

**UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA**



**FACULTAD CIENCIAS DE LA VIDA  
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Proyecto de Investigación y desarrollo en opción al  
TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL**

**TEMA:**

“CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA DE LOS TRIBUTARIOS  
YUTZUNYACU Y BRAVO DE LA SUBCUENCA PINDO GRANDE”.

**AUTORES:**

Carolina Yasmin Villarroel Gancino  
Edgar Leroy Caicedo Páez

**DIRECTOR DE PROYECTO**

PhD. Ricardo Vinicio Abril Saltos

Puyo – Pastaza – Ecuador

2018



Puyo, 31 de Enero del 2018

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS**

Por medio de la presente nosotros Villarroel Gancino Carolina Yasmín con CI. 1600687923 y Caicedo Páez Edgar Leroy con CI.1600602781, declaramos ser autores del trabajo titulado: “CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA DE LOS TRIBUTARIOS YUTZUNYACU Y BRAVO DE LA SUBCUENCA DEL RÍO PINDO GRANDE”, a la vez cedemos los derechos de autor a la Universidad Estatal Amazónica, para que pueda realizar publicaciones sobre la misma, así como su almacenamiento tanto en medios físicos como electrónicos

---

Edgar Leroy Caicedo Páez

CI. 1600602781

**Autor**

---

Carolina Yasmin Villarroel Gancino

CI. 1600687923

**Autora**

## **AGRADECIMIENTO**

Doy gracias a Dios por la vida y por permitirme estudiar y superarme cada vez más, por todos los momentos fáciles y difíciles que me ha puesto; ya que eso me ha ayudado a ser fuerte y luchadora.

A mis padres les doy las gracias por jamás haberme dejado sola, siempre me están educando e inculcando las mejores enseñanzas, a mi madre Hilda Margoth Gancino Santiana como puedo agradecerte por ser tan indispensable para mí, porque siempre me apoyas que siga adelante y cumpla mis objetivos. A mi padre Edgar Edison Villarroel Llerena porque a pesar de que antes trabajaba lejos siempre está pendiente de mí, por los valores que me ha enseñado y el apoyo constante. Gracias a los dos por ser mis padres.

Agradezco a mis hermanos Edison Gabriel Villarroel Gancino, Hilda Mardela Flores Gancino y Favio Smith Flores Gancino porque a pesar de cualquier enojo siempre están ahí apoyándome, aconsejándome, y dándome la fuerza para lograr lo que quiero. Gracias a toda mi familia por el apoyo.

Agradezco a mi novio, amigo, compañero y confidente Edgar Leroy Caicedo Páez por el apoyo incondicional, enseñarme a ser una mejor persona y a nunca dejarme vencer, por la confianza, el amor y el respeto que cada día crece entre nosotros. Y juntos logramos ser ingenieros; y seguiremos con nuestros objetivos.

A mis amigas Mayra Gabriela Vargas Franco y Mariela Lourdes Valle Ramírez por ser las mejores y siempre darnos la mano cuando lo necesitamos, por su confianza y sus locuras que nunca faltan. Juntas desde el primer día de universidad, lo logramos amigas y a ti Tatiana Villacis porque a pesar de conocerte un tiempo después, te uniste a nosotras, eres única.

Y Finalmente pero no menos importante agradezco a la Universidad Estatal Amazónica por darme la apertura para haber podido estudiar y culminar mi carrera, a los docentes que de una u otra manera logran transmitir sus conocimientos en especial al tutor del proyecto el PhD. Ricardo Vinicio Abril Saltos, porque desde el inicio de nuestra carrera universitaria supo ayudarnos.

**Carolina Yasmin Villarroel Gancino**

Agradezco a la vida por haberme dado la oportunidad de superar cada reto, unos fueron fáciles otros no tanto pero cada uno dejó una enseñanza que forjó el camino de bien por el cual seguiré e inculcaré.

Como hijo no se sabe cómo expresar el agradecimiento a los padres que con tanto esfuerzo dan su vida por nosotros. Quiero agradecer a mi madre Zuska Talia Cristina Páez Dávila por afrontar la vida de una madre soltera con tres retoños que supo criar y educar de la mejor manera, nunca podré pagarte ni terminar de agradecerte; estas palabras son poco para todo lo que tengo que decirte.

Agradezco a mi padre Edgar Vicente Caicedo Miranda por inculcarme el estudio y a pesar de la tristeza que causó el no crecer junto a él; de no tenerlo en los momentos difíciles, no tener una figura paterna que te diga que todo va a estar bien, le doy las gracias porque, aunque él no lo sepa me enseñó que nunca dejaré de luchar por ser feliz, también tengo que agradecer a un segundo padre Byron Olmedo Caicedo que creyó en mí siempre, me apoyó y aconsejó.

También agradezco a mis hermanos Kelly Sheyla Caicedo Páez y Mateo Sebastian Solórzano Páez por darme momentos inolvidables, aunque no lo demuestre cada vez que los veo y estoy junto a ustedes soy el hombre más feliz del mundo.

Como olvidar a mi compañera de universidad, proyecto, amiga y novia Carolina Yasmin Villarroel Gancino por empujarme a ser mejor estudiante, hombre y amigo; ella que estuvo en las buenas y en las malas para aconsejarme y apoyarme hasta el final.

También agradezco a la Universidad Estatal Amazónica por su servicio a todos los jóvenes que buscan superarse para obtener una mejor calidad de vida, a los profesores que día a día se esfuerzan por transmitir todo el conocimiento y experiencia adquirida durante toda su vida, especialmente al PhD. Ricardo Vinicio Abril Saltos que con mucha paciencia nos acogió bajo su tutela desde el inicio de nuestra etapa universitaria hasta el final.

Por último, pero no menos importante agradezco a toda mi familia y amigos/as por sus palabras de aliento y cariño que nunca faltan ni están de más.

**Edgar Leroy Caicedo Páez**

## **DEDICATORIA**

Este trabajo se lo dedico a Dios por permitirme llegar a este momento tan especial en mi vida.

A mis padres porque cada día con su esfuerzo y trabajo me educaron y apoyaron en mi etapa académica. A mi madre que ha sido mi compañera indispensable en mi trayectoria estudiantil y de vida. A mi padre que con sus palabras de aliento ha sabido guiarme para culminar mi carrera profesional.

A mis hermanos, cuñado/as, sobrinos/as y a mi tía Rosa Gancino que siempre han estado junto a mí, brindándome su apoyo y compañía.

Al hombre de mi vida, mi novio Edgar Leroy Caicedo Páez porque ha sido mi pilar y complemento para lograr mis objetivos. Porque te amo infinitamente.

A mis mejores amigas Mayra Gabriela Vargas Franco y Mariela Lourdes Valle Ramírez, que gracias al equipo que formamos llegamos al final de la carrera juntas.

**Carolina Yasmin Villarroel Gancino**

Dedico todo este trabajo a mi madre Zuska, padre Edgar, hermanos Kelly y Mateo, a mi novia Carolina y a todos mis tíos/as, sin olvidar a los buenos amigos que siempre estuvieron presentes y a todas las personas que de una u otra manera me alentaron a la superación personal y profesional.

**Edgar Leroy Caicedo Páez**

## **RESUMEN EJECUTIVO**

El área de estudio se encuentra en la provincia de Pastaza, cantón Mera, parroquia Shell, abarca las microcuencas de los ríos Yutzunyacu con un área de 4,77 km<sup>2</sup> y Bravo con 6 km<sup>2</sup>. Para obtener la caracterización geomorfológica de estos ríos fue necesario la estimación de caudales, cálculos de parámetros relativos al relieve, drenaje, forma de la cuenca y simulación del comportamiento del caudal en presencia de precipitación. Los meses analizados fueron agosto, septiembre, octubre, noviembre, diciembre y enero; en los cuales se estimó que los meses con mayor gasto base son enero con 1,9 m<sup>3</sup>/s para el río Bravo y 0,58 m<sup>3</sup>/s en el mes de noviembre mientras que los más bajos fueron 0,13 m<sup>3</sup>/s y 0,48 m<sup>3</sup>/s en el mes de septiembre respectivamente. Las intensidades de lluvia mientras más tiempo menor precipitación, lo cual en las curvas IDF se muestra que la intensidad máxima a una hora para dos años son 60,46 mm y cinco años son 91,77 mm, y para dos años en 24 horas será de 6,70 mm y cinco años de 11,20 mm. El modelamiento con el software HEC - HMS se obtuvo con todos los datos recopilados en campo y calculados en gabinete, presentado hietogramas de precipitación y caudales de todos los meses de estudio. El caudal máximo que registró el río Bravo fue de 46,8 m<sup>3</sup>/s y con un volumen de precipitación de 3283,92 mm; y del río Yutzunyacu el caudal máximo fue de 42,6 m<sup>3</sup>/s y el volumen de precipitación de 1889,46 mm.

**PALABRAS CLAVES:** Simulación, HEC-HMS, Gasto Base, Caudal, IDF, Hietogramas

## **ABSTRACT**

The study area is located in the province of Pastaza, cantón Mera, Shell parish that includes the micro-basins of the rivers Yutzunyacu with an area of 4.77 km<sup>2</sup> and Bravo with 6 km<sup>2</sup> of area. To obtain the geomorphological characterization of these rivers it is requires calculations of flow estimation, calculations of parameters related to relief, drainage, to the shape of the basin and the simulation of flow behavior in the presence of precipitation. The analyzed months are August, September, October, November, December and January in which it was estimated that the months with the highest base expense are January with 1.9 m<sup>3</sup>/s for the Rio Bravo and 0.58 m<sup>3</sup>/s for the month November, while the lowest were 0.13 m<sup>3</sup>/s and 0.48 m<sup>3</sup>/s in the month of September, respectively. The rainfall intensities the longer time the less rainfall, which in the IDF curves shows that the maximum intensity at 1 hour for 2 years is 60.46 mm and 5 years is 91.77 mm, and for 2 years in 24 hours it will be 6.70 mm and for 5 years of 11.20 mm. The modeling with the HEC - HMS software was obtained with all the collected data in the field and calculated in the cabinet, presented precipitation hietograms and flows of all the months of study. The maximum flow registered by the Rio Grande was 46.8 m<sup>3</sup>/s and with a volume of precipitation of 3283.92 mm; and of the Yutzunyacu River, the maximum flow was 42.6 m<sup>3</sup>/s and the volume of precipitation was 1889.46 mm.

**KEYWORDS:** Simulation, HEC-HMS, Base Flow, Flow, IDF, Hietograms



# TABLA DE CONTENIDOS

<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>2</b>
<b>1.1.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....</b>	<b>2</b>
<b>1.2. HIPÓTESIS .....</b>	<b>2</b>
<b>1.3. OBJETIVOS .....</b>	<b>2</b>
<b>1.3.1. GENERAL .....</b>	<b>2</b>
<b>1.3.2. ESPECÍFICOS .....</b>	<b>2</b>
<b>CAPÍTULO II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>3</b>
<b>2.1. CUENCA HIDROGRÁFICA .....</b>	<b>3</b>
<b>2.2. PARÁMETROS PARA LA ESTIMACIÓN DE CAUDALES .....</b>	<b>3</b>
<b>2.2.1. ÁREA CUENCA.....</b>	<b>3</b>
<b>2.2.2. PERÍMETRO CUENCA.....</b>	<b>4</b>
<b>2.2.3. LONGITUD DEL CAUCE .....</b>	<b>4</b>
<b>2.2.4. CLASIFICACIÓN DE CUENCAS .....</b>	<b>4</b>
<b>2.2.5. TIPOS DE CORRIENTES .....</b>	<b>5</b>
<b>2.3. PARÁMETROS RELATIVOS AL RELIEVE .....</b>	<b>5</b>
<b>2.3.1. TIEMPO DE CONCENTRACIÓN.....</b>	<b>5</b>
<b>2.3.2. PENDIENTE.....</b>	<b>5</b>
<b>2.4. INFILTRACIÓN .....</b>	<b>6</b>
<b>2.5. PARÁMETROS RELATIVOS AL DRENAJE.....</b>	<b>6</b>
<b>2.5.1. ORDEN DE CORRIENTES .....</b>	<b>6</b>
<b>2.5.2. DENSIDADES .....</b>	<b>6</b>
<b>2.6. PARÁMETROS ASOCIADOS A LA FORMA DE LA CUENCA.....</b>	<b>7</b>
<b>2.6.1. COEFICIENTE DE COMPACIDAD O ÍNDICE DE GRAVELIUS (Kc).7</b>	<b>7</b>
<b>2.7. PLUVIOMETRÍA .....</b>	<b>7</b>
<b>2.7.1. MEDICIÓN DE PLUVIOMETRÍA .....</b>	<b>7</b>
<b>2.7.2. FORMAS DE MEDICIÓN .....</b>	<b>7</b>
<b>2.7.3. ANÁLISIS DE PLUVIOMETRÍA .....</b>	<b>8</b>
<b>2.7.4. ESTABLECIMIENTO DE CURVAS IDF .....</b>	<b>8</b>
<b>2.8. ESCORRENTÍA.....</b>	<b>9</b>
<b>2.9. CAUDALES DE AVENIDA .....</b>	<b>9</b>
<b>2.9.1. MÉTODO RACIONAL .....</b>	<b>9</b>
<b>2.9.2. MÉTODO HIDROGRAMAS UNITARIOS (HU) .....</b>	<b>10</b>

2.9.3.	<b>MÉTODO HIDROGRAMA UNITARIO SOIL CONSERVATION SERVICE (SCS)</b>	10
2.10.	<b>MODELAMIENTO</b>	10
2.11.	<b>RIESGOS E INUNDACIONES</b>	13
<b>CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS</b>		<b>14</b>
3.1.	<b>LOCALIZACIÓN</b>	14
3.2.	<b>TIPO DE INVESTIGACIÓN</b>	14
3.3.	<b>MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN</b>	14
3.4.	<b>DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN</b>	15
3.4.1.	<b>RECURSOS HUMANOS Y MATERIALES</b>	15
3.4.2.	<b>DESCRIPCIÓN DEL LUGAR</b>	15
3.4.3.	<b>DELIMITACIÓN DE CUENCAS</b>	16
3.4.4.	<b>PARÁMETROS ASOCIADOS A LA FORMA DE LA CUENCA</b>	16
3.4.4.1.	<b>Coeficiente de compacidad (kc)</b>	16
3.4.5.	<b>PARÁMETROS RELATIVOS AL RELIEVE Y DRENAJE</b>	16
3.4.5.1.	<b>Pendiente</b>	16
3.4.6.	<b>Densidad de Drenaje (<math>D_D</math>)</b>	17
3.4.7.	<b>Densidad de Corrientes</b>	17
3.4.8.	<b>TIEMPO DE CONCENTRACIÓN</b>	17
3.4.9.	<b>HIETOGRAMA DE DISEÑO</b>	18
3.4.10.	<b>VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN (MÉTODO INFILTRÓMETRO CILINDRO SIMPLE)</b>	18
3.4.11.	<b>ESTIMACIÓN DE CAUDALES – ECUACIÓN DE MANNING EN CANALES DE SECCIÓN IRREGULAR</b>	19
3.4.12.	<b>ESTIMACIÓN DE MODELOS EMPÍRICOS DE LA RELACIÓN LLUVIA - ESCURRIMIENTO</b>	19
3.4.12.1.	<b>Fórmula Racional</b>	19
3.4.12.2.	<b>CURVAS IDF</b>	20
3.4.12.3.	<b>Hidrograma Unitario Soil Conservation Service (SCS)</b>	20
3.4.13.	<b>METODOLOGÍA PARA EL MODELAMIENTO</b>	21
<b>CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>		<b>26</b>
4.1.	<b>DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS ASOCIADOS A LA FORMA DE LA CUENCA</b>	26
4.1.1.	<b>Coeficiente de compacidad (kc)</b>	26
4.2.	<b>DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS RELATIVOS AL RELIEVE Y DRENAJE</b>	26
4.3.	<b>DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE CONCENTRACIÓN</b>	26

<b>4.4.1. MEDICIÓN DE LA VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN (MÉTODO INFILTRÓMETRO CILINDRO SIMPLE)</b> .....	29
<b>4.4.2. ESTIMACIÓN DE CAUDALES – MANNING</b> .....	35
<b>4.4.3. ESTIMACIÓN DE MODELOS EMPÍRICOS DE LA RELACIÓN LLUVIA - ESCURRIMIENTO</b> .....	38
<b>4.4.3.1. Fórmula Racional</b> .....	38
<b>4.4.3.2. Hidrograma Unitario Soil Conservation Service (SCS)</b> .....	38
<b>4.4.4. MODELAMIENTO HEC – HMS</b> .....	52

53

<b>CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	55
<b>CAPÍTULO VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	57
<b>CAPÍTULO VII. ANEXOS</b> .....	61
<b>7.1. ANEXO TABLAS</b> .....	61
<b>7.2. ANEXO FOTOGRÁFICO</b> .....	77

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Tamaño de la cuenca .....	4
<b>Tabla 2.</b> Clases de valores de compacidad.....	16
<b>Tabla 3.</b> Grupos Hidrológicos de suelos .....	22
<b>Tabla 4.</b> Determinación del número de curva en condición II de humedad y $P0 = 0,2$ . S.....	24
<b>Tabla 5.</b> Condiciones de humedad del suelo en atención a las precipitaciones previas.....	25
<b>Tabla 6.</b> Precipitación máxima de los años 2014, 2015, 2016 y 2017 a 1, 2, 4, 6, 8, 12 y 24 horas	27
<b>Tabla 7.</b> Media y Desviación Estándar de las intensidades de precipitación del año 2014, 2015, 2016 y 2017.....	27
<b>Tabla 8.</b> Períodos de retorno con la ecuación de Gumbel.....	27
<b>Tabla 9.</b> Variables Constantes de Gumbel para 2 y 5 años de período de retorno .....	27
<b>Tabla 10.</b> Velocidad Constante de Infiltración Promedio .....	30
<b>Tabla 11.</b> Velocidades de infiltración a 1 hora y 2 horas de cada punto donde se realizaron las pruebas de infiltración a ambos lados del río .....	31
<b>Tabla 12.</b> Velocidad Constante de Infiltración Promedio .....	33
<b>Tabla 13.</b> Velocidades de infiltración a 1 hora y 2 horas de cada punto donde se realizaron las pruebas de infiltración a ambos lados del río .....	33
<b>Tabla 14.</b> Estimación de Caudales del Río Bravo.....	35
<b>Tabla 15.</b> Estimación de Caudales del Río Yutzunyacu .....	36
<b>Tabla 16.</b> Parámetros para el modelamiento del Hidrograma SCS del Río Bravo y Yutzunyacu ...	38
<b>Tabla 17.</b> Proyección del Caudal Total en base a la cantidad de mm de precipitación registradas .	39
<b>Tabla 18.</b> Proyección del Caudal Total en base a la cantidad de mm de precipitación registradas .	40
<b>Tabla 19.</b> Proyección del Caudal Total en base a la cantidad de mm de precipitación registradas .	41
<b>Tabla 20.</b> Proyección del Caudal Total en base a la cantidad de mm de precipitación registradas .	42
<b>Tabla 21.</b> Proyección del Caudal Total en base a la cantidad de mm de precipitación registradas .	43
<b>Tabla 22.</b> Proyección del Caudal Total en base a la cantidad de mm de precipitación registradas .	44
<b>Tabla 23.</b> Proyección del Caudal Total en base a la cantidad de mm de precipitación registradas .	45

<b>Tabla 24.</b> Proyección del Caudal Total en base a la cantidad de mm de precipitación registradas .46	46
<b>Tabla 25.</b> Proyección del Caudal Total en base a la cantidad de mm de precipitación registradas .47	47
<b>Tabla 26.</b> Proyección del Caudal Total en base a la cantidad de mm de precipitación registradas .48	48
<b>Tabla 27.</b> Proyección del Caudal Total en base a la cantidad de mm de precipitación registradas .49	49
<b>Tabla 28.</b> Proyección del Caudal Total en base a la cantidad de mm de precipitación registradas .50	50
<b>Tabla 29.</b> Condiciones para la determinación del número de curva del río Bravo .....	52
<b>Tabla 30.</b> Condiciones para la determinación del número de curva del río Yutzunyacu.....	52
<b>Tabla 31.</b> Cronograma de Actividades .....	61
<b>Tabla 32.</b> Presupuesto .....	61
<b>Tabla 33.</b> Valores del coeficiente n de rugosidad de Manning .....	62
<b>Tabla 34.</b> Valores de "yT " para distintos períodos de retorno T .....	63
<b>Tabla 35.</b> Valores de "yn" y "Sn" según número de observaciones de retorno T.....	63
<b>Tabla 36.</b> Prueba de infiltración Río Yutzunyacu Punto 1 .....	64
<b>Tabla 37.</b> Prueba de infiltración Río Yutzunyacu Punto 1 .....	65
<b>Tabla 38.</b> Prueba de infiltración Río Yutzunyacu Punto 2.....	66
<b>Tabla 39.</b> Prueba de infiltración Río Yutzunyacu Punto 2.....	67
<b>Tabla 40.</b> Prueba de infiltración Río Yutzunyacu Punto 3.....	68
<b>Tabla 41.</b> Prueba de infiltración Río Yutzunyacu Punto 3.....	69
<b>Tabla 42.</b> Prueba de infiltración Río Bravo Punto 1 .....	70
<b>Tabla 43.</b> Prueba de infiltración Río Bravo Punto 1 .....	71
<b>Tabla 44.</b> Prueba de infiltración Río Bravo Punto 2 .....	72
<b>Tabla 45.</b> Prueba de infiltración Río Bravo Punto 2 .....	73
<b>Tabla 46.</b> Prueba de infiltración Río Bravo Punto 3 .....	75
<b>Tabla 47.</b> Prueba de infiltración Río Bravo Punto 3 .....	76

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1.</b> Curvas IDF (Intensidad, Duración y Frecuencia) .....	28
<b>Gráfico 2A.</b> Prueba de infiltración realizada en el punto alto 1 lado derecho a 4m del lecho. ....	29
<b>Gráfico 2B.</b> Prueba de infiltración realizada en el punto alto 1 lado izquierdo a 4m del lecho. ....	29
<b>Gráfico 2D.</b> Prueba de infiltración realizada en el punto medio 2 lado izquierdo a 4m del lecho...29	29
<b>Gráfico 2C.</b> Prueba de infiltración realizada en el punto medio 2 lado derecho a 4m del lecho. ....	29
<b>Gráfico 2E.</b> Prueba de infiltración realizada en el punto bajo 3 lado derecho a 4m del lecho. ....	30
<b>Gráfico 2F.</b> Prueba de infiltración realizada en el punto bajo 3 lado izquierdo a 4m del lecho. ....	30
<b>Gráfico 3B.</b> Prueba de infiltración realizada en el punto alto 1 lado izquierdo a 4m del lecho.....	31
<b>Gráfico 3A.</b> Prueba de infiltración realizada en el punto alto 1 lado derecho a 4m del lecho. ....	31
<b>Gráfico 3D.</b> Prueba de infiltración realizada en el punto medio 2 lado izquierdo a 4m del lecho...32	32
<b>Gráfico 3C.</b> Prueba de infiltración realizada en el punto medio 2 lado derecho a 4m del lecho. ....	32
<b>Gráfico 3F.</b> Prueba de infiltración realizada en el punto bajo 3 lado izquierdo a 4m del lecho. ....	32
<b>Gráfico 3E.</b> Prueba de infiltración realizada en el punto bajo 3 lado derecho a 4m del lecho. ....	32
<b>Gráfico 4.</b> Comportamiento del Río Bravo y Yutzunyacu en los meses de agosto, septiembre, octubre, noviembre, diciembre del año 2017 y enero del año 2018.....	37
<b>Gráfico 5.</b> Proyección Caudal Total en el mes de Agosto .....	39
<b>Gráfico 6.</b> Proyección Caudal Total en el mes de Septiembre .....	40
<b>Gráfico 7.</b> Proyección Caudal Total en el mes de Octubre .....	41
<b>Gráfico 8.</b> Proyección Caudal Total en el mes de Noviembre .....	42
<b>Gráfico 9.</b> Proyección Caudal Total en el mes de Diciembre .....	43

<b>Gráfico 10.</b> Proyección Caudal Total en el mes de Enero .....	44
<b>Gráfico 11.</b> Proyección Caudal Total en el mes de Agosto.....	45
<b>Gráfico 12.</b> Proyección Caudal Total en el mes de Septiembre .....	46
<b>Gráfico 13.</b> Proyección Caudal Total en el mes de Octubre .....	47
<b>Gráfico 14.</b> Proyección Caudal Total en el mes de Noviembre .....	48
<b>Gráfico 15.</b> Proyección Caudal Total en el mes de Diciembre .....	49
<b>Gráfico 16.</b> Proyección Caudal Total en el mes de Enero .....	50
<b>Gráfico 17.</b> Proyección de Caudales en función de las lluvias presentadas de 2 y 5 años - Río Yutzunyacu .....	51
<b>Gráfico 18.</b> Proyección de Caudales en función de las lluvias presentadas de 2 y 5 años - Río Bravo.....	51
<b>Gráfico 19.</b> Caudal y volumen de precipitación máxima de la cuenca del río Bravo .....	53
<b>Gráfico 20.</b> Comportamiento del caudal en base a la lluvia registrada en los meses de agosto, septiembre, octubre, noviembre, diciembre del año 2017 y enero del año 2018.....	53
<b>Gráfico 22.</b> Comportamiento del caudal en base a la lluvia registrada en los meses de agosto, septiembre, octubre, noviembre, diciembre del año 2017 y enero del año 2018.....	54
<b>Gráfico 21.</b> Caudal y volumen de precipitación máxima de la cuenca del río Yutzunyacu .....	54

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Fig. 1.</b> Ejemplo de curvas IDF .....	9
<b>Fig. 2.</b> Procedimientos HEC - RAS.....	12
<b>Fig. 3.</b> Funcionamiento del HEC - HMS para la elaboración del modelamiento .....	22
<b>Fig. 4.</b> Nomograma para la determinación de la condición hidrológica del suelo <b>Fuente:</b> (Martínez de Azagra, Mongil, & Del Río, 2003) .....	23
<b>Fig. 5.</b> Correspondencia del valor de N para las diferentes condiciones de humedad del suelo. <b>Fuente:</b> (Ibáñez, Moreno, & Gisbert, 2003) .....	25

## ÍNDICE DE ANEXOS FOTOGRÁFICOS

<b>Anexo Fotográfico 1.</b> Elaboración del Track en los ríos Yutzunyacu y Bravo.....	77
<b>Anexo Fotográfico 2.</b> Pruebas de infiltración en campo de los ríos Yutzunyacu y Bravo .....	77
<b>Anexo Fotográfico 3.</b> Medición mensual para la estimación de caudales en los ríos Yutzunyacu y Bravo.....	78

## ÍNDICE DE MAPAS

<b>Mapa 1.</b> Tributarios del Río Pindo Grande .....	14
---	----

**UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA**  
**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**REQUISITO PREVIO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO  
AMBIENTAL**

**PROYECTO FINAL**

**TÍTULO: CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA DE LOS TRIBUTARIOS  
YUTZUNYACU Y BRAVO DE LA SUBCUENCA PINDO GRANDE**

**NOMBRES:**

- ❖ Carolina Yasmin Villarroel Gancino
- ❖ Edgar Leroy Caicedo Páez

**TUTOR:** PhD. Ricardo Vinicio Abril Saltos

**PUYO – PASTAZA – ECUADOR**

**2018**

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial la hidrología es la ciencia natural que estudia el agua, su ocurrencia, circulación y distribución en la superficie terrestre y en el subsuelo; sus propiedades químicas y físicas, su relación con el medio ambiente y los seres vivos. Así, el concepto de cuenca hidrológica se ha constituido en los últimos años como una función importante en la planificación para el aprovechamiento, protección, rehabilitación y conservación de los recursos naturales en la tierra (Viramontes *et al.* , 2002).

