

UNIVERSIDAD PERUANA DEL CENTRO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**CÁLCULO Y DISEÑO HIDRÁULICO DE CANALES PARA EL
CAUDAL GENERADO POR LA PRECIPITACIÓN CON FINES DE
RIEGO.**

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Para obtener el grado académico de:

Bachiller en Ingeniería Civil

PRESENTADO POR:

Floro Rúa Rojas

ASESOR:

Dr. José Luis León Untiveros

HUANCAYO-PERU

2021

INDICE GENERAL

LISTA DE CUADROS	V
LISTA DE FIGURAS	V
LISTA DE FOTOGRAFIAS.....	VI
RESUMEN	VII
ABSTRACT.....	VIII
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA.....	1
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	3
1.2.1. Problema general	3
1.2.2. Problemas específicos	3
1.3. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA.....	3
1.4. JUSTIFICACIÓN PRACTICA.	3
1.5. OBJETIVOS.....	4
1.5.1. Objetivo general	4
1.5.2. Objetivos específicos	4
1.6. HIPÓTESIS	4
1.6.1. Hipótesis general	4
1.6.2. Hipótesis específicas.....	4
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO.....	5
2.1 MARCO FILOSÓFICO O EPISTEMOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN	5
2.2. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION	6
2.2.1. Antecedentes Internacionales.....	6
2.2.2. Antecedentes Nacionales	8
2.2.3. Antecedentes Regionales	8

2.3. BASES TEÓRICAS	9
2.3.1. Definición de cuenca hidrográfica	9
2.3.2. “Delimitación de la cuenca hidrográfica”	10
2.3.3. Cuenca hidrológica	11
2.3.4. Parámetros Geomorfológicos de una cuenca hidrográfica	12
2.3.4.1. “Área de la cuenca hidrográfica (A)”	12
2.3.4.2. “Perímetro de la cuenca hidrográfica (P)”	12
2.3.4.3. Factor de Forma (F)	13
2.2.4.4. Coeficiente de Gravelius o índice de compacidad	13
2.2.4.5. Curvas características de una cuenca	14
2.2.4.5.1. Curva hipsométrica	14
2.2.4.5.2. Curva de frecuencia de altitudes.”	14
2.2.4.6. Rectángulo equivalente	14
2.2.4.7. Perfil longitudinal del curso de agua	14
2.2.4.8. Pendiente del cauce	15
2.2.4.9. “Densidad de drenaje (D)”	16
2.2.4.10. “Tiempo de Concentración (T c)”	16
2.3.5. Cálculo de la oferta hídrica en una cuenca	17
2.3.6. Balance hídrico para el cálculo de la oferta superficial en cuencas.	18
2.3.7. Precipitación	19
2.3.7.1. Precipitación media sobre una cuenca	19
2.3.7.2. Formación de las Precipitaciones	19
2.2.7.3. Medición de la precipitación”	20
2.2.7.3.1. Pluviómetro	20
2.2.7.3.2. Fluviógrafo.....	21
2.2.7.4. “Cálculo de la precipitación media sobre la cuenca”	22

2.2.7.4.1. Método del promedio aritmético	22
2.2.7.4.2. “Método de polígonos de Thiessen”	22
2.2.7.4.3. Método de isoyetas	23
2.3.8. Caudales máximos	24
2.2.8.1. Método Empíricos.....	25
2.2.8.2. Método Racional.....	25
2.2.8.2.1. Coeficiente de escorrentía.....	26
2.2.8.3. Método del Número de Curva”	26
2.3.9. Infiltración	34
2.3.10. “Aplicación del ArcGIS en la modelación hidrológica.”	35
2.2.11. Cálculo de canales	35
2.2.11.1. Condiciones normales	35
2.2.11.2. Determinación de la sección transversal.....	35
2.2.12. Aplicación de H canales en el diseño de canales	40
CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA.....	41
3.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	41
3.1.1. Tipo de Investigación.....	41
3.1.2. Tipo de análisis.....	41
3.1.3. Diseño.....	41
3.2. POBLACIÓN DE ESTUDIO	41
3.3. TAMAÑO DE MUESTRA	42
3.4. TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS	42
3.4.1. Técnicas.....	42
3.4.2. Instrumentos.....	42
3.4.3. Fuentes.....	42
CAPÍTULO 4: DESARROLLO DE TEMA	43
CAPÍTULO 5: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	44

5.1. ANÁLISIS, INTERPRETACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS..	44
5.2. PRUEBA DE HIPÓTESIS	44
5.3. PRESENTACION DE RESULTADOS	45
CAPÍTULO 6: ANÁLISIS DE COSTOS	46
CAPÍTULO 7: ANÁLISIS DE IMPACTO AMBIENTAL	47
CONCLUSIONES	48
RECOMENDACIONES	49
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	50
ANEXOS.....	51

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1 Coeficiente de Gravelius o índice de compacidad.	13
Cuadro 2 Coeficiente de escorrentía, según tipo de superficie.....	26
Cuadro 3 Numero de curvas N para complejos hidrológicos de suelo cobertura (para condición de humedad antecedente II e la =0.2 S)	30
Cuadro 4 Condiciones hidrológicas.....	31
Cuadro 5 Clasificación hidrológica de los suelos.....	32
Cuadro 6 Condición de humedad antecedente propuesto por SCS.	34
Cuadro 7 De Cowan para determinar la influencia de diversos factores sobre el coeficiente n.....	36
Cuadro 8 Valores de los taludes según el tipo de material.....	38
Cuadro 9 Matriz de consistencia.	52

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 El territorio de la microcuenca hidrográfica	10
Figura 2 División hidrográfica e hidrológica de una cuenca.....	11
Figura 3 n tramos de la longitud de un cauce.....	16
Figura 4 Pluviómetro Estándar (National Weather Service).	21
Figura 5 Pluviograma.	22
Figura 6 Método de polígono de Thiessen.”.....	23
Figura 7 Método de las Isoyetas.	24
Figura 8 Calculo de la escorrentía en función de la precipitación y el número de curva N.”	30
Figura 9 Escorrentía superficial.	34
Figura 10“Comparación de varias secciones transversales que caracterizan por tener todo un radio hidráulico de 1m.”	37
Figura 11 Canal de sección trapezoidal.....	38
Figura 12 “Determinación de los valores en la gráfica de Ven Te Chow.”	39
Figura 13 Canal de sección transversal.....	39

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografía 1 Escasez hídrico por el cambio, para el consumo poblacional.....	2
Fotografía 2 Escasez hídrico por el cambio climático, para el consumo de los animales.	2

RESUMEN

El presente proyecto de investigación tiene como objetivo realizar el cálculo y diseño hidráulico de canales para el caudal generado por la precipitación con fines de riego; esto se debe que el agua producto de la precipitación en el micro cuenca se desperdicia por las quebradas y ríos; habiendo la necesidad de aprovechar en el sistema de riego.

La investigación pertenece a la línea de ingeniería Hidráulica, encontrándose dentro de los lineamientos exigidos por la Universidad Peruana del Centro UPeCEN.

Dentro de los objetivos de la investigación está considerado, determinar los parámetros geomorfológicos de micro cuenca, determinar el caudal máximo generado por la precipitación en micro cuenca y determinar la sección del canal requerido para conducir el caudal generado por la precipitación en micro cuenca. se ha dividido en seis capítulos. Capítulo 1 el planteamiento del problema, situación problemática, formulación del problema, justificación de la investigación y los objetivos que se pretenden alcanzar al desarrollar el trabajo, en el Capítulo II se ha desarrollado el Marco Teórico donde se define los antecedentes del problema, bases teóricas y glosario, en el Capítulo III se determinaron las hipótesis y variables identificando la matriz de consistencia, en el Capítulo IV se describe la metodología de la investigación, en el Capítulo V se desarrolla el Presupuesto y planificación de los recursos a utilizar, finalmente en el Capítulo VI el cronograma de actividades para su desarrollo, conclusiones, recomendaciones y las referencias bibliográficas utilizadas.

ABSTRACT

The objective of this research project is to carry out the calculation and hydraulic design of channels for the flow generated by precipitation for irrigation purposes; Due to the fact that the water product of precipitation in the micro-basin area is wasted due to runoff to streams and rivers, despite having the need to take advantage of it for irrigation purposes.

The research belongs to the line of Hydraulic engineering, being within the guidelines required by the Peruvian University of the UPeCEN Center.

Among the objectives of the research, it is considered to determine the geomorphological parameters of the micro basin, determine the maximum flow generated by the precipitation in the micro basin and determine the section of the channel required to drive the flow generated by the precipitation in the micro basin.

it has been divided into six chapters. Chapter 1 the statement of the problem, problematic situation, formulation of the problem, justification of the research and the objectives that are intended to be achieved when developing the work, in Chapter II the Theoretical Framework has been developed where the background of the problem, theoretical bases and glossary, in Chapter III the hypotheses and variables were determined identifying the consistency matrix, in Chapter IV the research methodology is described, in Chapter V the Budget and planning of the resources to be used is developed, finally in the Chapter VI the schedule of activities for its development, conclusions, recommendations and the bibliographic references used.

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

Actualmente la población andina enfrenta un reto a un mayor, el cambio climático, este cambio se produce como efecto de la actividad del hombre en su afán desmedido de satisfacer la demanda en el actual modelo de desarrollo global. Ya se están percibiendo con mayor frecuencia e intensidad las sequías, las inundaciones, los vientos huracanados, las lluvias torrenciales, las granizadas, las nevadas y el descongelamiento de los glaciares.

En el caso peruano la zona más vulnerable ante este desorden climático es el ecosistema alto andino, ecosistema frágil y con gran presión productiva.

En las laderas de la sierra, ubicadas entre los 1,500 y 5,000 msnm, llueve en promedio entre unos 400 a 1,400 mm/año, concentrándose la mayor parte de esta lluvia durante los meses de diciembre a marzo. Estas precipitaciones representan un volumen de agua de unos 4,000 a 14,000 m³/ha, de lo cual entre el 50 al 90 % se escurren rápidamente hacia las quebradas y ríos debido a las condiciones topográficas y a la escasa cubierta vegetal de las laderas y en consecuencia en la zona donde llueve quedará tan sólo entre 400 a 7,000 m³/ha. Esto genera entre otras consecuencias una gran falta de agua en los meses de estiaje. Por lo tanto, es de vital importancia aprovechar con fines de riego el agua de lluvia mediante la conducción de un canal a un reservorio o represa, mejorando así la disponibilidad de agua para el riego en la época de estiaje.

Fotografía 1 Escasez hídrico por el cambio, para el consumo poblacional



Fuente: Elaboración propia – toma realizada en la zona del proyecto.

Fotografía 2 Escasez hídrico por el cambio climático, para el consumo de los animales.



Fuente: Elaboración propia – toma realizada en la zona del proyecto.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema general

¿Cómo realizar el cálculo y diseño hidráulico de canales para el caudal generado por la precipitación con fines?

1.2.2. Problemas específicos

- ✓ ¿Cuánto y cuáles son los parámetros geomorfológicos de micro cuenca?
- ✓ ¿Cuánto es el caudal máximo generado por la precipitación en la micro cuenca?
- ✓ ¿Cuál es la sección del canal para conducir el caudal generado por la precipitación?

1.3. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA.

El presente trabajo de investigación logrará el propósito de tener conocimiento general sobre cálculo y diseño hidráulico de canales para el caudal generado por la precipitación con fines de riego, dentro de ello el cálculo y diseño hidráulico de canales, siendo de mucha importancia para la conducción de agua producto de la precipitación con fines de riego, estos proyectos intervienen directamente en mejorar la calidad de vida de la población beneficiaria.

Una buena evaluación y diagnóstico, está basado en el análisis y aplicación de los parámetros de diseño conforme a las fórmulas matemáticas, como producto se generara proyectos bien elaborados para contar con el sistema de riego eficiente y de calidad durante el periodo de diseño y finalmente de ello depende el éxito global del proyecto; razón por la cual la importancia de que siempre se lleve a cabo un estudio exhaustivo para garantizar que las obras construidas que estén acorde a los requerimientos establecidos.

1.4. JUSTIFICACIÓN PRACTICA.

El actual trabajo de investigación está basado en el cálculo y diseño hidráulico de canales para el caudal generado por la precipitación con fines de riego; por lo que, como una justificación práctica; es la validación de datos a través de los cálculos matemáticos, la ejecución del proyecto y

finalmente poner en funcionamiento al proyecto beneficiando y mejorando la calidad de la población.

1.5. OBJETIVOS

1.5.1. Objetivo general

Realizar el cálculo y diseño hidráulico de canales para el caudal generado por la precipitación con fines de riego.

1.5.2. Objetivos específicos

- ✓ Determinar los parámetros geomorfológicos de micro cuenca.
- ✓ Determinar el caudal máximo generado por la precipitación en micro cuenca.
- ✓ Determinar la sección del canal requerido para conducir el caudal generado por la precipitación en micro cuenca.

1.6. HIPÓTESIS

1.6.1. Hipótesis general

El cálculo y diseño hidráulico de canales permitirá contribuir para conducir el caudal generado por la precipitación con fines de riego.

1.6.2. Hipótesis específicas.

- ✓ La determinación de los parámetros geomorfológicos permitirá obtener la ecuación de Taylor e índice de compacidad y la curva hipsométrica de la micro cuenca.
- ✓ La determinación del caudal máximo generado por la precipitación en la micro cuenca permitirá el cálculo de la sección del canal.
- ✓ La determinación de la sección del canal permitirá conducir el caudal máximo generado en la micro cuenca.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1 MARCO FILOSÓFICO O EPISTEMOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

Se busca determinar el cálculo y diseño hidráulico de canales para el caudal generado por la precipitación, con el objetivo de regar el área de cultivo y para mejorar las condiciones de vida de la población, por tal motivo surge la necesidad de realizar una investigación que busca determinar el cálculo y diseño hidráulico de canales para el caudal generado por la precipitación, que resultara como producto, cambios significativos en el entorno del área de influencia del proyecto, esto dará origen al análisis de determinadas posturas a favor o en contra de soluciones a problemas recurrentes en los proyectos de agua para riego, todo este proceso tienen su origen en el planteamiento del conocimiento empírico; sin embargo, con la utilización del método científico se busca dar respuestas a las interrogantes con hechos probados que demuestren cuáles son los aspectos más importantes que se deben considerar, al proponer determinado planteamiento. (Aguilar, 2018)

Es por ello que, para el desarrollo de la mayoría de los estudios, es recomendable que se pueda considerar aquellas propuestas brindadas por otros estudiosos que permitan entender la ocurrencia de determinados hechos, que se manifiestan de acuerdo al contexto en el cual se encuentra, dando por origen a una serie de confrontaciones que el investigador debe superar al elegir las teorías que tengan, desde una concepción panorámica hasta una aproximación específica más sobre aquello que pretende demostrar. (Aguilar, 2018).

