



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

Tesis

**Optimización del drenaje pluvial en el casco urbano  
del distrito de Tamburco – Abancay, 2018.**

Para optar el título de:

**Ingeniero Civil**

Presentado por:

**Ccarhuas Ruiz, Yesenia**

**Huisa Gonzales, Ruth Liseth**

Abancay - Apurímac - Perú

2019

Tesis

**Optimización del drenaje pluvial en el casco urbano  
del distrito de Tamburco – Abancay, 2018.**

Línea de investigación

**Hidráulica**

Asesor:

**Ing. Hugo Virgilio Acosta Valer**

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**PÁGINA DEL JURADO**

DIRECTOR:

-----

Ing. Ángel Maldonado Mendivil.

PRIMER JURADO:

-----

Ing. Holguer Cayo Baca.

SEGUNDO JURADO:

-----

Ing. Fredy Quispe Ferrel.

## DEDICATORIA

*A mis padres, por haberme guiado desde que nací, ya que estaban buscando maneras de ofrecerme lo mejor. Han trabajado duro, las ayudas que me han brindado han formado bases de gran importancia ahora soy consciente de ello.*

*A mis hermanas, pese a que tengamos nuestras eventuales discusiones, y seamos diferentes en varios sentidos, ustedes son lo mejor que me ha dado la vida. Hermanas gracias por estar ahí conmigo.*

### **Yesenia**

*A Dios quien me guía por el buen camino y me da fuerzas para seguir adelante.*

*A mis padres y hermanas que gracias a ellos soy la que soy, por ayudarme a formar mis principios, mi carácter, mis valores, mi coraje y empeño para seguir adelante y así conseguir mis metas; por darme tanto amor, comprensión y velar por mi bienestar.*

*A mis amigos (as) quienes sin esperar nada a cambio compartieron sus conocimientos, alegrías y tristezas.*

**Ruth Liseth**

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios forjador de nuestros caminos, padre celestial el que nos acompaña y siempre nos levanta de los tropiezos de la vida, creador de mis padres y de las personas que más amamos.

Agradecemos a la vida por darnos la oportunidad de estar en este mundo, en especial a nuestras familias quienes estuvieron a nuestro lado, dándonos cariño y apoyo incondicional.

Al Ing. Hugo V. Acosta Valer, nuestro asesor de tesis, por habernos brindado la oportunidad de orientarnos desinteresadamente en la investigación

A nuestros amigos por apoyarnos desinteresadamente en los trabajos de campo, por sus mensajes de inspiración y siempre mostrándonos una buena actitud en todo aspecto.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>PÁGINA DEL JURADO .....</b>	<b>I</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>III</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDOS .....</b>	<b>IV</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>VII</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>X</b>
<b>ÍNDICE DE GRÁFICOS .....</b>	<b>XI</b>
<b>ÍNDICE DE ECUACIONES .....</b>	<b>XII</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>XIV</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>XV</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>XVI</b>
<b>CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>1</b>
1.1. Realidad problemática .....	1
1.2. Planteamiento del problema .....	3
1.2.1. Problema General.....	3
1.2.2. Problemas específicos.....	3
1.3. Justificación .....	3
1.4. Objetivos de la investigación.....	4
1.4.1. Objetivo general.....	4
1.4.2. Objetivo específico.....	4
1.5. Factibilidad y limitación .....	5
1.6. Delimitación de la investigación .....	5

<b>CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL</b> .....	8
2.1. Antecedentes de la investigación .....	8
2.1.1. A nivel internacional .....	8
2.1.2. A nivel nacional .....	11
2.1.3. A nivel regional .....	13
2.2. Bases teóricas .....	14
2.2.1. Características Topográficas .....	14
2.2.2. Comportamiento hidrológico .....	19
2.2.3. Características geotécnicas .....	46
2.2.4. Diseño hidráulico .....	58
2.3. Marco conceptual .....	68
2.4. Marco histórico .....	70
<b>CAPÍTULO III METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN</b> .....	72
3.1. Hipótesis .....	72
3.1.1. Hipótesis general .....	72
3.1.2. Hipótesis específicas .....	72
3.2. Método .....	72
3.3. Tipo de investigación .....	73
3.4. Nivel o alcance de investigación .....	73
3.5. Diseño de investigación .....	74
3.6. Operacionalización de variables .....	75
3.7. Población, muestra y muestreo .....	76

3.8. Consideraciones éticas.....	78
3.9. Técnicas e instrumentos.....	78
3.9.1. Técnicas: .....	78
3.9.2. Instrumentos:.....	78
3.10. Procesamiento de datos.....	78
<b>CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>80</b>
4.1. Resultados.....	80
4.1.1. Respecto a la variable X/I. ....	80
4.1.2. A nivel de variable Y/D. ....	111
4.2. Prueba de hipótesis .....	114
4.3. Discusión .....	117
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>121</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>123</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>124</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>130</b>

**ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1: Orden, clase y exactitud relativa para levantamiento con GPS.....	17
Tabla 2: Levantamiento con GPS. de acuerdo a su clasificación.....	19
Tabla 3: Clases de valores de longitud del cauce principal.....	21
Tabla 4: Clases de valores de compacidad. ....	22
Tabla 5: Clases de valores de forma.....	23
Tabla 6: Clases de densidad de drenaje.....	24
Tabla 7: Clases de pendientes de drenaje.....	25
Tabla 8: Clases de índice de alargamiento.....	26
Tabla 9: Clases de coeficientes de masividad.....	27
Tabla 10: Valores máximos recomendados para el riesgo admisible.....	29
Tabla 11: Valores críticos para la prueba Kolmogorov – Smirnov.....	38
Tabla 12: Coeficientes de escorrentía para el método racional.....	45
Tabla 13: Valores del coeficiente de permeabilidad C para Burkli-Zieger.....	46
Tabla 14: Tipos de muestra.....	47
Tabla 15: Numero de tamices de malla cuadrada.....	48
Tabla 16: Tipo - Características del suelo por tamaño.....	49
Tabla 17: Sistema de clasificación AASHTO.....	53
Tabla 18: Clasificación de suelos según SUCS., ASTM. D2484.....	56
Tabla 19: Relaciones geométricas de las secciones transversales más frecuentes.....	60
Tabla 20: Relaciones geométricas para una sección trapezoidal y triangular.....	61

Tabla 21. Coeficiente de rugosidad de Manning. ....	65
Tabla 22 Taludes apropiados para distintos tipos de material. ....	66
Tabla 23: Borde libre en función del caudal. ....	67
Tabla 24: Borde libre en función del ancho de solera. ....	67
Tabla 25: Operacionalización de variables. ....	75
Tabla 26: Puntos base y de control. ....	82
Tabla 27: Pendiente media del cauce. ....	84
Tabla: 28: Ubicación - Estación Granja San Antonio. ....	88
Tabla 29: Ubicación - Estación Curahuasi. ....	88
Tabla 30: Datos de precipitación máxima en 24 horas, Estación Granja de San Antonio. .	89
Tabla 31: Datos de precipitación máxima en 24 horas, estación Curahuasi (Base). ....	91
Tabla 32: Valores de delta para las diferentes modelos de distribución. ....	93
Tabla 33: Precipitación máxima en 24 horas para diferentes periodos de retorno. ....	93
Tabla 34: Intensidad máxima de la estación de Granja de San Antonio. ....	94
Tabla 35: Datos de las microcuencas para el cálculo de Tc. ....	96
Tabla 36: Intensidades máximas. ....	98
Tabla 37: Caudal máximo. ....	102
Tabla 38: Caudal acumulado. ....	104
Tabla 39: Resumen de caudal máximo en los puntos de entrega. ....	106
Tabla 40: Resumen de resultados del ensayo contenido de humedad. ....	107
Tabla 41: Resumen del ensayo análisis granulométrico. ....	108

Tabla 42: Resumen del ensayo de límite líquido.....	109
Tabla 43: Resumen de la clasificación de suelos. ....	110
Tabla 44: Diseño final de las cunetas. ....	111
Tabla 45: Resumen de modelo de regresión.....	115
Tabla 46: Análisis de varianza.....	115
Tabla 47: Coeficientes de regresión. ....	116
Tabla 48: Coeficientes de regresión. ....	116
Tabla 49: Coeficientes de regresión. ....	117

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mapa del distrito de Tamburco. ....	6
Figura 2: Ubicación de los colectores pluviales. ....	7
Figura 3: Ubicación de puntos de entrega del caudal. ....	7
Figura 4: Representación descriptiva del ciclo hidrológico. ....	20
Figura 5: Precipitación de convección .....	31
Figura 6: Precipitación orográfica .....	31
Figura 7: Precipitación ciclónica. ....	32
Figura 8: Ejemplo: Curvas intensidad - duración - frecuencia para lluvia máxima .....	39
Figura 9: Carta de plasticidad AASHTO. para suelos finos. ....	54
Figura 10: Elementos geométricos de la sección transversal de un canal. ....	59
Figura 11: Tipos de flujos en canales abiertos. ....	64
Figura 12: Diseño transversal descriptivo. ....	74
Figura 13: Punto Base 1. ....	82
Figura 14: Punto Base 2. ....	83
Figura 15: Punto de Control 1. ....	83
Figura 16: Ubicación de la estación meteorológica “Granja de San Antonio”. ....	88
Figura 17: Imagen satelital, ubicación de la estación meteorológica “Curahuasi”. ....	89
Figura 18: Mapa de esorrentía. ....	101
Figura 19: Caudal de entrega. ....	106

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Datos de precipitación máxima en 24 h, estación Granja San Antonio .....	90
Gráfico 2: Datos de precipitación máxima en 24 horas, estación Curahuasi. ....	91
Gráfico 3: Análisis de consistencia estación Granja de San Antonio. ....	92
Gráfico 4: Curvas Intensidad, duración y frecuencia (IDF). ....	95

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Índice de compacidad de Gravelius.....	22
Ecuación 2: Factor de forma.....	22
Ecuación 3: Densidad de drenaje.....	23
Ecuación 4: Pendiente de drenaje.....	24
Ecuación 5: Lado mayor.....	25
Ecuación 6: Índice de alargamiento.....	25
Ecuación 7: Altitud media de la cuenca .....	26
Ecuación 8: Coeficiente de masividad.....	27
Ecuación 9: Periodo de Retorno .....	28
Ecuación 10: Distribución Normal .....	33
Ecuación 11: Distribución Log. Normal 2 parámetros.....	34
Ecuación 12: Distribución Log. Normal 3 Parámetros.....	34
Ecuación 13: Distribución Gamma 2 parámetros.....	34
Ecuación 14: Distribución Gamma 3 parámetros.....	35
Ecuación 15: Distribución Log. Pearson tipo III.....	35
Ecuación 16: Distribución Gumbel .....	36
Ecuación 17: Intensidad.....	38
Ecuación 18: Precipitación total .....	39
Ecuación 19: Intensidad máxima.....	40
Ecuación 20: Tiempo de concentración.....	40

Ecuación 21: Tiempo de concentración - Passini .....	41
Ecuación 22: Tiempo de concentración - Giandotti .....	41
Ecuación 23: Tiempo de concentración - Benhan .....	42
Ecuación 24: Tiempo de concentración – Ventura-Heras .....	42
Ecuación 25: Tiempo de concentración – Bransby-Willians .....	42
Ecuación 26: Tiempo de concentración - US CORPS OF ENGINEERS .....	43
Ecuación 27: Método racional - Caudal máximo. ....	44
Ecuación 28: Burkli – Zieger – Caudal máximo .....	46
Ecuación 29: Coeficiente de uniformidad .....	49
Ecuación 30: Coeficiente de curvatura .....	50
Ecuación 31: Índice de plasticidad .....	51
Ecuación 32: Contenido de humedad .....	51
Ecuación 33: Índice de grupo: .....	52
Ecuación 34: Velocidad media de flujo.....	58
Ecuación 35: Radio hidráulico .....	58
Ecuación 36: Caudal .....	58
Ecuación 37: Número de Reynolds .....	62
Ecuación 38: Número de Fraude .....	63
Ecuación 39: Número de Fraude respecto al tirante medio.....	63
Ecuación 40: Borde libre .....	66

## RESUMEN

La presente investigación se realiza con el propósito de contribuir una solución al problema de la evacuación de aguas pluviales en el Distrito de Tamburco. La metodología empleada en el presente estudio tiene un enfoque cuantitativo, de alcance descriptivo y diseño no experimental – transversal.

De acuerdo a las características físico-mecánicas obtenidas de los ensayos de laboratorio, se observa que en su mayoría de calicatas ensayadas según AASHTO es A-2-4 (0) grava, arena limosa y arcillosa, según SUCS son de tipo SM-SC y GP-GM, arena limo arcillosa y Grava mal graduada con limo.

La sección de las cunetas en los colectores se diseñó con la ayuda de diferentes softwares; el tipo de cuneta a diseñarse se determinó de acuerdo al caudal y la sección de la vía; para tener el diseño final se tomó en cuenta el borde libre el cual depende del caudal y es concordante con las recomendaciones; los tipos de cunetas realizados fueron de tipo rectangular, triangular-rectangular y triangulares según corresponda su diseño.

Para evacuar las aguas pluviales, se consideró tres puntos de desfogue, ubicadas en la intersección Av. El Arco con el Psj. N°02 con un caudal de entrega 1.134 m<sup>3</sup>/s, en la Av. Inca Garcilaso de la vega un caudal de 0.836 m<sup>3</sup>/s y en la Av. Mariano melgar en el kilómetro 0 + 566.40 un caudal de 1.113 m<sup>3</sup>/s; tomando en consideración obras de arte para la protección del cauce, realizando disipadores de energía en la entrega del caudal pluvial a los ríos.

**Palabras clave:** Drenaje, pluvial, Tamburco.

## ABSTRACT

The present investigation is carried out with the purpose of contributing a solution to the problem of storm water evacuation in the District of Tamburco. The methodology used in the present study has a quantitative approach, of descriptive scope and non-experimental design - transversal.

According to the physico-mechanical characteristics obtained from the laboratory tests, it is observed that in most of the calicatas tested according to AASHTO it is A-2-4 (0) gravel, silty and clayey sand, according to SUCS they are of type SM-SC and GP-GM, clay silt sand and Gravel poorly graduated with silt.

The section of the ditches in the collectors was designed with the help of different software; the type of gutter to be designed will be determined according to the flow and the section of the road; to have the final design, the free edge is recommended, which depends on the flow rate and is consistent with the recommendations; The types of ditches made were rectangular, triangular-rectangular and triangular as appropriate for their design.

To evacuate stormwater, consider three points of release, located at the intersection Av. El Arco with Psj. N ° 02 with a delivery flow of 1,134 m<sup>3</sup> / s, in the Av. Inca Garcilaso de la Vega a flow of 0.836 m<sup>3</sup> / s and in the Av. Mariano melgar in the kilometer 0 + 566.40 a flow of 1,113 m<sup>3</sup> / s; taking into consideration works of art for the protection of the channel, making energy dissipators in the delivery of the rain flow to the rivers.

**Keywords:** Drainage, rain, Tamburco.

## INTRODUCCIÓN

La presente tesis tiene por objetivo describir las características topográficas, comportamiento hidrológico y características geotécnicas, necesarias con fines de realizar el diseño óptimo del drenaje pluvial del casco urbano en el distrito de Tamburco. La precipitación, la pendiente, el tipo de suelo y el diseño adecuado de cunetas son factores a evaluar en el siguiente estudio.

El presente estudio cuenta con los siguientes capítulos: Capítulo I, Se muestra el planteamiento del problema, donde aborda la descripción de la realidad problemática, formulación del problema, justificación, objetivos de la investigación, limitaciones, factibilidad y delimitación. Capítulo II, Se ostenta el marco teórico conceptual donde se toca los antecedentes de la investigación internacionales, nacionales y locales; bases teóricas congruentes a la topografía, geotecnia, hidráulica e hidrología que influyen en este presente estudio. Además de las bases teóricas, tenemos el marco conceptual que detalla los modelos teóricos, conceptos e ideas que se está desarrollando en esta investigación y posterior se detalla el marco referencial(histórico). Capítulo III, se presenta la metodología de la investigación que aborda la hipótesis, método de investigación, tipo de investigación, nivel de investigación, diseño de investigación, operacionalización de variables, población, muestra, muestreo, consideraciones éticas, técnicas e instrumentos y procesamiento de datos. Capítulo IV, describe los resultados obtenidos a nivel de variable X/I, a nivel de variable Y/D, prueba de hipótesis y discusión de resultados.

Para finalizar tenemos las conclusiones y recomendaciones que se han obtenido al concluir el presente estudio.

## **CAPÍTULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.1. Realidad problemática**

De acuerdo a la revisión de la literatura encontramos estudios realizados en otros contextos, como mencionamos a continuación.

Según estudios realizados en Perú por Yañez (2014), en su investigación, “Eficiencia del sistema de drenaje pluvial en la Av. Angamos y Jr. Santa Rosa de Cajamarca”; en la que describe el problema, que en épocas de alta precipitación de lluvia en la población de Cajamarca, alcanzan índices elevados lo que causa serios problemas debido al ineficiente sistema drenaje pluvial con el que presenta, la sobrecarga pluvial propicia inundaciones en zonas topográficamente bajas y erosiones en los cursos de agua por el incremento de la velocidad de escorrentía; impactando desfavorablemente en las superficies expuestas de edificaciones e infraestructura vinculadas a estos espacios y según el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI, 1993). Este fenómeno se observa mayormente en épocas de lluvia en algunas áreas o zonas de la ciudad de Cajamarca.

A nivel local no se encontró estudios realizados; en tal sentido, en el casco urbano del distrito de Tamburco, que se encuentra unido por la parte Norte de la ciudad de Abancay,

año tras año en las temporadas de lluvias se ha visto afectado por las recurrentes inundaciones que se producen en las calles y avenidas por carecer de un adecuado sistema de drenaje pluvial.

El distrito de Tamburco, cuyo casco urbano cuenta con 11 avenidas, 4 jirones, 23 pasajes y 16 calles; de las cuales, solo el 10% cuenta con cunetas de sección triangular-rectangular, de dimensiones no adecuadas para la zona y cuneta tipo sección rectangular, las cuales algunas de ellas sólo se encuentran en un extremo de la calzada de la vía, así mismo también existen calles ciegas que no tienen desfogue.

En las calles y/o avenidas pavimentadas cuya antigüedad es aproximadamente de 5 años a más, no se tomó en cuenta el diseño de cunetas teniendo sólo el bombeo de las calles como sistema de drenaje, generando que se presente discontinuidad en las nuevas calles pavimentadas, en el sistema de drenaje produciendo encharcamiento y creando que las aguas de lluvia discurren por su propio curso, esto se presenta en la Av. Mariano Melgar debido a la pendiente de la topografía. Esta discontinuidad también se puede observar en la intersección de la Av. Tamburco con la calle José de la Mar, haciendo que las aguas de la Av. Tamburco de la margen izquierda discurren hacia la calle José de la Mar, afectando a las viviendas aledañas a esta.

Las cunetas existentes en la Av. Tamburco, Av. Mariano Melgar, Jr. David Samanez Ocampo y la Av. Inca Garcilaso, tienen una sección triangular 0.80x0.50 m. con un talud de 1:1, sección rectangular de 0.50 x 0.50 m., sección rectangular de 0.47 x 0.43 m. y una sección triangular-rectangular de 0.80 x 0.45 m., respectivamente.

## **1.2. Planteamiento del problema**

### **1.2.1. Problema General.**

¿Qué tipo de diseño permite la optimización del drenaje pluvial en el casco urbano del distrito de Tamburco – Abancay, 2018?

### **1.2.2. Problemas específicos.**

- a) ¿Cómo influyen las características topográficas en la optimización del drenaje pluvial en el casco urbano del distrito de Tamburco – Abancay, 2018?
- b) ¿Cuál es el comportamiento hidrológico que permita la optimización del drenaje pluvial en el casco urbano del distrito de Tamburco – Abancay, 2018?
- c) ¿Cuáles son las características geotécnicas que permita la optimización del drenaje pluvial en el casco urbano del distrito de Tamburco – Abancay, 2018?

## **1.3. Justificación**

El presente estudio se realiza con el propósito de contribuir con una solución, al problema de evacuación de aguas pluviales en el distrito de Tamburco. De tal manera, que el estudio es relevante ya que garantizará el adecuado funcionamiento del sistema de drenaje pluvial para la recolección de las aguas pluviales, transporte y evacuación de la misma a un cuerpo receptor, que generan estragos, provocando inundaciones, daños en las estructuras, que generan riesgos a la salud pública e incomodidad a los peatones y vehículos, entre otros. También el presente estudio beneficiará a la población, en su conjunto, Municipalidad distrital de Tamburco y otras entidades públicas que se encuentran en la comprensión de este distrito para que mejore el sistema de drenaje pluvial.

Teniendo en cuenta que el distrito de Tamburco está ubicado en la parte superior de la ciudad de Abancay, hacen que todas las aguas que se generan en la superficie del distrito bajen por las avenidas principales de la ciudad de Abancay motivo por lo cual es necesario hacer un corte intermedio para reducir e interrumpir los cauces que ocasionan serios estragos.

En este sentido, el presente trabajo de investigación contribuirá con la solución del problema del sistema drenaje pluvial del distrito de Tamburco; de tal manera, se evitará el desorden y la incomodidad de las personas que transitan y los vehículos de transporte, a la vez garantizará la salud de la población, efectuando un óptimo diseño de drenaje.

#### **1.4.Objetivos de la investigación**

##### **1.4.1. Objetivo general.**

Determinar el diseño que permita la optimización del drenaje pluvial en el casco urbano del distrito de Tamburco – Abancay, 2018.

##### **1.4.2. Objetivo específico.**

- a) Evaluar las características topográficas que permita la optimización del drenaje pluvial en el casco urbano del distrito de Tamburco – Abancay, 2018.
- b) Determinar el comportamiento hidrológico que permita la optimización del drenaje pluvial en el casco urbano del distrito de Tamburco – Abancay, 2018.
- c) Evaluar las características geotécnicas que permita la optimización del drenaje pluvial en el casco urbano del distrito de Tamburco – Abancay, 2018.

## **1.5. Factibilidad y limitación**

### **1.5.1. Factibilidad.**

Para llevar a cabo los objetivos planteados se tiene una disponibilidad de recursos y que el proyecto sea viable; para que las características topográficas sean eficientes es necesario contar con un instrumento de precisión como el GPS diferencial, en cuanto al estudio hidrológico tenemos los datos de precipitación del SENAMHI, para el estudio de suelo se extrae una muestra para luego ser estudiada en un laboratorio de suelos y por último para el estudio hidráulico contamos con diferentes softwares para su cálculo.

### **1.5.2. Limitación.**

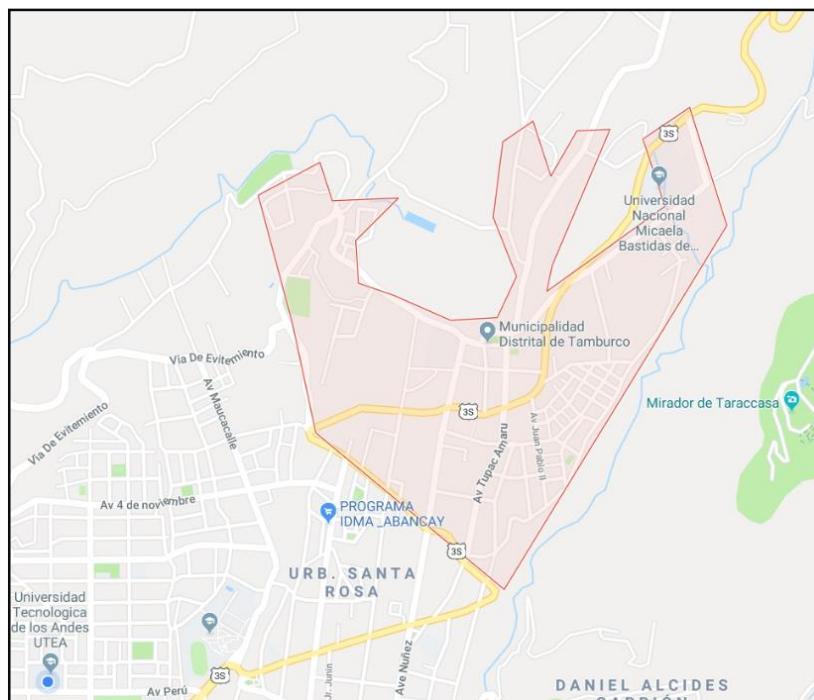
Debido al crecimiento de la población del distrito de Tamburco, no es posible calcular o tomar en cuenta con precisión el caudal por parte del almacenamiento de aguas pluviales en áreas superiores o azoteas de las viviendas.

## **1.6. Delimitación de la investigación**

El presente estudio se realiza en el distrito de Tamburco, provincia Abancay, región Apurímac; centrándose en el casco urbano del distrito de Tamburco, el cual tiene un área aproximada de 124.43 hectáreas.

Los datos obtenidos para la realización del trabajo de investigación están enmarcados dentro del periodo del año 2018-2019, la determinación de datos del estudio hidrológico se realizó en épocas de lluvia durante los meses de octubre, noviembre, diciembre, enero y febrero.

La investigación está enmarcada en la optimización del drenaje pluvial, teniendo en cuenta las características topográficas, comportamiento hidrológico, características geotécnicas y el diseño hidráulico.



*Figura 1:* Mapa del distrito de Tamburco.

Fuente: Google Maps

Los colectores pluviales propuestos en el presente estudio están ubicados en la parte céntrica y baja del distrito de Tamburco; estos lugares fueron escogidos estratégicamente, tomando en cuenta la topografía de la zona, así como la magnitud de las calles y/o avenidas para ser vías colectoras. Por tanto, se tiene un total de once colectores, los cuales son:

- Av. Tamburco.
- Av. Garcilaso de la Vega.
- Av. Circunvalación.
- Calle las Gardenias.
- Calle José de la Mar.
- Psj. José de la Riva Agüero.
- Av. Daniel Estrada Pérez.
- Av. Mariano Melgar.
- Av. Túpac Amaru.
- Jr. David Samanez Ocampo.

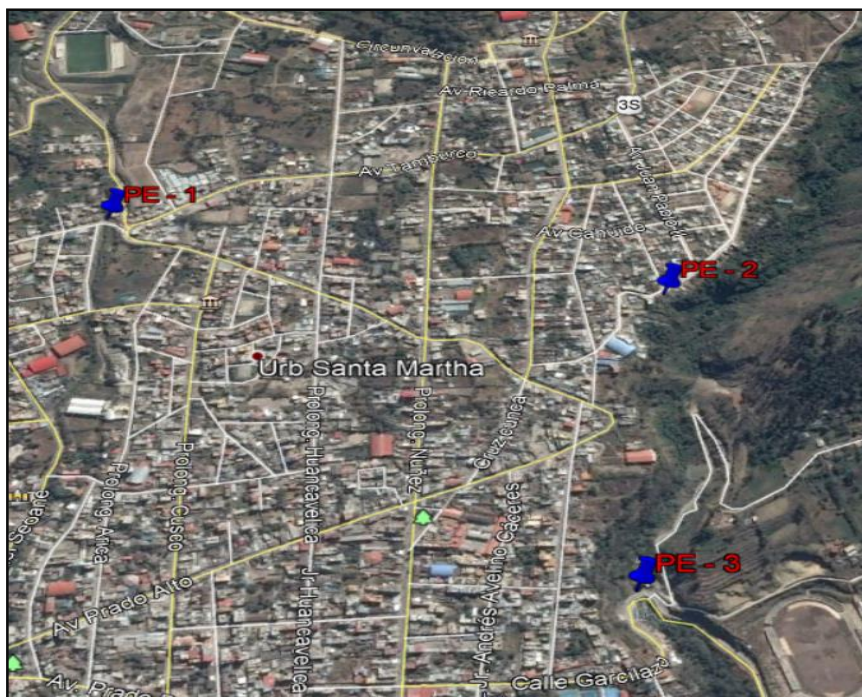
- Av. Inca Garcilaso de la Vega.



*Figura 2:* Ubicación de los colectores pluviales.

Fuente: Elaboración propia (Google Earth)

Se tiene tres puntos de entrega del caudal acumulado, ubicados en la intersección Av. El Arco con el Psj. N°02, en el puente Av. Inca Garcilaso de la Vega y por último en la Av. Mariano Melgar, kilómetro 0 + 566.40.



*Figura 3:* Ubicación de puntos de entrega del caudal.

Fuente: Elaboración propia (Google Earth)

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

#### **2.1. Antecedentes de la investigación**

##### **2.1.1. A nivel internacional.**

Carpio, García y Tobías (2011). *Propuesta de diseño del drenaje pluvial, alcantarillado sanitario y planta de tratamiento para las aguas residuales del casco urbano y colonia La Entrevista, El Salvador del municipio San Cayetano Istepeque, departamento de San Vicente* (Tesis de pregrado). Universidad de El Salvador, tienen por objetivo diseñar un sistema de alcantarillado sanitario, drenaje pluvial e implementar una planta de tratamiento en el casco urbano y colonia La Entrevista. Este estudio optó una metodología de enfoque cuantitativo – descriptivo. Los caudales obtenidos varían de 5.6176 l/s a 14.1276 l/s para los colectores de aguas pluviales y caudal máximo horario para la planta de tratamiento es de 13.0937 l/s estos resultados fueron procesados para el diseño del sistema drenaje pluvial y planta de tratamiento. En conclusión, la implementación de este sistema se logra mejorar la comodidad de los pobladores

del lugar, ya que se soluciona en su totalidad el problema al estancamiento e inundaciones de aguas de lluvia, disminuyendo la proliferación de alguna enfermedad y logrando que la zona sea transitable en temporadas de lluvias.

Rivadeneira (2012). *Diseño del sistema de alcantarillado pluvial del barrio La Campiña del Inca Carton Quito, provincia de Pichincha* (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Ecuador, plantea realizar el diseño de alcantarillado pluvial y disposición final de aguas de lluvias, de acuerdo a las características económicas, topográficas, geológicas de la zona, siendo este un enfoque cuantitativo. Para la construcción del sistema de alcantarillado pluvial tiene un costo directo de \$659,322.21; en conclusión, el material que se empleó para el diseño del alcantarillado pluvial de la Campiña del Inca es PVC, considerando la facilidad de transporte del mismo hacia la obra, facilidad de instalación y mantenimiento.

Pineda (2006). *Diseño de alcantarillado pluvial en la cabecera municipal y propuesta de mejoras al sistema de abastecimiento de agua potable de la aldea el Rosario, municipio de San Miguel Dueñas, Sacatepéquez* (Tesis de pregrado). Universidad de San Carlos de Guatemala, tienen por objetivo Diseñar el alcantarillado pluvial en la cabecera municipal, y propuesta de mejoras al sistema de abastecimiento de agua potable en la aldea El Rosario, municipio de San Miguel Dueñas, Sacatepéquez, la metodología empleada es de enfoque cuantitativa. Para la evacuación de aguas de lluvias se tiene un caudal de 636.16 l/s con una pendiente de 1.31% con una tubería de diámetro de 24". Se concluyó que se diseñó un sistema de alcantarillado pluvial, el cual está dividido en cuatro fases basadas en la topografía del lugar, que permitirá evacuar el agua; el costo total del proyecto es de Q.3,174,580.30, donde la primera fase tiene un valor de Q.1,174,717.54, la

segunda fase de Q. 789,125.57, la tercera fase de Q.901,933.11 y la cuarta fase de Q. 308,804.08.

