

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**Determinación de la oferta hídrica de la microcuenca Usquwillka
con fines de represamiento, distrito Quinoa – Huamanga –
Ayacucho, 2022**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AGRÍCOLA

PRESENTADO POR:

Edgar Huasacca Quispe

Ayacucho – Perú

2023

DEDICATORIA

*A mis padres y mis hermanas quienes
me ayudaron incondicionalmente
durante mi estudio universitario.*

*A mis descendientes Gareth y Yusayra, quienes
me alientan directa o indirectamente con sus
inocentes travesuras y a mi esposa Rossy, quien
es bastión de soporte en el trajinar de la vida.*

AGRADECIMIENTO

A mi alma mater, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga por haberme acogido en sus aulas durante mi vida estudiantil.

Mis sinceros agradecimientos al decano de la Facultad, Dr. Rolando Bautista Gómez, por guiarme por el camino correcto en el proceso de mi titulación.

Mi gratitud a la directora de la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola Ph.D. Sandra del Águila Ríos, por su asesoramiento incondicional en mi elaboración de tesis, así mismo mis agradecimientos especiales a los docentes Ing. Efraín Chuchón Prado, Ing. Herbert Núñez Alfaro y M.Sc. Juan Charapaqui Anccasi, quienes me guiaron en la fase final de elaboración de tesis.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	vii
LISTA DE ACRÓNIMOS	viii
RESUMEN.....	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN.....	3
CAPÍTULO I.....	5
MARCO TEÓRICO.....	5
1.1 Antecedentes.....	5
1.2 Cuenca hidrográfica	5
1.3 Parámetros geomorfológicos de la cuenca	5
1.3.1 Área de la cuenca	5
1.3.2 Perímetro de la cuenca.....	6
1.3.3 Altitud media de la cuenca.....	6
1.3.4 Forma de la cuenca.....	6
1.3.5 Sistema de drenaje.....	7
1.3.6 Características de relieve	8
1.4 Ciclo hidrológico.....	8
1.5 Precipitación	9
1.6 Interceptación.....	9
1.7 Evaporación	9
1.8 Infiltración	10
1.9 Escorrentía superficial.....	10
1.10 Escorrentía subsuperficial.....	10
1.11 Hidrograma de caudal.....	11
1.12 Hidrograma anual.....	12
1.13 Hidrograma de tormentas	12
1.14 Precipitación efectiva	12
1.15 Oferta hídrica de la cuenca	13

1.16	Precipitación media sobre un área.....	13
1.17	Polígono de Thiessen.....	14
1.18	Recopilación de datos hidrológicos.....	14
1.19	Tratamiento de los datos históricos.....	14
1.20	Análisis de consistencia.....	14
1.20.1	Análisis visual.....	14
1.20.2	Análisis de doble masa.....	15
1.20.3	Análisis estadístico.....	16
1.20.4	Análisis de salto.....	16
1.21	Modelo determinístico-Estocástico de Lutz Scholz.....	19
1.21.1	Ecuación del balance hídrico.....	19
1.21.2	Coefficiente de escurrimiento.....	20
1.21.3	Precipitación efectiva.....	22
1.21.4	Cálculo de coeficiente de precipitación efectiva (mm/mes).....	23
1.21.5	Precipitación efectiva mensual consolidado (mm/mes).....	24
1.21.6	Retención de la cuenca.....	24
1.21.7	Relación entre descarga y retención.....	25
1.21.8	Coefficiente de agotamiento (a).....	25
1.21.9	Almacenamiento hídrico.....	26
1.21.10	Abastecimiento de la retención.....	27
1.21.11	Determinación del caudal mensual para el año promedio.....	28
1.21.12	Generación de caudales mensuales para periodos extendidos.....	28
1.22	Caudal ecológico.....	29
1.23	Oferta hídrica.....	29
CAPÍTULO II.....		30
MATERIALES Y MÉTODOS.....		30
2.1	Ubicación.....	30
2.1.1	Ubicación del área de estudio.....	30
2.1.2	Ubicación geográfica.....	30
2.1.3	Ubicación política.....	30
2.1.4	Ubicación hidrográfica.....	30
2.1.5	Características de la microcuenca.....	33
2.1.6	Clima.....	33

2.1.7 Topografía.....	33
2.1.8 Vegetación	33
2.1.9 Uso de suelos	33
2.2 Materiales	33
2.2.1 Ráster.....	33
2.2.2 Datos de precipitación, temperatura y humedad atmosférica	34
2.3 Equipos.....	34
2.4 Metodología.....	34
2.4.1 Parámetros geomorfológicos de la microcuenca.....	34
2.4.2 Precipitación media de la microcuenca	36
2.4.3 Polígono de Thiessen.....	36
2.4.4 Recopilación de datos meteorológicos	37
2.4.5 Análisis de consistencia.....	38
2.5 Generación de caudales mensuales por el modelo determinístico – Estocástico de Lutz Scholz.....	39
CAPÍTULO III	40
RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	40
3.1 Parámetros geomorfológicos de la microcuenca Usquwillka.....	40
3.2 Análisis de consistencia de datos meteorológicos recopilados.....	41
3.2.1 Completación de datos faltantes.....	41
3.2.2 Análisis visual	41
3.2.3 Análisis de doble masa	41
3.2.4 Análisis estadístico	42
3.3 Evapotranspiración potencial.....	44
3.4 Generación de caudales medios mensuales por el modelo determinístico – Estocástico de Lutz Scholz.....	46
3.4.1 Calculo de coeficiente de escurrimiento (C).....	46
3.4.2 Precipitación efectiva	46
3.4.3 Cálculo de coeficiente de precipitación efectiva (mm/mes).....	48
3.4.4 Precipitación efectiva mensual consolidado (mm/mes)	48
3.4.5 Retención de la microcuenca	49
3.4.6 Coeficiente de agotamiento (a)	49
3.4.7 Relación entre descarga y retención.....	50

3.4.8 Caudales mensuales generados para año promedio (CM_i) en mm/mes	52
3.4.9 Caudales mensuales generados (Q_i) en m^3/s	53
3.4.10 Resumen de generación de caudales medios mensuales para el año promedio.....	54
3.4.11 Generación de caudales para periodos extendidos	56
3.4 Oferta y caudal ecológico de la microcuenca Usquwillka (m^3/s).....	67
3.5 Volumen de agua disponible en los meses de precipitación.....	68
3.6 Propuesta de uso de volumen disponible.....	69
RECOMENDACIONES	71
REFERENCIAS	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1 Ciclo hidrológico	9
Figura 1. 2 Superficial y escorrentía subsuperficial	11
Figura 1. 3 Hidrograma de caudal	11
Figura 1. 4 Hidrograma de tormentas	12
Figura 1. 5 Precipitación efectiva	13
Figura 1. 6 Análisis visual.....	15
Figura 1. 7 Curva de doble masa	15
Figura 1. 8 Campana t de Student.....	17
Figura 2. 1 Diagrama de flujo de la geomorfología de la microcuenca.....	36
Figura 2. 2 Polígono de Thiessen	37
Figura 2. 3 Estación, meteorológica la Quinua	38
Figura 2. 4 Diagrama de análisis de consistencia.....	38
Figura 2. 5 Diagrama de flujo metodológico	39
Figura 3. 1 Precipitación mensual	41
Figura 3. 2 Curva de doble masa	41
Figura 3. 3 Procedimiento de regresión múltiple	56
Figura 3. 4 Caudal medio de la microcuenca Usquwillka	67
Figura 3. 5 Oferta y caudal ecológico.....	68
Figura 3. 6 Representación gráfica de los resultados obtenidos de la microcuenca	70

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. 1 Coeficientes para el cálculo de la precipitación efectiva.....	22
Tabla 1. 2 Coeficientes para el cálculo de la precipitación efectiva.....	23
Tabla 1. 3 Almacenamiento hídrico durante la época de lluvias (valores en %)......	27

Tabla 2. 1 Parámetros geomorfológicos de la cuenca.....	34
Tabla 3. 1 Parámetros obtenidos de la microcuenca Usquwillka	40
Tabla 3. 2 Datos inconsistentes vs consistente	42
Tabla 3. 3 Parámetros estadísticos de cada periodo.....	43
Tabla 3. 4 Análisis de T de Student	43
Tabla 3. 5 Prueba de F de Fisher	44
Tabla 3. 6 Cálculo de ETP.....	45
Tabla 3. 7 Coeficiente de escurrimiento.....	46
Tabla 3. 8 Resultado de la PE de la curva II	46
Tabla 3. 9 Resultado de la PE de la curva III	47
Tabla 3. 10 Coeficiente de precipitación efectiva.....	48
Tabla 3. 11 Precipitación efectiva.....	48
Tabla 3.12 Parámetros de la retención de la microcuenca Usquwillka	49
Tabla 3. 13 Resultado de almacenamiento de acuífero y retención de la microcuenca.....	49
Tabla 3. 14 Cuencas con agotamiento rápido.....	50
Tabla 3. 15 Coeficiente de descarga en los meses de sequia.....	50
Tabla 3. 16 Resultado de descarga en los meses de sequía.....	51
Tabla 3. 17 Coeficiente de abastecimiento para los meses de precipitación.....	51
Tabla 3. 18 Resultado de abastecimiento en los meses de lluvia	52
Tabla 3. 19 Caudal generado para año promedio	53
Tabla 3. 20 Caudal generado en m ³ /s.....	53
Tabla 3. 21 Caudales medios mensuales generados para el año promedio.....	55
Tabla 3.22 Datos para el cálculo de coeficiente de correlación	56
Tabla 3.23 Resultados de Coeficiente de Correlación	57
Tabla 3. 24 Números aleatorios generados.....	58
Tabla 3. 25 Coeficiente de precipitación efectiva.....	60
Tabla 3. 26 Precipitaciones efectivas mensuales extendidas.....	61
Tabla 3. 27 Caudal generado para periodos extendidos (mm/mes).....	63
Tabla 3. 28 Caudal medio mensual en (m ³ /s).....	65
Tabla 3. 29 Resultado de oferta y caudal ecológico de la microcuenca Usquwillka.....	67
Tabla 3.30 Volumen de agua disponible en los meses de precipitación	68

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Datos de precipitación original.....	75
--	----

Anexo 2. Datos de temperatura media anual	76
Anexo 3. Datos de humedad relativa.....	77
Anexo 4. Tabla T de Student.....	78
Anexo 5. Tabla F de Fisher de 2 colas.....	79
Anexo 6. Plano de ubicación hidrológica de la microcuenca Usquwillka.....	80
Anexo 7. Mapa de ubicación política	81
Anexo 8. Mapa de ubicación hidrográfica	82
Anexo 9. Mapa de orden de ríos.....	83
Anexo 10. Mapa a partir de modelo digital de elevación	84
Anexo 11. Mapa de zonas de vida.....	85

LISTA DE ACRÓNIMOS

ETLU	: Expediente Técnico Laguna Ustunaccocha
CORPONARIÑO	: Corporación Autónoma Regional de Nariño
OMM	: Organización Meteorológica Mundial
ANA	: Autoridad nacional de agua
SENAMHI	: Servicio nacional de meteorología y hidrología
SNIRH	: Sistema Nacional de Información de Recursos Hídricos
Z máxima	: Cota máxima
GL	: Grado de libertad
Fc	: F calculado
Tc	: T calculado
ETP	: Evapotranspiración potencial
CMi	: Caudales mensuales generados para año promedio
CMi-1	: Caudal mensual generado del mes anterior
Z	: Números aleatorios
GR2M	: Modelo hidrológico para generación de caudales
MIDAGRI	: Ministerio de desarrollo agrario y riego

RESUMEN

La presente investigación titulada “Determinación de la oferta hídrica de la microcuenca Usquwillka con fines de represamiento, distrito Quinua – Huamanga – Ayacucho, 2022” consistió en determinar la oferta hídrica de la micro cuenca Usquwillka, que está ubicado en la parte alta del distrito de Quinua, provincia Huamanga, departamento de Ayacucho. Los objetivos de la presente investigación fueron: Determinar los parámetros requeridos para generar caudales medios mensuales en la microcuenca Usquwillka, generar caudales para el año promedio por el método Lutz Scholz y estimar la disponibilidad hídrica de la microcuenca. Para establecer la oferta hídrica de la microcuenca Usquwillka se recopiló los datos de precipitación de la estación meteorológica Quinua, los datos de temperatura y humedad atmosférica fueron recopiladas a partir de aplicación “Data Access Viewer” de proyecto POWER de la NASA. La precipitación adquirida fue sometidas a las pruebas estadísticas para determinar la consistencia. Así mismo, se realizó la delimitación de la microcuenca con el software ArcGIS 10.4 y se calculó algunos parámetros geomorfológicos como: altitud media, pendiente media de la microcuenca y pendiente del cauce principal; los cuales fueron la base para la aplicación del modelo determinístico - Estocástico de Lutz Scholz. Para obtener el resultado de caudales generados y caudales extendidos se empleó una plantilla de Excel con el fin de facilitar el proceso establecido en el modelo Lutz Scholz. De los promedios obtenidos en el cálculo de caudales extendidos se deja fluir el 25 % como caudal ecológico, el resto, es el caudal disponible denominado como oferta hídrica. Finalmente, el volumen acumulado en el punto de aforo en los meses de lluvia (enero, febrero, marzo y abril) es de 1.86 Hm³ es decir 1859925 m³ de agua disponible. De los resultados obtenidos se recomienda plantear proyecto de embalsamiento que tanto requiere el distrito.

Palabras claves: Caudal medio disponible, embalsamiento, Lutz Scholz, microcuenca.

ABSTRACT

The present investigation entitled "Determination of the water supply of the Usquwillka micro-basin for damming purposes, Quinoa - Huamanga - Ayacucho district, 2022" consisted of determining the water supply of the Usquwillka micro-basin, which is located in the upper part of the Quinoa district, Huamanga province, Ayacucho department. The objectives of this research were: Determine the parameters required to generate average monthly flows in the Usquwillka micro-basin, generate flows for the average year by the Lutz Scholz method and estimate the water availability of the micro-basin. To establish the water supply of the Usquwillka micro-basin, precipitation data was collected from the Quinoa weather station, temperature and atmospheric humidity data were collected from the "Data Access Viewer" application of NASA's POWER project. The acquired precipitation was subjected to statistical tests to determine consistency. Likewise, the delimitation of the micro-basin was carried out with the ArcGIS 10.4 software and some geomorphological parameters were calculated, such as: average altitude, average slope of the micro-basin and slope of the main channel; which were the basis for the application of the deterministic - Stochastic model of Lutz Scholz. To obtain the result of generated flows and extended flows, an Excel template was used in order to facilitate the process established in the Lutz Scholz model. Of the averages obtained in the calculation of extended flows, 25% is allowed to flow as ecological flow, the rest is the available flow called water supply. Finally, the accumulated volume at the gauging point in the rainy months (January, February, March and April) is 1.86 Hm³, that is, 1859925 m³ of available water. From the results obtained, it is recommended to propose an embalming project that the district requires so much.

Keywords: Mean available flow, reservoir, Lutz Scholz, micro-watershed.

INTRODUCCIÓN

Vivimos en una situación aceleradamente cambiante, el crecimiento demográfico de la población va en ascenso generando el desequilibrio en la seguridad alimentaria. este fenómeno trae nuevas necesidades de sobrevivencia como: necesidades de ampliar la frontera agrícola, necesidades de acceso a recursos hídricos, necesidades de nuevas oportunidades, etc. Por otro lado, el cambio climático genera desequilibrio en el comportamiento del clima con consecuencias lamentables como sequías e inundaciones (Martínez 2013).

El pueblo de Quinoa no es ajeno a estos fenómenos, también sienten las alteraciones y se ven impotentes al ver que sus actividades agrícolas son los más afectados, la escasez de agua siempre ha sido uno de los grandes problemas a solucionar, por ende, la agricultura desde los tiempos remotas fue solo en campañas grandes, limitándose en campañas chicas por falta de este recurso.

Por estas razones se planteó determinar la oferta hídrica de la microcuenca Usquwillka, como punto de partida para el proyecto de represamiento, lo cual es una alternativa de solución para la demanda agrícola de un sector de la población quinuina.

El objetivo general de la presente investigación fue determinar la oferta hídrica con fines de represamiento en la microcuenca Usquwillka y los objetivos específicos fueron: Determinar los parámetros requeridos para generar caudales medios mensuales, generar caudales para el año promedio por el método Lutz Scholz y estimar la disponibilidad hídrica de la microcuenca Usquwillka.

Scholz (1980) determinó un modelo hidrológico para la sierra sur del Perú, denominado el modelo determinístico-estocástico de Lutz Scholz. Para el presente estudio de investigación, se utilizó el prototipo para generar caudales medios mensuales y su respectiva extensión.

El trabajo constituye en cinco apartados, capítulo I: Marco teórico, capítulo II: Materiales y métodos, capítulo III: Resultados y discusiones, capítulo IV: Conclusiones y capítulo V: Recomendaciones.

Objetivo general

El objetivo general radica en determinar la oferta hídrica de la microcuenca Usquwillka con fines de represamiento.

Objetivos específicos

- Determinar los parámetros requeridos para generar caudales medios mensuales en la microcuenca Usquwillka.
- Generar caudales para el año promedio por el método Lutz Scholz.
- Estimar la disponibilidad hídrica de la microcuenca Usquwillka.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes

En el estudio hidrológico del **Expediente Técnico Laguna Ustunacocha (ETLU, 2020)** del distrito de Vinchos-Huamanga-Ayacucho, aplicaron el modelo determinístico-estocástico de Lutz Scholtz para determinar la disponibilidad hídrica de la cuenca, obteniendo el resultado promedio de 0.285 m³/s lo cual indica que este método es aplicable.

Najarro (2015) aplicó el modelo Lutz Scholtz en su tesis denominado “Calibración del modelo Lutz Scholtz y generación de caudales extendidos aplicando a la cuenca de río Chacco” ubicado en la región Ayacucho – Perú, que pertenece a la unidad hidrográfica de la Cuenca Mantaro. Para calibrar los caudales mensuales obtenidos con el modelo Lutz Scholtz usó los datos hidrométricos de Chacco y en seguida generó caudales medios para periodos extendidos. La investigación realizada, es una evidencia clara de aplicación del modelo hidrológico Lutz Scholtz en esta parte de la región.

Crisólogo (2018) determinó la oferta hídrica en la cuenca del río Chonta Cajamarca - Perú, usando el modelo determinístico estocástico Lutz Scholtz; los resultados obtenidos en los meses de lluvia varían entre 7.54 m³ /s a 4.92 m³ /s y en los meses de estiaje 3.85 m³ /s a 1.78 m³ /s.

1.2 Cuenca hidrográfica

Vásquez et al. (2016) indicaron que la cuenca hidrográfica es el área geográfica delimitada por una divisoria topográfica (Divortium Aquarum), que recibe las precipitaciones y drena el agua de escorrentía hacia un colector común, denominado río principal.

Recalde (2004) mencionó que la cuenca hidrográfica es el espacio territorial delimitado por la línea divisoria, conformado por un sistema hídrico que conducen sus aguas a un cauce o río.

1.3 Parámetros geomorfológicos de la cuenca

1.3.1 Área de la cuenca

Mejía (1985), detalló que el área de la cuenca “es el espacio geográfico delimitado por la divisoria de aguas, medida en km² o en hectáreas”, para determinar dicho espacio geográfico se aplica el software ArcGIS de cualquier versión.

1.3.2 Perímetro de la cuenca

Villon (2002) resumió que el perímetro de la cuenca es la línea divisoria que inicia en el punto de aforo y termina en punto de aforo. Se determina con la ayuda de ArcGIS.

1.3.3 Altitud media de la cuenca

Villón (2002) indicó que “la altitud media, es la proyección de intersección de las curvas hipsométricas hacia el eje de ordenada”; para proyectarla es necesario haber graficado y desarrollado en una plantilla de Excel.

1.3.4 Forma de la cuenca

Mejía (1985) mencionó que la importancia de la forma de la cuenca radica en el tiempo de concentración, es decir el tiempo que tarda en llegar al punto de aforo desde los límites. Para determinar la forma de la cuenca se aplican las siguientes fórmulas:

a) Coeficiente de compacidad

$$K=0.28*\frac{P}{\sqrt{A}} \dots\dots\dots (1)$$

Donde:

P = Perímetro de la cuenca (km)

A= Área de la cuenca (km²)

b) Rectángulo equivalente

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

$$l=\frac{K\sqrt{A}}{1.12}\left(1-\sqrt{1-\left(\frac{1.12}{K}\right)^2}\right) \dots\dots\dots (3)$$

Donde:

L = Longitud de lado mayor del rectángulo (km)

l = Longitud de lado menor del rectángulo (km)

K = Índice de Gravelious

A= Área de la cuenca (km²)

c) Pendiente media de la cuenca

✓ **Criterio de rectángulo equivalente**

$$S = \frac{H}{L} \dots\dots\dots (4)$$

Donde:

S = Pendiente de la cuenca

H= desnivel de la cuenca (msnm)

L = Longitud de lado mayor del rectángulo (m)

1.3.5 Sistema de drenaje

Mejía (1985). El sistema de drenaje se refiere al drenaje de las causas principales y secundarias de la cuenca. La característica del sistema del drenaje depende de varios factores como la intensidad de la precipitación, pendiente de la cuenca, tipos de vegetaciones, tipos de suelos y forma y tamaño de la cuenca.

a) Tipos de corriente

Según Mejía (1985). Los tipos de corrientes de acuerdo al flujo del agua se divide en tres.

- ✓ Perennes (1)
- ✓ Intermitentes (2)
- ✓ Efímeros (3)

b) Orden de corrientes

Mejía (1985). Son clasificaciones que refleja el grado de ramificación de una cuenca.

- ✓ Orden 1
- ✓ Orden 2
- ✓ Orden 3
- ✓ Orden 4

c) Densidad de drenaje

Mejía (1985). Es el índice que relaciona entre la longitud total (L), de los cursos de agua de una cuenca y el área total (A).

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

1.3.6 Características de relieve

Mejía (1985). El relieve, es el pendiente de la cuenca, la importancia radica en la velocidad de escorrentía en los momentos de precipitación.

a) Pendiente de la cuenca

La pendiente de la cuenca controla la velocidad con que fluye la escorrentía superficial

b) Elevación media de la cuenca (E)

Es la elevación promedio referida al nivel de punto de aforo, se determina a partir de la curva hipsométrica.

$$E = \frac{\sum e \times a}{A}$$

Donde:

e: Elevación media entre dos curvas de nivel consecutivas.

a: Área entre las curvas de nivel.

A: Área total de la cuenca.

c) Curva hipsométrica

Es la representación gráfica del relieve medio de una cuenca.

d) Pendiente del cauce principal

Es el pendiente del curso de agua del cauce principal de la cuenca.

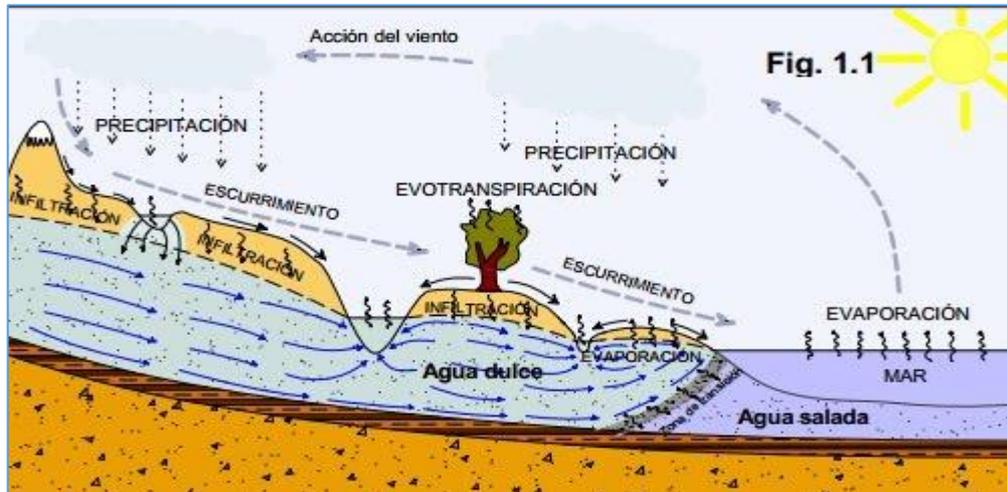
1.4 Ciclo hidrológico

Cahuana y Yugar (2009) mencionaron que “El ciclo hidrológico es un fenómeno natural de circulación del agua, pasando por diferentes estados como: sólido, líquido y gaseoso. Este fenómeno ocurre de acuerdo las oscilaciones de la temperatura”.

Por otro lado, Chow (1994) dijo que el ciclo hidrológico es el foco central que no tiene origen, en ella ocurre los diversos procesos cíclicos como la evaporación, condensación y precipitación.

Figura 1.1

Ciclo hidrológico



Fuente: Hidrología BUAP 2013

1.5 Precipitación

Chow (1994) detalló que “La precipitación incluye la lluvia, la nieve y otros procesos mediante los cuales el agua cae a la superficie terrestre, tales como granizo y nevisca”

1.6 Interceptación

Fattorelli y Fernández (2011) mencionaron que las gotas de lluvias retenidas por las copas de los árboles retornan a la atmosfera en forma de vapor, a esas gotas de agua retenida se le denomina como interceptación.

1.7 Evaporación

Chow (1994) indicó que la evaporación es la suma de la evaporación desde la superficie del suelo y la evaporación desde las copas de vegetación.

Fattorelli y Fernández (2011) mencionaron que la evaporación es un proceso de cambio de fase, líquida a vapor este último retorna a la atmosfera para luego condensar y precipitar.

1.8 Infiltración

Chow (1994) desarrolló que la infiltración “Es el proceso mediante el cual el agua penetra desde la superficie del terreno hacia el suelo, los factores que influyen son; pendiente del suelo, la cubierta vegetal, las propiedades físicas de suelo etc”.

Chereque (2003) determinó que la infiltración es el paso del agua a través de la superficie del suelo hacia el interior de la tierra.

1.9 Escorrentía superficial

Chereque (2003) indicó que el total de la precipitación ocurrida en una zona, una parte “es retenida por la cobertura vegetal y por las depresiones del terreno como almacenamiento superficial” (lagunas y pantanos). “Conforme continúa la lluvia, el suelo se cubre de una delgada capa de agua conocida como” retención superficial, luego comienza a deslizarse hacia pendiente negativa denominado escorrentía superficial. La unión de flujo superficial y flujo subsuperficial se denomina escorrentía directa.

ETLU (2020) mencionó que la escorrentía superficial “es una parte de precipitación que no ha sido retenido por el suelo, tampoco evaporado ni interceptada, es netamente agua que fluye por la superficie del suelo producto de la lluvia”.

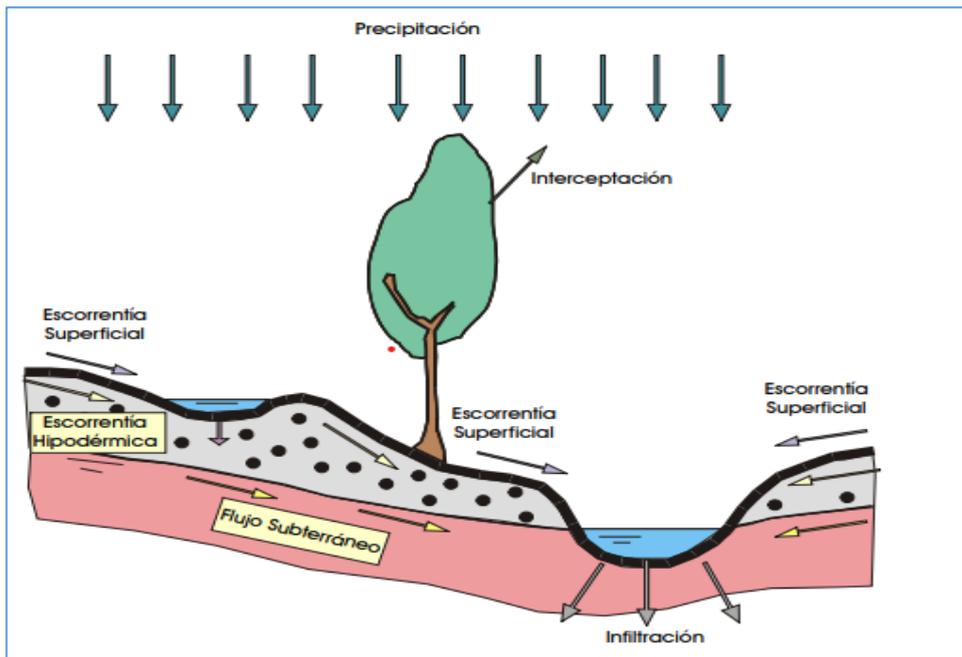
1.10 Escorrentía subsuperficial

Chow (1994) indicó que “El agua subsuperficial fluye por debajo de la superficie terrestre, este flujo laminar se realiza hacia la dirección del pendiente de las formaciones geológicas y viaja entre las porosidades del subsuelo”.

La escorrentía subsuperficial es el movimiento del agua debajo de la superficie del suelo producto de la precipitación infiltrada, generalmente el flujo tiende a fluir a la dirección de las formaciones geológicas del subsuelo. Una vez encuentra un canal de flujo pasa a convertirse en escorrentía superficial poco después de la lluvia sin llegar a ser nunca subterránea mencionó, (Fundación del agua [AQUAe], 2013).

Figura 1. 2

Escorrentía superficial y subsuperficial



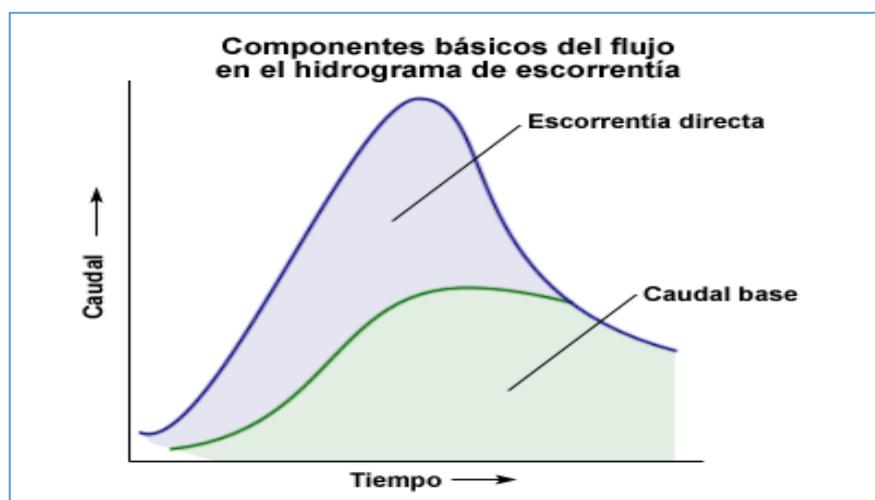
Fuente: Slide Player

1.11 Hidrograma de caudal

Chow (1994) reveló que “Un hidrograma de caudal es una gráfica que muestra el flujo de agua en el punto de aforo en el tiempo, este puede ser de dos tipos, el hidrograma anual que muestra el flujo durante el año y el hidrograma de tormenta muestra solo en los momentos de precipitación en la parte alta de la cuenca”.

