

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES**

**FACULTAD DE TECNOLOGIA**

**CONSTRUCCIONES CIVILES**



*ESTUDIO HIDROLOGICO INICIALES PARA LA  
EVALUACION HIDRAULICA DEL RIO LA PAZ; DE LA SUB  
CUENCA DEL RIO JILLUSAYA*

**EXAMEN DE GRADO**

**TRABAJO DE APLICACIÓN**

**NIVEL LICENCIATURA**

**POR: REYNA CAROLINA LAURA QUINO**

**LA PAZ - BOLIVIA**

**2022**



## **AGRADECIMIENTOS**

A mi familia por brindarme apoyo para realizar mis estudios.

A mis Docentes por haber transmitido sus conocimientos.

A la Facultad de tecnología, a la Carrera de Construcciones Civiles la cual me formo profesionalmente.

**TRABAJO DE APLICACIÓN DE EXAMEN DE GRADO**

**ESTUDIO HIDROLOGICO INICIALES PARA LA  
EVALUACION HIDRAULICA DEL RIO LA PAZ; DE LA SUB  
CUENCA DEL RIO JILLUSAYA**

Presentado por: Univ. Reyna Carolina Laura Quino

Para optar al grado académico de Licenciatura en Construcciones Civiles

Nota numeral: .....

Nota literal: .....

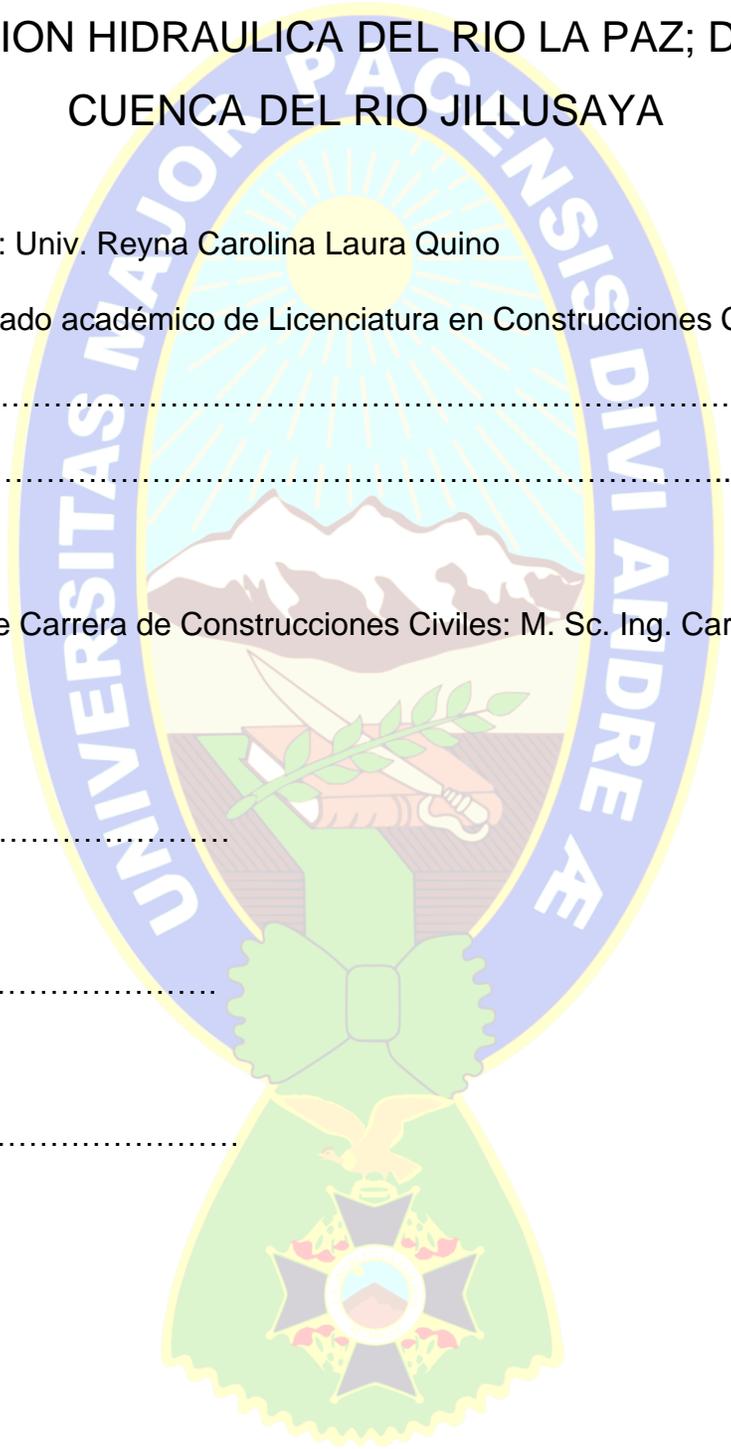
Ha sido:

Director de Carrera de Construcciones Civiles: M. Sc. Ing. Carlos Méndez  
Cárdenas

Tribunal: .....

Tribunal: .....

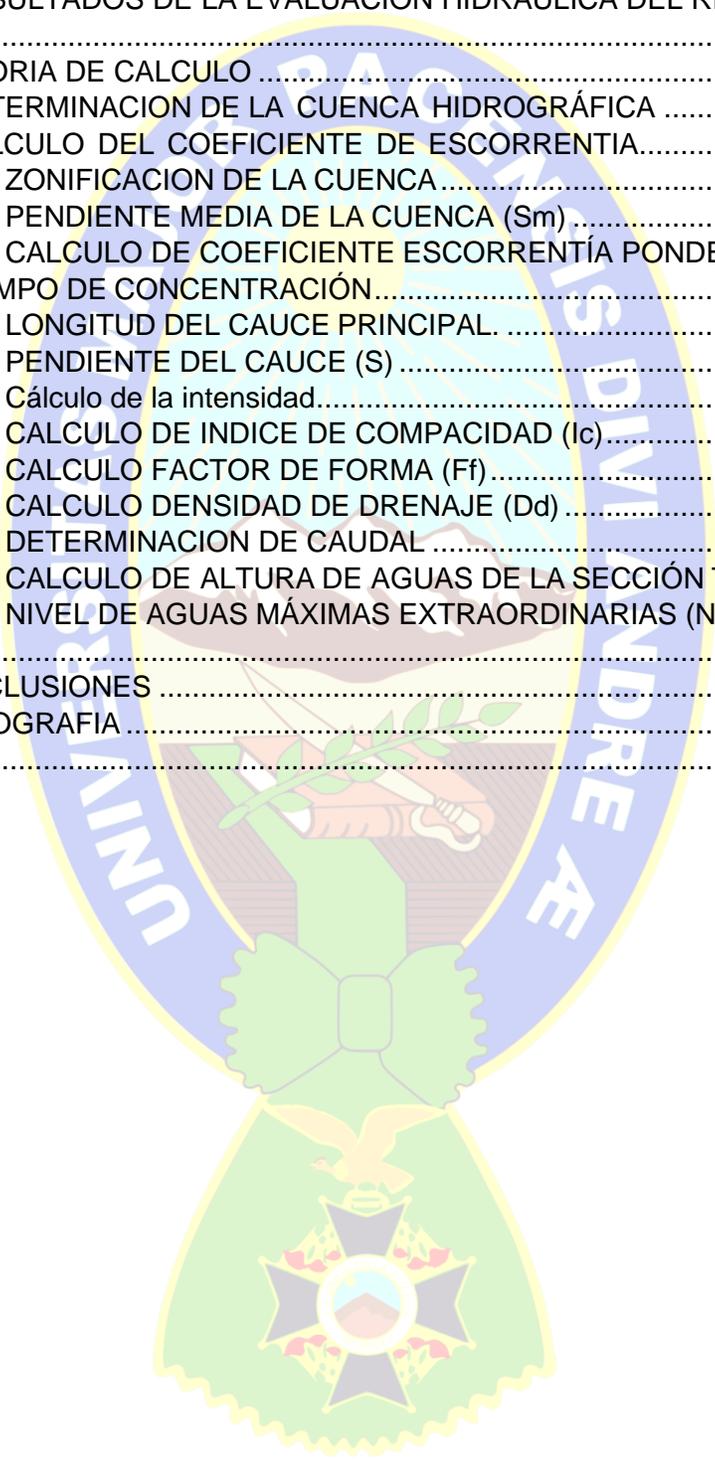
Tribunal: .....



## INDICE

<b>INTRODUCCION.....</b>	<b>1</b>
CAPITULO I .....	2
1.1 PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA .....	2
1.2 JUSTIFICACION DEL TRABAJO .....	3
1.3 OBJETIVOS.....	3
1.3.1 OBJETIVO GENERAL.....	3
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
CAPITULO II .....	4
2.1 MARCO TEÓRICO .....	5
2.1.1 AGUA.....	5
2.1.2 CICLO HIDROLOGICO .....	5
2.1.3 CUENCA HIDROLÓGICA.....	7
2.1.4 CUENCA HIDROGRAFICA .....	7
2.1.5 ENFOQUES HIDROLÓGICOS.....	8
2.1.5.1 MORFOMETRIA DE LA CUENCA.....	8
2.1.5.2 CLASIFICACION DE CUENCAS.....	9
2.1.5.3 PRECIPITACION (P).....	10
2.1.5.3.1PLUVIOMETRIA.....	10
2.1.5.3.2INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN .....	11
2.1.5.3.3ESCURRIMIENTO .....	12
2.1.5.4 EVAPOTRANSPIRACION.....	12
2.1.5.5 INFILTRACION.....	13
2.1.5.6 ESCORRENTÍA SUPERFICIAL.....	13
2.1.5.7 COEFICIENTE DE ESCORRENTIA (C).....	13
2.1.5.8 MÉTODOS PARA ESTIMAR LA ESCORRENTÍA .....	14
2.1.5.9 CAUDAL (Q).....	16
2.1.5.10 AVENIDA .....	16
2.1.6 FORMULAS PARA ESTUDIO HIDROLOGICO .....	17
2.1.6.1 CALCULO DE CAUDAL .....	17
2.1.6.2 PERIODO DE RETORNO .....	17
2.1.6.3 INDICE DE COMPACIDAD (Ic) .....	18
2.1.6.4 FACTOR DE FORMA (Ff).....	19
2.1.6.5 PENDIENTE MEDIA (Sm).....	20
2.1.6.6 DENSIDAD DE DRENAJE (Dd).....	21
2.1.6.7 PENDIENTE MEDIA (Sm) .....	21
2.1.6.8 TIEMPO DE CONCENTRACIÓN.....	22
2.1.6.9 CURVA INTENSIDAD – DURACION – FRECUENCIA (IDF) .....	24
2.1.6.10 CALCULO DE ALTURA DE AGUAS DE LA SECCIÓN TRANSVER ...	25
2.1.6.10.1 NIVEL DE AGUAS MÁXIMAS EXTRAORDINARIAS (N.A.M.E.) ..	25
2.1.7 PROBLEMAS GLOBALES AMBIENTALES.....	26
2.1.7.1 CALENTAMIENTO GLOBAL.....	26
2.1.7.2 EL CAMBIO CLIMÁTICO .....	26
CAPITULO III .....	28
3.1 ASPECTOS GENERALES.....	28
3.1.1 UBICACIÓN GEOGRAFICA GENERAL .....	28

3.1.2	UBICACIÓN GEOGRÁFICA ESPECIFICA .....	29
3.1.3	OBJETIVO DE LA PROPUESTA DE PREVENCION Y MITIGACION .....	30
3.1.3.1	ACTIVIDADES DE PREVENCION Y MITIGACION DE RIESGOS .....	30
3.1.4	RESULTADOS DE LA EVALUACION HIDRAULICA DEL RIO LA PAZ.....	31
CAPITULO IV .....		32
4.1	MEMORIA DE CALCULO .....	32
4.1.1	DETERMINACION DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA .....	32
4.1.2	CALCULO DEL COEFICIENTE DE ESCORRENTIA.....	32
4.1.2.1	ZONIFICACION DE LA CUENCA .....	33
4.1.2.2	PENDIENTE MEDIA DE LA CUENCA (Sm) .....	34
4.1.2.3	CALCULO DE COEFICIENTE ESCORRENTÍA PONDERADO .....	35
4.1.3	TIEMPO DE CONCENTRACIÓN.....	35
4.1.3.1	LONGITUD DEL CAUCE PRINCIPAL. ....	35
4.1.3.2	PENDIENTE DEL CAUCE (S) .....	36
4.1.3.3	Cálculo de la intensidad.....	37
4.1.3.4	CALCULO DE INDICE DE COMPACIDAD (Ic).....	39
4.1.3.5	CALCULO FACTOR DE FORMA (Ff).....	40
4.1.3.1	CALCULO DENSIDAD DE DRENAJE (Dd) .....	40
4.1.3.2	DETERMINACION DE CAUDAL .....	40
4.1.3.3	CALCULO DE ALTURA DE AGUAS DE LA SECCIÓN TRANSVERS .	41
4.1.3.4	NIVEL DE AGUAS MÁXIMAS EXTRAORDINARIAS (N.A.M.E.) .....	42
CAPITULO V .....		43
5.1	CONCLUSIONES .....	43
5.2	BIBLIOGRAFIA .....	45
ANEXOS .....		I



## INDICE DE FIGURAS

FIGURA 2.1 : CICLO HIDROLÓGICO DEL AGUA .....	6
FIGURA 2.2. CUENCA HIDROGRÁFICA .....	8
FIGURA 2.3. CUENCA HIDROGRÁFICA .....	8
FIGURA 2.4. ESTACIÓN METEOROLÓGICA MODELO LAICAKOTA – LA PAZ .....	11
FIGURA 2.5. PLUVIÓMETRO .....	12
FIGURA 2.6. PLUVIÓGRAFO .....	12
FIGURA 2.7. TIPOS DE ESCORRENTÍA.....	15
FIGURA 3.1. CUENCA DEL RIO LA PAZ Y LAS SEIS SUBCUENCAS.....	28
FIGURA 3.2. SUB CUENCA DEL RIO JILLUSAYA.....	29
FIGURA 4.1. SUB CUENCA JILLUSAYA .....	32
FIGURA 4.2. SUB CUENCA DEL RIO JILLUSAYA MAPA HIDROLÓGICO .....	33
FIGURA 4.2. SUB CUENCA DEL RIO JILLUSAYA ZONIFICACIÓN .....	33
FIGURA 4.2. SUB CUENCA DEL RIO JILLUSAYA ZONIFICACIÓN .....	34

## INDICE DE TABLAS

TABLA I. CARACTERISTICAS DE LA CUENCA .....	9
TABLA II. DIVISIÓN DE LA CUENCA .....	9
TABLA III. CLASIFICACIÓN DE TAMAÑOS DE CUENCAS .....	10
TABLA IV: VALORES DE COEFICIENTE DE ESCORRENTIA.....	16
TABLA V: PERIODO DE RETORNO PARA OBRAS HIDRÁULICAS EN CARRETER. 18	
PERIODO DE RETORNO PARA DISEÑO DE OBRAS HIDRÁULICAS EN CARRETERAS ABC .....	18
TABLA VI. TIPO DE CUENCA SEGÚN SU COMPACIDAD.....	19
TABLA VII. VALORES DE FORMA .....	19
TABLA VIII. CLASIFICACIÓN DE LA RED DE DRENAJE DE LAS CUENCAS.....	21
TABLA IX. CLASIFICACIÓN DE PENDIENTE EN EL CAUCE PRINCIPAL.....	21
TABLA X. SECCION RECTANGULAR Y TRAPEZOIDAL.....	26
TABLA XI: MORFOMETRIA DE LA CUENCA DEL RIO JILLUSAYA.....	43

## INTRODUCCION

La cuenca del río La Paz es parte de la cuenca mayor del río Beni. se extiende a través del Sur del Municipio de La Paz, en el presente trabajo de aplicación se desarrolla estudio hidrológico que se realiza para la evaluación hidráulica del río La Paz (Norte) de la sub cuenca del río Jillusaya para tener conocimiento pleno del riesgo de desborde del río ante una probable falta de capacidad hidráulica del cauce del río.

La sub cuenca Jillusaya en su extensión media e inferior se encuentran zonas urbanizadas residenciales, contrastando en sus cuencas altas con zonas agrícolas de cobertura natural. Presenta una topografía abrupta con pendientes variables, quebradas profundas y cambios de sección en toda su longitud. En cuanto a obras hidráulicas se tienen tramos canalizados que se extienden en su mayoría en el área urbana y tramos de cauce natural que corresponde a las partes altas de la cuenca. Las características morfológicas y geológicas de la subcuenca influyen en gran manera en los desbordes producidos durante época de lluvias afectando en áreas urbanas a puentes y avenidas aledañas al canal. El estudio hidrológico permite generar un fundamento técnico para los aires de río, fundamental para los asentamientos futuros y al mismo tiempo impulsar a nuevos estudios en la sub cuenca.

### **Palabras clave:**

cuenca, caudal de diseño, cambio climático, avenida.