Pérez (2014). *Revisión de un sistema de alcantarillado pluvial trabajando como una red de drenaje* (Tesis de pregrado). Universidad nacional autónoma de México, este trabajo de tesis tiene por objetivo revisar el funcionamiento de un sistema de alcantarillado pluvial diseñado convencionalmente y como red de canales para periodos de retorno mayores a los de diseño. La metodología planteada para el estudio es desde un enfoque cuantitativo – descriptivo, teniendo como resultado para un periodo de retorno de 10 años un caudal máximo de 6.751 m<sup>3</sup>/s, y para un periodo de retorno de 100 años un caudal de 12.654 m<sup>3</sup>/s, llegando a la conclusión de que el sistema de alcantarillado diseñado convencionalmente su trabajo puede funcionar adecuadamente para un periodo de retorno de cien años.

Méndez (2011). *Diseño del Alcantarillado Sanitario y Pluvial y Tratamiento de Aguas Servidas de la Urbanización San Emilio* (Tesis de pregrado). Universidad San Francisco de Quito, este trabajo tiene como objetivo diseñar el sistema de alcantarillado sanitario y pluvial de la urbanización San Emilio, teniendo en cuenta aspectos técnicos, económicos y ambientales; realizado mediante una metodología cuantitativa – descriptiva; obteniendo resultados de caudal 413.66 lt/seg, con un presupuesto total de 361668.59 dólares, llegando a la conclusión de que con la construcción del sistema de alcantarillado pluvial y sanitario, se solucionará las condiciones de insalubridad y contaminación que podrían producirse en un futuro dentro de la urbanización San Emilio.

### 2.1.2. A nivel nacional.

Chávez (2006). *Simulación y optimización de un sistema de alcantarillado urbano* (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica de Perú, este trabajo de tesis tiene por objetivo diseñar y simular una red de drenaje pluvial para la ciudad de Tumbes, este diseño deberá ser económica y segura, indicando que no existirá ningún desborde e inundaciones, se deberá elegir el material que sea durable y fácil para su instalación adecuada; este estudio se realizó desde un enfoque cuantitativo, se hizo la simulación mediante el software SWMM el cual calcula el diámetro, pendiente, profundidad del fondo en cada extremo, caudal máximo y costo mínimo, para cada tramo de la red. Llegando a la conclusión para el nivel de intensidad calculado en el estudio resulto que no es el indicado, ya que la profundidad de instalación excede los 8 m en el punto de descarga, lo que indica muy complejo su rebombeo al obtener caudales de 20 m<sup>3</sup>/s, con diámetros obtenidos mayores a 2 m, estos diámetros son poco usual para un alcantarillado pluvial.

Rojas (2018). *Cálculo de precipitaciones y caudales de diseño de sistemas de drenaje pluvial urbano en zonas de Huancavelica, Junín y Ayacucho* (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Perú, el presente estudio tiene por objetivo la revisión y aplicación de métodos para el cálculo de caudal y precipitación, necesarios para el diseño de sistema de drenaje pluvial en la sierra central del Perú, que comprenden para el estudio las regiones de Huancavelica, Ayacucho y Junín; para la elaboración y/o construcción de las Curvas IDF se tomó en consideración dos métodos, una que viene a ser mediante el estudio hidrológico ILLA y el método estadístico el cual da resultados no muy dispersos. Siendo la metodología empleada enfoque cuantitativo. Se realizó un estudio de intensidades

de las subcuencas Huarpo, Caracha y Cunas, para un periodo de retorno de 10 años con un tiempo de concentración de 24 horas se obtuvo una intensidad de 1.59 mm/hr. Con respecto al cálculo del caudal como las áreas de sus subcuencas son mayores a 3 3 km<sup>2</sup>, se realizó por el método del Hidrograma unitario adimensional. Como conclusiones al estudio se dio a conocer que en los meses de diciembre, enero y febrero se encuentra las máximas precipitaciones anuales.

Yañez (2014) *Eficiencia del sistema de drenaje pluvial en la Av. Angamos y Jr. Santa Rosa* (Tesis de pregrado). Universidad Privada del Norte, tiene como finalidad determinar a eficiencia del sistema de drenaje pluvial en la Av. Angamos y el Jr. Santa Rosa.; la metodología de esta investigación fue un enfoque cuantitativo-descriptivo, la capacidad hidráulica varía de 0.231 m<sup>3</sup>/s a 1.35 m<sup>3</sup>/s teniendo una eficiencia de conducción de 61.7% hasta 95% en las diferentes calles evaluadas. El cual concluyó con un diseño Hidráulico, la cual indica que no la adecuada para la evacuación de aguas pluviales de esta zona. El mantenimiento del sistema no se lleva a cabo, ocasionando así la ineficiencia, generando que las capacidades hidráulicas para la cual eran diseñadas las cunetas disminuyan.

Rojas y Humpiri (2016) *Evaluación, diseño y modelamiento del sistema de drenaje pluvial de la ciudad de Juliaca con la aplicación de software SWMM* (tesis de pregrado). Universidad nacional del Altiplano; tiene por objetivo evaluar el proyecto actual y plantear un nuevo diseño hidráulico del sistema de drenaje pluvial de la ciudad de Juliaca aplicando el programa de modelamiento SWMM, la metodología empleada para este estudio fue desde un enfoque cuantitativo – experimental. Su resultado obtenido de caudal máximo es de 8593.680 lt/s, con características geométricas máximas de 2.20 x 1.80 m. y de 2.20 x 2.17 m. según el expediente técnico; llegando a la conclusión de que el expediente técnico ha

sido desarrollado con un sustento técnico deficiente ya que estuvo planteado para un periodo de retorno de 10 años, y la Norma OS-060 establece 25 años para sistemas de drenaje urbano mayor.

Mamani y Masias (2017). *Evaluación y propuesta de diseño del sistema de alcantarillado pluvial de la Av. La Cultura en el tramo: Garcilaso – río Cachimayo, Cusco* (Tesis de pregrado). Universidad Andina del Cusco; tiene por objetivo evaluar las condiciones existentes del sistema de alcantarillado pluvial y proponer un nuevo diseño de alcantarillado, su metodología de investigación es desde un enfoque cuantitativo – descriptivo, método hipotético deductivo y diseño no experimental transversal. Los resultados de caudal del sistema pluvial actual es 3.055 m<sup>3</sup>/s, siendo el caudal real que calcularon de 4.19 m<sup>3</sup>/s, con una sección del canal de 1.25 x 1.20 m de altura y ancho de solera respectivamente; llegando a la conclusión de que la estructura existente no cumple con el criterio básico de conducir el caudal real de la zona, debiendo realizar un incremento de 1.68 % a 1.97%, de área hidráulica para que tenga un funcionamiento adecuado y eficiente

### **2.1.3. A nivel regional.**

Flores y Tejada (2017). *Instalación del sistema de drenaje pluvial en la ciudad de Chuquibambilla, provincia de Grau-Apurímac* (Tesis de pregrado). Universidad Tecnológica de los Andes; tiene como objetivo proponer y determinar un diseño hidráulico de drenaje pluvial eficiente en la ciudad de Chuquibambilla así reducir las pérdidas económicas en dicha ciudad, la metodología de investigación es enfoque cuantitativo. Los resultados de intensidad varían de acuerdo a la muestra elegida, el caudal de diseño varia de 0.037 m<sup>3</sup>/s a 0.627 m<sup>3</sup>/s siendo estas necesarias para el diseño de alcantarillas. En conclusión, logran diseñar un sistema

de drenaje de alcantarillado mejorando la calidad de vida de los pobladores de Chuquibambilla con un presupuesto total de s/. 536,383.53.

Cortez y Condori (2015). *Incidencia en la calidad de vida de los pobladores debido a la deficiente evacuación de las aguas pluviales de los sectores de Patibamba Baja y Pueblo Joven Centenario de Apurímac de la ciudad de Abancay – provincia de Abancay- departamento de Apurímac* (Tesis de pregrado). Universidad tecnológica de los Andes. plantea una alternativa de solución, con la construcción de un sistema de drenaje cuya finalidad será evacuar las aguas pluviales, para prevenir posibles riesgos a la ciudadanía en las temporadas de lluvia, con un planteamiento técnico viable acorde con la topografía y necesidades de la población, en base a las normas técnicas planteadas por el reglamento nacional de edificaciones, norma OS060 Drenaje Pluvial Urbano. Siendo una investigación de enfoque cuantitativo. En el punto de interés (quebrada Ullpuhuaycco) obtuvo un  $Q=1.042 \text{ m}^3/\text{s}$  para un periodo de retoro de 10 años dicha quebrada se encuentra canalizada y revestida, teniendo una capacidad de un caudal de hasta  $Q=1.3 \text{ m}^3/\text{s}$ .

## **2.2. Bases teóricas**

A continuación, se presentan teorías que sustentan la investigación sobre cómo realizar la optimización de drenaje pluvial.

### **2.2.1. Características Topográficas.**

Según la Comisión Nacional del Agua (CNA, s/a.), afirma que:

Los estudios topográficos tendrán como objetivos:

- a) Realizar los trabajos de campo que permitan elaborar los planos topográficos.

- b) Proporcionar información de base para los estudios de hidrología, hidráulica, geología, geotecnia, ecología, diseño y construcción.
- c) Posibilitar la definición precisa de la ubicación y las dimensiones de los elementos estructurales.
- d) Establecer puntos de referencia para el replanteo durante la construcción, la topografía estudia la planimetría y altimetría, las cuales son necesarias en un estudio topográfico. (pp. 1-2)

#### **2.2.1.1. Planimetría.**

Es la parte de la topografía que estudia el conjunto de métodos y procedimientos que tienden a conseguir la representación a escala de todos los detalles interesantes del terreno sobre una superficie plana, prescindiendo de su relieve y se representa en una proyección horizontal. (CNA., s/a., p. 2)

Los puntos en el plano están definidos por sus coordenadas, estas pueden ser polares o cartesianas. Los instrumentos topográficos permiten medir ángulos y distancias con las que se determinan las coordenadas de los puntos del espacio que se desea representar en el plano, los métodos para el levantamiento planimétrico son los siguientes: triangulación, poligonación o itinerario, radiación e intersección. (Afonso, s/a.)

#### **2.2.1.2. Altimetría o hipsometría.**

Es la rama de la topografía que tiene por objetivo la determinación de la diferencia de alturas entre distintos puntos del espacio, a partir de una superficie de referencia. A la altura de un punto determinado se denomina cota del punto. Si la altura está definida con respecto al nivel del mar se dice que la cota es absoluta, mientras que si se trata de cualquier otra superficie de referencia se dice que la cota es relativa. A la diferencia de altura entre dos puntos se denomina diferencia de nivel. Con la altimetría se determina la tercera coordenada ( $h$ ), perpendicular al plano de referencia.

Los instrumentos topográficos permiten medir ángulos verticales entre dos puntos (punto estación y punto visado); distancias y ángulos de altura, conociendo los ángulos verticales y la distancia entre los dos puntos se pueden obtener las diferencias de nivel entre estos y sus cotas. El conjunto de operaciones para determinar las cotas de puntos de referencia en el espacio, con la precisión adecuada, constituyen el método de levantamiento altimétrico.

Los métodos de levantamiento altimétrico son los siguientes: trigonométrico, eclimétrico, taquimétrico y geométrico. El instrumento específico para determinar desniveles es el nivel. Con el nivel se aplica el método geométrico o de alturas. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales; Método de levantamiento topográfico. (UNSJ, 2004)

#### ***2.2.1.3. Sistema de posicionamiento global.***

De acuerdo al Ministerio de Defensa de la Marina de Guerra del Perú, (MDMGP, 2013):

Consiste en recibir la señal electromagnética emitida por los satélites de la constelación NAVSTAR. y Sistema GLONASS. que conforman el Sistema de Posicionamiento Global, para determinar la posición relativa de puntos sobre la superficie terrestre.

Con propósitos de clasificación de los levantamientos geodésicos se establecen los siguientes órdenes y clases de exactitud relativa, asociados con valores de esta última que es posible obtener entre puntos ligados directamente, con un nivel de confianza del 95% y en tanto se observen las normas del caso:

Tabla 1:

*Orden, clase y exactitud relativa para levantamiento con GPS.*

Orden	Clase	Exactitud relativa
AA	Única	1:100'000,000
A	Única	1:10'000,000
B	Única	1:1'000,000
C		
Primero	Única	1:100,000
Segundo	I	1:50,000
	II	1:20,000
Tercero	I	1:10,000
Tercero	II	1:5,000

Fuente: Recuperado de “Normas Técnicas Hidrográficas N°29 - Manual de procedimientos para medición topográfica”, MDMGP., 2013.

En los órdenes AA, A, B, se aplican básicamente las técnicas diferenciales del Sistema de Posicionamiento Global y el orden C sigue vigente para los levantamientos geodésicos clásicos por los métodos tradicionales, siendo posible la aplicación de técnicas diferenciales del Sistema de Posicionamiento Global en este orden. (MDMGP., 2013)

#### **2.2.1.4. Clasificación de puntos geodésicos.**

De acuerdo a las Normas Técnicas Hidrográficas N°29 (MDMGP., 2013):

- a) Orden AA.- Los levantamientos geodésicos horizontales que se hagan dentro de este orden estarán destinados a estudios sobre deformación regional y global de la corteza terrestre y de efectos geodinámicas y en general cualquier trabajo que requiera una exactitud de una parte en 100'000,000.
- b) Orden A.- Deberá aplicarse para aquellos trabajos encaminados a establecer el sistema geodésico de referencia nacional básico, a levantamientos sobre estudios de deformación local de la corteza

- terrestre, así como cualquier levantamiento que requiera una precisión de 1:10'000,000.
- c) Orden B.- Se destinarán a levantamientos de densificación del sistema geodésico de referencia nacional, conectados necesariamente a la red básica; trabajos de ingeniería de alta precisión, así como de geodinámica. Los trabajos que se hagan dentro de esta clasificación deberán integrarse a la red geodésica básica y ajustarse junto con ella, dando como resultado una exactitud no menor a 1:1,000,000.
  - d) Orden C primera. - Los levantamientos geodésicos horizontales que se hagan dentro de este orden deberán destinarse al establecimiento de control primario en áreas metropolitanas, al apoyo para el desarrollo de proyectos importantes de ingeniería, con fines de investigación científica, y en general a cualquier trabajo que requiera una exactitud no menor a 1:100,000, y debiéndose ligar a la red geodésica básica o a su densificación.
  - e) Orden C segundo, clase I.- Se deberán aplicar en la densificación en las áreas metropolitanas, en el desarrollo de fraccionamientos y levantamientos detallados en zonas de alto desarrollo y valor del suelo; en el levantamiento y trazo de límites administrativos en general para todo proyecto que requiera de una exactitud no menor que una parte en 50,000.
  - f) Orden C segundo, clase II.- Deberá aplicarse al caso de levantamientos geodésicos horizontales en áreas que no tienen un alto índice de desarrollo y donde no se prevea que éste se produzca a corto plazo; en levantamientos para apoyo cartográfico y de procesos fotogramétricos, en el establecimiento de control geodésico a lo largo de costas, ríos

navegables, entre vías de comunicación importantes, en fraccionamientos y parcelamientos, en áreas de alto valor del suelo, en construcción y en todo trabajo que requiera una exactitud no menor que una parte en 20,000.

- g) Orden C segundo, clase I y II.- Se deberá destinar al control geodésico horizontal de áreas de valor medio a bajo del suelo, a proyectos locales de desarrollo, levantamientos topográficos e hidrográficos, densificación de los levantamientos de segundo orden, a proyectos de ingeniería en levantamientos de áreas rurales y, en general, para todo tipo de trabajo que requiera exactitudes de una o dos partes en 10,000, según las necesidades.

Tabla 2:

*Levantamiento con GPS. de acuerdo a su clasificación.*

Orden	Clase	Tipo de equipo	Número mínimo de sesiones	Tiempo de medida/ sesión(hrs.)	Número de observaciones meteorológicas por sesión	Efemeridades base/ cálculo	Error base (en cm.)
AA	Única	DF.	6	6	3	3	6
A	Única	DF.	3	4	3	3	5
B	Única	DF.	2	2-3	2	2	3
C							
Primero	Única	OP.	1	2-5	1	2	3
Segundo	I	OP.	1	2-6	-	1	2
	II	OP.	1	2-7	-	1	2
Tercero	I	OP.	1	2-8	-	1	2
	II	OP.	1	2-9	-	1	2

Fuente: Recuperado de “Normas Técnicas Hidrográficas N°29 - Manual de procedimientos para medición topográfica”, MDMGP., 2013.

## 2.2.2. Comportamiento hidrológico.

### 2.2.2.1. Hidrología.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC., 2008) define:

Es la ciencia geográfica que se dedica al estudio de la distribución, espacial y temporal, las propiedades del agua presente en la atmósfera y en la corteza terrestre.

Esto incluye las precipitaciones, la escorrentía, la humedad del suelo, la evapotranspiración y el equilibrio de las masas glaciares. (p.13)

### 2.2.2.2. El ciclo hidrológico.

Villón (2002) denomina: “Ciclo hidrológico, al conjunto de cambios que experimenta el agua en la naturaleza, tanto en su estado (sólido, líquido, gaseoso), como en su forma (agua superficial, agua subterránea, etc.)” (p.16).

El ciclo hidrológico involucra un proceso de transporte recirculatorio e indefinido o permanente, este movimiento permanente del ciclo se debe fundamentalmente a dos causas: la primera, el sol que proporciona la energía para elevar el agua (evaporación); la segunda, la gravedad terrestre, que hace que el agua condensada descienda (precipitación y escurrimiento). (Campos Aranda, 1998)

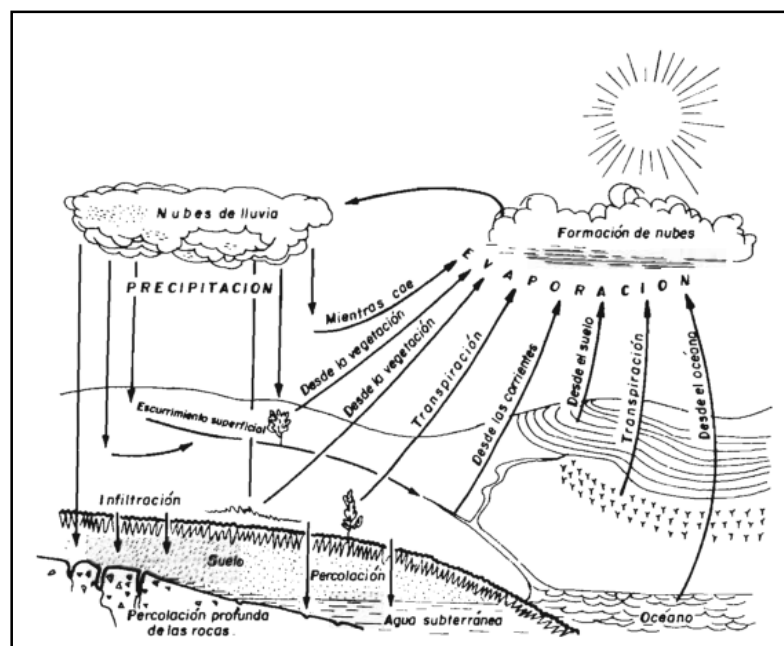


Figura 4: Representación descriptiva del ciclo hidrológico.

Fuente: Procesos del ciclo hidrológico, Campos Aranda, 1998.

Se puede suponer que el ciclo hidrológico se inicia con la evaporación del agua en los océanos, el vapor de agua resultante del proceso anterior es transportado por las masas de aire en movimiento (viento) hacia los continentes. Bajo condiciones

meteorológicas adecuadas el vapor de agua se condensa para formar nubes, las cuales a su vez dan origen a las precipitaciones. (Campos, 1998, p.4-5)

### **2.2.2.3. Cuenca hidrológica.**

La cuenca de drenaje de una corriente, es el área de terreno donde todas las aguas caídas por precipitación, se unen para formar un solo curso de agua. Cada curso de agua tiene una cuenca bien definida, para cada punto de su recorrido. (Villón, 2002, p. 21)

### **2.2.2.4. Índice y parámetros morfométricos de la cuenca.**

Según la Dirección General de Investigación de Ordenamiento Ecológico y Conservación de Ecosistemas (INE., 2004) se tiene:

#### **a. Clasificación y cálculo de los índices y parámetros utilizados.**

- *Longitud de drenaje principal de la cuenca.*

Para medir el escurrimiento principal de una cuenca, se realiza midiendo la longitud desde el punto más alto hasta el punto de descarga. Esta característica se obtiene a partir de un mapa digital de la red de drenaje, el cual influye en la mayor parte de los índices morfométricos y el tiempo de concentración.

Tabla 3:

#### *Clases de valores de longitud del cauce principal.*

Rangos de longitud	Clases de longitud del cauce
6.9-10.9	Corto
11.0-15.0	Mediano
15.1-19.1	Largo

Fuente: "Análisis morfométrico de cuencas: Caso de estudio del Parque Nacional Pico de Tancitaro", INE., Julio, 2004.

- *Forma de la cuenca*

Índice de compacidad de Gravelius.

Según el INE. (2004), el índice de compacidad de Gravelius tiene como siglas  $K_c$ , que viene a ser la relación entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de la circunferencia.

La siguiente fórmula permite el cálculo de  $K_c$ :

$$K_c = \frac{0.28P}{\sqrt{S}} \quad \dots \dots \dots \text{Ecuación 1}$$

Donde:

$K_c$ : Índice de compacidad de Gravelius.

P: Perímetro de la cuenca.

S: Superficie de la cuenca.

Existen tres categorías para la clasificación según el valor de este parámetro y que se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 4:

*Clases de valores de compacidad.*

Rangos de $K_c$ .	Clases de compacidad
< 1.25	Redonda u oval redonda
1.25 - 1.50	De oval redonda a oval oblonga
1.50 - 1.75	De oval oblonga a rectangular oblonga

Fuente: “Análisis morfométrico de cuencas: Caso de estudio del Parque Nacional Pico de Tancitaro”, INE., Julio, 2004.

- *Factor de forma.*

Según el INE. (2004) indica que “Este índice propuesto por Gravelius, se estima a partir de la relación entre el ancho promedio del área de captación y la longitud de la cuenca, longitud que se mide desde la salida hasta el punto más alejado a esta”.

$$K_f = \frac{S}{L^2} \quad \dots \dots \dots \text{Ecuación 2}$$

Donde:

Kf: Factor de forma.

S: Superficie de drenaje.

L: Longitud de drenaje.

Tabla 5:

*Clases de valores de forma.*

Rangos de Kf.	Clases de forma
0.01 - 0.18	Muy poco achatada
0.18 - 0.36	Ligeramente achatada
0.36 - 0.54	Moderadamente achatada

Fuente: “Análisis morfométrico de cuencas: Caso de estudio del Parque Nacional Pico de Tancitaro”, INE., Julio, 2004.

- *Sistema de drenaje.*

Densidad de drenaje

Según el INE. (2004):

Este índice permite tener un mejor conocimiento de la complejidad y desarrollo del sistema de drenaje de la cuenca. En general, una mayor densidad de escurrimientos indica mayor estructuración de la red pluvial, o bien que existe mayor potencial de erosión.

La densidad de drenaje se calcula:

$$Dd = \frac{L}{S} \quad \dots \dots \dots \text{Ecuación 3}$$

Donde:

Dd: Densidad de drenaje.

L: Longitud total de corriente de agua.

S: Superficie de drenaje.

Para valores de Dd. próximos a 0.5 km-1 o mayores indican la eficiencia de la red de drenaje.

Tabla 6:

*Clases de densidad de drenaje.*

Rangos de Dd.	Clases de densidad
0.1-1.8	Baja
1.9-3.6	Moderada
3.7-5.6	Alta

Fuente: “Análisis morfométrico de cuencas: Caso de estudio del Parque Nacional Pico de Tancítaro”, INE., Julio, 2004.

- *Características del relieve de las subcuencas*

Pendiente de drenaje. Según el INE. (2004):

$$I_{drenaje} = \left[ \left( \frac{H_{max} - H_{min}}{L_{drenaje}} \right) \right] \dots \dots \dots \text{Ecuación 4}$$

Donde:

Idrenaje: Pendiente de drenaje.

Hmáx.: Cota máxima.

Hmín.: Cota mínima.

Ldrenaje: Longitud de drenaje.

En la siguiente tabla se observa las clases de pendiente.

Tabla 7:

Clases de pendientes de drenaje.

Grado (°)	Porcentajes (%)	Denominación	Clases de pendientes
0 - 2	0 - 3	Plano	Suave
2 - 3	3 - 5	Casi plano	Suave
3 - 6	5 - 10	Ligeramente inclinado	Moderada
6 - 9	10 - 15	Inclinado	Moderada
9 - 17	15 - 30	Inclinación pronunciada	Pronunciada
17 - 30	30 - 58	Inclinación pronunciada	muy Pronunciada
30 - 45	58 - 100	Escarpado	Muy pronunciada
> 45	> 100	Muy escarpado	Muy pronunciada

Fuente: “Análisis morfométrico de cuencas: Caso de estudio del Parque Nacional Pico de Tancitaro”, INE., Julio, 2004.

- *Rectángulo equivalente.*

Según el INE. (2004):

$$L = \frac{P \pm \sqrt{P^2 - 16S}}{4} \dots \dots \dots \text{Ecuación 5}$$

Donde:

L: Lado mayor.

P: Perímetro de la cuenca.

S: Superficie de drenaje.

- *Índice de alargamiento.*

Según el INE (2004):

$$I_a = \frac{1}{L} * \sum_{i=1}^n \sqrt{\frac{\Delta H. B}{1000}} \dots \dots \dots \text{Ecuación 6}$$

Donde:

Ia: Índice de alargamiento.

L: Longitud del rectángulo equivalente.

$\Delta H$ : Diferencia de altura entre 2 curvas de nivel.

B: Tanto por uno de la superficie comprendida entre 2 curvas de niveles correspondientes, respecto a la superficie total de la cuenca.

Cuando toma valor mayor a la unidad, se trata de cuencas alargadas, mientras que para valores cercanos a 1, se trata de una cuenca cuya red de drenaje presenta la forma de abanico y puede tenerse un río principal corto.

Tabla 8:

*Clases de índice de alargamiento.*

Rangos de Ia.	Clases
0.0 - 1.4	Poco alargada
1.5 - 2.8	Moderadamente alargada
2.9 - 4.2	Muy alargada

Fuente: "Análisis morfométrico de cuencas: Caso de estudio del Parque Nacional Pico de Tancítaro", INE., Julio, 2004.

- *Altitud media.*

Según el INE. (2004):

$$A_m = \frac{\sum_{i=1}^n H_i * S_i}{S_{total}} \quad \dots \dots \dots \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde:

Am: Altitud media de la cuenca (m.).

Si: Área de cada franja (km<sup>2</sup>. o m<sup>2</sup>.).

Hi: Promedio de las curvas de nivel.

Stotal: Área total de la cuenca (km<sup>2</sup>. o m<sup>2</sup>.).



### 2.2.2.6. *Pendiente del cauce.*

El conocimiento de la pendiente del cauce principal de una cuenca, es un parámetro importante en el estudio del comportamiento del recurso hídrico, por ejemplo, para la determinación de las características óptimas de su aprovechamiento hidroeléctrico, o en la solución de problemas de inundaciones. En general, la pendiente de un tramo del cauce de un río, se puede considerar como el cociente, que resulta de dividir, el desnivel de los extremos del tramo, entre la longitud horizontal de dicho tramo. (Villón, 2002, p.54)

### 2.2.2.7. *Periodo de retorno.*

MTC. (2008), denomina al periodo de retorno como el tiempo promedio en que el valor de caudal mas alto de una creciente es igualado o excedido una vez por cada “T” años, como cada evento anual es independiente, se podra calcular la probabilidad de una falla durante “n” años de vida util. Para el calculo del periodo de retorno se debe considerar la relacion que existe entre la vida util de la estructura, riesgo de falla y la probabilidad de ocurrencia del fenomeno. El riesgo es la fijación antes de tiempo que se quiere asumir en el caso de que la obra falle durante su vida útil, el cual implicaría que no exista la ocurrencia de magnitudes mayores a los utilizados en el diseño durante el primer año, segundo año, tercer año y secuencialmente para cada año de vida útil de la obra. Según el periodo de retorno y la vida útil de la obra, el riesgo de falla admisible está dada por:

$$R = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n \quad \dots \dots \dots \text{Ecuación 9}$$

Tabla 10:

*Valores máximos recomendados para el riesgo admisible.*

Tipos de obra	Riesgo admisible (**) %
Puentes(*)	25.00
Alcantarillas de paso de quebradas importantes y badenes	30.00
Alcantarillas de paso quebradas menores y descarga de agua de cunetas	35.00
Drenaje de la plataforma (a nivel longitudinal)	40.00
Subdrenes	40.00
Defensas ribereñas	25.00

Fuente: Recuperado del “Manual de hidrología, hidráulica y drenaje”, MTC., 2008.

(\*) -Para obtención de la luz y nivel de aguas máximas extraordinarias. -Se recomienda un período de retorno T de 500 años para el cálculo de socavación.

(\*\*) - **Vida Útil considerado (n)**

- Para puentes y Defensas Ribereñas n=40 años.
- En alcantarillas de quebradas importantes n=25 años.
- En alcantarillas de quebradas menores n=15 años.
- Para drenaje de plataforma y Sub-drenes n=15 años.

“Se tendrá en cuenta, la importancia y la vida útil de la obra a diseñarse; el propietario de una obra es el que define el riesgo admisible de falla y la vida útil de las obras” (MTC., 2008).

Según el Instituto de la Construcción y Gerencia (ICG., 2006):

- a) El sistema menor de drenaje deberá ser diseñado para un periodo de retorno entre 2 y 10 años. El periodo de retorno está en función de la importancia económica de la urbanización, correspondiendo 2 años a pueblos pequeños.
- b) El sistema mayor de drenaje deberá ser diseñado para el periodo de retorno de 25 años.
- c) El diseñador podrá proponer periodos de retorno mayores a los mencionados según su criterio le indique que hay mérito para postular un mayor margen de seguridad debido al valor económico o estratégico de la propiedad a proteger.

