

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**Evaluación de los recursos hídricos superficiales en la
microcuenca Chillico, Huamanga – Ayacucho – 2016**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO AGRÍCOLA**

**PRESENTADO POR:
Gamaniel Gamboa Martínez**

**Ayacucho – Perú
2016**

*A Dios por darme sabiduría, salud y guiarme
por el camino correcto de la vida.*

*A mis padres y hermanas, quienes con su
apoyo me ayudaron a seguir adelante.*

*A la Srta. Vilma Huarcaya Gutierrez, por su
apoyo incondicional.*

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, alma mater de mi formación profesional.

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

A mi asesor de tesis Ing. Efraín Chuchón Prado, por brindarme sus valiosas orientaciones en el desarrollo de la presente investigación.

A la Municipalidad Distrital de Totos por el apoyo brindado para la realización de mi proyecto de tesis.

A mi familia por su cariño y apoyo, quienes me dieron en cada momento lo mejor de ellos y quienes me inspiran a seguir adelante.

A todos los que de una u otra forma han aportado a mi formación como persona y como profesional

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Índice general.....	iv
Índice de tablas	v
Índice de figuras.....	vi
Índice de anexos.....	viii
Resumen.....	1
Introducción	3
CAPÍTULO I MARCO TEÓRICO	5
1.1. Antecedentes	5
1.2. El ciclo hidrológico	5
1.3. Cuencas hidrográficas	9
1.4. Determinación de tormenta de diseño	19
1.5. Relaciones intensidad –duración- frecuencia	19
1.6. Precipitación total y efectiva	22
1.7. Método directo	22
1.8. Modelo hidrológico	23
1.9. Modelos precipitación – descarga	24
1.10. Modelo propuesto por lutz scholz - 1980	24
CAPÍTULO II METODOLOGÍA.....	27
2.1. Ubicación.....	27
2.2. Materiales, equipos y programas.....	29
2.3. Metodología.....	30
CAPÍTULO III RESULTADOS.....	69
3.1. Descripción general de la cuenca	69
3.2. Inventario de recursos hídricos de la microcuenca en estudio	72
3.3. Formas de aprovechamiento que permita mejorar la disponibilidad hídrica	88
CAPÍTULO IV DISCUSIÓN.....	91
Conclusiones.....	95
Recomendaciones	97
Referencias bibliográficas.....	98
Anexos	99

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1.1. Clasificación de cuencas según tamaño.....	10
Tabla 2.1. Vías de acceso al proyecto.....	29
Tabla 2.2. Estaciones meteorológicas consideradas para el estudio de la cuenca.....	33
Tabla 2.3. Longitud de registro de las estaciones utilizadas.....	33
Tabla 2.4. Cálculo de la precipitación efectiva.....	61
Tabla 2.5. Coeficientes para el cálculo de la precipitación efectiva.....	62
Tabla 2.6. Límite superior para la precipitación efectiva.....	62
Tabla 3.1. Resumen de parámetros geomorfológicos de la microcuenca Chillico.....	71
Tabla 3.2. Porcentaje de áreas parciales.....	72
Tabla 3.3. Ríos en la unidad hidrográfica de Chillico.....	72
Tabla 3.4. Quebradas en la unidad hidrográfica de Chillico.....	73
Tabla 3.5. Quebradas intermitentes en la unidad hidrográfica de Chillico.....	73
Tabla 3.6. Lagunas en la unidad hidrográfica Chillico.....	73
Tabla 3.7. Inventario de reservorios de riego.....	74
Tabla 3.8. Inventario de bofedales de la unidad del río Chillico.....	75
Tabla 3.9. Resumen de los cursos hídricos superficiales.....	75
Tabla 3.10. Inventario de los recursos hídricos de la microcuenca.....	78
Tabla 3.11. Estaciones pluviométricas de la microcuenca del río Chillico y vecinas.....	79
Tabla 3.12. Estaciones pluviométricas utilizadas en la microcuenca del río Chillico.....	80
Tabla 3.13. Precipitación mensual de la microcuenca del río Chillico.....	87
Tabla 3.14. Porcentaje de variación de la Precipitación mensual total de la microcuenca del río Chillico.....	87

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1. Representación del ciclo hidrológico.....	6
Figura 1.2. Componentes que intervienen en la escorrentia.....	8
Figura 1.3. Modelo de cuenca hidrográfica.....	9
Figura 1.4. Hidrograma según la forma de la cuenca.....	12
Figura 1.5. Representacion de un rectángulo equivalente.....	14
Figura 1.6. Curva hipsométrica de la cuenca.....	15
Figura 1.7. Ejemplo de curvas intensidad-duración-frecuencia para lluvia máxima.....	20
Figura 1.8. Sistema hidrológico.....	23
Figura 2.1. Ubicación experimental.....	28
Figura 2.2. Base de datos de ArcGis.....	38
Figura 2.3. Ubicación de la microcuenca dentro de la cuenca Cachi.....	39
Figura 2.4. Visualización del área a delimitar de la microcuenca.....	39
Figura 2.5. Delimitación de la microcuenca.....	40
Figura 2.6. Determinando área y perímetro de la microcuenca.....	41
Figura 2.7. Determinando la longitud del curso principal (L).....	41
Figura 2.8. Determinando la pendiente de la microcuenca.....	44
Figura 2.9. Orden de ríos de la microcuenca.....	46
Figura 2.10. Determinando los tipos de ríos de la microcuenca.....	48
Figura 2.11. Histograma de precipitaciones multimensuales de las estaciones...	50
Figura 2.12. Método de Thiessen modificado.....	53
Figura 2.13. Porción de precipitación efectiva según Bureao of reclamation.....	61
Figura 3.1. Curva hipsométrica de la microcuenca Chillico.....	71
Figura 3.2. Histograma de precipitación anual – Allpachaca (serie histórica)...	80
Figura 3.3. Histograma de precipitación anual – Chontaca (serie histórica).....	81
Figura 3.4. Histograma de precipitación anual – Tambillo (serie histórica).....	81
Figura 3.5. Histograma de precipitación anual – Quinua (serie histórica).....	82
Figura 3.6. Histograma de precipitación mensual - E. Quinua (serie completada y extendida).....	84
Figura 3.7. Histograma de precipitación mensual - E. Allpachaca (serie completada y extendida).....	84
Figura 3.8. Histograma de precipitación mensual – E. Chontaca (serie	

	completada y extendida.....	85
Figura 3.9.	Histograma de precipitación mensual – E. Tambillo (serie completada y extendida).....	85
Figura 3.10.	Análisis de doble masa de las estaciones seleccionados.....	86
Figura 3.11.	Variación de la precipitación - promedio multimensual (1980-2013).....	86
Figura 3.12.	Precipitaciones registradas por las estaciones.....	88
Figura 3.13.	Características hidráulicas de una zanja de infiltración.....	89
Figura 3.14.	Corte de una plantación forestal con acequias de infiltración.....	90
Figura 3.15.	Vista de un sistema silvo pastoril y agrícola.....	91
Figura 3.16.	Vista de una ladera con andenes contruidos con material del lugar	92

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Panel fotográfico.....	100
Anexo 2. Datos de estaciones utilizados en el estudio.....	113
Anexo 3. Mapas.....	122

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivos, evaluar, cuantificar, georeferenciar y proponer posibles zonas de almacenamiento o formas de aprovechamiento para mejorar y optimizar el aprovechamiento racional del recurso hídrico. Se realizó el diagnóstico del recurso hídrico, ubicación, demarcación de la cuenca, vías de comunicación, evaluación de la precipitación y disponibilidad de recursos hídricos superficiales y generación de caudales medios mensuales. La sistematización utilizando el sistema de información geográfica (SIG), así como la determinación parámetros de la cuenca. La modelación hidrológica se ha realizado para la generación de las descargas medias mensuales de la microcuenca en estudio, 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; para esto se efectuó una revisión de la fuente bibliográfica y el análisis del modelo, tomando como base para el estudio la microcuenca del río Chillico, que cuenta con información de precipitación y descarga. Se logró hacer un estudio integral de la microcuenca en estudio como las características geomorfológicas, inventario de los recursos hídricos superficiales y la zonificación del área para las diferentes formas de aprovechamiento de los recursos hídricos.

Palabras clave: Microcuenca, sistema de información, precipitación.

INTRODUCCIÓN

El inventario de fuentes de aguas superficiales en la microcuenca Chillico, constituye una actividad de significativa importancia en el conocimiento, de su distribución espacial y estado de uso actual, constituyéndose así en una importante fuente de información para el aprovechamiento óptimo y adecuada funcionamiento hidrológico de la cuenca.

El alcance del presente trabajo de tesis fue la realización, del inventario y evaluación de las fuentes de agua superficial de la microcuenca Chillico, tales como lagunas, ríos, quebradas, manantiales, bofedales, elaborándose una base de datos, las características físicas y de ubicación espacial de dichas fuentes, disponibilidad para optimizar la planificación de su uso potencial.

El presente trabajo de investigación será de utilidad 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.

Por su ubicación geográfica y política, la microcuenca del río Chillico - Cachi es de mucha importancia ya que se ubica en su ámbito de los distritos de Socos, San José Ticllas y Ayacucho, esta cuenca se encuentra en el territorio de los tres distritos, es la fuente de abastecimiento de agua principalmente para riego de una cantidad considerable de la población del distrito de Socos, como también para los distritos de San José de Tillas y Ayacucho en menor proporción.

Objetivo general

Cuantificar la disponibilidad de los recursos hídricos superficiales de la microcuenca Chillico, que se encuentra ubicada en su ámbito de los distritos de Socos, San José Ticllas, y Ayacucho, Provincia de Huamanga – Ayacucho, con fin de conocer e incrementar la disponibilidad mediante diferentes sistemas de aprovechamiento.

Objetivos Específicos

1. Conocer la disponibilidad de los recursos hídricos superficiales, aforar los caudales en los ríos, lagunas, manantiales en la microcuenca Chillico.
2. Constituir una base de datos georeferenciados de los recursos hídricos superficiales que permitirá tener acceso a los datos de ubicación de las diferentes fuentes
3. Proponer zonas o vasos de almacenamiento probable de agua, formas de aprovechamiento que permita mejorar la disponibilidad hídrica.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 ANTECEDENTES

Los trabajos relacionados directamente con la evaluación de los recursos hídricos lo realizó el gobierno regional de Ayacucho en el área de la gerencia de RR.NN. y gestión de medio ambiente, en diciembre del 2012 con el proyecto denominado “Inventario y Evaluación de los Recursos Hídricos de la Cuenca del río Mantaro sector Ayacucho”.

Estudio Inventario de las Fuentes de Aguas Superficiales en el Ámbito del río Huamanga, bajo la Supervisión Técnica de la Dirección de Conservación y Planificación de Recursos Hídricos – ALA - AYACUCHO – 2012.

Inventario y evaluación de fuentes de agua superficial del distrito de Riego Ocoña – Pausa, publicada en el año 1998 por la administración técnica del distrito de riego Ocoña -Pausa.

Inventario del sistema de infraestructura de riego y drenaje del sector Cotahuasi, elaborado en el año 1998 por administración técnica del distrito de riego Ocoña -Pausa.

Inventario, evaluación y uso racional de los recursos naturales de la costa - cuencas de los ríos Atico, Caravelí y Ocoña, publicada el año 1975 por la Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales (ONERN).

1.2 EL CICLO HIDROLÓGICO

El ciclo hidrológico involucra un proceso de transporte circulatorio e indefinido o permanente, este movimiento permanente del ciclo se debe fundamentalmente a dos causas: la primera, el sol que proporciona la energía para elevar el agua (evaporación); la segunda, la gravedad terrestre, que hace que el agua condensada descienda en forma de precipitación y escurrimiento.(Ordoñez 2012)

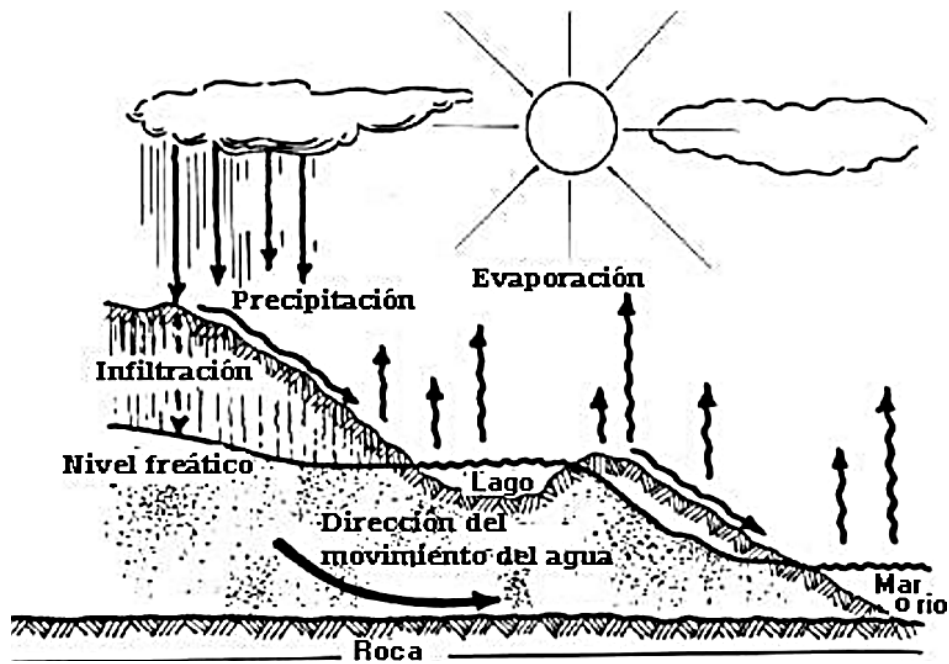


Figura 1.1. Representación del ciclo hidrológico

1.2.1 Precipitación

Se define precipitación a toda forma de humedad que originándose en las nubes, llega hasta la superficie terrestre. De acuerdo a esta definición, las lluvias, las granizadas, las garuas y las nevadas son formas distintas del mismo fenómeno de la precipitación (Chereque, W. 1998).

1.2.1.1 Tipos de precipitación

Las precipitaciones se clasifican en tres grupos, según el factor responsable del levantamiento del aire que favorece el enfriamiento necesario para que produzcan cantidades significativas de precipitación.

a) Precipitaciones convectivas

Son causados por el ascenso del aire cálido más liviano que el aire frío de los alrededores. Las diferencias de temperatura pueden ser sobre todo el resultado de calentamientos diferenciales en la superficie o en la capa superior de la capa del aire.

b) Precipitaciones orográficas

Resultan del ascenso del aire cálido hacia una cadena montañosa. Las regiones que queden del otro lado de las montañas pueden sufrir la ausencia de lluvias, puesto que todas las nubes son interceptadas y precipitadas en el lado de donde ellas provienen.

c) Precipitaciones frontal o de tipo ciclónico

Se producen cuando hay un encuentro de nubes de diferentes temperaturas: las más calientes son impulsadas a las partes más altas donde precipitan.

1.2.2 Intercepción

Es la parte de la precipitación que es interceptada por objetos superficiales como la cubierta vegetal o los tejados, en general, parte de esta agua interceptada nunca alcanza al suelo porque se adhiere y humedece estos objetos y se evapora.(Ordoñez, 2012)

1.2.3 Evapotranspiración

La evaporación se puede estudiar por separado a partir de las superficies libres del agua (lagos, embalses, ríos, charcas), a partir de las nieves, a partir del suelo y a partir de las plantas (transpiración). También se puede estudiar la evaporación total en una cuenca sin tomar en cuenta las formas particulares que adopta, a esta evaporación total se llama **evapotranspiración** la cual resulta de la combinación de evaporación desde la superficie del suelo y la transpiración de la vegetación. (Ordoñez, 2012)

1.2.4 Infiltración

La infiltración es el paso del agua a través de la superficie del suelo hacia el interior de la tierra, la percolación es el movimiento del agua dentro del suelo y ambos fenómenos (la infiltración y la percolación) están íntimamente ligados pues la primera no puede continuar sino cuando tiene lugar la segunda.(Ordoñez, 2012)

1.2.5 Almacenamiento

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 tiempo que permanece en esas depresiones del terreno.(Ordoñez, 2012)

1.2.6 Escorrentía

El escurrimiento es otro componente del ciclo hidrológico y 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. Si se analiza en un corte esquemático la superficie terrestre, se tiene que la precipitación cuando llega a la superficie se comparte de la siguiente manera:

- Una parte de la precipitación se infiltra; satisface la humedad del suelo de las capas que se encuentran sobre el nivel freático del agua, una vez que esta capa se satura el agua subterránea es recargada por la parte restante del agua que se infiltra.
- Otra parte de la precipitación tiende a escurrir sobre la superficie terrestre, a la precipitación que ocasiona éste escurrimiento se llama altura de precipitación en exceso.
- Una pequeña proporción se pierde.

Con base en lo anterior, el escurrimiento se clasifica en tres tipos:

- **Escorrentía superficial**, es aquel que proviene de la precipitación no infiltrada y que escurre sobre la superficie del suelo. La parte de la precipitación total que da lugar a este escurrimiento se denomina precipitación en exceso. (Ordoñez, 2012)
- **Escorrentía subsuperficial**, es aquel que proviene de una parte de la precipitación infiltrada. El efecto sobre el escurrimiento total puede ser inmediato o retardado; Si es inmediato se le da el mismo tratamiento que el escurrimiento superficial, en caso contrario como escurrimiento subterráneo. (Ordoñez, 2012)
- **Escorrentía subterráneo**, es aquel que proviene del agua subterránea la cual es recargada por la parte de la precipitación que se infiltra una vez que el suelo se ha saturado. (Ordoñez, 2012)

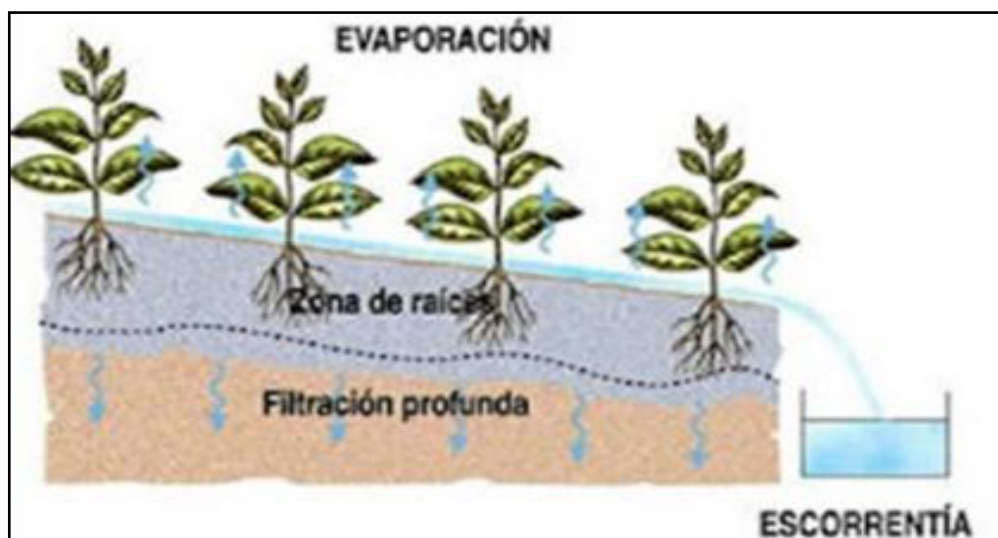


Figura 1.2. Componentes que intervienen en la escorrentia

1.3 CUENCAS HIDROGRÁFICAS

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. (VEN TE CHOW 1994)

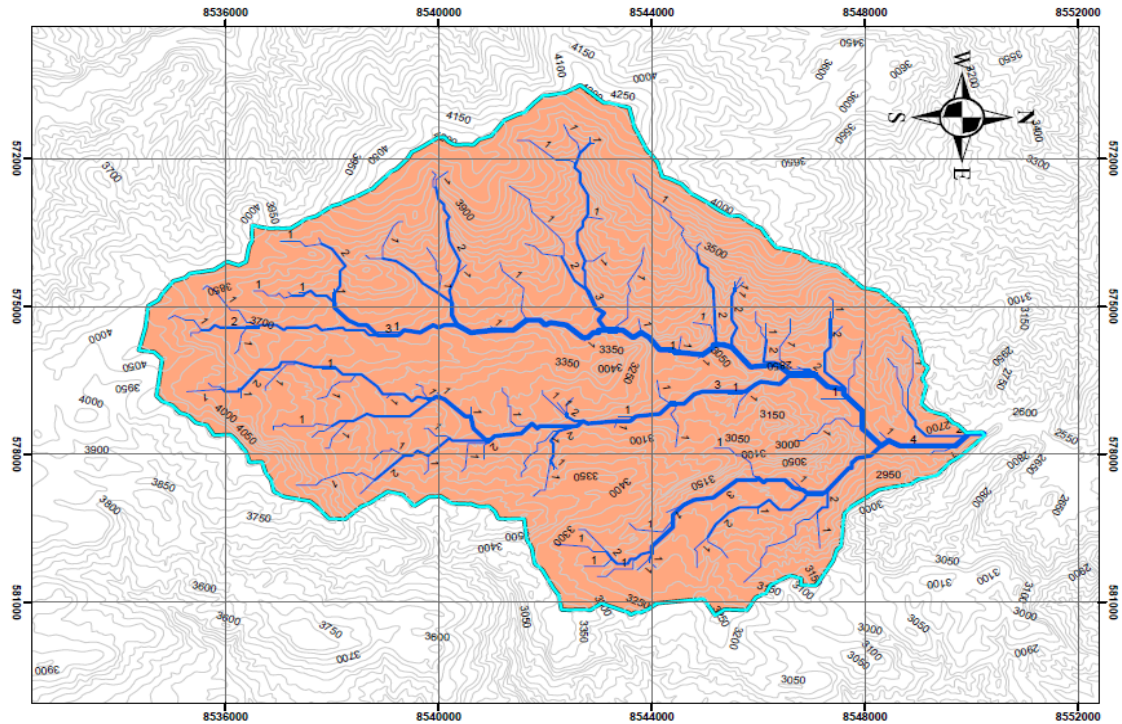


Figura 1.3. Modelo de cuenca hidrográfica

a. Hoya hidrográfica

Una hoya hidrográfica es un área definida topográficamente, drenada por un curso de agua o un sistema conectado de cursos de agua, tal que todo el caudal efluente es descargado a través de una salida simple. (Monsalve, G. 1995)

b. Divisoria

Se designa como divisoria la línea que separa las precipitaciones que caen en hoyas inmediatamente vecinas, y que encaminan la escorrentía resultante para uno u otro sistema fluvial. La divisoria une los puntos de máxima cota entre hoyas, lo que no impide que en el interior de una hoya existan picos aislados con una cota superior a cualquier punto de la divisoria (Monsalve, G. 1995).

1.3.1 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 de suelo con respecto a las del cauce. (VEN TE CHOW 1994).

Tabla 1.1. Clasificación de cuencas según tamaño

UNIDAD	Nº DE ORDEN	AREA(Km ²)
microcuenca	1,2,3	10 - 500
Subcuenta	4,5	500 - 2000
Cuenca	6,7 o más	Más de 2000

1.3.2 Delimitación de la cuenca

La delimitación de la cuenca, se hace siguiendo una línea formada por los puntos de mayor topográfico, 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. (MEJIA, 2001)

1.3.3 Área de la cuenca

el área de la cuenca es quizá el parámetro más importante, siendo determinante de la escala de varios fenómenos hidrológicos tales como, 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. (VEN TE CHOW, 1994)

El “área superficial real” considera la pendiente de la cuenca se puede relacionar con el área de la cuenca mediante la siguiente expresión:

$$A_s = \frac{A}{\cos i} \quad 1.1$$

Dónde:

A = la superficie medida en el mapa

i = ángulo que define la pendiente media de la cuenca. Como este ángulo de inclinación de las laderas es, en general, pequeño, los valores de AS y A son prácticamente iguales excepto en las cuencas de orografía muy abrupta.

El área superficial real puede parecer una medida representativa de la magnitud de la cuenca pero en realidad es una medida ambigua que se puede prestar a equivocaciones. Así por ejemplo haciendo huecos y montículos se puede aumentar el área superficial real de la cuenca y no cambia su magnitud.

La proyección horizontal, que es perpendicular a la aceleración de la gravedad es mucho más coherente, los procesos de intercambio con la atmósfera son generalmente verticales, el crecimiento de los árboles es vertical, etc.

1.3.4 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. (VEN TE CHOW, 1994)

1.3.5 Parámetros asociados a la longitud

Longitud de la cuenca

Es la longitud de una línea recta con dirección paralela al cauce principal.

Longitud del cauce principal

La longitud de un río es la distancia entre la desembocadura y el nacimiento.

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.

1.3.6 Parámetros de forma de la cuenca

La forma 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. (MEJIA, 2001)

En la actualidad no se da tanta importancia a la forma de la cuenca para determinar la forma de la cuenca se utiliza varios índices asociados a la relación área-perímetro. Los más comunes son:

a. Índice o coeficiente de compacidad

El índice o coeficiente de compacidad K_c se debe a Gravelius, y es la relación entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de un círculo de igual área que la cuenca. Extrapolaciones de parámetros de una cuenca a otra en función de su semejanza de índices (Llamas 1993) da la siguiente expresión:

$$K_c = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad 1.2$$

Dónde:

K_c = Coeficiente de compacidad.

P = perímetro de la cuenca.

A = el área de la cuenca

b. Factor de forma

El factor de forma, R_f . Fue definido por Horton, como el cociente entre la superficie de la cuenca y el cuadrado de su longitud:

$$R_f = \frac{A}{L^2} \quad 1.3$$

Dónde:

L = Es la longitud máxima o recorrido principal de la cuenca.

A = Área de la cuenca.

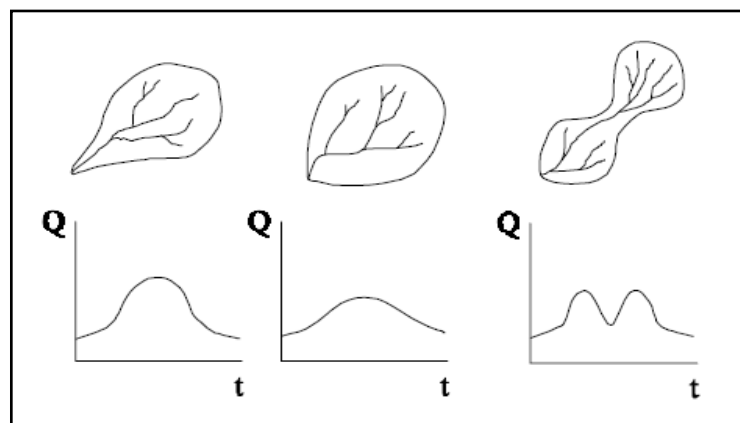


Figura 1.4. Hidrograma según la forma de la cuenca

c. Coeficiente de forma

$$K_f = \frac{B_m}{L} \quad 1.4$$

Dónde:

B_m = anchura media de la cuenca.

L = longitud de la cuenca.

Radio o relación de elongación

El radio o la relación de elongación (R_e) Definido por Schumm, es la relación entre el diámetro de un círculo de área igual a la cuenca y la longitud de la cuenca (L). Expresando el diámetro en función del área de la cuenca (A) queda:

$$R_e = 1.128 \frac{\sqrt{A}}{L} \quad 1.6$$

Dónde:

A =área de la cuenca

L =longitud de la cuenca

Radio o relación de circularidad

El radio o la relación de circularidad, (R_{ci}), es el cociente entre el área de la cuenca (A) y la del círculo cuyo perímetro (P)

$$R_{ci} = \frac{4\pi A}{P^2} \quad 1.7$$

Dónde:

P = perímetro de la cuenca

Rectángulo equivalente

Para poder 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 tanto igual coeficiente de Gravelius (coeficiente de compacidad, K_c). 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.

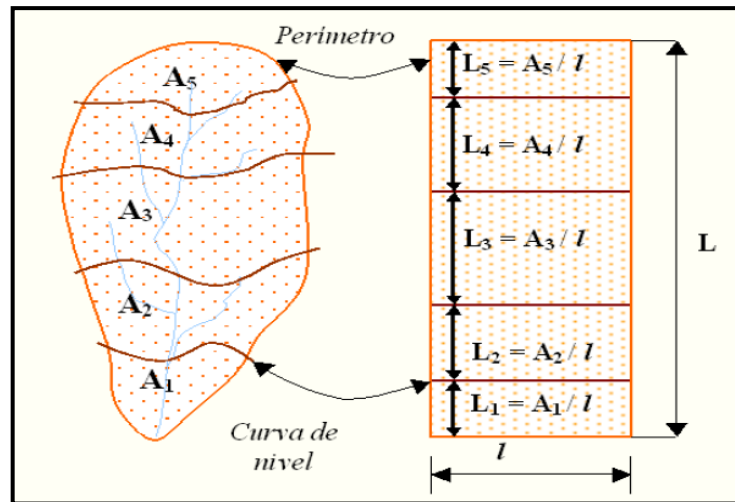


Figura 1.5. Representación de un rectángulo equivalente

$$L = \frac{K_C * \sqrt{A}}{1.128377} * \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{K_C} \right)^2} \right] \quad 1.8$$

$$l = \frac{K_C * \sqrt{A}}{1.128377} * \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{K_C} \right)^2} \right] \quad 1.9$$

Dónde:

L = Lado mayor del rectángulo.

l = Lado menor del rectángulo.

K_C = Coeficiente de compacidad.

A = Área de la cuenca.

1.3.7 Relieve y altitud 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 de la cuenca. La altitud media, el rango de alturas, la elevación de la cuenca, la altitud es determinante de la temperatura y la precipitación. Llamas (1993)

a. La relación de relieve

Schumm (1956) propone una expresión muy simple para la descripción del relieve, (Relif Ratio) la Relación de Relieve (R_r) en función de la longitud de la cuenca L y de la diferencia de altura entre la salida de la cuenca y el punto más alto en la divisoria de la cuenca (h)

b. La curva hipsométrica

Es la representación gráfica del relieve de una cuenca. Representa el estudio de la variación de la elevación de los varios terrenos de la hoya 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. Dicha figura grafica se puede determinar por el método de las cuadrículas del numeral anterior o planimetrando las áreas entre curvas de nivel. La curva hipsométrica representa, entonces, el porcentaje de área acumulado igualado o excedido para una cota determinada (Monsalve, G. 1995).

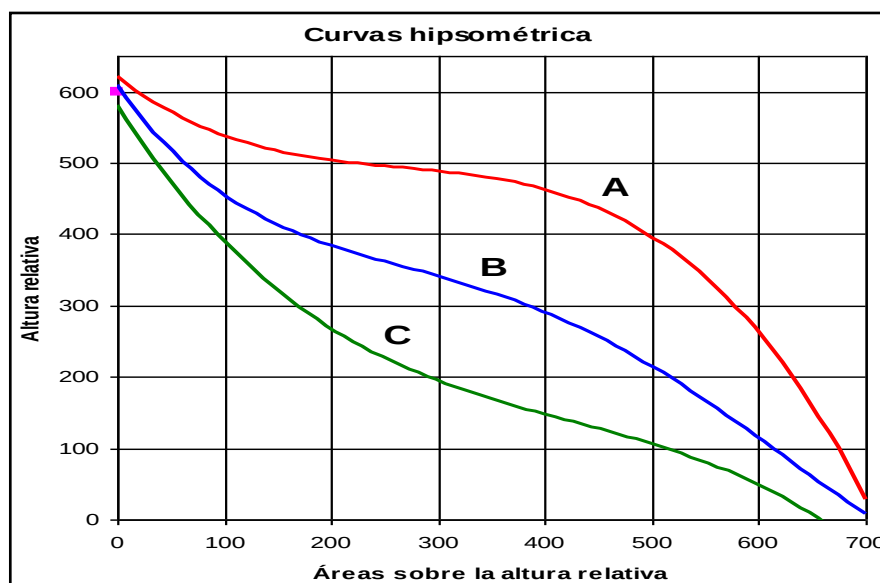


Figura 1.6. Curva hipsometrica de la cuenca

La curva superior (curva A) refleja una cuenca con un gran potencial erosivo; la curva intermedia (curva B) es característica de una cuenca en equilibrio; y la curva inferior (curva C) es típica de una cuenca sedimentaria. Quedarían, así, representadas distintas fases de la vida de los ríos:

Curva A: fase de juventud

Curva B: fase de madurez

Curva C: fase de vejez

De esta curva se puede extraer una importante relación, y es la relación hipsométrica:

$$R_h = \frac{S_s}{S_i} \quad 1.10$$

Dónde:

S_s = áreas sobre la curva hipsométrica

S_i = áreas bajo la curva hipsométrica.

Según Strahler (LLamas, 1993), la importancia de esta relación reside en que es un indicador del estado de equilibrio dinámico de la cuenca. Así, cuando $R_h = 1$, se trata de una cuenca en equilibrio morfológico. La siguiente ilustración muestra tres curvas hipsométricas correspondientes a otras tantas cuencas que tienen potenciales evolutivos distintos.

c. Pendiente

La pendiente de una cuenca, es un parámetro muy importante en el estudio de toda cuenca, tiene una relación importante y compleja con la infiltración, la escorrentía superficial, la humedad del suelo, y la contribución del agua subterránea a la escorrentía. Es uno de los factores, que controla el tiempo de escurrimiento y concentración de la lluvia en los canales de drenaje, y tiene una importancia directa en relación a la magnitud de las crecidas (Villón, M. 2002).

El método más antiguo para obtener la pendiente media consiste en ponderar las pendientes medias de superficies o bandas de terreno en las que queda dividida la cuenca por las curvas de nivel. Resulta finalmente la expresión:

$$S = \frac{\Delta h L_{cn}}{A} \quad 1.11$$

Dónde:

S = pendiente media de la cuenca,

Δh = la equidistancia entre curvas de nivel,

L_{cn} = la longitud de todas las curvas de nivel y

A = el área total de la cuenca.

La pendiente media del cauce principal

$$S_c = \frac{(\text{Elevación en el nacimiento} - \text{Elevación a la salida})}{\text{Longitud de la corriente}} \quad 1.12$$

1.3.8 Sistema de drenaje

El análisis cuantitativo de redes hidrográficas se basa en el método de Horton (1945) de clasificación de la red de canales, basado en el sistema de Gravelius.

Horton (1945) 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: las llamadas ley de los números de corriente y ley de las longitudes de corriente

Densidad de drenaje (D_d)

Es la relación entre la longitud total de los cursos de agua de la hoya y su área total. (Horton 1945)

$$D_d = \frac{L}{A} \quad 1.13$$

Dónde:

L: longitud total de las corrientes de agua, en km

A: área total de la hoya, en km^2

D_d usualmente toma valores entre 0.50 km/km^2 para hoyas con drenaje pobre hasta 3.5 km/km^2 para hoyas excepcionalmente bien drenadas.

Extensión media de la escorrentía superficial

Se define como la distancia media en que el agua de lluvia tendría que escurrir sobre los terrenos de una hoya, en caso de que la escorrentía se diese en línea recta desde donde la lluvia cayó hasta el punto más próximo al lecho de una corriente cualquiera de la hoya.

$$E_s = \frac{A}{4L} \quad 1.14$$

Dónde:

E_s : extensión media de la escorrentía superficial, en km

L: longitud total de las corrientes de agua en la hoya hidrográfica, en km

A: área de drenaje total de la hoya, en km^2

1.3.9 El tiempo de concentración de una cuenca

Es el tiempo requerido para que, durante un aguacero uniforme, se alcance el estado estacionario; es decir, el tiempo necesario para que todo el sistema (toda la cuenca) contribuya eficazmente a la generación de flujo en el desagüe. (Llamas, 1993)

a. Fórmula de Kirpich

Calcula el tiempo de concentración, t_c , en minutos, según la expresión

$$T_c = 0.01947 L^{0.77} S^{-0.385} \quad 1.15$$

Dónde:

L = la longitud del cauce principal de la cuenca, en metros.

s = diferencia entre las dos elevaciones extremas de la cuenca, en metros, dividida por l (es decir, la pendiente promedio del recorrido principal en m/m).

1.3.10 Los ríos

Un río es un medio con un flujo básico de agua y sedimento (precedente del cauce o de la cuenca). Cuando este flujo no presenta ningún cambio espacial o temporal, simplemente el río da una aportación de agua y sedimentos. (Martín, J. 2002).

1.3.11 Clasificación de los cursos de agua

Con base en la constancia de la escorrentía, los cursos de agua se pueden dividir en:

a) Perennes

Corrientes con agua todo el tiempo.

El nivel agua subterráneo mantiene una alimentación continua y no desciende nunca debajo del lecho del río. (Martín, J. 2002).

b) Intermitentes

Corrientes que escurren en estaciones de lluvia y se secan durante el verano.

El nivel del agua subterráneo se conserva por encima del nivel del lecho del río solo en la estación lluviosa. En verano el escurrimiento cesa, u ocurre solamente durante o inmediatamente después de las tormentas. (Martín, J. 2002).

c) Efímeras

Existen apenas durante o inmediatamente después de los períodos de precipitación, y solo transportan escurrimiento superficial.