Figura 1. 3

Hidrograma de caudal



Fuente: Academia.

1.12 Hidrograma anual

Chow (1994) mencionó que “Es una gráfica de caudal vs tiempo en un año. El volumen total de flujo, proviene del flujo base, lo cual indica que una gran proporción de la lluvia se infiltra en la cuenca y fluye laminarmente por medio de los poros subsuperficiales, de esta forma mantiene el caudal del río”.

1.13 Hidrograma de tormentas

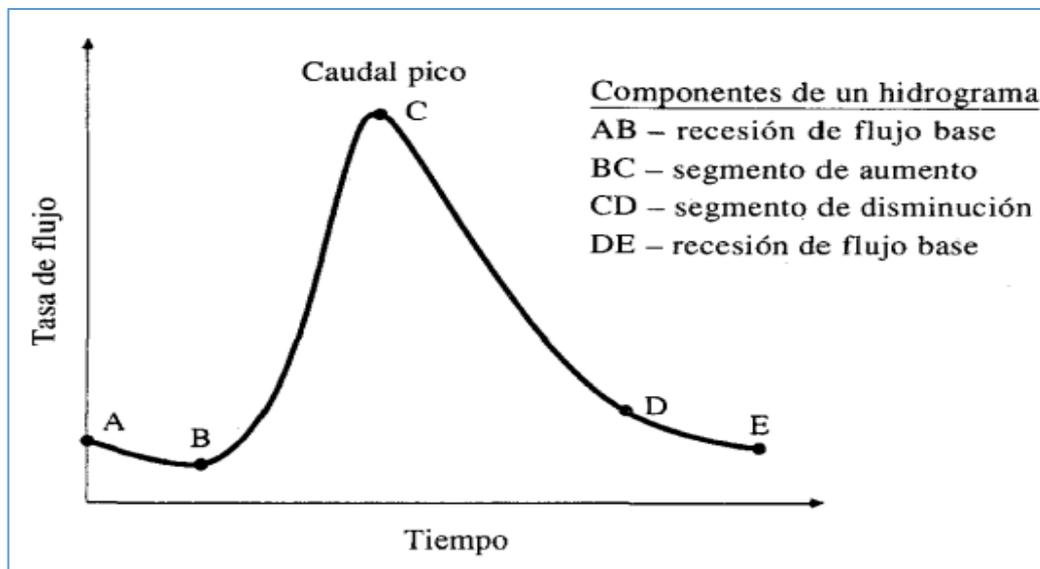
En su base de teoría Chow (1994) indicó que el “hidrograma de tormentas es una gráfica de caudal vs tiempo después de las precipitaciones, muestra cuatro componentes”:

- La escorrentía directa empieza en B,
- Alcanza su pico en C
- Termina en D.

“Luego sigue el segmento DE en el cual nuevamente empieza la recesión normal del flujo base”.

Figura 1. 4

Hidrograma de tormentas

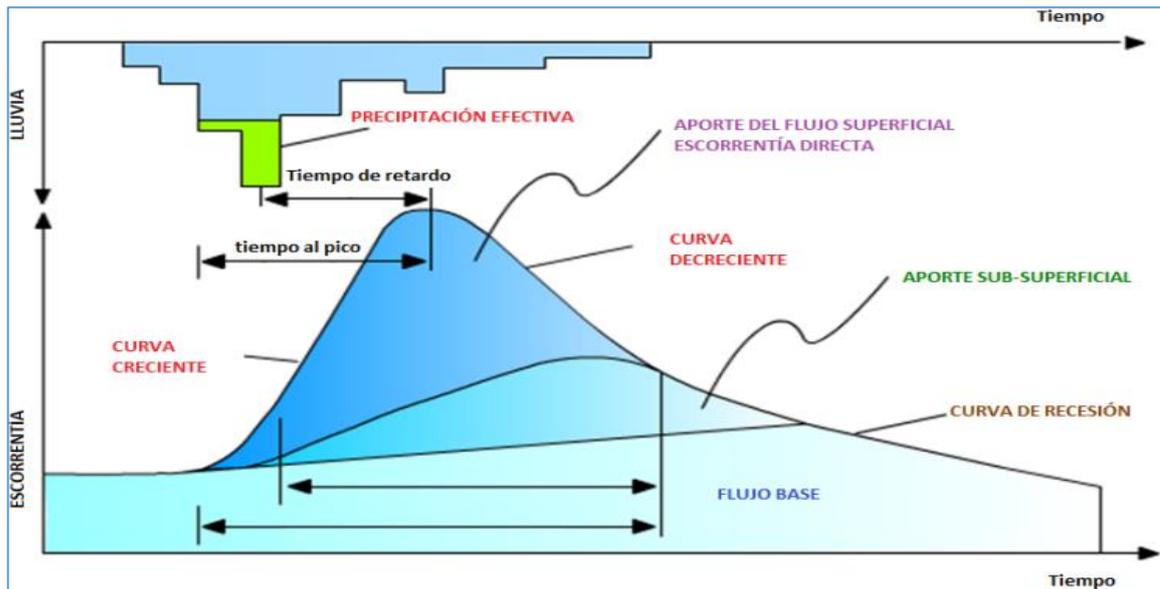


Fuente: Chow (1994)

1.14 Precipitación efectiva

Chow (1994) definió la precipitación efectiva como “la precipitación que no se retiene en la superficie terrestre y tampoco se infiltra en el suelo” es netamente agua que escurre sobre la superficie del suelo. “Después de fluir a través de la superficie de la cuenca se convierte en escorrentía directa a la salida de la cuenca”.

Figura 1.5
Precipitación efectiva



Fuente: Rojo Hdz

1.15 Oferta hídrica de la cuenca

En CORPONARIÑO (2008) definieron “la oferta hídrica de una cuenca como volumen disponible de agua para satisfacer la demanda generada por las actividades sociales y económicas del hombre”; también se le conoce como caudal medio anual del río o la oferta hídrica, se cuantifica a partir del balance hídrico de la cuenca.

Vásquez et al. (2016) mencionó que la oferta hídrica es la disponibilidad de agua en un sistema hidrológico para abastecer la demanda. Esta puede provenir directamente de la lluvia o estar disponible en ríos, quebradas o lagunas.

1.16 Precipitación media sobre un área

Chereque (2003) comentó sobre el resultado promedio de precipitación a partir de las lluvias medidas en los pluviómetros, para ello es necesario que los pluviómetros deben ubicarse estratégicamente y en número suficiente para que la información resulte de buena calidad.

Mejía (1985) dijo que los datos medidos en los pluviómetros representan un área reducida. Mientras Linsley et al. (1967) indicó que un pluviómetro instalado en un punto representa hasta 260 km².

Según la guía de Instrumentos y Métodos de Observación Meteorológicos, el área de influencia de la precipitación de una estación meteorológica es de 100 km² (Organización Meteorológica Mundial [OMM], 2010).

Para determinar la precipitación media de la cuenca existen varios métodos, pero los más usados son los siguientes:

- Promedio aritmético
- Polígono Thiessen
- Isoyetas

1.17 Polígono de Thiessen

Mejía (1985) mencionó “El método de Thiessen establece que, en cualquier punto de la cuenca, la lluvia es igual a la que se registra en el pluviómetro más cercano, cuya influencia abarca hasta la mitad de la distancia de siguiente estación”.

1.18 Recopilación de datos hidrológicos

Mejía (1985) indicó “Los datos hidrometeorológicos son recolectados primordialmente como información básica para el desarrollo y gestión de los recursos hídricos de una región” estas se recopilan a partir de base de datos de ANA, Senamhi, satélites u otros.

1.19 Tratamiento de los datos históricos

Aliaga (1983) mencionó “Es el ajuste de los datos históricos a una condición homogénea, corrección de los errores sistemáticos, completación y extensión de datos”.

1.20 Análisis de consistencia

Villon (2006) recomendó que los datos descargados de cualquier entidad requieren el proceso de análisis de consistencia para considerar que son confiables, para ello, el proceso a seguir es; identificación, descripción y remoción de datos no homogéneos e inconsistentes, este proceso se realiza con la ayuda de Excel para acelerar el trabajo.

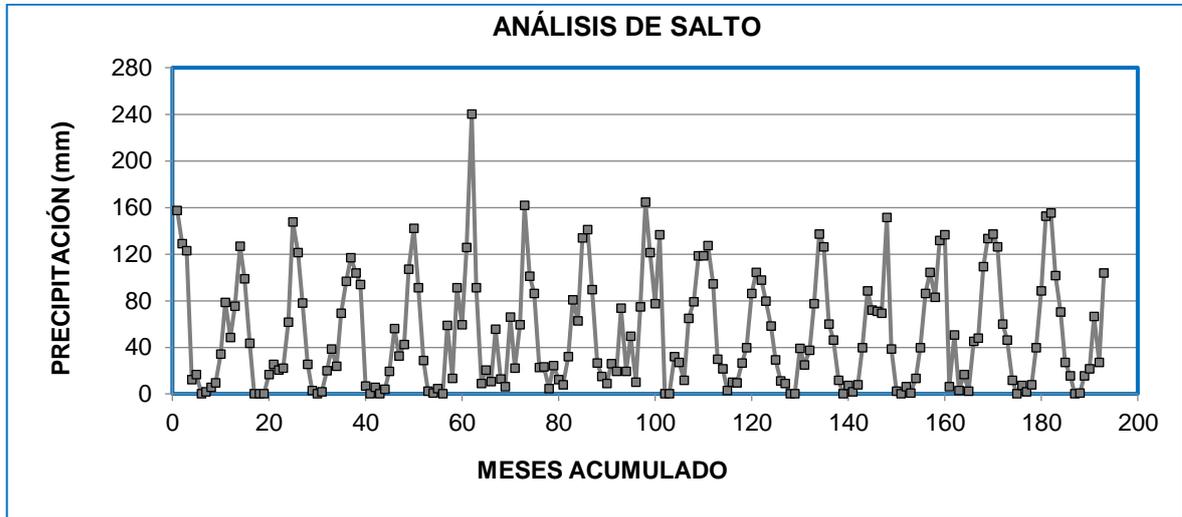
1.20.1 Análisis visual

Villon (2006) indicó que es un gráfico “que sirve para analizar la consistencia de la información hidrológica en forma visual, e indicar los períodos en los cuales la información es dudosa, lo cual se puede reflejar como picos más altos o valores muy bajos, saltos y/o tendencias”. Eso

refleja que los datos son inconsistentes y requiere la corrección, si es contrario podemos considerar como consistente por el momento.

Figura 1. 6

Análisis visual



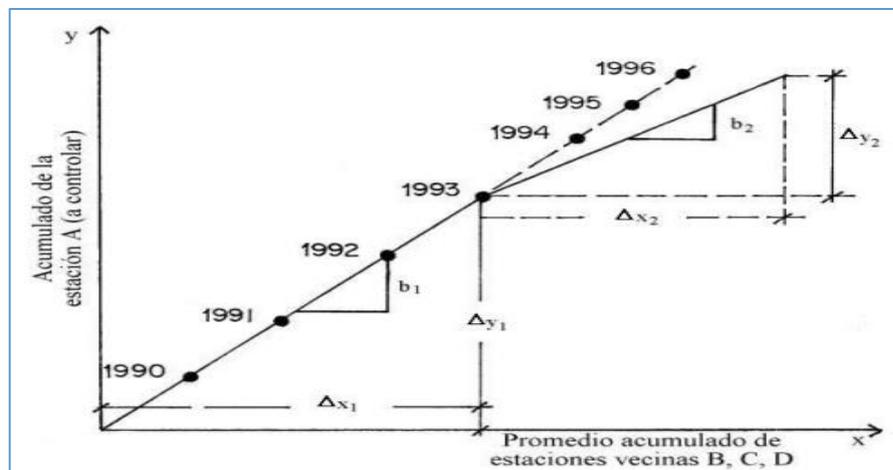
Fuente: Elaboración propia

1.20.2 Análisis de doble masa

Fattorelli y Fernández (2011) remarcó que “Es un gráfico de los valores acumulados de las lluvias anuales de la estación a controlar con respecto al promedio anual de un número determinado de estaciones cercanas. Si el registro de la estación es consistente, la recta para un período de tiempo tendrá una pendiente constante; un cambio en la pendiente significa que existe una inconsistencia”.

Figura 1. 7

Curva de doble masa



Fuente: Fattorelli y Fernández

1.20.3 Análisis estadístico

Chereque (2003) detalló que el análisis estadístico “Es el análisis de la información hidrológica en forma de muestras, a fin de inferir las características con que debe ser esperado en el futuro el fenómeno que se estudia”.

Villón (2006) mencionó, luego de identificar los datos inconsistentes en análisis visual y de los de doble masa se somete a análisis estadístico de la siguiente manera:

1.20.4 Análisis de salto

a) Consistencia de media

Villón (2006) determina que “el análisis estadístico consiste en probar, mediante la prueba t (prueba de hipótesis), si los valores medios (\bar{X}_1, \bar{X}_2) de las submuestras, son estadísticamente iguales o diferentes con una probabilidad del 95% o con 5% de nivel de significación”.

✓ Cálculo de media y desviación estándar para las submuestras

$$\bar{x}_1 = \frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^{n_1} x_i \quad ; \quad S_1(x) = \left[\frac{1}{n_1 - 1} \sum_{i=1}^{n_1} (x_i - \bar{x}_1)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (5)$$

$$\bar{x}_2 = \frac{1}{n_2} \sum_{j=1}^{n_2} x_j \quad ; \quad S_2(x) = \left[\frac{1}{n_2 - 1} \sum_{j=1}^{n_2} (x_j - \bar{x}_2)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (6)$$

donde:

x_i = valores de la serie del período 1

x_j = valores de la serie del período 2

\bar{X}_1, \bar{X}_2 = media de los períodos 1 y 2 respectivamente

$S_1(x), S_2(x)$ = desviación estándar de los períodos 1 y 2 respectivamente

n = tamaño de la muestra

n_1, n_2 = tamaño de las submuestras

$n = n_1 + n_2$

✓ Cálculo del t calculado (t_c)

$$t_c = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{S_d} \dots\dots\dots (7)$$

Donde:

$\mu_1 - \mu_2 = 0$ (por hipótesis, es que las medias son iguales)

quedando:

$$t_c = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{S_d} \dots\dots\dots (8)$$

Además:

✓ **Desviación de las diferencias de los promedios**

$$S_d = S_p \left[\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right]^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (9)$$

✓ **Desviación estándar ponderada**

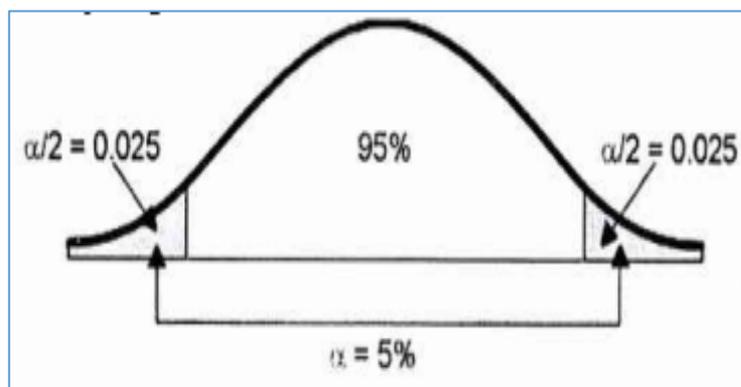
$$S_p = \left[\frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \right]^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (10)$$

✓ **Cálculo del t tabular (t_t)**

Villón (2006) también indica que “el valor crítico de t se obtiene de la tabla t de Student de anexo 4, con una probabilidad al 95%, ó con un nivel de significación del 5%”, es decir con $\alpha/2 = 0.025$ y con grados de libertad $\gamma = n_1 + n_2 - 2$.

Figura 1. 8

Campana t de Student



Fuente: Villon (2006)

✓ **Comparación del t_c , con el t_t**

si $|t_c| \leq t_t (95\%) \rightarrow \bar{x}_1 = \bar{x}_2$ no se corrige

si $|t_c| > t_t (95\%) \rightarrow \bar{x}_1 \neq \bar{x}_2$ corregir

En el caso que las medias son iguales ($\bar{x}_1 = \bar{x}_2$), estadísticamente no necesita corrección.

En el caso que las medias son diferentes ($\bar{x}_1 \neq \bar{x}_2$), estadísticamente la información se requiere corrección.

b) Consistencia de la desviación estándar

En su libro, Villón (2006) indicó “el análisis estadístico consiste en probar, mediante la prueba F, si los valores de las desviaciones estándar de las submuestras, estadísticamente iguales o diferentes con un 95% de probabilidad o con un 5% de nivel de significación”, se prueba de la siguiente manera:

✓ **Cálculo de las varianzas de ambos períodos:**

$$S_1^2(x) = \left(\frac{1}{n_1 - 1} \right) \sum_{j=1}^{n_1} (x_j - \bar{x}_1)^2 \dots\dots\dots (11)$$

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

✓ **Cálculo del F calculado (Fc),**

$$F_c = \frac{S_1^2(x)}{S_2^2(x)}, \quad \text{si } S_1^2(x) > S_2^2(x) \dots\dots\dots (12)$$

$$F_c = \frac{S_2^2(x)}{S_1^2(x)}, \quad \text{si } S_2^2(x) > S_1^2(x) \dots\dots\dots (13)$$

✓ **Cálculo del F tabula (Ft)**

Se obtiene de las tablas Tabla F de Fisher de 2 colas de anexo 5, para una probabilidad del 95%, es decir, con un nivel de significación $\alpha = 0.05$ y grados de libertad en numerador y denominador.

$$\left(\begin{array}{l} \text{G.L.N} = n_1 - 1 \\ \text{G.L.D} = n_2 - 1 \end{array} \right); \quad \text{Si } S_1^2(x) > S_2^2(x) \dots\dots\dots (14)$$

$$\left(\begin{array}{l} \text{G.L.N} = n_2 - 1 \\ \text{G.L.D} = n_1 - 1 \end{array} \right); \text{ Si } S_2^2(x) > S_1^2(x) \dots\dots\dots (15)$$

✓ **Comparación del Fc con el Ft**

Si, $F_c \leq F_t(95\%) \rightarrow S_1(x) = S_2(x)$ no se corrige

Si, $F_c > F_t(95\%) \rightarrow S_1(x) \neq S_2(x)$ si de corrige

c) Corrección de los datos

En los casos en que los parámetros media y desviación estándar de las submuestras de las series “de tiempo, resultan estadísticamente iguales, la información original no se corrige, por ser consistente con 95% de probabilidad, aun cuando en la doble masa se observe pequeños quiebres”. En caso contrario, se corrigen los valores de las submuestras mediante las siguientes ecuaciones:

$$x_t^1 = \frac{x_t - \bar{x}_1}{S_1(x)} \times S_2(x) + \bar{x}_2 \dots\dots\dots (16)$$

$$x_t^1 = \frac{x_t - \bar{x}_2}{S_2(x)} \times S_1(x) + \bar{x}_1 \dots\dots\dots (17)$$

Donde:

x_t^1 = Valor corregido de saltos

x_t = Valor a ser corregido

1.21 Modelo determinístico-Estocástico de Lutz Scholz

Scholz (1980) desarrolló “este modelo hidrológico combinado por que cuenta con una estructura determinística para el cálculo de los caudales mensuales; para el año promedio (Balance Hídrico - Modelo determinístico); y una estructura estocástica para la generación de series extendidas de caudal” (Proceso markoviano - Modelo Estocástico).

1.21.1 Ecuación del balance hídrico

Ecuación que describe el balance hídrico mensual en mm/mes: [Fischer]

$$CM_i = Q_i = P_i - D_i + G_i - A_i \dots\dots\dots (18)$$

donde:

CM_i = Caudal mensual en (mm/mes)

P_i = Precipitación mensual sobre la cuenca en (mm/mes)

D_i = Déficit de escurrimiento en (mm/mes)

G_i = Gasto de la retención de la cuenca en (mm/mes)

A_i = Abastecimiento de la retención en (mm/mes)

Asumiendo:

- Para períodos largos (un año) el Gasto y Abastecimiento son iguales ($G_i = A_i$)
- Para el año promedio, una parte de la precipitación retorna a la atmósfera por evaporación.

Reemplazando (P-D) por (C*P), y tomando en cuenta la transformación de unidades (mm/mes a m³/seg.) la ecuación (18) se convierte en:

$$Q = c' \times C \times P \times AR \dots\dots\dots (19)$$

Expresión básica del método racional.

donde:

Q = Caudal en (m³/s)

c' = Coeficiente de conversión del tiempo (mes/s)

C = Coeficiente de escurrimiento

P = Precipitación total mensual (mm/mes)

AR = Área de la cuenca (m²)

1.21.2 Coeficiente de escurrimiento

Fórmula propuesta por L. Turc:

$$C = \frac{P - D}{P} \dots\dots\dots (20)$$

donde:

C = Coeficiente de escurrimiento (mm/año)

P = Precipitación total anual (mm/año)

D = Déficit de escurrimiento (mm/año)

Para la determinación de D se utiliza la expresión:

$$D = P \frac{1}{\left(0.9 + \frac{P^2}{L^2}\right)^{\frac{1}{2}}} \dots\dots\dots (21)$$

$$L = 300 + 25(T) + 0.05(T)^3 \dots\dots\dots (22)$$

Siendo:

L = Coeficiente de temperatura

T = Temperatura media anual (°C)

Fórmulas válidas para regiones de la sierra sur:

$$C = 3.16E12(P^{-0.571})(EP^{-3.686}) \dots\dots\dots (23)$$

$$r = 0.96$$

$$D = -1380 + 0.872(P) + 1.032(EP) \dots\dots\dots (24)$$

donde:

C = Coeficiente de escurrimiento

D = Déficit de escurrimiento (mm/año)

P = Precipitación total anual (mm/año)

EP = Evapotranspiración anual según Hargreaves (mm/año)

r = Coeficiente de correlación

La ETP fue desarrollado por el método de Hargreaves, a continuación, se presenta las fórmulas.

$$EP = 0.0075(RSM)(TF)(FA) \dots\dots\dots (25)$$

$$RSM = 0.075(RA) \sqrt{\frac{n}{N}} \dots\dots\dots (26)$$

$$FA=1+0.06(AL) \dots\dots\dots (27)$$

Donde:

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 °C 1/ 1000 m, determinado para la sierra.

1.21.3 Precipitación efectiva

Se calcula de dos maneras:

- ✓ Aplicando los parámetros de curvas según corresponda, ver tabla 1.1
- ✓ Si el dato de precipitación es menor que 127 mm/mes, como se indica en la curva III de la tabla 1.1, se aplica la ecuación polinómica de quinto grado (ecuación 28).

$$PE = a_0 + a_1 \times p^1 + a_2 \times p^2 + a_3 \times p^3 + a_4 \times p^4 + a_5 \times p^5 \dots\dots (28)$$

donde:

PE = Precipitación efectiva (mm/mes)

P = Precipitación total mensual (mm/mes)

a_i = Coeficiente del polinomio

Tabla 1. 1

Coeficientes Para el cálculo de la precipitación efectiva

Límites Para la Precipitación Efectiva
Curva I: P E = P – 120.6 para P > 177.8 mm/mes.

Curva II: $P E = P - 86.4$ para $P > 152.4$ mm/mes.

Curva III: $P E = P - 59.7$ para $P > 127.0$ mm /mes.

Fuente: Scholz (1980)

Tabla 1. 2

Coefficientes para el cálculo de la precipitación efectiva

Coeficiente	Curva I	Curva II	Curva III
a ₀	-0.047000	-0.106500	-0.417700
a ₁	0.009400	0.147700	0.379500
a ₂	-0.000500	-0.002900	-0.010100
a ₃	0.000020	0.000050	0.000200
a ₄	-5.00E-08	-2.00E-07	-9.00E-07
a ₅	2.00E-10	2.00E-10	1.00E-09

Fuente: Scholz (1980)

1.21.4 Cálculo de coeficiente de precipitación efectiva (mm/mes)

Los coeficientes C_1 y C_2 se calcula con el total de los resultados de la precipitación efectiva mensual.

$$C_1 = \frac{(c \times \sum P - \sum PE_{III})}{(\sum PE_{II} - \sum PE_{III})} \dots \dots \dots (29)$$

donde:

C_1 = Coeficiente PE (mm/mes)

c= Coeficiente de escorrentía

$$C_2 = \frac{(c \times \sum P - \sum PE_{II})}{(\sum PE_{III} - \sum PE_{II})} \dots \dots \dots (30)$$

donde:

C_2 = Coeficiente PE (mm/mes)

c = Coeficiente de escorrentía

La suma de C_1 y C_2 debe ser uno, eso garantiza el desarrollo adecuado.

1.21.5 Precipitación efectiva mensual consolidado (mm/mes)

Para calcular la precipitación efectiva mensual, primero se determina los coeficientes de precipitación efectiva C_1 y C_2 ; luego se reemplaza en la ecuación 31, obteniendo el resultado de la precipitación efectiva mensualizada.

$$PE=C_1 \times PEII+C_2 \times PEIII \dots\dots\dots (31)$$

1.21.6 Retención de la cuenca

Supone “que hay simetría entre el gasto y el abastecimiento de la reserva de la microcuenca además el caudal total sea igual a la precipitación efectiva anual, entonces la contribución de la reserva hídrica al caudal se puede calcular según las siguientes fórmulas”:

$$R_i = CM_i - P \dots\dots\dots (32)$$

$$CM_i = PE_i + G_i - A_i \dots\dots\dots (33)$$

Donde:

CM_i = Caudal mensual (mm/mes)

PE_i = Precipitación efectiva mensual (mm/mes)

R_i = Retención de la cuenca (mm/mes)

G_i = Gasto de la retención (mm/mes)

A_i = Abastecimiento de la retención (mm/mes)

$R_i = G_i$ para valores mayores que cero (mm/mes)

$R_i = A_i$ para valores menores que cero (mm/mes)

Sumando los valores de gasto y abastecimiento, se halla la retención total de la cuenca para el año promedio. Para el caso de las cuencas de la sierra, varía entre 43 a 188 (mm/año).

Parte del agua que se precipita, queda retenida en lagunas, pantanos y en los acuíferos subterráneas, se estima utilizado la siguiente ecuación:

$$R = \frac{Ca \times AC \times LA + AL \times LL + AN \times LN}{AC} \dots\dots\dots (34)$$

$$LA = -750 \times I + 350 \dots\dots\dots (35)$$

Donde:

R= Retención (mm/año)

Ca=Coeficiente de almacenamiento

AC=Área de la cuenca

LA=Almacenamiento de acuífero

AL=Área de lagunas

LL=Almacenamiento de lagunas y pantanos

AN=Área de nevados

LN=Almacenamiento de nevados

I=Pendiente del cauce principal

1.21.7 Relación entre descarga y retención

Durante los meses secanos, el agua retenida en los acuíferos libres, alimenta el cauce del río, manteniendo con caudal base. Este caudal disminuye lentamente a lo largo de la estación seca; para calcular la descarga se usa la ecuación 36.

$$Q_t = b_i = Q_0 \times e^{-a(t)} \dots\dots\dots (36)$$

Donde:

Q_t = Descarga en el tiempo t

Q_0 = Descarga inicial

a = Coeficiente de agotamiento

t = Tiempo

1.21.8 Coeficiente de agotamiento (a)

Mediante las ecuaciones 37, 38, 39 y 40 se calcula el coeficiente de agotamiento "a", dependiendo donde se encuentra el proyecto de estudio. Este coeficiente no es constante durante la estación seca porque disminuye gradualmente. Con fines prácticos se puede despreciar la variación del coeficiente "a" durante la estación seca empleando un valor promedio.

a) Cuencas con agotamiento muy rápido.

El rápido agotamiento se debe a altas temperaturas es decir mayores a 10 °C, por ende, la retención disminuye hasta 50 mm/año.

$$a = -0.00252(\ln AC) + 0.034 \dots\dots\dots (37)$$

b) Cuencas con agotamiento rápido.

Su grado de retención es 50 y 80 mm/año y vegetación poco desarrollada (puna):

$$a = -0.00252(\ln AC) + 0.030 \dots\dots\dots (38)$$

c) Cuencas con agotamiento mediano.

El grado de retención es 80 mm/año y vegetación mezclada entre pastos, bosques y terrenos cultivados.

$$a = -0.00252(\ln AC) + 0.026 \dots\dots\dots (39)$$

d) Cuencas con agotamiento reducido.

Este tipo de cuencas retiene mayores a 100 mm/año y tiene una vegetación mezclada:

$$a = -0.00252(\ln AC) + 0.023 \dots\dots\dots (40)$$

donde:

a = Coeficiente de agotamiento por día

AC = Área de la cuenca (km²)

1.21.9 Almacenamiento hídrico

a) Acuíferos:

$$L_A = -750(I) + 315 \dots\dots\dots (41)$$

L_A = Lámina específica de acuíferos (mm/año)

I = Pendiente de desagüe:

I ≤ 15 %

b) Lagunas y pantanos:

$$L_L = 500 \text{ (mm/año)} \dots\dots\dots (42)$$

L_L = Lámina específica de lagunas y pantanos

c) Nevados:

$$L_N = 500 \text{ (mm/año)} \dots\dots\dots (43)$$

L_N = lámina específica de nevados

Los almacenamientos de corto plazo no son considerados para este caso, estando los mismos incluidos en las ecuaciones de la precipitación efectiva.

1.21.10 Abastecimiento de la retención

Scholz (1980) mencionó en su investigación que el abastecimiento en los meses de lluvia es semejante para cuencas ubicadas en la misma región climática.

