

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



Una Institución Adventista

Determinación de la disponibilidad hídrica superficial mediante balance hídrico en la Cuenca del Río Cumbaza-San Martín, 2016.

Por:

Jhan Pool Elías Díaz Bustos

Asesora:

Ing. Jessica Quipas Pezo

Tarapoto, setiembre de 2017

Área temática: Ingeniería Ambiental y Geológica

Ficha catalográfica elaborada por el Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación – CRAI – de la UPeU - FT

Díaz Bustos, Jhan Pool Elías

Determinación de la disponibilidad hídrica superficial mediante balance hídrico en la Cuenca del Río Cumbaza-San Martín, 2016. / Autor: Jhan Pool Elías Díaz Bustos.

Asesora: Ing. Jessica Quipas Pezo. -- Tarapoto, 2017.

112 hojas: anexos, tablas, figuras

Tesis (Licenciatura)--Universidad Peruana Unión - Filial Tarapoto. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. EP. Ingeniería Ambiental, 2017.

Incluye referencias y resumen.

Campo del conocimiento: Ingeniería Ambiental

1. Cuenca.
2. Disponibilidad.
3. Balance Hídrico.
4. Precipitación.
5. Oferta.
6. Demanda.
7. Superávit.

**DECLARACIÓN JURADA
DE AUTORÍA DEL INFORME DE TESIS**

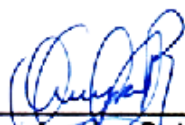
Ing. Jessica Quipas Pezo, asesora de investigación de la Facultad de Ingeniería y
Arquitectura de la Universidad Peruana Unión Filial Tarapoto.

DECLARO:

Que el presente informe de investigación titulado: "DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA SUPERFICIAL MEDIANTE BALANCE HÍDRICO EN LA CUENCA DEL RÍO CUMBAZA-SAN MARTÍN, 2016" constituye la memoria que presenta el Bachiller Jhan Pool Elías Díaz Bustos para aspirar al título de Profesional de Licenciatura, cuya tesis ha sido realizado en la Universidad Peruana Unión Filial Tarapoto, bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe donde entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente constancia en Tarapoto, a los 23 días del mes de noviembre del año 2017.



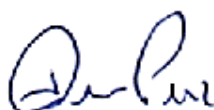
Ing. Jessica Quipas Pezo

Determinación de la disponibilidad hídrica superficial mediante balance
hídrico en la Cuenca del Río Cumbaza – San Martín, 2016.

TESIS

Presentada para optar el título Profesional de Licenciado en Ingeniería
Ambiental.

JURADO CALIFICADOR



Ing. Jackson Edgardo Pérez Carpio
Presidente



Ing. Carmelino Almestar Villegas
Secretario



Ing. Henry Carbajal Mogollón
Vocal



Ing. Ivone Vásquez Briones
Vocal



Ing. Jessica Quijas Pezo
Asesor

Tarapoto, 21 de setiembre de 2017

Dedicatoria

Dedico esta tesis a mi madre, por ser la persona que siempre estuvo ahí para apoyarme y aconsejarme para andar por el camino correcto.

Agradecimiento

Agradezco en primer lugar a Dios por la vida, y las maravillosas personas que él puso en mi camino, para lograr el desarrollo de esta tesis y por haberme permitido terminar una etapa difícil, que pocos suelen realizar y terminar.

De manera especial a mi madre por su apoyo incondicional, a mi asesora, por dedicarme su tiempo para orientarme para el desarrollo de esta tesis.

Índice

Índice	vii
Índice de Tablas	xi
Índice de Figuras	xii
Índice de Anexos	xiii
Lista de Acrónimos	xiv
Resumen	xvi
Abstract	xvii
CAPÍTULO I	18
El Problema de Investigación	18
1.1. Descripción de la situación problemática	18
1.2. Formulación del problema	20
1.3. Objetivos de la investigación	20
1.3.1. Objetivo general	20
1.3.2. Objetivos específicos	20
1.4. Justificación	20
CAPÍTULO II	22
Revisión de la Literatura	22
2.1. Antecedentes de la investigación	22
2.2. Bases teóricas	25
2.2.1. Disponibilidad hídrica superficial	25
2.2.2. Balance hídrico	25
2.2.2.1. Aplicaciones del balance hídrico	25
2.2.2.2. Estimación de balance hídrico	25
2.2.3. Oferta hídrica	26
2.2.4. Demanda hídrica	27
2.2.4.1. Demanda hídrica Poblacional	27
2.2.4.2. Demanda hídrica productiva	27
2.2.5. Precipitación	27

2.2.5.1.	Precipitación Orográfica.....	28
2.2.5.2.	Precipitación Convectiva.	28
2.2.5.3.	Precipitación Frontal o Ciclónica.....	29
2.2.6.	Temperatura.	29
2.2.7.	Caudal.....	30
2.2.8.	Hidrograma.	30
2.2.9.	Evapotranspiración.....	31
2.2.10.	Cuenca Hidrográfica.....	31
2.2.10.1.	Características morfométricas de una cuenca.....	32
2.2.10.1.1.	Divisorias de aguas o Parteaguas.....	32
2.2.10.1.2.	Superficie o Área.....	33
2.2.10.1.3.	Perímetro.....	33
2.2.10.1.4.	Forma de la Cuenca.....	34
2.2.10.1.5.	Pendiente media de la cuenca.....	37
2.2.10.1.6.	Características de la red de drenaje.....	38
2.2.10.1.7.	Número de orden de un cauce.....	39
2.2.11.	Tratamientos de datos hidrometeorológicos.....	40
2.2.11.1.	Análisis de consistencia.....	40
2.2.11.1.1.	Análisis gráficos.....	41
2.2.11.1.2.	Análisis de doble masa acumulada.....	42
2.2.11.1.3.	Análisis estadísticos de saltos.....	43
2.2.11.2.	Complemento y extensión de datos.....	43
2.2.11.2.1.	Análisis de regresión lineal simple.....	44
2.2.11.2.2.	Promedios vecinales.....	44
2.2.11.2.3.	Razones promedio.....	45
2.2.11.2.4.	Razones de coeficientes de correlación.....	45
2.2.11.2.5.	Análisis de regresión múltiple.....	45
2.2.12.	Sistema de Información Geográfica (SIG).....	46
2.2.12.1.	Isoyetas.....	46

2.2.13.	Lutz Scholz	47
2.3.	Definición de términos	48
CAPÍTULO III.....		50
Materiales y Métodos		50
3.1.	Diseño de investigación	50
3.1.1.	Enfoque.....	50
3.1.2.	Diseño.....	50
3.2.	Población y muestra	50
3.3.	Descripción general de la cuenca.....	51
3.3.1.	Ubicación y delimitación del área de estudio.....	51
3.4.	Materiales.....	52
3.4.1.	Información cartográfica.....	52
3.4.2.	Información hidrometeorológica.	52
3.4.3.	Información de los demandantes.	54
3.4.4.	Equipos y programas de cómputo.	54
3.4.5.	Materiales de campo.....	54
3.5.	Metodología	54
3.5.1.	Determinación de las características morfométricas de la cuenca del río Cumbaza.	54
3.5.1.1.	Caracterización morfométricas de la cuenca.....	54
3.5.1.1.1.	Área de la cuenca.....	55
3.5.1.1.2.	Perímetro de la cuenca.....	55
3.5.1.1.3.	Ancho de la cuenca.	55
3.5.1.1.4.	Longitud de la cuenca.....	55
3.5.1.1.5.	Cotas.....	55
3.5.1.1.6.	Forma de la cuenca.....	56
3.5.1.1.7.	Altitud (media, más frecuente).....	57
3.5.1.1.8.	Pendiente promedio de la cuenca.....	57
3.5.1.1.9.	Características de la red hídrica.	57
3.5.2.	Metodología para determinar la oferta hídrica.	58

3.5.2.1.	Análisis y tratamiento de la información meteorológica e hidrométrica.....	58
3.5.2.1.1.	Complemento de datos faltantes.....	59
3.5.2.1.2.	Análisis de consistencia.....	59
3.5.2.2.	Determinación de la precipitación, temperatura del área total de la cuenca.....	62
3.5.2.2.1.	Método de las Isoyetas.....	62
3.5.2.3.	Generación de la oferta hídrica de la cuenca.....	62
3.5.2.3.1.	Aplicación del modelo hidrológico Lutz Scholz.....	62
3.5.3.	Metodología para determinar las demandas hídricas en la cuenca del río Cumbaza. ...	65
CAPÍTULO IV		66
Resultados y Discusión.....		66
4.1.	Resultados de la investigación.....	66
4.1.1.	Caracterización morfométrica.....	66
4.1.2.	Determinación de la oferta hídrica.....	70
4.1.2.1.	Análisis y tratamiento de la información meteorológica.....	70
4.1.2.1.1.	Complemento de datos faltantes.....	70
4.1.2.1.2.	Análisis de consistencia.....	71
4.1.2.1.3.	Determinación de la precipitación del área total de la cuenca.....	74
4.1.2.1.4.	Oferta hídrica – Lutz Scholz.....	77
4.1.3.	Demandas del recurso hídrico.....	82
4.1.4.	Balance hídrico.....	84
CAPÍTULO V.....		87
Conclusiones y Recomendaciones		87
5.1.	Conclusiones	87
5.2.	Recomendaciones	89
Referencias.....		90
ANEXO.....		93

Índice de Tablas

Tabla 1	Clasificación de cuencas según áreas	33
Tabla 2	Resumen de índices y coeficientes de forma para la clasificación de cuencas.....	36
Tabla 3	Clasificación de las cuencas de acuerdo con la pendiente media.....	38
Tabla 4	Ubicación de las Estaciones Meteorológicas.....	58
Tabla 5	Condiciones para la determinación de “k.....	65
Tabla 6	Características morfométricas de la cuenca del río Cumbaza.	67
Tabla 7	Nivel hídrico de la cuenca del Cumbaza	70
Tabla 8	Análisis estadístico de saltos.	73
Tabla 9	Precipitación areal total-mensual en mm de la cuenca del río Cumbaza periodo 1996-2015.	75
Tabla 10	Indicadores estadísticos de la precipitación areal de la cuenca del río Cumbaza.	76
Tabla 11	Oferta hídrica de la cuenca del río Cumbaza al 75% de Persistencia – Caudales generados m ³ /s del periodo 1996-2015.	79
Tabla 12	Indicadores estadísticos del caudal de la cuenca del río Cumbaza.	80
Tabla 13	Demanda hídrica total m ³ /s.	83
Tabla 14	Balance hídrico de la cuenca del río Cumbaza m ³ /s	85
Tabla 15	Análisis de correlación para la estación Tarapoto con las metodologías utilizadas para la completación de datos.....	100
Tabla 16	Análisis de correlación para la estación El Porvenir con las metodologías utilizadas para la completación de datos	100
Tabla 17	Precipitación de la estación Tarapoto para el periodo 1996-2015.	101
Tabla 18	Precipitación de la estación el Porvenir para el periodo 1996-2015.....	102
Tabla 19	Precipitación de la estación San Antonio para el periodo 1996-2015.	103
Tabla 20	Precipitación de la estación Lamas para el periodo 1996-2015.	104
Tabla 21	Demanda Hídrica para uso agrario m ³ /s.	108
Tabla 22	Demanda Hídrica para uso poblacional m ³ /s.	109
Tabla 23	Indicadores estadísticos de la temperatura areal de la cuenca del río Cumbaza	110

Índice de Figuras

Figura 1 Tipos de Precipitaciones: Convectiva, Orográfica y Frontales	28
Figura 2 Caudal circulante a través de una sección transversal.....	30
Figura 3 Tipos de hidrogramas en función a la pendiente de la cuenca.....	31
Figura 4 Representación de una cuenca hidrográfica	32
Figura 5 Formas de cuencas según índice de compacidad.....	35
Figura 6 Distribución del número de orden de un cauce de una cuenca.....	40
Figura 7 Disposición espacial para la completación de datos por promedios vecinales.....	44
Figura 8 Modelo de distribución de isoyetas en una cuenca	46
Figura 9 Organigrama del software Lutz Schoolz	47
Figura 10 Curva hipsométrica de la cuenca del río Cumbaza.	68
Figura 11 Curva de doble masa acumulada de las 4 estaciones.....	71
Figura 12 . Curva del promedio, máximos y mínimos de precipitación para la cuenca del río Cumbaza.....	76
Figura 13 Curva de caudales m ³ /s - M. H. Lutz Scholz	80
Figura 14 Oferta hídrica de la cuenca del río Cumbaza m ³ /s - M. H. Lutz Scholz	81
Figura 15 Balance hídrico de la cuenca del río Cumbaza m ³ /s	85
Figura 16 Hidrograma de Precipitación Total Anual Histórica de la estación Tarapoto (mm).	96
Figura 17 Hidrograma de Precipitación Total Anual Histórica de la Estación El Porvenir (mm). ...	96
Figura 18 Hidrograma de Precipitación Total Anual Histórica de la Estación San Antonio (mm ...	97
Figura 19 Hidrograma de Precipitación Total Anual Histórica de la Estación El Porvenir (mm) ...	97
Figura 20 Curva de Temperatura mensual promedio, mínimo y máximo.	110

Índice de Anexos

Anexo 1 Mapa de ubicación geográfica de la cuenca del río Cumbaza.....	94
Anexo 2 Mapa de ubicación de las estaciones meteorológicas	95
Anexo 3. Hidrogramas de las precipitaciones totales anuales históricas de las 4 estaciones meteorológicas.....	96
Anexo 4 Imagen de la tabla de T-Student.....	98
Anexo 5 Imagen de la tabla de F-Fisher	99
Anexo 6 Correlación de precipitación de las estaciones de Tarapoto y El Porvenir con las metodologías utilizadas.....	100
Anexo 7 Cuadros de precipitaciones completadas de las 4 estaciones consideradas en la investigación.	101
Anexo 8 Mapa del nivel de orden hídrico de la cuenca del río Cumbaza.	105
Anexo 9 Imagen del desarrollo del software Lutz Scholz para la generación de caudales m ³ /s- mensuales del periodo 1996- 2015	105
Anexo 10 Imagen del desarrollo del software Lutz Scholz para la generación de caudales m ³ /s anuales del periodo 1996- 2015.....	105
Anexo 11 Imagen del desarrollo del software Lutz Scholz -generación de caudales m ³ /s-mensuales del periodo 1996- 2015.	106
Anexo 12 Isolíneas de precipitación (isoyetas).....	107
Anexo 13 Demandas hídricas en la cuenca del río Cumbaza.	108
Anexo 14 . Temperatura media areal de la cuenca del río Cumbaza.	110
Anexo 15 Solicitud para el otorgamiento de la información del SENAMHI.....	111

Lista de Acrónimos

ACR-CE	: Área de Conservación Regional Cerro Escalera.
ALA	: Autoridad Local del Agua.
ANA	: Autoridad Nacional del Agua.
CAD	: Computer-Aided Design.
CEDISA	: Centro de Desarrollo e Investigación de la Selva Alta.
CORPONARIÑO	: Corporación Autónoma de Nariño
EMAPA	: Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado.
F	: Factor Forma
GIRH	: Gestión Integral del Recurso Hídrico.
IGN	: Instituto Geográfico Nacional.
IDEAM	: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
K_c	: Índice de Gravius
l_a	: Índice de Alargamiento
L_m	: Longitud de máximo recorrido (Km).
MMC	: Millones de metros cúbicos
mm	: Milímetros.
m^3/s	: Metros cúbicos por segundo
RADA	: Registro Administrativo de Derechos de uso de Agua
SENAMHI	: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología.

SIG : Sistema de Información Geográfica.

UNESCO : Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la
Cultura

Resumen

El objetivo de la presente investigación fue determinar la disponibilidad hídrica superficial mediante balance hídrico en la cuenca del río Cumbaza. El trabajo se desarrolló en dos etapas; una de campo para la recolección de datos, tanto para la oferta como para la demanda hídrica, luego la etapa de gabinete que consistió en el procesamiento de los datos, utilizando el método de regresión múltiple para completar algunos datos faltantes, luego se realizó un análisis de consistencia para comprobar la confiabilidad de los datos. Se utilizó el software ArcGis para la creación de los mapas y cálculo de algunas variables, y también el software Lutz Schoolz para el cálculo de la oferta hídrica, para posteriormente realizar el balance hídrico de la cuenca con los valores recolectados de los demandantes de la cuenca.

Se tiene que, para la cuenca del río Cumbaza un área de 571.2 km², con una forma oval oblonga a rectangular oblonga, con tendencias a crecidas lentas y sostenidas, teniendo como cotas mínima y máxima de 200 y 1800 m.s.n.m. respectivamente. Además, en la cuenca del río Cumbaza existe precipitación durante los 12 meses del año, teniendo una precipitación media anual de 1487.5 mm. La cuenca del río Cumbaza presenta una oferta hídrica promedio de 5.37 m³/s y una demanda promedio de 3.13 m³/s, con esto, se tiene un superávit promedio en la cuenca del río Cumbaza de 2.28 m³/s, y además existe un superávit hídrico en todos los meses del año con un mínimo de 1.14 m³/s en el mes de agosto y un máximo de 3.72 m³/s en el mes de enero.

Palabras clave: Cuenca, disponibilidad hídrica, balance hídrico, precipitación, oferta, demanda, superávit.

Abstract

The objective of the present investigation was to determine the surface water availability by water balance in the Cumbaza river basin. The work was developed in two stages; A field for the collection of data for both supply and water demand, then the cabinet stage which consisted of data processing, using the multiple regression method to complete some missing data, then performed an analysis of Consistency to verify the reliability of the data, the software ArcGis was used for the creation of the maps and calculation of some variables, and the software Lutz Schoolz was used to calculate the water supply for later to realize the water balance of the basin with The values collected from the claimants of the basin.

It has an area of 571.2 km² for the Cumbaza River basin, with an oblong to oblong oblong oval shape, with tendencies to slow and sustained floods, having as minimum and maximum dimensions of 200 and 1800 m.s.n.m. respectively. In addition, in the Cumbaza river basin there is precipitation during the 12 months of the year, with an average annual rainfall of 1487.5 mm, in addition the Cumbaza river basin presents an average water supply of 5.37 m³ / s and an average demand of 3.13 m³ / s With an average surplus in the Cumbaza River basin of 2.28 m³ / s, and there is also a water surplus in all months of the year with a minimum of 1.14 m³ / s in the month of August and a maximum of 3.72 m³ / s in the month of January.

Key words: Cuenca, water availability, water balance, precipitation, supply, demand, surplus.

Capítulo I

El problema de Investigación

1.1. Descripción de la situación problemática

Desde 1993, el 22 de marzo es el Día Mundial del Agua, más que conmemorativo, al establecer este día, la Organización de las Naciones Unidas buscó centrar la atención sobre uno de los problemas que está afrontando la humanidad: la escasez de agua destinada al consumo humano y para el desarrollo de actividades productivas (Jiménez & Galizia, 2010).

Es indudable que dentro de la compleja y difícil problemática del mundo moderno la de los recursos naturales y entre ellos la del agua, ocupa un lugar relevante. El excesivo crecimiento demográfico, agregado a demandas crecientes del agua con tasas aún superiores a las del propio incremento poblacional, frente a una oferta natural prácticamente constante, crea situaciones con problemas físicos, técnicos y económicos para satisfacer aquellas demandas, no sólo para las generaciones actuales sino también para las que nos sucedan (UNESCO & ROSTLAC, 1982).

La concentración de los núcleos urbanos y las actividades productivas, hacen que la disponibilidad hídrica superficial sufra un deterioro a medida que las demandas se maximizan; esto a su vez hace que los límites sobre la cantidad de agua disponible estén dando lugar a conflictos intersectoriales crecientes. En estas condiciones, los déficits de abastecimiento de agua para todos los fines, constituyen el factor potencial restrictivo más serio para el desarrollo y explotación de otros recursos naturales y para generar condiciones de vida satisfactorias en las poblaciones allí asentadas (ANA, 2009).

En la actualidad la cuenca del río Cumbaza viene sufriendo los estragos de las diversas actividades antropogénicas en casi todo su ámbito geográfico (CEDISA, 2014) sostiene que en la cuenca se desarrollan diversas actividades económicas, entre las principales está la agricultura que ocupa un 88.86%, piscicultura con un 2.88%, industriales con un 0.05 %,

comercio con un 8.21 %, etc, que hacen uso directo o indirecto del recurso hídrico existente en la cuenca.

Cabe indicar también que existe deforestación en gran parte del territorio de la cuenca, CEDISA (2014) afirma que: “un 85 % del área total de la cuenca ha sufrido deforestación”; abarcando casi toda la cuenca media y baja, y conservando aún parte de la cuenca alta. Esto hace que la periodicidad de la presencia de las precipitaciones en la cuenca sea cada vez menor y por tanto la disponibilidad del recurso hídrico también se vea afectada. Así mismo la masiva expansión de áreas agrícolas, especialmente de sembrío de arroz reduce en gran porcentaje la cantidad de agua disponible para distribuir a los demás sectores, tornándose en un conflicto intersectorial, porque la concentración urbana en la cuenca se viene expandiendo de manera rápida y esto hace que se necesite más agua para distribuir a la población, siendo el uso poblacional la de mayor prioridad que la de uso productivo según la ley de recursos hídricos N°29338, Artículo III, inciso 2.

Actualmente existe una distribución no continua del agua para uso poblacional, esto debido a la racionalización que hace la empresa responsable, valiéndose del Artículo 41° de la ley N° 29338. Consorcio Pro agua San Martín (2011) indica que actualmente en los distritos con mayor población en la cuenca, existe en promedio una distribución de agua para uso poblacional de 10 horas de continuidad del servicio por día; esto genera una incomodidad en la población ya que perjudica el desarrollo continuo de sus diferentes actividades tanto económicas como domiciliarias.

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es la disponibilidad hídrica superficial en la cuenca del río Cumbaza: San Martín 2016?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general.

Determinar la disponibilidad hídrica superficial mediante balance hídrico en la cuenca del río Cumbaza, San Martín, 2016.

1.3.2. Objetivos específicos.

- Determinar las principales características morfométricas de la cuenca del río Cumbaza.
- Determinar la oferta hídrica en la cuenca del río Cumbaza.
- Determinar la Demanda hídrica en la cuenca del río Cumbaza.

1.4. Justificación

En la actualidad, la cuenca del río Cumbaza es sin duda un área geográfica de mucho interés a nivel local, regional y nacional, pues alberga en su área terrenos que cuentan con bosques del nivel primario en la parte alta de la cuenca y además tiene sus quebradas, pertenecientes a estos bosques, como los principales contribuyentes para la formación del río Cumbaza.

Los bosques primarios existentes en la cuenca del río Cumbaza representan el 15% del territorio y están ubicados dentro del Área de Conservación Regional “Cerro escalera” (ACR-CE); así mismo el 85% de la cuenca ha perdido su cobertura boscosa original como consecuencia de la deforestación, cambio de uso de suelo, expansión urbana e infraestructura, siendo este último la de mayor extensión en la cuenca (CEDISA, 2014).

En la cuenca se desarrollan diversas actividades socioculturales, económicas y ambientales, que resaltan la importancia que genera la cuenca para la población. CEDISA

(2014) indica que la agricultura es la actividad de mayor alcance territorial y flujo económico dentro de la cuenca. Además, indica que la cuenca tiene una población beneficiaria de aproximadamente de 230 000 habitantes.

En este sentido se genera la necesidad del conocimiento acerca de la disponibilidad hídrica, en el contexto actual, para determinar la cantidad de agua existente en la cuenca, y de esta manera, la Autoridad Administrativa del Agua (de acuerdo a la ley N° 29338 Ley de Recursos Hídricos, Título IV, Artículo 44) pueda utilizar este valor cuantitativo, con la finalidad de autorizar el uso de manera equitativa a los diferentes demandantes de este recurso, sin provocar consecuencias negativas a la calidad de vida de la población; además permitirá establecer lineamientos a seguir para su protección y contribuir a mantener o mejorar la armonía con el medio ambiente , así mismo la información servirá de base a los planificadores y usuarios del recurso para considerar su uso y disponibilidad en proyectos actuales y futuros.

El desarrollo de la investigación permitirá a las autoridades competentes como el ALA, ANA, Junta de usuarios, EMAPA, tomar medidas para asegurar la disponibilidad hídrica en el futuro para el uso poblacional, considerando el incremento poblacional y a sabiendas que es prioridad frente al uso productivo.

Capítulo II

Revisión de la Literatura

2.1. Antecedentes de la investigación

Santillán, Dávila, De Anda y Díaz (2013), realizaron el trabajo de investigación titulado “Estimación del balance hídrico mediante variables climáticas en la cuenca del río Cazones, Veracruz, México”. El trabajo de investigación tuvo como objetivo la estimación del balance hídrico climático (BHC) y estimar la evapotranspiración potencial en la cuenca del río Cazones. Los cálculos se realizaron a través del método de Thornthwaite y Mather, utilizando información de variables climáticas de temperatura y precipitación para el periodo comprendido entre los años 1981-2010. Como resultado de estas estimaciones, se encontró que las láminas de exceso de agua y de escurrimiento anual fueron 638.63 mm y 637.02 mm respectivamente, generándose la mayor cantidad de escurrimiento en los meses de mayor precipitación.