## CAPITULO I

### 1.1 PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA

De acuerdo a los pronunciamientos de centros de investigación de diferentes organizaciones académicas del mundo, el cambio climático que atraviesa nuestro planeta, es producto de dos procesos diferentes; uno producido por el calentamiento cíclico histórico y natural del planeta; y otro por la actividad antrópica. Por su parte los proyectos existentes y en construcción, se ven afectados por el cambio climático; por lo cual para la realización de proyectos se ven ligados a los estudios geotécnicos, estudios hidrológicos, cálculo de la estructura, cálculo de la superestructura y a estudios topográficos para tener una infraestructura resiliente ante el factor del cambio climático.

Una de las problemáticas más recurrentes según (Medina, 2018) “Las intensas precipitaciones anuales en la cabecera de la cuenca del río La Paz (Norte), generan una escorrentía que arrastra gran cantidad de áridos hacia la parte baja de la cuenca. Esto se puede evidenciar en la zona del puente encuentro entre los ríos Choqueyapu e Irpavi; espacio donde se depositan y se dispersan gran cantidad de material de arrastre formando un abanico aluvial, esto genera un descontrol del flujo hidrográfico y una eventual insuficiencia de la capacidad hidráulica del cauce del río compuesto por vertedero natural que cursa aguas abajo. Anualmente el GAMLP tiene que realizar la remoción de sedimentos compuesto por bloques de piedra y áridos para mantener la capacidad hidráulica del cauce del río en el sector del puente encuentro de los ríos Choqueyapu e Irpavi hasta la confluencia con el río Huayñajahuira ubicado en la Zona de la Florida de la ciudad de La Paz”.

Según lo descrito, para el cálculo de capacidad hidráulica uno de los puntos necesarios es el estudio de la hidrología; el presente trabajo de aplicación se centrará en el estudio inicial hidrológico bajo escenarios de cambio climático para la evaluación hidráulica del río la paz de la sub cuenca del río Jillusaya.

## **1.2 JUSTIFICACION DEL TRABAJO**

Según lo planteado en el problema, una de las problemáticas más recurrentes en el mundo es la del cambio climático; y Bolivia no es ajena a sus impactos. Un comunicado del Sexto informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), que es el principal órgano internacional para la evaluación del cambio climático, afirma: “muchos de los cambios observados en el clima no tienen precedentes en miles, sino en cientos de miles de años, y algunos de los cambios que ya se están produciendo, como el aumento continuo del nivel del mar, no se podrán revertir hasta dentro de varios siglos o milenios” (IPCC, 2021).

En la ciudad de La Paz anualmente el GAMLP realizan la remoción de sedimentos compuesto por bloques de piedra y áridos para mantener la capacidad hidráulica del cauce del río. Debido al efecto del cambio climático los desbordes e inundaciones es el fenómeno natural que en su mayoría son causados por las intensas precipitaciones en la cuenca hidrográfica del río La Paz (Norte), que afectan de manera significativa a la estabilidad de las obras civiles como los muros de contención precarias existentes en el sector. Por ello se realizan estudios hidráulicos; para la realización del estudio hidráulico, una de las partes importantes es el análisis hidrológico; estos estudios son realizados de manera que ayude a las autoridades a la toma de decisiones oportunas para minimizar los efectos y daños colaterales causados por los desbordes e inundación en el caso del río Jillusaya.

## **1.3 OBJETIVOS**

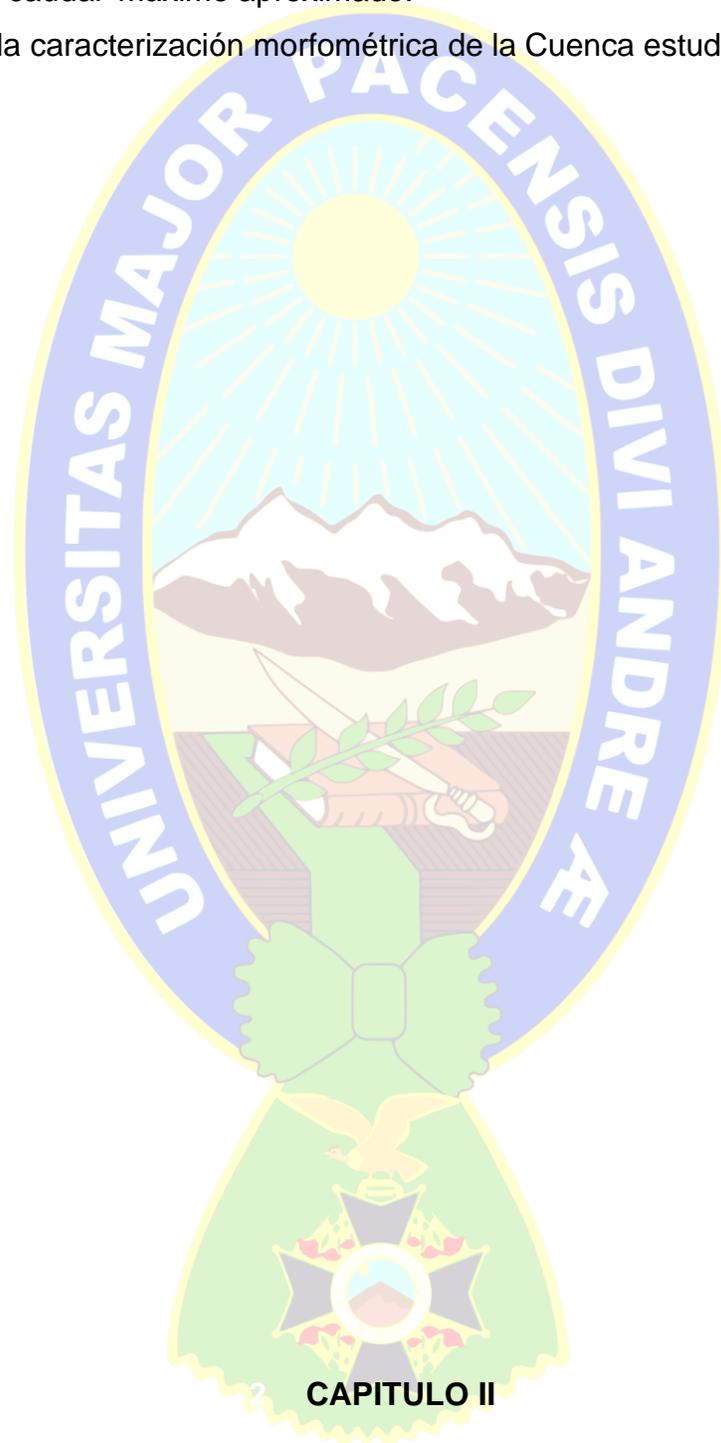
### **1.3.1 OBJETIVO GENERAL**

Realizar estudio inicial hidrológico para una evaluación hidráulica del curso del agua de la cuenca del río Jillusaya.

### **1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Delimitar la cuenca de estudio, para realizar la zonificación

2. Determinar las características principales de cada zona.
3. Hallar la intensidad máxima media para un determinado periodo de retorno.
4. Hallar el caudal máximo aproximado.
5. Realizar la caracterización morfométrica de la Cuenca estudiada



2 **CAPITULO II**

## **2.1 MARCO TEÓRICO**

Para comenzar la realización del presente trabajo de aplicación se consultarán fuentes, donde se explicará qué autores y libros sirvieron para justamente enmarcar conceptualmente el proceso de desarrollo del presente trabajo.

A continuación, se definen algunas definiciones y conceptos:

### **2.1.1 AGUA**

El agua es compuesto químico formado por la combinación de dos átomos de hidrogeno y uno de oxígeno, según el sexto informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el cambio climático debido al aumento de la población mundial, la creciente demanda de la agricultura, la industria, la construcción y, en especial, de los efectos del cambio climático en el planeta que actualmente es un recurso fundamental que se encuentra bajo amenaza (Global Alliance for Buildings and construction; (UNEP), 2020, pág. 4).

El planeta está compuesto por: 70% de agua, solo el 2,5% es agua dulce. Sin embargo, de esta cantidad, tan solo el 0,007% está disponible para consumo humano. Esto se debe a que el 69% está congelada en los polos, el 30% está como agua subterránea en los acuíferos y el 0,3% en los ríos y arroyos. Con estos datos, y según afirman desde la ONU, el 97% del agua dulce líquida se encuentra bajo nuestros pies almacenada en los acuíferos (AQUAE FUNDACION, 2022).

### **2.1.2 CICLO HIDROLOGICO**

Según (Aparicio Mijares, 1992), como todo ciclo, el hidrológico no tiene ni principio ni fin; y su descripción puede comenzar en cualquier punto. El agua que se encuentra sobre la superficie terrestre o muy cerca de ella se evapora bajo el efecto de la radiación solar y el viento. El vapor de agua, que así se forma, se eleva y se transporta por la atmósfera en forma de nubes hasta que se condensa y cae hacia la tierra en forma de precipitación. Durante su trayecto hacia la superficie de la tierra, el agua precipitada puede volver a evaporarse o ser interceptada por las

plantas o las construcciones, luego fluye por la superficie hasta las corrientes o se infiltra.



**Figura 2.1:** Ciclo hidrológico del agua

**Fuente: (AEMET, 2018)**

Así, el agua se evapora de los océanos y de la superficie de la tierra, es transportada sobre la Tierra por la circulación atmosférica en forma de vapor de agua, se condensa para formar nubes, se precipita en forma de lluvia o nieve sobre el océano y la tierra, donde puede ser interceptada por los árboles y la vegetación, genera escorrentía en la superficie terrestre, se infiltra en los suelos, recarga las aguas subterráneas, afluye a las corrientes fluviales y, en la etapa final, desemboca en los océanos, en los que se evapora nuevamente (AEMET, 2018).

El ciclo hidrológico, también conocido como ciclo del agua, describe el movimiento continuo del agua en la atmósfera, sobre la superficie de la tierra y los océanos y en el subsuelo, incluyendo sus cambios de fase o estado. La cantidad de agua en la Tierra es prácticamente constante sin embargo la proporción de agua en sus principales sistemas de reserva forma sólida, agua dulce, agua salada y agua en la atmósfera varía. El agua se mueve de un sistema de almacenamiento a otro

a través de varios procesos como condensación, precipitación, interceptación por la cubierta vegetal, escorrentía, infiltración, evaporación.

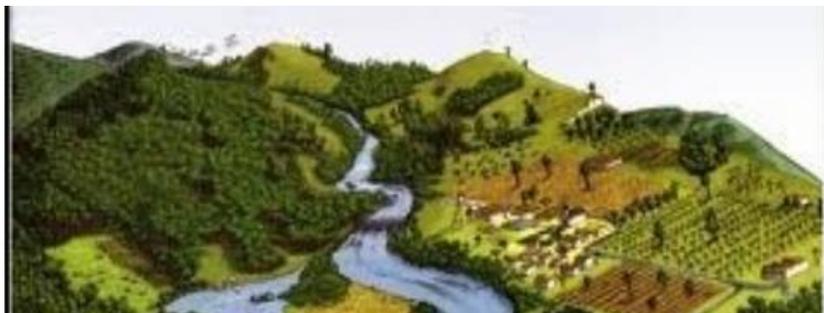
### **2.1.3 CUENCA HIDROLÓGICA**

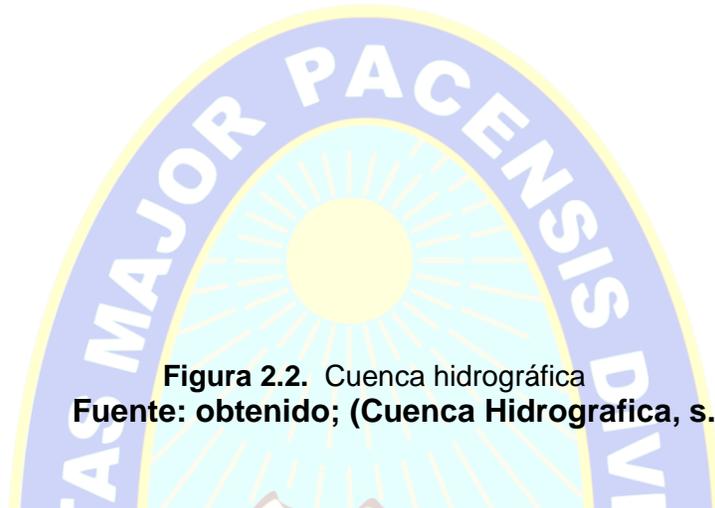
La cuenca es aquella superficie en la cual el agua precipitada se transfiere a las partes topográficas bajas por medio del sistema de drenaje, concentrándose generalmente en un colector que descarga a otras cuencas aledañas, o finalmente al océano. La cuenca hidrológica, junto con los acuíferos, son las unidades fundamentales de la hidrología (Breña Puyol & Jacobo Villa , 2005, pág. 23).

Una cuenca es una zona de la superficie terrestre en donde (si fuera impermeable) las gotas de lluvia que caen sobre ella tienden a ser drenadas por el sistema de corrientes hacia un mismo punto de salida. La definición anterior se refiere a una cuenca superficial; asociada a cada una de éstas existe también una cuenca subterránea, cuya forma en planta es semejante a la superficial. De ahí la aclaración de que la definición es válida si la superficie fuera impermeable. Desde el punto de vista de su salida, existen fundamentalmente dos tipos de cuencas: endorreicas y exorreicas. En las primeras el punto de salida está dentro de los límites de la cuenca y generalmente es un lago; en las segundas, el punto de salida se encuentra en los límites de la cuenca y está en otra corriente o en el mar (Aparicio Mijares, 1992, pág. 19).

### **2.1.4 CUENCA HIDROGRAFICA**

Se denomina Hidrografía al estudio de todas las masas de agua de la Tierra, más propiamente a la medida, recopilación y representación gráfica de los datos relativos a; fondo del océano, las costas, las mareas y los ríos; de manera que se puedan representar gráficamente sobre un mapa o sobre una carta hidrográfica, emparentada con ella está la hidrología que se dedica al estudio de la distribución y las propiedades del agua de la atmósfera y la superficie terrestre. (GOV.CO, s.f.).





**Figura 2.2.** Cuenca hidrográfica  
**Fuente:** obtenido; (Cuenca Hidrografica, s.f.)



**Figura 2.3.** Cuenca hidrográfica  
**Fuente:** obtenido; (ecologiaverde, s.f.)

## 2.1.5 ENFOQUES HIDROLÓGICOS

### 2.1.5.1 MORFOMETRIA DE LA CUENCA

La morfometría de cuencas permite establecer parámetros de evaluación al funcionamiento del sistema hidrológico de una región, así como el manejo y planeación de los recursos naturales (Instituto Nacional de Ecología, 2004).

La morfometría son las características físicas de la cuenca que tiene una estrecha relación con el comportamiento de los caudales que transitan por la cuenca, los resultados nos dan referencias de avenidas o crecidas, para controlarla se deben realizar obras estructurales de protección.

#### 2.1.5.2 CLASIFICACION DE CUENCAS

**TABLA I. CARACTERISTICAS DE LA CUENCA**

TIPO	CARACTERISTICAS	EJEMPLOS
<b>Endorreicas</b>	Es un área en la que el agua no tiene salida fluvial hacia el mar. Cualquier lluvia o precipitación que caiga en una cuenca endorreica permanece allí, abandonando el sistema únicamente por infiltración o evaporación, lo cual contribuye a la concentración de sales. En las cuencas endorreicas en las que la evaporación es mayor que la alimentación, los lagos salados han desaparecido y se forman salares. Las cuencas endorreicas también son denominados sistemas de drenaje interno.	Cuenca del Altiplano boliviano
<b>Exorreicas</b>	El punto de salida se localiza en los límites de la cuenca y a su vez la descarga se vierte en una corriente o en el mar.	Cuenca del río de la plata

**Fuente: Elaboración propia;  
con datos obtenidos: (Aparicio Mijares, 1992, págs. 19-20).**

**TABLA II. DIVISIÓN DE LA CUENCA**

DESCRIPCION	
ALTA	Incluye zonas laderas y montañas, donde se ubica el inicio del río principal.
MEDIA	Constituida por suelos ondulado y valles, donde el río empieza su recorrido.
BAJA	Donde el río pierde caudal y los materiales se sedimentan formando llanuras.

Fuente: Elaboración propia; con datos obtenido: (IUCN , s.f.)  
**TABLA III. CLASIFICACIÓN DE TAMAÑOS DE CUENCAS**

TIPO	RANGO DE ÁREA Km <sup>2</sup>
Microcuenca	<25
Cuenca pequeña	> 25 ≤ 500 km <sup>2</sup> .
Cuenca mediana	> 500 ≤ 2500 km <sup>2</sup> .
Cuenca grande	> 2500 ≤ 5000 km <sup>2</sup> .
Cuenca muy grande	>5000 km <sup>2</sup> .