#### **2.2.2.8. Precipitación.**

Chereque (1989) define la precipitación:

A toda forma de humedad, que, originándose en las nubes, llega hasta la superficie terrestre. De acuerdo a esta definición, las lluvias, las granizadas, las garúas y las nevadas son formas distintas del mismo fenómeno de la precipitación. En Estados Unidos, la lluvia se identifica según su intensidad, en:

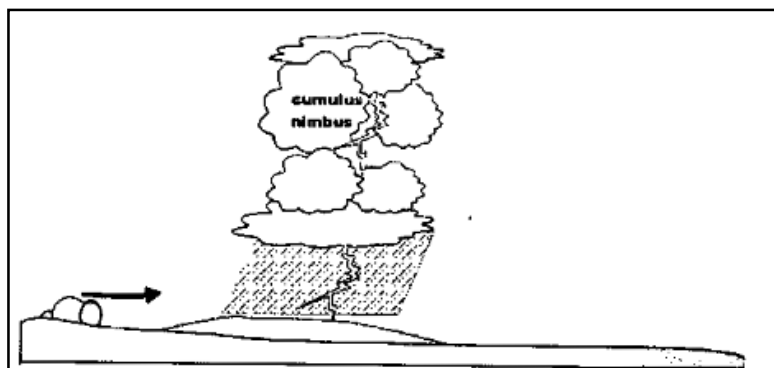
- Ligera, para tasas de caída de hasta 2.5 mm/h.
- Moderada, desde 2.5 hasta 7.6 mm/h.
- Fuerte, por encima de 7.6 mm/h.

#### **2.2.2.9. Tipos de precipitación.**

Según Villón (2002), la precipitación se clasifica en:

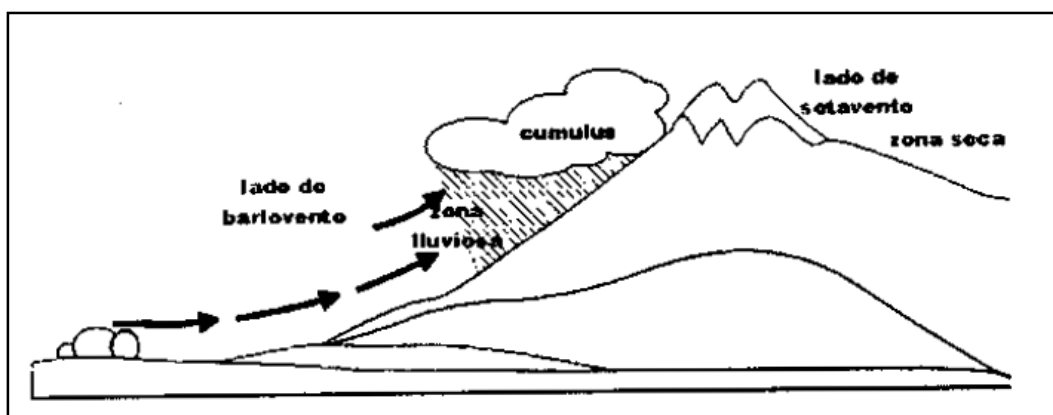
a) *Precipitación de convección:* En tiempo caluroso, se produce una abundante evaporación a partir de la superficie del agua, formando grandes masas de vapor de agua que por estar más calientes, se elevan sufriendo un enfriamiento de acuerdo a la adiabática seca o húmeda. En el curso de su ascenso, se enfrían según el gradiente adiabático seco ( $1^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ ), o saturado ( $0.5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ ). (p.71)

Las masas de vapor se acumulan en los puntos llamados células de convección; a partir de este punto, estas masas pueden seguir elevándose hasta llegar a las grandes alturas, donde encuentran condiciones que provocan la condensación y la precipitación. Generalmente viene acompañada de rayos y truenos. Son precipitaciones propias de las regiones tropicales, donde las mañanas son muy calurosas, el viento es calmo y hay una predominancia de movimiento vertical del aire. (p.71)



*Figura 5: Precipitación de convección*  
Fuente: Recuperado de Hidrología, Villón Béjar, 2002.

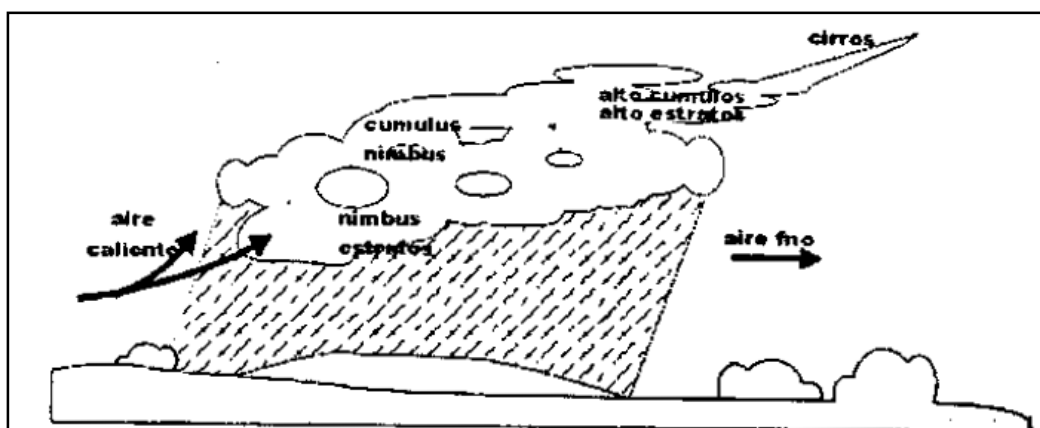
- b) *Precipitación orográfica*: Se producen cuando el vapor de agua que se forma sobre la superficie de agua es empujado por el viento hacia las montañas, aquí las nubes siguen por las laderas de las montañas y ascienden a grandes alturas, hasta encontrar condiciones para la condensación y la consiguiente precipitación. (p.72)



*Figura 6: Precipitación orográfica*  
Fuente: Recuperado de Hidrología, Villón Béjar, 2002.

- c) *Precipitación ciclónica*.: Se producen cuando hay un encuentro de dos masas de aire, con diferente temperatura y humedad, las nubes más calientes son violentamente impulsadas a las partes más altas, donde pueden producirse la condensación y precipitación. Están asociadas con el paso de ciclones o zonas de baja presión. Todas estas formas de originarse las lluvias, en la naturaleza se presentan combinadas, de modo que una

lluvia determinada puede provenir de cualquiera de las formas o de la combinación de ellas. (p.72)



*Figura 7: Precipitación ciclónica.*  
Fuente: Recuperado de Hidrología, Villón Béjar, 2002.

#### ***2.2.2.10. Medición de la precipitación.***

La precipitación se mide en términos de la altura de lámina de agua (hp.), y se expresa comúnmente en milímetros. Esta altura de lámina de agua, indica la altura del agua que se acumularía en una superficie horizontal si la precipitación permaneciera donde cayó. Los aparatos de medición se basan en la exposición a la intemperie de un recipiente cilíndrico abierto en su parte superior, en el cual se recoge el agua producto de la lluvia u otro tipo de precipitación, registrando su altura. Los aparatos de medición, se clasifican de acuerdo con el registro de las precipitaciones, en pluviómetros y pluviógrafos. (Villón, 2002, p.73)

#### ***2.2.2.11. Intensidad de lluvia y duración.***

La intensidad de lluvia y la duración son dos conceptos asociados entre sí; intensidad de lluvia, es la medida que determina lo fuerte que está lloviendo. La más fuerte lluvia, tiene la mayor intensidad. La intensidad se define como la altura de lluvia acumulada por unidad de tiempo usualmente expresada en mm/h.; podemos tener una expectativa de cuánto podría llover, pero se debe tener en cuenta que para cualquier lluvia, mientras más

corto sea el periodo de concentración mayor será la magnitud de la intensidad de lluvia, ya que la intensidad de lluvia es una relación de cuanto llueve en un determinado periodo de tiempo y suponiendo que en una zona llueve una cantidad fija de agua, conforme mayor sea el tiempo en el que cae menor será la intensidad de lluvia. Duración, es el intervalo de tiempo que dura la lluvia, definiéndose en minutos. (Miranda y Pachar, 2012, p.22)

### **2.2.2.12. Análisis estadístico de datos hidrológicos.**

#### *Modelos de distribución.*

Según el MTC. (2008) indica:

El análisis de frecuencias tiene la finalidad de estimar precipitaciones, intensidades o caudales máximos, según sea el caso, para diferentes períodos de retorno, mediante la aplicación de modelos probabilísticos, los cuales pueden ser discretos o continuos.

En la estadística existen diversas funciones de distribución de probabilidad teóricas; recomendándose utilizar las siguientes funciones:

#### *a) Distribución normal.*

La función de densidad de probabilidad normal se define como:

$$f(x) = \frac{1}{S\sqrt{2\pi}} * e^{\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{S}\right)^2} \quad \dots \dots \dots \text{Ecuación 10}$$

Donde:

f(x): Función densidad normal de la variable x.

X: Variable independiente.

μ: Parámetro de localización, igual a la media aritmética de x.

S: Parámetro de escala, igual a la desviación estándar de x.

b) *Distribución Log. Normal 2 Parámetros.*

La función de distribución de probabilidad es:

$$P(x \leq x_i) = \frac{1}{S\sqrt{(2\pi)}} \int_{-\infty}^{x_i} e^{\left(-\frac{(x-\bar{X})^2}{2S^2}\right)} dx \quad \dots \dots \dots \text{Ecuación 11}$$

Donde:

$\bar{X}$  y S son los parámetros de la distribución.

Si la variable x de la ecuación (11) se reemplaza por una función  $y=f(x)$ , tal que  $y=\log(x)$ , la función puede normalizarse, transformándose en una ley de probabilidades denominada Log. Normal, N (Y, Sy). Los valores originales de la variable aleatoria x, deben ser transformados a  $y = \log x$ .

c) *Distribución Log. Normal 3 Parámetros.*

La función de densidad de x es:

$$f(x) = \frac{1}{(x - x_0)\sqrt{(2\pi)S_y}} e^{-\frac{1}{2\left(\ln(x-x_0) - \frac{u_y}{S_y}\right)^2}} \quad \text{Para } x > x_0 \quad \dots \dots \text{Ecuación 12}$$

Donde:

X0: Parámetro de posición.

Uy: Parámetro de escala o media.

Sy<sup>2</sup>: Parámetro de forma o varianza.

d) *Distribución Gamma 2 Parámetros.*

La función de densidad es:

$$f(x) = \frac{x^{\gamma-1} e^{-\frac{x}{\beta}}}{\beta^{\gamma} \Gamma(\gamma)} \quad \dots \dots \dots \text{Ecuación 13}$$

Válido para:

$$0 \leq x < \infty, 0 < \gamma < \infty \text{ y } 0 < \beta < \infty$$

Donde:

$\gamma$ : Parámetro de forma.

$\beta$ : Parámetro de escala.

e) *Distribución Gamma 3 Parámetros.*

La función de densidad es:

$$f(x) = \frac{(x - x_0)^{\gamma-1} e^{-\frac{(x-x_0)}{\beta}}}{\beta^\gamma \Gamma(\gamma)} \quad \dots \dots \dots \text{Ecuación 14}$$

Válido para:

$$x_0 \leq x < \infty$$

$$-\infty < x_0 < \infty$$

$$0 < \beta < \infty$$

$$0 < \gamma < \infty$$

Donde:

$x_0$ : Es el origen de la variable  $x$ , parámetro de posición.

$\gamma$ : Parámetro de forma.

$\beta$ : Parámetro de escala.

f) *Distribución Log. Pearson tipo III*

La función de densidad es:

$$f(x) = \frac{(\ln x - x_0)^{\gamma-1} e^{-\frac{(\ln x - x_0)}{\beta}}}{x \beta^\gamma \Gamma(\gamma)} \quad \dots \dots \dots \text{Ecuación 15}$$

Válido para:

$$x_0 \leq x < \infty$$

$$-\infty < x_0 < \infty$$

$$0 < \beta < \infty$$

$$0 < \gamma < \infty$$

Donde:

$x_0$ : Parámetro de posición.

$\gamma$ : Parámetro de forma.

$\beta$ : Parámetro de escala.

g) *Distribución Gumbel.*

La distribución de valores tipo I conocida como Distribución Gumbel o Doble Exponencial, tiene como función de distribución de probabilidades la siguiente expresión:

$$F(x) = e^{-e^{-\alpha(x-\beta)}} \quad \dots \dots \dots \text{Ecuación 16}$$

Utilizando el método de momentos, se obtienen las siguientes relaciones:

$$\alpha = \frac{1.2825}{\sigma}$$

$$\beta = \mu - 0.45\sigma$$

Donde:

$\alpha$ : Parámetro de concentración.

$\beta$ : Parámetro de localización.

Según Ven Te Chow (2004), la distribución puede expresarse de la siguiente forma:

$$x = \bar{x} + k\sigma_x$$

Donde:

$x$ : Valor con una probabilidad dada.

$\bar{x}$ : Media de la serie.

$k$ : Factor de frecuencia.

*h) Distribución Log. Gumbel.*

La variable aleatoria reducida Log. Gumbel, se define como:

$$y = \frac{\ln x - \mu}{\alpha}$$

Con lo cual, la función acumulada reducida Log. Gumbel es:

$$G(y) = e^{-e^{-y}}$$

*Pruebas de bondad de ajuste.*

Las pruebas de bondad de ajuste son pruebas de hipótesis que se usan para evaluar si un conjunto de datos es una muestra independiente de la distribución elegida.

*Prueba Kolmogorov – Smirnov.*

Según el MTC. (2008) indica:

Método por el cual se comprueba la bondad de ajuste de las distribuciones, asimismo permite elegir la más representativa, es decir la de mejor ajuste. Esta prueba consiste en comparar el máximo valor absoluto de la diferencia D, entre la función de distribución de probabilidad observada  $F_o(x_m)$  y la estimada  $F(x_m)$ :

$$D = \text{máx}|F_o(x_m) - F(x_m)|$$

Con un valor crítico de que depende del número de datos y el nivel de significancia seleccionado. Si  $D < d$ , se acepta la hipótesis nula. Esta prueba tiene la ventaja sobre la prueba de  $\chi^2$  de que compara los datos con el modelo estadístico sin necesidad de agruparlos. La función de distribución de probabilidad observada se calcula como:

$$F_o(x_m) = 1 - \frac{m}{n + 1}$$

Donde m es el número de orden de dato  $x_m$  en una lista de mayor a menor y n es el número total de datos. (Aparicio, 1996)

Tabla 11:

*Valores críticos para la prueba Kolmogorov – Smirnov.*

Tamaño de la muestra	A=0.10	A=0.05	A=0.01
5	0.51	0.56	0.67
10	0.37	0.41	0.49
15	0.3	0.34	0.4
20	0.26	0.29	0.35
25	0.24	0.26	0.32
30	0.22	0.24	0.29
35	0.2	0.22	0.27
40	0.19	0.21	0.25

Fuente: Recuperado del “Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje”, MTC., 2008.

### **2.2.2.13. Curva Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF).**

Según el MTC. (2008):

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

$$i = \frac{P}{Td} \quad \dots \dots \dots \dots \dots \quad \text{Ecuación 17}$$

Donde:

P: Profundidad de lluvia (mm).

Td: Duración (horas).

Según el Gobierno de Chile (2001):

Para determinar estas curvas se necesita contar con registros pluviográficos de lluvia en el lugar de interés y seleccionar la lluvia más intensa de diferentes duraciones en cada año, con el fin de realizar un estudio de frecuencia con cada una de las series así formadas. Con los valores seleccionados se forman series anuales para cada una de las duraciones elegidas. Estas series anuales están formadas eligiendo,

en cada año del registro, el mayor valor observado correspondiente a cada duración, obteniéndose un valor para cada año y cada duración.

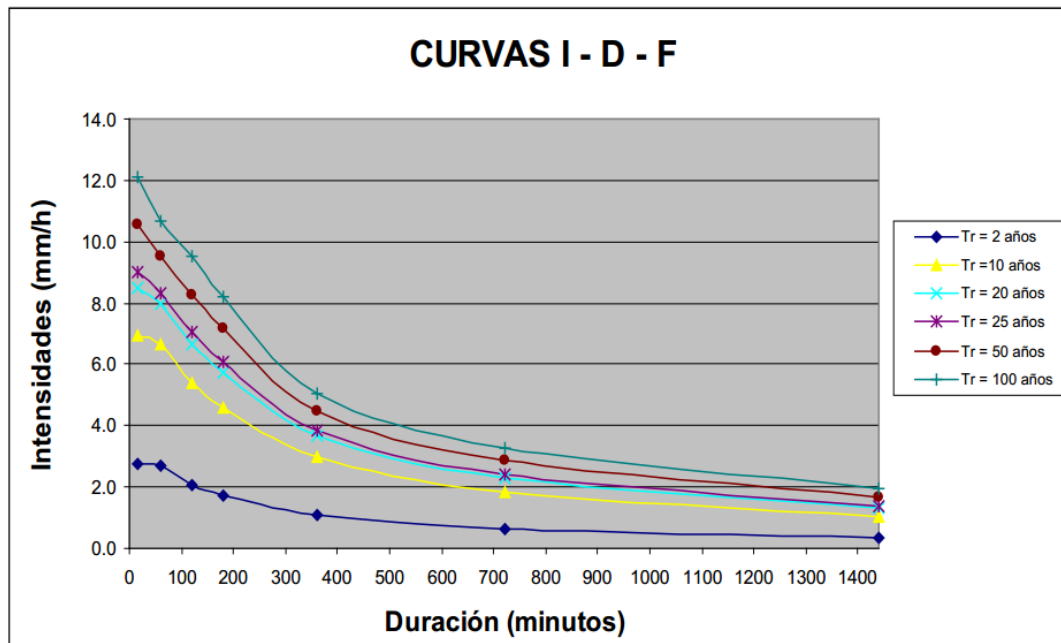


Figura 8: Ejemplo: Curvas intensidad - duración - frecuencia para lluvia máxima  
Fuente: Recuperado del Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje, MTC., 2008.

Según el MTC. (2008), Cuando no se cuenta con datos de intensidad menores a 1 hora, estas se calculan a partir de lluvias máximas y luego obtenerse curvas IDF., para ello se utiliza la Pmax. en 24 horas y obtener lluvias máximas para diferentes duraciones. Para determinar las precipitaciones máximas para diferentes duraciones, se pueden calcular mediante la fórmula de Dick Peschke:

$$Pd = P_{24h} \left( \frac{d}{1440} \right)^{0.25} \quad \dots \dots \dots \text{Ecuación 18}$$

Dónde:

Pd: Precipitación total (mm.).

d: Duración en minutos.

P 24h: Precipitación máxima en 24 horas (mm.).

La intensidad se halla dividiendo la precipitación Pd. entre la duración.

Las curvas de intensidad-duración-frecuencia, se han calculado indirectamente, mediante la siguiente relación:

$$I = \frac{K T^m}{t^n} \quad \dots \dots \dots \text{Ecuación 19}$$

Dónde:

I: Intensidad máxima (mm/h.).

K, m, n: Factores característicos de la zona de estudio.

T: Período de retorno en años.

t: Duración de la precipitación equivalente al tiempo de concentración (min.).

Según el MTC. (2008), se llama tiempo de concentración al tiempo que necesita una gota de agua en recorrer desde la parte hidráulicamente mas lejano, hasta llegar a la salida de la cuenca. Se asume que el tiempo de concentración es igual a la duración crítica, cuando exista una relacion inversa de la intensidad y duración, esto quiere decir que a mayor duración la intensidad disminuye. Se debera tomar en cuenta varios factores para la obtención del tiempo de concentración real, entre ellos, la geometría en planta de la cuenca ( la cuenca alargada tendrá mayor tiempo de concentracion), la pendiente (a mayor pendiente se producen flujos cada vez más veloces), las características del suelo, el área, la cobertura vegetal, entre otros factores.

Para el caso de un sistema de drenaje pluvial el tiempo de concentración sera:

$$t_c = t_o + t_f \quad \dots \dots \dots \text{Ecuación 20}$$

Dónde:

to: Tiempo de entrada, hasta alguna alcantarilla.

tf: Tiempo de flujo en los alcantarillados hasta el punto de interés =  $\sum L_i / V_i$ .

Según Cortez y Condori, (2015), se consideran las siguientes fórmulas para el tiempo de concentración.

- *Fórmula de Passini.*

Utiliza la expresión empírica siguiente:

$$T_c = \frac{\alpha(A*L)^{1/3}}{\sqrt{S}} \quad \dots \dots \dots \text{Ecuación 21}$$

Siendo  $0.04 < \alpha < 0.13$

Donde:

Tc: Tiempo de concentración (hrs.).

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

L: Longitud del cauce (km.).

S: Pendiente media del cauce principal (m/m.).

- *Fórmula de Giandotti.*

$$T_c = \frac{4\sqrt{S} + 1.5L}{0.8\sqrt{H}}, \text{Siempre que } \frac{L}{3.600} \geq T_c \geq \left(\frac{L}{3.600} + 1.5\right) \quad \dots \dots \dots \text{Ecuación 22}$$

Tc: Tiempo de concentración (hrs.).

S: Área de la cuenca (km<sup>2</sup>).

L: Longitud del cauce principal (km.).

H: Elevación media de la cuenca o diferencia de nivel principal (m.).

- *Fórmula de Benhan.*

Cuya ecuación simplificada es la siguiente:

$$Tc = \left( 0.871 * \frac{L^3}{H} \right)^{0.385} \quad \dots \dots \dots \quad \text{Ecuación 23}$$

Donde:

Tc: Tiempo de concentración (hrs.).

L: Longitud del cauce mas largo (km.).

H: Desnivel máximo del cauce más largo (m.).

- *Fórmula de Ventura-Heras*

$$Tc = \alpha \sqrt{\frac{A}{S}} \quad \dots \dots \dots \quad \text{Ecuación 24}$$

$$0.03 < \alpha < 0.15$$

Donde:

Tc: Tiempo de concentración (hrs.).

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

S: Pendiente media del cauce (m/m.).

$\alpha$ : 0.1272 (*valor recomendado por muchos autores*).

- *Fórmula Bransby – Williams.*

$$Tc = 0.2433 \left( \frac{L}{A^{0.1} * S^{0.2}} \right) \quad \dots \dots \dots \quad \text{Ecuación 25}$$

Donde:

Tc: Tiempo de concentración (hrs.).

L: Distancia máxima de salida (km.).

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

S: Pendiente media del cauce principal (%).



escurrimiento superficial, en caso sea retardado se tratará como un escurrimiento subterráneo.

- c) *Escurrimiento subterráneo*, proveniente de aguas subterráneas, generada por parte de la precipitación infiltrada una vez que el suelo se haya saturado.

#### **2.2.2.16. Caudal.**

##### *Método racional.*

Permite hacer estimaciones de caudales máximos de la esorrentía, usando intensidades máximas de precipitación, esto quiere decir, que el caudal máximo de esorrentía es directamente proporcional a la intensidad máxima de lluvia, para un periodo máximo de duración igual que el tiempo de concentración. Este método es mayormente usado para cuencas de áreas menores a 10 km<sup>2</sup>. (MTC., 2008)

El caudal máximo según este método se obtiene a partir de la siguiente igualdad:

$$Q = 0.278 CIA \quad \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \quad \text{Ecuación 27}$$

Dónde:

Q: Caudal máximo de diseño (m<sup>3</sup>/s.).

C: Coeficiente de esorrentía.

I: Intensidad de lluvia máxima horaria (mm/h.).

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

Tabla 12:

*Coefficientes de escorrentía para el método racional.*

Características de la superficie	Periodo de retorno (años)						
	2	5	10	25	50	100	500
<b>Áreas urbanas</b>							
Asfalto	0.73	0.77	0.81	0.86	0.90	0.95	1.00
Concreto / techos	0.75	0.80	0.83	0.88	0.92	0.97	1.00
<b>Zonas verdes (jardines, parques)</b>							
<b>Condición pobre (cubierta de pasto menor del 50% del área)</b>							
Plano 0 - 2%	0.32	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.58
Promedio 2 - 7%	0.37	0.40	0.43	0.46	0.49	0.53	0.61
Pendiente Superior a 7%	0.40	0.43	0.45	0.49	0.52	0.55	0.62
<b>Condición promedio (cubierta de pasto menor del 50% al 75% del área)</b>							
Plano 0 - 2%	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Promedio 2 - 7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Pendiente Superior a 7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
<b>Condición buena (cubierta de pasto mayor del 75% del área)</b>							
Plano 0 - 2%	0.21	0.23	0.25	0.29	0.32	0.36	0.49
Promedio 2 - 7%	0.29	0.32	0.35	0.39	0.42	0.46	0.56
Pendiente Superior a 7%	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.51	0.58
<b>Áreas no desarrolladas</b>							
<b>Área de cultivos</b>							
Plano 0 - 2%	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.57
Promedio 2 - 7%	0.35	0.38	0.41	0.44	0.48	0.51	0.60
Pendiente Superior a 7%	0.39	0.42	0.44	0.48	0.51	0.54	0.61
<b>Pastizales</b>							
Plano 0 - 2%	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Promedio 2 - 7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Pendiente Superior a 7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
<b>Bosques</b>							
Plano 0 - 2%	0.22	0.25	0.28	0.31	0.35	0.39	0.48
Promedio 2 - 7%	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.56
Pendiente Superior a 7%	0.35	0.39	0.41	0.45	0.48	0.52	0.58

Fuente: Recuperado de la "Norma OS.060-Drenaje Pluvial Urbano", Instituto de la Construcción y Gerencia – ICG., 2006.

Según Villón (2002):

Se tiene métodos directos, métodos empíricos, método del número de curva, métodos estadísticos, métodos hidrológicos; entre los empíricos se tiene: el método racional, método de Mac Math, Fórmula de Burkli – Zieger, método del número de curva, entre otros.

La fórmula planteada por Burkli – Zieger, para el cálculo del caudal máximo, es:

$$Q = 0.022CIA^4 \sqrt{\frac{S}{A}} \quad \dots \dots \dots \dots \dots \dots \quad \text{Ecuación 28}$$

Dónde:

Q: Caudal máxima (m<sup>3</sup>/s.).

C: Variable que depende de la naturaleza de la superficie drenada.

I: Intensidad máxima (cm/h.).

A: Área de drenaje (ha.).

S: Pendiente media de la cuenca (%).

Tabla 13:

*Valores del coeficiente de permeabilidad C para Burkli-Zieger.*

Valores de C, para Burkli-Zieger.	
Calles pavimentadas	0.75
Suelos ligeramente impermeables	0.70
Calles ordinarias de ciudad	0.625
Suelos ligeramente permeables	0.50
Terrenos de cultivo y laderas montañosas	0.25

Fuente: Cortez Román y Condori Palma, (2015).

### **2.2.3. Características geotécnicas.**

#### **2.2.3.1. Técnicas de investigación de campo.**

“Se considera los cuatro tipos de muestras que se indican en la siguiente tabla en función de las exigencias que deberán atenderse en cada caso, respecto del terreno que representan”. (Instituto de la Construcción y Gerencia [ICG.], 2006)

Tabla 14:

*Tipos de muestra.*

Tipo de muestra	Norma aplicable	Formas de obtener y transportar	Estado de la muestra	Características
Muestra inalterada en bloque (Mib.)	NTP 339.151 (ASTM D4220) Prácticas normalizadas para la preservación y transporte de muestras de suelos.	Bloques	Inalterada	Debe mantener inalteradas las propiedades físicas y mecánicas del suelo en su estado natural al momento del muestreo (Aplicable solamente a suelos cohesivos, rocas blandas o suelos granulares finos suficientemente cementados para permitir su obtención).
Muestra inalterada en tubo de pared delgada (Mit.)	NTP 339.169.(ASTM D1587) Muestreo geotécnico de suelos con tubo de pared delgada.	Tubos de pared delgada	Inalterada	Debe mantener inalterada la granulometría del suelo en su estado natural al momento del muestreo.
Muestra alterada en bolsa de plástico (Mab.)	NTP 339.151 (ASTM D4220) Prácticas normalizadas para la preservación y transporte de muestras de suelos.	Con bolsas de plástico	Alterada	Debe mantener inalterado el contenido de agua.
Muestra alterada para humedad en lata sellada (Mah.)	NTP 339.151 (ASTM D4220) Prácticas normalizadas para la preservación y transporte de muestras de suelos.	En lata sellada	Alterada	

Fuente: Recuperado “Norma E.050 - Suelos y Cimentaciones”, ICG., 2006.

### **2.2.3.2. Análisis granulométrico.**

Díaz (2015) menciona:

El análisis granulométrico consiste en la separación de las partículas de suelo por rangos de tamaños, haciendo uso de mallas o tamices con aberturas cuadradas. Mediante procesos de agitado se lleva a cabo la separación de las partículas en porciones, las cuales se pesan expresando dicho retenido como porcentajes en peso de la muestra total y aunque se considera físicamente imposible determinar el tamaño exacto de cada partícula, la prueba de granulometría permite agruparlas por rangos de tamaño. Universalmente se ha establecido

la malla No. 200 (0,075mm.), como medida divisoria en la clasificación de suelos; finos y gruesos.

Este método de ensayo tiene como propósito obtener datos por medio de los cuales se puedan determinar las siguientes constantes de los suelos:

- Coeficiente de uniformidad(Cu.).
- Coeficiente de curvature(Cc.).
- Porcentaje de gravas.
- Porcentaje de arenas.
- Porcentaje de finos.
- Clasificación del suelo.
- Curva granulométrica.

Tabla 15:

*Numero de tamices de malla cuadrada.*

Tamices	Abertura (mm.)
3"	75,000
2"	50,800
1 1/2"	38,100
1"	24,400
3/4"	19,000
3/8"	9,500
N°4	4,760
N°10	2,000
N°20	0,840
N°40	0,425
N°60	0,260
N°140	0,106
N°200	0,075

Fuente: Recuperado "Norma E.050-Suelos y Cimentaciones", ICG., 2006.

Tabla 16:

*Tipo - Características del suelo por tamaño.*

Tipo de material	Características	Tamaño (mm.)
Piedra		Mayor a 70
Grava	Gruesa	30 a 70
	Media	5 a 30
	Fina	2 a 5
Arena	Gruesa	1 a 2
	Media	0.2 a 1
	Fina	0.1 a 0.2
Polvo	Gruesa	0.05 a 0.1
	Fina	0.02 a 0.05
Lima	Gruesa	0.006 a 0.02
	Fina	0.002 a 0.006
Arcilla	Gruesa	0.0006 a 0.002
	Fina	0.0002 a 0.0006
Ultra - Arcilla		0.00002 a 0.0002

Fuente: Recuperado "Mecánica de suelos - Fundamentos de la Mecánica de Suelos", Juárez, (s/a.).

Díaz (2015) indica también:

La curva granulométrica es necesaria para conocer el porcentaje que pasa el 10%, 30% y 60% de suelo, los parámetros más importantes son:

a) *El diámetro eficaz (D10):* Porcentaje que pasa 10% de partículas del suelo.

Juega un importante papel en el valor de la conductividad hidráulica del suelo.

b) *Coefficiente de uniformidad:*

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad \dots \dots \dots \quad \text{Ecuación 29}$$

Donde:

$D_{60}$  =Tamaños de las partículas del suelo en milímetros, que en la gráfica de la composición granulométrica corresponden al 60%.

$D_{10}$  =Tamaños de las partículas del suelo en milímetros, que en la gráfica de la composición granulométrica corresponden al 10%.

c) *Coefficiente de curvatura:*

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} \times D_{10}} \quad \dots \dots \dots \quad \text{Ecuación 30}$$

Donde:

$D_{60}$  =Tamaños de las partículas del suelo en milímetros, que en la gráfica de la composición granulométrica corresponden al 60 %.

