mm) 													
Estación:	: APACHETA				Latitud	: 13°20' 51" S				Dpto:	AYACUCHO		
Código :	: 019				Longitud	: 74°38'44" W				Prov:	CANGALLO		
Año :	: 2013				Altitud	: 4150 msnm				Dist:	PARAS		
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1991	234.3	248.0	227.4	65.7	53.8	7.0	7.1	2.4	25.2	67.9	80.9	55.5	1075.2
1992	96.6	188.3	81.2	27.6	2.4	20.5	41.4	99.7	14.0	169.2	57.7	117.4	916.0
1993	206.0	83.1	146.0	86.5	18.5	5.2	6.7	17.1	80.8	75.9	77.0	209.9	1012.7
1994	171.5	101.5	131.7	65.8	12.9	3.3	0.2	2.8	53.3	28.4	38.9	101.0	711.3
1995	148.1	94.2	142.3	48.9	6.5	1.8	1.8	4.6	42.1	41.1	64.4	103.4	699.3
1996	172.8	119.7	143.8	67.3	6.9	0.8	0.7	15.5	44.6	41.0	25.9	132.9	772.0
1997	188.0	108.0	81.0	50.1	9.2	0.1	0.7	34.7	93.5	32.7	61.4	182.3	841.7
1998	186.9	92.8	114.1	41.3	2.6	10.7	0.3	7.2	22.5	59.2	35.5	116.7	689.7
1999	150.8	123.8	125.8	84.4	8.7	3.2	1.7	1.4	102.4	55.9	35.0	114.7	807.8
2000	167.4	150.8	126.9	35.4	23.1	14.5	8.1	12.7	28.8	80.0	17.5	133.3	798.5
2001	218.2	73.7	150.5	37.2	36.9	5.8	6.1	11.2	43.8	31.2	57.6	94.2	766.5
2002	115.9	113.5	130.3	51.9	13.7	2.6	14.1	16.7	109.4	54.4	57.7	186.5	866.7
2003	127.5	115.0	145.6	79.9	16.2	0.2	0.3	22.2	48.4	24.3	26.0	154.3	759.8
2004	78.3	95.6	86.7	28.4	7.4	10.7	7.1	13.1	112.7	34.6	35.0	180.8	690.6
2005	98.3	63.4	121.5	30.7	8.0	0.0	2.5	10.5	39.0	47.5	39.2	157.2	617.7
2006	125.0	64.8	110.5	38.5	2.0	8.0	2.5	10.5	93.1	32.0	43.4	109.0	639.3
2007	111.6	101.6	166.8	95.0	38.0	4.5	0.0	16.3	76.0	76.8	48.8	174.1	909.4
2008	224.7	145.4	92.0	29.2	2.0	8.6	10.8	16.9	35.9	40.0	35.4	90.5	731.4
2009	178.5	224.0	110.8	77.8	44.0	6.0	17.2	13.8	32.7	69.9	120.8	175.6	1071.1
2010	271.2	164.9	123.8	2.8	1.2	0.2	0.0	9.9	42.0	46.1	46.6	173.1	881.9
2011	236.2	293.8	173.9	3.6	0.4	0.1	0.8	5.8	38.1	46.0	65.9	145.9	1010.5
2012	143.7	227.5	173.4	4.7	0.5	0.9	0.3	5.1	43.2	59.7	78.8	241.6	979.4
2013	234.9	186.9	149.2	1.0	1.9	1.5	0.7	43.4	21.6	78.2	48.5	187.2	955.0
PROM	169.0	138.3	132.8	45.8	13.8	5.0	5.7	17.1	54.0	56.2	52.1	145.1	834.9
Max	271.2	293.8	227.4	95.0	53.8	20.5	41.4	99.7	112.7	169.2	120.8	241.6	1075.2
Min	78.3	63.4	81.0	1.0	0.4	0.0	0.0	1.4	14.0	24.3	17.5	55.5	617.7

 GOBIERNO REGIONAL DE AYACUCHO GERENCIA REGIONAL DE INFRAESTRUCTURA RED HIDROMETEOROLOGICA REGISTRO DE PRECIPITACIONES MENSUALES (mm) 													
Estación:	BELLAVISTA - CHIARA				Latitud	13° 17' 25" S				Dpto:	AYACUCHO		
Código :	009				Longitud	74° 12' 39" W				Prov:	HUAMANGA		
Año :	2013				Altitud	3587 msnm				Dist:	CHIARA		
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1991	160.9	109.3	103.7	24.7	9.9	3.9	9.3	22.7	23.8	75.4	64.6	72.2	680.4
1992	77.1	155.2	99.5	80.3	5.6	12.4	25.4	44.2	18.4	104.6	37.3	54.3	714.3
1993	133.9	113.8	140.9	85.0	18.4	8.0	12.6	16.5	39.0	64.0	94.3	156.4	882.8
1994	177.6	135.6	117.8	39.6	15.2	2.0	0.0	3.3	30.3	50.1	56.3	87.0	714.8
1995	143.0	108.5	159.3	30.0	9.7	2.5	12.2	5.4	26.0	33.4	85.0	42.1	657.1
1996	118.3	183.8	166.6	65.2	3.9	1.3	5.3	10.7	22.2	38.0	19.4	86.6	721.3
1997	147.2	124.8	72.6	41.0	6.5	1.3	11.7	42.7	39.6	42.7	78.8	125.2	734.1
1998	130.7	76.6	89.4	19.3	4.9	12.9	10.6	26.2	6.1	33.1	51.3	86.2	547.3
1999	182.2	126.8	101.6	78.5	16.4	6.0	10.2	0.0	41.5	21.2	56.7	84.4	725.5
2000	135.5	157.0	103.7	12.8	8.8	14.8	38.6	16.9	9.9	51.0	19.5	69.7	638.2
2001	186.9	92.5	127.1	31.2	38.3	6.7	19.6	20.0	12.1	25.4	103.6	72.5	735.9
2002	111.5	109.5	116.7	27.8	29.0	6.1	33.7	23.2	71.2	83.5	130.2	87.3	829.7
2003	32.9	186.8	190.1	59.7	18.6	1.2	2.0	38.5	20.1	19.2	43.0	120.0	732.1
2004	66.2	77.0	94.6	26.9	13.3	10.9	31.4	25.2	32.8	40.1	63.5	188.9	670.8
2005	154.8	87.6	138.7	50.2	16.8	1.2	8.2	20.5	39.6	124.6	44.0	146.5	832.7
2006	161.6	127.8	191.4	70.4	1.2	17.5	1.2	48.4	11.6	57.6	83.7	90.1	862.5
2007	129.9	86.4	126.8	29.2	8.2	1.2	3.7	1.2	4.5	37.5	67.7	121.1	617.4
2008	170.3	144.5	119.2	56.5	7.6	5.2	1.2	4.6	18.5	85.4	22.7	95.1	730.7
2009	167.1	183.2	121.4	82.3	22.1	1.8	14.2	1.1	3.3	45.2	107.1	84.7	833.5
2010	147.2	52.3	95.8	52.6	13.7	5.2	0.0	22.8	13.8	33.5	23.5	115.6	576.0
2011	225.5	316.9	179.0	89.5	10.0	0.0	18.5	0.0	71.5	34.5	56.6	99.0	1101.0
2012	96.0	239.0	173.5	118.1	3.0	11.5	5.5	2.0	18.0	41.1	66.0	194.0	967.7
2013	142.5	169.8	119.6	4.5	38.0	14.0	12.5	46.5	6.7	70.8	55.5	111.5	791.9
MEDIA	139.1	137.6	128.2	51.1	13.9	6.4	12.5	19.2	25.2	52.7	62.2	103.9	752.1
Max	225.5	316.9	191.4	118.1	38.3	17.5	38.6	48.4	71.5	124.6	130.2	194.0	1101.0
Min	32.9	52.3	72.6	4.5	1.2	0.0	0.0	0.0	3.3	19.2	19.4	42.1	547.3



GOBIERNO REGIONAL DE AYACUCHO
GERENCIA REGIONAL DE INFRAESTRUCTURA
RED HIDROMETEOROLOGICA



REGISTRO DE PRECIPITACIONES MENSUAL (mm)