Fuente. Elaboración propia; con datos (Araque Arellano , y otros, 2019, pág. 27)

### 2.1.5.3 PRECIPITACION (P)

La precipitación se constituye como la parte principal del Ciclo Hidrológico, este fenómeno varía tanto espacial como temporalmente en una cuenca y subcuenca. “Es la cantidad de agua que cae en la superficie terrestre y proviene de la humedad atmosférica, ya sea en estado líquido (llovizna y lluvias) o en estado sólido (escarcha, nieve, granizo)” (Aparicio Mijares, 1992).

$$P = \frac{\text{Volumen de agua (m}^3\text{)}}{\text{Area de la superficie(m}^2\text{)}}$$

#### 2.1.5.3.1 PLUVIOMETRIA

Es volumen total de las precipitaciones que llegan al suelo durante un período determinado se expresa en función del nivel que alcanzarían sobre una proyección horizontal de la superficie terrestre, una vez se hayan fundido todas las precipitaciones caídas en forma de nieve o hielo. Las nevadas se miden también en función del espesor de la nieve fresca que cubre una superficie plana y horizontal. El objetivo principal de cualquier método de medición de las precipitaciones es obtener muestras representativas de la precipitación en la zona a que se refiera la medición. En hidrología, es fundamental medir el valor exacto de las precipitaciones. Por lo tanto, es muy importante que se tenga en cuenta la elección del emplazamiento y la forma y exposición del pluviómetro; además, deben tomarse

medidas para impedir las pérdidas por evaporación, efectos del viento y salpicaduras (Organización Meteorológica Mundial, 1983).

#### 2.1.5.3.2 INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN

Existen una variedad de instrumentos para obtener información de la precipitación. La información obtenida puede ser de diversas instituciones en el caso de Bolivia el SENAMHI<sup>1</sup> ; los instrumentos pueden dar resultados de la distribución del tamaño de las gotas de lluvia, el tiempo de inicio y de término de la precipitación, y la cantidad e intensidad de la precipitación, siendo esta última la que más interesa para la determinación de las tormentas de diseño. Existen básicamente dos tipos medidores que registran la cantidad e intensidad de la lluvia, siendo ellos:



**Figura 2.4.** Estación meteorológica modelo Laicakota – La Paz  
**Fuente:** obtenido; (Servicio nacional de meteorología e hidrología, s.f.)

<sup>1</sup> SENAMHI: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología



Recipiente abierto a los lados verticales para medir la lluvia.

**Figura 2.5. Pluviómetro**  
Fuente: (Raig, s.f.)



Instrumento que tiene la capacidad de la precipitación.

**Figura 2.6. Pluviógrafo**  
Fuente: (AEMET, s.f.)

### 2.1.5.3.3 ESCURRIMIENTO

El escurrimiento se define como el agua proveniente de la precipitación que circula sobre o bajo la superficie terrestre y llega a una corriente para finalmente ser drenada hasta la salida de la Cuenca.

El agua proveniente de la precipitación que llega hasta la superficie terrestre; una vez que una parte ha sido interceptada y evaporada sigue diversos caminos hasta llegar a la salida de la Cuenca. Conviene dividir estos caminos en tres clases escurrimiento superficial escurrimiento superficial y escurrimiento subterráneo (Aparicio Mijares, 1992, pág. 27).

### 2.1.5.4 EVAPOTRANSPIRACION

Según (Aparicio Mijares, 1992) se define la evapotranspiración como la combinación de evaporación y transpiración.

- **Evaporación;** es el proceso por el cual el agua pasa del estado líquido en que se encuentra en el almacenamiento conducciones y en el suelo

en las capas cercanas de la superficie y estado gaseoso y se transfiere a la atmósfera.

- **Transpiración;** es el agua que se desprende en forma de vapor de la vegetación.

#### 2.1.5.5 INFILTRACION

La cantidad de agua que atraviesa la superficie del terreno por unidad de tiempo y se desplaza al subsuelo recibe el nombre de ritmo o tasa de infiltración. Si el agua que se introduce al terreno por la superficie se desplaza a mayor profundidad, entonces se dice que ocurre la percolación. Un porcentaje del agua infiltrada podrá desplazarse en forma lateral a través del material dispuesto abajo de la superficie del terreno, a lo que se denomina Inter flujo o flujo subsuperficial (Breña Puyol & Jacobo Villa , 2005, pág. 154).

#### 2.1.5.6 ESCORRENTÍA SUPERFICIAL

El escurrimiento es la porción de la precipitación pluvial que ocurre en una zona o cuenca hidrológica y que circula sobre o debajo de la superficie terrestre y que llega a una corriente para ser drenada hasta la salida de una cuenca o bien alimentar un lago, si se trata de cuencas abiertas o cerradas, respectivamente (Breña Puyol & Jacobo Villa , 2005).

El cálculo de los escurrimientos superficiales se considera para dos objetivos: El escurrimiento medio, para estimar el volumen de agua por almacenar o retener y los escurrimientos máximos instantáneos para el diseño de obras civiles de conservación.

$$\text{Escorrentía superficial} = \text{Precipitación total} - (\text{Infiltración} + \text{Evapotranspiración})$$

#### 2.1.5.7 COEFICIENTE DE ESCORRENTIA (C)

La escorrentía superficial también requiere calcular el coeficiente de escorrentía con unidades adimensionales de la siguiente formula.

$$c = \frac{\text{Volumen de escurrentia superficial}}{\text{Volumen de precipitacion total}}$$

El coeficiente de escurrentía se toma valores de 0 a 1 donde el valor "0" nos indica que no existe escurrentía superficial y el valor "1" nos indica que toda el agua que se precipita se convierte en escurrentía superficial (Murillo Illanes, 2010, pág. 3).

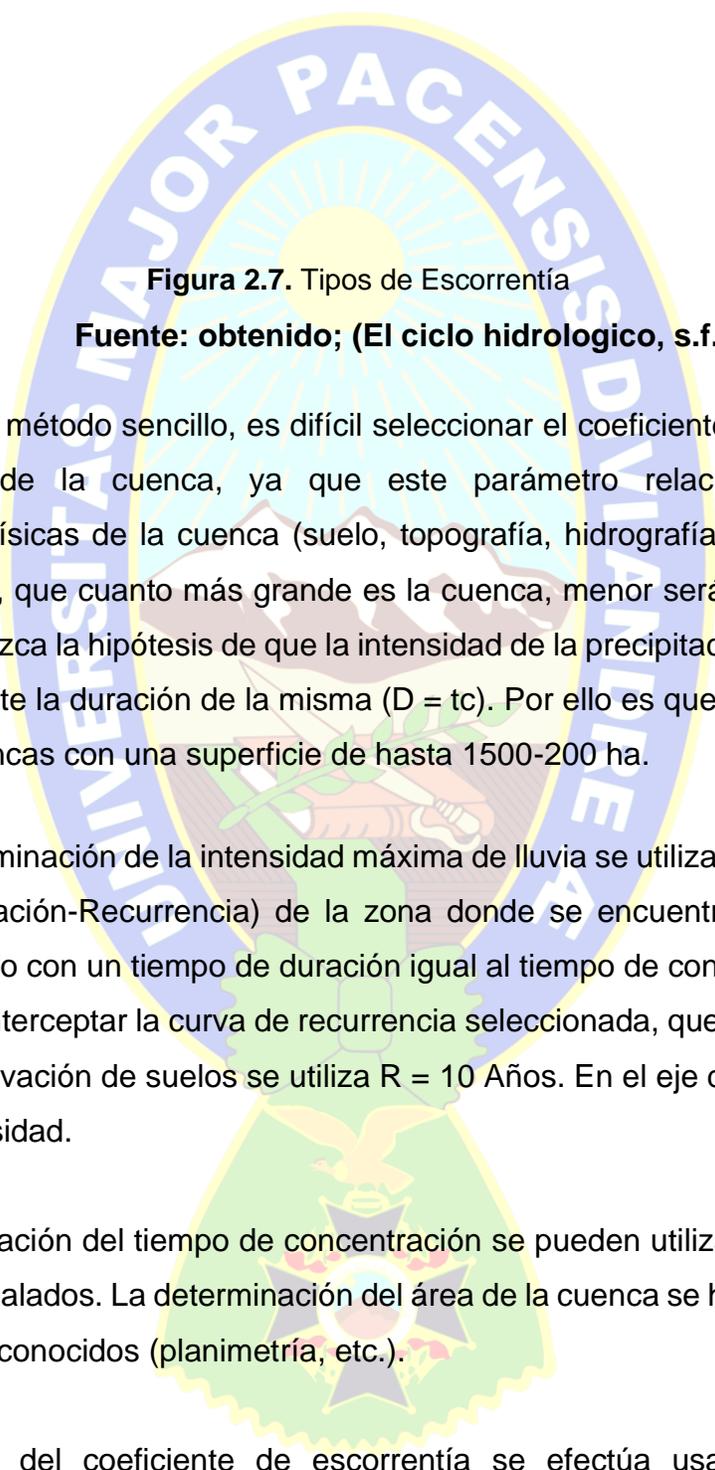
#### 2.1.5.8 MÉTODOS PARA ESTIMAR LA ESCORRENTÍA

Dado que el número de cuencas que poseen estaciones de aforo es muy reducido y por lo tanto el número de hidrogramas de crecida es necesario encontrar y relacionar las características físicas de las cuencas y el hidrograma resultante un evento de precipitación. Las primeras aproximaciones fueron a través de fórmulas empíricas, que han tenido como fin determinar las características de puntos singulares del hidrograma: caudal pico, tiempo al pico, tiempo base, etc.

Fórmula Racional: es el método más sencillo, basado en las intensidades máximas de precipitación producida, para estimar el valor del caudal máximo del hidrograma (Caudal Pico). El método supone que el caudal máximo es proporcional:

- 1) La intensidad máxima de la precipitación, de una duración igual al tiempo de concentración de la cuenca.
- 2) Área de la cuenca.
- 3) Coeficiente de escurrentía (C), relación entre el volumen escurrido y el volumen Precipitado.





**Figura 2.7.** Tipos de Escorrentía

**Fuente: obtenido; (El ciclo hidrológico, s.f.)**

Si bien es un método sencillo, es difícil seleccionar el coeficiente de escorrentía representativo de la cuenca, ya que este parámetro relaciona todas las características físicas de la cuenca (suelo, topografía, hidrografía, etc.). Se debe tener en cuenta, que cuanto más grande es la cuenca, menor será la probabilidad de que se produzca la hipótesis de que la intensidad de la precipitación se mantiene constante durante la duración de la misma ( $D = t_c$ ). Por ello es que este método es válido para cuencas con una superficie de hasta 1500-200 ha.

Para la determinación de la intensidad máxima de lluvia se utilizan las curvas IDF (Intensidad-Duración-Recurrencia) de la zona donde se encuentra la cuenca en estudio; entrando con un tiempo de duración igual al tiempo de concentración de la cuenca, hasta interceptar la curva de recurrencia seleccionada, que para el caso de obras de conservación de suelos se utiliza  $R = 10$  Años. En el eje de ordenadas se obtiene la intensidad.

Para la estimación del tiempo de concentración se pueden utilizar cualquiera de los métodos señalados. La determinación del área de la cuenca se hará por algunos de los métodos conocidos (planimetría, etc.).

La selección del coeficiente de escorrentía se efectúa usando las tablas existentes, que nos proporcionan el valor de  $C$  en función de distintos tipos de suelos y del relieve. La Tabla IV presenta un ejemplo de ello.

**TABLA IV: VALORES DE COEFICIENTE DE ESCORRENTIA**

Tipo de superficie	Coeficiente de escorrentía	
	Mínimo	Máximo
Zona comercial	0,70	<b>0,95</b>
Vecindarios, zonas de edificios, edificaciones densas	0,50	<b>0,70</b>
Zonas residenciales unifamiliares	0,30	<b>0,50</b>
Zonas residenciales multifamiliares espaciadas	0,40	<b>0,60</b>
Zonas residenciales multifamiliares densas	0,60	<b>0,75</b>
Zonas residenciales semiurbanas	0,25	<b>0,40</b>
Zonas industriales espaciadas	0,50	<b>0,80</b>
Zonas industriales densas	0,60	<b>0,90</b>
Parques	0,10	<b>0,25</b>
Zonas deportivas	0,20	<b>0,35</b>
Estaciones e infraestructuras viarias del ferrocarril	0,20	<b>0,40</b>
Zonas suburbanas	0,10	<b>0,30</b>
Calles asfaltadas	0,70	<b>0,95</b>
Calles hormigonadas	0,70	<b>0,95</b>
Calles adoquinadas	0,70	<b>0,85</b>
Aparcamientos	0,75	<b>0,85</b>
Techados	0,75	<b>0,95</b>
Praderas (suelos arenosos con pendientes inferiores al 2%)	0,05	<b>0,10</b>
Praderas (suelos arenosos con pendientes intermedias)	0,10	<b>0,15</b>
Praderas (suelos arenosos con pendientes superiores al 7%)	0,15	<b>0,20</b>
Praderas (suelos arcillosos con pendientes inferiores al 2%)	0,13	<b>0,17</b>
Praderas (suelos arcillosos con pendientes intermedias)	0,18	<b>0,22</b>
Praderas (suelos arcillosos con pendientes superiores al 7%)	<b>0,25</b>	<b>0,35</b>

**Fuente:** Elaboración propia con datos obtenidos; (Aparicio Mijares, 1992)

#### 2.1.5.9 CAUDAL (Q)

Caudal es la cantidad de fluido que circula a través de una sección (tubería, cañería, oleoducto, río, canal, etc.) por unidad de tiempo. Normalmente se identifica con el flujo volumétrico o volumen que pasa por un área dada en la unidad de tiempo.

**Donde:**

V: Velocidad ( $m^3$ )

T: Tiempo (seg.)

$$Q = \frac{V (m^3)}{T(seg)}$$

#### 2.1.5.10 AVENIDA

Una avenida o crecida de un río, también llamada popularmente riada, es un proceso natural, sin periodicidad y de grandes consecuencias ambientales,

constituido por un incremento importante y repentino de caudal en un sistema fluvial. Lleva consigo un ascenso del nivel de la corriente, que puede desbordar el cauce menor para ocupar progresivamente el cauce mayor, hasta alcanzar un máximo o punta de caudal o caudal-punta y descender a continuación (OLLERO , 1996, pág. 144).

Otra definición de avenida o crecida, según la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el riesgo de inundación, es la siguiente: “un aumento inusual del caudal de agua de un cauce que puede o no, producir desbordamientos o inundaciones”.

## 2.1.6 FORMULAS PARA ESTUDIO HIDROLOGICO

### 2.1.6.1 CALCULO DE CAUDAL

El cálculo del caudal de diseño, que es el objetivo principal del presente estudio hidrológico se lo hallara por el método racional a partir de áreas de isócronas, previo cálculo de la intensidad por ajuste de curva estadística Gumbel.

$$Q = 0.278 * C * I * A \quad (1)$$

**Donde:**

Q = Caudal en (m<sup>3</sup>/s)

C = Coeficiente de escorrentía

I = Intensidad (mm/hr)

A= Área de isócrona de la cuenca (Km<sup>2</sup>)

### 2.1.6.2 PERIODO DE RETORNO

El periodo de retorno es el tiempo promedio, en años, en que el valor del caudal pico de una creciente determinada es igualado o superado por lo menos una vez.

**TABLA V: PERIODO DE RETORNO PARA OBRAS HIDRÁULICAS EN CARRETERAS**

Tipo de Estructura	Periodo de retorno
	en años
Grandes Puentes	100
Pequeños Puentes	50
Alcantarillas	25

Fuente: Obtenido; (Campos Aranda, 1998)

**PERIODO DE RETORNO PARA DISEÑO DE OBRAS HIDRÁULICAS EN CARRETERAS ABC**

Tipo de Obra	Tipo de Ruta	Período de Retorno (T años)		vida útil supuesta
		Diseño (3)	Verificación (4)	
Puentes y Viaductos (1)	Carretera	200	300	50
	Camino	100	150	50
Alcantarillas ( $S > 1,75 \text{ m}^2$ ) o Hterrap $\geq 10 \text{ m}$ y Estructuras Enterradas (2)	Carretera	100	150	50
	Camino	50	100	30
Alcantarillas ( $S < 1,75 \text{ m}^2$ )	Carretera	50	100	50
	Camino	25	50	30
Drenaje de la Plataforma	Carretera	10	25	10
	Camino	5	10	5
Defensas de Riberas	Carretera	1000	-	20
	Camino	100	-	20

Fuente: Obtenido; ( Administradora Boliviana de Carreteras , págs. 1-3)

### 2.1.6.3 INDICE DE COMPACIDAD ( $I_c$ )

Es el coeficiente que existe entre el perímetro de la cuenca respecto al perímetro de un círculo de área de la misma cuenca.

$$Ic = \frac{P}{Po} = 0.282 * \left(\frac{P}{\sqrt{A}}\right) \quad (2)$$

**Donde:**

P = perímetro de la cuenca (km)

A = área de drenaje de la cuenca (km<sup>2</sup>)

**TABLA VI. TIPO DE CUENCA SEGÚN SU COMPACIDAD**

IC	TIPO DE CUENCA
1.00-1,25	Cuenca redonda a oval redonda
1.25-1,50	Cuenca de oval redonda a oval oblonga
>1,50	Cuenca de oval oblonga a rectangular oblonga

Fuente: Según (CAMPOS , 1987)

**2.1.6.4 FACTOR DE FORMA (Ff)**

Fue definido por Horton, como el cociente entre el ancho promedio de la cuenca y su longitud del cauce principal:

Ancho promedio de la cuenca:

$$B = \frac{A}{Lc} \quad (3)$$

**Donde:**

$$Ff = \frac{B}{Lc} \quad (4)$$

B. Ancho Promedio de la cuenca(km)

A: Área de la cuenca, (Km<sup>2</sup>)

Lc: Longitud del cauce (km)

$$Ff = \frac{A}{Lc^2} \quad (5)$$

**TABLA VII. VALORES DE FORMA**  
**RANGOS DE CLASES DE FORMA**  
**Ff**

0.01-0.18	Muy poco achatada
0,18-0,36	Ligeramente achatada
0,36- 0,54	Moderadamente achatada

Fuente: Según (Campos Aranda, 1998)

Una cuenca con factor de forma bajo está menos sujeta a crecientes que otra del mismo tamaño.