La Autoridad Nacional del Agua [ANA]. (2003), realizó el trabajo de investigación titulado “Estudio de balance hídrico superficial de la cuenca del río Yauca”. El estudio tuvo como objetivo conocer la disponibilidad hídrica a nivel de la cuenca y subcuencas, la demanda hídrica por sectores de riego y comisión de regantes, el balance hídrico por sector de riego, el balance hídrico del embalse Ancascocha, los caudales de máximas avenidas en puntos importantes de la cuenca y finalmente, la capacidad de almacenamiento de la cuenca colectora Ancascocha. Los cálculos se realizaron con el método de sistematización digital. Como resultado se obtuvo que la demanda agrícola del sector de riego Coracora y Yauca es de 155.90 MMC/año y 103.51 MMC/año, respectivamente; y la demanda poblacional es de 0.92 MMC/año y 0.18 MMC/año respectivamente. Las comisiones de regantes del sector de riego Coracora, satisfacen la demanda agrícola y poblacional, principalmente, con afloramientos de agua (manantiales), ya que estos manantiales disponen de caudales muy

pequeños y la oferta de agua de la cuenca Yauca a la altura de la estación Puente Jaquí es de $8.83\text{m}^3/\text{s}$, como promedio anual y tiene un caudal específico de 2.05 L/s/Km^2 .

Molina & Espinoza (2005), desarrollaron la investigación titulada “Balance hídrico superficial de la cuenca alta del río Pilcomayo” Esta investigación tuvo como objetivo evaluar los recursos hídricos de la cuenca del Pilcomayo por la metodología de balance hídrico. La cuenca cubre un área estimada de $272\ 000\text{ km}^2$, teniendo una pendiente media de 0.72% y como periodo de estudio entre los años 1969 y 2003. Se concluyó que la precipitación en la cuenca supera los 1200 mm/año , con una evapotranspiración potencial entre 1037 a 1868 mm/año .

Paredes & Guerrero (2010), realizaron la investigación titulada “Balance hídrico para uso agrícola en la cuenca media y baja del río Moche, área de influencia del proyecto especial Chavimochic”. Con el propósito de obtener un adecuado aprovechamiento del recurso hídrico y planificar con exactitud su utilización. Se determinó la demanda y uso de agua de la cuenca del río Moche (La Libertad, Perú). Los volúmenes hídricos disponibles para el uso agrario variaron de acuerdo a la estacionalidad incrementándose en los meses de avenidas, indicando que el 69% se produce de febrero a abril. La investigación se desarrolló en la Cuenca Media Baja del río Moche, área de influencia del Proyecto Especial Chavimochic, en los sectores de Los Comunes, Mochica, El Moro, Poroto, Quirihuac, Samne, Santa Lucía de Moche, Santa María Valdivia, Santo Domingo Huatape, Simbal y Vichanzao. Los volúmenes de agua colectada presentaron un excedente o superávit, lo cual benefició al sistema de irrigación de cultivos durante el año agrícola 2009-2010.

Vera, Acuña y Yerrén (2010), realizaron la investigación titulada “Balance hídrico superficial de las cuencas de los ríos Tumbes y Zarumilla”. Tuvo como objetivo evaluar a nivel multianual la variación espacial y temporal del ciclo hidrológico durante el período 1969 – 1999, para lo cual se tomó las estaciones más representativas y se aplicó una

metodología de análisis previo de los datos obtenidos en las referidas estaciones, para agruparlas, verificar su consistencia, extender y completar la información faltante, mediante el empleo del método de doble masa y el análisis de regresión lineal simple.

Al analizar los gradientes medios pluviométricos mensuales, se determinó que el régimen de precipitación media se caracteriza por aumentar con la altitud, en el mes más lluvioso (febrero) la precipitación se incrementa a razón de 29,5 mm/100 m hasta los 500 msnm, entre los 500 y 1 000 msnm, las lluvias crecen a razón de 8,8 mm/100 m y entre los 1 000 y 1 500, las lluvias decrecen a razón de 1,6 mm/100 m y por encima de los 1 500 msnm se incrementan a razón de 6,5 mm/100 m, mientras que en el mes menos lluvioso (setiembre), las precipitaciones hasta los 1 600 msnm es de cero. Del análisis de precipitación se determinó que el mes más lluvioso es febrero, y en el período julio – octubre ocurren las menores precipitaciones, siendo setiembre el mes más seco de la época.

Consorcio Pro agua San Martín (2011) desarrolló el estudio titulado “Mejoramiento Y Ampliación de los Sistemas de Agua Potable, Alcantarillado y Tratamiento de Aguas Residuales de las Localidades de Tarapoto, Morales y La Banda de Shilcayo – Provincia San Martín – Departamento San Martín”. El presente estudio se realizó en el departamento de San Martín, el cual busca mejorar los sistemas de producción de agua potable para los distritos de Tarapoto, Morales y La Banda de Shilcayo, de la provincia de San Martín, como el caso de los Sistemas de Producción de Agua Cachiyacu, Shilcayo y Ahuashiyacu. Todo esto, debido al rápido crecimiento poblacional que se registra en la zona.

Según el estudio de factibilidad del proyecto “Mejoramiento y Ampliación de los Sistemas de Agua Potable, Alcantarillado y Tratamiento de Aguas Residuales de las localidades de Tarapoto, Morales y La Banda De Shilcayo – Provincia San Martín – Departamento San Martín”, se ha determinado un caudal de demanda de 1,272 lps al final del horizonte del proyecto (20 años).

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Disponibilidad hídrica superficial.

La disponibilidad hídrica superficial es el volumen total de agua ya precipitada sobre un área determinada, y que en un futuro más o menos próximo estará disponible en volumen o caudal en un punto determinado de la cuenca hidrográfica para ser utilizado (Ordoñez, 2011).

2.2.2. Balance hídrico.

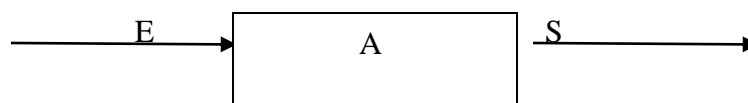
Es la ley más importante en hidrología y aunque su expresión es muy simple, la cuantificación de sus términos es normalmente complicada, principalmente por la falta de mediciones directas en campo (Ordoñez, 2011).

2.2.2.1. Aplicaciones del balance hídrico.

Un balance hídrico se utiliza en muchos estudios hidrológicos, generalmente para determinar la disponibilidad de agua que existe en un área geográfica determinada.

2.2.2.2. Estimación de balance hídrico.

El estudio del balance hídrico en hidrología se basa en la aplicación del principio de conservación de masas, también conocido como ecuación de la continuidad, ésta, establece que para cualquier volumen arbitrario y durante cualquier período de tiempo, la diferencia entre las entradas y salidas estará condicionada por la variación del volumen de agua almacenada.



La ecuación 1 la define como:

$$A = E - S \dots\dots\dots (1)$$

Donde:

A = Almacenamiento

E = Entrada

S = Salida

En general la técnica del balance hídrico implica mediciones de ambos aspectos, almacenamientos y flujos del agua; sin embargo, algunas mediciones se eliminan en función del volumen y período de tiempo utilizados para el cálculo del balance (UNESCO, 1971).

2.2.3. Oferta hídrica.

Es la cantidad de agua que después de haberse precipitado sobre la cuenca y satisfecho las cuotas de evapotranspiración e infiltración del sistema suelo – cobertura vegetal, escurre por los cauces mayores de los ríos y demás corrientes superficiales, alimenta lagos, lagunas y reservorios, confluye con otras corrientes y llega directa o indirectamente al mar. Usualmente esta porción de agua que escurre por los ríos es denominada por los hidrólogos como esorrentía superficial y su cuantificación conforma el elemento principal de medición en las redes de seguimiento hidrológico existentes en los distintos países (IDEAM, 2004).

La oferta hídrica de una cuenca, corresponde también al volumen disponible de agua para satisfacer la demanda generada por las actividades sociales y económicas del hombre. Al cuantificar la esorrentía superficial, se está estimando la oferta de agua superficial de la cuenca. El conocimiento del caudal del río, su confiabilidad y extensión de la serie del registro histórico son variables que pueden influir en la estimación de la oferta hídrica superficial. Cuando existe información histórica confiable de los caudales

con series extensas, el caudal medio anual del río es la oferta hídrica de esa cuenca (CORPONARIÑO, 2009).

2.2.4. Demanda hídrica.

Demanda de agua es un término de extraordinaria importancia en el ámbito de la planificación hidrológica. Puede entenderse en una primera aproximación como los caudales y volúmenes de agua que se precisan para cada actividad económica (Balairon, 2002).

La demanda hídrica en una cuenca por lo general está dividida por demanda hídrica poblacional y la demanda hídrica productiva (Balairon, 2002).

2.2.4.1. Demanda hídrica Poblacional.

Es la cantidad de agua que hace uso una determinada población proveniente de una fuente hídrica para satisfacer necesidades primarias.

2.2.4.2. Demanda hídrica productiva.

Es la cantidad de agua que precisan personas naturales o jurídicas de una determinada fuente hídrica para utilizarlo con fines productivos.

2.2.5. Precipitación.

Se denomina precipitación, al agua procedente de la atmósfera y que en forma líquida o sólida se deposita sobre la superficie terrestre. La formación de la precipitación requiere la elevación de una masa de agua en la atmósfera, de tal manera, que se enfríe y parte de su humedad se condense para que posteriormente se precipite a la superficie terrestre (Vásquez, 2000).

La Intensidad de las precipitaciones varía de un lugar a otro, aunque no se encuentren a mucha distancia. A lo largo de un año también hay variaciones. Existen zonas en las que en un solo día cae más lluvia que en otros a lo largo de todo el año. Las causas que

influyen en la distribución de precipitaciones en el planeta son: la proximidad al mar, incremento de la humedad del aire y las corrientes ascendentes de aire, como las que obligan a realizar las cordilleras, sobre las cuales las precipitaciones son más numerosas e intensas en la ladera enfrentada a los vientos más frecuentes, o barlovento (Gonzales,2011).

Existen diferentes tipos de precipitación: precipitación convectiva, precipitación orográfica y precipitaciones frontales, tal como se puede apreciar en la Figura 1.

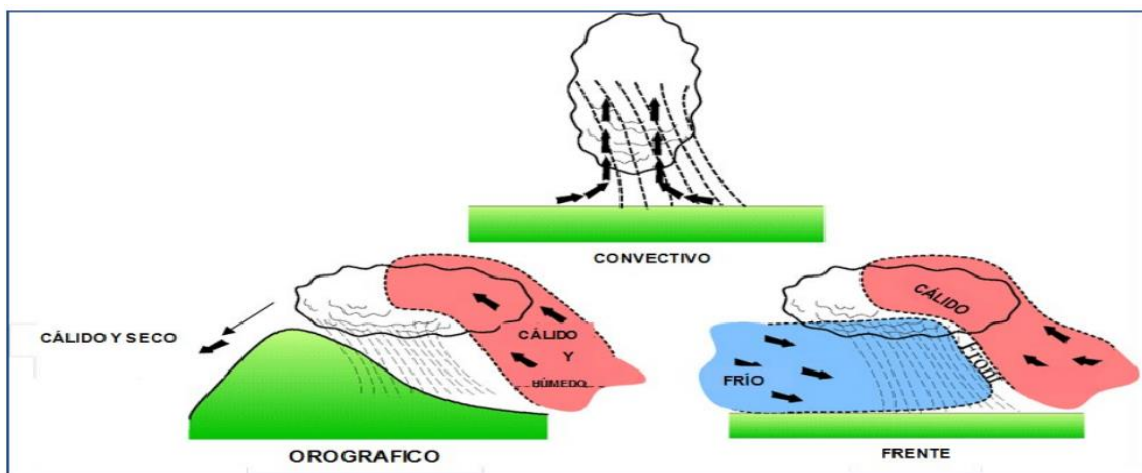


Figura 1 Tipos de Precipitaciones: Convectiva, Orográfica y Frontales

Fuente: Musy, André, (2001).

2.2.5.1. *Precipitación Orográfica.*

Los accidentes orográficos, montañas y cordilleras actúan a manera de obstáculos que obligan a los vientos a ascender y, en consecuencia, en las alturas se producirá un proceso adiabático que culminará en condensación y precipitación. El hecho de que estos obstáculos permanezcan en el mismo lugar obliga a que la precipitación se produzca siempre en la misma área. Este tipo de precipitación es el predominante en la sierra peruana (Vásquez, 2000).

2.2.5.2. *Precipitación Convectiva.*

Se presenta cuando una masa de aire que se calienta tiende a elevarse por ser el aire cálido menos pesado que el aire de la atmósfera circundante. La columna ascendente es consecuencia del calentamiento del suelo o agua y del aire en contacto con estos elementos. Este aire húmedo y caliente asciende, pues su densidad es menor que la de las capas superiores y, al hacerlo, se desarrollará el proceso adiabático que produce la condensación y la lluvia. El aire frío que desciende para ocupar su lugar, luego de calentarse, repite el mismo proceso (Vásquez, 2000).

Este proceso ocurre normalmente en las zonas planas y boscosas de los trópicos, en los llanos amazónicos y en los mares. En el Perú, esto tiene lugar en la parte norte de la faja costera: Piura y Tumbes, por acción de los anticiclones norte y sur del atlántico.

2.2.5.3. *Precipitación Frontal o Ciclónica.*

Un ciclón es una enorme masa de aire que gira, a velocidades grandes, alrededor de un vórtice que se forma por fuertes diferencias de temperaturas entre estratos atmosféricos. En el vórtice, la presión atmosférica es muy baja, y por él ascienden las masas de aire caliente y húmedo que sufren un rápido proceso adiabático al expandirse en las alturas generándose condensación del vapor de agua y precipitación (Vásquez, 2000).

2.2.6. *Temperatura.*

Se denomina temperatura a la cantidad de energía solar, retenida por el aire en un momento dado, se puede afirmar que la temperatura depende, ante todo, de la radiación solar. El termómetro es el instrumento de fiabilidad que se utiliza para medir esta cantidad de energía. Esta medición debe realizarse a 1,5 m del suelo, siendo un lugar ventilado y protegido de la influencia directa de los rayos del sol. El resultado de ello se expresa en una escala centígrada, o bien en la escala de Fahrenheit (Ordoñez, 2001).

2.2.7. Caudal.

Volumen de agua que fluye a través de una sección transversal de un río o canal en una unidad de tiempo, tal como se aprecia en la Figura 2 y además teniendo la ecuación 2:

$$Q = V/t \dots\dots (2)$$

Donde:

Q : Caudal

V : Volumen

t : Tiempo

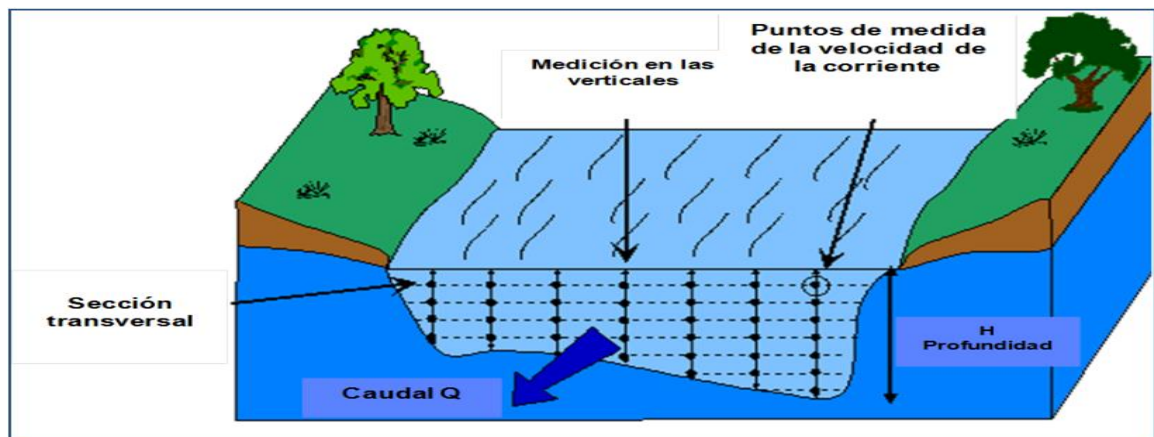


Figura 2 Caudal circulante a través de una sección transversal

Fuente: Musy, André, (2001).

2.2.8. Hidrograma.

Según Ordoñez (2011) un hidrograma es la expresión gráfica de la variación del caudal a lo largo del tiempo.

El hidrograma está en función del aporte de precipitaciones que puedan ocurrir en la superficie de la cuenca y de las características físicas de ésta, tal como se puede apreciar en la Figura 3, donde se observa una comparación de dos hidrogramas en función de la

forma de la cuenca. Es decir, para este caso a mayor pendiente de la cuenca la respuesta del hidrograma es más directa.

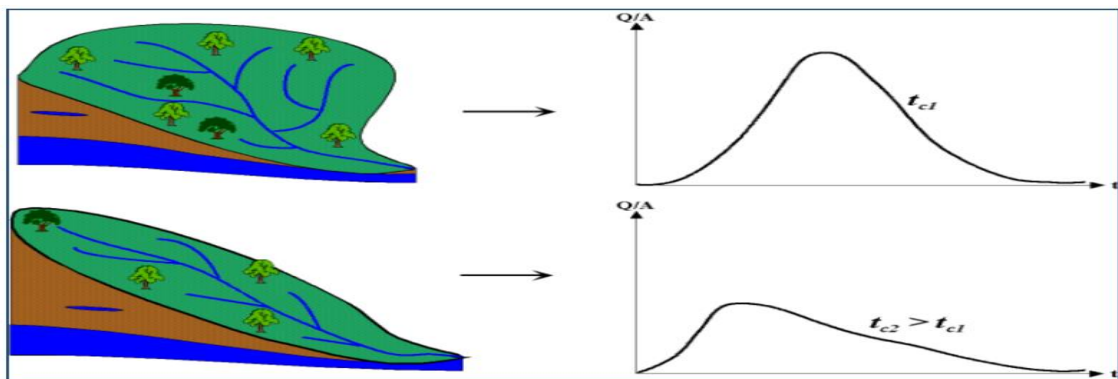


Figura 3 Tipos de hidrogramas en función a la pendiente de la cuenca

. Fuente: Musy, André, 2001.

2.2.9. Evapotranspiración.

La evapotranspiración es la combinación de los fenómenos de evaporación desde la superficie del suelo y la transpiración de la vegetación. La dificultad de la medición en forma separada de ambos fenómenos (el contenido de humedad del suelo y el desarrollo vegetal de la planta) obliga a introducir el concepto de evapotranspiración como pérdida conjunta de un sistema determinado (Ordoñez, 2011).

2.2.10. Cuenca Hidrográfica.

Según Vásquez (2000), “una cuenca hidrográfica es el sistema, área o ámbito geográfico, delimitado por el divortium aquarum (divisorias de aguas), donde ocurre el ciclo hidrológico e interactúan los factores naturales, sociales, económicos, políticos e institucionales y que son variables en el tiempo”.

Llamas (1993), define a la cuenca hidrográfica como un espacio geográfico cuyos aportes son alimentados exclusivamente por las precipitaciones y cuyos excedentes en agua o en materias sólidas transportadas por el agua forman una desembocadura en un punto especial único.

La cuenca sea en forma independiente o interconectada con otras, es la unidad territorial más aceptada para la gestión integrada de los recursos hídricos (Dourojeanni, 2002).



Figura 4 Representación de una cuenca hidrográfica

Fuente: Musy, André, 2001.

2.2.10.1. Características morfométricas de una cuenca.

Las características de una cuenca y de las corrientes que forman el sistema hidrográfico, pueden representarse cuantitativamente mediante índices de forma y relieve de la cuenca, y de la conexión con la red fluvial. Muchos de los índices son razones matemáticas, por lo que pueden utilizarse para caracterizar y comparar cuencas de diferentes tamaños.

Según Maidment (1992), una de las herramientas más importante en el análisis hídrico es el estudio de las características morfométricas, dado que permite establecer parámetros de evaluación del funcionamiento del sistema hidrológico de una región.

2.2.10.1.1. Divisorias de aguas o Parteaguas.

Las divisorias de aguas son los límites entre cuencas. Por lo general, como las aguas discurren por gravedad, las cumbres de las montañas de la cuenca serán las divisorias superficiales y son fácilmente identificables en forma directa o en los planos.

Una divisoria es un límite natural para el agua. Incluye toda la tierra que desemboca en un arroyo, río, lago, o cuerpo de agua. La lluvia y la nieve derretida fluyen hasta los arroyos, ríos, tierras húmedas, lagos, y eventualmente al océano. Las divisorias pueden ser tan pequeñas como una hectárea, o tan grandes como varios estados (Reyes, 2010).

2.2.10.1.2. Superficie o Área.

Según Reyes (2010), el área de la cuenca es probablemente la característica morfométrica e hidrológica más importante. Está definida como la proyección ortogonal de toda el área de drenaje de un sistema de escorrentía dirigido directa o indirectamente a un mismo cauce natural. El tamaño relativo de estos espacios hidrológicos define o determina, aunque no de manera rígida, los nombres de microcuenca, subcuenca, cuenca o sector, según se explica en la Tabla 1.

Tabla 1
Clasificación de cuencas según áreas

ÁREA (Km²)	NOMBRE
< 5	Unidad
5-20	Sector
20 – 100	Microcuenca
100-300	Subcuenca
> 300	Cuenca

Fuente: Jiménez, Materón (1986)

2.2.10.1.3. Perímetro.

El perímetro de la cuenca o la longitud del parteaguas de la cuenca, es un parámetro importante, que en conexión con el área nos permite inferir sobre la forma de la cuenca (Reyes ,2010).

El planímetro y el curvímetro han sido utilizados habitualmente para la obtención del área y el perímetro respectivamente; actualmente, gracias al avance de las herramientas computacionales como CAD o SIG, los cálculos de superficie y perímetro de un área cualquiera se resuelven en forma rápida, esto depende de que la cuenca haya sido digitalizada bajo un sistema georreferenciado adecuado.

2.2.10.1.4. *Forma de la Cuenca.*

a) Índice de Compacidad o Índice de Gravelius.

Se trata de un indicador adimensional de la forma de la cuenca, basado en la relación del perímetro de la cuenca con el área de un círculo igual a la de la cuenca (círculo equivalente); de esta manera, entre mayor sea el coeficiente más distante será la forma de la cuenca con respecto del círculo (Reyes, 2010).

Según Reyes (2010), para valores cercanos o iguales a uno, la cuenca presenta mayor tendencia a crecientes o concentración de altos volúmenes de aguas de escorrentía. La ecuación 3 define el índice de compacidad como: $K_c = 0,28 \times \left[\frac{P}{\sqrt{A}} \right]$ (3)

Dónde:

K_c : Índice de la compacidad o índice de Gravelius (Adimensional).

P: Perímetro de la Cuenca

A: Área de la Cuenca

Este coeficiente define la forma de la cuenca, respecto a la similaridad con formas redondas, dentro de rangos que se muestran a continuación:

K_{c_1} : Rango entre 1 y 1,25, corresponde a forma redonda a oval redonda.

K_{c_2} : Rango entre 1,25 y 1,5, corresponde a forma oval redonda a oval oblonga.

K_{c_3} : Rango 1,5 y 1,75, corresponde a forma oval oblonga a rectangular oblonga.



Figura 5 Formas de cuencas según índice de compacidad

Fuente: Guerrero, 2014.

b) Factor Forma.

Según Reyes (2010), es la relación entre el área (A) de la cuenca y el cuadrado del máximo recorrido (L_m). Este parámetro mide la tendencia de la cuenca hacia las crecidas, rápidas y muy intensas a lentas y sostenidas, según su comportamiento, si tiende hacia valores extremos grandes o pequeños, respectivamente. Es un parámetro adimensional que denota la forma redondeada o alargada de la cuenca. Un valor (F), superior a la unidad dará el grado de achatamiento de ella o de un río principal corto y por consecuencia con tendencia a concentrar el escurrimiento de una lluvia intensa formando fácilmente grandes crecidas. El factor de forma se define en la ecuación 4 como:

$$F = \frac{A}{L_m^2} \dots\dots\dots (4)$$

Donde:

F: Factor de forma (Adimensional)

A: Área de la cuenca (Km^2)

L_m : Longitud de máximo recorrido (Km)

c) Índice de alargamiento

El índice de alargamiento es otro parámetro que muestra el comportamiento de forma de la cuenca, pero esta vez no respecto a su redondez sino a su tendencia a ser de forma alargada, en relación con su longitud axial, y con el ancho máximo de la cuenca. Aquellas cuencas que registran valores mayores a uno presentan un área más larga que ancha, obedeciendo a una forma más alargada. Igualmente, este índice permite predecir la dinámica del movimiento del agua en los drenajes y su potencia erosiva o de arrastre (Reyes, 2010).

La ecuación 5 define el índice de alargamiento como:

$$l_a = \frac{L_m}{l} \dots\dots (5)$$

Dónde:

l_a : Índice de alargamiento (adimensional)

L_m : Longitud máxima (km)

l : Ancho máximo (km)

Tabla 2
Resumen de índices y coeficientes de forma para la clasificación de cuencas.

PARÁMETRO	ECUACIÓN	INTERPRETACIÓN
Índice de compacidad	K_c 1,00 – 1,25:	Cuenca redonda a oval redonda.
	K_c 1,25 – 1,50 :	Cuenca de oval redonda a oval oblonga.