El nivel de agua subterráneo se encuentra siempre debajo del nivel inferior del lecho de la corriente; no hay, por lo tanto, posibilidad de escurrimiento. (Martín, J. 2002).

d) Aluviales

Se llaman ríos aluviales aquellos que discurren por materiales sedimentarios modernos, generalmente aportados por el propio río (Martín, J. 2002).

1.3.12 Lagunas

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 calustre. Otra característica habitual de las lagunas es que se presentan agrupadas en aquellos lugares en los que los fluviales no pueden desembocar en otros ríos mayores o en el mar, y desaguan en deprecaciones de suelos impermeables, que contienen el agua sin filtrarla, desecándose por evaporación. Este fenómeno se denomina endorreísmo. (Martín, J. 2002).

1.4 DETERMINACIÓN DE TORMENTA DE DISEÑO

Una tormenta de diseño es un patrón de precipitación definido para utilizarse en el diseño de un sistema hidrológico. Usualmente la tormenta de diseño conforma la entrada al sistema, y los caudales resultantes a través de este se calculan utilizando procedimientos de lluvia esorrentía y tránsito de caudales. Una tormenta de diseño puede definirse mediante un valor de profundidad de precipitación en un punto, mediante un hietograma de diseño que especifique la distribución temporal de la precipitación durante una tormenta.

Para determinación de la tormenta de diseño sería recomendable contar con información obtenida a través de un pluviógrafo, ya que este equipo provee información instantánea, sin embargo, la mayoría de estaciones de medición de precipitaciones solo cuentan con pluviómetros que solo proveen de valores medios (MTC, 2011)

1.5 RELACIONES INTENSIDAD –DURACIÓN- FRECUENCIA

Uno de los primeros pasos que debe seguirse en muchos proyectos de diseño hidrológico, como el diseño de drenaje urbano, es la determinación del evento o los

eventos de lluvia que deben usarse. La forma más común de hacerlo es utilizar una tormenta de diseño o un evento que involucre una relación entre la intensidad de lluvia (o profundidad), la duración y las frecuencias o períodos de retorno apropiados para la obra y el sitio. En muchos casos existen curvas estándar de intensidad-duración-frecuencia (IDF) disponibles para el sitio, luego no hay que llevar a cabo este análisis. Sin embargo, es conveniente entender el procedimiento utilizado para desarrollar estas relaciones. Usualmente los datos se presentan en forma gráfica, con la duración en el eje horizontal y la intensidad en el eje vertical, mostrando una serie de curvas, para cada uno de los períodos de retorno de diseño.

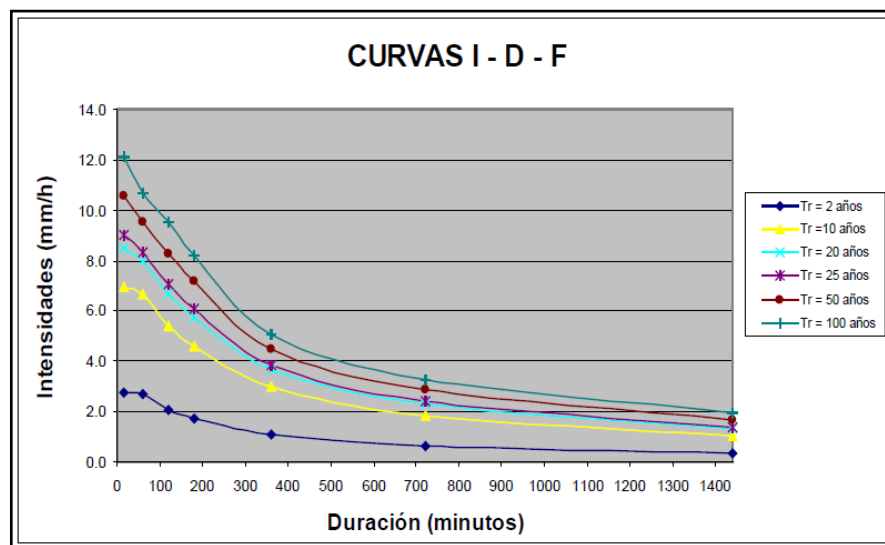


Figura 1.7. Ejemplo de curvas intensidad-duración-frecuencia para lluvia máxima

La intensidad es la tasa temporal de precipitación, es decir, la profundidad por unidad de tiempo (mm/h o pulg/h). Puede ser la intensidad instantánea o la intensidad promedio sobre la duración de la lluvia. Comúnmente se utiliza la intensidad promedio, que puede expresarse como:

$$i = \frac{P}{T_d} \quad 1.16$$

Dónde:

P = profundidad de lluvia (mm o pulg)

T_d = duración, dada usualmente en horas.

La frecuencia se expresa en función del período de retorno, T, que es el intervalo de tiempo promedio entre eventos de precipitación que igualan o exceden la magnitud de diseño (Chow, V. 2000).

a) Método IILA

Son escasas las estaciones que ofrecen información automatizada de registros pluviales, por lo que existe bastante dispersión en los datos. Con el método IILA, la intensidad de lluvia que tiene una duración t (en horas), para un período de retorno T (en años), es:

$$i_{t,T} = a(1 + K \log T)t^{n-1} \quad 1.17$$

Y la precipitación $P_{t,T}$ tiene la siguiente relación:

$$P_{t,T} = a(1 + K \log T)t^n \quad 1.18$$

Según la metodología empleada las fórmulas son válidas para $3 \leq t \leq 24$ horas

Para $t \leq 3$ horas se usa:

$$i_{t,T} = a(1 + K \log T)(t + b)^{n-1} \quad 1.19$$

Las constantes a , b , K y n fueron determinados en el “Estudio de la Hidrología del Perú” realizado por el convenio IILA-SENAMHI-UNI (plano n.2-C), 1983.

Hietogramas de precipitación de diseño utilizando las relaciones IDF

En los métodos de diseño en hidrología desarrollados hace muchos años, tal como el método racional, solo se utilizaba el caudal pico. No existía consideración alguna sobre el tiempo de distribución del caudal (el hietograma de caudal) o sobre la distribución temporal de la precipitación (el hietograma de precipitación). Sin embargo, los métodos de diseño desarrollados más recientemente, los cuales utilizan el análisis de flujo no permanente, requieren de predicciones confiables del hietograma de diseño para obtener los hidrogramas de diseño (Chow, V. 2000).

a) Método de bloque alterno

El método del bloque alterno es una forma simple de desarrollar un hietograma de diseño utilizando una curva de intensidad-duración-frecuencia. El hietograma de diseño por este método especifica la profundidad de precipitación que ocurre en n intervalos de tiempo sucesivos de duración Δt sobre una duración total de $T_d = n\Delta t$. Después de seleccionar el período de retorno de diseño, la intensidad es leída en una curva IDF para

cada una de las duraciones Δt , $2 \Delta t$, $3\Delta t, \dots$, y la profundidad de precipitación correspondiente se encuentra al multiplicar la intensidad y la duración. Tomando diferencias entre valores sucesivos de profundidad de precipitación, se encuentra la cantidad de precipitación que debe añadirse por cada unidad adicional de tiempo Δt . Estos incrementos o bloques se reordenan en un secuencia temporal de modo que la intensidad máxima ocurra en el centro de la duración requerida T_d y que los demás bloques queden en orden descendente alternativamente hacia la derecha y hacia la izquierda del bloque central para formar el hietograma de diseño (Chow, V. 2000).

1.6 PRECIPITACIÓN TOTAL Y EFECTIVA

El exceso de precipitación o precipitación efectiva (P_e), es la precipitación que no se retiene en la superficie terrestre y tampoco se infiltra en el suelo. Después de fluir a través de la superficie de la cuenca, el exceso de precipitación se convierte en escorrentía directa a la salida de la cuenca bajo la suposición de flujo superficial hortoniano. Las gráficas de exceso de precipitación vs. el tiempo o hietograma de exceso de precipitación es un componente clave para el estudio de las relaciones lluvia-escorrentía. La diferencia entre el hietograma de lluvia total y el hietograma de exceso de precipitación se conoce como abstracciones o pérdidas. Las pérdidas son primordialmente agua absorbida por filtración con algo de intercepción y almacenamiento superficial (MTC, 2011)

1.7 MÉTODO DIRECTO

Es un método hidráulico, llamado de sección y pendiente, en el cual el caudal máximo se estima después de los pasos de una avenida, con base en datos específicos obtenidos en el campo (Chow, V. 2004).

$$Q = \frac{AR^{2/3}S^{0.5}}{n} \quad 1.30$$

En donde:

Q: Caudal máximo, en (m^3/s)

A: Área de la sección hidráulica en (m^2)

S: Pendiente del fondo en (m/m)

R: Radio hidráulico en (m)

n: Coeficiente de Manning

1.8 MODELO HIDROLÓGICO

En hidrología suele utilizarse modelos para tratar de representar el comportamiento del sistema hidrológico (el prototipo); un modelo puede ser material o formal:

- **El modelo material**, es una representación física del prototipo, con una estructura más simple pero con propiedades similares a las del prototipo. Estos modelos materiales pueden ser físicos o análogos.
- **El modelo formal**, es una abstracción matemática de una situación idealizada que preserva a grandes rasgos las propiedades estructurales importantes del prototipo; en hidrología aplicada (ingenieril) todos los modelos utilizados son de tipo formal y suelen denominarse modelos matemáticos.

En general, un modelo matemático puede ser: **Teórico, Conceptual o Empírico**. El **Teórico** se basa en un conjunto de leyes generales; mientras que **el Empírico** usa las inferencias derivadas del análisis de datos y, **el Conceptual** se ubica entre estos dos.

En hidrología aplicada (ingenieril) se usan actualmente cuatro tipos de modelos matemáticos: **(1) Determinístico o físicamente basado**, se formula utilizando las leyes físicas que rigen los procesos involucrados descritos mediante ecuaciones diferenciales. **(2) probabilística**, es gobernado por las leyes del azar y las probabilidades. **(3) Conceptual**, es una representación simplificada de los procesos físicos que se obtiene concentrando (integrando) las variaciones espaciales o temporales. **(4) Paramétrico**, representa los procesos hidrológicos por medio de ecuaciones algebraicas que contienen parámetros a determinar empíricamente. En general, todos los métodos de análisis en ingeniería hidrológica pueden clasificarse en alguno de los 4 tipos de modelos recién descritos, veamos algunos ejemplos típicos.

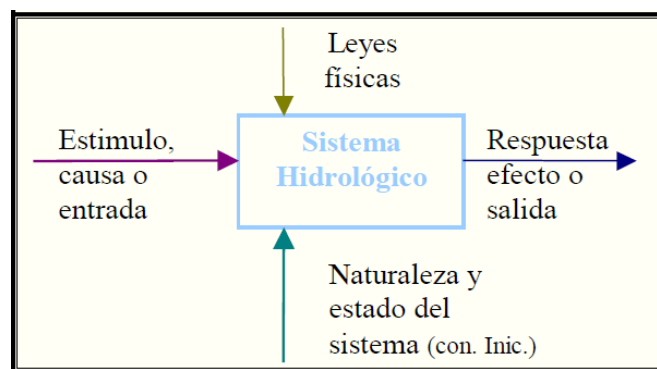


Figura 1.8. Sistema hidrológico

1.9 MODELOS PRECIPITACIÓN – DESCARGA

Los modelos de precipitación-descarga más extendidos en hidrología son aquellos que estiman el balance entre las entradas de agua al sistema (precipitación) y las salidas del mismo (evaporación, escorrentía y descarga del acuífero) reproduciendo simplificadaamente los procesos del ciclo hidrológico.

Estos procesos se representan por una determinada formulación y unos parámetros cuyos valores habrá que estimar en la cuenca a estudiar, bien con datos de aforo si los hay, bien por analogía con otras cuencas en que si exista esa información (regionalización de parámetros) Dentro de estos modelos precipitación-descarga con balance de humedad. (Ordoñez 2012)

1.10 MODELO PROPUESTO POR LUTZ SCHOLZ - 1980

Este modelo hidrológico es 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); fue desarrollado por el experto Lutz Scholz para cuencas de la sierra peruana entre 1979 y 1980 en el marco de la Cooperación Técnica de la República de Alemania a través del Plan Meris II.

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; el procedimiento que siguió el experto Lutz Scholz fue:

- Analizó los datos hidrometeorológicos de 19 cuencas entre Cuzco y Cajamarca y procedió a calcular los parámetros necesarios para la descripción de los fenómenos de la escorrentía promedio.
- En un segundo paso, estableció un conjunto de modelos estocásticos parciales de los parámetros para el cálculo de caudales en estas cuencas que carecen de información hidrométrica. Aplicando los datos meteorológicos regionalizados para la cuenca respectiva y los modelos parciales, se puede calcular los caudales mensuales.

- El tercer paso permite la generación de caudales para un período extendido en el punto de captación proyectada por un cálculo combinando (la precipitación efectiva con las descargas del mes anterior por un proceso markoviano) y, calibrando el modelo integral por aforos ejecutados.

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.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1 UBICACIÓN

La zona de estudio se encuentra entre los distritos de Socos, Ayacucho y San José de Ticllas, provincia de Huamanga, que está ubicado a 24 Km. al Norte de la ciudad de Ayacucho, específicamente la microcuenca del río Chillico se localiza desde la coordenada UTM 576209.038 Este, 8544102.98 Norte, desde una altitud de 2450.00 msnm hasta los 4250.00 msnm, con una superficie aproximada de 121.00 Km².

2.1.1 Ubicación política

Región	: Ayacucho
Departamento	: Ayacucho
Provincia	: Huamanga
Distrito	: Socos, San José de Ticllas y Ayacucho
Lugar	: Microcuenca Chillico

2.1.2 Ubicación geográfica

Latitud Sur	: 13°04'26"
Longitud Oeste	: 74°16'28"
Altitud	: 2450 – 4250 m.s.n.m.

2.1.3 Climatología

La microcuenca hidrográfica Chillico está en un rango de altitud desde los 2450 msnm hasta los 4250 msnm, presenta un clima más seco con mucha diferencia de temperatura entre el día y la noche. Las lluvias se presentan con mayor intensidad desde diciembre a febrero.

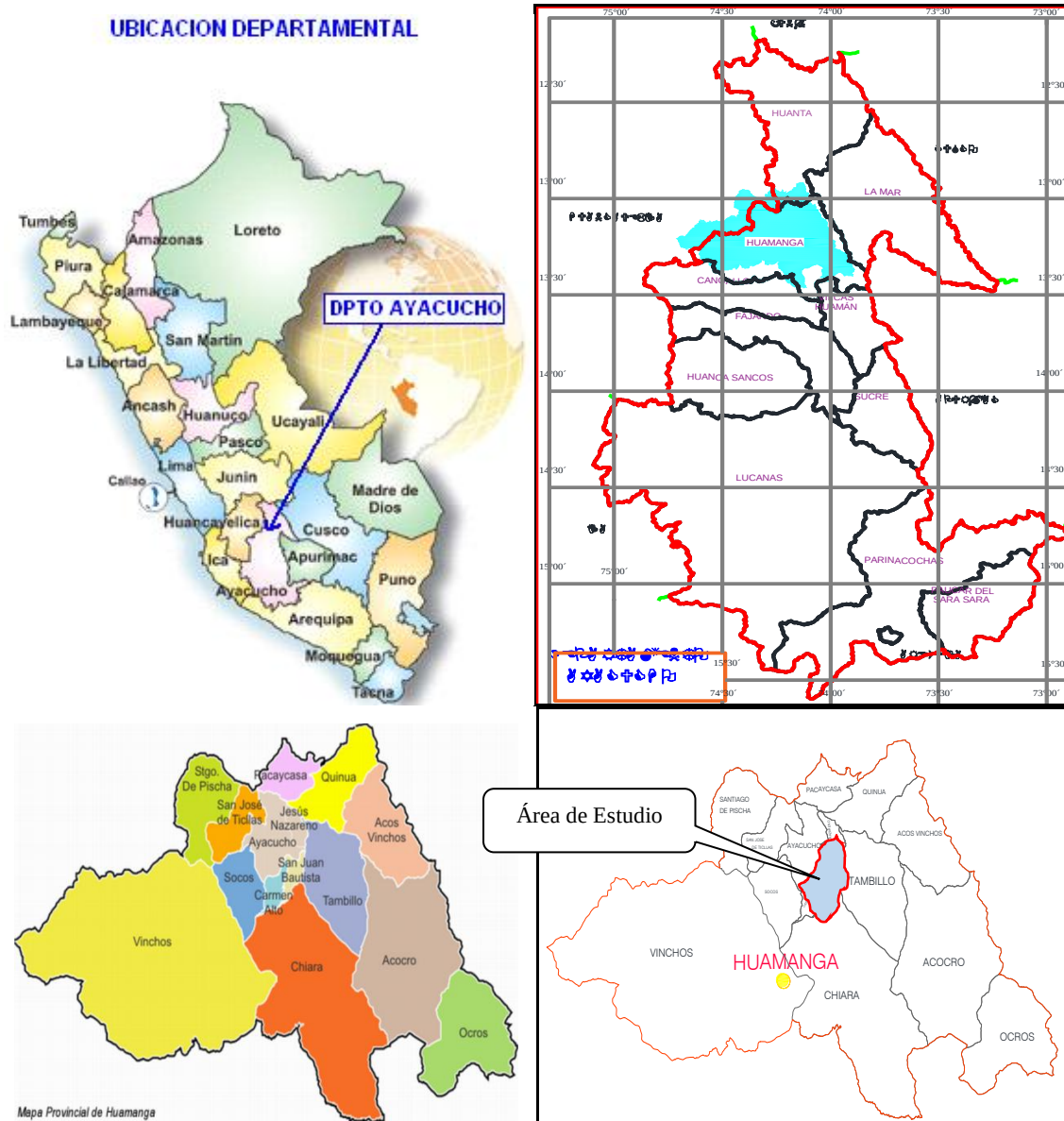


Figura 2.1. Ubicación experimental

2.1.4 Zonas de vida

Se tiene diferentes especies de plantas y animales dependiendo de las alturas o pisos ecológicos como se detalla a continuación:

Fauna: Vizcachas, halcones, aves de diferentes especies en cuanto a la fauna típica, encontramos ejemplares tales como el ovino, vacuno, caprino, cerdo y el cuy.

Flora: Los árboles característicos son el eucalipto y el pino en menor escala, los árboles y arbustos oriundos del lugar son: el aliso o lambrás, , chamana, huarango, tuna, molle, cactus de diferentes variedades, cabuya, la retama, la gongapa, la arracacha, el yacón, la

ñaña, el pashullo y los cultivos característicos son: el maíz, la calabaza, la granadilla, el tomate, el saúco, la cebolla, wiñay-wayna, quinua, cañihua, oca y olluco, la papa, mashua y la cebada; ambas, de poco cultivo.

2.1.5 Disponibilidad hídrica

El río Chillico es el río principal de la cuenca en estudio, el cual nace en las alturas del distrito de socos, inicialmente lo hace con el nombre de Orqowasi, cambia de nombre a Chillico a los 4.55 Km. El caudal de este río desaparece por infiltración en 13.5Km. Debido a gran cantidad de presencia de agregados y vuelva a aflorar en el Km. 17.5, con la ayuda del manante Sujucucho. La principal fuente de abastecimiento de agua a la parte alta de la cuenca, para riego es suministrado por el proyecto cachi, canal margen izquierdo que continua por la parte alta del distrito de Ayacucho llegando hacia el distrito de Socos, como también se cuenta con diferentes manantes de pequeños caudales especialmente para el consumo humano. En la parte baja de la cuenca se cuenta con un manante llamado Sujucucho el cual abastece de agua para riego para la comunidad de trigopampa (margen derecho e izquierdo) para las actividades de riego.

2.1.6 Vías de acceso

A la zona de estudio se tiene acceso vía carretera asfaltada Ayacucho-Socos de 16 km. el tiempo de viaje es de media hora, Ayacucho – Chillico (Cota mínima de cuenca) es de 24 km. el tiempo de viaje es de 50min. La longitud recorrida entre la cota mínima y el distrito de Socos se realiza en un tiempo de una hora y media con una longitud de 33Km.

Tabla 2.1. Vías de acceso al proyecto

Desde	Hasta	Distancia (Km.)	Tiempo (hora: min)	Tipo de vía	Estado
Ayacucho	Socos	16	00:30	Carretera asfaltada	Buena
Ayacucho	Cota mínima de cuenca	24	00:50	Carretera asfaltada	Buena
Socos	Cota mínima de cuenca	33	01:30	Carretera afirmada	Regular

Fuente: Elaboración propia (2016)

2.2 MATERIALES, EQUIPOS Y PROGRAMAS

Entre los materiales, equipos y programas que se utilizó durante la elaboración de estudio son:

2.2.1 Materiales

- Plano topográfico de planta y perfil longitudinal
- Carta nacional digitalizada de los cuadrantes 27ñ
- Libreta de campo
- Datos hidrológicos de las estaciones allpachaca, Chontaca, Tambillo y Quinua.
- Documentos de información cartográfica del gobierno regional de Ayacucho.

2.2.2 Equipos

- Laptop
- Impresora
- Cámara fotográfica
- Cronometro
- GPS
- Wincha de 50m.
- Flexometro
- Calculadora científica

2.2.3 Programas

- ArcGis 10.3
- AutoCAD Civil 3D 2013
- Google earth
- Google Maps
- Microsoft office 2013

2.3 METODOLOGÍA

2.3.1 Información básica

a. Recopilación y revisión de estudios sobre evaluación de recursos hídricos

Siendo la cuenca del río Chillico una de las más explotadas, para el aprovechamiento de agregados, se ha realizado estudios limitados para aprovechar el recurso hídrico con diferentes fines. Por lo tanto existe información precaria de estudios relacionados, se menciona como referencia los siguientes:

- Inventario y evaluación de los recursos hídricos de la cuenca del río Mantaro Sector Ayacucho (2012); realizado por el gobierno regional de Ayacucho.

- Estudio inventario de las fuentes de aguas superficiales en el ámbito del río huamanga, bajo la supervisión técnica de la dirección de conservación y planificación de recursos hídricos – ALA- AYACUCHO - 2012.
- Antecedentes dentro de las instituciones relacionadas con el uso de los recursos hídricos de la microcuenca del río Chillico (ANA, ALA Huamanga, SENAMHI, SEDAPAL, EDEGEL, IGN, etc.).
- Evaluación de recursos hídricos superficiales en la cuenca del río Mantaro.
- Tesis evaluación hídrica de la cuenca del río chacco Ayacucho, presentado por: Mayvi Yesenia Escalante Palomino

b. 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 12.5 m del IGN digitalizadas en Sistema de Información Geográfica (SIG); cobertura: red hidrográfica, curvas de nivel y nombres de la red hidrográfica.
- Mapas temáticos como el de hidrográfico, hidrológico, ecología, geología, grupos de suelos y capacidad de uso, y cobertura vegetal de la cuenca del río Huamanga, elaborados en el estudio de inventario y evaluación de los recursos hídricos de la cuenca del río Mantaro sector Ayacucho (2012); realizado por el gobierno regional de Ayacucho.
- Mapa físico político del Perú, escala 1/1000000 Instituto Geográfico Nacional (IGN).
- Carta Nacionales (de la zona de estudio 27 ñ) a escala 1/100,000 del Instituto Geográfico Nacional.

c. Información Meteorológica

En la cuenca del río Cachi existen alrededor de 11 estaciones meteorológicas y 02 estaciones vecinas, las mismas que fueron instaladas por instituciones tales como Senamhi, por el Proyecto Río Cachi (OPEMAN), entre otras, para la presente tesis se han utilizado 4 estaciones instaladas que se encuentran en la cuenca del río Cachi.

Estas estaciones meteorológicas proporcionan la información meteorológica, consistente en precipitación (total mensual y máxima en 24 horas), temperatura (media, máxima y mínima), humedad relativa, evaporación, horas de sol y velocidad del viento.

Previo una solicitud a las instituciones encargadas de su registro de esta información, como es el caso de OPEMAN, que vienen manejando esta información.

Las estaciones que se tomaron en cuenta son 04, estaciones aptas para el presente análisis y su tratamiento, las principales características de estas estaciones tales como ubicación geográfica, latitud, período de funcionamiento, entre otros se presentan en anexo 02, su distribución no es la más adecuada por lo que es necesario realizar un método de regionalizar las estaciones para tener los datos más confiables para el cálculo de la precipitación media de la microcuenca en estudio.

Tabla 2.2. Estaciones meteorológicas consideradas para el estudio de la cuenca

ESTACIONES METEOROLOGICAS UTILIZADAS EN 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		
EN FUNCIONAMIENTO											
1. ALLPACHACA	PLU	PERC	13°23'29"	74°16'04"	3541.0	CACHI	AYACUCHO	HUAMANGA	CHIARA	1992-2013	21.0
2. CHONTACA	PLU	PERC	13°17'44"	74°01'33"	3497.0	CACHI	AYACUCHO	HUAMANGA	ACOCRO	1992-2013	21.0
3. TAMBILLO	PLU	PERC	13°13'06"	74°06'22"	3328.0	CACHI	AYACUCHO	HUAMANGA	TAMBILLO	1992-2013	21.0
4. QUINUA	PLU	SENAMHI	13°02'1"	74°08'1"	3316.0	CACHI	AYACUCHO	HUAMANGA	QUINUA	1980 - 2012	33.0

Fuente: Opeman GRA.

Tabla 2.3. Longitud de registro de las estaciones Utilizadas

Nº	ESTACION																																			
		ALTITUD (msnm)	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
1	ALLPACHACA	3541																																		
2	CHONTACA	3497																																		
3	QUINUA	3316																																		
4	TAMBILLO	3328																																		

Fuente: Opeman GRA

2.3.2 Trabajos de campo

Luego de revisar la información existente de los estudios afines, cartas digitales e impresas y otros elementos que son necesarios para el desarrollo del estudio de evaluación de recursos hídricos superficiales, para ello se programó el reconocimiento escalonado de la microcuenca del río Chillico, contando para ello con cartas nacionales y movilidad (camioneta y motocicleta). Durante el mes de abril se ha realizado el reconocimiento de la zona de estudio de la microcuenca del río Chillico el mes de abril se realizó un primer trabajo sobre el inventario de recursos hídricos superficiales y de la red de estaciones hidrométricas existentes en la microcuenca del río Chillico. Durante el mes de mayo se realizó un segundo trabajo sobre la identificación para el represamiento de embalses y reservorios posibles.

Los trabajos de campo realizados durante la ejecución del estudio corresponde a:

a) Reconocimiento de la microcuenca de estudio

- Reconocimiento de la microcuenca del río Chillico, con la ayuda de un guía. La microcuenca está conformado básicamente por un río principal, río Chillico contando para ello con carta nacional digitalizadas a escala 1:350 000, mapas impresos de google Eart, GPS, Cámara fotográfica, libreta de campo y una camioneta.
- 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.
- Reconocimiento de la infraestructura hidráulica mayor existente en la Microcuenca, áreas bajo riego, irrigaciones, poblacional, otros.
- Reconocimiento de la laguna y reservorios existentes, como: Yanayaco y otros.
- Reconocimiento de las estaciones meteorológicas de la cuenca.
- Aforos en las principales fuentes tributarias, en los puntos de interés en las subcuencas seleccionadas.

b) Inventario de recursos hídricos superficiales de la microcuenca de estudio

- El inventario de recursos hídricos, se realizaron bajo una metodología participativa del equipo de trabajo sobre las fuentes de agua superficial en la microcuenca del río

Chillico, tales como **lagunas, reservorios, ríos, quebradas, manantiales, y humedales**, elaborándose una base de datos alfanumérica y cartográfica digital de diferentes características físicas y de ubicación espacial de dichas fuentes, que reúne la información del estado actual del tipo y derecho de uso, disponible para optimizar la planificación de su uso potencial.

- Los datos de campo fueron anotados en el respectivo formato único de inventario de fuentes de agua superficial.
- Para la ubicación geográfica de las fuentes de agua se utilizaron cartas del IGN impresas a escala 1:50,000 y 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 N° 01 del anexo 3**.
- El inventario de fuentes de agua superficial disponibles en la cuenca permitirá, no sólo conocer el potencial hídrico de la cuenca, sino principalmente tener disponible una fuente de información para una mejor planificación y gestión del uso óptimo y sostenible de dichos recursos.

c) Método de recolección de datos

Debido a la naturaleza de la materia del presente estudio, se empleó el método descriptivo, el mismo que se complementó con el estadístico, análisis, síntesis, deductivo, inductivo entre otros.

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

- Llenado del formato único de inventario
- Mediciones directas en el campo
- Aforo de los ríos
- Ubicación de lagunas
- Identificación de ojos de agua
- Entrevistas con los actores de la cuenca
- Análisis documental
- Toma de imágenes fotográficas

d) Aforos realizados en campo

En el trabajo de campo la labor más principal fue realizar los aforos respectivos de los ríos principales y afluentes de la microcuenca en estudio, a continuación se describe los métodos de aforos que se realizaron.

Método Flotador

Flotador, 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 L (m) en un tiempo t (seg.)

El procedimiento de aforo es lo siguiente:

- El primer paso fue seleccionar un lugar adecuado
- El segundo paso fue la medición de la velocidad, teniendo una longitud conocida y un material tipo corcho que sirvió de flotador.
- El tercer paso fue la medición del área de la sección transversal del río, para lo cual se midió el ancho del tirante del río con la ayuda de una wincha, y luego se procedió a seccionar con distancias exactas, para luego medir en estas distancias las alturas, perpendicular a la wincha extendida sobre el tirante del río.

Para una adecuada medición de caudales se deberá considerar lo siguiente:

- El tramo o sección que se midieron fue de tipo canal abierto y de lo más uniforme posible, más o menos recto, de fácil acceso, sin mucha turbulencia.
- La medición del ancho se hizo con la ayuda de una wincha para medir los tirantes del curso del agua.

Método Volumétrico

Permite medir pequeños caudales, como los que ocurren en surcos de riego, pequeñas acequias y tuberías. El método requiere de:

- Depósito (balde o tambor) de volumen conocido en el cual se colectara el agua.
- Cronometro para medir el tiempo de llenado del depósito.
- Repetir 2 o 3 veces el procedimiento y promediar para mayor exactitud.

Metodología

El procedimiento de cálculo consiste en dividir el volumen de agua colectado en el depósito por el tiempo (en segundos) que demoró en llenarse.

El resultado expresa el caudal medio en litros por segundo.

$$\text{Caudal (Q)} = \text{volumen (l)} / \text{tiempo(s)}$$

e) Descripción general de la microcuenca del río Chillico

- La microcuenca del río Chillico nace en la parte alta del distrito de Socos a más de 4000 msnm y discurre en dirección norte para alimentar al río Cachi y luego al río Mantaro.
- Políticamente se ubica dentro de la provincia de Huamanga, y parte de los distritos de Socos, San José de Ticllas y Ayacucho del departamento de Ayacucho.
- En la microcuenca del río Chillico se distingue 1 río principal de fuentes de agua superficial.
- Lo constituye el río Chillico que es aprovechado por diferentes sectores en su recorrido; y que tienen un uso agrícola y extracción intensiva de agregados y se localizan principalmente en la parte baja de la cuenca, donde este río es tributario del río Cachi. El otro tipo de fuente lo constituyen las lagunas, manantiales, localizadas en diferentes partes de la microcuenca.

- **El río Chillico**

El río Chillico nace en las alturas del distrito de Socos, principalmente de 03 manantes tales como manante Tuldurumi, Chaupichaca y Arrimana.

La Cuenca del río Chillico – Huamanga es uno de los colectores de los tributarios que drenan las vertientes del río Cachi, abarcando los distritos de Socos, San José de Ticllas y Ayacucho.

Los principales tributarios del río Chillico son: Allpamayo, Pallcca, Laranpuquio, Puca Ccacca y Matar Ccasa.

El punto de intersección de estos ríos, está ubicado entre las coordenadas UTM 18L 8524122.74 Norte y 571330.14 Este y se encuentra localizada en el ámbito del centro poblado de Chillico – Huamanga.

2.3.3 Procesamiento y tratamiento de información

2.3.3.1 Procesamiento y sistematización del inventario realizado

a) Recursos hídricos superficiales

El procesamiento de los datos se realizó de la identificación de las distintas fuentes hídricas superficiales en la microcuenca del río Chillico, que se ha desarrollado en función a las visitas de campo hechas en diferentes oportunidades, en las cuales se han hecho los inventarios de los ríos y sus aforos. Para ello se procedió el procesamiento de los datos inventariados, con la aplicación del Excel.

Según el “Inventario de fuentes de agua superficial”, de la microcuenca media y alta del río Chillico; Se distingue básicamente cinco tipos de fuentes de agua superficial: quebradas, manantiales, lagunas naturales, ríos y canales. En lo que respecta a la distribución espacial, el inventario realizado en la microcuenca del río Chillico, existen en total 70 fuentes de recurso hídrico superficial distribuido en: ríos, quebradas, manantiales, lagunas (naturales, represadas) y bofedales.

2.3.4 Delimitación hidrográfica de la cuenca

Mapa base de la microcuenca del río Chillico – Huamanga

Para la realización del siguiente mapa fue necesario incorporar capas provenientes de otras instituciones como INRENA (Instituto Nacional de Recursos Naturales) y GRA (Gobierno Regional de Ayacucho), Zee Ayacucho, estas capas son:

- Fisiografía, hidrografía, forestal, geomorfología vial, limites

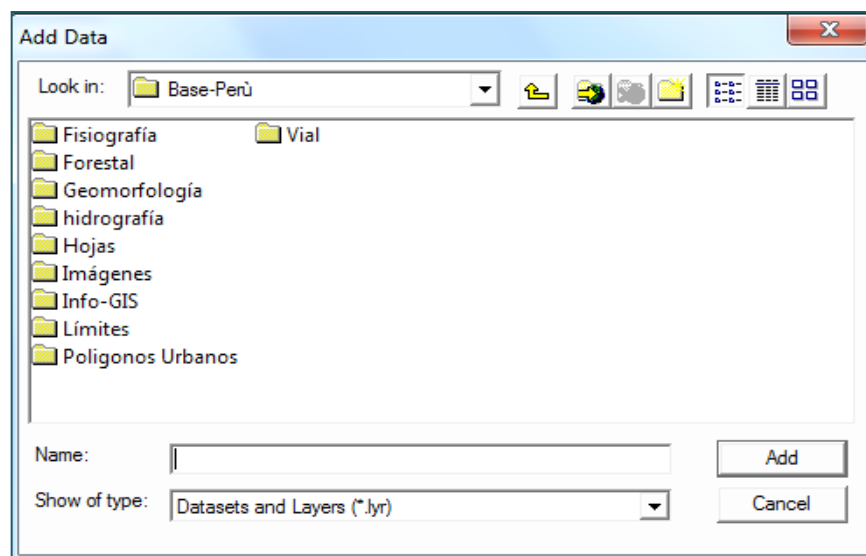


Figura 2.2. Base de datos de ArcGis

Gracias a esta cobertura de capas base se procedió a hacer la delimitación de la microcuenca, las misma que es motivo de estudio de la presente tesis, esta delimitación se logra a partir del divortium aquarium, es decir de las cotas más altas que circundan a las cuencas.