$D_{10}$  =Tamaños de las partículas del suelo en milímetros, que en la gráfica de la composición granulométrica corresponden al 10 %.

$D_{30}$  =Tamaños de las partículas del suelo en milímetros, que en la gráfica de la composición granulométrica corresponden al 30 %.

### 2.2.3.3. *Límites de consistencia.*

a) *Límite líquido (LL.):* El límite líquido se da cuando el suelo se encuentra entre los estados líquido y plástico, expresado en porcentajes y se calcula mediante el ensayo en la cuchara de Casagrande, que consiste en realizar un surco que separe en dos mitades la pasta de suelo y dejar caer la copa 25 veces, desde una altura de 1cm. a razón de dos caídas por segundo, cerrando a lo largo del fondo de la cuchara en una distancia de 13mm. (1/2 pulg.). (MTC. 2016)

b) *Límite plástico (LP.):* Se denomina límite plástico (LP.) a la humedad más baja con la que pueden formarse barritas de suelo de unos 3,2mm. (1/8") de diámetro, rodando dicho suelo entre la palma de la mano y una

superficie lisa (vidrio esmerilado), sin que dichas barritas se desmoronen; por tanto, es la propiedad que tiene el suelo a deformarse sin producir agrietamiento. (MTC. 2016)

c) *Índice de plasticidad (IP.)*: Según Mantilla (2001), el IP. es la diferencia que existe entre el límite líquido y el límite plástico, excepto cuando no se pueda determinar el límite líquido o el límite plástico, o en el caso de que el límite plástico sea igual o mayor al límite líquido, indicando que no existe el índice de plasticidad.

$$IP = LL - LP \quad \dots \dots \dots \dots \dots \quad \text{Ecuación 31}$$

#### **2.2.3.4. Contenido de humedad.**

Según Díaz (2015):

El contenido de humedad de un suelo es la relación existente entre la masa de agua que logra alojarse dentro de la estructura porosa del suelo y la masa propia de las partículas de suelo. Existen diversos métodos para determinar el contenido de agua en un suelo, pero la más utilizada en la ingeniería civil y geotecnia es el método por secado al horno. La determinación del contenido de agua en un suelo es de vital importancia en el momento de tratar propiedades del mismo como la cohesión, consistencia, cambios de volumen y estabilidad mecánica.

El contenido de humedad del suelo se obtiene con la siguiente fórmula:

$$W(\%) = \frac{W_h - W_s}{W_s - W_r} * 100 \quad \dots \dots \dots \dots \dots \quad \text{Ecuación 32}$$

### 2.2.3.5. Clasificación de suelos.

#### a) Sistema de clasificación AASHTO.

De acuerdo a la norma AASHTO. (2016), se clasifican en siete grupos y el uso de este sistema es principalmente para la construcción de caminos y/o carreteras, el ensayo realizado para este, es el análisis granulométrico por tamices, la determinación de los límites de Atterberg y el cálculo del índice de grupo (IG.).

$$IG = (F-35) (0.2+0.005(LL-40)) + 0.01 \quad \dots \dots \dots \quad \text{Ecuación 33}$$

Donde:

F: Porcentaje que pasa la malla N° 200.

LL: Límite líquido.

IP: Índice de plasticidad.

El índice del grupo da idea de la idoneidad de un suelo para realizar explanaciones. Cuanto más pequeño es el índice de grupo, el suelo se considera mejor.

Tabla 17:

*Sistema de clasificación AASHTO.*

Clasificación general.	Materiales granulares (35% o menos pasa el tamiz N°200).						Materiales limo - arcillosos (Más del 35% pasa el tamiz N° 200).				
	A-1		A-3	A-2			A-4	A-5	A-6	A-7	
Grupos	A-1-a A-1-b		A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5
Sub-grupos	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-6
<b>% Que pasa el tamiz:</b>											
N°10	50 máx.										
N°40	30 máx.	50 máx.	51 min.								
N° 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 min.	36 min.	36 min.	36 min.
<b>Características del material que pasa el tamiz N° 40</b>											
Límite Líquido			No Plástico	40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.
Índice de Plasticidad	6 máx.	6 máx.		10 máx.	10 máx.	11 min.	11 min.	10 máx.	10 máx.	11 min.	11 min.
Índice de Grupo	0	0	0	0	0	4 máx.	4 máx.	8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
Tipos de Material	Fragmentos de piedra grava y arena		Arena fina	Gravas, arenas limosas y arcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
<b>A-2-A(0)=Material granular con partículas finas limosas</b>											

Fuente: Recuperado del "Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil", Bowles, 1981.

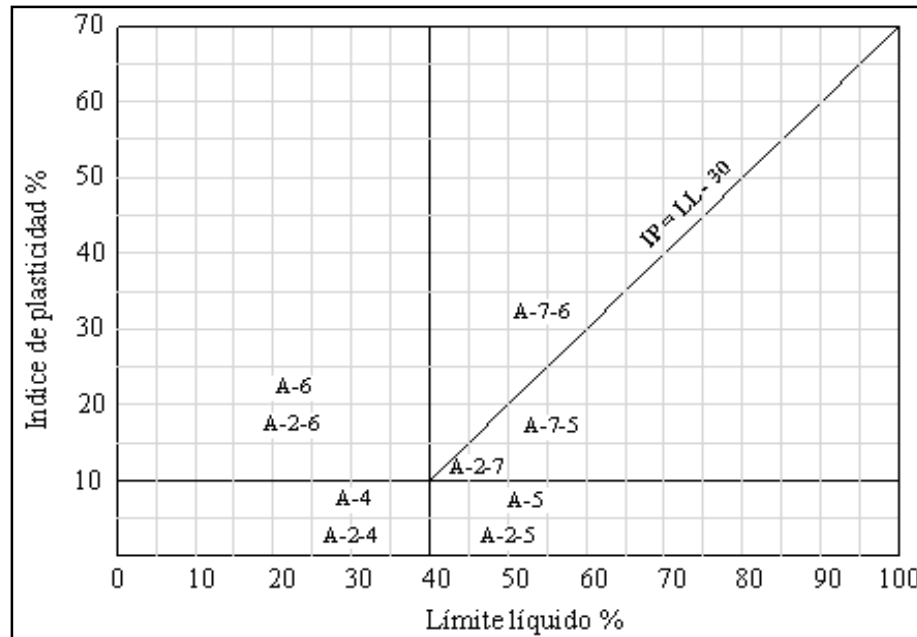


Figura 9: Carta de plasticidad AASHTO. para suelos finos.

Fuente: Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil, Bowles, 1981.

#### b) Sistema de clasificación SUCS.

Según Rosales, (2013):

Este sistema fue propuesto por Arthur Casagrande en 1948, basado en especificaciones ampliamente utilizadas durante la II guerra mundial para la construcción de aeródromos. Su utilidad se puso de manifiesto durante los años siguientes al ser aplicada en diferentes obras de ingeniería civil, tales como presas, canales y carreteras.

En primera instancia este sistema divide los suelos en dos grandes grupos: los de grano grueso y de grano fino. Pertenecen al primero aquellos suelos que cuentan con más del 50 % en peso de partículas de tamaño mayor a 0,080 mm., se representan por el símbolo “G” (de gravas), si más de la mitad de las partículas gruesas son retenidas en tamiz 5 mm. y por el símbolo “S” (de arenas, en inglés) si más de la mitad de las mismas pasa por tamiz 5 mm.

A la “G” o a la “S” se les agrega una segunda letra que describe la graduación y la presencia de finos (partículas de tamaño inferior a 0.080 mm.):

- “W” para suelos con buena graduación, con poco o ningún fino.

- “P” para suelos de graduación pobre, uniforme o discontinua y con poco o ningún fino.
- “M” para suelos que contienen limo o también limo y arena.
- “C” para suelos que contienen arcilla o también arena y arcilla.

Los suelos finos (aquellos que cuentan con una proporción superior al 50 % de partículas de tamaño inferior a 0.080 mm.), se clasifican según la propuesta de Casagrande, dividiéndose en tres grupos: Las arcillas (“C”), los limos (“M”) y los limos o arcillas orgánicos (“O”). Estos símbolos están seguidos por una segunda letra que depende del valor del límite líquido: “L” si el límite líquido es menor a 50, y “H” si es mayor o igual a 50.

Tabla 18:

*Clasificación de suelos según SUCS., ASTM. D2484.*

		Criterio	Símbolo de grupo	Nombre del grupo	
Suelos de partículas gruesas más del 50% es retenido en la malla N° 200	Gravas limpias	$Cu \geq 4$ y $1 < Cc \leq 3$	GW	Grava bien graduada	
		menos del 5% pasa la malla n°200	GP	Grava mal graduada	
	Gravas con finos más del 12% pasa la malla n°200	$IP < 4$ ó debajo de la línea "A" en la carta de plasticidad	GM	Grava limosa	
		$IP > 7$ y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	GC	Grava arcillosa	
		$4 \leq IP \leq 7$ y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	GC - GM	Grava limosa arcillosa	
	Gravas más del 50% de la fracción gruesa es retenida en la malla n°4	Cumple los criterios para GW y GM	GW - GM	Grava bien graduada con limo	
		Cumple los criterios para GW y GC o para GP y GC - GM	GW - GC	Grava bien graduada con arcilla	
		Cumple los criterios para GP y GM	GP - GM	Grava mal graduada con limo	
		Cumple los criterios para GP y GC o para GP y GC - GM	GP - GC	Grava mal graduada con arcilla	
	Arenas el 50% o más de la fracción gruesa pasa la malla n°4	Arena limpia	$Cu \geq 6$ y $1 \leq Cc \leq 3$	SW	Arena bien graduada
			menos del 5% pasa la malla n°200	SP	Arena mal graduada
		Arena con fino más del 12% pasa la malla n°200	$IP < 4$ ó debajo de la línea "A" en la carta de plasticidad	SM	Arena limosa
			$IP > 7$ Y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	SC	Arena arcillosa
			$4 \leq IP \leq 7$ Y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	SC-SM	Arena limosa arcillosa
Arena limpia y con fino entre el 5% y 12% pasa la malla n°200		Cumple los criterios para SW y SM	SW-SM	Arena bien graduada con limo	
		Cumple los criterios para SW y SC o para SW y SC - SM	SW-SC	Arena bien graduada con arcilla	

			Cumple los criterios para SP y SM	SP-SM	Arena mal graduada con limo
			Cumple los criterios para SP y SC o para SP y SC - SM	SP-SC	Arena mal graduada con arcilla
Suelos de partículas finas el 50% o más pasa la malla N° 200	Limos y arcillas límite líquido menor que 50	y Inorgánicos	IP < 4 ó debajo de la línea "A" en la carta de plasticidad	ML	Limo de baja plasticidad
			IP > 7 y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	CL	Arcilla de baja plasticidad
			4 ≤ IP ≤ 7 y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	CL-ML	Arcilla limosa
		Orgánicos	Límite Líquido secado al horno < 0.75	OL	Limo orgánico
			Límite líquido no secado		Arcilla orgánica
		Limos y arcillas límite líquido 50 o mayor	y Inorgánicos	Se gráfica en la carta de la plasticidad debajo de la línea "A"	MH
Se gráfica en la carta de la plasticidad debajo de la línea "A"	CH			Arcilla de alta plasticidad	
Límite Líquido secado al horno < 0.75	OH			Limo orgánico	
		Orgánicos	Límite líquido no secado		Arcilla orgánica
SUELO ALTAMENTE ORGÁNICO			Principalmente materia orgánica de color oscuro	Pt	Turba
GP - GC = Grava mal graduada con arcilla y arena					

Fuente: Recuperado del "Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil", Bowles, 1981.

### 2.2.4. Diseño hidráulico.

Según MTC. (2008), la fórmula más usada para el cálculo de canales abiertos y tuberías a proyectarse es de Robert Manning, el cual permite obtener el caudal y la velocidad de flujo para una condición de régimen uniforme.

$$V = \frac{R^{2/3} S^{1/2}}{n} \quad \dots \dots \dots \text{Ecuación 34}$$

$$R = \frac{A}{P} \quad \dots \dots \dots \text{Ecuación 35}$$

$$Q = VA \quad \dots \dots \dots \text{Ecuación 36}$$

Donde:

$Q$ .-Caudal (m<sup>3</sup>/s.).

$V$ .-Velocidad media de flujo (m/s.).

$A$ .-Área de la sección hidráulica (m<sup>2</sup>.).

$P$ .-Perímetro mojado (m.).

$R$ .-Radio hidráulico (m.).

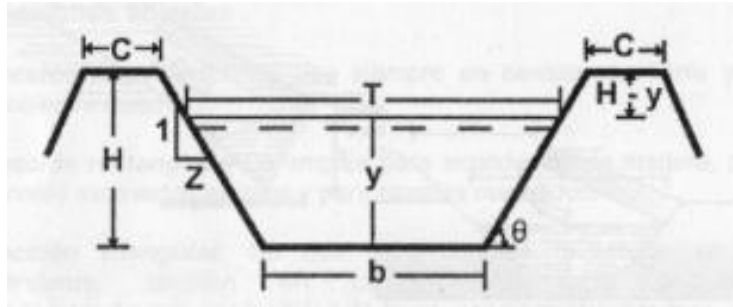
$S$ .-Pendiente de fondo (m/m.).

$n$ .-Coeficiente de Manning.

#### 2.2.4.1. Canal.

##### 2.2.4.1.1. Elementos geométricos de la sección transversal de un canal.

“Un canal construido con una sección transversal invariable y una pendiente de fondo constante se conoce como canal prismático. De otra manera, en no prismáticos los canales artificiales a menudo se diseñan con secciones de figuras geométricas regulares”. (Chow, 2004).



*Figura 10:* Elementos geométricos de la sección transversal de un canal.

Fuente: Hidráulica de canales, Villón Béjar, 2007.

Según Villón (2007), los elementos geométricos de un canal son:

- *Ancho de solera (B)*: Ancho de plantilla, o plantilla, es el ancho de la base de un canal.
- *Área hidráulica (A)*: Es el área que ocupada un líquido en una sección transversal normal cualquiera.
- *Perímetro mojado (P)*: Es la parte del contorno del conducto que está en contacto con el líquido.
- *Radio hidráulico (R)*: Es la dimensión característica de la sección transversal, hace las funciones del diámetro en tuberías, se obtiene de la siguiente relación:
  - $R = \frac{A}{P}$
- *Profundidad media ( $\bar{Y}$ )*: Es la relación entre el área hidráulica y el espejo de agua, es decir:
  - $\bar{Y} = \frac{A}{T}$
- *Espejo de agua (T)*: Es el ancho de la superficie libre del agua.
- *Talud (Z)*: Es la relación de la proyección horizontal a la vertical de la pared lateral (se llama también talud de las paredes laterales del canal).

Es decir,  $Z$  es el valor de la proyección horizontal cuando la vertical es 1.

#### 2.2.4.1.2. Secciones transversales más frecuentes.

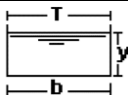
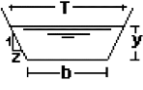
Villón (2007), indica la sección transversal de un canal natural:

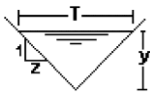
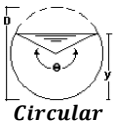

Es generalmente de forma muy irregular y varía de un lugar a otro. Los canales artificiales, usualmente se diseñan con formas geométricas regulares (prismáticos), las más comunes son las siguientes:

- *Sección trapezoidal*; Se usa siempre en canales de tierra y en canales revestidos.
- *Sección rectangular*; Se emplea para acueductos de madera, para canales excavados en roca y para canales revestidos.
- *Sección triangular*; Se usa para canales revestidas en las carreteras, también en canales de tierra pequeños, fundamentalmente por facilidad de trazo, por ejemplo, los surcos.
- *Sección parabólica*; Se emplea a veces para canales revestidos y es la forma que toman aproximadamente muchos canales naturales y canales viejos de tierra.

Tabla 19:

*Relaciones geométricas de las secciones transversales más frecuentes.*

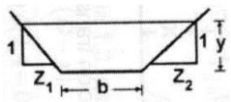
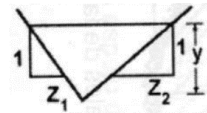
Sección	Área hidráulica A.	Perímetro mojado P.	Radio hidráulico R.	Espejo de agua T.
 <p><i>Rectángulo</i></p>	$by$	$b+2y$	$\frac{by}{b+2y}$	$b$
 <p><i>Trapezoidal</i></p>	$(b+zy)y$	$b+2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{(b+zy)y}{b+2y\sqrt{1+z^2}}$	$b+2zy$

	$zy^2$	$2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{zy}{2\sqrt{1+z^2}}$	$2zy$
<b>Triangular</b>				
	$\frac{(\theta - \text{sen } \theta)D^2}{8}$	$\frac{\theta D}{2}$	$\frac{\text{sen } \theta}{\theta} \frac{D}{4} (1 - \frac{\text{sen } \theta}{\theta})$	$\frac{(\text{sen } \frac{\theta}{2})D}{2\sqrt{y(D-y)}}$
<b>Circular</b>				
	$\frac{2}{3} Ty$	$T + \frac{8y^2}{3T}$	$\frac{2T^2 y}{3T + 8y^2}$	$\frac{3A}{2y}$
<b>Parabólica</b>				

Fuente: Recuperado de "Hidráulica de canales", Villón Béjar, 2007.

Tabla 20:

Relaciones geométricas para una sección trapezoidal y triangular.

Sección		
	<b>Trapezoidal</b>	<b>Triangular</b>
Área hidráulica A.	$(b + \frac{z_1 + z_2}{2} y)y$	$\frac{z_1 + z_2}{2} y^2$
Perímetro mojado P.	$b + (\sqrt{1 + z_1^2} + \sqrt{1 + z_2^2})y$	$(\sqrt{1 + z_1^2} + \sqrt{1 + z_2^2})y$
Radio hidráulico R.	$\frac{(b + \frac{z_1 + z_2}{2} y)y}{b + (\sqrt{1 + z_1^2} + \sqrt{1 + z_2^2})y}$	$\frac{(z_1 + z_2)y}{b + (\sqrt{1 + z_1^2} + \sqrt{1 + z_2^2})y}$
Espejo de agua T.	$b + (z_1 + z_2)y$	$(z_1 + z_2)y$

Fuente: Recuperado de "Hidráulica de canales", Villón Béjar, 2007.

#### 2.2.4.1.3. Tipos de flujos.

Según Villón (2007), se clasifican en:

- *Flujo permanente y no permanente*: El flujo es permanente si el tirante, velocidad, etc., no cambian con respecto al tiempo, es decir, en una

sección del canal, en todo el tiempo los elementos del flujo permanecen constantes. Si los parámetros cambian con respecto al tiempo, el flujo se llama no permanente. (p.45)

- *Flujo uniforme y variado:* El flujo es uniforme si el tirante, velocidad, área, etc., no cambian con respecto al espacio, es decir, en cualquier sección del canal los elementos del flujo permanecen constantes. Los parámetros varían de una sección a otra, el flujo se llama no uniforme o variado. (p.46)
- *Flujo laminar o turbulento:* En relación con el efecto de la viscosidad, el flujo puede ser laminar, de transición o turbulento. En forma semejante al flujo en conductos forzados, la importancia de la fuerza viscosa se mide a través del número de Reynolds (Re.), que relaciona fuerzas de inercia de velocidad con fuerzas viscosas, definidas en este caso como:

$$R_e = \frac{vR}{\nu} \quad \dots \dots \dots \quad \text{Ecuación 37}$$

Donde:

R : Radio hidráulico de la sección transversal, en metros (m.).

v : Velocidad media, en metros por segundo (m/s.).

U: Viscosidad cinemática del agua, en m.

En los canales se han comprobado resultados semejantes a flujos en tuberías, por lo que respecta a ese criterio de clasificación. Para propósitos prácticos en el caso de un canal, se tiene:

Flujo laminar para  $Re < 580$ , en este estado las fuerzas viscosas son relativamente mas grandes que las fuerzas de inercia.

Flujo de transición para  $580 < Re < 750$ , estado mixto entre laminar y turbulento.

Flujo turbulento para  $Re > 750$ , en este estado las fuerzas viscosas son débiles comparadas con las fuerzas de inercia.

En la mayoría de los canales, el flujo laminar ocurre muy raramente, debido a las dimensiones relativamente grandes de los mismos y a la baja viscosidad cinemática del agua.

- *Flujo crítico, subcrítico y supercrítico:* En relación con el efecto de la gravedad, el flujo puede ser crítico, subcrítico y supercrítico; la fuerza de gravedad se mide a través del número de Fraude (F), que relaciona fuerzas de inercia de velocidad, con fuerzas gravitatorias, definidas en este caso como:

$$F = \frac{v}{\sqrt{gL}} \quad \dots \dots \dots \quad \text{Ecuación 38}$$

Donde:

v: Velocidad media de la sección, en m/s.

g: Aceleración de la gravedad, en m/s<sup>2</sup>.

L: Longitud característica de la sección, en m.

En canales, la longitud característica viene dada por la magnitud de la profundidad media o tirante medio  $y = A/T$ , con lo cual se tiene:

$$F = \frac{v}{\sqrt{gy}} = \frac{v}{\sqrt{gA/T}} \quad \dots \dots \dots \quad \text{Ecuación 39}$$

De acuerdo al número de Fraude, el flujo puede ser:

Flujo subcrítico si  $F < 1$ .

Flujo crítico si  $F = 1$ .

Flujo supercrítico si  $F > 1$ .

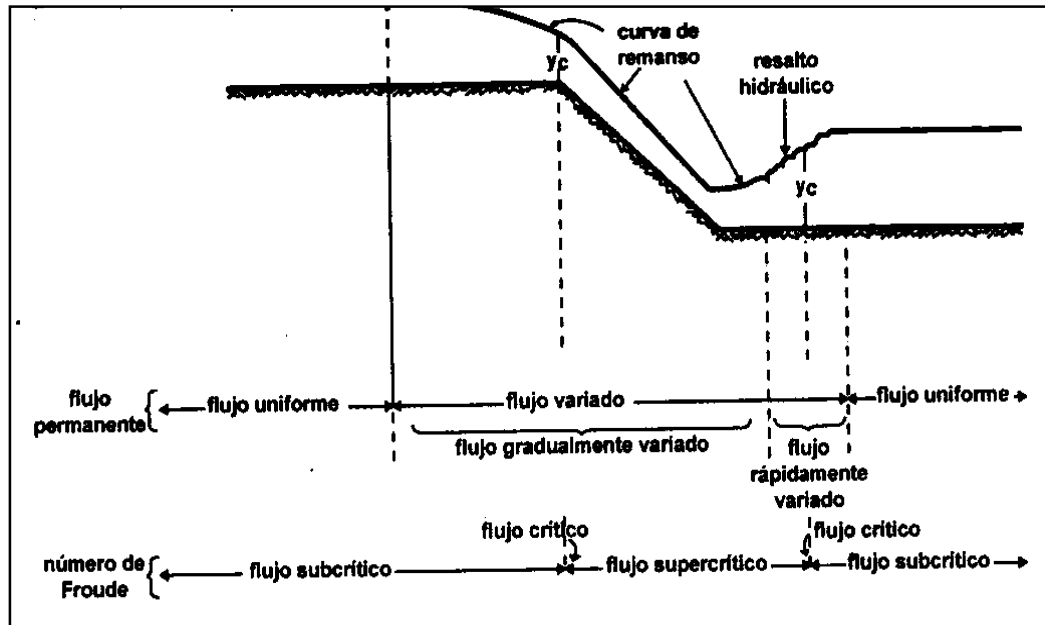


Figura 11: Tipos de flujos en canales abiertos.

Fuente: Hidráulica de canales, Villón Béjar, 2007.

#### 2.2.4.1.4. Capacidad de la cuneta.

Según ICG. (2006), define:

La capacidad de los canales depende de su sección transversal, pendiente y rugosidad del material con que se construyan. La capacidad de conducción se hará en general utilizando la Ecuación de Manning. La sección transversal de los canales generalmente tiene una forma de triángulo rectángulo con el sardinel formando el lado vertical del triángulo. La hipotenusa puede ser parte de la pendiente recta desde la corona del pavimento y puede ser compuesta de dos líneas rectas. El ancho máximo  $T$  de la superficie del agua sobre la pista será:

- En vías principales de alto tránsito; igual al ancho de la berma.
- En vías secundarias de bajo tránsito; igual a la mitad de la calzada.

#### 2.2.4.1.5. Coeficiente de rugosidad.

En la siguiente tabla se muestra los valores del coeficiente de rugosidad de Manning correspondientes a los diferentes acabados de los materiales de los canales de las calles y berma central.

Tabla 21.

*Coefficiente de rugosidad de Manning.*

Canales de las calles	Coefficiente de rugosidad
	N
a. Cuneta de concreto con acabado paletado	0.012
b. Pavimento asfáltico	
1. Textura lisa	0.013
2. Textura rugosa	0.016
c. Cuneta de concreto con pavimento asfáltico	
1. Lisa	0.013
2. Rugosa	0.015
d. Pavimento de concreto	
1. Acabado con llano de madera	0.014
2. Acabado escobillado	0.016
e. Ladrillo.	0.016
f. Para canales con pendiente pequeña donde el sedimento puede acumularse, se incrementarán los valores arriba indicados de n, en:	0.002

Fuente: Recuperado de la "Norma OS.060 - Drenaje Pluvial Urbano", ICG., 2006.

*2.2.4.1.6. Velocidad mínima permitida ( $V_{mín.}$ ).*

Se recomienda diferentes valores de velocidad, en el caso de ser canales revestidos, para evitar la sedimentación se usará valores de 0.60 a 0.90 m/s. y en caso de ser canales de tierra, se usarán valores de 0.70 a 0.75 m/s., para evitar el crecimiento de plantas. (Chereque, s/a.)

*2.2.4.1.7. Velocidad máxima permitida ( $V_{máx.}$ ).*

Para canales revestidos este parámetro podría no ser considerado, solo se deberá tener en cuenta que a velocidades muy altas (de 6 m/s.) las piedras o los bloques del revestimiento podrían ser levantadas. (Chereque, s/a.)

#### 2.2.4.1.8. Talud apropiado según el tipo de material.

“La inclinación de las paredes laterales de un canal, depende de varios factores, pero en especial de la clase de terreno donde están alojados.” (Autoridad Nacional del Agua [ANA.], 2010)

Tabla 22

#### *Taludes apropiados para distintos tipos de material.*

Material	Talud (H:V)
Roca	Prácticamente vertical
Suelos de turba y detritos	0.25:1
Arcilla compactada o tierra con recubrimiento de concreto	0.5:1 hasta 1:1
Tierra con recubrimiento de piedra o tierra en grandes canales	1:1
Arcilla firme o tierra en canales pequeños	1.5:1
Tierra arenosa suelta	2:1
Greda arenosa o arcilla porosa	3:1

Fuente: Recuperado del “Manual: Criterios de diseños de obras hidráulicas para la formulación de proyectos hidráulicos multisectoriales y de afianzamiento hídrico”, ANA., 2010.

#### 2.2.4.1.9. Borde libre.

Según la ANA. (2010), define el espacio entre la altura total del canal y la superficie del agua; no existe ninguna regla fija el cálculo del borde libre, debido a que las oscilaciones de la superficie del agua en un canal cualquiera, se puede originar por causas diversas, que estas no pueden ser controladas.

La U.S. Bureau of Reclamation, recomienda considerar un borde libre de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\text{Borde libre} = \sqrt{CY} \quad \dots \dots \dots \text{Ecuación 40}$$

Donde:

Borde libre: (metros).

C: 1.5 para caudales menores a 0.57 m<sup>3</sup>/s. y 2.5 para caudales con capacidades de 0.84 m<sup>3</sup>/s. a más.

Y: Tirante del canal (metros).

La secretaría de recursos hidráulicos de México propone:

Tabla 23:

*Borde libre en función del caudal.*

Caudales (m <sup>3</sup> /s.)	Canal revestido (cm.)	Canal sin revestir (cm.)
≤ 0.05	7.5	10
0.05 - 0.25	10	20
0.25 - 0.50	20	40
0.50 - 1.00	25	50
> 1.00	30	60

Fuente: Ministerio de Agricultura y Alimentación, Boletín Técnico N-7 “Consideraciones generales sobre canales trapecoidales” Lima 1978, ANA., 2010.

Máximo Villón Béjar, sugiere:

- Para canales de tierra:  $BL = \frac{Y}{3}$
- Para canales revestidos:  $BL = \frac{Y}{5}$

Aunque también existen otros criterios en función a la solera del canal.

Tabla 24:

*Borde libre en función del ancho de solera.*

Ancho de solera (m.)	Borde libre (m.)
Hasta 0.80	0.4
de 0.80 a 1.50	0.5
de 1.50 a 3.00	0.6
de 3.00 a 20.00	1.0

Fuente: “Hidráulica de canales” Villón.

#### **2.2.4.2. Disipador de energía y protección de cauce.**

##### **2.2.4.2.1. Socavación local a la salida de la alcantarilla.**

Según MTC. (2008), se puede ocasionar procesos de socavación local que afecten la estabilidad, si la velocidad del flujo a la entrada y/o mayormente a la salida de la alcantarilla sea alta, por lo cual, se recomienda realizar la protección del cauce natural con la construcción de emboquillados de piedra, enchapado de rocas acomodadas u otros tipos de revestimientos. Para reducir la velocidad del flujo, una medida a tomar en cuenta será la

construcción de aliviaderos de entrada y salida de la alcantarilla en forma escalonada con el objetivo de disipar la energía hidráulica.

#### 2.2.4.2.2. *Protección contra la socavación.*

Para evitar un colapso, es necesario que cuente con obras de protección contra la socavación, el diseño se deberá de realizar aguas arriba y/o aguas debajo de la estructura, mediante la colocación de enrocados, gaviones, pantallas de concreto u otro tipo de protección contra la socavación, en función al tipo de material que transporta el curso natural. Asimismo, si el estudio lo amerita con la finalidad de reducir la energía hidráulica, se recomienda construir disipadores de energía, siempre y cuando estas estructuras no ocasionen riesgos de represamientos u obstrucciones (MTC., 2008).