	$K_c = 0,28 \times \left[\frac{P}{\sqrt{A}} \right]$	$K_c 1,50 - 1,75$: Cuenca de oval oblonga a rectangular oblonga.
Factor forma F	$F = \frac{A}{L^2}$	$F > 1$: Cuenca achatada, tendencia a ocurrencia de avenidas. $F < 1$: Cuenca alargada, baja susceptibilidad a las avenidas.
Índice de alargamiento	$l_a = \frac{L_m}{l}$	$l_a > 1$: Cuenca alargada $l_a \approx 1$: Cuenca achatada y por lo tanto el cauce principal es corto.

Fuente: Gavilán (s.f)

2.2.10.1.5. *Pendiente media de la cuenca.*

Según Reyes (2010), la pendiente es la variación de la inclinación de una cuenca, su determinación es importante para definir el comportamiento de la cuenca respecto al desplazamiento de las capas de suelo (erosión o sedimentación), puesto que, en zonas de altas pendientes se presentan con mayor frecuencia los problemas de drenaje y sedimentación.

La pendiente media de una cuenca se estima con base en un plano topográfico que contenga curvas de nivel con igual desnivel entre ellas.

De acuerdo con el uso del suelo y la red de drenaje, la pendiente influye en el comportamiento de la cuenca, afectando directamente el escurrimiento de las aguas de lluvias; esto es, en la magnitud y en el tiempo de formación de una creciente en el cauce principal. En cuencas de pendientes fuertes, existe la tendencia a la generación de crecientes en los ríos en tiempos relativamente cortos; estas cuencas se conocen como torrenciales, al igual que, los ríos que las drenan. La Tabla 3 muestra la clasificación de las cuencas según su pendiente.

Tabla 3
Clasificación de las cuencas de acuerdo con la pendiente media.

PENDIENTE MEDIA (%)	TIPO DE RELIEVE	SÍMBOLO
0 - 3	Plano	P_1
3 - 7	Suave	P_2
7 - 12	Medianamente accidentado	P_3
12 - 20	Accidentado	P_4
20 - 35	Fuertemente accidentado	P_5
35 - 50	Muy fuertemente accidentado	P_6
50 - 75	Escarpado	P_7
> 75	Muy escarpado	P_8

Fuente: Ortiz (2004)

2.2.10.1.6. Características de la red de drenaje.

La red de drenaje está conformada por el cauce principal y sus tributarios; se traza considerando las corrientes perennes, las intermitentes y efímeras.

De acuerdo con diferentes características, los cauces de drenaje de una cuenca se pueden clasificar de diferentes formas, tal como se describe a continuación.

a. Caracterización de los cauces según la constancia en la escorrentía.

Los cauces se clasifican según su constancia en el transporte de caudal, Monsalve (1995) los clasifica como perennes, intermitentes y efímeros.

— *Cauces perennes*: son aquellos que poseen agua todo el tiempo, sin importar las condiciones meteorológicas adversas, debido a que el nivel freático mantiene una alimentación continua y nunca desciende a un nivel inferior al del lecho del río.

— *Cauces intermitentes*: son aquellos que llevan agua en los periodos de lluvia y se secan en los periodos de sequía, el nivel freático se conserva por encima del nivel del lecho del río sólo en los periodos de lluvia.

— *Cauces efímeros*: son aquellos que existen únicamente durante o inmediatamente después de los eventos de lluvia, transportan sólo escorrentía superficial y en nivel freático siempre se mantiene por debajo del lecho de la corriente.

b. Caracterización de los cauces según su forma.

Suarez (2001), clasifica los cauces, drenajes o corrientes de agua según su forma en semirrectos, trenzados y meándricos. Una misma corriente presenta cambios de patrón a lo largo de su longitud, de acuerdo con el caudal de la corriente en cada época del año.

— *Cauces semirrectos*: son poco comunes en la naturaleza. Aunque la corriente en realidad trata de divagar, las pendientes altas y los controles topográficos y geológicos obligan a mantener un cauce relativamente recto con algunas curvas, producto muchas veces de accidentes de la topografía más que por efectos hidráulicos de la corriente. A lado y lado del río se produce sedimentación en playones.

— *Cauces trenzados*: se presentan en zonas de cambio de pendiente de fuerte a moderada con grandes caudales, en los lechos de suelos granulares gruesos (arenas y gravas). El fenómeno se da por la sedimentación de material grueso debido a la disminución de la velocidad de la corriente después de las avenidas o por el cambio de la pendiente. Los materiales se sedimentan en barras o puntas, formándose varios cauces o brazos con islas intermedias, algunas veces con vegetación. Al producirse una avenida el río inunda las islas, produciendo la ampliación y formación de canales.

— *Cauces meándricos*: se presentan en terrenos de pendientes bajas y materiales finos en el fondo del lecho. Este fenómeno es una divagación en curvas repetidas de dirección contraria dentro del ancho general del valle del río o en el cinturón de meandros presentan un flujo curvilíneo con áreas de erosión y depósitos.

2.2.10.1.7. Número de orden de un cauce.

Las corrientes fluviales son clasificadas jerárquicamente: las que constituyen las cabeceras, sin corrientes tributarias, pertenecen al primer orden o categoría; dos corrientes de primer orden que se unen forman una de segundo orden, que discurre hacia abajo hasta encontrar otro cauce de segundo orden para constituir otro de tercera categoría y así sucesivamente. Este sistema de clasificación muestra cómo se une cada corriente a la red y cómo está conectada la red en su conjunto, tal y como se muestra en la figura 6 (Horton, 1945).

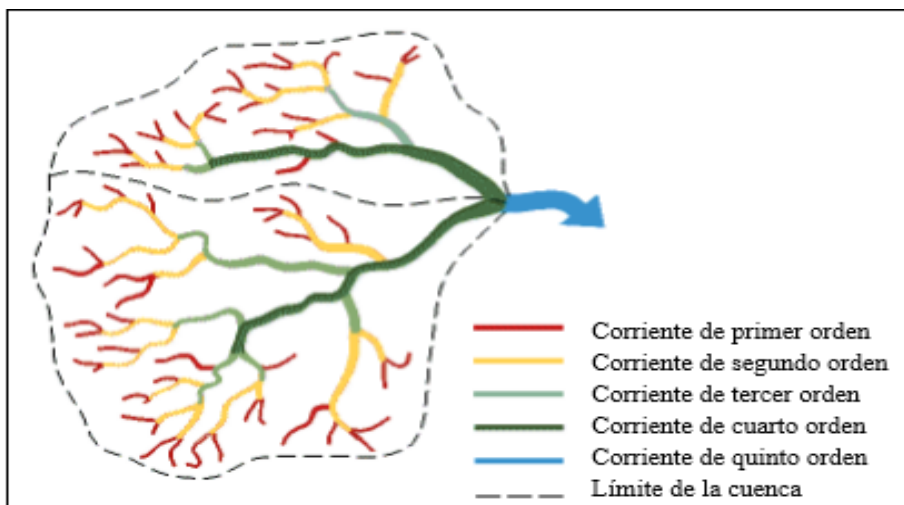


Figura 6 Distribución del número de orden de un cauce de una cuenca

Fuente: Horton (1945).

La corriente principal tendrá un orden que indicará la extensión de la red de corrientes en el interior de la cuenca.

2.2.11. Tratamientos de datos hidrometeorológicos.

Una de las áreas más descuidadas en el análisis de series hidrológicas es el tratamiento de los datos históricos registrados por medición directa, por lectura o por conteo. Tratamiento significa el ajuste de los datos históricos a una condición homogénea, incluyendo la corrección de los posibles errores sistemáticos, la completación, extensión de los mismos y la reducción de los datos a condiciones naturales (Tarazona, 2005).

2.2.11.1. Análisis de consistencia.

La no-homogeneidad e inconsistencia en series hidrológicas representa uno de los aspectos más importantes en los estudios hidrológicos contemporáneos, ya que cuando no se identifica, elimina ni se ajustan a las condiciones futuras la inconsistencia y no-homogeneidad en la muestra histórica se puede introducir un error significativo en todos los análisis futuros que se realicen, obteniéndose resultados altamente sesgados. En forma general los datos medidos en una estación pueden incluir dos tipos de errores; errores aleatorios y errores sistemáticos.

Los errores aleatorios, se presentan debido a la inexactitud en las mediciones y observaciones, son difíciles de evaluar después de transcurrido un tiempo y se originan por error de lectura de datos, equipos defectuosos, mal empleo de los equipos, transcripciones erróneas, entre otros.

Los errores sistemáticos son los de mayor importancia y como consecuencia de los mismos, los datos pueden ser incrementados o reducidos sistemáticamente, con lo que los resultados finales se desvían pudiéndose producir grandes errores en los estudios que se realicen a partir de dichos datos.

Esta inconsistencia y no-homogeneidad se ponen de manifiesto con la presencia de saltos y/o tendencias en las series hidrológicas afectando las características estadísticas de dichas series, tales como la media y desviación estándar.

El análisis de consistencia de la información es el proceso que consiste en la identificación o detección, descripción y remoción de la no-homogeneidad e inconsistencia de una serie de tiempo hidrológica (Tarazona, 2005).

2.2.11.1.1. Análisis gráficos.

Tarazona (2005), indica que esta fase complementaria consiste en analizar visualmente la distribución temporal de toda la información hidrometeorológica disponible; para lo

cual la información hidrometeorológica se grafica en coordenadas cartesianas representando en el eje de las ordenadas el valor de la información (precipitación, descargas, etc.) y en el eje de las abscisas el tiempo cronológico respectivo (anuales, mensuales, semanales, diarios), el gráfico resultante es denominado hidrograma.

De la apreciación visual de este gráfico se deduce si la información es aceptable o dudosa, considerándose como información dudosa o de poco valor para el estudio, aquellas que muestran en forma evidente valores constantes en periodos en los cuales físicamente no es posible debido a la característica aleatoria de los datos.

Puede aplicarse el siguiente criterio para identificar los posibles periodos que presentan información dudosa:

- Cuando se tiene estaciones vecinas, se comparan los gráficos de las series históricas y se observa qué período varía notoriamente con respecto del otro.
- Cuando se tiene una sola estación, se divide en varios periodos y se compara con la información de campo obtenida.
- Cuando se tiene datos de precipitación y escorrentía, se compara los diagramas los cuales deben ser similares en su comportamiento.

La interpretación de estas comparaciones se efectúa conjuntamente con el análisis de doble masa.

2.2.11.1.2. Análisis de doble masa acumulada.

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

Un quiebre de la recta de doble masa o un cambio de pendiente puede o no ser significativo, pues si dicho cambio está dentro de los límites de confianza de la variable

para un nivel de probabilidad dado, entonces el salto no es significativo, el mismo que se comprobará mediante un análisis estadístico.

Existen muchos criterios para realizar el análisis de doble masa, pero como norma general se debe tener presente lo siguiente:

- Realizar el análisis entre datos de la misma causa o del mismo efecto, es decir precipitación versus precipitación o descargas versus descargas registradas en estaciones vecinas o en su defecto en cuencas de similar comportamiento hidrológico.
- Si se presenta el mismo quiebre en todas las rectas de doble masa realizadas de descarga o precipitación, respectivamente, significa que la causa que ocasiona el salto es un error sistemático natural, para lo cual se debe completar dicha información de otras cuencas vecinas; esto es lo que se denomina un análisis de consistencia espacial y temporal de los datos, ya que los errores que se corrigen son los artificiales u ocasionados por el hombre (Tarazona, 2005).

2.2.11.1.3. Análisis estadísticos de saltos.

La evaluación y cuantificación de los errores detectados en la forma de saltos se realiza mediante un análisis estadístico; vale decir, un proceso de inferencia para las medias y desviación estándar de ambos periodos separados en la fase anterior, mediante las pruebas de T de Student y F de Fisher respectivamente (Tarazona, 2005).

2.2.11.2. Complemento y extensión de datos.

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

Existen varios procedimientos para realizar la completación y extensión de los datos faltantes desde la utilización de criterios prácticos como el relleno con el promedio, hasta la aplicación de técnicas estadísticas y matemáticas (Tarazona, 2005).

2.2.11.2.1. Análisis de regresión lineal simple.

Este método es uno de los más utilizados; se recomienda para la estimación de datos mensuales y anuales. Se requiere establecer una regresión y correlación lineal con la estación patrón consistente, mediante la ecuación lineal de dos variables, ecuación 6:

$$y = a + bx \dots\dots\dots (6)$$

Donde; “y” es la precipitación estimada, “x” es la precipitación de la estación patrón; y, “a” y “b” son las constantes de la regresión lineal. A través del coeficiente de correlación (R) se determina la mejor estación vecina más cercana como patrón. En términos hidrológicos, se considera aceptable un coeficiente de correlación de -0.8 y 0.8 (UNESCO & ROSTLAC, 1982).

2.2.11.2.2. Promedios vecinales.

Se utiliza para la completación de datos menores de un año, en zonas planas no montañosas. Se debe considerar la distribución espacial en donde la estación con carencia de datos, queda ubicada al centro de tres estaciones con estadística completa (Figura 6), en este caso se aplica la ecuación 7.

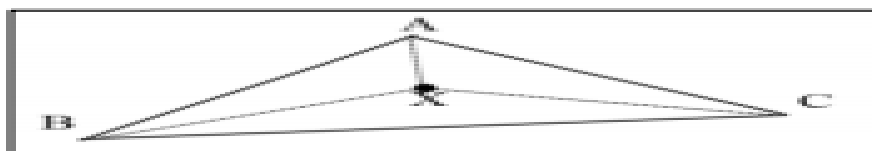


Figura 7 Disposición espacial para la completación de datos por promedios vecinales

Fuente: Pizarro et al, (1993)

$$PX = \sum_{i=1}^n \frac{P_i}{n} \dots\dots\dots (7)$$

Donde; Pi es la precipitación de las estaciones A, B, C, y n es el número de estaciones.

2.2.11.2.3. Razones promedio.

Es complementario al método anterior para zonas montañosas, donde las precipitaciones de A, B y C diferirán generalmente en más de un 10%, entonces es necesario aplicar la ecuación 8 (UNESCO & ROSTLAC, 1982).

$$PX = \frac{PX}{N} * \left[\frac{PA}{PA} + \frac{PB}{PB} + \dots + \frac{PN}{PN} \right] \dots\dots\dots (8)$$

Donde; PX es el valor estimado de la precipitación y $\overline{PA}, \overline{PB}, \overline{PN}$ y \overline{PX} son el promedio de las precipitaciones anuales registradas en un período común para las N estaciones y PA, PB,...PN es la precipitación en las N estaciones durante el período que falta en X.

2.2.11.2.4. Razones de coeficientes de correlación.

Se utilizan las precipitaciones estimadas a partir de correlaciones entre la estación con datos faltantes y cada una de las estaciones vecinas, a los que se asocian los coeficientes de correlación respectivos. El coeficiente de correlación no debe superar la barrera del valor $\pm 0,8$ (UNESCO-ROSTLAC, 1982). Su expresión matemática definida en la ecuación 9 es la siguiente:

$$PX = \frac{PXA*rXA+PXB*rXB+\dots+PXN*rXN}{rXA+rXB+\dots+rXN} \dots\dots\dots (9)$$

Donde; PX es el valor estimado de precipitación, PXi son los valores estimados de precipitación en X, a partir de las regresiones con cada una de las i estaciones y rXi son los coeficientes de correlación entre los registros de la estación X y cada una de las i estaciones.

2.2.11.2.5. Análisis de regresión múltiple.

Es una extensión del método de regresión simple y su forma de estimar la precipitación se basa en la expresión matemática 10:

$$Y = a + bX_1 + cX_2 + \dots + nX_1 \dots\dots\dots (10)$$

Donde; y es la precipitación estimada, x_i es la precipitación de la estación completas, a , b , c y n son las constantes de la regresión (Luna & Lavado, 2015).

2.2.12. Sistema de Información Geográfica (SIG).

Es un software capaz de capturar, almacenar, manipular y visualizar los datos que contienen una referencia geográfica y los convierte en información espacial útil en la solución de problemas espaciales complejos. El énfasis en los datos geográficos y la capacidad de analizar los datos espacialmente distinguen los SIG de otros tipos de sistemas de información” (Lo & Yeung, 2007).

2.2.12.1. Isoyetas.

Es el método más preciso para realizar interpolaciones de datos hidrometeorológicos de estaciones vecinas, pues permite la consideración de los efectos orográficos en el cálculo de la precipitación media y temperatura media sobre la cuenca en estudio. Se basa en el trazado de curvas de igual precipitación y temperatura de la misma forma que se hace para estimar las curvas de nivel de un levantamiento topográfico.

Sobre la base de los valores puntuales de precipitación y temperatura en cada estación (como los enmarcados en un cuadro rojo en la siguiente figura 8) dentro de la cuenca, se construyen, por interpolación, líneas de igual precipitación y temperatura:

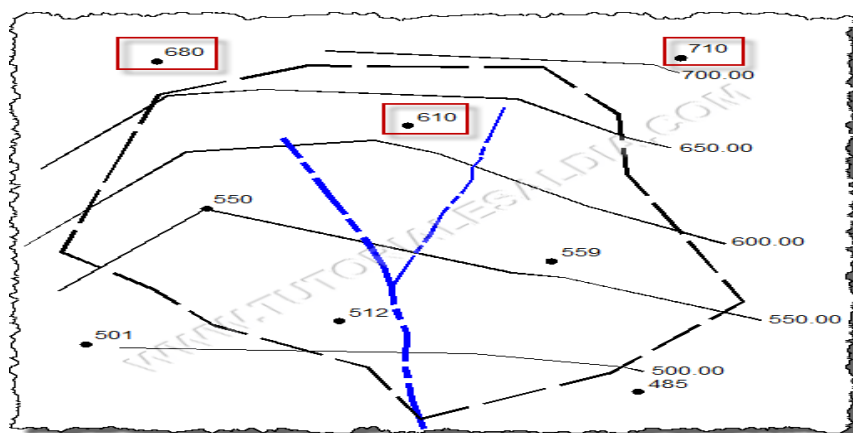


Figura 8 Modelo de distribución de isoyetas en una cuenca
Fuente: Tarazona, (2005).

Las líneas así construidas son conocidas como isoyetas. Un mapa de isoyetas de una cuenca es un documento básico dentro de cualquier estudio hidrológico, ya que no solamente permite la cuantificación del valor medio, sino que también presenta de manera gráfica la distribución de la precipitación, temperatura y evaporación sobre la zona para el período considerado (Tarazona, 2005).

2.2.13. Lutz Scholz.

Es un modelo hidrológico combinado debido a que cuenta con una estructura determinística para el cálculo de los caudales mensuales para el año promedio (balance hídrico-modelo determinístico) y, una estructura estocástica para la generación de series extendidas de caudal (Proceso Markoviano- Modelo estocástico). Fue desarrollado por Lutz Scholz entre 1979 y 1980 en el marco de la Cooperación Técnica de la Republica de Alemania a través del Plan Meris II (Tarazona, 2005).

La aplicación del modelo comprende tres etapas bien definidas y se presenta en el siguiente organigrama.

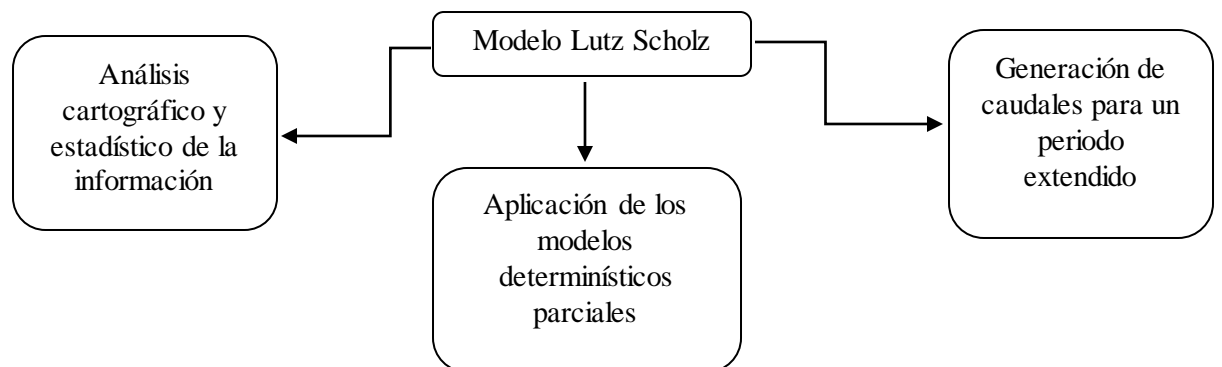


Figura 9 Organigrama del software Lutz Schoolz
Fuente: Elaboración propia.

2.3. Definición de términos

- **Disponibilidad hídrica:** es el volumen total de agua ya precipitada sobre una determinada área para ser utilizado, por ejemplo para el riego, para generación de energía eléctrica, abastecimiento de agua potable, etc.
- **Balance hídrico:** se deriva del concepto de balance de materia, es el equilibrio entre todos los recursos hídricos que ingresan al sistema y los que salen del mismo, en un intervalo de tiempo determinado.
- **Parámetros geométricos:** los parámetros geométricos son las mediciones que tiene una determinada zona en estudio, entre ellas están: área, perímetro, forma, pendiente, longitud del cauce, longitud de la pendiente, altitudes, etc.
- **Precipitación:** se denomina precipitación, a toda agua meteórica que cae en la superficie de la tierra, tanto en forma líquida (llovizna, lluvia, etc.) y sólida (nieve, granizo, etc.) y las precipitaciones ocultas (rocío, la helada blanca, etc.). Ellas son provocadas por un cambio de temperatura o de presión. La precipitación constituye la única entrada principal al sistema hidrológico continental (Musy, 2001).
- **Caudal:** volumen de agua que fluye a través de una sección transversal de un río o canal en la unidad de tiempo.
- **Hidrograma:** expresión gráfica de la variación del caudal a lo largo del tiempo. Un hidrograma de caudal es una gráfica o una tabla que muestra la tasa de flujo como función del tiempo en un lugar dado de la corriente. El hidrograma es una expresión integral de las características fisiográficas y climáticas que rigen las relaciones entre la lluvia y escorrentía de una cuenca de drenaje particular.
- **Cuenca hidrográfica:** la cuenca hidrográfica se define como una unidad territorial en la cual el agua que cae por precipitación se reúne y escurre a un punto común o que

fluye toda al mismo río, lago o mar. En esta área habitan seres humanos, animales y plantas, todos ellos relacionados (Sing, 1989).

- **Temperatura:** la cantidad de energía solar, retenida por el aire en un momento dado se denomina temperatura. Se puede afirmar que la temperatura depende ante todo de la radiación solar. El termómetro es el instrumento de fiabilidad que se utiliza para medir esa cantidad de energía. Esta medición debe realizarse a 1,5 metros del suelo, siendo un lugar ventilado y protegido de la influencia directa de los rayos del sol. El resultado de ello se expresa en una escala centígrada o en grados Celsius, o bien en la escala de Fahrenheit.
- **Evapotranspiración:** es el total de agua convertido en vapor por una cobertura vegetal; incluye la evaporación desde el suelo, la evaporación del agua interceptada y la transpiración por los estomas de las hojas.
- **GIRH:** sigla de la Gestión Integral de los Recursos Hídricos, es una herramienta técnica que permite una mejor administración de los recursos hídricos en un ámbito geográfico.

Capítulo III

Materiales y métodos

3.1. Diseño de investigación

3.1.1. Enfoque.

La investigación tiene un enfoque cuantitativo ya que usa la recolección de datos, con base en la medición numérica y el análisis estadístico, para establecer patrones de comportamientos y probar teorías. Parte de una idea, que va acotándose y una vez delimitada, se derivan objetivos y preguntas de investigación, se revisa la literatura y se construye un marco o una perspectiva teórica. (Hernandez, et al, 2010).

3.1.2. Diseño.

Según el propósito y la naturaleza de la investigación corresponde a un diseño del tipo no experimental.

Según Álvarez (1996) explica que una investigación no experimental es aquel que se realiza sin manipular deliberadamente variables. Se basa fundamentalmente en la observación de fenómenos tal y como se dan en su contexto natural para después analizarlos.

3.2. Población y muestra

- Población: Recurso hídrico de toda la cuenca del río Cumbaza
- Muestra: El recurso hídrico disponible a medición de la cuenca del río Cumbaza.

3.3. Descripción general de la cuenca

3.3.1. Ubicación y delimitación del área de estudio.

La cuenca del río Cumbaza se origina en el lado occidental de la Cordillera Escalera, en territorios de las Comunidades Nativas de Aviación, Chiricyacu y Chunchiwi; sus aguas recorren hacia el lado suroeste de la Cordillera y desemboca en el río Mayo. En su recorrido pasa por poblados de los distritos de San Roque de Cumbaza, y Rumizapa, de la provincia de Lamas; y en la parte media y baja por poblados de los distritos de San Antonio de Cumbaza, Cacatachi, Morales, Tarapoto y Juan Guerra pertenecientes a la provincia de San Martín (CEDISA,2014). La cuenca está entre las cotas altitudinales 200 y 1,800 m.s.n.m.

La investigación se realizó en la cuenca del río Cumbaza, tomando como área de estudio toda la cuenca del Cumbaza, la cuenca que se encuentra ubicada en el departamento de San Martín, entre las provincias de San Martín y Lamas. El mapa de ubicación está en el Anexo 1.

UBICACIÓN GEOGRÁFICA

Región Geográfica	:	Selva
Unidad Hidrográfica	:	Río Amazonas
Cuenca	:	Río Cumbaza
ESTE	:	330234.43 a 362895.62
NORTE	:	9304945.00 a 9269343.00

UBICACIÓN POLÍTICA

Departamento	:	San Martín
Provincias	:	San Martín y Lamas
Distritos	:	Tarapoto, Morales, San Antonio de Cumbaza, Juan Guerra, Cacatachi, Banda de Shilcayo, Rumizapa, San Roque de Cumbaza, Lamas.