Ff > 1: Cuenca achatada, tendencia a ocurrencia de avenidas.

Ff < 1: Cuenca con menor tendencia a la ocurrencia de avenidas.

#### 2.1.6.5 PENDIENTE MEDIA (Sm)

Es la variación de la inclinación de una cuenca. Su determinación es muy importante porque afecta directamente a la velocidad con la que se da la escorrentía superficial; o el tiempo que lleva el agua de lluvias para concentrarse en el cauce principal.

La pendiente media de toda la cuenca es:

$$S_m = \frac{S_1 * a_1 + S_2 * a_2 + S_3 * a_3 + \dots + S_n * a_n}{a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_n} \quad (6)$$

Donde:

S1, S2, ..., Sn = Pendiente media de cada zona.

a1, a2, ..., an = área de cada zona delimitada.

La pendiente de una porción del área de la cuenca es:

$$S_i = \frac{D}{W_i} \quad (7)$$

Wi = Ancho promedio de la faja a,b,c,d, en (Km).

Si = Pendiente media de la faja ai = Area de la faja a,b,c,d, en (Km<sup>2</sup>).

a,b,c,d, adimensional .

D = Desnivel constante entre las curvas de nivel, en (Km).

$$W_i = \frac{a_i}{L_i} \quad (8)$$

### 2.1.6.6 DENSIDAD DE DRENAJE (Dd)

Horton (1945) definió la densidad de drenaje de una cuenca como el cociente entre la longitud total (Lt) de los cauces pertenecientes a su red de drenaje y la superficie de la cuenca (A):

Es la relación entre la longitud total de los cursos de agua de la cuenca y su área total.

Dónde:

$$Dd = \frac{Lt}{A} = \left( \frac{Km}{Km^2} \right) \quad (9)$$

L: Longitud total de las corrientes de agua, (km).

A: Área total de la cuenca (Km<sup>2</sup>).

**TABLA VIII. CLASIFICACIÓN DE LA RED DE DRENAJE DE LAS CUENCAS**

Densidad de drenaje	Categoría
<1	Baja
1-2	Moderada
2-3	Alta
>3	Muy Alta

Fuente: ( Delgadillo & Páez, 2008)

### 2.1.6.7 PENDIENTE MEDIA (Sm)

Es la relación entre la altura total del cauce principal (cota máxima Hmax, menos cota mínima Hmin) y la longitud del mismo, L.

Donde:

$$S = \frac{Hmax - Hmin}{L} \quad (10)$$

H máx.: Cota mayor del cauce (m.s.n.m.)

H min: Cota menor del cauce (m.s.n.m.)

L: Longitud del cauce

**TABLA IX. CLASIFICACIÓN DE PENDIENTE EN EL CAUCE PRINCIPAL**

**PENDIENTE (Sm),  
EN PORCENTAJE**

**TIPO DEL TERRENO**

5	Suave
10	Accidentado Medio
15	Accidentado
25	Fuertemente Accidentado
50	Escarpado
>50	Muy Escarpado

**Fuente: según (Campos Aranda, 1998)**

### 2.1.6.8 TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

Según (Vélez Upegui & Botero Gutiérrez, 2013) para la estimación del tiempo de concentración se pueden emplear diferentes expresiones que lo relacionan con otros parámetros propios de la cuenca y recomienda emplear varias ecuaciones empíricas disponibles en la literatura científica, considerando apropiado incluir al menos cinco estimaciones diferentes que correspondan con las características de la zona de estudio.

Se define como el tiempo de viaje de una gota de agua de lluvia que escurre superficialmente desde el lugar más lejano de la cuenca hasta el punto de salida (Chow , Maidment, & Mays, 1994)

Han sido numerosos los autores que han obtenido formulaciones del mismo, a partir de características morfológicas y geométricas de la cuenca.

A continuación, se muestran algunas de esas fórmulas empíricas.

**Kirpich:**

$$tc = 0.06626 * \left(\frac{L^2}{S}\right)^{0.385} = Hr$$

**Temez:**

$$tc = 0.126 * \left(\frac{L}{S^{0.35}}\right)^{0.75} = Hr$$

**Passini:**

$$tc = 0.023 * \left(\frac{A * L}{S}\right)^{0.5} = Hr$$

**Pizarro:**

$$tc = 0.126 * \left(\frac{L}{S^{0.25}}\right)^{0.75} = Hr$$

En el Manual Técnico de la Administradora boliviana de Carreteras describe; “Diversos son los autores y los procedimientos de cálculo utilizados para establecer una mejor relación, pero entre si tienen grandes diferencias en los resultados del cual se debe tomar el valor promedio. Por ser este tipo de expresiones producto de resultados empíricos, obtenidos bajo ciertas condiciones particulares, es necesario tener presente que debe juzgarse cualitativamente la factibilidad física del resultado entregado, previo a su aceptación. Como norma general, el tiempo de concentración no debe ser inferior a 10 minutos, salvo que se tengan mediciones en terreno que justifiquen adoptar valores menores.” (Administradora Boliviana de Carreteras, págs. 1-5).

**Kirpich:**

$$t = 0,0078 * k^{0,77} = (\text{min}) \quad (11)$$

$$k = 3,28 * \frac{L}{S^{0,5}} \quad (12)$$

**Donde:**

t: Tiempo de concentración (min)

L: Longitud del cauce principal (m)

S: Pendiente del cauce principal (m/m)

**Normas españolas:****Donde:**

$$t_c = 0.3 * \left( \frac{L}{S^{0.25}} \right)^{0.76} = (Hr)$$

**(13)** tc: tiempo de concentración(hr)

L: longitud del cauce (km)

S: pendiente del cauce (m)

**2.1.6.9 CURVA INTENSIDAD – DURACION – FRECUENCIA (IDF)**

Estas relaciones presentan la variación de la intensidad de la lluvia de distintas duraciones, asociadas a diferentes probabilidades de ocurrencia, siendo necesarias para estimar indirectamente el escurrimiento proveniente en función de la lluvia caída. Estas familias de curvas llevan en las abscisas la duración de la lluvia, en ordenadas la intensidad y en forma paramétrica el Período de Retorno o la probabilidad. Ellas son el resultado de un análisis probabilístico de las lluvias máximas anuales de diferentes duraciones. En el presente Tópico se consultan dos procedimientos para calcular las Curvas IDF: el primero se emplea cuando se cuenta con datos pluviográficos representativos del área de interés y el segundo permite obtener una estimación de estas curvas usando solamente datos pluviométricos. Este segundo procedimiento es útil cuando no se cuenta con información pluviográfica (Administradora Boliviana de Carreteras, págs. 1-20).

$$I = \frac{449,2287 * T^{0.196165}}{t^{0.61639}} \quad (14)$$

**Donde:**

I: intensidad de precipitación (mm/h)

T: Periodo de retorno (años)

t: tiempo de concentración (min)

## CLASIFICACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN SEGÚN SU INTENSIDAD

Clase	INTENSIDAD MEDIA EN UNA HORA (mm/h)
Débiles	$\leq 2$
Moderadas	$> 2 \text{ y } \leq 15$
Fuertes	$>15 \text{ y } \leq 30$
Muy fuertes	$>30 \text{ y } \leq 60$
Torrenciales	$>60$

Fuente: AEMET

### 2.1.6.10 CALCULO DE ALTURA DE AGUAS DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL

Observando la topografía en la zona del proyecto y corroborando con el corte transversal de río podemos adoptar una sección hidráulica trapezoidal.

**n = 0.035**, coeficiente e rugosidad 2

**b = 50 (m)**, Ancho promedio de bases aguas arriba, aguas abajo y eje .

#### 2.1.6.10.1 NIVEL DE AGUAS MÁXIMAS EXTRAORDINARIAS (N.A.M.E.)

Es el nivel máximo que alcanzaran las aguas para un caudal máximo probable, caudal calculado y utilizando la fórmula de Manning se obtendrá una nueva altura de agua, que será mayor a la marca de la huella dejada por el agua.

$$Q = \frac{1}{n} * Aa * R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad (15)$$

**Donde:**

S: Pendiente de la superficie del fondo del cauce

N: Rugosidad del cauce del río

Aa: Área hidráulica (m<sup>2</sup>)

R: Área de la sección húmeda/perímetro mojado

<sup>2</sup> Dato obtenido: Villon Máximo, "Hidráulica de canales", Cuarta edición 2000, Cuadro 2.2. Pag 71

**TABLA X. SECCION RECTANGULAR Y TRAPEZOIDAL**

Tipo de sección	Área (m <sup>2</sup> )	Perímetro mojado (m)	Radio Hidráulico (m)
<p>Trapezoidal</p>	$(b+zy)y$	$b + 2y \sqrt{1+z^2}$	$(b+zy)y / (b+2y\sqrt{1+z^2})$

Fuente: obtenido; (Hidraulicca Blogspot, 2012)

Por la tanto el N.A.M.E. es:

$$\text{N.A.M.E.} = \text{cota terreno} + (H_a + \&a) \quad (16)$$

**Donde:**

N.A.M.E.: Nivel máximo de aguas extraordinarias

H<sub>a</sub>: Huella dejada por el agua

&a: Altura que se incrementa al nivel de las huellas.

## 2.1.7 PROBLEMAS GLOBALES AMBIENTALES

### 2.1.7.1 CALENTAMIENTO GLOBAL

Calentamiento global es la hipótesis de que la temperatura de la tierra está siendo aumentado, en parte, debido a las emisiones de GEI asociadas con actividades humanas, como quemar combustibles fósiles, biomasa quema, fabricación de cemento, cría de vacas y ovejas, deforestación y otros cambios en el uso de la tierra.<sup>3</sup>

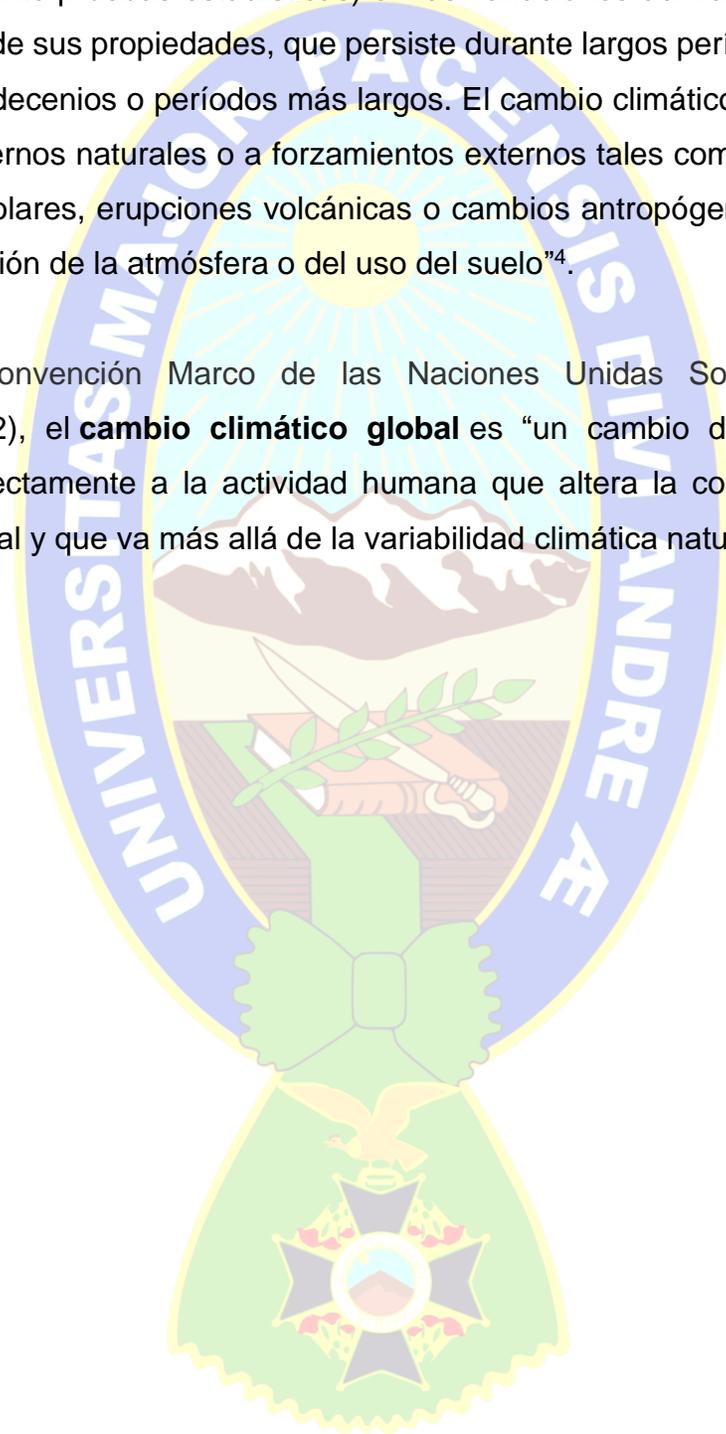
### 2.1.7.2 EL CAMBIO CLIMÁTICO

Ministerio para la Transformación de la ecología del gobierno de España menciona que “Cambio climático Variación del estado del clima identificable (por

<sup>3</sup> 2000: Emissions Scenarios. Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Nakićenović, N. y R. Swart (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, Estados Unidos de América, 600 págs.

ejemplo, mediante pruebas estadísticas) en las variaciones del valor medio y/o en la variabilidad de sus propiedades, que persiste durante largos períodos de tiempo, generalmente decenios o períodos más largos. El cambio climático puede deberse a procesos internos naturales o a forzamientos externos tales como modulaciones de los ciclos solares, erupciones volcánicas o cambios antropógenos persistentes de la composición de la atmósfera o del uso del suelo<sup>4</sup>.

Según la Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático (1992), el **cambio climático global** es “un cambio del clima debido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera global y que va más allá de la variabilidad climática natural”<sup>5</sup>.



---

<sup>4</sup> (IPCC, 2013: Glosario [Planton, S. (ed.)]. En: Cambio Climático 2013. Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex y P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, Estados Unidos de América. Pág. 6)

<sup>5</sup> En la página web convención artículo 1 punto 2 ;[https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/que-es-el-cambio-climatico-y-como-nos-afecta/doc\\_ncc\\_un\\_convencion.aspx](https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/que-es-el-cambio-climatico-y-como-nos-afecta/doc_ncc_un_convencion.aspx)

## CAPITULO III

### 3.1 ASPECTOS GENERALES

#### 3.1.1 UBICACIÓN GEOGRAFICA GENERAL

El río La Paz nace en la confluencia de los ríos Irpavi y Choqueyapu; pertenece a la macro cuenca del Río Amazonas, Este río se constituye en las nacientes del río Boopi, principal afluente del río Beni, que al confluir con los ríos Madre de Dios y Mamoré e Itenez dan lugar al río Madera.

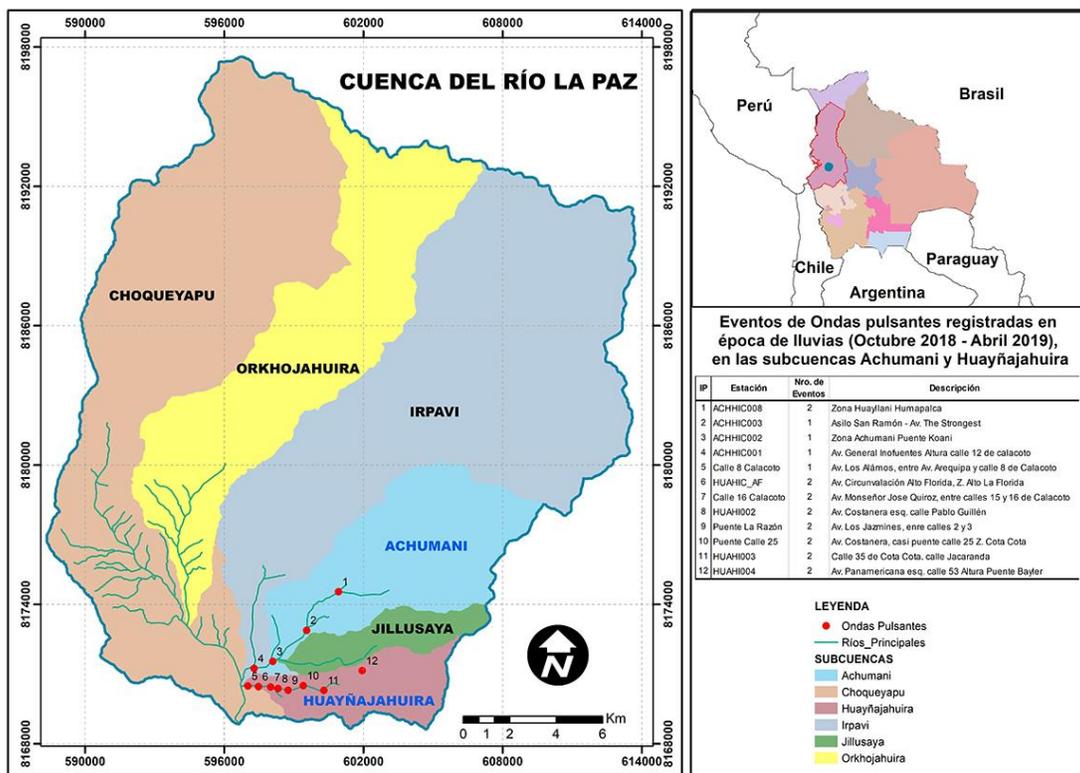


Figura 3.1. Cuenca del Río La Paz y las seis subcuencas

Fuente: obtenido; (SDSU, s.f.)