2.2. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION

2.2.1. Antecedentes Internacionales.

El uso del agua para fines agrícolas es un tema central en cualquier debate sobre los recursos hídricos y la seguridad alimentaria. En promedio, en la agricultura se ocupa el 70 % del agua que se extrae en el mundo, y las actividades agrícolas representan una proporción aún mayor del "uso consuntivo del agua" debido a la evapotranspiración de los cultivos. A nivel mundial, más de 330 millones de hectáreas cuentan con instalaciones de riego. La agricultura de regadío representa el 20 % del total de la superficie cultivada y aporta el 40 % de la producción total de alimentos en todo el mundo. (BM & FAO, 2015).

Se espera que la competencia por los recursos hídricos aumente en el futuro, poniendo especial presión sobre la agricultura. Para apoyar un constante crecimiento económico, será necesario realizar cambios importantes en las asignaciones de agua en los diversos sectores. Debido al aumento de la población, la urbanización, la industrialización y el cambio climático, se precisa que una mejora de la eficiencia en el uso del agua vaya acompañada de una reasignación del agua en las regiones con estrés hídrico que oscile entre un 25 % y un 40 %. En la mayoría de los casos, se prevé que esta reasignación provenga de la agricultura debido a su elevada participación en el consumo de agua. Los desplazamientos tendrán que ser tanto físicos como virtuales. Los desplazamientos físicos pueden traducirse en cambios en las asignaciones iniciales de recursos de aguas superficiales y subterráneas, así como en el traspaso de las "ventas" del agua, principalmente de los usuarios agrícolas a los usuarios urbanos, ambientales e industriales. El agua también puede desplazarse virtualmente a medida que la producción de alimentos, bienes y servicios con alto consumo de agua se concentre en lugares con abundancia de recursos hídricos y los productos se vendan en sitios con escasez de agua. (BM & FAO, 2015).

Al mismo tiempo, el agua para fines agrícolas seguirá cumpliendo una función fundamental en la seguridad alimentaria mundial. Las proyecciones indican que la población del planeta superará los 10 000 millones de habitantes en 2050 y, ya sea en zonas urbanas o rurales, será necesario satisfacer las necesidades básicas de alimentos y fibras de estas personas. Se estima que la producción agrícola tendrá que aumentar en un 70 % para 2050 y, como consecuencia del aumento de los ingresos en gran parte del mundo en desarrollo, se producirá un incremento en el consumo de calorías y de alimentos más complejos. Si esta expansión no se produce a expensas del cambio a gran escala del uso de las tierras y el consiguiente impacto sobre las emisiones de carbono, la agricultura tendrá que intensificarse. Dado que la agricultura de riego es, en promedio, al menos dos veces más productiva por unidad de tierra, tiene un importante efecto de amortiguación contra el aumento de la variabilidad climática y permite una diversificación de los cultivos más segura, sin duda alguna el riego seguirá siendo clave para la seguridad alimentaria y nutricional en el mundo. (BM & FAO, 2015). Al igual que en el resto del mundo, en el continente latinoamericano la mayor parte de las tierras agrícolas son superficie de secano el 87% de la tierra laborable corresponde a este sistema, por lo general, la agricultura de secano tiene menor nivel de productividad que la agricultura bajo riego.

No obstante, en América Latina actualmente solo el 13% de la superficie agrícola se cultiva bajo el sistema de riego. Los países con mayor superficie irrigada en el continente son Surinam 86%, Chile 63%, Ecuador 56% y Perú 47% (IICA, 2017).

Además de estos contrastes entre países, existen también marcadas asimetrías entre las regiones al interior de los países, pues la agricultura de riego está concentrada en las zonas de agricultura comercial más modernas, donde los agricultores tienen mayores recursos para inversiones, tecnología, créditos y acceso a mercados (IICA, 2017).

2.2.2. Antecedentes Nacionales

La precipitación media en el Perú es de 1 738 mm/año, que suponen en la superficie peruana un total de 2 234 km³/año. De ellos, se convierten en Recursos Hídricos Internos Renovables (RHIR) 1 641 km³/año, perdiéndose aproximadamente el 27 por ciento en evapotranspiración y evaporación directa de las masas de agua. El territorio peruano está dividido en tres grandes sistemas hidrográficos o vertientes. La vertiente del Atlántico (Amazonas) representa el 74 por ciento del territorio nacional y drena sus aguas a través de 84 unidades hidrográficas, y debido a las abundantes lluvias en la Selva alta y baja aporta en promedio el 97.2 por ciento del volumen de agua del país. La vertiente del Pacífico representa el 22 por ciento del territorio nacional y drena sus aguas al Océano Pacífico a través de 62 ríos y quebradas, y aporta el 2.2 por ciento del volumen disponible del país. La vertiente del Titicaca es una región hidrográfica cerrada o endorreica representa apenas 4 por ciento del territorio nacional y drena sus aguas al Lago Titicaca a través de 13 ríos, y aporta en promedio el 0.6 por ciento del volumen total de agua disponible del país (MINAG, 2010).

Existe una gran variabilidad y discontinuidad del recurso agua a través del tiempo en el territorio nacional, lo que resulta en una vertiente de escasos recursos hídricos (Pacífico) y otra de abundantes recursos (Atlántico). Por otro lado, existe un período corto de abundancia o avenida máxima de 3 a 5 meses (diciembre a mayo) y un período prolongado de estiaje de 7 a 9 meses (mayo a diciembre), situación no favorable para las necesidades hídricas del país para diferentes fines (MINAG, 2010).

2.2.3. Antecedentes Regionales

El proyecto más relevante correspondiente a la parte hidráulica a nivel de la región de Ayacucho es el proyecto Especial Río Cachi, tiene definido claramente su ámbito territorial que está compuesto por un sistema de captación, conducción transporte y distribución de sus caudales en 211 km, el Proyecto atraviesa a 7 micro-cuencas: Apacheta 395.83 Km², Chicllarazo 425.40 Km², Allpachaka 178.73

Km², Huatatas 228.59 Km², Yucaes 184.43 Km², Muyurina 97.84 Km² y Alameda 79.03 Km². Esta nueva situación creada en la realidad debe ser incorporada, bajo el criterio de sostenibilidad, en la gestión integral del sistema Hidráulico, que plantea la necesidad de armonizar el manejo del conjunto de sistemas hídricos existentes. Se conforma o funda un amplio y nuevo territorio pues con la construcción de la infraestructura, se han relacionado-articulado dos provincias, 13 distritos y 7 microcuencas, y que ahora requiere de un nuevo modelo de gestión territorial que alcanza una extensión aproximada de 1590 km² parte alta a 2,473 Km² parte baja.

La zona del proyecto existe la escasez hídrica para el consumo poblacional y producción agrícola, por lo que mediante este proyecto en atención a la preocupación de la población plantea realizar cálculo y diseño hidráulico de canales para el caudal generado por la precipitación, y de esta manera mejorar la calidad de vida de la población.

2.3. BASES TEÓRICAS

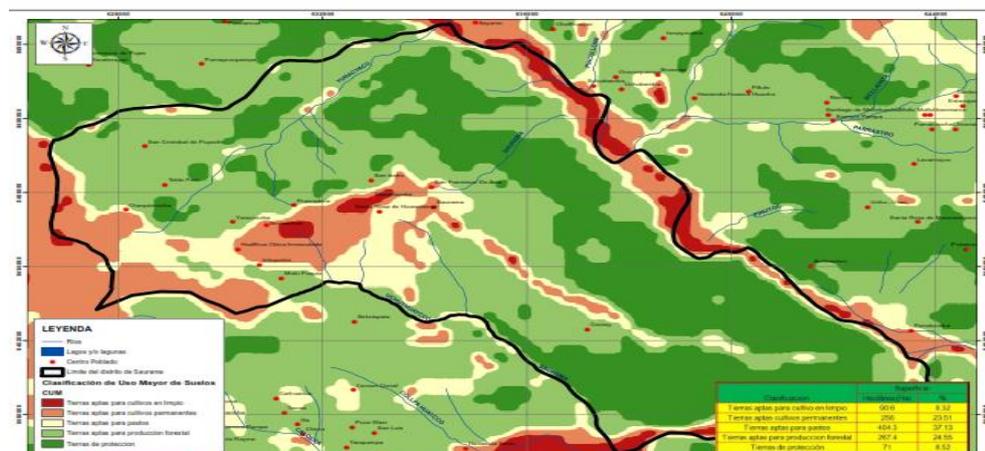
2.3.1. Definición de cuenca hidrográfica

TSCHINKEL (2001) indica se denomina cuenca hidrográfica al área territorial de drenaje natural donde todas las aguas pluviales confluyen hacia un colector común de descarga. Los límites de una cuenca están determinados por la línea de «divortium aquarum» o divisoria de aguas. Debemos señalar que no siempre los límites geográficos (superficiales) suelen coincidir con los límites del acuífero (subterráneo), pudiendo existir transferencias de masas líquidas entre una cuenca y otra adyacente o cercana. La línea de divortium aquarum se inicia y termina en la cota más baja o de salida de la cuenca.

Las cuencas son espacios socio geográficos donde las personas y sus organizaciones comparten el territorio, sus identidades, tradiciones y culturas; socializan y trabajan en función de la disponibilidad de recursos. Las cuencas hidrográficas se reconocen

como un sistema debido a la existencia de interacciones entre el sistema natural del suelo, el agua y biodiversidad y el sistema socioeconómico, que, si bien éste no tiene un límite físico, sí depende de la oferta, calidad y disposición de los recursos. Los diferentes componentes del sistema cuenca no siempre se encuentran dispuestos de manera coordinada. Por ejemplo, la división político-administrativa de un país puede no coincidir con las divisiones de las cuencas hidrográficas, por lo tanto, se tiene en la cuenca, ingerencia de varios municipios/provincias/departamentos u organizaciones estatales, todo en función a la dimensión de cada territorio.

Figura 1 El territorio de la microcuenca hidrográfica



Fuente: Elaboración propia.

2.3.2. Delimitación de la cuenca hidrográfica

FAUSTINO (2004) Consiste en definir la línea de divortium aquarum, que es una línea curva cerrada (Figura 2) que parte y llega al punto de captación o salida mediante la unión de todos los puntos altos e interceptando en forma perpendicular a todas las curvas de altitudes del plano o carta topográfica, por cuya razón a dicha línea divisoria también se le conoce con el nombre de línea neutra de flujo. La longitud de la línea divisoria es el perímetro de la cuenca y la superficie que encierra dicha curva es el área proyectada de la cuenca sobre un plano horizontal.

La cuenca hidrográfica se puede delimitar por medio de una carta topográfica, que tenga suficiente detalle de relieve del terreno. Entre

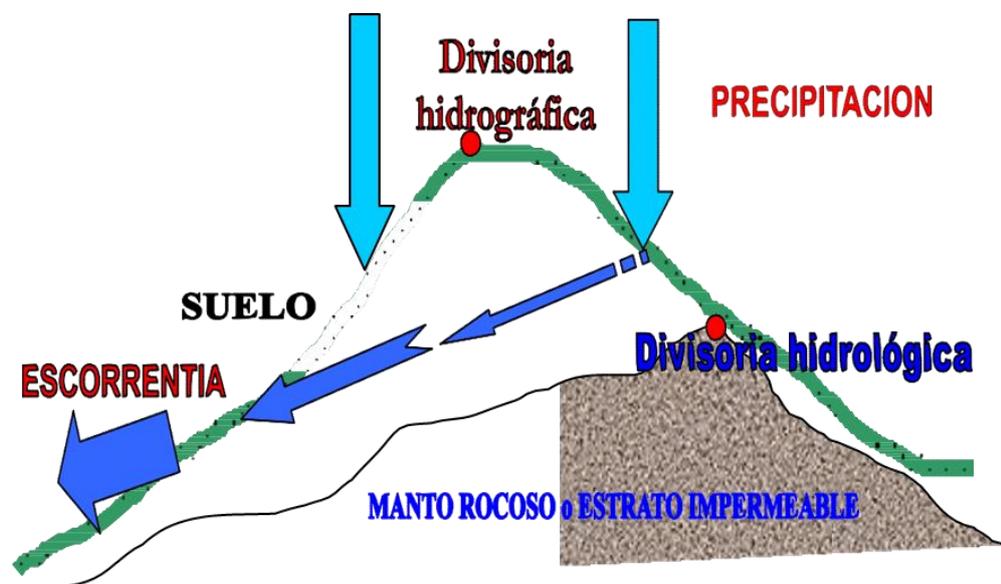
las escalas más comunes se tienen, 1/25,000 y 1/50,000, aunque para fines de diseño e intervención, las escalas más recomendables pueden ser 1/10,000 ó 1/5,000; el tamaño y complejidad del relieve de la cuenca indicarán tomar en cuenta la escala más apropiada.

2.3.3. Cuenca hidrológica

FAUSTINO (2004) El concepto de cuenca hidrográfica es muy amplio y generalmente se asocia con el sistema de drenaje superficial, por lo tanto, el movimiento del agua de escorrentía es muy importante para caracterizar la oferta de agua o disponibilidad del recurso. En una cuenca hidrográfica existen entradas y salidas de agua, la entrada es en parte la precipitación que llega al suelo o superficie y luego se infiltra y sale al cauce como flujo (subsuperficial, o el agua que escurre por los cauces en forma de caudales. En el caso de la salida, podemos citar la escorrentía superficial (subsuperficial), agua subterránea, la evaporación y la percolación profunda.

Cuando la divisoria de la cuenca hidrográfica es diferente de la divisoria de la cuenca hidrológica, los flujos subsuperficiales y el movimiento del agua en el suelo.

Figura 2 División hidrográfica e hidrológica de una cuenca.



Fuente: Faustino (2004).