3.4. Materiales

Para realizar un balance hídrico y conocer la disponibilidad hídrica de una cuenca es necesario conocer cómo ha ido variando a lo largo del tiempo y espacio; por eso, una evaluación precisa del balance hídrico está estrechamente ligada con la cantidad y calidad de la información disponible y, en particular, de la red de estaciones y número de años de su registro (UNESCO, 1982).

La información recopilada y los materiales empleados pueden ser agrupados en cinco categorías:

- Información cartográfica
- Información hidrometeorológicas
- Información de demandantes
- Equipos y programas de computo
- Materiales de campo

3.4.1. Información cartográfica.

Para la presente investigación se tomó en cuenta las cartas nacionales para realizar la delimitación de la cuenca, específicamente las 13j; 13k; 14k, que proporciona el Instituto Geográfico Nacional -IGN para determinar el área exacta del lugar de investigación y para las demás características morfométricas de la cuenca.

3.4.2. Información hidrometeorológica.

Un balance puede ser realizado para distintos períodos (horas, días, meses, estaciones del año, años). Los balances medios de agua se realizan en forma anual, permitiendo de esta manera minimizar el cálculo del término de variación de almacenamiento, reduciendo la ecuación general del Balance Hídrico (Ordoñez, 2011).

Uno de los factores más importantes en la determinación del balance hídrico superficial lo constituye la recopilación y procesamiento de la información hidrometeorológica. Su importancia está en que dichos datos permiten un mejor conocimiento de las condiciones hidroclimáticas de la zona, a la vez son la base para la determinación de una serie de parámetros que intervienen en el proceso del balance hídrico de una cuenca (UNESCO, 1982).

El enfoque de un estudio hidrológico para la realización del balance hídrico requiere fundamentalmente del conocimiento, calidad y cantidad de la información disponible. En este sentido, se procedió en primer término a efectuar un inventario de este tipo de información, el cual debe incluir, además de la nomenclatura y ubicación de la estación, los valores medios mensuales y anuales del período en estudio (UNESCO, 1982).

Esta información se recopiló del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) y de la Autoridad Local del Agua (ALA). Que nos permitió realizar el cálculo de la oferta hídrica en la cuenca. La base de datos fue tomada desde el año 1996 al 2015 teniendo un total de 20 años históricos.

Dentro de la cuenca del río Cumbaza se encuentran tres estaciones meteorológicas, siendo éstas las estaciones de Tarapoto, El Porvenir y San Antonio. Sin embargo, en la presente investigación se tomó en cuenta la estación de Lamas como parte de las estaciones por la cercanía a la cuenca. La distribución espacial de las estaciones se muestra en el Anexo 2.

3.4.3. Información de los demandantes.

La recopilación de la información de los diversos usuarios demandantes del recurso hídrico en la cuenca del río Cumbaza (Usos: agrario, poblacionales). A través de los operadores del servicio, como es el caso de EMAPA San Martín, Junta de Usuarios del distrito de riego de Tarapoto.

3.4.4. Equipos y programas de cómputo.

- Microsoft Office para el análisis de la información estadística, redacción y presentación de la tesis.
- Programa de cómputo ArcGis 10.0 Para la digitalización de los mapas, determinación de parámetros morfológicos de la cuenca e interpolación de los datos meteorológicos por medio de isoyetas.
- Programa de cómputo Lutz Scholz, para la generación de la oferta hídrica.
- Hardware (computadora) marca Lenovo ideacentre.
- Calculadora marca CASIO fx-350LA PLUS
- Lápiz, papel.

3.4.5. Materiales de campo.

- GPS Garmin GPSmap 62s
- Cámara fotográfica Sony Exmor

3.5. Metodología

3.5.1. Determinación de las características morfométricas de la cuenca del río Cumbaza.

3.5.1.1. Caracterización morfométricas de la cuenca.

La metodología consistió en la generación de información primaria en base al análisis de la información cartográfica publicada por el IGN. Para el cálculo de las variables necesarias requeridas para el análisis morfológico, la mayoría de los datos fueron

manejados y procesados en el software ArcGis y las herramientas SIG (Sistema de Información Geográfica), con la debida aplicación de las fórmulas de la morfometría y algunas fueron desarrolladas por cálculos matemáticos.

3.5.1.1.1. Área de la cuenca.

Para la determinación del área de la cuenca del río Cumbaza se delimitó la zona de interés hídrico mediante la utilización de las cartas 13j, 13 k y 14 k que se encuentra en la página del IGN, para posteriormente determinar la superficie de la cuenca mediante el software ArcGis.

3.5.1.1.2. Perímetro de la cuenca.

El cálculo del perímetro de la cuenca se realizó en el software ArcGis, con los datos que se encuentran dentro de las cartas nacionales.

3.5.1.1.3. Ancho de la cuenca.

El cálculo del ancho de la cuenca se realizó en el software ArcGis con los datos que se encuentran dentro de las cartas nacionales.

3.5.1.1.4. Longitud de la cuenca.

El cálculo de la longitud de la cuenca se realizó en el software ArcGis con los datos que se encuentran dentro de las cartas nacionales.

3.5.1.1.5. Cotas.

El cálculo de las cotas se realizó en el software ArcGis mediante las curvas de nivel de la información cartográfica nacional del IGN.

3.5.1.1.6. Forma de la cuenca.

a) Índice de gravelius

Para determinar la forma de la cuenca, se utilizó el índice de compacidad o índice de Gravelius, teniendo la ecuación 11 (Villon, 2002).

$$K_c = 0,28 \times \left[\frac{P}{\sqrt{A}} \right] \dots\dots\dots (11)$$

Donde:

K_c : Índice de la compacidad o índice de Gravelius (Adimensional).

P: Perímetro de la cuenca

A: Área de la cuenca

Cuando el valor de K_c se acerca a 1, la cuenca tiende a ser circular y en caso contrario la forma de la cuenca es irregular, el valor mínimo es 1.

b) Factor F

c) Forma

Según Villon (2002) el factor de forma se define en la ecuación 12 como:

$$F = \frac{A}{L_m^2} \dots\dots\dots (12)$$

Donde:

F : Factor de forma (Adimensional)

A : Área de la cuenca (Km²)

L_m : Longitud de máximo recorrido (Km).

d) Índice de alargamiento

Según Villon (2002) El índice de alargamiento se define con la ecuación 13:

$$I_a = \frac{L_m}{l} \dots\dots\dots (13)$$

Donde:

I_a : Índice de alargamiento (adimensional)

L_m : Longitud máxima (km)

l : Ancho máximo (km)

3.5.1.1.7. Altitud (media, más frecuente).

Para la determinación de las altitudes se utilizó el software ArcGis, a través de las curvas de niveles, que posteriormente fueron transformados a formatos tins y rasters. Luego se traspasó los resultados de los intervalos a la aplicación Excel para el cálculo final de las altitudes.

3.5.1.1.8. Pendiente promedio de la cuenca.

Para determinar la pendiente media de la cuenca se utilizó el software ArcGis por medio de las curvas de nivel para el cálculo del número de ocurrencias por intervalo, para posteriormente determinar la pendiente en la aplicación Excel.

3.5.1.1.9. Características de la red hídrica.

La determinación de la red hídrica, longitud del cauce principal y la longitud de la red hídrica se determinaron a través del software ArcGis a través de los rasters de flow accumulation y flow direction.

3.5.2. Metodología para determinar la oferta hídrica.

3.5.2.1. *Análisis y tratamiento de la información meteorológica e hidrométrica.*

Las estaciones meteorológicas que se encuentran dentro de la cuenca pertenecen al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) siendo éstas, las estaciones de Tarapoto, El Porvenir y San Antonio, sin embargo, por la cercanía al área de estudio se tomó en cuenta la estación meteorológica de Lamas como parte del grupo de estaciones.

Las ubicaciones de cada estación se detallan a continuación:

Tabla 4
Ubicación de las Estaciones Meteorológicas.

Estación	Latitud	Longitud	Altura	Este X	Norte Y	Huso
El Porvenir	6° 35'21.21"	76° 19' 5.83"	262	354252	9271460	18
Tarapoto	6° 28' 33.07"	76° 22' 12.70"	366	348474	9283981	18
San Antonio	6° 24' 25.26"	76° 24' 29.69"	477	342560	9710251	18
Lamas	6° 25' 6.97"	76° 31' 40.45"	844	331015	9290262	18

Fuente: SENHAMI.

Los principales datos meteorológicos considerados en la investigación son: precipitación y temperatura, habiéndose utilizado los registros de las estaciones antes mencionadas.

La precipitación es la principal variable a considerar en el presente estudio, teniendo una base histórica de 20 años, desde 1996 al 2015. Desde el punto de vista estrictamente físico (meteorológico) existen factores que afectan la magnitud de la lluvia y son complejos para su evaluación. En la selva de la amazonía peruana, las lluvias son de tipo orográfico, es decir la variación de la precipitación en el área de la cuenca del río Cumbaza, está en función a la altitud (ANA, 2003).

Como es caso típico en nuestro medio, en los registros históricos, proporcionados por las instituciones responsables del monitoreo meteorológico, con frecuente regularidad se observa en la serie de tiempo, valores ausentes en forma puntual, o continua por periodos mayores a un año; por lo que es necesario completar los valores ausentes.

Como primer paso para determinar la oferta hídrica se procedió a verificar la existencia de datos faltantes en la base histórica de datos de 20 años de las 4 estaciones con los que se trabajó, encontrando algunos años con datos faltantes, en ese sentido se procedió a realizar la completación de datos.

3.5.2.1.1. Complemento de datos faltantes.

En el presente estudio de investigación en la cuenca del río Cumbaza, se encontró vacíos en los años de 1996-1998 para la estación de Tarapoto y entre los años 2010-2011 para la estación de El Porvenir.

Es en este sentido se procedió a utilizar diferentes métodos para determinar cuál de todos se ajustaba más a la base de datos.

Los métodos utilizados fueron de regresión lineal, promedio vecinal, razones promedio, razones de coeficientes de correlación y regresión múltiple.

Una vez completadas los datos se procedió al análisis de consistencia, que incluyen análisis de gráficos, de doble masa y análisis de saltos, para de esta manera determinar la confiabilidad de los datos históricos de precipitación que presentan las estaciones.

3.5.2.1.2. Análisis de consistencia.

Este tipo de análisis es empleado para comprobar si los datos con los que se cuenta son consistentes, es decir, verificar si la estación ha sido bien observada; ya que pequeños cambios en la ubicación de la estación meteorológica, exposición e instrumentación pueden producir variaciones en la precipitación captada (Tarazona, 2005).

La identificación de la no-homogeneidad e inconsistencia, en secuencias hidrológicas representa, uno de los aspectos más importantes del estudio en la hidrología, puesto que, si éstas no son identificadas y eliminadas, un error significativo puede introducirse en todos los análisis futuros, obteniendo resultados altamente sesgados (Tarazona, 2005).

A fin de detectar posibles inconsistencias en la serie histórica, se ha procedido al análisis gráfico de los hidrogramas, análisis de doble masa y análisis de saltos.

a. Análisis gráfico

Este análisis se realizó para detectar e identificar la inconsistencia de la información meteorológica en forma visual e identificar los periodos en los cuales los datos son dudosos.

Se elaboraron hidrogramas a nivel anual con la finalidad de investigar posibles saltos o tendencias durante el periodo de registro de la información, así como para detectar valores extremadamente altos o bajos que no reflejen el comportamiento de la variable en el periodo de registro.

Mediante este análisis es posible detectar algunos saltos en la información histórica. Se debe aclarar que el análisis es únicamente con fines de identificación de las posibles inconsistencias, las mismas que deberán ser evaluadas estadísticamente mediante las pruebas respectivas (Tarazona, 2005).

b. Análisis de doble masa acumulado

Se efectuó el análisis de doble masa acumulado para las estaciones en estudio con la finalidad de conocer la consistencia de la información de precipitación. Se elaboró un cuadro en la aplicación Excel con los datos de precipitación anual total del periodo 1996 al 2015 de las cuatro estaciones y se realizó el proceso de acumulación en forma sucesiva

desde el año inicial hasta el final, para posteriormente realizar el gráfico. En el caso de que resulte una línea recta para todo el periodo, implica que los datos de precipitación son consistentes; caso contrario, cuando presenta quiebres en la línea, esto significa que los datos de precipitación en la estación son dudosos.

c. Análisis estadísticos de saltos

- Consistencia de la Media de la precipitación

Cuando la causa de la pérdida de homogeneidad de la serie es probable que sea un abrupto cambio en la media, la prueba estadística T- Student es especialmente útil. La prueba es poderosa para detectar la inconsistencia en la media, además de ser un test riguroso.

La consistencia de la media se verificará mediante la comparación del T calculado y el T de tabla (Ver Anexo 4), como se muestra a continuación:

Si $|T_c| \leq |T_t|$ al (95%) de confianza $\rightarrow \bar{X}_1 = \bar{X}_2$, estadísticamente las medias son iguales.

Si $|T_c| > |T_t|$ al (95%) de confianza $\rightarrow \bar{X}_1 \neq \bar{X}_2$, estadísticamente las medias son diferentes (existe salto).

- Consistencia de la desviación estándar de la precipitación.

El análisis estadístico consiste en probar mediante la prueba de F de Fisher, si los valores de las desviaciones estándar de la sub muestras son estadísticamente iguales o diferentes con un 95% de confianza.

La consistencia de la desviación estándar se verificará, mediante la comparación de F calculado y el F de tabla (Ver Anexo 5), como se muestra a continuación:

Si $|F_c| \leq |F_t|$ al (95%) de confianza $\rightarrow S_1(x) = S_2(x)$, las desviaciones estándar son iguales estadísticamente.

Si $|F_c| > |F_t|$ al (95%) de confianza $\rightarrow S_1(x) \neq S_2(x)$, las desviaciones estándar son diferentes (existe salto).

En la tabla 8 se muestra los resultados de las 4 estaciones.

3.5.2.2. *Determinación de la precipitación, temperatura del área total de la cuenca.*

3.5.2.2.1. *Método de las Isoyetas.*

Para la determinación de la precipitación y temperatura media sobre la cuenca del río Cumbaza, se utilizó el software ArcGis versión 10.0, mediante la caja de herramientas arctoolbox, se efectuó las isoyetas.

3.5.2.3. *Generación de la oferta hídrica de la cuenca.*

Una vez obtenida los datos de precipitación areal correctamente tratados e interpolados se procede a generar la oferta hídrica mediante el modelo hidrológico Lutz Scholz.

3.5.2.3.1. *Aplicación del modelo hidrológico Lutz Scholz.*

El modelo de Lutz Scholz interactúa una serie de modelos determinísticos y estocásticos parciales con la finalidad de generar un caudal promedio característico en la cuenca, para luego extender la serie con un modelo puramente estocástico como es el modelo marcoviano de primer orden (Tarazona, 2005).

Para la determinación de la oferta hídrica es necesario el cálculo de algunas variables que son necesarias para el desarrollo del modelo hidrológico, entre ellas están:

a. Coeficiente de escurrimiento

- Según Tarazona (2005) se considera el uso de la fórmula propuesta en la ecuación 14:

$$C = \frac{P-D}{P} \dots\dots\dots (14)$$

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 (Tarazona, 2005):

$$D = P \frac{1}{\left(0.9 + \frac{P^2}{L^2}\right)^{\frac{1}{2}}} \dots\dots\dots (15)$$

Donde:

L: Coeficiente de temperatura

P: Precipitación total anual (mm/año)

- Para la determinación del coeficiente de Temperatura (L) se utiliza la siguiente fórmula (Tarazona, 2005):

$$L = 300 + 25(T) + 0.05(T)^3 \dots\dots\dots (16)$$

Donde:

T: Temperatura media anual

b. Retención de la cuenca

Bajo la suposición de que exista un equilibrio entre el gasto y el abastecimiento de la reserva de la cuenca y además que el caudal total sea igual a la precipitación efectiva anual, la contribución de la reserva hídrica al caudal se puede calcular según las fórmulas (Tarazona, 2005):

$$R_i = CM_i - PE_i \dots\dots\dots (17)$$

$$CM_i = PE_i + G_i - A_i \dots\dots\dots (18)$$

Donde:

CM_i : Caudal mensual (mm/mes)

PE_i : Precipitación (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)

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

c. Coeficiente de agotamiento

Mediante la fórmula se puede calcular el coeficiente de agotamiento "a", en base a datos hidrométricos.

El coeficiente de agotamiento de la cuenca tiene una dependencia logarítmica del área de la cuenca. Así tenemos la siguiente ecuación para el coeficiente de agotamiento (Tarazona, 2005):

$$a = -0.00252(\ln AR) + k \dots\dots\dots (19)$$

Lutz Scholz propone las siguientes condiciones, para el valor de "K"

Tabla 5
Condiciones para la determinación de "k"

Tipo de Cuencas	Condición	Coefficiente
Cuencas con agotamiento muy rápido	Debido a temperaturas elevadas (>10°C) y retención que va de reducida (50 mm/año) a mediana (80 mm/año)	K= 0.34
Cuencas con agotamiento rápido	Retención entre 50 y 80 mm/año y vegetación poco desarrollada (puna)	K= 0.030
Cuencas con agotamiento mediano	Retención mediana (80 mm/año) y vegetación mezclada (pastos, bosques y terrenos cultivados)	K=0.026
Cuencas con agotamiento reducido	Debido a la alta retención (>100 mm/año)	k= 0.023

Fuente: Tarazona, (2005).

Cabe indicar que todos estos cálculos se han desarrollado en el software Lutz Scholz de manera automática y no de manera manual.

3.5.3. Metodología para determinar las demandas hídricas en la cuenca del río Cumbaza.

Las demandas hídricas fueron determinadas con la recopilación de los datos de los usuarios demandantes, para procesarlos estadísticamente y tener un promedio de los años en seguimiento.

Posteriormente se procedió a analizar y ordenar de acuerdo al tipo de servicio, para tener una diferencia entre los dos aspectos predominantes de uso por las demandantes.

Capítulo IV

Resultados y discusión

4.1. Resultados de la investigación

En esta investigación se determinó diferentes variables que interactúan entre sí para dar características especiales a la cuenca del río Cumbaza, los diferentes resultados se describen a continuación:

4.1.1. Caracterización morfométrica.

Se ha determinado los principales parámetros morfométricas en base a la información cartográfica digital obtenida a partir de las cartas nacionales del IGN. Estos valores se determinaron a través del software ArcGis 10.0 y algunos de ellos con el apoyo de la aplicación Excel.

Obteniendo así, los siguientes valores morfométricas de la cuenca del río Cumbaza, resultados que se muestran en la Tabla 6 y la curva hipsométrica en la figura 10.

Tabla 6
 Características morfométricas de la cuenca del río Cumbaza.

Características de la cuenca del Cumbaza		
Área de la cuenca	Km ²	571.2
Perímetro de la cuenca	m	130229
Ancho de la cuenca	Km	14.15
Longitud de la cuenca	Km	40.36
<i>Cotas</i>		
Máxima	m.s.n.m	1800
Mínima	m.s.n.m	200
<i>Altitud</i>		
Altitud media	m.s.n.m	956.95
Altitud más frecuente	m.s.n.m	266.67
<i>Pendiente</i>		
Pendiente promedio de la cuenca	%	17.18
Índice de compacidad		1.52
Factor forma		0.35
Índice de alargamiento		2.85
<i>Red Hídrica</i>		
Orden de la red hídrica	Und	5
Longitud del cauce principal	Km	52
Longitud de la red hídrica	Km	278.06

Fuente: Elaboración propia.

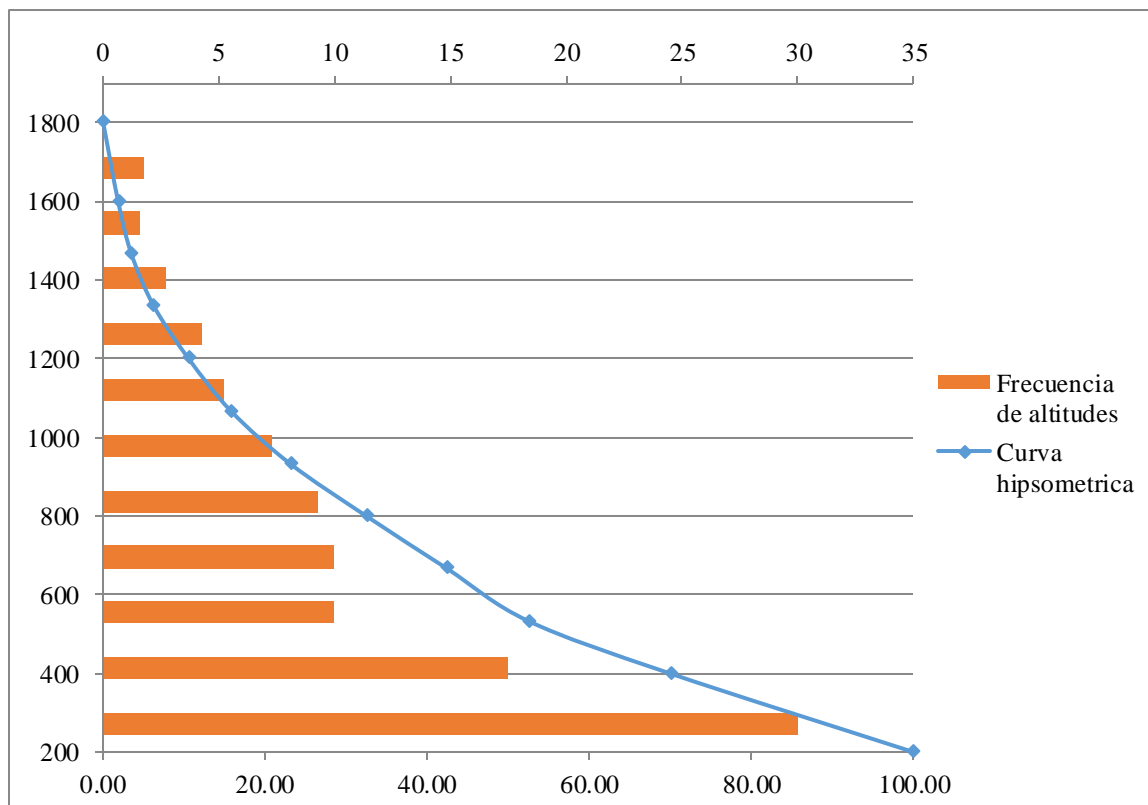


Figura 10 Curva hipsométrica de la cuenca del río Cumbaza.

Fuente: Elaboración propia.

El área que engloba el río Cumbaza, es definida como “cuenca” según la teoría (Matero, 1986) debido a que posee un área mayor a 300 km² (571.2 km²), cuenta con un perímetro de 130 229 m, teniendo un ancho máximo de 14.15 km y una longitud de 40.36 km. Además, la cuenca posee una cota máxima de 1800 m.s.n.m y una mínima de 200 m.s.n.m.

CEDISA (2003), ZEE (2007) y CONDESAN (2014), Reafirman el resultado obtenido indicando en sus estudios la similaridad del área, perímetro, ancho y longitud de la cuenca. Sin embargo ZEE (2007) afirma que la cuenca esta entre las cotas altitudinales de 350 a 1800 m.s.n.m en tanto CEDISA (2003) y CONDESAN (2014) ratifica el resultado obtenido en la presente investigación.

De acuerdo a Gavilán (s.f) el resultado del índice de Gravilius indica que la cuenca tiene una forma oval oblonga a rectangular oblonga, y además podemos indicar que

existen menores posibilidades de crecidas por alejarse de la unidad. También se afirma, debido al resultado obtenido del factor de forma, que la cuenca tiene una tendencia de crecidas lentas y sostenidas. Además, según el resultado del índice de alargamiento se puede concluir que la cuenca tiende a ser una cuenca alargada.

De acuerdo al resultado de la pendiente media, para Ortiz (2004) estamos frente a un tipo de relieve accidentado, además indica que es poco probable que se generen crecidas en corto tiempo.

Según el gráfico obtenido de la curva hipsométrica de la cuenca del río Cumbaza se puede afirmar que existe una mayor área entre las cotas altitudinales de 200 a 400 m.s.n.m.

Según Monsalve (1995) podemos afirmar que es un río perenne según la constancia de la escorrentía, adicionalmente de acuerdo a Suarez (2001) el río Cumbaza es un río que presenta un cauce de forma meándrica, ya que posee una pendiente baja y presenta flujos curvilíneos. Además, el río posee un nivel de orden 5 según la estructura de su red hídrica según (Horton, 1945). La Tabla 7 muestra la distribución por niveles del orden hídrico y además en el Anexo 8 se muestra el mapa de distribución de orden hídrico en la cuenca.

Tabla 7
Nivel hídrico de la cuenca del Cumbaza

Orden de la red hídrica	Longitud en Km
1	125.844092
2	84.622282
3	39.216719
4	17.179908
5	11.205474
Suma	278.068475

Fuente: Elaboración propia

4.1.2. Determinación de la oferta hídrica.

4.1.2.1. Análisis y tratamiento de la información meteorológica.

4.1.2.1.1. Complemento de datos faltantes.

En el presente estudio de investigación en la cuenca del río Cumbaza, se encontró vacíos en los años de 1996-1998 en algunos meses para la estación de Tarapoto y entre los años 2010-2011 para la estación de El Porvenir.