Figura 2.3. Ubicación de la microcuenca dentro de la cuenca cachi

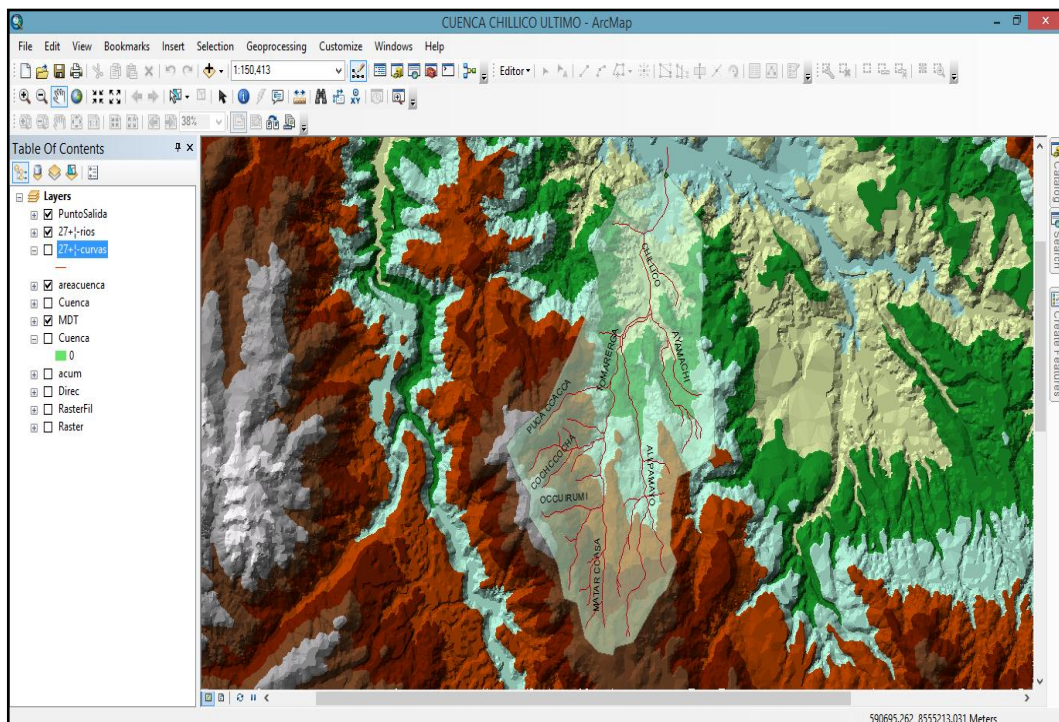


Figura 2.4. Visualización del área a delimitar de la microcuenca

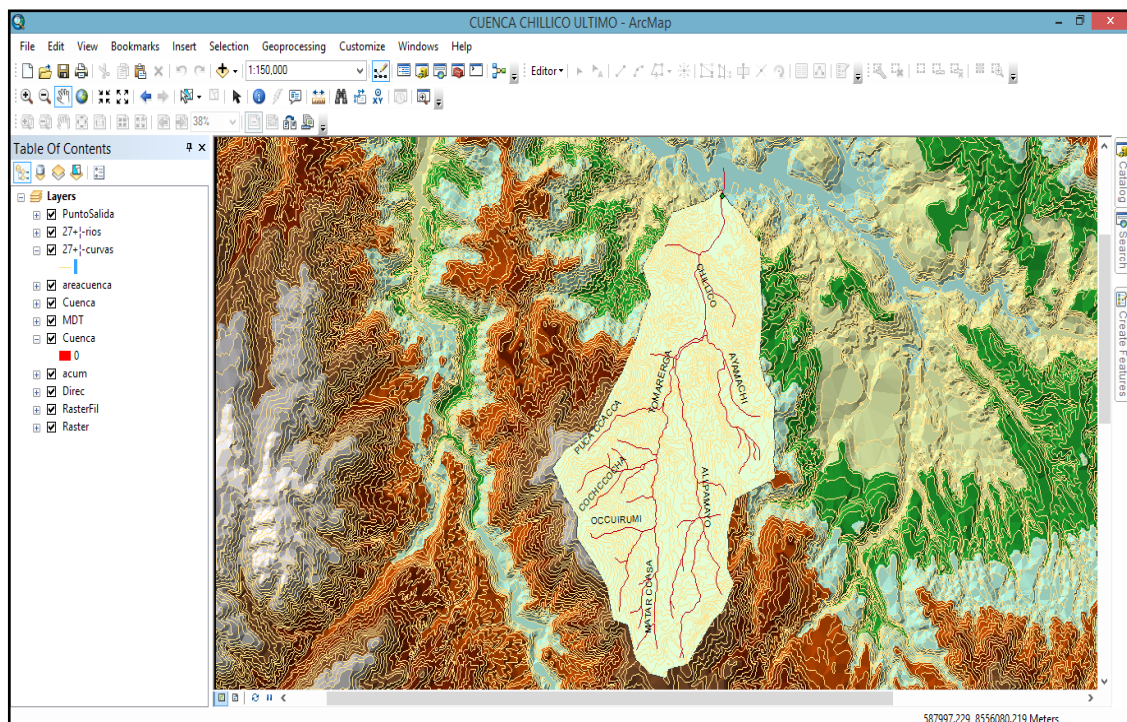


Figura 2.5. Delimitación de la microcuenca

2.3.5 Caracterización geomorfológica de la cuenca

A. Parámetros de forma de la cuenca

El contorno de la cuenca define la forma y superficie de ésta, lo cual posee incidencia en la respuesta, en el tiempo que poseerá dicha unidad, en lo que respecta al caudal evacuado. Así, una cuenca alargada tendrá un diferente tiempo de concentración que una circular, al igual que el escurrimiento manifestará condiciones disímiles. Los principales factores de forma son:

- **Área de la cuenca (A)**

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

Normalmente su valor se determina con el planímetro o con programas de cómputo como el, ArcGis, AutoCad, entre otros y se expresa en km^2 o hectáreas.

La magnitud del área se ha obtenido con el uso del programa ARC GIS 10.3 mediante la base de datos del inventario de fuentes de agua superficial, usando la delimitación del área de la microcuenca.

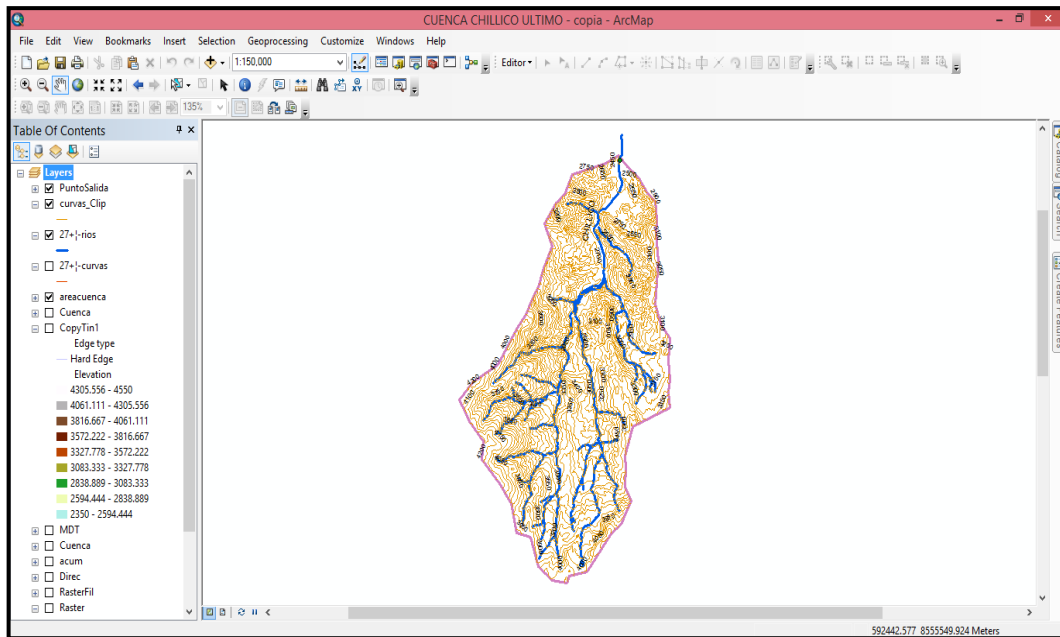


Figura 2.6. Determinando área y perímetro de la microcuenca

- **Longitud del río principal (L)**

Es la longitud mayor de recorrido que realiza el río, desde la cabecera de la cuenca, siguiendo todos los cambios de dirección o sinuosidades, hasta un punto fijo de interés, puede ser una estación de aforo o desembocadura, expresado en unidades de longitud. La longitud del cauce principal ha sido determinada con la ayuda de las herramientas de SIG, este parámetro nos permite calcular tiempo de concentración y pendiente del río principal de cada una de las subcuencas en estudio, figura 2.7.

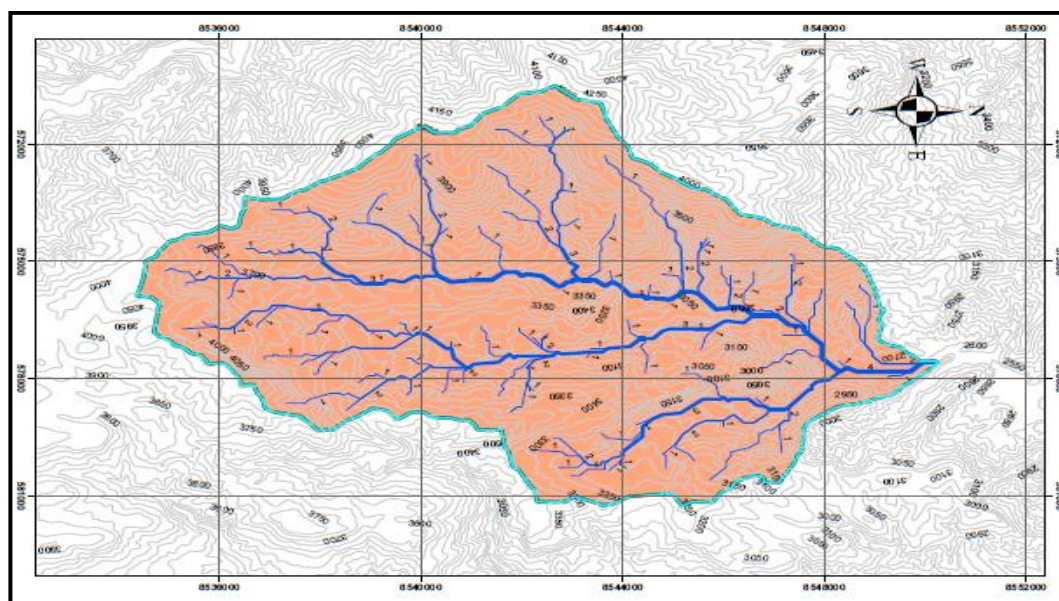


Figura 2.7. Determinando la longitud del curso principal (L)

- **Ancho promedio de la cuenca (Ap)**

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

$$A_p = \frac{A}{L} \quad 2.1$$

Dónde:

AP = Ancho promedio de la cuenca (km).

A = Área de la cuenca (km²).

L = Longitud del cauce principal (km).

- **Coefficiente de compacidad o índice de Gravelius (Kc)**

Se calcula con la siguiente ecuación

$$K_c = 0.2821 * \frac{P}{\sqrt{A}} \quad 2.2$$

Dónde:

P = perímetro de la cuenca (km)

A = área de la cuenca (km²)

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

Cuanto más irregular sea la cuenca mayor será su coeficiente de compacidad, un coeficiente mínimo igual a la unidad corresponde a una cuenca circular; cuando este número tiende a la unidad hay mayor tendencia a aumentar el caudal.

B. Parámetros de relieve de la microcuenca

El relieve posee una incidencia más fuerte sobre la esorrentía que la forma, dado que a una mayor pendiente corresponderá un menor tiempo de concentración de las aguas en la red de drenaje y afluentes al curso principal. Los parámetros de relieve tienen mayor influencia sobre la respuesta hidrológica de la cuenca. Las relaciones área – elevación han sido determinadas por las curvas y alturas características de las subcuencas del río Chillico - Huamanga. Para describir el relieve de una cuenca existen numerosos parámetros que han sido desarrollados por varios autores; entre los más utilizados destacan:

- **Polígono de frecuencias**

Se denomina así a la representación gráfica de la relación existente entre altitud y la relación porcentual del área a esa altitud con respecto al área total. En el polígono de frecuencias existen valores representativos como: la altitud más frecuente, que es el polígono de mayor porcentaje o frecuencia. La distribución gráfica del porcentaje de superficies ocupadas por diferentes rangos de altitud para la microcuenca del río Chillico - Huamanga, se distingue en anexo 04, mapa 01.

- **Altitud media de la cuenca (Hm)**

Corresponde a la ordenada media de la curva hipsométrica, y su cálculo obedece a un promedio ponderado: elevación – área de la cuenca. La altura o elevación media tiene importancia principalmente en zonas montañosas donde influye en el escurrimiento y en otros elementos que también afectan el régimen hidrológico, como el tipo de precipitación, la temperatura, etc. Para obtener la elevación media se aplica un método basado en la siguiente fórmula:

$$c_i = \frac{(c_i + c_{i-1})}{2} \quad 2.3$$

$$Hm = \frac{\sum (c_i * a_i)}{A} \quad 2.4$$

Dónde:

Hm = Elevación media de la cuenca (msnm).

Ci = Cota media del área i, delimitada por 2 curvas de nivel (msnm).

ai = Área i entre curvas de nivel (km²).

A = Área total de la cuenca (km²).

- **Altitud de frecuencia media**

Es la altitud correspondiente al punto de abscisa media de la curva de frecuencia de altitudes, en ella, el 50% del área de la cuenca, está situado por encima de esa altitud y el 50% por debajo de ella.

$$H_{ms} = \frac{(c_M + c_m)}{2} \quad 2.5$$

Dónde:

Cm: Altitud más baja de la microcuenca

cm: Altitud más alta de la microcuenca

Hm: Altitud media simple de la microcuenca

- **Altitud más frecuente**

Es la altitud predominante con mayor porcentaje de área de la cuenca

- **Pendiente media de la cuenca**

Criterio del rectángulo equivalente

Este parámetro de relieve es importante debido a su relación con el comportamiento hidráulico de drenaje de la cuenca, y tiene una importancia directa en relación a la magnitud de las crecidas. Para su estimación se emplea el sistema del “rectángulo equivalente”.

$$S = \frac{H}{L} \quad 2.6$$

Dónde:

S_m = Pendiente media de la cuenca.

H = Desnivel total (cota en la parte más alta-cota en la parte más baja), en km.

L_m = Lado mayor del rectángulo equivalente (km).

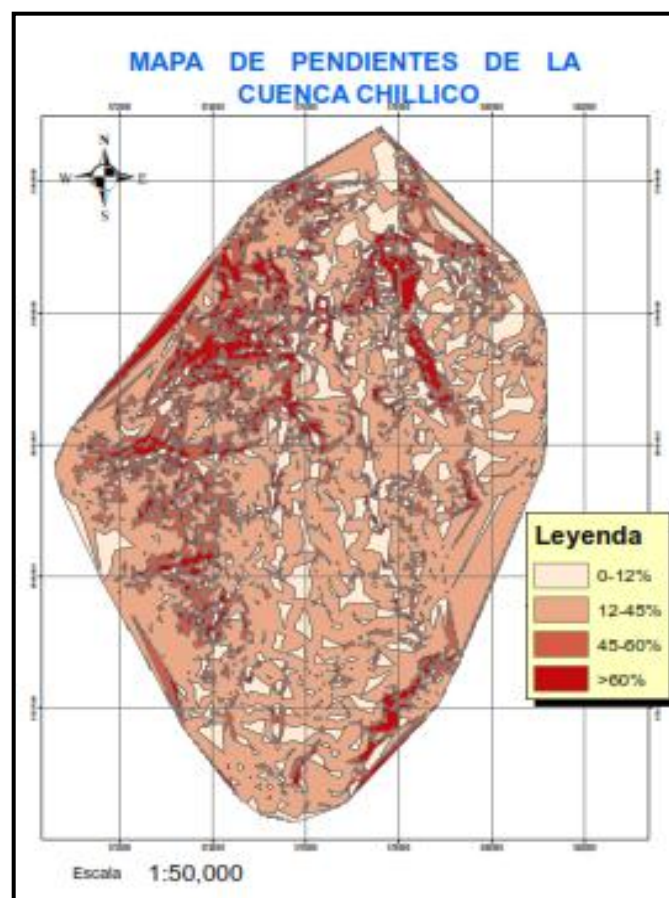


Figura 2.8. Determinando la pendiente de la microcuenca

- **Índice de pendiente de la cuenca (Ip)**

Su valor se obtiene utilizando una variable del rectángulo equivalente, con la siguiente fórmula.

$$I_p = \sum_{i=2}^n \sqrt{\beta_i (a_i - a_{i-1})} \frac{1}{\sqrt{A}} \quad 2.7$$

Dónde:

Ip: Índice de pendiente

n: Número de curvas de nivel existente en el rectángulo equivalente, incluido los extremos

a1, a2, a3, ..., an : Cotas de las n curvas de nivel consideradas, en km

β : Fracción de la superficie total de la cuenca comprendida entre las cotas ai-ai-1

β : Ai / At

L: Longitud del lado mayor del rectángulo equivalente, en km

C. Parámetros de la red hidrográfica

La red hidrográfica corresponde al drenaje natural, permanente o temporal, por el que fluyen las aguas de los escurrimientos superficiales, hipodérmicos y subterráneos de la cuenca. La red de drenaje es, probablemente, uno de los factores más importantes a la hora de definir un territorio.

- **Número de orden de los ríos**

Es el grado de ramificación de las corrientes de agua, para su determinación se considera el número de bifurcaciones que tienen sus tributarios, asignándoles un orden a cada uno de ellos en forma creciente desde su nacimiento hasta su desembocadura. Es decir, los ríos del primer orden son las corrientes que no tienen tributarios, dos ríos del primer orden forman un río de segundo orden, dos ríos de segundo orden forman un río de tercer orden y así sucesivamente hasta llegar al curso principal y finalmente se obtiene el grado de ramificación del sistema de drenaje de una cuenca. El número de orden de los ríos ha sido determinada con la ayuda de las herramientas de SIG

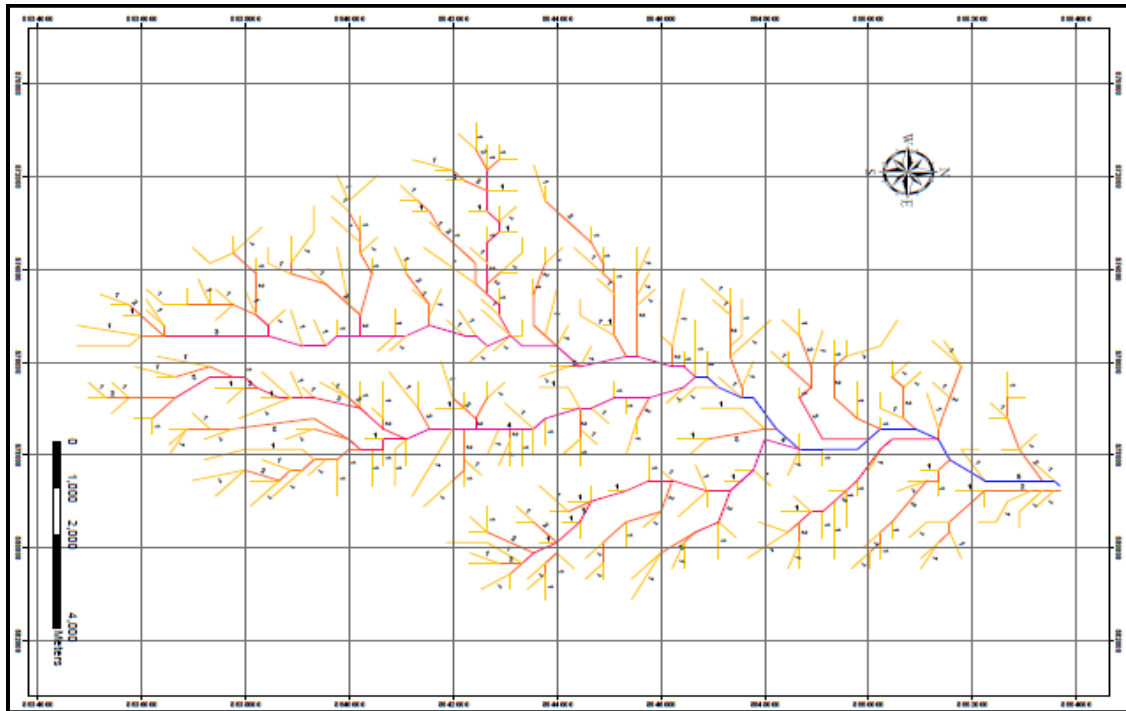


Figura 2.9. Orden de ríos de la microcuenca

- **Frecuencia de densidad de ríos (Fr)**

Es el número de ríos por unidad de superficie de la cuenca; La corriente principal se cuenta como una sola desde su nacimiento hasta su desembocadura; después se tendrán todos los tributarios de orden anterior desde su origen hasta la unión de la corriente principal y así sucesivamente hasta llegar a las corrientes de orden 1.

Se encuentra al dividir el número total del curso de agua (N° ríos) entre el área total de la cuenca (A), es decir, que:

$$F_r = \frac{N^{\circ} \text{ ríos}}{A} \quad 2.8$$

Dónde:

N° ríos = Número de ríos de la cuenca.

A = Área de la cuenca (km²).

- **Densidad de drenaje (Dd)**

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

$$D_d = \frac{L_T}{A} \quad 2.9$$

Dónde:

D_d = Densidad de drenaje (km/km²).

L_T = Longitud total de ríos de la cuenca (km).

A = Área de la cuenca (km²).

La densidad de drenaje, usualmente toma valores entre 0.5 km/ km² para cuencas con drenaje pobre y hasta 3.4 km/km² para cuencas excesivamente bien drenadas.

- **Extensión media del escurrimiento superficial (E)**

Es la relación entre el área de la cuenca y la longitud total de la red hídrica de la misma cuenca. También se puede definir como la distancia promedio en línea recta que el agua precipitada tendría que recorrer para llegar al lecho de un curso de agua. Su valor se calcula con la siguiente fórmula:

$$E = \frac{A}{L_T} \quad 2.10$$

Dónde:

A = Área de la cuenca (km²).

L_T = Longitud total de ríos de la cuenca (km)

- **Pendiente media del río principal (Sm)**

La velocidad de la esorrentía superficial de los cursos de agua depende de la pendiente de sus cauces fluviales; así a mayor pendiente habrá mayor velocidad de escurrimiento. La pendiente media del río es un parámetro empleado para determinar la declividad de una corriente de agua entre dos puntos extremos. La pendiente media del cauce principal, según Taylor y Schwarz es la relación entre la diferencia de alturas y la longitud del curso principal.

$$S_m = \frac{(H_M - H_m)}{1000 \times L} \quad 2.11$$

Dónde:

S_m = Pendiente media del cauce principal (m/m).

L = Longitud del cauce principal (km).

H_M, H_m = Altura máxima y mínima del lecho del río principal, referidos al nivel medio de las aguas del mar (msnm).

D. Mapa de tipos de ríos

Es importante la identificación de las categorías de ríos que se presenta en dicha área de estudio lo que permitirá trabajar con los parámetros hidrológicos de la cuenca. Por lo que se prioriza la muestra de las diferentes categorías de ríos, así como su inclusión dentro del contexto de la cuenca de estudio, muestra la mapa de redes de ríos en la figura 2.10.

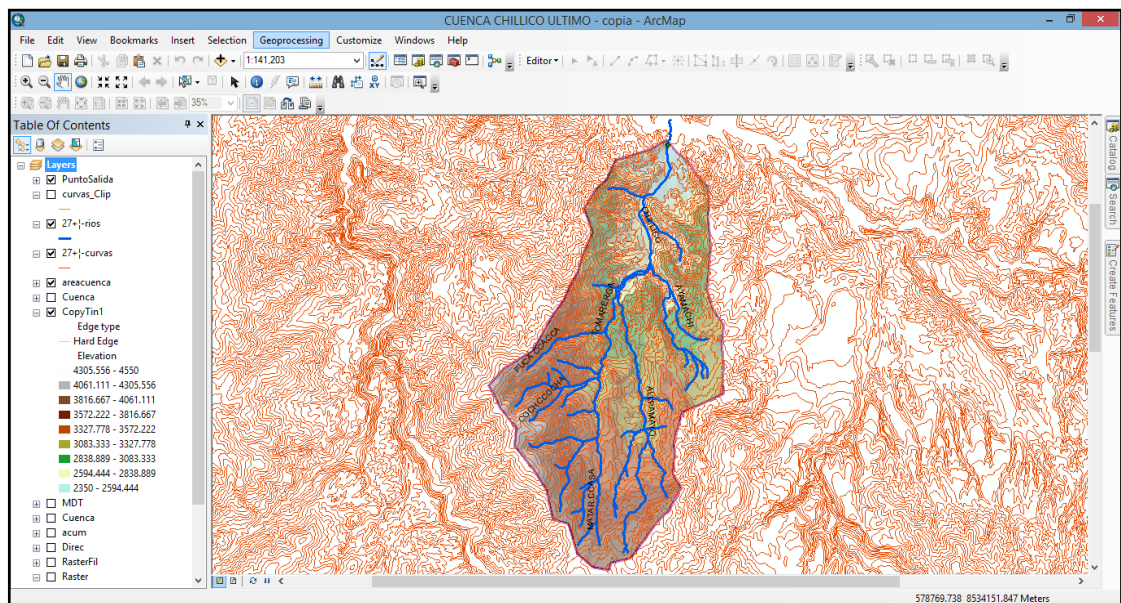


Figura 2.10. Determinando los tipos de ríos de la microcuenca

a. Procedimiento del análisis y tratamiento de la información pluviométrica

- **Método del vector regional (método de crítica de la calidad de datos anuales o mensuales)**

El MVR es un método de cálculo orientado a tres tareas definidas: La crítica de datos, la homogenización y la extensión-completación de datos de precipitación.

La hipótesis fundamental en la que se basa, consiste en asumir que para una misma zona climática sometida a un mismo régimen de precipitaciones, los totales pluviométricos anuales son pseudo-proporcionales, con una pequeña variación aleatoria cada año debido a la repartición de las lluvias dentro de la zona.

La idea básica del MVR, es la siguiente: en lugar de comparar dos por dos estaciones por correlación o doble masa, como se hace en los métodos clásicos, se elabora una estación ficticia que sea una “especie de promedio” de todas las estaciones de la zona, con la cual se comparan cada una de las estaciones.

El MVR emplea entonces, para el cálculo de esta estación “Vector” el concepto de precipitación media extendida al período de trabajo, salvando los problemas del peso de estaciones más lluviosas sobre las menos lluviosas (como ocurriría con un promedio simple) y la existencia de datos faltantes o diferentes períodos de funcionamiento (que calcularían promedios alterados en caso de tener solamente años húmedos o solamente años secos de determinada estación) como ocurriría al obtener valores estandarizados o centrados reducidos de lluvia.

El MVR para la crítica de las precipitaciones anuales

Dependiendo de la precisión que se requiera, el MVR puede ser utilizado para completar datos faltantes, pero es, ante todo, un método de crítica de datos (G. Hiez, 1977. Y. Brunet Moret, 1979).

El paquete computacional HYDRACCESS, ejecuta el MVR y proporciona información diversa en hojas de cálculo Microsoft Excel. La determinación de la calidad de una estación, es función de diferentes parámetros calculados; los parámetros más importantes, que dan una buena idea del comportamiento de una estación son: (a) La Desviación Standard de los Desvíos (D.E.D), compara la desviación de una estación respecto al vector, un valor fuerte indica desviaciones fuertes. (b) Correlación entre la estación y el vector, si la zona es homogénea climáticamente, los valores serán cercanos entre sí, si un valor es sensiblemente más bajo que el promedio de la zona, entonces la estación tiene fuerte probabilidad de tener errores o que se encuentre en el margen de la zona.

Métodos utilizados

Dos métodos concurrentes fueron elaborados en el ORSTOM – IRD por G. Hiez y Y. Brunet Moret. El método de G. Hiez se basa en el cálculo de la moda (valor más frecuente), mientras que el de Y. Brunet Moret se basa en el promedio, eliminando los valores demasiado alejados del promedio para evitar contaminar demasiado las estimaciones con datos evidentemente erróneos. Cada método estima una media extendida para cada estación sobre el período de trabajo, y calcula los índices anuales de cada estación, obtenidos al dividir el valor observado en una estación para un año por ésta media extendida.

El método de Y. Brunet Moret considera que el índice regional de un año es el promedio de los índices de todas las estaciones. Sin embargo, toma la precaución de filtrar los índices de las estaciones que se alejan demasiado del promedio, puesto que el promedio es influenciado por los valores extremos. De la misma manera, la media extendida de una estación se calcula a partir de la media de los valores observados o estimados, siempre después de filtrar los valores que se alejan demasiado de los valores de las estaciones vecinas para un mismo año. La filtración de los valores que se alejan demasiado del promedio se hace en forma interactiva. Cuando tales valores se detectan durante una iteración, son remplazados por su estimación por medio del vector que acaba de calcularse, y el cálculo recomienza con estos nuevos valores, hasta obtener un vector regional con ningún valor demasiado alejado. Por lo tanto se puede notar que a pesar de filtrar los valores demasiado alejados del promedio, estos valores guardan una cierta influencia sobre el vector regional calculado. En efecto, el vector calculado durante una iteración y utilizado para re-estimar estos valores está contaminado por estos valores, sobre todo si las estaciones son poco numerosas.

- **Análisis gr**
- **Gráfico de las estaciones**

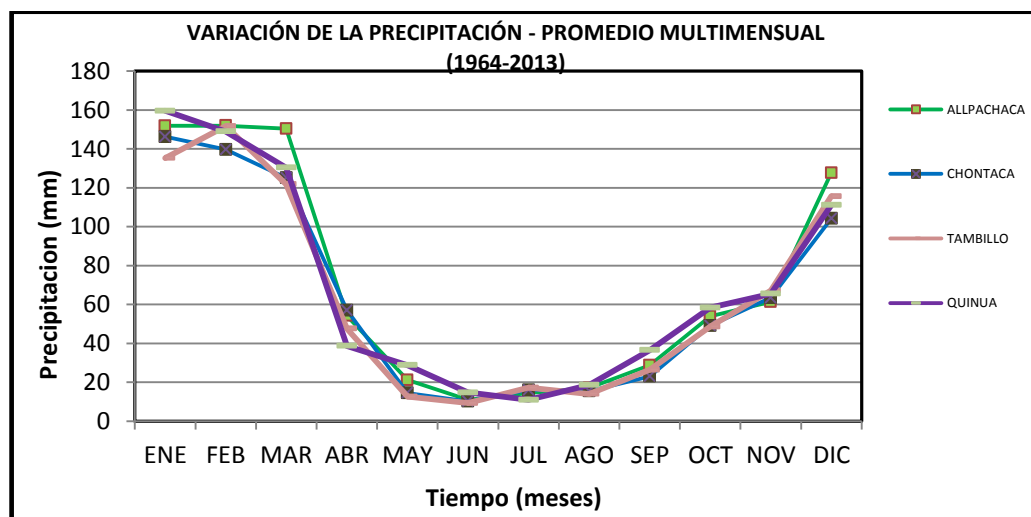


Figura 2.11. Histograma de precipitaciones multimensuales de las estaciones

Cálculo del vector regional.- Una vez importada todas las estaciones con las precipitaciones mensuales realizamos: la construcción del vector. Es una serie de datos cronológicos anuales que integra la información de un conjunto de estaciones de una zona. Es una estación ficticia que es una especie de « promedio » de las estaciones de la zona.

El método del vector regional facilita la crítica, la homogenización y en ciertos casos el relleno de datos. Es una alternativa cómoda al método de las dobles masas. Calculamos el índice del vector regional de las 18 estaciones que tenemos donde el DED debe estar menos a 0.30.

Al calcular nos da como resultado una hoja de Excel con todo los gráficos y los parámetros, donde nosotros analizamos gráficamente y estadísticamente, que estación no cumple para luego eliminar esa estación, una vez eliminado la estación que no cumple, otra vez calculamos el vector regional con las estaciones ya seleccionadas, donde se aprecia en las siguientes tablas:

- **Análisis estadístico**

En el análisis estadístico también existen programas de cómputo como Excel, TREND, SAMS, para calcular los análisis estadísticos.

Sin embargo consideramos que dicha etapa de trabajo tiene una singular importancia para el tema de investigación, en tal sentido para la presente tesis se optó por realizar el análisis estadístico de datos pluviométricos de forma clásica con la aplicación de la hoja de Excel, es decir de forma secuencial, para lo cual, se ha realizado una amplia revisión bibliográfica de las metodologías existentes, planteando una secuencia de cálculos los mismos que consideramos parte del trabajo de investigación literaria.

2.3.5.1 Análisis y regionalización de la información meteorológica

En esta etapa el modelo no es exigente, plantea únicamente la necesidad de poder contar con una información lo más consistente posible, para lo cual existen una serie de métodos y programas de computa que permiten realizar dichos cálculos, como por ejemplo el HMS, HEC 04 entre otros.

Sin embargo consideramos que dicha etapa de trabajo tiene una singular importancia para el tema de investigación, en tal sentido para la presente tesis se optó por realizar el tratamiento de datos hidrometeoro lógicos de forma clásica, es decir de forma secuencial, para lo cual se ha realizado una amplia revisión bibliográfica de las metodologías existentes, planteando una secuencia de cálculos los mismos que consideramos parte del trabajo de investigación literaria.

2.3.5.2 Cálculo de la capacidad de aprovechamiento o disponibilidad de agua

La transformación de la precipitación en escurrimiento, se ha realizado aplicando el método de “generación de caudales mensuales en la sierra peruana – Lutz Scholz”, desarrollado por el programa nacional de pequeñas y medianas irrigaciones – Plan Meris II en 1980, cuyo cálculo está basado en la modelación matemática del ciclo hídrico. En el capítulo de resultados se presenta el resumen de los cálculos de la disponibilidad de agua de la microcuenca del río Chillico, se muestran los caudales generados para la cuenca en estudio, desarrollado con el modelo determinístico-estocástico de Lutz Scholz.

a) Precipitación areal sobre la cuenca

La precipitación representativa de una cuenca hidrográfica es denominada precipitación areal, existen varias metodologías para determinar la precipitación areal de una cuenca entre las que destaca la de isoyetas. De acuerdo a las características de la microcuenca del río Chillico se optó por usar el método de Thiessen, isoyetas y Thiessen modificado ya que es de mejor aproximación y representatividad al incluir el efecto espacial en la cuenca, comportamiento debido a la baja correlación encontrada en relación precipitación vs altitud descrita en el ítem anterior.

Este método consiste en utilizar isolíneas de igual precipitación (isoyetas), cuyo trazado es semejante al de una curva de nivel, asimismo se emplearon estaciones virtuales del satélite TRMM para representar adecuadamente el comportamiento espacial de las precipitaciones en la microcuenca del río Chillico. Es aquella precipitación hidrológica que cae sobre una cuenca determinada. Esta precipitación se puede calcular mediante los métodos de polígono de Thiessen, las Isoyetas y el aritmético, los más usados en hidrología.

En este caso la precipitación areal mensual que mejor se comporta en la microcuenca es por el método de **Thiessen modificado**, por polígonos de influencia de las estaciones meteorológicas dentro y alrededor de la cuenca, teniendo en cuenta la gradiente de la pluviosidad calculada a partir de datos de las mismas estaciones.

El método consiste en colocar en el mapa de la cuenca las estaciones pluviométricas, luego se forman triángulos con las estaciones más próximas entre ellas y posteriormente

se trazan las mediatrices perpendiculares a cada uno de los lados de los triángulos formados, definiéndose unos polígonos alrededor de cada estación pluviométrica. La precipitación promedio sobre la cuenca se evalúa con la siguiente ecuación.

$$Pm = \frac{1}{A_T} \sum_{i=1}^n A_i P_i \quad 2.12$$

Dónde:

Pm = Precipitación areal de la cuenca.

P_i = Precipitación registrada en la estación i .

A_i = Área de influencia de la estación i .

A_t = Área total de la cuenca.

n = Número de estaciones de análisis.

En el plano hidrológico de la microcuenca del río Chillico, con la ubicación de las estaciones Pluviométricas se ha elaborado los polígonos de Thiessen se ha obtenido las áreas de los polígonos de influencia de las estaciones, información básica para determinación de la precipitación areal en la microcuenca, para ello se ha tomado en cuenta las subcuencas que aportan en forma directa sus aguas a la cuenca del río Chillico - Huamanga, y además también se ha obtenido para los puntos de interés para el desarrollo posterior de balance hídrico a nivel de subcuencas. Las áreas de influencia de las estaciones meteorológicas en la microcuenca del río Chillico. Se determinó la precipitación total mensual sobre la cuenca según el método de **Thiessen modificado**, a partir de las estaciones meteorológicas dentro y alrededor de la cuenca, teniendo en cuenta la gradiente de lluviosidad calculada de datos a partir de las mismas estaciones.

- **Método de Thiessen modificado**

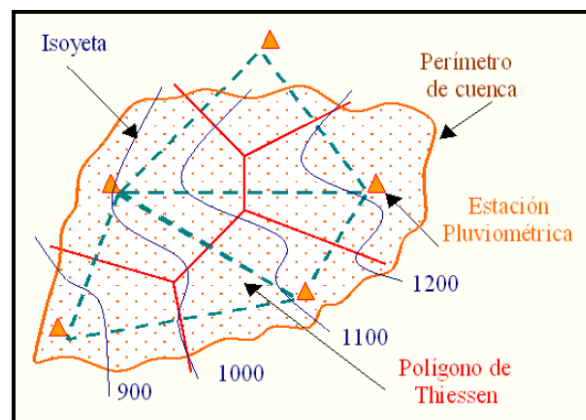


Figura 2.12. Método de Thiessen modificado

Cuando el cálculo de la precipitación en una cuenca debe hacerse repetidas veces (por ejemplo, año a año en una serie larga), puede resultar tediosa la confección de un número tan grande de planos de isoyetas, éste método se inspira en el proceso Thiessen, pero intenta subsanar algunas de sus deficiencias.

La primera objeción al mismo se debe al criterio seguido en la delimitación de área de influencia, atendiéndose exclusivamente a la distribución en planta de las estaciones pluviométricas y situando fronteras en mediatrices.

Convendrá establecer esos límites con un sentido menos geométrico y más hidrológico, por ejemplo, haciéndolos coincidir con la divisoria de las cadenas de montañas que puede existir en el interior de la cuenca.