Según Viramontes *et al.* (2002), los fenómenos hidrológicos que ocurren sobre un determinado espacio geográfico, suelen tener como referencia a la unidad fisiográfica conocida como cuenca, cuyos aportes hídricos naturales son sustentados exclusivamente por la precipitación y donde los excedentes de agua convergen en un punto espacial único llamado cauce principal.

La provincia de Pastaza cuenta con diversas fuentes hídricas, el río Pastaza es la principal cuenca hídrica ya que posee una gran biodiversidad y así también enfrenta una serie de problemas como la pesca, la contaminación, la minería, etc., (Lema & Plaza, 2009).

Según Lema & Plaza (2009), dentro de la provincia de Pastaza se encuentran los principales asentamientos que son Mera, Shell y Puyo; a lo largo de éstas se encuentra el río Pindo Grande, el cual ha sufrido varios daños debido al acelerado crecimiento poblacional, inadecuado ordenamiento territorial, contaminación que genera pérdida de biodiversidad, inundaciones, entre otros.

El desordenado crecimiento poblacional conlleva a la investigación de las características geomorfológicas de los tributarios Yutzunyacu y Bravo del río Pindo Grande para la estimación de hidrogramas sintéticos con la ayuda de un nuevo software (HEC – HMS Y HEC – RAS) que permita determinar las condiciones geomorfológicas, inquirir aspectos pluviométricos, determinar el gasto base y elaborar los hidrogramas sintéticos de los tributarios antes mencionados; esto ayuda a la prevención de futuros daños en la población.

## **1.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

A continuación, se detalla el problema:

### **1.1.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

El desconocimiento del comportamiento del cauce, pone en riesgo a la población asentada en sus riveras y alrededores. Se necesita un estudio que permita mitigar o prevenir los daños ante futuros fenómenos naturales.

## **1.2. HIPÓTESIS**

La hipótesis es obtener la modelación del comportamiento de los tributarios Yutzunyacu y Bravo mediante datos hidrológicos con ayuda del software HEC-HMS y HEC-RAS; mediante esto prevenir daños y pérdidas en la población.

## **1.3.OBJETIVOS**

Los objetivos son:

### **1.3.1. GENERAL**

- ✓ Determinar las características geomorfológicas de los tributarios Yutzunyacu y Bravo del río Pindo Grande para la estimación de hidrogramas sintéticos.

### **1.3.2. ESPECÍFICOS**

- Determinar las características geomorfológicas de los tributarios Yutzunyacu y Bravo del río Pindo Grande en la parroquia Shell, provincia de Pastaza.
- Inquirir aspectos pluviométricos de la zona de los tributarios Yutzunyacu y Bravo del río Pindo Grande en la parroquia Shell, provincia de Pastaza.
- Determinar el gasto base de los tributarios Yutzunyacu y Bravo del río Pindo Grande en la parroquia Shell, provincia de Pastaza.
- Modelar hidrogramas sintéticos con el método SCS, proyección de caudales mediante el software HEC-HMS y la simulación dinámica con el programa HEC-RAS de los tributarios Yutzunyacu y Bravo del río Pindo Grande en la parroquia Shell, provincia de Pastaza.



## **CAPÍTULO II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN**

Marco teórico aplicable al estudio de cuencas hídricas.

### **2.1. CUENCA HIDROGRÁFICA**

Las cuencas hidrográficas se definen como el área que contribuye al escurrimiento directo y que proporciona parte o todo el flujo de la corriente principal y sus tributarios. Cada curso de agua tiene una cuenca bien definida, para cada punto de su recorrido (Pérez & Rodríguez, 2009).

La precipitación es un parámetro muy importante de cuencas hidrográficas ya que se incluye todo tipo de agua que cae o se deposita sobre la superficie terrestre, ya sea de forma líquida o sólida, la precipitación se condensa dentro de la atmósfera por el enfriamiento de la misma; se facilita por la presencia de partículas en la atmósfera que se denominan núcleos de condensación, por ejemplo, el polvo, las moléculas de cloro sódico, así como productos de la combustión del azufre y compuestos nitrosos. La formación de lluvia también tiene otros procesos como coalescencia y cristales de hielo (Martínez, 2005).

El proceso de la coalescencia se denomina a la formación de microgotas que puede producir un proceso de caída de estas partículas por ir atrapando otras, es decir si una microgota se junta con otra su volumen y velocidad de caída aumenta; mientras que el proceso de cristales de hielo se basa en la existencia de los mismos en las denominadas nubes frías, estos cristales de forma arborescente tienen una gran capacidad de absorción del vapor de agua y de microgotas, por este motivo aumentan de tamaño e inician la precipitación que puede ser en forma de lluvia si se derriten en su caída o en forma de nieve si no se produce esta fusión (Martínez, 2005).

### **2.2. PARÁMETROS PARA LA ESTIMACIÓN DE CAUDALES**

Adelante se detalla cada parámetro para la estimación de caudales,

#### **2.2.1. ÁREA CUENCA**

El área drenada de una cuenca es la superficie en proyección horizontal encerrada por el parteaguas, definido éste como la línea imaginaria formada por los puntos de nivel topográfico más alto, que separa una determinada área de una superficie más extensa. Técnicamente, las cuencas hidrológicas son divididas en pequeñas y grandes, pero generalmente es difícil distinguir la frontera entre ambos conceptos (Campos Aranda, 2010).

Campos (2010) presenta una clasificación que se apega con más acierto a las condiciones particulares del territorio mexicano (**Ver Tabla 1**).

**Tabla 1.** Tamaño de la cuenca

<b>TAMAÑO DE CUENCA</b>	
<b>TAMAÑO DE LA CUENCA EN Km<sup>2</sup></b>	<b>CLASIFICACIÓN</b>
< 25	MUY PEQUEÑA
25 a 250	PEQUEÑA
250 a 500	INTERMEDIA – PEQUEÑA
500 a 2500	INTERMEDIA – GRANDE
2500 a 5000	GRANDE
> 5000	MUY GRANDE

**Fuente.** Campos (2010) pp. 105

### **2.2.2. PERÍMETRO CUENCA**

Villón (2002) se refiere al borde de la forma de la cuenca proyectada en un plano horizontal, es de forma muy irregular y se obtiene después de delimitar la cuenca.

### **2.2.3. LONGITUD DEL CAUCE**

Se define como la distancia media que el agua debería escurrir sobre la cuenca para llegar a un cauce y se estima por la relación que existe entre el área y cuatro veces la longitud de todos los cauces de la cuenca, o bien, la inversa de cuatro veces la densidad de drenaje (EGRH, 2004)

### **2.2.4. CLASIFICACIÓN DE CUENCAS**

Guerra (2009) existen tres tipos de cuencas:

**Exorreicas:** drenan sus aguas al mar o al océano. Un ejemplo es la cuenca del Plata, en Sudamérica.

**Endorreicas:** desembocan en lagos, lagunas o salares que no tienen salida fluvial al mar. Por ejemplo, la cuenca del río Desaguadero, en Bolivia.

**Arreicas:** las aguas se evaporan o se filtran en el terreno antes de encauzarse en una red de drenaje. Los arroyos, aguadas y cañadones de la meseta central patagónica pertenecen a este tipo, ya que no desaguan en ningún río u otro cuerpo hidrográfico de importancia.

### **2.2.5. TIPOS DE CORRIENTES**

Los tipos de corrientes se clasifican en: perennes, intermitentes y efímeras, en base a la constancia de su escurrimiento o flujo, el cual está relacionado con las características físicas y climáticas de la cuenca (Becerra, 2007).

Becerra (2007) explica cada una:

**Perennes:** Corrientes con agua todo el tiempo donde el nivel de agua mantiene una alimentación continua y nunca desciende por debajo del lecho del río.

**Intermitentes:** Corrientes que escurren en estaciones de lluvia y se secan durante el verano, además que el nivel subterráneo se conserva por encima del nivel del lecho del río sólo en la estación lluviosa.

**Efímeras:** Existen apenas durante o inmediatamente después de los períodos de precipitación, y sólo transportan escurrimiento superficial.

### **2.3. PARÁMETROS RELATIVOS AL RELIEVE**

Los parámetros relativos al relieve son los siguientes:

#### **2.3.1. TIEMPO DE CONCENTRACIÓN**

Se define como el tiempo mínimo necesario para que todos los puntos de una cuenca estén aportando agua de escorrentía de forma simultánea al punto de salida, punto de desagüe o punto de cierre. Está determinado por el tiempo que tarda en llegar a la salida de la cuenca el agua que procede del punto hidrológicamente más alejado, y representa el momento a partir del cual el caudal de escorrentía es constante, al tiempo máximo; el punto hidrológicamente más alejado es aquél desde el que el agua de escorrentía emplea más tiempo en llegar a la salida (Ibáñez, Moreno, & Gisbert, 2003).

#### **2.3.2. PENDIENTE**

La pendiente es el ángulo diedro (ángulo comprendido entre dos planos) formado entre un plano oblicuo y uno horizontal. En otras palabras, se puede expresar que, pendiente es la relación que existe entre la altura ascendida y la distancia recorrida para ascenderla (Gutiérrez, 2007).

Gutiérrez (2007) se puede medir en ángulos, o sea, en grados o en porcentajes. Se puede calcular en unidades reales (m), o en unidades de carta (cm). Si se desea expresar la pendiente de un camino en cierto recorrido, se habla de una pendiente media.

## **2.4. INFILTRACIÓN**

CIMMYT (2013) es el proceso por el cual el agua es absorbida por el suelo hasta llegar a la saturación del mismo.

### **2.4.1. CAPACIDAD DE INFILTRACIÓN**

Se denomina capacidad de infiltración a la cantidad máxima de agua que puede absorber un suelo en determinadas condiciones, valor que es variable en el tiempo en función de la humedad del suelo, el material que conforma al suelo, y la mayor o menor compactación que tiene el mismo (CIMMYT, 2013).

## **2.5. PARÁMETROS RELATIVOS AL DRENAJE**

A continuación, se describen los parámetros relativos al drenaje.

### **2.5.1. ORDEN DE CORRIENTES**

EGRH (2004) es un número que refleja el grado de ramificación de la red de drenaje. La clasificación de los cauces de una cuenca se realiza a través de las siguientes premisas:

- Los cauces de primer orden son los que no tienen tributarios.
- Los cauces de segundo orden se forman en la unión de dos cauces de primer orden y, en general, los cauces de orden  $n$  se forman cuando dos cauces de orden  $n-1$  se unen.
- Cuando un cauce se une con un cauce de orden mayor, el caudal restante hacia aguas abajo retiene el mayor de los órdenes.
- El orden de la cuenca es el mismo de su cauce principal a la salida.

### **2.5.2. DENSIDADES**

**DRENAJE:** Breña y Jacobo (2006) la densidad de drenaje se define como la longitud total de los cauces dentro de la cuenca, dividida entre el área total de drenaje.

**CORRIENTES:** Bateman (2007) es la relación entre el número de corrientes y el área drenada, aquí se considera solamente las corrientes perennes e intermitentes. El cauce

principal cuenta como una corriente y luego los tributarios a este cauce desde su nacimiento hasta su unión con el cauce principal.

## **2.6. PARÁMETROS ASOCIADOS A LA FORMA DE LA CUENCA**

Descripción de los parámetros relativos al relieve.

### **2.6.1. COEFICIENTE DE COMPACIDAD O ÍNDICE DE GRAVELIUS ( $K_c$ )**

Designado por  $K_c$  e igualmente propuesto por Gravelius, compara la forma de la cuenca con la de una circunferencia, cuyo círculo inscrito tiene la misma área de la cuenca en estudio.  $K_c$  se define como la razón entre el perímetro de la cuenca que es la misma longitud del parteaguas que la encierra y el perímetro de la circunferencia (Fuentes, 2004).

## **2.7. PLUVIOMETRÍA**

### **2.7.1. MEDICIÓN DE PLUVIOMETRÍA**

La medida de la precipitación sobre una cuenca se realiza por medio de los pluviómetros. Se basa en la recogida de la precipitación en un elemento denominado colector. La precipitación se mide por volumen o pesada y su registro se realiza por lectura directa o por registro gráfico o electrónico (Martínez, 2005).

Martínez (2005) la recogida de la precipitación es la operación con mayor riesgo de error debido a diferentes factores:

- ✓ La precipitación no siempre es normal a la superficie del colector del pluviómetro.
- ✓ El pluviómetro crea una singularidad en la distribución de la precipitación.
- ✓ Los elementos cercanos al pluviómetro son siempre inferiores a las reales debido a la evaporación.
- ✓ La distribución de la lluvia es muy irregular sobre todo durante las precipitaciones tipo tormenta.

### **2.7.2. FORMAS DE MEDICIÓN**

Martínez (2005) para realizar la medición se utiliza los pluviómetros los cuales deben cumplir con las siguientes normas:

- a) La boca del colector debe estar completamente horizontal.

- b) El pluviómetro debe ser instalado por encima de la superficie del terreno, en una zona despejada pero abrigada de los vientos y lejos de elementos que puedan hacer de pantalla frente a la lluvia tales como árboles, edificios, etc.
- c) En zonas cálidas la evaporación puede distorsionar las medidas por lo que es necesario evitarla en la medida de lo posible.

### **2.7.3. ANÁLISIS DE PLUVIOMETRÍA**

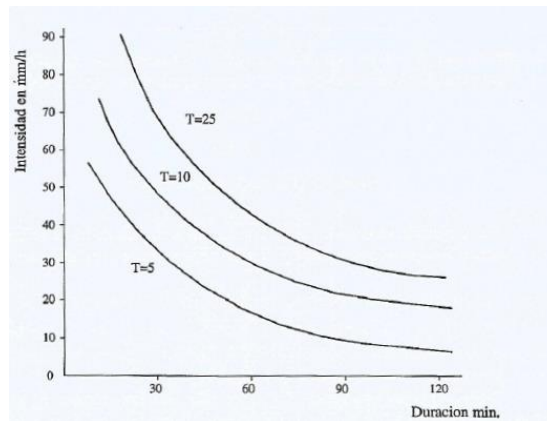
Martínez (2005) la precipitación en un punto es un proceso estocástico con periodicidad e intensidad muy variables dependiendo de las estaciones. Los parámetros básicos a considerar en un proceso de lluvia en un punto son:

- Duración
- Intensidad
- Volumen total de precipitación
- Tiempo entre precipitaciones sucesivas

### **2.7.4. ESTABLECIMIENTO DE CURVAS IDF**

Pizarro *et al.* (2013) las curvas IDF son la representación gráfica de la relación entre la intensidad y la duración de un evento máximo de lluvia, asociado a la frecuencia o período de retorno donde para cada período de retorno se obtiene una curva distinta.

La distribución Gumbel se ha utilizado con buenos resultados para el cálculo de valores extremos de variables meteorológicas, entre ellas precipitaciones y caudales máximos ya que esta función de distribución se utiliza para determinar la probabilidad de que se presenten grandes avenidas; para evaluar la exactitud de los valores extremos calculados para distintos períodos de retorno se consideran los límites dentro de los cuales se espera que se encuentre el valor máximo “x” para diferentes niveles de confianza y así poder determinar períodos de retorno a 2, 5, , 10, 15, 20, 25,30, 50, etc. años (Campos, 2014).



**Fig. 1.** Ejemplo de curvas IDF

## 2.8. ESCORRENTÍA

La escorrentía es la parte de la precipitación que llega a alimentar a las corrientes superficiales, continuas o intermitentes, de una cuenca. Existen distintos tipos de escorrentías dependiendo de su procedencia: a) Escorrentía superficial o directa, b) Escorrentía hipodérmica o subsuperficial y c) Escorrentía subterránea (Fattorelli & Fernández, 2011).

## 2.9. CAUDALES DE AVENIDA

Se denomina caudales de avenida cuando se da un evento de crecida, en sí, a un caudal excesivamente alto de un río. Las crecidas se dan por la combinación de factores como lluvia, deshielo, así como también situación de la cuenca y otras debida a la propia actividad humana (Martínez, 2005).

### 2.9.1. MÉTODO RACIONAL

Este método es utilizado para determinar caudales de avenida en cuencas pequeñas. Sánchez (2016) la hipótesis básica consiste en considerar una duración de precipitación lo suficientemente larga para que, en la sección de salida de la cuenca en estudio, se llegue a un caudal de salida constante. Esta precipitación cae con una intensidad constante a lo largo del tiempo de lluvia; Martínez (2005) existen restricciones para la aplicación del método racional que no aplican para áreas inferiores de tres kilómetros cuadrados y tiempos de concentración inferiores a una hora.

### **2.9.2. MÉTODO HIDROGRAMAS UNITARIOS (HU)**

Campos (2010) este método se define como la respuesta de una cuenca en escurrimiento directo que proviene de una tormenta uniforme en intensidad y distribución espacial, que generó una lámina de un centímetro y que tiene una duración unitaria, esta duración unitaria caracteriza al HU y debe ser una fracción del tiempo de concentración de la cuenca.

### **2.9.3. MÉTODO HIDROGRAMA UNITARIO SOIL CONSERVATION SERVICE (SCS)**

Rojo (2010) el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (SCS) desarrolló un hidrograma unitario adimensional a partir de una serie de hidrógrafas observadas en cuencas de muy diversos tamaños ubicadas en diferentes geografías de los Estados Unidos. También llamado hidrograma triangular, define primero el volumen de esorrentía a través del Número de Curva (CN), y luego el hidrograma unitario HU.

## **2.10. MODELAMIENTO**

Metodología para la simulación hidrológica.

### **2.10.1. HEC – HMS**

Cañón (2014) el **HEC-HMS** (*Hydrologic Engineering Center's Hydrologic Modeling System*) es un programa de simulación hidrológica tipo evento, lineal y semidistribuido, desarrollado para estimar los hidrogramas de salida en una cuenca o varias subcuencas (caudales máximos y tiempos al pico) a partir de condiciones extremas de lluvias, aplicando para ello algunos de los métodos de cálculo de hietogramas de diseño, pérdidas por infiltración, flujo base y conversión en esorrentía directa que han alcanzado cierta popularidad.

El programa trabaja con tres módulos básicos que definen en su conjunto el proyecto de simulación de la cuenca:

**Módulo de precipitación:** permite seleccionar uno de seis patrones de precipitación (tipos de hietogramas) del evento de tormenta que más se ajuste a las posibles condiciones de la cuenca.



**Módulo de la cuenca:** permite la representación del sistema físico con los elementos antes citados, y la inclusión de las características morfológicas y de condición del suelo para cada uno de ellos.

**Módulo de control:** incluye las fechas de inicio y culminación de los datos de lluvia y caudal para la simulación y los intervalos de tiempo para realizar los cálculos.

Este modelo permite entre otros, los siguientes tipos de hidrogramas unitarios en cada subcuenca: Hidrograma del usuario, Hidrograma del SCS y Hidrograma de Snyder (Cañón, 2014).

## **Elementos Hidrológicos**

### **Subcuenca**

La subcuenca es un elemento que generalmente no tiene entrada de flujo y tiene sólo una salida. Representa una de las dos formas de producir flujo en la cuenca. La escorrentía es calculada utilizando datos meteorológicos, descontando las pérdidas y transformando el resultado en escurrimiento el cual es sumado al flujo base. La subcuenca puede ser utilizada para simular múltiples situaciones y tamaño de cauces. Un cauce es un elemento con una o más entradas y sólo una salida. Las entradas vienen de otros elementos de la cuenca. Si hay más de una entrada, todas las entradas son sumadas antes de calcular la salida. La salida puede ser calculada utilizando uno de los varios métodos disponible. Los cauces son utilizados para simular ríos y quebradas (Rojas, 2009).

### **Almacenamientos.**

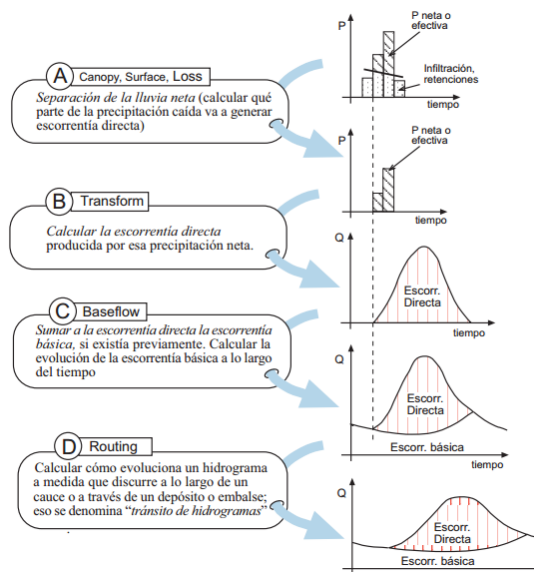
Un almacenamiento es un elemento con una o varias entradas y sólo una salida. Las entradas provienen de otros elementos del modelo de cuenca. Si hay varias entradas, estas son sumadas antes de calcular las salidas. Las salidas son calculadas mediante métodos de almacenamiento - caudal. Este elemento es usado para simular embalses, lagos y lagunas (Rojas, 2009).

### **Confluencia.**

La confluencia es un elemento con una o más entradas y sólo una salida. Todas las entradas son sumadas para producir la salida suponiendo que no hay almacenamiento. El elemento se usa para simular confluencias de ríos y quebradas (Rojas, 2009).

## Tomas.

Rojas (2009) la toma es un elemento con dos salidas, principal y toma, y una o más entradas. Las entradas provienen de otros elementos del modelo. Si hay varias entradas, éstas son sumadas antes de calcular las salidas. Las salidas son calculadas por varios métodos y son controladas por el usuario. Este elemento puede ser utilizado para simular compuertas de toma para canales y almacenamientos fuera del cauce.



**Fig. 2.** Procedimientos HEC - RAS

### 2.10.2. HEC – RAS

Nanía & Molero (2007) el HEC-RAS (*Hydrological Engineering Center - River Analysis System*) es un programa de modelización hidráulica unidimensional compuesto por cuatro tipos de análisis en ríos:

- Modelización de flujo en régimen permanente
- Modelización de flujo en régimen no permanente
- Modelización del transporte de sedimentos
- Análisis de calidad de aguas

Que permite simular flujos en cauces naturales o canales artificiales para determinar el nivel del agua por lo que su objetivo principal es realizar estudios de inundabilidad.

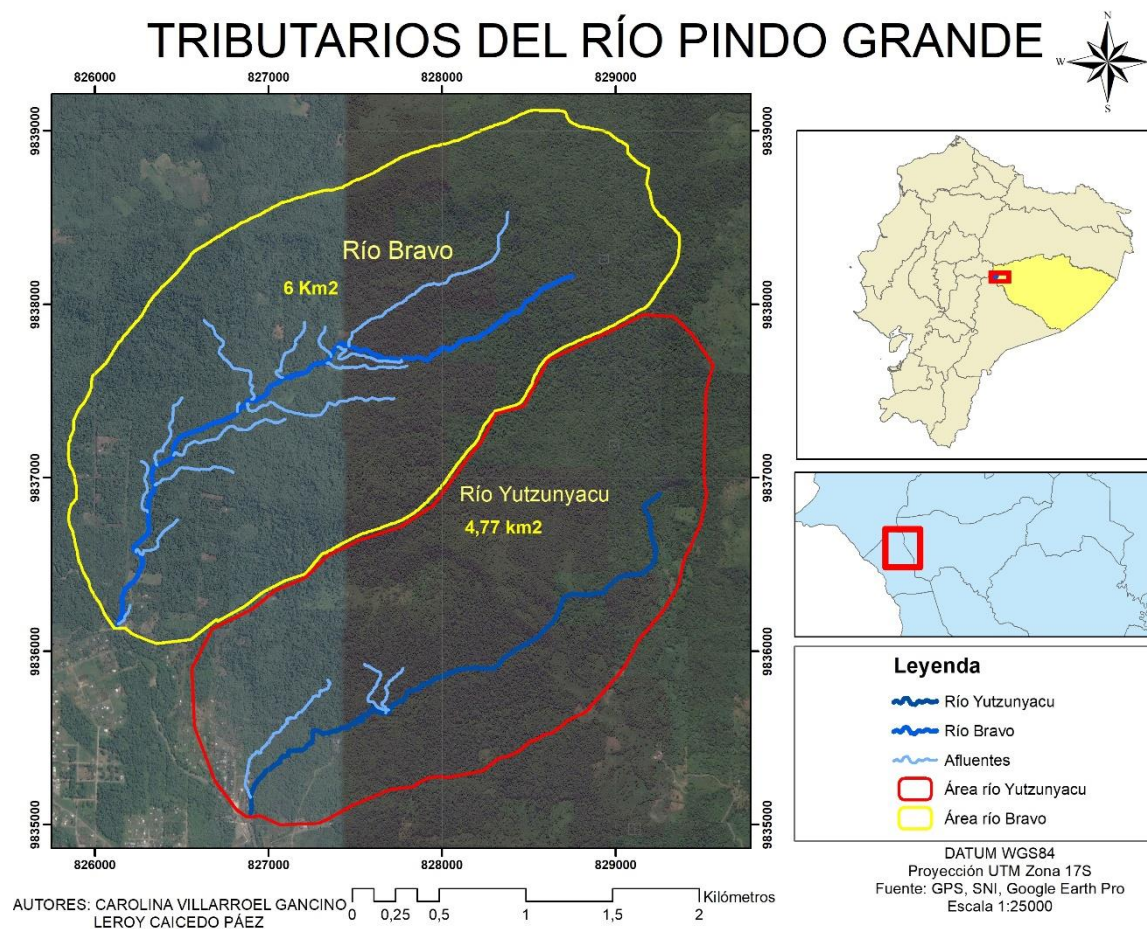
## **2.11. RIESGOS E INUNDACIONES**

Riesgo es la probabilidad de ocurrencia de un evento con consecuencias negativas. Las inundaciones son fenómenos naturales que producen daños económicos y sociales muy elevados (Escuder, Matheu, & Castillo, 2010).