ESTACIÓN : CUCHOQUESERA
CODIGO : 007

DISTRITO : CHUSCHI
PROVINCIA : CANGALLO
DEPARTAMENTO : AYACUCHO

LATITUD : 13°25'50" S
LONGITUD : 74°20'33" W
ALTITUD : 3740 msnm

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1992	91.0	163.8	157.0	40.8	0.0	42.1	39.3	63.7	11.7	117.6	54.8	104.4	886.2
1993	274.7	184.2	227.6	96.3	37.2	4.1	35.5	25.1	28.5	94.0	116.3	138.0	1261.5
1994	169.1	144.6	115.7	59.2	14.2	3.4	0.0	0.0	14.2	12.9	44.4	38.0	615.7
1995	129.7	153.9	184.6	51.8	2.7	5.5	4.8	4.7	27.1	15.6	73.1	85.4	738.9
1996	214.6	205.6	175.4	87.3	15.7	4.1	2.1	25.1	6.9	42.7	59.6	100.9	940.0
1997	188.2	172.0	79.8	63.6	12.3	0.0	0.7	57.5	52.8	27.7	68.4	134.7	857.7
1998	169.1	148.0	115.7	46.1	2.1	10.2	0.0	5.5	11.6	37.4	53.6	116.5	715.8
1999	145.9	228.0	157.0	98.8	6.1	4.1	4.1	2.7	42.8	111.9	31.9	S/D	833.3
2000	139.3	273.8	152.8	74.4	40.6	39.2	18.3	11.5	36.1	75.0	36.5	183.9	1081.2
2001	248.5	149.4	234.7	33.1	75.7	6.1	12.8	17.6	17.6	18.9	89.6	139.9	1044.0
2002	122.8	199.4	194.7	43.3	13.5	4.5	101.5	97.1	95.0	99.0	63.7	197.0	1231.5
2003	172.3	141.5	143.7	53.9	16.5	0.0	1.3	29.9	23.6	45.4	55.7	128.6	812.4
2004	50.8	147.8	134.7	29.8	5.2	20.0	12.8	16.2	54.4	28.2	49.1	149.2	698.2
2005	129.1	77.2	140.4	40.2	0.0	0.0	13.0	12.6	51.6	64.5	24.3	129.5	682.4
2006	209.2	160.9	197.2	60.6	4.2	8.2	4.0	48.2	10.6	83.8	125.3	127.4	1039.6
2007	136.6	104.5	229.1	71.8	7.7	0.0	7.3	10.1	28.2	58.0	37.8	107.5	798.6
2008	230.8	181.6	153.1	16.6	S/D	10.2	2.6	0.8	18.4	40.6	26.8	78.2	759.7
2009	137.8	143.6	68.3	60.3	22.3	2.5	33.0	12.1	24.6	40.3	91.5	88.2	724.6
2010	207.1	140.7	115.9	51.8	8.1	0.4	5.4	4.4	21.0	29.2	10.5	82.3	676.8
2011	225.9	275.2	124.4	88.3	4.5	2.5	12.4	8.4	27.1	54.3	70.2	118.8	1012.0
2012	121.9	210.1	123.5	105.3	5.0	4.6	1.2	0.3	7.5	34.3	50.8	S/D	664.5
2013	221.7	148.4	122.4	11.8	44.0	29.4	17.7	34.9	9.1	36.6	51.5	189.6	917.1
MEDIA	169.8	170.6	152.2	58.4	16.1	9.1	15.0	22.2	28.2	53.1	58.4	121.9	863.3



GOBIERNO REGIONAL DE AYACUCHO
GERENCIA REGIONAL DE INFRAESTRUCTURA
RED HIDROMETEOROLOGICA



REGISTRO DE PRECIPITACIONES MENSUAL (mm)

ESTACION : PUTACCA
CODIGO : 001

DISTRITO : VINCHOS
PROVINCIA : HUAMANGA
REGION : AYACUCHO

ALTITUD : 3589 msnm
LATITUD : 13°24'16,26"S
LONGITUD : 74°21'01,14°O

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1991	S/D	161.30	158.20	46.90	38.70	6.50	6.60	S/D	19.00	48.40	57.40	39.90	582.90
1992	67.40	131.30	51.10	17.20	S/D	11.80	23.20	64.60	10.30	100.00	40.00	78.20	595.10
1993	202.90	144.20	177.00	44.10	49.40	3.40	39.70	19.30	37.10	112.00	156.20	197.30	1182.60
1994	182.60	173.90	157.50	66.00	27.20	27.70	S/D	S/D	15.30	18.90	43.90	83.60	796.60
1995	149.40	248.60	169.80	56.10	1.60	6.00	11.60	5.20	27.80	37.90	127.50	111.70	953.20
1996	277.60	266.40	181.20	50.30	17.90	0.60	3.20	40.70	9.80	54.30	45.60	161.70	1109.30
1997	176.60	215.00	98.80	71.00	25.10	S/D	1.70	50.80	29.90	34.80	89.60	242.90	1036.20
1998	250.70	116.30	158.90	37.90	1.40	22.00	S/D	17.90	S/D	49.00	62.20	114.10	830.40
1999	175.70	213.10	200.30	129.40	8.20	7.60	10.10	0.70	57.80	122.40	37.30	119.60	1082.20
2000	163.80	308.14	175.84	25.34	55.58	62.72	23.24	13.86	13.72	84.14	41.72	158.90	1127.00
2001	199.78	124.88	224.40	31.22	56.28	12.60	18.90	9.10	16.52	20.02	105.14	86.52	905.36
2002	114.52	194.46	149.52	45.36	18.90	1.54	89.88	10.60	74.70	94.08	93.94	164.40	1051.90
2003	157.60	109.60	113.50	56.90	12.40	0.10	1.90	22.30	23.20	10.60	49.50	164.40	722.00
2004	36.00	130.00	119.47	20.40	10.00	18.10	10.70	16.00	57.30	47.40	35.30	138.20	638.87
2005	143.00	71.50	107.70	26.00	20.80	S/D	15.80	28.80	49.90	38.50	29.50	123.80	655.30
2006	143.80	138.90	117.30	70.60	3.20	7.40	S/D	35.20	13.30	67.50	122.90	88.90	809.00
2007	118.10	89.40	157.30	44.40	15.40	2.20	17.10	2.70	20.10	49.70	27.70	134.00	678.10
2008	226.38	202.44	184.24	17.92	33.04	11.76	3.22	3.22	55.16	100.38	48.58	104.16	990.50
2009	181.80	175.10	70.80	37.40	15.20	2.70	32.10	5.60	13.40	66.10	119.50	120.40	840.10
2010	202.80	117.20	97.10	38.20	7.80	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	463.10
MEDIA	166.87	166.59	143.50	46.63	22.01	12.04	19.31	20.39	30.24	60.85	70.18	128.04	866.63



GOBIERNO REGIONAL DE AYACUCHO
GERENCIA REGIONAL DE INFRAESTRUCTURA
RED HIDROMETEOROLOGICA



REGISTRO DE PRECIPITACION TOTAL MENSUAL (mm)

ESTACION :HUAMANGA REGION :AYACUCHO ALTITUD :2772 m.s.n.m.
TIPO :CO-AUTOMATICA PROVINCIA :HUAMANGA LATITUD :13°08'51" S
CODIGO :005 DISTRITO :AYACUCHO LONGITUD :74°13'06" W
ESTADO :OPERATIVO OPERADOR :UNSCH - GRA REGISTRO :1962-2012

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1962	S/D	S/D	S/D	39.7	15.9	2.9	2.1	9.0	8.2	54.7	3.5	95.5	231.5
1963	287.5	241.9	106.9	S/D	2.3	0.4	0.0	2.6	31.2	22.7	28.2	141.4	865.1
1964	54.0	97.7	94.1	34.0	29.2	0.0	6.4	8.1	38.1	13.6	47.8	35.5	458.5
1965	95.2	93.0	100.6	17.4	3.9	0.0	11.5	0.3	30.7	38.6	59.8	99.5	550.5
1966	67.8	88.9	67.0	4.2	32.2	0.1	0.0	23.0	31.1	109.1	47.5	48.4	519.3
1967	69.2	131.5	194.3	25.8	11.9	0.7	21.8	17.2	21.1	29.2	46.6	120.6	689.9
1968	103.4	89.3	129.9	23.6	4.5	15.5	6.0	21.8	5.6	48.5	38.0	87.3	573.4
1969	43.7	55.9	120.1	29.0	0.0	24.6	4.3	7.6	14.9	53.4	45.1	72.7	471.3
1970	172.8	83.6	54.5	49.8	12.7	1.0	11.2	0.0	55.8	23.6	43.6	99.0	607.6
1971	118.3	198.8	87.4	33.9	0.6	12.9	0.7	13.9	9.2	35.3	60.2	73.8	645.0
1972	144.9	37.3	93.3	54.5	S/D	0.0	18.0	10.7	29.8	50.0	39.9	60.2	538.6
1973	90.2	120.8	141.3	69.2	0.0	5.0	4.3	21.7	28.5	29.9	66.3	88.7	665.9
1974	125.0	176.2	128.2	25.0	1.3	13.2	0.0	25.7	27.7	39.5	7.8	34.4	604.0
1975	108.4	56.8	61.0	21.7	31.9	2.0	0.8	2.4	21.8	28.3	50.6	85.1	470.8
1976	143.0	103.0	126.8	37.5	25.4	14.5	2.3	1.0	48.2	16.3	7.1	53	578.1
1977	59.3	115.5	34.7	35.8	18.5	0.0	11.5	2.5	11.2	4.0	98.8	44.9	436.7
1978	64.5	114.5	125.6	36.2	1.8	0.0	0.0	0.0	S/D	47.2	78.6	94	562.4
1979	S/D	S/D	80.6	0.0	7.7	0.0	13.5	19.0	12.4	21.1	36.6	35.2	226.1
1980	85.5	77.4	121.6	11.6	7.4	28.3	2.9	5.5	33.6	71.4	67.3	53.4	565.9
1981	100.1	152.9	66.5	41.6	0.5	3.4	0.0	53.5	53.2	90.2	73.7	121.9	757.5
1982	116.8	154.7	56.7	16.9	1.3	14.8	0.0	22.0	25.7	63.2	85.1	31.2	588.4
1983	82.7	45.4	90.9	41.2	1.4	8.7	6.2	15.3	36.8	54.3	14.6	53.1	450.6
1984	157.0	200.1	S/D	S/D	S/D	12.2	3.7	4.9	1.4	45.4	85.2	93.5	603.4
1985	48.2	32.4	39.8	36.8	0.0	1.9	2.6	0.0	21.8	6.2	42.9	87.5	320.1
1986	124.1	143.8	319.2	61.0	12.5	0.0	7.5	14.7	21.5	19.8	45.7	45.2	815.0
1987	122.5	36.6	29.8	20.7	12.3	7.6	10.7	3.3	12.0	37.3	67.0	20.9	380.7
1988	91.0	83.4	93.0	61.1	10.5	2.5	S/D	S/D	18.6	16.6	25.5	82.7	484.9
1989	144.9	37.3	93.3	54.5	S/D	0.0	18.0	10.7	29.8	50.0	39.9	60.2	538.6
1990	90.2	120.8	141.3	69.2	0.0	5.0	4.3	21.7	28.5	29.9	66.3	88.7	665.9
1991	125.0	176.2	128.2	25.0	1.3	13.2	0.0	25.7	27.7	39.5	7.8	34.4	604.0
1992	108.4	56.8	61.0	21.7	31.9	2.0	0.8	2.4	21.8	28.3	50.6	85.1	470.8
1993	143.0	103.0	148.40	37.5	25.4	14.5	2.3	1.0	48.2	16.3	7.1	53	599.7
1994	59.3	115.5	127.10	35.8	18.5	0.0	11.5	2.5	11.2	4.0	98.8	44.9	529.1
1995	157.4	128.9	100.00	12.5	16.5	0.0	2.0	5.6	9.7	34.3	79.1	48.5	594.5
1996	75.2	126.6	105.00	43.8	1.4	0.0	0.0	16.7	26.1	20.8	22.3	57.2	495.1
1997	147.7	121.6	15.40	25.4	2.9	0.0	2.0	20.2	38.7	23.6	69.3	96.6	563.4
1998	116.8	104.1	12.46	6.8	0.4	5.8	0.0	3.9	19.6	56.3	32.4	42.6	401.2
1999	107.1	142.3	20.44	29.0	2.6	0.6	4.8	0.0	58.7	13.3	91.2	59.3	529.3
2000	126.0	240.6	22.40	8.9	20.3	10.8	55.8	12.7	6.2	66.0	22.1	59.3	651.1
2001	161.9	101.3	66.08	23.0	23.2	4.4	24.3	12.6	7.7	31.9	80.9	62.8	600.1
2002	133.8	141.4	52.84	26.4	15.1	8.9	25.8	19.3	73.7	19.3	49.7	10.4	576.6
2003	75.0	164.9	114.50	77.5	20.6	0.0	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	452.5
2004	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	39.5	86.3	104.7	230.5
2005	98.1	79.6	58.6	29.5	11.5	8.8	0.0	0.0	39.1	25.0	37.7	77.4	465.3
2006	137.2	126.2	60.1	46.4	12.0	0.0	7.6	1.8	8.1	39.9	88.7	72.3	600.3
2007	71.2	69.6	151.5	38.4	2.5	0.0	6.4	1.0	13.6	39.5	86.3	104.7	584.7
2008	83.3	132.1	136.8	6.3	50.7	2.9	17.0	2.4	45.3	47.8	109.3	133.5	767.5
2009	137.2	126.2	60.1	46.4	12.0	0.0	7.6	1.8	8.1	39.9	88.7	152.5	680.5
2010	155.2	101.7	70.6	27.4	15.5	0.0	0.7	15.6	21.9	66.7	27.4	103.7	606.4
2011	124.8	191.6	134.3	46.6	14.1	0.3	12.0	0.9	37.0	49.3	67.3	61.0	739.2
2012	53.1	153.9	110.7	74.3	2.4	10.7	2.4	2.1	28.7	27.2	57.0	86.0	608.5
MEDIA	111.8	115.7	94.6	33.3	11.8	5.1	7.5	10.3	26.2	37.8	53.6	73.1	552.1