Pero la primera impresión del método de Thiessen consiste en admitir, con carácter general, como lluvia media de un área de influencia, la precipitación de la estación a ella asociada, cuando frecuentemente se encuentra casos en que la diferencia entre ambos valores es apreciable. Una aproximación al problema es considerar que la fluctuación de ambas precipitaciones sigue una misma distribución espacial, es decir, oscilando homogéneamente manteniendo sus proporciones relativas; (esta aproximación es más exacta cuando mayor sea el período de tiempo considerado), dicho de otra forma; la relación entre la precipitación media en ese entorno y la de la estación, es la misma de un año a otro e igual a la deducida del plano de isoyetas medias anuales del período considerado.

Denominando:

P_a^m : Precipitación media areal sobre la cuenca (deducible del plano de isoyetas)

S: Superficie total de la cuenca

S_i : Superficie del área de influencia de la estación i

P_i^m : Precipitación media de la estación i

P_{ai}^m : Precipitación media areal sobre el área de influencia de la estación i (deducible del plano de isoyetas)

n: Número de polígonos o áreas de influencia dentro de la cuenca de las estaciones consideradas.

Haciendo:

$$K_i = \frac{P_{ai}^m}{P_i^m} \quad 2.13$$

Igualamos los volúmenes de precipitación sobre la microcuenca

$$P_a^m \cdot S = \sum_{i=1}^n P_{ai}^m \cdot S_i = \sum_{i=1}^n P_{ai}^m \cdot S_i \quad 2.14$$

Se deduce:

$$P_a^m \cdot S = \sum_{i=1}^n \left(\frac{K_i \cdot S_i}{S} \right) \cdot P_{ai}^m = \sum_{i=1}^n C_i \cdot P_i^m \quad 2.15$$

Siendo C_i los coeficientes de Thiessen modificado que son igual a $K_i (S_i/S)$. Donde
Igualando los volúmenes de precipitación sobre la cuenca.

Se deduce:

Siendo C_i los coeficientes de Thiessen modificado que son igual a $K (S_i/S)$ i, donde (S_i/S) coincide con los coeficientes de un Thiessen puramente geométrico.

Admitiendo la hipótesis de C_i permanece constante cualquiera que sea el período considerado, se obtiene:

$$P_{aj,k} = \sum_{i=1}^n C_i \cdot P_{ij,k} \quad 2.16$$

Dónde:

C_i : Coeficiente de ponderación de Thiessen modificado correspondiente a la estación i

$P_{ij,k}$: Precipitación en la estación i en el mes j y año k

P_a : Precipitación areal sobre la cuenca en el mes j y año k

n: Número de estaciones cuyos polígonos de influencia afectan a la cuenca

2.3.6 Complementación 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 (períodos sin registro), este método consiste en graficar el diagrama de dispersión, ajustar una recta a ese diagrama de dispersión, esta recta se llama línea de regresión se usa para completar y extender la información faltante.

La ecuación de RLS comprende una variable aleatoria dependiendo (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 regresión matemática es:

$$Y = \alpha + \beta X$$

2.3.7 Modelación hidrológica - generación de caudales medios mensuales

2.3.7.1 Modelo determinístico y estocástico de Lutz Scholz

Lutz Scholt (1980) Este modelo hidrológico, es 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). Fue desarrollado por el experto Lutz Scholz para cuencas de la sierra peruana, entre los años 1979-1980, en el marco de Cooperación Técnica de la República de Alemania a través del Plan Meris II.

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:

1. Cálculo de los parámetros necesarios para la descripción de los fenómenos de escorrentía promedio.

2. 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.
3. 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. 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
- Análisis y regionalización de la información hidrometeorológica

b) Aplicación de los modelos determinísticos parciales

- Precipitación media
- Coeficiente de escorrentía
- E.T.P.
- Precipitación efectiva
- Fundamento del balance hídrico
- Períodos del ciclo hidrológico
- Cálculo de la retención en la cuenca
- Gastos de la retención y abastecimiento de la retención
- Caudal para el año promedio

c) Generación de caudales para un período extendido

- Generación con el modelo marcoviano de primer orden

- Validación mediante pruebas estadísticas a la media y desviación estándar
- Calibración del modelo

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 cuenca; para luego extender la serie con un modelo puramente estocástico como es el modelo marcoviano de primer orden.

2.3.7.2 Coeficiente de escurrimiento “C”

Para la estimación del coeficiente de escurrimiento “C”, se utilizará las ecuaciones de “L. Turc” debido a que los resultados serán muy cercanos a los datos registrados.

Así mismo, siguiendo los mismos criterios del experto Lutz Scholz, se ha calibrado los resultados obtenidos por el método de “L. Turc” con los registrados, obteniéndose ecuaciones empíricas con buena aproximación, las mismas que sólo son aplicables para la zona de influencia del proyecto.

• Método de “L. TURC”

Tiene la expresión de:

$$C = \frac{P - D}{P} \quad 2.17$$

Dónde:

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:

$$D = P \frac{P - D}{\left(0.9 + \frac{P^2}{L^2}\right)^{\left(\frac{1}{2}\right)}} \quad 2.18$$

$$L = 300 + 25(T) + 0.05(T)^3 \quad 2.19$$

Dónde:

L = Coeficiente de temperatura

T = Temperatura media anual (°C)

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

$$C = 3.16E12(P^{-0.571})(EP^{-3.686}) \quad r=0.96 \quad 2.20$$

$$D = -1380 + 0.872(P) + 1.032(EP); \quad r=0.96 \quad 2.21$$

Dónde:

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:

$$EP = 0.0075(RSM)(TF)(FA) \quad 2.22$$

$$RSM = 0.0075(RA) \sqrt{\left(\frac{n}{N}\right)} \quad 2.23$$

$$FA=1+0.06(AL) \quad 2.24$$

Dónde:

RSM = Radiación solar media

TF = Componente de temperatura

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 (%)

50 % (estimación en base a los registros)

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 de $-5.3\text{ }^{\circ}\text{C } 1/ 1000\text{ m}$, determinado para la sierra.

2.3.7.3 Cálculo de la evapotranspiración potencial

Existen varios métodos para el cálculo de la evapotranspiración potencial, entre ellos puede mencionarse: los métodos de Blaney-Criddle Modificado por FAO, Penman-FAO, Hargreaves Tipo II, Hargreaves Tipo III (recomendado por Lutz Scholz), Thornthwaite, Penman para las condiciones del Perú (García, J. 1984), este último método es el que mejor ajuste tiene respecto a los datos registrados en la cuenca del río Santa.

- **Penman para las condiciones del Perú (García, J. 1984)**

Con la finalidad de identificar el método más adecuado para el cálculo de la evapotranspiración de la zona de estudio, se desarrollaron los métodos de Penman-García para las condiciones del Perú, Thornthwaite, Blaney-Criddle-FAO y Hargreaves tipo I, tipo II y tipo III.

2.3.7.4 Cálculo de la precipitación efectiva

Suponiendo que los caudales promedios observados pertenezcan a un estado de equilibrio entre gasto y abastecimiento de la retención, de la cuenca respectiva, se calcula la precipitación efectiva para el coeficiente de escurrimiento promedio de manera que la relación entre la precipitación efectiva total sea igual al coeficiente de escurrimiento. Para este cálculo se adoptó el método del United States Bureau of Reclamación (USBR) para la determinación de la porción de lluvias que es aprovechado para cultivos. El Bureau of Reclamation llama a esta cantidad la precipitación efectiva de los cultivos que en realidad es la antítesis de la precipitación de escorrentía superficial.

El criterio del método del USBR para el cálculo de la precipitación efectiva para cultivos, es el principio que cuando aumenta la precipitación total mensual se toma un porcentaje disminuyendo del incremento de la lluvia como aumento de la precipitación efectiva de tal forma que a partir de un lineamiento superior, la precipitación efectiva para los cultivos se mantenga constante. *“Para la hidrología se toma como*

precipitación efectiva esta parte de la precipitación total mensual que sale como el déficit según el método original del USBR”. (Precipitación efectiva hidrológica es el antítesis de la precipitación efectiva para los cultivos). El cálculo de la proporción de lluvia que produce escorrentía, es decir, precipitación efectiva en el sentido hidrológico se resume en la siguiente tabla:

Tabla 2.4. Cálculo de la precipitación efectiva

Precipitación Total Mensual	PORCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN (mm/mes)						
	(Límite superior)	Aprovechable por las plantas			Déficit o Escorrentía (mm)		
	mm	I	II	III	I	II	III
25.4	25.4	22.86	20.4	0.0	2.5	5.0	
50.8	49.5	44.5	39.3	1.3	6.3	11.5	
76.2	72.4	63.5	54.6	3.8	12.7	21.6	
101.6	92.7	76.2	59.7	8.9	25.4	41.9	
127.0	102.9	83.8	59.7	24.1	43.2	67.3	
152.4	118.1	86.4	59.7	34.3	66.0	92.7	
177.8	120.7	86.4	59.7	57.2	91.4	118.1	

Las cifras romanas se refieren a las curvas que cubren un rango para el coeficiente de escorrentía entre 0.15 y 1.00, las curvas I y II pertenecen al método del USBR la curva III han sido desarrollado mediante ampliación simétrica del rango original según el criterio del experto Lutz. Es necesario aclarar que cada curva está asociada a un coeficiente de escorrentía hipotético planteado por el USBR basado en sus propias investigaciones.

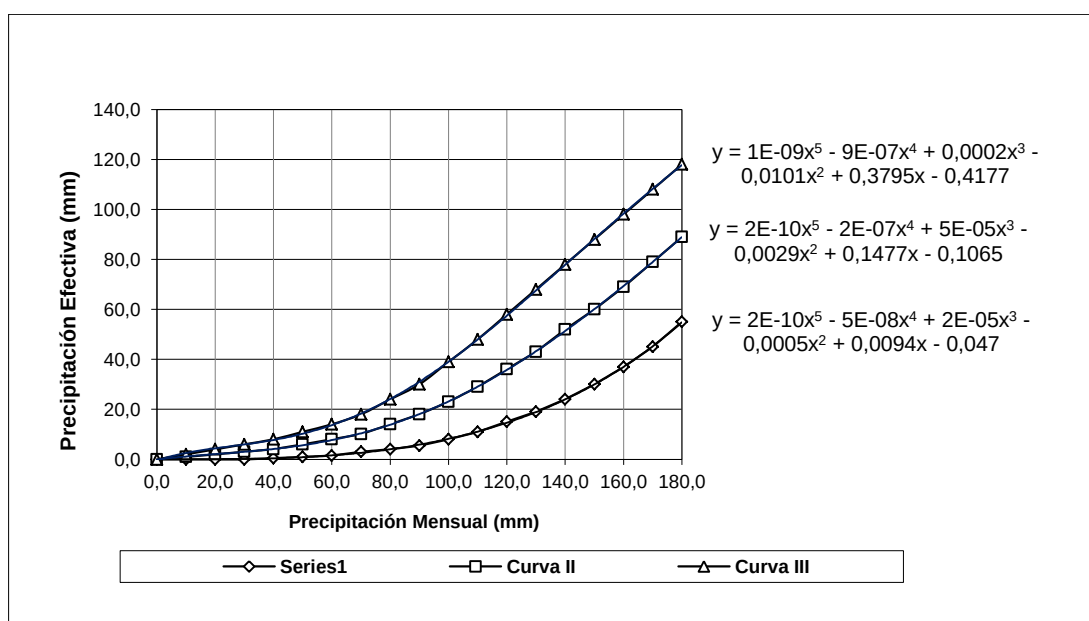


Figura 3.13. Porción de precipitación efectiva según Bureau of reclamation

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

$$PE = a_0 + a_1p + a_2p^2 + a_3p^3 + a_4p^4 + a_5p^5 \quad 2.25$$

Dónde:

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

En la siguiente tabla se presentan los coeficientes “ai” que permiten la aplicación del polinomio. La siguiente tabla muestra los tres juegos de coeficientes, ai, que permiten alcanzar por interpolación valores de C, comprendidos entre 0.15 y 0.45.

Tabla 2.5. Coeficientes para el cálculo de la precipitación efectiva

Descripción	Valor del Coeficiente		
	Curva I	Curva II	Curva III
a ₀	-0.018	-0.0213	-0.028
a ₁	-0.0185	0.1358	0.2756
a ₂	0.001105	-0.002296	-0.004103
a ₃	-1.20E-05	4.35E-05	5.53E-05
a ₄	1.44E-07	-8.90E-08	1.24E-07
a ₅	-2.85E-10	-8.79E-11	-1.42E-09

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

Tabla 2.6. Límite superior para la precipitación efectiva

Precipitación Total Mensual (Límite superior)	PORCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN (mm)					
	Aprovechable por las plantas			Déficit o Escorrentía		
mm	I	II	III	I	II	III
25.4	25.4	22.86	20.4	0.0	2.5	5.0
50.8	49.5	44.5	39.3	1.3	6.3	11.5
76.2	72.4	63.5	54.6	3.8	12.7	21.6
101.6	92.7	76.2	59.7	8.9	25.4	41.9
127.0	102.9	83.8	59.7	24.1	43.2	67.3
152.4	118.1	86.4	59.7	34.3	66.0	92.7
177.8	120.7	86.4	59.7	57.2	91.4	118.1

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

$$C = \frac{Q}{P} = \sum_{i=1}^{12} \frac{PE_i}{P} \quad 2.26$$

Dónde:

C = Coeficiente de escurrimiento

Q = Caudal anual

P = Precipitación total anual

$\sum_{i=1}^{12} PE_i$ = suma de la precipitación efectiva mensual

De este modo, es posible llegar a la relación entre la precipitación efectiva total, de manera que el volumen anual de la precipitación efectiva sea igual al caudal anual de la cuenca respectiva.

2.3.7.5 Fundamentos del balance hidrológico del modelo

La ecuación fundamental del balance hídrico mensual, expresada en mm/mes se puede describir en la forma siguiente, propuesta por Fisher.

$$CM_i = P_i - D_i + G_i - A_i \quad 2.27$$

Dónde:

CMi: Caudal mensual (mm/mes)

Pi: Precipitación total mensual (mm/mes)

Di: Déficit de escurrimiento (mm/mes)

Gi: Gasto de la retención en la cuenca. (mm/mes)

Ai: Abastecimiento de la retención (mm/mes)

Para la aplicación de la ecuación anterior, se parte de las siguientes consideraciones:

- ✓ Durante el año hidrológico la retención se mantiene constante pues el agua almacenada en el período húmedo es soltada en el período de estiaje, por lo tanto el gasto y el abastecimiento son iguales ($G_i = A_i$)

- ✓ Una parte de la precipitación se pierde por evaporación por lo que la expresión $(P-D)$ puede sustituirse por $C \cdot P$, donde “C” es el coeficiente de escorrentía que puede ser medido o estimado y “P” precipitación total.

Este método permite combinar los diferentes factores tales como precipitación, evapotranspiración y almacenamiento natural en la cuenca para el cálculo de las descargas en forma de un modelo matemático. El cálculo por modelo tiene la ventaja de poder constatar la influencia de cada componente del balance hídrico y en consecuencia, tener la posibilidad de calibrar el modelo por aforos. Además, el modelo puede combinar varias influencias determinadas por sub-modelos determinísticos o estocásticos.

Este modelo básicamente intenta reproducir el comportamiento del agua en las diferentes etapas del ciclo hidrológico y relaciona los volúmenes de escorrentía con los volúmenes de precipitación con el efecto producido por diversos factores climáticos, geológicos y fisiográficos. El proceso está precedido por el principio de continuidad o conservación de la masa y regulado por las leyes específicas de reparto y transferencia entre los términos del balance que se estructura racionalmente conforme a la naturaleza del fenómeno físico y después se perfilan y comprueban empíricamente.

Como fundamento conceptual se considera que, de la precipitación, una parte del agua termina siendo drenada y sale por el río, denominado escorrentía; el resto del agua se almacena momentáneamente en la zona superior de la humedad del suelo, una parte se evapora y la otra permanece en el suelo. Así mismo, el escurrimiento a su vez se descompone en el que discurre por la superficie del terreno y los cursos de agua, es decir viene a ser la escorrentía superficial; la otra parte de la infiltración, sigue infiltrándose en el terreno hasta llegar a la zona de saturación donde se almacena también momentáneamente, pues parte desaguará a los cauces y el resto permanecerá en el embalse subterráneo para salir en fechas posteriores.

2.3.7.6 Cálculo de la retención en la cuenca

[Suponiendo que en el año promedio existe un equilibrio entre el gasto y el abastecimiento de la reserva de la cuenca y admitiendo, además, que el caudal total sea igual a la precipitación efectiva anual, se puede calcular la contribución de la reserva hídrica al caudal según las fórmulas.

$$R_i = CM_i - PE_i \quad 2.28$$

$$CM_i = PE_i + G_i - A_i \quad 2.29$$

Dónde:

CMi: Caudal mensual (mm/mes)

PEi: Precipitación efectiva (mm/mes)

Ri: Retención de la cuenca (mm/mes)

Gi: Gasto de la retención (mm/mes)

Ai: Abastecimiento de la retención (mm/mes)

Ri =Gi : Para valores mayores de cero (mm/mes)

Ri =Ai : Para valores menores de cero (mm/mes)

Sumando todos los valores G o A respectivamente, se halla la retención total R de la cuenca durante el año promedio en las dimensiones de mm/año. Esta ecuación se realiza básicamente para realizar la calibración de la retención de la cuenca.

El experto Lutz Scholz propone tres fuentes principales para el almacenamiento hídrico de la cuenca: acuíferos (de 200 a 300 mm/año), lagunas-pantanos (500 mm/año) y nevados (500 mm/año); para los cuales propone diferentes aportes específicos en función del área de la cuenca.

Siguiendo el mismo criterio del experto Lutz se calibro la retención de la cuenca, en función de las ecuaciones arriba mencionadas, en mm/año y se propone la siguiente ecuación empírica regionalizada cuyo proceso de estimación se presenta en el anexo A-XVI. Es necesario volver a mencionar, que el modelo permite la creación de ecuaciones empíricas regionalizadas como parte de la metodología.

$$R = 450.34 - 488.108 * \Delta + 14.367 * S - 869.359 * IP + 1.092 * Ag \quad 2.30$$

Dónde:

R : Retención promedia de la subcuenca (mm/año)

Δ : Coeficiente de esorrentía estándar

S : Pendiente media de la cuenca calculado por el método de rectángulo equiv.

Ip : Índice de pendiente

Ag : Área de glaciares de la subcuenca en (km²)

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

2.3.7.7 Relación entre gasto de la retención “g” y abastecimiento de la retención “a”

El gasto de la retención “ G ” es el volumen de agua que entrega la cuenca en los meses secos bajo un determinado régimen de entrega. El abastecimiento de la retención “ A ” es el volumen de agua que almacena la cuenca en los meses lluviosos bajo un determinado régimen de almacenamiento.

Al régimen de entrega del gasto de la retención se le denomina coeficientes de agotamiento “ a_i ”, y al régimen de almacenamiento “ b_i ”.

Analizando los coeficientes de agotamiento “ a_i ” del Gasto de la retención, se ha podido determinar que al iniciar el período seco la contribución de la reserva, para el primer mes (abril), es mínima y en algunos caso el aporte es cero, por este motivo, a este mes (abril) se le conoce como un período de transición, luego, para el siguiente mes (mayo) el aporte se incrementa considerablemente disminuyendo paulatinamente hasta el último mes del período seco (septiembre). Este comportamiento tan particular del coeficiente de aporte tiene una función parabólica a diferencia de la función logarítmica que es el comportamiento típico de éste coeficiente.

De igual modo, al analizar el coeficiente de almacenamiento “ b_i ” del Abastecimiento de la retención en los meses lluviosos, se puede notar que en los meses de octubre, noviembre y diciembre, la cuenca se encuentra en equilibrio, es decir que puede o no producirse almacenamiento, que dependerá de la cantidad de precipitación o de la lámina de aporte de los glaciares y lagunas. A este período, donde las lluvias no son permanentes también se les conoce como meses de transición. Para los siguientes tres meses los coeficientes de almacenamiento aumentan considerablemente.

El experto Lutz Scholz, menciona que siempre que se pueda representar en una ecuación los coeficientes de agotamiento y almacenamiento, se haga; sin embargo, para la presente tesis se ha preferido mantener los coeficientes estimados.

En la siguiente tabla se presenta los coeficientes típicos de aporte y retención de las subcuencas con influencia de glaciares de la cuenca del río Santa.

El proceso de estimación de los coeficientes de aporte y retención se presenta en el anexo A-XVI. Se recuerda nuevamente que estos coeficientes son regionalizados y empíricos y se generaron siguiendo los mismos criterios del experto Lutz. El cálculo del gasto de la retención y el abastecimiento de la retención se estima mediante la siguiente ecuación:

$$G_i = a_i * R \quad 2.31$$

$$A_i = b_i * R \quad 2.32$$

Dónde:

Ri : Retención de la cuenca (mm/mes)

Gi : Gasto de la retención (mm/mes)

Ai : Abastecimiento de la retención (mm/mes)

ai : Coeficientes de agotamiento

bi : Coeficientes de almacenamiento

2.3.7.8 Cálculo del caudal mensual para el año promedio

La lámina de agua que corresponde al caudal mensual para el año promedio se calcula según la ecuación básica siguiente del balance hídrico a partir de los componentes descritos anteriormente.

$$CM_i = PE_i + G_i - A_i \quad 2.33$$

Dónde:

CMi = Caudal del mes i (mm/mes)

PEi = Precipitación efectiva del mes i (mm/mes)

Gi = Gasto de la retención del mes i (mm/mes)

Ai = abastecimiento del mes i (mm/mes)

2.3.7.9 Análisis de persistencia de los caudales medios mensuales generados

Para el análisis de persistencia de caudales de la microcuenca del río Chillico, se ha empleado el método de Weibull que es universalmente utilizado para este tipo de

análisis. Utilizando la información de caudales generados se ha realizado el análisis de frecuencia de los caudales medios mensuales, los cuales se muestran en las tablas N° 6.1, y la variación mensual de los caudales medios al 75% de persistencia se muestran en las figuras N° 6.3; donde se aprecia la variación mensual de los volúmenes de agua en épocas de avenida son mayores que en época de estiaje

CAPÍTULO III

RESULTADOS

3.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA CUENCA

La microcuenca hidrográfica del río Chillico está ubicado en un rango de altitud desde los 2450 msnm hasta los 4250 msnm, y está comprendida de centros poblados y anexos del distrito de San José de Tillas, Ayacucho, principalmente en el distrito de Socos. Dentro de su superficie, el río Chillico con sus respectivos tributarios y las vías de acceso entre ellas trochas carrozables, caminos de herradura y carretera asfaltada.

La microcuenca del río Chillico - Huamanga tiene una superficie de 121.00 km², que se origina en las alturas del distrito de Socos. El río más largo de la microcuenca en estudio es el río Chillico con un recorrido de 22.09 km hasta la unión con el río Cachi, donde el río Chillico es uno de los aportantes del río Cachi y este a su vez al río Mantaro.

Tiene una altitud media de 3390.59m.s.n.m., una pendiente media en el orden de 32.48 por ciento y de acuerdo a la curva hipsométrica mostrada corresponde a un río joven. El factor de forma determinado es 0.23 lo cual nos estaría indicando que esta microcuenca tiene regular respuesta a las crecidas, asimismo el coeficiente de Compacidad determinado es 1.83 y que corresponde a cuencas de forma redonda a oval redonda (ver tabla de parámetros).

3.1.1 Caracterización geomorfológica de la microcuenca

Se resumió los principales parámetros geomorfológicos para la microcuenca del río Chillico, los cuales se presentan los siguientes resultados: Los parámetros de forma, de relieve, red hidrográfica de la microcuenca, y se presentan en el mapa N° 1, del anexo A-3.

Las características físicas y funcionales de una cuenca hidrográfica pueden ser definidas como los diversos factores que determinan la naturaleza de la descarga en un curso de agua. El conocimiento de esas características, determina la naturaleza de descarga de los ríos, pueden ser agrupados en factores que dependen de las características físicas y de uso de la microcuenca hidrográficas o factores fisiográficos y factores que dependen del clima, factores climáticos.

El conocimiento previo de la geomorfología de la microcuenca en estudio, es un requisito importante para poder caracterizar las zonas en estudio, esta caracterización se realizó en base a la elaboración de curvas típicas en la microcuenca.

Las principales características geomorfológicas son: **de superficie** (área, 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 relacionar los parámetros arriba mencionados con el comportamiento de la precipitación en la microcuenca.

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 lagos y ríos para mantener el régimen de los caudales de la microcuenca en estudio.

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

Tabla 3.1. Resumen de parámetros geomorfológicos de la microcuenca Chillico

DESCRIPCIÓN	UND	VALOR
De la superficie		
Area	km2	121.45
Perímetro de la cuenca	km	49
Cotas		
Cota máxima	msnm	4250
Cota mínima	msnm	2450
Centroide (PSC:wgs 1984 UTM Zone 18S)		
X centroide	m	576209.038
Y centroide	m	8544102.98
Z centroide	msnm	3390.59
Altitud		
Altitud media	msnm	3390.59
Altitud más frecuente	msnm	4150.43
Altitud de frecuencia media (1/2)	msnm	3378.12
Pendiente		
pendiente promedio de la cuenca	%	32.48
De la Red Hídrica		
Longitud del curso principal	km	22.09
Orden de la Red Hídrica	UND	5
Longitud de la red hídrica	km	280.35
Pendiente Promedio de la Red Hídrica	%	3.87
Parámetros Generados		
Tiempo de concentración	horas	1.89
pendiente del cauce prinpal	m/km	81.48

3.1.1.1 Curva hipsométrica

La curva hipsométrica describe la distribución porcentual de las áreas comprendidas entre las curvas de nivel equidistantes en la cuenca y el histograma de frecuencia altimétrica, nos brinda el porcentaje de áreas parciales y determina la altura más frecuente mostrada en la figura.

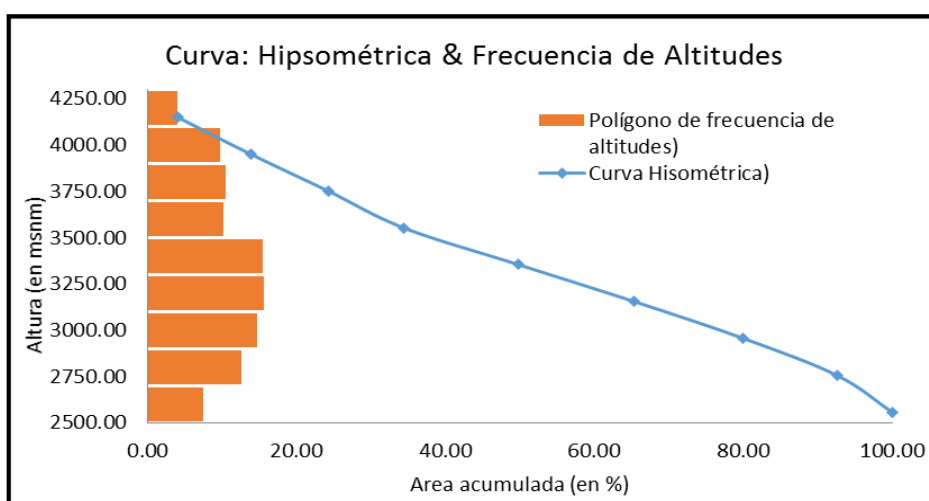


Figura 3.1. Curva hipsométrica de la microcuenca Chillico

Tabla 3.2. Porcentaje de áreas parciales

Nro	Cota(msnm)			Area (km2)			
	Mínimo	Máximo	Prom	Intervalo	Acumulado	% Acum	% Inter
1	2450.00	2656.35	2553.18	8.98	121.00	100.00	7.42
2	2656.63	2853.96	2755.29	15.23	112.02	92.58	12.59
3	2857.43	3053.99	2955.71	17.71	96.79	79.99	14.64
4	3055.31	3253.64	3154.48	18.80	79.08	65.35	15.54
5	3254.36	3453.14	3353.75	18.65	60.28	49.82	15.42
6	3453.82	3650.69	3552.26	12.30	41.62	34.40	10.17
7	3653.32	3850.79	3752.06	12.60	29.32	24.23	10.41
8	3852.22	4050.00	3951.11	11.86	16.72	13.82	9.80
9	4050.85	4250.00	4150.43	4.86	4.86	4.02	4.02

3.2 INVENTARIO DE RECURSOS HÍDRICOS DE LA MICROCUENCA EN ESTUDIO

3.2.1 Procesamiento y sistematización del inventario realizado

3.2.1.1 Unidad hidrográfica de Chillico

- **Ríos**

En la Unidad hidrográfica de Chillico, se tiene 01 ríos más importantes que tiene un caudal de 111.87lt/seg. Aforado en el mes de abril del 2016.

Según el trabajo de campo que se realizó los aforos correspondiente, donde se registró la información necesaria como la ubicación y coordenadas y el caudal como se puede observar en el tabla 3.3.

Tabla 3.3. Ríos en la unidad hidrográfica de Chillico

N°	Nombre del río	Longitud (Km)	Caudal (Lit/seg.)	CORDENADAS UTM	
				Latitud Sur	Longitud Oeste
1	Río Chillico	22.09	111.87	13°17'11"	74°18'22"

Fuente: Elaboración propia.

- **Quebradas**

En el inventariado de las fuentes de agua de la microcuenca Chillico, se ha identificado 08 quebradas y 07 quebradas intermitentes, que tiene un caudal de 152.21Lit/seg, los cuales se muestra en el siguiente tabla 3.3.

Tabla 3.4. Quebradas en la unidad hidrográfica de Chillico

N°	NOMBRE DE QUEBRADA	Longitud (Km)	Caudal (Lit/seg.)	CORDENADAS UTM	
				Latitud Sur	Longitud Oeste
1	Quebrada Pucacaja	4.70	25.00	13°10'32"	74°20'10"
2	Quebrada Ccanhuayoc	2.43	22.00	13°11'40"	74°20'13"
3	Quebrada Pallcca	5.22	35.00	13°11'35"	74°20'38"
4	Quebrada Accurumy	3.99	10.00	13°12'22"	74°20'18"
5	Quebrada Sururuhaycco	3.81	15.00	13°14'01"	74°19'15"
6	Quebrada Matarccasa	2.99	27.21	13°14'32"	74°18'45"
7	Quebrada Teneria	6.55	12.00	13°15'03"	74°17'31"
8	Quebrada Allpamayo	5.21	6.00	13°14'04"	74°18'05"

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.5. Quebradas intermitentes en la unidad hidrográfica de Chillico

N°	NOMBRE DE QUEBRADA INTERMITENTE	Longitud Km	CORDENADAS UTM	
			Latitud Sur	Longitud Oeste
1	Quebrada Ccancuyacu	10.4	13°13'24"	74°16'10"
2	Quebrada Ayahuaycco	8.99	13°11'30"	74°15'57"
3	Quebrada Ccarapunco	4.92	13°08'16"	74°15'40"
4	Quebrada Yanamachay	3.48	13°07'03"	74°15'35"
5	Quebrada Machachuaycco	2.93	13°06'16"	74°18'27"
6	Quebrada Sacsamarca	4.16	13°09'37"	74°15'17"
7	Quebrada Chakapuquio	2.48	13°08'35"	74°18'57"

Fuente: Elaboración propia.

- Almacenamientos naturales – lagunas**

Existe una laguna natural y según capacidad de almacenamiento se muestra en la tabla 3.6 la ubicación de la laguna de la microcuenca del río Chillico.

Tabla 3.6. Lagunas en la unidad hidrográfica Chillico

N°	NOMBRE DE LAGUNA	ÁREA DEL ESPEJO (HA)	CORDENADAS UTM	
			Latitud Sur	Longitud Oeste
1	Yanayaco	1.45	13°11'36"	74°17'42"

Fuente: Elaboración propia.

- **Almacenamientos artificiales - reservorios**

En la microcuenca del río Chillico existe 11 reservorios de volumen: 35,322 m³, que almacenan agua todo el tiempo, aumentando la disponibilidad de agua para diversos fines de riego, que es el único sustento de las comunidades ubicados en la cuenca.

Tabla 3.7. Inventario de reservorios de riego

N°	NOMBRE DE RESERVORIO	ÁREA (m ²)	VOL (m ³)	CORDENADAS UTM	
				Latitud Sur	Longitud Oeste
1	Reservorio Qeullacocha	5713.0	14282.	13°14'11"	74°18'07"
2	Reservorio Huayllapata	1080.0	2700.0	13°10'41"	74°16'30"
3	Reservorio Accolla	810.0	2025.0	13°10'52"	74°16'41"
4	Reservorio Huachhualla	2000.0	5000.0	13°11'39"	74°16'09"
5	Reservorio Socos	2300.0	5750.0	13°13'27"	74°17'22"
6	Reservorio Yanapampa	324.0	810.0	13°12'19"	74°18'01"
7	Reservorio Cedropata	152.0	380.0	13°09'54"	74°18'26"
8	Reservorio Negropuquio	350.0	875.0	13°10'55"	74°19'08"
9	Reservorio Cceraccasa	324.0	810.0	13°11'18"	74°19'02"
10	Reservorio Ccollcabamba	200.0	500.0	13°13'16"	74°18'30"
11	Reservorio Ranca	875.0	2190.0	13°11'03"	74°16'15"

Fuente: Elaboración Propia.

- **Humedales (bofedales)**

Un bofedal es un humedal de altura, y se considera una pradera nativa poco extensa con permanente humedad. Los vegetales o plantas que habitan el bofedal reciben el nombre de "vegetales hidrofíticos". Los bofedales se forman en zonas alto andino, en donde las planicies almacenan aguas provenientes de precipitaciones pluviales, deshielo de glaciares y principalmente afloramientos superficiales de aguas subterráneas. El inventario de fuentes de agua superficial no registra información al respecto humedales (Bofedales).

Sin embargo en la visita al campo se observó 14 bofedales que representa el 5.8% del total la superficie en la microcuenca del río Chillico tal como se muestra en el tabla 3.8.

Tabla 3.8. Inventario de bofedales de la unidad del río Chillico

N°	NOMBRE DE BOFEDAL	ÁREA (HA)	CORDENADAS UTM	
			Latitud Sur	Longitud Oeste
1	Bofedal Tuldurumy	0.15	13°15'11"	74°18'22"
2	Bofedal Arrimana	0.74	13°15'03"	74°18'03"
3	Bofedal Chunyacc 1	0.46	13°14'40"	74°17'33"
4	Bofedal Chunyacc 2	0.15	13°14'44"	74°17'25"
5	Bofedal Chunyacc 3	0.21	13°14'17"	74°17'27"
6	Bofedal Chunyacc 4	0.16	13°14'11"	74°17'22"
7	Bofedal Monccapata	0.43	13°10'05"	74°17'34"
8	Bofedal Succucucho	0.76	13°06'42"	74°17'14"
9	Bofedal Chanchoccocha	0.87	13°11'10"	74°15'39"
10	Bofedal Chanchoccocha 2	0.15	13°11'00"	74°15'40"
11	Bofedal Ccasanapampa	0.89	13°10'10"	74°15'27"
12	Bofedal Santa Lucia	0.88	13°09'40"	74°17'25"
13	Bofedal Sonchopucro	1.12	13°09'55"	74°15'36"
14	Bofedal Marccaraccocha	0.06	13°10'48"	74°15'47"

Fuente: Elaboración propia.

Resumen de los fuentes hídricas superficiales en la microcuenca del río Chillico

La microcuenca en estudio está conformada por un río principal, el río Chillico, donde cada unidad hidrográfica ha sido identificada en el campo, podemos resumir de la siguiente manera. La unidad hidrográfica del río Chicllarazo tiene 42 fuentes de agua que representan el 100% del total de fuentes hídricas superficiales de la microcuenca en estudio. En la tabla 3.10 se presenta el consolidado del inventario de fuentes de agua superficial por unidad hidrográfica.

Tabla 3.9. Resumen de los cursos hídricos superficiales

Tipo de recurso hídrico	Cantidad
Río	1
Quebrada	8
Quebrada Intermitente	7
Laguna	1
Bofedal	14
Reservorio	11
TOTAL	42

Fuente: Elaboración propia

3.2.2 Del cálculo de los caudales de aforo

El cálculo de caudal del inventario de fuentes de agua (aforos), la distribución hídrica de estas fuentes por unidad hidrográfica del río Chillico.

Donde el caudal aforado de los ríos y riachuelos nos permitirá para conocer la cantidad de recurso hídrico que dispone la microcuenca del río Chillico, y para hacer la comparación de los caudales generados de dichos ríos.

Estos caudales determinados nos permitirán una mejor distribución del manejo del recurso hídrico a las instituciones de su jurisdicción para su respectiva planificación de sus proyectos.

El caudal total que aporta la microcuenca del río Chillico en el mes de abril es de 111.87 lt/seg. Según el aforo realizado en esta fecha.

Se realizó las diferentes mediciones para obtener los caudales de las diferentes fuentes de agua.

Datos del aforo en campo: río principal Chillico

- Distancia del tramo de viaje del flotador (m): L=12.00m
- Tiempo de viaje del flotador (t)(seg).