2.3.4. Parámetros Geomorfológicos de una cuenca hidrográfica.

MAXIMO V. B. (2002) Las características fisiográficas de la cuenca pueden ser explicadas a partir de ciertos parámetros o constantes que se obtienen del procesamiento de la información cartográfica y conocimiento de la topografía de la zona de estudio. La cuenca como unidad dinámica natural es un sistema hidrológico en el que se reflejan acciones recíprocas entre parámetros y variables. Las variables pueden clasificarse en variables o acciones externas, conocidas como entradas y salidas al sistema, tales como: precipitación, escorrentía directa, evaporación, infiltración, transpiración; y variables de estado, tales como: contenido de humedad del suelo, salinidad, cobertura vegetal, entre otros. Los parámetros en cambio permanecen constantes en el tiempo y permiten explicar las características fisiomorfológicas de la cuenca.

La morfología de la cuenca se define mediante los siguientes parámetros:

2.3.4.1. Área de la cuenca hidrográfica (A)

Es la superficie de la cuenca comprendida dentro de la curva cerrada de divortium aquarum. La magnitud del área se obtiene mediante el planímetro de la proyección del área de la cuenca sobre un plano horizontal. Dependiendo de la ubicación de la cuenca, su tamaño influye en mayor o menor grado en el aporte de escorrentía, tanto directa como de flujo de base o flujo sostenido. El tamaño relativo de estos espacios hidrológicos define o determinan, aunque no de manera rígida, los nombres de micro cuenca, sub cuenca o cuenca.

2.3.4.2. Perímetro de la cuenca hidrográfica (P)

Es la longitud de la línea de divortium aquarum. Se mide mediante el curvómetro o directamente se obtiene del software en sistemas digitalizados. También se puede obtener con el recorrido de un curvómetro sobre la línea que encierra la forma de la cuenca.

2.3.4.3. Factor de Forma (F)

Es la relación entre el área A de la cuenca y el cuadrado del máximo recorrido (L). Este parámetro mide la tendencia de la cuenca hacia las crecidas, rápidas y muy intensas a lentas y sostenidas, según que su factor de forma tienda hacia valores extremos grandes o pequeños, respectivamente. Es un parámetro adimensional que denota la forma redondeada o alargada de la cuenca.

$$F = \frac{A}{L^2} \dots\dots\dots \text{Ecuación 1}$$

Donde.

F: Factor de forma

A: Área de la cuenca

L: Longitud de máximo recorrido

2.2.4.4. Coeficiente de Gravelius o índice de compacidad.

Relaciona el perímetro de la cuenca con el perímetro de otra cuenca teórica circular de la misma superficie, es expresa por la siguiente forma:

$$C_g = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}} \dots\dots\dots \text{Ecuación 2}$$

Dónde:

C_g: coeficiente de Gravelius

P: perímetro de la cuenca en Kilómetros

A: superficie de la cuenca en Km²

El valor que toma esta expresión siempre es mayor que 1 y crece con la irregularidad de la forma de la cuenca, estableciéndose la siguiente clasificación:

Cuadro 1 Coeficiente de Gravelius o índice de compacidad.

Índice C _g	Forma de la cuenca
1.00 a 1.25	Redonda
1.26 a 1.50	Ovalada
1.51 a 1.75	Oblonga a rectangular

Fuente: Faustino (2002).

2.2.4.5. Curvas características de una cuenca

2.2.4.5.1. Curva hipsométrica

Villón (2002) señala es una curva que representa en ordenadas, las elevaciones o altitudes de la cuenca que se ubica a partir de las superficies de la descarga o salida en abscisa. Se puede considerar a esta curva como una especie del perfil de cuenca de análisis. La distribución espacial de la altitud en la cuenca es fundamental para caracterizar su condición morfológica, es decir, saber qué porcentaje de la cuenca corresponde a zonas de montaña, lomeríos, planicies, etc. Primero se requiere obtener un diagrama de frecuencias que asocie área-altitud; es decir, determinar el valor de área correspondiente a un intervalo de altitud, abarcando el rango comprendido entre las elevaciones del terreno mínima y máxima.

2.2.4.5.2. Curva de frecuencia de altitudes.

Villón (2002) indica es la representación gráfica, de la distribución en porcentaje, de las superficies ocupadas por diferentes altitudes.

2.2.4.6. Rectángulo equivalente

Villón (2002) menciona es una transformación geométrica, que permite representar a la cuenca, de su forma heterogénea, con la forma de un rectángulo, que tiene la misma área y perímetro (y por lo tanto el mismo índice de compacidad), igual distribución de alturas (y por lo tanto igual curva hipsométrica), e igual distribución de terreno.

2.2.4.7. Perfil longitudinal del curso de agua

Villón (2002) define es la representación gráfica de la proyección horizontal de la longitud de un cauce versus su altitud de curvas de elevaciones. La utilidad del perfil longitudinal es conocer las

pendientes en diferentes tramos del cauce, para poder realizar trabajos como control de aguas, puntos de captación o la ubicación de posibles centrales hidroeléctricas gracias a las fuertes pendientes.

2.2.4.8. Pendiente del cauce

Villón (2002) menciona la pendiente del cauce principal de un río influye en la velocidad del escurrimiento superficial, determinando por lo tanto el tiempo que el agua de lluvia demora en escurrir en los lechos fluviales que forman la red de drenaje. Se determina considerando el desnivel entre el punto más alto del río y el más bajo dividido entre la longitud del mayor cauce. Una de las ecuaciones que define la pendiente de la cuenca es la siguiente:

$$S = \frac{\Delta H}{L} \dots\dots\dots \text{Ecuación 3}$$

Siendo:

S: pendiente del tramo del cauce

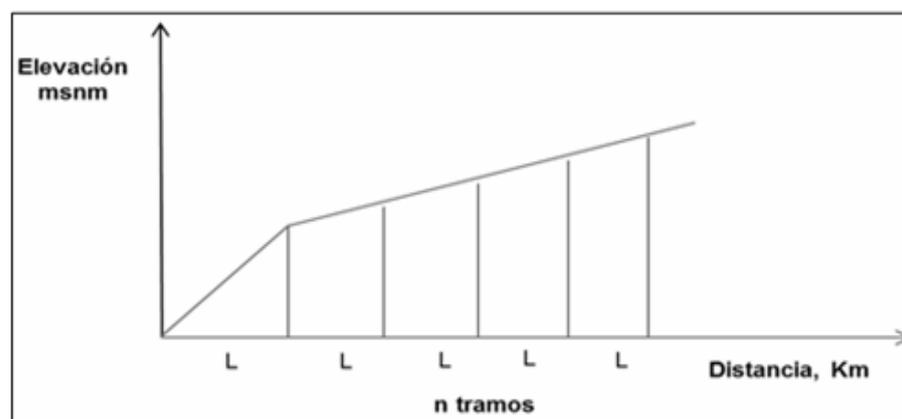
H: Diferencia de cotas del cauce principal, en metros.

L: longitud axial del tramo del cauce, en metros.

Otro criterio para el cálculo de la pendiente del cauce, es la ecuación de "Taylor y Schwartz", el cual propone que un río está formado por n tramos de igual longitud, cada uno de ellos con pendiente uniforme.

$$S = \left[\frac{n}{\frac{1}{\sqrt{S_1}} + \frac{1}{\sqrt{S_2}} + \dots + \frac{1}{\sqrt{S_n}}} \right]^2 \dots\dots\dots \text{Ecuación 4}$$

Figura 3 n tramos de la longitud de un cauce.



Fuente: Villón (2002).

Dónde:

S: Pendiente del cauce

L: longitud de cada tramo

n: Número de tramos iguales, donde se subdivide el perfil

S₁, S₂,...S_n: Pendiente de cada tramo, según $S = \frac{H}{L}$

2.2.4.9. Densidad de drenaje (D)

Villón (2002) indica que por la longitud de todos los cauces divididos entre el área total de la cuenca. Sin tomar en consideración otros aspectos de la cuenca, cuando mayor sea la densidad de drenaje más rápida es la respuesta de la cuenca frente a una tormenta, drenando el agua en menor tiempo.

$$D = \frac{LC}{A} \quad \dots\dots\dots \text{Ecuación 5}$$

Dónde:

D: Densidad de drenaje

L = Long. Total, Ríos (Km)

A = Área Cuenca

2.2.4.10. Tiempo de Concentración (T c)

Villón (2002) menciona que este parámetro, llamado también tiempo de equilibrio, es el tiempo que toma la partícula,

hidráulicamente más lejana, en viajar hasta en punto emisor. Para ello se supone que el tiempo de duración de la lluvia es de por lo menos igual al tiempo de concentración y que se distribuye uniformemente en toda la cuenca. Este parámetro tiene estrecha relación con el volumen máximo y con el tiempo de recesión de la cuenca, tiempos de concentración muy cortos tienen volúmenes máximos intensos y recesiones muy rápidas, en cambio los tiempos de concentración más largos determinan volumen máximo más atenuado y recesiones mucho más sostenidas. Existen muchas fórmulas empíricas para estimar el tiempo de concentración de la cuenca, siendo una de las más completas la siguiente:

$$T_c = \left(\frac{0.87L^3}{H} \right)^{0.385} \dots\dots\dots \text{Ecuación 6}$$

Dónde:

Tc: tiempo de concentración en horas

L: longitud del cauce principal en Km

H: altura entre la cota inferior y la cota máxima de la cuenca

2.3.5. Cálculo de la oferta hídrica en una cuenca

Jiménez (2002) indique la oferta hídrica de una cuenca es el volumen disponible para satisfacer la demanda generada por las actividades sociales y económicas del hombre. Al cuantificar la esorrentía superficial del balance hídrico de la cuenca se está estimando la oferta de agua superficial de la misma.

Para realizar el cálculo de la oferta hídrica superficial en una cuenca se proponen dos métodos: El primero es el balance hídrico a largo plazo con información mínimo de una década en datos de precipitación para la estimación de la oferta anual.

El segundo método es el método de número de curva de esorrentía aplicable solo en cuencas menores es decir cuyas áreas son inferiores o iguales a 250 km² para la estimación de la oferta superficial mensual. Cada corporación está en libertad de calcular la oferta hídrica superficial usando las herramientas que disponga siempre y

cuando se tenga en cuenta las limitaciones en la aplicabilidad de los modelos y métodos existentes puesto en su gran mayoría se desarrollaron para el cálculo de crecientes de eventos máximos.

2.3.6. Balance hídrico para el cálculo de la oferta superficial en cuencas.

Jiménez (2002) menciona la evaluación de la disponibilidad hídrica en una cuenca, consiste en establecer una comparación entre oferta y demanda del recurso dentro de la cuenca.

La estimación de la oferta hídrica para un espacio y periodo específico tiene como base el ciclo hidrológico modelado mediante el balance hídrico el cual determina la disponibilidad del agua en cada una de las fases: precipitación, evapotranspiración real, infiltración y escorrentía. La base física del balance hidrológico es la formulación de las ecuaciones de conservación de masa para volúmenes de control o unidades hidrográficas determinadas. Expresa la equivalencia entre los aportes de agua que entran al volumen de control y la cantidad de agua que sale considerando además las variaciones internas en el almacenamiento de humedad ocurridas durante un periodo de tiempo determinado.

$$I-O = \frac{\Delta S}{\Delta t} \dots\dots\dots \text{Ecuación 7}$$

Para una cuenca se tiene:

Entradas (I):

Precipitación (P)

Importaciones de agua

Escorrentía superficial desde otras cuencas

Aguas subterráneas desde otras cuencas

Salidas (O)

Evaporación

Evapotranspiración

Escorrentía superficial hacia otras cuencas

Exportación de agua

Agua subterránea hacia otras cuencas
Infiltración (pasa a escorrentía subsuperficial)

2.3.7. Precipitación

2.3.7.1. Precipitación media sobre una cuenca

Villón (2002) menciona la precipitación es toda forma de humedad que, originándose en las nubes, llega hasta la superficie terrestre, ya sea en estado líquido (garúas y lluvia) o en estado sólido (granizo, nieve, escarcha). Desde el punto de vista de la hidrología, las precipitaciones es uno de los procesos más importante del ciclo hidrológico, y junto a la evaporación constituyen la interacción de la atmosfera con el agua superficial.

Jiménez (2002) menciona ei portante para el balance hídrico la cuantificación de la lluvia para un intervalo de tiempo específico. A continuación, se describirán los tres métodos más usuales.

2.3.7.2. Formación de las Precipitaciones

Chereque (1989) define la formación de las precipitaciones se origina debido a que las masas de aire ascienden hasta las alturas de enfriamiento los cuales requieren tres condiciones: Producirse un estado de saturación, un cambio de fase de vapor de agua a líquido o sólido y el crecimiento de pequeñas gotas o cristales de hielo que permitan su caída.

Con las dos primeras condiciones, se forman las nubes, pero no necesariamente se producen las precipitaciones. Para que se formen gotas de tamaño y peso suficiente, se requiere núcleos de condensación constituidos por polvo atmosférico o cristales de sales. Después de la nucleación, se generan en las nubes pequeñas gotas de diámetro de aproximadamente 0.02 mm, pero las gotas de lluvia tienen un diámetro de 0.5 a 2 mm. Ello indica que el volumen de las gotas de las nubes sufre un aumento de un millón de veces su volumen. Este enorme aumento se debe a gracias a los siguientes fenómenos:

- ❖ Engrosamiento de una gota por la fusión y condensación de otras.
- ❖ Atracción entre gotitas que conforman las nubes.
- ❖ Las micro turbulencias dentro de la masa de la nube.

Las precipitaciones se clasifican en tres grupos según el factor responsable del levantamiento del aire que favorece el enfriamiento necesario para que se produzcan cantidades significativas de precipitación.

2.2.7.3. Medición de la precipitación

Villón (2002) señala que las precipitaciones se miden en términos de la altura de la lámina de agua y se expresa comúnmente en milímetros. Esta medición indica la altura de agua que alcanzaría al formarse sobre una superficie horizontal impermeable.