ANEXO A.II

PRINCIPALES PARAMETROS DE LA CUENCA APORTANTE DEL RIO APACHETA

De la carta digitalizada de los cuadrantes 27n, 27ñ, delimitamos la cuenca aportante del Rio Apacheta, para obtener las áreas parciales entre curvas de nivel. Para finalmente obtener las principales características de la cuenca del Rio Apacheta, que a continuación de detalla:

1.- AREA DE LA CUENCA

1.1.- DATOS OBTENIDOS DE LA MICROCUENCA DEL RIO APACHETA:

A través del programa Arcgis 10.3, obtenemos lo siguiente:

Área total de la cuenca	397.15	Km ²
Perímetro de la cuenca	129.92	Km
Longitud del río más largo	52.75	Km

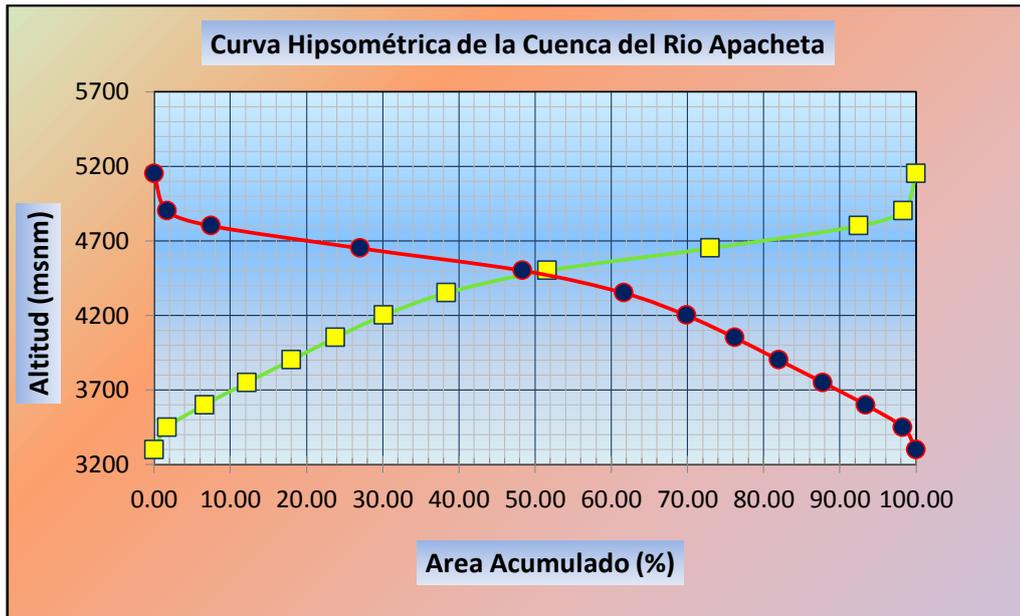
2.- CUADRO DE AREAS PARCIALES Y ACUMULADOS SEGÚN LA ALTITUD

Del areado entre curvas de nivel o cotas, obtenemos las Areas Parciales:

ALTITUD	AREAS PARCIALES		AREAS ACUMULADAS			
			POR DEBAJO		POR ENCIMA	
m.s.n.m.	Km ²	(%)	(KM ²)	(%)	KM ²	(%)
Punto más bajo						
3300	0.00	0.00	0.00	0.00	397.15	100.00
3450	6.88	1.73	6.88	1.73	390.27	98.27
3600	19.38	4.88	26.26	6.61	370.90	93.39
3750	22.28	5.61	48.53	12.22	348.62	87.78
3900	22.95	5.78	71.48	18.00	325.67	82.00
4050	22.95	5.78	94.43	23.78	302.72	76.22
4200	25.28	6.37	119.71	30.14	277.44	69.86
4350	32.58	8.20	152.29	38.35	244.86	61.65
4500	52.73	13.28	205.03	51.62	192.13	48.38
4650	84.81	21.35	289.84	72.98	107.32	27.02
4800	77.55	19.53	367.38	92.50	29.77	7.50
4900	23.05	5.80	390.43	98.31	6.72	1.69
5150	6.72	1.69	397.15	100.00	0.00	0.00
Punto más alto						
TOTAL	397.15	100.00				

2.- FACTOR DE RELIEVE

2.1.- Cálculo de la curva Hipsométrica



2.2.- Cálculo de la Altitud Mediana

Altitud Mediana = **4,480.00** msnm (Intersección de las curvas hipsométricas)

2.3.- Cálculo de la Altitud Media Ponderada

Altitud media Ponderada:

$$H = \frac{\sum a_i c_i}{A} \quad c_i = \frac{(c_i + c_{i-1})}{2}$$

Donde:

- a_i = Área parcial de terreno entre curvas de nivel
- c_i = Altitud media de cada área parcial entre dos curvas de nivel.
- A = Área de la cuenca

a_i	c_i (altitud media)	$a_i * c_i$
6.88	3375.0	23215.78
19.38	3525.0	68303.48
22.28	3675.0	81865.22
22.95	3825.0	87778.97
22.95	3975.0	91221.28
25.28	4125.0	104295.47
32.58	4275.0	139279.50
52.73	4425.0	233338.55
84.81	4575.0	388005.75
77.55	4725.0	366414.89
23.05	4850.0	111786.44
6.72	5025.0	33771.14
Σ 397.15		1,729,276.47

$H =$ **4,354.19** msnm

2.4.- Cálculo de la Altitud Media Simple:

Altitud Media Simple:

$$H_{ms} = \frac{(c_M + c_m)}{2}$$

Donde:

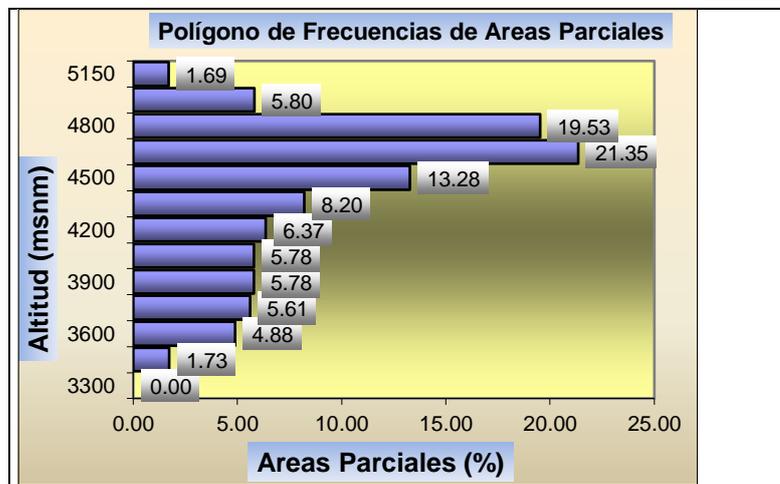
c_M Cota o altitud más alta de la
= cuenca
 c_m Cota o altitud más baja de la
= cuenca

CM	5,150.00
=	
Cm	3,300.00
=	

Hms = **4,225.00** msnm

2.5.- Cálculo del Polígono de Frecuencia de Areas Parciales:

COTA (msnm)	A. PARCIAL
3300	0.00
3450	1.73
3600	4.88
3750	5.61
3900	5.78
4050	5.78
4200	6.37
4350	8.20
4500	13.28
4650	21.35
4800	19.53
4900	5.80
5150	1.69



3.- PARAMETROS DE FORMA:

A.- Cálculo del Índice de Gravelius (K):

El Índice de Gravelius (K):

$$K = 0.28 * \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Donde :

$P =$	Perímetro de la cuenca (Km)	129.92	Km
$A =$	Area de la cuenca en Km2	397.15	Km2

Entonces:

$$K = 1.8254$$

Como el valor de K se encuentra entre los rangos de > 1.50 , la forma de la cuenca es RECTANGULAR OBLONGA.