N° Prueba	Tiempo (Seg)
1	12.5
2	12.5
3	11.9
4	11.5
5	11.9
6	12.5
Tiempo Promedio: 12.13	

Cálculo de la velocidad:

$$V = \frac{L}{T} = \frac{12.00}{12.13} = 0.99m / seg.$$

Cálculo de la sección (Área de la sección)

SECCIÓN AGUAS ARRIBA		
Ancho de la Sección (m):		$A_i = \frac{h_{i-1} + h_1}{2} \times T$
	1.4	
Distancia (m)	Profundidad (m)	Área (m ²)
0	0.00	0
0.20	0.08	0.008
0.40	0.08	0.016
0.60	0.12	0.02
0.80	0.13	0.025
1.00	0.10	0.023
1.20	0.07	0.017
1.40	0.03	0.01
Área total		0.119

SECCIÓN AGUAS ABAJO		
Ancho de la Sección (m):		$A_i = \frac{h_{i-1} + h_1}{2} \times T$
	1.4	
Distancia (m)	Profundidad (m)	Área (m ²)
0	0	0
0.20	0.07	0.007
0.40	0.09	0.016
0.60	0.11	0.02
0.80	0.11	0.022
1.00	0.08	0.019
1.20	0.06	0.014
Área total		0.107

$$\text{Área promedio: } A_{prom} = \frac{A_A + A_B}{2} = 0.113m^2$$

$$\text{Caudal: } Q = V_t \times A_{prom} = 111.87.lit / seg.$$

Tabla 3.10. Inventario de los recursos hídricos de la microcuenca

N°	UBICACIÓN	TIPO DE FUENTE		CAUDAL (LPS)	COORDENADAS UTM		ALTITUD (msnm)	OBSERVACIÓN
		M	R		NORTE Y	ESTE X		
1	Río Chillico		X	111.87	568730.00	8514486.00	3638.00	Río
2	Riachuelo Pucacaja		X	25.00	565969.00	8510383.00	3844.00	Riachuelo
3	Riachuelo Ccanhuayoc		X	22.00	565994.00	8510425.00	3838.00	Riachuelo
4	Riachuelo Pallcca		X	35.00	562959.00	8510938.00	3915.00	Riachuelo
5	Riachuelo Accurumy		X	10.00	562138.00	8510690.00	3937.00	Riachuelo
6	Riachuelo Sururuhaaycco		X	15.00	561421.00	8511094.00	3875.00	Riachuelo
7	Riachuelo Matarccasa		X	27.21	560368.00	8511198.00	3803.00	Riachuelo
8	Riachuelo Teneria		X	12.00	555059.00	8511508.00	4195.00	Riachuelo
9	Riachuelo Allpamayo		X	6.00	554809.00	8511252.00	4238.00	Riachuelo

Fuente: elaboración propia

3.2.3 Tratamiento de la información básica

3.2.3.1 De la consistencia de la información pluviométrica

Las 04 estaciones que fueron agrupados de acuerdo a la regionalización fueron completadas y extendidas.

Tabla 3.11. Estaciones pluviométricas de la microcuenca del río Chillico y vecinas

ESTACIONES PLUVIOMETRICAS UTILIZADAS EN EL ESTUDIO								
ESTACIONES	TIPO	ALTITUD m.s.n.m.	PROPIET ARÍO	UBICACIÓN			PERÍODO DE REGISTRO	RECORD DE AÑOS
				Departamento	Provincia	Distrito		
1. ALLPACHACA	PLU	3541.0	PERC	AYACUCHO	HUAMANGA	CHIARA	1992-2013	21.0
2. CHIARA	PLU	3599.0	PERC	AYACUCHO	HUAMANGA	CHIARA	1993-2013	20.0
3. CHONTACA	PLU	3497.0	PERC	AYACUCHO	HUAMANGA	ACOCRO	1992-2013	21.0
4. CUCHOQUESERA	PLU	3740.0	PERC	AYACUCHO	CANGALLO	CHUSCHI	1992-2013	21.0
5. PUCALOMA	PLU	3493.0	PERC	AYACUCHO	HUAMANGA	SOCOS	1995-2012	18.0
6. PUTACCA	PLU	3589.0	PERC	AYACUCHO	HUAMANGA	VINCHOS	1991-2010	20.0
7. SACHABAMBA	PLU	3566.0	PERC	AYACUCHO	HUAMANGA	CHIARA	1995-2013	19.0
8. TAMBILLO	PLU	3328.0	PERC	AYACUCHO	HUAMANGA	TAMBILLO	1992-2013	21.0
9.QUINUA	PLU	3316.0	SENAMHI	AYACUCHO	HUAMANGA	QUINUA	1964 - 2012	49.0

Fuente: Elaboración propia

Los resultados del análisis estadístico, análisis de doble masa, y los histogramas de las estaciones seleccionada para el cálculo de precipitación media mensual se presenta en las tablas siguientes con datos originales completados y extendidos:

Tabla 3.12. Estaciones pluviométricas utilizadas en la microcuenca del río Chillico

ESTACIONES PLUVIOMETRICAS SELECCIONADAS DENTRO DEL ESTUDIO						
Estaciones	Tipo	Altitud m.s.n.m.	Cuenca	Ubicación		
				Departa mento	Provincia	Distrito
1. ALLPACHACA	PLU	3541.0	Cachi	Ayacucho	Huamanga	Chiara
2. CHONTACA	PLU	3497.0	Cachi	Ayacucho	Huamanga	Chiara
3. TAMBILLO	PLU	3328.0	Cachi	Ayacucho	Huamanga	Tambillo
4. QUINUA	PLU	3316.0	Cachi	Ayacucho	Huamanga	Quinua

Fuente: Elaboración propia

Histograma de las estaciones seleccionadas

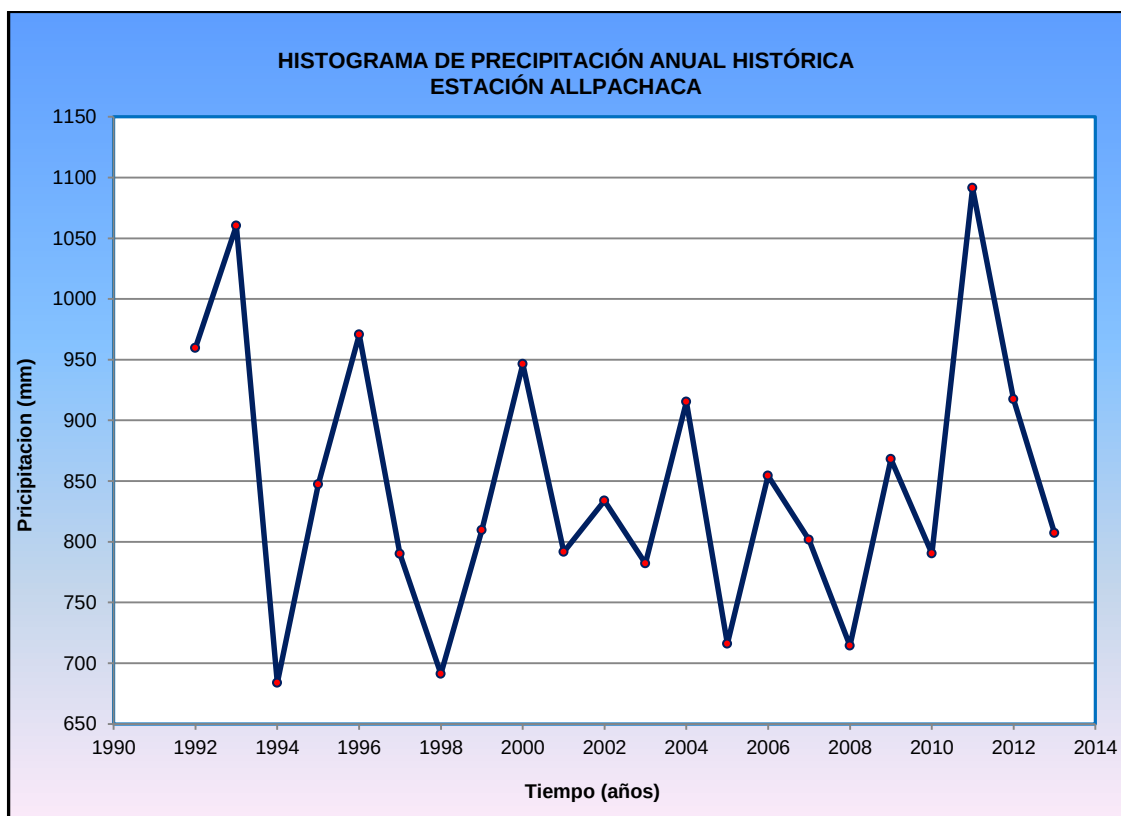


Figura 3.2. Histograma de precipitación anual – Allpachaca (serie histórica)

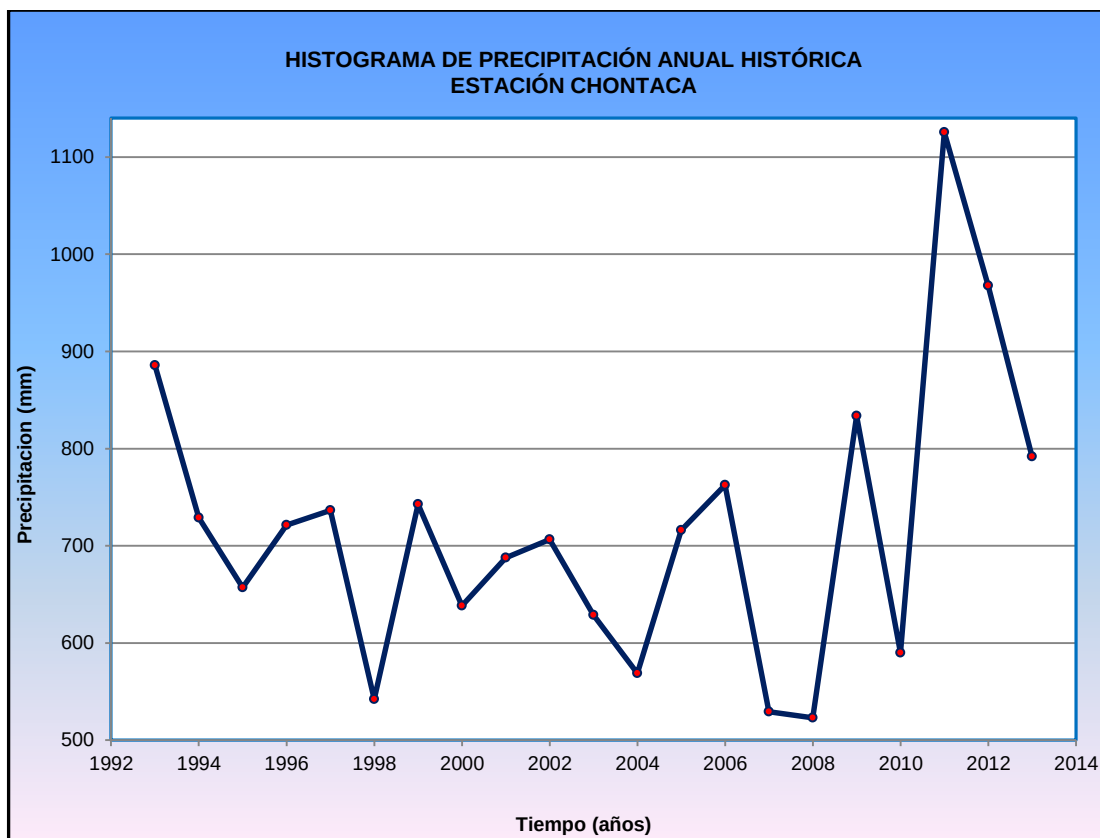


Figura 3.3. Histograma de precipitación anual – Chontaca (serie histórica)

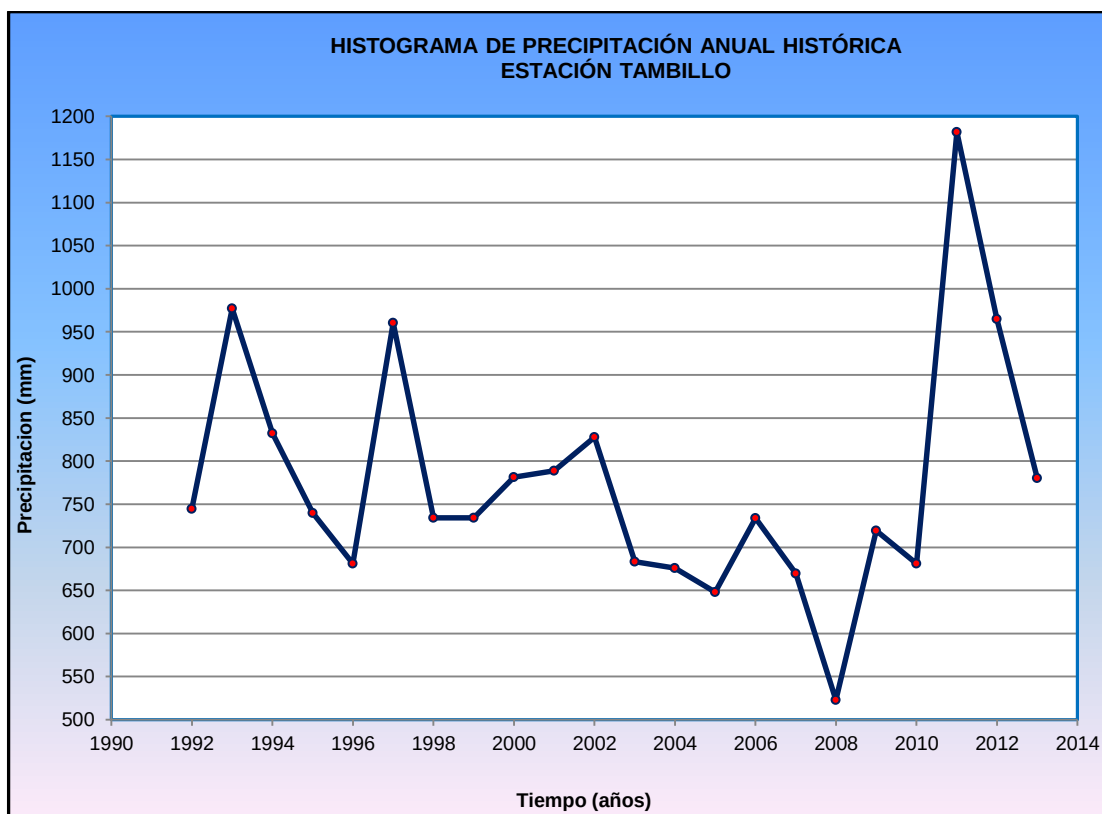


Figura 3.4. Histograma de precipitación anual – Tambillo (serie histórica)

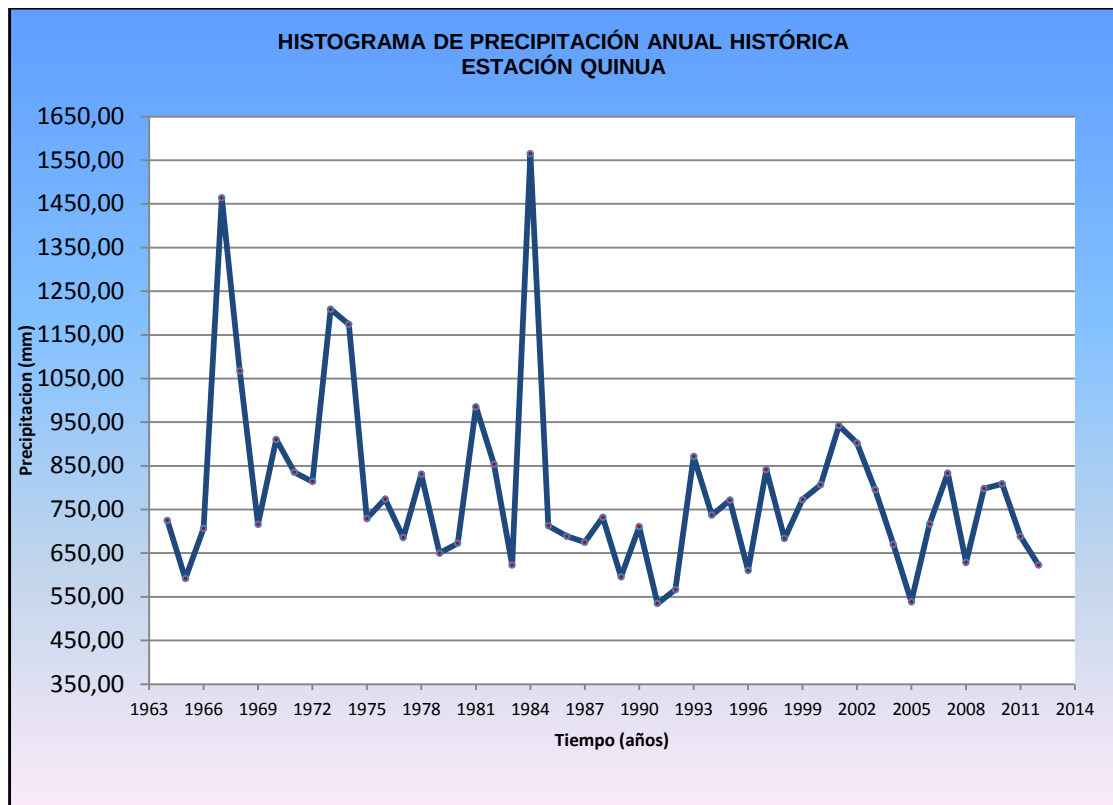


Figura 3.5. Histograma de precipitación anual – Quinua (serie histórica)

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, como en el caso de los registros de descargas; 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.

Es de suma importancia no alterar los datos registrados de precipitación, principalmente en los meses secos, puesto que esto implicaría una alteración del aporte de los glaciares al realizar el balance hídrico de la cuenca obteniendo resultados inconsistentes.

Para completar la información faltante se empleó los métodos de correlación lineal y generación aleatoria en los datos estandarizados, esto debido a que en las estaciones

vecinas dicha información mensual no existía o no se podía formar el par regresible como en el caso de los registros de caudales.

De las tablas y figuras presentadas se puede notar las siguientes tendencias:

- Los quiebres identificados en el análisis de doble masa contrastado con su respectivos hidrogramas no fueron significativos por realizar correcciones en la serie, por este motivo se considera que los datos pluviométricos que se encuentran dentro de la cuenca de estudio no necesitaron ser corregidos.
- En toda serie hidrológica existen datos faltantes y por este motivo la serie no deja de ser confiable; para completar dichos datos faltantes se emplean métodos prácticos y a veces empíricos con buenos resultados.
- Para la presente tesis se empleó el método de correlación lineal y generación aleatoria en los datos estandarizados, éste método es el más adecuado para completar la serie.
- La extensión de los datos se realizaron en las estaciones Allpachaca, Chontaca y Tambillo. Estas extensiones son muy cortas como se puede apreciar en las series presentadas.

3.2.1.1. Completación de la información pluviométrica.

Una vez corregida la información se procederá a la completación y extensión de las precipitaciones mensuales a las estaciones seleccionadas para el estudio de la microcuenca Chillico, para un período de 1980 – 2013.

La información corregida de las estaciones corregidas la estación Quinua no presenta registros faltantes a nivel mensual basados para un período de 1980 – 2013.

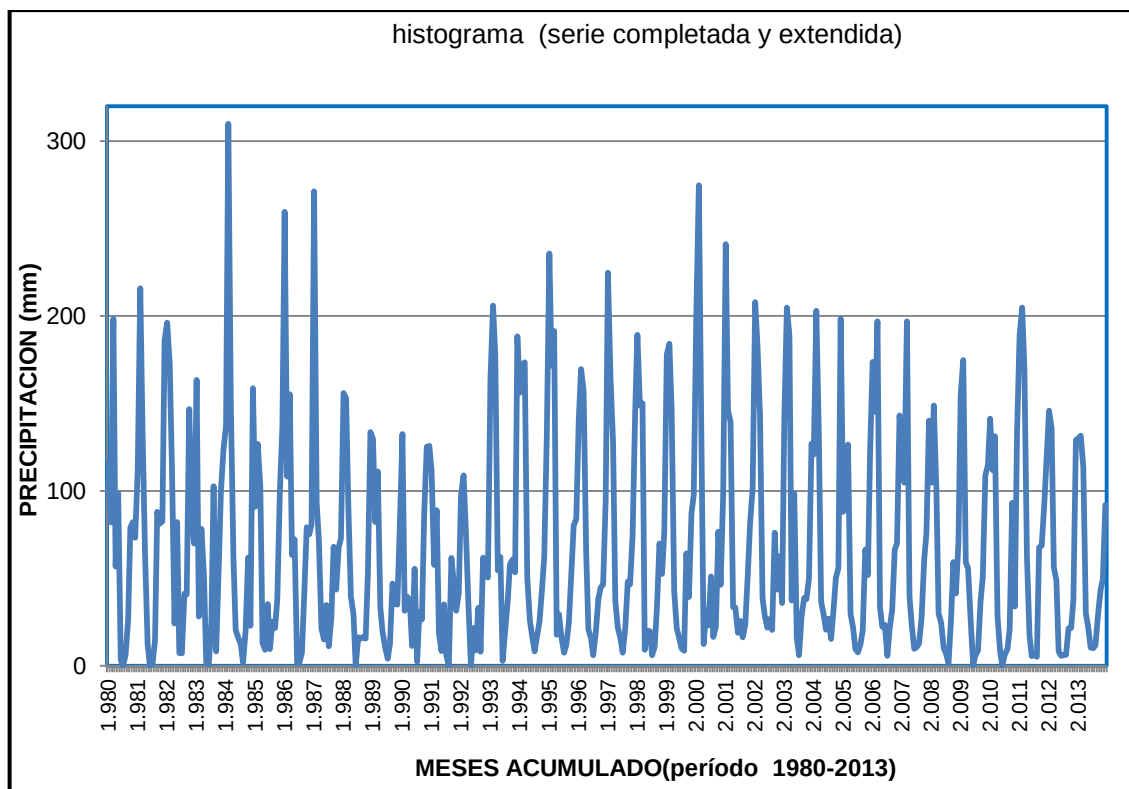


Figura 3.6. Histograma de precipitación mensual – E. Quinua (serie completada y extendida)

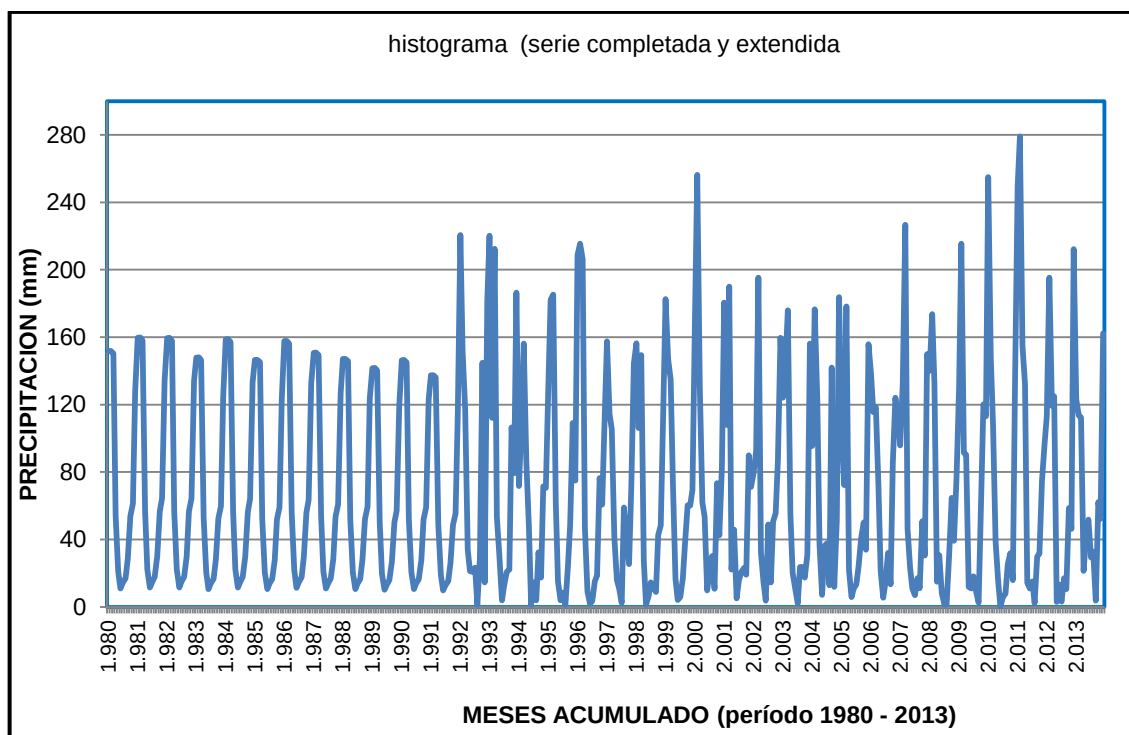


Figura 3.7. Histograma de precipitación mensual-E. Allpachaca (serie completada y extendida)

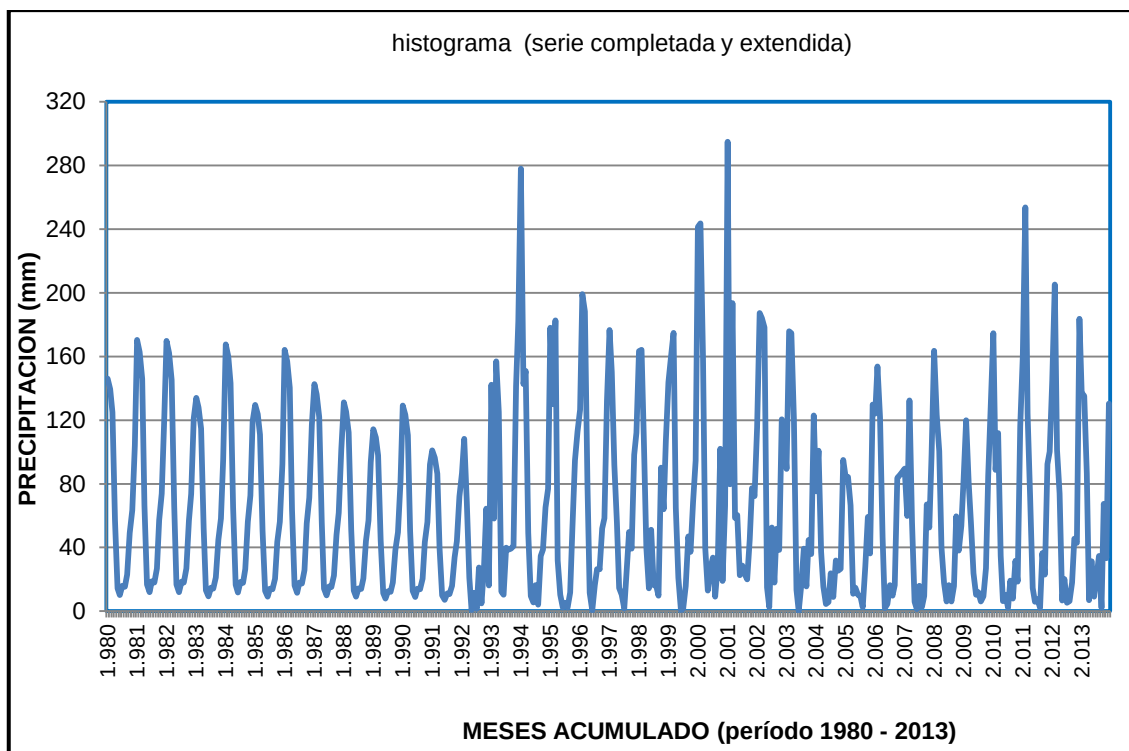


Figura 3.8. Histograma de precipitación mensual – E. Chontaca (serie completada y extendida)

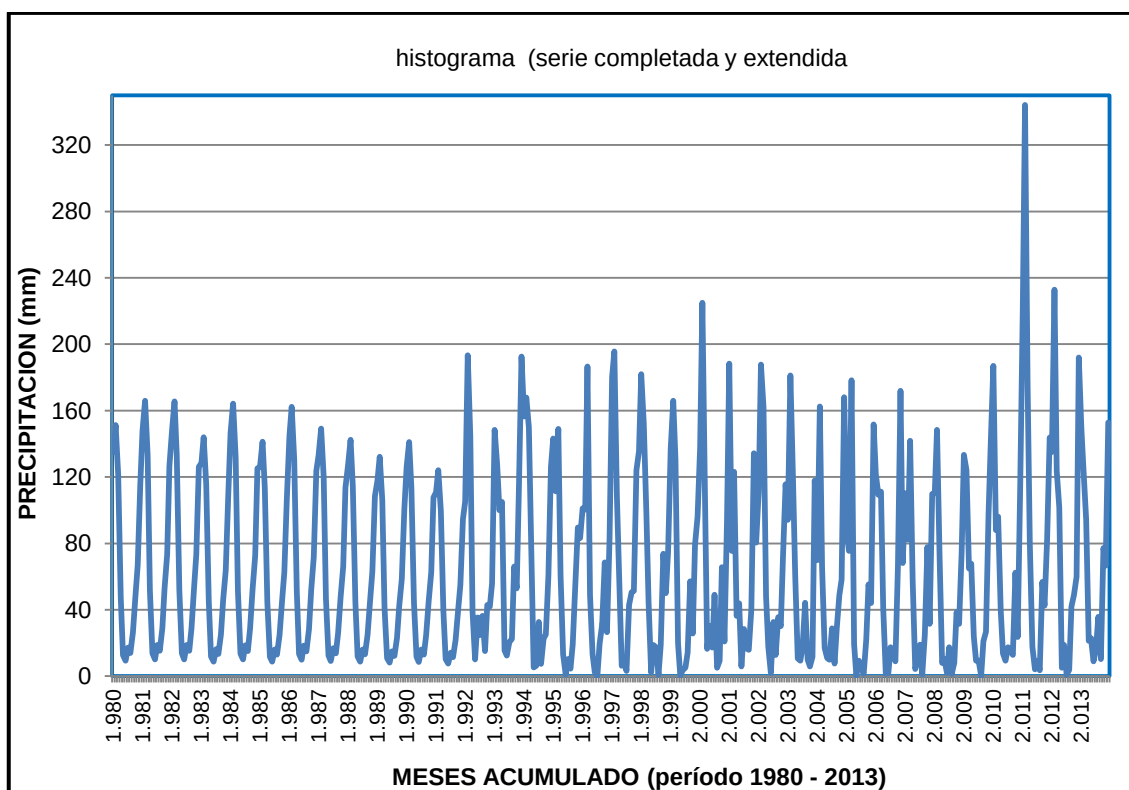


Figura 3.9. Histograma de precipitación mensual – E. Tambillo (serie completada y extendida)

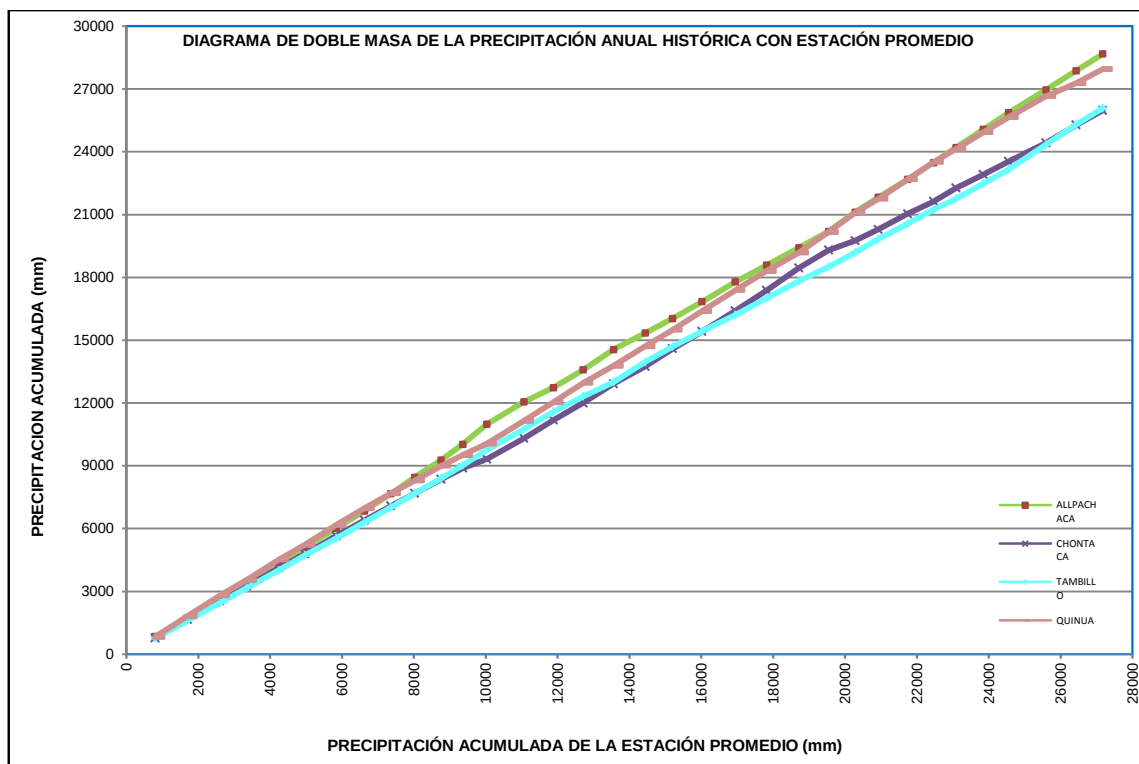


Figura 3.10. Análisis de doble masa de las estaciones seleccionados

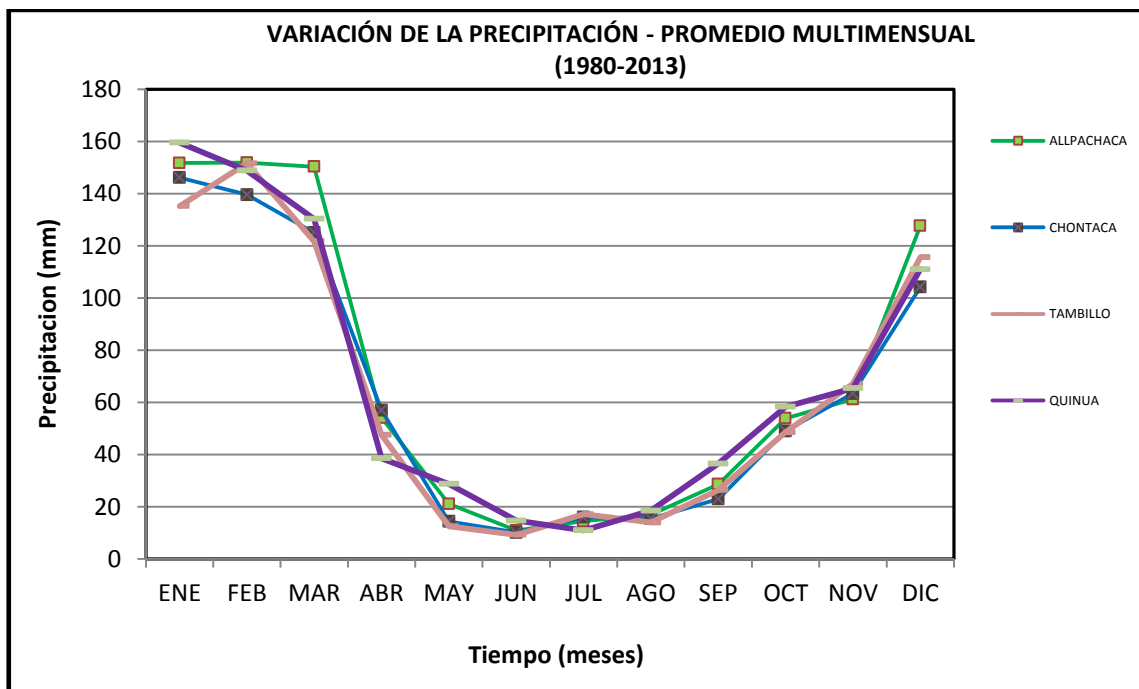


Figura 3.11. Variación de la precipitación - promedio multimensual (1980-2013)

Tabla 3.13. Precipitación mensual de la microcuenca del río Chillico

Precipitacion total mensual - Promedio multimensual (1980-2013)															
N°	ESTACION	ALTITUD (msnm)	MESES												TOTAL ANUAL
			ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
1	QUINUA	3316.0	159.57	148.93	130.38	38.63	28.79	14.74	10.97	18.56	36.55	58.36	65.49	111.07	822.05
3	ALLPACHACA	3541.0	151.80	151.90	150.39	54.13	21.13	10.96	14.49	17.02	28.69	53.93	61.27	127.66	843.35
5	CHONTACA	3497.0	146.23	139.64	125.09	57.02	14.43	10.20	16.04	15.45	23.02	49.12	63.44	104.23	763.90
9	TAMBILLO	3328.0	135.27	151.67	121.77	47.54	12.54	9.28	17.19	14.02	26.44	48.63	67.14	115.65	767.15

Tabla 3.14. Porcentaje de variación de la Precipitación mensual total de la microcuenca del río Chillico

Porcentaje de variacion de la precipitacion total mensual (%)															
N°	ESTACION	ALTITUD (msnm)	MESES												TOTAL ANUAL
			ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
1	QUINUA	3316.00	19.41	18.12	15.86	4.70	3.50	1.79	1.33	2.26	4.45	7.10	7.97	13.51	100.0
3	ALLPACHACA	3541.0	18.00	18.01	17.83	6.42	2.50	1.30	1.72	2.02	3.40	6.39	7.27	15.14	100.0
5	CHONTACA	3497.0	19.14	18.28	16.37	7.46	1.89	1.33	2.10	2.02	3.01	6.43	8.30	13.64	100.0
9	TAMBILLO	3328.0	17.63	19.77	15.87	6.20	1.64	1.21	2.24	1.83	3.45	6.34	8.75	15.08	100.0

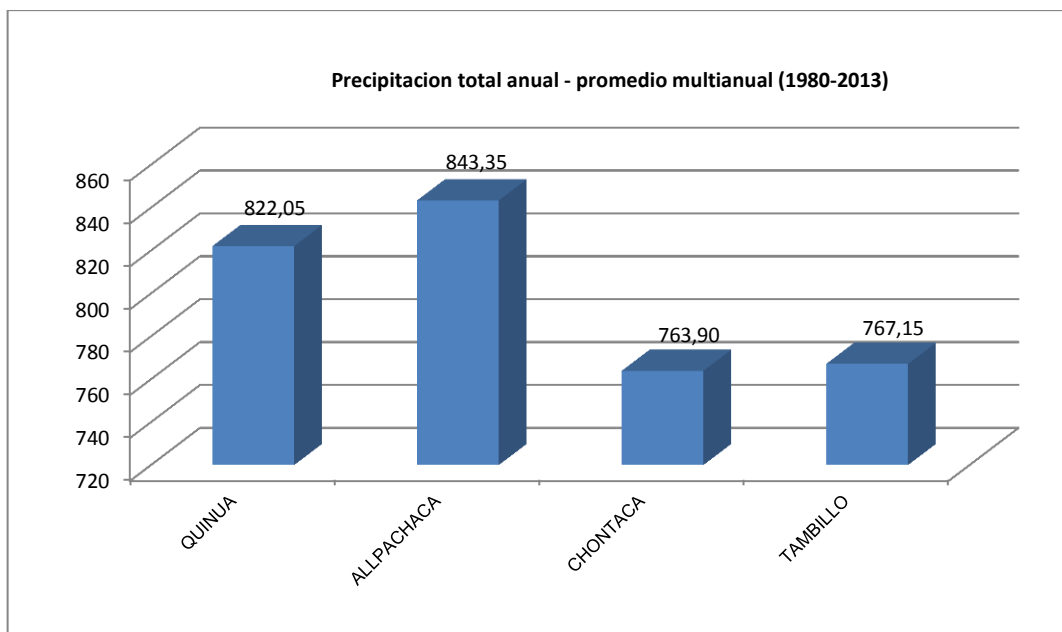


Figura 3.12. Precipitaciones registradas por las estaciones

3.3 FORMAS DE APROVECHAMIENTO QUE PERMITA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA

3.3.1 Construcción de zanjas de infiltración

A lo largo de todas las áreas de pastos naturales, áreas de aptitud forestal y áreas de protección, ubicados entre las cotas 3450.00 – 4250 msnm. Que en conjunto suman aproximadamente 4162.35 hectáreas y que se encuentran ubicadas en las partes más altas de la cuenca en estudio la precipitación promedio bordea entre los 843.35 a 767.15 mm/año; se pueden construir zanjas de infiltración a fin de captar el agua de escurrimiento superficial provenientes de las lluvias y facilitar su infiltración y controlar la erosión de los suelos. El efecto de esta práctica es sumamente positivo desde el punto de vista económico, social y ambiental tanto para la propia zona como para la misma cuenca en su conjunto, pues con ello se logrará disponer de más agua en el estiaje, controlar la erosión y huaycos además de ayudar a la regeneración de la cubierta vegetal.