Los coeficientes mensuales expresados en porcentaje del almacenamiento total anual se muestran en la tabla 1.3.

Tabla 1. 3

Almacenamiento hídrico durante las épocas de lluvias (Valores en %)

Región	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Febr.	Mar.	Total
Cusco	0	5	35	40	20	0	100
Huancavelica	10	0	35	30	20	5	100
Junín	10	0	25	30	30	5	100
Cajamarca	25	-5	0	20	25	35	100

Fuente: Scholz (1980)

La lámina de agua (A_i) que ingresa en la reserva de la microcuenca se calcula mediante la ecuación 44.

$$A_i = a_i \left(\frac{R}{100} \right) \dots\dots\dots (44)$$

Donde:

A_i = Abastecimiento mensual déficit de la precipitación efectiva (mm/mes)

a_i = Coeficiente de abastecimiento (%)

R = Retención de la cuenca (mm/año)

1.21.11 Determinación del caudal mensual para el año promedio

Basado en la ecuación fundamental que describe el balance hídrico mensual a partir de los componentes descritos anteriormente.

$$CM_i = PE_i + G_i - A_i \dots\dots\dots (45)$$

donde:

CM_i = Caudal del mes i (mm/mes)

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

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

A_i = Abastecimiento del mes i (mm/mes)

1.21.12 Generación de caudales mensuales para periodos extendidos

A fin de generar una serie sintética de caudales para periodos extendidos, se ha implementado un modelo estocástico que consiste en una combinación de un proceso Markoviano de primer orden, según la ecuación 46 con una variable de impulso, que en este caso es la precipitación efectiva (PE_t) de la ecuación 47 (Schulz 1980).

$$Q_t = f(Q_{t-1}) \dots\dots\dots (46)$$

$$Q = g(PE_t) \dots\dots\dots (47)$$

Con la finalidad de aumentar el rango de valores generados y obtener una óptima aproximación a la realidad se utiliza una variable aleatoria aplicando la ecuación 48.

$$Z = z(S) \sqrt{1-r^2} \dots\dots\dots (48)$$

En conclusión, la ecuación que describe los caudales mensuales para periodos extendidos es:

$$Q_t = B_1 + B_2 \times C_{m_{t-1}} + B_3 \times PE_t + Z \times S \times \sqrt{1-r^2} \dots\dots\dots (49)$$

Donde:

Q_t = Caudal extendida del mes t (mm/mes)

C_{m_{i-1}} = Caudal generado del mes anterior

PE_t = Precipitación efectiva del mes

S= Error típico

Z= Números aleatorios

r^2 =Nivel de confianza

B_1, B_2, B_3 = Factores constantes o caudales básicos.

Scholz (1980) dijo, “los parámetros B_1, B_2, B_3, r y S se calcula sobre la base de los resultados del modelo para el año promedio, por medio de la ecuación de regresión múltiple”.

1.22 Caudal ecológico

De acuerdo con la Ley de Recursos Hídricos 29338, se deben permitir caudales ambientales o ecológicos equivalentes al 25% de los caudales totales modelados para mantener la biodiversidad del curso del río.

1.23 Oferta hídrica

La oferta hídrica, se refiere al agua disponible en el punto de medición en m^3/s , esta agua debe ser el 75 % del total obtenido en el modelo.

CAPÍTULO II

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Ubicación

2.1.1 Ubicación del área de estudio

La microcuenca Usquwillka, se encuentra dentro de la cuenca Mantaro, sub cuenca Huarpa y presenta la siguiente ubicación geográfica y política.

2.1.2 Ubicación geográfica

La microcuenca Usquwillka tiene la siguiente ubicación geográfica:

Coordenadas UTM (WGS84)

Este: 597355.68, Norte: 8557247.18, Altitud: 3610 msnm

2.1.3 Ubicación política

Políticamente se encuentra en:

Región : Ayacucho

Provincia : Huamanga

Distrito : Quinoa

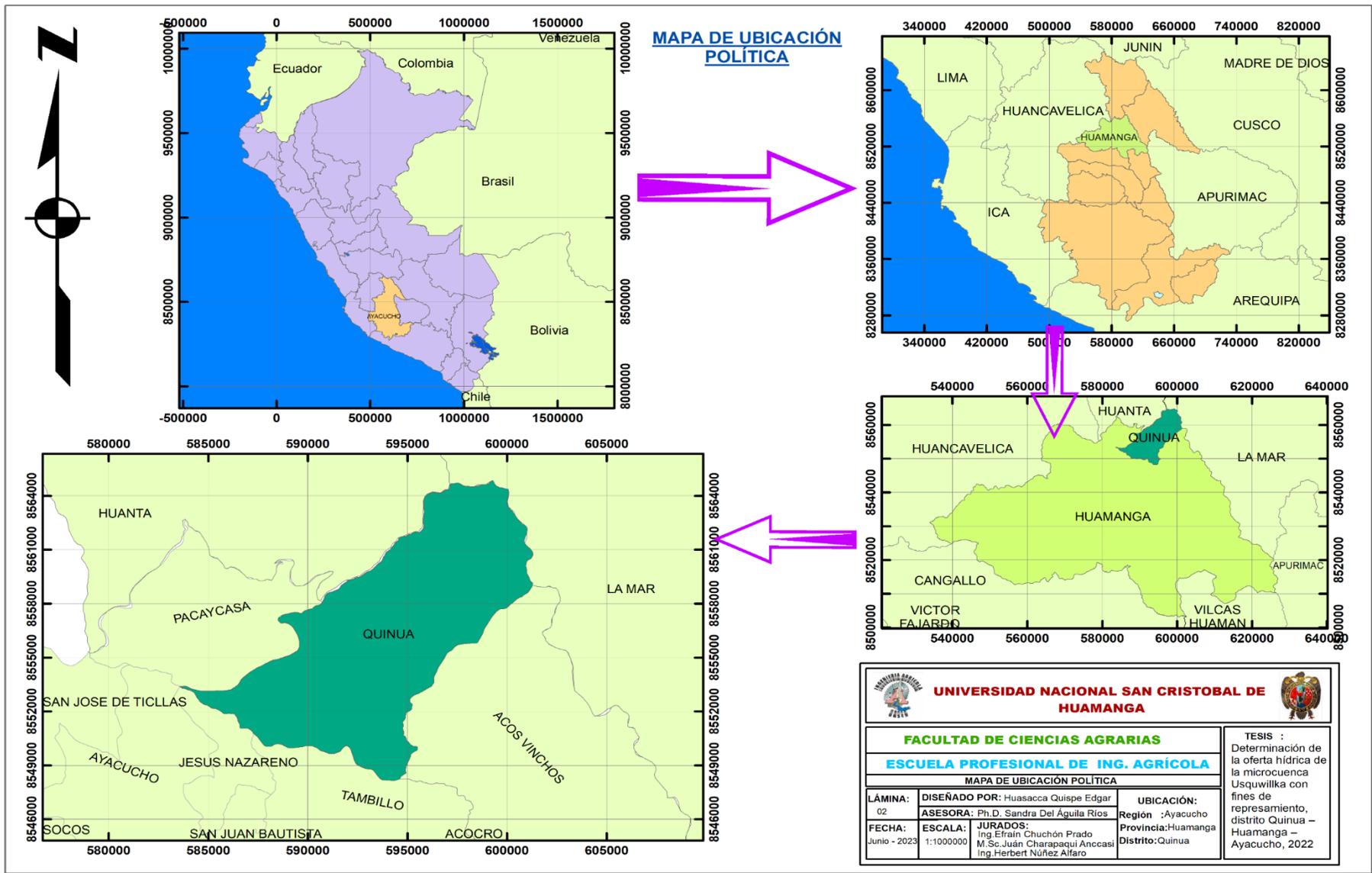
2.1.4 Ubicación hidrográfica

Vertiente : Amazonas - Atlántico

Cuenca : Mantaro

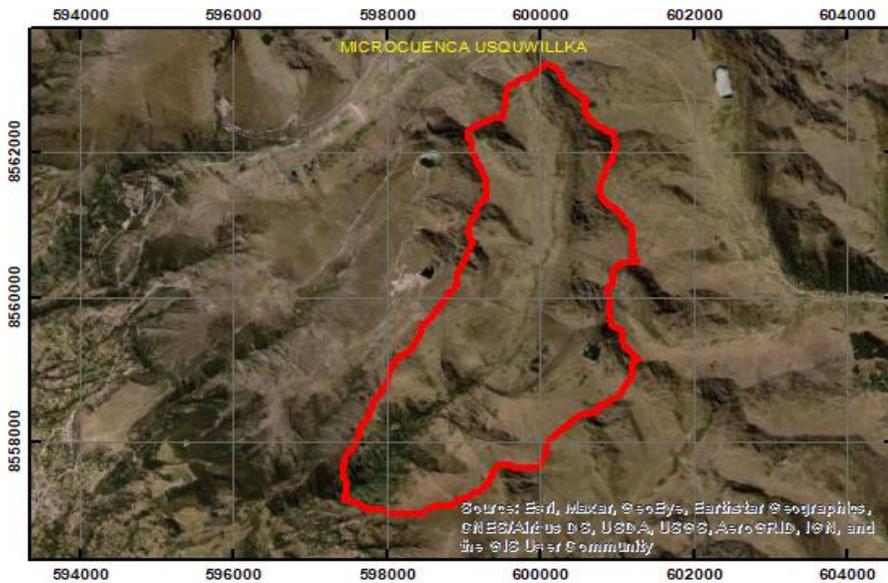
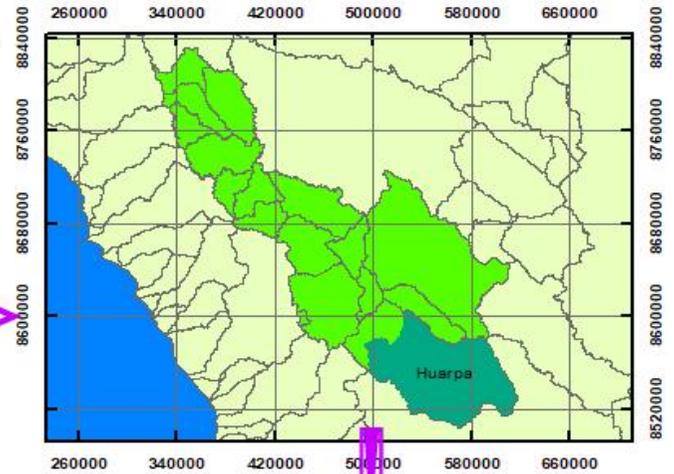
Subcuenca : Huarpa

Microcuenca : Usquwillka





**MAPA DE UBICACIÓN
HIDROGRÁFICA**



 UNIVERSIDAD NACIONAL SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA 		
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS ESCUELA PROFESIONAL DE ING. AGRÍCOLA		
MAPA DE UBICACIÓN HIDROGRÁFICA		
LÁMINA: 02 FECHA: Febr. - 2023	DISEÑADO POR: Huasaca Quiapo Eqvar ASESORA: Ph.D. Sandra del Aguila Ríos ESCALA: 1:2500000 PUNTO DE AFORO: X: 597355.68 Y: 8557247.18	UBICACIÓN: Región : Ayacucho Provincia : Huamanga Distrito : Quimay
TESIS : Determinación de la oferta hídrica de la microcuenca Usquwilka con fines de represasamiento, distrito Quimay-Huamanga-Ayacucho, 2022		

2.1.5 Características de la microcuenca

La microcuenca Usquwillka, se encuentra dentro de propiedad de la comunidad campesina Lurinzayacc y Ananzayacc del distrito de Quinua y pertenece a la cabecera de sub cuenca Huarpa, ubicado al noreste del capital de Ayacucho, las incidencias climáticas provienen de la vertiente Atlántico, frío en los meses de mayo a octubre y en los meses de noviembre a abril con alta precipitación, geográficamente es accidentada con vegetaciones típicas de la puna.

2.1.6 Clima

La microcuenca Usquwillka ecológicamente se encuentran en la región Suni y Puna, puesto que su altitud es de 3610 a 4298 msnm; por ende, la temperatura promedio bordea entre 9°C a 11°C en la parte baja y 4°C en la parte alta.

2.1.7 Topografía

El terreno es irregular, con cerros y depresiones típicas de los Andes.

2.1.8 Vegetación

La microcuenca Usquwillka se encuentra a una altitud de 3610 a 4298 msnm, con matorral en la parte baja y pastizales naturales en la parte alta como *Stipa ichu* y otras especies propias de la zona.

2.1.9 Uso de suelos

MIDAGRI (2022). Según la clasificación de tierras por su capacidad de uso mayor, el suelo de la micro cuenca Usquwillka, es considerado como tierras de protección, debido que su ubicación está en la cabecera de la sub cuenca Huarpa.

2.2 Materiales

2.2.1 Ráster

Taramona (2017) mencionó que son “imágenes satelitales denominado como DEM, capturadas por el satélite ([Alos palsar](#)) con celdas de igual tamaño 12.5 m por 12.5 m. El tamaño de la celda define el nivel de detalle de la información de la zona”; este ráster está orientado para representar con mayor nitidez de la geografía de la zona de estudio, fue usado para la delimitación de la microcuenca Usquwillka.

2.2.2 Datos de precipitación, temperatura y humedad atmosférica

“ANA es uno de los órganos del estado, en su base de datos almacena informaciones históricas de precipitación, temperatura y humedad atmosférica de cada estación meteorología a nivel nacional”. Para el presente trabajo de investigación, las precipitaciones históricas fueron descargadas de la estación meteorológica “La Quinua”. Se presenta el [enlace de descarga](#) para constatar la veracidad del caso.

Los datos históricos de la humedad relativa y la temperatura se descargó de [Power Data Access Viewer](#) de la Nasa, debido que esos datos descargados de la estación “La Quinua” no son confiables porque la mayoría son incompletos.

2.3 Equipos

Para desarrollar el trabajo de investigación se usó los siguientes equipos como herramienta:

- Hardware: Laptop e impresora
- Software: Office 2010, ArcGis, Easyfit.
- Materiales de escritorio

2.4 Metodología

2.4.1 Parámetros geomorfológicos de la microcuenca

En el cálculo de los parámetros geomorfológicos de la microcuenca Usquwillka tales como: el área, altitud media, pendiente media y todos los parámetros necesarios de la microcuenca fueron desarrollados con el software ArcGIS versión 10.4, en la tabla 2.1 se muestra los parámetros calculados de los cuales para el presente trabajo de investigación se utilizaron solamente los necesarios.

La figura 2.1 indica el orden de procedimiento de cálculo de los parámetros requeridos para el modelo Lutz Scholz.

Tabla 2. 1

Parámetros geomorfológicos de la cuenca

Parámetros	Símbolo	Fórmula	Unidad
Área	A	SIG	Km ²
perímetro	P	SIG	km
Altitud máxima	Z máxima	SIG	msnm

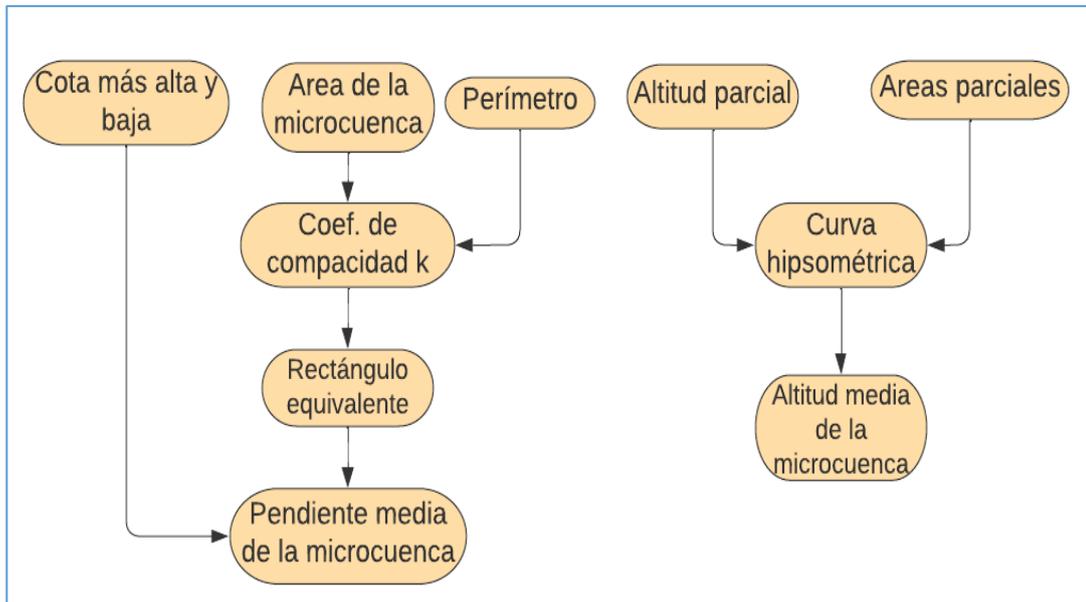
Continuación de la tabla 2.1

Parámetros	Símbolo	Fórmula	Unidad
Altitud mínima	Z mínima	SIG	msnm
Altitud media	Hm	Ordenada de la Intersección de la curva hipsométrica	msnm
Coefficiente de compacidad	K	$K=0.28*\frac{P}{\sqrt{A}}$	
Rectángulo equivalente	L y l	$L=\frac{K\sqrt{A}}{1.12}\left(1+\sqrt{1-\left(\frac{1.12}{K}\right)^2}\right)$, $l=\frac{K\sqrt{A}}{1.12}\left(1-\sqrt{1-\left(\frac{1.12}{K}\right)^2}\right)$	km
Factor de forma	Ff	$Ff=\frac{l}{L}=\frac{A}{L^2}$	
Pendiente de cauce principal	S	$S=\left[\frac{n}{\frac{1}{\sqrt{S_1}}+\frac{1}{\sqrt{S_2}}+\dots+\frac{1}{\sqrt{S_n}}}\right]^2$	%
Densidad de drenaje	Dd	$D_d=\frac{L_i}{A}$	
Frecuencia de los ríos	Fr	$Fr=\frac{n^\circ \text{ de cauces}}{A}$	
Extensión media del escurrimiento superficial	Es	$Es=\frac{A}{4*L_i}$	
Tiempo de concentración	Tc	$Tc=\left(\frac{0.87L^3}{H}\right)^{0.385}$	mimutos
Indice de pendiente	Ip	$I_p=\sum_{i=1}^n \sqrt{\beta_i (a_i - a_{i-1})} \frac{1}{\sqrt{L}}$	
Pendiente media de la cuenca	S	$S=\frac{H}{L}$	%

Fuente: Del Águila (2021)

Figura 2. 1

Diagrama de flujo de la geomorfología de la microcuenca



Fuente: Elaboración propia

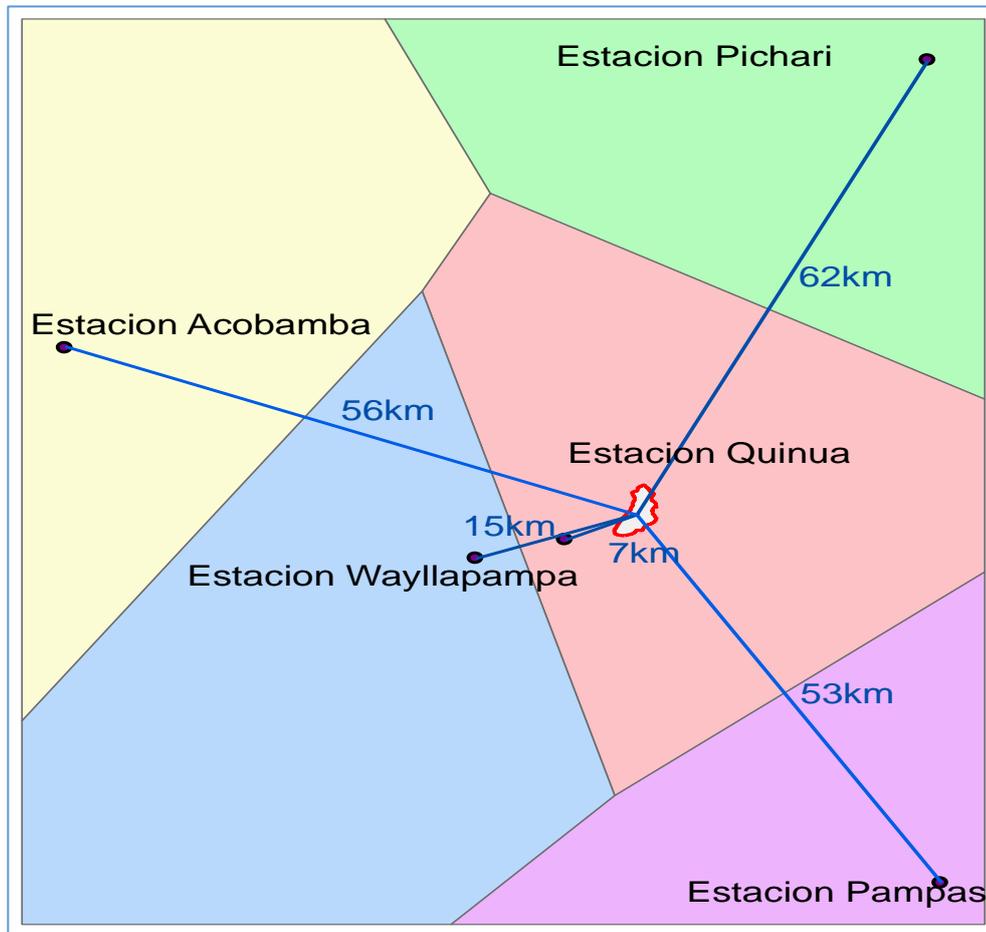
2.4.2 Precipitación media de la microcuenca

Para fijar la precipitación media de la microcuenca Usquwillka, sustento con la investigación de Linsley et al, (1967), en su libro hidrología para ingenieros manifiesta que un pluviómetro instalado en un punto representa desde 26 km² hasta 260 km². Mientras el manual de requisitos generales de estaciones meteorológicas menciona que el área de influencia es de 100 km².

2.4.3 Polígono de Thiessen

El polígono Thiessen, es uno de los tres métodos que determina la precipitación media de la microcuenca, para la presente investigación se optó el método de análisis de estaciones próximos de la microcuenca Usquhuillka. La estación Quinoa es la estación más cercana a la microcuenca de estudio, que tiene una distancia de 7 Km hasta el centro de la microcuenca, lo cual nos indica que las precipitaciones ocurridas alrededor de la estación meteorológica “La Quinoa” engloba toda el área de la microcuenca Usquhuillka, por lo tanto, para este trabajo de investigación se descargó las precipitaciones históricas de la estación Quinoa. Si la microcuenca de estudio fuese fuera del área de influencia, era necesario generar la estación ficticia.

Figura 2. 2
Polígono de Thiessen



Fuente: Elaboración propia

2.4.4 Recopilación de datos meteorológicos

ANA (2010) mencionó que el Sistema Nacional de Información del Agua - [SNIRH](#) es una red tecnológica e institucional integrada que facilita la sistematización, compartición, difusión, uso e intercambio de información necesaria para la gestión del agua. numeral 52.1 del artículo 52 del reglamento de ley de recursos hídricos.

Los datos de las precipitaciones históricas seleccionadas, fueron descargadas desde el base de datos de dicha institución, la estación meteorológica usada se observa en la figura 2.3.

Recientemente, [ANA lanza la plataforma ANDREA](#), una plataforma que permite el análisis y modelación de la información relacionada con los recursos hídricos en las cuencas del país. En ella se resuelve los problemas de inconsistencia de datos, completación de datos y análisis estadístico para realizar estudios hidrológicos de disponibilidad hídrica.

Figura 2. 3

Estación meteorológica la Quinua

	
Estación La Quinua (Codigo: 000663) Precipitación Acumulada	
Operador:	Servicio Nacional Meteorología E Hidrología
WGS 84 Geográficas	Latitud: -13.055278 / Longitud: -74.141389 / Altitud(msnm): 3260
Tipo:	Convencional / Climática
Ambito Político	Dpto: Ayacucho / Prov: Huamanga / Dist.: Quinua
Ambito Administrativo	AAA: Mantaro / ALA: Ayacucho
Unidad Hidrográfica:	Cuenca Mantaro

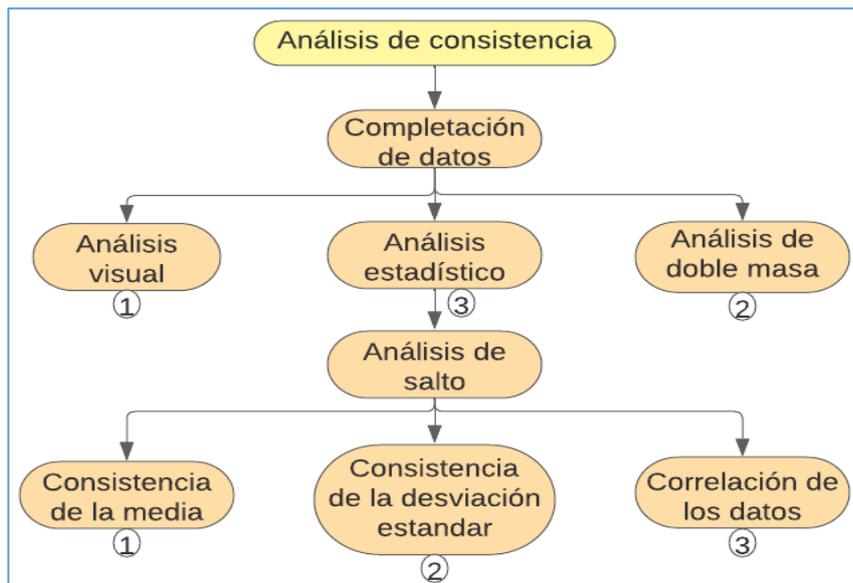
Fuente: SNIRH - ANA

2.4.5 Análisis de consistencia

Villon (2006) recomienda, la “información recopilada debe ser sometida a análisis de consistencia, mediante el método estadístico que permite identificar, evaluar y eliminar los posibles errores sistemáticos que han podido ocurrir, sea por causa natural u ocasionados por la intervención de la mano del hombre”. La figura 2.4 indica el procedimiento de análisis.

Figura 2. 4

Flujograma de análisis de consistencia



Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIONES

3.1 Parámetros geomorfológicos de la microcuenca Usquwillka

Utilizando el software ArcGIS versión 10.4 y utilizando hojas de cálculo de Excel se obtuvieron los siguientes parámetros geomorfológicos de la microcuenca Usquwillka.

Tabla 3. 1

Parámetros obtenidos de la microcuenca Usquwillka

N°	Parámetros de la microcuenca Usquwillka	Resultados	Unidad
1	Área total de la microcuenca	13	Km ²
2	Perímetro de la microcuenca	17,73	Km
3	Altitud media de la microcuenca	4220.00	msnm
4	Z centroide	4181,235	msnm
5	Z máxima	4464,940	msnm
6	Z mínima	3633,916	msnm
7	Coefficiente de compacidad (K)	1.3980	
8	Rectángulo equivalente (lado mayor)	7.09	Km
9	Rectángulo equivalente (lado menor)	1.78	Km
10	Pendiente media de la microcuenca	12	%
11	Pendiente del cauce principal	17	%
12	Factor de forma	0.2512	
13	Densidad de drenaje	0.80	
14	Número de cauces	5	
15	Frecuencia de ríos	0.397	
16	Extensión media del escurrimiento superficial	0,314	
17	Tiempo de concentración	41.018	minutos
18	Índice de pendiente	9,94079	

Fuente: Elaboración propia

3.2 Análisis de consistencia de datos meteorológicos recopilados

3.2.1 Completación de datos faltantes

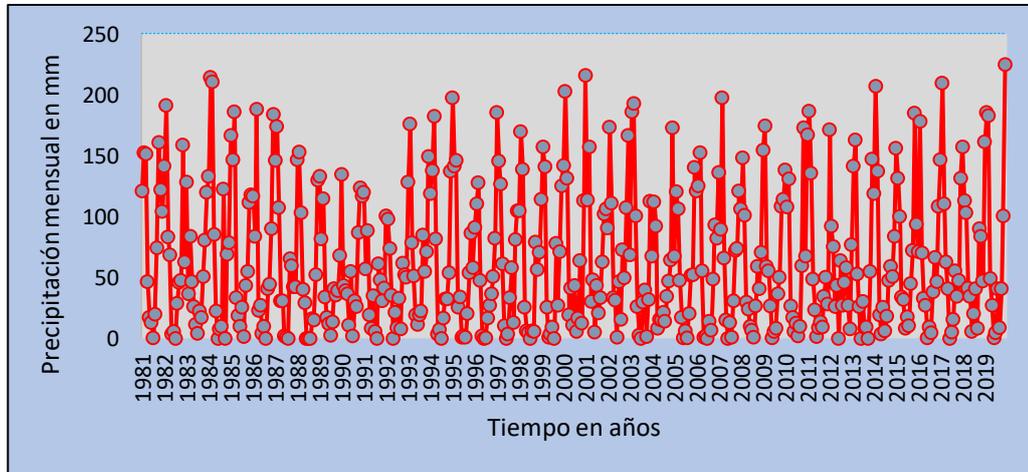
Para completar los datos faltantes, se utilizó el método de números aleatorios mediante el software Eisyfit.

3.2.2 Análisis visual

Según la observación en la figura 3.1, los probables datos inconsistentes serían desde 1988 hasta 1992.

Figura 3. 1

Gráfica de precipitación mensual



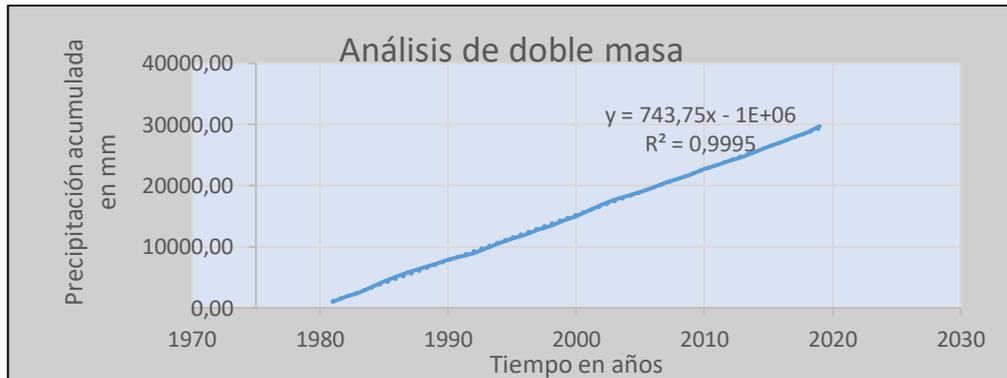
Fuente: Elaboración propia

3.2.3 Análisis de doble masa

En la recta de la figura 3.2 se observa pequeñas curvas desde 1984 hasta 2005, para asegurar la consistencia vamos a someter a análisis estadístico.