B.- Factor de forma de Horton (Rf).-

$$Rf = \frac{A}{L_a^2} \quad Rf = 0.1427 \quad \text{Alargada}$$

C.- Razón circular de Miller (Rc).

$$Rc = 12.566 \frac{A}{P^2} \quad Rc = 0.0235 \quad \text{Rectangular}$$

D.- Razón de elongación de Schum (Re)

$L_m =$ Long. Maxima de la cuenca = 44.5

$$Re = 1.1284 \frac{\sqrt{A}}{L_m} \quad Re = 0.5053 \quad \text{Alargada y Estrecha}$$

E.- Índice de alargamiento (Ia)

$a =$ Ancho. Maxima de la cuenca = 8.92

$$Ia = \frac{L_m}{a} \quad Ia = 4.9861 \quad \text{muy alargada}$$

F.- Cálculo del Rectángulo Equivalente:

Rectángulo Equivalente

$$\text{Lado Mayor} = L = \frac{K\sqrt{A}}{1.12} \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K} \right)^2} \right)$$

$$\text{Lado Menor} = l = \frac{K\sqrt{A}}{1.12} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K} \right)^2} \right)$$

Donde:

K = Coeficiente de Compacidad o Índice de Gravelious
A = Área de la cuenca en Km²

1.8254
397.15

$$\frac{K \sqrt{A}}{1.12} = 32.480 \quad (1.12/K)^2 = 0.376 \quad \left(\sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K} \right)^2} \right) = 0.790$$

$$L = 58.127 \text{ Km}$$

$$l = 6.833 \text{ Km}$$

3.3.- Cálculo del Factor Forma:

Factor
Forma:

$$F_f = \frac{l}{L} = \frac{A}{L^2}$$

Donde:

$l =$ Lado menor del rectángulo equivalente	6.83	Km
$L =$ Lado mayor del rectángulo equivalente	58.13	Km
$A =$ Area de la cuenca	397.15	Km ²

$$F_f = 0.1175$$

$$F_f = 0.1175$$

4.- PERFIL LONGITUDINAL DEL RIO

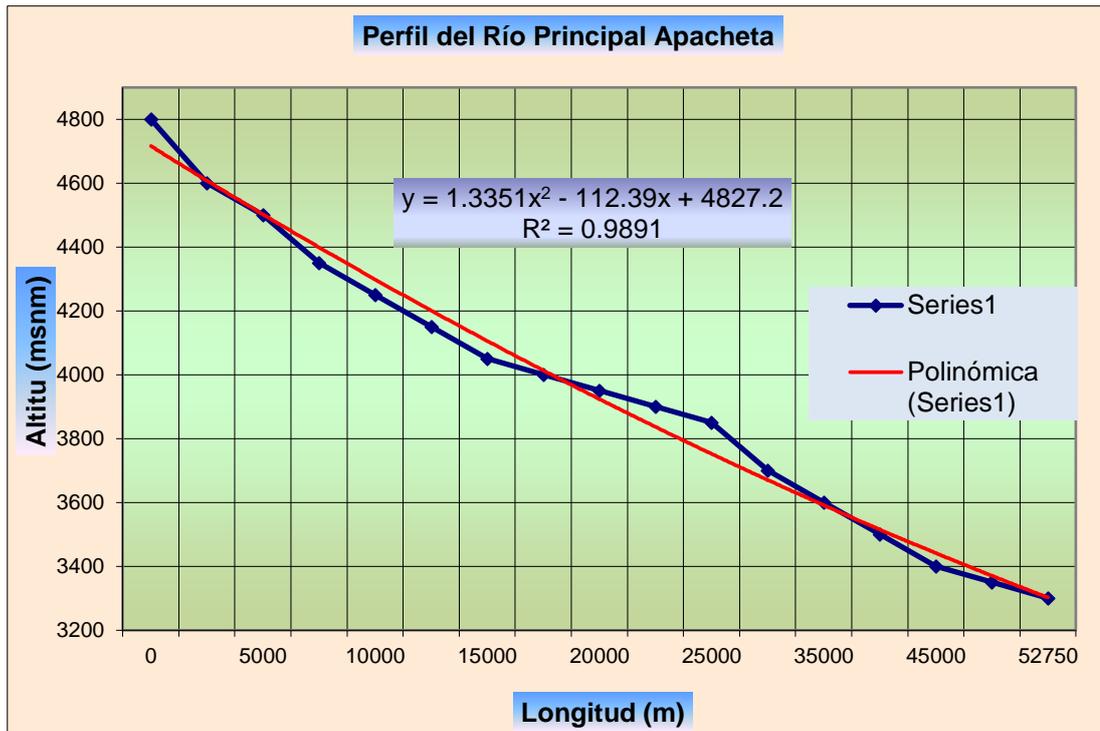
Progresiva	Long. (m)	Cota	Desnivel	S	1/(S) ^{0.5}
0+000	0.00	4800.00			
2+500	2500.00	4600.00	200.00	0.0800	3.5355
5+000	5000.00	4500.00	100.00	0.0400	5.0000
7+500	7500.00	4350.00	150.00	0.0600	4.0825
10+000	10000.00	4250.00	100.00	0.0400	5.0000
12+500	12500.00	4150.00	100.00	0.0400	5.0000
15+000	15000.00	4050.00	100.00	0.0400	5.0000
17+500	17500.00	4000.00	50.00	0.0200	7.0711
20+000	20000.00	3950.00	50.00	0.0200	7.0711
22+500	22500.00	3900.00	50.00	0.0200	7.0711
25+000	25000.00	3850.00	50.00	0.0200	7.0711
30+000	30000.00	3700.00	150.00	0.0300	5.7735
35+000	35000.00	3600.00	100.00	0.0200	7.0711
40+000	40000.00	3500.00	100.00	0.0200	7.0711
45+000	45000.00	3400.00	100.00	0.0200	7.0711
50+000	50000.00	3350.00	50.00	0.0100	10.0000
52+750	52749.80	3300.00	50.00	0.0182	7.4159
					100.3049

$$S = \left[\frac{n}{\frac{1}{\sqrt{S_1}} + \frac{1}{\sqrt{S_2}} + \dots + \frac{1}{\sqrt{S_n}}} \right]^2$$

n = número de tramos 16

$$S = 0.0254$$

(Según Taylor y Schwarz)



5.- PARAMETROS RELACIONADOS CON LA RED HIDROGRÁFICA

5.1.- Cálculo de la Densidad de Drenaje:

Densidad de Drenaje: $D_d = \frac{Li}{A}$

Densidad de Corriente: $D_c = \frac{Nc}{A}$

Orden	Longitud de Red Hidrica		
	Cant. s/U	Long m	Long Km
1	137	188878.166	188.88
2	54	58849.85	58.85
3	23	27270.623	27.27
4	5	7341.671	7.34
5	34	42343.697	42.34
6	0	0	0.00
	253	324684.007	324.68

Donde:

$Li =$	Longitud total de corrientes perenes o intermitentes en Km	324.68	Km
$Nc =$	Número de corrientes perenes eo intermitentes en Km	220.00	Km
$A =$	Area de la Cuenca	397.15	Km ²

$D_d =$ 0.82

$D_c =$ 0.55

5.2.- Cálculo de la Frecuencia de los Ríos:

Frecuencia de los Ríos: $Fr = \frac{N^{\circ} \text{cauces}}{A}$ $N^{\circ} \text{Cauces} = 25$

$Fr =$ 0.063

6.- OTROS PARAMETROS :

6.1 - Cálculo del Índice de Pendiente (Ip)

$$I_p = \sum_{i=1}^n \sqrt{\beta_i(a_i - a_{i-1})} \frac{1}{\sqrt{L}}$$

Índice de Pendiente (Ip):

$$\beta_i = \frac{A_i}{A_t}$$

$$1/(L)^{0.5} =$$

0.1311632

Ai 1	Bi = Ai/At 2	ai - ai-1 3	Bi* (ai -Ai-1) 4	Raíz (4) 5	5 * 1/(L)^0.5 6
0.00	0.00000	0	0.00000	0.00000	0.00000
6.88	0.01732	150	2.59803	1.61184	0.21141
19.38	0.04879	150	7.31843	2.70526	0.35483
22.28	0.05609	150	8.41349	2.90060	0.38045
22.95	0.05778	150	8.66748	2.94406	0.38615
22.95	0.05778	150	8.66748	2.94406	0.38615
25.28	0.06366	150	9.54939	3.09021	0.40532
32.58	0.08203	150	12.30510	3.50786	0.46010
52.73	0.13277	150	19.91623	4.46276	0.58535
84.81	0.21355	150	32.03178	5.65966	0.74234
77.55	0.19526	150	29.28905	5.41194	0.70985
23.05	0.05804	100	5.80350	2.40905	0.31598
6.72	0.02	250.00	4.23	2.06	0.26978
397.15				Ip =	5.20772

6.2.- Cálculo de la Pendiente de la Cuenca

$$S = \frac{H}{L}$$

$$\begin{aligned} H &= 1,850.00 \\ L &= 58,126.78 \end{aligned}$$

$$S = \frac{0.0318}{3.183} \%$$

ANEXO A.III

ANALISIS REGIONAL DE PRECIPITACION

ECUACION DE REGRESION LINEAL PRECIPITACION - ALTITUD

NOMBRE DE ESTACIÓN	ALTITUD MEDIA msnm	PRECIPITACION MEDIA ANUAL mm	ECUACION DE REGRESION				PRECIPITACION CORREGIDA mm
			$P^2 = B_0 + B_1 * H$				
			X ²	Y ²	X*Y ²	Y ⁴	
APACHETA	4,150.00	814.31	1.72E+07	6.63E+05	2.75E+09	4.40E+11	878.13
BELLAVISTA - CHIARA	3,587.00	738.75	1.29E+07	5.46E+05	1.96E+09	2.98E+11	787.45
CUCHOQUESERA	3,740.00	869.49	1.40E+07	7.56E+05	2.83E+09	5.72E+11	813.09
PUTACCA	3,589.00	874.36	1.29E+07	7.65E+05	2.74E+09	5.84E+11	787.79
HUAMANGA	2,772.00	587.35	7.68E+06	3.45E+05	9.56E+08	1.19E+11	633.58
SUMA	17,838.00	3,884.26	6.46E+07	3.07E+06	1.12E+10	2.01E+12	
n	5	5	5	5	5	5	5
PROMEDIO	3,567.60	776.85	1.29E+07	6.15E+05	2.25E+09	4.03E+11	780.01