En la figura 3.1. se muestra la cuenca del río La Paz (Norte) hasta el sector de Aranjuez, está conformada por las subcuencas de los ríos Choque yapú, Orkojahuirá, Irpavi, Jillusaya, Achumani y Huayñajahuira; la cuenca tiene una

superficie de 498.4 km<sup>2</sup>, la longitud del curso más largo es de 37 km y presenta un desnivel de 2175 m desde sus nacientes a 5300 msnm aproximadamente hasta 3125 msnm en sector de Aranjuez aproximadamente; arrastra gran cantidad de material en suspensión.

### 3.1.2 UBICACIÓN GEOGRÁFICA ESPECIFICA

La sub cuenca del rio Jillusaya se encuentra en la zona 19 S, entre las coordenadas 608505 y 597815 metros al este (x), 8175483 y 8171846 metros al norte (y) (figura 3.2), Con un área de 11.42 km<sup>2</sup> y 27 km de perímetro la cuenca abarca los municipios de Nuestra Señora de La Paz y parte del municipio de Palca. La elevación máxima es de 4591 msnm y la mínima de 3300 msnm.

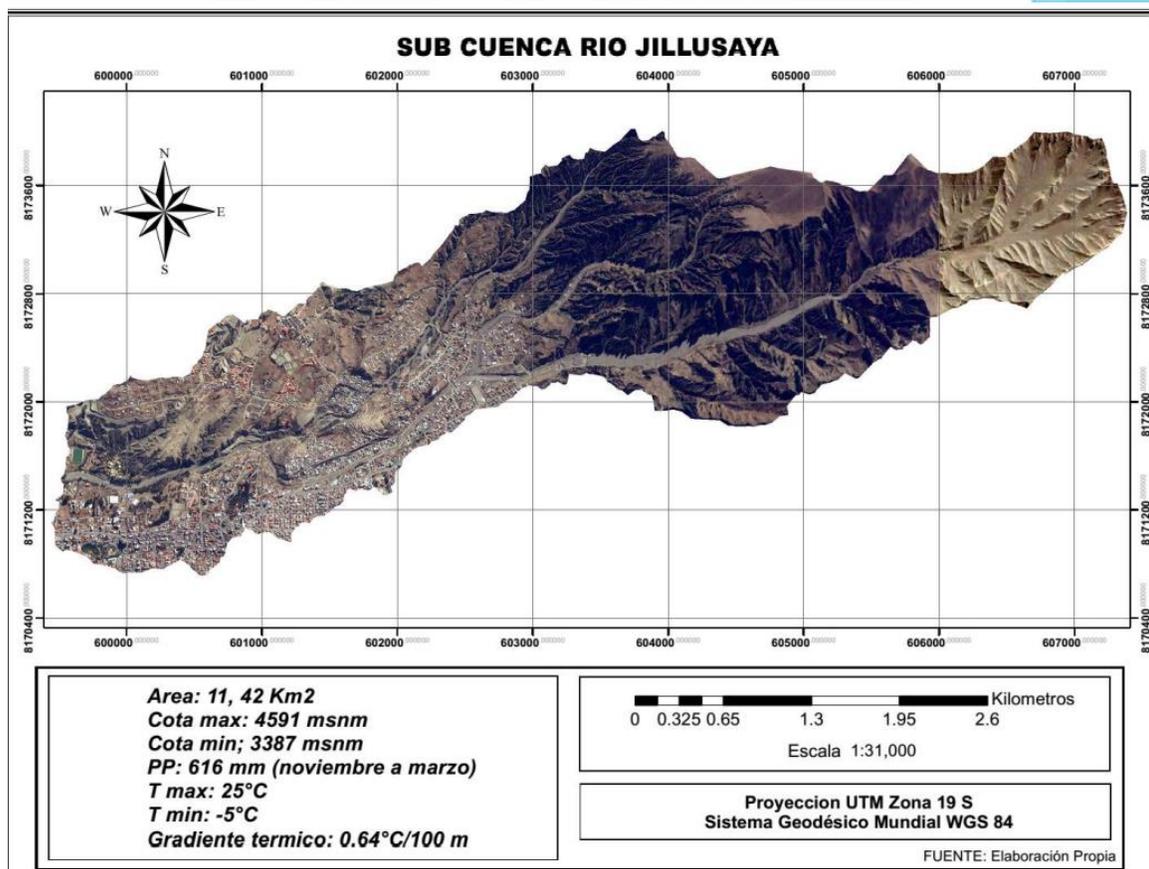


Figura 3.2. Sub cuenca del Rio Jillusaya

Fuente: obtenido; (Zuazo Molleda )

La sub cuenca del río Jillusaya en la parte alta comprende las zonas de Ovejuyo, Koqueni-Las Rosas, Chasquipampa y el Pedregal que es caracterizada por presentar escasa vegetación, predominantemente eucalipto (*eucaliptus glubulus*). Las urbanizaciones existentes en este sector descargan sus aguas residuales directamente al río. La parte media comprende la zona de Cota Cota, con una alta incidencia urbana, encontrándose el campus universitario de la Universidad Mayor de San Andrés donde se desarrollan distintas actividades como la recreacional, enseñanza e investigación. En la parte baja se halla la zona de Calacoto, sector urbanizado que cuenta con los servicios básicos. Tanto en la zona alta como en la baja la extracción de áridos es importante, además de servir como depósito de basura que contamina el río (DIRECCIÓN DE PLANIFICACIÓN Y CONTROL GAMLP, 2007).

### **3.1.3 OBJETIVO DE LA PROPUESTA DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DE RIESGO**

Realizar el seguimiento y control a los efectos del desarrollo de los factores de riesgo identificados como; cota de agua que podría variar por efectos de la deposición de material de arrastre y ocasionar el desborde del río, y la velocidad de agua que incide en la suspensión y deposición de material de arrastre en el lecho del río (Medina, 2018).

#### **3.1.3.1 ACTIVIDADES DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DE RIESGOS**

- Mantenimiento del camino de acceso para la maquinaria pesada al cauce del río tramo puente encuentro de los ríos Choqueyapu e Irpavi hasta la confluencia con el río Huayñajahuira.
- Remoción de material de arrastre del cauce del río hacia los márgenes del río con maquinaria pesada. Preferentemente cada año después de la época de lluvia.
- Evacuación y/o explotación de los áridos seleccionados como material de construcción para la infraestructura urbana pública o privada.
- Evaluación de la capacidad hidráulica del tramo objeto estudio de forma periódica, fundamentalmente antes y después de la época de lluvia anual.
- Alternativamente el GAM deberá prever la canalización del río mediante la

construcción de vertedero con vías de acceso al lecho del río para la remoción y/o explotación de material de arrastre o áridos. Previo estudio de factibilidad.<sup>6</sup>

### 3.1.4 RESULTADOS DE LA EVALUACION HIDRAULICA DEL RIO LA PAZ

Entre unos de los resultados de la Evaluación Hidráulica del Río la paz los puntos de mayor interés para la realización del trajo de ampliación describe; “Los ríos de Irpavi y Achumani arrastran gran cantidad de material a través de los vertederos abiertos hasta unos 67 m. aguas abajo del puente encuentro de los ríos Irpavi y Choqueyapu, lugar donde se presenta un salto hidráulico de 25 m aproximadamente, aquí la escorrentía pierde fuerza debido a la reducción de la pendiente y dispersa el material de arrastre formando abanico aluvial que aumenta el ancho del curso del río” (Medina, 2018).

Cuenca del Río	Superficie(Km2)	Longitud (km)	Pendiente	TC (Hrs)	Log time (min)
La Paz	492.10	28.467	0.0714	6.02	216.72
Choqueyapu	140.53	24.267	0.0642	5.55	199.80
Choqueyaou 1	15.09	4.178	0.0340	1.69	60.84
Orkojahuiria	91.68	23.189	0.0573	5.46	196.56
Irpavi	165.42	25.540	0.0630	5.64	203.04
Irpavi 1	0.75	1.319	0.0379	0.69	24.84
Achumani	62.28	15.200	0.0925	3.59	129.24
Huayñahuiria	16.34	8.595	0.0904	2.30	82.81

**Figura 3.3.** Parámetros Morfométricos de la cuenca y sub-cuencas del Río La Paz (Norte)  
**Fuente: obtenido (Medina, 2018)**

Según lo descrito en el proyecto de Evaluación hidráulica del Río La Paz para su análisis hidrológico utilizaron softwares de modelización hidrológica, por lo cual es preciso saber cuáles son las características de la cuenca analizando todas la sub cuencas ya que menciona que los ríos Irpavi y Achumani arrastran gran material ; por lo cual la sub cuenca del río Jillusaya es una de las importantes para el estudio del río Achumani donde se dan encuentro para luego confluirse con el río Irpavi; para ello se debe tener conocimiento de todas las fórmulas a emplearse en el estudio hidrológico que se desarrollara en el siguiente capítulo.

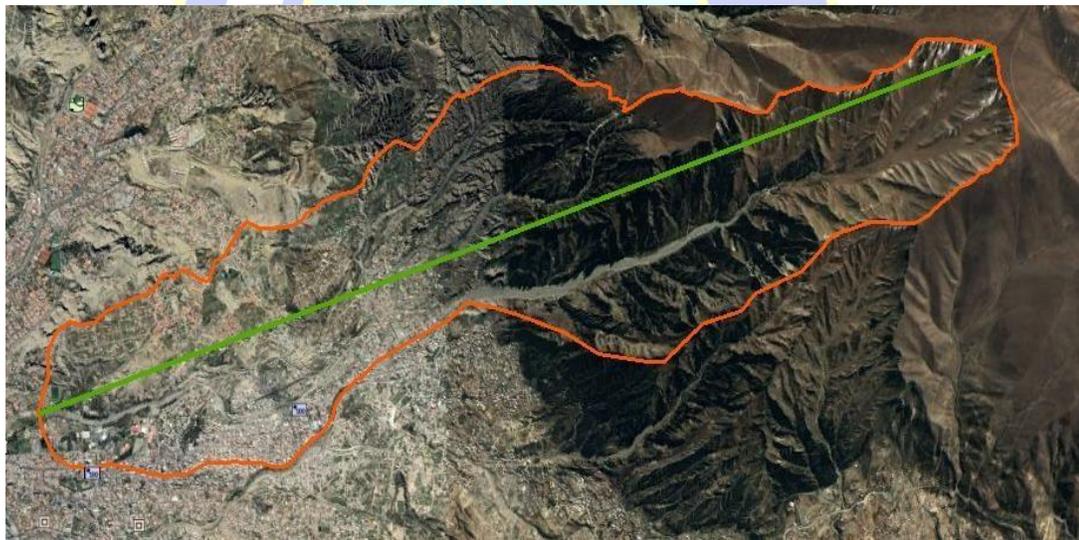
<sup>6</sup> Listado Obtenido; (Medina, 2018)

## CAPITULO IV

### 4.1 MEMORIA DE CALCULO

#### 4.1.1 DETERMINACION DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA

La determinación para la delimitación de la subcuenca del área de estudio se realizó mediante mapas, siguiendo la línea de divisoria de aguas, hasta encerrar toda el área cuyas aguas llegan al río principal como se muestra en la figura 4.1.

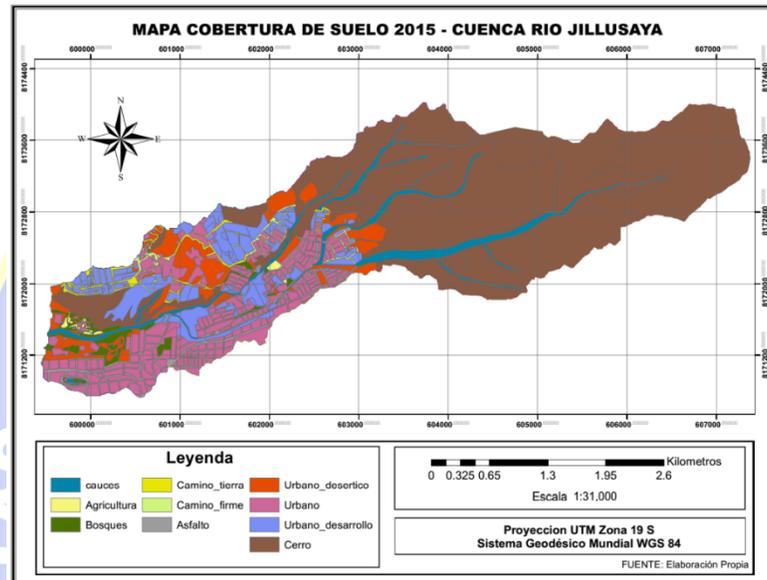


**Figura 4.1. Sub Cuenca Jillusaya**  
**Fuente: Elaboración propia en base a Google Earth**

#### 4.1.2 CALCULO DEL COEFICIENTE DE ESCORRENTIA

La sub cuenca de estudio cuenta con distintas características morfológicas, por lo tanto, debemos hallar un coeficiente de escorrentía ponderado en base a sus características principales como ser la vegetación, pendientes, tipo de suelo y otros.

#### 4.1.2.1 ZONIFICACION DE LA CUENCA



**Figura 4.2. Sub Cuenca del Rio Jillusaya mapa hidrológico**  
**Fuente: obtenido; (Zuazo Molleda )**



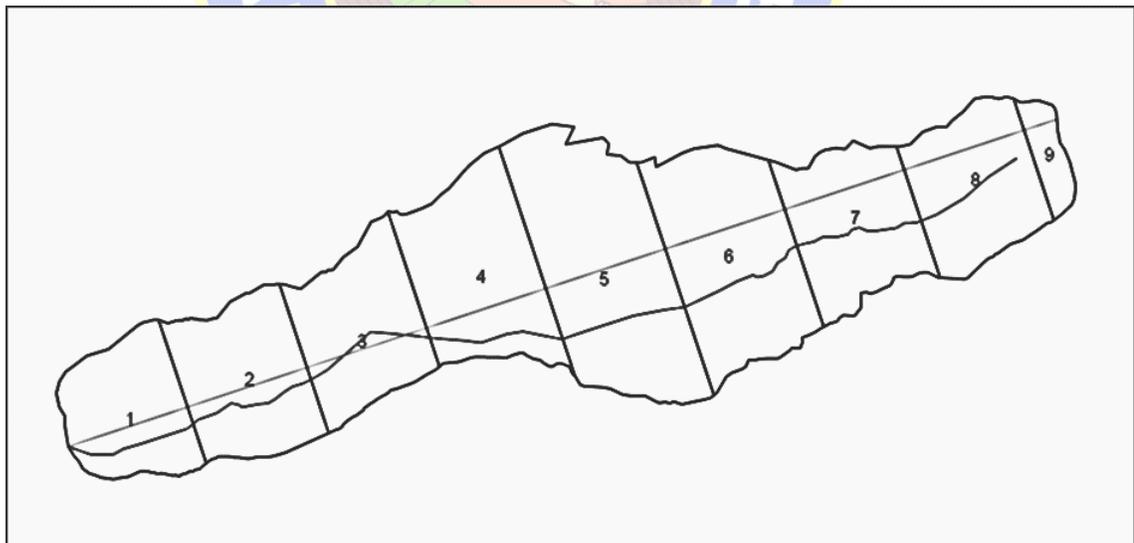
**Figura 4.2. Sub Cuenca del Rio Jillusaya zonificación**  
**Fuente: obtenido Elaboración propia en base a Google Earth**

En el cuadro se muestra, según la zonificación el porcentaje de área según el uso de la sub cuenca.

Uso	Área (%)
Agricultura	0,22
Bosques	1,85
Camino Tierra	1,30
Camino Firme	1,42
Asfalto	3,01
Urbano desértico	28,27
Urbano	12,49
Urbano Desarrollo	10,61
Cerro	40,82

#### 4.1.2.2 PENDIENTE MEDIA DE LA CUENCA (Sm)

Obtenemos la pendiente media de todas las zonas delimitadas tomando valores de altura máxima y mínima de cada zona delimitada.