Figura 3. 2

Curva de doble masa



Fuente: Elaboración propia

3.2.4 Análisis estadístico

Análisis de salto

a) Consistencia de media

Los datos observados y determinados en análisis de doble masa, separados en dos grupos como se observa en la tabla 3.2, inconsistente periodo 01 y consistente periodo 02.

Tabla 3. 2

Datos inconsistentes vs consistentes

Periodo 01		Periodo 02	
Año	PP total	Año	PP total
1981	987,47	2006	704,50
1982	841,60	2007	818,90
1983	631,74	2008	628,80
1984	957,46	2009	797,80
1985	919,80	2010	754,86
1986	816,10	2011	710,66
1987	704,70	2012	641,86
1988	688,60	2013	713,51
1989	595,90	2014	780,74
1990	710,60	2015	889,20
1991	518,10	2016	657,60
1992	545,10	2017	864,00
1993	871,10	2018	748,60
1994	806,90	2019	1030,10
1995	771,30		
1996	595,80		
1997	826,70		
1998	671,10		
1999	756,20		
2000	806,60		
2001	942,40		
2002	902,60		

Continuación de la tabla 3.2

Periodo 01		Periodo 02	
Año	PP total	Año	PP total
2003	795,40		
2004	669,80		
2005	634,70		

Fuente: Elaboración propia

b) Resultados de cálculo de media y desviación estándar

Tabla 3. 3

Resultados de parámetros estadísticos de cada periodo

Datos dudosos		Datos confiables	
Periodo 1		Periodo 2	
Número de datos (n ₁)	21	Número de datos (n ₂)	14
Promedio	740.452	Promedio	767.224
Varianza (S ₁ ²)	14887.30566	Varianza (S ₂ ²)	11888.5056
Desviación estándar (S ₁)	122.013547	Desviación estándar (S ₂ ²)	109.034424

Fuente: Elaboración propia

c) Resultados de la prueba “t” calculado

Tabla 3. 4

Resultados de la prueba T de Student

Parámetros	Fórmula	Resultado
Desviación estándar ponderada	$S_p = \left[\frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \right]^{\frac{1}{2}}$	117.072
Desviación de la diferencia de los promedios	$S_{\bar{d}} = S_p \left[\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right]^{\frac{1}{2}}$	40.394
Cálculo del t, calculado (t _c)	$t_c = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{S_{\bar{d}}}$	0.663
Cálculo del valor crítico de T, tabular t _t	Se obtiene de la tabla T de Student o mediante las opciones de Excel	2.026
Grados de libertad	GL=GL ₁ +GL ₂	33

Continuación de la tabla 3.4

Parámetros	Fórmula	Resultado
Conclusión		
Tc=0.663 Tt=2.026	si $ t_c \leq t_t (95\%) \rightarrow \bar{x}_1 = \bar{x}_2$ no se corrige	No
Por lo tanto: $0.663 \leq 2.026$	si $ t_c > t_t (95\%) \rightarrow \bar{x}_1 \neq \bar{x}_2$ corregir	requiere corrección

Fuente: Elaboración propia

d) Resultados de la prueba de “F” de Fisher

Tabla 3. 5

Prueba de F de Fisher

Parámetros	Fórmula	Resultado
Cálculo de F calculado (Fc)	$F_c = \frac{S_1^2(x)}{S_2^2(x)}$, si $S_1^2(x) > S_2^2(x)$	1.252
Cálculo del valor critico de F, tabular ft	Se obtiene de la tabla de F de Fisher o mediante las opciones de excel	2.026
Grados de libertad 1	$GL_1 = n_1 - 1$	20
Grados de libertad 2	$GL_2 = n_2 - 1$	13
Conclusión		
Fc=1.252 Ft=2.026	si $ F_c \leq F_t (95\%) \rightarrow S_1(x) = S_2(x)$ no se corrige	No requiere
Por lo tanto: $1.252 \leq 2.026$	si $ F_c > F_t (95\%) \rightarrow S_1(x) \neq S_2(x)$ corregir	corrección

Fuente: Elaboración propia

3.3 Evapotranspiración potencial

Utilizando el método de Hargreaves se calculó la ETP de la microcuenca Usquwillka, los resultados se muestran en la tabla 3.6.

Tabla 3. 6*Cálculo de evapotranspiración potencial (ETP)*

Parámetros	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Set	Oct	Nov	Dic	Total
TMM (°C)	9.68	9.46	9.37	9.13	8.85	8.15	7.75	8.33	9.12	9.78	10.17	10.00	
TMF	49.43	49.02	48.87	48.44	47.92	46.67	45.95	47.00	48.41	49.61	50.31	49.99	
MF	2.65	2.31	2.35	1.98	1.18	1.57	1.88	2.39	2.44	2.47	2.52	2.58	
HR	44.52	45.73	46.26	45.35	43.55	42.34	40.92	40.35	40.87	41.25	41.51	42.99	
CH	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
CE	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	
ETP (mm/mes)	141.43	121.91	123.64	103.52	60.80	79.16	93.39	121.00	127.18	131.92	136.57	138.89	1379.41

Fuente: Elaboración propia

3.4 Generación de caudales medios mensuales por el modelo determinístico – Estocástico de Lutz Scholz

3.4.1 Cálculo de coeficiente de escurrimiento (C)

Tabla 3. 7

Cálculo de coeficiente de escurrimiento

Parámetros	Fórmula	Resultado	Unidad
Coeficiente de escurrimiento	$C = \frac{P - D}{P}$	0.39	mm/año
Promedio de las precipitaciones anuales	Dato	761.77	mm/año
Déficit de escurrimiento	$D = P \frac{1}{\left(0.9 + \frac{P^2}{L^2}\right)^{\frac{1}{2}}}$	463.18	mm/año
Coeficiente de temperatura	$L=300+25(T)+0.05(T)^3$	567.02	
Temperatura media anual (T)	Dato	9.15	°C

Fuente: Elaboración propia

3.4.2 Precipitación efectiva

En la sistematización de precipitación efectiva, se empleó las tablas 1.1, 1.2 y la ecuación 28 del capítulo I según corresponda, los resultados se muestran en las tablas 3.8 y 3.9. En seguida se determinó los coeficientes de precipitación efectiva aplicando las ecuaciones 29 y 30 del mismo capítulo, el resultado se muestra en la tabla 3.10. Por último, se usó la ecuación 31 para determinar la precipitación efectiva mensualizada como se muestra en la tabla 3.11.

Tabla 3. 8

Resultado de la precipitación efectiva de la curva II

Fórmula	Mes	Días	PP total	Resultado (PE II)	Unidad
	Enero	30	130.167	30.315	mm/mes
	Febrero	28	140.616	35.142	mm/mes
	Marzo	31	125.486	28.193	mm/mes
	Abril	30	42.801	4.181	mm/mes
	Mayo	31	21.025	2.143	mm/mes

Continuación de la tabla 3.8

Fórmula	Mes	Días	PP total	Resultado (PE II)	Unidad
$PE = a_0 + a_1 \times p^1 + a_2 \times p^2 + a_3 \times p^3 + a_4 \times p^4 + a_5 \times p^5$	Junio	30	7.678	0.879	mm/mes
	Julio	31	12.238	1.354	mm/mes
	Agosto	31	14.274	1.548	mm/mes
	Setiembre	30	37.843	3.645	mm/mes
	Octubre	31	51.166	5.256	mm/mes
	Noviembre	30	75.967	10.143	mm/mes
	Diciembre	31	102.508	18.599	mm/mes
TOTAL			761.767	141.397	mm/mes

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. 9

Resultado de la precipitación efectiva de la curva III

Fórmula	Mes	Días	PP total	Resultado (PE III)	Unidad
$PE = a_0 + a_1 \times p^1 + a_2 \times p^2 + a_3 \times p^3 + a_4 \times p^4 + a_5 \times p^5$ Curva III: PE = P - 59.7 para P > 127.0	Enero	30	130.167	70.467	mm/mes
	Febrero	28	140.616	80.916	mm/mes
	Marzo	31	125.486	91.313	mm/mes
	Abril	30	42.801	10.128	mm/mes
	Mayo	31	21.025	4.784	mm/mes
	Junio	30	7.678	1.988	mm/mes
	Julio	31	12.238	3.061	mm/mes
	Agosto	31	14.274	3.486	mm/mes
	Setiembre	30	37.843	8.550	mm/mes
	Octubre	31	51.166	13.531	mm/mes
	Noviembre	30	75.967	30.362	mm/mes
	Diciembre	31	102.508	59.727	mm/mes
TOTAL			761.767	378.311	mm/mes

Fuente: Elaboración propia

3.4.3 Cálculo de coeficiente de precipitación efectiva (mm/mes)

Tabla 3. 10

Coficiente de precipitación efectiva

Coeficientes PE	Fórmula	Resultado	Unidad
Coeficiente de PE para curva II	$C_1 = \frac{C \times \sum P - \sum PE_{III}}{\sum PE_{II} - \sum PE_{III}}$	0.3365	mm/mes
Coeficiente de PE para curva III	$C_2 = \frac{C \times \sum P - \sum PE_{II}}{\sum PE_{III} - \sum PE_{II}}$	0.6635	mm/año

Fuente: Elaboración propia

3.4.4 Precipitación efectiva mensual consolidado (mm/mes)

Tabla 3. 11

Precipitación efectiva consolidada

Mes	Días	PE II	PE III	Resultado de PE	Unidad
				$PE = C_1 \times PE_{II} + C_2 \times PE_{III}$	
Enero	30	30.315	70.467	56.956	mm/mes
Febrero	28	35.142	80.916	65.513	mm/mes
Marzo	31	28.193	91.313	70.073	mm/mes
Abril	30	4.181	10.128	8.126	mm/mes
Mayo	31	2.143	4.784	3.895	mm/mes
Junio	30	0.879	1.988	1.615	mm/mes
Julio	31	1.354	3.061	2.486	mm/mes
Agosto	31	1.548	3.486	2.834	mm/mes
Setiembre	30	3.645	8.550	6.900	mm/mes
Octubre	31	5.256	13.531	10.746	mm/mes
Noviembre	30	10.143	30.362	23.558	mm/mes
Diciembre	31	18.599	59.727	45.887	mm/mes
TOTAL		761.767	378.311	298.589	mm/mes

Fuente: Elaboración propia

3.4.5 Retención de la microcuenca

Para calcular la retención de la microcuenca Usquwillka se recorrió a adquirir datos necesarios como se muestra en la tabla 3.12, para el cálculo de almacenamiento de acuífero se usó la ecuación 35 del capítulo I y los resultados se observan en la tabla 3.13.

Tabla 3.12

Parámetros de retención de la microcuenca Usquwillka

Datos Obtenidos de la Microcuenca	Sigla	Resultado	Unidad
Coefficiente de almacenamiento	Ca	20	%
Área de la cuenca	AC	13	km ²
Almacenamiento de acuífero	LA	187.5	mm/año
Pendiente del cauce principal	I	17	%
Área de lagunas	AL	0.03	km ²
Almacenamiento de lagunas y pantanos	LL	500	mm/año
Área de nevados	AN	0	km ²
Almacenamiento de nevados	LN	0	mm/año

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. 13

Resultado de almacenamiento de acuífero y retención de la microcuenca

Sigla	Fórmula	Resultado	Unidad
LA	$LA = -750 \times I + 350$	187.5	mm/año
R	$R = \frac{Ca * AC * LA + AL * LL + AN * LN}{AC}$	38.654	mm/año

Fuente: Elaboración propia

3.4.6 Coeficiente de agotamiento (a)

Las lluvias atrapadas en la superficie del suelo se infiltran y se almacena en los acuíferos libres. Estas aguas subterráneas son las que manifiestan en la parte baja de la microcuenca como afloramientos o manantiales, alimentando los cauces en los meses de estiaje. El coeficiente calculado se muestra en la tabla 3.14.

Tabla 3. 14*Cuencas con agotamiento rápido*

Sigla	Fórmula	Resultado	Unidad
a	-0.00252(LnAC)+0.030	0.024	adimensional

Fuente: Lutz Scholz

3.4.7 Relación entre descarga y retención**a) Coeficiente de descarga en los meses de sequía (bi)**

El agua almacenada en el acuífero libre se descarga durante la estación seca de manera progresiva de mayos a menor caudal, generando disminución de caudal en los cauces, hasta en algunas veces tienden a secar. Para determinar la descarga se aplicó la ecuación 36 del capítulo I, obteniendo el resultado que se muestra en la tabla 3.15.

Tabla 3. 15*Coeficiente de descarga en los meses de sequía.*

Fórmula	Mes	Días	Coef. Agot (a)	Resultado de (bi)
$Q_t = b_i = Q_0 \times e^{-axt}$	Enero	30	a = 0.024	0
	Febrero	28		0
	Marzo	31		0
	Abril	30		0.494
	Mayo	31		0.232
	Junio	30		0.120
	Julio	31		0.054
	Agosto	31		0.026
	Setiembre	30		0.014
	Octubre	31		0.006
	Noviembre	30		0.494
	Diciembre	31		0
TOTAL				1.440

Fuente: Elaboración propia

b) Gasto en los meses de sequía (Gi)

El caudal en los meses de estiaje, es el resultado de la aplicación de la ecuación que se encuentra dentro de la tabla 3.16, el resultado se observa en la misma tabla.

Tabla 3. 16*Resultado de descarga en los meses de sequía*

Fórmula	Mes	Días	b _i	Resultado (G _i)	Unidades
$G_i = \frac{R * b_i}{\sum b_i}$	Enero	30	0.0	0.0	
	Febrero	28	0.0	0.0	
	Marzo	31	0.0	0.0	
	Abril	30	0.494	13.246	mm/mes
	Mayo	31	0.232	6.237	mm/mes
	Junio	30	0.120	3.227	mm/mes
	Julio	31	0.054	1.450	mm/mes
	Agosto	31	0.026	0.699	mm/mes
	Setiembre	30	0.014	0.388	mm/mes
	Octubre	31	0.006	0.162	mm/mes
	Noviembre	30	0.494	13.246	mm/mes
	Diciembre	31	0.0	0.0	
TOTAL			1.440	38.654	mm/año

Fuente: Elaboración propia

c) Coeficiente de abastecimiento en los meses de precipitación (a_i)

El abastecimiento en la región de Ayacucho comienza en el mes de diciembre, para la presente investigación se tomó los datos de Huancavelica de la tabla 1.3 del capítulo I; el sustento radica en la semejanza geográfica y climatológica de ambas regiones.

Tabla 3. 17*Coeficiente de abastecimiento para los meses de precipitación*

Fórmula	Mes	Días	Resultado de (a _i)
$a_i = \frac{\text{Coef. abastecimiento}}{100}$	Enero	30	0.300
	Febrero	28	0.200
	Marzo	31	0.050
	Abril	30	0.0
	Mayo	31	0.0
	Junio	30	0.0
	Julio	31	0.0
	Agosto	31	0.0

Continuación de la tabla 3.17

Setiembre	30	0.0
Octubre	31	0.100
Noviembre	30	0.0
Diciembre	31	0.350
TOTAL		1.000

Fuente: Elaboración propia

d) Caudal de bastecimiento mensual (A_i)

Tabla 3. 18

Resultado de abastecimiento en los meses de lluvia

Fórmula	Mes	Días	Retención	Coefficiente	Resultado	Unidad
			R	a_i	A_i	
$A_i = a_i \times R$	Enero	30	38.65mm/año	0.300	11.596	mm/mes
	Febrero	28		0.200	7.731	mm/mes
	Marzo	31		0.050	1.933	mm/mes
	Abril	30		0.0	0.000	mm/mes
	Mayo	31		0.0	0.000	mm/mes
	Junio	30		0.0	0.000	mm/mes
	Julio	31		0.0	0.000	mm/mes
	Agosto	31		0.0	0.000	mm/mes
	Setiembre	30		0.0	0.000	mm/mes
	Octubre	31		0.100	3.865	mm/mes
	Noviembre	30		0.0	0.000	mm/mes
	Diciembre	31		0.350	13.529	mm/mes
TOTAL			1.000	38.654	mm/año	

Fuente: Elaboración propia

3.4.8 Caudales mensuales generados para año promedio (CM_i) en mm/mes

Basado en la ecuación 45 del capítulo I, que describe el balance hídrico mensual a partir de los componentes descritos anteriormente. La tabla 3.19 muestra los resultados.

Tabla 3. 19*Caudal generado para año promedio*

Fórmula	Mes	PE	G _i	A _i	MC _i	Unidades
CM _i =PE _i +G _i -A _i	Enero	56.956	0.0	11.596	45.359	mm/mes
	Febrero	65.513	0.0	7.731	57.782	mm/mes
	Marzo	70.073	0.0	1.933	68.140	mm/mes
	Abril	8.126	13.246	0.000	21.372	mm/mes
	Mayo	3.895	6.237	0.000	10.132	mm/mes
	Junio	1.615	3.227	0.000	4.842	mm/mes
	Julio	2.486	1.450	0.000	3.936	mm/mes
	Agosto	2.834	0.699	0.000	3.533	mm/mes
	Setiembre	6.900	0.388	0.000	7.288	mm/mes
	Octubre	10.746	0.162	3.865	7.043	mm/mes
	Noviembre	23.558	13.246	0.000	36.804	mm/mes
	Diciembre	45.887	0.0	13.529	32.358	mm/mes
TOTAL		298.589	38.654	38.654	298,589	mm/año

Fuente: Elaboración propia

3.4.9 Caudales mensuales generados (Q_i) en m³/s

La tabla 3.19 muestra caudales generados para año promedio en mm/mes, para convertir en m³/s se aplicó la fórmula que se muestra en la tabla 3.20 y los resultados se observan en la misma tabla.

Tabla 3. 20*Caudal generado en m³/s*

Fórmula	Mes	Días	MC _i	Área	Q _i	Unidades
$Q_i = 0.0115741 \times \frac{CM_i \times A}{t}$	Enero	30	45.359	13km ²	0.227	m ³ /s
	Febrero	28	57.782		0.311	m ³ /s
	Marzo	31	68.140		0.331	m ³ /s
	Abril	30	21.372		0.107	m ³ /s
	Mayo	31	10.132		0.049	m ³ /s
	Junio	30	4.842		0.024	m ³ /s
	Julio	31	3.936		0.019	m ³ /s
	Agosto	31	3.533		0.017	m ³ /s

Continuación de la tabla 3.20

Setiembre	30	7.288	0.037	m ³ /s
Octubre	31	7.043	0.034	m ³ /s
Noviembre	30	36.804	0.185	m ³ /s
Diciembre	31	32.358	0.157	m ³ /s
TOTAL		298.589	1.498	m³/s

Fuente: Elaboración propia

3.4.10 Resumen de generación de caudales medios mensuales para el año promedio

El modelo determinístico Estocástico de Lutz Scholz, es un modelo que se requiere varios coeficientes, esos coeficientes se generan a partir de los parámetros de precipitación, temperatura, humedad relativa, pendiente de la micro cuenca y pendiente del cauce principal. El balance hídrico de la micro cuenca Usquwillka es el equilibrio entre la escorrentía superficial, gasto en los meses de estiaje y abastecimiento en los meses de precipitación. La tabla 3.21 resume el proceso de generación de caudales por el modelo determinístico Estocástico de Lutz Scholz; los procesos que se observan en la tabla, aparentemente son simples, pero en realidad atrás de cada resultado alberga ciertos coeficientes desarrolladas cuidadosamente para generar los caudales mensuales.

Tabla 3. 21

Caudales medios mensuales generados para el año promedio

MES	N° días del mes	Pp total mm/mes	PRECIPITACION MENSUAL			CONTRIBUCION DE LA RETENCION				CAUDALES GENERADOS	
			PE II mm/mes	PE III mm/mes	PE mm/mes	Gasto		Abastecimiento		Cm _i mm/mes	Q _i m ³ /s
						bi	Gi (mm/mes)	ai	Ai (mm/mes)		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Enero	30	130.167	30.315	70.467	56.956			0.300	11.596	45.359	0.227
Febrero	28	140.616	35.142	80.916	65.513			0.200	7.731	57.782	0.311
Marzo	31	125.486	28.193	91.313	70.073			0.050	1.933	68.140	0.331
Abril	30	42.801	4.181	10.128	8.126	0.494	13.246		0.000	21.372	0.107
Mayo	31	21.025	2.143	4.784	3.895	0.232	6.237		0.000	10.132	0.049
Junio	30	7.678	0.879	1.988	1.615	0.120	3.227		0.000	4.842	0.024
Julio	31	12.238	1.354	3.061	2.486	0.054	1.450		0.000	3.936	0.019
Agosto	31	14.274	1.548	3.486	2.834	0.026	0.699		0.000	3.533	0.017
Septiembre	30	37.843	3.645	8.550	6.900	0.014	0.388		0.000	7.288	0.037
Octubre	31	51.166	5.256	13.531	10.746	0.006	0.162	0.100	3.865	7.043	0.034
Noviembre	30	75.967	10.143	30.362	23.558	0.494	13.246	0.000	0.000	36.804	0.185
Diciembre	31	102.508	18.599	59.727	45.887			0.350	13.529	32.358	0.157
TOTAL		761.767	141.397	378.311	298.589	1.440	38.654	1.000	38.654	298.589	1.498

3.4.11 Generación de caudales para periodos extendidos

Previo a la ampliación, se desarrollaron los coeficientes que satisfagan el proceso de extensión, esos coeficientes son los siguientes:

a) Cálculo de coeficiente de correlación para el año promedio

Para calcular el coeficiente de correlación, se comienza con el reordenamiento de los caudales generados, es decir, el caudal generado (CM_i) para diciembre se pasa a enero y de enero a febrero así sucesivamente como se observa en la tabla 3.22 a esos caudales reordenados se denominó como CM_{i-1} .

Tabla 3.22.

Datos para el cálculo de coeficiente de correlación

Mes	Días	CM_i (mm/mes)	CM_{i-1}	PE (mm/mes)
Enero	30	45.359	32.358	56.956
Febrero	28	57.782	45.36	65.513
Marzo	31	68.140	57.78	70.073
Abril	30	21.372	68.14	8.126
Mayo	31	10.132	21.37	3.895
Junio	30	4.842	10.13	1.615
Julio	31	3.936	4.84	2.486
Agosto	31	3.533	3.94	2.834
Setiembre	30	7.288	3.53	6.900
Octubre	31	7.043	7.29	10.746
Noviembre	30	36.804	7.04	23.558
Diciembre	31	32.358	36.80	45.887

Fuente: Elaboración propia

b) Cálculo de factores B_1 , B_2 , B_3

Los resultados de los factores B_1 , B_2 y B_3 que se muestra en la tabla 3.23 se desarrolló en Microsoft Excel siguiendo el procedimiento que se muestra en la figura 3.3.

Figura 3.3

Procedimiento de regresión múltiple

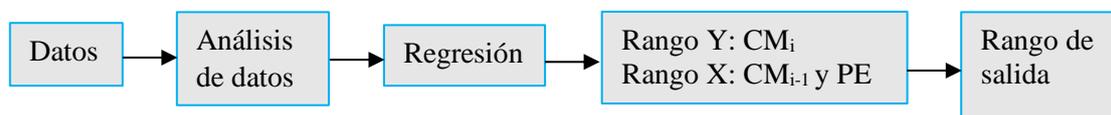


Tabla 3.23

Resultados de coeficiente de correlación

Estadísticas de la Regresión	Análisis de Varianza			Confianza
Coefficiente de correlación múltiple	0.963	Grados de libertad	B1	2,779418655
Coefficiente de determinación R ²	0.927	Regresión	2	B2 0,159882693
R ² ajustado	0.911	Residuos	9	B3 0,728415185
Desviación S	6.824	Total	11	
Observaciones	12			

Fuente: Elaboración propia

c) Cálculo de números aleatorios (Z)

Microsoft Excel es un software muy robusto porque mediante las funciones de análisis para datos nos ofrece generar números aleatorios (Z), para generarla se condiciona los límites denominados: mediana y desviación estándar, a continuación, se muestra el proceso que siguió para obtener los resultados de números aleatorios.

+INV.NORM(ALEATORIO();R67;R68)

Donde:

R67 = Mediana = 0

R68 = Desviación estándar = 1

La tabla 3.24 muestra el resultado de números aleatorios generados para la presente investigación.

Tabla 3. 24*Números aleatorios generados*

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1981	0.395	0.308	-0.383	0.203	0.424	1.107	-0.986	0.441	0.487	-0.785	0.526	1.104
1982	-1.300	1.456	-0.497	-1.637	0.633	-0.877	0.398	-0.278	0.764	0.108	-1.589	-0.047
1983	0.314	0.065	0.566	-0.440	-0.486	-0.774	0.129	-0.775	-0.116	0.805	1.520	-0.028
1984	-0.603	-1.498	-0.090	-0.613	1.116	0.489	-0.419	-1.927	0.329	-2.462	1.553	-0.270
1985	0.530	-0.080	-0.550	0.916	-1.057	0.127	0.049	-0.396	-1.053	-0.020	-1.125	-1.930
1986	1.055	1.870	-1.210	0.935	-1.354	-1.071	2.141	1.598	0.395	0.815	0.911	1.268
1987	-0.962	0.274	2.068	0.603	0.377	-0.745	-1.441	-1.353	-0.239	-0.021	1.116	-1.470
1988	-0.201	-1.049	0.545	0.029	2.876	2.059	0.691	-0.071	0.586	0.590	-1.435	1.228
1989	-0.989	-1.335	-0.005	-0.988	-0.017	0.331	0.133	0.629	1.066	0.175	0.839	0.575
1990	-0.494	0.446	0.451	0.400	0.291	-0.375	0.362	-0.158	1.266	-0.040	0.597	1.172
1991	1.125	-0.738	-1.070	2.211	2.198	-0.348	0.801	0.398	1.337	-0.652	0.596	0.180
1992	-0.911	-0.666	1.171	-0.246	-0.204	1.130	-0.407	1.010	-0.482	-0.724	-0.556	-2.799
1993	1.048	1.785	-0.974	-0.085	0.405	-0.641	-0.475	0.433	0.266	-0.798	-1.991	1.266
1994	-0.059	-0.362	0.103	-1.457	1.171	-0.325	0.147	-1.362	0.160	-0.115	0.780	-3.224
1995	0.979	-0.153	0.011	0.876	-0.796	-1.017	0.183	0.243	0.401	0.947	-0.702	-0.804
1996	0.492	-0.618	-0.640	0.536	-0.045	-0.098	0.394	-0.787	-1.511	1.112	0.702	0.797
1997	-1.392	0.677	0.324	0.333	0.213	0.016	-1.505	-0.134	0.800	1.843	-0.294	0.146
1998	0.362	0.270	0.046	0.905	-1.158	-0.485	2.139	-0.036	0.098	-1.166	-0.045	0.655
1999	0.787	-1.815	-0.366	0.698	-0.132	-0.701	1.337	1.082	-1.192	-0.770	-0.307	-0.002
2000	0.516	-1.111	-0.777	1.639	-1.986	-0.246	1.160	0.020	1.121	-0.109	-1.031	-0.326
2001	1.555	0.788	0.855	1.471	-1.080	-0.487	0.299	1.135	0.459	0.324	-1.417	2.072
2002	1.104	0.270	-2.682	0.666	0.169	-0.986	-0.662	1.803	-0.095	0.641	-0.122	2.535
2003	-2.593	-0.756	2.134	0.131	0.482	0.759	0.876	-2.166	1.461	0.096	-0.022	-0.139
2004	0.710	-1.376	0.479	0.288	-0.760	-0.730	-0.808	0.703	0.681	-0.076	-0.168	-0.942

Continuación de la tabla 3.24

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2005	0.144	0.777	-1.157	1.409	0.751	-0.294	0.572	0.790	-1.270	-0.480	-0.660	0.027
2006	-2.054	-0.637	-0.809	0.132	-0.807	0.209	-0.272	-0.226	-1.850	-0.963	1.129	1.024
2007	1.394	2.027	-1.166	-0.399	-0.104	0.308	1.136	0.320	0.455	-1.439	0.039	-1.124
2008	0.011	0.403	-0.089	1.024	0.447	-0.026	0.248	1.567	0.998	-0.852	-1.253	-0.714
2009	-1.045	0.666	1.393	1.219	0.290	-0.800	-0.011	0.496	1.098	1.297	0.138	-1.654
2010	-1.030	0.810	1.738	-1.467	-0.699	0.556	0.822	-0.701	0.539	0.809	0.983	-1.529
2011	-1.133	-0.340	0.801	-2.792	-0.211	0.708	-1.403	1.938	0.533	0.600	0.046	-0.429
2012	-0.070	-2.038	-0.048	-0.248	-0.075	0.332	0.494	-1.150	0.796	0.092	-1.247	1.489
2013	-0.175	-0.649	-1.038	0.091	0.390	-0.730	-0.921	-0.049	-0.861	0.836	1.064	-1.938
2014	1.453	0.071	-1.477	-0.031	-0.303	-2.046	0.949	-0.252	0.823	-0.751	0.004	1.824
2015	1.124	-0.639	-1.492	-0.153	-1.255	1.951	0.823	-1.139	1.812	0.777	-0.371	0.497
2016	-0.104	0.762	-0.622	-0.642	0.659	-1.623	0.681	-0.097	-1.108	-0.083	1.629	-1.516
2017	-1.312	0.392	-0.729	1.456	0.168	1.341	0.228	-0.471	1.596	0.453	-0.137	-2.011
2018	-0.638	1.128	-1.361	1.247	-0.908	1.419	-0.023	-0.867	0.543	0.527	-0.292	-0.593
2019	-1.273	-0.893	0.998	0.694	-0.308	0.385	-1.194	0.005	-2.043	-0.663	-2.443	0.729