FORMULAS PARA EL CALCULO DE PARAMETROS DE REGRESION				VALORES DE PARAMETROS DE REGRESION	
A= SUM X	1.78E+04	G = C-(A ²)/n	1.00E+06	COEF. INDEPENDIENTE	Bo = -342227.97
B= SUM Y	3.88E+03	H = F-A*D/n	2.69E+08	COEF. DEPENDIENTE	B1 = 268.27
C= SUM X ²	6.46E+07	I = F-(D ²)/n	1.22E+11	COEF. DE CORRELACION	r = 0.768
D= SUM Y ²	3.07E+06	J = H/G	2.68E+02		
E= SUM X*Y ²	1.12E+10	K = (D-J*A)/n	-3.42E+05		
F= SUM Y ⁴	2.01E+12				
FORMULAS DE PARAMETROS DE REGRESION				PRECIP. MEDIA ANUAL PROYECTO (APROX. LINEAL)	
COEF. INDEPENDIENTE		Bo = (D-J*A)/n		M. APACHETA	4354.19 m.s.n.m. 908.79 mm.
COEF. DEPENDIENTE		B1= H/G		PRECIP. MEDIA ANUAL VASOS DE ALMACENAM. (APROX. LINEAL)	
COEF. DE CORRELACION		r = H/SQRT(G*I)		P. Huaytaccocha	4490. m.s.n.m. 928.61 mm.
DESVIACION ESTANDAR		S = (D-A ² /n)-(K*(A*D-A*B)/n)		P. Ccaccapaqui	4545. m.s.n.m. 936.53 mm.
				P. Ancolla	4395. m.s.n.m. 914.79 mm.
				P. Quichcahuasi	4345. m.s.n.m. 907.43 mm.
				P. Rosario	4245. m.s.n.m. 892.52 mm.

ANEXO A.IV

REGISTRO HIDROMETEOROLOGICO GENERADO															
Precipitación Mensual Acumulada (mm)															
M. APACHETA															
ESTACION :		M. APACHETA				LAT: 13°21'6"		Departamento : AYACUCHO							
						LONG: 74°34'26"		Provincia : CANGALLO							
						ALT: 4,354 msnm		Distrito : PARAS							
ITEM	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL	MEDIA
1	1962	170.81	140.76	147.28	59.75	19.69	8.98	11.19	21.34	27.65	62.11	58.56	145.31	873.4	72.8
2	1963	237.23	260.26	158.05	65.75	17.09	7.67	10.37	18.67	50.27	61.22	62.28	156.19	1105.1	92.1
3	1964	156.58	138.50	152.72	56.97	22.23	7.46	12.87	20.97	57.06	60.97	65.24	131.10	882.7	73.6
4	1965	170.81	134.53	155.43	48.89	17.40	7.46	14.86	17.71	49.78	61.66	67.05	146.26	891.8	74.3
5	1966	161.35	131.07	141.43	42.46	22.80	7.51	10.37	27.19	50.17	63.61	65.19	134.15	857.3	71.4
6	1967	161.83	167.04	194.48	52.98	18.92	7.83	18.87	24.77	40.34	61.40	65.06	151.26	964.8	80.4
7	1968	173.64	131.41	167.64	51.91	17.51	15.57	12.71	26.69	25.09	61.93	63.76	143.37	891.2	74.3
8	1969	153.02	103.20	163.56	54.54	16.65	20.33	12.05	20.76	34.24	62.07	64.83	139.91	845.2	70.4
9	1970	197.61	126.59	136.22	64.67	19.08	7.98	14.74	17.58	74.47	61.25	64.61	146.14	930.9	77.6
10	1971	178.79	223.87	149.93	56.92	16.77	14.21	10.65	23.39	28.63	61.57	67.11	140.17	972.0	81.0
11	1972	187.98	87.50	152.39	66.96	18.88	7.46	17.39	22.05	48.90	61.98	64.05	136.95	872.5	72.7
12	1973	169.08	158.01	172.39	74.12	16.65	10.08	12.05	26.65	47.62	61.42	68.03	143.70	959.8	80.0
13	1974	181.10	204.79	166.93	52.59	16.90	14.37	10.37	28.32	46.83	61.69	59.20	130.84	973.9	81.2
14	1975	175.37	103.96	138.93	50.98	22.74	8.51	10.69	18.59	41.03	61.38	65.66	142.85	840.7	70.1
15	1976	187.32	142.98	166.35	58.68	21.50	15.05	11.27	18.00	67.00	61.05	59.10	135.24	943.5	78.6
16	1977	158.41	153.53	127.96	57.85	20.18	7.46	14.86	18.63	30.60	60.71	72.93	133.32	856.4	71.4
17	1978	160.21	152.69	165.85	58.05	16.99	7.46	10.37	17.58	48.12	61.90	69.89	144.96	914.1	76.2
18	1979	161.72	117.31	147.09	40.41	18.12	7.46	15.64	25.52	31.78	61.18	63.55	131.03	820.8	68.4
19	1980	167.46	121.36	164.18	46.06	18.06	22.27	11.50	19.88	52.63	62.57	68.18	135.34	889.5	74.1
20	1981	172.50	185.11	141.22	60.68	16.75	9.24	10.37	39.93	71.92	63.08	69.15	151.57	991.5	82.6
21	1982	178.27	186.63	137.13	48.64	16.90	15.20	10.37	26.77	44.86	62.34	70.87	130.08	928.1	77.3
22	1983	166.49	94.34	151.39	60.48	16.92	12.01	12.79	23.97	55.78	62.09	60.23	135.27	851.8	71.0
23	1984	192.16	224.97	166.10	62.27	19.85	13.84	11.82	19.63	20.96	61.85	70.88	144.84	1009.2	84.1
24	1985	154.58	83.36	130.09	58.34	16.65	8.45	11.39	17.58	41.03	60.77	64.50	143.42	790.2	65.8
25	1986	180.79	177.43	246.53	70.13	19.04	7.46	13.30	23.72	40.73	61.14	64.92	133.40	1038.6	86.5
26	1987	180.24	86.91	125.92	50.49	19.00	11.44	14.54	18.96	31.38	61.63	68.14	127.64	796.3	66.4
27	1988	169.36	126.43	152.26	70.17	18.66	8.77	12.78	21.25	37.88	61.05	61.88	142.28	882.8	73.6
28	1989	187.98	87.50	152.39	66.96	18.88	7.46	17.39	22.05	48.90	61.98	64.05	136.95	872.5	72.7
29	1990	169.08	158.01	172.39	74.12	16.65	10.08	12.05	26.65	47.62	61.42	68.03	143.70	959.8	80.0
30	1991	214.63	237.27	210.21	59.98	38.95	9.80	7.88	18.41	28.63	68.90	72.78	73.93	1041.34	86.78
31	1992	104.25	180.03	100.44	37.65	9.35	22.18	36.40	82.03	16.66	145.91	59.30	113.73	907.94	75.66
32	1993	231.70	131.54	188.29	86.47	31.44	7.09	19.15	19.25	66.33	88.01	103.28	199.34	1171.89	97.66
33	1994	184.92	144.54	151.90	67.57	18.89	7.87	5.29	4.38	38.89	27.49	57.20	92.92	801.88	66.82
34	1995	168.72	155.20	173.05	51.04	7.68	3.37	5.74	5.68	36.85	40.57	92.46	102.89	843.26	70.27
35	1996	206.77	189.78	176.00	74.40	10.46	1.39	1.97	23.99	33.07	47.04	38.21	137.39	940.49	78.37
36	1997	204.39	160.12	86.65	59.66	13.02	2.47	2.51	46.03	74.65	37.22	80.68	195.17	962.56	80.21
37	1998	208.47	120.78	123.54	40.42	2.68	14.00	5.23	11.91	23.71	59.12	50.68	120.29	780.85	65.07
38	1999	175.75	180.98	147.40	100.17	9.55	4.68	5.42	1.33	86.02	76.88	50.70	125.88	964.78	80.40
39	2000	178.13	238.67	143.11	39.30	33.84	29.75	24.26	15.17	26.24	86.87	28.99	149.68	994.01	82.83
40	2001	242.07	114.06	187.95	38.43	51.30	7.96	14.81	14.90	31.99	31.14	89.87	108.24	932.72	77.73
41	2002	136.65	164.75	152.88	50.78	18.82	4.43	49.88	33.13	107.64	76.73	82.16	176.60	1054.45	87.87
42	2003	142.11	151.78	162.64	80.58	18.92	0.24	2.21	27.58	41.54	31.62	47.77	162.41	869.41	72.45
43	2004	84.33	129.33	118.94	35.99	14.69	18.84	17.19	21.32	85.26	44.43	55.20	175.66	801.17	66.76
44	2005	130.82	81.78	129.08	40.48	15.78	7.36	11.96	19.47	50.84	62.95	42.63	149.98	743.12	61.93
45	2006	163.12	121.06	142.31	60.84	8.62	13.12	11.17	30.44	53.53	58.88	91.70	113.68	868.46	72.37
46	2007	126.66	105.66	185.84	77.23	27.35	7.17	10.45	14.46	50.07	68.77	58.54	156.50	888.68	74.06
47	2008	221.29	176.06	141.15	31.71	22.19	13.51	13.01	13.85	43.03	65.76	52.37	108.82	902.76	75.23
48	2009	182.90	203.56	102.87	73.60	35.53	8.45	26.95	14.35	27.68	66.74	122.98	153.50	1019.13	84.93
49	2010	239.27	146.30	119.71	32.31	12.58	7.90	9.90	17.26	38.02	54.02	45.94	146.04	869.25	72.44
50	2011	222.82	288.35	171.62	48.02	13.62	7.80	15.56	13.12	47.18	57.15	75.88	134.74	1095.84	91.32
51	2012	144.15	227.27	166.68	59.96	10.36	12.64	9.90	11.82	38.15	58.33	77.97	189.91	1007.12	83.93
52	2013	216.34	181.68	152.98	22.04	24.05	16.84	16.32	46.08	21.69	70.81	61.95	174.22	1005.00	83.75
Nro.DATOS		52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52
MEDIA		176.77	154.63	153.45	56.76	18.98	10.34	13.32	22.32	45.40	61.81	66.08	140.75	920.62	76.72
DES.V. STD		31.50	47.25	26.86	14.74	7.93	5.47	7.72	11.81	17.98	16.28	15.25	22.95	88.47	7.37
C.V.		0.18	0.31	0.18	0.26	0.42	0.53	0.58	0.53	0.40	0.26	0.23	0.16	0.10	0.10
P. MAXIMA		242.07	288.35	246.53	100.17	51.30	29.75	49.88	82.03	107.64	145.91	122.98	199.34	1171.89	97.66
P. MINIMA		84.33	81.78	86.65	22.04	2.68	0.24	1.97	1.33	16.66	27.49	28.99	73.93	743.12	61.93