**Figura 4.2.** Sub Cuenca del Rio Jillusaya zonificación

**Fuente:** obtenido Elaboración propia en base a Google Earth

	11281874,03	m2
--	-------------	----

PERIMETRO	20175,5511 m	AREA TOTAL DE LA CUENCA	11,28187403	km2
LONGITRUD DE LA CUENCA	8279,3179 m		1128,187403	hectárea
LONGITRUD	8282,9553 m			

La pendiente media de toda la cuenca es: De la ecuación (6) con los datos obtenidos de (ver anexo 1).

$$Sm = \frac{6,71 \cdot 1,01 + 4,75 \cdot 1,21 + 9,70 \cdot 1,18 + 6,29 \cdot 1,45 + 16,15 \cdot 2,15 + 21,33 \cdot 1,71 + 24,62 \cdot 1,17 + 17,24 \cdot 1,13 + 16,68 \cdot 2,31}{11,28}$$

$$Sm = 16.91 \%$$

#### 4.1.2.3 CALCULO DE COEFICIENTE ESCORRENTÍA PONDERADO

$$C_{ponderado} = \frac{\sum (C_i \cdot A_i)}{\sum A_i}$$

suma de pendmedia por are 156957220

pendiente ponderado 13,9123358

Calculo según anexo 2:

$$C_{ponderado} = 0,57$$

#### 4.1.3 TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

Para el cálculo del tiempo de concentración debemos obtener los valores de la longitud del cauce y la pendiente media de la cuenca.

##### 4.1.3.1 LONGITUD DEL CAUCE PRINCIPAL.

La longitud del cauce principal de estudio es de **8.2 km**.

#### 4.1.3.2 PENDIENTE DEL CAUCE (S)



De la ecuación (10)

$$S = \frac{H_{max} - H_{min}}{L}$$

$$S_m = \frac{(H_{max} - H_{mi})}{L}$$

$$S_m = 13.90\%$$

PENDIENTE (%)	TIPO DE TERRENO:
13.90	Accidentado

SEGÚN LA TABLA IX

Para determinar el tiempo de concentración, se realizará con la ecuación kirpich por la pendiente y por el tamaño de la cuenca que se considera cuenca pequeña ya que su área es de 11.28 km<sup>2</sup>. Por lo tanto, el **tiempo de concentración** es:

De la ecuación (11)

**Kirpich:**  $t = 0,0078 * k^{0,77} = 0,0078 * 75642.18^{0,77}$

$$t = 44.53 \text{ (min)}$$

De la ecuación (12)

$$k = 3,28 * \frac{L}{s^{0,5}}$$

$$k = 3,28 * \frac{8282,95}{0,139^{0,5}} = 75642.18$$

De la ecuación (13)

**Normas españolas:**

$$tc = 0.3 * \left(\frac{L}{s^{0.25}}\right)^{0.76} = Hr$$

$$tc = 0.3 * \left(\frac{8,28}{0,139^{0.25}}\right)^{0.76} = 2,17 hr = 162 (min)$$

Para determinación del tiempo de concentración (tc) se utiliza 2 formulas o más y hallar en qué tc tarda en llegar la gota más alejada de la Cuenca al punto de control, para el presente cálculo se utilizó las ecuaciones 12 y 13 obteniendo la media de 103.31 (min).

#### 4.1.3.3 Cálculo de la intensidad

Según la formula (14) y la Tabla (V) el periodo de retorno que tomaremos es de 50 años ya que el proyecto general de la evaluación hidráulica del rio la paz; tramo puente encuentro de los ríos choque yapú e ir pavi hasta la confluencia con el rio huayñajahuira analiza para una avenida máxima de 50 años de retorno.

Entonces la máxima intensidad media para el periodo de retorno es:

**Donde:**

I: intensidad de precipitación (mm/h)

T: Periodo de retorno (años)

t: tiempo de concentración (min)

$$I = \frac{449,2287 * T^{0,196165}}{t^{0,61639}}$$

$$I = \frac{449,2287 * 50^{0,196165}}{103,31^{0,6163}}$$

$$I = 55,49 \text{ mm/hr}$$

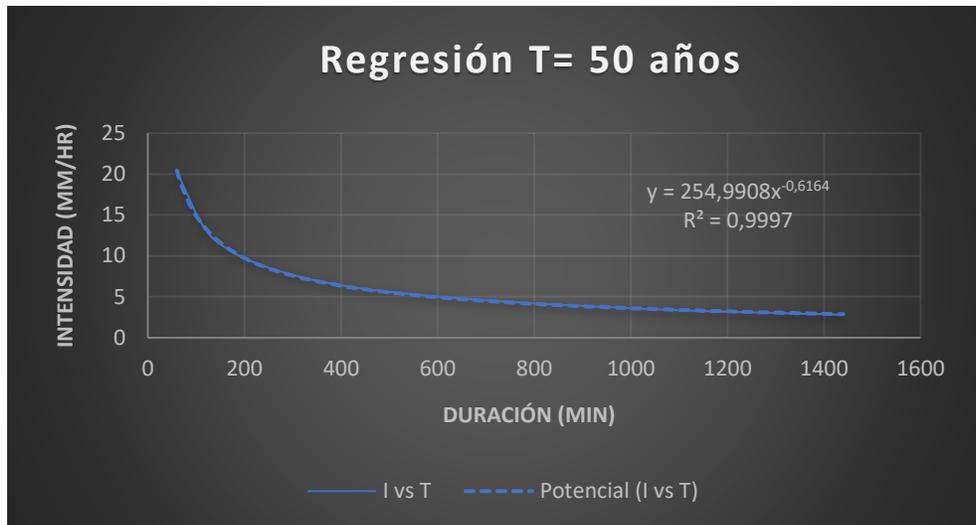
Según la clasificación de intensidad

Clase	INTENSIDAD MEDIA EN UNA HORA (mm/h)
Muy Fuertes	>30 y ≤ 60

Valores de las intensidades para diferentes duraciones (15min – 1440 min) y periodos de retorno (2, 5, 10, 20, 50, 100, 200 y 500 años) ver anexo VIII

Tabla de intensidades - Tiempo de duración												
Frecuencia años	Duración en minutos											
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
2	49,67	32,34	25,17	21,06	18,35	16,39	14,90	13,72	12,75	11,95	11,26	10,67
5	59,04	38,44	29,91	25,03	21,81	19,48	17,71	16,30	15,16	14,20	13,39	12,68
10	67,28	43,81	34,09	28,53	24,85	22,20	20,18	18,58	17,27	16,18	15,26	14,46
25	79,97	52,08	40,52	33,91	29,54	26,39	23,99	22,08	20,53	19,24	18,13	17,18
50	91,14	59,35	46,18	38,65	33,66	30,07	27,34	25,17	23,40	21,92	20,67	19,58
100	103,87	67,64	52,63	44,05	38,36	34,27	31,15	28,68	26,67	24,98	23,55	22,32
500	140,70	91,62	71,29	59,66	51,97	46,42	42,20	38,85	36,12	33,84	31,90	30,23

Periodo de retorno para T = 50 años						
Nº	x	Y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	2,8104	7,2724	1,0333	7,5146	52,8878
2	1080	3,4099	6,9847	1,2267	8,5680	48,7863
3	720	4,4966	6,5793	1,5033	9,8907	43,2865
4	480	5,7331	6,1738	1,7463	10,7810	38,1156
5	360	6,8573	5,8861	1,9253	11,3326	34,6462
6	300	7,6891	5,7038	2,0398	11,6346	32,5331
7	240	8,7683	5,4806	2,1711	11,8993	30,0374
8	180	10,3421	5,1930	2,3362	12,1319	26,9668
9	120	13,1525	4,7875	2,5766	12,3355	22,9201
10	60	20,2346	4,0943	3,0074	12,3133	16,7637
10	4980	83,4938	58,1555	19,5661	108,4015	346,9435
Ln (d) =	5,5412	d =	254,9908	n =	-0,6164	



Según anexos (IV, V, VI, VII) se determina la precipitación media

PRECIPITACION MEDIA	
UBICACIÓN	
ALTO OBRAJES	56,00 mm
ACHUMANI	62,40 mm
AVEJUYO	51,00 mm
ACHOCALLA	40,00 mm
<b>TOTAL</b>	<b>56,09 mm</b>

#### 4.1.3.4 CALCULO DE INDICE DE COMPACIDAD (Ic)

Según la Ecuación 2 calculamos

$$Ic = \frac{P}{Po} = 0,282 * \left(\frac{P}{\sqrt{A}}\right)$$

$$Ic = 0,282 * \frac{56,09}{\sqrt{11,28}} = 4,7$$

Según la tabla VI la sub Cuenca de oval oblonga a rectangular oblonga  $Ic = 4,7$ . El resultado nos indica que la cuenca es rectangular y existe la posibilidad de que no se cubra por completo la cuenca de lluvia.

#### 4.1.3.5 CALCULO FACTOR DE FORMA (Ff)

Se calcula mediante la siguiente ecuación (5) para ello calculamos inicialmente la ecuación (3) .

Ecuación 3.

$$B = \frac{A}{Lc}$$

$$B = \frac{11,28}{8,2} = 1,37 \text{ km}$$

Ecuación 5.

$$Ff = \frac{B}{Lc} = \frac{1,37}{8,2} = 0,16$$

Según La Tabla VII según el factor forma muy poco achatada.

$Ff > 1$ : Cuenca achatada, tendencia a ocurrencia de avenidas.

$Ff < 1$ : Cuenca con menor tendencia a la ocurrencia de avenidas.

Por tanto, según descrito en el capítulo II; una cuenca con factor de forma bajo está menos sujeta a crecientes que otra del mismo tamaño, en este caso la cuenca de Jillusaya cuenta con tendencia a menor ocurrencia de avenidas.

#### 4.1.3.1 CALCULO DENSIDAD DE DRENAJE (Dd)

Según la fórmula 9 calculamos:

$$Dd = \frac{Lt}{A} = \left( \frac{Km}{Km^2} \right)$$

$$Dd = \frac{8,2}{11,28} = 0,72 \text{ km}$$

La clasificación de la red de drenaje de la sub cuenca según la tabla VIII es baja.

#### 4.1.3.2 DETERMINACION DE CAUDAL

Según Gumbel. ecuación 1.

$$Q = 0,278 * C * I * A$$

$$Q = 0,278 * 0,57 * 55.49 * 11,28$$

$$Q = 99.18 \frac{m^3}{s}$$

#### 4.1.3.3 CALCULO DE ALTURA DE AGUAS DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL

Observando la topografía en la zona del proyecto la cota terreno es de 3401,50 m.s.n.m. y la cota de la altura del cauce es de 3398.7 m.s.n.m.

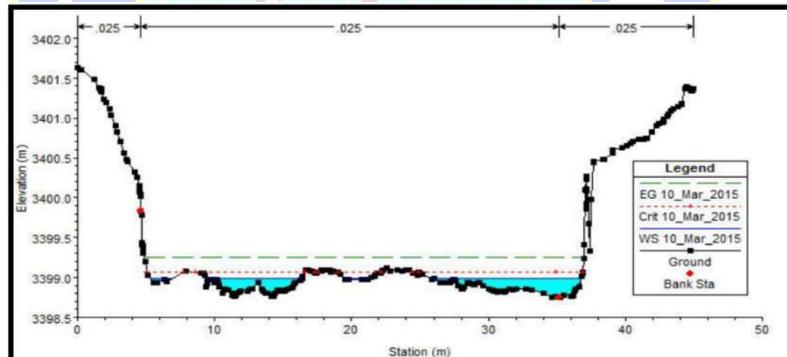


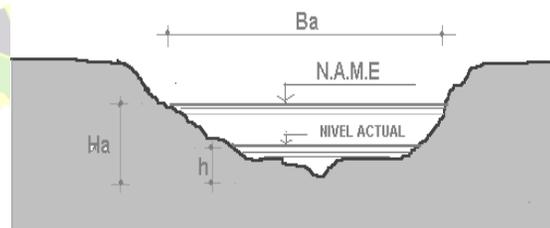
Figura 4.3. Corte transversal del río Jillusaya

Fuente: obtenido (ZUAZO MOLLEDA, 2015)

Adoptando una sección hidráulica trapezoidal (TABLA X).

<b>Cota de N.A.M.E dejada por las huellas (m.s.n.m.) (*1)</b>	3399.4
<b>Aa: Área de la sección del río en la avenida (m2)</b>	23.65
<b>P: perímetro mojado de la avenida (m)</b>	25.00
<b>S: pendiente de la superficie del fondo de cauce (m/m)</b>	0,0654
<b>Coefficiente de Maning.</b>	0,025

En base al método racional, las huellas observadas mediante datos registrados por (ZUAZO MOLLEDA, 2015) se hallará el nuevo nivel



máximo de aguas para el periodo de retorno definido.

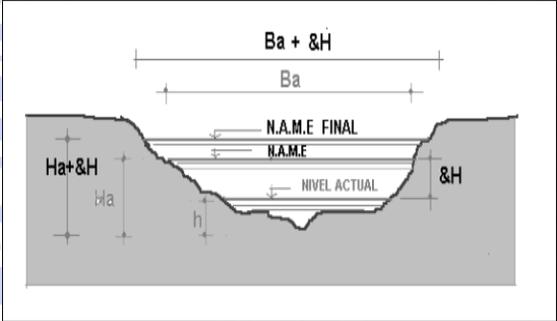
De la ecuación (15)

Donde:

$$Q = \frac{1}{n} * Aa * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$$

$$Q = \frac{1}{0,25} * 23,65 * 1.05^{\frac{2}{3}} * 0.654^{1/2}$$

Q= 79.03 m3/s



$$\&A = \left( \frac{Q * n * (1,1 * P)^{\frac{2}{3}}}{S^{\frac{1}{2}}} \right)^{\frac{3}{5}} - Aa$$

(Ba + &H) \* &H = &A = 0,108 m

N.A.M.E TOTAL &H = 4(m)

N.A.M.E. EN &H - Ha = 0.27(m)

**4.1.3.4 NIVEL DE AGUAS MÁXIMAS EXTRAORDINARIAS (N.A.M.E.)**

N.A.M.E.= 3399.4+ (0,27+0,10)      N.A.M.E.= 3399,77 (m.s.n.m.)

## CAPITULO V

### 5.1 CONCLUSIONES

En conclusión, los estudios iniciales hidrológicos de las sub cuencas (como ser el caso del presente trabajo de aplicación de la sub cuenca Jillusaya) son importantes para realizar una evaluación hidráulica de la cuenca La Paz, estos estudios hidrológicos se deben realizar con mayor frecuencia a efectos del cambio climático.

Los estudios y cálculos de la cuenca están basados a su morfología y la fisiografía los cuales nos muestran el comportamiento de las aguas que se conducen en el cauce; por tanto los resultados del presente proyecto son principales para la construcción de nuevas estructuras hidráulicas como ser puentes; como también así para poder actuar para mitigar los impactos de crecidas del caudal, a las estructuras hidráulicas ya existentes como canales, drenajes, muros de contención y entre otras obras que ese encuentra en la cuenca.

Análisis de resultados obtenidos del estudio hidrológico tradicional:

La Tabla muestra los resultados de la morfometría del río Jillusaya obtenida a partir Google Earth y cálculos realizados en el capítulo anterior.

#### **MEMORIA DE CALCULO DE LA CUENCA DEL RIO JILLUSAYA**

<b>PARÁMETROS DE LA CUENCA</b>	<b>VALOR</b>
Área	11.28 km <sup>2</sup>
Perímetro de la cuenca	0.72 km
Altura Máxima en la parte alta de la cuenca	4561 msnm
Altura Mínima a salida de la cuenca	3312 msnm
Longitud del cauce principal	8200 m

Pendiente	0.1390 m/m
Tiempo de Concentración (Tc)	103.33 min
Factor forma	Una cuenca con factor de forma bajo, está menos sujeta a crecientes avenidas que otra del mismo tamaño, en este caso la cuenca de Jillusaya, el factor es menor ( $0,16 < 1$ ) entonces cuenta con tendencia a menor ocurrencia de avenidas.
Índice de compacidad (Ic)	En el caso de la sub cuenca jillusaya el Ic es 4,7. Según la tabla VI la sub Cuenca que son mayores a 1,5 son de oval oblonga a rectangular oblonga.

Extracción de resultados para evaluación de la cuenca:

INDICADOR	RESULTADOS	INTERPRETACION
Densidad de drenaje	0.72	La densidad indica que las aguas se escurren es baja.
Intensidad	55,49(mm/h)	Las precipitaciones que se presentarían son muy fuertes.
N.A.M.E.	3399.67 m.s.n.m.	El resultado sobrepasa la altura del cauce (3399,4) por lo tanto el agua se desborda.

En el análisis de resultados obtenidos del estudio hidrológico inicial es para implementar y realizar el análisis hidráulico del río Jillusaya y posterior al río La Paz, como también el análisis hidráulico e implementación de obras o llegar a la

evaluación del caso de puentes , muros y otras estructuras hidráulicas que ya se encuentran en la cuenca.