Fuente: Elaboración propia

d) Generación de coeficiente de precipitación efectiva para periodos extendidos

Para extender la precipitación efectiva generada, se requiere de un coeficiente de precipitación efectiva, lo cual se calculó aplicando la fórmula que se observa en la tabla 3.25 y los resultados se muestran en la misma tabla. Estos coeficientes se aplicaron en la generación de precipitación efectiva para periodos extendidos aplicando la ecuación 50 y el resultado se observa en la tabla 3.26

$$PE_{\text{mensual}} = P_{\text{mens.}} \times \text{Coef} \dots\dots\dots (50)$$

Tabla 3. 25

Coeficiente de precipitación efectiva para periodos extendidos

Fórmula	Meses	PE (mm/mes)	P (mm/mes)	Coef. PE
Coef = $\frac{PE}{P_{\text{prom.mens}}}$	Enero	56.956	130.167	0.438
	Febrero	65.513	140.616	0.466
	Marzo	70.073	125.486	0.558
	Abril	8.126	42.801	0.190
	Mayo	3.895	21.025	0.185
	Junio	1.615	7.678	0.210
	Julio	2.486	12.238	0.203
	Agosto	2.834	14.274	0.199
	Setiembre	6.900	37.843	0.182
	Octubre	10.746	51.166	0.210
	Noviembre	23.558	75.967	0.310
	Diciembre	45.887	102.508	0.448

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. 26*Precipitaciones efectivas extendidas*

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1981	53.167	71.139	84.771	8.911	3.226	2.822	0.122	4.011	13.638	33.898	37.895	46.779
1982	62.133	89.173	46.572	13.120	0.741	1.283	0.000	5.758	8.478	10.060	49.308	28.291
1983	56.357	17.285	46.962	8.924	4.922	2.440	0.859	4.520	3.191	10.691	25.130	53.779
1984	58.368	100.048	117.974	16.263	4.217	0.000	1.667	1.991	22.433	0.000	21.546	35.314
1985	73.018	68.540	104.098	6.398	3.513	2.104	5.282	0.356	8.006	11.592	34.701	52.793
1986	51.250	39.174	105.409	4.417	5.075	0.948	2.100	0.000	7.525	9.399	28.039	82.446
1987	64.024	81.162	60.019	5.904	5.801	0.472	0.276	0.000	11.970	12.586	13.154	19.108
1988	64.321	71.329	57.852	7.671	5.502	0.000	0.000	0.000	3.008	3.255	16.343	58.239
1989	58.326	38.297	64.329	6.474	3.242	2.608	0.549	2.780	7.457	7.519	12.280	30.529
1990	59.114	20.267	22.113	7.006	2.112	11.651	0.488	6.135	4.850	18.356	38.485	52.509
1991	52.726	26.789	49.643	3.664	1.575	7.382	1.199	0.000	11.249	10.123	9.582	18.622
1992	44.062	45.658	41.323	6.816	0.000	4.564	1.788	6.572	1.477	12.980	16.250	22.651
1993	56.314	82.231	43.891	9.835	3.631	2.440	4.002	4.467	15.552	11.614	22.235	67.057
1994	52.201	64.294	101.910	15.607	0.741	1.535	0.000	3.375	5.907	6.826	16.839	61.506
1995	86.593	66.158	81.863	4.937	6.318	0.273	0.467	0.199	3.756	11.383	26.887	26.232
1996	39.949	51.529	71.644	9.076	0.426	0.000	0.102	3.375	4.977	7.792	15.816	36.975
1997	81.254	68.021	71.030	11.677	1.964	0.000	0.813	6.691	10.611	2.751	25.274	47.092
1998	45.987	79.343	77.787	4.861	1.149	0.988	0.000	1.271	1.057	16.697	17.676	31.872
1999	50.057	73.379	78.848	4.880	0.222	0.841	1.910	0.000	14.312	5.713	22.142	56.269
2000	62.308	94.764	73.710	3.721	7.689	2.355	8.878	1.152	3.063	13.463	3.907	50.808
2001	94.600	53.206	87.838	5.753	8.930	1.115	8.838	4.189	6.144	13.232	31.848	47.853
2002	39.774	80.973	62.151	6.417	5.817	0.294	9.528	3.117	13.346	10.459	33.368	74.667
2003	30.060	86.844	107.829	19.158	4.891	0.547	0.061	5.996	7.256	0.336	9.986	50.673
2004	29.666	52.414	51.653	1.633	2.983	3.281	4.388	2.859	6.345	9.997	20.095	77.666

Continuación de la tabla 3.26

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2005	29.666	56.374	59.415	9.133	3.242	0.126	1.300	0.119	3.774	10.984	16.374	62.894
2006	53.120	58.377	85.214	10.538	0.222	0.505	0.000	2.839	1.258	10.249	28.995	36.975
2007	59.639	41.791	110.510	12.569	2.816	0.000	2.722	0.258	5.634	15.206	22.948	54.434
2008	46.687	69.233	56.735	5.677	4.539	2.103	1.442	0.278	4.941	12.476	12.808	31.872
2009	67.734	81.439	33.226	10.614	4.947	0.084	1.239	1.727	6.691	10.627	33.802	51.300
2010	60.689	50.410	73.320	5.104	3.251	1.286	2.627	0.411	1.877	12.575	53.702	30.339
2011	73.200	87.120	75.820	9.269	4.425	0.348	1.882	2.718	1.745	7.300	15.646	12.760
2012	75.120	43.152	42.241	5.018	8.066	0.004	13.063	5.415	8.480	12.282	8.469	3.606
2013	33.763	66.109	91.097	10.083	4.852	0.007	6.201	1.782	1.727	0.000	17.140	66.140
2014	52.178	96.715	76.979	3.672	0.720	5.435	1.265	3.641	8.719	12.475	15.848	37.643
2015	68.390	61.499	55.953	6.512	5.984	1.767	3.677	2.119	8.262	15.203	57.476	42.030
2016	31.373	83.303	39.368	6.323	5.076	0.084	1.971	0.953	7.001	14.072	14.451	48.793
2017	64.409	97.886	61.760	12.000	7.596	0.000	1.117	3.177	10.174	7.330	14.885	58.955
2018	68.959	52.926	57.740	7.936	6.410	1.199	4.206	8.141	1.513	19.007	26.080	21.174
2019	70.709	86.657	102.245	9.360	5.076	0.084	0.935	8.141	1.677	8.590	31.352	100.944

Fuente: Elaboración propia

e) Resultado de caudales generados para periodos extendidos en (mm/mes)

El modelo matemático para generar caudales extendidos es la ecuación 49 del capítulo I, reemplazando en la ecuación los coeficientes desarrolladas para tal fin, se obtuvo los resultados que se muestra en la tabla 3.27.

Tabla 3. 27*Caudales generados para periodos extendidos (mm/mes)*

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
prom.	45.359	57.782	68.140	21.372	10.132	4.842	3.936	3.533	7.288	7.043	36.804	32.358
1981	47.410	62.747	73.853	21.453	9.342	8.373	2.387	6.896	14.715	28.374	35.891	44.630
1982	52.773	78.861	48.393	17.051	7.215	3.248	4.033	7.104	11.501	12.146	37.704	29.329
1983	49.100	23.341	41.765	15.145	7.888	4.390	4.345	5.336	5.742	12.970	25.964	46.053
1984	51.544	81.131	101.518	29.725	12.663	5.707	4.134	1.333	19.941	1.422	21.568	31.453
1985	61.974	62.465	87.579	23.132	7.086	5.679	7.626	3.527	7.232	12.342	27.952	42.140
1986	48.795	42.567	84.132	21.175	7.362	2.669	8.690	7.119	10.127	12.749	26.924	69.481
1987	58.748	71.798	61.796	18.074	10.592	3.442	0.870	0.421	11.126	13.688	16.610	16.639
1988	51.922	61.102	55.694	17.325	14.868	8.959	5.487	3.526	6.617	7.299	13.202	49.580
1989	51.366	36.422	55.452	14.538	7.434	6.479	4.461	6.678	11.247	10.377	14.933	28.466
1990	49.477	26.275	23.921	12.447	6.846	11.668	5.669	7.863	9.907	17.661	34.737	48.745
1991	51.056	29.094	41.616	16.185	10.573	9.204	6.603	4.570	14.173	11.215	12.653	18.700
1992	36.182	40.593	41.532	13.930	4.630	8.931	4.758	10.192	4.594	11.631	15.449	16.581
1993	48.386	73.710	44.737	16.939	8.881	4.792	5.584	7.726	15.833	12.297	17.266	56.722
1994	49.764	56.900	86.300	25.256	9.520	4.820	3.821	3.334	7.911	8.804	17.894	44.490
1995	74.775	62.642	72.445	19.575	9.042	2.547	3.865	3.991	6.893	13.921	23.293	24.126
1996	36.645	45.032	60.985	20.130	6.225	3.593	4.156	4.450	4.327	11.200	17.387	33.965
1997	64.827	63.941	65.340	22.346	8.175	4.116	1.251	7.606	13.201	10.297	22.294	40.916
1998	43.488	68.025	70.402	19.248	4.555	3.332	7.262	4.800	4.498	13.509	17.732	30.040
1999	45.498	60.154	69.155	18.680	5.685	3.007	7.120	5.916	11.949	7.430	19.529	46.886
2000	56.614	78.808	67.636	19.329	7.803	5.288	12.234	5.612	7.977	13.660	5.906	40.130
2001	80.975	55.936	77.285	22.043	10.815	4.421	10.475	9.602	9.637	14.557	25.689	45.570
2002	41.076	68.828	54.103	17.333	10.100	2.788	8.943	9.809	13.893	13.803	29.066	66.495
2003	30.520	69.521	96.379	32.385	12.409	6.563	5.491	4.026	11.406	5.024	10.816	41.164

Continuación de la tabla 3.27

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2004	32.282	43.579	48.257	12.217	5.502	4.702	5.235	6.996	9.776	11.484	18.943	60.643
2005	34.350	50.769	52.040	20.353	9.781	3.892	5.405	5.189	4.013	10.536	15.173	51.069
2006	45.845	51.455	71.583	22.144	4.991	4.331	2.970	4.905	1.064	8.637	27.365	35.978
2007	54.548	45.685	88.428	25.336	8.689	4.736	7.617	4.775	8.486	12.556	21.574	43.803
2008	43.812	60.958	53.688	17.389	9.692	5.813	5.218	6.708	9.294	11.779	11.678	26.544
2009	54.432	72.033	41.070	19.328	10.008	2.964	4.135	5.614	10.578	14.606	29.991	41.888
2010	51.781	49.274	67.273	14.544	6.181	5.731	7.128	2.924	5.610	14.330	46.003	29.411
2011	58.710	74.998	71.478	15.804	8.139	5.641	2.463	8.730	6.431	10.233	15.897	13.824
2012	59.580	39.975	39.852	12.348	10.491	5.073	14.018	6.842	11.519	13.737	8.843	9.569
2013	28.579	54.305	75.901	22.427	10.619	3.135	6.097	4.962	3.241	4.841	18.002	50.256
2014	51.505	81.594	69.171	16.456	5.374	3.821	6.064	5.935	11.599	12.335	16.303	36.173
2015	60.454	56.061	49.745	15.193	7.250	8.827	8.389	3.562	12.713	17.321	46.729	41.784
2016	32.121	70.001	41.499	12.835	9.746	1.402	5.696	4.205	6.506	13.917	18.539	38.487
2017	53.426	83.346	59.747	23.761	12.421	7.241	5.172	5.051	13.945	11.185	15.157	44.433
2018	58.936	52.837	50.773	18.980	8.807	7.681	7.029	8.232	6.201	18.590	24.210	20.979
2019	55.289	73.093	90.786	25.394	9.969	5.145	2.079	9.051	1.676	8.080	22.398	81.235
promedio	50.220	58.458	62.905	19.178	8.650	5.235	5.743	5.772	9.156	12.065	21.725	39.446

Fuente: Elaboración propia

f) Resultado de caudales generados para periodos extendidos en (m³/s)

Los resultados de la tabla 3.27 son caudales generados en mm/mes, para convertirla en m³/s, se aplicó la ecuación 51, ecuación que convierte en m³/s, el resultado se observa en la tabla 3.28.

$$Q_i = 0.0115741 \times \frac{CM_i \times A}{t} \dots\dots\dots (51)$$

Tabla 3. 28*Caudales medios mensuales en m³/s*

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Cmi	45.359	57.782	68.140	21.372	10.132	4.842	3.936	3.533	7.288	7.043	36.804	32.358
1981	0.238	0.337	0.358	0.108	0.045	0.042	0.012	0.033	0.074	0.138	0.180	0.217
1982	0.265	0.424	0.235	0.086	0.035	0.016	0.020	0.034	0.058	0.059	0.189	0.142
1983	0.246	0.125	0.203	0.076	0.038	0.022	0.021	0.026	0.029	0.063	0.130	0.224
1984	0.259	0.436	0.493	0.149	0.061	0.029	0.020	0.006	0.100	0.007	0.108	0.153
1985	0.311	0.336	0.425	0.116	0.034	0.028	0.037	0.017	0.036	0.060	0.140	0.205
1986	0.245	0.229	0.408	0.106	0.036	0.013	0.042	0.035	0.051	0.062	0.135	0.337
1987	0.295	0.386	0.300	0.091	0.051	0.017	0.004	0.002	0.056	0.066	0.083	0.081
1988	0.260	0.328	0.270	0.087	0.072	0.045	0.027	0.017	0.033	0.035	0.066	0.241
1989	0.258	0.196	0.269	0.073	0.036	0.032	0.022	0.032	0.056	0.050	0.075	0.138
1990	0.248	0.141	0.116	0.062	0.033	0.059	0.028	0.038	0.050	0.086	0.174	0.237
1991	0.256	0.156	0.202	0.081	0.051	0.046	0.032	0.022	0.071	0.054	0.063	0.091
1992	0.181	0.218	0.202	0.070	0.022	0.045	0.023	0.049	0.023	0.056	0.077	0.080
1993	0.243	0.396	0.217	0.085	0.043	0.024	0.027	0.037	0.079	0.060	0.087	0.275
1994	0.250	0.306	0.419	0.127	0.046	0.024	0.019	0.016	0.040	0.043	0.090	0.216
1995	0.375	0.337	0.352	0.098	0.044	0.013	0.019	0.019	0.035	0.068	0.117	0.117
1996	0.184	0.242	0.296	0.101	0.030	0.018	0.020	0.022	0.022	0.054	0.087	0.165
1997	0.325	0.344	0.317	0.112	0.040	0.021	0.006	0.037	0.066	0.050	0.112	0.199
1998	0.218	0.366	0.342	0.097	0.022	0.017	0.035	0.023	0.023	0.066	0.089	0.146
1999	0.228	0.323	0.336	0.094	0.028	0.015	0.035	0.029	0.060	0.036	0.098	0.228
2000	0.284	0.423	0.328	0.097	0.038	0.027	0.059	0.027	0.040	0.066	0.030	0.195
2001	0.406	0.301	0.375	0.111	0.052	0.022	0.051	0.047	0.048	0.071	0.129	0.221
2002	0.206	0.370	0.263	0.087	0.049	0.014	0.043	0.048	0.070	0.067	0.146	0.323

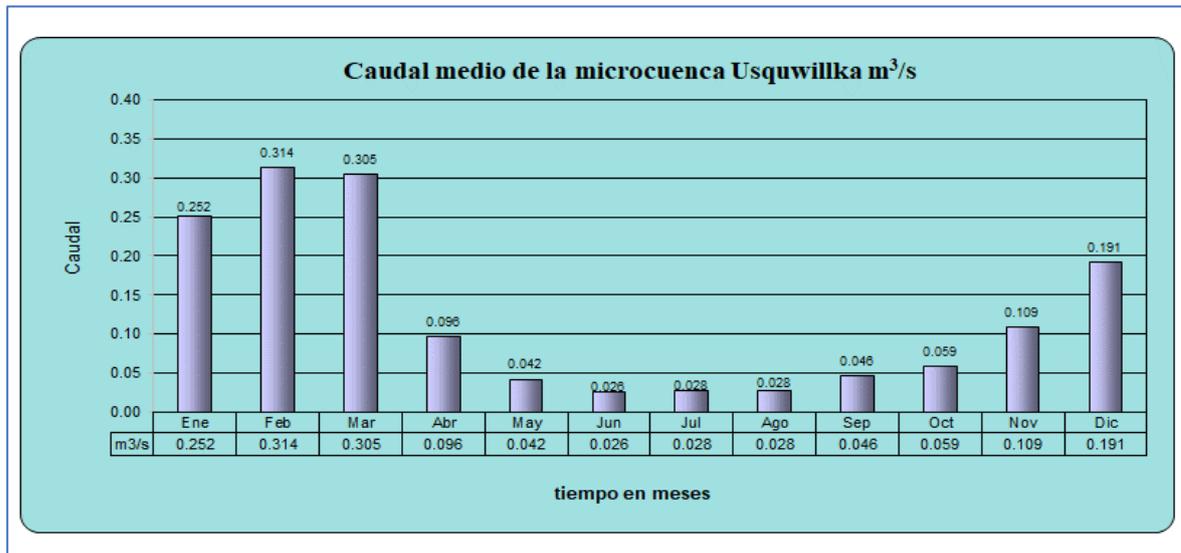
Continuación de la tabla 3.28

2003	0.153	0.374	0.468	0.162	0.060	0.033	0.027	0.020	0.057	0.024	0.054	0.200
2004	0.162	0.234	0.234	0.061	0.027	0.024	0.025	0.034	0.049	0.056	0.095	0.294
2005	0.172	0.273	0.253	0.102	0.047	0.020	0.026	0.025	0.020	0.051	0.076	0.248
2006	0.230	0.277	0.347	0.111	0.024	0.022	0.014	0.024	0.005	0.042	0.137	0.175
2007	0.274	0.245	0.429	0.127	0.042	0.024	0.037	0.023	0.043	0.061	0.108	0.213
2008	0.220	0.328	0.261	0.087	0.047	0.029	0.025	0.033	0.047	0.057	0.059	0.129
2009	0.273	0.387	0.199	0.097	0.049	0.015	0.020	0.027	0.053	0.071	0.150	0.203
2010	0.260	0.265	0.327	0.073	0.030	0.029	0.035	0.014	0.028	0.070	0.231	0.143
2011	0.294	0.403	0.347	0.079	0.040	0.028	0.012	0.042	0.032	0.050	0.080	0.067
2012	0.299	0.215	0.193	0.062	0.051	0.025	0.068	0.033	0.058	0.067	0.044	0.046
2013	0.143	0.292	0.368	0.112	0.052	0.016	0.030	0.024	0.016	0.023	0.090	0.244
2014	0.258	0.438	0.336	0.083	0.026	0.019	0.029	0.029	0.058	0.060	0.082	0.176
2015	0.303	0.301	0.241	0.076	0.035	0.044	0.041	0.017	0.064	0.084	0.234	0.203
2016	0.161	0.376	0.201	0.064	0.047	0.007	0.028	0.020	0.033	0.068	0.093	0.187
2017	0.268	0.448	0.290	0.119	0.060	0.036	0.025	0.025	0.070	0.054	0.076	0.216
2018	0.296	0.284	0.246	0.095	0.043	0.039	0.034	0.040	0.031	0.090	0.121	0.102
2019	0.277	0.393	0.441	0.127	0.048	0.026	0.010	0.044	0.008	0.039	0.112	0.394
prom.	0.252	0.314	0.305	0.096	0.042	0.026	0.028	0.028	0.046	0.059	0.109	0.191

Fuente: Elaboración propia

Figura 3. 4

Caudal medio de la microcuenca Usquwillka



Fuente: Elaboración propia

3.4 Oferta y caudal ecológico de la microcuenca Usquwillka (m³/s)

El caudal ecológico corresponde al 25% del caudal extendida y la oferta hídrica al 75 % de caudal extendida, la tabla 3.29 indica los resultados obtenidos.

Tabla 3. 29

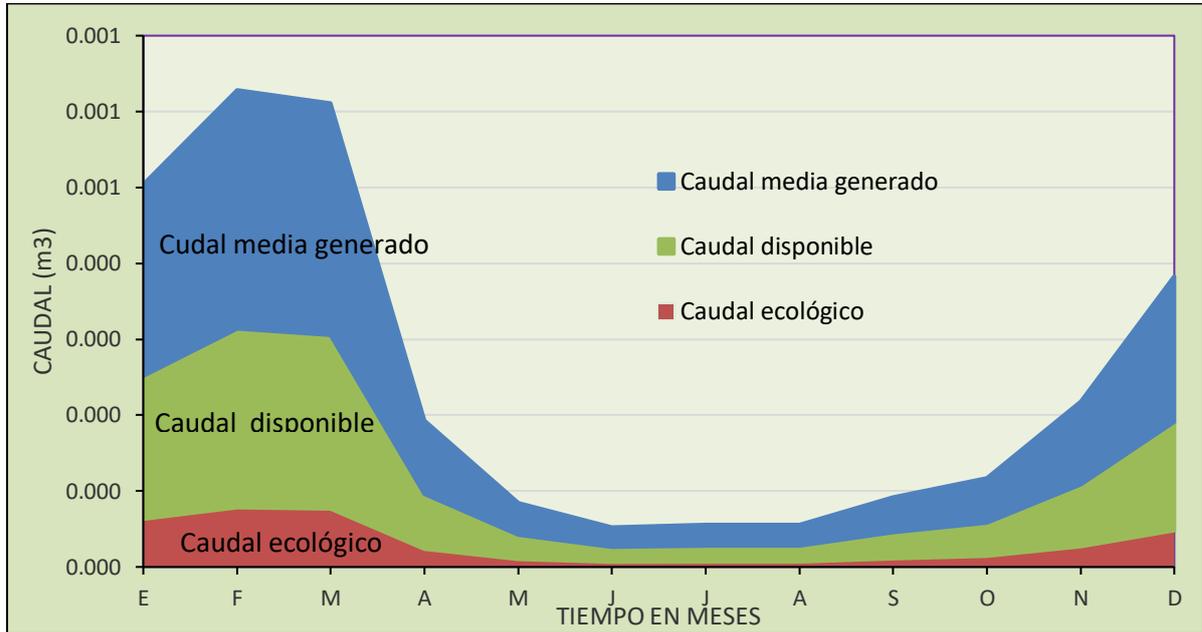
Resultados de la oferta y caudal ecológico de la microcuenca Usquwillka

Meses	Q _i media (m ³ /s)	Q ecológico (m ³ /s)	Oferta hídrica (m ³ /s)
Enero	0.252	0.063	0.189
Febrero	0.314	0.079	0.236
Marzo	0.305	0.076	0.229
Abril	0.096	0.024	0.072
Mayo	0.042	0.010	0.031
Junio	0.026	0.007	0.020
Julio	0.028	0.007	0.021
Agosto	0.028	0.007	0.021
Setiembre	0.046	0.011	0.034
Octubre	0.059	0.015	0.044
Noviembre	0.109	0.027	0.082
Diciembre	0.191	0.048	0.144

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.5

Oferta y caudal ecológico



Fuente: Elaboración propia

3.5 Volumen de agua disponible en los meses de precipitación

La tabla 3.30, muestra caudales aprovechables en los meses de precipitación, la sumatoria de estas es el volumen total determinado y disponible que se requiere embalsar para aprovechamiento posterior.

Tabla 3.30

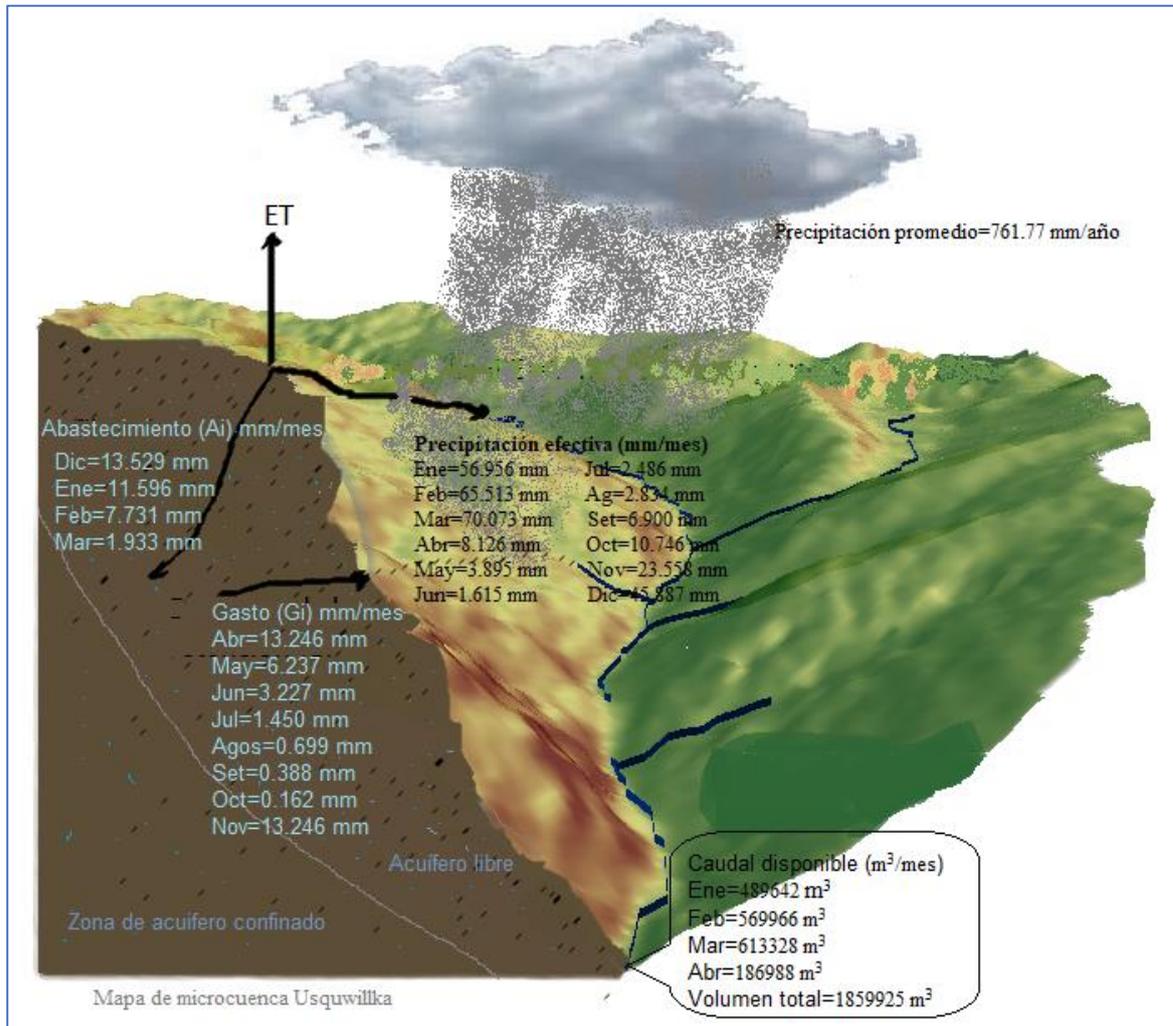
Volumen de agua disponible en los meses de precipitación

Meses	Días	Q (m ³ /s)	Q disponible (m ³ /mes)
Enero	30	0.189	489642
Febrero	28	0.236	569966
Marzo	31	0.229	613328
Abril	30	0.072	186988
Total			1859925 m³

Fuente: Elaboración propia

Figura 3. 6

Representación gráfica de los resultados obtenidos de la microcuenca Usquwillka



Fuente: Elaboración propia

3.6 Propuesta de uso de volumen disponible

Una de las potencialidades del distrito de Quinua, es la agricultura, la gran parte de la población se dedica a la actividad agrícola solo en campaña grande. Quinua es considerado como valle seco, hidrológicamente depende de las precipitaciones en las microcuencas de Pallcca, Andrespata y Usquwillka, cada una de estas microcuencas nos ofrece un volumen de agua disponible al final de los meses de precipitación.

En el presente trabajo de investigación de la oferta hídrica de la microcuenca Usquwillka se obtuvo 1859925 m³ de agua disponible para riego. Para aprovechar este volumen de agua, se propone realizar los estudios de represamiento en la zona denominado Suqupukio, que se encuentra al oeste del punto de aforo y a una distancia aproximado de 1 km.

CONCLUSIONES

Luego de una investigación exhaustiva sobre la generación de caudales por el modelo Lutz Scholz, se llegó a las siguientes conclusiones concordantes a los objetivos trazados.

1.- Con la ayuda de la versión 10.4 del software ArcGIS, pudimos desarrollar parámetros geomorfológicos para la microcuenca Usquwillka, tales como: el área de la micro cuenca igual 13 kilómetros cuadrados, la altitud promedio igual 4220 metros sobre el nivel del mar, la pendiente promedio de la micro cuenca igual 12%, así como la pendiente del cauce principal igual 17%. Estos parámetros fueron la base para los cálculos de coeficiente de agotamiento y retención de la cuenca.

2.- En el proceso de generación de caudales para el año promedio, se obtuvo 45.359 mm para el mes de enero, 57.782 mm para febrero, 68.140 mm para marzo, 21.372 mm para abril, 10.132 mm para mayo, 4.842 mm para junio, 3.936 mm para julio, 3.533 mm para agosto, 7.288 mm para setiembre, 7.043 mm para octubre, 36.804 mm para noviembre y 32.358 mm para diciembre. Estos datos fueron usados en el modelo matemático para la extensión de generación de caudales para los 38 años planteados, los resultados transformados en m^3/s fueron los siguientes: 0.252 m^3/s para enero, 0.314 m^3/s para febrero, 0.305 m^3/s para marzo, 0.096 m^3/s para abril, 0.042 m^3/s mayo, 0.026 m^3/s para junio, 0.028 m^3/s para julio, 0.028 m^3/s para agosto, 0.046 m^3/s para setiembre, 0.059 m^3/s para octubre, 0.109 m^3/s para noviembre y 0.191 m^3/s para mes de diciembre.

3.- De los resultados mensuales obtenidos en el proceso de la extensión, se dejó fluir el 25 % de caudal de cada mes, el 75 % restante es el caudal mensual aprovechable llamado como oferta hídrica de la microcuenca Usquwillka. Los caudales disponibles de los meses de precipitación (enero, febrero, marzo y abril) suman un total de 1.86 hm^3 (1859925 m^3) de agua; los cuales fueron de mayor importancia para el futuro embalsamiento que tanto anhela la población.