### 2.3. Marco conceptual

**Bombeo:** Inclinación transversal que se construye en las zonas en tangente a cada lado del eje de la plataforma de una carretera con la finalidad de facilitar el drenaje lateral de la vía. (MTC., 2018, p. 6)

**Calicata:** Excavación que se realiza en el terreno que nos permite estudiar la estratigrafía del suelo a diferentes profundidades. (MTC., 2018, p. 6)

**Casco urbano:** Se llama casco urbano a las construcciones que se desarrollan dentro de los límites de una ciudad. (Pérez P. y Merino M., 2016, Definición.de)

**Caudal:** Volumen de agua que atraviesa una superficie en un tiempo determinado (Monge M. 2018.)

**Cuenca:** Es el área de terreno sobre la que actúan las precipitaciones pluviométricas y en las que las aguas drenan hacia una corriente en un lugar dado. (ICG, 2006, p.1)

**Cuneta:** Estructura hidráulica descubierta, estrecha y de sentido longitudinal destinada al transporte de aguas de lluvia, generalmente situada al borde de la calzada. (ICG, 2006, p.1)

**Diseño hidráulico:** El diseño hidráulico consiste en realizar el dimensionamiento y la forma geométrica del canal o tuberías en función al caudal que transporta de acuerdo a la demanda de agua requerida por el sistema. (Villón Béjar, 2013)

**Drenaje:** Retirar del terreno el exceso de agua no utilizable. (ICG, 2006, p.1)

**Drenaje urbano:** Drenaje de poblados y ciudades siguiendo criterios urbanísticos. (ICG, 2006, p.1)

**Geotecnia:** Es la parte de la geología aplicada que estudia la composición y propiedades de la zona más superficial de la corteza terrestre, para el asiento de todo tipo de construcciones y obras públicas. (Pérez P. y Merino M., 2016, Definición.de)

**Hidrología:** Ciencia natural que estudia al agua, su ocurrencia, circulación y distribución en la superficie terrestre, sus propiedades químicas-físicas y su relación con el medio ambiente. (Villón Béjar, 2002)

**Levantamiento topográfico:** Conjunto de operaciones de medidas efectuadas en el terreno para obtener los elementos necesarios y elaborar su representación gráfica. (MTC., 2018, p. 14)

**Optimización:** Buscar la mejor manera de realizar una actividad. (Pérez P. y Merino M., 2016, Definición.de)

**Periodo de retorno:** Periodo de retomo de un evento con una magnitud dada es el intervalo de recurrencia promedio entre eventos que igualan o exceden una magnitud especificada. (ICG, 2006, p.2)

**Precipitación:** Fenómeno atmosférico que consiste en el aporte de agua a la tierra en forma de lluvia, llovizna, nieve o granizo. (ICG, 2006, p.2)

**Rejilla:** Estructura de metal con aberturas generalmente de tamaño uniforme utilizadas para retener sólidos suspendidos o flotantes en aguas de lluvia o aguas residuales y no permitir que tales sólidos ingresen al sistema. (ICG, 2006, p.2)

**Tiempo de concentración:** Es definido como el tiempo requerido para que una gota de agua caída en el extremo más alejado de la cuenca, fluya hasta los primeros sumideros y de allí a través de los conductos hasta el punto considerado. (ICG, 2006, p.2)

#### **2.4. Marco histórico**

En el marco histórico, se tiene como propósito dar a conocer términos de como el drenaje pluvial ha ido desarrollándose. Las primeras redes de alcantarillado se crearon principalmente para evacuar las aguas de la lluvia. Desde los primeros asentamientos, donde se empezaron a construir las pequeñas ciudades, surgió la necesidad de drenar el agua de la lluvia de modo que no se estancará. (Eco net, 2016)

Pese a que el imperio romano fue una civilización avanzada a su tiempo, no fueron los primeros en crear una red de alcantarillado destinada a evacuar y drenar las aguas residuales de los edificios. Mucho antes ya se han encontrado otros sistemas de red de saneamiento mucho más avanzados. (Eco net, 2016)

La primera civilización en crear el primer sistema de alcantarillado fue la civilización del Valle de Indo. Esta civilización fue la primera en construir sus ciudades cerca de los ríos y evacuar sus aguas residuales a través de un sistema de alcantarillado.

No fue hasta el siglo XIX cuando empezó a arraigar el concepto de la higiene en la sociedad. La primera red de alcantarillado tal como la conocemos en la actualidad se construyó en Alemania en 1843, en la ciudad de Hamburgo. Más adelante, en 1885, el alcantarillado se empezó a adaptar de manera generalizada en Inglaterra, París y otras ciudades europeas y dotándolas de una legislación completa al respecto. (Eco net, 2016).

El crecimiento urbano del distrito de Tamburco va en aumento según el pasar de los años, generando la supresión de los cauces naturales de aguas pluviales en diferentes zonas. En la Av. Mariano Melgar existía un cauce natural que se activaba en temporadas de

lluvia, el cual servía de colector para evacuar las aguas hacia el río de la subcuenca Colcaqui, actualmente este cauce no existe; en la Av. Tamburco contiguo a la Av. Prado Alto, también existía un cauce natural activado en temporadas de lluvias así como un camino que llevaba directamente al río Colcaqui, actualmente este camino ha sido cerrado, esto debido a diferentes factores como son; el crecimiento poblacional y los derrumbes ocurridos en la zona. Debido a estos factores surge la necesidad de drenar el agua de la lluvia de modo que esta no se estanque u ocasione incomodidad en las partes bajas de la ciudad.

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN**

#### **3.1. Hipótesis**

##### **3.1.1. Hipótesis general.**

Un buen diseño permite la optimización del drenaje pluvial en el casco urbano del distrito de Tamburco – Abancay, 2018.

##### **3.1.2. Hipótesis específicas.**

- a) Las características topográficas permiten la optimización del drenaje pluvial en el casco urbano del distrito de Tamburco – Abancay, 2018.
- b) El comportamiento hidrológico permite la optimización del drenaje pluvial en el casco urbano del distrito de Tamburco – Abancay, 2018.
- c) Las características geotécnicas permiten la optimización del drenaje pluvial en el casco urbano del distrito de Tamburco – Abancay, 2018.

#### **3.2. Método**

(Hernández, Fernández y Baptista, 2010, p.4), el enfoque cuantitativo utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis

estadístico, con el fin establecer pautas de comportamiento y probar teorías. Con esta definición se indica que la metodología empleada en la presente investigación es enfoque cuantitativo ya que se proba la hipótesis con resultados numéricos.

Durand (2002; p.89), señala que el método deductivo se distingue por ser el procedimiento, en el cual, la actividad del pensamiento va del conocimiento de las propiedades más generales, inherentes a numerosas cosas y fenómenos, al conocimiento de las propiedades de objetos y fenómenos singulares del mismo género o especie.

La presente investigación se realizó mediante el método deductivo, que viene a ser un modo de pensamiento que va de lo general a lo específico, esto quiere decir que a partir de principios o leyes se obtienen hechos concretos.

### **3.3. Tipo de investigación**

El tipo de investigación del presente estudio es aplicada, ya que, depende de los conocimientos y aportes de la investigación básica, se caracteriza por su interés en la aplicación de los conocimientos teóricos. Se dirige a su aplicación inmediata y no al desarrollo de teorías. (Tamayo, 2000)

### **3.4. Nivel o alcance de investigación**

El alcance descriptivo busca especificar propiedades y características importantes de cualquier fenómeno que se analice. Describe tendencias de un grupo o población. (Hernández, 2006)

El nivel o alcance de investigación en el estudio presente es de alcance descriptivo, ya que se recogió información de las variables del estudio de manera independiente. Se buscó determinar las características topográficas, el comportamiento hidrológico y las características geotécnicas que permitieron realizar un diseño óptimo de drenaje pluvial en el casco urbano del Distrito de Tamburco.

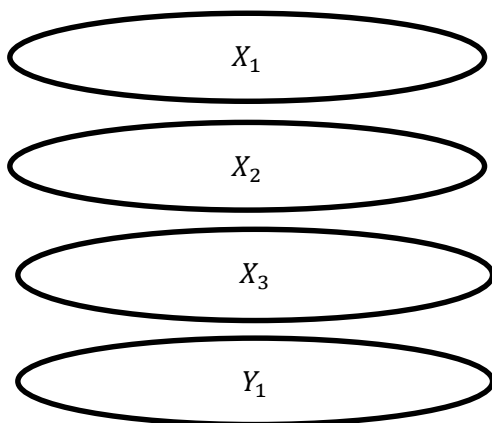
### 3.5. Diseño de investigación

La investigación no experimental son estudios que se realizan sin la manipulación deliberada de variables y en los que sólo se observan los fenómenos en su ambiente natural para analizarlos. (Hernández, Fernández y Baptista, 2010, p.149)

Entonces podemos decir que el diseño de investigación es no experimental, ya que las variables independientes no se manipulan de forma intencional.

Lo que se realizó en la investigación es observar los fenómenos que ocurren en las características topográficas, comportamiento hidrológico y características geotécnicas del casco urbano del distrito de Tamburco, tal y como se presentan en su contexto natural, para luego analizarlos.

Debido a que la investigación se basa en la recolección de datos en un sólo momento, así como también describir las variables en estudio y analizar la incidencia, el diseño de investigación es no experimental – transversal.



*Figura 12:* Diseño transversal descriptivo.

Fuente: Se toma cada variable individualmente, se recolectan datos que posteriormente se describirán. Fuente: Hernández, Fernández y Baptista, 2010, p.154.

Donde:

X1: Características topográficas que permita la optimización del drenaje pluvial en el casco urbano del distrito de Tamburco – Abancay.

X2: Comportamiento hidrológico que permita la optimización del drenaje pluvial en el casco urbano del distrito de Tamburco – Abancay.

X3: Características geotécnicas que permita la optimización del drenaje pluvial en el casco urbano del distrito de Tamburco – Abancay.

Y1: Diseño óptimo del drenaje pluvial en el casco urbano del distrito de Tamburco – Abancay.

### 3.6. Operacionalización de variables

A continuación, se muestra la operacionalización de variables para el siguiente estudio:

Tabla 25:

*Operacionalización de variables.*

Variables	Dimensiones e indicadores	Índices
<i>Variables independientes</i>		
X1: Características topográficas	Pendientes	m/m.
	Perfiles longitudinales	km.
	Secciones transversales	km.
	Cuencas hidrográficas	km <sup>2</sup> .
X2: Comportamiento hidrológico	Pendiente del cauce	mm/m.
	Periodo de retorno	años
	Precipitaciones	mm/año.
	Tiempo de concentración	min.
	Caudal máximo	m <sup>3</sup> /s.
X3: Características geotécnicas	Análisis granulométrico	%
	Límites de consistencia	%
	Contenido de humedad	%
	Clasificación de suelo	AASHTO. – SUCS.

---

<i>Variable dependiente</i>		
Y: Diseño óptimo de drenaje pluvial	Cunetas rectangulares	ml.
	Cunetas triangulares- rectangulares	ml.
	Cunetas triangulares	ml.

---

Fuente: Elaboración propia.

### 3.7. Población, muestra y muestreo

#### **Población:**

Carrasco (2005), indica que es el conjunto de todos los elementos (unidades de análisis) que pertenecen al ámbito espacial donde se desarrolla el trabajo de investigación”.

La investigación se desarrolla o está formado por el casco urbano del distrito de Tamburco, el cual tiene un área total de 1.244 km<sup>2</sup>.

#### **Muestra - muestreo:**

Para el enfoque cuantitativo la muestra es un subgrupo de la población de interés (sobre el cual se abrevan de recolectar datos que se define o delimita de antemano con precisión) y tiene que ser representativo de ésta. (Hernández, Fernández, & Baptista, 2004)

En las muestras no probabilísticas, la elección de los elementos no depende de la probabilidad, sino de causas relacionadas con las características de la investigación o los propósitos del investigador. (Hernández, Fernández, & Baptista, 2004)

El muestreo para el estudio fue no probabilístico, ya que las muestras no se seleccionaron al azar o estadísticamente, si no que estas fueron seleccionadas por conveniencia, realizando así deliberadamente la obtención de los colectores y calicatas en el casco urbano del Distrito de Tamburco.

Por tanto, se tiene 11 muestras no probabilísticas, denominados colectores pluviales:

- Colector 1: Av. Tamburco, con una longitud de 1.85 km., con cunetas laterales presentando obstrucción y discontinuidad en varios tramos.

- Colector 2: Av. Garcilaso de la Vega, con una longitud de 1.10 km., la cual no cuenta con un apropiado sistema de drenaje pluvial y falta de bombeo en la calzada de la vía ocasionando encharcamiento de agua.
- Colector 3: Av. Circunvalación, con una longitud de 1.09 km., esta avenida no cuenta con sistema de drenaje pluvial, pistas ni veredas.
- Colector 4: Calle las Gardenias, con una longitud de 0.63 km., la cual no cuenta con sistema de drenaje pluvial y en algunos tramos la falta de vereda.
- Colector 5: Calle José de la Mar, con una longitud de 0.49 km., esta calle no cuenta con sistema de drenaje pluvial.
- Colector 6: Psj. José de la Riva Agüero, con una longitud de 0.06 km., este pasaje cuenta con un inadecuado sistema de drenaje pluvial, la cual obstruye el tránsito vehicular.
- Colector 7: Av. Daniel Estrada Pérez, con una longitud de 0.40 km., se observa la falta de sistema de drenaje pluvial en algunos tramos (cunetas laterales).
- Colector 8: Av. Mariano Melgar, con una longitud de 1.87 km., cuenta con cunetas laterales, las cuales no tienen un punto de desfogue.
- Colector 9: Av. Túpac Amaru, con una longitud de 1.18 km., carece de sistema de drenaje pluvial.
- Colector 10: Jr. David Samanez Ocampo con una longitud de 0.43 km., cuenta con cuneta lateral lado izquierdo.
- Colector 11: Av. Inca Garcilaso de la Vega con una longitud de 0.28 km., cuenta con cuneta lateral lado izquierdo.

### **3.8. Consideraciones éticas**

Teniendo en cuenta el diseño, tipo y alcance de investigación se consideran éticos los siguientes aspectos:

- Fidelidad de los resultados.
- Seguridad y transparencia.
- Resultados en beneficio de la población.

### **3.9. Técnicas e instrumentos**

#### **3.9.1. Técnicas:**

Bases de datos, observación directa, análisis documental.

#### **3.9.2. Instrumentos:**

Para la recolección de datos se obtuvieron partir de Fichas topográficas (tabla de puntos de control y base, lista de puntos), fichas geotécnicas (Contenido de Humedad NTP 339.127 (ASTM D2216), análisis granulométrico NTP 339.128 (ASTM D422), límite líquido NTP 339.129 (ASTM D4318), límite plástico NTP 339.129 (ASTM D4318) y Clasificación de SUCS-AASHTO), certificados hidrometeorológicos (Servicio de atención al ciudadano y gestión documental – SENAMHI).

### **3.10. Procesamiento de datos**

Como la pendiente varia a lo largo del terreno es necesario definir la pendiente por tramos, por tanto, el cálculo se realizó mediante el criterio de Taylor y Schwarz, apoyándose con el software civil 3D para determinar el relieve de la zona en estudio.

El procesamiento de datos de hidrología, se realizó de acuerdo a lo estipulado en la norma OS060 Drenaje Pluvial Urbano y Manual de Hidrología, Hidráulica y drenaje - MTC. Para el cálculo de caudal máximo se usó formulas empíricas, análisis estadísticos, consistencia de datos, teniendo como apoyo softwares (EasyFit, HidroEsta2, Excel, Word).

Los datos ya procesados se muestran mediante tablas, figuras y gráficos, exponiéndose a la vez datos estadísticos descriptivos.

Teniendo los datos de laboratorio de suelos se procedió a la clasificación mediante la metodología planteada con el sistema de clasificación AASHTO y SUCS, ASTM. D2484.

La prueba de hipótesis se realizó mediante un análisis estadístico de datos de regresión simple, con un nivel de significancia de 0.05 y confianza del 95%, con el apoyo del software SPSS.

La redacción de las tablas de frecuencia y gráficos fueron procesadas con el software Word y Excel, tomando en consideración criterios y recomendaciones de las normas APA.

Las conclusiones y recomendaciones están explicadas de acuerdo a los resultados obtenidos, dando así la respuesta a los objetivos e hipótesis planteadas.

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **4.1. Resultados**

##### **4.1.1. Respecto a la variable X/I.**

##### *4.1.1.1. Características topográficas (X1).*

##### *4.1.1.1.1. Metodología de trabajo.*

Como se quiere un trabajo a precisión, para la toma de los puntos base y de control se utilizó el método estático. En el caso de los puntos base se tomaron en un tiempo de observación de 2 hr. y para el punto de control en un tiempo de observación de 1 hr.

Posterior a este trabajo y a la monumentación de ellos se procedió al levantamiento topográfico dejando en algunos casos puntos de cambio para lugares no visibles desde los puntos base.

El área de trabajo tiene dos estructuras diferentes la cual es, el área pavimentada y la que no cuenta con ello. En caso de las zonas sin pavimento el levantamiento topográfico toma las cotas en las esquinas, centros de calles, veredas y fundamentalmente incluye cotas de los umbrales de las viviendas de la zona de estudio.

#### 4.1.1.1.2. *Etapa preliminar.*

Comprende las siguientes actividades:

- *Recopilación de información existente.* - Para la elaboración de los levantamientos topográficos, se recabó previamente la información cartográfica, fotogramétrica y topográfica existente sobre el área en estudio. Por tanto, se ha obtenido planos catastrales.
- *Reconocimiento del área de estudio.* - Con los datos obtenidos, se ha realizado un reconocimiento de terreno, verificando el estado actual del sistema de drenaje pluvial, así como la ubicación de puntos o estación base y de control para el levantamiento topográfico y la delimitación del terreno, los cuales se monumentaron (hitos de naturaleza permanente) en el terreno.

En esta etapa se determinó las vías colectoras a levantar las cuales son: Av. Tamburco, Av. Garcilaso de la Vega, Av. Circunvalación, Av. Mariano Melgar, Calle las Gardenias, Calle José de la Mar, Psj. José de la Riva Agüero, Av. Daniel Estrada Pérez, Av. Túpac Amaru, Jr. David Samanez Ocampo y Av. Inca Garcilaso de la Vega.

El sistema pluvial del distrito de Tamburco se encuentra en un mal estado, careciendo de un sistema continuo y diseño inadecuado para la zona.

#### 4.1.1.1.3. *Etapa de trabajo de campo.*

Los trabajos de campo se han consistido en las siguientes actividades:

- Ubicación y monumentación de estaciones base y de control.
- Ubicación de puntos de cambio.
- Relleno de puntos topográficos.

Tabla 26:

*Puntos base y de control.*

Descripción	Norte	Este	Cota
PB. 1	8493101.14	730090.99	2642.976
PB. 2	8492905.52	730867.809	2759.528
PC. 1	8492893.82	731065.498	2842.888

Fuente: Elaboración propia.

*Interpretación de resultados:* En la tabla 26 se muestran las coordenadas de los puntos de base y control, tomados estratégicamente para el levantamiento topográfico, mediante GPS diferencial con una precisión de  $\pm 2$  cm.

PB-1: Ubicado en el Parque Ecológico de Taraccasa, aproximadamente a 50 m. de una de las atracciones del lugar (la cruz).

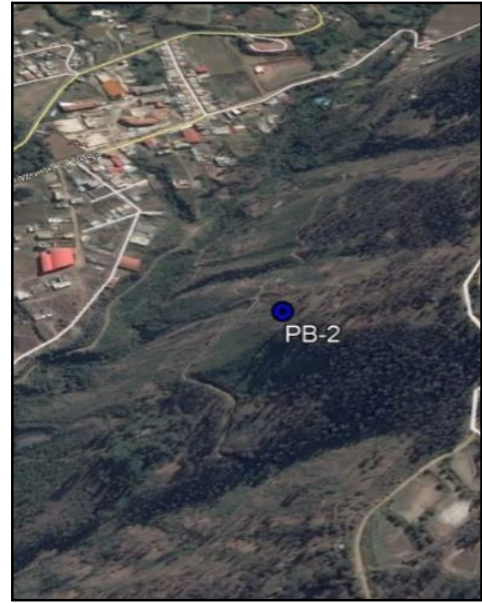


Figura 13: Punto Base 1.

Fuente: Elaboración propia.



PB. 2: Ubicado aproximadamente a 200 m. del PB. 1, en dirección a Tamburco.



*Figura 14: Punto Base 2.*  
Fuente: Elaboración propia.

PC. 1: Ubicado al costado de la plaza de Tamburco.



*Figura 15: Punto de Control 1.*  
Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.1.1.4. Etapa de trabajo en gabinete.

Terminado los trabajos del levantamiento topográfico, se realizó el tratamiento de la información, haciendo uso del software Civil 3D - 2018, que consistió en procesar los datos obtenidos almacenados por la estación total y el GPS diferencial.

Tabla 27:

*Pendiente media del cauce.*

Cuenca		Cota superior	Cota inferior	Longitud de cauce	Pendiente media del cauce
		$H_1$ (m.)	$H_2$ (m.)	L (km.)	S (m/m.)
Av. Garcilaso de la Vega (D.)	Tramo 0+000.00 - 0+167.95	2649.440	2642.344	0.17	0.042
	Tramo 0+167.95 - 0+303.76	2643.685	2642.344	0.14	0.010
	Tramo 0+303.76 - 0+481.43	2643.685	2636.152	0.18	0.042
	Tramo 0+481.43 - 0+561.48	2643.685	2635.850	0.08	0.098
Av. Garcilaso de la Vega (I.)	Tramo 0+000.00 - 0+170.00	2649.420	2642.310	0.17	0.042
	Tramo 0+170.00 - 0+300.00	2642.450	2642.310	0.13	0.001
	Tramo 0+300.00 - 0+481.43	2642.310	2636.230	0.18	0.034
	Tramo 0+481.43 - 0+541.56	2636.230	2636.040	0.06	0.003
Av. Circunvalación (D.)	Tramo 0+000.00 - 0+544.55	2642.656	2599.277	0.54	0.080
Av. Circunvalación (I.)	Tramo 0+000.00 - 0+547.72	2642.622	2599.257	0.55	0.079
Av. Mariano Melgar (D.)	Tramo 0+0.000 - 0+103.45	2599.277	2588.521	0.10	0.104
	Tramo 0+103.45 - 0+223.50	2588.521	2578.414	0.12	0.084
	Tramo 0+223.50 - 0+566.40	2578.414	2558.577	0.34	0.058
	Tramo 0+566.40 - 0+623.35	2558.577	2555.768	0.06	0.049
Av. Mariano Melgar (I.)	Tramo 0+623.35 - 0+930.88	2555.768	2533.840	0.31	0.071
	Tramo 0+0.000 - 0+626.40	2599.257	2555.780	0.63	0.069
Calle José de la Mar (D.)	Tramo 0+626.40 - 0+941.42	2555.780	2533.291	0.32	0.071
	Tramo 0+000.00 - 0+246.18	2616.076	2590.916	0.25	0.102
Calle José de la Mar (I.)	Tramo 0+000.00 - 0+241.16	2615.351	2591.084	0.24	0.101
Av. Daniel Estrada Pérez (D.)	Tramo 0+000.00 - 0+089.11	2598.714	2591.017	0.09	0.086
	Tramo 0+089.11 - 0+220.00	2591.017	2581.788	0.13	0.070
	Tramo 0+220.00 - 0+404.15	2588.942	2581.788	0.18	0.039

	Tramo 0+404.15 - 0+481.74	2590.388	2588.942	0.08	0.019
Av. Daniel Estrada Pérez (I.)	Tramo 0+000.00 - 0+064.64	2596.877	2590.916	0.06	0.092
	Tramo 0+064.64 - 0+197.28	2590.916	2581.788	0.13	0.069
	Tramo 0+197.28 - 0+491.51	2590.259	2581.788	0.29	0.029
Av. Tamburco 1 (D.)	Tramo 0+000.00 - 0+601.95	2663.830	2632.880	0.60	0.051
	Tramo 0+601.95 - 1+050.00	2632.880	2607.182	0.45	0.057
	Tramo 1+050.00 - 1+254.50	2607.182	2596.373	0.20	0.053
	Tramo 1+254.50 - 1+413.10	2596.373	2587.456	0.16	0.056
	Tramo 1+413.10 - 1+556.00	2587.456	2579.541	0.14	0.055
	Tramo 1+556.00 - 1+663.85	2579.541	2573.435	0.11	0.057
	Tramo 1+663.86 - 1+790.57	2573.435	2563.570	0.13	0.078
Av. Tamburco 1 (I.)	Tramo 0+000.00 - 0+557.60	2664.860	2634.568	0.56	0.054
	Tramo 0+557.60 - 0+893.40	2634.568	2616.214	0.34	0.055
	Tramo 0+893.40 - 1+076.20	2616.214	2605.661	0.18	0.058
	Tramo 1+076.20 - 1+256.00	2605.661	2595.885	0.18	0.054
	Tramo 1+256.00 - 1+427.05	2595.885	2586.797	0.17	0.053
	Tramo 1+427.05 - 1+738.70	2586.797	2569.210	0.31	0.056
Calle Las Gardenias (D.)	Tramo 0+000.00 - 0+311.94	2635.695	2598.714	0.31	0.119
Calle Las Gardenias (I.)	Tramo 0+000.00 - 0+314.57	2636.226	2598.692	0.31	0.119
Av. Túpac Amaru (D.)	Tramo 0+000.00 - 0+532.37	2605.860	2530.570	0.53	0.141
Av. Túpac Amaru (I.)	Tramo 0+000.00 - 0+105.60	2606.000	2590.247	0.11	0.070
	Tramo 0+105.60 - 0+516.80	2590.247	2533.113	0.41	0.196
	Tramo 0+516.80 - 0+539.27	2533.113	2530.250	0.02	0.127
Av. José de la Riva Agüero	Tramo 0+000.00 - 0+064.12	2581.841	2578.205	0.06	0.057
Av. Tamburco 2 (D.)	Tramo 0+000.00 - 0+852.10	2568.610	2520.880	0.85	0.056
Av. Tamburco 2 (I.)	Tramo 0+000.00 - 0+350.00	2569.210	2550.545	0.35	0.053
	Tramo 0+350.00 - 0+532.55	2550.545	2540.965	0.18	0.052
	Tramo 0+532.55 - 0+706.40	2540.965	2530.566	0.17	0.060
	Tramo 0+706.40 - 0+944.80	2530.566	2511.780	0.24	0.079

Jr. David Samanez Ocampo (I.)	Tramo 0+000.00 - 0+420.00	2511.780	2463.810	0.42	0.114
Jr. David Samanez Ocampo (D.)	Tramo 0+000.00 - 0+71.94	2518.679	2511.884	0.07	0.094
	Tramo 0+000.00 - 0+428.70	2511.884	2464.175	0.43	0.111
Av. Inca Garcilaso de la Vega	Tramo 0+420.00 - 0+700.25	2463.810	2441.860	0.28	0.078

Fuente: Elaboración propia.

*Interpretación de resultados:* En la tabla 27 se puede observar la pendiente media del cauce por colectores pluviales y tramos; donde se tiene topografía ondulada, accidentada y presenta una superficie con entrantes y salientes; esto quiere decir que el terreno en sentido transversal tendrá una inclinación que esta entre el 5% al 25%.

En cuanto a los perfiles longitudinales, se ha realizado para cada colector, consignando las cotas rasantes, cotas de terreno, alineamientos, pendientes, tipo de material y el tipo de canal.

El estudio cuenta con diferentes planos necesarios, como son: planos en planta, con curvas de nivel equidistanciadas a 0.5 m. y se encuentran en coordenadas UTM. a una escala de 1/3 000, planos de perfiles longitudinal por colector pluvial en el que la relación de la escala vertical respecto a la escala horizontal es de 1/1000 y planos de secciones transversales a una escala de 1/100.

#### **4.1.1.2. Comportamiento hidrológico (X2).**

##### **4.1.1.2.1. Selección del periodo de retorno.**

La norma OS. 060, menciona tres alternativas para el cálculo de periodo de retorno teniendo en cuenta la extensión de área de drenaje, una de estas alternativas menciona: el proyectista podrá plantear periodos de retorno ascendentes a lo mencionado, según sea criterio.

Según lo estipulado en el “Manual de Hidrológica e Hidráulica del Ministerio de Transportes”, para la selección del periodo de retorno se tomó factores de acuerdo al tipo de obra como son:

- Riesgo admisible (R): 35%, descarga de agua de cunetas.
- Vida útil de la obra: 20 años de proyección.

Usando la fórmula del MTC. (2008).

$$R = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n$$

$$T = \frac{1}{1 - \left(\sqrt[n]{1 - R}\right)}$$

$$T = \frac{1}{1 - \left(\sqrt[20]{1 - 0.35}\right)}$$

$$T = 46.93 \text{ años}$$

*Interpretación de resultados:* El periodo de retorno para el que se debe dimensionar una obra varía en función de la importancia de la misma, para nuestro caso se tiene un periodo de retorno o intervalo de ocurrencia de 47 años.

#### 4.1.1.2.2. Medición de la precipitación.

Para el estudio de precipitación se hizo uso de los datos de la estación “Granja San Antonio”, para tener la credulidad y la consecuente determinación en la aplicación de estos valores en el presente trabajo de investigación, se obtuvieron una serie de datos del SENAMHI.

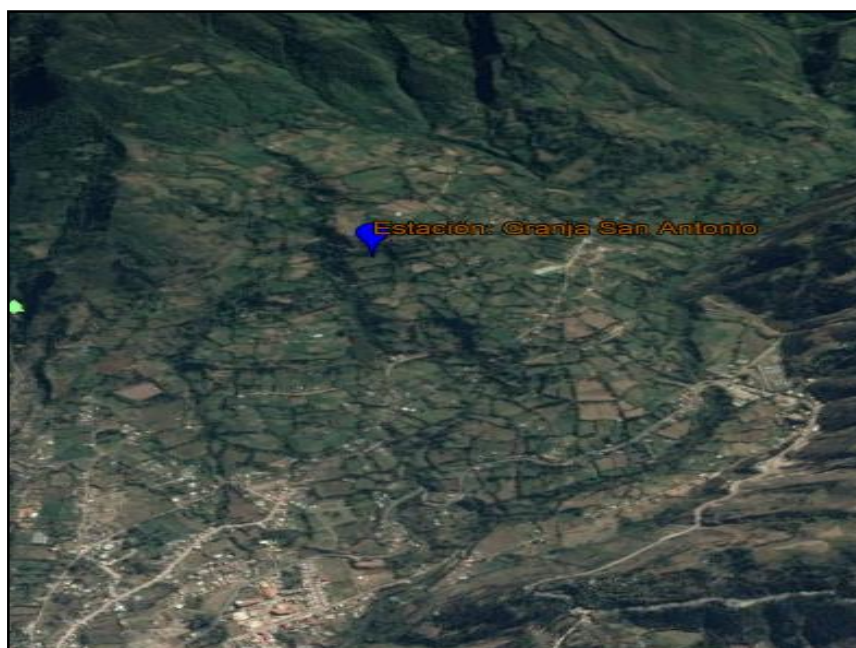
a) Estación meteorológica: Granja San Antonio.

*Tabla: 28:*

*Ubicación - Estación Granja San Antonio.*

Ubicación política	Ubicación geográfica
Distrito: Abancay	Longitud: 72°52'
Provincia: Abancay	Latitud: 13°36'
Departamento: Apurímac	Altitud: 2776 msnm.

Fuente: Elaboración propia



*Figura 16: Ubicación de la estación meteorológica “Granja de San Antonio”.*

Fuente: Elaboración propia - Google Earth.

Para el análisis de consistencia se usó como estación base la estación

Curahuasi.