ANEXO A.V

VARIABLES	UNIDAD	MESES												TOTAL
		JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	
PRECIPITACION MEDIA MENSUAL	mm	13.32	22.32	45.40	61.81	66.08	140.75	176.77	154.63	153.45	56.76	18.98	10.34	920.62
DESVIACION ESTANDAR	mm	7.72	11.81	17.98	16.28	15.25	22.95	31.50	47.25	26.86	14.74	7.93	5.47	225.74
PRECIPITACION AL 75 % PERSISTENCIA	mm	8.12	14.35	33.27	50.83	55.79	125.27	155.52	122.76	135.33	46.82	13.64	6.66	768.36
PRECIPITACION EFECTIVA (USBR)	mm	7.57	13.73	29.84	44.52	48.39	92.12	86.56	89.60	85.45	42.91	13.00	6.17	559.86
TEMPERATURA MEDIA MENSUAL	C°	6.88	7.22	7.63	8.62	8.87	8.94	9.07	8.60	8.72	8.36	7.24	6.56	
TEMPERATURA MINIMA MEDIA MENSUAL	C°	-9.38	-9.23	-8.76	-6.71	-8.09	-7.34	-7.74	-5.44	-4.12	-4.61	-7.87	-8.65	
TEMPERATURA MAXIMA MEDIA MENSUAL	C°	17.53	18.69	18.08	19.48	17.96	18.31	17.29	17.08	15.42	15.60	16.52	16.30	
N° DE DIAS POR MES	Dias	31.00	31.00	30.00	31.00	30.00	31.00	31.00	28.00	31.00	30.00	31.00	30.00	365.00
FACTOR DE CORRECCION 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	
RADIACION EXTRA-TERRESTRE (Ra)	mm/mes	357.85	400.14	438.40	490.26	491.66	512.30	512.71	454.27	476.28	412.20	376.05	337.32	5,259.45
H.DE SOL TOTAL PROMEDIO MENSUAL - E. M. APACHETA (n)	hr/dia	8.39	8.19	6.90	6.74	6.60	5.23	4.94	4.54	4.63	6.31	8.32	7.98	78.77
H.DE SOL TOTAL MENSUAL	hr/mes	260.21	253.95	207.08	209.03	197.86	162.20	152.99	127.17	143.38	189.21	257.97	239.26	2,400.31
HORAS TEORICAS DE FUERTE INSOLACION (N)	hr/mes	349.21	357.50	357.00	381.30	380.03	395.80	392.70	347.20	375.10	351.00	353.40	336.97	4,377.20
RADIACION SOLAR MEDIA (R.S.M)		231.68	252.93	250.42	272.25	266.07	245.97	240.01	206.19	220.85	226.98	240.97	213.18	2,867.50
EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL (E.T.P.) Hargreaves III	mm.	97.26	107.66	108.35	122.36	120.71	111.90	109.71	92.61	99.66	101.00	102.63	88.33	1,262.19
EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL (E.T.P.) Harg. III mod. Para la Sierra	mm./dia	3.14	3.47	3.61	3.95	4.02	3.61	3.54	3.31	3.21	3.37	3.31	2.94	41.49
VELOCIDAD DEL VIENTO - EST. M. APACHETA (Vv)	m/s	3.32	3.39	3.30	3.49	3.54	3.34	3.02	2.97	2.95	2.85	3.23	3.31	
HUMEDAD RELATIVA MEDIA MENSUAL (H.R.)	%	63.90	62.96	64.13	64.54	62.94	67.37	70.62	72.19	71.34	70.39	64.84	64.79	
N° DE DIAS CON HELADAS	Dias	8.00	7.00	3.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.00	12.00	36.00

ANEXO A.VI

REGISTRO HIDROMETEOROLOGICO GENERADO

Precipitación Efectiva II (mm)

M. APACHETA

ESTACION: **M. APACHETA**

LAT: 13°21'6"

Departamento : AYACUCHO

LONG: 74°34'26"

Provincia : CANGALLO

ALT: 4,354 msnm

Distrito : PARAS

ITEM	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL	MEDIA
1	1962	84.41	55.10	61.10	8.00	2.10	1.00	1.30	2.20	2.80	8.60	7.70	59.30	293.61	24.47
2	1963	150.83	173.86	71.65	9.60	1.80	0.90	1.20	2.00	5.90	8.30	8.60	69.79	504.44	42.04
3	1964	70.18	53.10	66.32	7.30	2.30	0.90	1.40	2.20	7.30	8.30	9.40	46.60	275.30	22.94
4	1965	84.41	49.60	69.03	5.70	1.90	0.90	1.60	1.90	5.80	8.50	10.00	60.20	299.54	24.96
5	1966	74.95	46.60	55.70	4.60	2.40	0.90	1.20	2.80	5.90	9.00	9.40	49.20	262.65	21.89
6	1967	75.43	80.64	108.08	6.50	2.00	0.90	2.00	2.60	4.30	8.40	9.40	64.90	365.15	30.43
7	1968	87.24	46.90	81.24	6.20	1.90	1.70	1.40	2.70	2.60	8.50	9.00	57.50	306.88	25.57
8	1969	66.62	26.20	77.16	6.80	1.80	2.10	1.40	2.20	3.60	8.60	9.30	54.30	260.08	21.67
9	1970	111.21	42.90	51.00	9.30	2.00	0.90	1.60	1.90	12.40	8.30	9.20	60.10	310.81	25.90
10	1971	92.39	137.47	63.70	7.30	1.80	1.60	1.20	2.40	2.90	8.40	10.00	54.60	383.76	31.98
11	1972	101.58	17.70	66.00	9.90	2.00	0.90	1.90	2.30	5.70	8.50	9.10	51.70	277.28	23.11
12	1973	82.68	71.61	85.99	12.30	1.80	1.20	1.40	2.70	5.50	8.40	10.20	57.80	341.58	28.46
13	1974	94.70	118.39	80.53	6.40	1.80	1.60	1.20	2.90	5.30	8.50	7.80	46.40	375.52	31.29
14	1975	88.97	26.70	53.40	6.10	2.40	1.00	1.20	2.00	4.40	8.40	9.50	57.00	261.07	21.76
15	1976	100.92	57.10	79.95	7.70	2.30	1.60	1.30	1.90	9.90	8.30	7.80	50.20	328.97	27.41
16	1977	72.01	67.13	44.00	7.50	2.10	0.90	1.60	2.00	3.20	8.20	11.80	48.50	268.94	22.41
17	1978	73.81	66.29	79.45	7.60	1.80	0.90	1.20	1.90	5.50	8.50	10.80	59.00	316.74	26.40
18	1979	75.32	35.70	61.00	4.30	1.90	0.90	1.70	2.60	3.30	8.30	9.00	46.60	250.62	20.88
19	1980	81.06	38.80	77.78	5.20	1.90	2.30	1.30	2.10	6.40	8.70	10.30	50.30	286.14	23.85
20	1981	86.10	98.71	55.50	8.20	1.80	1.10	1.20	4.30	11.50	8.80	10.60	65.20	353.01	29.42
21	1982	91.87	100.23	51.80	5.60	1.80	1.70	1.20	2.80	5.00	8.60	11.10	45.80	327.50	27.29
22	1983	80.09	21.20	65.10	8.20	1.80	1.40	1.40	2.50	7.00	8.60	8.10	50.20	255.59	21.30
23	1984	105.76	138.57	79.70	8.60	2.10	1.50	1.30	2.10	2.20	8.50	11.20	58.90	420.43	35.04
24	1985	68.18	15.90	45.80	7.60	1.80	1.00	1.30	1.90	4.40	8.20	9.20	57.50	222.78	18.56
25	1986	94.39	91.03	160.13	10.90	2.00	0.90	1.50	2.50	4.40	8.30	9.30	48.60	433.95	36.16
26	1987	93.84	17.50	42.30	6.00	2.00	1.30	1.60	2.00	3.20	8.40	10.30	43.70	232.14	19.35
27	1988	82.96	42.80	65.90	10.90	2.00	1.00	1.40	2.20	4.00	8.30	8.50	56.50	286.46	23.87
28	1989	101.58	17.70	66.00	9.90	2.00	0.90	1.90	2.30	5.70	8.50	9.10	51.70	277.28	23.11
29	1990	82.68	71.61	85.99	12.30	1.80	1.20	1.40	2.70	5.50	8.40	10.20	57.80	341.58	28.46
30	1991	128.23	150.87	123.81	8.00	4.10	1.10	0.90	2.00	2.90	10.50	11.80	12.20	456.40	38.03
31	1992	26.90	93.63	24.60	4.00	1.10	2.30	3.80	15.30	1.80	59.90	7.90	33.10	274.33	22.86
32	1993	145.30	47.00	101.89	17.30	3.20	0.80	2.00	2.00	9.70	18.00	26.30	112.94	486.43	40.54
33	1994	98.52	58.60	65.60	10.10	2.00	0.90	0.60	0.50	4.10	2.80	7.40	20.40	271.52	22.63
34	1995	82.32	68.80	86.65	6.10	0.90	0.40	0.70	0.70	3.90	4.40	20.20	26.00	301.08	25.09
35	1996	120.37	103.38	89.60	12.40	1.20	0.20	0.20	2.50	3.40	5.40	4.00	52.10	394.75	32.90
36	1997	117.99	73.72	17.40	7.90	1.50	0.30	0.30	5.20	12.40	3.90	14.80	108.77	364.18	30.35
37	1998	122.07	38.30	40.50	4.30	0.30	1.50	0.60	1.30	2.50	7.80	6.00	37.90	263.07	21.92
38	1999	89.35	94.58	61.30	24.40	1.10	0.60	0.70	0.20	17.10	13.30	6.00	42.30	350.93	29.24
39	2000	91.73	152.27	57.20	4.20	3.50	3.10	2.50	1.70	2.70	17.50	3.00	63.40	402.80	33.57
40	2001	155.67	33.40	101.55	4.10	6.10	0.90	1.60	1.60	3.30	3.20	18.90	29.40	359.72	29.98
41	2002	51.40	78.35	66.48	6.00	2.00	0.50	5.90	3.40	29.00	13.20	15.40	90.20	361.83	30.15
42	2003	56.30	65.50	76.24	14.70	2.00	0.00	0.30	2.80	4.50	3.30	5.50	76.01	307.15	25.60
43	2004	16.30	45.10	36.90	3.80	1.60	2.00	1.80	2.20	16.70	4.90	6.90	89.26	227.46	18.95
44	2005	46.40	15.20	44.90	4.30	1.70	0.90	1.30	2.10	6.00	8.80	4.70	63.70	200.00	16.67
45	2006	76.72	38.50	56.50	8.20	1.00	1.50	1.30	3.10	6.60	7.80	19.80	33.10	254.12	21.18
46	2007	42.90	27.70	99.44	13.40	2.80	0.90	1.20	1.60	5.90	10.50	7.70	70.10	284.14	23.68
47	2008	134.89	89.66	55.50	3.30	2.30	1.50	1.50	1.50	4.70	9.60	6.30	29.80	340.55	28.38
48	2009	96.50	117.16	26.00	12.10	3.70	1.00	2.80	1.60	2.80	9.90	40.00	67.10	380.66	31.72
49	2010	152.87	60.20	37.50	3.30	1.40	0.90	1.10	1.90	4.00	6.70	5.20	60.00	335.07	27.92
50	2011	136.42	201.95	85.22	5.50	1.50	0.90	1.70	1.50	5.40	7.40	12.90	49.70	510.08	42.51
51	2012	58.20	140.87	80.28	8.00	1.20	1.40	1.10	1.30	4.00	7.60	13.70	103.51	421.17	35.10
52	2013	129.94	95.28	66.58	2.30	2.50	1.80	1.80	5.20	2.30	11.10	8.50	87.82	415.12	34.59
Nº DATOS	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52
MEDIA	91.03	71.48	68.33	7.97	2.03	1.16	1.48	2.50	5.99	9.48	10.55	56.51	328.51	27.38	
DESV.STD	29.96	43.54	24.87	3.87	0.86	0.55	0.85	2.00	4.62	7.57	5.84	19.98	72.67	6.06	
C.V.	0.3	0.6	0.4	0.5	0.4	0.5	0.6	0.8	0.8	0.8	0.6	0.4	0.2	0.2	
PE II.MINIMA	16.30	15.20	17.40	2.30	0.30	0.00	0.20	0.20	1.80	2.80	3.00	12.20	200.00	16.67	
PE II.MAXIMA	155.67	201.95	160.13	24.40	6.10	3.10	5.90	15.30	29.00	59.90	40.00	112.94	510.08	42.51	