RECOMENDACIONES

1. El modelo Lutz Scholz es un método de aplicación de estudios de caudales medios mensuales a partir de los datos de precipitaciones, se recomienda a los interesados en usar el modelo, someter a análisis de consistencia a los datos de precipitación recopilada antes del modelamiento.
2. Para la extensión y completación de datos, se recomienda el uso de software EasyFit porque es software libre y trabaja con el ajuste de la prueba de bondad de Smirnov Kolmogorov.
3. En el afán de desarrollar el modelo hidrológico, Lutz Scholz logró calibrar los coeficientes de abastecimiento de la retención para las regiones de Cusco, Huancavelica, Junín y Cajamarca; se recomienda a los interesados en la investigación, desarrollar este factor para otras regiones.
4. Para mayor fidelidad se recomienda comparar con otros métodos de generación de caudales mensuales, como: modelo Temez, modelo arcSwat, modelo GR2M y entre otros.
5. El modelamiento de caudales medias, es una actividad fundamental para los hidrólogos, por lo que se recomienda tomar interés en profundizar el tema, así también recomendar a los ingenieros hidrólogos o Agrícolas que se dedican a la docencia, manejas varios métodos para su enseñanza fluida.

REFERENCIAS

- Academia. (15 de diciembre de 2022). *Hidrograma unitario*.
https://www.academia.edu/43572341/Hidrograma_unitario
- Aliaga, V. (1983). *Tratamiento de datos hidrometeorológicos*. Lima Perú.
- ANA (2010). *Observatorio del Agua*. SNIRH. Perú.
<https://snirh.ana.gob.pe/observatorioSNIRH/>
- Cahuana, A., Yugar, M. (2009). *Material de apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje de la asignatura de hidrología civ-233*. Cochabamba Bolivia.
- Chereque, W. (2003). *Hidrología para estudiantes de ingeniería civil*. CONCYTEC
- Chow V. Maidment, D. y Mays, L. (1994). *Hidrología aplicada*. Mc Graw-Hill.
Interamericana S.A.
- Corporación Autónoma Regional de Nariño [CORPONARIÑO] (2008). *Ordenamiento de Recursos Hídricos de la Subcuenca Quebrada Miraflores*. Oferta hídrica pdf.
[Microsoft Word - DOC. PORH Q.MIRAFLORES Parte 3.](#)
- Crisólogo (2018) “*Disponibilidad de agua en la cuenca del río chonta generada a partir de información climática*”. Tesis. Universidad Nacional de Cajamarca.
- Del Aguila, S. (2021). *Modelamiento de procesos hidrológicos en cuencas de la sierra central del Perú*. Tesis para optar el grado de doctor. Universidad Nacional Agraria la Molina.
Dirección: repositorio. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/4659>
- Expediente Técnico Laguna Ustunaccocha [ETLU] (2020). *Estudio hidrológico - hidráulico presa Ustunaccocha*.
- Fattorelli, S & Fernández, P. (2011). *Diseño Hidrológico*. WASA-GN.
- Fundación del agua [AQUAe] (2013). *La escorrentía: un proceso clave en el ciclo del agua importancia de la escorrentía*. <https://www.fundacionaquae.org/wiki/escorrentia/>.
- Hidrología BUAP 2013. (20 de febrero de 2023). *El ciclo Hidrológico*.
<https://sites.google.com/site/hidrologia013/ciclo-hidrologico>
- Linsley, R. y Hohler, M. (1977). *Hidrología para Ingenieros*. Editorial Mc Graw-Hill.
- Martínez, M. (2013). *Tecnologías para el uso sostenible del agua*. Global wáter partnership.
Honduras.

- Mejía, A. (1985). *Hidrología Aplicada*. Lima, Perú: Fondo Editorial UNALM.
- MIDAGRI (2022). *Reglamento de clasificación de tierras por su capacidad de uso mayor*. Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. Diario el peruano. Lima-Perú. <https://dar.org.pe/wp-content/uploads/2022/04/2060758-1-1.pdf>
- Najarro, D. (2015). *Calibración del modelo de Lutz Scholtz y generación de caudales extendidos aplicado a la cuenca del río Chacco*. Ayacucho. tesis. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. http://repositorio.unsch.edu.pe/bitstream/UNSCH/794/1/Tesis%20CIV442_Naj.pdf
- Organización Meteorológica Mundial [OMM], (2010). *Guía de Instrumentos y Métodos de Observación Meteorológicos*. https://web.directemar.cl/met/jturno/documentos/wmo_8-2014_es.pdf
- Recalde, A. (2004). *Manual de manejo de cuencas*. Segunda edición. Editor Visión Mundial El Salvador. World visión-Canadá.
- Rojó, J. (s/f). *Hidrología*. CALSE 15: Relaciones lluvia escorrentía. http://julianrojo.weebly.com/uploads/1/2/0/0/12008328/6_relaciones_lluvia_escorren_tia.pdf
- Scholz, L. (1980). *Generación de Caudales Mensuales en la Sierra del Perú. Plan Meris II. Cuzco-Perú*. Manual del modelo hidrológico.
- SlidePlayer. (23 de febrero de 2023). *Escorren_tia*. <https://slideplayer.es/slide/3438915/>
- SNIRH ANA. (25 de noviembre de 2022). *Observatorio del Agua*. <https://snirh.ana.gob.pe/observatoriosnirh/>
- Taramona (2017). *Introducción a los DEM a partir de plataformas espaciales con fines aeronáuticos*. Lima Perú. https://www.icao.int/SAM/Documents/2017-ETOD/12-Int_Space_DEM_Model%20FINAL%20FINAL.pdf
- Vásquez, A., Mejía, A., Fausto, J., Terán, R., Vásquez, I., Días, J., Vásquez, C. Castro, A., Tapia, M. y Alcántara, J. (2016). *Manejo y gestión de cuencas hidrográficas*. Fondo Editorial-UNALM.
- Villón, M. (2002). *Conceptos básicos de hidrología*. Segunda edición. Editorial Villon.
- Villón, M. (2006). *Hidrología estadística*. Escuela de Ingeniería Agrícola. Editorial Tecnológica de Costa Rica.

ANEXOS

AÑO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
1981	121.51	152.69	151.81	46.93	17.41	13.42	0.60	20.20	74.80	161.40	122.20	104.50	987.47
1982	142.00	191.40	83.40	69.10	4.00	6.10	0.00	29.00	46.50	47.90	159.00	63.20	841.60
1983	128.80	37.10	84.10	47.00	26.57	11.60	4.23	22.77	17.50	50.90	81.03	120.14	631.74
1984	133.39	214.74	211.27	85.66	22.76	0.00	8.21	10.03	123.04	0.00	69.48	78.89	957.46
1985	166.88	147.11	186.42	33.70	18.96	10.01	26.00	1.79	43.91	55.19	111.90	117.94	919.80
1986	117.13	84.08	188.77	23.27	27.40	4.51	10.34	0.00	41.27	44.75	90.42	184.18	816.10
1987	146.32	174.20	107.48	31.09	31.31	2.25	1.36	0.00	65.65	59.93	42.42	42.69	704.70
1988	147.00	153.10	103.60	40.40	29.70	0.00	0.00	0.00	16.50	15.50	52.70	130.10	688.60
1989	133.30	82.20	115.20	34.10	17.50	12.40	2.70	14.00	40.90	35.80	39.60	68.20	595.90
1990	135.10	43.50	39.60	36.90	11.40	55.40	2.40	30.90	26.60	87.40	124.10	117.30	710.60
1991	120.50	57.50	88.90	19.30	8.50	35.10	5.90	0.00	61.70	48.20	30.90	41.60	518.10
1992	100.70	98.00	74.00	35.90	0.00	21.70	8.80	33.10	8.10	61.80	52.40	50.60	545.10
1993	128.70	176.50	78.60	51.80	19.60	11.60	19.70	22.50	85.30	55.30	71.70	149.80	871.10
1994	119.30	138.00	182.50	82.20	4.00	7.30	0.00	17.00	32.40	32.50	54.30	137.40	806.90
1995	197.90	142.00	146.60	26.00	34.10	1.30	2.30	1.00	20.60	54.20	86.70	58.60	771.30
1996	91.30	110.60	128.30	47.80	2.30	0.00	0.50	17.00	27.30	37.10	51.00	82.60	595.80
1997	185.70	146.00	127.20	61.50	10.60	0.00	4.00	33.70	58.20	13.10	81.50	105.20	826.70
1998	105.10	170.30	139.30	25.60	6.20	4.70	0.00	6.40	5.80	79.50	57.00	71.20	671.10
1999	114.40	157.50	141.20	25.70	1.20	4.00	9.40	0.00	78.50	27.20	71.40	125.70	756.20
2000	142.40	203.40	132.00	19.60	41.50	11.20	43.70	5.80	16.80	64.10	12.60	113.50	806.60
2001	216.20	114.20	157.30	30.30	48.20	5.30	43.50	21.10	33.70	63.00	102.70	106.90	942.40
2002	90.90	173.80	111.30	33.80	31.40	1.40	46.90	15.70	73.20	49.80	107.60	166.80	902.60
2003	68.70	186.40	193.10	100.90	26.40	2.60	0.30	30.20	39.80	1.60	32.20	113.20	795.40
2004	67.80	112.50	92.50	8.60	16.10	15.60	21.60	14.40	34.80	47.60	64.80	173.50	669.80
2005	67.80	121.00	106.40	48.10	17.50	0.60	6.40	0.60	20.70	52.30	52.80	140.50	634.70
2006	121.40	125.30	152.60	55.50	1.20	2.40	0.00	14.30	6.90	48.80	93.50	82.60	704.50
2007	136.30	89.70	197.90	66.20	15.20	0.00	13.40	1.30	30.90	72.40	74.00	121.60	818.90
2008	106.70	148.60	101.60	29.90	24.50	10.00	7.10	1.40	27.10	59.40	41.30	71.20	628.80
2009	154.80	174.80	59.50	55.90	26.70	0.40	6.10	8.70	36.70	50.60	109.00	114.60	797.80
2010	138.70	108.20	131.30	26.88	17.55	6.11	12.93	2.07	10.30	59.88	173.17	67.78	754.86
2011	167.29	186.99	135.78	48.82	23.88	1.65	9.26	13.69	9.57	34.76	50.45	28.51	710.66
2012	171.68	92.62	75.65	26.43	43.54	0.02	64.30	27.27	46.51	58.48	27.31	8.06	641.86
2013	77.16	141.89	163.14	53.10	26.19	0.03	30.52	8.97	9.47	0.00	55.27	147.75	713.51
2014	119.25	207.59	137.85	19.34	3.88	25.85	6.23	18.34	47.82	59.40	51.11	84.09	780.74
2015	156.30	132.00	100.20	34.30	32.30	8.40	18.10	10.67	45.31	72.39	185.34	93.89	889.20
2016	71.70	178.80	70.50	33.30	27.40	0.40	9.70	4.80	38.40	67.00	46.60	109.00	657.60
2017	147.20	210.10	110.60	63.20	41.00	0.00	5.50	16.00	55.80	34.90	48.00	131.70	864.00
2018	157.60	113.60	103.40	41.80	34.60	5.70	20.70	41.00	8.30	90.50	84.10	47.30	748.60
2019	161.60	186.00	183.10	49.30	27.40	0.40	4.60	41.00	9.20	40.90	101.10	225.50	1030.10
Prom	130.17	140.62	125.49	42.80	21.02	7.68	12.24	14.27	37.84	51.17	75.97	102.51	761.77

Anexo 1. Datos de precipitación original

Fuente: ANA

AÑO	EN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AG	SET	OCT	NOV	DEC	TOTAL
1981	9.800	9.120	10.140	9.170	8.880	8.320	8.100	7.700	7.620	8.780	10.170	9.680	8.957
1982	9.810	9.300	9.480	8.680	8.890	8.120	7.990	7.630	8.690	9.330	9.590	10.280	8.983
1983	10.900	10.920	11.420	10.470	10.080	8.510	9.220	8.820	9.010	9.800	10.110	9.870	9.928
1984	9.150	8.260	8.810	8.530	8.640	7.760	7.340	7.560	8.320	9.450	9.600	9.050	8.539
1985	8.900	8.680	8.560	8.440	8.270	6.490	7.190	8.160	8.530	9.870	9.080	9.260	8.453
1986	9.220	8.180	8.320	8.490	8.280	8.010	6.460	8.300	8.070	8.970	9.730	9.940	8.498
1987	9.650	9.930	9.850	9.400	9.190	7.980	8.750	8.940	9.730	10.410	10.560	10.830	9.602
1988	9.860	9.960	9.550	8.860	8.470	8.230	7.330	8.950	9.280	9.850	9.970	9.480	9.149
1989	9.360	9.110	8.990	8.620	7.970	7.720	7.200	8.140	9.420	9.400	9.760	10.480	8.848
1990	9.860	10.050	9.720	9.640	9.010	7.450	7.370	7.800	8.900	9.490	10.370	10.220	9.157
1991	10.580	10.420	10.020	9.660	9.350	8.860	7.940	8.280	8.690	9.700	9.450	10.680	9.469
1992	10.000	10.580	10.060	10.250	10.300	8.610	7.410	7.980	9.160	9.370	10.210	10.370	9.525
1993	9.590	9.550	9.080	9.270	9.480	8.140	7.810	7.760	8.750	9.340	10.000	10.240	9.084
1994	9.600	9.190	8.840	8.690	8.700	7.810	7.560	8.440	8.930	9.760	10.050	10.110	8.973
1995	9.580	9.510	9.110	9.470	9.100	8.370	8.930	9.810	9.390	10.090	10.100	9.850	9.443
1996	9.680	9.480	9.190	9.010	9.020	8.200	7.450	8.820	9.120	9.690	9.610	9.440	9.059
1997	8.970	8.860	8.510	8.420	8.180	8.820	8.330	7.600	10.010	11.000	10.550	11.310	9.213
1998	10.770	10.730	10.730	10.950	10.130	8.890	9.010	9.550	10.250	10.010	9.880	10.180	10.090
1999	9.900	8.960	8.440	8.070	8.130	7.820	7.280	7.640	8.550	9.150	10.020	9.760	8.643
2000	9.120	8.660	8.440	8.650	8.740	8.180	7.220	8.510	9.490	9.190	10.640	9.870	8.893
2001	9.440	9.170	9.040	8.780	8.660	7.600	7.420	7.160	8.800	9.110	10.140	9.490	8.734
2002	9.960	9.220	9.250	9.080	8.880	8.080	7.130	7.790	8.600	9.750	10.080	10.420	9.020
2003	10.320	9.770	9.270	8.600	8.480	8.630	7.780	7.990	8.690	10.610	10.430	10.490	9.255
2004	9.870	9.870	9.670	9.620	9.000	7.480	7.470	7.510	8.970	10.070	10.290	10.010	9.153
2005	10.320	9.920	10.510	10.130	9.830	8.910	7.770	8.540	8.520	9.580	10.120	10.090	9.520
2006	8.750	9.430	9.360	8.850	7.700	8.330	7.570	8.140	9.230	9.860	9.940	10.390	8.963
2007	10.220	9.690	9.070	8.560	8.500	7.880	7.210	8.490	8.720	9.610	10.120	9.690	8.980
2008	9.010	8.820	8.430	8.550	8.120	7.770	8.160	9.370	9.310	9.830	10.440	9.940	8.979
2009	9.610	9.310	9.300	9.140	8.620	8.010	7.800	9.050	9.810	10.370	10.720	9.760	9.292
2010	9.840	10.060	10.160	10.070	9.310	8.900	8.550	8.330	9.580	9.580	10.590	9.690	9.555
2011	9.430	8.940	8.670	8.500	7.690	7.580	7.260	8.430	8.830	9.330	10.270	9.190	8.677
2012	9.440	8.510	8.390	8.400	8.190	7.380	7.030	8.240	9.080	9.760	10.180	9.390	8.666
2013	8.910	9.290	9.690	9.390	9.290	8.180	7.230	7.980	9.480	9.600	10.690	9.830	9.130
2014	9.410	9.360	9.330	9.080	8.790	8.730	7.890	8.190	8.800	9.940	10.510	10.440	9.206
2015	9.010	9.120	8.900	8.470	8.620	8.330	7.980	8.480	9.800	10.230	10.560	9.540	9.087
2016	10.840	10.150	10.440	10.080	9.720	8.230	7.950	8.690	9.650	9.570	10.150	10.140	9.634
2017	9.780	9.640	9.230	8.870	8.730	8.340	7.440	8.730	9.660	10.300	10.760	10.230	9.309
2018	9.260	9.250	9.410	8.980	9.360	7.530	7.510	7.700	9.090	10.210	10.820	10.140	9.105
2019	10.260	9.170	9.570	9.820	9.250	8.440	8.250	8.620	9.850	9.970	10.300	10.430	9.494
2020	9.980	10.400	10.280	9.830	8.790	9.360	8.610	9.220	9.660	10.310	10.310	9.550	9.692
2021	9.010	9.200	8.970	8.860	8.350	8.270	7.740	8.680	9.770	10.770	10.190	10.110	9.160
prom	9.682	9.457	9.371	9.132	8.846	8.152	7.747	8.335	9.117	9.781	10.172	9.997	9.149

Anexo 2. Datos de temperatura media anual

Fuente: Viweir data acces de la NASA

Año	En	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Ag	Set	Oct	Nov	Dec
1981	9.8	9.12	10.14	9.17	8.88	8.32	8.1	7.7	7.62	8.78	10.17	9.68
1982	9.81	9.3	9.48	8.68	8.89	8.12	7.99	7.63	8.69	9.33	9.59	10.28
1983	10.9	10.92	11.42	10.47	10.08	8.51	9.22	8.82	9.01	9.8	10.11	9.87
1984	9.15	8.26	8.81	8.53	8.64	7.76	7.34	7.56	8.32	9.45	9.6	9.05
1985	8.9	8.68	8.56	8.44	8.27	6.49	7.19	8.16	8.53	9.87	9.08	9.26
1986	9.22	8.18	8.32	8.49	8.28	8.01	6.46	8.3	8.07	8.97	9.73	9.94
1987	9.65	9.93	9.85	9.4	9.19	7.98	8.75	8.94	9.73	10.41	10.56	10.83
1988	9.86	9.96	9.55	8.86	8.47	8.23	7.33	8.95	9.28	9.85	9.97	9.48
1989	9.36	9.11	8.99	8.62	7.97	7.72	7.2	8.14	9.42	9.4	9.76	10.48
1990	9.86	10.05	9.72	9.64	9.01	7.45	7.37	7.8	8.9	9.49	10.37	10.22
1991	10.58	10.42	10.02	9.66	9.35	8.86	7.94	8.28	8.69	9.7	9.45	10.68
1992	10	10.58	10.06	10.25	10.3	8.61	7.41	7.98	9.16	9.37	10.21	10.37
1993	9.59	9.55	9.08	9.27	9.48	8.14	7.81	7.76	8.75	9.34	10	10.24
1994	9.6	9.19	8.84	8.69	8.7	7.81	7.56	8.44	8.93	9.76	10.05	10.11
1995	9.58	9.51	9.11	9.47	9.1	8.37	8.93	9.81	9.39	10.09	10.1	9.85
1996	9.68	9.48	9.19	9.01	9.02	8.2	7.45	8.82	9.12	9.69	9.61	9.44
1997	8.97	8.86	8.51	8.42	8.18	8.82	8.33	7.6	10.01	11	10.55	11.31
1998	10.77	10.73	10.73	10.95	10.13	8.89	9.01	9.55	10.25	10.01	9.88	10.18
1999	9.9	8.96	8.44	8.07	8.13	7.82	7.28	7.64	8.55	9.15	10.02	9.76
2000	9.12	8.66	8.44	8.65	8.74	8.18	7.22	8.51	9.49	9.19	10.64	9.87
2001	9.44	9.17	9.04	8.78	8.66	7.6	7.42	7.16	8.8	9.11	10.14	9.49
2002	9.96	9.22	9.25	9.08	8.88	8.08	7.13	7.79	8.6	9.75	10.08	10.42
2003	10.32	9.77	9.27	8.6	8.48	8.63	7.78	7.99	8.69	10.61	10.43	10.49
2004	9.87	9.87	9.67	9.62	9	7.48	7.47	7.51	8.97	10.07	10.29	10.01
2005	10.32	9.92	10.51	10.13	9.83	8.91	7.77	8.54	8.52	9.58	10.12	10.09
2006	8.75	9.43	9.36	8.85	7.7	8.33	7.57	8.14	9.23	9.86	9.94	10.39
2007	10.22	9.69	9.07	8.56	8.5	7.88	7.21	8.49	8.72	9.61	10.12	9.69
2008	9.01	8.82	8.43	8.55	8.12	7.77	8.16	9.37	9.31	9.83	10.44	9.94
2009	9.61	9.31	9.3	9.14	8.62	8.01	7.8	9.05	9.81	10.37	10.72	9.76
2010	9.84	10.06	10.16	10.07	9.31	8.9	8.55	8.33	9.58	9.58	10.59	9.69
2011	9.43	8.94	8.67	8.5	7.69	7.58	7.26	8.43	8.83	9.33	10.27	9.19
2012	9.44	8.51	8.39	8.4	8.19	7.38	7.03	8.24	9.08	9.76	10.18	9.39
2013	8.91	9.29	9.69	9.39	9.29	8.18	7.23	7.98	9.48	9.6	10.69	9.83
2014	9.41	9.36	9.33	9.08	8.79	8.73	7.89	8.19	8.8	9.94	10.51	10.44
2015	9.01	9.12	8.9	8.47	8.62	8.33	7.98	8.48	9.8	10.23	10.56	9.54
2016	10.84	10.15	10.44	10.08	9.72	8.23	7.95	8.69	9.65	9.57	10.15	10.14
2017	9.78	9.64	9.23	8.87	8.73	8.34	7.44	8.73	9.66	10.3	10.76	10.23
2018	9.26	9.25	9.41	8.98	9.36	7.53	7.51	7.7	9.09	10.21	10.82	10.14
2019	10.26	9.17	9.57	9.82	9.25	8.44	8.25	8.62	9.85	9.97	10.3	10.43
2020	9.98	10.4	10.28	9.83	8.79	9.36	8.61	9.22	9.66	10.31	10.31	9.55
2021	9.01	9.2	8.97	8.86	8.35	8.27	7.74	8.68	9.77	10.77	10.19	10.11
prom	9.67	9.46	9.34	9.13	8.83	8.15	7.73	8.36	9.15	9.80	10.19	10.01

Anexo 3. Datos de humedad relativa

Fuente: Viweir data acces de la NASA

Tabla T de Student						
gl	Nivel de Significancia para prueba de una cola					
	0.1	0.05	0.025	0.01	0.005	0.0005
	Nivel de significancia para prueba de dos colas					
	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01	0.001
1	3.078	6.314	12.71	31.82	63.66	636.6
2	1.886	2.92	4.303	6.965	9.925	31.6
3	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	12.94
4	1.532	2.132	2.776	3.747	4.604	8.61
5	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	6.859
6	1.44	1.943	2.447	3.143	3.707	5.959
7	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499	5.405
8	1.397	1.86	2.306	2.896	3.355	5.041
9	1.383	1.833	2.262	2.821	3.25	4.781
10	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	4.587
11	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106	4.437
12	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055	4.318
13	1.35	1.771	2.16	2.65	3.012	4.221
14	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977	4.14
15	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947	4.073
16	1.337	1.746	2.12	2.583	2.921	4.015
17	1.333	1.74	2.11	2.567	2.898	3.965
18	1.33	1.734	2.101	2.552	2.878	3.922
19	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861	3.883
20	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845	3.85
21	1.323	1.721	2.08	2.518	2.831	3.819
22	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819	3.792
23	1.319	1.714	2.069	2.5	2.807	3.767
24	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797	3.745
25	1.316	1.708	2.06	2.485	2.787	3.725
26	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779	3.707
27	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771	3.69
28	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763	3.674
29	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756	3.659
30	1.31	1.697	2.042	2.457	2.75	3.646
40	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704	3.551
60	1.296	1.671	2	2.39	2.66	3.46
120	1.289	1.658	1.98	2.358	2.617	3.373
∞	1.282	1.645	1.96	2.326	2.576	3.291

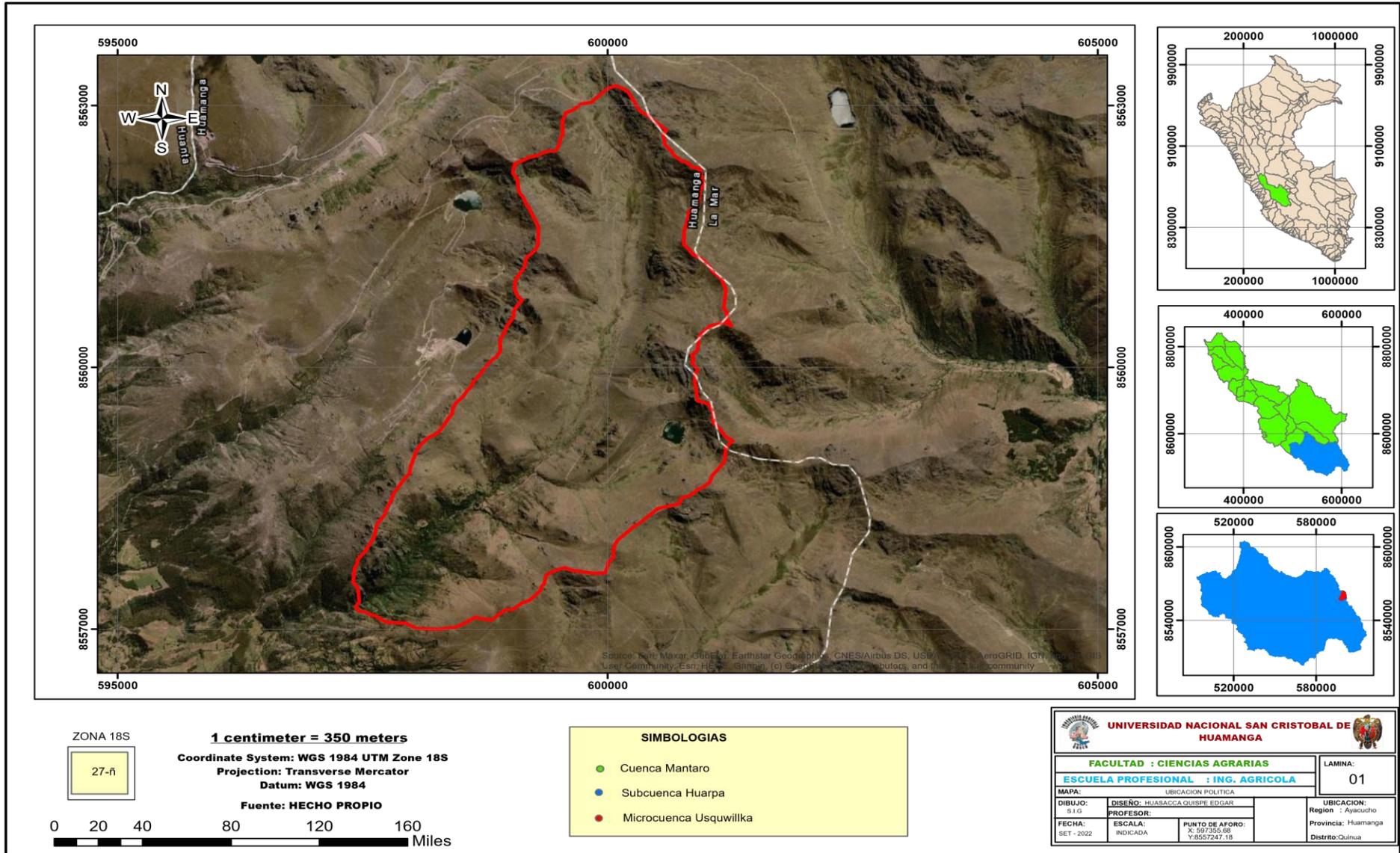
Anexo 4. Tabla T de Student

Fuente: Villón (2006).