Las inundaciones perjudican a la población amazónica por la mala o nula aplicación del plan de ordenamiento territorial, lo cual ocasiona que la población de bajos recursos económicos se asiente en zonas de riesgo por la disponibilidad de terrenos (Secretaría de Gestión de Riesgos, 2014).

## CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

### 3.1. LOCALIZACIÓN



**Mapa 1.** Tributarios del río Pindo Grande

### 3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Esta es una investigación exploratoria y descriptiva, la misma consta en identificar las características geomorfológicas de los tributarios Yutzunyacu y Bravo, para poder modelar sus incrementos de caudales en caso de crecidas.

### 3.3. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN

En la presente investigación se levantó información mediante observación en campo, medición de los cauces, medición de variables edafológicas y modelamiento de las misma mediante sistemas informáticos.

### **3.4. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3.4.1. RECURSOS HUMANOS Y MATERIALES**

- Flexómetro
- Cinta métrica
- Listón de madera
- Libreta de campo
- Lápiz
- Cámara fotográfica
- Clinómetro
- GPS
- Computadora

#### **3.4.2. DESCRIPCIÓN DEL LUGAR**

El área de los tributarios se encuentra ubicado en la parroquia Shell, provincia de Pastaza, cantón Mera la cual posee una población de 5940 habitantes (Inec, 2010). Shell tiene una extensión de 38km<sup>2</sup> y los principales ríos que atraviesan dicha parroquia son el río Pastaza, el río Pindo Grande y el río Motolo; su clima es cálido húmedo y su temperatura oscila entre los 17° y 23° C (GADPPz, 2017).

La zona comprende suelos turbosos que son derivados de materia orgánica muerta, que se forman en lugares escasamente drenados, el pH de estos suelos resulta medianamente ácidos con un pH de 5.7 y el tipo de suelo es inceptisoles (GADP Shell, 2015).

GADPPz (2017) en estos bosques es común la diversidad de especies vegetales y animales por la variabilidad de los factores ambientales; en esta zona se encuentran el bosque tropical siempre verde oriental, la humedad relativa de la zona es del 86%. La precipitación es permanente a lo largo del año debido al aporte de masas de aire húmedo provenientes del sistema hidrológico del Amazonas.

Los meses lluviosos son abril, septiembre y octubre, mientras los meses menos lluviosos corresponden a los meses de mayo y julio (GAD Cantón Mera, 2009).

### 3.4.3. DELIMITACIÓN DE CUENCAS

Se recorrió la cuenca de los tributarios a pie y con ayuda de un GPS se crearon tracks y puntos del área de estudio con sus respectivas características geomorfológicas. La longitud de la cuenca se determinó mediante el programa informático Arc Gis.

### 3.4.4. PARÁMETROS ASOCIADOS A LA FORMA DE LA CUENCA

#### 3.4.4.1. Coeficiente de compacidad (kc)

Fuentes (2004) la fórmula que permitió el cálculo de este coeficiente es:

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

**Donde:**

**Kc:** Coeficiente de compacidad

**P:** Perímetro de la cuenca (Km) (longitud de la línea de parteaguas)

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

Existen tres categorías para la clasificación según el valor de este parámetro (**Ver Tabla 2**).

**Tabla 2.** Clases de valores de compacidad

RANGOS DE K <sub>c</sub>	CLASES DE COMPACIDAD
– 1.25	Redonda a oval redonda
1.25 – 1.50	De oval redonda a oval oblonga
1.50 – 1.75	De oval oblonga a rectangular oblonga

**Fuente.** Fuentes (2004) pp. 25

### 3.4.5. PARÁMETROS RELATIVOS AL RELIEVE Y DRENAJE

#### 3.4.5.1. Pendiente

Según Fuentes (2004), la pendiente media se puede calcular con la siguiente fórmula:

$$S = (\Delta h/D)$$

**Donde:**

**S:** Pendiente

**$\Delta h$ :** Diferencia de altura o desnivel (m)

**D:** Distancia Total (m)

### **3.4.6. Densidad de Drenaje ( $D_D$ )**

Según Breña & Jacobo (2006), para la densidad de drenaje se puede utilizar la siguiente ecuación:

$$D_D = \frac{\sum L}{A}$$

**Dónde:**

**$D_D$ :** Densidad de drenaje (Km/Km<sup>2</sup>)

**$\sum L$ :** Longitud total de corrientes (Km)

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

### **3.4.7. Densidad de Corrientes**

Según Bateman (2007), para la densidad de corrientes se puede establecer la siguiente fórmula:

$$D_c = \frac{N_c}{A}$$

**Dónde:**

**$D_c$ :** Densidad de corriente

**$N_c$ :** Número de corrientes perennes e intermitentes

**A:** Área total de la cuenca, en Km<sup>2</sup>

### **3.4.8. TIEMPO DE CONCENTRACIÓN**

Según Ibañez, Moreno & Gisbert (2003), la determinación del tiempo de concentración se puede realizar con ayuda de la ecuación de Kirpich. Su fórmula se presenta así:

$$Tc = 0,06628 \frac{L^{0,77}}{S^{0,385}}$$

**Dónde:**

**Tc:** Tiempo de concentración (horas)

**L:** Longitud máxima a la salida (km)

**S:** Pendiente media del lecho (m/m)

### **3.4.9. HIETOGRAMA DE DISEÑO**

Para la elaboración de los Hietogramas se utilizaron las curvas IDF, mediante un método llamado bloque alterno, el hietograma que se obtuvo especificará la profundidad de precipitación que ocurre en **n** intervalos de tiempo sucesivos de duración  $\Delta t$  sobre una duración total (Bacuilima & Cedillo, 2012), el mismo se lo utilizó en el modelamiento a través del software HEC- HMS.

### **3.4.10. VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN (MÉTODO INFILTRÓMETRO CILINDRO SIMPLE)**

Este método consta en introducir un cilindro hueco en el suelo hasta la mitad, seguidamente se colocó una funda en el mismo para llenarlo de agua y cuando esté lleno se procedió a retirar la funda; se mide la altura inicial del agua y con ayuda de una regla y un cronómetro se tomó medidas del agua a diferentes tiempos (0, 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 75, 90, 105, 120, 150, 180 min); y por último cada vez que esté cerca de acabarse se volvió a llenar el cilindro.

**Ip= Lectura parcial a 0 min - lectura parcial a 1 min**

Ip=Infiltración Parcial (así sucesivamente)

**Ia= Ia a 0 min + Ip a 1 min**

Ia= Infiltración Acumulada (así sucesivamente)

**VI= IA/Ta**

VI= Velocidad de infiltración

IA= Infiltración Acumulada

Ta= Tiempo Acumulado

**VCI= VI a 1 min / VI a 2 min**



VCI= Velocidad Constante de Infiltración (así sucesivamente)

### 3.4.11. ESTIMACIÓN DE CAUDALES – ECUACIÓN DE MANNING EN CANALES DE SECCIÓN IRREGULAR

La ecuación de Manning se utiliza para calcular la velocidad en canales abiertos o tuberías, con distintos parámetros y constantes que permiten mejorar la confianza del resultado.

La ecuación se representa así:

$$V = \frac{R^{2/3} S^{1/2}}{n}$$

**V** = Velocidad media de la corriente (m/s)

**R** = Radio hidráulico (m)

**S** = Pendiente media del canal (m/m)

**n** = Coeficiente de rugosidad de Manning, este valor se obtiene de los valores del coeficiente de rugosidad (**Ver Tabla 33**).

Para obtener los datos de la fórmula de Manning se aplicarán las siguientes ecuaciones:

$$(\text{Profundidad promedio}) h \bar{x} = \frac{h_1 + h_2 + h_3 \dots h_n}{\text{Ancho del río}}$$

$$A_m (\text{área de mojado}) = h \bar{x} * \text{Ancho del cauce}$$

$$P_m (\text{Perímetro de mojado}) = \sum \text{lados } c$$

$$R_h (\text{radio hidráulico}) = \frac{A_m}{P_m}$$

La medición de caudales se realizó en los meses de agosto, septiembre, octubre, noviembre, diciembre y enero (una vez al mes).

### 3.4.12. ESTIMACIÓN DE MODELOS EMPÍRICOS DE LA RELACIÓN LLUVIA - ESCURRIMIENTO

#### 3.4.12.1. Fórmula Racional

Según Sánchez (2016), la ecuación de este método es la siguiente:

$$Q = \frac{C * I * A}{3,6}$$

**Q** = Caudal (m<sup>3</sup> /seg)

**C** = Coeficiente de escorrentía (0,1 a 0,7)

**I** = Intensidad de la tormenta (mm/hr)

**A** = Área de la cuenca (km<sup>2</sup>)

Para utilizar este método se hizo un análisis del campo de utilización, ya que es necesario que la cuenca sea pequeña; cuya superficie sea inferior a 2,5 a 3 Km<sup>2</sup> y tiempo de concentración del orden de una hora (Sánchez, 2016).

### 3.4.12.2. CURVAS IDF

La ecuación que se utilizó para la elaboración de curvas IDF es la de probabilidad de Gumbel:

$$X = X_m + (Y_t - Y_n) * S_{n-1}/S_n$$

**X** = Valor máximo

**X<sub>m</sub>** = Media de la serie dada de valores máximos

**Y<sub>t</sub>** = Variable de Gumbel para el período de retorno T (**Tabla 34**)

**Y<sub>n</sub>** = Valor que se obtiene a partir del número de años de la serie (**Tabla 34**)

**S<sub>n</sub>** = Valor que se obtiene a partir del número de años de la serie (**Tabla 35**)

**S<sub>n-1</sub>** = Desviación estándar, desviación típica de los valores extremos.

### 3.4.12.3. Hidrograma Unitario Soil Conservation Service (SCS)

Campos (2010), mencionan que el hidrograma unitario SCS es una respuesta de la cuenca a una unidad de lluvia neta generada uniformemente en toda la cuenca.

La Duración de lluvia efectiva (D) se calcula mediante:

$$D = 0,133 * T_c$$

**Donde:**

**T<sub>c</sub>** = Tiempo de concentración

El Tiempo de retardo (Tr) se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$T_r = 0,6 * T_c$$

**Donde:**

**Tc** = Tiempo de concentración

El Tiempo en punta ( **Tp** ) se calcula:

$$Tp = \left(\frac{D}{2}\right) + Tr$$

**Donde:**

**D** = Duración de la lluvia efectiva

**Tr** = Tiempo de retardo

El Caudal punta ( **Qp** ) se muestra que:

$$Qp = (2,08 * A)/Tp$$

**Donde:**

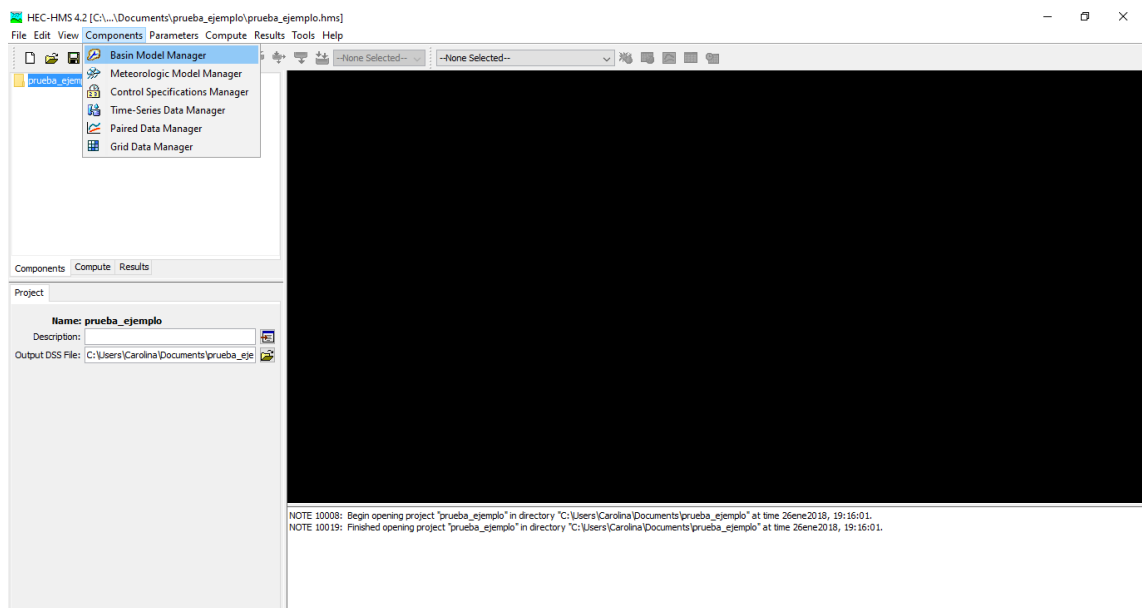
**A** = Área de la cuenca

**Tp** = Tiempo en punta

### **3.4.13. METODOLOGÍA PARA EL MODELAMIENTO**

#### **HEC – HMS**

Para realizar el modelamiento en el software HEC – HMS se utilizó el área de la cuenca, los caudales de los meses agosto, septiembre, octubre, noviembre, diciembre del año 2017 y enero del año 2018 obtenidos en campo, el número de curva, tiempo de concentración, los datos de precipitación de la Estación Biológica “Pindo Mirador” y la Estación Meteorológica de Veracruz de los años 2014, 2015, 2016, 2017 y el mes de enero del 2018, para observar el comportamiento entre la precipitación y los caudales de los ríos Bravo y Yutzunyacu.



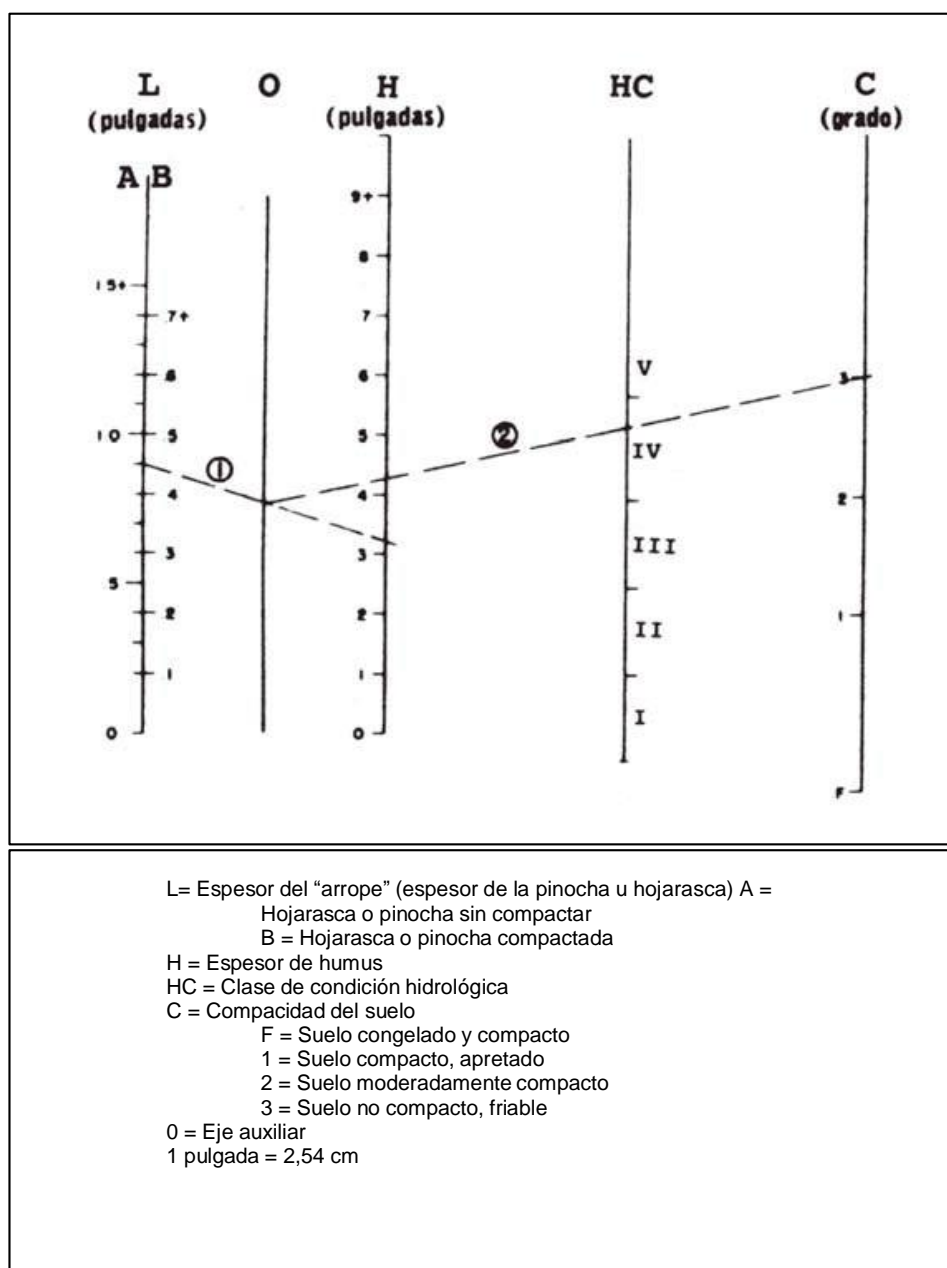
**Fig. 3.** Funcionamiento del HEC - HMS para la elaboración del modelamiento  
 Para la obtención del número de curva de cada río se necesitó la siguiente información:

**Tabla 3.** Grupos Hidrológicos de suelos

SUELO	CAPACIDAD DE INFILTRACIÓN CON HUMEDAD ELEVADA	TASA DE INFILTRACIÓN (mm·h-1)	PROFUNDIDAD	TEXTURA	DRENAJE
A	Alta	7,62-11,43	Elevada	Arenosa Areno-limosa	Excesivo
B	Moderada	3,81-7,62	Mediana a elevada	Franca-arenosa Franca-arcillo-arenosa	Bueno a moderado
C	Escasa	1,27-3,81	Mediana a pequeña	Franco-arcillosa Franco-arcillo-limosa Arcillo-arenosa	Imperfecto

D	Muy escasa	0-1,27	Con horizontes arcilloso. Litosuelos Suelos con nivel freático permanentemente	Arenosa	Pobre o muy pobre
---	------------	--------	--	---------	-------------------

**Fuente:** (Martínez de Azagra, Mongil, & Del Río, 2003)



**Fig. 4.** Nomograma para la determinación de la condición hidrológica del suelo  
**Fuente:** (Martínez de Azagra, Mongil, & Del Río, 2003)

**Tabla 4.** Determinación del número de curva en condición II de humedad y  $P0 = 0,2$ . S

TIPO DE VEGETACIÓN	TRATAMIENTO	CONDICIÓN HIDROLOGICA	TIPO DE SUELO			
			A	B	C	D
Barbecho	Desnudo	-	77	86	91	94
	CR	Pobre	76	85	90	93
		Buena	74	83	88	90
Cultivos alineados	R	Pobre	72	81	88	91
	R	Buena	67	78	85	89
		Pobre	71	80	87	90
	R + CR	Buena	64	75	82	85
	R + CR	Pobre	70	79	84	88
		Buena	65	75	82	86
	C	Pobre	69	78	83	87
		Buena	64	74	81	85
	C	Pobre	66	74	80	82
		Buena	62	71	78	81
	C + CR	Pobre	65	73	79	81
C + CR	Buena	61	70	77	80	
Cultivos no alineados, o con surcos pequeños o mal definidos	R	Pobre	65	76	84	88
	R	Buena	63	75	83	87
		Pobre	64	75	83	86
	R + CR	Buena	60	72	80	84
	R + CR	Pobre	63	74	82	85
		Buena	61	73	81	84
	C	Pobre	62	73	81	84
		Buena	60	72	80	83
	C	Pobre	61	72	79	82
		Buena	59	70	78	81
	C + CR	Buena	60	71	78	81
	C + CR	Pobre	58	69	77	80
	C + T	Buena				
Cultivos densos de leguminosas o prados en alternancia	R	Pobre	66	77	85	89
	R	Buena	58	72	81	85
		Pobre	64	75	83	85
	C	Buena	55	69	78	83
		Pobre	63	73	80	83
	C	Buena	51	67	76	80
		Pobre				
Pastizales o pastos naturales	-	Pobres	68	79	86	89
	-	Regulares	49	69	79	84
		Buenas	39	61	74	80
	Pastizales	C	Pobres	47	67	81
C		Regulares	25	59	75	83
		Buenas	6	35	70	79
Prados permanentes	-	-	30	58	71	78
Matorral-herbazal, siendo el matorral preponderante	-	Pobres	48	67	77	83
	-	Regulares	35	56	70	77
		Buenas	≤ 30	48	65	73
Combinación de arbolado y herbazal, cultivos agrícolas leñosos	-	Pobres	57	73	82	86
	-	Regulares	43	65	76	82
		Buenas	32	58	72	79
	-	-				
Montes con pastos	-	Pobres	45	66	77	83
	-	Regulares	36	60	73	79
		Buenas	25	55	70	77
Bosques	-	I Muy pobre	56	75	86	91
	-	II Pobre	46	68	78	84
		III Regular	36	60	70	76
	-		26	52	63	69
			15	44	54	61
Caseríos	-	-	59	74	82	86

Caminos en tierra	-	-	72	82	87	89
Caminos en firme	-	-	74	84	90	92

CR = Cubierta de residuos; R = Labores en línea recta; C = Labores en curvas de nivel; T =

**Fuente:** (Martínez de Azagra, Mongil, & Del Río, 2003)

**Tabla 5.** Condiciones de humedad del suelo en atención a las precipitaciones previas

Condiciones precedentes de humedad		
Lluvia total caída durante los cinco días anteriores		
Condición	En el periodo húmedo (Oct-Mar) o durante la dormancia	En el periodo seco (Abr-Sep) o durante el crecimiento.
I	Menos de 12,5 mm	Menos de 35,5 mm
II	De 12,5 a 28 mm	De 35,5 a 53 mm
III	Más de 28 mm	Más de 53 mm

**Fuente:** (Ibáñez, Moreno, & Gisbert, 2003)



Conversión del número de curva de la condición II a las condiciones I y III  
Número de curva correspondiente a las condiciones

Número de curva en la condición		Número de curva correspondiente a las condiciones	
11		1	111
100		100	100
95		87	99
90		78	98
85		70	97
80		63	94
75		57	91
70		51	87
65		45	83
60		40	79
55		35	75
50		31	70
45		27	65
40		23	60
35		19	55
30		15	50
25		12	45
20		9	39
15		7	33
10		4	26
5		2	17
0		0	0

**Fig. 5.** Correspondencia del valor de N para las diferentes condiciones de humedad del suelo. **Fuente:** (Ibáñez, Moreno, & Gisbert, 2003)

## **CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **4.1.DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS ASOCIADOS A LA FORMA DE LA CUENCA**

#### **4.1.1. Coeficiente de compacidad (kc)**

Los ríos Yutzunyacu y Bravo poseen un Kc de 1,19 y 1,17 respectivamente; lo cual da como resultado que son microcuencas redondas a ovals redondas (**Ver tabla 2**). Fuentes (2004) al encontrarse las cuencas de los ríos Yutzunyacu y Bravo dentro de la clase antes mencionada se considera una zona de mayor riesgo de inundación debido a la gran acumulación de aguas de escurrimiento (**Ver mapa 1**).

### **4.2.DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS RELATIVOS AL RELIEVE Y DRENAJE**

La pendiente del río Yutzunyacu es de 0,1 mientras que en el río Bravo se encuentra una pendiente de 0,08; al ser una zona pie montana el relieve de estas cuencas es irregular lo cual interfiere directamente con la densidad de drenajes ( $D_D$ ), considerando un valor de 1,15  $\text{km}/\text{km}^2$  perteneciente al río Yutzunyacu mientras que para el río Bravo es de 1,93  $\text{km}/\text{km}^2$ . La densidad de corrientes ( $D_c$ ) que tiene el río Yutzunyacu es de 0,84  $\text{km}^2$  y del río Bravo es de 2,5  $\text{km}^2$  recalando que estos valores de la  $D_c$  dependen de la cantidad de afluentes identificados en la zona de estudio (4 y 15 afluentes respectivamente).

### **4.3.DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE CONCENTRACIÓN**

El tiempo de concentración desde los puntos más lejanos hasta la salida del cauce es de 0,44 horas (26,4 min) para el río Yutzunyacu y 0,53 horas (31,7 min) para el río Bravo; para calcular el  $T_c$  se utiliza la longitud y pendiente de las cuencas.

### **4.4. ELABORACIÓN CURVAS DE INTENSIDAD, DURACIÓN Y FRECUENCIA (IDF)**

La curva IDF muestra que la intensidad de lluvia es mayor a 1, 2, 4 y 6 horas de precipitación mientras que a 8, 12 y 24 horas de duración la intensidad disminuye de manera significativa (**Ver tabla 8**), ya sea para dos o cinco años de período de retorno; para realizar la curva IDF se aplica la ecuación de probabilidad de Gumbel (**Ver Tabla 9**), con esto se disminuye el error en las proyecciones a dos y cinco años; se aplica esta ecuación debido a que se obtienen los datos meteorológicos de cuatro años, con lo cual no se obtendría un resultado confiable



sin dicha ecuación. La intensidad máxima a una hora para dos y cinco años son de 60,46 y 91,77 mm (**Ver gráfico 1**).