De las cinco metodologías usadas se determinó que la metodología de Regresión múltiple es la más adecuada debido a que en el análisis estadístico es la más cercana al coeficiente de correlación 1. Las tablas de las correlaciones de las metodologías con las estaciones se muestran en el Anexo 6.

En el Anexo 7 se muestra los datos completados de las estaciones de Tarapoto y El Porvenir, así mismo se presentan los datos de las estaciones de Lamas y San Antonio que fueron utilizados en la presente investigación.

4.1.2.1.2. Análisis de consistencia.

a. Análisis gráfico.

Mediante este análisis se detectó algunos saltos en la información histórica, sin embargo, al comparar las estaciones, se observó que estos saltos se ubican en las 4 estaciones en los mismos periodos (años). Esto indica que en esos años ocurrieron algún tipo de fenómenos meteorológicos como el niño o la niña.

Se debe aclarar que el análisis se hace únicamente con fines de identificar las posibles inconsistencias, las mismas que fueron evaluadas estadísticamente mediante las pruebas respectivas de T-student y Fisher que se muestran en la Tabla 8.

Los hidrogramas de las 4 estaciones para el periodo en estudio 1996-2015 se encuentran en el Anexo 3.

b. Análisis de doble masa.

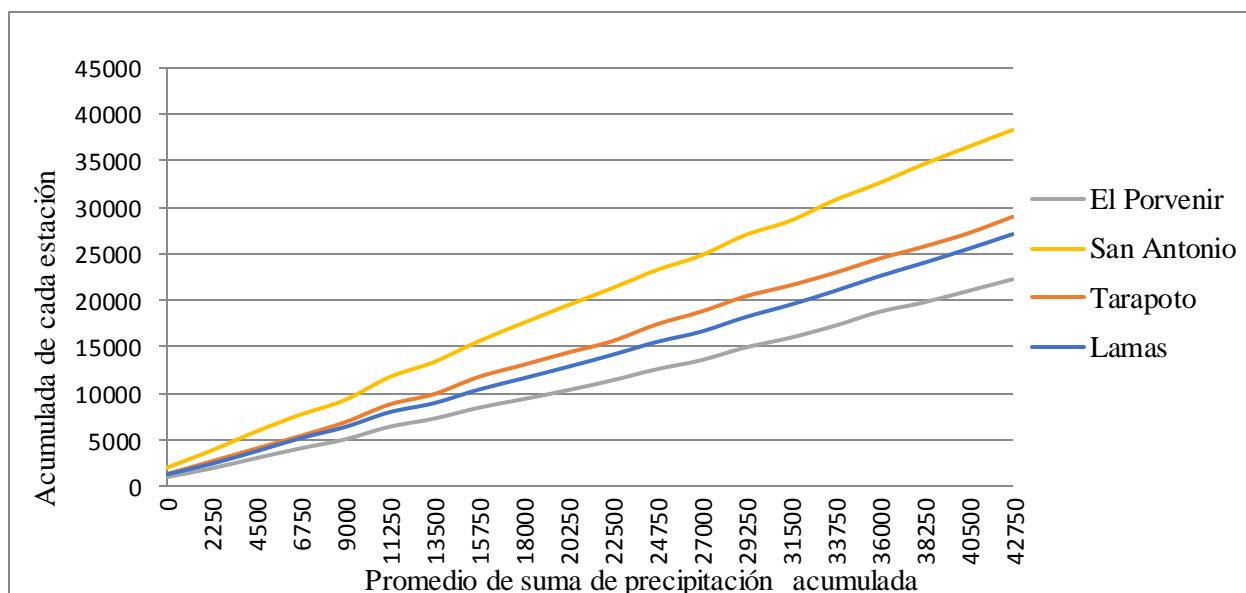


Figura 11 Curva de doble masa acumulada de las 4 estaciones

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 11 se presenta la curva de doble masa correspondiente a la información histórica de la precipitación total anual de cada grupo de las estaciones pluviométricas.

Se elaboró un cuadro en la aplicación Excel con los datos de precipitación anual total del periodo 1996 al 2015 y se realizó el proceso de acumulación en forma sucesiva desde el año inicial hasta el final.

De la anterior figura, se intuye que las cuatro estaciones se asimilan a una línea recta, teniendo a la estación de San Antonio como la menos recta y la de Tarapoto como la más recta; por lo tanto, según Tarazona (2005), esta figura indica que los datos son confiables.

c. *Análisis estadísticos de saltos.*

Tabla 8
Análisis estadístico de saltos.

Estación	Periodo	Muestra	Media	Desv. estandar	Prueba estadística al 95%				Resultados
					Tc	Tt	Fc	Ft	
Lamas	1996-2001	6	1368.6	221.0	0.07	2.025	1.16	2.24	No hay presencia de saltos
	2002-2015	14	1360.3	238.4					
Porvenir	1996-2012	17	1052	180.1	-1.65	2.025	0.51	1.97	No hay presencia de saltos
	2013-2015	3	1233.2	129.3					
San Antonio	1996-2001	6	1929.2	298.3	0.38	2.025	1.73	2.08	No hay presencia de saltos
	2002-2015	14	1883.05	226.8					
Tarapoto	1996-2012	17	1320.9	176.2	-1.70	2.025	0.18	1.97	No hay presencia de saltos
	2013-2015	3	1504.7	76.05					

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar, en la tabla 8, se utilizaron datos de la base histórica de precipitación de las 4 estaciones de la cuenca del río Cumbaza, teniendo como resultado que todas las estaciones presentan datos confiables, debido a que, según las pruebas estadísticas realizadas $T_c < T_t$ y $mi F_c < F_t$, y se acepta la H_0 . Esto indica que se puede proceder a trabajar con los datos.

4.1.2.1.3. Determinación de la precipitación del área total de la cuenca.

La determinación de la precipitación areal mensual de la cuenca fue desarrollada mediante la metodología de isoyetas en el software ArcGis, (en el Anexo 12 se muestra un ejemplo de mapas de isoyetas de precipitación del mes de abril del año 1996, que se realizó en la presente investigación), teniendo como resultado la Tabla 9 que se muestra a continuación, la cual permitió determinar la oferta hídrica.

*Tabla 9**Precipitación areal total-mensual en mm de la cuenca del río Cumbaza periodo 1996-2015.*

Años	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
1996	200.0	122.3	140.2	139.4	79.0	95.3	38.7	87.1	102.5	149.4	73.6	243.1	1470.5
1997	107.9	236.8	125.3	115.6	208.4	18.3	37.6	82.0	160.7	64.6	63.6	124.3	1345.0
1998	154.5	155.6	133.1	207.9	116.2	150.2	53.3	34.8	121.1	162.5	106.5	110.5	1506.1
1999	174.2	185.2	203.1	93.5	216.3	79.1	70.1	52.2	66.3	56.3	148.9	113.9	1459.0
2000	109.8	147.0	128.8	170.2	56.5	91.9	61.7	81.7	166.9	66.1	49.1	184.7	1314.3
2001	94.8	131.8	165.4	325.7	202.0	68.3	189.1	71.7	118.9	159.6	94.6	242.6	1864.7
2002	42.0	128.2	96.4	152.9	89.9	55.8	117.1	34.6	38.6	135.0	115.8	106.5	1112.9
2003	156.3	131.1	225.5	192.6	124.4	126.1	57.4	63.0	91.7	144.3	136.6	249.9	1698.9
2004	55.9	154.1	125.5	62.3	136.2	115.7	119.9	124.3	97.6	149.6	134.3	119.1	1394.5
2005	63.7	214.7	161.8	205.2	58.7	111.4	60.9	22.6	89.3	164.2	208.6	37.2	1398.4
2006	161.1	153.8	127.3	139.0	86.7	95.3	119.0	39.7	68.8	159.8	161.3	87.5	1399.5
2007	139.7	27.9	286.9	217.4	208.5	18.7	115.8	68.5	126.2	130.1	193.4	58.8	1591.9
2008	85.1	199.0	161.5	97.3	82.2	123.1	54.8	49.4	149.8	108.9	107.1	52.4	1270.5
2009	171.0	165.7	170.6	265.8	144.4	138.0	74.5	121.1	159.3	109.3	110.4	101.2	1731.2
2010	69.1	152.1	113.5	245.0	115.1	78.8	33.5	57.1	50.7	103.6	162.8	117.5	1298.8
2011	83.3	59.2	224.5	157.2	155.5	164.1	101.1	46.1	103.0	142.8	233.2	168.4	1638.4
2012	117.2	97.1	223.1	271.0	123.8	80.2	55.6	24.6	97.6	174.8	92.3	215.6	1572.8
2013	180.2	125.9	184.1	103.9	141.4	77.2	95.4	119.4	113.0	77.6	178.5	112.3	1509.0
2014	152.6	135.8	262.8	139.9	126.2	56.3	93.2	54.9	120.5	175.0	129.7	99.3	1546.4
2015	161.6	221.1	141.6	265.6	133.7	92.9	63.2	62.8	49.5	125.3	79.6	230.0	1626.9

Tabla 10

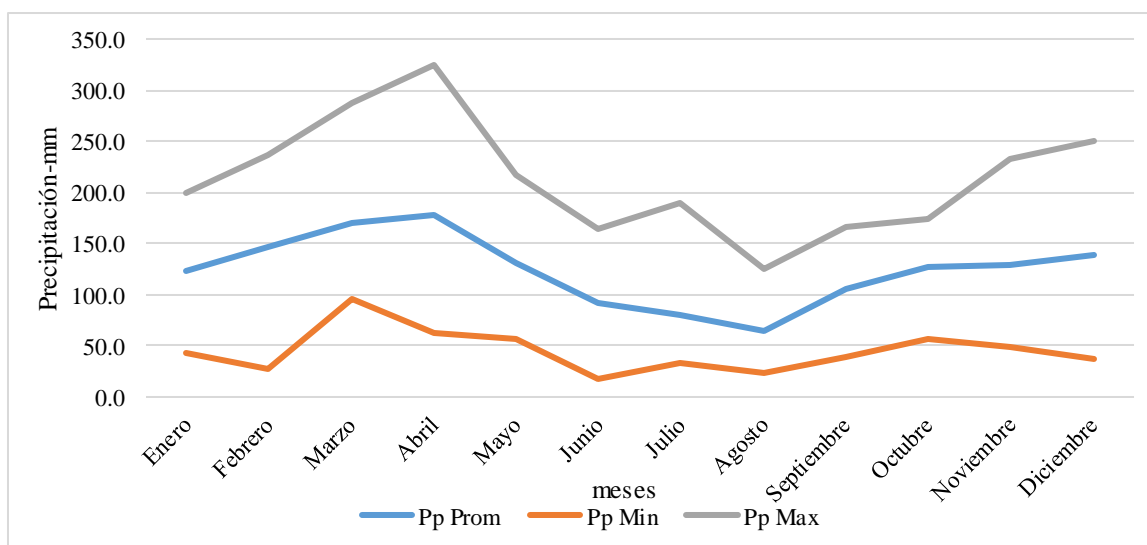
Indicadores estadísticos de la precipitación areal de la cuenca del río Cumbaza.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Pp Prom	124.0	147.2	170.1	178.4	130.2	91.8	80.6	64.9	104.6	127.9	129.0	138.7	1487.5
Pp Min	42.0	27.9	96.4	62.3	56.5	18.3	33.5	22.6	38.6	56.3	49.1	37.2	540.6
Pp Max	200.0	236.8	286.9	325.7	216.3	164.1	189.1	124.3	166.9	175.0	233.2	249.9	2568.4

Fuente: Elaboración propio.

Figura 12 . *Curva del promedio, máximos y mínimos de precipitación para la cuenca del río*

Cumbaza.



Fuente: Elaboración propia.

CEDISA (2003) señala que la precipitación media anual de la Cuenca del río Cumbaza es de 1245.3 mm. En la presente investigación se tiene que la precipitación media anual es 1487.5 mm, resultado que no se aleja de lo expuesto por CEDISA en el año 2003. Además, la precipitación mínima anual es 540.6 mm y la precipitación máxima es 2568.4 mm, considerando el registro histórico de precipitación en el período 1996 al 2015 de la cuenca del río Cumbaza.

De la figura 12 y en referencia a la cuenca del río Cumbaza, se evidencia que existe precipitación durante los 12 meses del año; teniendo una precipitación promedio (Pp prom) mensual que varía desde 64.9 mm (mes de agosto) hasta 178.4 mm (mes de abril); la precipitación mínima (Pp min) mensual varía desde los 18.3 mm (mes de junio) hasta

96.4 mm (mes de marzo) y la precipitación máxima (Pp máx) mensual varía desde 124.3 mm (mes de agosto) hasta 325.7 mm (mes de abril).

4.1.2.1.4. Oferta hídrica – Lutz Scholz.

La estimación de la oferta hídrica en la descarga o caudal de salida, de la cuenca del río Cumbaza, se ha determinado por modelos hidrológicos determinísticos basado en los procesos de precipitación-escorrentía.

Para realizar este proceso, se ha utilizado el modelo hidrológico de Lutz Scholz.

- Modelo hidrológico Lutz Scholz.

a. Coeficiente de escurrimiento.

La cuenca del río Cumbaza posee un coeficiente de escurrimiento de 0.21, con un déficit de escurrimiento de 1179.8 mm/año y un coeficiente de temperatura de 1791.2.

b. Retención de la cuenca.

Se estima para la cuenca del río Cumbaza, una retención de 98.91 mm/año, pero se toma referencia a 200.0 mm/año según el criterio de Lutz Schoolz, porque se encuentra rodeado de quebradas y toma parte de la cordillera escalera.

c. Coeficiente de agotamiento.

Se tomó en cuenta el $k= 0.026$ debido a las características ecológicas de la cuenca presencia de bosques, la retención obtenida, teniendo como resultado un coeficiente de agotamiento de 0.01. En el Anexo 9,10 y 11 se muestran las imágenes de los resultados del programa de cómputo Lutz Scholz.

d. Oferta hídrica.

Los caudales generados mediante el método precipitación-escorrentía, se desarrollaron en el software Lutz scholz, los cuales cuentan con un registro de 20 años. Para el cálculo de la escorrentía era importante tener los valores de los datos antes mencionados, como

área de la cuenca, coeficiente de escorrentía, retención, k de agotamiento, año de inicio de precipitación y las precipitaciones de los 20 años históricos con los que se trabajó. Además, para efectos de determinar los volúmenes o caudales mensuales naturalizados, se ha trabajado con datos hidrométricos al 75% de persistencia, a fin de asegurar la dotación correspondiente para los posibles usos de agua que se puedan dar en la cuenca del río Cumbaza, esto según la ley de recursos hídricos ley N° 29338.

Se ha considerado estimar el 10% del caudal medio mensual en épocas de crecidas que corresponde desde el mes de noviembre hasta abril y el 15% del caudal medio mensual en épocas de estiaje desde mayo hasta octubre, a fin de asegurar el caudal ecológico del río Cumbaza. En la siguiente tabla se muestra los datos generados, ordenados para la identificación de los valores de escorrentía al 75 % de persistencia.

Tabla 11

Oferta hídrica de la cuenca del río Cumbaza al 75% de Persistencia – Caudales generados m³ /s del periodo 1996-2015.

Rio	Orden	P%	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM
		m/n+1													
Cumbaza	1	5	16.44	18.3	14.61	15.9	14.21	15.77	12.21	12.46	11.72	18.2	16.99	15.44	15.19
	2	10	12.44	17.47	13.86	14.9	13.49	12.04	9.85	10.45	11.6	10.46	13.34	14.51	12.87
	3	15	11.72	11.28	12.21	13.5	11.6	11.29	9.85	9.86	9.68	9.46	13.08	13.39	11.41
	4	20	10.83	10.73	11.28	13.3	11.26	10.8	9.5	9.53	9.68	9.31	10.28	12.48	10.75
	5	25	10.03	10.62	11.21	12	10.67	9.46	9.25	8.75	9.11	9.24	9.73	10.5	10.05
	6	30	9.27	10.47	10.79	11.2	10.29	9.36	8.95	8.44	8.96	8.24	9.42	9.14	9.54
	7	35	9.18	10.11	10.26	11.1	10	9.3	8.75	8.25	8.31	8.05	9.25	9.05	9.30
	8	40	8.83	9.9	9.36	11	9.79	8.97	8.73	7.73	7.38	7.94	7.95	7.57	8.76
	9	45	8.58	9.77	9.04	10.8	9.44	7.69	8.42	7.68	6.97	7.84	7.22	7.29	8.39
	10	50	8.1	9.6	8.75	10.2	8.61	7.67	7.86	7.61	6.85	7.75	6.68	7.15	8.07
	11	55	7.78	8.41	8.53	9.61	8.49	7.25	7.66	6.13	6.56	7.05	6.38	7.12	7.58
	12	60	7.22	8.03	7.68	9.32	7.18	7.16	7.48	5.71	6.42	7.04	6.19	6.81	7.19
	13	65	6.65	7.55	7.38	8.91	6.73	6.56	7.38	5.52	6.3	6.86	6.16	6.46	6.87
	14	70	6.63	6.89	7.14	8.08	6.64	6.18	6.74	5.43	5.59	6.03	6.03	6.27	6.47
	15	75	6.52	6.79	6.92	7.06	6.48	6.07	6.07	5.24	5.55	5.87	5.97	5.44	6.17
	16	80	6.43	6.74	6.6	6.23	6.38	5.77	6.21	4.71	5.54	5.74	5.39	5.32	5.92
	17	85	6.24	6.43	6.42	5.67	5.82	5.38	4.01	4.71	5.39	5.59	5.38	5.25	5.52
	18	90	5.95	6.34	6.26	5.55	5.79	5.32	3.7	4.35	5.28	3.59	5.25	5.23	5.22
	19	95	4.53	5.86	4.58	4.87	4.9	5.06	3.6	3.89	5.18	4.77	4.93	4.88	4.75
	20	100	2.7	5.23	4.13	3.89	4.32	4.04	3.51	3.81	4.21	3.13	4.7	2.41	3.84

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12

Indicadores estadísticos del caudal de la cuenca del río Cumbaza.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom
Caudal medio m3/s	8.30	9.33	8.85	9.65	8.60	8.06	7.49	7.01	7.31	7.61	8.02	8.09	8.19
Caudal mínimo m3/s	2.70	5.23	4.13	3.89	4.32	4.04	3.51	3.81	4.21	3.13	4.70	2.41	3.84
Caudal máximo m3/s	16.44	18.30	14.61	15.94	14.21	15.77	12.21	12.46	11.72	18.20	16.99	15.44	15.19
Persistencia al 75% m3/s	6.52	6.79	6.92	7.06	6.48	6.07	6.07	5.24	5.55	5.87	5.97	5.44	6.17
Caudal ecológico- m3/s													
10% épocas de crecida-	0.65	0.68	0.69	0.71	0.97	0.91	1.00	0.79	0.83	0.88	0.90	0.54	0.80
15% épocas de estiaje													
Oferta hídrica de la cuenca	5.87	6.11	6.23	6.35	5.50	5.16	5.07	4.45	4.72	4.99	5.08	4.90	5.37

Fuente: Elaboración propia.

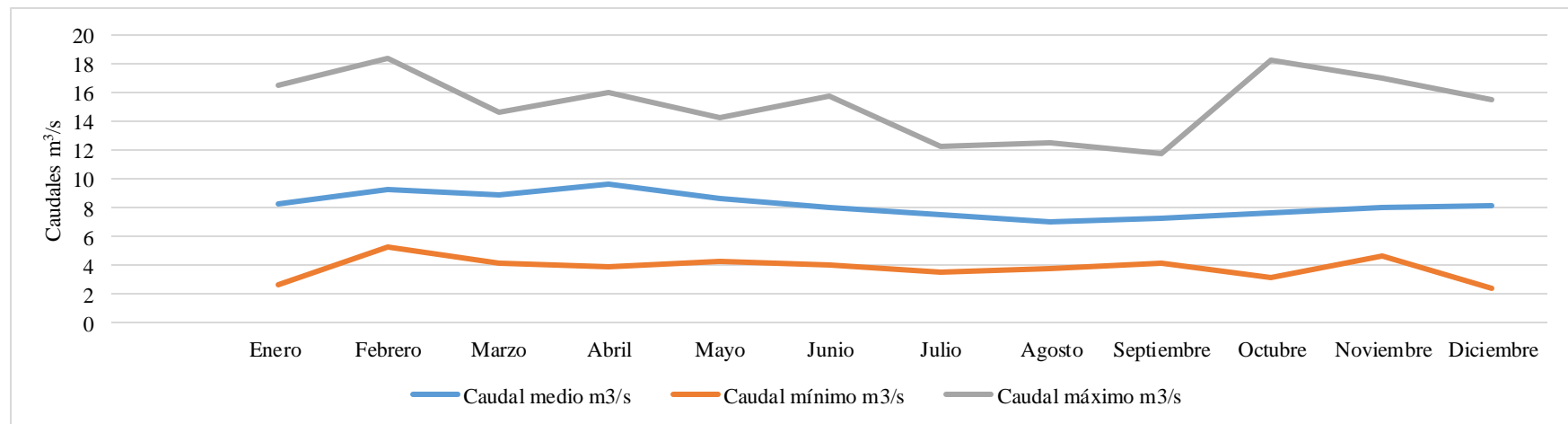


Figura 13 Curva de caudales m3/s - M. H. Lutz Scholz

Fuente: Elaboración propia

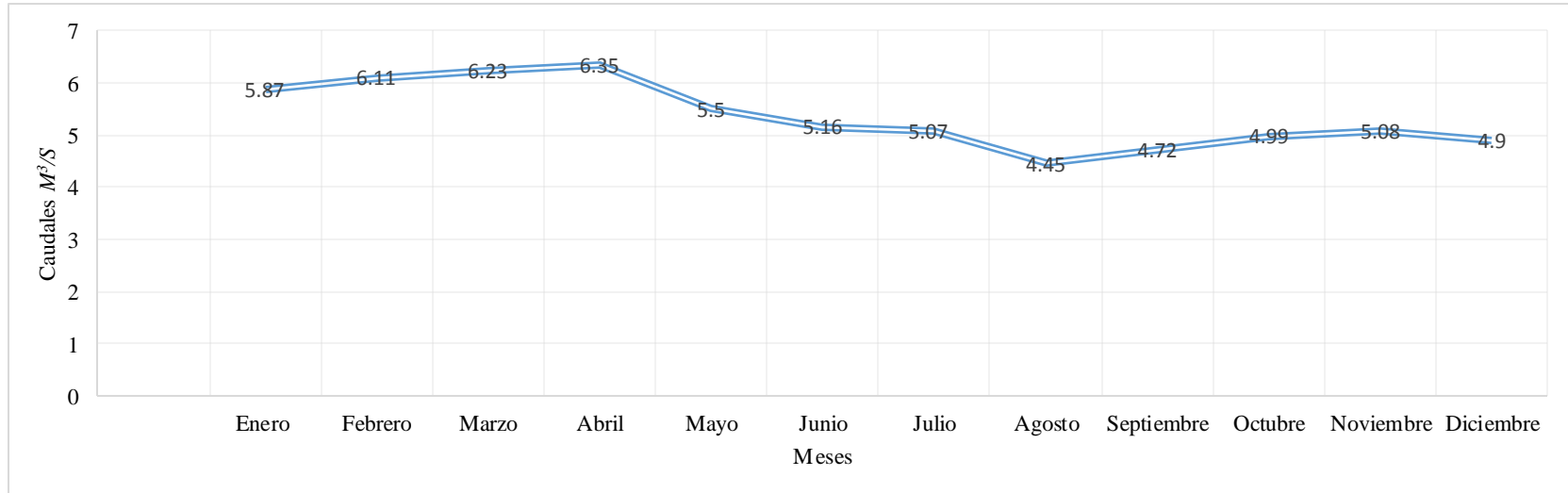


Figura 14
Oferta hídrica
de la cuenca
del río
Cumbaza
m³/s - M. H.
Lutz Scholz

Fuente:
Elaboración
propia

De la Tabla 12 y en referencia a la cuenca del río Cumbaza, se tiene que el caudal promedio (Q prom) mensual varía desde $7.01 \text{ m}^3/\text{s}$ (mes de agosto) hasta $9.65 \text{ m}^3/\text{s}$ (mes de abril); el caudal mínimo (Q min) mensual varía desde los $2.41 \text{ m}^3/\text{s}$ (mes de diciembre) hasta $5.23 \text{ m}^3/\text{s}$ (mes de febrero) y el caudal máximo (Q máx) mensual varía desde $11.72 \text{ m}^3/\text{s}$ (mes de septiembre) hasta $18.30 \text{ m}^3/\text{s}$ (mes de febrero). Sin embargo para efecto de la presente investigación se tomó como oferta hídrica los valores que se encuentran al 75 % persistencia, menos los valores de caudales ecológicos como indica la ley N° 29338, valores que se muestran en la figura 14, teniendo un caudal mínimo de $4.45 \text{ m}^3/\text{s}$ en el mes de agosto y un caudal máximo de $6.35 \text{ m}^3/\text{s}$ en el mes de abril.

4.1.3. Demandas del recurso hídrico.

Los afluentes del río Cumbaza como el río principal de la cuenca, proporcionan el recurso hídrico para el uso poblacional y productivo, siendo aprovechada toda la superficie de la cuenca.

De acuerdo al Registro Administrativo de Derechos de uso de Agua [–RADA], de la Autoridad Nacional del Agua, existen resoluciones de asignaciones de agua de años anteriores, con fines agrarios y no agrario tal como se observa en la Tabla 12 y Tabla 13 del Anexo 13.