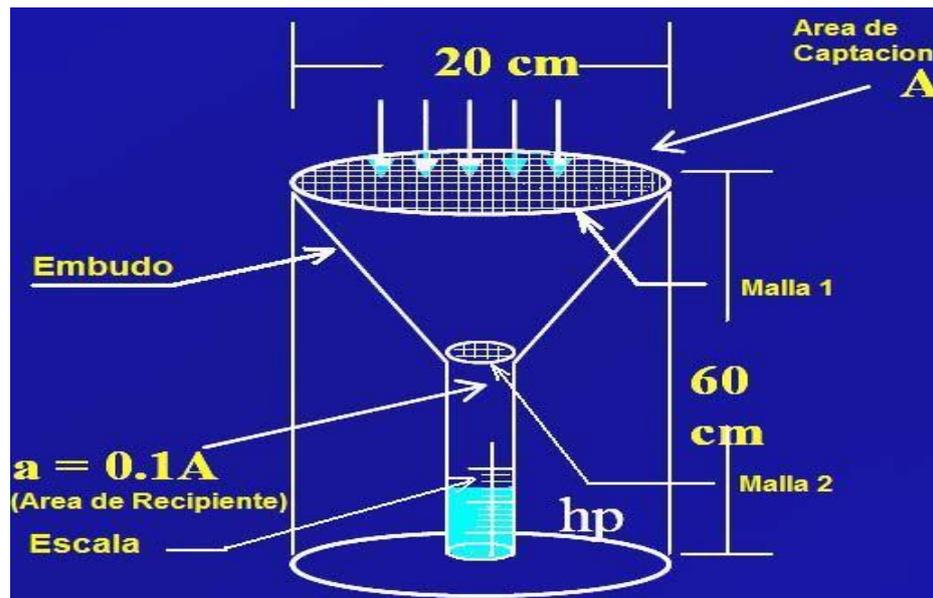
La medición de las precipitaciones se efectúa mediante instrumentos de medición normalizados por la OMM (Organización Meteorológica Mundial), y se clasifican en pluviómetros y fluviógrafos.

2.2.7.3.1. Pluviómetro

Villón (2002) describe es un recipiente cilíndrico de lámina, de aproximadamente 20 cm. De diámetro y de 60 cm. de alto. La tapa del cilindro es un embudo receptor, el cual se comunica con una probeta graduada de sección circular de 10 veces menor que el de la tapa, tal como se aprecia en la figura 6.

Esto permite medir la altura de agua en la probeta (hp), con una aproximación hasta decimos de milímetros, ya que cada centímetro medido en la probeta corresponde a un milímetro de altura de lluvia, generalmente se acostumbra hacer una lectura cada 24 horas.

Figura 4 Pluviómetro Estándar (National Weather Service).

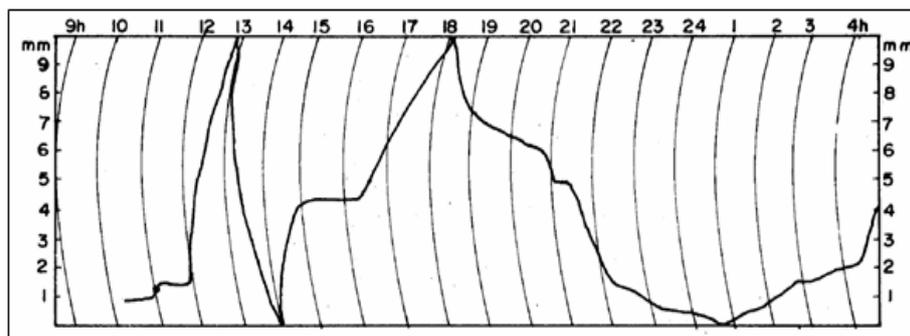


Fuente: Cahuana & Yugar (2009).

2.2.7.3.2. Fluviógrafo

Villón (2002) define es un instrumento que registra la altura de lluvia en función del tiempo, lo cual permite determinar la intensidad de la precipitación, dato de gran importancia para el diseño de estructuras hidráulicas. Los pluviógrafos más comunes son de forma cilíndrica y el embudo receptor está ligado a un sistema de flotadores, que originan el movimiento de una aguja sobre un papel registrador. En el papel se registra en forma continua, mediante un sistema de reloj, la altura precipitada, una vez que se llega al rango superior del registro automáticamente regresa al borde inferior y sigue registrando. El gráfico recibe el nombre de pluviograma (figura 8).

Figura 5 Pluviograma.



Fuente: Chereque (1989).

2.2.7.4. Cálculo de la precipitación media sobre la cuenca

Villón (2002) describe para realizar trabajos de hidrología, se necesita datos de campo como la altura de agua precipitada de una zona, el cual se obtiene a través de los pluviómetros. Pero este instrumento, mide la precipitación que cae solo en un sitio y difiere de las que se producen a sus alrededores. Es por ello, que para estimar la precipitación promedio de una cuenca, existen tres métodos:

2.2.7.4.1. Método del promedio aritmético

Villón (2002) define este método consiste en calcular la lluvia promedio sobre un área. Para ello se aplica un promedio aritmético de las alturas de agua de las precipitaciones registradas según las estaciones localizadas en el área de influencia.

$$P_{med} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i \quad \dots\dots\dots \text{Ecuación 8}$$

Dónde:

P_{med} : precipitación media de la zona o cuenca

P_i : precipitación de la estación i .

n : Número de estaciones dentro de la cuenca

2.2.7.4.2. Método de polígonos de thiesen

Villón (2002) menciona este método proporciona un promedio ponderado los registros pluviométricos de las estaciones que

tienen influencia sobre el área. Para asignar el grado de influencia o ponderación en un mapa de la cuenca se unen los puntos de las estaciones mediante líneas rectas a las cuales se les traza las mediatrices formando polígonos. Los lados de los polígonos conforman el límite de las áreas de influencia de cada estación.

$$P_{med} = \frac{1}{A_i} \sum_{i=1}^n P_i A_i \quad \dots\dots\dots \text{Ecuación 9}$$

Dónde:

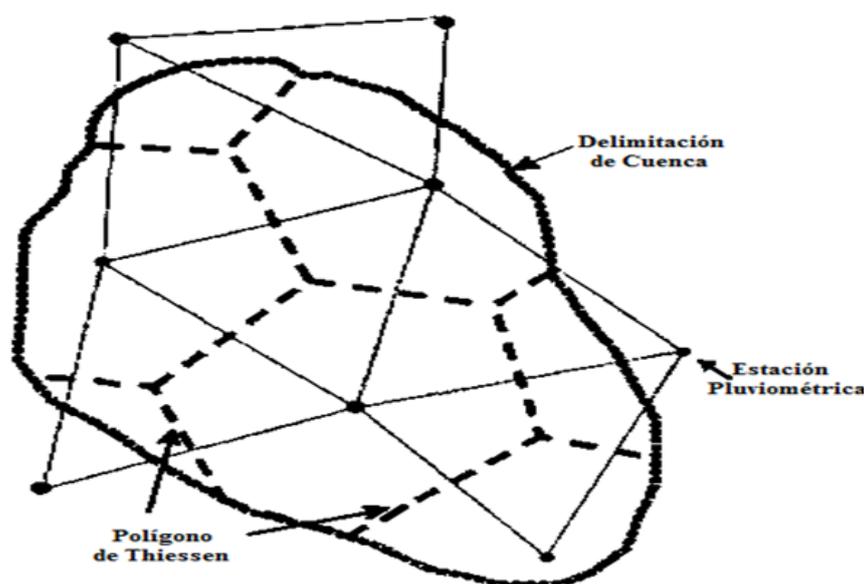
P_{med} : precipitación media de la zona cuenca

A_i : Área de influencia parcial del polígono de Thiessen correspondiente a la estación i

P_i : Precipitación de la estación i

N : Número de estaciones dentro de la cuenca.

Figura 6 Método de polígono de Thiessen.



Fuente: Villón (2002).

2.2.7.4.3. Método de isoyetas

Villón (2002) señala este método se emplea cuando la distribución de las estaciones pluviométricas no es uniforme dentro del área estudiada. En primer lugar, se tiene que definir la zona de influencias de cada estación mediante el trazo de líneas entre estaciones cercanas. Estas líneas se bisecan con perpendiculares y se asume que toda el área encerrada dentro de

los límites formados por la intersección de estas perpendiculares ha tenido una precipitación de la misma cantidad que la estación (figura 10).

Este método más preciso. Las isoyetas son líneas que unen puntos de igual precipitación; se trazan usando información de estaciones localizadas dentro y fuera de la cuenca como trazar las curvas de nivel, pero la altura de agua precipitada reemplaza la cota del terreno.

$$P_{med} = \frac{\frac{P_0+P_1}{2}A_1 \dots \frac{P_{n-1}+P_n}{2}A_n}{A_1+A_2+\dots+A_n} \quad \dots\dots\dots \text{Ecuación 10}$$

Dónde:

P_{med} : Precipitación media de la zona o cuenca.

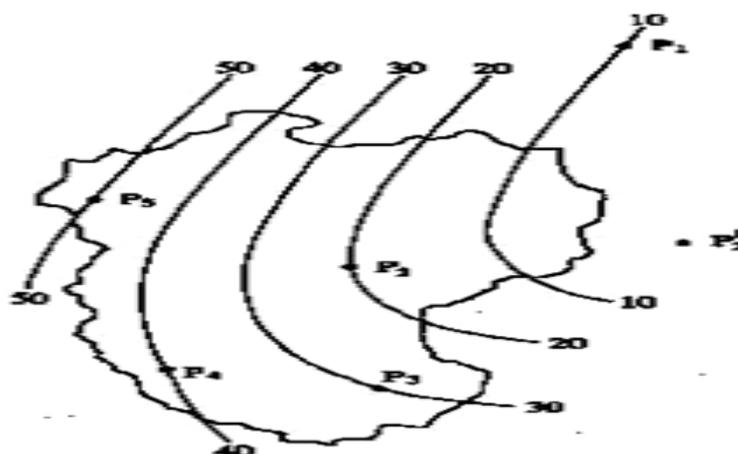
A_T : Área total de la cuenca.

P_i : Altura de precipitación de las isoyetas i .

A_i : Área parcial comprendida entre isoyetas P_{i-1} y P_i .

n : Número de áreas parciales

Figura 7 Método de las Isoyetas.



Fuente: Villón (2002).

2.3.8. Caudales máximos

Villón (2002) menciona los caudales máximos son utilizados para diseñar obras hidráulicas, tales como las dimensiones de un cauce, sistemas de drenaje, muros de encauzamiento para proteger ciudades y plantaciones, alcantarillas, vertederos de demasías, luz en puentes entre otros. La magnitud del caudal de diseño, es función

directa del periodo de retorno que se asigne, el que a su vez depende de la importancia de la obra y de la vida útil de ésta.

Los caudales máximos referidas a un determinado periodo de retorno pueden ser estimados por diferentes métodos teniendo en cuenta la disponibilidad de registros hidrometereológicos.

2.2.8.1. Método Empíricos

Villón (2002) menciona existe una gran variedad de métodos empíricos que en general se derivan del método racional. Indica que los métodos empíricos tienen grandes errores, ya que el proceso de escurrimiento es muy complejo como para resumirlo en una fórmula de tipo directo, en la que solo intervienen el área de la cuenca y un coeficiente de escurrimiento. Entre algunos de estos métodos encontramos: Método racional y el Método Mac Math.

2.2.8.2. Método Racional

Villón (2002) define este método puede ser aplicado para pequeñas cuencas de drenaje que no exceda los 13 km².

MOPU (1987) Su principal defecto es considerar constante el coeficiente de escorrentía C de cada cuenca, cuando, en realidad, debe crecer con el periodo de retorno.

$$Q = \frac{CIA}{3.6} \dots\dots\dots \text{Ecuación 11}$$

Dónde:

Q: Descarga máxima de diseño (m³/s).

C: Coeficiente de escorrentía, que depende de la cobertura vegetal, la pendiente y el tiempo de suelo, sin dimensiones.

I: Intensidad de precipitación máxima horaria, para una duración igual al tiempo de concentración, y para un periodo de retorno dado (mm/h).

A: Área de la cuenca (Km²).

2.2.8.2.1. Coeficiente de escorrentía

Chow, Maidment & Mays (1994) define es la variable menos precisa del método racional Su uso en la formula implica una relación fija entre la escorrentía pico y la tasa de lluvia para la cuenca de drenaje.

El coeficiente de C, de la fórmula racional, puede determinarse con la ayuda de los valores mostrados en la tabla 2

Cuadro 2 Coeficiente de escorrentía, según tipo de superficie.

TIPO DE SUPERFICIE	COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA
Pavimento Asfáltico y Concreto	0.70 - 0.95
Adoquines	0.50 - 0.70
Superficie de Grava	0.15 - 0.30
Bosques	0.10 - 0.20
Zonas de vegetación de:	
• Terrenos granulares	0.10 - 0.50
• Terrenos arcillosos	0.30 - 0.75
Tierra sin vegetación	0.20 - 0.80
Zonas cultivadas	0.20 - 0.40

Fuente: MTC & DGCF (2005).

2.2.8.3. Método del Número de Curva

Villón (2002) describe este método se desarrolló en la década de los Unidos, el cual permite calcular la transformación lluvia – escorrentía. Su principal aplicación es la estimación de las cantidades de escurrimiento tanto en el estudio de avenidas máximas, como en el caso del cálculo de aportaciones líquidas.

El Método surgió de la observación del fenómeno hidrológico en distintos tipos de suelo en varios estados y para distintas condiciones de humedad antecedente, representándose en gráficos, la profundidad de precipitación (P) y la profundidad de exceso de precipitación o escorrentía directa (Pe). Para estandarizar estas curvas, se definió un número adimensional de curva CN, tal que varía de 1 a 100. Donde un numero de curva CN igual a 100, indica que toda la lluvia escurre, y un CN igual a

1, indica que toda la lluvia se infiltra por lo que los números de curvas, representan indirectamente coeficientes de escorrentía. Este método es utilizado para estimar la escorrentía total a partir de datos de precipitación y otros parámetros de las cuencas de drenaje. Los valores de CN se han desarrollado utilizando datos de un gran número de cuencas experimentales, y se basa en la siguiente expresión.

$$\frac{F}{S} = \frac{Q}{Pe} \quad \dots\dots\dots \text{Ecuación 12}$$

Dónde

- F : Infiltración real acumulada (L).
- S : Infiltración potencial máxima (L).
- Q : Escorrentía total acumulada (L).
- Pe : Escorrentía potencial o exceso de precipitación (L).