**Tabla 6.** Precipitación máxima de los años 2014, 2015, 2016 y 2017 a 1, 2, 4, 6, 8, 12 y 24 horas

Año	Precipitación Máxima (horas)						
	1	2	4	6	8	12	24
2014	48,2	62,4	82,2	114,2	119,4	119,4	123,4
2015	72	76,2	79,2	82,2	83	100,4	127,6
2016	86,6	121,2	178,6	217,2	234	246,2	271,2
2017	43,8	52,3	84,4	89,4	98	126,4	151,6

**Tabla 7.** Media y Desviación Estándar de las intensidades de precipitación del año 2014, 2015, 2016 y 2017

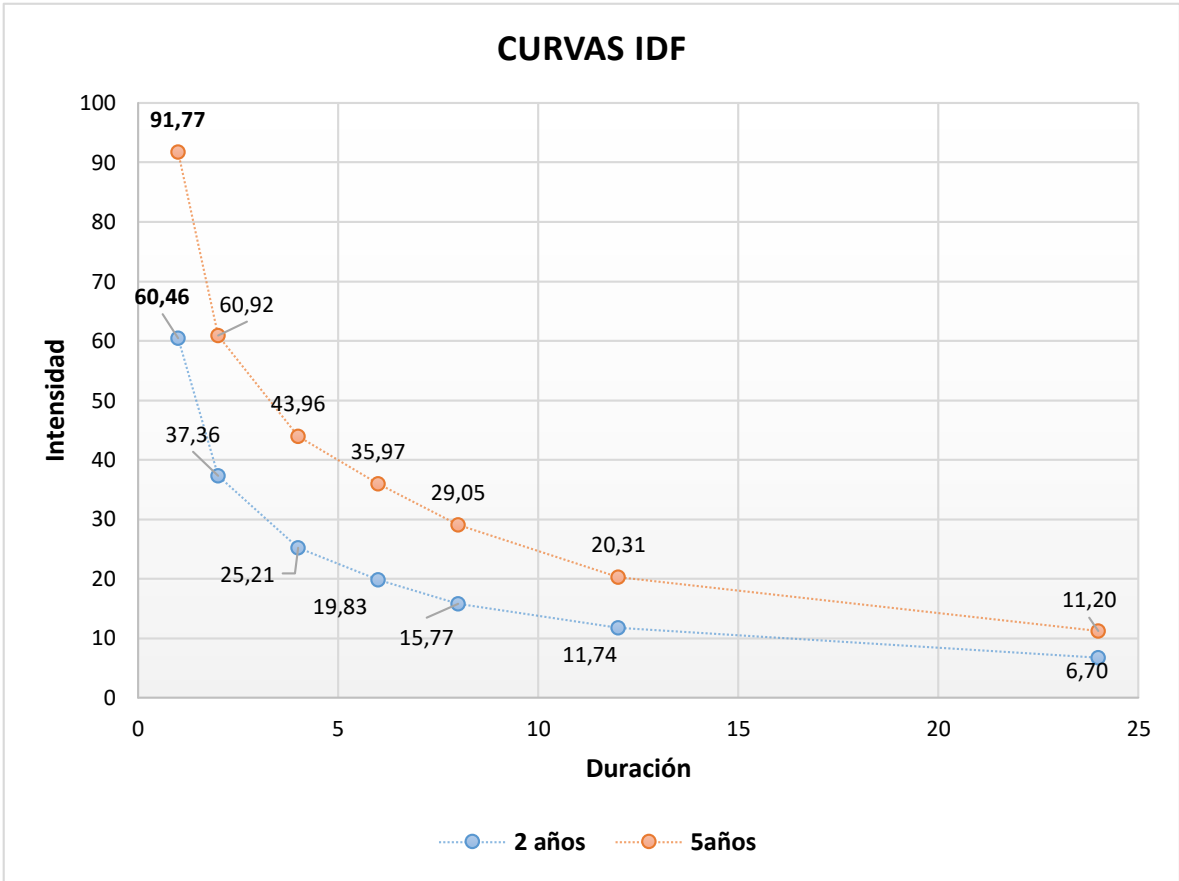
Intensidades	1	2	4	6	8	12	24
2014	48,2	31,2	20,55	19,03333333	14,925	9,95	5,14166667
2015	72	38,1	19,8	13,7	10,375	8,36666667	5,31666667
2016	86,6	60,6	44,65	36,2	29,25	20,5166667	11,3
2017	43,8	26,15	21,1	14,9	12,25	10,53333333	6,31666667
Media	62,65	39,0125	26,525	20,95833333	16,7	12,3416667	7,01875
Desviación estándar	20,2084966	15,202323	12,0950748	10,4147465	8,57246075	5,52634264	2,90072129

**Tabla 8.** Períodos de retorno con la ecuación de Gumbel

Períodos de Retorno	1	2	4	6	8	12	24
2 años	60,4594362	37,3645962	25,2139162	19,829394	15,7707611	11,7426213	6,70431716
5 años	91,7729778	60,9209539	43,9555195	35,9672891	29,053991	20,3058194	11,1990532

**Tabla 9.** Variables Constantes de Gumbel para 2 y 5 años de período de retorno

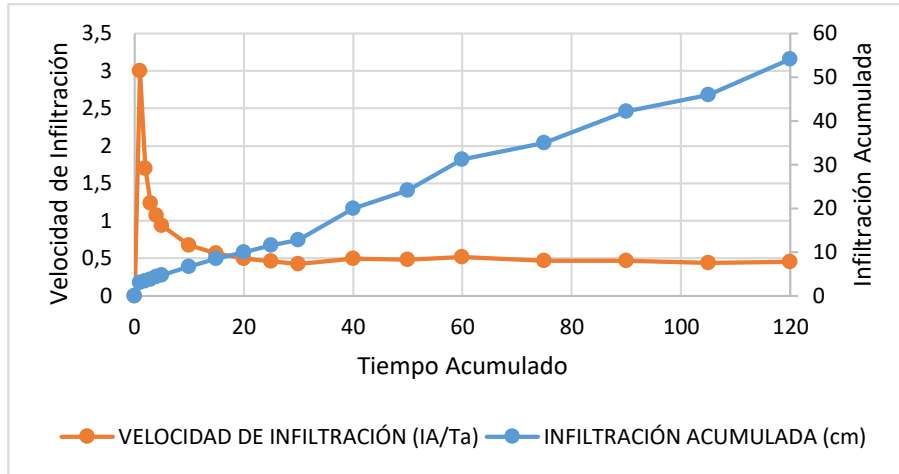
Variables (Gumbel)	2 años	5 años
yt	0,36651	1,49994
yn	0,4458	
sn	0,73147	



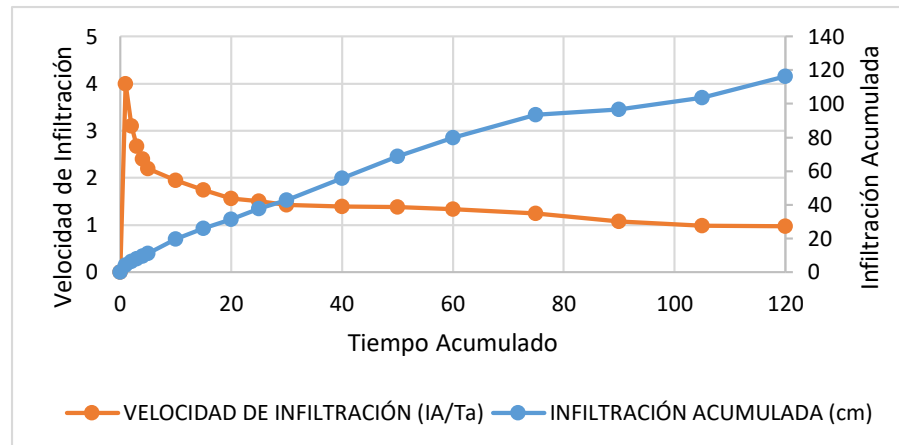
**Gráfico 1.** Curvas IDF (Intensidad, Duración y Frecuencia)

#### 4.4.1. MEDICIÓN DE LA VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN (MÉTODO INFILTRÓMETRO CILINDRO SIMPLE)

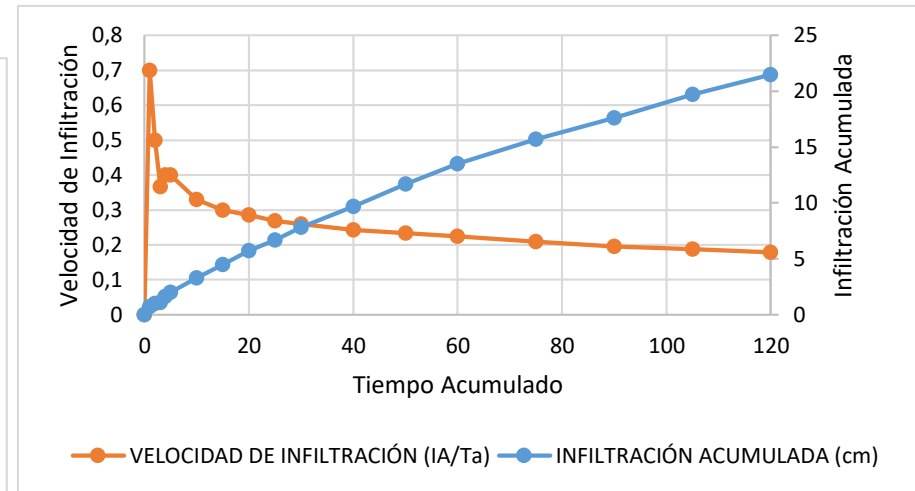
##### RÍO BRAVO



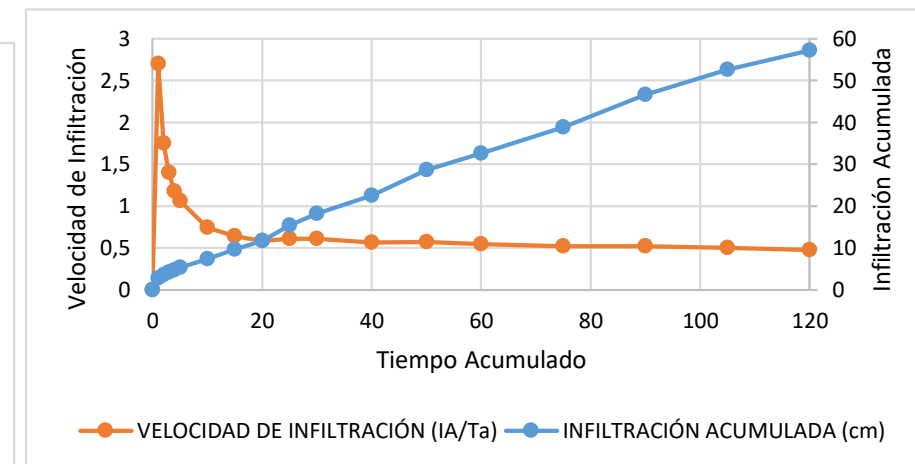
**Gráfico 2A.** Prueba de infiltración realizada en el punto alto 1 lado derecho a 4m del lecho.



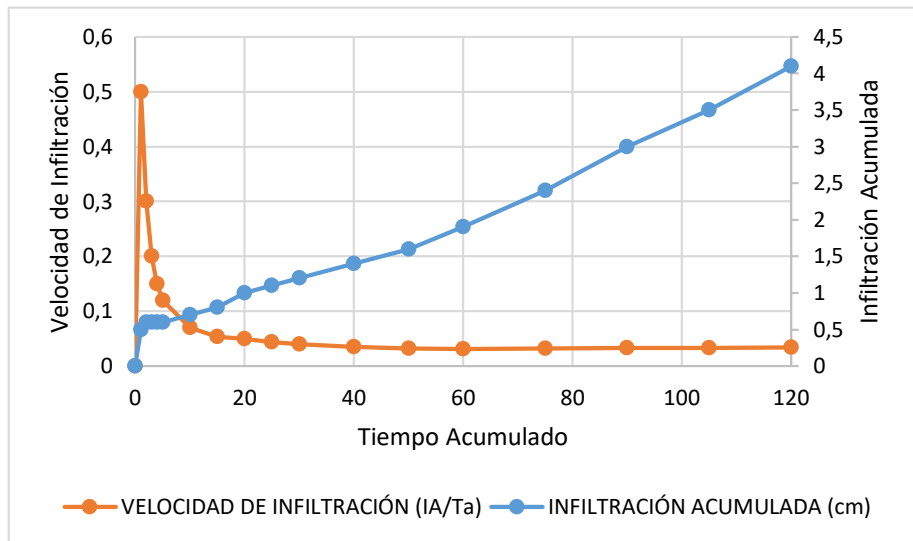
**Gráfico 5C.** Prueba de infiltración realizada en el punto medio 2 lado derecho a 4m del lecho.



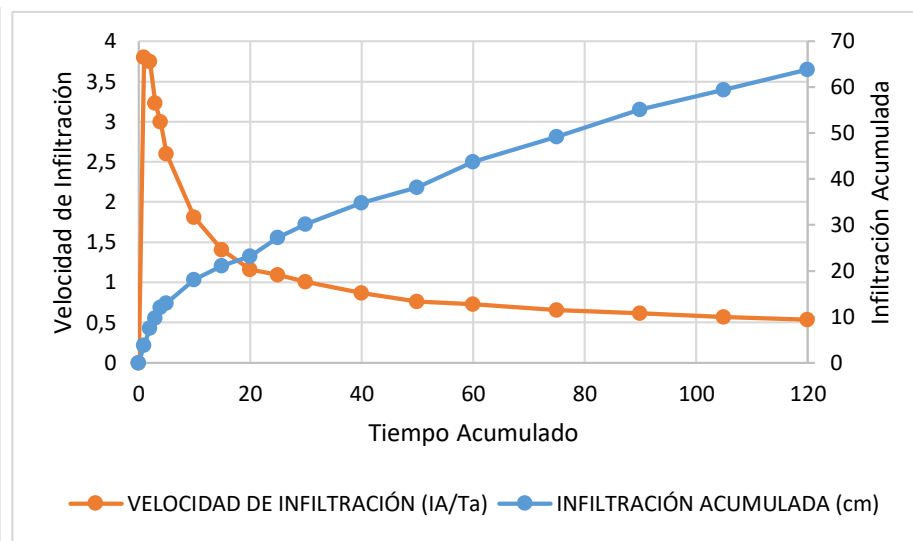
**Gráfico 3B.** Prueba de infiltración realizada en el punto alto 1 lado izquierdo a 4m del lecho.



**Gráfico 4D.** Prueba de infiltración realizada en el punto medio 2 lado izquierdo a 4m del lecho.



**Gráfico 6E.** Prueba de infiltración realizada en el punto bajo 3 lado derecho a 4m del lecho.



**Gráfico 7F.** Prueba de infiltración realizada en el punto bajo 3 lado izquierdo a 4m del lecho.

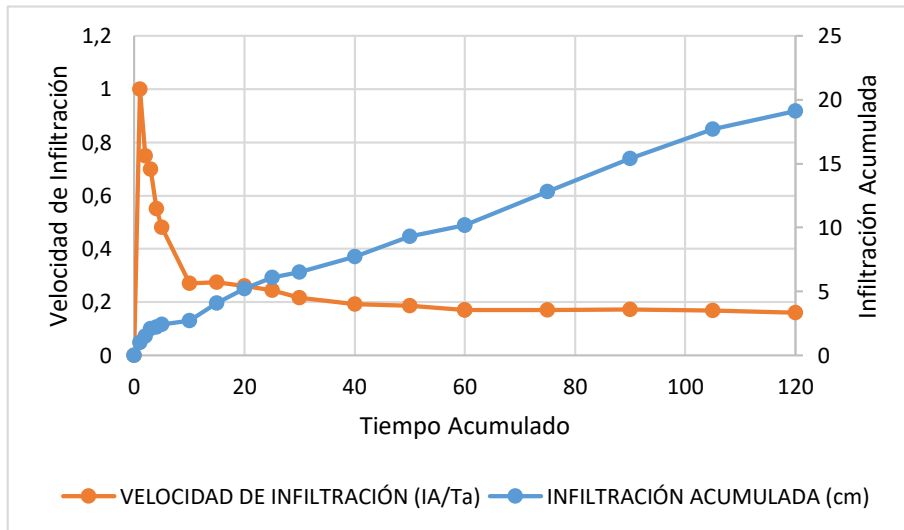
**Tabla 10.** Velocidad Constante de Infiltración Promedio

Velocidad constante de infiltración	P1	P2	P3	VCI PROMEDIO (cm/min)
Lado derecho	0,46	2,4	0,032	<b>0,82</b>
Lado izquierdo	0,3	0,607	1,092	
	0,38	1,50	0,56	

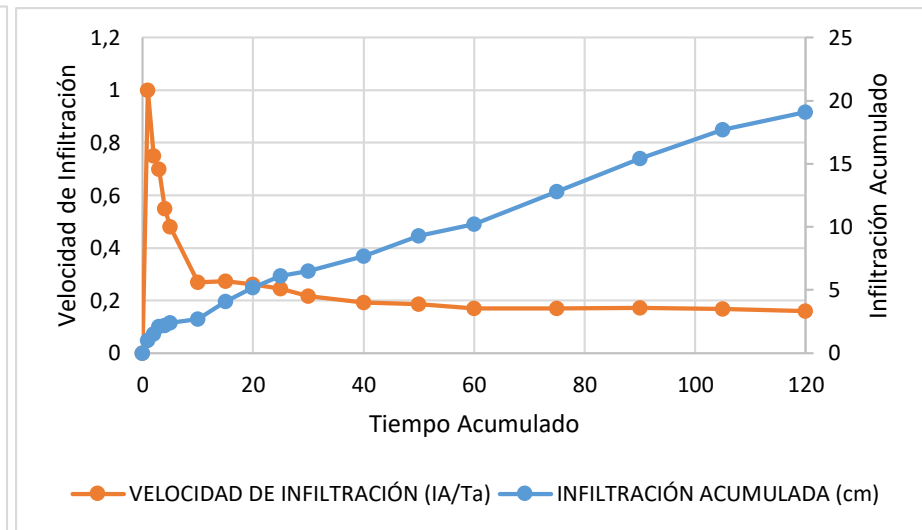
**Tabla 11.** Velocidades de infiltración a 1 hora y 2 horas de cada punto donde se realizaron las pruebas de infiltración a ambos lados del río

VCI	Horas	P1 (cm)	P1 (mm)	P2 (cm)	P2 (mm)	P3 (cm)	P3 (mm)
Lado derecho	1h	31,2	312	79,9	799	1,9	19
	2h	27,05	270,5	58,1	581	2,05	20,5
Lado izquierdo	1h	13,5	135	32,6	326	43,8	438
	2h	10,75	107,5	28,55	285,5	31,95	319,5

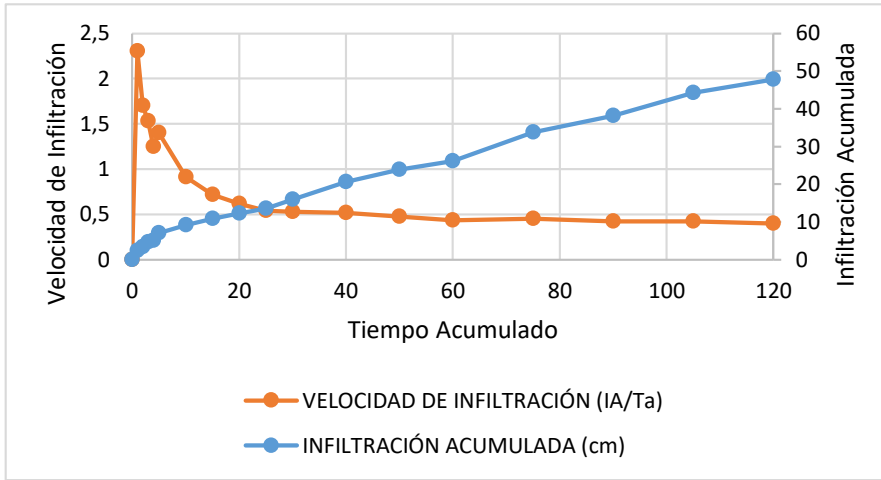
## RÍO YUTZUNYACU



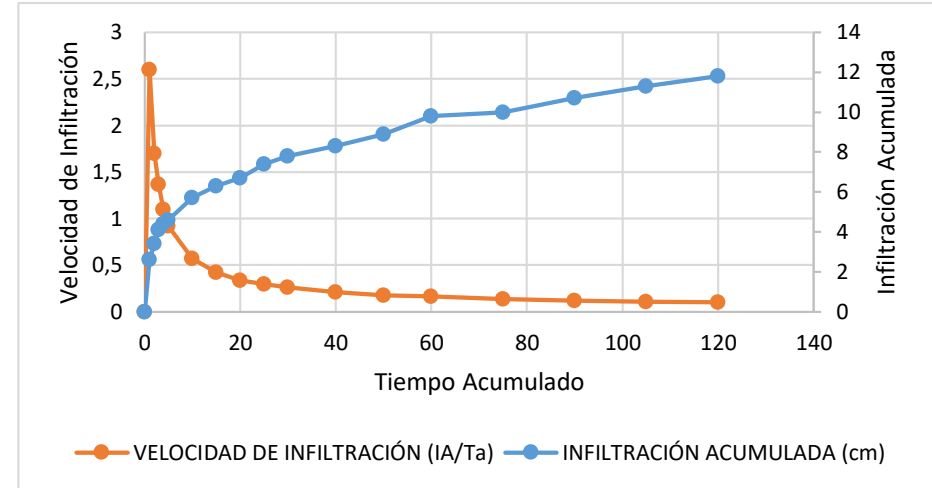
**Gráfico 9A.** Prueba de infiltración realizada en el punto alto 1 lado derecho a 4m del lecho.



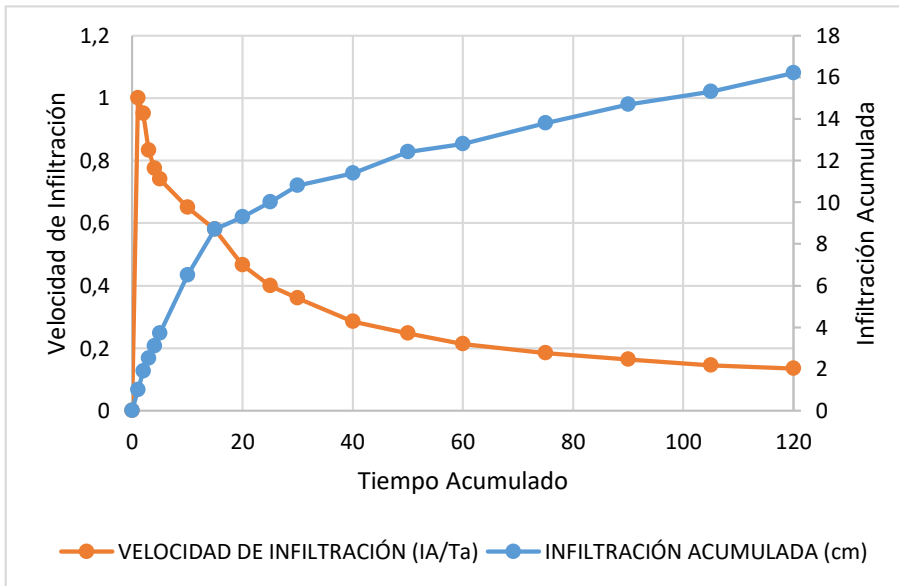
**Gráfico 8B.** Prueba de infiltración realizada en el punto alto 1 lado izquierdo a 4m del lecho.



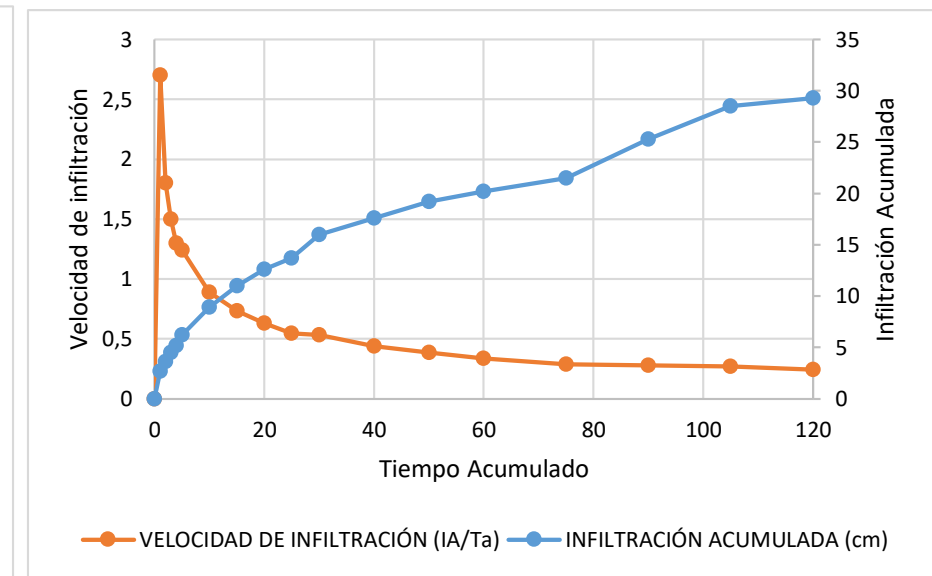
**Gráfico 11C.** Prueba de infiltración realizada en el punto medio 2 lado derecho a 4m del lecho.



**Gráfico 10D.** Prueba de infiltración realizada en el punto medio 2 lado izquierdo a 4m del lecho.



**Gráfico 13E.** Prueba de infiltración realizada en el punto bajo 3 lado derecho a 4m del lecho.



**Gráfico 12F.** Prueba de infiltración realizada en el punto bajo 3 lado izquierdo a 4m del lecho.

**Tabla 12.** Velocidad Constante de Infiltración Promedio

Velocidad constante de infiltración	P1	P2	P3	VCI PROMEDIO (cm/min)
Lado derecho	0,26	0,398	0,775	0,31
Lado izquierdo	0,013	0,108	0,281	
	0,14	0,25	0,53	

**Tabla 13.** Velocidades de infiltración a 1 hora y 2 horas de cada punto donde se realizaron las pruebas de infiltración a ambos lados del río

VCI	Horas	P1 (cm)	P1 (mm)	P2 (cm)	P2 (mm)	P3 (cm)	P3 (mm)
Lado derecho	1h	10,2	102	26,1	261	12,8	128
	2h	9,55	95,5	23,85	238,5	8,1	81
Lado izquierdo	1h	0,7	7	9,8	98	20,2	202
	2h	0,7	7	5,9	59	14,65	146,5

Las pruebas de infiltración en el río Bravo y Yutzunyacu se realizaron en tres puntos a lo largo del lecho, que fueron los puntos alto, medio y bajo; presentando poca variación en la velocidad de infiltración y la infiltración acumulada (**Ver gráficos del 2A al 3F**). Por ende, la Velocidad Constante de infiltración del río Bravo es de 0,82 cm/min y del Yutzunyacu es de 0,31 cm/min. Las condiciones idóneas para la aplicación de este método según Blanco (1999), son en suelos con una pendiente escasa o nula, sin pedregosidad y a poca profundidad para no alterar las características del mismo.