Las zanjas de infiltración se construyen en sentido transversal a la pendiente misma del terreno. Su construcción puede hacerse ya sea en forma manual o en forma mecanizada con tractores agrícolas de por lo menos 100 – 110 Hp de potencia y sus respectivos implementos mecánicos. Las características hidráulicas promedio determinadas para la sierra peruana son: pendiente longitudinal cero, ancho de la base inferior entre 0.30 –

0.50 cm, ancho del borde superior entre 0.40 – 0.70 cm una profundidad de zanja entre 0.30 – 0.50 cm, pequeños tabiques de unos 5 a 10 cm de espesor y espaciados cada 10 a 15 m a lo largo de la zanja de infiltración y un espaciamiento superficial entre zanjas entre 10 a 15 m. La información básica utilizada para los cálculos fue la siguiente:

- Velocidad de infiltración básica según tipo de suelo:
 Suelo arenoso : 0.100 m / hora
 Suelo franco : 0.040 m / hora
 Suelo arcilloso : 0.012 m / hora
- Intensidad máxima de precipitación (I_{max}):
 Período de retorno (T) : 25 años
 Duración (d) : 60 min
 I_{max} : 27.8 mm / hora
- Coeficiente de escorrentía superficial (C_e) : 0.5 / 0.6 / 0.7 / 0.8 / 0.9
- Pendiente de la ladera (%) : 15 – 70

Para mayor ilustración, una hectárea en franco proceso de deforestación y sobre pastoreo avanzado, con zanjas de infiltración espaciadas entre ellas 10 a 15 m, puede infiltrar en promedio hasta unos 6,000 – 9,000 m³/ha-año, para zonas con precipitaciones promedio que van entre los 800 – 1,400 mm/año.

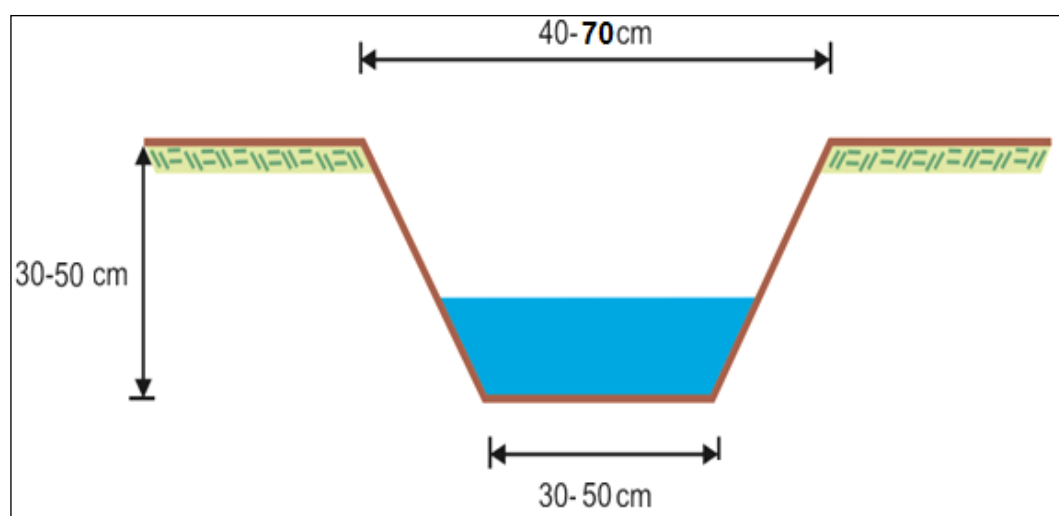


Figura 3.13. Características hidráulicas de una zanja de infiltración

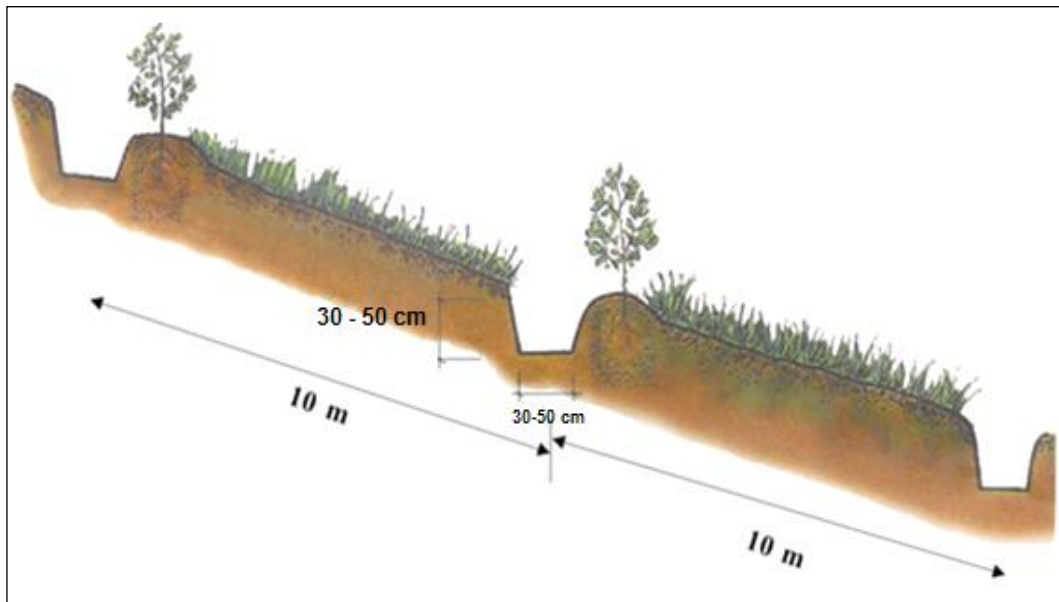


Figura 3.14. Corte de una plantación forestal con acequias de infiltración

3.3.2 Reforestación

La reforestación es una actividad sumamente efectiva para el control de la erosión y aumentar la infiltración del agua de lluvia. Se sugiere la realización de esta actividad entre las cotas 3050.00 – 3450 msnm. Que en conjunto suman aproximadamente 3745.72 hectáreas, lo cual es una área destinada al cultivo, silvo pastoril y reforestación con plantas de la zona y que se encuentran ubicadas en la partes media la cuenca en estudio en esta actividad será mucho más efectiva si va acompañada de la construcción de zanjales de infiltración para captar el agua de escurrimiento superficial y facilitar su infiltración lo cual redundará en una mayor tasa de crecimiento de las plantas debido a las mejores condiciones de humedad del suelo, a una recarga de las aguas subterráneas, mejora del paisaje, la biodiversidad, del propio ciclo hidrológico y a la aparición o incremento de la descarga de agua en los manantiales, puquios u ojos de agua ubicados normalmente en las partes medias y bajas de las cuencas; aparte de otros beneficios como la producción de hongos comestibles y los bonos de CO₂ o llamados también bonos de carbono.



Figura 3.15. Vista de un sistema silvo pastoril y agrícola

3.3.3 Construcción de terrazas de absorción y andenes

Una práctica efectiva para captar y aprovechar el agua de lluvia que cae en una ladera lo constituye la “terrazza de absorción” o los andenes, tanto en áreas con cultivos bajo riego o en secano, siendo las características de diseño ligeramente diferentes para uno u otro caso. Cuando se trata de áreas en secano, todo el agua que cae en la lluvia debe ser captada e infiltrada en el propio banco de cada terraza o andén, a fin de aprovecharla totalmente. Se sugiere la realización de esta actividad entre las cotas 2650.00 – 3050 msnm. Que en conjunto suman aproximadamente 3294.16 hectáreas, se sugiere la realización de esta actividad debido a que se nota un alto grado de erosividad en esta parte de la cuenca, se tiene una gran cantidad de material de la zona como roca suelta lo cual es un material ideal para la construcción de andenes y terrazas, donde se procederá la instalación de plantas nativas observados en la zona como las diferentes variedades de cactus, huarango, molle, entre otros. En otros casos, también pueden ser utilizados para plantaciones de frutales o forestales en terrazas individuales y con la mayor área posible de captación de agua de lluvia.

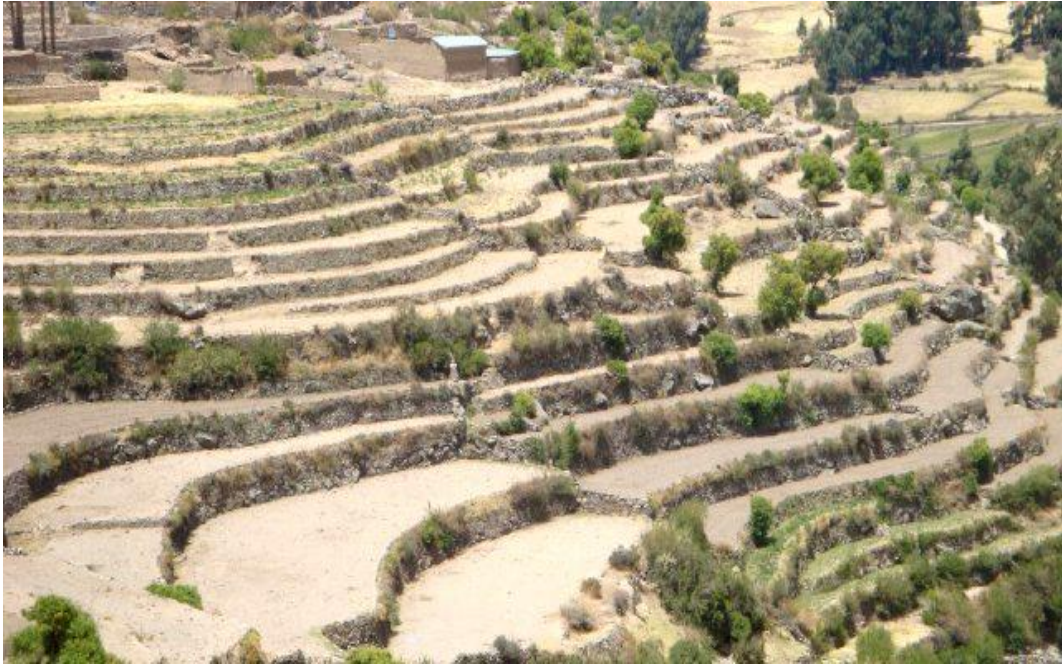


Figura 3.16. Vista de una ladera con andenes contruidos con material del lugar

CAPÍTULO IV

DISCUSIONES

Del inventario de las fuentes hídricas superficiales

Villón M. (2002), manifiesta que el inventario realizado se identificó que en la zona de estudio no existen prácticas de siembra y cosecha de agua, tal razón motivó la identificación de lugares como posibles zonas de almacenamiento para el mejor aprovechamiento de los recursos ya que en esta es muy frecuente la escasez del recurso.

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 introducirá un error de tipo aleatorio, es decir al realizar el análisis de consistencia, específicamente el análisis de saltos, ocurre el riesgo de incluir o remover (según el tramo que se escoja como confiable), los errores sistemáticos de tipo natural en todo el registro que se está analizando. (Gómez, P. D. 1994).

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

De los cuadros y gráficos presentados se puede notar las siguientes tendencias:

- Los quiebres identificados en el análisis de doble masa contrastado con sus respectivos histogramas fueron significativos por lo que se procedió a realizar el análisis estadístico.

La extensión de los datos se realizó con el método de regresión simple, para las estaciones de Allpachaca, Tambillo y Chontaca, a partir de los datos de registro histórico de la estación de Quinua. Estas extensiones fueron realizados para un período desde el año 1980 al año 2013. Monsalve, G. (1995).

De las características geomorfológicas de la microcuenca

El conocimiento previo de la geomorfología de la microcuenca Chillico, fue un requisito importante para poder caracterizar la zona de estudio, esta caracterización se realiza en base a la elaboración de los mapas temáticos típicos. Vásquez, A. (2012).

El análisis de los parámetros ayudó a comparar el comportamiento de la precipitación y del escurrimiento en la microcuenca en estudio.

De las formas de aprovechamiento

Los posibles lugares de almacenamiento y formas de aprovechamiento fueron identificados en el campo. Por las condiciones geográficas que no facilitan la instalación de represas se puede almacenar los recursos hídricos con la construcción de reservorios artificiales, como también se identificó lugares donde se sugiere la instalación de zanjales de infiltración y reforestación con plantas nativas de la zona. (Mejía, J. A. 2012).

CONCLUSIONES

Del siguiente estudio realizado de la evaluación de los recursos hídricos superficiales de la microcuenca Chillico, se tiene las siguientes conclusiones:

1. La sistematización de la información cartográfica de la microcuenca Chillico, se ha procesado en el Sistema de Información Geográfica (SIG), y se ha generado los mapas de ubicación geográfica, política, mapas temáticos de la geomorfología. Se logró aforar mediante los diferentes métodos de aforo, las diferentes fuentes de los recursos hídricos, como las diferentes quebradas un total de donde fluyen manantes de agua haciendo un total de 152.21lt/seg. Se tiene un río principal el cual tiene un caudal de 111.87lt/seg. Este caudal se obtuvo del río principal Chillico en el mes de Abril. Así como también se logró medir las capacidades de almacenamiento de los 11 reservorios ubicados en la microcuenca, haciendo un total de 35,322M3 de volumen de almacenamiento para uso exclusivo de riego.
2. Se logró constituir una base de datos georeferenciados mediante coordenadas UTM que permita ubicar y acceder a las diferentes fuentes de los recursos hídricos, la sistematización de la información cartográfica de la microcuenca Chillico, se ha logrado con el sistema de geográfica (SIG), mediante el uso del programa ArcGis 10.3, y se ha generado los mapas de ubicación geográfica, hidrográfica y política.
 - En las características geomorfológicas, se ha determinado los parámetros de forma, relieve y red hidrográfica de la cuenca, el área de la microcuenca Chillico es de 121.00 Km².
 - Debido a la inexistencia de datos hidrométricos para la microcuenca de Chillico, la disponibilidad hídrica que se obtuvo en base a los aforos realizados en el mes de Abril se tuvo un caudal de 111.87Lt/s. este valor está por debajo del caudal generado por el método hidrológico, esto se debe a que en año 2016 ocurrió el

fenómeno del niño y tuvimos menor presencia de precipitaciones, por lo tanto el caudal no se pudo mantener constante como en temporadas anteriores.

- En la evaluación del comportamiento pluviométrico de la microcuenca Chillico, se ha analizado la consistencia y la complementación de la información de precipitaciones mensuales para las 04 estaciones meteorológicas ubicadas en el ámbito de la microcuenca Chillico del período de 1980 – 2013.
3. Se propone el almacenamiento de los recursos hídricos en embalses artificiales como reservorios a base de geomembranas ya que estos tienen mayor resistencia a la deformación pues la zona en estudio en la mayor parte contiene arcilla y es una zona de poca vegetación por lo tanto tenemos una mayor erosión de los suelos,
- Entre las cotas 3450.00 – 4250msnm. Que en conjunto suman aproximadamente 4162.35hectáreas y que se encuentran ubicadas en las partes más altas de la cuenca en estudio las diferentes formas de aprovechamiento mediante la apertura de zanjas de infiltración de acuerdo a la topografía del terreno,
 - Entre las cotas 3050.00 – 3450msnm. Que en conjunto suman aproximadamente 3745.72hectáreas, lo cual es una área destinada al cultivo, silvo pastoril y reforestación con plantas de la zona y que se encuentran ubicadas en la partes media la cuenca.
 - Entre las cotas 2650.00 – 3050msnm. Que en conjunto suman aproximadamente 3294.16hectáreas, es idea para la construcción de andenes y terrazas, debido a se nota un alto grado de erosividad en esta parte de la cuenca, se tiene una gran cantidad de material de la zona como roca suelta lo cual es un material ideal para la construcción de andenes y terrazas.

RECOMENDACIONES

1. Para realizar una mejor estimación de los cálculos realizados para la determinación de los aportes de las quebradas es necesario realizar un análisis de tormentas.
2. Se recomienda a los lectores que se interesen en seguir investigando en este tema contar con información bastante detallada y precisa de las características principales de la zona.
3. Se debe realizar en época de avenidas aforos simultáneos entre en la estación del punto e interés para determinar el aporte de las quebradas.
4. 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 las cuencas y así mismo conocer de esta forma el historial de las mismas.
5. Las entidades públicas y privadas involucradas en el manejo del recurso hídrico de la microcuenca del río Chillico, deberán considerar la construcción de reservorios a base de geomembranas ya que el 80% de los reservorios se encuentran agrietadas debido a que la microcuenca se encuentra en gran parte ubicado sobre una falla geológica

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Chereque, W. (1998). Hidrología para estudiantes de Ingeniería Civil Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú – CONCYTEC.
- Chow, V.T. (2000). Hidrología aplicada. Editorial Nomos S.A. Bogotá, Colombia.
- Francois, V. (2002). Glaciares y recurso hídrico en el valle alto del río Santa. INRENA. Lima–Perú.
- Gomez, P. D. (1994). Meteorología general. UNALM. Lima–Perú.
- Hidrandina S.A. (1988). Estudio e inventario de glaciares. Hidrandina S.A. Lima – Perú.
- Jorge F. (2000). Manejo de cuencas hidrográficas.
- Martin, V. Juan, P. (2002). Ingeniería de ríos. Editorial Grupo Alfaomega. México.
- Mejía, J. A. (2012). Hidrología aplicada. Lima, Perú: Universidad Nacional Agraria la Molina.
- Monsalve, G. (1995). Hidrología en la Ingeniería 2^{da} Edición. Colombia.
- MTC (Ministerio de Transportes y Comunicaciones). (2011). Proyecto de manual de hidrología, hidráulica y drenaje para obras viales. 1^{ra} Edición. Lima, Perú.
- Ordoñez, J. (2012). Ciclo hidrológico
- Prez, G. (2015) Manual de hidrología aplicada.
- Vásquez, A. (2000). Manejo de cuencas alto andinos. Lima - Perú. Universidad Nacional Agraria la Molina.
- Vásquez, A. (2012). Cosecha de agua de lluvia en laderas semiáridas de la sierra y su impacto en el proceso de desertificación y cambio climático.
- Villón, M. (2002). Hidrología. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Ingeniería Agrícola. Lima, Perú
- Villón, M. (2002). Hidrología estadística. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Ingeniería Agrícola. Lima, Perú.

ANEXOS

ANEXO 1
PANEL FOTOGRÁFICO



Vista panorámica de la microcuenca del río Chillico



Vista de reconocimiento de la cuenca en estudio



Reconocimiento, ubicación de lagunas en la microcuenca Chillico



Reconocimiento, ubicación y aforo de los manantes del río Chillico



Aprovechamiento precario de los recursos en la microcuenca



Almacenamiento inadecuado de los recursos hídricos



Vista de caudales máximos en época de precipitaciones



Vista de estado en épocas de estiaje de la microcuenca chillico



Vista de canteras de agregados en la microcuenca Chillico



Extracción de agregados de la microcuenca Chillico



Materiales utilizados para los aforos en la microcuenca Chillico



Reconocimiento, ubicación de los ríos en la microcuenca Chillico



Vista de aforo del río principal en la microcuenca Chillico



Aforo en río debajo de la microcuenca Chillico



Escasa vegetación en la parte alta de la microcuenca Chillico



Reconocimiento, ubicación de zonas de cultivo en la microcuenca Chillico



Escasa zona de cultivo en la microcuenca del río Chillico



Reconocimiento, de vegetación natural en la microcuenca Chillico



Especies más frecuentes en la microcuenca Chillico



Reconocimiento, ubicación de reservorios en la microcuenca Chillico



Reconocimiento, ubicación de canales en la microcuenca Chillico



Escasa cobertura vegetal en la microcuenca Chillico



Reconocimiento, ubicación de manantes en la microcuenca Chillico

ANEXO 2
DATOS DE ESTACIONES UTILIZADOS EN EL ESTUDIO

Anexo 2: Tabla 2.1: REGISTRO DE PRECIPITACIÓN (ALLPACHACA)

 GOBIERNO REGIONAL DE AYACUCHO IRRIGACION RIO CACHI OPERACION HIDROMETEOROLOGICO													
REGISTRO DE PRECIPITACIONES MENSUAL (mm)													
ESTACION : ALLPACHACA				DISTRITO : CHIARA				ALTITUD : 3541 msnm					
CODIGO : 008				PROVINCIA : HUAMANGA				LATITUD : 13°23'29,82"S					
				DEPARTAMENT. : AYACUCHO				LONGITUD : 74°16'07,86"O					
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1992	220.50	151.60	117.20	34.00	S/D	20.80	23.40	1.30	S/D	144.90	14.50	181.20	909.40
1993	220.20	112.20	212.50	53.40	30.00	3.90	13.00	20.80	22.10	106.40	79.40	186.50	1060.40
1994	71.70	109.20	156.30	86.50	48.20	1.30	S/D	3.90	32.50	17.50	71.60	70.50	669.20
1995	132.10	182.20	185.20	62.00	15.00	4.00	8.50	1.30	24.00	48.80	109.20	75.00	847.30
1996	208.90	215.50	206.40	46.90	9.30	1.80	3.60	15.20	18.70	76.40	60.70	107.20	970.60
1997	157.60	114.50	105.40	41.20	15.90	S/D	2.50	59.00	41.90	25.40	71.30	144.50	779.20
1998	156.50	106.00	149.40	27.50	1.30	6.40	S/D	11.50	8.90	42.70	48.30	118.20	676.70
1999	182.60	147.10	134.80	73.20	16.70	4.10	5.80	S/D	38.30	60.30	60.10	69.40	792.40
2000	172.90	256.30	130.60	62.10	53.60	9.80	21.90	30.10	10.70	73.50	42.50	82.50	946.50
2001	180.60	108.00	190.10	22.10	45.90	5.00	15.70	20.80	23.20	19.10	89.90	71.20	791.60
2002	79.30	92.52	195.30	32.20	14.50	3.70	49.00	14.60	50.70	55.50	86.93	159.60	833.86
2003	124.20	141.50	176.00	55.30	20.20	S/D	2.00	23.60	23.60	17.40	31.10	156.30	771.20
2004	95.40	176.50	123.50	36.80	7.20	36.30	37.70	12.90	142.00	11.90	51.40	183.70	915.30
2005	108.50	72.30	178.20	22.00	5.90	S/D	13.40	24.10	40.80	50.00	34.00	155.92	705.12
2006	138.00	115.60	118.70	72.30	S/D	5.40	S/D	32.10	13.50	85.40	124.20	113.40	818.60
2007	95.80	132.40	226.60	46.40	23.20	S/D	6.90	S/D	11.10	50.80	30.60	149.90	773.70
2008	140.00	173.60	132.30	15.00	30.70	8.20	1.40	1.50	31.10	64.70	39.30	76.50	714.30
2009	130.40	215.40	91.50	90.40	12.00	S/D	18.20	9.20	2.60	57.10	120.10	113.20	860.10
2010	255.00	148.10	108.30	39.00	15.50	0.40	5.90	8.00	25.30	31.90	16.00	136.90	790.30
2011	249.60	279.10	155.00	132.00	14.40	S/D	15.20	2.20	30.00	31.70	74.90	96.40	1080.50
2012	113.30	195.40	119.40	124.90	3.00	13.30	3.20	S/D	10.60	58.70	46.30	212.20	900.30
2013	123.20	113.50	112.30	21.50	42.10	51.80	29.30	32.80	3.80	62.20	52.30	162.30	807.10
MEDIA	152.56	152.66	151.14	54.40	21.23	11.01	14.56	17.10	28.83	54.20	61.57	128.30	836.99
S/D = SIN DATO													
FUENTE: PROYECTO ESPECIAL RIO CACHI - PERC													

Anexo 2: Tabla 2.2: REGISTRO DE PRECIPITACIÓN (CHONTACA)

 GOBIERNO REGIONAL DE AYACUCHO IRRIGACION RIO CACHI OPERACION HIDROMETEOROLOGICO													
REGISTRO DE PRECIPITACIONES MENSUAL (mm)													
ESTACION	: CHONTACA			DISTRITO	: ACOCRO			ALTITUD	: 3497 msnm				
CODIGO	: 010			PROVINCIA	: HUAMANGA			LATITUD	: 13°17'44,28"S				
				REGION	: AYACUCHO			LONGITUD	: 74°01'33,54"O				
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1992	86.70	108.20	69.10	21.00	0.70	11.50	1.40	27.40	4.90	28.50	S/D	16.20	375.60
1993	142.30	58.20	157.00	125.20	12.30	10.30	39.90	38.70	39.30	40.80	141.40	182.10	987.50
1994	278.00	142.70	150.90	49.40	9.60	5.40	S/D	4.10	34.60	38.60	65.30	77.00	855.60
1995	178.10	130.10	182.60	31.90	10.30	2.20	5.20	2.30	11.80	52.20	94.80	113.00	814.50
1996	126.60	199.10	188.40	79.80	11.50	0.50	S/D	26.50	26.50	52.00	58.30	132.40	901.60
1997	176.60	150.30	91.80	55.70	14.60	S/D	1.60	27.00	49.70	39.30	98.30	112.00	816.90
1998	163.40	164.10	109.30	39.80	14.30	51.20	S/D	S/D	9.70	90.20	64.00	107.40	813.40
1999	143.80	159.70	174.90	64.90	20.90	0.70	1.40	S/D	46.90	37.30	68.60	94.70	813.80
2000	241.33	243.66	159.40	39.61	12.84	27.04	33.66	9.19	28.93	102.08	19.06	66.11	982.94
2001	295.01	79.63	193.47	58.54	60.43	22.58	28.66	23.39	20.01	45.16	77.33	72.33	976.55
2002	115.46	187.39	184.01	178.27	14.87	2.43	52.59	18.00	51.78	38.40	120.46	111.81	1075.48
2003	89.30	175.80	174.70	120.56	13.40	0.10	S/D	39.30	15.50	44.70	35.90	122.90	832.16
2004	75.30	100.90	37.30	15.30	4.40	5.70	23.90	9.00	31.80	25.50	26.60	95.00	450.70
2005	83.70	84.30	66.50	10.90	S/D	S/D	9.20	2.50	28.00	59.20	36.20	129.80	510.30
2006	124.10	153.70	121.90	46.60	1.80	4.50	S/D	9.80	16.40	83.80	85.50	87.40	735.50
2007	89.50	59.90	132.40	55.50	5.80	1.20	15.90	2.70	9.50	67.00	52.50	98.00	589.90
2008	163.60	123.60	100.60	40.10	17.70	6.20	S/D	6.00	15.80	59.60	38.00	53.60	624.80
2009	82.30	120.00	80.50	55.80	23.90	S/D	11.90	6.00	9.40	27.00	85.40	129.60	631.80
2010	174.70	88.70	111.96	34.60	6.40	S/D	2.10	19.20	8.00	31.70	18.50	116.10	611.96
2011	159.90	253.70	123.90	71.30	14.60	5.80	7.50	2.10	36.50	23.00	92.40	100.20	890.90
2012	144.60	205.30	101.30	73.90	6.70	20.20	5.20	6.40	18.00	45.50	43.00	183.70	853.80
2013	137.30	135.20	86.60	7.00	31.20	9.10	20.80	34.70	2.10	67.40	33.20	130.50	695.10
MEDIA	148.71	142.01	127.21	57.99	14.68	10.37	16.31	15.71	23.41	49.95	64.51	105.99	765.49
S/D = SIN DATO													
FUENTE: PROYECTO ESPECIAL RIO CACHI - PERC													

Anexo 2: Tabla 2.3: REGISTRO DE PRECIPITACIÓN (TAMBILLO)

 GOBIERNO REGIONAL DE AYACUCHO IRRIGACION RIO CACHI OPERACION HIDROMETEOROLOGICO													
REGISTRO DE PRECIPITACIONES MENSUAL (mm)													
ESTACION : TAMBILLO		DISTRITO : TAMBILLO		ALTITUD : 3328 msnm		CODIGO : 002		PROVINCIA : HUAMANGA		LATITUD : 13°13'06,72"S		REGION : AYACUCHO	
										LONGITUD : 74°06'22,68"O			
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1992	105.10	193.30	144.82	38.90	10.10	35.33	24.72	36.40	15.14	42.90	42.00	55.86	744.57
1993	148.40	127.10	100.00	105.00	15.40	12.46	20.44	22.40	66.08	52.84	114.50	192.50	977.12
1994	156.40	167.90	150.00	71.90	5.20	6.20	32.70	7.30	22.60	25.20	60.40	126.30	832.10
1995	143.20	111.40	148.90	60.80	13.00	1.00	10.30	4.50	19.20	54.70	89.60	83.20	739.80
1996	101.20	100.40	186.50	48.80	13.20	2.10	0.30	19.50	31.30	68.60	26.40	82.80	681.10
1997	180.30	195.60	108.20	53.50	6.20	S/D	3.10	42.80	50.50	51.40	124.10	135.40	951.10
1998	181.90	152.00	98.80	44.30	2.10	18.80	S/D	0.80	19.00	73.80	50.10	75.20	716.80
1999	136.60	165.90	130.50	19.80	0.50	3.70	5.00	S/D	57.20	25.70	79.10	96.10	720.10
2000	137.93	225.03	110.50	16.38	30.29	17.29	49.01	5.07	9.36	65.65	20.80	94.12	781.43
2001	188.37	75.53	123.11	36.40	43.94	5.85	28.34	16.64	15.86	40.17	134.29	80.47	788.97
2002	111.15	187.72	162.11	47.84	17.68	1.82	32.63	12.80	35.49	30.23	72.80	115.57	827.84
2003	94.15	181.17	120.10	60.75	10.70	S/D	S/D	44.30	9.90	5.80	11.65	118.00	656.52
2004	69.80	162.50	65.40	17.00	10.80	9.80	28.80	7.50	29.20	48.80	58.10	168.10	675.80
2005	86.50	75.40	178.20	19.40	0.20	S/D	4.40	1.50	22.10	55.30	44.10	151.70	638.80
2006	121.30	109.20	111.20	40.70	1.50	1.80	S/D	14.90	9.00	66.65	172.00	68.10	716.35
2007	110.24	82.16	141.83	57.46	4.29	S/D	18.98	1.04	25.22	77.74	31.59	109.72	660.27
2008	110.24	148.46	72.80	7.90	10.40	2.00	S/D	1.43	8.06	38.35	31.46	74.49	505.59
2009	133.30	124.30	64.90	67.70	23.80	S/D	9.40	0.20	21.00	26.70	97.70	140.80	709.80
2010	186.90	88.10	96.20	40.20	13.80	S/D	S/D	15.40	12.80	62.30	23.60	115.20	654.50
2011	221.30	344.20	176.30	79.70	17.90	4.20	9.10	3.60	56.80	42.50	82.30	143.70	1181.60
2012	135.10	232.90	123.70	101.70	5.10	18.80	0.90	3.70	42.00	49.00	59.90	192.00	964.80
2013	149.30	123.20	94.30	21.30	22.90	9.00	S/D	35.80	10.20	77.20	66.70	152.90	762.80
MEDIA	136.76	153.34	123.11	48.07	12.68	9.38	17.38	14.17	26.73	49.16	67.87	116.92	767.63
S/D = SIN DATO													
FUENTE: PROYECTO ESPECIAL RIO CACHI - PERC													

Anexo 2: Tabla 2.4: REGISTRO DE PRECIPITACIÓN (QUINUA)