## 5.2 BIBLIOGRAFIA

1. Delgadillo, A., & Páez, G. (2008). Aspectos hidrológicos, subcuencas susceptibles a crecidas, escenarios de riesgo. Mérida: Fundapris.
2. Administradora Boliviana de Carreteras. (s.f.). Manual de Hidrología y drenaje. ABC-Administradora Boliviana de Carreteras.
3. AEMET. (2018). Agencia estatal de meteorología . Obtenido de [https://meteoglosario.aemet.es/es/termino/990\\_ciclo-hidrologico](https://meteoglosario.aemet.es/es/termino/990_ciclo-hidrologico)
4. Aparicio Mijares, F. J. (1992). Fundamentos de Hidrología de Superficie. En Fundamentos de Hidrología de Superficie. (págs. 17-18). Mexico D.F.: Editorial Limusa, S.A.
5. Araque Arellano , M., Michelle , V., Mancheno, A., Álvarez, C., Prehn, C., Cevallos , C., & Ortiz, L. (2019). Cuencas Hidrograficas. Ecuador: Abya-Yala.
6. Breña Puyol, A. F., & Jacobo Villa , M. (2005). Principios y Fundamentos de la Hidrología superficial. Ciudad de México.
7. Campos Aranda, D. (1998). PROCESOS DE CICLO HIDROLOGICO. MEXICO.
8. Chow , V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1994). Hidrología Aplicada. New York:.
9. Dirección De Planificación y Control Gamlp. (2007). Plan De Desarrollo Municipal. La Paz.
10. ecologiaverde. (s.f.). Cuencas hidrológicas. Obtenido de ecologiaverde: <https://www.ecologiaverde.com/cuencas-hidrograficas-que-son-tipos-e-importancia-3334.html>
11. Fundación Aquae. (2013). Obtenido de <https://www.fundacionaquae.org/wiki/valor-agua-dia-mundial/>
12. Global Alliance for Buildings and construction; (UNEP). (2020). Informe de situación global 2020 para edificios y construcción. United Nations Environment Programme, 2020.
13. GOV.CO. (s.f.). Hidrografía. Obtenido de <https://www.ideca.gov.co/recursos/glosario/hidrografia>
14. Hidraulicca Blogspot. (2012). Variables y fenómenos hidráulicos. Obtenido de <http://hidraulicacentral.blogspot.com/2012/05/variables-y-fenomenos-hidraulicos.html>

15. IPCC. (2021). Comunicado del Informe de Grupo Intergubernamental de Expertos. Suiza: Prensa del IPCC. Obtenido de [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2021/08/IPCC\\_WGI-AR6-Press-Release-Final\\_es.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2021/08/IPCC_WGI-AR6-Press-Release-Final_es.pdf)
16. IUCN . (s.f.). Cuenca Hidrografica. Obtenido de IUCN: [https://www.iucn.org/sites/dev/files/content/documents/cuenca\\_hidrografica.pdf](https://www.iucn.org/sites/dev/files/content/documents/cuenca_hidrografica.pdf)
17. MEDINA, Q. P. (2018). EVALUACION HIDRAULICA DEL RIO LA PAZ; TRAMO PUENTE ENCUESTRO. La paz .
18. Murillo Illanes, M. (2010). Manual de metodos para su estimacion en conservacion de suelos. La paz, Bolivia: Unidad de informacion de Estudios y Politicas de Desarrollo Rural Sostenible. Obtenido de <https://fundacionvalles.org/wp-content/uploads/2019/09/Escurrimiento-Superficial.pdf>
19. OLLERO , O. A. (1996). El curso medio del Ebro: geomorfología fluvial, ecogeografía y riesgos. Obtenido de <https://ifc.dpz.es/recursos/publicaciones/22/86/10ollero.pdf>
20. Organización Meteorológica Mundial. (1983). Guía de instrumentos y métodos de observación meteorológicos. Ginebra: OMM-N' 8.
21. PNUMA-GEMS. (2008). Informe anual de PNUMA- 2007. Burlington Ontario: PUMA Sistema mundial de vigilancia del medio ambiente, programa del agua, Instituto nacional de investigacion sobre el agua.
22. Raig. (s.f.). Todo sobre pluviómetros. Obtenido de <https://www.raig.com/blog/todo-sobre-pluviometros-41/>
23. SDSU. (s.f.). CUENCA LA PAZ. Obtenido de [http://ponce.sdsu.edu/the\\_control\\_of\\_roll\\_waves\\_cuenca\\_lapaz.html](http://ponce.sdsu.edu/the_control_of_roll_waves_cuenca_lapaz.html)
24. Servicio nacional de meteorología e hidrología. (s.f.).
25. Vélez Upegui, J. J., & Botero Gutiérrez, A. (2013). Diseño hidrológico e hidráulico de obras de ingeniería para proyectos viales. Manizales: Universidad Nacional de Colombia.
26. Zuazo Molleda , F. (s.f.). MODELACIÓN DE LA SUB-CUENCA DEL RIO JILLUSAYA. Obtenido de [https://www.cazalac.org/mwar\\_lac/fileadmin/imagenes2/Training\\_Andean\\_Hydrology/AndeanHydrology\\_presentations/estudio\\_de\\_caso\\_Bolivia\\_FZuazo](https://www.cazalac.org/mwar_lac/fileadmin/imagenes2/Training_Andean_Hydrology/AndeanHydrology_presentations/estudio_de_caso_Bolivia_FZuazo)

## ANEXOS

### ANEXO I: CALCULO DE LA PENDIENTE MIINIMA DE LA CUENCA DE ESTUDIO

punto	coordenadas de la cuenca			distancias	altura	pedientes	pend media	area	
	x	y	elevacion						
I C	599707,42	8171443,28	3422						
A	599981,774	8172204,483	3530						
1	B	600231,985	8171449,942	3472	794,95	58	7,30	6,70840133	1012634,895
	C	600298,836	8171248,343	3485	212,39	13	6,12		
	D	601313,941	8171364,272	3574					
2	E	601178,163	8171773,727	3566	431,38	8	1,85	4,75192609	1218197,775
	F	600931,278	8172518,241	3626	784,38	60	7,65		
	G	601856,632	8172904,824	3752					
3	H	602054,858	8172307,049	3676	629,78	76	12,07	9,70566413	1181901,544
	I	602209,154	8171841,749	3640	490,22	36	7,34		
	J	602717,25	8173486,627	3875					
4	K	603103,953	8172308,276	3772	1240,18	103	8,31	6,29089186	1459232,142
	L	603155,966	8172153,077	3779	163,68	7	4,28		
	M	604319,124	8171833,082	4068					
5	N	604112,408	8172456,46	3911	656,76	157	23,91	16,1551037	2155384,964
	O	603599,362	8174003,614	4048	1630,00	137	8,40		
	P	604713,811	8173819,958	4302					
6	Q	605060,947	8172773,127	4063	1102,89	239	21,67	21,3325291	1710057,508
	R	605269,336	8172144,705	4202	662,07	139	20,99		
	S	606144,652	8172682,184	4348					
7	T	605978,606	8173182,916	4228	527,55	120	22,75	24,6205848	1176193,938
	U	605769,518	8173813,446	4404	664,29	176	26,49		
	V	606744,667	8174049,867	4541					
8	W	606923,102	8173505,224	4430	573,13	111	19,37	17,2436543	1137195,804
	X	607099,037	8172985,235	4513	548,95	83	15,12		
	Y	607428,213	8174195,594	4581					
9	Z	607451,401	8173801,97	4498	394,31	83	21,05	16,6869705	231075,4647
	Ñ	607670,877	8173358,336	4559	494,96	61	12,32		
	F C	607565,933	8174049,212	4573					11281874,03
			distancia de la cuenca	8279,32	1151	13,90			
			AREA TOTAL	11281874,03					

## ANEXO II: CALCULO DE COEFICIENTE ESCORRENTÍA PONDERADO

N°	COBERTURA	PENDIENTE	AREA m2	TIPO DE SIELO	C por tabas	C*A
1	zona urbana	6,708	1012634,895	pavimento	0,600	607580,937
2	zona urbana,pocas	4,752	1218197,775	pavimento.suelo arcilloso	0,600	730918,665
3	zona vegetal con contenido	9,706	1181901,544	suelo arcilloso, limoso,	0,300	354570,463
4	zona poca urbana zona de vegetales zona con poca ganadería	6,291	1459232,142	suelo arcilloso, poco limoso, arenoso, gravoso	0,360	525323,571
5	zona urbana cerros arcillosos	16,155	2155384,964	suelo arcilloso gravoso	0,750	1616538,723
6	zona urbana	21,333	1710057,508	pavimento,suelos arcillosos	0,750	1282543,131
7	zona de vegetales zona ganadera zona poco urbana	24,621	1176193,938	suelo arcilloso poca cantidad de grava	0,500	588096,969
8	zona poco urbana zona ganadera zona de vegetales	17,244	1137195,804	suelo arcilloso con poco contenido de grava	0,500	568597,902
9	zona urbana zona agricola zona ganadera zona vegetal	16,687	231075,465	suelos arcillosos poco gravoso	0,500	115537,732
					suma de C*A	6389708,094
					C ponderado	0,570

### ANEXO III. COBERTURAS PRESENTES EN LA CUENCA DEL RIO JILLUSAYA



**Figura 1. Áreas urbanas**  
Fuente: obtenido: sitio web ([htt3](#))



**Figura 3. Material de arrastre**  
Fuente: fotografía tomada



**Figura 4. Material de arrastre**  
**Fuente: fotografía tomada**



**Figura 5, Cobertura vegetal predominante en algunas zonas de cultivo**  
**Fuente: fotografía tomada**

## ANEXO IV: REGISTRO PLUVIOMETRICO - ESTACION DE ACHUMANI

DATOS DE PRESEPTACION MEDIA ESTACION ACHUMANI													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DEC	ANUAL
1991	20,00	10,00	11,00	5,80	12,00	11,70	0,00	6,90	6,20	2,50	17,60	13,00	20,00
1992	11,50	11,70	4,50	10,00	0,00	9,20	****	****	****	11,50	12,70	7,60	****
1993	39,70	3,10	11,00	14,50	3,40	****	1,20	18,30	12,00	11,60	9,90	16,60	****
1994	15,60	9,70	9,70	32,90	4,90	14,40	1,30	2,30	10,90	8,20	13,50	14,00	32,90
1995	13,30	19,10	42,90	9,20	2,50	0,00	5,20	15,60	0,80	9,00	12,60	30,20	42,90
1996	23,20	4,60	8,10	****	0,00	0,00	0,00	****	****	****	****	****	****
1997	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****
1998	21,10	11,20	29,50	13,70	0,00	7,40	0,00	5,50	0,00	13,30	****	7,40	****
1999	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****
2000	****	****	****	****	****	****	****	11,60	0,50	18,70	4,00	16,50	****
2001	18,50	12,50	15,50	9,50	7,20	3,90	6,40	10,80	4,00	18,60	7,40	19,40	19,40
2002	18,20	13,60	19,80	8,60	7,20	8,50	12,70	3,70	10,30	19,10	12,40	14,20	19,80
2003	19,80	28,30	24,30	10,50	2,10	0,60	1,40	5,30	18,20	10,90	10,50	41,30	41,30
2004	62,40	12,60	12,40	6,60	5,60	5,30	3,80	4,60	7,10	11,30	44,50	28,00	62,40
2005	30,50	10,20	10,80	8,30	0,00	0,00	0,50	0,00	17,80	20,00	17,50	15,00	30,50
2006	21,50	17,50	23,00	11,00	2,00	0,00	0,00	13,50	7,50	10,50	28,50	19,70	28,50
2007	18,50	26,50	22,60	21,40	4,00	0,00	14,20	0,10	9,70	12,20	8,70	45,80	45,80
2008	35,90	16,70	7,80	3,40	5,80	9,80	5,70	4,50	3,80	11,50	5,40	15,40	35,90
2009	15,60	32,50	6,30	4,80	2,30	0,00	5,70	3,60	5,80	7,60	15,80	15,20	32,50
2010	20,70	37,20	17,80	6,80	15,60	0,00	19,60	3,70	4,70	8,90	3,20	12,80	37,20
2011	12,70	22,30	10,90	0,30	5,70	0,00	7,30	0,00	4,80	7,30	4,30	14,80	22,30
2012	15,80	12,80	17,90	7,90	1,00	16,70	3,80	1,20	0,70	6,90	17,80	15,40	17,90
2013	12,90	15,90	8,90	4,70	13,90	16,70	9,60	4,80	0,80	11,90	****	****	****
2014	****	****	12,00	3,00	15,70	0,00	1,20	2,80	6,20	10,30	4,50	12,30	****
2015	27,30	13,70	24,30	7,20	3,80	0,00	10,20	6,40	7,30	20,30	12,60	14,90	27,30
2016	17,20	21,30	2,30	7,50	0,00	4,30	1,40	10,50	5,70	20,50	3,20	18,30	21,30
2017	19,60	17,20	31,50	13,80	12,40	0,50	0,80	0,00	****	****	****	****	****
PRES MED MAX ESTACION	62,4	37,2	42,9	32,9	15,7	16,7	19,6	18,3	18,2	20,5	44,5	45,8	62,4

62,4

## ANEXO V: REGISTRO PLUVIOMETRICO – ALTO OBRAJES

DATOS DE PRESEPTACION MEDIA ESTACION ALTO OBRAJES													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DEC	ANUAL
2001	25,6	12,7	9,6	13	7	3,8	7,4	8,7	3,1	14,7	2,4	19,8	25,6
2002	12,1	18,1	17,8	8,4	6,5	7,5	7,5	4,5	9,7	14,5	13,7	22,8	22,8
2003	20	20,5	20,3	3,5	1,8	0,2	0,7	5	****	16,3	4,2	20,8	****
2004	29,6	8,3	11,8	6,8	****	****	****	****	****	3,1	9,2	15	****
2005	19,6	18,6	6,8	8,7	0	0	2,9	0	8,8	16,7	20,8	30,7	30,7
2006	18	20	13,3	1,3	3,2	0	0	10,3	6,5	11,7	28,5	****	****
2007	17,1	14,8	10,9	14,6	0	0	12,6	0	7	22,1	20,3	26,5	26,5
2008	24,5	24,6	13,9	2,8	5,3	6,4	2,1	3,3	6,2	10,4	8,5	23	24,6
2009	15,7	27,2	8,5	14,3	1,5	0	12,8	1	9,1	7,3	30,4	16,7	30,4
2010	26,7	31,2	7,6	7,2	12,2	0	3,6	8,2	8,5	20,7	34,5	20,5	34,5
2011	28,5	56	12,9	0,7	7,1	0	6,2	1	5,6	8,9	14,8	30,3	56
2012	32,5	30,6	22,8	12,4	1,4	10,4	1,6	0,4	1,7	20,4	16,8	22,5	32,5
2013	14,6	49,4	11,6	6,4	5,4	7,8	8,9	13,4	0,7	10,1	14,8	26,7	49,4
2014	27,4	17,7	13,6	3,9	16,9	0,9	1,7	8,9	7,6	15,7	5,4	13,9	27,4
2015	24,2	18	23,5	14,5	5,9	0	2,1	7,1	6,4	23,4	12,9	23,1	24,2
2016	21,9	22,4	1,3	9,1	0	4,8	1,5	10,5	5,1	7	8,1	31,2	31,2
2017	25,4	18,5	33,7	24,9	14,2	0,8	2,3	****	****	****	****	****	****
PRES MED MAX ESTACION	32,5	56	33,7	24,9	16,9	10,4	12,8	13,4	9,7	23,4	34,5	31,2	56

56

## ANEXO VI: REGISTRO PLUVIOMETRICO – MALLASA

DATOS DE PRECIPITACION MEDIA ESTACION MALLASA													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1980	****	****	****	5	0	3,5	4	24,5	13	9,5	19,5	7	****
1981	28	20	20	15,7	2	0	0	8,1	23	8,5	5,5	12	28
1982	19	10,8	19,3	16	0	5,5	0	3,2	11	5,2	21,5	13	21,5
1983	12,5	38,5	8	12,5	8,4	2,5	6,5	3	10,5	7,5	4,5	12,3	38,5
1984	20	24,5	23,4	4,5	0	5,8	0	6,5	6,5	13	22,5	19,5	24,5
1985	10,5	20	20	11,5	0	5,3	0	0	13,3	17	13	15	20
1986	20	19	9,5	9,5	10,5	0	1,8	16,8	11,8	8,5	17	23,5	23,5
1987	14,5	8,2	12,5	4,2	3,2	0	4	3,5	6,5	13,7	6,5	8,5	14,5
1988	10,5	8,5	20,5	12,5	6,5	0	0	0	6,5	3	11	6,3	20,5
1989	8,5	20,5	6,5	15	4	3	5	2,5	3	0	10	9	20,5
1990	20	10,5	6,5	6,5	13,5	28	0	0	10,8	7,5	18,5	10	28
1991	22	14	12	13	9,5	2,6	0	0	4,5	0,8	20	12	22
1992	14	13	20	13,2	0	7,5	7,5	17,5	0	12	16	14,5	20
1993	40	7	9,4	6,5	****	****	****	****	****	****	****	****	****
PRES MED MAX	40	38,5	23,4	16	13,5	28	7,5	24,5	23	17	22,5	23,5	38,5
PRES MED MAX ESTACION	40												