El gasto base se lo maneja como una constante mensual y los parámetros necesarios para su cálculo son el ancho del río, profundidad, perímetro de mojado, área de mojado, radio hidráulico, pendiente, coeficiente de rugosidad de Manning y la velocidad (**Ver tablas 14 y 15**). Los caudales calculados en los meses de agosto, septiembre, octubre, noviembre y diciembre del año 2017 y enero del 2018, tienen variaciones entre los ríos caso de estudio que son: el río Yutzunyacu tiene cuatro afluentes, 4,77 km<sup>2</sup> de área y un gasto base de 0,58 m<sup>3</sup>/s. mientras que el río Bravo posee 15 afluentes, 6km<sup>2</sup> de área y un gasto base de 1,90 m<sup>3</sup>/s. Según Sucoshañay (2016), los problemas ambientales como cambio de uso de suelo y expansión de la frontera agrícola causarán que la composición del suelo y la geografía cambien de manera abrupta generando un aumento en la escorrentía superficial, tiempo de concentración, sedimentación y por ende el aumento de caudales desde la parte alta de la cuenca del río Puyo; causando daños con mayor frecuencia.



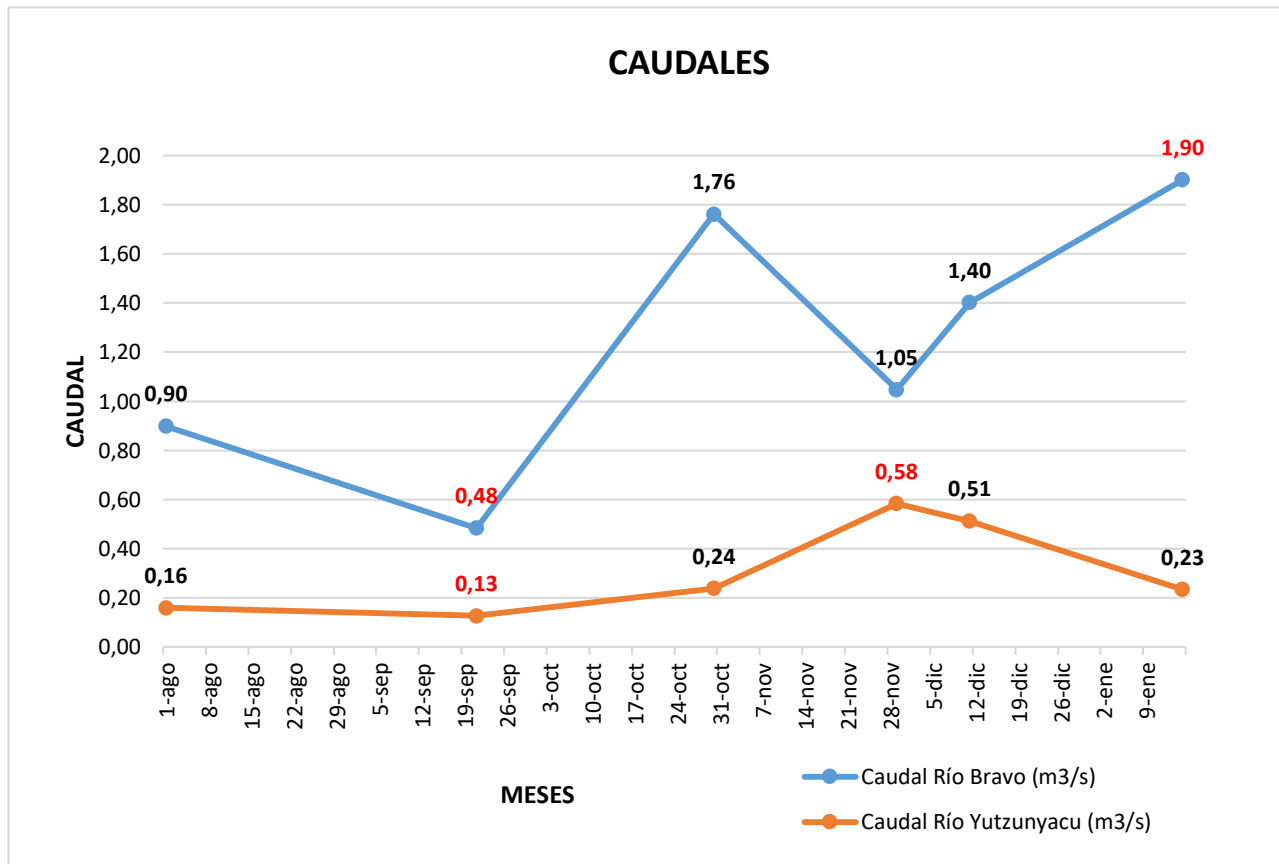
#### 4.4.2. ESTIMACIÓN DE CAUDALES – MANNING

Tabla 14. Estimación de Caudales del Río Bravo

Meses		Ancho (m)	Profundidad promedio (hx) (m)	Pm	Am	Perímetro de mojado promedio (pmE/pmS)	Área de mojado promedio (AmE/AmS)	Radio Hidráulico (R) (m)	Pendiente (%)	Coficiente de rugosidad de manning (n)	Velocidad (m/s)	Caudal (m3/s)	
<b>1/8/2017</b>	Entrada	4,5	0,146	5,054	0,656	5,049	0,625	0,124	0,064	0,042	1,512	<b>0,90</b>	
	Salida	4,36	0,136	5,043	0,594								
<b>21/9/2017</b>	Entrada	5	0,193	5,037	0,967	5,024	0,641	0,128	0,064	0,042	1,537	<b>0,48</b>	<b>Menor caudal</b>
	Salida	4,3	0,073	5,011	0,315								
<b>30/10/2017</b>	Entrada	4,8	0,216	5,089	1,036	5,584	0,982	0,176	0,064	0,042	1,897	<b>1,76</b>	
	Salida	5,1	0,182	6,079	0,929								
<b>29/11/2017</b>	Entrada	5,88	0,157	6,049	0,921	6,056	0,796	0,131	0,064	0,042	1,562	<b>1,048</b>	
	Salida	5,5	0,122	6,062	0,671								
<b>11/12/2017</b>	Entrada	6,450	0,178	7,075	1,149	6,572	0,986	0,150	0,064	0,042	1,705	<b>1,40</b>	
	Salida	5,700	0,144	6,069	0,822								
<b>15/1/2018</b>	Entrada	6,65	0,192	7,082	1,275	6,561	1,142	0,174	0,064	0,042	1,884	<b>1,90</b>	<b>Mayor caudal</b>
	Salida	5,6	0,180	6,040	1,010								

**Tabla 15.** Estimación de Caudales del Río Yutzunyacu

Meses		Ancho (m)	Profundidad promedio (hx) (m)	Pm	Am	Perímetro de mojado promedio (pmE/pmS)	Área de mojado promedio (AmE/AmS)	Radio Hidráulico (R) (m)	Pendiente (%)	Coefficiente de rugosidad de maning (n)	Velocidad (m/s)	Caudal (m3/s)	
<b>1/8/2017</b>	Entrada	3,65	0,084	4,027	0,307	4,024	0,305	0,076	0,011	0,036	0,526	<b>0,16</b>	
	Salida	3,8	0,080	4,021	0,304								
<b>21/9/2017</b>	Entrada	3,5	0,092	4,027	0,322	4,019	0,287	0,071	0,011	0,036	0,505	<b>0,13</b>	<b>Menor caudal</b>
	Salida	4	0,0628	4,012	0,251								
<b>30/10/2017</b>	Entrada	3,5	0,107	4,018	0,373	5,020	0,405	0,081	0,011	0,036	0,548	<b>0,24</b>	
	Salida	5,1	0,086	6,022	0,436								
<b>29/11/2017</b>	Entrada	4	0,145	4,031	0,578	6,064	0,706	0,116	0,011	0,036	0,700	<b>0,58</b>	<b>Mayor Caudal</b>
	Salida	7,45	0,112	8,097	0,834								
<b>11/12/2017</b>	Entrada	3,8	0,157	4,040	0,597	6,046	0,675	0,112	0,011	0,036	0,681	<b>0,51</b>	
	Salida	7,67	0,098	8,053	0,753								
<b>15/1/2018</b>	Entrada	3,2	0,095	4,013	0,305	4,511	0,366	0,081	0,011	0,036	0,550	<b>0,23</b>	
	Salida	4,43	0,096	5,009	0,426								



**Gráfico 14.** Comportamiento de caudal del Río Bravo y Yutzunyacu en los meses de agosto, septiembre, octubre, noviembre, diciembre del año 2017 y enero del año 2018

### 4.4.3. ESTIMACIÓN DE MODELOS EMPÍRICOS DE LA RELACIÓN LLUVIA - ESCURRIMIENTO

#### 4.4.3.1. Fórmula Racional

Para aplicar el método de la fórmula racional el área de una cuenca debe ser inferior a tres km<sup>2</sup> y el tiempo de concentración inferior a una hora, por lo tanto, esta no aplica en nuestro estudio ya que el área de la cuenca del río Bravo y Yutzunyacu sobrepasa del rango establecido.

#### 4.4.3.2. Hidrograma Unitario Soil Conservation Service (SCS)

**Tabla 16.** Parámetros para el modelamiento del Hidrograma SCS de los ríos Bravo y Yutzunyacu

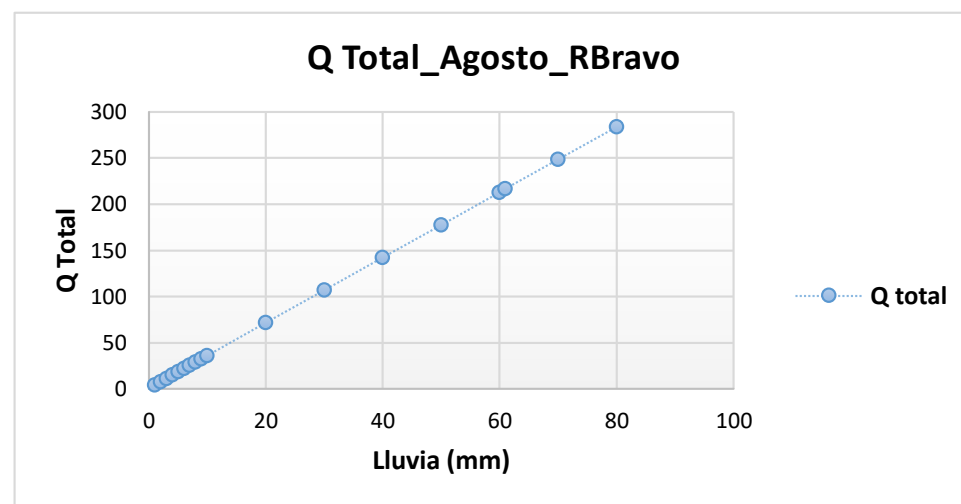
	BRAVO	YUTZUNYACU	UNIDADES
Área de la cuenca	6	4,77	Km <sup>2</sup>
Tiempo de concentración (Tc)	0,53	0,44	h
DURACIÓN DE LLUVIA EFECTIVA	0,07049	0,05852	h
TIEMPO DE RETARDO	0,318	0,264	h
TIEMPO EN PUNTA	0,353245	0,29326	h
Q PUNTA	35,3295871	33,83209439	m <sup>3</sup> /s

El modelamiento SCS realizado en los ríos caso de estudio dió como resultado predicciones de que el caudal total máximo del río Yutzunyacu será de 271,24 m<sup>3</sup>/s con 80 mm de precipitación teniendo en cuenta que el gasto base fue de 0,58 m<sup>3</sup>/s en el mes de noviembre (**Ver tabla 26**), mientras que del río Bravo el caudal total máximo será de 284,54 m<sup>3</sup>/s con 80 mm de lluvia y un gasto base de 1,9 m<sup>3</sup>/s en el mes de enero del 2018 (**Ver tabla 22**). Esto quiere decir que a mayor precipitación aumenta la zona de riesgo para la población asentada a las riveras de dichos ríos.

## PROYECCIÓN - MES DE AGOSTO DEL RÍO BRAVO

**Tabla 17.** Proyección del Caudal Total en base a la cantidad de mm de precipitación registradas

Lluvia (mm)	Lluvia (cm)	Caudal en punta ( m <sup>3</sup> /s)	Gasto base ( m <sup>3</sup> /s)	Q total ( m <sup>3</sup> /s)
1	0,1	3,532958711	0,9	4,43295871
2	0,2	7,065917423	0,9	7,96591742
3	0,3	10,59887613	0,9	11,4988761
4	0,4	14,13183485	0,9	15,0318348
5	0,5	17,66479356	0,9	18,5647936
6	0,6	21,19775227	0,9	22,0977523
7	0,7	24,73071098	0,9	25,630711
8	0,8	28,26366969	0,9	29,1636697
9	0,9	31,7966284	0,9	32,6966284
10	1	35,32958711	0,9	36,2295871
20	2	70,65917423	0,9	71,5591742
30	3	105,9887613	0,9	106,888761
40	4	141,3183485	0,9	142,218348
50	5	176,6479356	0,9	177,547936
60	6	211,9775227	0,9	212,877523
70	7	247,3071098	0,9	248,20711
80	8	282,6366969	0,9	283,536697

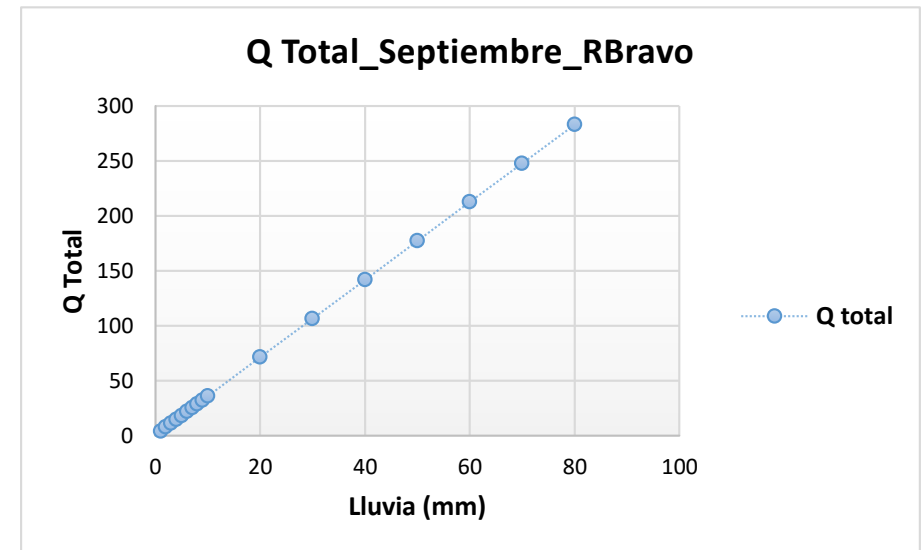


**Gráfico 15.** Proyección Caudal Total en el mes de Agosto

## PROYECCIÓN - MES DE SEPTIEMBRE DEL RÍO BRAVO

**Tabla 18.** Proyección del Caudal Total en base a la cantidad de mm de precipitación registradas

Lluvia (mm)	Lluvia (cm)	Caudal en punta ( m <sup>3</sup> /s)	Gasto base ( m <sup>3</sup> /s)	Q total ( m <sup>3</sup> /s)
1	0,1	3,532958711	0,48	4,01295871
2	0,2	7,065917423	0,48	7,54591742
3	0,3	10,59887613	0,48	11,0788761
4	0,4	14,13183485	0,48	14,6118348
5	0,5	17,66479356	0,48	18,1447936
6	0,6	21,19775227	0,48	21,6777523
7	0,7	24,73071098	0,48	25,210711
8	0,8	28,26366969	0,48	28,7436697
9	0,9	31,7966284	0,48	32,2766284
10	1	35,32958711	0,48	35,8095871
20	2	70,65917423	0,48	71,1391742
30	3	105,9887613	0,48	106,468761
40	4	141,3183485	0,48	141,798348
50	5	176,6479356	0,48	177,127936
60	6	211,9775227	0,48	212,457523
70	7	247,3071098	0,48	247,78711
80	8	282,6366969	0,48	283,116697

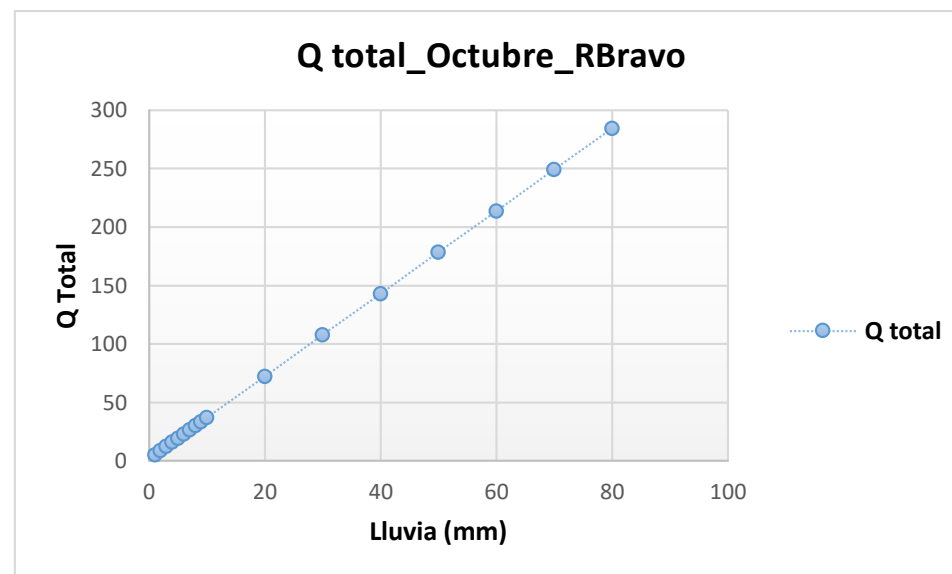


**Gráfico 16.** Proyección Caudal Total en el mes de Septiembre

## PROYECCIÓN - MES DE OCTUBRE DEL RÍO BRAVO

**Tabla 19.** Proyección del Caudal Total en base a la cantidad de mm de precipitación registradas

Lluvia (mm)	Lluvia (cm)	Caudal en punta ( m <sup>3</sup> /s)	Gasto base ( m <sup>3</sup> /s)	Q total ( m <sup>3</sup> /s)
1	0,1	3,532958711	1,76	5,29295871
2	0,2	7,065917423	1,76	8,82591742
3	0,3	10,59887613	1,76	12,3588761
4	0,4	14,13183485	1,76	15,8918348
5	0,5	17,66479356	1,76	19,4247936
6	0,6	21,19775227	1,76	22,9577523
7	0,7	24,73071098	1,76	26,490711
8	0,8	28,26366969	1,76	30,0236697
9	0,9	31,7966284	1,76	33,5566284
10	1	35,32958711	1,76	37,0895871
20	2	70,65917423	1,76	72,4191742
30	3	105,9887613	1,76	107,748761
40	4	141,3183485	1,76	143,078348
50	5	176,6479356	1,76	178,407936
60	6	211,9775227	1,76	213,737523
70	7	247,3071098	1,76	249,06711
80	8	282,6366969	1,76	284,396697

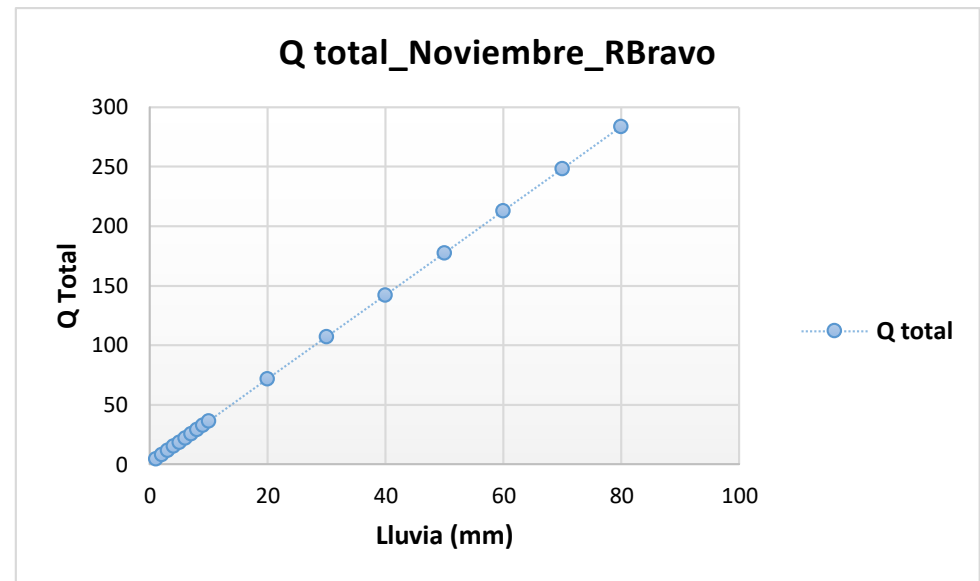


**Gráfico 17.** Proyección Caudal Total en el mes de Octubre

## PROYECCIÓN - MES DE NOVIEMBRE DEL RÍO BRAVO

**Tabla 20.** Proyección del Caudal Total en base a la cantidad de mm de precipitación registradas

Lluvia (mm)	Lluvia (cm)	Caudal en punta ( m <sup>3</sup> /s)	Gasto base ( m <sup>3</sup> /s)	Q total ( m <sup>3</sup> /s)
1	0,1	3,532958711	1,048	4,58095871
2	0,2	7,065917423	1,048	8,11391742
3	0,3	10,59887613	1,048	11,6468761
4	0,4	14,13183485	1,048	15,1798348
5	0,5	17,66479356	1,048	18,7127936
6	0,6	21,19775227	1,048	22,2457523
7	0,7	24,73071098	1,048	25,778711
8	0,8	28,26366969	1,048	29,3116697
9	0,9	31,7966284	1,048	32,8446284
10	1	35,32958711	1,048	36,3775871
20	2	70,65917423	1,048	71,7071742
30	3	105,9887613	1,048	107,036761
40	4	141,3183485	1,048	142,366348
50	5	176,6479356	1,048	177,695936
60	6	211,9775227	1,048	213,025523
70	7	247,3071098	1,048	248,35511
80	8	282,6366969	1,048	283,684697



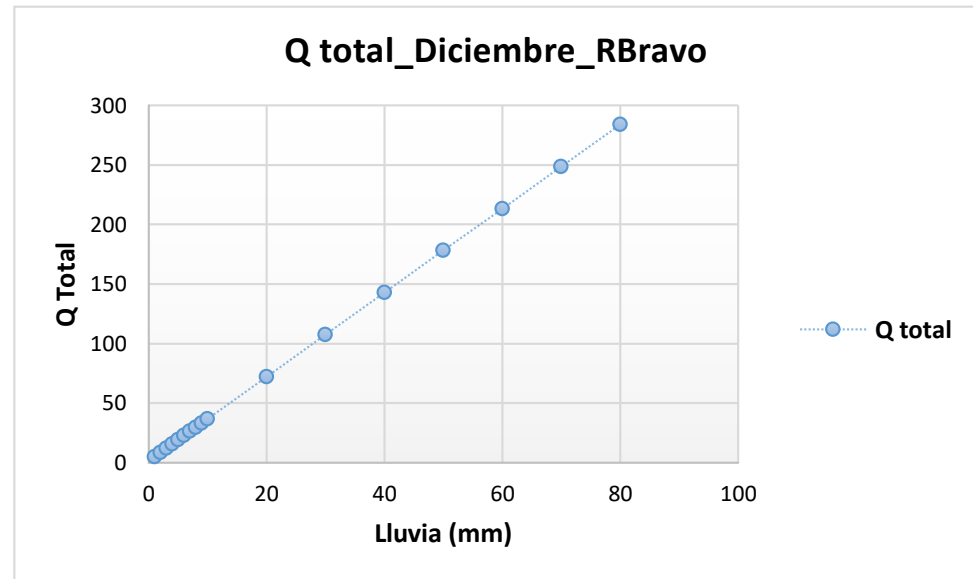
**Gráfico 18.** Proyección Caudal Total en el mes de Noviembre



## PROYECCIÓN - MES DE DICIEMBRE DEL RÍO BRAVO

**Tabla 21.** Proyección del Caudal Total en base a la cantidad de mm de precipitación registradas

Lluvia (mm)	Lluvia (cm)	Caudal en punta ( m <sup>3</sup> /s)	Gasto base ( m <sup>3</sup> /s)	Q total ( m <sup>3</sup> /s)
1	0,1	3,532958711	1,4	4,93295871
2	0,2	7,065917423	1,4	8,46591742
3	0,3	10,59887613	1,4	11,9988761
4	0,4	14,13183485	1,4	15,5318348
5	0,5	17,66479356	1,4	19,0647936
6	0,6	21,19775227	1,4	22,5977523
7	0,7	24,73071098	1,4	26,130711
8	0,8	28,26366969	1,4	29,6636697
9	0,9	31,7966284	1,4	33,1966284
10	1	35,32958711	1,4	36,7295871
20	2	70,65917423	1,4	72,0591742
30	3	105,9887613	1,4	107,388761
40	4	141,3183485	1,4	142,718348
50	5	176,6479356	1,4	178,047936
60	6	211,9775227	1,4	213,377523
70	7	247,3071098	1,4	248,70711
80	8	282,6366969	1,4	284,036697