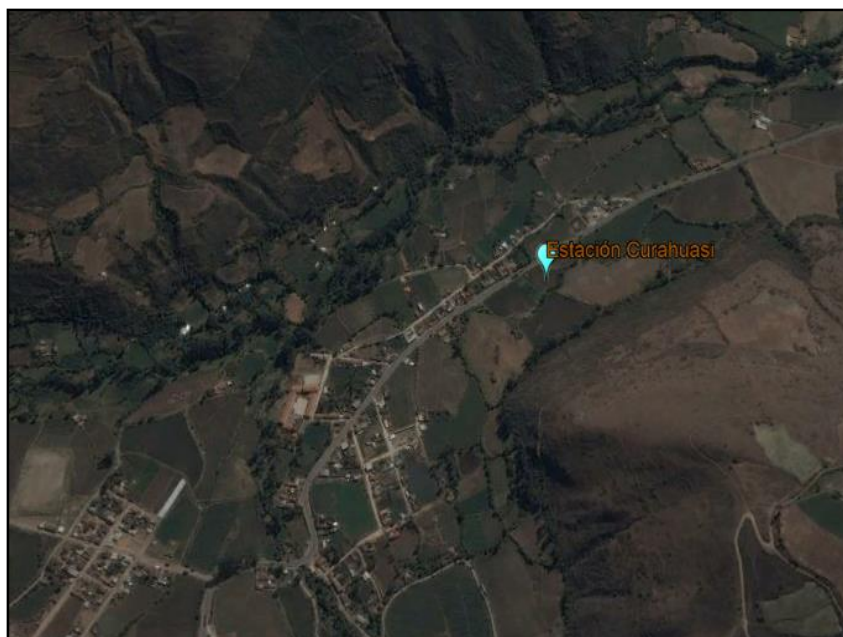
b) Estación meteorológica: Curahuasi.

*Tabla 29:*

*Ubicación - Estación Curahuasi.*

Ubicación política	Ubicación geográfica
Distrito: Curahuasi	Longitud: 72° 44' 5'
Provincia: Abancay	Latitud: 13° 33' 8"
Departamento: Apurímac	Altitud: 2763 msnm.

Fuente: Elaboración propia



*Figura 17:* Imagen satelital, ubicación de la estación meteorológica “Curahuasi”.

Fuente: Elaboración propia - Google Earth.

#### 4.1.1.2.3. Análisis de la precipitación máxima en 24 horas.

De la estación Granja San Antonio, se han extraído datos certificados por el SENAMHI, de las máximas precipitaciones diarias.

Tabla 30:

*Datos de precipitación máxima en 24 horas, Estación Granja de San Antonio.*

Año	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976
Pmáx. 24h	22.9	22.5	35.0	29.0	30.5	23.8	23.1	29.9	35.6	40.0	29.5	28.6	30.6
Año	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992
Pmáx. 24h	20.2	23.0	29.8	25.6	26.8	20.2	22.9	22.5	21.5	22.9	24.5	22.2	25.0
Año	1993	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Pmáx. 24h	27.0	35.0	37.2	24.9	40.2	27.3	24.4	23.4	43.7	28.6	30.6	24.6	32.1
Año	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018		
Pmáx. 24h	34.9	35.9	45.1	23.6	42.3	38.8	54.1	58.2	39.9	32.8	33.4		

Fuente: 1964-1966: Gobierno Regional de Apurímac (2018).

1967: Instituto Nacional de Defensa Civil – INDECI. (2007).

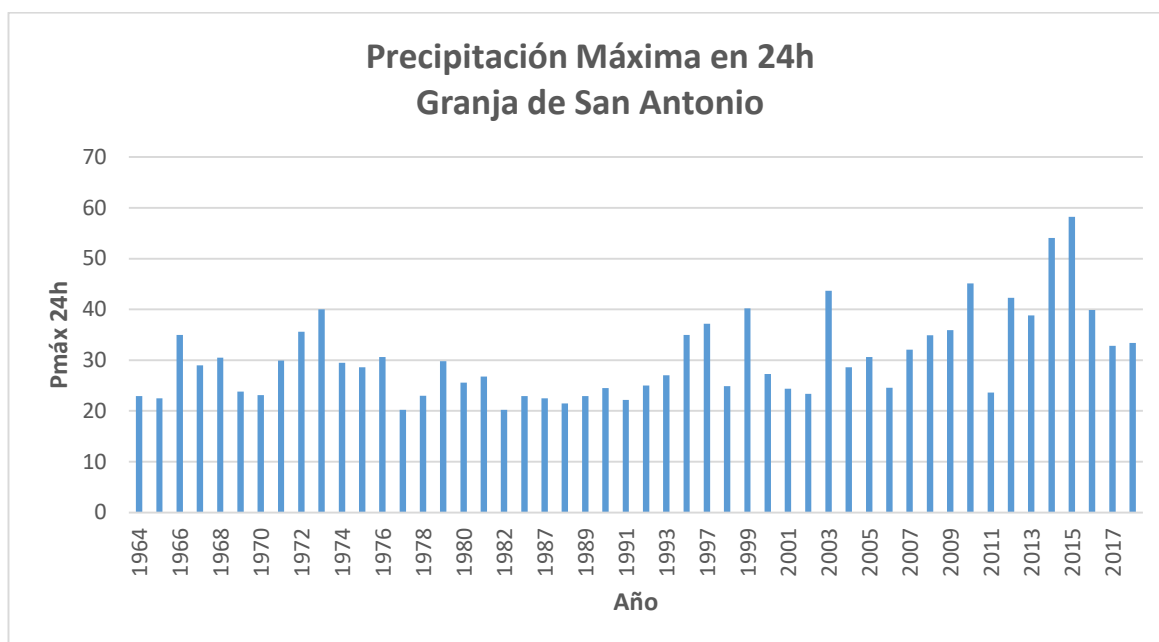
1968-1995: Gobierno Regional de Apurímac (2018).

1996-2010: Gobierno Regional de Apurímac – SENAMHI. (2018).

2011-2013: Cortez Román y Condori Palma (2015).

2014-2018: SENAMHI. (2018).

*Interpretación de resultados:* En la tabla 30 se observa las precipitaciones máximas en 24 horas para un intervalo de tiempo de 50 años obtenida de diferentes fuentes, donde se han registrado precipitaciones máximas que varían de 20.2 mm. a 58.2 mm.



*Gráfico 1:* Datos de precipitación máxima en 24 horas, estación Granja de San Antonio.

Fuente: Elaboración propia.

*Interpretación de resultados:* En el gráfico de barras se muestra las variaciones de las precipitaciones por año, donde se observa que la precipitación máxima es de 58.2 mm. en el año 2015.

#### 4.1.1.2.4. Análisis de consistencia.

Se realiza el análisis de consistencia para tener cierta confiabilidad en la información obtenida, ya que se puede dar un cierto número de errores como: observación, transcripción, cálculo, copia e impresión.

Por tanto, se toma como estación base (Curahuasi) para saber si verdaderamente la estación de estudio (Granja de San Antonio) es consistente. Para este análisis se realizó la curva de doble masa.

Tabla 31:

*Datos de precipitación máxima en 24 horas, estación Curahuasi (Base).*

Año	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985
Pmáx. 24h	23.2	17.5	21.4	28.3	29	12.5	44	25.2	28.7	25.5	25	26.4	20.5
Año	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Pmáx. 24h	21.5	28.2	30.8	18.4	11.7	25.3	17.2	35.5	45.0	25.5	26	33.2	22.9
Año	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Pmáx. 24h	28.1	29.2	26.2	34.9	59.6	23.6	29.6	29.8	27.6	27.1	30.7	29.6	29.2
Año	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018						
Pmáx. 24h	29.7	26.7	26.7	28.6	35.3	29.1	19.8						

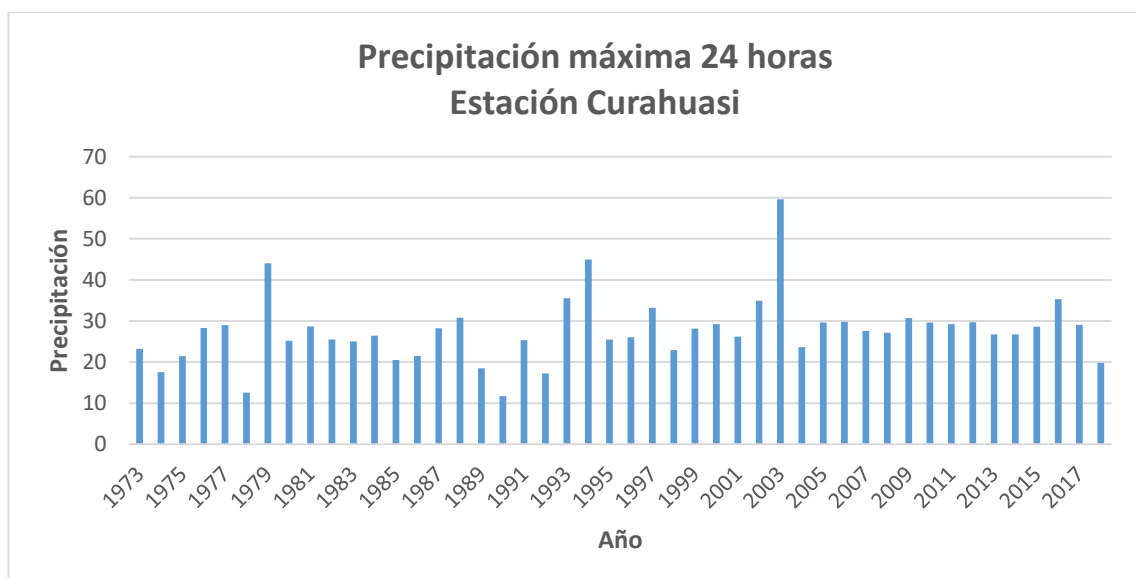
Fuente: 1973-1975: Gobierno Regional de Apurímac – SENAMHI. (2018).

1976-1982: Gobierno Regional de Apurímac (2018).

1983-2014: Gobierno Regional de Apurímac – SENAMHI. (2018).

2015-2018: SENAMHI. (2018).

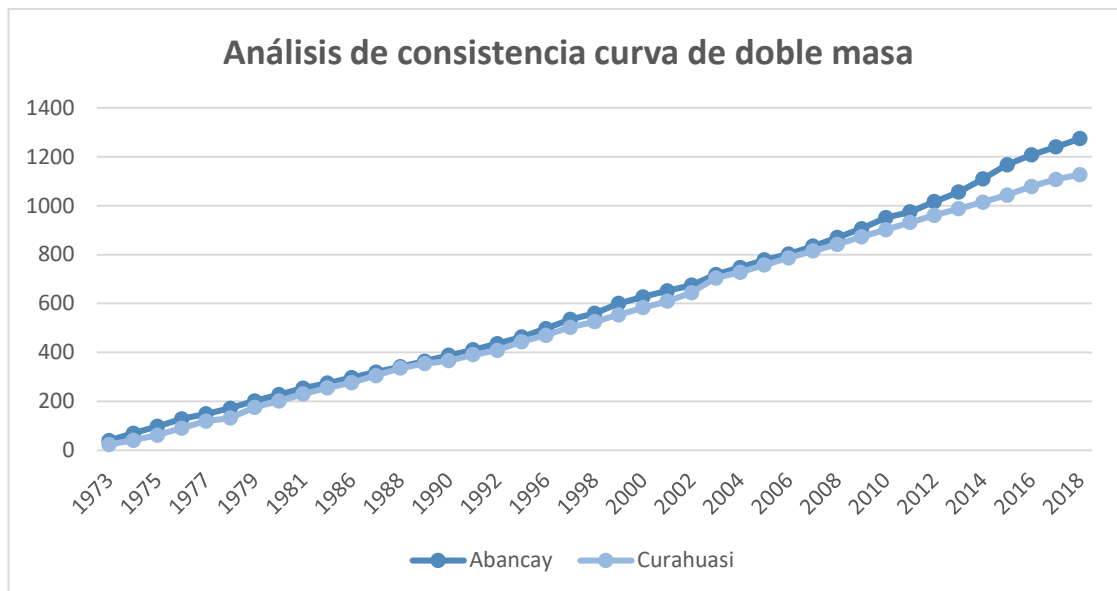
*Interpretación de resultados:* En la tabla 31 se observa las precipitaciones máximas en 24 horas para un intervalo de tiempo de 50 años, obtenida de diferentes fuentes, donde se han registrado precipitaciones máximas que varían de 12.5 mm. a 59.6 mm.



**Gráfico 2:** Datos de precipitación máxima en 24 horas, estación Curahuasi.

Fuente: Elaboración propia.

*Interpretación de resultados:* En el gráfico de barras se muestra las variaciones de las precipitaciones por año, donde se observa que la precipitación máxima es de 59.6 mm. en el año 2013.



**Gráfico 3:** Análisis de consistencia estación Granja de San Antonio.  
Fuente: Elaboración propia.

*Interpretación de resultados:* Se observa en el gráfico las curvas de doble masa de la estación Granja de San Antonio y la estación Curahuasi, que es la estación base. Según el gráfico podemos describir que la estación Granja de San Antonio es consistente, lo cual quiere decir que es apto para realizar nuestro estudio.

#### 4.1.1.2.5. Análisis estadísticos de datos hidrológicos.

Para el análisis existen varias distribuciones de frecuencia entre estas la distribución Normal, Gamma de 2 y 3 parámetros, Log Normal de 2 y 3 parámetros, Log Gumbel, entre otras. Sin embargo, para casos prácticos está probado que las distribuciones de Pearson tipo III, Gumbel y Log Pearson tipo III, son las que mejor se ajustan a las precipitaciones máximas de 24 horas.

Tabla 32:

*Valores de delta para las diferentes modelos de distribución.*

Distribución	Delta teórico
D. Normal	0.1263
D. Log Normal de 2 parámetros	0.1201
D. Log Pearson tipo III	0.1089
D. Gumbel	0.1144

Fuente: Elaboración propia.

*Interpretación de resultados:* La tabla 32 se muestra las diferentes modelos de distribuciones, los datos de la estación de estudio Granja de San Antonio se ajustan de mejor manera a una Distribución Log Pearson Tipo III.

Por tanto, se trabajará con la Distribución Log Person tipo III en el software HidroEsta del cual se obtendrán los gráficos y las precipitaciones para los periodos de retorno 2, 5, 10, 20, 25, 47, 50, 100, 200, 1000 años.

Tabla 33:

*Precipitación máxima en 24 horas para diferentes periodos de retorno.*

Periodo de retorno T (años)	Log Person tipo III Precipitación
2	28.70
5	36.13
10	41.44
20	46.83
25	48.60
47	53.75
50	54.26
100	60.22
200	66.49
500	75.31
1000	82.35

Fuente: Elaboración propia.

*Interpretación de resultados:* En la tabla 33 se aprecia un extracto de los gráficos de la Distribución Log Pearson tipo III, para cada periodo de retorno, para el presente estudio el periodo de retorno es de 47 años donde la precipitación es 53.75 mm.

#### 4.1.1.2.6. Análisis de intensidad de precipitación.

Usando el software HidroEsta para la curva de intensidad –duración-frecuencia, se tiene valores de constantes lineales de regresión múltiple:

$$I = \frac{259.1604xT^{0.1639}}{t^{0.7476}}$$

Tabla 34:

*Intensidad máxima de la estación de Granja de San Antonio.*

Duración		Periodo de retorno										
Horas	min.	2	5	10	20	25	47	50	100	200	500	1000
0.17	10	51.92	60.33	67.59	75.72	78.54	87.10	87.99	98.58	110.44	128.33	143.77
0.5	30	22.84	26.54	29.73	33.31	34.55	38.31	38.70	43.36	48.57	56.45	63.24
1	60	13.60	15.80	17.71	19.84	20.58	22.82	23.05	25.82	28.93	33.62	37.66
2	120	8.10	9.41	10.55	11.81	12.25	13.59	13.73	15.38	17.23	20.02	22.43
4	240	4.82	5.61	6.28	7.04	7.30	8.09	8.18	9.16	10.26	11.93	13.36
6	360	3.56	4.14	4.64	5.20	5.39	5.98	6.04	6.77	7.58	8.81	9.87
8	480	2.87	3.34	3.74	4.19	4.35	4.82	4.87	5.46	6.11	7.10	7.96
10	600	2.43	2.83	3.17	3.55	3.68	4.08	4.12	4.62	5.17	6.01	6.73
12	720	2.12	2.47	2.76	3.10	3.21	3.56	3.60	4.03	4.51	5.25	5.88
14	840	1.89	2.20	2.46	2.76	2.86	3.17	3.21	3.59	4.02	4.67	5.24
18	1080	1.57	1.82	2.04	2.29	2.37	2.63	2.66	2.98	3.33	3.87	4.34
24	1440	1.26	1.47	1.65	1.84	1.91	2.12	2.14	2.40	2.69	3.12	3.50

Fuente: Elaboración propia

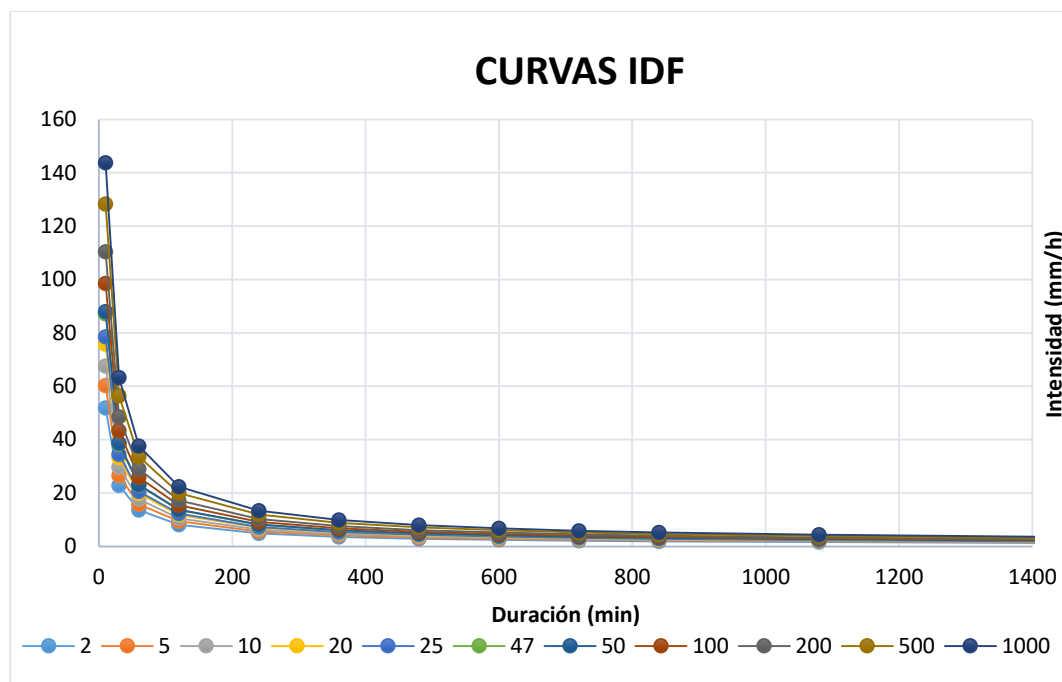


Gráfico 4: Curvas Intensidad, duración y frecuencia (IDF.).

Fuente: Elaboración propia.

*Interpretación de resultados:* La tabla 34 de doble entrada y el gráfico se puede apreciar la intensidad – duración – frecuencia, se espera tener una intensidad de precipitación 51.92 mm/h. con una frecuencia de 2 años y una duración de 10 min., una intensidad de precipitación 22.84 mm/h. con una frecuencia de 2 años y una duración de 30 min., una intensidad de precipitación 13.60 mm/h. con una frecuencia de 2 años y una duración de 60 min., (...) y por último una intensidad mayor de precipitación 143.77 mm/h. con una frecuencia de 1000 años y una duración de 10 min.

#### 4.1.1.2.7. Cálculo del tiempo de concentración.

Teniendo los datos de las subcuencas como son el área, cota superior, cota inferior, longitud de cauce, pendiente media del cauce y el desnivel máximo del curso de agua, se calculó el tiempo de concentración “Tc.” para cada tramo mediante fórmulas propuestas por diferentes autores como son; Passini, Giandotti, Benhan, Bransby-Williams y US Corps of.

Tabla 35:

*Datos de las microcuencas para el cálculo de Tc.*

Cuenca		Área de	Cota	Cota	Longitud de cauce	Pendiente	Desnivel
		la cuenca	superior	inferior		media del cauce	máximo del curso de agua
		A(km <sup>2</sup> .)	H <sub>1</sub> (m.)	H <sub>1</sub> (m.)	L(km.)	S(m/m.)	H(m.)
Av. Micaela Bastidas	Tramo 0+000.00 - 0+978.76	0.218	2660.000	2606.000	0.98	0.055	54.000
Av. Garcilaso de la Vega (D.)	Tramo 0+000.00 - 0+167.95	0.013	2649.440	2642.344	0.17	0.042	7.096
	Tramo 0+167.95 - 0+303.76	0.006	2643.685	2642.344	0.14	0.010	1.341
	Tramo 0+303.76 - 0+481.43	0.005	2643.685	2636.152	0.18	0.042	7.533
	Tramo 0+481.43 - 0+561.48	0.001	2643.685	2635.850	0.08	0.098	7.835
Av. Garcilaso de la Vega (I.)	Tramo 0+000.00 - 0+170.00	0.006	2649.420	2642.310	0.17	0.042	7.110
	Tramo 0+170.00 - 0+300.00	0.002	2642.450	2642.310	0.13	0.001	0.140
	Tramo 0+300.00 - 0+481.43	0.004	2642.310	2636.230	0.18	0.034	6.080
	Tramo 0+481.43 - 0+541.56	0.001	2636.230	2636.040	0.06	0.003	0.190
Av. Circunvalación (D.)	Tramo 0+000.00 - 0+544.55	0.065	2642.656	2599.277	0.54	0.080	43.379
Av. Circunvalación (I.)	Tramo 0+000.00 - 0+547.72	0.013	2642.622	2599.257	0.55	0.079	43.365
Av. Mariano Melgar (D.)	Tramo 0+0.000 - 0+103.45	0.015	2599.277	2588.521	0.10	0.104	10.756
	Tramo 0+103.45 - 0+223.50	0.005	2588.521	2578.414	0.12	0.084	10.107
	Tramo 0+223.50 - 0+566.40	0.025	2578.414	2558.577	0.34	0.058	19.837
	Tramo 0+566.40 - 0+623.35	0.012	2558.577	2555.768	0.06	0.049	2.809
	Tramo 0+623.35 - 0+930.88	0.043	2555.768	2533.840	0.31	0.071	21.928
Av. Mariano Melgar (I.)	Tramo 0+0.000 - 0+626.40	0.026	2599.257	2555.780	0.63	0.069	43.477
	Tramo 0+626.40 - 0+941.42	0.006	2555.780	2533.291	0.32	0.071	22.489
Calle José de la Mar (D.)	Tramo 0+000.00 - 0+246.18	0.002	2616.076	2590.916	0.25	0.102	25.160
Calle José de la Mar (I.)	Tramo 0+000.00 - 0+241.16	0.042	2615.351	2591.084	0.24	0.101	24.267
	Tramo 0+000.00 - 0+089.11	0.002	2598.714	2591.017	0.09	0.086	7.697

Av. Daniel Estrada Pérez (D.)	Tramo 0+089.11 - 0+220.00	0.013	2591.017	2581.788	0.13	0.070	9.229
	Tramo 0+220.00 - 0+404.15	0.020	2588.942	2581.788	0.18	0.039	7.155
	Tramo 0+404.15 - 0+481.74	0.012	2590.388	2588.942	0.08	0.019	1.446
Av. Daniel Estrada Pérez (I.)	Tramo 0+000.00 - 0+064.64	0.002	2596.877	2590.916	0.06	0.092	5.961
	Tramo 0+064.64 - 0+197.28	0.002	2590.916	2581.788	0.13	0.069	9.128
	Tramo 0+197.28 - 0+491.51	0.004	2590.259	2581.788	0.29	0.029	8.471
Av. Tamburco 1 (D.)	Tramo 0+000.00 - 0+601.95	0.104	2663.830	2632.880	0.60	0.051	30.950
	Tramo 0+601.95 - 1+050.00	0.038	2632.880	2607.182	0.45	0.057	25.698
	Tramo 1+050.00 - 1+254.50	0.042	2607.182	2596.373	0.20	0.053	10.809
	Tramo 1+254.50 - 1+413.10	0.042	2596.373	2587.456	0.16	0.056	8.917
	Tramo 1+413.10 - 1+556.00	0.063	2587.456	2579.541	0.14	0.055	7.915
	Tramo 1+556.00 - 1+663.85	0.040	2579.541	2573.435	0.11	0.057	6.106
	Tramo 1+663.86 - 1+790.57	0.067	2573.435	2563.570	0.13	0.078	9.865
Av. Tamburco 1 (I.)	Tramo 0+000.00 - 0+557.60	0.008	2664.860	2634.568	0.56	0.054	30.292
	Tramo 0+557.60 - 0+893.40	0.006	2634.568	2616.214	0.34	0.055	18.354
	Tramo 0+893.40 - 1+076.20	0.003	2616.214	2605.661	0.18	0.058	10.553
	Tramo 1+076.20 - 1+256.00	0.002	2605.661	2595.885	0.18	0.054	9.776
	Tramo 1+256.00 - 1+427.05	0.003	2595.885	2586.797	0.17	0.053	9.088
	Tramo 1+427.05 - 1+738.70	0.007	2586.797	2569.210	0.31	0.056	17.587
Calle Las Gardenias (D.)	Tramo 0+000.00 - 0+311.94	0.005	2635.695	2598.714	0.31	0.119	36.981
Calle Las Gardenias (I.)	Tramo 0+000.00 - 0+314.57	0.006	2636.226	2598.692	0.31	0.119	37.534
Av. Túpac Amaru (D.)	Tramo 0+000.00 - 0+532.37	0.011	2605.860	2530.570	0.53	0.141	75.290
Av. Túpac Amaru (I.)	Tramo 0+000.00 - 0+105.60	0.002	2606.000	2590.247	0.11	0.070	15.753
	Tramo 0+105.60 - 0+516.80	0.009	2590.247	2533.113	0.41	0.196	57.134
	Tramo 0+516.80 - 0+539.27	0.000	2533.113	2530.250	0.02	0.127	2.863
Psj. José de la Riva Agüero	Tramo 0+000.00 - 0+064.12	0.001	2581.841	2578.205	0.06	0.057	3.636
Av. Tamburco 2 (D.)	Tramo 0+000.00 - 0+857.12	0.014	2568.610	2520.880	0.86	0.056	47.730
Av. Tamburco 2 (I.)	Tramo 0+000.00 - 0+350.00	0.042	2569.210	2550.545	0.35	0.053	18.665
	Tramo 0+350.00 - 0+532.55	0.048	2550.545	2540.965	0.18	0.052	9.580
	Tramo 0+532.55 - 0+706.40	0.058	2540.965	2530.566	0.17	0.060	10.399
	Tramo 0+706.40 - 0+864.97	0.015	2530.566	2520.770	0.16	0.062	9.796

Jr. David Samanez Ocampo (I.)	Tramo 0+000.00 - 0+420.00	0.012	2511.780	2463.810	0.42	0.114	47.970
Jr. David Samanez Ocampo (D.)	Tramo 0+000.00 - 0+071.94	0.003	2518.679	2511.884	0.07	0.094	6.795
	Tramo 0+000.00 - 0+428.70	0.008	2511.884	2464.175	0.43	0.111	47.709
Av. Inca Garcilaso de la Vega	Tramo 0+420.00 - 0+700.25	0.015	2463.810	2441.860	0.28	0.078	21.950

Fuente: Elaboración propia.

*Interpretación de resultados:* La tabla 35 muestra datos, pendiente media, longitud de cauce y desnivel máximo del curso del agua. Teniendo una pendiente mínima de 0.001 m/m. en el colector de la Av. Garcilaso de la Vega y una pendiente mayor 1.196 m/m. en el colector Av. Túpac Amaru, siendo estos datos necesarios para el cálculo de tiempo de concentración para los diferentes colectores.

Para el calcular el tiempo de concentración, las fórmulas más usadas son: Passini, Benhan, Ventura Heras, Bransby-Williams, Giandotti y US Corps of Engineers, como resultaron valores muy altos y valores muy bajos, por tanto, se optó por tomar el promedio de los valores más altos por la consistencia de resultados, con estos datos se obtuvo la intensidad máxima de diseño para cada tiempo de concentración.

Tabla 36:

*Intensidades máximas.*

Microcuencia	Periodo de retorno (años)	Duración (min.)	Imáx. (mm/h.)	
Av. Micaela bastidas	Tramo 0+000.00 - 0+978.76	50	32.368	35.268
Av. Garcilaso de la Vega (D.)	Tramo 0+000.00 - 0+167.95	50	14.200	65.297
	Tramo 0+167.95 - 0+303.76	50	21.235	48.333
	Tramo 0+303.76 - 0+481.43	50	11.981	74.145
	Tramo 0+481.43 - 0+561.48	50	5.103	140.348
Av. Garcilaso de la Vega (I.)	Tramo 0+000.00 - 0+170.00	50	12.125	73.484
	Tramo 0+170.00 - 0+300.00	50	46.394	26.947
	Tramo 0+300.00 - 0+481.43	50	12.476	71.934
	Tramo 0+481.43 - 0+541.56	50	20.387	49.829

Av. Circunvalación (D.)	Tramo 0+000.00 - 0+544.55	50	19.614	51.290
Av. Circunvalación (I.)	Tramo 0+000.00 - 0+547.72	50	16.461	58.468
Av. Mariano Melgar (D.)	Tramo 0+0.000 - 0+103.45	50	9.886	85.602
	Tramo 0+103.45 - 0+223.50	50	8.263	97.880
	Tramo 0+223.50 - 0+566.40	50	16.563	58.200
	Tramo 0+566.40 - 0+623.35	50	13.630	67.329
	Tramo 0+623.35 - 0+930.88	50	16.419	58.580
Av. Mariano Melgar (I.)	Tramo 0+0.000 - 0+626.40	50	19.455	51.602
	Tramo 0+626.40 - 0+941.42	50	12.302	72.691
Calle José de la Mar (D.)	Tramo 0+000.00 - 0+246.18	50	9.008	91.764
Calle José de la Mar (I.)	Tramo 0+000.00 - 0+241.16	50	13.751	66.884
Av. Daniel Estrada Pérez (D.)	Tramo 0+000.00 - 0+089.11	50	6.571	116.165
	Tramo 0+089.11 - 0+220.00	50	11.233	77.802
	Tramo 0+220.00 - 0+404.15	50	16.324	58.834
	Tramo 0+404.15 - 0+481.74	50	19.774	50.979
Av. Daniel Estrada Pérez (I.)	Tramo 0+000.00 - 0+064.64	50	5.882	126.194
	Tramo 0+064.64 - 0+197.28	50	7.748	102.702
	Tramo 0+197.28 - 0+491.51	50	15.726	60.502
Av. Tamburco 1 (D.)	Tramo 0+000.00 - 0+601.95	50	25.545	42.097
	Tramo 0+601.95 - 1+050.00	50	19.169	52.178
	Tramo 1+050.00 - 1+254.50	50	17.520	55.806
	Tramo 1+254.50 - 1+413.10	50	17.061	56.926
	Tramo 1+413.10 - 1+556.00	50	19.793	50.942
	Tramo 1+556.00 - 1+663.85	50	17.512	55.826
	Tramo 1+663.86 - 1+790.57	50	17.643	55.515
Av. Tamburco 1 (I.)	Tramo 0+000.00 - 0+557.60	50	18.188	54.268
	Tramo 0+557.60 - 0+893.40	50	13.944	66.191
	Tramo 0+893.40 - 1+076.20	50	10.011	84.799
	Tramo 1+076.20 - 1+256.00	50	9.368	89.114
	Tramo 1+256.00 - 1+427.05	50	9.970	85.057
	Tramo 1+427.05 - 1+738.70	50	13.541	67.661
Gardenias (D.)	Tramo 0+000.00 - 0+311.94	50	10.159	83.873
Gardenias (I.)	Tramo 0+000.00 - 0+314.57	50	10.420	82.300
Av. Túpac Amaru (D.)	Tramo 0+000.00 - 0+532.37	50	13.339	68.425
Av. Túpac Amaru (I.)	Tramo 0+000.00 - 0+105.60	50	9.642	87.212
	Tramo 0+105.60 - 0+516.80	50	8.827	93.168
	Tramo 0+516.80 - 0+539.27	50	3.085	204.428
Psj. José de la Riva Agüero	Tramo 0+000.00 - 0+064.12	50	6.511	116.974

Av. Tamburco 2 (D.)	Tramo 0+000.00 - 0+857.12	50	23.359	45.008
Av. Tamburco 2 (I.)	Tramo 0+000.00 - 0+350.00	50	18.776	52.991
	Tramo 0+350.00 - 0+532.55	50	18.238	54.155
	Tramo 0+532.55 - 0+706.40	50	18.276	54.070
	Tramo 0+706.40 - 0+864.97	50	12.403	72.250
Jr. David Samanez Ocampo (I.)	Tramo 0+000.00 - 0+420.00	50	12.855	70.340
Jr. David Samanez Ocampo (D.)	Tramo 0+000.00 - 0+071.94	50	6.729	114.127
	Tramo 0+000.00 - 0+428.70	50	12.658	71.157
Av. Inca Garcilaso de la Vega	Tramo 0+420.00 - 0+700.25	50	12.837	70.415

Fuente: Elaboración propia.