## ANEXO VII: REGISTRO PLUVIOMETRICO – OVEJUYO

DATOS DE PRECIPITACION MEDIA ESTACION OVEJUYO													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1978	28,4	13,9	12,3	20	4,1	0	2	2,5	14,1	13,4	26,2	16,6	28,4
1979	27,3	18,6	20	7,8	11,5	0	8,4	2,8	4,6	16,7	15,4	21,6	27,3
1980	10,6	17,4	21	6,4	2,3	2,3	8,6	18,8	13,8	21,4	4,1	16,8	21,4
1981	25,6	24,2	21,6	21,7	1,6	0	0	14,9	25,3	9,5	7,2	14,5	25,6
1982	20	13,8	16,4	16,4	0	7,2	0	3,1	11,2	8	19,8	21	21
1983	16,4	17,6	7,8	13,6	8,9	1,8	4,1	3,3	16,4	6,9	6,2	16,3	17,6
1984	27	26,7	19	7,6	1,6	6,2	0	3,7	1,6	5	16	20,6	27
1985	27,9	16,8	21,4	22,3	1,4	4,4	0	1	26,2	18,3	12,3	18,7	27,9
1986	31	16,2	37,1	11,9	14,2	0	2,9	3,6	20,1	12	12	24,4	37,1
1987	21,9	6,7	22,6	5,1	6,5	0,4	4,6	5,5	9,5	32,2	10,8	15,3	32,2
1988	26,2	14,5	16,1	18,5	15,3	0	0,7	0	14,6	6,7	10,2	19,5	26,2
1989	23,6	13,8	12,1	10,7	20,8	5	2,9	2	5,2	4,5	16,1	13,5	23,6
1990	30,6	20,1	8,7	7	17	22,5	0,2	2,4	15,5	10	15,5	19,5	30,6
1991	51	21	16,9	20	9,6	20	0	3,2	6,8	5,3	22	17,7	51
1992	32,5	18,7	18,3	8,7	0	9	5,6	20	3,5	11,2	20	20	32,5
1993	29	4,9	18,5	16,7	2,5	2,1	1,5	20	14,3	11,5	13,5	18,9	29
1994	14,5	13,1	22	28	2	13	1,2	2,8	11,8	6,8	17,8	13	28
1995	18,2	20,7	29	11,4	4,5	0	9,3	10	10,7	12,4	17,9	31,2	31,2
1996	21	5,6	13,6	6	1,1	0,1	2,3	1,1	8,3	6,5	20	11,9	21
1997	29	22,6	25,1	9,2	8,6	0	****	5,4	25	9,5	8,3	8,5	****
1998	20,5	17	18,5	34,9	0	9,4	0	5	4,4	12,1	21	8,2	34,9
1999	12,2	15,6	17,3	5,3	1,3	0,3	4,5	2,3	20	20	18,8	28,5	28,5
2000	19,3	11,2	20	15,4	6,5	8,3	0	12	1	23	3,7	30,2	30,2
2001	25	9,5	30,5	8,2	6,7	5,3	6,9	10,5	5,2	19,8	17,5	14,9	30,5
2002	19,9	22,7	36,5	9,5	3,4	9,6	9,3	4,5	11,2	20,2	12,6	18,2	36,5
2003	26,2	17,8	48,5	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****
PRES MED MAX	51	26,7	48,5	34,9	20,8	22,5	9,3	20	26,2	32,2	26,2	31,2	51
PRES MED MAX ESTACION	51												

## ANEXO VIII. CALCULO DE LA ECUACION DE LA INTENSIDAD (GUMBEL)

Precipitación máxima 24 hr en la estación ACHUMANI

<b>Año</b>	<b>EN</b>	<b>FEB</b>	<b>MR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAY</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SEP</b>	<b>OCT</b>	<b>NOV</b>	<b>DIC</b>	<b>P.anual</b>
<b>1991</b>	20,00	10,00	11,00	5,80	12,00	11,70	0,00	6,90	6,20	2,50	17,60	13,00	<b>116,70</b>
<b>1992</b>	11,50	11,70	4,50	10,00	0,00	9,20	<b>3,48</b>	<b>6,29</b>	<b>6,24</b>	11,50	12,70	7,60	<b>94,70</b>
<b>1993</b>	39,70	3,10	11,00	14,50	3,40	<b>2,87</b>	1,20	18,30	12,00	11,00	9,90	16,60	<b>143,57</b>
<b>1994</b>	15,60	9,70	9,70	32,90	4,90	14,40	1,30	2,30	10,90	8,20	13,50	14,00	<b>137,40</b>
<b>1995</b>	13,30	19,10	42,90	9,20	2,50	0,00	0,00	0,00	<b>14,71</b>	<b>17,05</b>	<b>24,61</b>	<b>42,90</b>	<b>186,28</b>
<b>1996</b>	23,20	4,60	8,10	<b>6,63</b>	<b>1,22</b>	<b>0,11</b>	<b>2,54</b>	<b>1,22</b>	<b>9,17</b>	<b>7,18</b>	<b>22,10</b>	<b>13,15</b>	<b>99,20</b>
<b>1998</b>	21,10	11,20	29,50	3,70	0,00	7,40	0,00	5,50	0,00	13,30	<b>17,75</b>	7,40	<b>116,85</b>
<b>2001</b>	18,50	12,50	15,50	9,50	7,20	3,90	6,40	10,80	4,00	18,60	7,40	19,40	<b>133,70</b>
<b>2002</b>	18,20	13,60	19,80	8,60	7,20	8,50	12,70	3,70	10,30	19,10	12,40	14,20	<b>148,30</b>
<b>2003</b>	19,80	28,30	24,30	10,50	2,10	0,60	1,40	5,30	18,20	10,90	10,50	41,30	<b>173,20</b>
<b>2004</b>	62,40	12,60	12,40	6,60	5,60	5,30	3,80	4,60	7,10	11,30	44,50	28,00	<b>204,20</b>
<b>2005</b>	30,50	10,20	10,80	8,30	0,00	0,00	0,50	0,00	17,80	20,00	17,50	15,00	<b>130,60</b>
<b>2006</b>	21,50	17,50	23,00	11,00	2,00	0,00	0,00	13,50	7,50	10,50	28,50	19,70	<b>154,70</b>
<b>2007</b>	18,50	26,50	22,60	21,40	4,00	0,00	14,20	0,10	9,70	12,20	8,70	45,80	<b>183,70</b>
<b>2008</b>	35,90	16,70	7,80	3,40	5,80	9,80	5,70	4,50	3,80	11,50	5,40	15,40	<b>125,70</b>
<b>2009</b>	15,60	32,50	6,30	4,80	2,30	0,00	5,70	3,60	5,80	7,60	15,80	15,20	<b>115,20</b>
<b>2010</b>	20,70	37,20	17,80	6,80	15,60	0,00	19,60	3,70	4,70	8,90	3,20	12,80	<b>151,00</b>
<b>2011</b>	12,70	22,30	10,90	0,30	5,70	0,00	7,30	0,00	4,80	7,30	4,30	14,80	<b>90,40</b>
<b>2012</b>	15,80	12,80	17,90	7,90	1,00	16,70	3,80	1,20	0,70	6,90	17,80	15,40	<b>117,90</b>
<b>2013</b>	12,90	15,90	8,90	4,70	13,90	16,70	9,60	4,80	0,80	11,90	<b>5,00</b>	<b>9,03</b>	<b>114,13</b>
<b>2014</b>	<b>15,70</b>	<b>10,14</b>	12,00	3,00	15,70	0,00	1,20	2,80	6,20	10,30	4,50	12,30	<b>93,84</b>
<b>2015</b>	27,30	13,70	24,30	7,20	3,80	0,00	10,20	6,40	7,30	20,30	12,60	14,90	<b>148,00</b>
<b>2016</b>	17,20	21,30	2,30	7,50	0,00	4,30	1,40	10,50	5,70	20,50	3,20	18,30	<b>112,20</b>
<b>2017</b>	19,60	17,20	31,50	13,80	12,40	0,50	0,80	0,00	<b>9,07</b>	<b>21,87</b>	<b>32,25</b>	<b>29,16</b>	<b>188,15</b>

Distribución de probabilidades pluviométricas mediante Gumbel

Cálculos variables probabilísticas

Nº	Año	Mes	Precipitación (mm)	
			Max. Precip.	$x_i$ $(x_i - \bar{x})$
1	1991	ENERO	20,00	89,9713
2	1992	NOVIEMBRE	12,70	281,74
3	1993	ENERO	39,70	104,339
4	1994	ABRIL	32,90	11,6600
5	1995	MARZO	42,90	179,953
6	1996	ENERO	23,20	39,5052
7	1998	MARZO	29,50	0,00021
8	2001	DICIEMBRE	19,40	101,713
9	2002	MARZO	19,80	93,8054
10	2003	DICIEMBRE	41,30	139,586
11	2004	ENERO	62,40	1083,37
12	2005	ENERO	30,50	1,02956
13	2006	NOVIEMBRE	28,50	0,97086
14	2007	DICIEMBRE	45,80	266,168
15	2008	ENERO	35,90	41,1480
16	2009	FEBRERO	32,50	9,08827
17	2010	FEBRERO	37,20	59,5162
18	2011	FEBRERO	22,30	51,6288
19	2012	NOVIEMBRE	17,90	134,219
20	2013	JUNIO	16,70	163,464
21	2014	ENERO	15,70	190,035
22	2015	ENERO	27,30	4,77564
23	2016	FEBRERO	21,30	66,9995
24	2017	NOVIEMBRE	32,25	7,63113
24		<b>Suma</b>	<b>707,6</b>	<b>3122,</b>

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = 29,49 \text{ mm}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 11,65 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} * s = 9,08 \text{ mm}$$

$$u = \bar{x} - 0.5772 * \alpha = 24,24 \text{ mm}$$

Fuente: Elaboración propia

Cálculo de las Precipitaciones Diarias Máximas Probables para distintas frecuencias

Periodo	Variable	Precip.	Prob. de	Corrección
Retorno	Reducida	(mm)	ocurrencia	intervalo fijo
Años	YT	XT'(mm)	F(xT)	XT (mm)
2	0,3665	27,5713	0,5000	31,1556
5	1,4999	37,8680	0,8000	42,7908
10	2,2504	44,6852	0,9000	50,4943
25	3,1985	53,2989	0,9600	60,2277
50	3,9019	59,6890	0,9800	67,4485
100	4,6001	66,0319	0,9900	74,6160
500	6,2136	80,6893	0,9980	91,1789

Fuente: Elaboración propia

Mediante (CAMPOS , 1987) el Coeficientes para las relaciones a la lluvia de duración 24 horas:

Duraciones, en horas									
1	2	3	4	5	6	8	12	18	24
0,30	0,39	0,46	0,52	0,57	0,61	0,68	0,80	0,91	1,00

Precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración de lluvias

Tiempo de Duración	Cociente	Precipitación máxima Pd (mm) por tiempos de duración						
		2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años	500 años
24 hr	X24	31,1556	42,7908	50,4943	60,2277	67,4485	74,6160	91,1789
18 hr	X18 = 91%	28,3516	38,9396	45,9498	48,1822	61,3781	67,9006	82,9728
12 hr	X12 = 80%	24,9245	34,2326	40,3954	48,1822	53,9588	59,6928	72,9432
8 hr	X8 = 68%	21,1858	29,0977	34,3361	40,9548	45,8650	50,7389	62,0017
6 hr	X6 = 61%	19,0049	26,1024	30,8015	36,7389	41,1436	45,5158	55,6192
5 hr	X5 = 57%	17,7587	24,3908	28,7818	34,3298	38,4457	42,5311	51,9720
4 hr	X4 = 52%	16,2009	22,2512	26,2570	31,3184	35,0732	38,8003	47,4131
3 hr	X3 = 46%	14,3316	19,6838	23,2274	27,7048	31,0263	34,3234	41,9423
2 hr	X2 = 39%	12,1507	16,6884	19,6928	23,4888	26,3049	29,1002	35,5598
1 hr	X1 = 30%	9,3467	12,8372	15,1483	18,0683	20,2346	22,3848	27,3537

Intensidades de lluvia a partir de Pd, según Duración de precipitación y

$$I = \frac{P [mm]}{t_{duración} [hr]}$$

Frecuencia de la misma

Tiempo de duración		Intensidad de la lluvia (mm /hr) según el Periodo de Retorno						
Hr	min	2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años	500 años
24 hr	1440	1,2982	1,7830	2,1039	2,5095	2,8104	3,1090	3,7991
18 hr	1080	1,5751	2,1633	2,5528	2,6768	3,4099	3,7723	4,6096
12 hr	720	2,0770	2,8527	3,3663	4,0152	4,4966	4,9744	6,0786
8 hr	480	2,6482	3,6372	4,2920	5,1194	5,7331	6,3424	7,7502
6 hr	360	3,1675	4,3504	5,1336	6,1232	6,8573	7,5860	9,2699
5 hr	300	3,5517	4,8782	5,7564	6,8660	7,6891	8,5062	10,3944
4 hr	240	4,0502	5,5628	6,5643	7,8296	8,7683	9,7001	11,8533
3 hr	180	4,7772	6,5613	7,7425	9,2349	10,3421	11,4411	13,9808
2 hr	120	6,0753	8,3442	9,8464	11,7444	13,1525	14,5501	17,7799
1 hr	60	9,3467	12,8372	15,1483	18,0683	20,2346	22,3848	27,3537

Representación matemática de las curvas Intensidad - Duración - Período de retorno:

$$I = \frac{K \cdot T^m}{t^n}$$

$$I = \frac{d}{t^n} \Rightarrow I = d \cdot t^{-n}$$

Realizando un cambio de variable:

Con lo que de la anterior expresión se obtiene:

$$d = K \cdot T^m$$

Donde

- I = Intensidad (mm/hr)
- t = Duración de la lluvia (min)
- T = Período de retorno (años)

K, m=

Parámetros de ajuste

<b>Aplicación de regresión potencial</b>		
Periodo de Retorno (años)	Término ctte. de regresión (d)	Coef. de regresión [n]
2	117,78456276613	-0,61638608809
5	161,77170555066	-0,61638608809
10	190,89502152161	-0,61638608809
25	248,48092341493	-0,63362500463
50	254,99081216118	-0,61638608809
100	282,08764873916	-0,61638608809
500	344,70430152774	-0,61638608809
<b>Promedio =</b>	228,67356795449	-0,61884879045

En función del cambio de variable realizado, se realiza otra regresión de potencia entre las columnas del periodo de retorno (T) y el término constante de regresión (d), para obtener valores de la ecuación:

$$d = K \cdot T^m$$

<b>Regresión potencial</b>						
Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	2	117,7846	0,6931	4,7689	3,3055	0,4805
2	5	161,7717	1,6094	5,0862	8,1859	2,5903
3	10	190,8950	2,3026	5,2517	12,0925	5,3019
4	25	248,4809	3,2189	5,5154	17,7533	10,3612
5	50	254,9908	3,9120	5,5412	21,6774	15,3039
6	100	282,0876	4,6052	5,6422	25,9834	21,2076
7	500	344,7043	6,2146	5,8427	36,3100	38,6214
7	692	1600,7150	22,5558	37,6483	125,3080	93,8667
<b>Ln (K) =</b>	<b>4,7706</b>	<b>K =</b>	<b>117,9951</b>	<b>m =</b>	<b>0,1886</b>	

<b>Termino constante de regresión (K) =</b>	<b>117,9951</b>
<b>Coef. de regresión (m) =</b>	<b>0,188588</b>

La ecuación de intensidad válida para la cuenca resulta:

		0,188588
<b>I =</b>	$\frac{117,9951 \cdot T}{0,61885}$	
	t	

Donde:

I = intensidad de precipitación (mm/hr)

T = Periodo de Retorno (años)

t = Tiempo de duración de precipitación (min)

Tabla de intensidades - Tiempo de duración												
Frecuencia años	Duración en minutos											
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
2	49,67	32,34	25,17	21,06	18,35	16,39	14,90	13,72	12,75	11,95	11,26	10,67
5	59,04	38,44	29,91	25,03	21,81	19,48	17,71	16,30	15,16	14,20	13,39	12,68
10	67,28	43,81	34,09	28,53	24,85	22,20	20,18	18,58	17,27	16,18	15,26	14,46
25	79,97	52,08	40,52	33,91	29,54	26,39	23,99	22,08	20,53	19,24	18,13	17,18
50	91,14	59,35	46,18	38,65	33,66	30,07	27,34	25,17	23,40	21,92	20,67	19,58
100	103,87	67,64	52,63	44,05	38,36	34,27	31,15	28,68	26,67	24,98	23,55	22,32
500	140,70	91,62	71,29	59,66	51,97	46,42	42,20	38,85	36,12	33,84	31,90	30,23

Fuente: Elaboración propia

### Curvas IDF de la cuenca