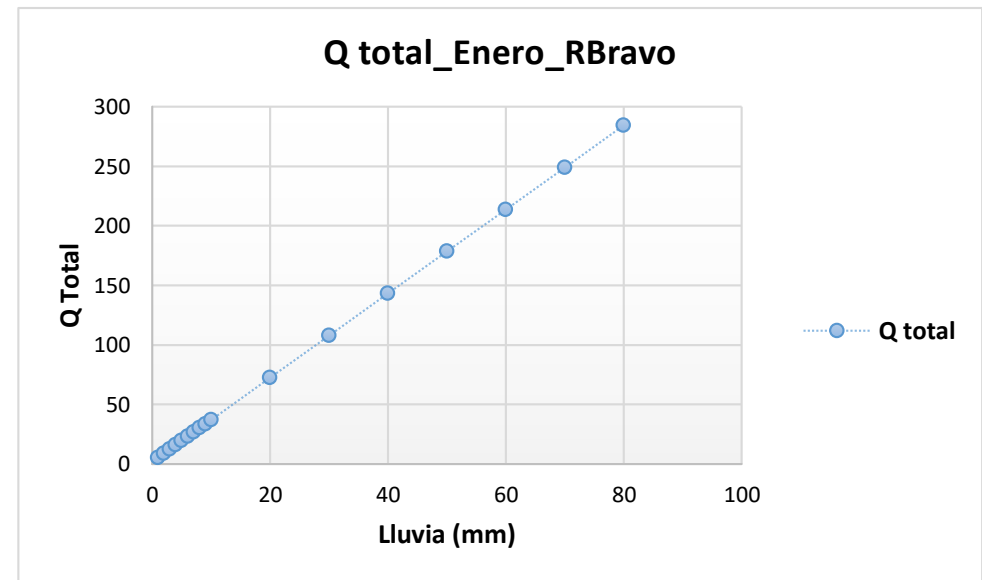


**Gráfico 19.** Proyección Caudal Total en el mes de Diciembre

## PROYECCIÓN - MES DE ENERO DEL RÍO BRAVO

**Tabla 22.** Proyección del Caudal Total en base a la cantidad de mm de precipitación registradas

Lluvia (mm)	Lluvia (cm)	Caudal en punta ( m <sup>3</sup> /s)	Gasto base ( m <sup>3</sup> /s)	Q total ( m <sup>3</sup> /s)
1	0,1	3,532958711	1,9	5,43295871
2	0,2	7,065917423	1,9	8,96591742
3	0,3	10,59887613	1,9	12,4988761
4	0,4	14,13183485	1,9	16,0318348
5	0,5	17,66479356	1,9	19,5647936
6	0,6	21,19775227	1,9	23,0977523
7	0,7	24,73071098	1,9	26,630711
8	0,8	28,26366969	1,9	30,1636697
9	0,9	31,7966284	1,9	33,6966284
10	1	35,32958711	1,9	37,2295871
20	2	70,65917423	1,9	72,5591742
30	3	105,9887613	1,9	107,888761
40	4	141,3183485	1,9	143,218348
50	5	176,6479356	1,9	178,547936
60	6	211,9775227	1,9	213,877523
70	7	247,3071098	1,9	249,20711
80	8	282,6366969	1,9	284,536697

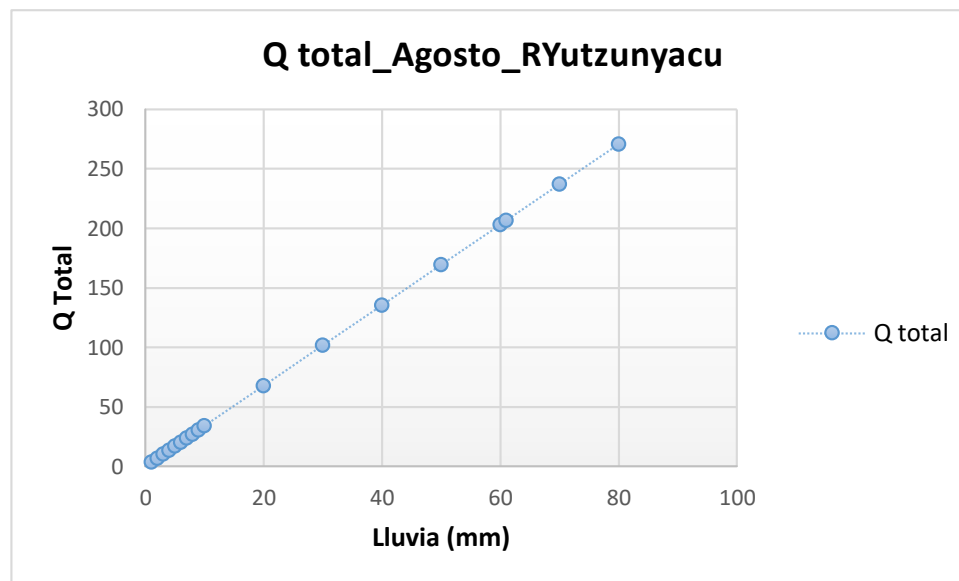


**Gráfico 20.** Proyección Caudal Total en el mes de Enero

## PROYECCIÓN - MES DE AGOSTO DEL RÍO YUTZUNYACU

**Tabla 23.** Proyección del Caudal Total en base a la cantidad de mm de precipitación registradas

Lluvia (mm)	Lluvia (cm)	Caudal en punta ( m <sup>3</sup> /s)	Gasto base ( m <sup>3</sup> /s)	Q total ( m <sup>3</sup> /s)
1	0,1	3,383209439	0,16	3,54320944
2	0,2	6,766418877	0,16	6,92641888
3	0,3	10,14962832	0,16	10,3096283
4	0,4	13,53283775	0,16	13,6928378
5	0,5	16,91604719	0,16	17,0760472
6	0,6	20,29925663	0,16	20,4592566
7	0,7	23,68246607	0,16	23,8424661
8	0,8	27,06567551	0,16	27,2256755
9	0,9	30,44888495	0,16	30,6088849
10	1	33,83209439	0,16	33,9920944
20	2	67,66418877	0,16	67,8241888
30	3	101,4962832	0,16	101,656283
40	4	135,3283775	0,16	135,488378
50	5	169,1604719	0,16	169,320472
60	6	202,9925663	0,16	203,152566
70	7	236,8246607	0,16	236,984661
80	8	270,6567551	0,16	270,816755

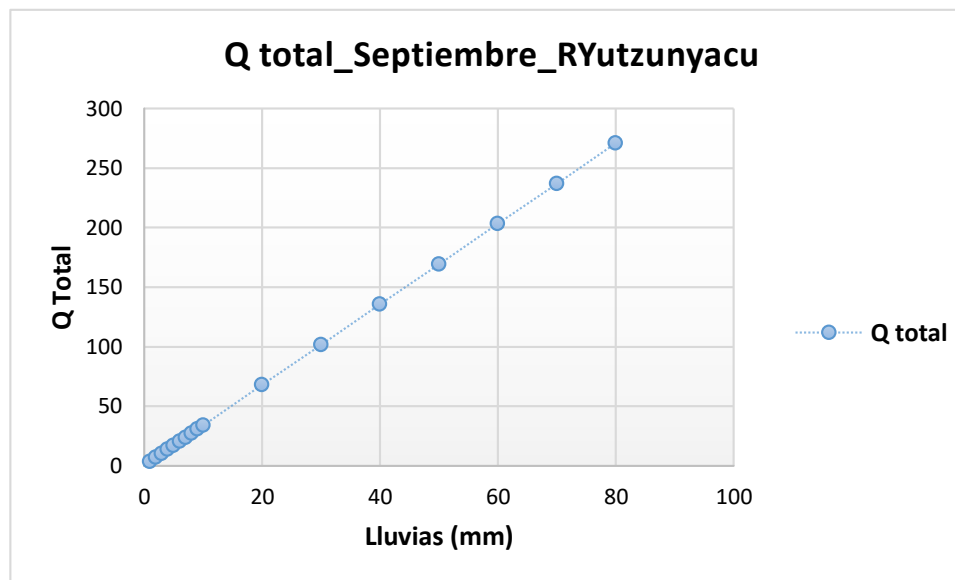


**Gráfico 21.** Proyección Caudal Total en el mes de Agosto

## PROYECCIÓN - MES DE SEPTIEMBRE DEL RÍO YUTZUNYACU

**Tabla 24.** Proyección del Caudal Total en base a la cantidad de mm de precipitación registradas

Lluvia (mm)	Lluvia (cm)	Caudal en punta ( m <sup>3</sup> /s)	Gasto base ( m <sup>3</sup> /s)	Q total ( m <sup>3</sup> /s)
1	0,1	3,383209439	0,13	3,51320944
2	0,2	6,766418877	0,13	6,89641888
3	0,3	10,14962832	0,13	10,2796283
4	0,4	13,53283775	0,13	13,6628378
5	0,5	16,91604719	0,13	17,0460472
6	0,6	20,29925663	0,13	20,4292566
7	0,7	23,68246607	0,13	23,8124661
8	0,8	27,06567551	0,13	27,1956755
9	0,9	30,44888495	0,13	30,5788849
10	1	33,83209439	0,13	33,9620944
20	2	67,66418877	0,13	67,7941888
30	3	101,4962832	0,13	101,626283
40	4	135,3283775	0,13	135,458378
50	5	169,1604719	0,13	169,290472
60	6	202,9925663	0,13	203,122566
70	7	236,8246607	0,13	236,954661
80	8	270,6567551	0,13	270,786755

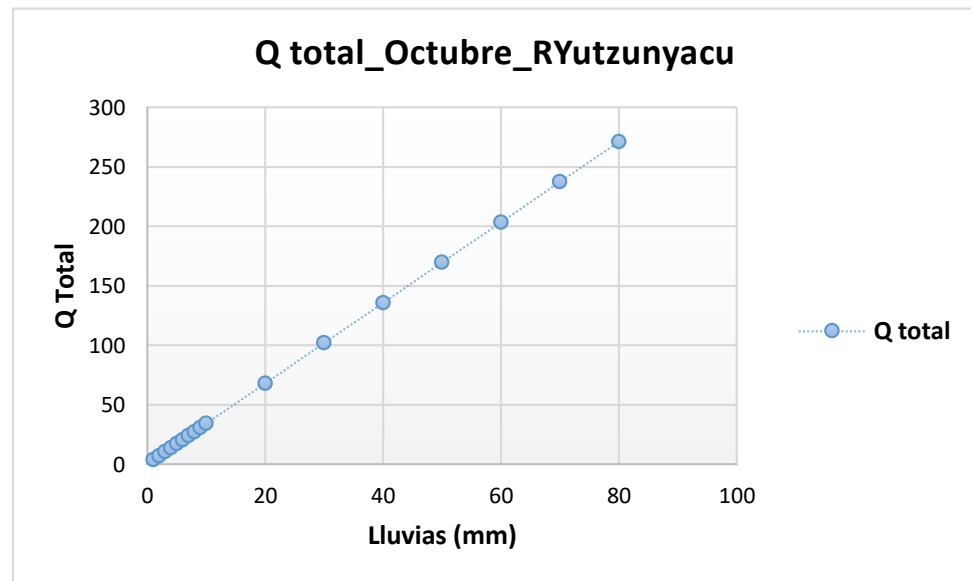


**Gráfico 22.** Proyección Caudal Total en el mes de Septiembre

### PROYECCIÓN - MES DE OCTUBRE DEL RÍO YUTZUNYACU

**Tabla 25.** Proyección del Caudal Total en base a la cantidad de mm de precipitación registradas

Lluvia (mm)	Lluvia (cm)	Caudal en punta ( m <sup>3</sup> /s)	Gasto base ( m <sup>3</sup> /s)	Q total ( m <sup>3</sup> /s)
1	0,1	3,383209439	0,24	3,62320944
2	0,2	6,766418877	0,24	7,00641888
3	0,3	10,14962832	0,24	10,3896283
4	0,4	13,53283775	0,24	13,7728378
5	0,5	16,91604719	0,24	17,1560472
6	0,6	20,29925663	0,24	20,5392566
7	0,7	23,68246607	0,24	23,9224661
8	0,8	27,06567551	0,24	27,3056755
9	0,9	30,44888495	0,24	30,6888849
10	1	33,83209439	0,24	34,0720944
20	2	67,66418877	0,24	67,9041888
30	3	101,4962832	0,24	101,736283
40	4	135,3283775	0,24	135,568378
50	5	169,1604719	0,24	169,400472
60	6	202,9925663	0,24	203,232566
70	7	236,8246607	0,24	237,064661
80	8	270,6567551	0,24	270,896755

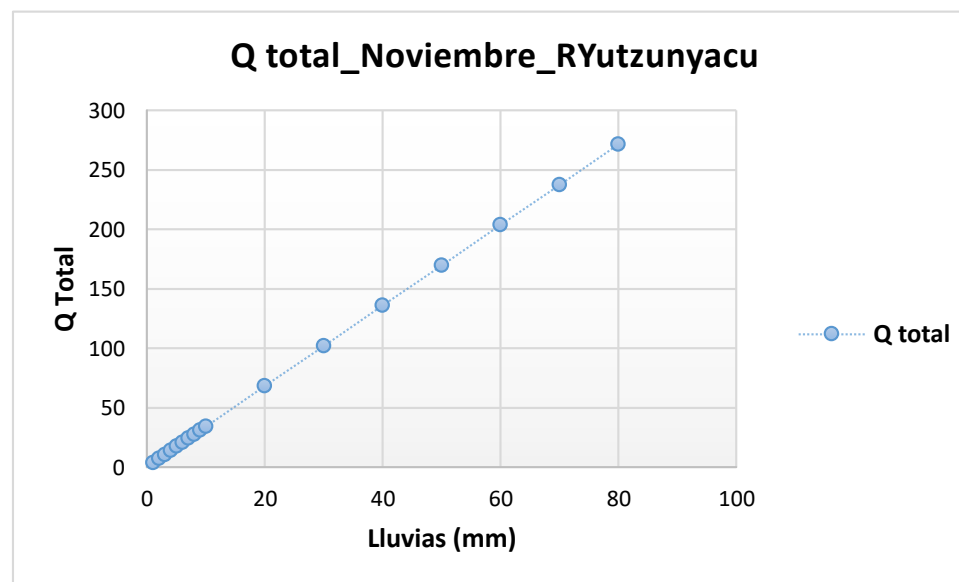


**Gráfico 23.** Proyección Caudal Total en el mes de Octubre

## PROYECCIÓN - MES DE NOVIEMBRE DEL RÍO YUTZUNYACU

**Tabla 26.** Proyección del Caudal Total en base a la cantidad de mm de precipitación registradas

Lluvia (mm)	Lluvia (cm)	Caudal en punta ( m <sup>3</sup> /s)	Gasto base ( m <sup>3</sup> /s)	Q total ( m <sup>3</sup> /s)
1	0,1	3,383209439	0,58	3,96320944
2	0,2	6,766418877	0,58	7,34641888
3	0,3	10,14962832	0,58	10,7296283
4	0,4	13,53283775	0,58	14,1128378
5	0,5	16,91604719	0,58	17,4960472
6	0,6	20,29925663	0,58	20,8792566
7	0,7	23,68246607	0,58	24,2624661
8	0,8	27,06567551	0,58	27,6456755
9	0,9	30,44888495	0,58	31,0288849
10	1	33,83209439	0,58	34,4120944
20	2	67,66418877	0,58	68,2441888
30	3	101,4962832	0,58	102,076283
40	4	135,3283775	0,58	135,908378
50	5	169,1604719	0,58	169,740472
60	6	202,9925663	0,58	203,572566
70	7	236,8246607	0,58	237,404661
80	8	270,6567551	0,58	271,236755

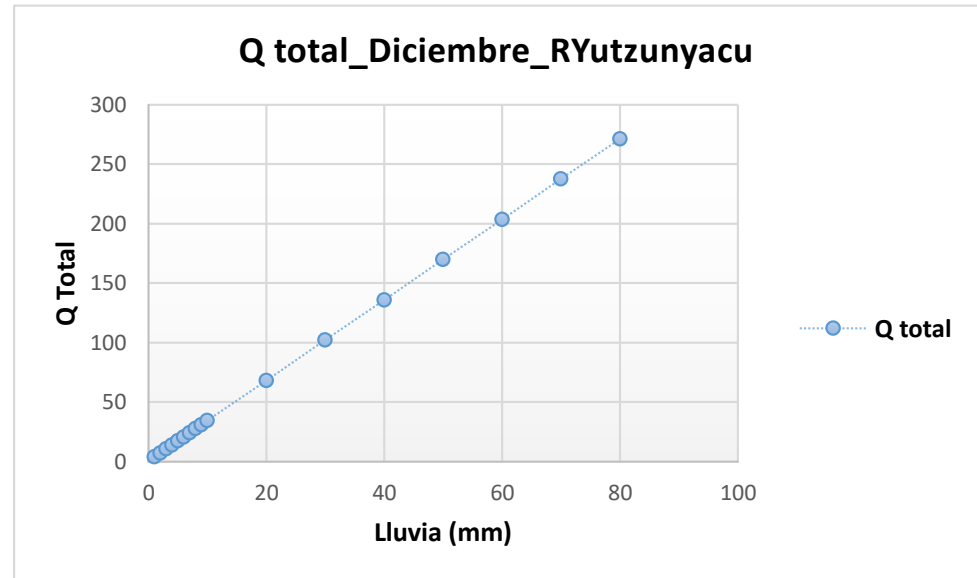


**Gráfico 24.** Proyección Caudal Total en el mes de Noviembre

## PROYECCIÓN - MES DE DICIEMBRE DEL RÍO YUTZUNYACU

**Tabla 27.** Proyección del Caudal Total en base a la cantidad de mm de precipitación registradas

Lluvia (mm)	Lluvia (cm)	Caudal en punta ( m <sup>3</sup> /s)	Gasto base ( m <sup>3</sup> /s)	Q total ( m <sup>3</sup> /s)
1	0,1	3,383209439	0,51	3,89320944
2	0,2	6,766418877	0,51	7,27641888
3	0,3	10,14962832	0,51	10,6596283
4	0,4	13,53283775	0,51	14,0428378
5	0,5	16,91604719	0,51	17,4260472
6	0,6	20,29925663	0,51	20,8092566
7	0,7	23,68246607	0,51	24,1924661
8	0,8	27,06567551	0,51	27,5756755
9	0,9	30,44888495	0,51	30,9588849
10	1	33,83209439	0,51	34,3420944
20	2	67,66418877	0,51	68,1741888
30	3	101,4962832	0,51	102,006283
40	4	135,3283775	0,51	135,838378
50	5	169,1604719	0,51	169,670472
60	6	202,9925663	0,51	203,502566
70	7	236,8246607	0,51	237,334661
80	8	270,6567551	0,51	271,166755

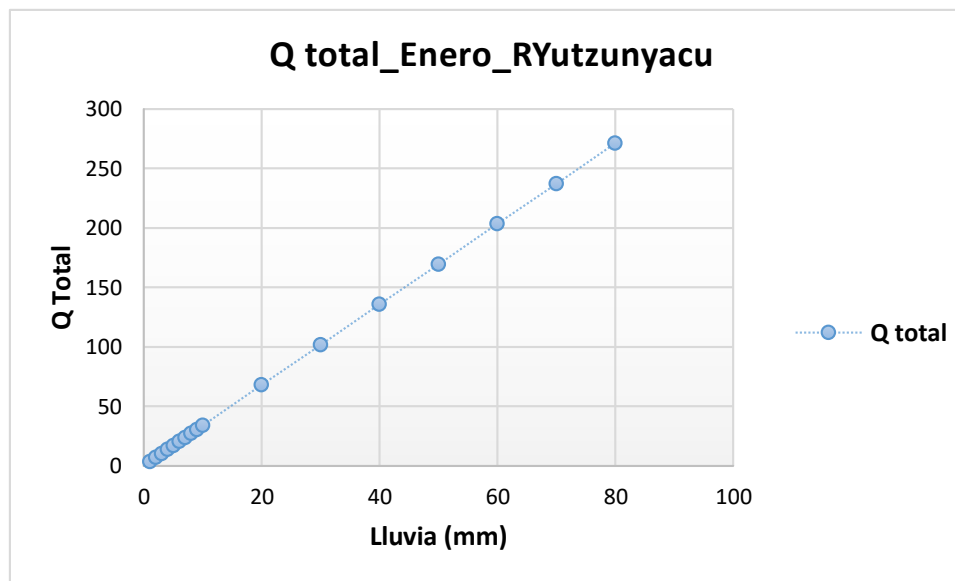


**Gráfico 25.** Proyección Caudal Total en el mes de Diciembre

## PROYECCIÓN - MES DE ENERO DEL RÍO YUTZUNYACU

**Tabla 28.** Proyección del Caudal Total en base a la cantidad de mm de precipitación registradas

Lluvia (mm)	Lluvia (cm)	Caudal en punta ( m <sup>3</sup> /s)	Gasto base ( m <sup>3</sup> /s)	Q total ( m <sup>3</sup> /s)
1	0,1	3,383209439	0,23	3,61320944
2	0,2	6,766418877	0,23	6,99641888
3	0,3	10,14962832	0,23	10,3796283
4	0,4	13,53283775	0,23	13,7628378
5	0,5	16,91604719	0,23	17,1460472
6	0,6	20,29925663	0,23	20,5292566
7	0,7	23,68246607	0,23	23,9124661
8	0,8	27,06567551	0,23	27,2956755
9	0,9	30,44888495	0,23	30,6788849
10	1	33,83209439	0,23	34,0620944
20	2	67,66418877	0,23	67,8941888
30	3	101,4962832	0,23	101,726283
40	4	135,3283775	0,23	135,558378
50	5	169,1604719	0,23	169,390472
60	6	202,9925663	0,23	203,222566
70	7	236,8246607	0,23	237,054661
80	8	270,6567551	0,23	270,886755



**Gráfico 26.** Proyección Caudal Total en el mes de Enero



## PROYECCIÓN DEL RÍO BRAVO Y RÍO YUTZUNYACU

La proyección resultante del río Bravo para dos años proporcionó un caudal total promedio de 216,41 m<sup>3</sup>/s con 60,46 mm de lluvia y para cinco años un caudal total promedio de 322,39 m<sup>3</sup>/s con 91,77 mm de lluvia (Ver gráfico 17). El río Yutzunyacu para dos años facilitó un caudal total promedio de 206,53 m<sup>3</sup>/s con 60,46 mm de lluvia y para cinco años un caudal total promedio de 308,03 m<sup>3</sup>/s con 91,77 mm de lluvia (Ver gráfico 18). Esto debido a los cambios hidrológicos constantes que azotan el área de estudio.

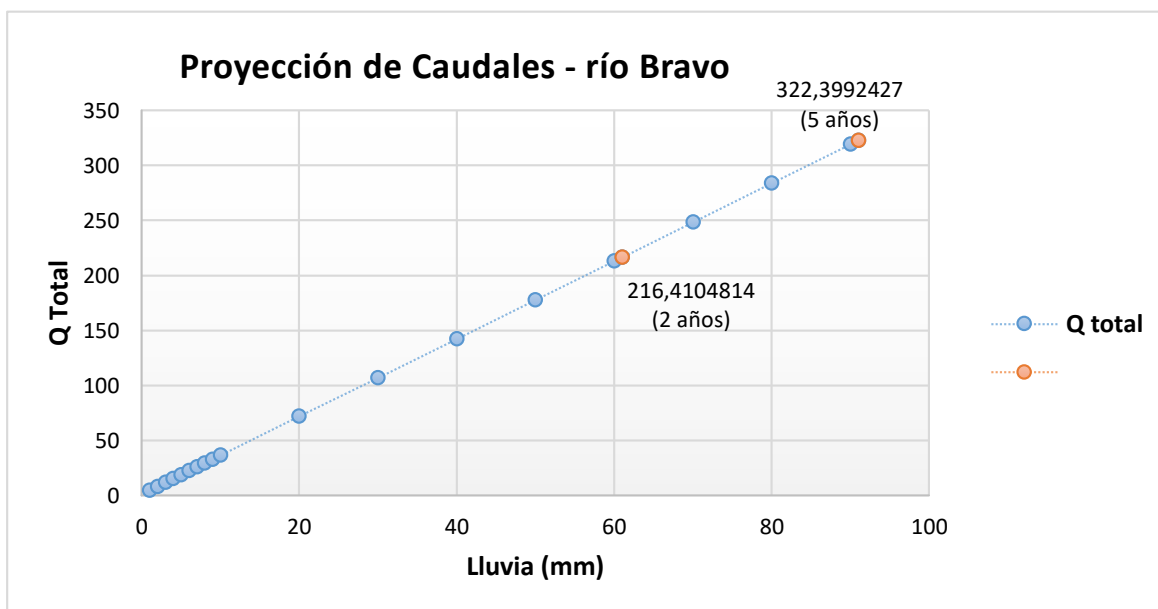


Gráfico 28. Proyección de Caudales en función de las lluvias presentadas de 2 y 5 años - río Bravo

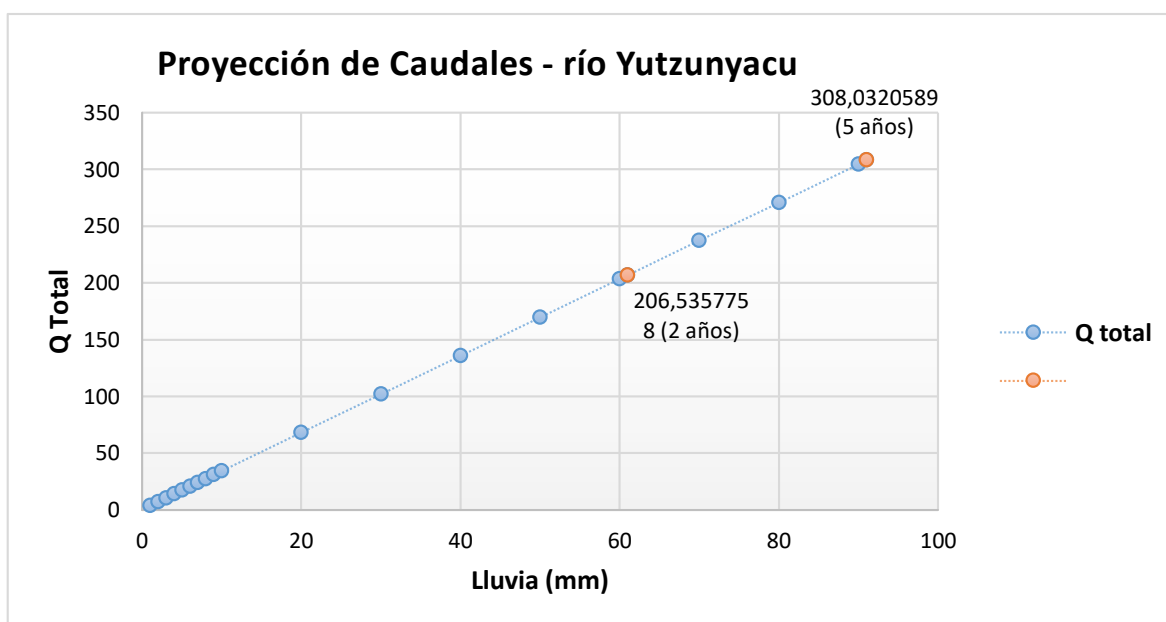


Gráfico 27. Proyección de Caudales en función de las lluvias presentadas de 2 y 5 años - río Yutzunyacu

#### 4.4.4. MODELAMIENTO HEC – HMS

Para la determinación del número de curva se utilizaron las tablas 3, 4 y 5 y figuras 4 y 5; la variación entre el número de curva de cada río se debe al tipo de suelo, la capacidad de infiltración y la precipitación cinco días previos (**Ver tablas 29 y 30**). El software HEC-HMS necesitó un historial de precipitación ya sea de uno a 50 años (mientras más datos de precipitación los cálculos son más confiables), se requirió de la pendiente, tiempo de concentración y gasto base de los meses analizados. Con todos los parámetros antes mencionados ya ingresados en el programa se prosiguió a correr la simulación con un tiempo de control que abarca los meses de agosto, septiembre, octubre, noviembre y diciembre; dando como resultado los hietogramas de diseño.