La ecuación 12 se considera válida a partir del inicio de la escorrentía, donde Pe se define como:

$$Pe = P - I_a \quad \dots\dots\dots \text{Ecuación 13}$$

Mientras que F es definida como:

$$F = Pe - Q \quad \dots\dots\dots \text{Ecuación 14}$$

El término (sustracciones iniciales) es definido como la precipitación acumulada hasta el inicio de la escorrentía y es una función de la intercepción, almacenamiento en depresiones e intercepción, almacenamiento en depresiones e infiltración antes del comienzo de la escorrentía.

Sustituyendo (14) en (12) resulta:

$$\frac{Pe - Q}{S} = \frac{Q}{Pe} \quad \dots\dots\dots \text{Ecuación 15}$$

De donde

$$Q = \frac{Pe^2}{Pe+S} \dots\dots\dots \text{Ecuación 16}$$

Sustituyendo (13) en (16) resulta:

$$Q = \frac{(P-Ia)^2}{P-Ia+S} \dots\dots\dots \text{Ecuación 17}$$

La abstracción inicial está en función de características y usos del suelo. Un análisis empírico hecho por el SCS encontró que la mejor forma para estimar la era:

$$Ia = 0.2 * S \dots\dots\dots \text{Ecuación 18}$$

Esta relación es bastante aceptable para situaciones promedio.

$$Q = \frac{(P-0.2S)^2}{P+0.8S} \dots\dots\dots \text{Ecuación 19}$$

Dónde

Q : Escorrentía total acumulada.

P : Precipitación.

S : Infiltración potencial máxima.

Esta es la ecuación principal del método. Se debe tener presente en que en esta ecuación, P y S deben tener las mismas unidades y el Q obtenido, también tendrá esas mismas unidades. El SCS después de estudiar un gran número de pequeñas cuencas estableció una relación para estimar S a partir del número de curva N, mediante la siguiente ecuación:

$$N = \frac{1000}{10+S} \longrightarrow S = \frac{1000}{N} - 10 \dots\dots\dots \text{Ecuación 20}$$

Esta es la última ecuación S está expresado en pulgadas, para expresarlo en centímetros, hay que realizar la transformación de unidades:

$$S = \left(\frac{1000}{N} - 10 \right) \text{ pulg} * \frac{2.54 \text{ cm}}{\text{pulg}} \longrightarrow S = \left(\frac{2540}{N} - 25.4 \right) (\text{cm}) \dots\dots$$

Ecuación 21

Sustituyendo (21) en (19) y realizando operaciones resulta:

$$Q = \frac{\left(P - 0.2 * \left(\frac{2540}{N} - 25.4 \right) \right)^2}{P + 0.8 * \left(\frac{2540}{N} - 25.4 \right)} = \frac{\left(\frac{P * N - 508 + 5.08 * N}{N} \right)^2}{\frac{P * N + 2032 - 20.32 * N}{N}}$$

$$Q = \frac{\frac{(N*(P+5.08)-508)^2}{N^2}}{\frac{N*(P-20.32)+2032}{N}} = \frac{(N*(P+5.08)-508)^2}{N*(N*(P-20.32)+2032)}$$

...Ecuación 22

Dónde

Q : Escorrentía total acumulada, en cm.

P : Precipitación de la tormenta, en cm.

N : Numero de curva.

En la ecuación 22 se debe cumplir $N*(P+5.08)-508 > 0$.

La figura 10 muestra el grafico de la ecuación (22), para diferentes valores de números de curva N.

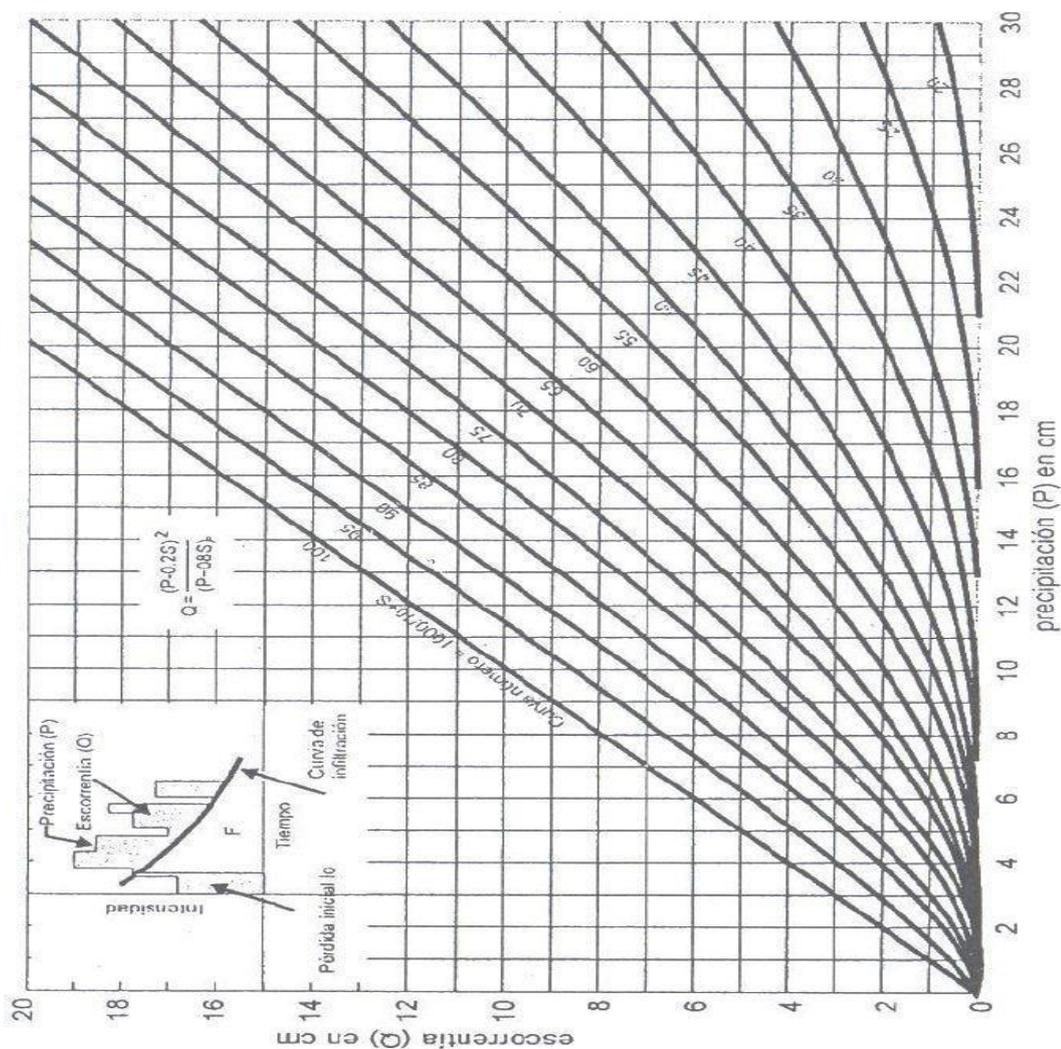
Si P está en mm y Q en mm, la ecuación 31 se escribe como:

$$Q = \frac{(N*(P+50.8)-5080)^2}{N*(N*(P-203.2)+20320)} \dots\dots\dots \text{Ecuación 23}$$

Siendo $P_{min} = \frac{5080}{N} - 50.8$

El SCS presenta la tabla 3, la cual permite determinar el número de curva N para diferentes prácticas agrícolas, diferentes condiciones hidrológicas y grupo hidrológico de suelos. La tabla 3 fue elaborada para una relación $Ia=0.2S$ y para una condición de humedad antecedente promedio (CHA II).

Figura 8 Calculo de la escorrentía en función de la precipitación y el número de curva N.



Fuente: Villón (2002).

Cuadro 3 Numero de curvas N para complejos hidrológicos de suelo cobertura (para condición de humedad antecedente II e la =0.2 S)

Cobertura			Número de Curva			
Uso de la tierra	Tratamiento o práctica	Condición hidrológica	A	B	C	D
Descuidado, en descanso sin cultivos	Surcos rectos		77	86	91	94
Cultivos	Surcos rectos	pobre	72	81	88	91
	Surcos rectos	buena	67	78	85	89
	Curvas de nivel	pobre	70	79	84	88
	Curvas de nivel	buena	65	75	82	86
	Curvas de nivel y en terrazas	pobre	66	74	80	82
	Curvas de nivel y en terrazas	buena	62	71	78	81
	Surcos rectos	pobre	65	76	84	88

pequeños granos	Surcos rectos	buena	63	75	83	87
	Curvas de nivel	pobre	63	74	82	85
	Curvas de nivel	buena	61	72	79	82
	Curvas de nivel y en terrazas	pobre	61	72	79	82
	Curvas de nivel y en terrazas	buena	59	70	78	81
Sembríos cerrados, legumbres o sembríos en rotación	Surcos rectos	pobre	66	77	85	89
	Surcos rectos	buena	58	72	81	85
	Curvas de nivel	pobre	64	75	83	85
	Curvas de nivel	buena	55	69	78	83
	Curvas de nivel y en terrazas	pobre	63	73	80	83
	Curvas de nivel y en terrazas	buena	51	67	76	80
Pastizales o similares		pobre	68	79	86	89
		regular	49	69	79	84
		buena	39	61	74	80
	Curvas de nivel	pobre	47	67	81	88
	Curvas de nivel	regular	25	69	75	83
	Curvas de nivel	buena	6	35	70	79
Pradera		buena	30	58	71	78
Bosques	Curvas de nivel	pobre	45	66	77	83
	Curvas de nivel	regular	36	60	73	79
	Curvas de nivel	buena	25	55	70	77
Patios		.....	59	74	82	86
Caminos, incluyendo derecho de vía	Cieno	.....	72	82	87	89
	Superficie firme	.....	74	84	90	92

Fuente: Villón (2002).

Para un mayor entendimiento de los parámetros de la tabla 3, se explican algunas definiciones:

➤ **Condición Hidrológica**

Es la capacidad de la cuenca para favorecer o dificultar el escurrimiento directo.

Esta condición se encuentra en función de la cobertura vegetal y se puede clasificar de la siguiente manera:

Cuadro 4 Condiciones hidrológicas.

Cobertura Vegetal	Condición Hidráulica
> 75% del área	Buena
Entre 50% y 75% del área	Regular
< 50% del área	Pobre

Fuente: Villón (2002).

➤ **Grupo hidrológico de suelo**

Define los grupos de suelos, los cuales son:

- ❖ **Grupo A:** Tiene bajo potencial de escorrentía.
- ❖ **Grupo B:** Tiene un moderado bajo potencial de escorrentía.
- ❖ **Grupo C:** Tiene un moderado alto potencial de escorrentía.
- ❖ **Grupo D:** Tiene un alto potencial de escorrentía.

Una descripción detallada para definir el grupo de suelo se muestra en la tabla 5.

Para aclarar conceptos y entender la descripción de la tabla 5, se indican las siguientes definiciones:

- **Porcentaje o tasa de infiltración:** Es el porcentaje de agua que penetra en el suelo superficial y que es controlado por condiciones de superficie.
- **Porcentaje o tasa de transmisión:** Es el porcentaje de agua que se mueve en el suelo y es controlado por los horizontes.

Cuadro 5 Clasificación hidrológica de los suelos.

Grupo de suelos	Descripción
A	Son suelos que tienen altas tasas de infiltración (bajo potencial de escurrimiento) aun cuando están enteramente mojados y están constituidos mayormente por arenas o gravas profundas, bien y hasta excesivamente drenadas. Estos suelos tienen una alta tasa de transmisión de agua.
B	Son suelos que tienen tasas de infiltración moderadas cuando están cuidadosamente mojados y están constituidos mayormente de suelos profundos de texturas moderadamente finas a moderadamente gruesas. Estos suelos tienen una tasa moderada de transmisión de agua.
C	Son suelos que tienen bajas tasas de infiltración cuando están completamente mojados y están constituidos mayormente por suelos con un estrato que impide el movimiento del agua hacia abajo, o suelos con una textura que va de moderadamente fina a fina. Estos suelos tienen una baja tasa de transmisión de agua.
D	Son suelos de alto potencial de escurrimiento, de tasas de infiltración muy bajas cuando están completamente mojados y están formados mayormente por suelos arcillosos con un alto potencial de esponjamiento, suelos con índice de agua permanentemente alto, suelos con arcilla o capa de arcilla en la superficie o cerca de ella y suelos superficiales sobre material casi impermeable. Estos suelos tienen una tasa muy baja de transmisión de agua.

Fuente: Villón (2002).

➤ **Uso de la tierra y tratamiento.**

- ❖ **El uso de la tierra**, es la cobertura de la cuenca e incluye toda clase de vegetación, escombros, pajonales, desmontes, así como las superficies de agua (lagos, pantanos, ciénagas, fangales, etc).
- ❖ **El tratamiento de la tierra**, se aplica sobre todo a los usos agrícolas de la tierra e incluye las prácticas mecánicas tales como sistemas de bordos, curvas de nivel, terraplenado y ejecución de prácticas para el control de erosión y rotación de cultivos.

El uso de la tierra y las clases de tratamiento se obtienen rápidamente ya sea por observación o por medición de la densidad y magnitud de escombros y cultivos en áreas representativas.

El método del SCS distingue tres clases de tierras según su uso y tratamiento, estas son:

- Tierras cultivadas.
- Tierras cubiertas de pastos o hierbas.
- Tierras cubiertas de bosques y arboledas.

❖ **Condición de humedad antecedente (CHA)**

Esta condición tiene en cuenta los antecedentes previos de humedad de la cuenca, determinado por la lluvia total en el periodo de 5 días anterior a la tormenta. El SCS usa tres intervalos de CHA:

- **CHA I:** es el límite inferior de humedad o el límite superior de S. Hay un mínimo potencial de escurrimiento. Los suelos de la cuenca están lo suficientemente secos para permitir el arado o cultivos.
- **CHA II:** es el promedio para el cual el SCS.
- **CHA III:** es el límite superior de humedad o el límite inferior de S. Hay máxima potencia de escurrimiento. La cuenca está prácticamente saturada por lluvias anteriores.

El SCS presenta la tabla 6 para estimar el CHA, considerando como antecedente de 5 días de lluvia, siendo la suma de la lluvia de los 5 días anteriores al día considerado.

Cuadro 6 Condición de humedad antecedente propuesto por SCS.