ANEXO A.VII

CALCULO DE LA REGRESION TRIPLE

A base de los valores del año promedio

MES	Qt (X)	Qt-1 (Y)	PE (Z)	Valores para la Regresión					
	mm/mes	mm/mes	mm/mes	x2	y2	z2	xy	xz	yz
JUL	8.39	12.21	2.00	70.39	149.13	4.00	102.45	16.78	24.42
AGO	7.22	8.39	3.20	52.18	70.39	10.24	60.61	23.12	26.85
SET	9.47	7.22	6.70	89.70	52.18	44.89	68.42	63.46	48.40
OCT	5.65	9.47	10.80	31.87	89.70	116.64	53.47	60.97	102.29
NOV	12.30	5.65	12.30	151.29	31.87	151.29	69.44	151.29	69.44
DIC	57.75	12.30	64.50	3335.05	151.29	4160.25	710.32	3724.87	793.35
ENE	59.60	57.75	100.10	3552.10	3335.05	10020.01	3441.87	5965.91	5780.77
FEB	67.77	59.60	77.90	4593.43	3552.10	6068.41	4039.35	5279.66	4642.80
MAR	73.42	67.77	76.80	5391.22	4593.43	5898.24	4976.37	5639.04	5205.11
ABR	35.37	73.42	9.40	1251.39	5391.22	88.36	2597.41	332.52	690.19
MAY	18.91	35.37	2.80	357.75	1251.39	7.84	669.10	52.96	99.05
JUN	12.21	18.91	1.60	149.13	357.75	2.56	230.98	19.54	30.26
AÑO	368.08	368.08	368.10	19,025.51	19,025.51	26,572.73	17,019.77	21,330.12	17,512.93

$$Q = B_1 + B_2 * Q_{-1} + B_3 * PE_t + z * S * \sqrt{1 - r^2}$$

$J = \sum X^2 - (\sum X)^2 / 12 =$	7735.258
$M = \sum Y^2 - (\sum Y)^2 / 12 =$	7735.258
$X = \sum Z^2 - (\sum Z)^2 / 12 =$	15281.263
$K = \sum XY - \sum X * \sum Y / 12 =$	5729.513
$L = \sum XZ - \sum X * \sum Z / 12 =$	10039.254
$U = \sum YZ - \sum Y * \sum Z / 12 =$	6222.070
$B_1 = (\sum X - B_2 * \sum Y - B_3 * \sum Z) / 12 =$	4.781787
$B_2 = (L * U - K * X) / (U^2 - M * X) =$	0.315626
$B_3 = (K * U - L * M) / (U^2 - M * X) =$	0.528451
$r = \sqrt{(B_2 * D + B_3 * E) / A} =$	0.958978
$s = \sqrt{(A - B_2 * D - B_3 * E) / 9} =$	8.310732
$s * \sqrt{1 - r^2} =$	2.355930

ANEXO A.VIII

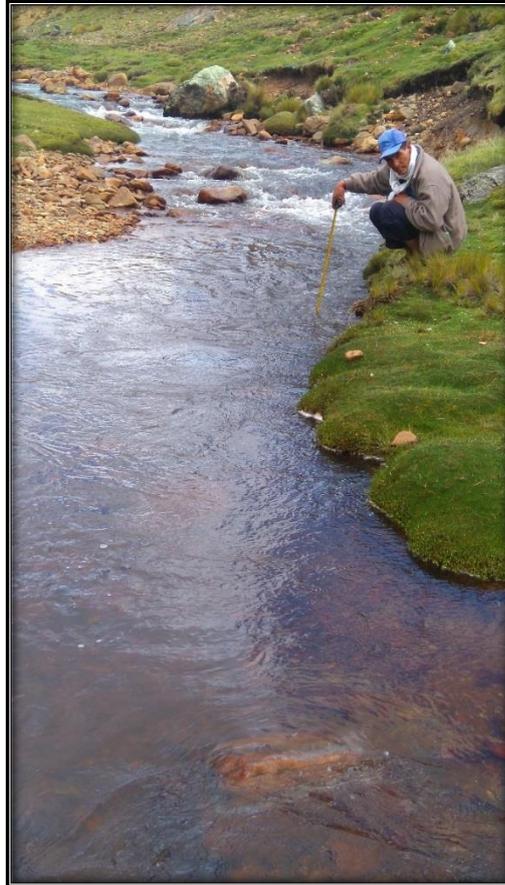
NUMEROS ALEATORIOS (0.1)*Z

(*) = (Media = 0, desv std = 1)