 GOBIERNO REGIONAL DE AYACUCHO IRRIGACION RIO CACHI OPERACION HIDROMETEOROLOGICO													
REGISTRO DE PRECIPITACIONES MENSUAL (mm)													
ESTACION	: QUINUA			DISTRITO	: QUINUA			ALTITUD	: 3316 msnm				
CODIGO	: 000663			PROVINCIA	: HUAMANGA			LATITUD	: 13°02'1"S				
				REGION	: AYACUCHO			LONGITUD	: 74°08'1"O				
AÑO	ENE	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	TOTAL
1980.00	116.60	82.00	198.40	56.70	98.60	3.30	0.10	6.00	26.20	79.00	82.20	73.20	822.30
1981.00	111.90	215.90	135.30	63.30	12.20	0.00	0.80	14.40	88.10	81.30	82.60	186.40	992.20
1982.00	196.30	172.70	113.10	24.20	82.20	7.40	7.10	41.20	40.80	146.80	86.50	69.90	988.20
1983.00	163.40	28.20	78.30	51.30	1.90	0.90	24.00	102.70	8.30	55.80	100.10	123.70	738.60
1984.00	137.40	309.90	148.50	62.00	20.60	16.10	12.30	1.80	19.90	61.90	22.90	158.70	972.00
1985.00	90.90	126.80	102.30	13.00	9.20	35.30	9.60	25.20	21.60	37.70	99.30	136.90	707.80
1986.00	259.50	108.10	155.20	63.30	72.30	1.40	1.70	7.60	44.50	79.30	75.30	81.00	949.20
1987.00	271.20	93.40	71.40	21.30	15.10	34.80	11.20	27.50	68.10	43.60	67.90	73.00	798.50
1988.00	156.00	153.10	91.20	39.50	29.70	0.00	16.30	15.50	16.50	15.50	52.70	133.70	719.70
1989.00	129.70	82.20	111.10	33.20	19.30	10.60	4.10	12.60	47.00	35.50	34.90	81.60	601.80
1990.00	132.50	31.50	39.60	36.90	11.40	55.40	2.40	30.90	26.60	87.40	125.20	125.80	705.60
1991.00	111.70	57.70	88.90	18.70	8.50	35.10	5.90	0.00	61.70	48.20	31.50	41.60	509.50
1992.00	97.50	109.00	73.00	35.90	0.00	21.70	8.80	33.10	8.10	61.80	52.40	50.60	551.90
1993.00	164.00	206.00	178.00	54.60	62.20	2.80	19.90	37.40	58.10	60.80	53.40	188.30	1085.50
1994.00	156.10	172.30	173.50	50.40	26.20	17.20	8.30	16.30	25.10	43.60	62.50	131.50	883.00
1995.00	235.80	171.70	191.50	17.80	29.40	15.90	7.60	12.10	25.00	54.20	80.10	83.90	925.00
1996.00	141.50	169.60	157.10	64.80	20.70	15.90	6.00	19.00	38.10	44.60	46.60	94.90	818.80
1997.00	224.70	165.00	127.50	37.20	21.60	15.80	7.60	21.20	48.20	46.60	74.30	144.50	934.20
1998.00	189.20	148.80	150.10	9.20	20.10	19.80	6.00	11.00	32.90	69.90	52.50	76.50	786.00
1999.00	178.10	184.10	146.40	42.60	21.40	16.30	9.90	8.60	64.20	39.30	87.20	97.50	895.60
2000.00	199.80	274.80	146.40	12.40	31.60	23.10	51.00	16.50	22.20	76.70	46.40	98.00	998.90
2001.00	241.00	146.30	139.40	33.60	33.30	18.80	25.60	16.40	23.40	52.50	81.20	101.50	913.00
2002.00	208.00	183.80	143.70	38.70	28.60	21.80	26.80	20.60	76.20	43.60	62.70	35.90	890.40
2003.00	141.30	204.90	188.90	37.30	98.60	15.90	6.00	28.60	38.90	38.10	49.60	127.10	975.20
2004.00	120.86	203.00	131.01	36.72	29.18	20.78	26.90	15.36	30.15	50.21	56.07	198.49	918.74
2005.00	88.15	104.98	126.58	29.66	21.64	9.76	7.71	12.48	20.41	66.49	51.77	122.64	662.27
2006.00	173.73	145.15	196.90	33.41	22.32	23.36	5.76	21.31	31.97	66.41	70.00	143.23	933.55
2007.00	122.69	104.74	196.90	40.08	23.20	9.76	10.78	12.86	27.88	60.41	76.11	140.19	825.59
2008.00	104.70	148.90	101.60	29.90	24.50	10.00	7.10	1.40	27.10	59.40	41.30	70.50	626.40
2009.00	154.80	174.80	59.20	55.90	26.70	0.40	6.10	8.70	36.70	50.60	109.00	114.60	797.50
2010.00	141.40	111.80	131.30	28.50	8.60	0.00	6.60	9.50	20.80	93.20	33.90	132.90	718.50
2011.00	188.90	204.80	170.40	62.60	17.30	5.60	6.60	5.20	67.70	68.70	91.80	117.10	1006.70
2012.00	145.94	135.90	56.20	48.90	8.30	5.70	6.30	6.20	21.50	21.60	37.30	129.10	622.94
MEDIA	160.46	149.45	130.88	38.90	28.98	14.87	11.00	18.76	36.79	58.81	65.98	111.65	826.52

Fuente: Proyecto especial río Cachi – Perc

ANALISIS ESTADISTICO DE LA ESTACION BASE PERIODO 1980 - 2013													
ESTACION	: QUINUA			DISTRITO : QUINUA					ALTITUD : 3316 msnm				
CODIGO	: 000663			PROVINCIA : HUAMANGA					LATITUD : 13°02'1"S				
				REGION : AYACUCHO					LONGITUD : 74°08'1"O				
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1980	116.60	82.00	198.40	56.70	98.60	3.30	0.10	6.00	26.20	79.00	82.20	73.20	822.30
1981	111.90	215.90	135.30	63.30	12.20	0.00	0.80	14.40	88.10	81.30	82.60	186.40	992.20
1982	196.30	172.70	113.10	24.20	82.20	7.40	7.10	41.20	40.80	146.80	86.50	69.90	988.20
1983	163.40	28.20	78.30	51.30	1.90	0.90	24.00	102.70	8.30	55.80	100.10	123.70	738.60
1984	137.40	309.90	148.50	62.00	20.60	16.10	12.30	1.80	19.90	61.90	22.90	158.70	972.00
1985	90.90	126.80	102.30	13.00	9.20	35.30	9.60	25.20	21.60	37.70	99.30	136.90	707.80
1986	259.50	108.10	155.20	63.30	72.30	1.40	1.70	7.60	44.50	79.30	75.30	81.00	949.20
1987	271.20	93.40	71.40	21.30	15.10	34.80	11.20	27.50	68.10	43.60	67.90	73.00	798.50
1988	156.00	153.10	91.20	39.50	29.70	0.00	16.30	15.50	16.50	15.50	52.70	133.70	719.70
1989	129.70	82.20	111.10	33.20	19.30	10.60	4.10	12.60	47.00	35.50	34.90	81.60	601.80
1990	132.50	31.50	39.60	36.90	11.40	55.40	2.40	30.90	26.60	87.40	125.20	125.80	705.60
1991	111.70	57.70	88.90	18.70	8.50	35.10	5.90	0.00	61.70	48.20	31.50	41.60	509.50
1992	97.50	109.00	73.00	35.90	0.00	21.70	8.80	33.10	8.10	61.80	52.40	50.60	551.90
1993	164.00	206.00	178.00	54.60	62.20	2.80	19.90	37.40	58.10	60.80	53.40	188.30	1085.50
1994	156.10	172.30	173.50	50.40	26.20	17.20	8.30	16.30	25.10	43.60	62.50	131.50	883.00
1995	235.80	171.70	191.50	17.80	29.40	15.90	7.60	12.10	25.00	54.20	80.10	83.90	925.00
1996	141.50	169.60	157.10	64.80	20.70	15.90	6.00	19.00	38.10	44.60	46.60	94.90	818.80
1997	224.70	165.00	127.50	37.20	21.60	15.80	7.60	21.20	48.20	46.60	74.30	144.50	934.20
1998	189.20	148.80	150.10	9.20	20.10	19.80	6.00	11.00	32.90	69.90	52.50	76.50	786.00
1999	178.10	184.10	146.40	42.60	21.40	16.30	9.90	8.60	64.20	39.30	87.20	97.50	895.60
2000	199.80	274.80	146.40	12.40	31.60	23.10	51.00	16.50	22.20	76.70	46.40	98.00	998.90
2001	241.00	146.30	139.40	33.60	33.30	18.80	25.60	16.40	23.40	52.50	81.20	101.50	913.00
2002	208.00	183.80	143.70	38.70	28.60	21.80	26.80	20.60	76.20	43.60	62.70	35.90	890.40
2003	141.30	204.90	188.90	37.30	98.60	15.90	6.00	28.60	38.90	38.10	49.60	127.10	975.20
2004	120.86	203.00	131.01	36.72	29.18	20.78	26.90	15.36	30.15	50.21	56.07	198.49	918.74
2005	88.15	104.98	126.58	29.66	21.64	9.76	7.71	12.48	20.41	66.49	51.77	122.64	662.27
2006	173.73	145.15	196.90	33.41	22.32	23.36	5.76	21.31	31.97	66.41	70.00	143.23	933.55
2007	122.69	104.74	196.90	40.08	23.20	9.76	10.78	12.86	27.88	60.41	76.11	140.19	825.59
2008	104.70	148.90	101.60	29.90	24.50	10.00	7.10	1.40	27.10	59.40	41.30	70.50	626.40
2009	154.80	174.80	59.20	55.90	26.70	0.40	6.10	8.70	36.70	50.60	109.00	114.60	797.50
2010	141.40	111.80	131.30	28.50	8.60	0.00	6.60	9.50	20.80	93.20	33.90	132.90	718.50
2011	188.90	204.80	170.40	62.60	17.30	5.60	6.60	5.20	67.70	68.70	91.80	117.10	1006.70
2012	145.94	135.90	56.20	48.90	8.30	5.70	6.30	6.20	21.50	21.60	37.30	129.10	622.94
2013	130.09	131.69	114.11	29.94	22.54	10.53	10.13	11.78	28.85	43.37	49.51	92.00	674.53
MEDIA	162.84	148.42	135.72	37.78	31.11	16.75	11.79	21.01	37.15	58.83	66.57	111.44	839.39
NUMERO	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	
SUMA	4559.5	4155.7	3800.2	1057.8	871.0	469.0	330.2	588.2	1040.1	1647.2	1864.0	3120.2	
MAXIMO	271.2	309.9	198.4	64.8	98.6	55.4	51.0	102.7	88.1	146.8	125.2	198.5	
M INIMO	88.1	28.2	39.6	9.2	0.0	0.0	0.1	0.0	8.1	15.5	22.9	35.9	
MEDIANA	156.1	151.0	141.6	37.1	22.0	16.0	8.0	16.4	31.1	55.0	65.3	112.1	
DESVIAC.	51.4	65.7	42.7	16.2	26.6	12.6	10.9	18.9	20.3	23.9	22.7	43.0	
VARIANZA	2642.3	4321.9	1824.9	261.4	708.7	159.8	118.5	357.2	414.1	572.4	516.8	1853.2	

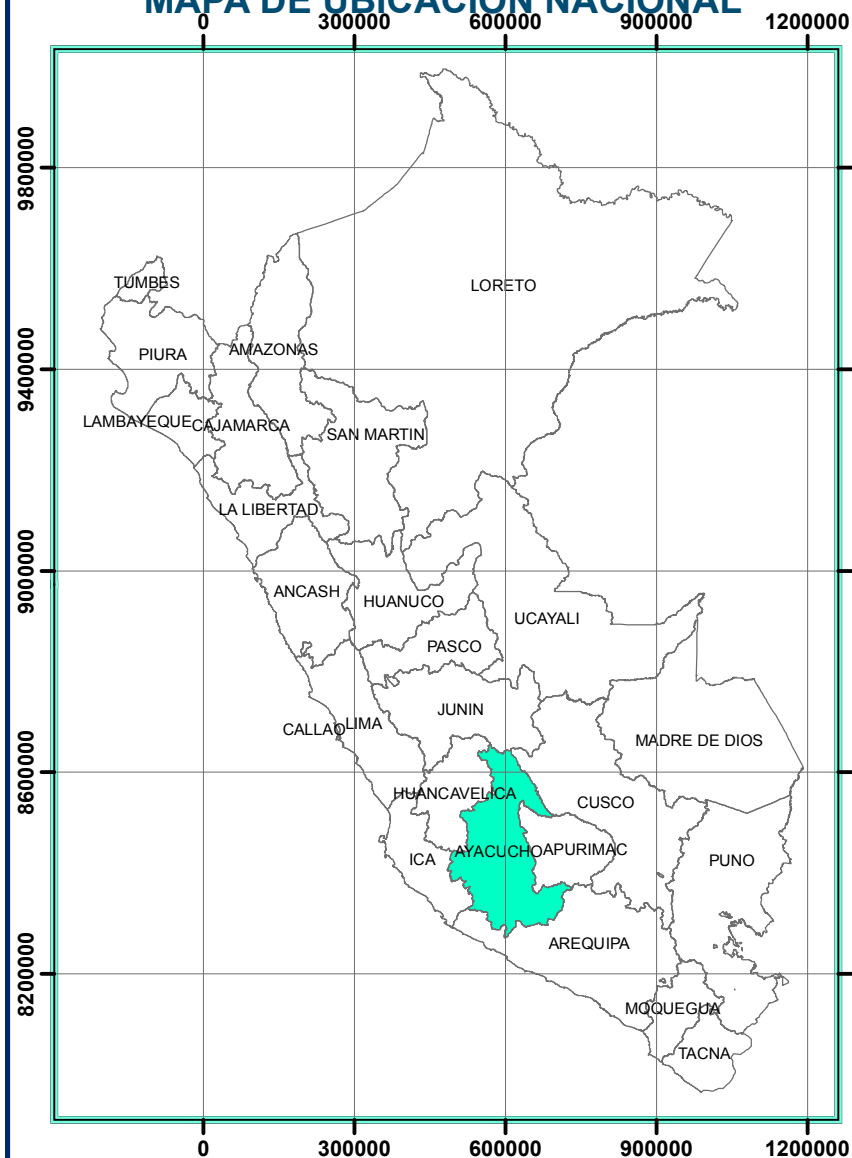
ANALISIS ESTADISTICO DE LA ESTACION BASE PERIODO 1980 - 2013													
ESTACION	: ALLPACHACA			DISTRITO	: CHIARA			ALTITUD	: 3541 msnm				
CODIGO	: 008			PROVINCIA	: HUAMANGA			LATITUD	: 13°23'29,82"S				
				DEPARTAMENT.	: AYACUCHO			LONGITUD	: 74°16'07,86"O				
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1980	151.81	151.91	150.40	54.13	21.13	10.96	14.49	17.02	28.69	53.93	61.27	127.67	843.40
1981	159.65	159.76	158.16	56.92	22.22	11.52	15.23	17.89	30.17	56.71	64.44	134.26	886.94
1982	159.47	159.57	157.98	56.86	22.19	11.51	15.22	17.87	30.13	56.65	64.36	134.10	885.92
1983	147.95	148.05	146.57	52.75	20.59	10.68	14.12	16.58	27.96	52.56	59.71	124.42	821.94
1984	158.72	158.82	157.24	56.59	22.09	11.46	15.15	17.79	29.99	56.38	64.06	133.48	881.76
1985	146.53	146.63	145.16	52.25	20.39	10.58	13.98	16.42	27.69	52.05	59.14	123.23	814.05
1986	157.67	157.77	156.20	56.22	21.94	11.38	15.05	17.67	29.79	56.01	63.64	132.59	875.92
1987	150.71	150.81	149.31	53.74	20.97	10.88	14.38	16.89	28.48	53.54	60.83	126.74	837.30
1988	147.08	147.18	145.71	52.44	20.47	10.62	14.04	16.49	27.79	52.25	59.36	123.69	817.10
1989	141.64	141.73	140.32	50.50	19.71	10.22	13.52	15.88	26.77	50.32	57.17	119.11	786.88
1990	146.43	146.53	145.06	52.21	20.38	10.57	13.97	16.41	27.67	52.02	59.10	123.14	813.49
1991	137.38	137.47	136.10	48.98	19.12	9.92	13.11	15.40	25.96	48.80	55.45	115.53	763.22
1992	220.50	151.60	117.20	34.00	21.23	20.80	23.40	1.30	28.83	144.90	14.50	181.20	959.46
1993	220.20	112.20	212.50	53.40	30.00	3.90	13.00	20.80	22.10	106.40	79.40	186.50	1060.40
1994	71.70	109.20	156.30	86.50	48.20	1.30	14.56	3.90	32.50	17.50	71.60	70.50	683.76
1995	132.10	182.20	185.20	62.00	15.00	4.00	8.50	1.30	24.00	48.80	109.20	75.00	847.30
1996	208.90	215.50	206.40	46.90	9.30	1.80	3.60	15.20	18.70	76.40	60.70	107.20	970.60
1997	157.60	114.50	105.40	41.20	15.90	11.01	2.50	59.00	41.90	25.40	71.30	144.50	790.21
1998	156.50	106.00	149.40	27.50	1.30	6.40	14.56	11.50	8.90	42.70	48.30	118.20	691.26
1999	182.60	147.10	134.80	73.20	16.70	4.10	5.80	17.10	38.30	60.30	60.10	69.40	809.50
2000	172.90	256.30	130.60	62.10	53.60	9.80	21.90	30.10	10.70	73.50	42.50	82.50	946.50
2001	180.60	108.00	190.10	22.10	45.90	5.00	15.70	20.80	23.20	19.10	89.90	71.20	791.60
2002	79.30	92.52	195.30	32.20	14.50	3.70	49.00	14.60	50.70	55.50	86.93	159.60	833.86
2003	124.20	141.50	176.00	55.30	20.20	11.01	2.00	23.60	23.60	17.40	31.10	156.30	782.21
2004	95.40	176.50	123.50	36.80	7.20	36.30	37.70	12.90	142.00	11.90	51.40	183.70	915.30
2005	108.50	72.30	178.20	22.00	5.90	11.01	13.40	24.10	40.80	50.00	34.00	155.92	716.13
2006	138.00	115.60	118.70	72.30	21.23	5.40	14.56	32.10	13.50	85.40	124.20	113.40	854.39
2007	95.80	132.40	226.60	46.40	23.20	11.01	6.90	17.10	11.10	50.80	30.60	149.90	801.81
2008	140.00	173.60	132.30	15.00	30.70	8.20	1.40	1.50	31.10	64.70	39.30	76.50	714.30
2009	130.40	215.40	91.50	90.40	12.00	11.01	18.20	9.20	2.60	57.10	120.10	113.20	871.11
2010	255.00	148.10	108.30	39.00	15.50	0.40	5.90	8.00	25.30	31.90	16.00	136.90	790.30
2011	249.60	279.10	155.00	132.00	14.40	11.01	15.20	2.20	30.00	31.70	74.90	96.40	1091.51
2012	113.30	195.40	119.40	124.90	3.00	13.30	3.20	17.10	10.60	58.70	46.30	212.20	917.40
2013	123.20	113.50	112.30	21.50	42.10	51.80	29.30	32.80	3.80	62.20	52.30	162.30	807.10
MEDIA	148.21	144.27	156.94	50.62	21.45	9.89	14.98	18.13	31.14	54.54	61.94	126.54	838.65
NUMERO	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	
SUMA	4149.8	4039.7	4394.4	1417.5	600.6	276.8	419.3	507.7	871.9	1527.2	1734.3	3543.0	
MAXIMO	220.5	256.3	226.6	86.5	53.6	36.3	49.0	59.0	142.0	144.9	124.2	186.5	
M INIMO	71.7	72.3	105.4	22.0	1.3	1.3	2.0	1.3	8.9	11.9	14.5	69.4	
MEDIANA	149.3	146.9	149.9	52.6	20.5	10.6	14.3	17.0	27.9	52.4	60.4	125.6	
DESVIAC.	36.7	36.5	29.8	14.7	11.5	6.6	9.5	10.5	23.6	27.0	22.6	32.6	
VARIANZA	1347.8	1332.3	887.3	216.1	132.6	43.5	90.9	110.3	558.6	727.7	509.6	1061.3	

ANALISIS ESTADISTICO DE LA ESTACION BASE PERIODO 1980 - 2013													
ESTACION	: CHONTACA			DISTRITO	: ACOCRO			ALTITUD	: 3497 msnm				
CODIGO	: 010			PROVINCIA	: HUAMANGA			LATITUD	: 13°17'44,28"S				
				REGION	: AYACUCHO			LONGITUD	: 74°01'33,54"O				
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1980	146.02	139.44	124.91	56.94	14.41	10.18	16.01	15.43	22.99	49.05	63.35	104.08	762.83
1981	170.45	162.77	145.80	66.46	16.82	11.89	18.69	18.01	26.84	57.25	73.94	121.49	890.40
1982	169.87	162.22	145.31	66.24	16.77	11.85	18.63	17.95	26.75	57.06	73.69	121.08	887.40
1983	133.99	127.96	114.62	52.25	13.23	9.34	14.69	14.16	21.10	45.01	58.13	95.50	699.97
1984	167.54	159.99	143.32	65.33	16.54	11.68	18.37	17.70	26.38	56.28	72.68	119.42	875.23
1985	129.57	123.73	110.83	50.52	12.79	9.03	14.21	13.69	20.40	43.52	56.21	92.35	676.85
1986	164.26	156.86	140.51	64.05	16.21	11.45	18.01	17.36	25.86	55.18	71.26	117.08	858.11
1987	142.60	136.18	121.98	55.60	14.08	9.94	15.64	15.07	22.45	47.90	61.86	101.64	744.95
1988	131.28	125.36	112.29	51.19	12.96	9.15	14.40	13.87	20.67	44.10	56.95	93.57	685.78
1989	114.33	109.18	97.80	44.58	11.29	7.97	12.54	12.08	18.00	38.40	49.60	81.49	597.25
1990	129.25	123.43	110.56	50.40	12.76	9.01	14.17	13.66	20.35	43.41	56.07	92.12	675.20
1991	101.06	96.51	86.45	39.41	9.98	7.05	11.08	10.68	15.91	33.95	43.84	72.03	527.94
1992	86.70	108.20	69.10	21.00	0.70	11.50	1.40	27.40	4.90	28.50	64.51	16.20	440.11
1993	142.30	58.20	157.00	125.20	12.30	10.30	39.90	38.70	39.30	40.80	141.40	182.10	987.50
1994	278.00	142.70	150.90	49.40	9.60	5.40	16.31	4.10	34.60	38.60	65.30	77.00	871.91
1995	178.10	130.10	182.60	31.90	10.30	2.20	5.20	2.30	11.80	52.20	94.80	113.00	814.50
1996	126.60	199.10	188.40	79.80	11.50	0.50	16.31	26.50	26.50	52.00	58.30	132.40	917.91
1997	176.60	150.30	91.80	55.70	14.60	10.37	1.60	27.00	49.70	39.30	98.30	112.00	827.27
1998	163.40	164.10	109.30	39.80	14.30	51.20	16.31	15.71	9.70	90.20	64.00	107.40	845.42
1999	143.80	159.70	174.90	64.90	20.90	0.70	1.40	15.71	46.90	37.30	68.60	94.70	829.51
2000	241.33	243.66	159.40	39.61	12.84	27.04	33.66	9.19	28.93	102.08	19.06	66.11	982.94
2001	295.01	79.63	193.47	58.54	60.43	22.58	28.66	23.39	20.01	45.16	77.33	72.33	976.55
2002	115.46	187.39	184.01	178.27	14.87	2.43	52.59	18.00	51.78	38.40	120.46	111.81	1075.48
2003	89.30	175.80	174.70	120.56	13.40	0.10	16.31	39.30	15.50	44.70	35.90	122.90	848.47
2004	75.30	100.90	37.30	15.30	4.40	5.70	23.90	9.00	31.80	25.50	26.60	95.00	450.70
2005	83.70	84.30	66.50	10.90	14.68	10.37	9.20	2.50	28.00	59.20	36.20	129.80	535.35
2006	124.10	153.70	121.90	46.60	1.80	4.50	16.31	9.80	16.40	83.80	85.50	87.40	751.81
2007	89.50	59.90	132.40	55.50	5.80	1.20	15.90	2.70	9.50	67.00	52.50	98.00	589.90
2008	163.60	123.60	100.60	40.10	17.70	6.20	16.31	6.00	15.80	59.60	38.00	53.60	641.11
2009	82.30	120.00	80.50	55.80	23.90	10.37	11.90	6.00	9.40	27.00	85.40	129.60	642.17
2010	174.70	88.70	111.96	34.60	6.40	10.37	2.10	19.20	8.00	31.70	18.50	116.10	622.33
2011	159.90	253.70	123.90	71.30	14.60	5.80	7.50	2.10	36.50	23.00	92.40	100.20	890.90
2012	144.60	205.30	101.30	73.90	6.70	20.20	5.20	6.40	18.00	45.50	43.00	183.70	853.80
2013	137.30	135.20	86.60	7.00	31.20	9.10	20.80	34.70	2.10	67.40	33.20	130.50	695.10
MEDIA	146.77	136.47	130.29	59.14	13.94	10.17	17.19	16.11	24.75	50.57	65.94	101.07	772.40
NUMERO	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	
SUMA	4109.4	3821.3	3648.1	1656.0	390.3	284.7	481.4	451.0	693.0	1415.8	1846.4	2830.0	
MAXIMO	295.0	243.7	193.5	178.3	60.4	51.2	52.6	39.3	51.8	102.1	141.4	182.1	
M INIMO	75.3	58.2	37.3	10.9	0.7	0.1	1.4	2.3	4.9	25.5	19.1	16.2	
MEDIANA	138.1	137.8	128.7	53.9	13.1	9.2	16.2	15.2	22.7	45.1	63.7	99.8	
DESVIAC.	53.6	41.6	39.7	34.1	10.2	10.0	11.0	9.4	11.6	17.5	25.9	28.7	
VARIANZA	2870.0	1727.1	1575.9	1159.8	103.3	100.6	121.2	88.0	135.0	307.2	672.4	824.4	

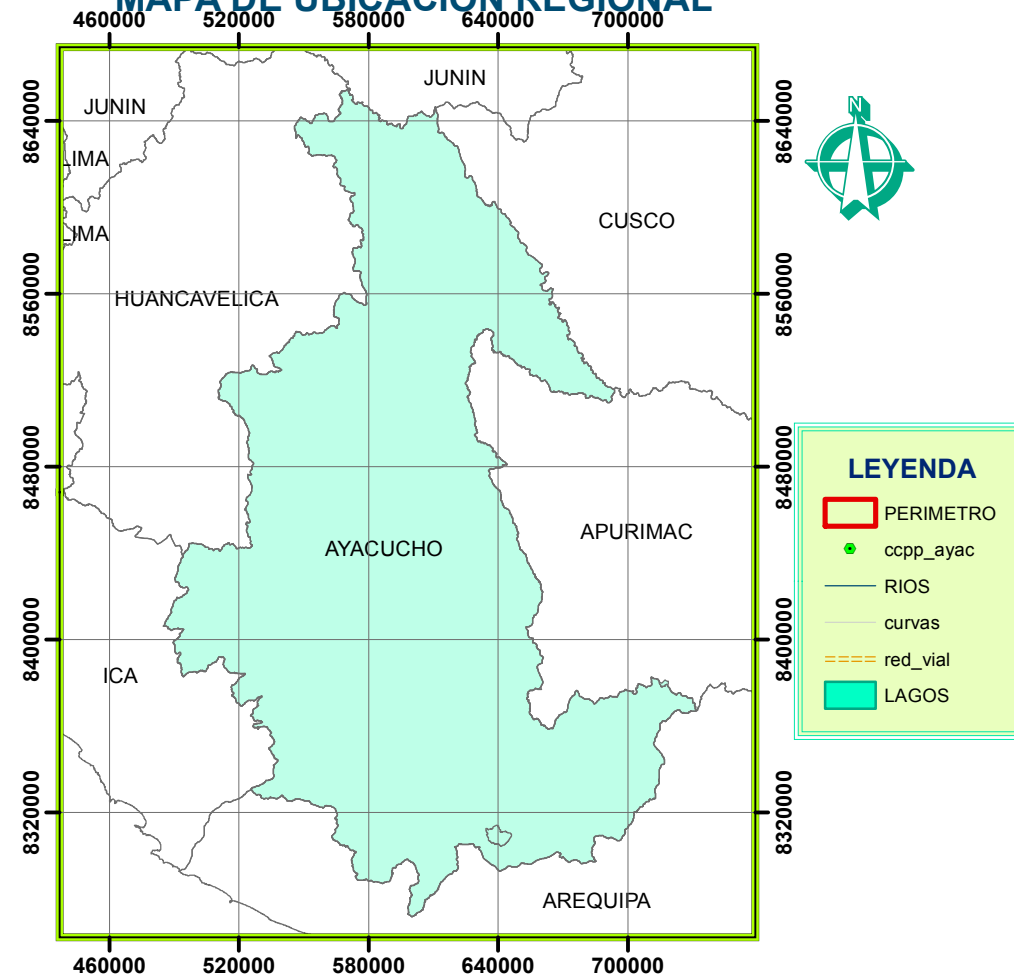
ANALISIS ESTADISTICO DE LA ESTACION BASE PERIODO 1980 - 2013													
ESTACION		: TAMBILLO				DISTRITO		: TAMBILLO		ALTITUD		: 3328 msnm	
CODIGO		: 002			PROVINCIA		: HUAMANGA		LATITUD		: 13°13'06,72"S		
					REGION		: AYACUCHO		LONGITUD		: 74°06'22,68"O		
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1980	134.88	151.24	121.42	47.41	12.51	9.25	17.14	13.98	26.36	48.49	66.94	115.32	764.93
1981	148.00	165.94	133.23	52.02	13.72	10.15	18.81	15.34	28.92	53.20	73.45	126.53	839.32
1982	147.69	165.60	132.95	51.91	13.70	10.13	18.77	15.30	28.86	53.09	73.30	126.27	837.57
1983	128.42	143.99	115.60	45.13	11.91	8.81	16.32	13.31	25.10	46.16	63.73	109.79	728.27
1984	146.44	164.20	131.82	51.47	13.58	10.05	18.61	15.17	28.62	52.64	72.68	125.20	830.48
1985	126.04	141.32	113.46	44.30	11.69	8.65	16.02	13.06	24.63	45.31	62.55	107.76	714.79
1986	144.68	162.22	130.24	50.85	13.42	9.93	18.39	14.99	28.28	52.01	71.80	123.69	820.49
1987	133.04	149.17	119.76	46.76	12.34	9.13	16.91	13.79	26.00	47.83	66.03	113.74	754.50
1988	126.96	142.35	114.29	44.62	11.77	8.71	16.14	13.16	24.81	45.64	63.01	108.54	720.00
1989	117.86	132.14	106.09	41.42	10.93	8.09	14.98	12.21	23.03	42.37	58.49	100.76	668.37
1990	125.87	141.13	113.31	44.24	11.67	8.64	16.00	13.04	24.60	45.25	62.47	107.61	713.82
1991	110.73	124.15	99.68	38.92	10.27	7.60	14.07	11.47	21.64	39.80	54.95	94.67	627.95
1992	105.10	193.30	144.82	38.90	10.10	35.33	24.72	36.40	15.14	42.90	42.00	55.86	744.57
1993	148.40	127.10	100.00	105.00	15.40	12.46	20.44	22.40	66.08	52.84	114.50	192.50	977.12
1994	156.40	167.90	150.00	71.90	5.20	6.20	32.70	7.30	22.60	25.20	60.40	126.30	832.10
1995	143.20	111.40	148.90	60.80	13.00	1.00	10.30	4.50	19.20	54.70	89.60	83.20	739.80
1996	101.20	100.40	186.50	48.80	13.20	2.10	0.30	19.50	31.30	68.60	26.40	82.80	681.10
1997	180.30	195.60	108.20	53.50	6.20	9.38	3.10	42.80	50.50	51.40	124.10	135.40	960.48
1998	181.90	152.00	98.80	44.30	2.10	18.80	17.38	0.80	19.00	73.80	50.10	75.20	734.18
1999	136.60	165.90	130.50	19.80	0.50	3.70	5.00	14.17	57.20	25.70	79.10	96.10	734.27
2000	137.93	225.03	110.50	16.38	30.29	17.29	49.01	5.07	9.36	65.65	20.80	94.12	781.43
2001	188.37	75.53	123.11	36.40	43.94	5.85	28.34	16.64	15.86	40.17	134.29	80.47	788.97
2002	111.15	187.72	162.11	47.84	17.68	1.82	32.63	12.80	35.49	30.23	72.80	115.57	827.84
2003	94.15	181.17	120.10	60.75	10.70	9.38	17.38	44.30	9.90	5.80	11.65	118.00	683.28
2004	69.80	162.50	65.40	17.00	10.80	9.80	28.80	7.50	29.20	48.80	58.10	168.10	675.80
2005	86.50	75.40	178.20	19.40	0.20	9.38	4.40	1.50	22.10	55.30	44.10	151.70	648.18
2006	121.30	109.20	111.20	40.70	1.50	1.80	17.38	14.90	9.00	66.65	172.00	68.10	733.73
2007	110.24	82.16	141.83	57.46	4.29	9.38	18.98	1.04	25.22	77.74	31.59	109.72	669.65
2008	110.24	148.46	72.80	7.90	10.40	2.00	17.38	1.43	8.06	38.35	31.46	74.49	522.97
2009	133.30	124.30	64.90	67.70	23.80	9.38	9.40	0.20	21.00	26.70	97.70	140.80	719.18
2010	186.90	88.10	96.20	40.20	13.80	9.38	17.38	15.40	12.80	62.30	23.60	115.20	681.26
2011	221.30	344.20	176.30	79.70	17.90	4.20	9.10	3.60	56.80	42.50	82.30	143.70	1181.60
2012	135.10	232.90	123.70	101.70	5.10	18.80	0.90	3.70	42.00	49.00	59.90	192.00	964.80
2013	149.30	123.20	94.30	21.30	22.90	9.00	17.38	35.80	10.20	77.20	66.70	152.90	780.18
MEDIA	130.83	146.28	125.43	46.36	11.88	9.39	18.32	14.87	26.71	48.47	68.61	111.18	758.32
NUMERO	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	
SUMA	3663.2	4095.8	3512.0	1298.0	332.6	262.8	513.0	416.4	748.0	1357.2	1920.9	3113.0	
MAXIMO	188.4	225.0	186.5	105.0	43.9	35.3	49.0	44.3	66.1	77.7	172.0	192.5	
M INIMO	69.8	75.4	65.4	16.4	0.2	1.0	0.3	0.8	9.0	5.8	11.7	55.9	
MEDIANA	130.7	150.2	120.8	45.9	11.7	9.2	17.4	13.5	25.0	48.6	63.4	109.8	
DESVIAC.	27.7	36.6	25.2	17.5	8.7	6.5	9.9	10.7	12.9	15.1	34.3	29.1	
VARIANZA	767.4	1343.0	636.2	306.5	75.6	42.1	98.4	115.3	167.6	228.7	1176.6	847.9	