Condición de humedad antecedente (CHA)	Precipitación acumulada de los 5 días previos al evento en consideración (cm)	
	Estación Seca	Estación de crecimiento
I (Seca)	menor de 1.3	menor de 3.5
II (Media)	1.3 a 2.5	3.5 a 5
III (Húmeda)	más de 2.5	más de 5

Fuente: Villón (2002).

La tabla 3, permite calcular el CN (II) para CHA-II, si se tiene CHA-I o CHA-III, el CN equivalente se puede determinar de las siguientes ecuaciones:

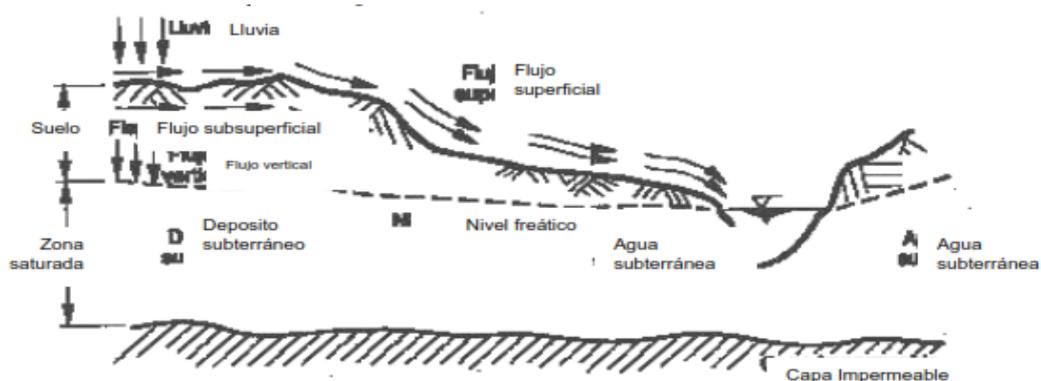
$$N_{(I)} = \frac{4.2N_{(II)}}{10-0.058N_{(III)}} \quad \dots\dots\dots \text{Ecuación 24}$$

$$N_{(III)} = \frac{23N_{(II)}}{10-0.058N_{(I)}} \quad \dots\dots\dots \text{Ecuación 25}$$

2.3.9. Infiltración

Jiménez (2002) menciona es el proceso mediante el cual el agua penetra desde la superficie del terreno hacia el suelo. La conductividad hidráulica, la porosidad del suelo, la condición de la superficie y la capa vegetal son factores que afectan la tasa de infiltración.

Figura 9 Escorrentía superficial.



Fuente: Jiménez (2002).

2.3.10. Aplicación del ArcGIS en la modelación hidrológica.

ArcGIS es una herramienta que permite realizar un análisis del terreno. En el campo de la hidrología, ArcGIS dispone de diferentes opciones para el análisis y la evaluación de los recursos hídricos por lo que se ha convertido en una potente herramienta para su planificación y gestión en cualquier ámbito territorial.

2.2.11. Cálculo de canales

2.2.11.1. Condiciones normales

Rocha (2003) menciona que se expone esencialmente el cálculo de canales, es decir, el dimensionamiento de la sección transversal para conducir un gasto dado en determinadas condiciones.

Supongamos que en un canal escurre libremente u caudal Q. el movimiento es permanente y uniforme. La profundidad del agua (tirante está determinada por la pendiente, la rugosidad, la forma de la sección transversal y por el caudal Q, que según hemos dicho antes se supone es constante. El tirante con el que escurre el agua (o cualquiera otro líquido) en estas condiciones se llama tirante normal. El tirante normal es, pues, el que caracteriza al movimiento permanente y uniforme. Si el movimiento fuera, por ejemplo, gradualmente variado habría para cada sección un tirante diferente del normal (mayor o menor según el caso).

$$V = C\sqrt{RS} \quad \dots\dots\dots \text{Ecuación 26}$$

Dónde

V : Velocidad media.

C : Coeficiente de Chezy.

R : Radio hidráulico.

S : Pendiente

2.2.11.2. Determinación de la sección transversal.

Rocha (2003) menciona que el cálculo de la sección de un canal debe partirse del hecho siguiente: desde el punto de vista hidráulico hay, en principio, un número infinito de soluciones. En el caso de

un canal que va a ser construido, el gasto o caudal está dado por las condiciones de diseño; no proviene de un cálculo hidráulico, sino de la función del canal, de la naturaleza del servicio que presta y por cierto del análisis que se ha hecho de las disponibilidades de agua. El caudal de diseño Q es un dato impuesto al que debe adecuarse al cálculo de la sección del canal.

Un canal puede servir para abastecer de agua a una ciudad, servir a una irrigación, a una central hidroeléctrica o tener un uso múltiple.

Para transportar un gasto Q podemos, dentro de las limitaciones topográficas, adoptar una determinada pendiente compatible con la naturaleza del revestimiento, que escogeremos en función de varios factores: costo, seguridad, disponibilidad de materiales, etc.

Cuadro 7 De Cowan para determinar la influencia de diversos factores sobre el coeficiente n .

Superficie del canal	Tierra	n_0	0.020
	Roca		0.025
	Grava fina		0.024
	Grava gruesa		0.028
Irregularidad	Suave	n_1	0.000
	Menor		0.005
	Moderada		0.010
	Severa		0.020
Variación de la sección	Gradual	n_2	0.000
	Ocasional		0.005
	Frecuencia		0.010 - 0.015
Efecto de la obstrucción	Despreciable	n_3	0.000
	Menor		0.010 - 0.015
	Apreciable		0.020 - .030

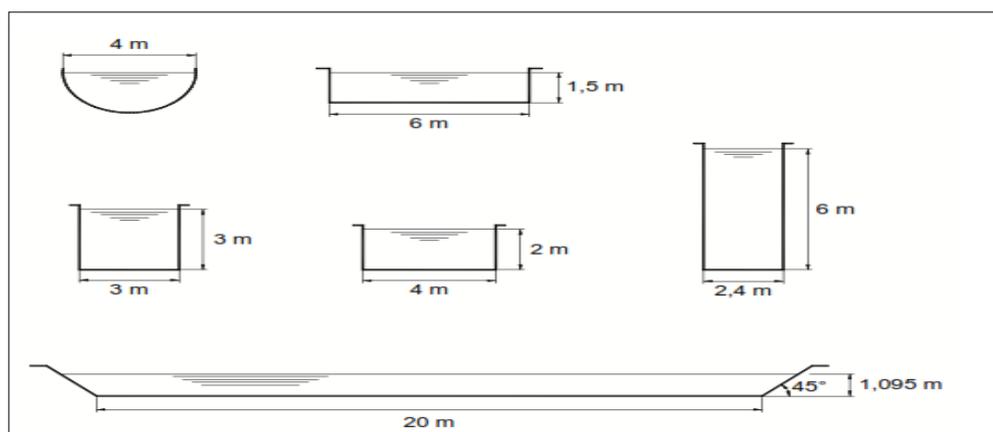
	severo		0.040 - 0.060
Vegetación	Bajo	n ₄	0.005 - 0.010
	Medio		0.010 - 0.025
	Alto		0.025 - 0.050
	Muy alto		0.050 - 0.1
Intensidad de meandros	Menor	m ₅	1.000
	Apreciable		1.150
	Severo		1.300

Fuente: Rocha (2003).

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) m_5 \dots\dots\dots \text{Ecuación 27}$$

En esas condiciones podemos diseñar diversas secciones transversales: rectangular, trapecial, semicircular, etc.

Figura 10 Comparación de varias secciones transversales que caracterizan por tener todo un radio hidráulico de 1m.



Fuente: Rocha (2003).

El talud de la sección depende de la naturaleza del terreno. Desde el punto de vista puramente hidráulico se puede lograr los mismos resultados con un canal de cualquier forma.

Figura 11 Canal de sección trapezoidal.



Fuente: Rocha (2003).

Cuadro 8 Valores de los taludes según el tipo de material.

MATERIAL	TALUD z
Roca dura	0.0
Roca fisurada	0.5
Suelos cementados, firmes	1.0
Tierra arcillosa	1.25
Tierra arenosa	1.5
Arenosa	2 o ´ mas

Fuente: Rocha (2003).

Los valores consignados en esta tabla deben considerarse meramente referenciales. Siempre consideramos que el talud se define como 1 vertical y z horizontal.

La sección hidráulica en un canal debe satisfacer la fórmula de Manning (o alguna de las otras).

$$Q = \frac{AR^{\frac{2}{3}}S^{\frac{1}{2}}}{n} \dots\dots\dots \text{Ecuación 27}$$

CASO A: Se conoce el ancho b en la base

Los datos son

b: ancho en la base

Q: gasto

S: pendiente

z: talud

n: rugosidad

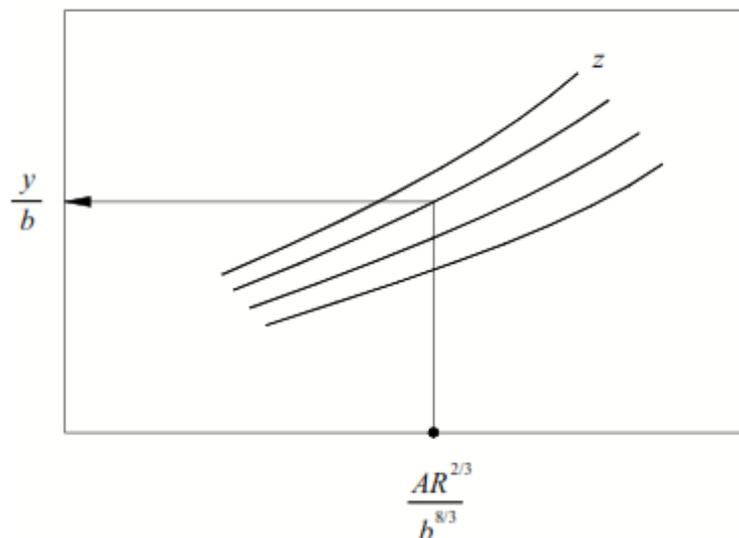
La incógnita es el tirante Y

En este caso se presenta con alguna frecuencia dado que razones constructivas se puede requerir para el canal un ancho determinado.

Para la solución de este caso **Ven Te Chow** ha preparado un gráfico al que se entra con los valores de $\frac{AR^{\frac{2}{3}}}{b^{\frac{8}{3}}}$ y se obtiene el valor

de $\frac{y}{b}$, para talud tal como se ve en el gráfico adjunto.

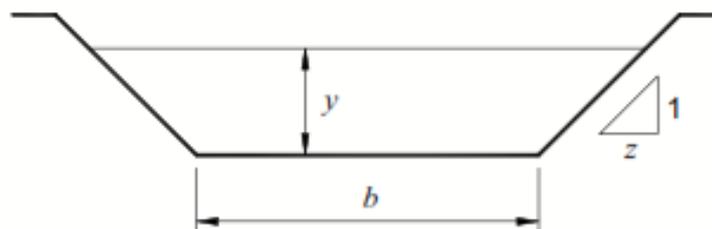
Figura 12 Determinación de los valores en la gráfica de Ven Te Chow.



Fuente: Rocha (2003).

Método de tanteos es para resolver sin la ayuda del gráfico de Ven Te Chow, como para obtener la función gasto-tirante, considerando una sección trapezoidal como la mostrada en la figura.

Figura 13 Canal de sección transversal.



Fuente: Rocha (2003).

$$A = (b + zy)y \quad \dots\dots\dots\text{Ecuación 28}$$

$$P = b + 2y\sqrt{1 + z^2} \quad \dots\dots\dots\text{Ecuación 29}$$

$$R = \frac{(b+zy)y}{b+2y\sqrt{1+z^2}} \quad \dots\dots\dots\text{Ecuación 30}$$

$$Q = (b + zy)y \frac{\left[\frac{(b+zy)y}{b+2y\sqrt{1+z^2}} \right]^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}}{n} \quad \dots\dots\dots\text{Ecuación 31}$$

2.2.12. Aplicación de H canales en el diseño de canales

Villón (2002) define el H canales es un software que permite diseñar canales, el programa permite resolver los problemas más frecuentes que se presentan en el diseño de canales y estructuras hidráulicas, los cuales son:

- Calcular el Tirante Normal
- Calcular el Tirante Crítico
- Calcular el Resalto Hidráulico
- Calcular la Curva de Remanso

Construido para las secciones transversales artificiales de uso común, como son:

- Sección triangular
- Sección rectangular
- Sección trapezoidal
- Sección parabólica
- Sección circular

CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA

3.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

3.1.1. Tipo de Investigación.

Descriptivo; Porque permitirá describir de manera ordenada la concepción de cálculo y diseño hidráulico de canales; el cual es correspondiente a la línea de investigación de ingeniería hidráulica.

3.1.2. Tipo de análisis.

No experimental; Porque se estudia el problema de escasez hídrico y se analiza dar las soluciones sin recurrir a laboratorio.

3.1.3. Diseño.

Fue del tipo descriptivo no experimental, realizando un análisis de soluciones de diseño hidráulico de canales para el caudal máximo generado en microcuenca, contenido de datos en los formatos de evaluación técnica y social entre la zona y beneficiarios para luego procesar la información. La metodología que se utilizó para el desarrollo del proyecto con fin de dar cumplimiento a los objetivos planteados es: levantamiento de información en campo; en esta etapa se realizó el areado de micro cuenca, toda la información necesaria que ayude a cumplir con los objetivos del presente proyecto.

3.2. POBLACIÓN DE ESTUDIO

Para el presente trabajo de investigación se tendrá en cuenta las micro cuencas en la cabecera del distrito de Saurama.

3.3. TAMAÑO DE MUESTRA

Se tomarán en cuenta la cantidad de micro cuencas necesarias para la investigación en la cabecera del distrito de Saurama.

3.4. TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Técnicas, instrumentos e informantes o fuentes para obtener los datos.

3.4.1. Técnicas.

Las técnicas que se utilizara en el presente estudio de proyecto es la de observación, descripción y levantamiento de datos en campo, de las condiciones geomorfologías, el área o extensión y perímetro de micro cuenca para luego procesarlo en gabinete.

3.4.2. Instrumentos.

Los instrumentos que se utilizaran para el análisis del presente proyecto son:

- ✓ Los programas de Arcgis, H canales y formulas empíricas
- ✓ Un espacio adecuado donde realizar el análisis pertinente.
- ✓ Un escritorio.
- ✓ Una silla.
- ✓ Una laptop.