*Interpretación de resultados:* La tabla 36 mostrada presenta la intensidad máxima por colectores donde varía de 26.947 a 204.428 mm/h. para un periodo de retorno de 50 años con un tiempo de concentración que varía de 3.085 a 46.394 min.

#### 4.1.1.2.8. Determinación del caudal.

El valor de C. varía según las características físicas, topográficas y el tipo de cubierta vegetal. El coeficiente de escorrentía es la variable menos precisa para el método racional. Su uso en la fórmula implica una relación fija entre la tasa de escorrentía pico y la tasa de lluvia para la cuenca de drenaje, lo cual no es cierto en la realidad.

De los parámetros de escorrentía en el método Mac Math, interviene tres componentes que está en función de la cobertura vegetal, la textura del suelo y la topografía del terreno.

La optimización del drenaje para el casco urbano del distrito de Tamburco, será diseñada en función al caudal incidente del escurrimiento originado por las precipitaciones de aguas pluviales. Para lo cual usaremos el método de Burckly-Zieger, la cual relaciona el área, la pendiente promedio del terreno, la intensidad de la precipitación y el coeficiente de permeabilidad del terreno.

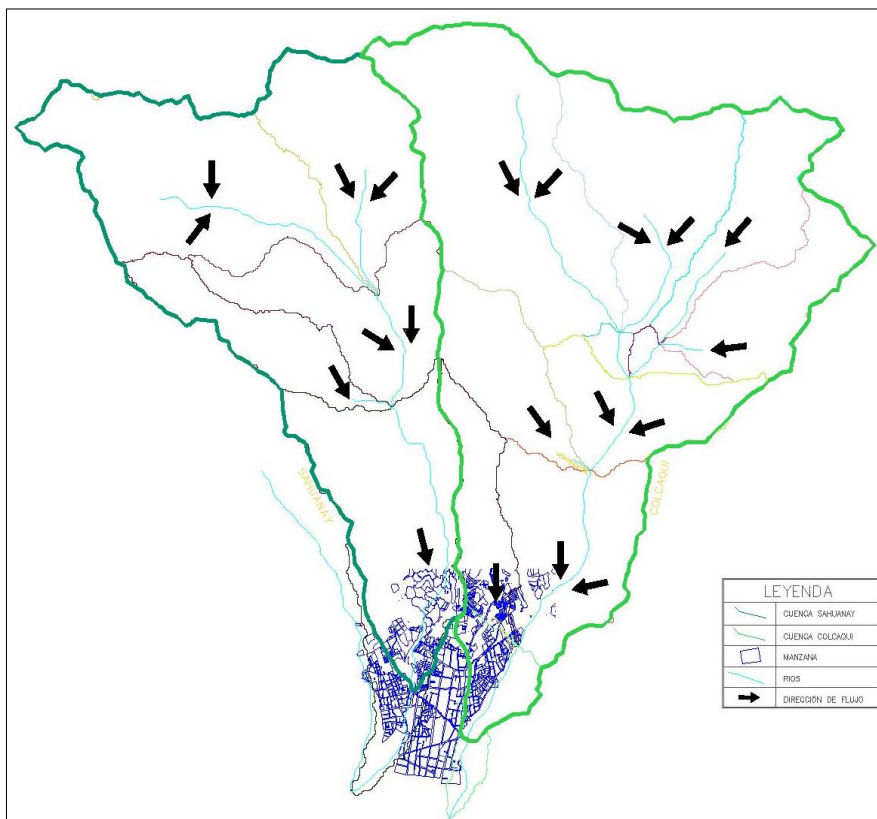


Figura 18: Mapa de escorrentía.

Fuente: Elaboración propia.

*Interpretación de resultados:* En la figura 18, se muestra la escorrentía superficial; la infiltración se da en terreno franco arenoso que tienen actitud agrícola, en el trabajo al delimitar el área de estudio se ha encontrado la presencia de terrenos de conformación aluvial conformado por carbonato de calcio denominado “caliche” donde se aprecia una capa que varía de 0 -15 cm. de tierra vegetal ubicado en las partes altas, fuera de los límites de área seleccionada para el área de estudio.

En la zona no se Fuente acciones erosivas por parte de la escorrentía de las aguas, debido a que las calles están consolidadas y pavimentadas, la pendiente natural del terreno favorece el escurrimiento de las aguas a las quebradas.

Usando la fórmula planteada por Burkli – Zieger, para el cálculo del caudal máximo se tiene:

Tabla 37:

*Caudal máximo*

Microcuencas		C		A	I máx.	Q
			(km2.)	(has.)	(mm/h.)	(m3/seg.)
Av. Micaela bastidas	Tramo 0+000.00 - 0+978.76	0.633	0.218	21.761	35.268	0.240
Av. Garcilaso de la Vega (D.)	Tramo 0+000.00 - 0+167.95	0.633	0.013	1.301	65.297	0.050
	Tramo 0+167.95 - 0+303.76	0.633	0.006	0.583	48.333	0.014
	Tramo 0+303.76 - 0+481.43	0.633	0.005	0.516	74.145	0.029
	Tramo 0+481.43 - 0+561.48	0.633	0.001	0.072	140.348	0.015
Av. Garcilaso de la Vega (I.)	Tramo 0+000.00 - 0+170.00	0.633	0.006	0.573	73.484	0.031
	Tramo 0+170.00 - 0+300.00	0.633	0.002	0.245	26.947	0.002
	Tramo 0+300.00 - 0+481.43	0.633	0.004	0.360	71.934	0.020
	Tramo 0+481.43 - 0+541.56	0.633	0.001	0.075	49.829	0.002
Av. Circunvalación (D.)	Tramo 0+000.00 - 0+544.55	0.633	0.065	6.468	51.290	0.154
Av. Circunvalación (I.)	Tramo 0+000.00 - 0+547.72	0.633	0.013	1.264	58.468	0.051
Av. Mariano Melgar (D.)	Tramo 0+0.000 - 0+103.45	0.633	0.015	1.523	85.602	0.093
	Tramo 0+103.45 - 0+223.50	0.633	0.005	0.478	97.880	0.042
	Tramo 0+223.50 - 0+566.40	0.633	0.025	2.547	58.200	0.080
	Tramo 0+566.40 - 0+623.35	0.633	0.012	1.227	67.329	0.052
	Tramo 0+623.35 - 0+930.88	0.633	0.043	4.321	58.580	0.126
Av. Mariano Melgar (I.)	Tramo 0+0.000 - 0+626.40	0.633	0.026	2.561	51.602	0.075
	Tramo 0+626.40 - 0+941.42	0.633	0.006	0.570	72.691	0.034
Calle José de la Mar (D.)	Tramo 0+000.00 - 0+246.18	0.633	0.002	0.239	91.764	0.025
Calle José de la Mar (I.)	Tramo 0+000.00 - 0+241.16	0.633	0.042	4.246	66.884	0.155
Av. Daniel Estrada Pérez (D.)	Tramo 0+000.00 - 0+089.11	0.633	0.002	0.211	116.165	0.027
	Tramo 0+089.11 - 0+220.00	0.633	0.013	1.301	77.802	0.068
	Tramo 0+220.00 - 0+404.15	0.633	0.020	1.956	58.834	0.060
	Tramo 0+404.15 - 0+481.74	0.633	0.012	1.152	50.979	0.029
Av. Daniel Estrada Pérez (I.)	Tramo 0+000.00 - 0+064.64	0.633	0.002	0.183	126.194	0.027

	Tramo 0+064.64 - 0+197.28	0.633	0.002	0.171	102.702	0.020
	Tramo 0+197.28 - 0+491.51	0.633	0.004	0.355	60.502	0.016
Av. Tamburco 1 (D.)	Tramo 0+000.00 - 0+601.95	0.633	0.104	10.421	42.097	0.162
	Tramo 0+601.95 - 1+050.00	0.633	0.038	3.817	52.178	0.097
	Tramo 1+050.00 - 1+254.50	0.633	0.042	4.165	55.806	0.109
	Tramo 1+254.50 - 1+413.10	0.633	0.042	4.152	56.926	0.112
	Tramo 1+413.10 - 1+556.00	0.633	0.063	6.299	50.942	0.137
	Tramo 1+556.00 - 1+663.85	0.633	0.040	4.038	55.826	0.108
	Tramo 1+663.86 - 1+790.57	0.633	0.067	6.668	55.515	0.169
Av. Tamburco 1 (I.)	Tramo 0+000.00 - 0+557.60	0.633	0.008	0.806	54.268	0.031
	Tramo 0+557.60 - 0+893.40	0.633	0.006	0.601	66.191	0.030
	Tramo 0+893.40 - 1+076.20	0.633	0.003	0.315	84.799	0.024
	Tramo 1+076.20 - 1+256.00	0.633	0.002	0.154	89.114	0.015
	Tramo 1+256.00 - 1+427.05	0.633	0.003	0.288	85.057	0.022
	Tramo 1+427.05 - 1+738.70	0.633	0.007	0.682	67.661	0.034
Gardenias (D.)	Tramo 0+000.00 - 0+311.94	0.633	0.005	0.478	83.873	0.039
Gardenias (I.)	Tramo 0+000.00 - 0+314.57	0.633	0.006	0.624	82.300	0.047
Av. Túpac Amaru (D.)	Tramo 0+000.00 - 0+532.37	0.633	0.011	1.090	68.425	0.062
Av. Túpac Amaru (I.)	Tramo 0+000.00 - 0+105.60	0.633	0.002	0.194	87.212	0.018
	Tramo 0+105.60 - 0+516.80	0.633	0.009	0.856	93.168	0.077
	Tramo 0+516.80 - 0+539.27	0.633	0.000	0.032	204.428	0.013
Psj. José de la Riva Agüero	Tramo 0+000.00 - 0+064.12	0.633	0.001	0.117	116.974	0.016
Av. Tamburco 2 (D.)	Tramo 0+000.00 - 0+857.12	0.633	0.014	1.351	45.008	0.038
Av. Tamburco 2 (I.)	Tramo 0+000.00 - 0+350.00	0.633	0.042	4.236	52.991	0.105
	Tramo 0+350.00 - 0+532.55	0.633	0.048	4.779	54.155	0.117
	Tramo 0+532.55 - 0+706.40	0.633	0.058	5.775	54.070	0.139
	Tramo 0+706.40 - 0+864.97	0.633	0.015	1.457	73.252	0.072
Jr. David Samanez Ocampo (I.)	Tramo 0+000.00 - 0+420.00	0.633	0.012	1.243	70.340	0.067
Jr. David Samanez Ocampo (D.)	Tramo 0+000.00 - 0+071.94	0.633	0.003	0.323	114.127	0.038
	Tramo 0+000.00 - 0+428.70	0.633	0.008	0.841	71.157	0.050

Av. Inca Garcilaso de la Vega	Tramo 0+420.00 - 0+700.25	0.633	0.015	1.498	70.415	0.070
-------------------------------	---------------------------	-------	-------	-------	--------	-------

Fuente: Elaboración propia.

*Interpretación de resultados:* La tabla 37 se muestra el caudal máximo que captaran cada colector pluvial, teniendo en consideración el factor C que depende de las características físicas, topográficas de la cuenca y según el tipo de cubierta vegetal.

Tabla 38:

*Caudal acumulado.*

	Microcuenca	Caudal acumulado
Av. Garcilaso de la Vega (D)	Tramo 0+000.00 - 0+167.95	0.050
	Tramo 0+167.95 - 0+303.76	0.014
	Tramo 0+303.76 - 0+481.43	0.029
	Tramo 0+481.43 - 0+561.48	0.015
Av. Garcilaso de la Vega (I)	Tramo 0+000.00 - 0+170.00	0.031
	Tramo 0+170.00 - 0+300.00	0.002
	Tramo 0+300.00 - 0+481.43	0.020
	Tramo 0+481.43 - 0+541.56	0.002
Av. Circunvalación (D)	Tramo 0+000.00 - 0+544.55	0.154
Av. Circunvalación (I)	Tramo 0+000.00 - 0+547.72	0.051
Av. Mariano Melgar (D)	Tramo 0+0.000 - 0+103.45	0.247
	Tramo 0+103.45 - 0+223.50	0.855
	Tramo 0+223.50 - 0+566.40	0.935
	Tramo 0+566.40 - 0+623.35	0.987
	Tramo 0+623.35 - 0+930.88	0.126
Av. Mariano Melgar (I)	Tramo 0+0.000 - 0+626.40	0.126
	Tramo 0+626.40 - 0+941.42	0.034
Calle José de la Mar (D)	Tramo 0+000.00 - 0+246.18	0.025
Calle José de la Mar (I)	Tramo 0+000.00 - 0+241.16	0.155
Av. Daniel Estrada Pérez (D)	Tramo 0+000.00 - 0+089.11	0.150
	Tramo 0+089.11 - 0+220.00	0.157
	Tramo 0+220.00 - 0+404.15	0.089
	Tramo 0+404.15 - 0+481.74	0.029

Av. Daniel Estrada Pérez (I)		
	Tramo 0+000.00 - 0+064.64	0.027
	Tramo 0+064.64 - 0+197.28	0.035
	Tramo 0+197.28 - 0+491.51	0.016
Av. Tamburco 1 (D)		
	Tramo 0+000.00 - 0+601.95	0.162
	Tramo 0+601.95 - 1+050.00	0.259
	Tramo 1+050.00 - 1+254.50	0.608
	Tramo 1+254.50 - 1+413.10	0.720
	Tramo 1+413.10 - 1+556.00	0.857
	Tramo 1+556.00 - 1+663.85	0.965
	Tramo 1+663.86 - 1+790.57	1.134
Av. Tamburco 1 (I)		
	Tramo 0+000.00 - 0+557.60	0.031
	Tramo 0+557.60 - 0+893.40	0.061
	Tramo 0+893.40 - 1+076.20	0.086
	Tramo 1+076.20 - 1+256.00	0.101
	Tramo 1+256.00 - 1+427.05	0.123
	Tramo 1+427.05 - 1+738.70	0.157
Calle Las Gardenias (D)		
	Tramo 0+000.00 - 0+311.94	0.083
Calle Las Gardenias (I)		
	Tramo 0+000.00 - 0+314.57	0.067
Av. Túpac Amaru (D)		
	Tramo 0+000.00 - 0+532.37	0.062
Av. Túpac Amaru (I)		
	Tramo 0+000.00 - 0+105.60	0.018
	Tramo 0+105.60 - 0+516.80	0.095
	Tramo 0+516.80 - 0+539.27	0.269
Av. José de la Riva agüero		
	Tramo 0+000.00 - 0+064.12	0.566
Av. Tamburco 2 (D)		
	Tramo 0+000.00 - 0+852.10	0.038
Av. Tamburco 2 (I)		
	Tramo 0+000.00 - 0+350.00	0.262
	Tramo 0+350.00 - 0+532.55	0.379
	Tramo 0+532.55 - 0+706.40	0.518
	Tramo 0+706.40 - 0+944.80	0.652
Jr. David Samanez Ocampo (I)		
	Tramo 0+000.00 - 0+420.00	0.719
Jr. David Samanez Ocampo (D)		
	Tramo 0+000.00 - 0+71.94	0.041
	Tramo 0+000.00 - 0+428.70	0.047
Av. Inca Garcilaso de la vega		
	Tramo 0+420.00 - 0+700.25	0.836

Fuente: Elaboración propia.

*Interpretación de resultados:* La tabla 38 se muestra el caudal acumulado de cada colector pluvial, para el diseño hidráulico.

#### 4.1.1.2.9. Puntos de entrega

Se tiene tres puntos de entrega del caudal acumulado, dos puntos que desembocan en el río Colcaqui y uno en el río Sahuanay, se obtuvo la distribución del caudal acumulado según la topografía (pendiente) de los colectores pluviales.

Tabla 39:

#### *Resumen de caudal máximo en los puntos de entrega*

Microcuenca	Caudal acumulado (m <sup>3</sup> /s)	Caudal de entrega (m <sup>3</sup> /s)
Av. El Arco y Psj. N°02	1.134	1.134
Av. Mariano Melgar kilómetro 0 + 566.40	0.987 y 0.126	1.113
Puente - Av. Inca Garcilaso de la Vega	0.836	0.836

Fuente: Elaboración propia

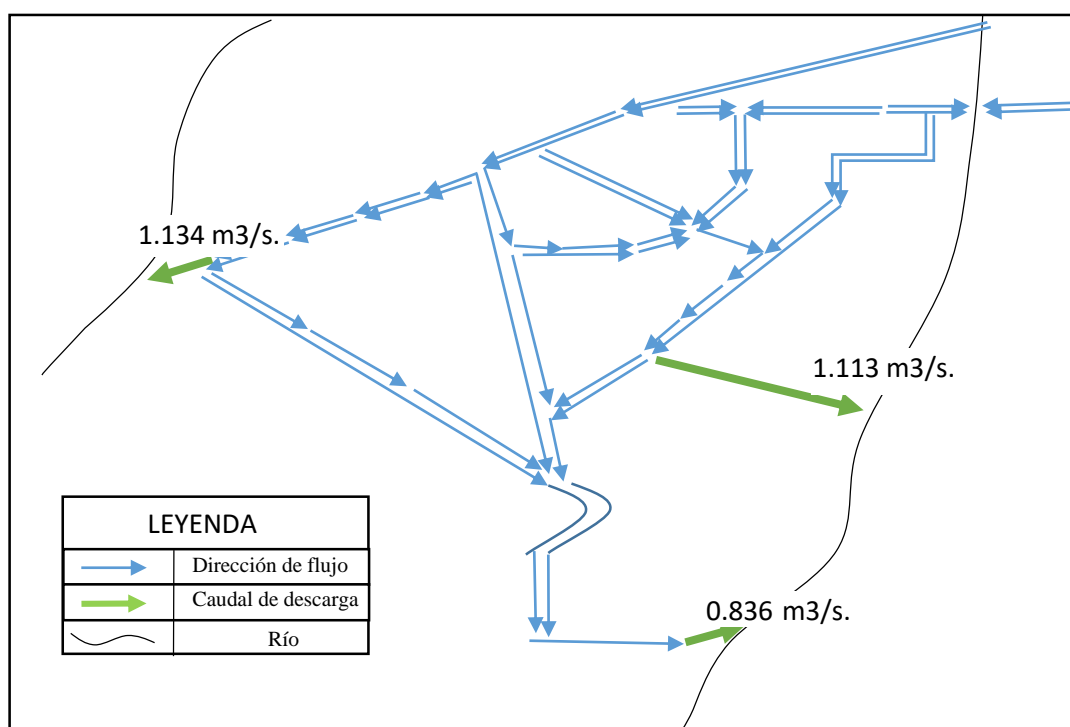


Figura 19: Caudal de entrega.

Fuente: Elaboración propia.

*Interpretación de resultados:* En la figura 19 y la tabla 39 se aprecia el caudal total para la entrega a los ríos Sahuanay y Colcaqui, teniendo como primer punto de

entrega en la intersección Av. El Arco y Psj. N°02 un caudal de 1.134 m<sup>3</sup>/s, como segundo punto de entrega en la Av. Mariano Melgar kilómetro 0 + 566.40 un caudal de 1.113 m<sup>3</sup>/s y en el puente - Av. Inca Garcilaso de la Vega un caudal de 0.836 m<sup>3</sup>/s.

#### 4.1.1.3. Características geotécnicas (X3).

De las muestras alteradas recolectadas y codificadas en campo se procederá con los trabajos en laboratorio que consiste en la realización de ensayos para conocer las propiedades físicas y mecánicas del material del subsuelo y determinar cuáles están dentro del plan de exploración y cuáles son los suelos más críticos a los que posteriormente se realizarán una cantidad adicional de ensayos.

Los ensayos se realizaron de acuerdo con las normas ASTM., en el laboratorio de mecánica de suelos y pavimento GEOGROUP M&R; con los resultados se procedió a efectuar una comparación entre los valores característicos de los materiales y los valores mínimos exigidos. Los laboratorios realizados son los siguientes:

##### a) Contenido de Humedad NTP 339.127 (ASTM D2216).

Tabla 40:

*Resumen de resultados del ensayo contenido de humedad.*

Calicata	Contenido de humedad (%)
C1	11.44
C2	7.3
C3	5.37
C4	9.48
C5	8.81
C6	4.35
C7	7.63
C8	11.29

Fuente: C4 y C8 Elaboración propia, C1-C2-C3-C5-C6 "CPF & YIP Consultores y Ejecutores E.I.R." (2014) y C7 "GEOLEF laboratorio de suelos y concretos E.I.R.L".

*Interpretación de resultados:* La tabla 40 se observa que el contenido de humedad del suelo varía un promedio de 4.35% a 11.44%.

b) Análisis Granulométrico NTP 339.128 (ASTM D422).

Tabla 41:

*Resumen del ensayo análisis granulométrico.*

Calicatas	Resultado del ensayo análisis granulométrico		Calicatas	Resultado del ensayo análisis granulométrico	
C1	D60 =	30.56	C5	D60 =	10.94
	D30 =	18.43		D30 =	4.32
	D10 =	1.74		D10 =	0.21
	Cu =	17.56		Cu =	52.63
	Cc =	6.39		Cc =	8.21
C2	D60 =	5.21	C6	D60 =	5.21
	D30 =	0.20		D30 =	0.20
	D10 =	No existe		D10 =	No existe
	Cu =	No existe		Cu =	No existe
	Cc =	No existe		Cc =	No existe
C3	D60 =	5.94	C7	D60 =	11.12
	D30 =	2.04		D30 =	0.19
	D10 =	No existe		D10 =	No existe
	Cu =	No existe		Cu =	No existe
	Cc =	No existe		Cc =	No existe
C4	D60 =	15.82	C8	D60 =	13.65
	D30 =	0.44		D30 =	0.19
	D10 =	No existe		D10 =	No existe
	Cu =	No existe		Cu =	No existe
	Cc =	No existe		Cc =	No existe

Fuente: C4 y C8 Elaboración propia, C1-C2-C3-C5-C6 “CPF & YIP Consultores y Ejecutores E.I.R.” (2014) y C7 “GEOLEF laboratorio de suelos y concretos E.I.R.L”.

*Interpretación de resultados:* En la tabla 41 se puede observar que en las diferentes calicatas en estudio no cuentan con un diámetro 10, lo cual significa que no existe tamaño donde pasa el 10% del suelo, por consiguiente, no existe coeficiente de curvatura y coeficiente de uniformidad.

c) *Límite líquido NTP 339.129 (ASTM D4318) y Limite plástico NTP 339.129 (ASTM D4318).*

Tabla 42:

*Resumen del ensayo de límite líquido.*

Calicata	Límite líquido (%)	Límite plástico (%)
C1	17.00	10.00
C2	16.00	10.00
C3	28.00	22.00
C4	24.26	21.49
C5	18.00	11.00
C6	15.00	10.00
C7	22.92	15.03
C8	22.99	20.55

Fuente: C4 y C8 Elaboración propia, C1 C2-C3-C5-C6 “CPF & YIP Consultores y Ejecutores E.I.R.” (2014) y C7 “GEOLEF laboratorio de suelos y concretos E.I.R.L”.

*Interpretación de resultados:* En la tabla 42 se tiene que la muestra de la calicata 1 tiene como límite líquido 17% lo que significa que el suelo se encuentra en el límite del estado líquido y estado plástico, la muestra de la calicata 2 tiene como límite líquido 16% por lo que el suelo se encuentra en el límite del estado líquido y estado plástico, (...) y la muestra de la calicata 8 tiene como límite líquido 22.99% lo que significa que el suelo se encuentra en el límite del estado líquido y estado plástico. *Así también se muestra que la calicata 1 tiene como límite líquido 10% el cual indica que es el contenido de humedad para poder moldear sin agrietar el suelo, la muestra de la calicata 2 tiene como límite líquido 10% el cual indica que es el contenido de humedad para poder moldear sin agrietar el suelo, (...) y la muestra de la calicata 8 tiene como límite líquido 22.55% el cual indica que es el contenido de humedad para poder moldear sin agrietar el suelo.*

d) *Clasificación de SUCS-AASHTO.*

Tabla 43:

*Resumen de la clasificación de suelos.*

Calicatas	Clasificación	
	AASHTO.	SUCS.
C1	A-2-4(0)	GP - GM
C2	A-2-4(0)	SM - SC
C3	A-2-4(0)	SM - SC
C4	A-2-4	GM
C5	A-2-4 (0)	GP - GM
C6	A-2-4 (0)	SM - SC
C7	A-2-4	GC
C8	A-2-4	GM

Fuente: C4 y C8 Elaboración propia, C1-C2-C3-C5-C6 “CPF & YIP Consultores y Ejecutores E.I.R.” (2014) y C7 “GEOLEF laboratorio de suelos y concretos E.I.R.L”

*Interpretación de resultados:* La tabla 43 muestra que la calicata 1, calicata 2, calicata 3, calicata 5 y calicata 6 son A-2-4 (0) grava, arena limosa y arcillosa con índice de grupo (0), según la clasificación AASHTO., se entiende que son de grano grueso ya que menos del 35% pasa la malla N°200, la Calicata 4, calicata 7 y calicata 8 son A – 2 – 4 grava, arena limosa y arcillosa.

En cuanto al sistema SUCS., las clasificaciones de los suelos para la muestra de la calicata 1 y calicata 5 corresponde a gravas mal graduada con limo (GP-GM), para la calicata 2, calicata 3 y calicata 6 corresponde a arena limo arcillosa (SM-SC), para la calicata 4 y calicata 8 corresponde a grava limosa (GM), y para la calicata 7 corresponde a grava arcillosa (GC).

## 4.1.2. A nivel de variable Y/D.

### 4.1.2.1. Diseño óptimo de drenaje pluvial (Y).

#### 4.1.2.1.1. Determinación de diseño de las cunetas.

Diseño final de las cunetas, teniendo en cuenta el borde libre.