Tabla 13
Demanda hídrica total m3 /s.

CONSUMO	MESES												PROM
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
DEMANDA HÍDRICA AGRARIA	1.85	2.75	2.82	2.79	2.92	2.95	3.00	3.02	3.00	2.96	2.99	3.11	2.84
DEMANDA HÍDRICA POBLACIONAL	0.30	0.29	0.29	0.32	0.27	0.29	0.29	0.29	0.28	0.29	0.28	0.28	0.29
TOTAL	2.15	3.04	3.11	3.11	3.19	3.24	3.29	3.31	3.28	3.25	3.27	3.39	3.13

Fuente: Elaboración propia.

4.1.4. Balance hídrico.

Para el presente estudio, el balance hídrico de la cuenca del río Cumbaza, se determinó en función del uso total del agua superficial (demanda hídrica) y el agua superficial disponible (oferta hídrica).

Tabla 14

Balance hídrico de la cuenca del río Cumbaza m³/s

Descripción	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Prom
OFERTA TOTAL DE AGUA m³/s	5.87	6.11	6.23	6.35	5.5	5.16	5.07	4.45	4.72	4.99	5.08	4.9	5.37
DEMANDA TOTAL DE AGUA m³/s	2.15	3.04	3.11	3.11	3.19	3.24	3.29	3.31	3.28	3.25	3.27	3.39	3.13
SUPERAVIT/ DEFICIT m³/s	3.72	3.07	3.12	3.24	2.31	1.92	1.78	1.14	1.44	1.74	1.81	1.51	2.24

Fuente: Elaboración propia.

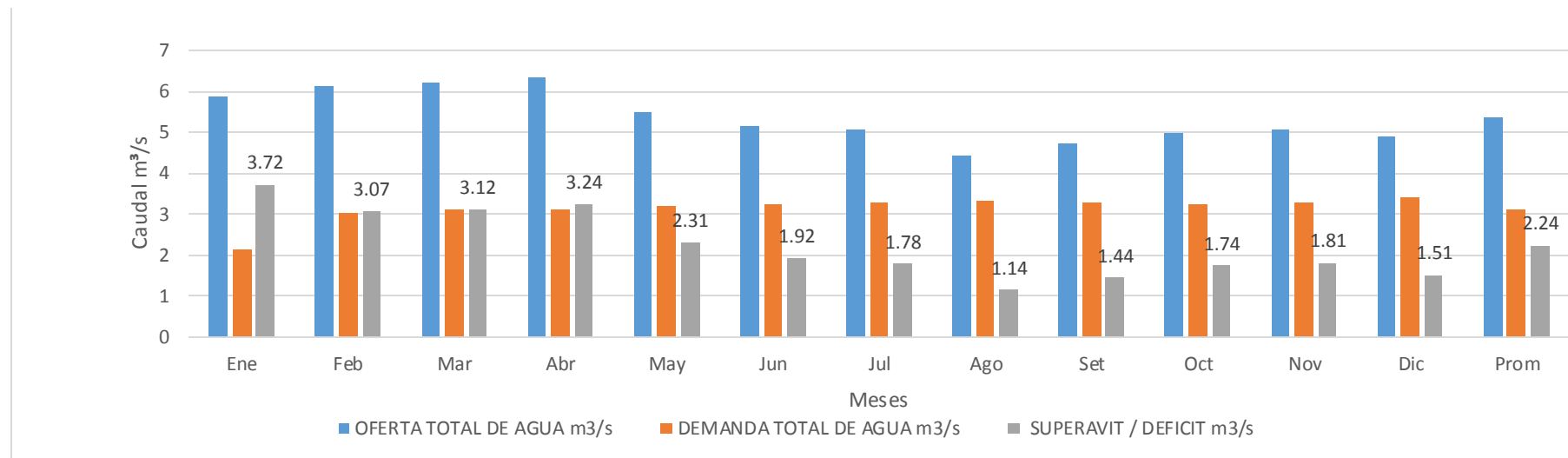


Figura 15 *Balance hídrico de la cuenca del río Cumbaza m³/s*

Fuente: Elaboración propia

Según la ZEE (2007) indica que en el periodo 1977 al 1985 el promedio mensual más bajo fue de $6.05 \text{ m}^3/\text{s}$ en el mes de julio y el promedio más elevado fue de $13.5 \text{ m}^3/\text{s}$ en el mes de marzo. En el periodo 1995 al 2007 se observó una disminución paulatina en comparación al periodo anterior teniendo como promedio mensual del periodo más bajo $2.33 \text{ m}^3/\text{s}$ en el mes de agosto y del periodo mensual más elevado de $7.98 \text{ m}^3/\text{s}$ en el mes de abril. En la presente investigación se tiene una disponibilidad hídrica superficial mínima de $1.14 \text{ m}^3/\text{s}$ en el mes de agosto y un máximo de $3.72 \text{ m}^3/\text{s}$ en el mes de enero.

Capítulo V

Conclusiones y recomendaciones

5.1. Conclusiones

- De acuerdo a las características morfométricas determinadas en la presente investigación, se concluye que el área que engloba el río Cumbaza es definida como “cuenca” debido a que sobrepasa los 300 km² según la teoría (Matero, 1986). Además, se concluye que la cuenca tiene una forma oval oblonga a rectangular oblonga, con tendencia a ser una cuenca alargada debido a los resultados obtenidos de factor de forma e índice de alargamiento. Con estos resultados de forma podemos indicar que existen menores posibilidades de crecidas, obteniendo una tendencia de crecidas lentas y sostenidas.
- Según la figura 10 obtenido de la curva hipsométrica de la cuenca del río Cumbaza se afirma que existe una mayor área entre las cotas altitudinales de 200 a 400 m.s.n.m. Además de acuerdo al resultado de la pendiente media podemos concluir que estamos frente a un tipo de relieve accidentado, esto indica que es poco probable que se generen crecidas en corto tiempo.
- De acuerdo a las características de la red de drenaje del río Cumbaza podemos afirmar que es un río perenne según la constancia de la esorrentía, adicionalmente el río Cumbaza es un río que presenta un cauce de forma meándrica, ya que posee una pendiente baja y presenta flujos curvilíneos y posee un nivel orden 5 según la estructura de sus redes hídricas.

- Mediante el análisis de consistencia, específicamente mediante el análisis gráfico, se puede indicar que entre los años 2001-2002, 2007-2008 y 2012-2013 se produjeron un incremento notorio en las precipitaciones en las 4 estaciones. Esto hace indicar que en esos años ocurrieron algún tipo de fenómenos meteorológicos. De la figura 11, se deduce que las cuatro estaciones se asemejan a una línea recta, teniendo a la estación de San Antonio como la menos recta y la de Tarapoto como la más recta; por lo tanto esto nos indica que los datos son confiables. Esto se suma al análisis estadístico, que demuestra en forma matemática que los datos de la base histórica de 20 años de las 4 estaciones utilizados en el tema de investigación son estadísticamente confiables.
- De acuerdo a la figura 12 se concluye que existe precipitación durante los 12 meses del año; además, el período húmedo se registra entre los meses de diciembre a abril, el periodo medio en los meses de mayo, setiembre, octubre y noviembre y el periodo seco entre los meses de junio a agosto.
- De la figura 13 y en referencia a la cuenca del río Cumbaza, se puede afirmar que existe presencia de caudal en los 12 meses del año. Además de la Tabla 12 se concluye que la cuenca del río cumbaza tiene una oferta hídrica promedio de $5.37 \text{ m}^3/\text{s}$, teniendo un caudal mínimo de $4.45 \text{ m}^3/\text{s}$ en el mes de agosto y un caudal máximo de $6.35 \text{ m}^3/\text{s}$ en el mes de abril.
- En la cuenca del río Cumbaza existe dos rubros que predominan en el uso demandante del recurso hídrico, que son el uso agrario y el poblacional, de acuerdo a las tablas 21 y 22 del Anexo 11 se concluye que en la cuenca del río Cumbaza existe actualmente una demanda promedio para el sector poblacional de $0.29 \text{ m}^3/\text{s}$ y una demanda para el sector agrario de $2.27 \text{ m}^3/\text{s}$, teniendo una demanda total de $3.13 \text{ m}^3/\text{s}$.
- De acuerdo a la Tabla 14, se puede concluir que existe un superávit promedio en la fuente hídrica de $2.24 \text{ m}^3/\text{s}$, y que existe un superávit hídrico en todos los meses del año

con un mínimo de 1.14 m³/s en el mes de agosto y un máximo de 3.72 m³/s en el mes de enero.

Esto nos indica que en la cuenca existe caudal para abastecer a la población de los distritos de Tarapoto, Morales y la Banda de Shilcayo, sin embargo, se entiende que el costo de inversión para la distribución sería mucho mayor debido a todos los costos de energía y tratamiento que se tendría para realizar, a sabiendas que este resultado es la que existe en la salida de la cuenca.

5.2. Recomendaciones

- Ubicar estaciones hidrométricas en la parte alta y baja de la cuenca, ya que permitirá tanto a las instituciones encargadas de velar por el recurso hídrico y a los distintos investigadores tener una idea más cercana a la realidad del comportamiento del río Cumbaza frente a los distintos factores que pueden influenciar en su caudal.
- Se busque nuevas alternativas para la captación de agua para uso poblacional, sabiendo que la población seguirá aumentada.
- Realizar programas para la conservación de la cabecera de la cuenca, esto permitirá mantener y aumentar el nivel de caudal del río Cumbaza y de esta manera asegurar la permanencia de la oferta para el futuro.

Referencias

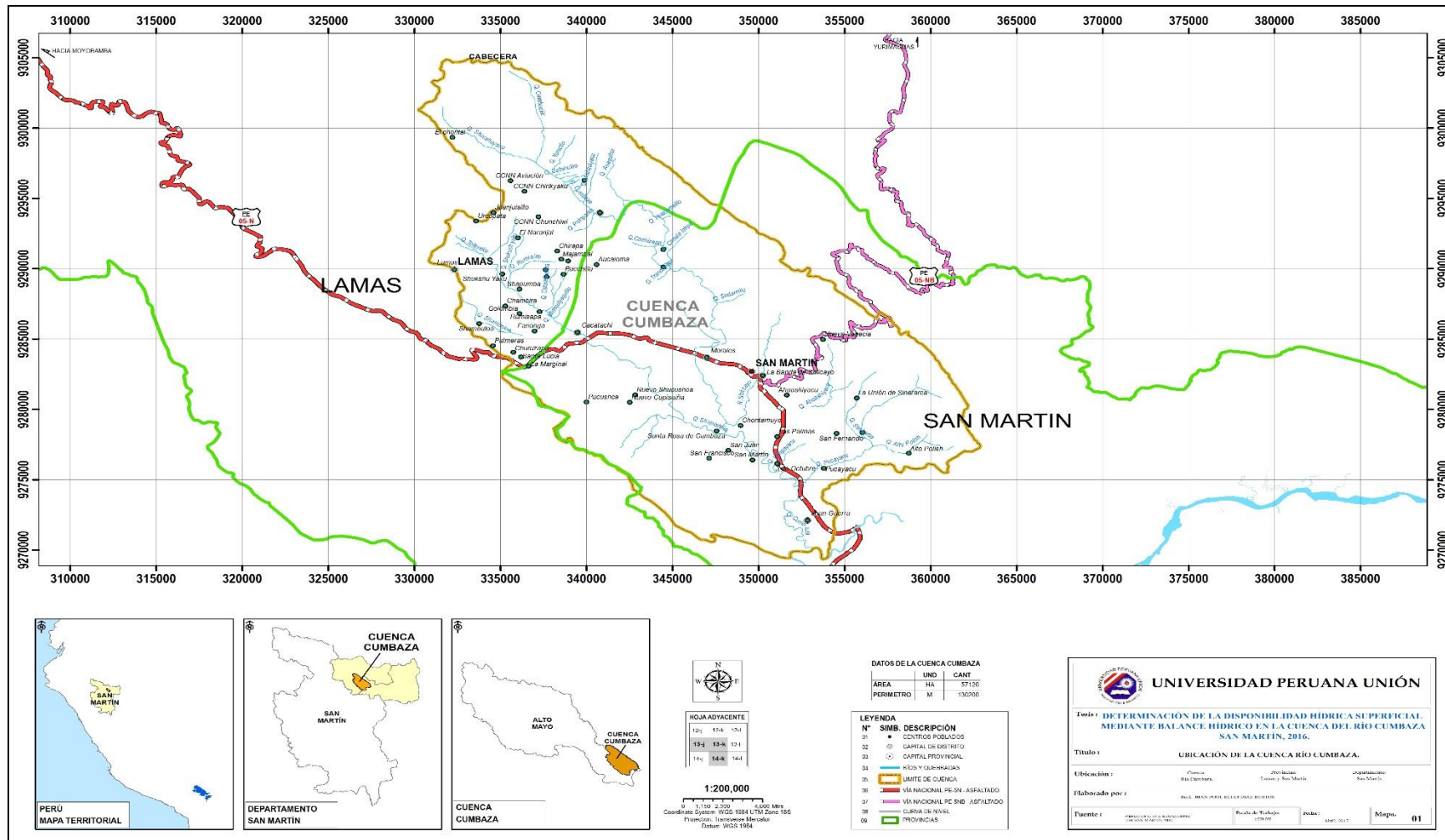
- Álvarez Cáceres R. (1996) *El método científico en las ciencias de la salud. Las bases de la investigación biomédica*. Madrid, España.
- Autoridad Nacional del Agua, (2009). *Política y Estrategia Nacional de Recursos Hídricos del Perú*, Comisión técnica Multisectorial. Lima, Perú.
- Autoridad Nacional del Agua. (2003). *Estudio de balance hídrico superficial de la cuenca del río Yauca*. Ica, Perú.
- Balairon Pérez, Luis (2002) *Gestión de recursos hídricos*. Barcelona, España: Ediciones UPB.
- Centro de desarrollo e investigación de la selva alta (2014), *Mecanismo de retribución por servicios ecosistémicos hídricos en la subcuenca del río Cumbaza*, Tarapoto, San Martín, Perú.
- Chang, J. (1959). *An evaluation of the 1948 Thornthwaite classification*, de *Annals of the Association of American Geographers*.
- Chereque, M. (1989). *Hidrología para estudiantes de ingeniería civil Pontificia Universidad Católica del Perú*, obra auspiciada por CONCYTEC. Lima, Perú, 223 pp.
- Chow, V. T. (1964). *Handbook of Applied Hydrology*. McGraw-Hill, NEW YORK, E.E.U.U.
- Consorcio Pro agua San Martín (2011), *Mejoramiento y Ampliación de los Sistemas de Agua Potable, Alcantarillado y Tratamiento de Aguas Residuales de las Localidades de Tarapoto, Morales y La Banda de Shilcayo*, San Martín, Perú.
- Corponariño (2009). *Índice de escasez de agua superficial de la cuenca del río Pasto*, p 21 y 22.
- DANE (2007). *Proyecciones de población*. Colombia.

- Gavilán, G (s.f) *Características morfométricas de cuencas. Curso hidrología*. Escuela de Ingeniería Civil. Universidad Industrial de Santander. Colombia.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. (Eds). 2010. *Educación. Metodología de la investigación* (5th ed.). Mexico: Mc Graw Hill.
- Horton, R.E. (1945). *Erosional Development o Streams, Geo*, vol. 56, pp. 281-283.
- IDEAM, 2004, *Metodología para el cálculo del índice de escasez de agua superficial*, Bogotá, Colombia, p 10.
- Jiménez B. y Galizia J. (2010). *Diagnóstico del agua en las américas*, México
- Llamas, J (1993). *Hidrología general: principios y aplicaciones*. Quebec Canadá.
- LO, C y Yeung, A. 2007. *Concepts and techniques of geographic information systems*. 2ed. New Delhi. Prentice- Hall.532 p.
- Luna, L y Lavado, G (2015). Revista Tecnológica ESPOL – RTE, Vol. 28, N. 3, 42-52.
- MAIDMENT, DR (1992). *Handbook of hidrology*. McGraw Hill. New York.
- Monsalve, SG, (1995). *Hidrología en la ingeniería*. Bogotá, Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.359 p.
- Ordoñez, J. (2011). *Ciclo Hidrológico, Global Water Partnership*, Lima, Perú.
- Paredes J, Guerrero A. (2010). *Balance hídrico para uso agrícola en la Cuenca Media y Baja del río Moche, área de influencia del Proyecto Especial CHAVIMOCHIC*, Perú.
- Reyes A. (2010), *Guía Básica para la caracterización morfométrica de cuencas hidrográficas*, Santiago de Cali.
- Santillán E.; Davila G; De Anda J y Díaz J. (2013). *Estimación del balance hídrico mediante variables climáticas, en la cuenca del río Cazonas*, Veracruz, México. Rev. Ambient. Água, vol.8, no.3.
- Suarez, DJ (2001). *Erosión en ríos y corrientes de agua*. En: Curso de control de erosión.

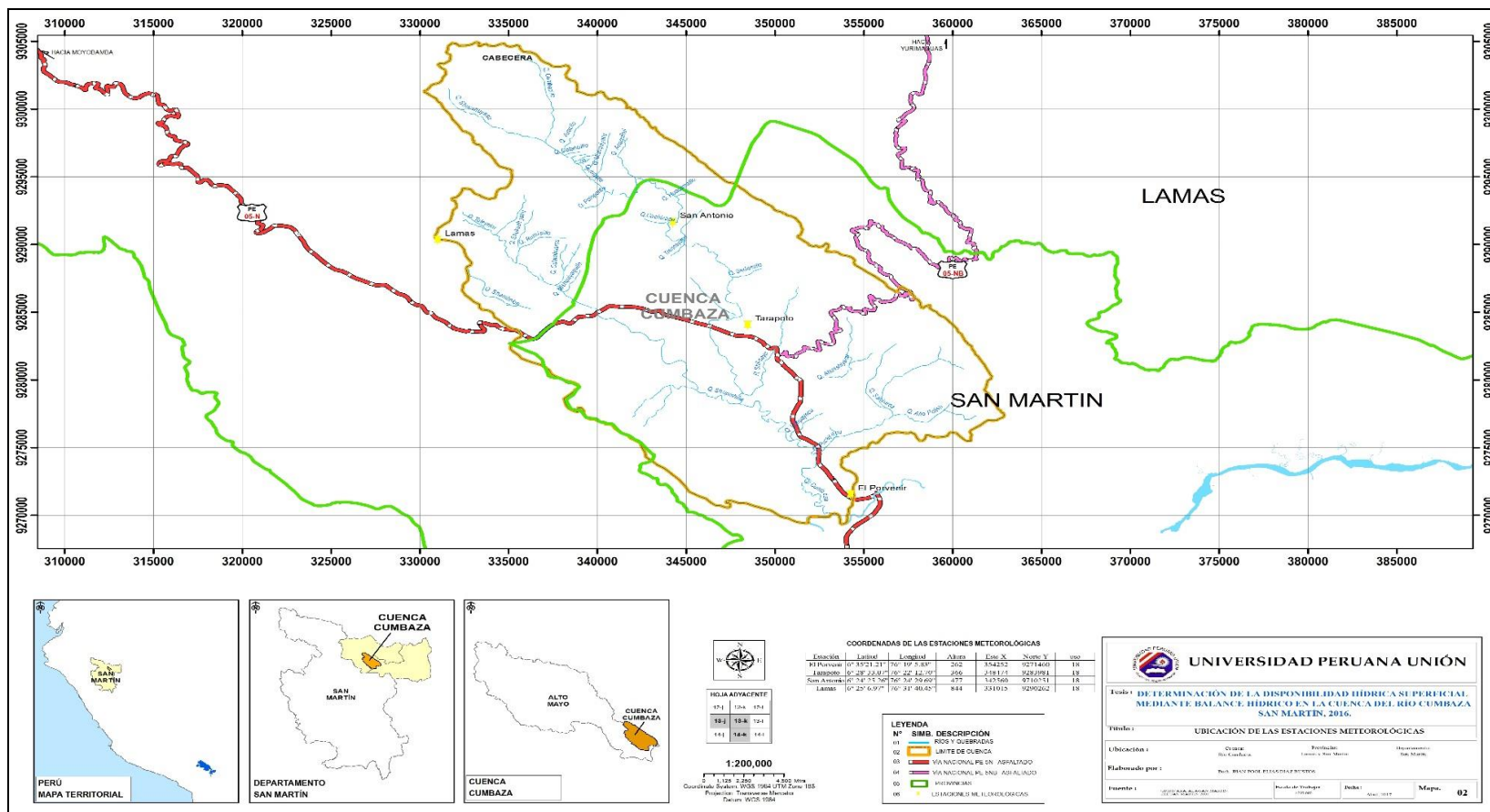
- Tarazona, N. (2005). *Generación de descargas mensuales en subcuencas de la cuenca del río Santa utilizando el método Lutz Scholz* (tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima, Perú.
- UNESCO. (1971) *Scientific frametmrk of world water balance*. Paris, UNESCO. 27p. (Technical papers in hydrology, NO. 7).
- UNESCO & ROSTLAC. (1982). *Guia metodològica para la elaboración del balance hídrico de América del Sur*. Montevideo, Uruguay.
- Untiveros M. (2011) *Balance hídrico de la laguna Parón, herramienta para la gestión integrada de los recursos hídricos (GIRH) en la cuenca del río Santa, Ancash, Perú*.
- Vásquez, (2000). *Estimación de la precipitación promedio areal de la cueca de Saboya, Paraguay*.
- Vera H, Acuña J, Yerrén J. (2006). *Balance Hídrico Superficial de las Cuencas de los Rios Tumbes Y Zarumilla, Tumbes, Perú*.

ANEXO

Anexo 1 Mapa de ubicación geográfica de la cuenca del río Cumbaza



Anexo 2 Mapa de ubicación de las estaciones meteorológicas



Anexo 3. Hidrogramas de las precipitaciones totales anuales históricas de las 4 estaciones meteorológicas.

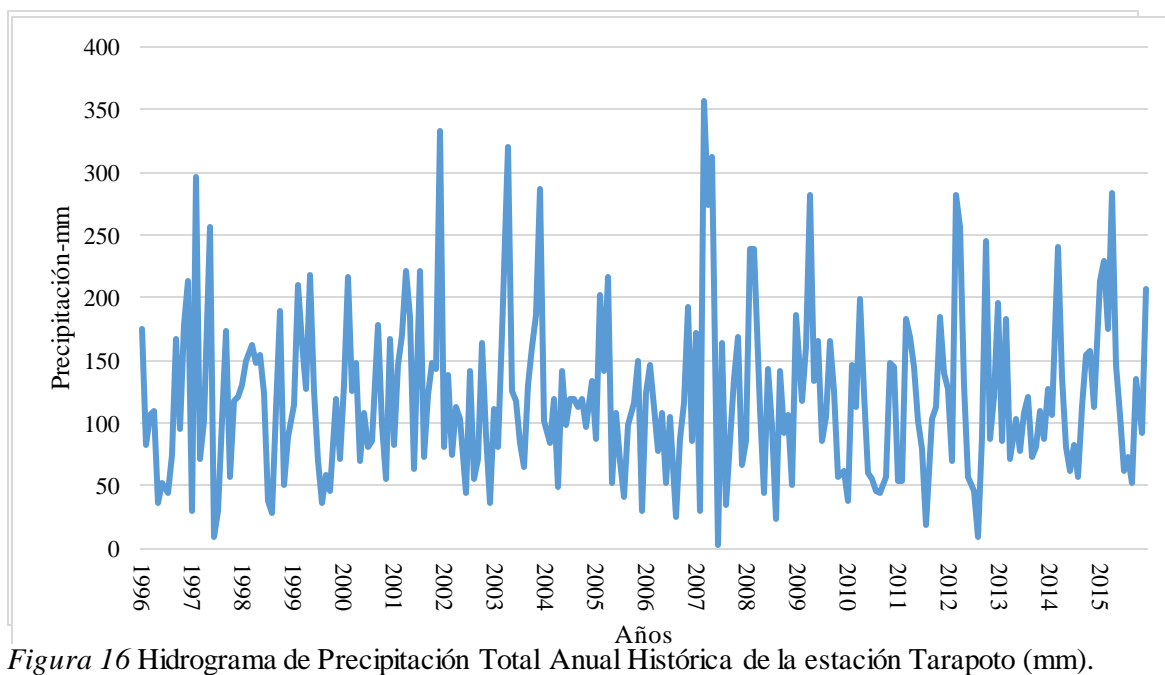
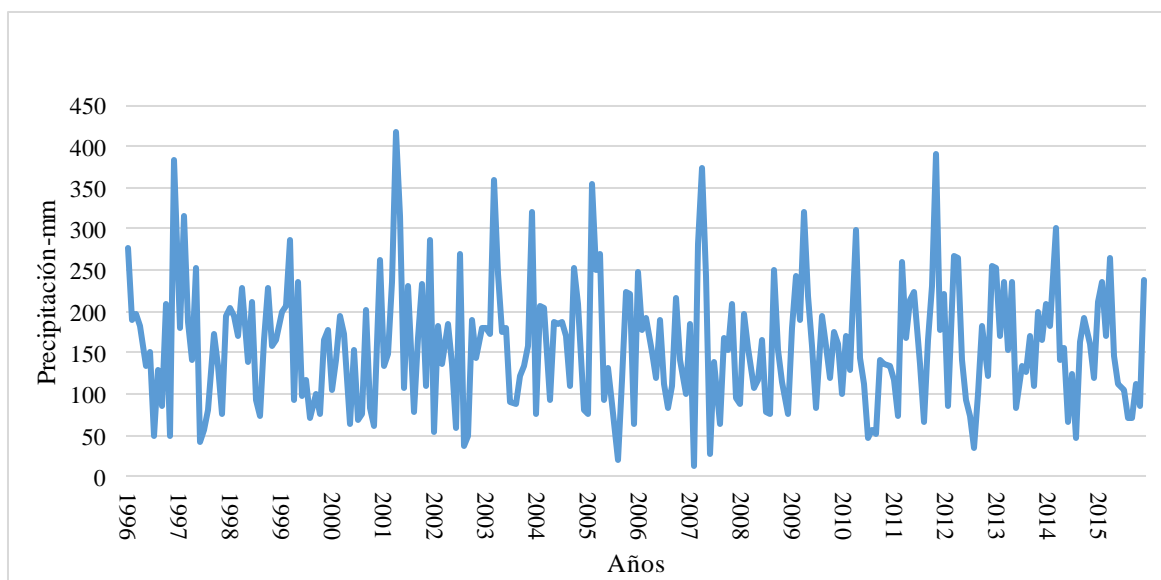


Figura 16 Hidrograma de Precipitación Total Anual Histórica de la estación Tarapoto (mm).