3.4.3. Fuentes.

Las fuentes a utilizar para el presente proyecto serán las fuentes primarias y secundarias y/o la información de los beneficiarios como conocedores de la zona.

CAPÍTULO 4: DESARROLLO DE TEMA

El proyecto nominado cálculo y diseño hidráulico de canales para el caudal generado por la precipitación con fines de riego, es una alternativa de solución sobre la escasez hídrica en tiempos de sequía para contar con sistema de riego en la zona del proyecto; en tal sentido se da el desarrollo del tema, dando inicio con la previa evaluación y diagnóstico el área de influencia del proyecto.

Para determinar los parámetros geomorfológicos de la micro cuenca se da inicio con la determinación del área, perímetro y longitud más largo del río mediante el programa de arc gis y google earth pro, a continuación se determina el caudal máximo generado por la precipitación con el método racional, para lo cual la micro cuenca cumple las condiciones necesarias y finalmente se determina el diseño hidráulico del canal o la sección del canal requerido para conducir el caudal generado por la precipitación con el programa H canales.

CAPÍTULO 5: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. ANÁLISIS, INTERPRETACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Con el presente proyecto se logró tener una concepción acerca del cálculo y diseño hidráulico de canales para el caudal generado por la precipitación con fines de riego; llegando a la conclusión que el factor económico es determinante para ejecutar un proyecto, se requiere de la elaboración de un expediente técnico, con fines de lograr el financiamiento del presupuesto para hacer realidad el proyecto anhelado.

Son etapas que se tiene que seguir si se desea lograr el proyecto, una vez logrado se pone en ejecución lo plasmado en el expediente técnico.

Para el cálculo y diseño hidráulico de canales se requiere de datos de estudio de campo y parámetros de diseño estipulados en las referencias de diseño hidráulico.

En la actualidad para diseñar el cálculo hidráulico de canales se emplea el software de ingeniería como el H canales, logrando un modelamiento hidráulico básico para determinar las dimensiones de los canales.

5.2. PRUEBA DE HIPÓTESIS

Calificando los resultados luego de la elaboración del presente trabajo de investigación, se puede deducir que se obtuvo una concepción clara y útil a cerca del proyecto de cálculo y diseño hidráulico de canales para el caudal generado por la precipitación con fines de riego, iniciando con la evaluación y diagnóstico del área de influencia del proyecto.

También se logró conocer a cerca de los parámetros geomorfológicos de micro cuenca que es imprescindible para el cálculo hidráulico que integra al proyecto.

5.3. PRESENTACION DE RESULTADOS

La investigación del presente trabajo sirvió para lograr un resultado positivo, en el aprendizaje y concepción sobre un proyecto de cálculo y diseño hidráulico de canales para el caudal generado por la precipitación con fines de riego, conociendo sobre los parámetros geomorfológico de micro cuenca, caudal máximo generado por la precipitación y diseño hidráulico de canales; se logró una concepción general de cómo realizar un diagnóstico técnico social en campo, conocer a cerca de los estudios básicos primordiales para la formulación del expediente técnico del proyecto, etc.

CAPÍTULO 6: ANÁLISIS DE COSTOS

Se tomó en consideración la evaluación de los beneficios a precios sociales (los beneficiarios con el proyecto) serán evaluadas en la etapa de pre inversión del proyecto ya que será formulado a futuro, tomará en consideración los costos de acuerdo al estudio de mercado en función al planeamiento del estudio definitivo en el diseño hidráulico de canales para fines de riego.

Los costos de operación y mantenimiento del proyecto serán cubiertas por la municipalidad distrital de Saurama, entidad que administrara el sistema de riego una vez que se viabilice el proyecto.

CAPÍTULO 7: ANÁLISIS DE IMPACTO AMBIENTAL

En el proyecto de diseño hidráulico de canales para fines de riego se generará un impacto ambiental negativo en la etapa del proceso constructivo, motivo por el cual es indispensable plantear una partida y presupuesto en el expediente técnico, con la finalidad de mitigar a lo máximo estos impactos durante la ejecución del proyecto. Tanto para la zona del proyecto como para el personal directamente e indirectamente involucrados.

CONCLUSIONES

- ✓ Se realizó el cálculo y diseño hidráulico de canales el cual es empleado para conducir el caudal generado por la precipitación con fines de riego.
- ✓ Se determinó los parámetros geomorfológicos de micro cuenca, los cuales permitieron obtener la ecuación de Taylor e índice de compacidad y la curva hipsométrica de la micro cuenca.
- ✓ Se determinó el caudal máximo generado por la precipitación en micro cuenca, el cual permitió el cálculo de la sección del canal.
- ✓ Se determinó la sección del canal, el cual permitió conducir el caudal máximo generado en la micro cuenca.

RECOMENDACIONES

- ✓ Para realizar el cálculo y diseño hidráulico de canales frente el caudal generado por la precipitación con fines de riego es recomendable identificar y conocer la zona del proyecto.
- ✓ Para determinar los parámetros geomorfológicos de micro cuenca es recomendable tener en alcance los principios de hidrología más el programa de arc gis.
- ✓ Para determinar el caudal máximo generado por la precipitación es recomendable utilizar las fórmulas empíricas.
- ✓ Durante la determinación de la sección del canal requerido para conducir el caudal generado por la precipitación en micro cuenca, es recomendable utilizar las fórmulas empíricas más el programa H canales.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Chereque, M. A. (1990). "*Hidrología para estudiantes de Ingeniería Civil*". Lima –Perú.
- Chow, V. T., Maidment, D. R. (1994). "*Hidrología Aplicada*". Colombia. Ediciones McGraw-Hill.
- Faustino, J. (2003). "*Diseño de entidades y organismos de cuencas y Comités de Microcuencas*". El Salvador, OTN, CATIE.
- Jiménez F. (2002). "*Curso manejo de cuencas y prevención de desastres naturales*". Tegucigalpa. CATIE.
- Tschinkel, H. (2001). "*Que Realmente Funciona en Manejo de Cuencas Hidrográficas*". Guatemala. Chemonics International Inc.
- Rocha, F. A. (2003). "*Hidraulica de Tuberias y Canales*". Lima.
- Villon B, M. (2002). "*Hidrologia*". Costa Rica: Editorial KAMECC.

ANEXOS

Cuadro 9 Matriz de consistencia.

MATRIZ DE CONSISTENCIA			
PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES
	Objetivo general	Hipotesis general	VARIABLES independientes
¿Cómo realizar el calculo y diseño hidraulico de canales para el caudal generado por la precipitacion con fines de riego .?	Realizar el calculo y diseño hidraulico de canales para el caudal generado por la precipitacion con fines de riego .	El calculo y diseño hidraulico de canales permitira contribuir para conducir el caudal generado por la precipitacion con fines de riego.	X=Caudal generado por la precipitacion con fines de riego (m3/s). X1=Precipitacion (mm). X2=Area de micro cuenca (m2).
problemas especificos	Objetivos especificos	Hipotesis especificos	VARIABLES dependientes
¿Cuánto y cuales son los parametros geomorfologicos de micro cuenca ?	Determinar los parametros geomorfologicos de micro cuenca .	La determinacion de los parametros geomorfologicos permitira obtener la ecuacion de taylor e indice de compacidad y la curva hipsometrica de la micro cuenca.	Y= Calculo y diseño hidraulico del canal Y1= Area hidraulico del canal(m2). Y2= Perimetro del canal (m). Y3= Tirante del canal (m).
¿Cuánto es el caudal maximo generado por la precipitacion en la micro cuenca ?	Determinar el caudal maximo generado por la precipitacion en micro cuenca.	La determinacion del caudal maximo generado por la precipitacion en la micro cuenca permitira el calculo de la seccion del canal.	
¿Cuál es la seccion del canal para conducir el caudal generado por la precipitacion en micro cuenca .?	Determinar la seccion del canal requerido para conducir el caudal generado por la precipitacion en micro cuenca .	La determinacion de la seccion del canal permitira conducir el caudal maximo generado en la micro cuenca.	
			METODOLOGIA 1. Tipos de investigacion Aplicada 2. Nivel de investigacion Descriptiva 3. Metodo Descriptivo 4. Muestreo Las areas de micro cuenca Yuraq Yaku 5. Tecnicas Determinacion de secciones del canal para conducir el caudal generado por la precipitacion en micro cuenca Yuraq Yaku mediante metodos empiricos.

Fuente: elaboración propia.

PARAMETROS GEOMORFOLOGICAS DE LA MICRO CUENCA

1.- AREADO DE LA MICRO CUENCA YURAQ YAKU

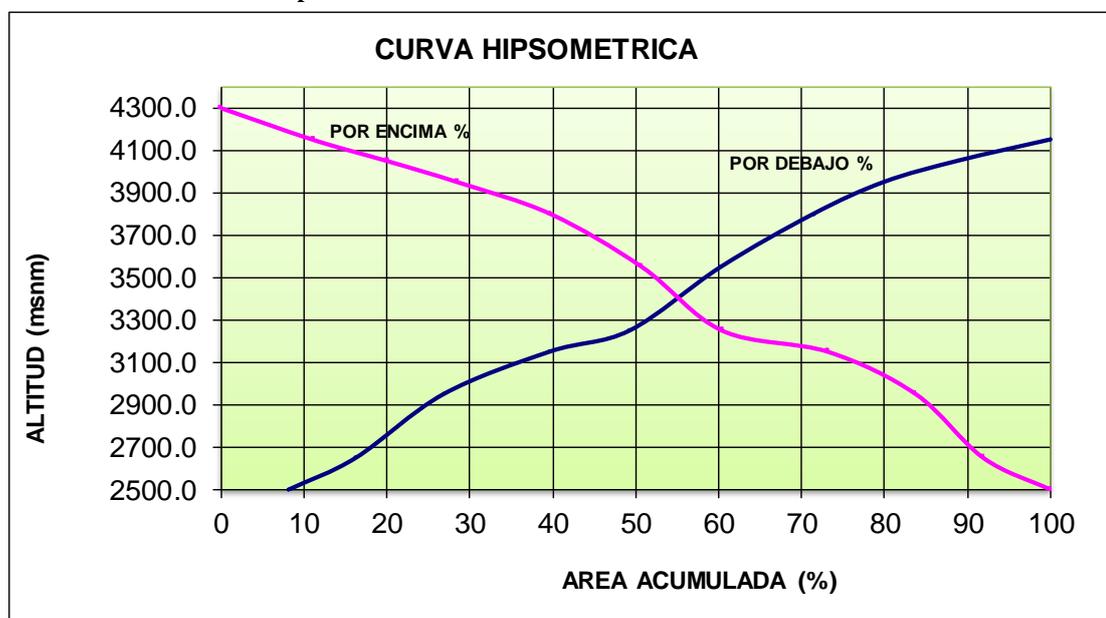
Del procedimiento realizado sobre la carta digitalizada, adjunto resulta las siguientes Areas :

Area Total = 1.22 km²
 Perimetro = 4.55 km.
 Long. = 3.82 Km. de río mas largo
 Areas Parciales, se muestra en el cuadro siguiente:

ALTITUD m.s.n.m.	AREAS PARCIALES		AREAS ACUMULADAS			
	Km ²	(%)	POR DEBAJO		POR ENCIMA	
			(KM ²)	(%)	KM ²	(%)
Punto mas bajo						
2500.0	0.00	0.00	0.10	8.11	1.22	100.00
2650.0	0.10	8.11	0.20	16.23	1.12	91.89
2950.0	0.10	8.11	0.33	26.80	1.02	83.77
3150.0	0.13	10.57	0.48	39.58	0.89	73.20
3250.0	0.16	12.78	0.60	49.25	0.74	60.42
3550.0	0.12	9.67	0.74	60.24	0.62	50.75
3800.0	0.13	11.00	0.87	71.43	0.49	39.76
3950.0	0.14	11.18	0.98	79.92	0.35	28.57
4050.0	0.10	8.49	1.08	88.85	0.25	20.08
4150.0	0.11	8.93	1.22	100.00	0.14	11.15
4300.0	0.14	11.15			0.00	0.00
Punto mas alto						
TOTAL	1.22	100.00				

2.- FACTOR DE RELIEVE

2.1.- Cálculo de la Curva Hipsométrica



2.2.- **Altitud Mediana** = 3450 msnm (Intersección de las curvas hipsométrica)

2.3.- **Altitud media Ponderada:**

$$H = \frac{\sum a_i c_i}{A}$$

$$c_i = \frac{(c_i - c_{i-1})}{2}$$

ai	ci	ai*ci
0.10	2575.00	254.93
0.10	2800.00	277.20
0.13	3050.00	393.45
0.16	3200.00	499.20
0.12	3400.00	401.17
0.13	3675.00	493.11
0.14	3875.00	528.90
0.10	4000.00	414.40
0.11	4100.00	446.90
0.14	4225.00	574.81
1.22		4284.06

H = 3510.635 msnm

2.4.- **Altitud Media Simple:**

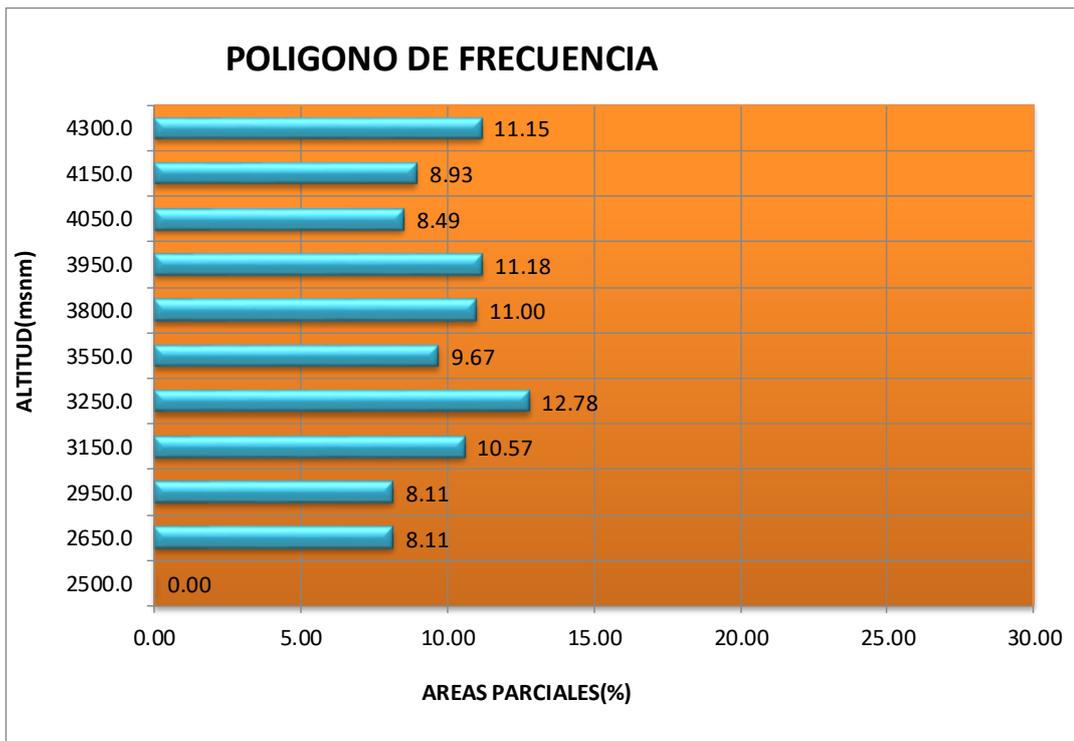
$$H_{ms} = \frac{(c_M + c_m)}{2}$$

CM = 2500.0

Cm = 4300.0

Hms = 3400.0 msnm

2.5.- **Polígono de Frecuencia de Area Parciales**



3.- PARÁMETROS DE FORMA:

3.1.- El Índice de Gravelious (K):

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

K = 1.153 **cuenca redonda**

INTERPRETACION: Este valor se aproxima a 1,25 por lo tanto podemos decir que los tiempos de concentracion son menores y la cuenca se encuentra propenso acrecientes.