ITEM	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	-0.189	-0.294	-0.230	0.203	0.089	-0.250	-0.276	-0.083	-0.987	0.018	-0.493	0.199
2	1.920	2.236	0.171	0.610	-0.239	-0.489	-0.382	-0.309	0.271	-0.036	-0.249	0.673
3	-0.641	-0.341	-0.027	0.015	0.409	-0.528	-0.059	-0.115	0.648	-0.052	-0.055	-0.420
4	-0.189	-0.425	0.074	-0.534	-0.200	-0.528	0.199	-0.390	0.243	-0.009	0.064	0.240
5	-0.490	-0.499	-0.448	-0.970	0.482	-0.518	-0.382	0.412	0.265	0.110	-0.058	-0.287
6	-0.474	0.263	1.527	-0.256	-0.008	-0.461	0.719	0.207	-0.282	-0.025	-0.067	0.458
7	-0.099	-0.491	0.528	-0.329	-0.186	0.956	-0.079	0.370	-1.130	0.007	-0.152	0.114
8	-0.754	-1.088	0.376	-0.151	-0.294	1.827	-0.165	-0.132	-0.621	0.016	-0.082	-0.036
9	0.662	-0.593	-0.642	0.537	0.012	-0.432	0.184	-0.401	1.616	-0.035	-0.097	0.235
10	0.064	1.466	-0.131	0.011	-0.280	0.707	-0.347	0.090	-0.933	-0.015	0.067	-0.025
11	0.356	-1.421	-0.040	0.692	-0.013	-0.528	0.527	-0.023	0.194	0.010	-0.133	-0.165
12	-0.244	0.072	0.705	1.178	-0.294	-0.049	-0.165	0.366	0.123	-0.024	0.128	0.129
13	0.138	1.062	0.502	-0.283	-0.263	0.736	-0.382	0.508	0.079	-0.008	-0.451	-0.432
14	-0.044	-1.072	-0.541	-0.392	0.474	-0.336	-0.342	-0.316	-0.243	-0.027	-0.027	0.092
15	0.335	-0.247	0.480	0.130	0.318	0.860	-0.266	-0.366	1.201	-0.047	-0.458	-0.240
16	-0.583	-0.023	-0.949	0.074	0.151	-0.528	0.199	-0.313	-0.823	-0.068	0.449	-0.323
17	-0.526	-0.041	0.462	0.087	-0.251	-0.528	-0.382	-0.401	0.151	0.005	0.249	0.184
18	-0.478	-0.790	-0.237	-1.109	-0.109	-0.528	0.300	0.271	-0.758	-0.039	-0.166	-0.424
19	-0.296	-0.704	0.399	-0.726	-0.116	2.181	-0.236	-0.207	0.402	0.046	0.138	-0.236
20	-0.135	0.645	-0.455	0.266	-0.282	-0.202	-0.382	1.490	1.474	0.078	0.201	0.472
21	0.048	0.677	-0.607	-0.551	-0.263	0.889	-0.382	0.377	-0.030	0.032	0.314	-0.465
22	-0.326	-1.276	-0.077	0.253	-0.260	0.305	-0.069	0.140	0.577	0.017	-0.383	-0.239
23	0.489	1.489	0.471	0.374	0.110	0.640	-0.195	-0.228	-1.359	0.002	0.315	0.178
24	-0.705	-1.508	-0.870	0.107	-0.294	-0.346	-0.251	-0.401	-0.243	-0.064	-0.104	0.116
25	0.128	0.483	3.465	0.907	0.007	-0.528	-0.003	0.119	-0.260	-0.041	-0.076	-0.320
26	0.110	-1.433	-1.025	-0.425	0.002	0.200	0.158	-0.284	-0.779	-0.012	0.135	-0.571
27	-0.235	-0.597	-0.044	0.910	-0.041	-0.288	-0.070	-0.091	-0.418	-0.047	-0.276	0.067
28	0.356	-1.421	-0.040	0.692	-0.013	-0.528	0.527	-0.023	0.194	0.010	-0.133	-0.165
29	-0.244	0.072	0.705	1.178	-0.294	-0.049	-0.165	0.366	0.123	-0.024	0.128	0.129
30	1.202	1.749	2.113	0.219	2.518	-0.100	-0.706	-0.331	-0.933	0.435	0.439	-2.912
31	-2.303	0.538	-1.974	-1.297	-1.215	2.166	2.992	5.054	-1.598	5.165	-0.444	-1.177
32	1.744	-0.489	1.297	2.016	1.571	-0.595	0.755	-0.260	1.164	1.609	2.439	2.553
33	0.259	-0.213	-0.058	0.734	-0.012	-0.452	-1.041	-1.519	-0.362	-2.108	-0.582	-2.084
34	-0.256	0.012	0.730	-0.388	-1.425	-1.277	-0.983	-1.409	-0.476	-1.304	1.729	-1.650
35	0.952	0.744	0.839	1.197	-1.075	-1.638	-1.471	0.142	-0.686	-0.907	-1.827	-0.146
36	0.877	0.116	-2.487	0.197	-0.752	-1.441	-1.402	2.006	1.627	-1.510	0.957	-2.372
37	1.007	-0.716	-1.113	-1.109	-2.056	0.669	-1.049	-0.881	-1.206	-0.166	-1.009	-0.891
38	-0.032	0.558	-0.225	2.946	-1.189	-1.036	-1.025	-1.777	2.259	0.925	-1.008	-0.648
39	0.043	1.779	-0.385	-1.184	1.873	3.550	1.418	-0.606	-1.066	1.539	-2.431	0.389
40	2.073	-0.859	1.284	-1.244	4.076	-0.436	0.193	-0.628	-0.746	-1.884	1.560	-1.416
41	-1.274	0.214	-0.021	-0.406	-0.020	-1.082	4.739	0.915	3.461	0.916	1.054	1.562
42	-1.100	-0.060	0.342	1.616	-0.007	-1.848	-1.441	0.445	-0.215	-1.854	-1.200	0.944
43	-2.935	-0.535	-1.285	-1.409	-0.542	1.554	0.501	-0.085	2.216	-1.068	-0.713	1.521
44	-1.459	-1.542	-0.907	-1.105	-0.404	-0.546	-0.176	-0.242	0.302	0.070	-1.537	0.402
45	-0.433	-0.710	-0.415	0.277	-1.307	0.507	-0.279	0.687	0.452	-0.180	1.680	-1.180
46	-1.591	-1.036	1.206	1.389	1.056	-0.581	-0.373	-0.666	0.259	0.427	-0.495	0.687
47	1.413	0.454	-0.458	-1.700	0.405	0.579	-0.040	-0.717	-0.132	0.242	-0.899	-1.391
48	0.195	1.036	-1.883	1.143	2.087	-0.347	1.767	-0.674	-0.985	0.302	3.730	0.556
49	1.984	-0.176	-1.256	-1.659	-0.807	-0.447	-0.444	-0.429	-0.411	-0.478	-1.320	0.231
50	1.462	2.830	0.676	-0.593	-0.677	-0.466	0.289	-0.779	0.099	-0.287	0.643	-0.262
51	-1.036	1.538	0.492	0.217	-1.088	0.419	-0.444	-0.889	-0.404	-0.214	0.779	2.143
52	1.256	0.572	-0.017	-2.356	0.639	1.188	0.389	2.011	-1.318	0.553	-0.271	1.459
MEDIA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D.STD.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
MAYOR	2.073	2.830	3.465	2.946	4.076	3.550	4.739	5.054	3.461	5.165	3.730	2.553
MENOR	-2.935	-1.542	-2.487	-1.409	-2.056	-1.848	-1.471	-1.777	-1.598	-2.108	-2.431	-2.912

ANEXO A.IX: PANEL FOTOGRÁFICO

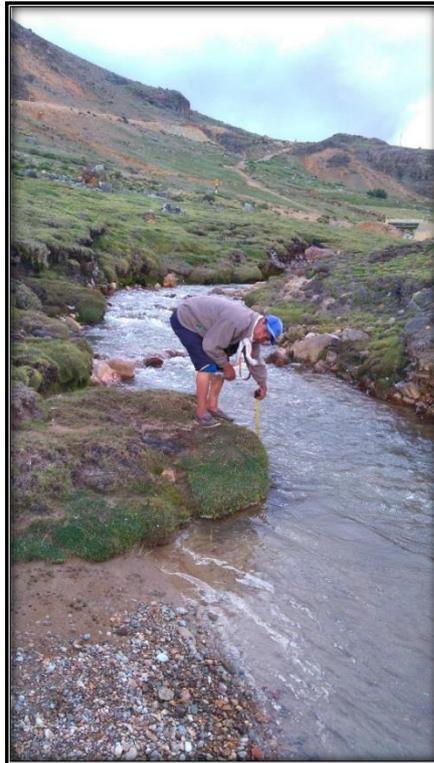
Vista del aforo del rio Ccaccapaqui



Vista del Inventario de la laguna Yanacocha



Vista del aforo del rio Guitarachayoc



Vista del Inventario del rio Achcahuasi



Vista del Inventario de la laguna Azulccochoa



Vista del Inventario de la laguna Lerjona



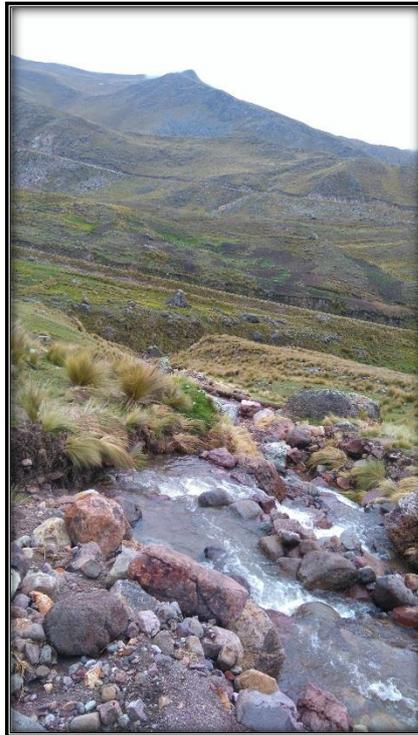
Vista del Inventario Uhcoccocha



Vista del aforo del rio Pascana



Vista del Inventario de la Quebrada Ilahuasi



Vista del aforo de la Quebrada Mancayllo



Vista del Inventario de la laguna Velasque



Vista del aforo del riachuelo Cutimachav



Vista del Inventario de la Quebrada Yanama



Vista del Inventario a la salida de la laguna Guitarrachayoc



Laguna represada en el distrito de paras

Vista del aforo del riachuelo Yanasalla



Vista del Inventario de la laguna Allpaccocha



Vista del Inventario del rio Churiacc



Vista del Inventario del rio Apacheta



Vista del aforo de Quebrada Margen derecha del rio Apacheta



Vista del Inventario de la laguna Pumacocha



Vista del aforo de la Quebrada Niñobamba



Vista del Inventario del rio Quichcahuasi (aguas termales)



Vista del Inventario de la laguna Saccsalccocha



Vista del aforo a la salida de la laguna Saccsalccocha



Vista del Inventario de la laguna Viuda



Vista de aforo de la Quebrada



Vista del Inventario de la laguna Jachaccocha



Vista de aforo del riachuelo Chacapampa



Vista de aforo del riachuelo Tambo "A"



Vista de aforo del riachuelo Tambo "B"