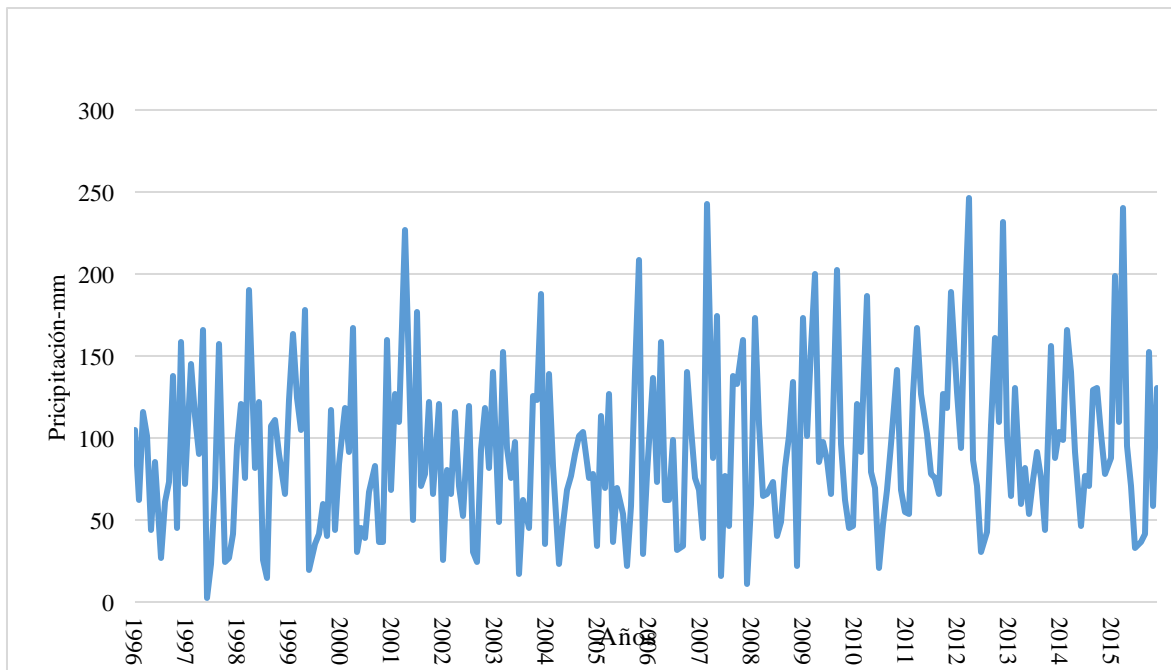
Fuente:Elaboración Propia

Figura 17 Hidrograma de Precipitación Total Anual Histórica de la Estación El Porvenir (mm).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 18 Hidrograma de Precipitación Total Anual Histórica de la Estación San Antonio (mm)

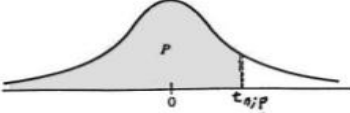


Elaboración Propia

Figura 19 Hidrograma de Precipitación Total Anual Histórica de la Estación El Porvenir (mm)

Anexo 4 Imagen de la tabla de T-Student.

Distribución *t* de Student



La tabla A.4 da distintos valores de la función de distribución en relación con el número de grados de libertad; concretamente, relaciona los valores p y $t_{n;p}$ que satisfacen

$$P(t_n \leq t_{n;p}) = p.$$

n	$t_{0,55}$	$t_{0,60}$	$t_{0,70}$	$t_{0,80}$	$t_{0,90}$	$t_{0,95}$	$t_{0,975}$	$t_{0,99}$	$t_{0,995}$
1	0,1584	0,3249	0,7265	1,3764	3,0777	6,3138	12,7062	31,8205	63,6567
2	0,1421	0,2887	0,6172	1,0607	1,8856	2,9200	4,3027	6,9646	9,9248
3	0,1366	0,2767	0,5844	0,9785	1,6377	2,3534	3,1824	4,5407	5,8409
4	0,1338	0,2707	0,5686	0,9410	1,5332	2,1318	2,7764	3,7469	4,6041
5	0,1322	0,2672	0,5594	0,9195	1,4759	2,0150	2,5706	3,3649	4,0321
6	0,1311	0,2648	0,5534	0,9057	1,4398	1,9432	2,4469	3,1427	3,7074
7	0,1303	0,2632	0,5491	0,8960	1,4149	1,8946	2,3646	2,9980	3,4995
8	0,1297	0,2619	0,5459	0,8889	1,3968	1,8595	2,3060	2,8965	3,3554
9	0,1293	0,2610	0,5435	0,8834	1,3830	1,8331	2,2622	2,8214	3,2498
10	0,1289	0,2602	0,5415	0,8791	1,3722	1,8125	2,2281	2,7638	3,1693
11	0,1286	0,2596	0,5399	0,8755	1,3634	1,7959	2,2010	2,7181	3,1058
12	0,1283	0,2590	0,5386	0,8726	1,3562	1,7823	2,1788	2,6810	3,0545
13	0,1281	0,2586	0,5375	0,8702	1,3502	1,7709	2,1604	2,6503	3,0123
14	0,1280	0,2582	0,5366	0,8681	1,3450	1,7613	2,1448	2,6245	2,9768
15	0,1278	0,2579	0,5357	0,8662	1,3406	1,7531	2,1314	2,6025	2,9467
16	0,1277	0,2576	0,5350	0,8647	1,3368	1,7459	2,1199	2,5835	2,9208
17	0,1276	0,2573	0,5344	0,8633	1,3334	1,7396	2,1098	2,5669	2,8982
18	0,1274	0,2571	0,5338	0,8620	1,3304	1,7341	2,1009	2,5524	2,8784
19	0,1274	0,2569	0,5333	0,8610	1,3277	1,7291	2,0930	2,5395	2,8609
20	0,1273	0,2567	0,5329	0,8600	1,3253	1,7247	2,0860	2,5280	2,8453
21	0,1272	0,2566	0,5325	0,8591	1,3232	1,7207	2,0796	2,5176	2,8314
22	0,1271	0,2564	0,5321	0,8583	1,3212	1,7171	2,0739	2,5083	2,8188
23	0,1271	0,2563	0,5317	0,8575	1,3195	1,7139	2,0687	2,4999	2,8073
24	0,1270	0,2562	0,5314	0,8569	1,3178	1,7109	2,0639	2,4922	2,7969
25	0,1269	0,2561	0,5312	0,8562	1,3163	1,7081	2,0595	2,4851	2,7874
26	0,1269	0,2560	0,5309	0,8557	1,3150	1,7056	2,0555	2,4786	2,7787
27	0,1268	0,2559	0,5306	0,8551	1,3137	1,7033	2,0518	2,4727	2,7707
28	0,1268	0,2558	0,5304	0,8546	1,3125	1,7011	2,0484	2,4671	2,7633
29	0,1268	0,2557	0,5302	0,8542	1,3114	1,6991	2,0452	2,4620	2,7564
30	0,1267	0,2556	0,5300	0,8538	1,3104	1,6973	2,0423	2,4573	2,7500
40	0,1265	0,2550	0,5286	0,8507	1,3031	1,6839	2,0211	2,4233	2,7045
50	0,1263	0,2547	0,5278	0,8489	1,2987	1,6759	2,0086	2,4033	2,6778
60	0,1262	0,2545	0,5272	0,8477	1,2958	1,6706	2,0003	2,3901	2,6603
80	0,1261	0,2542	0,5265	0,8461	1,2922	1,6641	1,9901	2,3739	2,6387
100	0,1260	0,2540	0,5261	0,8452	1,2901	1,6602	1,9840	2,3642	2,6259
120	0,1259	0,2539	0,5258	0,8446	1,2886	1,6577	1,9799	2,3578	2,6174
∞	0,126	0,253	0,524	0,842	1,282	1,645	1,960	2,327	2,576

Tabla A.4: Tabla de la distribución t de Student.

Anexo 5 Imagen de la tabla de F-Fisher

Tabla 5. VALORES F DE LA DISTRIBUCIÓN F DE FISHER

$1 - \lambda = 0.9$ λ = grados de libertad del numerador

$1 - \lambda = P (F \leq f_{\lambda, v_1, v_2})$ λ = grados de libertad del denominador

$\lambda \backslash v_2$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	39.864	49.500	53.593	55.833	57.240	58.204	58.906	59.439	59.857	60.195	60.473	60.705	60.902	61.073	61.220	61.350	61.465	61.566	61.658	61.740
2	8.526	9.000	9.162	9.243	9.293	9.326	9.349	9.367	9.381	9.392	9.401	9.408	9.415	9.420	9.425	9.429	9.433	9.436	9.439	9.441
3	5.538	5.462	5.391	5.343	5.309	5.285	5.266	5.252	5.240	5.230	5.222	5.216	5.210	5.205	5.200	5.196	5.193	5.190	5.187	5.184
4	4.545	4.325	4.191	4.107	4.051	4.010	3.979	3.955	3.936	3.920	3.907	3.896	3.886	3.878	3.870	3.864	3.858	3.853	3.848	3.844
5	4.060	3.780	3.619	3.520	3.453	3.405	3.368	3.339	3.316	3.297	3.282	3.268	3.257	3.247	3.238	3.230	3.223	3.217	3.212	3.207
6	3.776	3.463	3.289	3.181	3.108	3.055	3.014	2.983	2.958	2.937	2.920	2.905	2.892	2.881	2.871	2.863	2.855	2.848	2.842	2.836
7	3.589	3.257	3.074	2.961	2.883	2.827	2.785	2.752	2.725	2.703	2.684	2.668	2.654	2.643	2.632	2.623	2.615	2.607	2.601	2.595
8	3.458	3.113	2.924	2.806	2.726	2.668	2.624	2.589	2.561	2.538	2.519	2.502	2.488	2.475	2.464	2.454	2.446	2.438	2.431	2.425
9	3.360	3.006	2.813	2.693	2.611	2.551	2.505	2.469	2.440	2.416	2.396	2.379	2.364	2.351	2.340	2.330	2.320	2.312	2.305	2.298
10	3.285	2.924	2.728	2.605	2.522	2.461	2.414	2.377	2.347	2.323	2.302	2.284	2.269	2.255	2.244	2.233	2.224	2.215	2.208	2.201
11	3.225	2.860	2.660	2.536	2.451	2.389	2.342	2.304	2.274	2.248	2.227	2.209	2.193	2.179	2.167	2.156	2.147	2.138	2.130	2.123
12	3.177	2.807	2.606	2.480	2.394	2.331	2.283	2.245	2.214	2.188	2.166	2.147	2.131	2.117	2.105	2.094	2.084	2.075	2.067	2.060
13	3.136	2.763	2.560	2.434	2.347	2.283	2.234	2.195	2.164	2.138	2.116	2.097	2.080	2.066	2.053	2.042	2.032	2.023	2.014	2.007
14	3.102	2.726	2.522	2.395	2.307	2.243	2.193	2.154	2.122	2.095	2.073	2.054	2.037	2.022	2.010	1.998	1.988	1.978	1.970	1.962
15	3.073	2.695	2.490	2.361	2.273	2.208	2.158	2.119	2.086	2.059	2.037	2.017	2.000	1.985	1.972	1.961	1.950	1.941	1.932	1.924
16	3.048	2.668	2.462	2.333	2.244	2.178	2.128	2.088	2.055	2.028	2.005	1.985	1.968	1.953	1.940	1.928	1.917	1.908	1.899	1.891
17	3.026	2.645	2.437	2.308	2.218	2.152	2.102	2.061	2.028	2.001	1.978	1.958	1.940	1.925	1.912	1.900	1.889	1.879	1.870	1.862
18	3.007	2.624	2.416	2.286	2.196	2.130	2.079	2.038	2.005	1.977	1.954	1.933	1.916	1.900	1.887	1.875	1.864	1.854	1.845	1.837
19	2.990	2.606	2.397	2.266	2.176	2.109	2.058	2.017	1.984	1.956	1.932	1.912	1.894	1.878	1.865	1.852	1.841	1.831	1.822	1.814
20	2.975	2.589	2.380	2.249	2.158	2.091	2.040	1.999	1.965	1.937	1.913	1.892	1.875	1.859	1.845	1.833	1.821	1.811	1.802	1.794
21	2.961	2.575	2.365	2.233	2.142	2.075	2.023	1.982	1.948	1.920	1.896	1.875	1.857	1.841	1.827	1.815	1.803	1.793	1.784	1.776
22	2.949	2.561	2.351	2.219	2.128	2.060	2.008	1.967	1.933	1.904	1.880	1.859	1.841	1.825	1.811	1.798	1.787	1.777	1.768	1.759
23	2.937	2.549	2.339	2.207	2.115	2.047	1.995	1.953	1.919	1.890	1.866	1.845	1.827	1.811	1.796	1.784	1.772	1.762	1.753	1.744
24	2.927	2.538	2.327	2.195	2.103	2.035	1.983	1.941	1.906	1.877	1.853	1.832	1.814	1.797	1.783	1.770	1.759	1.748	1.739	1.730
25	2.918	2.528	2.317	2.184	2.092	2.024	1.971	1.929	1.895	1.866	1.841	1.820	1.802	1.785	1.771	1.758	1.746	1.736	1.726	1.718
26	2.909	2.519	2.307	2.174	2.082	2.014	1.961	1.919	1.884	1.855	1.830	1.809	1.790	1.774	1.760	1.747	1.735	1.724	1.715	1.706
27	2.901	2.511	2.299	2.165	2.073	2.005	1.952	1.909	1.874	1.845	1.820	1.799	1.780	1.764	1.749	1.736	1.724	1.714	1.704	1.695
28	2.894	2.503	2.291	2.157	2.064	1.996	1.943	1.900	1.865	1.836	1.811	1.790	1.771	1.754	1.740	1.726	1.715	1.704	1.694	1.685
29	2.887	2.495	2.283	2.149	2.057	1.988	1.935	1.892	1.857	1.827	1.802	1.781	1.762	1.745	1.731	1.717	1.705	1.695	1.685	1.676
30	2.881	2.489	2.276	2.142	2.049	1.980	1.927	1.884	1.849	1.819	1.794	1.773	1.754	1.737	1.722	1.709	1.697	1.686	1.676	1.667
40	2.835	2.440	2.226	2.091	1.997	1.927	1.873	1.829	1.793	1.763	1.737	1.715	1.695	1.678	1.662	1.649	1.636	1.625	1.615	1.605
50	2.809	2.412	2.197	2.061	1.966	1.895	1.840	1.796	1.760	1.729	1.703	1.680	1.660	1.643	1.627	1.613	1.600	1.588	1.578	1.568
60	2.791	2.393	2.177	2.041	1.946	1.875	1.819	1.775	1.738	1.707	1.680	1.657	1.637	1.619	1.603	1.589	1.576	1.564	1.553	1.543
70	2.779	2.380	2.164	2.027	1.931	1.860	1.804	1.760	1.723	1.691	1.665	1.641	1.621	1.603	1.587	1.572	1.559	1.547	1.536	1.526
80	2.769	2.370	2.154	2.016	1.921	1.849	1.793	1.748	1.711	1.680	1.653	1.629	1.609	1.590	1.574	1.559	1.546	1.534	1.523	1.513
90	2.762	2.363	2.146	2.008	1.912	1.841	1.785	1.739	1.702	1.670	1.643	1.620	1.599	1.581	1.564	1.550	1.536	1.524	1.513	1.503
100	2.756	2.356	2.139	2.002	1.906	1.834	1.778	1.732	1.695	1.663	1.636	1.612	1.592	1.573	1.557	1.542	1.528	1.516	1.505	1.494
200	2.731	2.329	2.111	1.973	1.876	1.804	1.747	1.701	1.663	1.631	1.603	1.579	1.558	1.539	1.522	1.507	1.493	1.480	1.468	1.458
500	2.716	2.313	2.095	1.956	1.859	1.786	1.729	1.683	1.644	1.612	1.583	1.559	1.537	1.518	1.501	1.485	1.471	1.458	1.446	1.435
1000	2.711	2.308	2.089	1.950	1.853	1.780	1.723	1.676	1.638	1.605	1.577	1.552	1.531	1.511	1.494	1.478	1.464	1.451	1.439	1.428

Anexo 6 Correlación de precipitación de las estaciones de Tarapoto y El Porvenir con las metodologías utilizadas.

Tabla 15
Análisis de correlación para la estación Tarapoto con las metodologías utilizadas para la completación de datos.

	Tarapoto	RL	PV	RP	RCC	RM
Tarapoto	1					
RL	0.91595102	1				
PV	0.92397986	0.82364714	1			
RP	0.94757913	0.88359931	0.99282183	1		
RCC	0.94023336	0.85461206	0.99599921	0.9939854	1	
RM	0.96493684	0.94923417	0.95755476	0.98201156	0.97439886	1

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 16
Análisis de correlación para la estación El Porvenir con las metodologías utilizadas para la completación de datos

	El Porvenir	RL	PV	RP	RCC	RM
El porvenir	1					
RL	0.90213134	1				
PV	0.91231313	0.84534242	1			
RP	0.93123223	0.85359931	0.99223432	1		
RCC	0.94222342	0.88461206	0.99234243	0.99234241	1	
RM	0.95541442	0.93923417	0.94998452	0.96324261	0.96358895	1

Fuente: Elaboración propia.

Donde:

RL: Regresión lineal

PV: Promedios vecinales

RP: Razón promedio

RCC: Razones de coeficiente de correlación

RM: Regresión múltiple

Anexo 7 Cuadros de precipitaciones completadas de las 4 estaciones consideradas en la investigación.

Tabla 17

Precipitación de la estación Tarapoto para el periodo 1996-2015.

Años	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
1996	201.1	117.8	121.2	140.2	72.9	75.8	33.0	72.2	100.4	131.3	56.0	181.5	1303.4
1997	106.2	185.5	106.2	115.1	165.4	11.9	33.9	79.0	145.9	29.7	45.2	109.1	1133.0
1998	156.6	143.5	117.2	231.1	93.5	126.2	43.1	15.8	95.6	118.2	100.3	98.1	1339.2
1999	213.4	163.4	194.9	69.8	220.1	70.5	49.0	49.3	43.9	52.7	168.5	119.4	1414.9
2000	118.3	130.9	93.2	181.7	58	55.1	57.7	92.4	177	50.2	42.5	139.1	1196.1
2001	81.6	112.9	131.6	357	142.7	47.3	140.6	66.0	96.8	121.8	71.3	221.2	1590.8
2002	19.5	100.5	89.5	167.9	52.4	61.3	146.5	24.0	18.9	93.6	102.6	94.6	971.3
2003	169	167.1	177.7	131.2	106.2	99.7	36.7	41.0	70.2	155.4	97.7	200.6	1452.5
2004	24.8	154.3	82.9	64.8	137.6	89.3	84.5	104.4	76.4	99.8	119.6	169.4	1207.8
2005	56.2	153.1	145.7	185.5	44.8	118.9	35.2	15.9	77	150.5	228.4	21.9	1233.1
2006	151.6	145.7	107.9	151.3	59.7	53.3	144.1	14.8	41.4	144.5	193	84.6	1291.9
2007	121.5	34.4	278.9	119.3	138.7	21.8	91.5	104.2	106	104.9	211.8	50.1	1383.1
2008	96.8	192.8	155.6	100.7	81.6	103.2	19.0	40.5	103.4	83.5	85.5	49.7	1112.3
2009	154.5	158.8	168.5	244.4	117.1	128.5	53.6	95.7	132.5	99.3	108	101.4	1562.3
2010	71.7	156.2	113.7	254.7	103.7	64.7	17.9	70.2	43.9	100.5	207.5	116.2	1320.9
2011	84.4	53.3	270.7	135.2	125.1	179.2	93.3	27.1	68	90.4	183.2	164.8	1474.7
2012	193.7	125.1	175.3	298.4	125.1	87.1	59.1	14.3	95.5	137.3	59.3	223.3	1593.5
2013	151.7	144.1	167.7	103.4	111.9	84	65.8	128.4	104.6	65.7	209.7	93.1	1430.1
2014	143.2	131.8	293.8	140.3	145.1	50.4	81.1	51.8	82.7	196.2	102.8	85.5	1504.7
2015	129.9	216.5	116.6	271.3	137.7	80.2	43.9	64.8	33.3	116.8	80	291.2	1582.2

Tabla 18.

. Tabla 18

Precipitación de la estación el Porvenir para el periodo 1996-2015

Años	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
1996	105	62.1	115.7	101	43.9	85.1	27	60.4	72.7	137.9	45	158.3	1014.1
1997	71.6	145.1	113.7	89.9	165.9	2.8	23.2	69.8	157	24.5	26.3	41.6	931.4
1998	95.1	120.4	75.2	190.7	82.1	122.5	25.1	14.1	107.1	111.4	90	65.5	1099.2
1999	123.6	163.8	124.2	105.2	177.7	19.8	34.8	41.6	59.3	40.3	117.6	44.1	1052.0
2000	84.5	118.9	91.5	167.8	30.7	45.2	38.9	67.4	82.5	36.9	36.8	160.1	961.2
2001	68	126.4	109.6	226.5	141.9	49.7	176.8	70.4	78.4	121.5	65.6	121.1	1355.9
2002	24.9	80.4	65.7	115.3	70.7	52.6	119.2	30.9	24.1	92.5	118.6	81.1	876.0
2003	140.7	48.8	152.1	93.8	76.1	97.2	16.4	62.6	45	125.2	122.8	187.4	1168.1
2004	34.9	139.1	82.8	22.8	47.3	67.8	76.3	89.9	100.9	103.5	75.8	78.6	919.7
2005	34.3	113.5	69.2	127	36.6	68.9	54	22.4	57.9	140.6	209.2	29.7	963.3
2006	77.6	137.1	73.1	158.6	61.8	62.3	98.8	31.1	34.5	140.1	106.7	75.8	1057.5
2007	68	39.5	242.8	87.3	174.6	15.9	76.2	45.9	137.5	133	159.7	11.2	1191.6
2008	59.4	173.1	108.3	64.1	65.3	73.1	39.9	49.2	82.2	101.4	133.7	21.8	971.5
2009	173.6	101.2	154.4	199.9	85.4	97.3	86.2	65.5	203	96.6	62.2	44.6	1369.9
2010	46.7	120.8	91.4	186.7	79.8	69.4	20.4	47.8	68.8	96.8	142.0	68.0	1038.6
2011	55.0	53.9	127.0	167.3	126.3	102.8	78.3	75.8	65.6	126.4	118.1	189.3	1285.8
2012	128.4	94.5	180.3	246.3	87.0	70.6	30.8	42.6	107.9	160.6	110.0	232.2	1491.0
2013	101.2	64.5	131.1	59.8	81.9	54	74	91	75.2	44	156.2	87.3	1020.2
2014	103.3	98.4	166.5	140.8	91.4	45.7	76.3	70.8	128.8	130	102.7	78.5	1233.2
2015	87.9	198.6	109.8	240.4	94.7	70.3	33	36.4	41	152.7	57.9	131.1	1253.8

Tabla 19

Precipitación de la estación San Antonio para el periodo 1996-2015.