El caudal máximo registrado del río Bravo fue de 46,8 m<sup>3</sup>/s y con un volumen de precipitación de 3283,92 mm; y del río Yutzunyacu el caudal máximo fue de 42,6 m<sup>3</sup>/s y el volumen de precipitación de 1889,46 mm (**Ver gráficos 19 y 21**). En los hietogramas de diseño se grafica la precipitación y los caudales de los meses agosto, septiembre, octubre, noviembre y diciembre de 2017 y enero de 2018 (**Ver gráficos 20 y 22**).

**Tabla 29.** Condiciones para la determinación del número de curva del río Bravo

Tasa de infiltración más baja (mm/hora)	Tipo de suelo	Capacidad de Infiltración con Humedad Elevada	Clase de Condición Hidrológica	Condición Hidrológica	Precipitación (5 días previos)	Conversión Condición	NÚMERO DE CURVA
19	A	Alta	4	Buena	7,37	1	45

**Tabla 30.** Condiciones para la determinación del número de curva del río Yutzunyacu

Tasa de infiltración más baja (mm/hora)	Tipo de suelo	Capacidad de Infiltración con Humedad Elevada	Clase de Condición Hidrológica	Condición Hidrológica	Precipitación (5 días previos)	Conversión Condición	NÚMERO DE CURVA
7	B	Moderada	4	Buena	3,048	1	70

# RÍO BRAVO

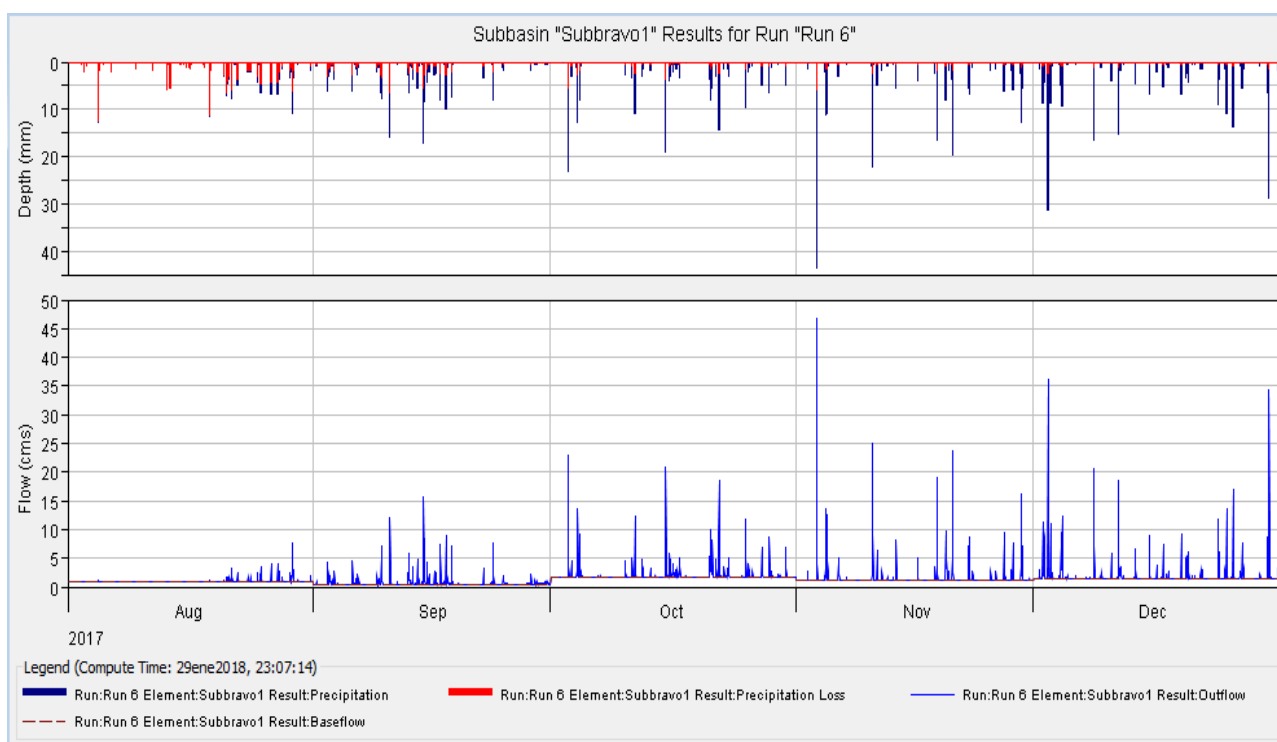
Project: Project 1 Simulation Run: Run 6

Start of Run: 01ago2017, 01:00 Basin Model: Bravo 1  
 End of Run: 31dic2017, 23:00 Meteorologic Model: lluvia2014-17  
 Compute Time: 29ene2018, 23:07:14 Control Specifications: Control 2 bravo

Show Elements: All Elements Volume Units:  M3  1000 M3 Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
Subbravo1	6	46,8	03nov2017, 15:00	3283,92

**Gráfico 29.** Caudal y volumen de precipitación total de la cuenca del río Bravo



**Gráfico 30.** Comportamiento del caudal en base a la lluvia registrada en los meses de agosto, septiembre, octubre, noviembre, diciembre del año 2017.

# RÍO YUTZUNYACU

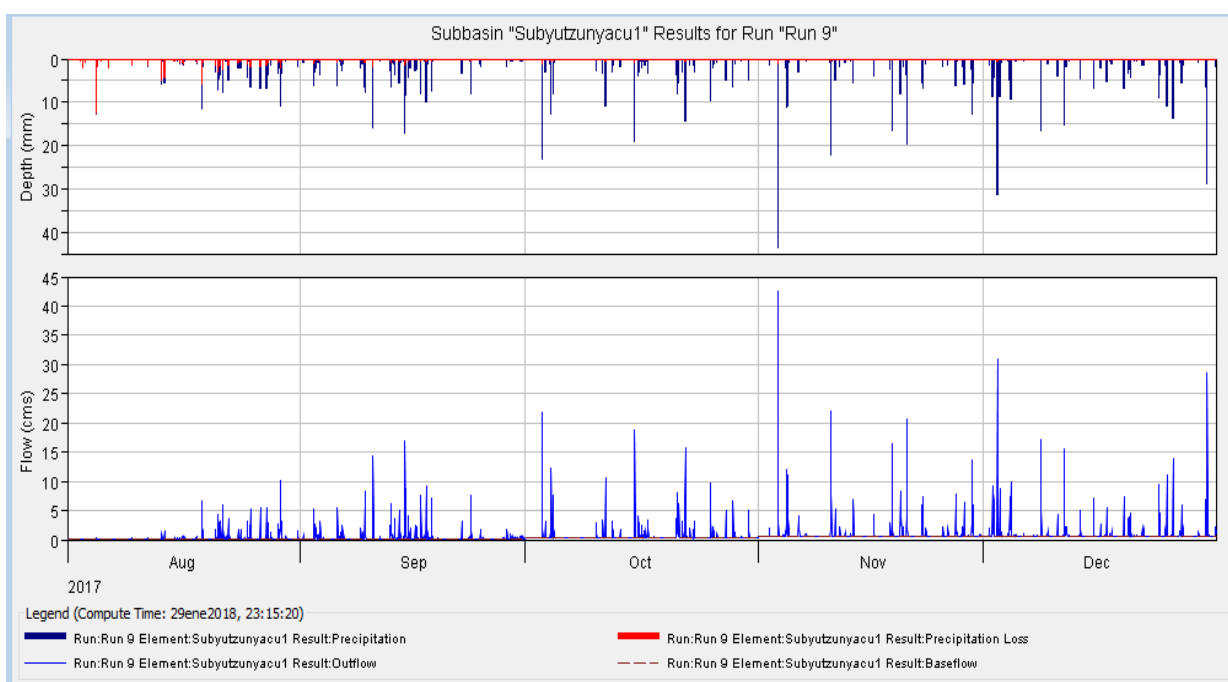
Project: Project 1 Simulation Run: Run 9

Start of Run: 01ago2017, 01:00 Basin Model: Yutzunyacu 1  
 End of Run: 31dic2017, 23:00 Meteorologic Model: lluvia2014-17  
 Compute Time: 29ene2018, 23:15:20 Control Specifications: Control 2 yutzunyacu\_ago-dic

Show Elements: All Elements Volume Units:  MM  1000 M3 Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
Subyutzunyacu1	4,77	42,6	03nov2017, 15:00	1889,46

**Gráfico 32.** Caudal y volumen de precipitación total de la cuenca del río Yutzunyacu



**Gráfico 31.** Comportamiento del caudal en base a la lluvia registrada en los meses de agosto, septiembre, octubre, noviembre, diciembre del año 2017.

## CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES

- ✓ En la zona que abarcan los tributarios Yutzunyacu y Bravo se encuentra el bosque tropical siempre verde oriental a una altura promedio de 1200 msnm, la pendiente es de 0,1 - 0,081, el coeficiente de compacidad 1,19 - 1,17 y abarcan un área de 4,77 km<sup>2</sup> - 6 km<sup>2</sup>; todos los datos respectivamente al orden antes mencionado.
- ✓ La precipitación acumulada de los meses de agosto, septiembre, octubre, noviembre y diciembre es de 1939,6 mm, mientras que la precipitación promedio diaria de los últimos cuatro años alcanzó los 7,02 mm. La precipitación máxima diaria registrada entre los meses que transcurrió el estudio fue de 89 mm el 2 de diciembre del 2017. Las proyecciones de la precipitación en la curva IDF a una hora para dos años es de 60,46 mm y cinco años será de 91,77mm.
- ✓ El gasto base máximo del río Yutzunyacu fue de 0,58 m<sup>3</sup>/s en el mes de noviembre del 2017 mientras que el gasto base mínimo se mantuvo en 0,13 m<sup>3</sup>/s en el mes de septiembre del 2017 y para el río Bravo el gasto base máximo fue de 1,90 m<sup>3</sup>/s en el mes de enero de 2018 y el mínimo fue de 0,48 m<sup>3</sup>/s en el mes de septiembre del 2017; todas estas variaciones del gasto base se deben a la variabilidad de precipitación.
- ✓ Los hidrogramas sintéticos se basan en la relación lluvia – Caudal punta, para proyectar el caudal Total con cada milímetro de precipitación; el caudal máximo total proyectado del río Yutzunyacu será de 271,24 m<sup>3</sup>/s con 80 mm de lluvia y del río Bravo el caudal total máximo será de 284,54 m<sup>3</sup>/s con 80 mm de lluvia. Los resultados obtenidos con el programa HEC – HMS indican que el 03 de Noviembre del 2017 el caudal pico de descarga fue 42,6 m<sup>3</sup>/s con un volumen de precipitación total de 1889,46 mm para el río Yutzunyacu y para el río Bravo el 03 de Noviembre del 2017 el caudal pico de descarga fue 46,8 m<sup>3</sup>/s con un volumen de precipitación total de 3283,92 mm.

## **RECOMENDACIONES**

- ❖ Se recomienda que este tipo de proyecto se realice en otros ríos de la ciudad de Puyo para poder prevenir futuros daños en la población.
- ❖ Completar el ciclo anual calendario para obtener resultados de los meses de febrero, marzo, abril, mayo, junio y julio para así realizar un modelamiento más preciso.
- ❖ Gestionar los datos de la estación meteorológica de la DAC SHELL con anticipación para la proyección de períodos de retorno a 10, 15, 20, 25, 30, 35 años.

## CAPÍTULO VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bacuilima, M., & Cedillo, P. (2012). Estudio hidrológico para el diseño de una obra de drenaje mayor. *Tesis de Pregrado*. Cuenca: Universidad de Cuenca. Obtenido de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/769/1/ti895.pdf>
- Bateman, A. (2007). *Hidrología Básica y Aplicada*. Madrid. Obtenido de <https://www.upct.es/~minaees/hidrologia.pdf>
- Becerra, R. (2007). Estudio del Régimen Pluviométrico de una cuenca empleando funciones ortogonales. México. Obtenido de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/1979/becerratoriano.pdf?sequence=1> (Acceso el 23/08/2017)
- Blanco Sepúlveda, R. (1999). El Infiltrómetro de Cilíndro Simple Como Método de Cálculo de la Conductividad Hidráulica de los Suelos. Málaga. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/95442.pdf>
- Breña, A., & Jacobo, M. (2006). *Principios y Fundamentos de la Hidrología Superficial*. México.
- Campos Aranda, D. (2010). *Introducción a la Hidrología urbana*. San Luis Potosí. Obtenido de <https://www.scribd.com/doc/190595860/Introduccion-a-la-hidrologia-urbana-Campos-Aranda>
- Campos Aranda, D. F. (2014). *Scielo.org*. Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/iit/v16n4/v16n4a5.pdf>
- Cañón Barriga, J. (2014). Modelamiento HEC - HMS. Colombia. Recuperado el 14 de Abril de 2017, de [http://ingenieria.udea.edu.co/~jecanon/hojadevidajecb\\_archivos/HTML/taller%20HEC-HMS/Taller.htm](http://ingenieria.udea.edu.co/~jecanon/hojadevidajecb_archivos/HTML/taller%20HEC-HMS/Taller.htm)
- CIMMYT. (2013). *Guía útil para comparar las prácticas de manejo de cultivo*. Obtenido de [file:///C:/Users/Carolina/Downloads/Didactic\\_material-SP-Protocols-2013-1.Infiltracion.pdf](file:///C:/Users/Carolina/Downloads/Didactic_material-SP-Protocols-2013-1.Infiltracion.pdf)

- EGRH. (2004). Orden de Corrientes. Obtenido de <http://personales.upv.es/~rperez/EGRH/2006/TransparenciasT1.pdf> (Acceso el 23/08/2017)
- Escuder, I., Matheu, E., & Castillo, J. (2010). *Análisis y Evaluación de Riesgos de Inundación: Estimación del Impacto de Medidas Estructurales y no Estructurales*. Obtenido de [http://www.ipresas.upv.es/docs/Ponencia\\_IE\\_EM\\_15O\\_Final\\_2010\\_10\\_05.pdf](http://www.ipresas.upv.es/docs/Ponencia_IE_EM_15O_Final_2010_10_05.pdf)
- Fattorelli, S., & Fernández, P. (2011). *Diseño Hidrológico* (Segunda ed.). Zaragoza.
- Fuentes Junco, J. A. (2004). *Análisis Morfométrico de Cuencas: Caso de Estudio del Parque Nacional Pico de Tancítaro*. México. Obtenido de [http://www.inecc.gob.mx/descargas/cuencas/morfometria\\_pico\\_tancitaro.pdf](http://www.inecc.gob.mx/descargas/cuencas/morfometria_pico_tancitaro.pdf)
- Fuentes, J. (2004). Análisis morfométrico de cuencas: caso de estudio del Parque Nacional Pico de Tancítaro. Obtenido de [http://www.inecc.gob.mx/descargas/cuencas/morfometria\\_pico\\_tancitaro.pdf](http://www.inecc.gob.mx/descargas/cuencas/morfometria_pico_tancitaro.pdf)
- GAD Cantón Mera. (2009). *Sistema físico ambiental*. Obtenido de <http://www.municipiomera.gob.ec/imagenes/PDYOT/Diagnostico.pdf>
- GADP Shell. (2015). *Sistema Nacional de Información*. Obtenido de SNI: [http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL\\_SNI/data\\_sigad\\_plus/sigadplusdiagnostico/1660012930001\\_DIAGNOSTICO%20PD%20yOT%20SHELL%202015\\_15-05-2015\\_15-07-49.pdf](http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdiagnostico/1660012930001_DIAGNOSTICO%20PD%20yOT%20SHELL%202015_15-05-2015_15-07-49.pdf)
- GADPPz. (2017). *Características climáticas de la parroquia Shell*. Obtenido de <http://www.pastaza.gob.ec/pastaza/shell> (Acceso el 20/09/2017)
- Guerra, G. (2009). Tipo de cuencas hidrográficas. Obtenido de <http://listencashidrograficas.blogspot.com/2009/06/tipos-de-cuencas-hidrograficas.html>
- Gutiérrez, J. (2007). *Topografía para las tropas*.
- Ibáñez, S., Moreno, H., & Gisbert, J. (2003). *Cuencas*. Obtenido de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/10779/Tiempo%20de%20concentraci%C3%B3n.pdf> (Acceso el 23/08/2017)



- Inec. (2010). *Estrategia territorial nacional*. Obtenido de <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/informacion-censal-cantonal/> (Acceso el 25/08/2017)
- Lema, M., & Plaza, V. (2009). Modelación hidrológica de la cuenca del río Pastaza. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1780/1/CD-2366.pdf>
- Martínez de Azagra, A., Mongil, J., & Del Río, J. (2003). *Pequeña Guía de Uso del Modelo MODIPÉ*. Obtenido de [www.oasificacion.com](http://www.oasificacion.com)
- Martínez, E. (2005). *Hidrología práctica*. Madrid: Colección Escuelas.
- Nanía, L., & Molero, E. (2007). *Modelamientos con HEC - RAS*. Recuperado el 14 de Abril de 2017, de [http://cemexico.groups.et.byu.net/vocabulary/ManualBasico\\_HEC-RAS313\\_HEC-GeoRAS311\\_Espanol.pdf](http://cemexico.groups.et.byu.net/vocabulary/ManualBasico_HEC-RAS313_HEC-GeoRAS311_Espanol.pdf) (Acceso el 13/08/2017)
- Pérez, G., & Rodríguez, A. (2009). *Apuntes de Hidrología Superficial*. Valencia.
- Pizarro, R., Sanguesa, C., Bro, P., Ingram, B., Vera, M., Vallejos, C., Morales, C., Olivares Valdés, R. (2013). *Curvas Intensidad Duración Frecuencia para las regiones Metropolitana, Maule y Biobio*. Maule: UNESCO.
- Rojas, R. (2009). *Universidad de los Andes*. Obtenido de <http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/rojas.r/manualhid.pdf>
- Rojo, J. (2010). Obtenido de [http://julianrojo.weebly.com/uploads/1/2/0/0/12008328/modelos\\_lluvia\\_escorrentia.pdf](http://julianrojo.weebly.com/uploads/1/2/0/0/12008328/modelos_lluvia_escorrentia.pdf)
- Sánchez, J. (2016). *Hidrología.usal*. Obtenido de [http://hidrologia.usal.es/temas/Hid\\_sup\\_3.pdf](http://hidrologia.usal.es/temas/Hid_sup_3.pdf)
- Secretaría de Gestión de Riesgos. (2014). <http://www.gestionderiesgos.gob.ec>. Obtenido de [http://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/04/Escenarios\\_ABRIL\\_Inundaci%C3%B3n\\_AMJ.pdf](http://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/04/Escenarios_ABRIL_Inundaci%C3%B3n_AMJ.pdf) (Acceso el 30/08/2017)
- Sucoshañay Villalba, D. J. (2016). *Ministerio de Educación Superior Universidad de la Habana Facultad de Geografía*. Obtenido de

file:///C:/Users/Carolina/Downloads/Propuesta%20para%20el%20ordenamiento%20-20Sucoshanay%20Villalba,%20Darwin%20Jav.pdf

Tolomeo, P. (s.f.). *UNAM*. Recuperado el Diciembre de 2017, de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/551/A4.pdf?sequence=4> (Acceso el 23/08/2017)

Villón, M. (2002). *Hidrología*. Costa Rica: MaxSoft.

Viramontes, O., Pinedo , C., Reyes , V., Muñoz , C., & Nuñez, D. (2002). *uaemex.mx*.  
Obtenido de [http://web.uaemex.mx/Red\\_Ambientales/docs/memorias/Extenso/CB/EO/CBO-09.pdf](http://web.uaemex.mx/Red_Ambientales/docs/memorias/Extenso/CB/EO/CBO-09.pdf)

ACTIVIDAD	MESES			
	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO
Revisión Bibliográfica	X			
Estructura del perfil de proyecto	X			
Salidas de campo	X	X	X	X
Identificación del problema	X			
Identificación de materiales y equipos	X	X		
Tabulación de datos			X	X
Procesamiento y análisis de datos en los programas				X
Revisión y culminación del proyecto				X

## CAPÍTULO VII. ANEXOS

### 7.1. ANEXO TABLAS

**Tabla 31.** Cronograma de Actividades

<b>1</b>	<b>Transporte</b>	<b>80</b>
<b>2</b>	<b>Material de oficina</b>	<b>50</b>
<b>3</b>	<b>Clinómetro o Distanciómetro</b>	<b>10</b>
<b>4</b>	<b>Cámara Fotográfica</b>	<b>250</b>
<b>5</b>	<b>GPS</b>	<b>10</b>
<b>6</b>	<b>GPS de precisión</b>	<b>150</b>
	<b>TOTAL</b>	<b>550</b>

**Tabla 33.** Valores del coeficiente n de rugosidad de Manning

<b>a) Canales sin vegetación</b>	<b>n</b>
Sección transversal uniforme, alineación regular sin guijarros ni vegetación, en suelos sedimentarios finos	0,016
Sección transversal uniforme, alineación regular, sin guijarros ni vegetación, con suelos de arcilla duros u horizontes endurecidos	0,018
Sección transversal uniforme, alineación regular, con pocos guijarros, escasa vegetación, en tierra franca arcillosa	0,020
Pequeñas variaciones en la sección transversal, alineación bastante regular, pocas piedras, hierba fina en las orillas, en suelos arenosos y arcillosos, y también en canales recién limpiados y rastrillados	0,0225
Alineación irregular, con ondulaciones en el fondo, en suelo de grava o esquistos arcillosos, con orillas irregulares o vegetación	0,025
Sección transversal y alineación irregulares, rocas dispersas y grava suelta en el fondo, o con considerable vegetación en los márgenes inclinados, o en un material de grava de hasta 150 mm de diámetro	0,030
Canales irregulares erosionados, o canales abiertos en la roca	0,030
(b) Canales con vegetación	
Gramíneas cortas (50-150 mm)	0,030-0,060
Gramíneas medias (150-250 mm)	0,030-0,085
Gramíneas largas (250-600 mm)	0,040-0,150
(c) Canales de corriente natural	
Limpios y rectos	0,025-0,030
Sinuosos, con embalses y bajos	0,033-0,040
Con muchas hierbas altas, sinuosos	0,075-0,150

**Fuente.** Campos (2010)

**Tabla 34.** Valores de "yT" para distintos períodos de retorno T

T	2	5	10	25	30	50	75	100	250	500
y <sub>T</sub>	0.36651	1.49994	2.25037	3.19853	3.38429	3.90194	4.31078	4.60015	5.5194	6.2136

**Tabla 35.** Valores de "yn" y "Sn" según número de observaciones de retorno T

Nºdatos	yn	Sn	Nºdatos	yn	Sn	Nºdatos	yn	Sn
1	0,366	0,00000	35	0,54	1,12847	69	0,55453	1,18440
2	0,404	0,49838	36	0,54	1,13126	70	0,55477	1,18535
3	0,428	0,64348	37	0,54	1,13394	71	0,55500	1,18629
4	0,445	0,73147	38	0,54	1,13650	72	0,55523	1,18720
5	0,458	0,79278	39	0,54	1,13896	73	0,55546	1,18809
6	0,469	0,83877	40	0,54	1,14131	74	0,55567	1,18896
7	0,477	0,87493	41	0,54	1,14358	75	0,55589	1,18982
8	0,484	0,90432	42	0,54	1,14576	76	0,55610	1,19065
9	0,490	0,92882	43	0,54	1,14787	77	0,55630	1,19147
10	0,495	0,94963	44	0,54	1,14989	78	0,55650	1,19227
11	0,499	0,96758	45	0,54	1,15184	79	0,55669	1,19306
12	0,503	0,98327	46	0,54	1,15373	80	0,55689	1,19382
13	0,506	0,99713	47	0,54	1,15555	81	0,55707	1,19458
14	0,510	1,00948	48	0,54	1,15731	82	0,55726	1,19531
15	0,512	1,02057	49	0,54	1,15901	83	0,55744	1,19604
16	0,515	1,03060	50	0,54	1,16066	84	0,55761	1,19675
17	0,517	1,03973	51	0,54	1,16226	85	0,55779	1,19744
18	0,519	1,04808	52	0,54	1,16380	86	0,55796	1,19813
19	0,521	1,05575	53	0,54	1,16530	87	0,55812	1,19880
20	0,523	1,06282	54	0,55	1,16676	88	0,55828	1,19945
21	0,525	1,06938	55	0,55	1,16817	89	0,55844	1,20010
22	0,526	1,07547	56	0,55	1,16955	90	0,55860	1,20073
23	0,528	1,08115	57	0,55	1,17088	91	0,55876	1,20135
24	0,529	1,08646	58	0,55	1,17218	92	0,55891	1,20196
25	0,530	1,09145	59	0,55	1,17344	93	0,55905	1,20256
26	0,532	1,09613	60	0,55	1,17467	94	0,55920	1,20315
27	0,533	1,10054	61	0,55	1,17586	95	0,55934	1,20373
28	0,534	1,10470	62	0,55	1,17702	96	0,55948	1,20430
29	0,535	1,10864	63	0,55	1,17816	97	0,55962	1,20486
30	0,536	1,11237	64	0,55	1,17926	98	0,55976	1,20541
31	0,537	1,11592	65	0,55	1,18034	99	0,55989	1,20596
32	0,537	1,11929	66	0,55	1,18139	100	0,56002	1,20649
33	0,538	1,12249	67	0,55	1,18242	101	0,56015	1,20701
34	0,539	1,12555	68	0,55	1,18342			