Perímetro de la Cuenca: 4.55 Km

3.2.- Rectángulo Equivalente:

$$\text{Lado Mayor} = L = \frac{K\sqrt{A}}{1.12} \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K} \right)^2} \right) = 1.41$$

$$\text{Lado Menor} = l = \frac{K\sqrt{A}}{1.12} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K} \right)^2} \right) = 0.87$$

	A (Km2)	Li (Km)
2500.0	0.000	0.00
2650.0	0.099	0.11
2950.0	0.099	0.11
3150.0	0.129	0.15
3250.0	0.156	0.18
3550.0	0.118	0.14
3800.0	0.134	0.15
3950.0	0.136	0.16
4050.0	0.104	0.12
4150.0	0.109	0.13
4300.0	0.136	0.16

3.3.- Factor Forma:

$$F_f = \frac{l}{L} = \frac{A}{L^2}$$

$$\frac{1.220338983}{1.41 \text{ long. mas largo}^2} \quad F_f = 0.615$$

Ff = 0.614926475

INTERPRETACION: El factor de forma tiende a ser un valor bajo (0.75) el cual indica que la cuenca estaria produccion sostenible de caudales altos.

4.- PERFIL LONGITUDINAL DEL RIO

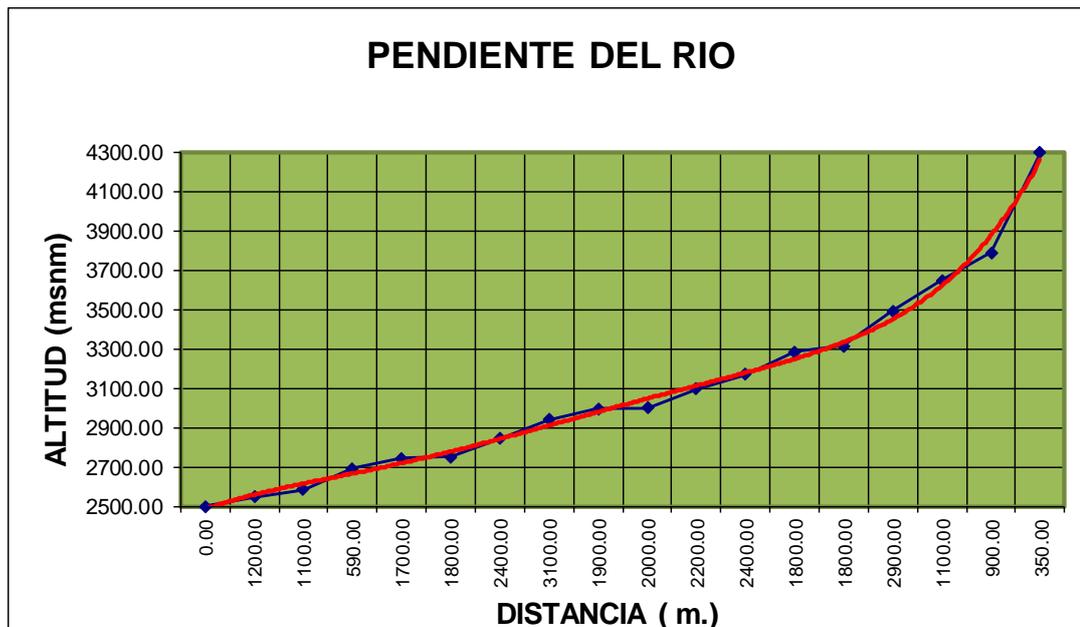
Progresiva	Long. Tramo(m)	Cota	Desnivel	S	1/(S)^0.5
Km 0+000,00	0.00	2500.00			
Km 1+200,00	1200.00	2548.19	48.19	0.040	4.990
Km 2+300,00	1100.00	2586.17	37.98	0.035	5.382
Km 2+890,00	590.00	2693.63	107.46	0.182	2.343
Km 4+590,00	1700.00	2747.14	53.51	0.031	5.636
Km 6+390,00	1800.00	2751.47	4.33	0.002	20.389
Km 8+790,00	2400.00	2847.57	96.1	0.040	4.997
Km 11+890,00	3100.00	2942.19	94.62	0.031	5.724
Km 13+790,00	1900.00	2996.96	54.77	0.029	5.890
Km 15+790,00	2000.00	2999.98	3.02	0.002	25.734
Km 17+990,00	2200.00	3099.41	99.43	0.045	4.704
Km 20+390,00	2400.00	3170.71	71.3	0.030	5.802
Km 22+190,00	1800.00	3288.54	117.83	0.065	3.908
Km 23+990,00	1800.00	3317.44	28.9	0.016	7.892
Km 25+890,00	2900.00	3494.94	177.5	0.061	4.042
Km 26+990,00	1100.00	3649.96	155.02	0.141	2.664
Km 27+890,00	900.00	3790.56	140.6	0.156	2.530
Km 28+240,00	350.00	4300.00	509.44	1.456	0.829
					113.457

4.1.- Pendiente del Río

$$S = \left[\frac{n}{\frac{1}{\sqrt{S_1}} + \frac{1}{\sqrt{S_2}} + \dots + \frac{1}{\sqrt{S_n}}} \right]^2$$

$$S = 0.03426$$

(Según Taylor y Schwarz)



5.- PARAMETROS RELACIONADOS CON LA RED HIDROGRÁFICA

5.1.- Densidad de Drenaje:

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

L = Long.Total Ríos (Km) =
A = Area Cuenca

3.82
1.220

Dd = 3.13

INTERPRETACION: este valor (Dd = 3,60) indica que la cuenca esta moderadamente drenada

5.2.- Frecuencia de los Ríos:

$$Fr = \frac{N^\circ \text{cauces}}{A}$$

Nº Cauces =
Fr = 29.500

36

5.3.- Extensión media del Escurrimiento Superficial (Es):

$$E_s = \frac{A}{4 L_i}$$

Es = 0.079916812

5.4.- Tiempo de Concentración (Tc) , Segú Kirpich:

$$T_c = \left(\frac{0.87 L^3}{H} \right)^{0.385}$$

Tc = 0.14

5.5.- Grado de ramificación u orden de los ríos.

- Ríos de Primer Orden : 15
- Ríos de segundo Orden : 12
- Ríos de tercer Orden : 07
- Ríos de cuarto Orden : 02

6.- OTROS PARAMETROS :

6.1 -Indice de Pendiente (Ip)

$$I_p = \sum_{i=1}^n \sqrt{\beta_i (a_i - a_{i-1})} \frac{1}{\sqrt{L}}$$

$$\beta_i = \frac{A_i}{A_t}$$

$$\frac{1}{\sqrt{L}}$$

0.842530588

Ai	Bi = Ai/At	ai - ai-1	Bi* (ai -Ai-1)	Raíz (4)	5 * 1/(L)^0.5
1	2	3	4	5	6
0.00	0	0	0	0	0
0.10	0.044588368	150	6.688255244	2.586166128	2.178924068
0.10	0.044588368	300	13.37651049	3.657391213	3.081463969
0.13	0.058099995	200	11.61999901	3.408811964	2.872028348
0.16	0.070260459	100	7.026045913	2.650668956	2.233269673
0.12	0.053141228	300	15.94236841	3.992789552	3.364047328
0.13	0.060433003	250	15.10825065	3.886933322	3.274860216
0.14	0.061473398	150	9.221009679	3.036611546	2.55843811
0.10	0.046660151	100	4.666015106	2.160096087	1.819947026
0.11	0.049092244	100	4.909224388	2.215676959	1.866775611
0.14	0.061275227	150.0	9.1912841	3.031713064	2.554310989

2.220

Ip = 25.80406534

Cálculo del caudal máximo Q:

De la fórmula Racional, se tiene:

$$Q = \frac{CIA}{360}$$

Q = caudal máximo, en m³/s

C = Coeficiente de escorrentía, que depende de la cobertura vegetal, la pendiente y el tipo de suelo. Adimensional

I = Intensidad máxima de la lluvia, para una duración igual al tiempo de concentración, y para un período de retorno dado, en mm/hr

A = Área de la cuenca, en Has.

$$Q = \frac{0.50 \times 1.77 \times 122}{360} = 0.300$$

Q_{máx} = 0.30 m³/s

Determinación de la sección del canal

Cálculo de tirante normal sección Trapezoidal, Rectangular, Triangular

Lugar: Proyecto:

Tramo: Revestimiento:

Datos:

Caudal (Q): m³/s

Ancho de solera (b): m

Talud (Z):

Rugosidad (n):

Pendiente (S): m/m

Resultados:

Tirante normal (y): m

Perímetro (p): m

Área hidráulica (A): m²

Radio hidráulico (R): m

Espejo de agua (T): m

Velocidad (v): m/s

Número de Froude (F):

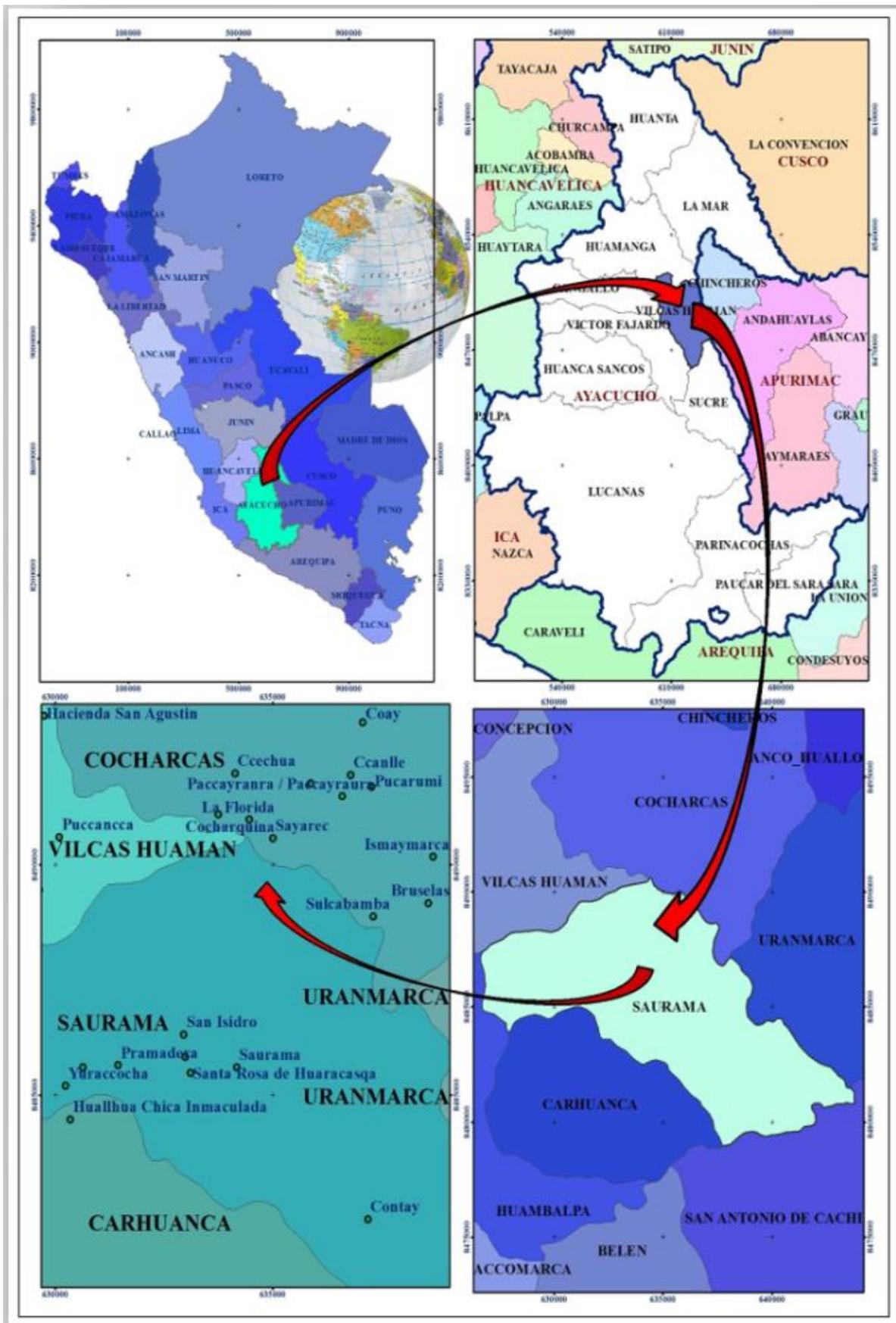
Energía específica (E): m-Kg/Kg

Tipo de flujo:

Ejecuta las operaciones

Fuente: Elaboración propia

Plano de ubicación del proyecto



Fuente: elaboración propia.

El territorio de microcuenca hidrográfica



Fuente: Elaboración propia