Años	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
1996	276.6	189.4	197.6	181.2	134	149.6	49.2	128.4	84.4	210	47.8	383.2	2031.4
1997	180.6	314.8	186.8	141.6	253.6	40.4	56.1	80.7	172.2	132.9	74.4	195.3	1829.4
1998	204.2	195.4	169.2	229.4	139.4	210.2	91.6	73.2	164.8	227.6	158.2	165.8	2029
1999	198.6	207.4	285.4	92.2	234.8	97.2	115.8	71.6	100.4	76.4	164.4	177.4	1821.6
2000	103.4	140	193.6	172.6	63	152.4	68.5	76	201.5	82.3	60.2	261.5	1575
2001	133.5	147.7	235	417.1	316.7	106.7	231.1	77.8	167	232.4	109.1	286.8	2460.9
2002	54.5	182.5	136.5	183.9	135.4	59.1	269.1	36.1	49.8	190	144.3	178.6	1619.8
2003	179.9	173.4	358	244.8	174.3	178.9	90.1	86.7	120.8	133.7	158.6	321	2220.2
2004	76.1	205.5	203.5	92.5	187	185.7	187.3	171.1	109.6	252.7	210	79.5	1960.5
2005	76	354.5	250.5	268.9	91.6	131.4	88.7	19	117.1	224.1	221.9	63.6	1907.3
2006	246.7	178.1	191.3	150.1	119.3	189.1	112.8	81.9	110.1	216.3	140.7	99.3	1835.7
2007	185	12.5	280.6	373.4	243.7	26.2	138.5	63.3	166.6	153.4	209.4	93.9	1946.5
2008	87.8	197.8	154.6	105.8	117.1	164.3	78.3	75.6	248.9	152	114.9	75.2	1572.3
2009	178.7	243.1	189.3	321.2	218.1	157.5	83.3	194.4	158.7	118.7	175.7	160.5	2199.2
2010	99.7	171	127.8	299.1	144.1	111.4	45.7	55.8	50.8	140	135.3	133	1513.7
2011	117.6	72.4	259.1	167.8	214.3	223.8	137.2	65.6	165	230	390.5	176.7	2220
2012	220.8	84.2	266.6	264.7	140.8	92.7	73.4	34.2	99.1	183	121.2	254.2	1834.9
2013	251.5	168.9	235.8	152.2	235.2	83.6	133.8	126.2	170.9	110.1	199.5	164.5	2032.2
2014	209.8	181.7	302.1	140.6	154.7	66	123.6	47.3	162.3	192	159.6	119.1	1858.8
2015	211.7	235.3	168.9	264.6	146	112.9	104.3	71.2	71.7	111.5	84.6	237.5	1820.2

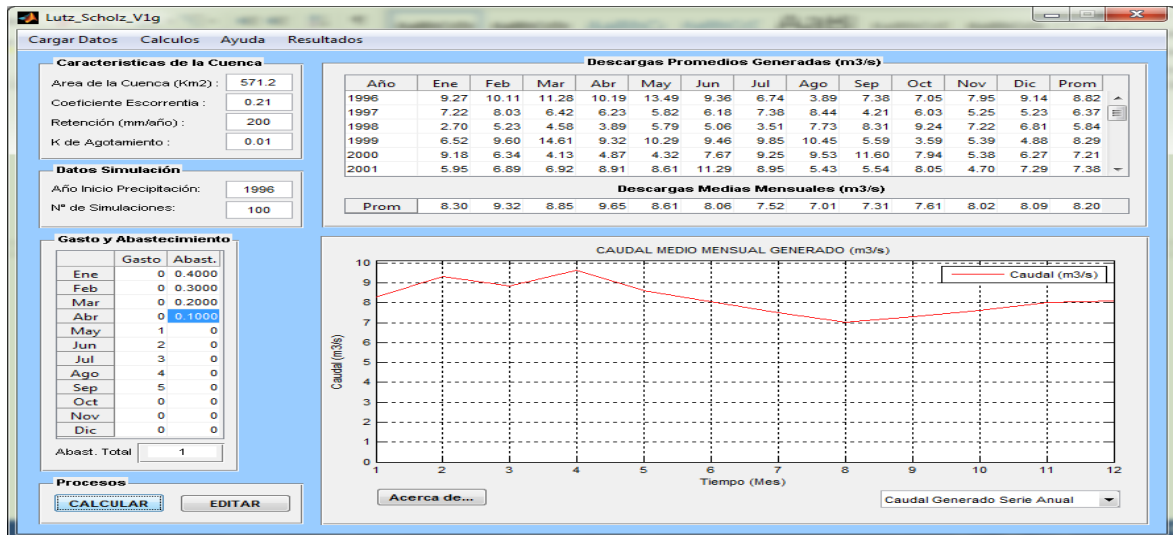
Tabla 20

Precipitación de la estación Lamas para el periodo 1996-2015.

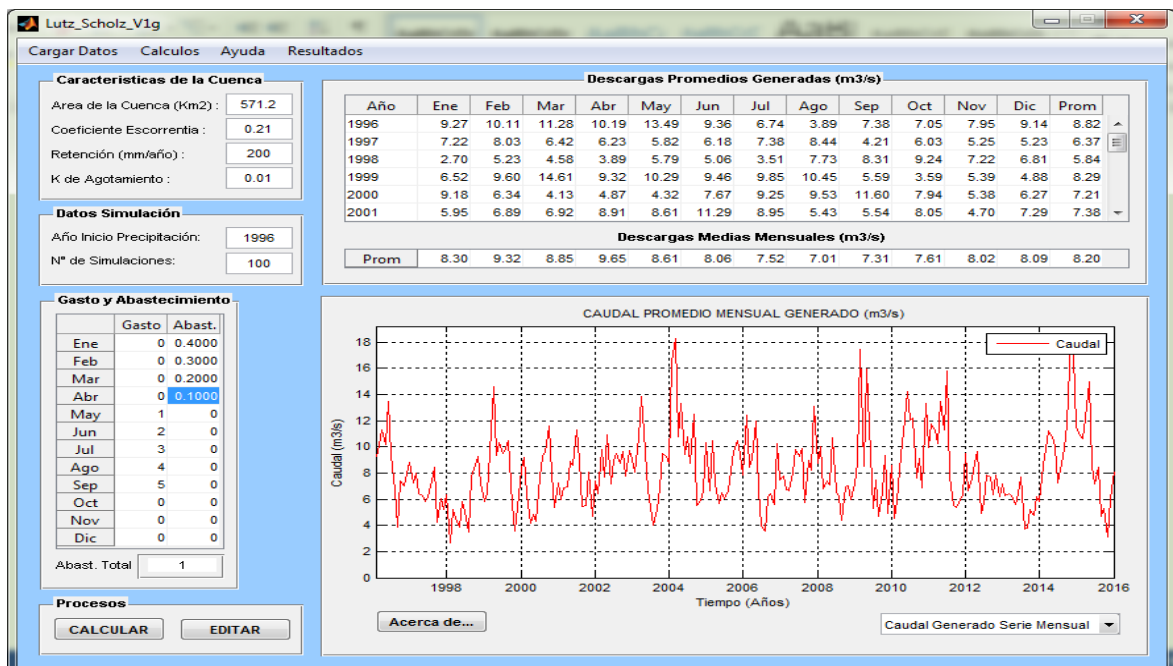
Años	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
1996	175.2	82.3	106.3	109.2	36.0	52.9	43.6	74.3	166.6	95.1	177.7	213.5	1332.7
1997	29.5	296.1	71.8	101.3	256.2	9.5	29.1	102.1	173.6	57.5	117.9	120.3	1364.9
1998	130.0	148.8	161.8	148.2	154.4	124.3	38.2	28.0	110.6	189.0	50.2	88.9	1372.4
1999	115.1	210.3	164.3	126.6	218.4	125.9	69.9	36.7	58.4	46.4	119.9	71.7	1363.6
2000	130.9	216.7	126.0	147.8	69.4	107.9	81.2	86.2	177.9	98.4	55.3	167.4	1465.1
2001	83.3	145.7	170.5	220.8	184.5	63.1	221.4	73.6	122.1	148.6	143.1	333.3	1910.0
2002	80.2	139.0	75.0	113.2	103.2	43.5	142.1	55.5	70.9	164.2	90.4	36.5	1113.7
2003	110.6	80.2	171.4	320.1	125.2	117.7	83.5	64.5	130.9	161.1	185.5	287.5	1838.2
2004	100.9	84.8	119.4	48.7	141.4	98.4	119.0	119.4	113.2	119.3	97.4	133.8	1295.7
2005	87.3	202.3	141.0	216.8	52.7	108.1	69.5	41.1	98.2	116.8	149.9	29.6	1313.3
2006	124.1	146.2	113.5	78.2	108.3	52.4	104.3	25.0	86.5	115.8	192.9	85.4	1232.6
2007	171.7	29.4	357.4	274.0	312.9	3.5	163.5	35.2	85.2	135.1	168.0	65.9	1801.8
2008	85.3	239.0	238.2	110.8	43.6	142.9	96.9	22.9	141.7	92.7	106.4	51.2	1371.6
2009	185.9	118.0	160.4	281.5	133.9	164.7	85.8	104.3	164.7	125.0	57.2	61.9	1643.3
2010	37.3	145.7	112.4	198.5	124.3	60.9	55.2	45.1	44.4	56.3	147.8	145.2	1173.1
2011	54.4	54.4	183.7	169.3	144.9	101.9	79.7	18.5	103.9	112.9	185.3	140.1	1349.0
2012	127.4	70.2	282.7	257.0	131.0	57	45.2	9.4	88.3	244.7	86.8	120.8	1520.5
2013	196.4	85.4	183.8	70.9	103.0	77.8	108.2	120.5	72.7	80.6	109.7	88.0	1297.0
2014	126.7	106.2	240.1	137.1	80.8	61.9	83.2	56.9	112.5	154.6	157.5	113.5	1431.0
2015	212.6	229.0	175.1	282.8	145.7	106.4	62.3	72.2	51.5	135.5	92.6	207.0	1772.7

Anexo 8 Mapa del nivel de orden hídrico de la cuenca del río Cumbaza. .

Anexo 9 Imagen del desarrollo del software Lutz Scholz para la generación de caudales m³/s- mensuales del periodo 1996- 2015



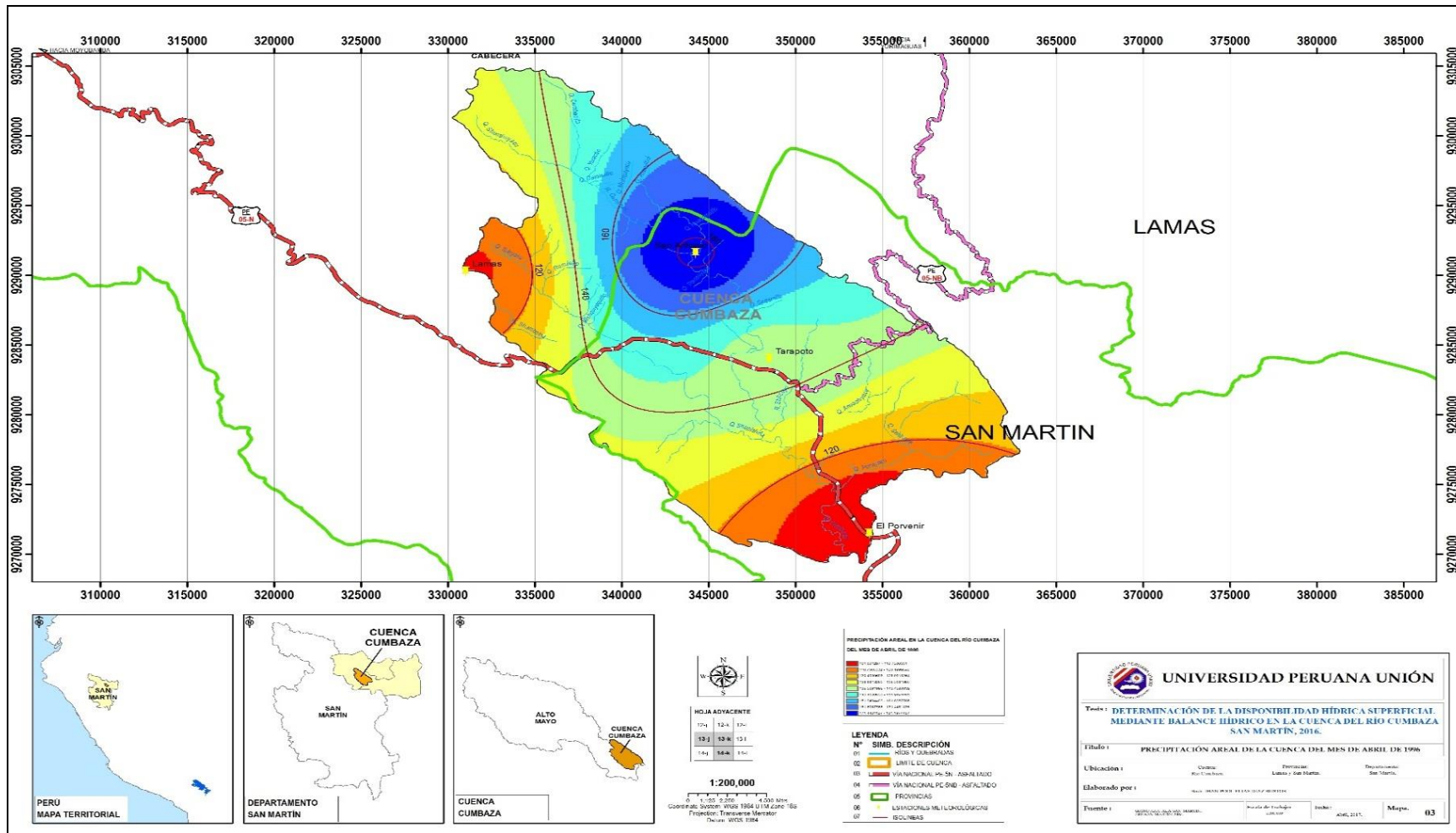
Anexo 10 Imagen del desarrollo del software Lutz Scholz para la generación de caudales m³/s- anuales del periodo 1996- 2015.



Anexo 11 Imagen del desarrollo del software Lutz Scholz -generación de caudales m3 /s-mensuales del periodo 1996- 2015.

R3g-Caudales: Generados: Bloc de notas													
CAUDAL MEDIO MENSUAL GENERADO - SERIE PROMEDIO (m3/s)													
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom
1996	9.2651	10.1083	11.2816	10.1924	13.4948	9.3640	6.7359	3.8891	7.3781	7.0482	7.9465	9.1387	8.8202
1997	7.2152	8.0270	6.4189	6.2315	5.8235	6.1793	7.3832	8.4370	4.2051	6.0317	5.2528	5.2286	6.3695
1998	2.6961	5.2280	4.5752	3.8857	5.7929	5.0616	3.5086	7.7287	8.3060	9.2405	7.2183	6.8141	5.8380
1999	6.5195	9.5971	14.6093	9.3169	10.2862	9.4554	9.8507	10.4463	5.5923	3.5882	5.9909	4.8810	8.2945
2000	9.1842	6.3396	4.1319	4.8661	4.3215	7.6688	9.2460	9.5305	11.5958	7.9425	5.3828	6.2669	7.2064
2001	5.9519	6.8892	6.9228	8.9053	8.6134	11.2867	8.9460	5.4301	5.5437	8.0501	4.6960	7.2927	7.3773
2002	6.4313	9.7652	7.6764	10.9522	7.1801	8.9668	9.5049	8.7501	9.6790	7.7467	9.7308	12.4751	9.0716
2003	8.0981	10.7302	13.8572	11.1057	6.7330	5.3757	4.0123	5.2355	6.8493	9.4608	9.2525	14.5111	8.7685
2004	16.4366	18.2961	10.7860	13.3319	9.4410	10.8015	8.7296	12.4583	5.5492	5.8735	6.6775	5.3163	10.3081
2005	6.6329	10.4681	7.1375	5.6671	6.4762	6.0672	6.6654	8.2526	9.6786	10.4591	9.4214	7.5675	7.8745
2006	12.4381	8.4144	9.0356	12.0042	6.6437	4.0377	3.6003	6.1294	6.4217	5.5905	10.2783	5.2529	7.4872
2007	7.7810	6.7382	6.6041	8.0816	9.7908	9.3023	9.8477	5.7061	8.9569	8.2411	13.0755	10.4976	8.7186
2008	10.0289	6.7904	7.3752	7.0600	10.6737	6.5640	6.2080	4.3547	6.9668	7.0401	5.9729	7.1230	7.1798
2009	8.8268	17.4667	8.5311	15.9433	11.5971	5.3188	7.4846	4.7075	6.5643	9.3071	4.9345	2.4109	8.5911
2010	4.5285	5.8553	9.3568	11.1792	14.2141	12.0373	12.2079	7.6088	9.1119	6.8597	13.3418	13.3935	9.9746
2011	11.7167	11.2765	10.2605	13.4934	11.2609	15.7661	7.6575	5.3220	5.3896	5.7352	6.3758	9.0545	9.4590
2012	6.6489	7.5549	8.7454	9.6088	4.8984	5.7722	7.8648	7.6765	6.3040	7.8420	6.1893	6.4594	7.1304
2013	6.2382	6.4322	6.2614	5.5548	6.3806	7.6938	3.7016	3.8124	5.1819	4.7733	6.1603	7.1541	5.7787
2014	8.5783	9.8998	11.2083	10.7558	9.9986	7.2463	8.7472	9.8608	11.7240	18.1954	16.9882	15.4402	11.5536
2015	10.8345	10.6202	12.2126	14.9397	8.4881	7.1596	8.4193	4.7141	5.2826	3.1344	6.0266	5.4428	8.1062
Total	8.3025	9.3249	8.8494	9.6538	8.6054	8.0563	7.5161	7.0125	7.3140	7.6080	8.0156	8.0861	8.1954

Anexo 12 Isolíneas de precipitación (isoyetas).



Anexo 13 Demandas hídricas en la cuenca del río Cumbaza.

Tabla 21
Demanda Hídrica para uso agrario m³ /s.

DEMANDA DE AGUA	MESES												PRO M	ARE A BAJ O RIE GO
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC		
IRRIGACION CUMBAZA	0.96	1.53	1.54	1.43	1.44	1.48	1.58	1.64	1.65	1.60	1.58	1.67	1.50	1604.00
MICRO IRRIGACION CUMBACILLO-EL TRIUNFO	0.13	0.19	0.19	0.18	0.18	0.20	0.20	0.21	0.21	0.19	0.20	0.20	0.19	216.50
CANAL MELCHOR	0.06	0.09	0.08	0.08	0.08	0.09	0.09	0.09	0.09	0.08	0.10	0.10	0.08	73.50
CANAL EL PORVENIR	0.05	0.07	0.07	0.08	0.08	0.09	0.10	0.10	0.10	0.09	0.08	0.08	0.08	43.50
IRRIGACION CHUPISHIÑA	0.14	0.21	0.27	0.29	0.34	0.30	0.26	0.27	0.26	0.27	0.26	0.26	0.26	439.25
CANAL LA LLANURA	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	91.50
CANAL SANTA ROSA	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	26.50
CANAL LA UNION	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	27.75
CANAL ALTO CHUPISHIÑA	0.08	0.11	0.12	0.14	0.16	0.14	0.14	0.13	0.13	0.15	0.15	0.15	0.13	50
CANAL BAJO CHUPISHIÑA	0.04	0.07	0.07	0.08	0.09	0.09	0.09	0.08	0.08	0.08	0.09	0.08	0.07	35.7
CANAL SAN JUAN DE CUMBAZA	0.04	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07	0.06	0.06	0.07	0.07	0.06	15.8
CANAL CAPIRONAICO	0.05	0.08	0.08	0.08	0.10	0.11	0.08	0.08	0.07	0.06	0.09	0.11	0.08	120.50

MICRO IRRIGACION SHILCAYO	0.09	0.13	0.13	0.15	0.15	0.16	0.15	0.13	0.15	0.15	0.17	0.16	0.14	158. 5
MICRO IRRIGACION AHUASHIYACU	0.04	0.06	0.07	0.07	0.08	0.08	0.07	0.07	0.06	0.06	0.06	0.07	0.06	91.0
TOTAL	1.85	2.75	2.82	2.79	2.92	2.95	3.00	3.02	3.00	2.96	2.99	3.11	2.84	2835 .50

Fuente: Autoridad Local del Agua- Tarapoto.

Tabla 22

Demanda Hídrica para uso poblacional m³ /s.

DEMANDA DE AGUA	MESES												PROM	
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC		
Capt.Ahuashiyacu	0.077	0.076	0.074	0.074	0.074	0.074	0.074	0.074	0.074	0.074	0.074	0.074	0.074	0.074
Capt.Cachiyacu	0.086	0.081	0.081	0.118	0.074	0.081	0.080	0.080	0.078	0.079	0.078	0.078	0.078	0.083
Capt.Shilcayo	0.120	0.125	0.120	0.120	0.120	0.120	0.120	0.120	0.120	0.120	0.120	0.120	0.120	0.120
Capt.San Roque de Cumbaza	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004
Otros	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008
Total	0.295	0.294	0.287	0.324	0.268	0.287	0.286	0.286	0.284	0.285	0.284	0.284	0.284	0.290

Fuente: Autoridad Local del Agua- Tarapoto.

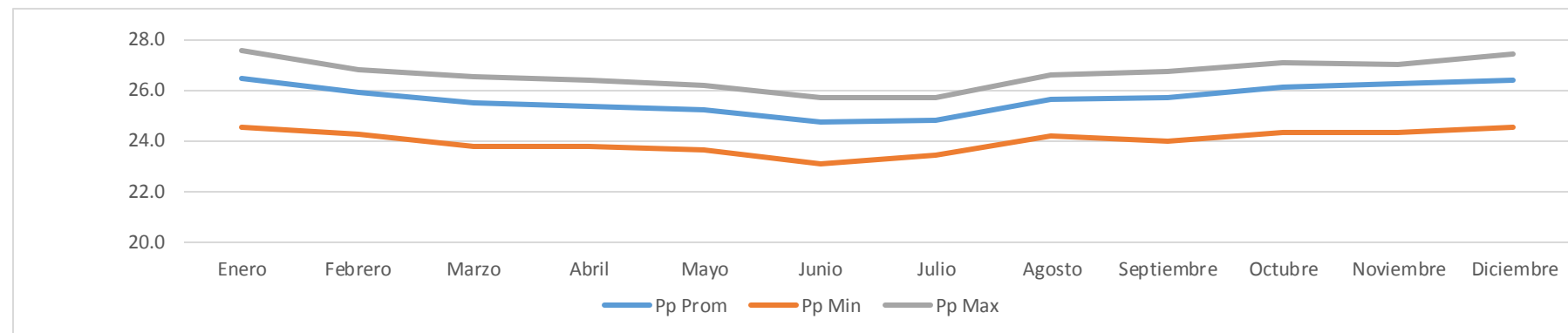
Anexo 14 . Temperatura media areal de la cuenca del río Cumbaza.

Tabla 23
Indicadores estadísticos de la temperatura areal de la cuenca del río Cumbaza

	Ene	Febr	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	prom
T° Prom	26.5	25.9	25.5	25.4	25.2	24.7	24.8	25.6	25.7	26.1	26.2	26.4	25.7
T° Min	24.5	24.3	23.8	23.8	23.6	23.1	23.4	24.2	24.0	24.3	24.3	24.5	24.0
T° Max	27.6	26.8	26.5	26.4	26.2	25.7	25.7	26.6	26.7	27.1	27.0	27.4	26.6

Fuente: Elaboración propia

Figura 20 Curva de Temperatura mensual promedio, mínimo y máximo.



Fuente: Elaboración propia.

Anexo 15 Solicitud para el otorgamiento de la información del SENAMHI.

PROCEDIMIENTOS PARA OTORGAR INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA EN EL SENAMHI A ESTUDIANTES, TESISISTAS, MAESTRISTAS, DOCTORADO E INVESTIGADORES

ANEXO 02: FORMATO DE SOLICITUD ESTUDIANTES /TESISTAS - DIRECCIÓN ZONAL

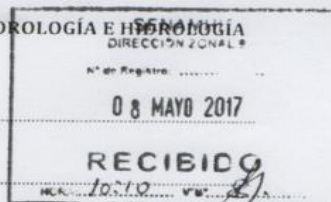
Señor(a)

DIRECTOR (A) ZONAL DEL SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ - SENAMHI

Presente-

Shan Pool Elías Díaz Bustos
(Nombre y Apellidos)

S.º Ramón Castilla # 752 - 9 de Abril
(Dirección)



con N° DNI: 72717999 Telf: 951916972 E-mail: diazpool51292@gmail.com

Universidad/ Instituto: Universidad Peruana Unión

Carrera/ Profesión: Ingeniería Ambiental

Ante usted me presento y expongo;

Que, (detallar el estudio o proyecto que están realizando y el motivo de solicitud de los datos)

Determinación de la disponibilidad hídrica superficial mediante balance hídrico en la cuenca del río Cumbaza 2016

Solicito la siguiente información:

ESTACION/ZONA	PARÁMETROS	PERÍODOS
CO TARAPOTO	Precipitación Total mensual	1996 - 2015
	Temperatura media mensual	1996 - 2015
CO LAMAS	Precipitación Total mensual	1996 - 2015
	Temperatura media mensual	1996 - 2015
CO Sur. Ant	Precipitación total mensual	1996 - 2015
	Temperatura media mensual	1996 - 2015
MAPA El Porvenir	Precipitación total mensual	1996 - 2015
	Temperatura media mensual	1996 - 2015

La información solicitada deberá ser remitida al correo electrónico: diazpool51292@gmail.com

Por lo expuesto, agradeceré a usted atender lo solicitado.

Tarapoto, 08 de Mayo del 2017


Firma del Usuario

ANEXO 03: FORMATO DE DECLARACIÓN JURADA

DECLARACION JURADA

Yo, Shoa Rosal Elías Díaz Bustos..... identificado (a) con DNI
Nº 72717999..... con domicilio en Jr. Santa Cecilia #772..... en el Distrito de
Tarapoto..... Provincia de San Martín..... Departamento
San Martín.....



DECLARO BAJO JURAMENTO, QUE

La información hidrometeorológica proporcionada por SENAMHI, será de uso exclusivo de mi trabajo/proyecto/tesis titulado (a) "Determinación de la disponibilidad hídrica superficial mediante balance hídrico en la cuenca del campo 2016" de la Universidad/Instituto Universidad Peruana Unión.....



Tarapoto....., 08 de Mayo..... del 2017.

[Signature]
Firma del Usuario