**Tabla 36.** Prueba de infiltración Río Yutzunyacú Punto 1

PUNTO ALTO #1 LADO IZQUIERDO (SUBIDA)								
LECTURA N°	HORA	INTERVALO DE TIEMPO (min)	TIEMPO ACUMULADO (min)	LECTURAS PARCIALES (cm)	INFILTRACIÓN PARCIAL (min)	INFILTRACIÓN ACUMULADA (cm)	VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN (IA/Ta)	VELOCIDAD CONSTANTE DE INFILTRACIÓN
1	10:35	0	0	14	0	0	0	
2	10:36	1	1	13,9	0,1	0,1	0,1	
3	10:37	1	2	13,9	0	0,1	0,05	0,5
4	10:38	1	3	13,8	0,1	0,2	0,067	1,333333333
5	10:39	1	4	13,8	0	0,2	0,05	0,75
6	10:40	1	5	13,8	0	0,2	0,04	0,8
7	10:45	5	10	13,8	0	0,2	0,02	0,5
8	10:50	5	15	13,7	0,1	0,3	0,02	1
9	10:55	5	20	13,7	0	0,3	0,015	0,75
10	11:00	5	25	13,6	0,1	0,4	0,016	1,066666667
11	11:05	5	30	13,6	0	0,4	0,0133	0,833333333
12	11:15	10	40	13,5	0,1	0,5	0,013	0,9375
13	11:25	10	50	13,4	0,1	0,6	0,012	0,96
14	11:35	10	60	13,3	0,1	0,7	0,012	0,972222222
15	11:50	15	75	13,1	0,2	0,9	0,012	1,028571429
16	12:05	15	90	12,9	0,2	1,1	0,012	1,018518519
17	12:20	15	105	12,8	0,1	1,2	0,011	0,935064935
18	12:35	15	120	12,6	0,2	1,4	0,012	1,020833333

**Fuente.** Autores

**Tabla 37.** Prueba de infiltración Río Yutzunyacu Punto 1

PUNTO ALTO #1 LADO DERECHO (SUBIDA)								
LECTURA N°	HORA	INTERVALO DE TIEMPO (min)	TIEMPO ACUMULADO (min)	LECTURAS PARCIALES (cm)	INFILTRACIÓN PARCIAL (min)	INFILTRACIÓN ACUMULADA (cm)	VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN (IA/Ta)	VELOCIDAD CONSTANTE DE INFILTRACIÓN
1	10:44	0	0	14	0	0	0	
2	10:45	1	1	13	1	1	1	
3	10:46	1	2	12,5	0,5	1,5	0,75	0,75
4	10:47	1	3	11,9	0,6	2,1	0,7	0,933333333
5	10:48	1	4	11,8	0,1	2,2	0,55	0,785714286
6	10:49	1	5	11,6	0,2	2,4	0,48	0,872727273
7	10:54	5	10	11,3	0,3	2,7	0,27	0,5625
8	10:59	5	15	9,9	1,4	4,1	0,273	1,012345679
9	11:04	5	20	8,8	1,1	5,2	0,26	0,951219512
10	11:09	5	25	7,9	0,9	6,1	0,244	0,938461538
11	11:14	5	30	7,5	0,4	6,5	0,217	0,887978142
12	11:24	10	40	6,3	1,2	7,7	0,193	0,888461538
13	11:34	10	50	4,7	1,6	9,3	0,186	0,966233766
14	11:44	10	60	3,8	0,9	10,2	0,17	0,913978495
14	11:44	0	60	15	0	10,2	0,17	1
15	11:59	15	75	12,4	2,6	12,8	0,171	1,003921569
16	12:14	15	90	9,8	2,6	15,4	0,171	1,002604167
17	12:29	15	105	7,5	2,3	17,7	0,169	0,985157699
18	12:44	15	120	6,1	1,4	19,1	0,159	0,94420904

**Fuente.** Autores

**Tabla 38.** Prueba de infiltración Río Yutzunyacu Punto 2

PUNTO MEDIO #2 LADO IZQUIERDO (SUBIDA)								
LECTURA N°	HORA	INTERVALO DE TIEMPO (min)	TIEMPO ACUMULADO (min)	LECTURAS PARCIALES (cm)	INFILTRACIÓN PARCIAL (min)	INFILTRACIÓN ACUMULADA (cm)	VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN (IA/Ta)	VELOCIDAD CONSTANTE DE INFILTRACIÓN
1	9:26	0	0	20	0	0	0	
2	9:27	1	1	17,4	2,6	2,6	2,6	
3	9:28	1	2	16,6	0,8	3,4	1,7	0,653846154
4	9:29	1	3	15,9	0,7	4,1	1,37	0,803921569
5	9:30	1	4	15,6	0,3	4,4	1,1	0,804878049
6	9:31	1	5	15,4	0,2	4,6	0,92	0,836363636
7	9:36	5	10	14,3	1,1	5,7	0,57	0,619565217
8	9:41	5	15	13,7	0,6	6,3	0,42	0,736842105
9	9:46	5	20	13,3	0,4	6,7	0,335	0,797619048
10	9:51	5	25	12,6	0,7	7,4	0,296	0,88358209
11	9:56	5	30	12,2	0,4	7,8	0,26	0,878378378
12	10:06	10	40	11,7	0,5	8,3	0,208	0,798076923
13	10:16	10	50	11,1	0,6	8,9	0,178	0,857831325
14	10:26	10	60	10,2	0,9	9,8	0,163	0,917602996
15	10:41	15	75	10	0,2	10	0,133	0,816326531
16	10:56	15	90	9,3	0,7	10,7	0,119	0,891666667
17	11:11	15	105	8,7	0,6	11,3	0,108	0,905206943
18	11:26	15	120	8,2	0,5	11,8	0,098	0,913716814

**Fuente.** Autores



**Tabla 39.** Prueba de infiltración Río Yutzunyacu Punto 2

PUNTO MEDIO #2 LADO DERECHO (SUBIDA)								
LECTURA N°	HORA	INTERVALO DE TIEMPO (min)	TIEMPO ACUMULADO (min)	LECTURAS PARCIALES (cm)	INFILTRACIÓN PARCIAL (min)	INFILTRACIÓN ACUMULADA (cm)	VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN (IA/Ta)	VELOCIDAD CONSTANTE DE INFILTRACIÓN
1	11:35	0	0	20	0	0	0	
2	11:36	1	1	17,7	2,3	2,3	2,3	
3	11:37	1	2	16,6	1,1	3,4	1,7	0,739130435
4	11:37	1	3	15,4	1,2	4,6	1,533	0,901960784
5	11:39	1	4	15	0,4	5	1,25	0,815217391
6	11:40	1	5	13	2	7	1,4	1,12
7	11:45	5	10	10,9	2,1	9,1	0,91	0,65
8	11:50	5	15	9,2	1,7	10,8	0,72	0,791208791
9	11:55	5	20	7,7	1,5	12,3	0,615	0,854166667
10	12:00	5	25	6,5	1,2	13,5	0,54	0,87804878
10	12:00	0	25	20	0	13,5	0,54	1
11	12:05	5	30	17,6	2,4	15,9	0,53	0,981481481
12	12:15	10	40	12,9	4,7	20,6	0,515	0,971698113
13	12:25	10	50	9,7	3,2	23,8	0,476	0,924271845
14	12:35	10	60	7,4	2,3	26,1	0,435	0,913865546
14	12:35	0	60	20	0	26,1	0,435	1
15	12:50	15	75	12,4	7,6	33,7	0,449	1,032950192
16	13:05	15	90	8	4,4	38,1	0,423	0,942136499
16	12:50	0	90	20	0	38,1	0,423	1
17	13:20	15	105	13,9	6,1	44,2	0,421	0,994375703
18	13:35	15	120	10,4	3,5	47,7	0,398	0,94428733

**Fuente.** Autores

**Tabla 40.** Prueba de infiltración Río Yutzunyacu Punto 3

PUNTO BAJO #3 LADO IZQUIERDO (SUBIDA)								
LECTURA N°	HORA	INTERVALO DE TIEMPO (min)	TIEMPO ACUMULADO (min)	LECTURAS PARCIALES (cm)	INFILTRACIÓN PARCIAL (min)	INFILTRACIÓN ACUMULADA (cm)	VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN (IA/Ta)	VELOCIDAD CONSTANTE DE INFILTRACIÓN
1	13:55	0	0	15	0	0	0	
2	13:56	1	1	12,3	2,7	2,7	2,7	
3	13:57	1	2	11,4	0,9	3,6	1,8	0,666666667
4	13:58	1	3	10,5	0,9	4,5	1,5	0,833333333
5	13:59	1	4	9,8	0,7	5,2	1,3	0,866666667
6	14:00	1	5	8,8	1	6,2	1,24	0,953846154
7	14:05	5	10	6,1	2,7	8,9	0,89	0,717741935
8	14:10	5	15	4	2,1	11	0,733	0,823970037
8	14:10	0	15	15	0	11	0,733	1
9	14:15	5	20	13,4	1,6	12,6	0,630	0,859090909
10	14:20	5	25	12,3	1,1	13,7	0,548	0,86984127
11	14:25	5	30	10	2,3	16	0,533	0,97323601
12	14:35	10	40	8,4	1,6	17,6	0,440	0,825
13	14:45	10	50	6,8	1,6	19,2	0,384	0,872727273
14	14:55	10	60	5,8	1	20,2	0,337	0,876736111
15	15:10	15	75	4,5	1,3	21,5	0,287	0,851485149
15	15:10	0	75	15	0	21,5	0,287	1
16	15:25	15	90	11,2	3,8	25,3	0,281	0,980620155
17	15:40	15	105	8	3,2	28,5	0,271	0,965556183
18	15:55	15	120	7,2	0,8	29,3	0,244	0,899561404

**Fuente.** Autores

**Tabla 41.** Prueba de infiltración Río Yutzunyacu Punto 3

PUNTO BAJO #3 LADO DERECHO (SUBIDA)								
LECTURA N°	HORA	INTERVALO DE TIEMPO (min)	TIEMPO ACUMULADO (min)	LECTURAS PARCIALES (cm)	INFILTRACIÓN PARCIAL (min)	INFILTRACIÓN ACUMULADA (cm)	VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN (IA/Ta)	VELOCIDAD CONSTANTE DE INFILTRACIÓN
1	13:57	0	0	15	0	0	0	
2	13:58	1	1	14	1	1	1	
3	13:59	1	2	13,1	0,9	1,9	0,95	0,95
4	14:00	1	3	12,5	0,6	2,5	0,833	0,877192982
5	14:01	1	4	11,9	0,6	3,1	0,775	0,93
6	14:02	1	5	11,3	0,6	3,7	0,74	0,95483871
7	14:07	5	10	8,5	2,8	6,5	0,65	0,878378378
8	14:12	5	15	6,3	2,2	8,7	0,58	0,892307692
8	14:12	0	15	15	0	8,7	0,58	1
9	14:17	5	20	14,4	0,6	9,3	0,465	0,801724138
10	14:22	5	25	13,7	0,7	10	0,4	0,860215054
11	14:27	5	30	12,9	0,8	10,8	0,36	0,9
12	14:37	10	40	12,3	0,6	11,4	0,285	0,791666667
13	14:47	10	50	11,3	1	12,4	0,248	0,870175439
14	14:57	10	60	10,9	0,4	12,8	0,213	0,860215054
15	15:12	15	75	9,9	1	13,8	0,184	0,8625
16	15:27	15	90	9	0,9	14,7	0,163	0,887681159
17	15:42	15	105	8,4	0,6	15,3	0,146	0,89212828
18	15:57	15	120	7,5	0,9	16,2	0,135	0,926470588

**Fuente.** Autores

**Tabla 42.** Prueba de infiltración Río Bravo Punto 1

PUNTO ALTO # 1 LADO IZQUIERDO (SUBIDA)								
LECTURA N°	HORA	INTERVALO DE TIEMPO (min)	TIEMPO ACUMULADO (min)	LECTURAS PARCIALES (cm)	INFILTRACIÓN PARCIAL (min)	INFILTRACIÓN ACUMULADA (cm)	VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN (IA/Ta)	VELOCIDAD CONSTANTE DE INFILTRACIÓN
0	12:27	0	0	15	0	0	0	
1	12:28	1	1	14,3	0,7	0,7	0,7	
2	12:29	1	2	14	0,3	1	0,5	0,714285714
3	12:30	1	3	13,9	0,1	1,1	0,367	0,733333333
4	12:31	1	4	13,4	0,5	1,6	0,4	1,090909091
5	12:36	1	5	13	0,4	2	0,4	1
6	12:41	5	10	11,7	1,3	3,3	0,33	0,825
7	12:46	5	15	10,5	1,2	4,5	0,3	0,909090909
8	12:51	5	20	9,3	1,2	5,7	0,285	0,95
9	12:56	5	25	8,3	1	6,7	0,268	0,940350877
10	13:01	5	30	7,2	1,1	7,8	0,26	0,970149254
11	13:11	10	40	5,3	1,9	9,7	0,243	0,932692308
11	13:11	0	40	15	0	9,7	0,243	1
12	13:21	10	50	13	2	11,7	0,234	0,964948454
13	13:31	10	60	11,2	1,8	13,5	0,225	0,961538462
14	13:46	15	75	9	2,2	15,7	0,209	0,93037037
15	14:01	15	90	7,1	1,9	17,6	0,196	0,93418259
16	14:16	15	105	5	2,1	19,7	0,188	0,959415584
17	14:31	15	120	3,2	1,8	21,5	0,179	0,954949239

Fuente. Autores

**Tabla 43.** Prueba de infiltración Río Bravo Punto 1

PUNTO ALTO # 1 LADO DERECHO (SUBIDA)								
LECTURA N°	HORA	INTERVALO DE TIEMPO (min)	TIEMPO ACUMULADO (min)	LECTURAS PARCIALES (cm)	INFILTRACIÓN PARCIAL (min)	INFILTRACIÓN ACUMULADA (cm)	VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN (IA/Ta)	VELOCIDAD CONSTANTE DE INFILTRACIÓN
0	12:27	0	0	15	0	0	0	
1	12:28	1	1	12	3	3	3	
2	12:29	1	2	11,6	0,4	3,4	1,7	0,566666667
3	12:30	1	3	11,3	0,3	3,7	1,233	0,725490196
4	12:31	1	4	10,7	0,6	4,3	1,075	0,871621622
5	12:36	1	5	10,3	0,4	4,7	0,94	0,874418605
6	12:41	5	10	8,3	2	6,7	0,67	0,712765957
7	12:46	5	15	6,5	1,8	8,5	0,567	0,845771144
8	12:51	5	20	5,1	1,4	9,9	0,495	0,873529412
9	12:56	5	25	3,5	1,6	11,5	0,46	0,929292929
10	13:01	5	30	2,2	1,3	12,8	0,427	0,927536232
10	13:01	0	30	15	0	12,8	0,427	1
11	13:11	10	40	7,9	7,1	19,9	0,498	1,166015625
12	13:21	10	50	3,7	4,2	24,1	0,482	0,968844221
12	13:21	0	50	15	0	24,1	0,482	1
13	13:31	10	60	7,9	7,1	31,2	0,52	1,078838174
14	13:46	15	75	4,1	3,8	35	0,467	0,897435897
14	13:46	0	75	15	0	35	0,467	1
15	14:01	15	90	7,8	7,2	42,2	0,469	1,004761905
16	14:16	15	105	4	3,8	46	0,438	0,934326337
16	14:16	0	105	15	0	46	0,438	1
17	14:31	15	120	6,9	8,1	54,1	0,451	1,029076087

**Fuente.** Autores

**Tabla 44.** Prueba de infiltración Río Bravo Punto 2

PUNTO MEDIO # 2 LADO IZQUIERDO (SUBIDA)								
LECTURA N°	HORA	INTERVALO DE TIEMPO (min)	TIEMPO ACUMULADO (min)	LECTURAS PARCIALES (cm)	INFILTRACIÓN PARCIAL (min)	INFILTRACIÓN ACUMULADA (cm)	VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN (IA/Ta)	VELOCIDAD CONSTANTE DE INFILTRACIÓN
0	10:10	0	0	15,5	0	0	0	
1	10:11	1	1	12,8	2,7	2,7	2,7	
2	10:12	1	2	12	0,8	3,5	1,75	0,648148148
3	10:13	1	3	11,3	0,7	4,2	1,4	0,8
4	10:14	1	4	10,8	0,5	4,7	1,175	0,839285714
5	10:15	1	5	10,2	0,6	5,3	1,06	0,90212766
6	10:20	5	10	8,1	2,1	7,4	0,74	0,698113208
7	10:25	5	15	5,9	2,2	9,6	0,64	0,864864865
8	10:30	5	20	3,8	2,1	11,7	0,585	0,9140625
8	10:30	0	20	15	0	11,7	0,585	1
9	10:35	5	25	11,4	3,6	15,3	0,612	1,046153846
10	10:40	5	30	8,5	2,9	18,2	0,607	0,991285403
11	10:50	10	40	4,2	4,3	22,5	0,5625	0,927197802
11	10:50	0	40	15	0	22,5	0,5625	1
12	11:00	10	50	8,9	6,1	28,6	0,572	1,016888889
13	11:10	10	60	4,9	4	32,6	0,543	0,94988345
13	11:10	0	60	15	0	32,6	0,543	1
14	11:25	15	75	8,8	6,2	38,8	0,517	0,952147239
15	11:40	15	90	1	7,8	46,6	0,518	1,000859107
15	11:40	0	90	15	0	46,6	0,518	1
16	11:55	15	105	9	6	52,6	0,501	0,967504598
17	12:10	15	120	4,5	4,5	57,1	0,476	0,949857414

**Fuente.** Autores

**Tabla 45.** Prueba de infiltración Río Bravo Punto 2

PUNTO MEDIO # 2 LADO DERECHO (SUBIDA)								
LECTURA N°	HORA	INTERVALO DE TIEMPO (min)	TIEMPO ACUMULADO (min)	LECTURAS PARCIALES (cm)	INFILTRACIÓN PARCIAL (min)	INFILTRACIÓN ACUMULADA (cm)	VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN (IA/Ta)	VELOCIDAD CONSTANTE DE INFILTRACIÓN
0	10:10	0	0	15	0	0	0	
1	10:11	1	1	11	4	4	4	
2	10:12	1	2	8,8	2,2	6,2	3,1	0,775
3	10:13	1	3	7	1,8	8	2,667	0,860215054
4	10:14	1	4	5,4	1,6	9,6	2,4	0,9
5	10:15	1	5	4	1,4	11	2,2	0,916666667
5	10:15	0	5	15	0	11	2,2	1
6	10:20	5	10	6,5	8,5	19,5	1,95	0,886363636
6	10:20	0	10	15	0	19,5	1,95	1
7	10:25	5	15	8,4	6,6	26,1	1,74	0,892307692
8	10:30	5	20	3,2	5,2	31,3	1,565	0,899425287
8	10:30	0	20	15	0	31,3	1,565	1
9	10:35	5	25	8,7	6,3	37,6	1,504	0,961022364
10	10:40	5	30	3,7	5	42,6	1,42	0,944148936
10	10:40	0	30	15	0	42,6	1,42	1
11	10:50	10	40	2	13	55,6	1,39	0,978873239
11	10:50	0	40	15	0	55,6	1,39	1
12	11:00	10	50	1,8	13,2	68,8	1,376	0,989928058
12	11:00	0	50	15	0	68,8	1,376	1
13	11:10	10	60	3,9	11,1	79,9	1,332	0,967781008
13	11:10	0	60	15	0	79,9	1,332	1
14	11:25	15	75	1,5	13,5	93,4	1,245	0,935168961
14	11:25	0	75	15	0	93,4	1,245	1
15	11:40	15	90	11,8	3,2	96,6	1,073	0,861884368
15	11:40	0	90	15	0	96,6	1,073	1
16	11:55	15	105	8	7	103,6	0,987	0,919254658
16	11:55	0	105	15	0	103,6	0,987	1

17	12:10	15	120	2,4	12,6	116,2	0,968	0,981418919
----	-------	----	-----	-----	------	-------	-------	-------------

**Fuente.** Autores



**Tabla 46.** Prueba de infiltración Río Bravo Punto 3

PUNTO BAJO # 3 LADO IZQUIERDO (SUBIDA)								
LECTURA N°	HORA	INTERVALO DE TIEMPO (min)	TIEMPO ACUMULADO (min)	LECTURAS PARCIALES (cm)	INFILTRACIÓN PARCIAL (min)	INFILTRACIÓN ACUMULADA (cm)	VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN (IA/Ta)	VELOCIDAD CONSTANTE DE INFILTRACIÓN
0	13:00	0	0	15	0	0	0	
1	13:01	1	1	11,2	3,8	3,8	3,8	
2	13:02	1	2	7,5	3,7	7,5	3,75	0,986842105
3	13:03	1	3	5,3	2,2	9,7	3,233	0,862222222
4	13:04	1	4	3	2,3	12	3	0,927835052
4	13:04	0	4	15	0	12	3	1
5	13:05	1	5	14	1	13	2,6	0,866666667
6	13:10	5	10	8,9	5,1	18,1	1,81	0,696153846
7	13:15	5	15	5,9	3	21,1	1,407	0,777163904
8	13:20	5	20	3,8	2,1	23,2	1,16	0,82464455
8	13:20	0	20	16	0	23,2	1,16	1
9	13:25	5	25	11,9	4,1	27,3	1,092	0,94137931
10	13:30	5	30	9	2,9	30,2	1,007	0,921855922
11	13:40	10	40	4,4	4,6	34,8	0,87	0,864238411
12	13:50	10	50	1	3,4	38,2	0,764	0,87816092
12	13:50	0	50	15	0	38,2	0,764	1
13	14:00	10	60	9,4	5,6	43,8	0,73	0,955497382
14	14:15	15	75	4	5,4	49,2	0,656	0,898630137
14	14:15	0	75	15	0	49,2	0,656	1
15	14:30	15	90	9,1	5,9	55,1	0,612	0,933265583
16	14:45	15	105	4,8	4,3	59,4	0,566	0,924034223
17	15:00	15	120	0,3	4,5	63,9	0,533	0,941287879

**Fuente.** Autores

**Tabla 47.** Prueba de infiltración Río Bravo Punto 3

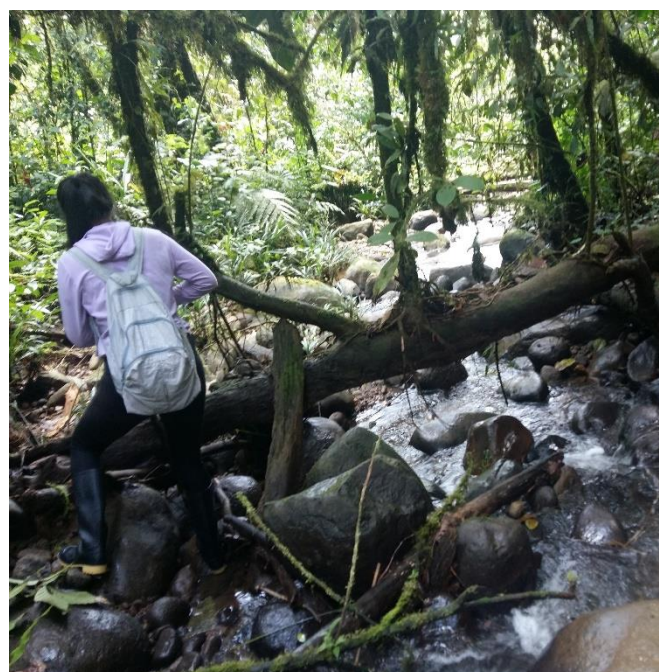
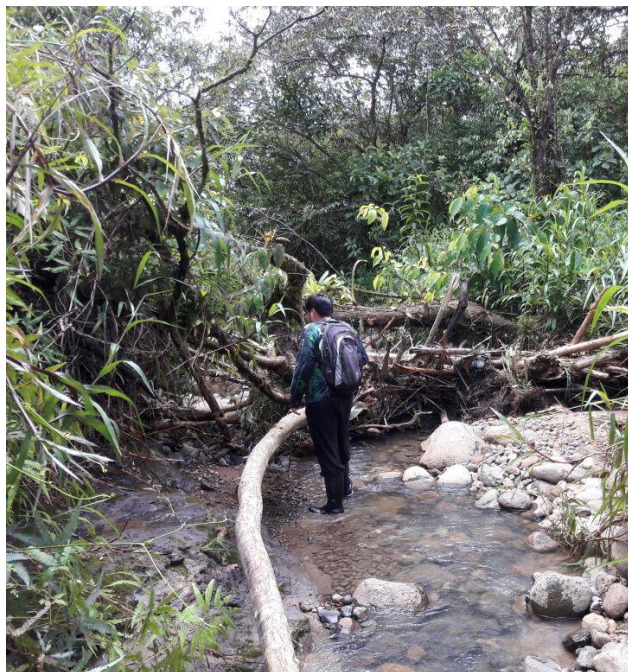
PUNTO BAJO # 3 LADO DERECHO (SUBIDA)								
LECTURA N°	HORA	INTERVALO DE TIEMPO (min)	TIEMPO ACUMULADO (min)	LECTURAS PARCIALES (cm)	INFILTRACIÓN PARCIAL (min)	INFILTRACIÓN ACUMULADA (cm)	VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN (IA/Ta)	VELOCIDAD CONSTANTE DE INFILTRACIÓN
0	13:00	0	0	15	0	0	0	
1	13:01	1	1	14,5	0,5	0,5	0,5	
2	13:02	1	2	14,4	0,1	0,6	0,3	0,6
3	13:03	1	3	14,4	0	0,6	0,2	0,666666667
4	13:04	1	4	14,4	0	0,6	0,15	0,75
5	13:05	1	5	14,4	0	0,6	0,12	0,8
6	13:10	5	10	14,3	0,1	0,7	0,07	0,583333333
7	13:15	5	15	14,2	0,1	0,8	0,053	0,761904762
8	13:20	5	20	14	0,2	1	0,05	0,9375
9	13:25	5	25	13,9	0,1	1,1	0,044	0,88
10	13:30	5	30	13,8	0,1	1,2	0,04	0,909090909
11	13:40	10	40	13,6	0,2	1,4	0,035	0,875
12	13:50	10	50	13,4	0,2	1,6	0,032	0,914285714
13	14:00	10	60	13,1	0,3	1,9	0,0317	0,989583333
14	14:15	15	75	12,6	0,5	2,4	0,032	1,010526316
15	14:30	15	90	12	0,6	3	0,033	1,041666667
16	14:45	15	105	11,5	0,5	3,5	0,033	1
17	15:00	15	120	10,9	0,6	4,1	0,034	1,025

**Fuente.** Autores

## 7.2. ANEXO FOTOGRÁFICO



**Anexo Fotográfico 2.** Pruebas de infiltración en campo de los ríos Yutzunyacu y Bravo



**Anexo Fotográfico 1.** Elaboración del Track en los ríos Yutzunyacu y Bravo



**Anexo Fotográfico 3.** Medición mensual para la estimación de caudales en los ríos Yutzunyacu y Bravo