Tabla 44:

*Diseño final de las cunetas.*

Colectores	Pendie nte del canal (m/m.)	Tirante (m.)	borde libre (cm.)	Profundi dad total del canal	Talud del lado izquierdo (m/m (H:V))	Talud del lado derecho (m/m (H:V))	Ancho de fondo (m.)	Espejo de agua (m.)	Caudal
<b>Av. Garcilaso de la Vega (D.)</b>									
Tramo 0+000.00 - 0+167.95	0.042	0.081	10	0.200	---	---	0.300	0.300	0.050
Tramo 0+167.95 - 0+303.76	0.010	0.149	7.5	0.250	0.000	1.500	0.000	0.230	0.014
Tramo 0+303.76 - 0+481.43	0.042	0.150	7.5	0.250	0.000	1.500	0.000	0.230	0.029
Tramo 0+481.43 - 0+561.48	0.098	0.100	7.5	0.200	0.000	1.500	0.000	0.150	0.015
<b>Av. Garcilaso de la Vega (L.)</b>									
Tramo 0+000.00 - 0+170.00	0.042	0.154	7.5	0.250	1.500	0.000	0.000	0.240	0.031
Tramo 0+170.00 - 0+300.00	0.001	0.111	7.5	0.200	1.500	0.000	0.000	0.170	0.002
Tramo 0+300.00 - 0+481.43	0.034	0.136	7.5	0.250	1.500	0.000	0.000	0.210	0.020
Tramo 0+481.43 - 0+541.56	0.003	0.090	7.5	0.200	1.500	0.000	0.000	0.140	0.002
<b>Av. Circunvalación (D.)</b>									
Tramo 0+000.00 - 0+544.55	0.080	0.092	10	0.200	---	---	0.500	0.500	0.154
<b>Av. Circunvalación (L.)</b>									
Tramo 0+000.00 - 0+547.72	0.079	0.066	10	0.200	---	---	0.300	0.300	0.051
<b>Av. Mariano Melgar (D.)</b>									
Tramo 0+0.000 - 0+103.45	0.104	0.116	10	0.250	---	---	0.500	0.500	0.247
Tramo 0+103.45 - 0+223.50	0.084	0.309	25	0.650	---	---	0.500	0.500	0.855
Tramo 0+223.50 - 0+566.40	0.058	0.383	25	0.650	---	---	0.500	0.500	0.935
Tramo 0+566.40 - 0+623.35	0.049	0.428	25	0.700	---	---	0.500	0.500	0.987
Tramo 0+623.35 - 0+930.88	0.071	0.130	10	0.250	---	---	0.300	0.300	0.126

<b>Av. Mariano Melgar (I.)</b>									
Tramo 0+0.000 - 0+626.40	0.069	0.132	10	0.250	---	---	0.300	0.300	0.126
Tramo 0+626.40 - 0+941.42	0.071	0.144	7.5	0.250	0.000	1.500	0.000	0.220	0.034
<b>Calle José de la Mar (D.)</b>									
Tramo 0+000.00 - 0+246.18	0.102	0.120	7.5	0.200	1.500	0.000	0.000	0.180	0.025
<b>Calle José de la Mar (I.)</b>									
Tramo 0+000.00 - 0+241.16	0.101	0.206	10	0.350	---	---	0.20	0.200	0.155
<b>Av. Daniel Estrada Pérez (D.)</b>									
Tramo 0+000.00 - 0+089.11	0.086	0.138	10	0.300	---	---	0.300	0.300	0.150
Tramo 0+089.11 - 0+220.00	0.070	0.154	10	0.300	---	---	0.300	0.300	0.157
Tramo 0+220.00 - 0+404.15	0.039	0.126	10	0.250	---	---	0.300	0.300	0.089
Tramo 0+404.15 - 0+481.74	0.190	0.113	7.5	0.250	0.000	1.500	0.000	0.170	0.029
<b>Av. Daniel Estrada Pérez (I.)</b>									
Tramo 0+000.00 - 0+064.64	0.092	0.126	7.5	0.250	1.500	0.000	0.000	0.190	0.027
Tramo 0+064.64 - 0+197.28	0.069	0.147	7.5	0.250	1.500	0.000	0.000	0.220	0.035
Tramo 0+197.28 - 0+491.51	0.029	0.129	7.5	0.250	1.500	0.000	0.000	0.200	0.016
<b>Av. Tamburco 1 (D.)</b>									
Tramo 0+000.00 - 0+601.95	0.051	0.231	10	0.350	1.000	1.000	0.000	0.470	0.162
Tramo 0+601.95 - 1+050.00	0.057	0.101	20	0.350	---	---	0.800	0.800	0.259
Tramo 1+050.00 - 1+254.50	0.053	0.184	25	0.500	---	---	0.800	0.800	0.608
Tramo 1+254.50 - 1+413.10	0.056	0.203	25	0.500	---	---	0.800	0.800	0.720
Tramo 1+413.10 - 1+556.00	0.055	0.230	25	0.500	---	---	0.800	0.800	0.857
Tramo 1+556.00 - 1+663.85	0.057	0.247	25	0.500	---	---	0.800	0.800	0.965
Tramo 1+663.86 - 1+790.57	0.078	0.248	30	0.550	---	---	0.800	0.800	1.134
<b>Av. Tamburco 1 (I.)</b>									
Tramo 0+000.00 - 0+557.60	0.054	0.147	7.5	0.250	0.000	1.500	0.000	0.220	0.031
Tramo 0+557.60 - 0+893.40	0.055	0.085	10	0.250	---	---	0.300	0.300	0.061
Tramo 0+893.40 - 1+076.20	0.058	0.106	10	0.250	---	---	0.300	0.300	0.086
Tramo 1+076.20 - 1+256.00	0.054	0.122	10	0.250	---	---	0.300	0.300	0.101
Tramo 1+256.00 - 1+427.05	0.053	0.143	10	0.250	---	---	0.300	0.300	0.123
Tramo 1+427.05 - 1+738.70	0.056	0.168	10	0.300	---	---	0.300	0.300	0.157
<b>Calle Las Gardenias (D.)</b>									
Tramo 0+000.00 - 0+311.94	0.119	0.094	10	0.200	---	---	0.250	0.250	0.083

<b>Calle las Gardenias (I.)</b>									
Tramo 0+000.00 - 0+314.57	0.119	0.081	10	0.200	---	---	0.250	0.250	0.067
<b>Av. Túpac Amaru (D.)</b>									
Tramo 0+000.00 - 0+532.37	0.141	0.062	10	0.200	---	---	0.300	0.300	0.062
<b>Av. Túpac Amaru (I.)</b>									
Tramo 0+000.00 - 0+105.60	0.070	0.114	7.5	0.200	1.500	0.000	0.000	0.180	0.018
Tramo 0+105.60 - 0+516.80	0.196	0.074	10	0.200	---	---	0.300	0.300	0.095
Tramo 0+516.80 - 0+539.27	0.127	0.185	20	0.400	---	---	0.300	0.300	0.269
<b>Psj. José de la Riva Agüero</b>									
Tramo 0+000.00 - 0+064.12	0.057	0.262	25	0.550	---	---	0.500	0.500	0.566
<b>Av. Tamburco 2 (D.)</b>									
Tramo 0+000.00 - 0+857.12	0.056	0.157	7.5	0.250	1.500	0.000	0.000	0.240	0.038
<b>Av. Tamburco 2 (I.)</b>									
Tramo 0+000.00 - 0+350.00	0.053	0.131	20	0.400	---	---	0.600	0.600	0.262
Tramo 0+350.00 - 0+532.55	0.052	0.170	20	0.400	---	---	0.600	0.600	0.379
Tramo 0+532.55 - 0+706.40	0.060	0.202	25	0.500	---	---	0.600	0.600	0.518
Tramo 0+706.40 - 0+944.80	0.079	0.216	25	0.500	---	---	0.600	0.600	0.652
<b>Jr. David Samanez Ocampo</b>									
<b>(I.)</b>									
Tramo 0+000.00 - 0+420.00	0.114	0.241	25	0.500	---	---	0.500	0.500	0.719
<b>Jr. David Samanez Ocampo</b>									
<b>(D.)</b>									
Tramo 0+000.00 - 0+71.94	0.094	0.147	7.5	0.250	0.000	1.500	0.000	0.220	0.041
Tramo 0+000.00 - 0+428.70	0.111	0.150	7.5	0.250	0.000	1.500	0.000	0.230	0.047
<b>Av. Inca Garcilaso de la Vega</b>									
Tramo 0+420.00 - 0+700.25	0.114	0.270	25	0.550	---	---	0.500	0.500	0.836

Fuente: Elaboración propia.

*Interpretación de resultados:* En la tabla 44 se aprecia las características geométricas (rectangulares y triangulares) de los colectores pluviales considerando el borde libre en función del caudal para cunetas revestidos 7.5 a 30 cm.

#### *4.1.2.1.2. Disipador de energía.*

Tenemos tres puntos de entrega, en el punto 2 se plantea hacer un disipador de energía debido a la fuerte pendiente del terreno. Con un alcantarillado TMC.  $\phi 32$ " que transporta el agua pluvial hacia un aliviadero, estas aguas son transportadas en forma escalonada.

#### *4.1.2.1.3. Protección de cauce.*

La protección de cauce se consideró en los tres puntos de entrega a los ríos, como la salida del flujo de la alcantarilla es alta, esta puede originar una socavación local que afecte su estabilidad de la obra, por lo que se plantea protección del cauce natural, las construcciones de protección de cauce serán mediante emboquillados de piedra.

## **4.2. Prueba de hipótesis**

### **Hipótesis general**

Para la prueba de hipótesis se desea ratificar la afirmación: “Un buen diseño permite la optimización del drenaje pluvial en el casco urbano del distrito de Tamburco – Abancay tiene relación directa con las características topográficas, el comportamiento hidrológico y las características geotécnicas”.

Para ejecutar la prueba, se plantean las siguientes hipótesis estadísticas con un nivel de confianza del 95%:

Ho: Un buen diseño no permite la optimización del drenaje pluvial en el casco urbano del distrito de Tamburco – Abancay, 2018.

H1: Un buen diseño permite la optimización del drenaje pluvial en el casco urbano del distrito de Tamburco – Abancay, 2018.

Tabla 45:

*Resumen de modelo de regresión.*

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación	Estadísticos de cambio				
					Cambio en R cuadrado	Cambio en F	gl1	gl2	Sig. Cambio en F
1	,679 <sup>a*</sup>	.461	.430	1.029	.461	14.558	3.000	51.000	.000

Fuente: Elaboración propia.

\*a. Predictores: (Constante), características geotécnicas, comportamiento hidrológico, características topográficas.

*Interpretación de resultados:* En la tabla 45 se puede apreciar la capacidad global del modelo de regresión, la cual indica que la variable dependiente es afectada con un 67.9% por las variables predictoras.

El coeficiente de determinación  $R^2 = 0.430$  estima que el 43% de las variaciones en el diseño óptimo del drenaje pluvial están determinadas por las variaciones en las características topográficas, el comportamiento hidrológico y las características geotécnicas.

Tabla 46:

*Análisis de varianza.*

ANOVA <sup>a*</sup>					
Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	46.246	3	15.415	14.558	,000 <sup>b*</sup>
Residuo	54.004	51	1.059		
Total	100.250	54			

Fuente: Elaboración propia.

\*a. Variable dependiente: Diseño óptimo de drenaje pluvia

\*b. Predictores: (Constante), características geotécnicas, Comportamiento hidrológico, características topográficas.

*Interpretación de resultados:* En la tabla 46 se observa  $F = 14.558$  y su significancia  $= 0.000$  lo cual indica que los resultados obtenidos son recíprocos por lo que testificamos que hay una relación directa e importante entre el diseño óptimo del drenaje pluvial y las variables independientes: características topográficas, el comportamiento hidrológico y las características geotécnicas.

### Hipótesis específicas

Ho: Las características topográficas no permiten la optimización del drenaje pluvial en el casco urbano del distrito de Tamburco – Abancay, 2018.

H1: Las características topográficas permiten la optimización del drenaje pluvial en el casco urbano del distrito de Tamburco – Abancay, 2018.

Tabla 47:

*Coefficientes de regresión.*

Modelo	Coefficientes <sup>a*</sup>					
	Coefficientes no estandarizados		Coefficientes estandarizados	t	Sig.	95.0% intervalo de confianza para B
	B	Error estándar	Beta			Límite inferior    Límite superior
(Constante)	1.581	.578		2.738	.008	.422    2.741
1 características topográficas	13.105	4.032	.365	3.250	.002	5.011    21.199

Fuente: Elaboración propia.

\*a. Variable dependiente: Diseño óptimo de drenaje pluvial.

Ho: El comportamiento hidrológico no permite la optimización del drenaje pluvial en el casco urbano del distrito de Tamburco – Abancay, 2018.

H1: El comportamiento hidrológico permite la optimización del drenaje pluvial en el casco urbano del distrito de Tamburco – Abancay, 2018.

Tabla 48:

*Coefficientes de regresión.*

Modelo	Coefficientes <sup>a*</sup>					
	Coefficientes no estandarizados		Coefficientes estandarizados	t	Sig.	95.0% intervalo de confianza para B
	B	Error estándar	Beta			Límite inferior    Límite superior
(Constante)	1.581	.578		2.738	.008	.422    2.741
1 Comportamiento hidrológico	15.818	3.150	.527	5.022	.000	9.494    22.141

Fuente: Elaboración propia.

\*a. Variable dependiente: Diseño óptimo de drenaje pluvial.

Ho: Las características geotécnicas no permiten la optimización del drenaje pluvial en el casco urbano del distrito de Tamburco – Abancay, 2018.

H1: Las características geotécnicas permiten la optimización del drenaje pluvial en el casco urbano del distrito de Tamburco – Abancay, 2018.

Tabla 49:

*Coefficientes de regresión.*

Modelo	Coefficientes <sup>a*</sup>						
	Coefficientes no estandarizados		Coefficientes estandarizados	t	Sig.	95.0% intervalo de confianza para B	
	B	Error estándar	Beta			Límite inferior	Límite superior
(Constante)	1.581	.578		2.738	.008	.422	2.741
1 características geotécnicas	-.135	.171	-.089	-.791	.433	-.478	.208

Fuente: Elaboración propia.

\*a. Variable dependiente: Diseño óptimo de drenaje pluvial.

*Interpretación de resultados:* De las tablas 47, 48 y 49, se puede estimar que la variable características geotécnicas no influye significativamente en el diseño óptimo del drenaje pluvial, ya que el valor de significancia es mayor al nivel 0.05.

Por otra parte, se puede observar que las variables, comportamiento hidrológico y las características topográficas inciden significativamente en el diseño óptimo del drenaje pluvial, ya que el valor de significancia es de 0.002 y 0.000 siendo estas, menor al nivel 0.05.

### 4.3. Discusión

#### *XI: Características topográficas:*

Para los estudios preliminares con respecto a la parte topográfica se elaboraron una serie de planos los cuales son: planos en planta que se encuentran en coordenadas UTM a

una escala de 1/ 3 000, las curvas de nivel se encuentran equidistanciadas a 0.5 metros, planos de perfiles longitudinales, que tienen una relación entre la escala vertical respecto a la escala horizontal de 1/1000 y planos de secciones transversales que se encuentran en una escala de 1/100, estos planos se realizaron de acuerdo a lo estipulado en la Norma OS.060-Drenaje Pluvial Urbano del Reglamento Nacional de Edificaciones.

En cuanto a los perfiles longitudinales, se ha realizó para cada colector, teniendo en cuenta detallar las cotas rasantes, cotas de terreno, alineamientos, pendientes, tipo de material y el tipo de canal; estos detalles se encuentran parecidos a las especificaciones técnica que da el MTC.

### ***X2: Comportamiento hidrológico:***

Para el cálculo del área de la unidad hidrográfica se usó del software ArcGIS. obteniendo así una superficie de 32.34 km<sup>2</sup>. y 30.38 km. de perímetro para la cuenca de Colcaqui y una superficie de 22.47 km<sup>2</sup>. y 26.47 km. de perímetro de la cuenca Sahuanay son concordantes al estudio hidrológico de máximas avenidas realizado por la Autoridad Nacional del Agua, 2017.

Los componentes de estudio de las cuencas fueron: forma de la cuenca, densidad de drenaje, pendiente de drenaje, índice de alargamiento, altitud media, rectángulo equivalente y coeficiente de masividad; para obtener las características geomorfológicas de las cuencas son concordantes con Villón Béjar, Hidrología, 2002 y la Dirección General de Investigación de Ordenamiento Ecológico y Conservación de Ecosistemas-INE., 2004.

En el estudio de precipitaciones de han determinado la intensidad, periodo de retorno, la frecuencia y duración con los que posteriormente, se calculó los caudales máximos por cada colector, quienes sirvieron para el diseño del drenaje pluvial. Esta metodología aplicada es parecida a la aplicada por el Instituto de la Construcción y Gerencia

– ICG., 2006, el Ministerio de Transportes y Comunicaciones – MTC., 2008 y Villón Béjar, Hidráulica de canales, 2007.

### ***X3: Características geotécnicas:***

Para la exploración de campo se realizaron calicatas que fueron ubicadas de forma estratégica con la finalidad de poder obtener un registro estratigráfico general de toda el área en estudio. Para saber las características del terreno que se encuentran a lo largo del eje de las cunetas de drenaje pluvial, se procedió a realizar calicatas cada 500 m. como máximo teniendo en cuenta la cercanía y la similitud de suelos de acuerdo a la (Norma OS.060 Drenaje Pluvial Urbano,2006). La toma de muestras de suelo se realizó conforme a la Norma E.050 - Suelos y Cimentaciones,2006 del Reglamento Nacional de Edificaciones.

El contenido de humedad del suelo varia un promedio de 4.35% a 11.44%, el análisis granulométrico se realizó por medio de un análisis mecánico, separando la muestra por una serie de tamices, los cuales determinan el tamaño de la partícula. Del estudio de 8 calicatas, se observa que la clasificación de suelos es en su mayor parte grava, arena limosa y arcillosa A-2-4 (0) estos cálculos se realizaron de acuerdo a la clasificación AASHTO por otro lado, siguiendo la clasificación de suelos-SUCS, los suelos son de tipo SM-SC y GP-GM, que vienen a ser arena limo arcilloso y grava mal graduada con limo según corresponde. Estos ensayos se realizaron con forme a las Normas ASTM.

### ***Y: Diseño óptimo del drenaje pluvial:***

Al realizar el diseño optimo del drenaje pluvial las variables X1: características topográficas, X2: comportamiento hidrológico y X3: características geotécnicas, se pudo probar la existencia de una relación significativa y directa entre las variables que se estudiaron, estando acorde con los reglamentos y normas señalados por el Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje-MTC., 2008 y la Norma OS.060-Drenaje Pluvial Urbano, 2006.

Las secciones de las cunetas en los colectores se diseñó con la ayuda del software Bentley FlowMaster V8i tomando un coeficiente de rugosidad para pavimento de concreto de 0.014, el tipo de cuneta a diseñarse se determinó de acuerdo al caudal y la sección de la vía; el software FlowMaster nos proporciona datos como: profundidad normal, área de flujo, perímetro mojado, radio hidráulico, espejo de agua, profundidad crítica, pendiente crítica, velocidad, energía específica, número de Froude y el tipo de flujo. Para tener el diseño final se tomó en cuenta el borde libre el cual depende del caudal, el cual es concordante con las recomendaciones de la Norma OS.060 - Drenaje Pluvial Urbano, 2006 y la Autoridad Nacional del Agua (ANA), 2010.

## CONCLUSIONES

1. Para la optimización de drenaje pluvial se tiene como diseño final cunetas rectangulares en los puntos de entrega, en la Av. Inca Garcilaso de la Vega se tiene una sección de 0.55 x 0.50 m., en la Av. Tamburco una sección de 0.55 x 0.80 m. y en la Av. Mariano Melgar una sección de 0.70 x 0.50 m. de profundidad de canal y ancho de fondo respectivamente, como se muestra en la tabla 43.
2. Las características topográficas de la zona en estudio muestran pendientes adecuadas según la tabla 27, donde se muestra pendientes que varía de 0.019 a 0.196 m/m para la evacuación de aguas pluviales por gravedad, permitiendo así la optimización del drenaje pluvial en el casco urbano del distrito de Tamburco.
3. De acuerdo a la tabla 39, para la subcuenca Sahuanay se tiene un caudal de descarga total de 1.134 m<sup>3</sup>/s. ubicado en la intersección, Av. El Arco con el Psj. N°02; y para la subcuenca Colcaqui un caudal de 1.113 m<sup>3</sup>/s. ubicado en la Av. Mariano melgar en el kilómetro 0 + 566.40 y 0.836 m<sup>3</sup>/s. en el puente Av. Inca Garcilaso de la Vega tomando en consideración obras de arte para la protección del cauce, proponiéndose la implementación de disipadores de energía en la entrega del caudal pluvial a los ríos.
4. Al estudiar las características geotécnicas se puede decir que el tipo de suelo no influye directamente a la optimización del drenaje pluvial del distrito de Tamburco. Para diagnosticar el tipo de suelo y observar si existía nivel freático se exploró calicatas de 1.60 m. de profundidad. En la tabla 43, según la clasificación AASHTO son en su mayor parte A-2-4 (0) grava, arena limosa y arcillosa, según el Sistema de clasificación SUCS, son de tipo SM-SC y GP-GM, que son arena limo arcillosa y Grava mal graduada con limo respectivamente.
5. Actualmente el distrito de Tamburco cuenta con cunetas en la Av. Mariano Melgar, Av. Tamburco, Av. Daniel Estrada Pérez, Jr. David Samanez Ocampo y Av. Inca Garcilaso

de la Vega, estas cunetas están diseñadas para caudales menores a los obtenidos en los estudios realizados en esta tesis.

6. Por último, para la hipótesis planteada el modelo de regresión lineal confirma y/o valida que existe relación entre las variables de estudio, manifestando que: aproximadamente el 50% de las características del diseño óptimo del drenaje están determinadas por las variaciones en las características topográficas, el comportamiento hidrológico y las características geotécnicas, siendo las que inciden significativamente en el diseño óptimo del drenaje pluvial las variables X1: Características topográficas y X2: comportamiento hidrológico en un nivel de confianza de 0.05.

## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda hacer una simulación computacional del diseño planteado en la presente investigación.
2. Para la adecuada captación de aguas pluviales en las calzadas, se recomienda mejorar el bombeo en los colectores: Av. Tamburco, Av. Garcilaso de la Vega, para así evitar el anegamiento de aguas pluviales en estas vías
3. Para tener mayor precisión en la recolección de datos de precipitación se recomienda obtener de manera directa del SENAMHI.
4. La exploración de suelos se recomienda realizarlas en épocas de sequías, para obtener datos más precisos del contenido de humedad.
5. Para el funcionamiento adecuado de las cunetas se recomienda realizar mantenimiento con mayor frecuencia antes que inicien las temporadas de lluvias, estar libres de material de arrastre que impida el pase de aguas, para garantizar la correcta y eficiente evacuación de aguas pluviales.
6. Las instituciones públicas y privadas deberán sensibilizar a la población sobre el adecuado cuidado de los sumideros y obras de drenaje de aguas pluviales para su adecuado funcionamiento.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Afonso, E. (s/a). *Tecnico Superior en Urbanismo y Topografía*. Obtenido de <https://eusebioafonso.wordpress.com/levantamientos-planimetricos-2/>
- Alcaldía local de Tunjuelito. (Diciembre de 2009). *Guía Técnica para la elaboración de planes de manejo ambiental (PMA)*. Obtenido de <http://www.corpocaldas.gov.co>
- Antonio Carpio, H., Garcia Sigaran, N. C., & Tobias Hernandez, K. C. (Agosto de 2011). *Propuesta de diseño del drenaje pluvial, alcantarillado sanitario y planta de tratamiento para las aguas residuales del casco urbano y colonia "La entrevista" del municipio San Calletano Istepeque, departamento de San Vicente*. Obtenido de <http://ri.ues.edu.sv>
- ASTM International . (20 de Agosto de 2007). "Standard Test Method for California Bearing Ratio (CBR) of Laboratory - Compacted Soils". Lima, Lima, Perú.
- Autoridad Nacional del Agua (ANA). (Diciembre de 2010). *Dirección de estudios de proyectos hidraulicos multisectoriales*. Obtenido de Manual: Criterios de diseños de obras hidraulicas para la formulacion de proyectos hidraulicos multisectoriales y de afianzamiento hidrico: <http://www.ana.gob.pe/media/389716/manual-dise%C3%B1os-1.pdf>
- Autoridad Nacional del Agua. (Mayo de 2017). *Estudio Hidrológico de máximas avenidas: Delimitación de la faja marginal de las quebradas afluentes al Rio Mariño, en el ámbito del distrito de Abancay*. Obtenido de Autoridad Administrativa del Agua XI Pampas Apurímac: [http://sigrid.cenepred.gob.pe/docs/PARA%20PUBLICAR/ANA/Estudio\\_hidrologico\\_maximas\\_avenidas\\_delimitacion\\_faja\\_marginal\\_quebradas\\_afluentes\\_rio\\_mari%C3%B1o\\_distrito\\_Abancay\\_ANA\\_Apurimac.pdf](http://sigrid.cenepred.gob.pe/docs/PARA%20PUBLICAR/ANA/Estudio_hidrologico_maximas_avenidas_delimitacion_faja_marginal_quebradas_afluentes_rio_mari%C3%B1o_distrito_Abancay_ANA_Apurimac.pdf)
- Ávila Acosta, R. (2001). *Metodología de la Investigación*. Lima: Edición Estudios y ediciones R.A.

- Badillo, E. J. (s/a). *Mecánica de suelos - Fundamentos de la Mecánica de Suelos*. México: Limusa,S.A de C.V.
- Bowles, J. E. (1981). *Manual de Laboratorio de suelos en Ingeniería civil*. Mexico.
- Cámara Peruana de la Construcción - CAPECO. (11 de Noviembre de 2013). *Costos y presupuestos en edificación*. Obtenido de <https://civilyedaro.files.wordpress.com>
- Campos Aranda. (1998). *Procesos del ciclo Hidrológicos*. San Luis Potosi: Universidad Autónoma de San Luis Potosi.
- Chávez Aguilar, F. J. (2006). *Simulacion Y Optimizacion De Un Sistema De Alcantarillado Urbano*. Obtenido de Pontificia Universidad Católica del Perú: <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio>
- Chereque Morán, W. (1989). *Hidrologia para estudiantes de Ingeniería Civil*. Obtenido de Pontificia Universidad Católica del Perú: <http://repositorio.pucp.edu.pe>
- Chereque Moran, W. (S/A). *Mecánica de Fluidos*. Lima.
- Chow Ven Te, P. (2004). *Hidráulica de Canales Abiertos*. Colombia: Editorial Nomos S.A.
- Comisión Nacional del Agua. (s/a). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Estudios Técnicos Para Proyectos de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento: Topografía y Mecánica de Suelos*. México. Obtenido de <http://www.mapasconagua.net>
- Cortez Román, E. I., & Condori Palma, K. (2015). *Ineficiencia en la calidad de vida de los pobladores debido a la deficiente evacuación de las aguas pluviales de los sectores de Patibamba Baja y Pueblo Joven Centenario de Apurímac de la ciudad de Abancay - Provincia de Abancay - Departamento de Apurímac*. Abancay: Tesis. Obtenido de <http://repositorio.utea.edu.pe>
- CPF & YIP Consultores y Ejecutores E.I.R.” Ing. Geovani Torres Farfan. (2014). *Construccion Pistas Y Veredas De Las Urbanizaciones Juan Pablo Ii, Victor Acosta*

*Rios I Etapa, Y Las Avenidas Señor De La Exaltacion, Ricardo Palma Y Garcilazo De La Vega, Distrito De Tamburco - Abancay – Apurimac*”. Abancay.

Dellavedova, A. M. (2011). *Guia metodologia para la elaboracion de una evaluación de impacto ambiental* . Obtenido de universidad nacional de la plata : <https://www.kpesic.com>

Diaz, W. Á. (Mayo de 2015). *Manual de procedimientos de ensayos de suelos y memoria de cálculo*. Obtenido de Universidad Militar Nueva Granada: [repository.unimilitar.edu.co](http://repository.unimilitar.edu.co)

Diaz, W. Á. (Mayo de 2015). *Manual de procedimientos de ensayos de suelos y memoria de cálculo*. Obtenido de Universidad militar nueva granada: <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/6239/MANUAL%20DE%20PROCEDIMIENTOS%20DE%20ENSAYOS%20DE%20SUELOS.pdf;jsessionid=481A24D5617A2C8B9756A252E0AEE500?sequence=1>

Dirección general de investigación de ordenamiento Ecológico y conservación de Ecosistemas -INE. (Julio de 2004). *Análisis morfométrico de cuencas: Caso de estudio del parque Nacional Pico de Tancítaro*. Obtenido de Instituto Nacional de Ecología: <http://es.slidshare.net>

Eco Net. (2016). ¿Cuáles fueron las primeras alcantarillas de la historia? *ECONET*. Obtenido de <http://www.econetdesatascos.com/es/blog/primeras-alcantarillas-historia/182>

Flores Juro, G., & Tejada Escalante, A. H. (2017). *Instalacion Del Sistema De Drenaje Pluvial En La Ciudad De Chuquibambilla, Provincia De Grau- Apurimac*. Obtenido de Universidad Tecnológica de los Andes: <http://repositorio.utea.edu.pe>

Gobierno de Chile. (Diciembre de 2001). *Manual de Carreteras*. Obtenido de Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Vialidad:

[https://sjnavarro.files.wordpress.com/2011/08/manual-de-carreteras\\_chile\\_procedimientos-estudios-viales.pdf](https://sjnavarro.files.wordpress.com/2011/08/manual-de-carreteras_chile_procedimientos-estudios-viales.pdf)

- Gobierno Regional de Apurímac . (2018). Proyecto Taccata. Abancay, Apurímac, Perú.
- Gobierno Regional de Apurímac. (2018). *Dirección de redes de observación y datos*. Lima: SENAMHI.
- Hernandez Sampiere, R. (2006). *Metodología de la investigación*. México: Edit. McGraw-Hill. Obtenido de AAAAAAAA.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. d. (2010). *Metodología de la investigación*. México: Mc Graw Hill.
- Instituto de la Construcción y Gerencia - ICG. (2006). *Norma E.050 - Suelos y Cimentaciones*. Obtenido de Reglamento nacional de edificaciones: <http://www.construccion.org>
- Instituto de la Construcción y Gerencia - ICG. (2006). *Norma OS.060 - Drenaje Pluvial Urbano* . Obtenido de Reglamento nacional de edificaciones : <http://www.construccion.org>
- Instituto Nacional de Defensa Civil - INDECI. (2007). *Mapa de peligros de la ciudad de Abancay*. Abancay: Programa de ciudades sostenibles.
- Kerlinger, F. N., & Lee, H. B. (2002). *Investigación del comportamiento: Métodos de investigación en ciencias sociales*. Mexico: McGraw-Hill Interamericana editores.
- Mantilla, F. (2001). *Guía técnica mecánica de suelos*. Ambato - Ecuador: Universidad Técnica de Ambato.
- Ministerio de Transportes y comunicaciones - MTC. (2008). *Manual de hidrología, hidráulica y drenaje*. Lima: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- Ministerio de transportes y comunicaciones. (2016). *Manual de ensayo de materiales*. Lima: Viceministerio de Transportes, dirección general de caminos y ferrocarriles.

- Miranda Naranjo, S. M., & Pachar Cando, J. F. (2012). *Diseño del drenaje Superficial de calles, en el proyecto vial sector 3, de la parroquia Pascuales, ubicado entre el km 18 y km 22 de la perimetral (Av. 56 N-O), utilizando el software "STORM WATER MANAGEMENT MODEL (SWMM)" de la environmental protection ag.* Obtenido de Scribd: <https://es.scribd.com/document>
- Núñez Huamán, X. E. (2015). *Análisis de la estabilización del material de cantera Km 02 + 700 de la ruta CU-123 San Jerónimo Mayubamba, con la adición de estabilizante iónico .* Cusco: UAC - TESIS.
- Pineda García, A. G. (febrero de 2006). *Diseño de alcantarillado pluvial en la cabecera Municipal y propuesta de mejoras al sistema de abastecimiento de Agua Potable de la Aldea el Rosario, Municipio de San Miguel Dueñas, Sacatepéquez.* Obtenido de Universidad San Carlos de Guatemala: <http://biblioteca.usac.edu.gt>
- República del Perú - Ministerio de defensa marina de guerra del Perú. (2013). *Normas técnicas hidrográficas N°29 - Manual de procedimientos para la medición topográfica.* Dirección de hidrografía y navegación.
- Republica del Perú - Ministerio de Defensa Marina de Guerra del Perú. (2013). *Normas técnicas hidrográficas N°29 - Manual de procedimientos para medición topográfica* (1ra ed.). Perú.
- Rivadeneira Molina, J. (Diciembre de 2012). *Diseño Del Sistema De Alcantarillado Pluvial Del Barrio "La Campiña Del Inca" Canton Quito, Provincia De Pichincha.* Obtenido de Pontificia Universidad Católica de Ecuador: <http://repositorio.puce.edu.ec>
- Rojas Marmolejo, S. (Enero de 2018). *Cálculo de precipitaciones y caudales de diseño de sistemas de drenaje pluvial urbano en zonas de Huancavelica, Junín y Ayacucho.* Obtenido de Pontificia Universidad Católica del Perú: <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle>

- Rosales, D. H. (2013). *Descripción y clasificación del Suelo*. Obtenido de <http://www.academia.edu>
- SENAMHI. (2018). *Datos Hidrometeorológicos a nivel Nacional*. Obtenido de Estación : Granja San Antonio: <https://www.senamhi.gob.pe>
- UNSJ- Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. (2004). *Levantamiento y Carteo Geológico I-Método de levantamiento topográfico*. Obtenido de <http://www.bibliotecacpa.org.ar>
- Villón Béjar, M. (2002). Hidrología. En M. Villón Béjar, *Hidrología* (pág. 216). Lima: Villón.
- Villón Béjar, M. (2003). *Diseño de estructuras hidráulicas*. Lima: Villón.
- Villón Béjar, M. (2007). *Hidráulica de Canales*. Lima: Villón.
- Yañez Portal, E. P. (2014). *Eficiencia del sistema de drenaje pluvial en la Av. Angamos y Jr. Santa Rosa*. Obtenido de Universidad Privada del Norte: <http://repositorio.upn.edu.pe>

**ANEXOS**