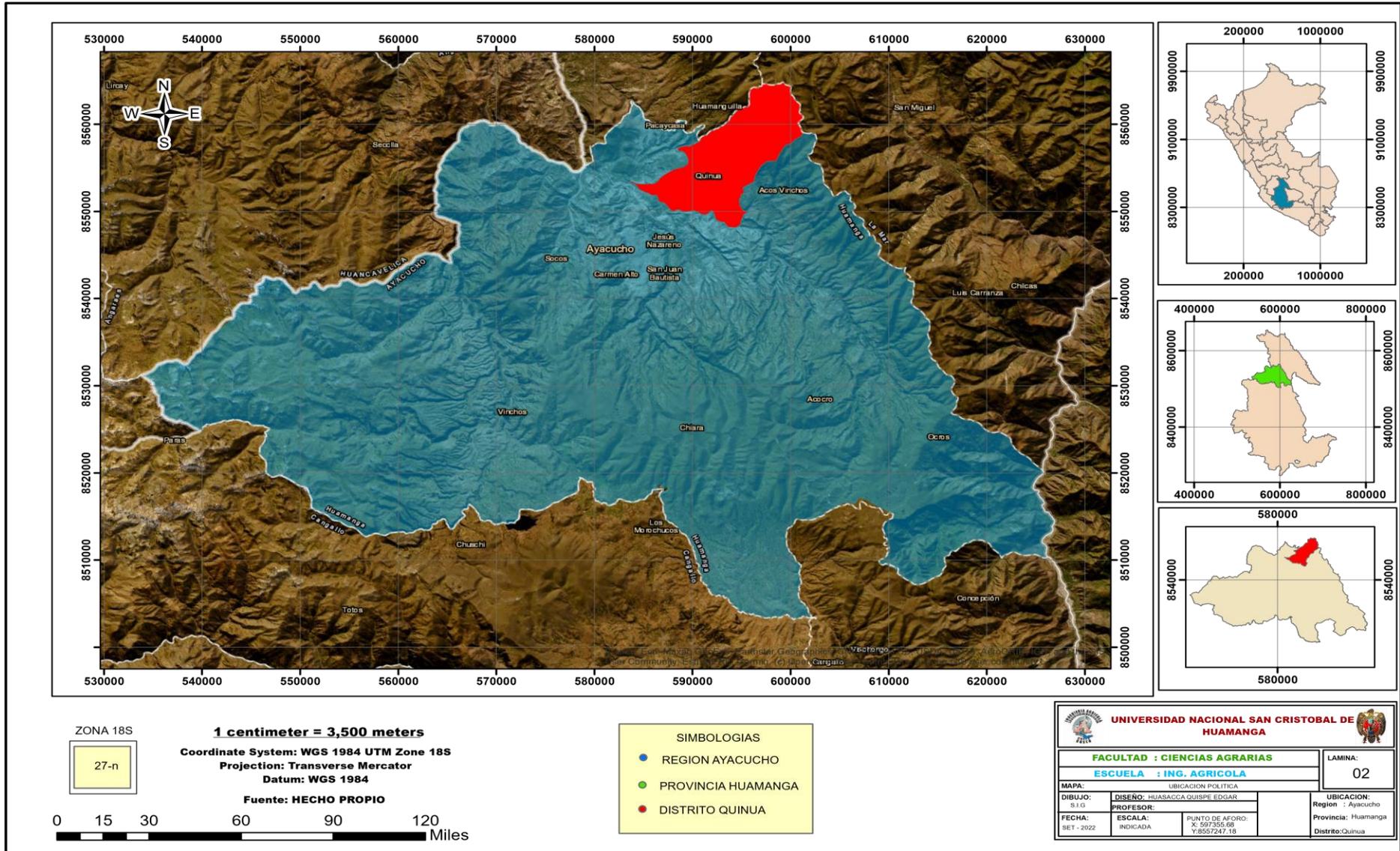
		Grados de Libertad del numerador (v_1)															
		10		12		16		20		30		50		100		∞	
$\alpha/2$		0,05	0,01	0,05	0,01	0,05	0,01	0,05	0,01	0,05	0,01	0,05	0,01	0,05	0,01	0,05	0,01
1	241,88	6055,85	243,91	6106,32	246,46	6170,1	248,01	6208,73	250,1	6260,65	251,77	6302,52	253,04	6334,11	254,31	6365,86	
2	19,4	99,4	19,41	99,42	19,43	99,44	19,45	99,45	19,46	99,47	19,48	99,48	19,49	99,49	19,5	99,5	
3	8,79	27,23	8,74	27,05	8,69	26,83	8,66	26,69	8,62	26,5	8,58	26,35	8,55	26,24	8,53	26,13	
4	5,96	14,55	5,91	14,37	5,84	14,15	5,8	14,02	5,75	13,84	5,7	13,69	5,66	13,58	5,63	13,46	
5	4,74	10,05	4,68	9,89	4,6	9,68	4,56	9,55	4,5	9,38	4,44	9,24	4,41	9,13	4,36	9,02	
6	4,06	7,87	4	7,72	3,92	7,52	3,87	7,4	3,81	7,23	3,75	7,09	3,71	6,99	3,67	6,88	
7	3,64	6,62	3,57	6,47	3,49	6,28	3,44	6,16	3,38	5,99	3,32	5,86	3,27	5,75	3,23	5,65	
8	3,35	5,81	3,28	5,67	3,2	5,48	3,15	5,36	3,08	5,2	3,02	5,07	2,97	4,96	2,93	4,86	
9	3,14	5,26	3,07	5,11	2,99	4,92	2,94	4,81	2,86	4,65	2,8	4,52	2,76	4,41	2,71	4,31	
10	2,98	4,85	2,91	4,71	2,83	4,52	2,77	4,41	2,7	4,25	2,64	4,12	2,59	4,01	2,54	3,91	
11	2,85	4,54	2,79	4,4	2,7	4,21	2,65	4,1	2,57	3,94	2,51	3,81	2,46	3,71	2,4	3,6	
12	2,75	4,3	2,69	4,16	2,6	3,97	2,54	3,86	2,47	3,7	2,4	3,57	2,35	3,47	2,3	3,36	
13	2,67	4,1	2,6	3,96	2,51	3,78	2,46	3,66	2,38	3,51	2,31	3,38	2,26	3,27	2,21	3,17	
14	2,6	3,94	2,53	3,8	2,44	3,62	2,39	3,51	2,31	3,35	2,24	3,22	2,19	3,11	2,13	3	
15	2,54	3,8	2,48	3,67	2,38	3,49	2,33	3,37	2,25	3,21	2,18	3,08	2,12	2,98	2,07	2,87	
16	2,49	3,69	2,42	3,55	2,33	3,37	2,28	3,26	2,19	3,1	2,12	2,97	2,07	2,86	2,01	2,75	
17	2,45	3,59	2,38	3,46	2,29	3,27	2,23	3,16	2,15	3	2,08	2,87	2,02	2,76	1,96	2,65	
18	2,41	3,51	2,34	3,37	2,25	3,19	2,19	3,08	2,11	2,92	2,04	2,78	1,98	2,68	1,92	2,57	
19	2,38	3,43	2,31	3,3	2,21	3,12	2,16	3	2,07	2,84	2	2,71	1,94	2,6	1,88	2,49	
20	2,35	3,37	2,28	3,23	2,18	3,05	2,12	2,94	2,04	2,78	1,97	2,64	1,91	2,54	1,84	2,42	
21	2,32	3,31	2,25	3,17	2,16	2,99	2,1	2,88	2,01	2,72	1,94	2,58	1,88	2,48	1,81	2,36	
22	2,3	3,26	2,23	3,12	2,13	2,94	2,07	2,83	1,98	2,67	1,91	2,53	1,85	2,42	1,78	2,31	
23	2,27	3,21	2,2	3,07	2,11	2,89	2,05	2,78	1,96	2,62	1,88	2,48	1,82	2,37	1,76	2,26	
24	2,25	3,17	2,18	3,03	2,09	2,85	2,03	2,74	1,94	2,58	1,86	2,44	1,8	2,33	1,73	2,21	
25	2,24	3,13	2,16	2,99	2,07	2,81	2,01	2,7	1,92	2,54	1,84	2,4	1,78	2,29	1,71	2,17	
26	2,22	3,09	2,15	2,96	2,05	2,78	1,99	2,66	1,9	2,5	1,82	2,36	1,76	2,25	1,69	2,13	
27	2,2	3,06	2,13	2,93	2,04	2,75	1,97	2,63	1,88	2,47	1,81	2,33	1,74	2,22	1,67	2,1	
28	2,19	3,03	2,12	2,9	2,02	2,72	1,96	2,6	1,87	2,44	1,79	2,3	1,73	2,19	1,65	2,06	
29	2,18	3	2,1	2,87	2,01	2,69	1,94	2,57	1,85	2,41	1,77	2,27	1,71	2,16	1,64	2,03	
30	2,16	2,98	2,09	2,84	1,99	2,66	1,93	2,55	1,84	2,39	1,76	2,25	1,7	2,13	1,62	2,01	
50	2,03	2,7	1,95	2,56	1,85	2,38	1,78	2,27	1,69	2,1	1,6	1,95	1,52	1,82	1,44	1,68	
60	1,99	2,63	1,92	2,5	1,82	2,31	1,75	2,2	1,65	2,03	1,56	1,88	1,48	1,75	1,39	1,6	
80	1,95	2,55	1,88	2,42	1,77	2,23	1,7	2,12	1,6	1,94	1,51	1,79	1,43	1,65	1,32	1,49	
100	1,93	2,5	1,85	2,37	1,75	2,19	1,68	2,07	1,57	1,89	1,48	1,74	1,39	1,6	1,28	1,43	
α	0,95	0,99	0,95	0,99	0,95	0,99	0,95	0,99	0,95	0,99	0,95	0,99	0,95	0,99	0,95	0,99	

Anexo 5. Tabla F de Fisher de 2 colas

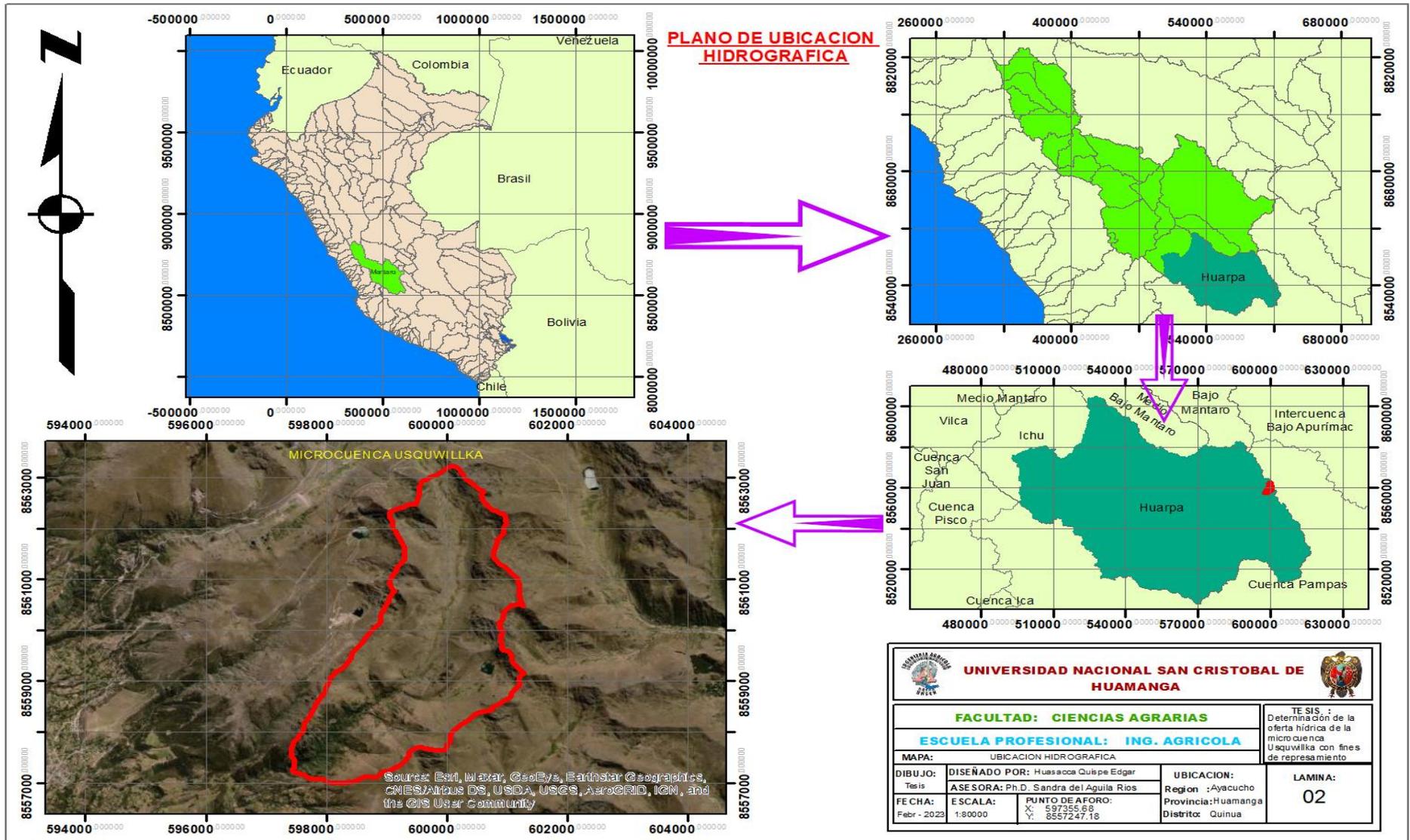
Fuente: Villón (2006).



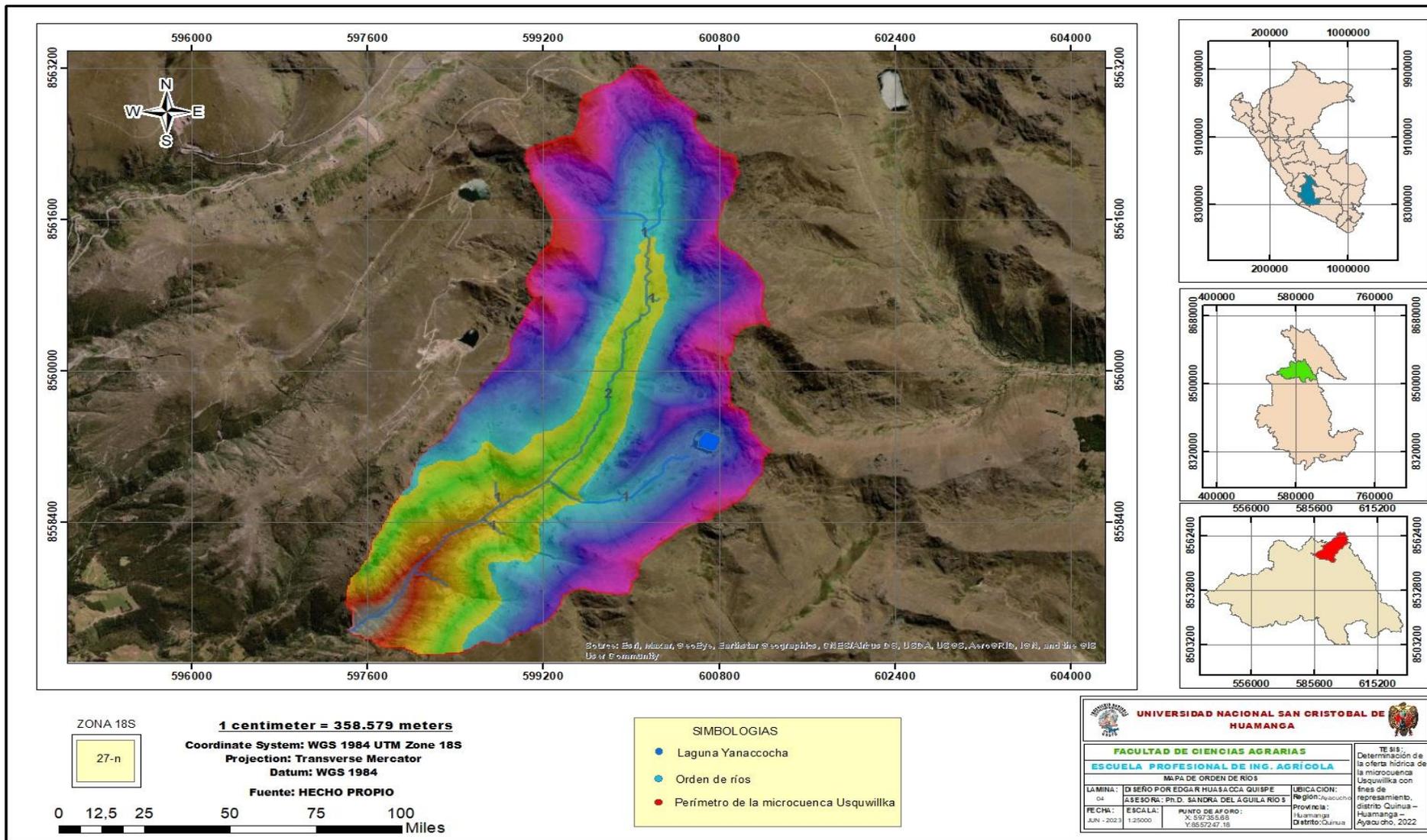
Anexo 6. Plano de ubicación hidrológica de la microcuenca Usquwillka



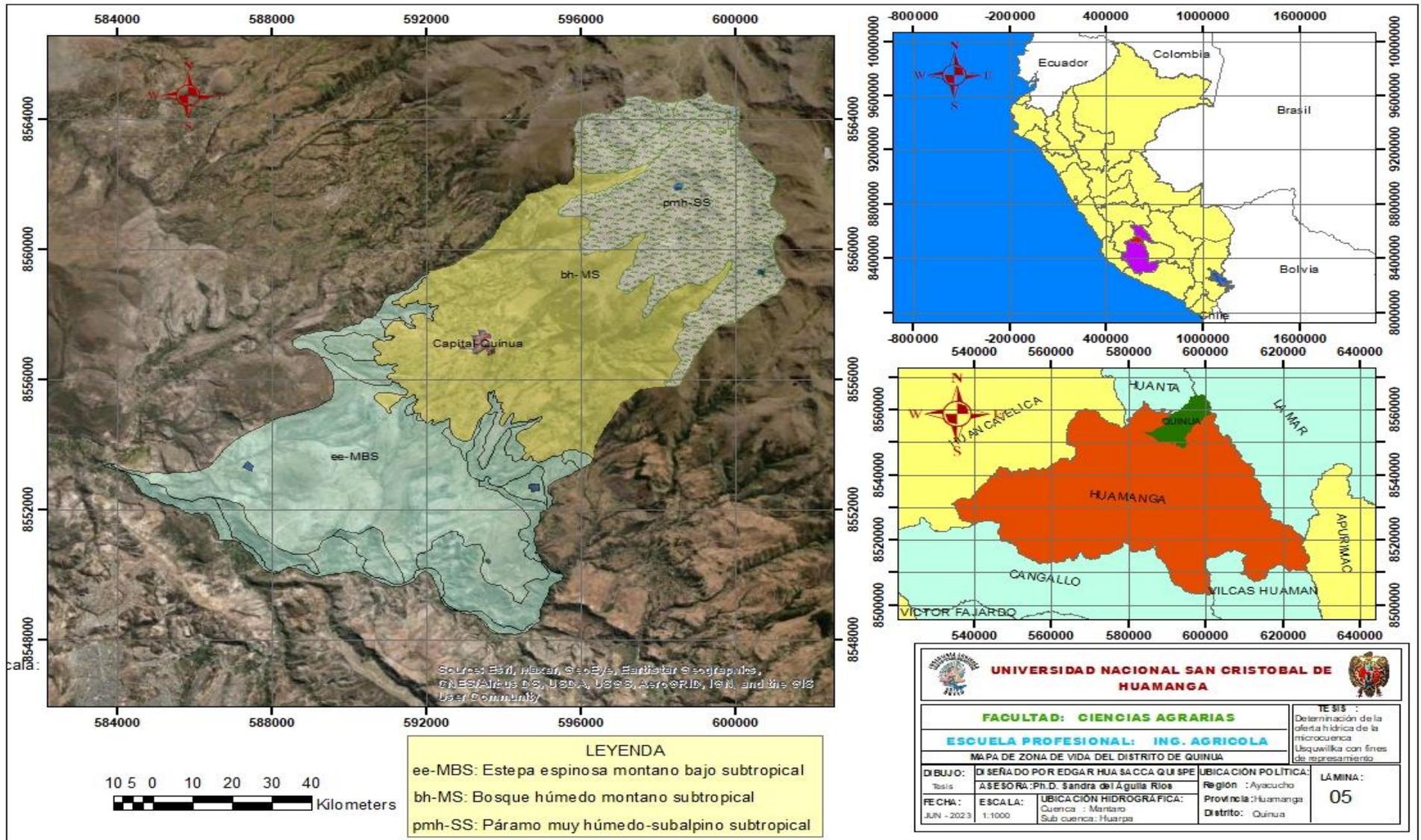
Anexo 7. Mapa de ubicación política



Anexo 8. Mapa de ubicación hidrográfica



Anexo 10. Mapa a partir de modelo digital de elevación



Anexo 11. Mapa de zonas de vida

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS****Bach. EDGAR HUASACCA QUISPE****RD. N° 147-2023-UNSC-FCA-D**

En la ciudad de Ayacucho a los catorce días del mes de junio del año dos mil veintitrés, siendo las dieciocho horas con cinco minutos, en el auditorio de la Facultad de Ciencias Agrarias, se reunieron los miembros del jurado conformado por la Ph.D. Sandra del Águila Ríos como asesora, Ing. Efraín Chuchón Prado como presidente, M.Sc. Juan Charapaqui Anccasi y el Ing. Herbert Núñez Alfaro, bajo la presidencia del señor Decano de la Facultad de Ciencias Agrarias y actuando como secretario docente el Mtro. Ennio Chauca Retamozo para presenciar la sustentación de la Tesis titulada: **Determinación de la oferta hídrica de la microcuenca Usquwillka con fines de represamiento, distrito Quinoa - Huamanga - Ayacucho, 2022** y así obtener el Título Profesional de Ingeniero Agrícola del Bachiller **EDGAR HUASACCA QUISPE**.

El señor Decano, previa verificación de los documentos exigidos solicitó al bachiller **EDGAR HUASACCA QUISPE** que proceda con la sustentación y posterior defensa de la tesis en un periodo de 45 minutos de acuerdo al reglamento de grados y títulos vigente.

Terminado la exposición, los miembros del Jurado, formularon sus preguntas, aclaraciones y/o observaciones correspondientes. Luego se invitó al sustentante y asistentes abandonar temporalmente el auditorio para la deliberación y calificación por parte de los miembros de la comisión, teniendo el siguiente resultado:

Jurado evaluador	Exposición	Respuestas a las preguntas	Generación de conocimiento	Promedio
Ph.D. Sandra del Águila Ríos	16	15	14	15
Ing. Efraín Chuchón Prado	15	15	14	15
Ing. Herbert Núñez Alfaro	15	15	15	15
M.Sc. Juan Charapaqui Anccasi	15	15	15	15
PROMEDIO GENERAL				15

Acto seguido se invita al sustentante y público en general para dar a conocer el resultado final. Firman el acta.

Ing. Efraín Chuchón Prado
Presidente

Ph.D. Sandra del Águila Ríos
Asesor

Ing. Herbert Núñez Alfaro
Jurado

M.Sc. Juan Charapaqui Anccasi
Jurado

Mtro. Ennio Chauca Retamozo
Secretario Docente



UNSCH

FACULTAD DE CIENCIAS
AGRARIAS

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE TESIS

El presidente de la comisión de docentes instructores responsables de operativizar, verificar, garantizar y controlar la originalidad de los trabajos de tesis de la Facultad de Ciencias Agrarias, deja constancia que el trabajo de tesis titulado;

Determinación de la oferta hídrica de la microcuenca Usquwillka con fines de represamiento, distrito Quinua – Huamanga – Ayacucho, 2022

Autor : Edgar Huasacca Quispe

Asesor : Sandra Del Águila Ríos

Ha sido sometido al análisis del sistema antiplagio TURNITIN concluyendo que presenta un porcentaje de 20 % de similitud.

Por lo que, de acuerdo al porcentaje establecido en el Artículo 13 del Reglamento de originalidad de trabajos de investigación de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, es procedente otorgar la Constancia de Originalidad.

Nota: Se adjunta el resultado con Identificador de la entrega: 2140281753

Ayacucho, 01 de agosto de 2023

UNIVERSIDAD NACIONAL DE
SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA
Facultad de Ciencias Agrarias
Walter A. Mateu Mateo
M. Sc. Walter A. Mateu Mateo
Pres. Comisión Turnitin - FCA

Determinación de la oferta hídrica de la microcuenca Usquwillka con fines de represamiento, distrito Quinua – Huamanga – Ayacucho, 2022

por Edgar Huasacca Quispe

Fecha de entrega: 01-ago-2023 11:40p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2140281753

Nombre del archivo: tesis_edgar_huasacca.pdf (4.66M)

Total de palabras: 22463

Total de caracteres: 104835

Determinación de la oferta hídrica de la microcuenca Usquwillka con fines de represamiento, distrito Quinua – Huamanga – Ayacucho, 2022

INFORME DE ORIGINALIDAD

20%

INDICE DE SIMILITUD

16%

FUENTES DE INTERNET

8%

PUBLICACIONES

20%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	13%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
3	pt.scribd.com Fuente de Internet	1%
4	repositorio.unsch.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	qdoc.tips Fuente de Internet	<1%
6	repositorio.unc.edu.pe Fuente de Internet	<1%
7	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez Trabajo del estudiante	<1%
8	vsip.info	

Fuente de Internet

<1 %

9

repositorio.unp.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

10

upc.aws.openrepository.com

Fuente de Internet

<1 %

11

Submitted to Universidad Nacional Santiago
Antunez de Mayolo

Trabajo del estudiante

<1 %

12

repositorio.ucv.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

13

www.anp.com.uy

Fuente de Internet

<1 %

14

pdfcookie.com

Fuente de Internet

<1 %

15

repositorio.unfv.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

16

repositorio.unj.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

17

Submitted to Universidad Católica de Santa
María

Trabajo del estudiante

<1 %

18

repositorio.lamolina.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

Excluir citas Activo

Excluir coincidencias < 30 words

Excluir bibliografía Activo

**DETERMINACIÓN DE LA OFERTA HÍDRICA DE LA MICROCUENCA
USQUWILLKA CON FINES DE REPRESAMIENTO, DISTRITO QUINUA –
HUAMANGA – AYACUCHO, 2022**

Autor: Huasacca Quispe Edgar

Área de investigación: Hidrología hidráulica, saneamiento, energía y cambio climático.
Riego y drenaje.

Correo electrónico: edgar.huasacca.21@unsch.edu.pe

RESUMEN

El proyecto de investigación “Determinación de la oferta hídrica de la microcuenca Usquwillka con fines de represamiento, distrito Quinua – Huamanga – Ayacucho, 2022” tuvo los siguientes objetivos, determinar los parámetros requeridos para generar caudales medios mensuales, generar caudales para el año promedio con el modelo Lutz Scholz y estimar la disponibilidad hídrica de la microcuenca. Para establecer la oferta hídrica de la microcuenca Usquwillka se recopiló los datos de precipitación de la estación meteorológica “La Quinua” los cuales fueron sometidas a las pruebas estadísticas para determinar la consistencia. Los datos de temperatura y humedad atmosférica fueron recopilados a partir de aplicación “Data Access Viewer” del proyecto POWER de la NASA. Por otro lado, se realizó la delimitación de la microcuenca con el software ArcGIS versión 10.4, obteniendo los resultados de los parámetros geomorfológicos relevantes para la presente investigación como el área, altitud media, pendiente media de la microcuenca y pendiente del cauce principal; los cuales fueron la base para la aplicación del modelo determinístico - estocástico de Lutz Scholz. Para obtener el resultado de caudales generados y caudales extendidos se empleó una plantilla de Excel con el fin de facilitar el proceso establecido en el modelo Lutz Scholz. De los promedios obtenidos en el cálculo de caudales extendidos se deja fluir el 25 % como caudal ecológico, el resto, es el caudal disponible denominado la oferta hídrica. Finalmente, el caudal acumulado en el punto de aforo en los meses de lluvia (enero, febrero, marzo y abril) es de 1.86 Hm³ es decir 1859925 m³ de agua disponible para plantear proyecto de embalsamiento que tanto anhela la población.

Palabras claves: Caudal medio disponible, embalsamiento, Lutz Scholz, microcuenca.

INTRODUCCIÓN

Vivimos en una situación aceleradamente cambiante, el crecimiento demográfico de la población va en ascenso generando el desequilibrio en la seguridad alimentaria, este fenómeno trae nuevas necesidades de sobrevivencia como: necesidades de ampliar la frontera agrícola, necesidades de acceso a recursos hídricos, necesidades de nuevas oportunidades, etc. Por otro lado, el cambio climático genera desequilibrio en el comportamiento del clima con consecuencias lamentables como sequías e inundaciones (Martínez 2013).

Quinua como distrito es un valle seco limitado de recursos hídricos, sus microcuencas que ofrece la oferta hídrica se activan solo en los meses de precipitación generando caudales considerables en sus cauces, esos caudales se desperdician cada año por falta de criterio de proyectos, por estas razones la importancia del estudio de la oferta hídrica radica en determinar el caudal medio disponible en el punto de aforo de la microcuenca Usquwillka. Para solucionar el problema de escasez de agua se plantea embalsar el caudal disponible de la oferta hídrica de los meses de precipitación, para luego satisfacer la demanda agrícola de un sector de la zona. El objetivo general de la investigación fue determinar la oferta hídrica con fines de represamiento en la microcuenca Usquwillka y los objetivos específicos fueron: Determinar los parámetros requeridos para generar caudales medios mensuales, generar caudales para el año promedio por el modelo Lutz Scholz y estimar la disponibilidad hídrica de la microcuenca Usquwillka.

METODOLOGIA

El cálculo de los parámetros geomorfológicos de la microcuenca Usquwillka tales como: el área, altitud media, pendiente media y todos los parámetros necesarios para la generación de caudal, fueron desarrollados con el software ArcGIS versión 10.4, en la tabla 2.1 se muestra los parámetros calculados y en la figura 2.1 indica el orden de procedimiento de cálculo de los parámetros requeridos para el modelo Lutz Scholz.

Tabla 2. 1

Parámetros geomorfológicos de la cuenca

Parámetros	Símbolo	Fórmula	Unidad
Área	A	SIG	Km ²
perímetro	P	SIG	km
Altitud máxima	Z máx.	SIG	msnm
Altitud mínima	Z mín.	SIG	msnm

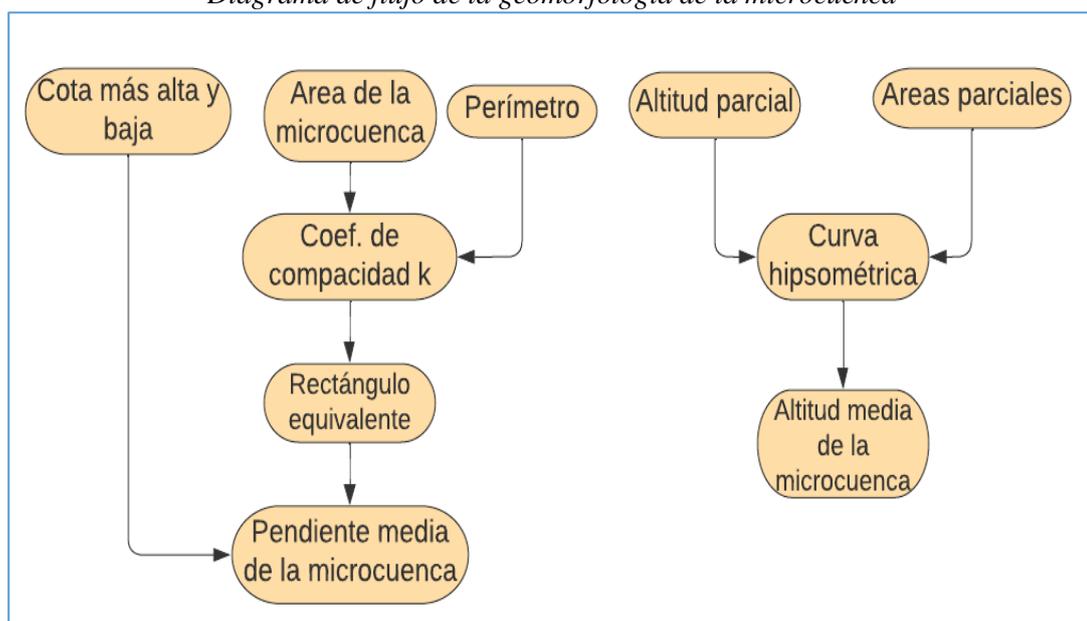
Altitud media	Hm		msnm
Coefficiente de compacidad	K	$K=0.28*\frac{P}{\sqrt{A}}$	
Pendiente de cauce principal	S	$S = \left[\frac{n}{\frac{1}{\sqrt{S_1}} + \frac{1}{\sqrt{S_2}} + \dots + \frac{1}{\sqrt{S_n}}} \right]^2$	%
Pendiente media de la cuenca	s	$S = \frac{H}{L}$	%

Nota: fórmulas para la obtención de parámetros geomorfológicos en una cuenta.