ANEXO 3
MAPAS

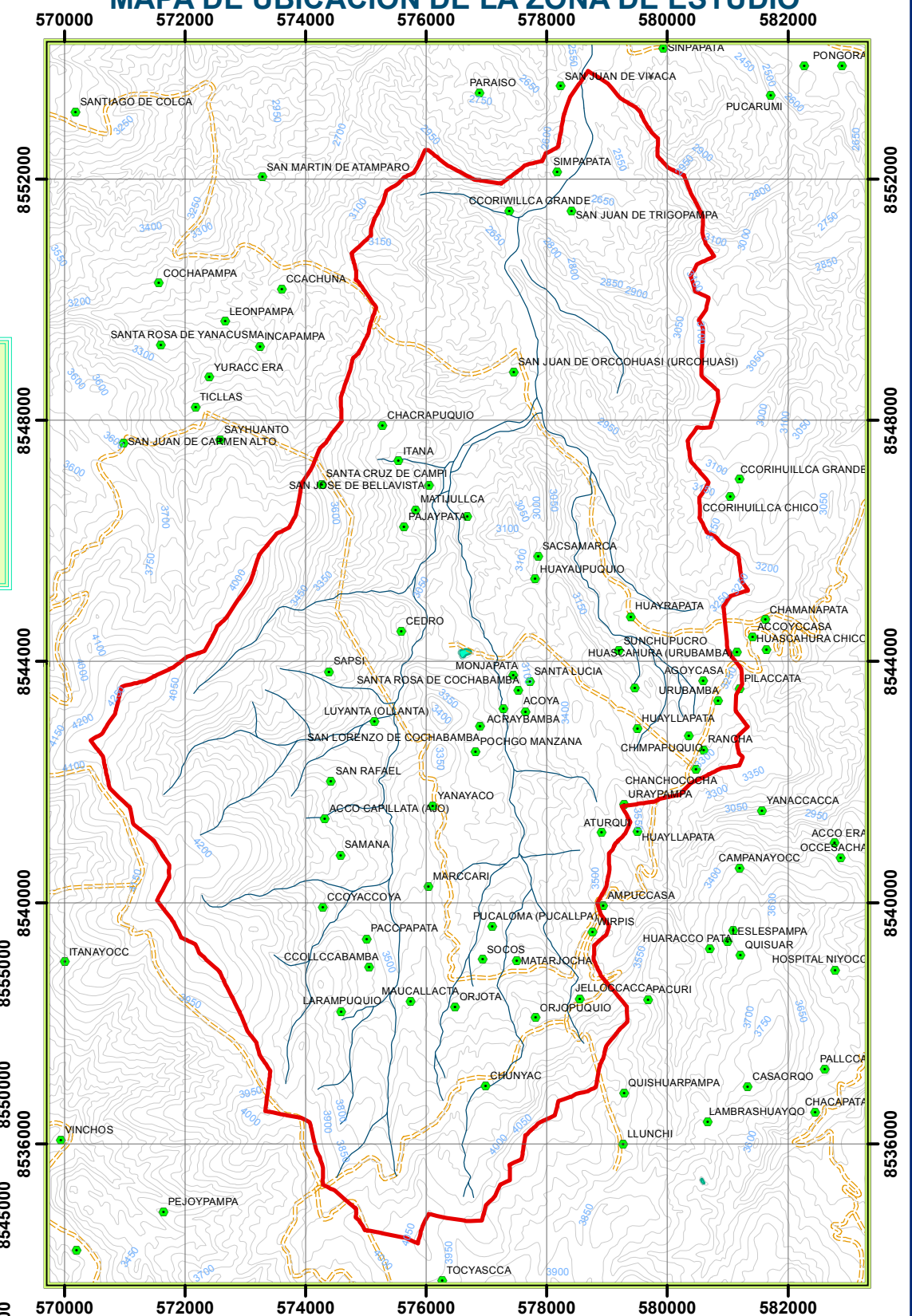
MAPA DE UBICACION NACIONAL



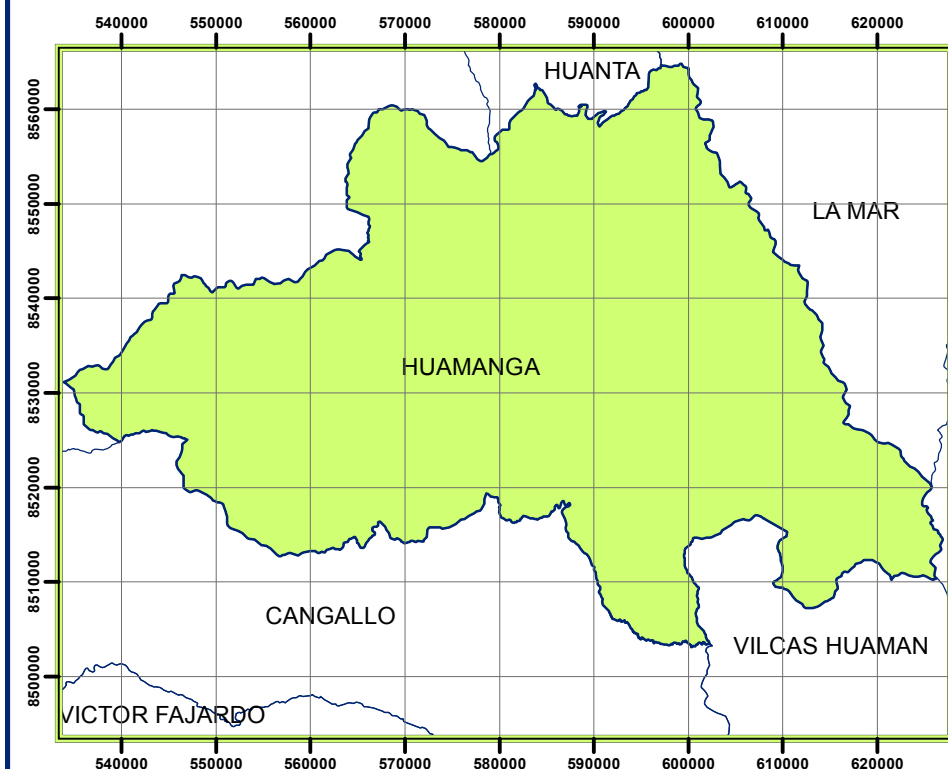
MAPA DE UBICACION REGIONAL



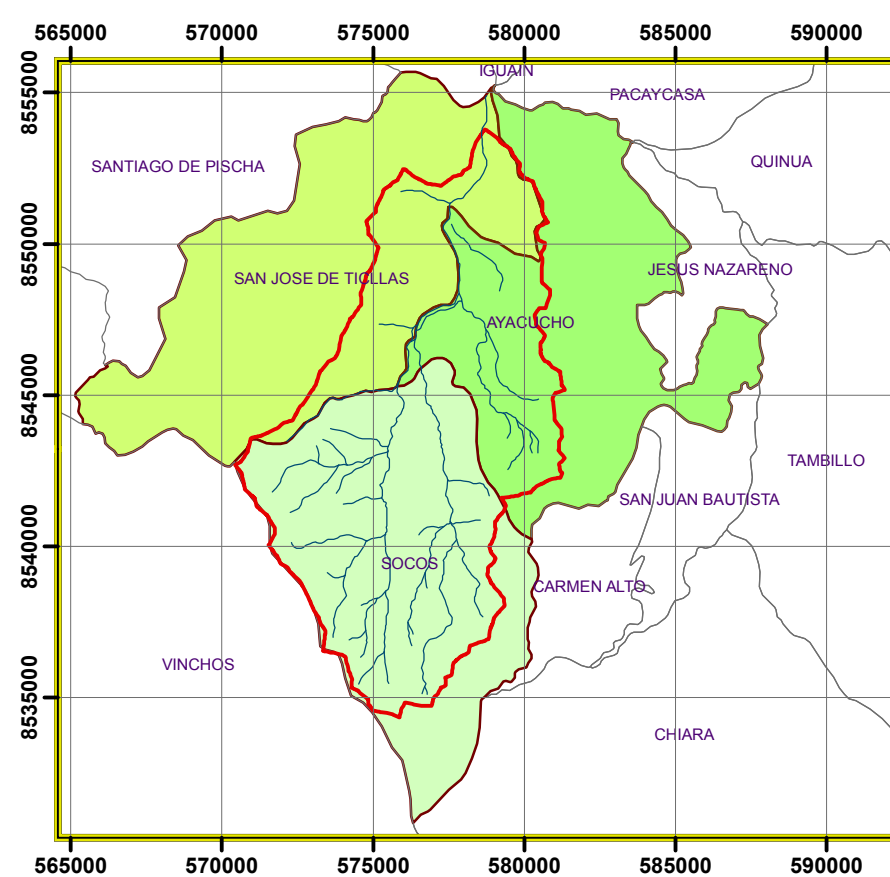
MAPA DE UBICACION DE LA ZONA DE ESTUDIO



MAPA DE UBICACION PROVINCIAL

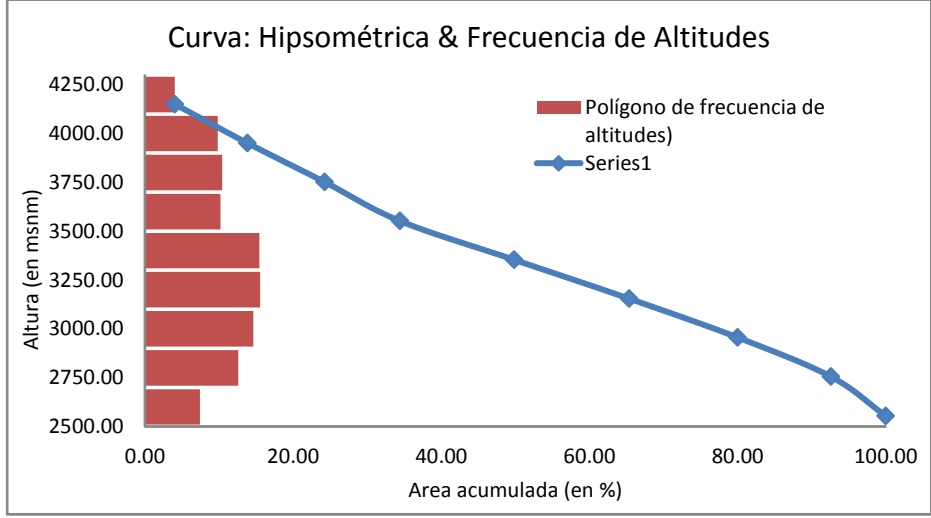
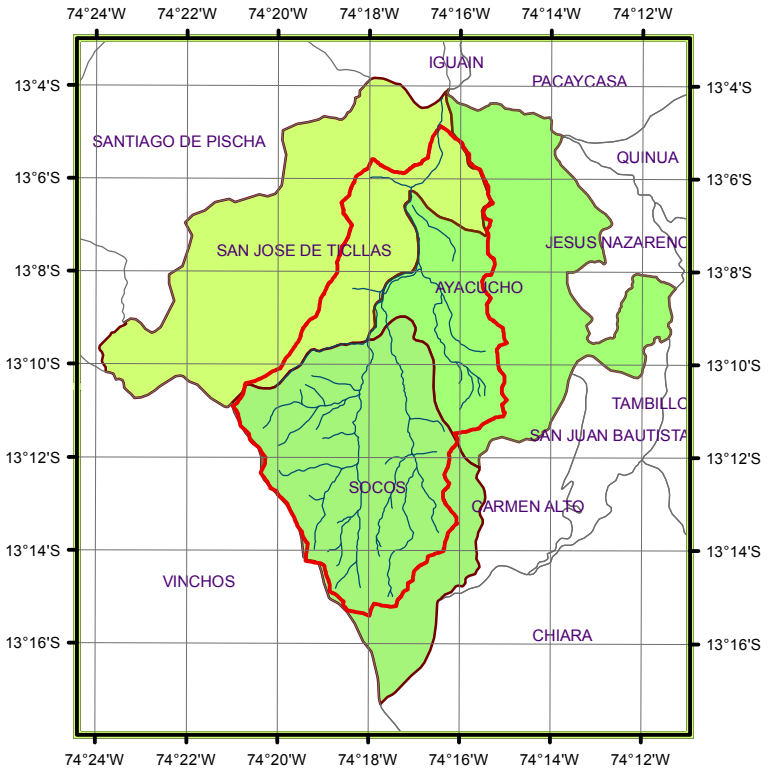
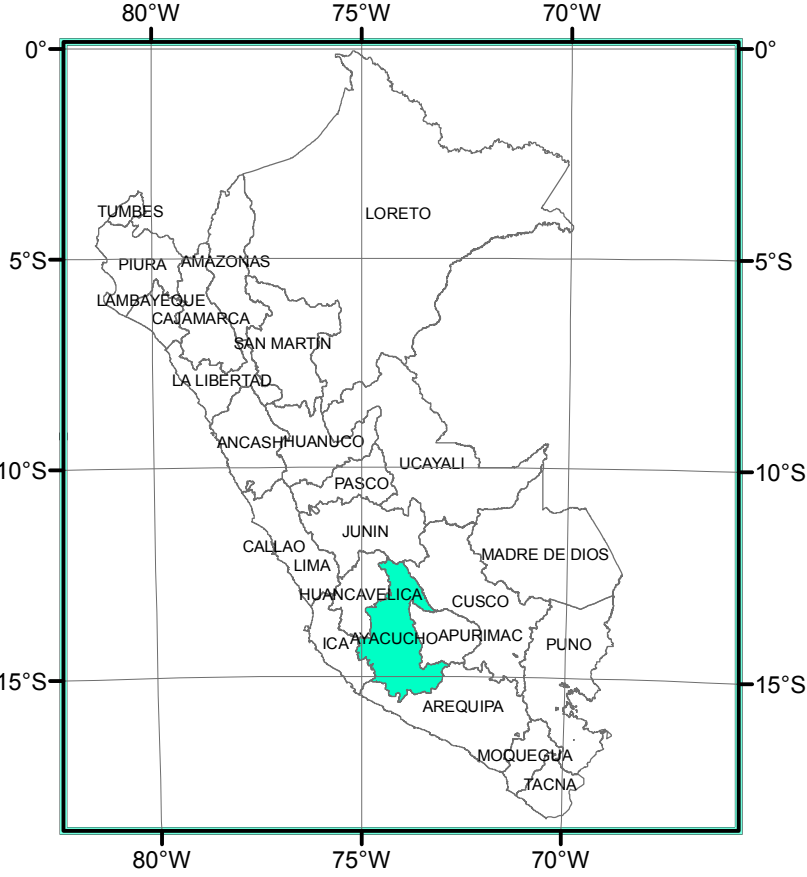
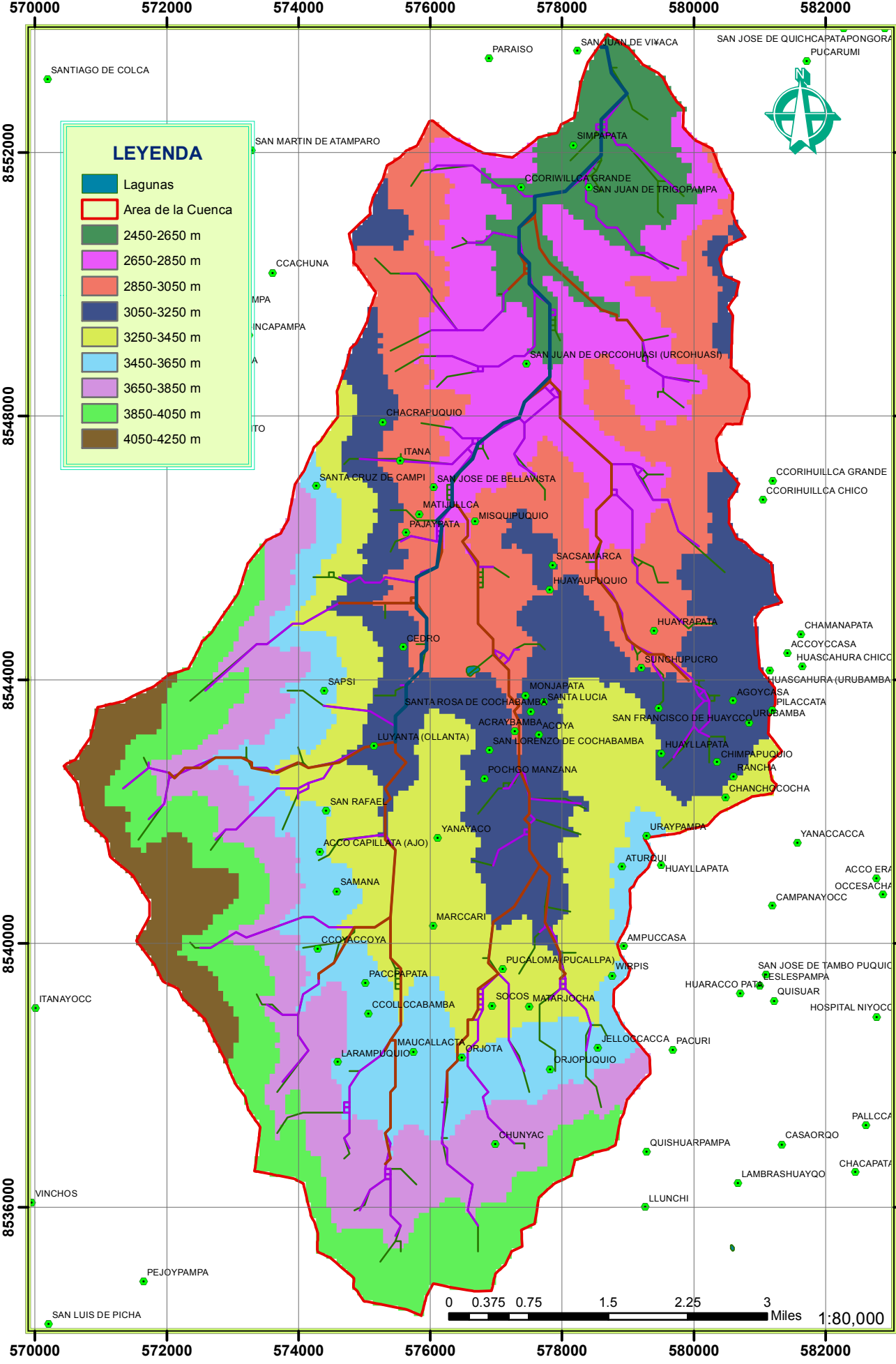


MAPA DE UBICACION DISTRITAL



 UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA		
PROYECTO: "EVALUACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIALES EN LA MICROCUENCA CHILILCO, HUAMANGA - AYACUCHO - 2016"		LÁMINA:
PLANO:		UL-01
DIBUJO: Bach. GAMANIEL GAMBOA MARTÍNEZ		FECHA: ABRIL - 2016
ASESOR: Ing. EFRAIN CHUCHON PRADO		ESCALA: INDICADA
UBICACIÓN: Localidad : Chillico Distrito : Varios Provincia : Huamanga Departamento : Ayacucho		

MAPA DE CURVA HIPSOMETRICA



Nro	Cota(msnm)			Area (km2)			
	Mínimo	Máximo	Prom	Intervalo	Acumulado	% Acum	% Inter
1	2450.00	2656.35	2553.18	8.98	121.00	100.00	7.42
2	2656.63	2853.96	2755.29	15.23	112.02	92.58	12.59
3	2857.43	3053.99	2955.71	17.71	96.79	79.99	14.64
4	3055.31	3253.64	3154.48	18.80	79.08	65.35	15.54
5	3254.36	3453.14	3353.75	18.65	60.28	49.82	15.42
6	3453.82	3650.69	3552.26	12.30	41.62	34.40	10.17
7	3653.32	3850.79	3752.06	12.60	29.32	24.23	10.41
8	3852.22	4050.00	3951.11	11.86	16.72	13.82	9.80
9	4050.85	4250.00	4150.43	4.86	4.86	4.02	4.02

DESCRIPCIÓN	UND	VALOR
De la superficie		
Area	km2	121.00
Perímetro de la cuenca	km	49.00
Cotas		
Cota máxima	msnm	4250.00
Cota mínima	msnm	2450.00
Centroide (PSC:wgs 1984 UTM Zone 18S)		
X centroide	m	576209.038
Y centroide	m	8544102.98
Z centroide	msnm	3390.59
Altitud		
Altitud media	msnm	3390.59
Altitud más frecuente	msnm	4150.43
Altitud de frecuencia media (1/2)	msnm	3377.75
Pendiente		
pendiente promedio de la cuenca	%	32.48
De la Red Hídrica		
Longitud del curso principal	km	22.09
Orden de la Red Hídrica	UND	5.00
Longitud de la red hídrica	km	280.35
Pendiente Promedio de la Red Hídrica	%	3.87
Parámetros Generados		
Tiempo de concentración	horas	1.89
pendiente del cauce prínpal	m/km	81.48



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



PROYECTO: "EVALUACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIALES EN LA MICROCUENCA CHILLICO, HUAMANGA - AYACUCHO - 2016"

PLANO: CURVA HIPSOMETRICA DE LA MICROCUENCA CHILLICO

UBICACIÓN: Chilio, Varios, Huamanga, Ayacucho

LÁMINA: CH-01

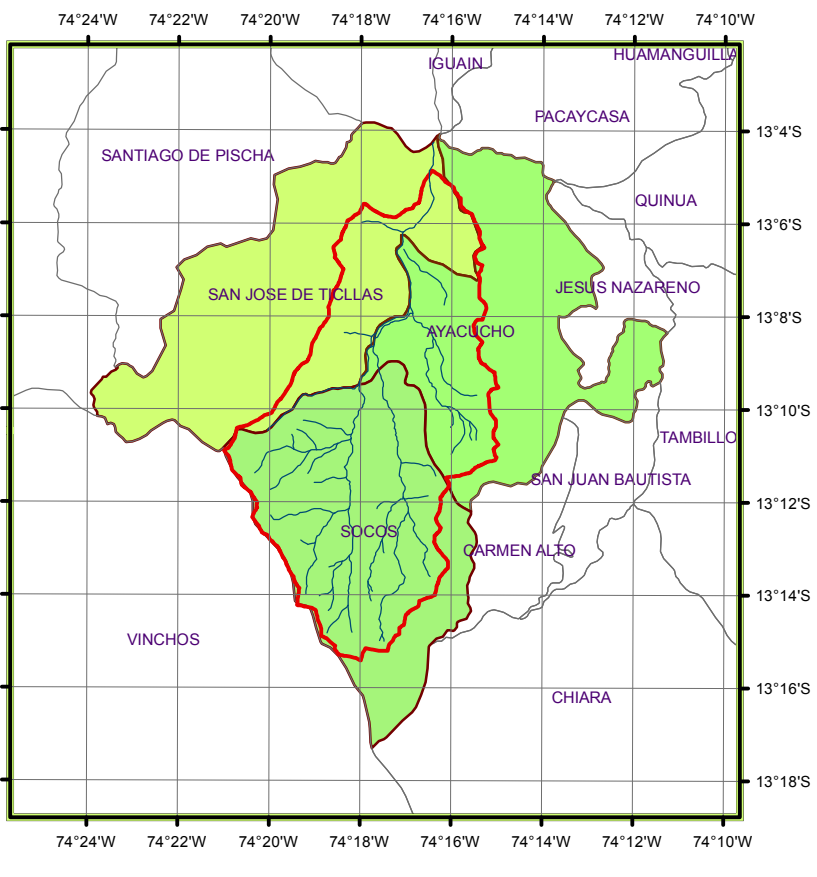
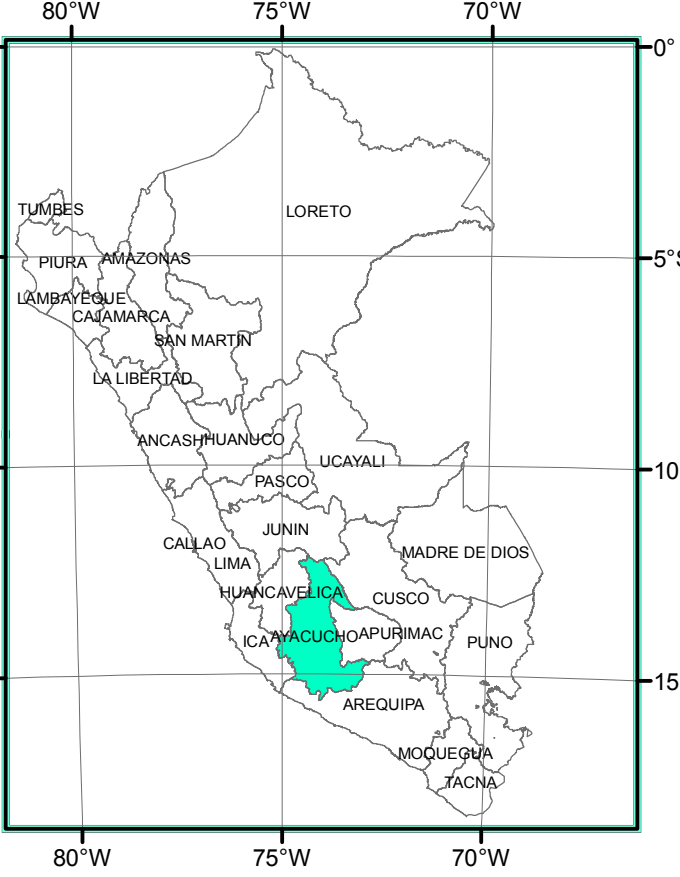
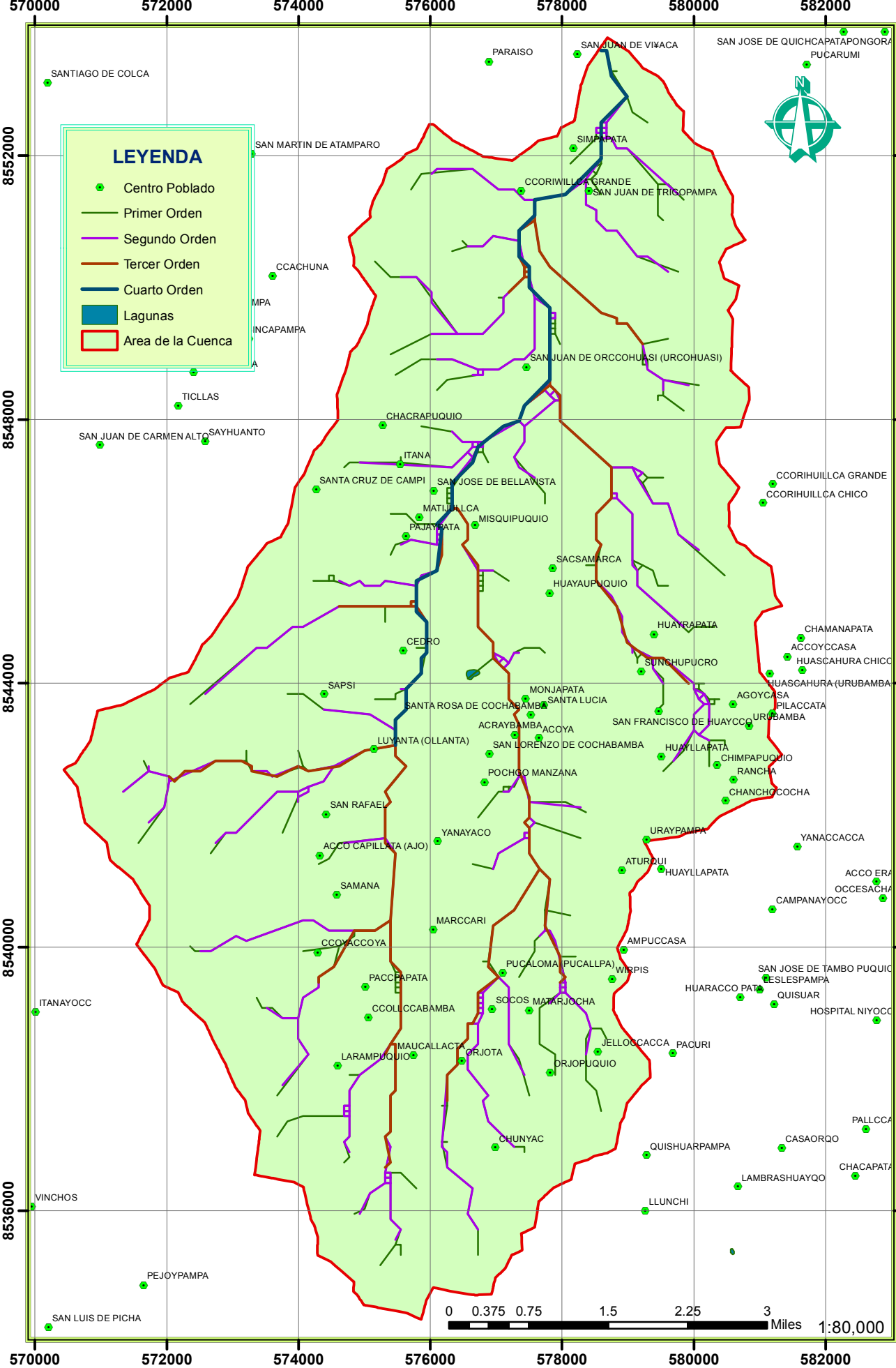
DBUJO: Bach. GAMANIEL GAMBOA MARTINEZ

FECHA: ABRIL - 2016

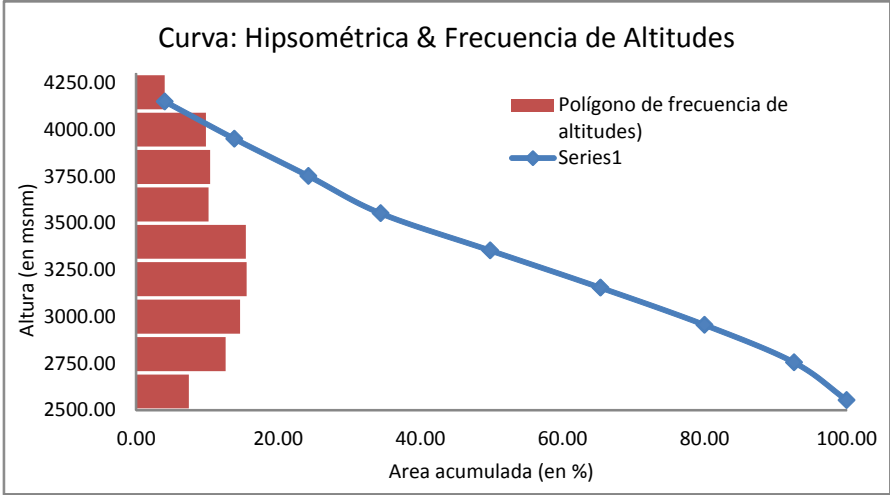
ASESOR: Ing. EFRAIN CHUCHON PRADO

ESCALA: INDICADA

MAPA DE ORDEN DE RIOS



Nro	Cota(msnm)				Area (km2)		
	Mínimo	Máximo	Prom	Intervalo	Acumulado	% Acum	% Inter
1	2450.00	2656.35	2553.18	8.98	121.00	100.00	7.42
2	2656.63	2853.96	2755.29	15.23	112.02	92.58	12.59
3	2857.43	3053.99	2955.71	17.71	96.79	79.99	14.64
4	3055.31	3253.64	3154.48	18.80	79.08	65.35	15.54
5	3254.36	3453.14	3353.75	18.65	60.28	49.82	15.42
6	3453.82	3650.69	3552.26	12.30	41.62	34.40	10.17
7	3653.32	3850.79	3752.06	12.60	29.32	24.23	10.41
8	3852.22	4050.00	3951.11	11.86	16.72	13.82	9.80
9	4050.85	4250.00	4150.43	4.86	4.86	4.02	4.02





UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



PROYECTO: "EVALUACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIALES EN LA MICROCUENCA CHILICO, HUAMANGA - AYACUCHO - 2016"

LAMINA: **RH-01**

PLANO: RED HIDRICA - ORDEN DE RIOS

DIBUJO: Bach. GAMANIEL GAMBOA MARTINEZ

ASESOR: Ing. EFRAIN CHUCHON PRADO

FECHA: ABRIL - 2016

ESCALA: INDICADA

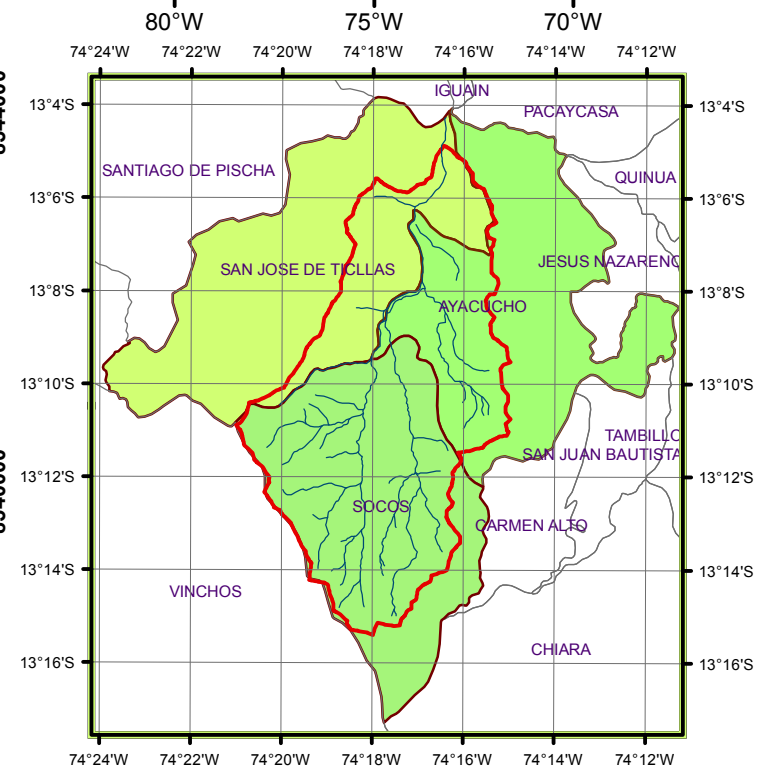
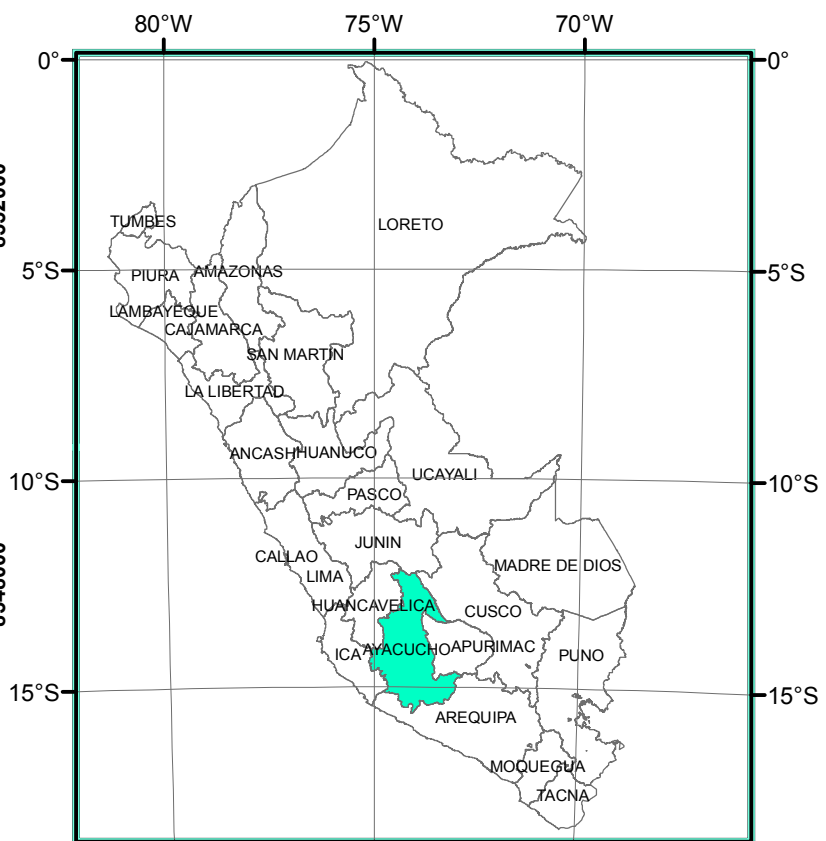
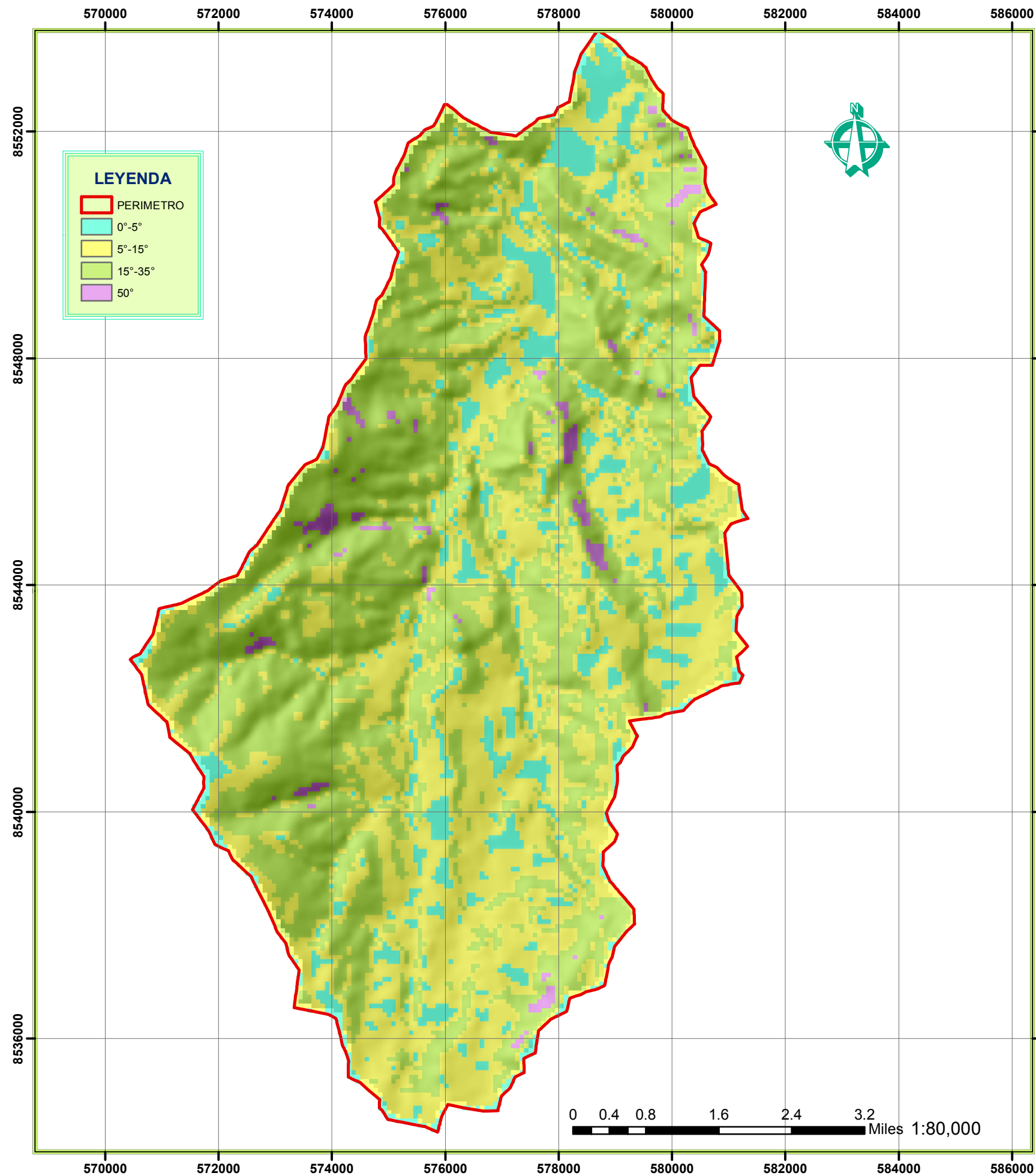
UBICACION: Localidad : Chillico

Distrito : Varios

Provincia : Huamanga

Departamento : Ayacucho

MAPA DE PENDIENTES



		UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA			
PROYECTO: "EVALUACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIALES EN LA MICROCUENCA CHILLICO, HUAMANGA - AYACUCHO - 2016"				LAMINA: PD-01	
PLANO: PENDIENTES					
DIBUJO: Bach. GAMANIEL GAMBOA MARTINEZ		FECHA: ABRIL - 2016		UBICACION: Localidad : Chillico Distrito : Varios Provincia : Huamanga Departamento : Ayacucho	
ASesor: Ing. EFRAIN CHUCHON PRADO		ESCALA: INDICADA			