Fuente: Del Águila y Mejía (2021)

Figura 2. 1

Diagrama de flujo de la geomorfología de la microcuenca



Nota: Orden de procedimiento de cálculos de parámetros geomorfológicos necesarios para el modelo Lutz Scholz.

Precipitación media de la microcuenca

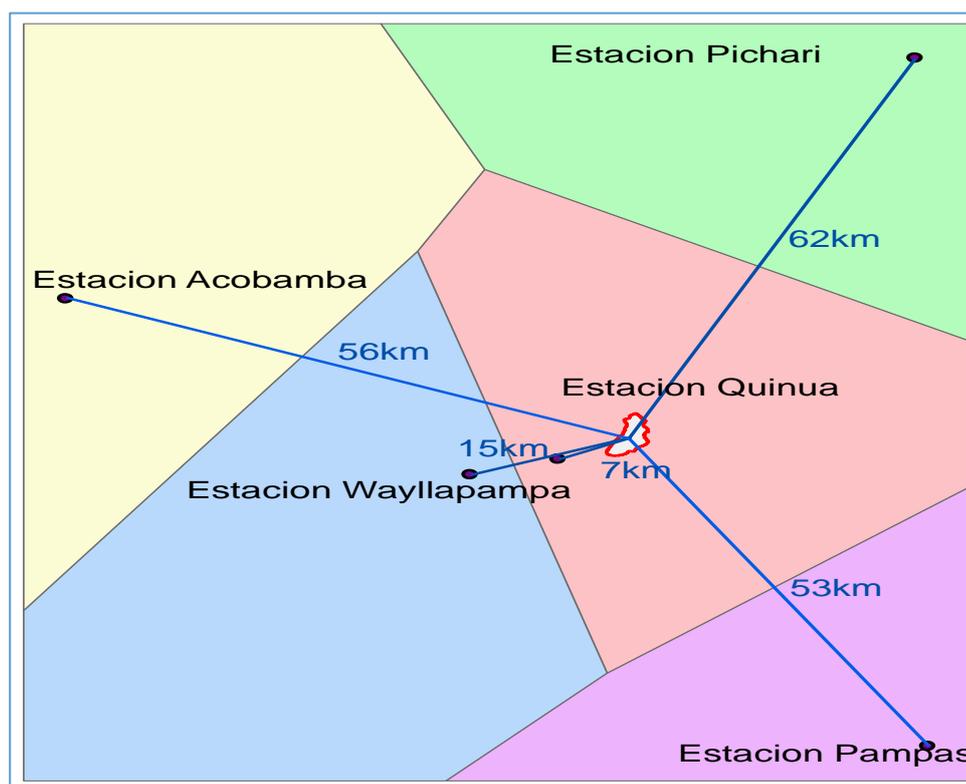
Para fijar la precipitación media de la microcuenca Usquwillka, sustento con la investigación de Linsley et al, (1967), en su libro hidrología para ingenieros, manifiesta que un pluviómetro instalado en un punto representa desde 26 km² hasta 260 km². Mientras el manual de requisitos generales de estaciones meteorológicas menciona que el área de influencia es de 100 km².

Polígono de Thiessen

El polígono Thiessen, es uno de los tres métodos que determina la precipitación media de la microcuenca, para la presente investigación se optó el método de análisis de estaciones próximas de la microcuenca Usquhuillka. La estación Quinua es la estación más cercana a la microcuenca de estudio, que tiene una distancia de 7 Km hasta el centro de la microcuenca, lo cual nos indica que las precipitaciones ocurridas alrededor de la estación meteorológica “La Quinua” engloba toda el área de la microcuenca Usquhuillka, por lo tanto, para este trabajo de investigación se descargó las precipitaciones históricas de la estación Quinua. Si la microcuenca de estudio fuese fuera del área de influencia era necesario generar la estación ficticia.

Figura 2. 2

Polígono de Thiessen



Nota: Polígono que determina la estación de trabajo para la descarga de datos de precipitación media.

Recopilación de datos meteorológicos

ANA (2010) mencionó que el Sistema Nacional de Información del Agua - [SNIRH](#) es una red tecnológica e institucional integrada que facilita la sistematización, compartición, difusión, uso e intercambio de información necesaria para la gestión del agua. numeral 52.1 del artículo 52 del reglamento de Ley de Recursos Hídricos.

Los datos de las precipitaciones históricas seleccionadas, fueron descargadas desde el base de datos de dicha institución, la estación meteorológica usada se observa en la figura 2.3.

Recientemente, [ANA lanza la plataforma ANDREA](#), una plataforma que permite el análisis y modelación de la información relacionada con los recursos hídricos en las cuencas del país. En ella se resuelve los problemas de inconsistencia de datos, completación de datos y análisis estadístico para realizar estudios hidrológicos de disponibilidad hídrica.

Figura 2. 3

Estación meteorológica la Quinua

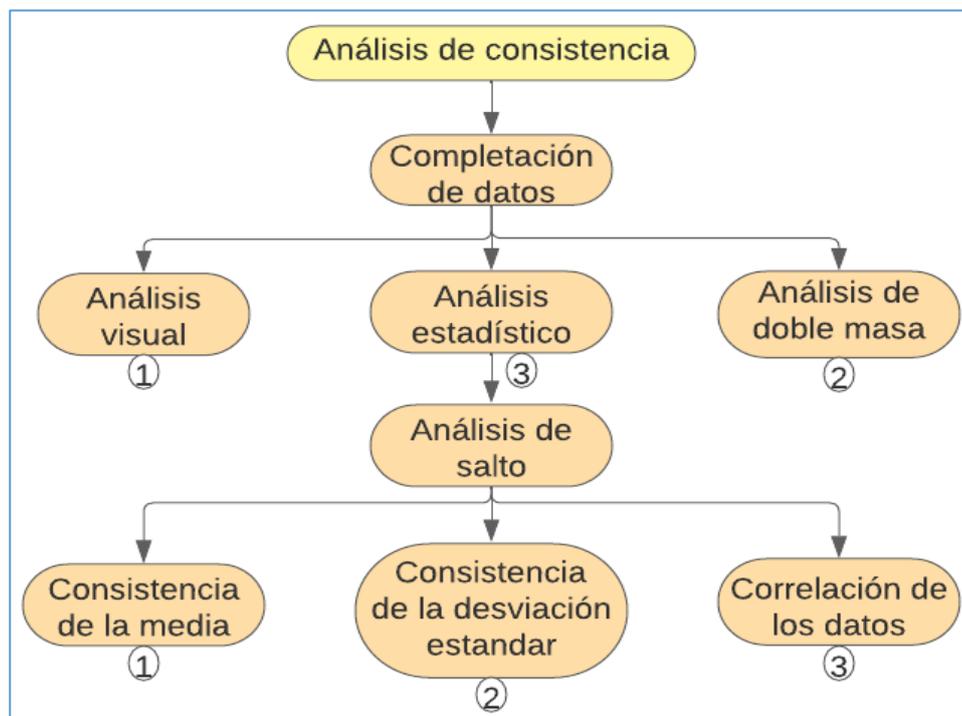
Estación La Quinua (Codigo: 000663) Precipitación Acumulada	
Operador:	Servicio Nacional Meteorología E Hidrología
WGS 84 Geográficas	Latitud: -13.055278 / Longitud: -74.141389 / Altitud(msnm): 3260
Tipo:	Convencional / Climática
Ambito Político	Dpto: Ayacucho / Prov: Huamanga / Dist.: Quinua
Ambito Administrativo	AAA: Mantaro / ALA: Ayacucho
Unidad Hidrográfica:	Cuenca Mantaro

Nota: Pantalla de acceso al registro de datos de la ANA.

Fuente: [SNIRH](#)

Análisis de consistencia

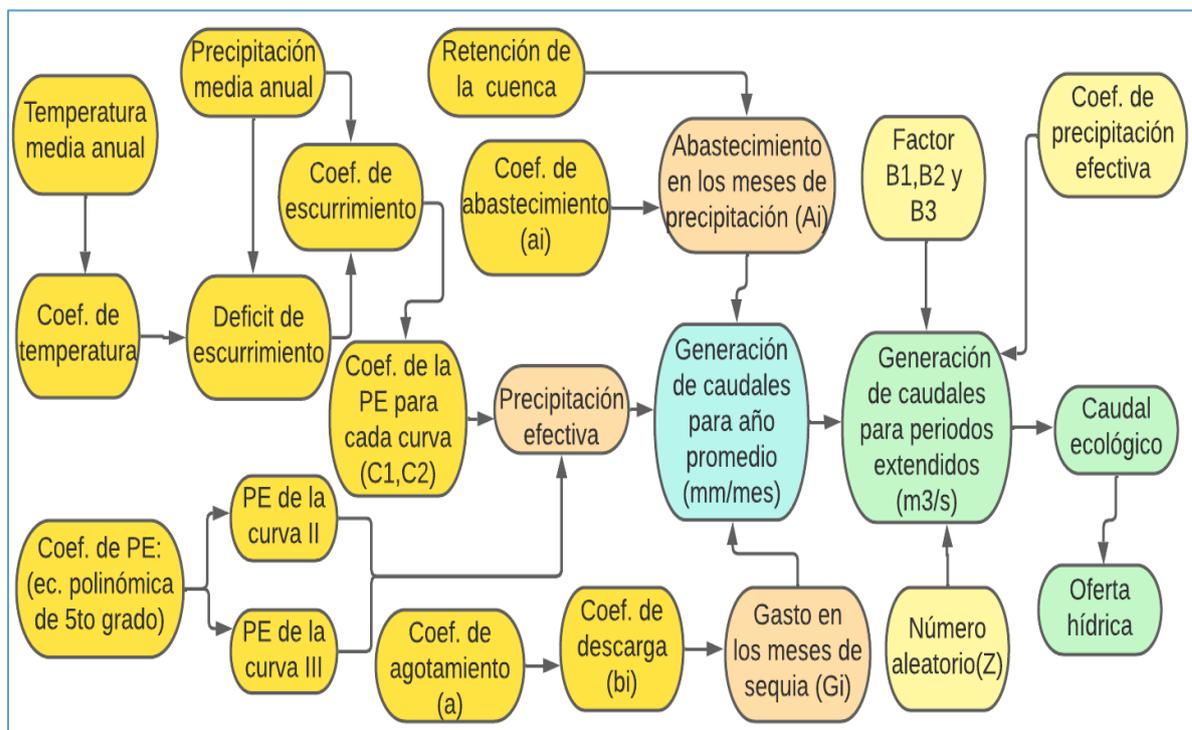
La información obtenida fue sometida a análisis de consistencia, mediante el método estadístico que permite identificar, evaluar y eliminar los posibles errores sistemáticos que han podido ocurrir, sea por causa natural u ocasionados por la intervención de la mano del hombre. La figura 2.4 indica el procedimiento de análisis.

Figura 2. 4*Flujograma de análisis de consistencia*

Nota: procedimiento secuencial de análisis de consistencia.

Generación de caudales medios mensuales por el modelo determinístico – Estocástico de Lutz Scholz

La metodología empleada para el cálculo de caudal medio de la microcuenca Usquwillka es el modelo determinístico-estocástico de Lutz Scholz. La figura 2.5 resume el procedimiento sistemático a seguir para encontrar la oferta hídrica de la microcuenca Usquwillka.

Figura 2. 5*Diagrama de flujo metodológico*

Nota: Algoritmo de generación de caudales para el año promedio, para periodos extendidos y la oferta hídrica de la microcuenca Usquwillka.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Parámetros geomorfológicos de la microcuenca Usquwillka

A través de software ArcGIS versión 10.4 y el uso de hojas de cálculo de Excel obtenemos los siguientes parámetros geomorfológicos de la microcuenca:

Tabla 3. 1*Parámetros obtenidos de la microcuenca Usquwillka*

N°	Parámetros de la microcuenca Usquwillka	Resultados	Unidad
1	Área total de la microcuenca	13	Km ²
2	Perímetro de la microcuenca	17,73	Km
3	Altitud media de la microcuenca	4220.00	msnm
4	Z centroide	4181,235	msnm
5	Z máxima	4464,940	msnm
6	Z mínima	3633,916	msnm
7	Coeficiente de compacidad (K)	1.3980	

N°	Parámetros de la microcuenca Usquwillka	Resultados	Unidad
10	Pendiente media de la microcuenca	12	%
11	Pendiente del cauce principal	17	%

Nota: Resultados de parámetros geomorfológicos necesarios para modelo Lutz Scholz.

Análisis estadístico

Resultados de la prueba “t” calculado

Tabla 3. 2

Resultados de la prueba T de Student

Parámetros	Fórmula	Resultado
Desviación estándar ponderada	$S_p = \left[\frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \right]^{\frac{1}{2}}$	117.072
Desviación de la diferencia de los promedios	$S_{\bar{a}} = S_p \left[\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right]^{\frac{1}{2}}$	40.394
Cálculo del t, calculado (t_c)	$t_c = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{S_{\bar{a}}}$	0.663
Cálculo del valor crítico de T, tabular t_t	Se obtiene de la tabla T de Student o mediante las opciones de Excel	2.026
Grados de libertad	$GL = GL_1 + GL_2$	33
Conclusión		
Tc=0.663	Tt=2.026	si $ t_c \leq t_t$ (95%) $\rightarrow \bar{x}_1 = \bar{x}_2$ no se corrige
Por lo tanto: 0.663 \leq 2.026		si $ t_c > t_t$ (95%) $\rightarrow \bar{x}_1 \neq \bar{x}_2$ corregir
		No requiere corrección

Nota: Resultados de análisis estadístico mediante la hipótesis de la prueba de T de Student.

Resultados de la prueba de “F” de Fisher

Tabla 3. 3

Prueba de F de Fisher

Parámetros	Fórmula	Resultado
Cálculo de F calculado (F_c)	$F_c = \frac{S_1^2(x)}{S_2^2(x)}, \text{ si } S_1^2(x) > S_2^2(x)$	1.252

Parámetros	Fórmula	Resultado
Cálculo del valor crítico de F, tabular f_t	Se obtiene de la tabla de F de Fisher o mediante las opciones de excel	2.026
Grados de libertad 1	$GL_1 = n_1 - 1$	20
Grados de libertad 2	$GL_2 = n_2 - 1$	13
Conclusión		
$F_c = 1.252$	$F_t = 2.026$	si $ F_c \leq F_t (95\%) \rightarrow S_1(x) = S_2(x)$ no se corrige
Por lo tanto: $1.252 \leq 2.026$		si $ F_c > F_t (95\%) \rightarrow S_1(x) \neq S_2(x)$ corregir
		No requiere corrección

Nota: Resultados de análisis estadístico mediante la hipótesis de la prueba de F de Fisher.

Resumen de generación de caudales medios mensuales para el año promedio

El modelo determinístico-estocástico de Lutz Scholz, es un modelo que requiere varios coeficientes, que se generan a partir de los parámetros de precipitación, temperatura, humedad relativa, pendiente de la micro cuenca y pendiente del cauce principal. El balance hídrico de la microcuenca Usquwillka es el equilibrio entre la escorrentía superficial, gasto en los meses de estiaje y abastecimiento en los meses de precipitación. La tabla 3.4 resume el proceso de generación de caudales por el modelo determinístico-estocástico de Lutz Scholz; los procesos que se observan en la tabla, aparentemente son simples, pero en realidad detrás de cada resultado alberga ciertos coeficientes desarrolladas cuidadosamente para generar los caudales mensuales.

Resultado de caudales generados para periodos extendidos en (m^3/s)

Las unidades de los resultados previos de generación de caudales para periodos extendidos son en mm/mes, para convertirlas en m^3/s , se aplicó la ecuación 51 de la conversión, el resultado se observa en la tabla 3.5.

$$Q_i = 0.0115741 \times \frac{CM_i \times A}{t} \dots\dots\dots (51)$$

Tabla 3. 4*Caudales medios mensuales generados para el año promedio*

MES	N° días del mes	Pp total mm/mes	PRECIPITACION MENSUAL					CONTRIBUCION DE LA RETENCION				CAUDALES GENERADOS	
			PE mm/mes	II mm/mes	PE mm/mes	III mm/mes	PE mm/mes	Gasto		Abastecimiento		Cm _i mm/mes	Q _i m ³ /s
								bi	Gi (mm/mes)	ai	Ai (mm/mes)		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
Enero	30	130.167	30.315	70.467	56.956			0.300	11.596	45.359	0.227		
Febrero	28	140.616	35.142	80.916	65.513			0.200	7.731	57.782	0.311		
Marzo	31	125.486	28.193	91.313	70.073			0.050	1.933	68.140	0.331		
Abril	30	42.801	4.181	10.128	8.126	0.494	13.246		0.000	21.372	0.107		
Mayo	31	21.025	2.143	4.784	3.895	0.232	6.237		0.000	10.132	0.049		
Junio	30	7.678	0.879	1.988	1.615	0.120	3.227		0.000	4.842	0.024		
Julio	31	12.238	1.354	3.061	2.486	0.054	1.450		0.000	3.936	0.019		
Agosto	31	14.274	1.548	3.486	2.834	0.026	0.699		0.000	3.533	0.017		
Septiembre	30	37.843	3.645	8.550	6.900	0.014	0.388		0.000	7.288	0.037		
Octubre	31	51.166	5.256	13.531	10.746	0.006	0.162	0.100	3.865	7.043	0.034		
Noviembre	30	75.967	10.143	30.362	23.558	0.494	13.246	0.000	0.000	36.804	0.185		
Diciembre	31	102.508	18.599	59.727	45.887			0.350	13.529	32.358	0.157		
TOTAL		761.767	141.397	378.311	298.589	1.440	38.654	1.000	38.654	298.589	1.498		

Nota: Resultados de generación de caudales mensuales por el modelo Lutz Scholz.

Tabla 3. 5*Caudales medios mensuales en (m³/s)*

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Cmi	45.359	57.782	68.140	21.372	10.132	4.842	3.936	3.533	7.288	7.043	36.804	32.358
1981	0.238	0.337	0.358	0.108	0.045	0.042	0.012	0.033	0.074	0.138	0.180	0.217
1982	0.265	0.424	0.235	0.086	0.035	0.016	0.020	0.034	0.058	0.059	0.189	0.142
1983	0.246	0.125	0.203	0.076	0.038	0.022	0.021	0.026	0.029	0.063	0.130	0.224
1984	0.259	0.436	0.493	0.149	0.061	0.029	0.020	0.006	0.100	0.007	0.108	0.153
1985	0.311	0.336	0.425	0.116	0.034	0.028	0.037	0.017	0.036	0.060	0.140	0.205
1986	0.245	0.229	0.408	0.106	0.036	0.013	0.042	0.035	0.051	0.062	0.135	0.337
1987	0.295	0.386	0.300	0.091	0.051	0.017	0.004	0.002	0.056	0.066	0.083	0.081
1988	0.260	0.328	0.270	0.087	0.072	0.045	0.027	0.017	0.033	0.035	0.066	0.241
1989	0.258	0.196	0.269	0.073	0.036	0.032	0.022	0.032	0.056	0.050	0.075	0.138
1990	0.248	0.141	0.116	0.062	0.033	0.059	0.028	0.038	0.050	0.086	0.174	0.237
1991	0.256	0.156	0.202	0.081	0.051	0.046	0.032	0.022	0.071	0.054	0.063	0.091
1992	0.181	0.218	0.202	0.070	0.022	0.045	0.023	0.049	0.023	0.056	0.077	0.080
1993	0.243	0.396	0.217	0.085	0.043	0.024	0.027	0.037	0.079	0.060	0.087	0.275
1994	0.250	0.306	0.419	0.127	0.046	0.024	0.019	0.016	0.040	0.043	0.090	0.216
1995	0.375	0.337	0.352	0.098	0.044	0.013	0.019	0.019	0.035	0.068	0.117	0.117
1996	0.184	0.242	0.296	0.101	0.030	0.018	0.020	0.022	0.022	0.054	0.087	0.165
1997	0.325	0.344	0.317	0.112	0.040	0.021	0.006	0.037	0.066	0.050	0.112	0.199
1998	0.218	0.366	0.342	0.097	0.022	0.017	0.035	0.023	0.023	0.066	0.089	0.146
1999	0.228	0.323	0.336	0.094	0.028	0.015	0.035	0.029	0.060	0.036	0.098	0.228
2000	0.284	0.423	0.328	0.097	0.038	0.027	0.059	0.027	0.040	0.066	0.030	0.195
2001	0.406	0.301	0.375	0.111	0.052	0.022	0.051	0.047	0.048	0.071	0.129	0.221
2002	0.206	0.370	0.263	0.087	0.049	0.014	0.043	0.048	0.070	0.067	0.146	0.323
2003	0.153	0.374	0.468	0.162	0.060	0.033	0.027	0.020	0.057	0.024	0.054	0.200
2004	0.162	0.234	0.234	0.061	0.027	0.024	0.025	0.034	0.049	0.056	0.095	0.294
2005	0.172	0.273	0.253	0.102	0.047	0.020	0.026	0.025	0.020	0.051	0.076	0.248
2006	0.230	0.277	0.347	0.111	0.024	0.022	0.014	0.024	0.005	0.042	0.137	0.175
2007	0.274	0.245	0.429	0.127	0.042	0.024	0.037	0.023	0.043	0.061	0.108	0.213

ARTÍCULO CIENTÍFICO

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2008	0.220	0.328	0.261	0.087	0.047	0.029	0.025	0.033	0.047	0.057	0.059	0.129
2009	0.273	0.387	0.199	0.097	0.049	0.015	0.020	0.027	0.053	0.071	0.150	0.203
2010	0.260	0.265	0.327	0.073	0.030	0.029	0.035	0.014	0.028	0.070	0.231	0.143
2011	0.294	0.403	0.347	0.079	0.040	0.028	0.012	0.042	0.032	0.050	0.080	0.067
2012	0.299	0.215	0.193	0.062	0.051	0.025	0.068	0.033	0.058	0.067	0.044	0.046
2013	0.143	0.292	0.368	0.112	0.052	0.016	0.030	0.024	0.016	0.023	0.090	0.244
2014	0.258	0.438	0.336	0.083	0.026	0.019	0.029	0.029	0.058	0.060	0.082	0.176
2015	0.303	0.301	0.241	0.076	0.035	0.044	0.041	0.017	0.064	0.084	0.234	0.203
2016	0.161	0.376	0.201	0.064	0.047	0.007	0.028	0.020	0.033	0.068	0.093	0.187
2017	0.268	0.448	0.290	0.119	0.060	0.036	0.025	0.025	0.070	0.054	0.076	0.216
2018	0.296	0.284	0.246	0.095	0.043	0.039	0.034	0.040	0.031	0.090	0.121	0.102
2019	0.277	0.393	0.441	0.127	0.048	0.026	0.010	0.044	0.008	0.039	0.112	0.394
prom.	0.252	0.314	0.305	0.096	0.042	0.026	0.028	0.028	0.046	0.059	0.109	0.191

Nota: Resultados de caudales extendidos convertidos en m³/s

Volumen de agua disponible en los meses de precipitación

La tabla 3.6 muestra caudales aprovechables de los meses de precipitación, la sumatoria de estas es el volumen total disponible para plantear el proyecto de embalsamiento.

Tabla 3.6

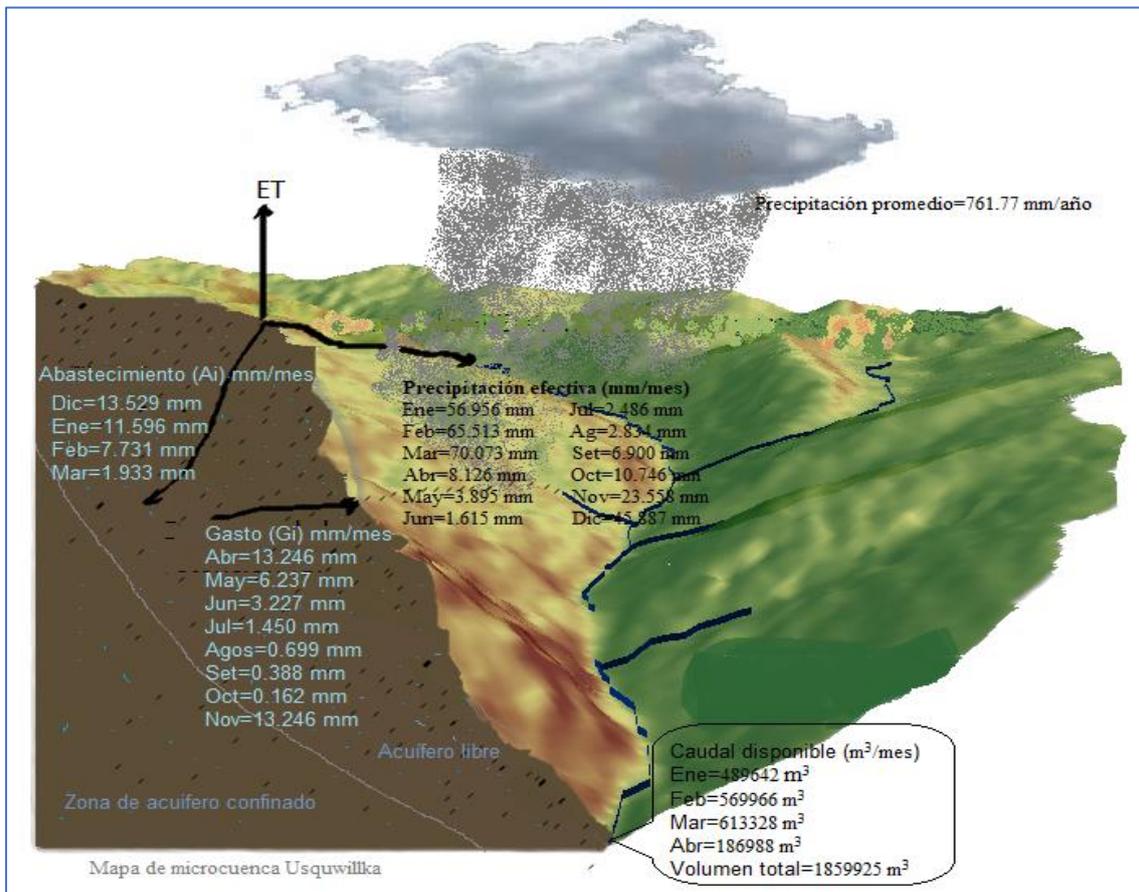
Cantidad de agua disponible en los meses de precipitación

Meses	Días	Q (m ³ /s)	Q disponible (m ³ /mes)
Enero	30	0.189	489642
Febrero	28	0.236	569966
Marzo	31	0.229	613328
Abril	30	0.072	186988
Total			1859925 m ³

Nota: Resultados de caudales generados disponibles en los meses de precipitación.

Figura 3. 1

Representación gráfica de los resultados obtenidos de la microcuenca Usquwillka



Nota: Representación gráfica de balance hídrico de la microcuenca Usquwillka.

CONCLUSIONES

Luego de una investigación exhaustiva sobre la generación de caudales por el modelo Lutz Scholz, se llegó a las siguientes conclusiones concordantes con los objetivos mencionados.

1.- Con la ayuda de la versión 10.4 del software ArcGIS, se pudo desarrollar parámetros geomorfológicos para la microcuenca Usquwillka, tales como: el área de la micro cuenca igual 13 kilómetros cuadrados, la altitud promedio igual 4220 metros sobre el nivel del mar, la pendiente promedio de la micro cuenca igual 12%, así como la pendiente del cauce principal igual 17%. Estos parámetros fueron la base para los cálculos de coeficiente de agotamiento y retención de la cuenca.

2.- En el proceso de generación de caudales para el año promedio, se obtuvo 45.359 mm para el mes de enero, 57.782 mm para febrero, 68.140 mm para marzo, 21.372 mm para abril, 10.132 para mayo, 4.842 mm para junio, 3.936 mm para julio, 3.533 mm para agosto, 7.288 mm para setiembre, 7.043 mm para octubre, 36.804 mm para noviembre y 32.358 mm para diciembre. Estos datos fueron usados en el modelo matemático para la extensión de generación de caudales para los 38 años planteados, los resultados transformados en m^3/s fueron los siguientes: 0.252 m^3/s para enero, 0.314 m^3/s para febrero, 0.305 m^3/s para marzo, 0.096 m^3/s para abril, 0.042 m^3/s mayo, 0.026 m^3/s para junio, 0.028 m^3/s para julio, 0.028 m^3/s para agosto, 0.046 m^3/s para setiembre, 0.059 m^3/s para octubre, 0.109 m^3/s para noviembre y 0.191 m^3/s para mes de diciembre.

3.- De los resultados mensuales obtenidos en el proceso de la extensión, se dejó fluir el 25 % de caudal de cada mes, el 75 % restante es el caudal mensual aprovechable llamado como oferta hídrica de la microcuenca Usquwillka. Los caudales disponibles de los meses de precipitación (enero, febrero, marzo y abril) suman un total de 1.86 hm³ (1859925 m³) de agua; los cuales fueron de mayor importancia para el futuro embalsamiento que tanto anhela la población.

REFERENCIAS

ANA (2010). *Observatorio del Agua*. SNIRH. Perú.

<https://snirh.ana.gob.pe/observatorioSNIRH/>

Del Águila, S. (2021). Modelamiento de procesos hidrológicos en cuencas de la sierra central del Perú. Tesis para optar el grado de doctor. Universidad Nacional Agraria la Molina. Dirección: repositorio.

<http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/4659>

Linsley, R. y Hohler, M. (1977). *Hidrología para Ingenieros*. Editorial Mc Graw-Hill.

Martínez, M. (2013). *Tecnologías para el uso sostenible del agua*. Global wáter partnership. Honduras.

Scholz, L. (1980). *Generación de Caudales Mensuales en la Sierra del Perú. Plan Meris II. Cuzco-Perú*. Manual del modelo hidrológico.