

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE AGRONOMÍA Y ZOOTECNIA

ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMIA



TESIS

“MEDICIÓN DE LOS ÍNDICES DE ESCORRENTÍA PARA DETERMINAR LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA, PÉRDIDA DE COBERTURA VEGETAL Y DEGRADACIÓN DE SUELOS EN LA MICROCUENCA MILLPU (CHINCHERO-CUSCO-PERÚ) PERIODO 2019 - 2020”

Presentada por el Bachiller en Ciencias Agrarias

JUSTO SANDRO ARIAS LOAYZA

Para optar al Título Profesional de:

INGENIERO AGRÓNOMO

ASESOR: M.Sc. Guido Vicente Huamán Miranda

CUSCO- PERÚ

2023

INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro. CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, Asesor del trabajo de investigación/tesis titulada: Medición de los Índices de Escorrentía para Determinar la Disponibilidad Hídrica, pérdida de Cobertura Vegetal y Degradación de Suelos en la Microcuenca Hillo (Chindiro - Cusco - Perú) periodo 2019-2020 presentado por: Justo Sandro Arias Loayza con DNI Nro.: 29720982 presentado por: con DNI Nro.: para optar el título profesional/grado académico de Ingeniero Agrónomo

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 02 veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 08.....%.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto la primera página del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 30 de Enexo de 2024.....

[Firma]
Firma
Post firma M.Sc. Sandra V. Herencia Cordero
Nro. de DNI 31044779
ORCID del Asesor 0000-0002-9992-8065

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: oid 27259300373828

NOMBRE DEL TRABAJO

TESIS SANDRO ARIAS.pdf

AUTOR

SANDRO ARIAS LOAYZA

RECUESTO DE PALABRAS

17426 Words

RECUESTO DE CARACTERES

87379 Characters

RECUESTO DE PÁGINAS

130 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

4.8MB

FECHA DE ENTREGA

Dec 21, 2023 7:21 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Dec 21, 2023 7:23 AM GMT-5**● 8% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base

- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de Crossref
- Base de datos de contenido publicado de Crossref
- Base de datos de trabajos entregados

● Excluir del Reporte de Similitud

- Base de datos de Internet
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 12 palabras)
- Bloques de texto excluidos manualmente

DEDICATORIA

A todos mis seres queridos que contribuyen con la elaboración de la presente investigación.

Justo Sandro Arias Loayza

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, en especial a todos mis docentes.

Al M.Sc. Guido Vicente Huamán Miranda por su apoyo y asesoramiento durante el desarrollo hasta la culminación de la tesis.

El desarrollo de esta tesis fue gracias al financiamiento de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID) y el Gobierno de Canadá, a través del Proyecto Infraestructura Natural para la Seguridad Hídrica (INSH).

Agradecimiento especial al PhD Vivien Bonnesoeur por la orientación constante durante el desarrollo de la tesis.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO.....	ii
I. PROBLEMA OBJETO DE INVESTIGACIÓN	3
1.1. Identificación del problema.....	3
1.2. Formulación del problema.....	4
Problema General	4
Problemas Específicos	4
II. OBJETIVOS Y JUSTIFICACIÓN	5
2.1. Objetivos general	5
2.2. Objetivos específicos	5
2.3. Justificación.....	5
III. HIPÓTESIS	7
3.1. Hipótesis general	7
3.2. Hipótesis específica	7
IV. MARCO TEÓRICO	8
4.1. Antecedentes	8
4.1.1. Ámbito internacional	8
4.1.2. Ámbito nacional	10
4.2. Cuenca hidrográfica	11
4.3. Geomorfología	11
4.4. Características fisiográficas de la cuenca	11

4.5.	Caracterización de la cuenca hidrográfica	12
4.5.1.	Parámetros asociados a la forma	12
4.5.2.	Parámetros relativos al sistema de drenaje	13
4.5.3.	Parámetro relativo a las variaciones altitudinales	14
4.5.4.	Parámetros relacionados con la declividad	14
4.6.	Degradación de suelos.....	15
4.7.	Ciclo hidrológico	15
4.8.	Precipitación pluvial.....	16
4.8.1.	Medición de la precipitación pluvial	17
4.8.2.	Pluviógrafo basculante	18
4.8.3.	Evento de tormenta de precipitación	19
4.8.3.1.	Curva Intensidad-Duración	20
4.9.	Escorrentía superficial.....	20
4.9.1.	Caudal de escorrentía	21
4.9.3.	Índice de escorrentía	25
4.10.	Hidrogramas.....	26
4.10.1.	Análisis de un hidrograma	26
4.11.	Regulación hídrica.....	27
4.12.	Rendimiento hídrico	28
4.13.	Uso de suelo y cobertura vegetal	28
4.14.	Control de calidad de datos hidrometeorológicos	28
4.15.	Correlación estadística de Pearson.....	31
V.	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	32
5.1.	Tipo de investigación.....	32
5.2.	Ámbito de investigación	38

5.2.1. Ubicación geográfica	38
5.2.2. Ubicación hidrográfica	40
5.2.3. Ubicación hidrológica.....	40
5.2.4. Ubicación temporal	41
5.2.5. Zonas de Vida	42
5.2.6. Clasificación climatológica	42
5.2.7. Caracterización climatológica	43
5.3. MATERIALES Y METODOLOGÍA	46
5.3.1. Materiales	46
5.3.2. Equipos.....	46
5.3.3. Metodología	49
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	75
6.1. Análisis del Índice de escorrentía superficial y descripción de tormentas de precipitación	75
6.1.1. Relación precipitación y caudal	75
<u>Interpretación</u>	76
<u>Contrastación de hipótesis</u>	77
6.1.2. Determinar el índice de escorrentía	78
6.1.3. Caracterización de tormentas de precipitación	78
6.2. Determinación de la variación altitudinal de la precipitación pluvial	81
<u>Contrastación de hipótesis</u>	81
6.2.1. Caracterización de las precipitaciones	82
6.3. Determinación de la variación temporal del caudal de escorrentía .	86
<u>Contrastación de hipótesis</u>	86
6.3.1. Caracterizar el caudal de escorrentía superficial.....	87

Parámetros Geomorfológicos.....	92
Caracterización de la Cobertura de Suelo.....	93
VII. CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS	97
7.1. Conclusiones.....	97
7.2. Recomendaciones.....	99
VIII. BIBLIOGRAFIA.....	100
ANEXOS	104
DELIMITACIÓN DE LA CUENCA	104
CONJUNTO DE DATOS DE CAUDALES MEDIOS DIARIOS	109
<i>Periodo noviembre 2018</i>	<i>113</i>
<i>Periodo diciembre 2018</i>	<i>113</i>
<i>Periodo enero 2019.....</i>	<i>114</i>
<i>Periodo febrero 2019.....</i>	<i>114</i>
<i>Periodo marzo 2019</i>	<i>115</i>
<i>Periodo abril 2019</i>	<i>115</i>
<i>Periodo abril 2019</i>	<i>116</i>
<i>Periodo mayo 2019</i>	<i>116</i>
<i>Periodo junio 2019</i>	<i>117</i>
<i>Periodo julio 2019.....</i>	<i>117</i>
<i>Periodo septiembre 2019</i>	<i>118</i>

RESUMEN

El trabajo de investigación tiene como título “Medición de los Índices de escorrentía para determinar la disponibilidad hídrica, pérdida de cobertura vegetal y degradación de suelos, el trabajo fue desarrollando en base a la información hidrológica de la Microcuenca Millpu en el distrito de Chinchero, periodo 2019-2020, el objetivo general fue determinar el índice de escorrentía, bajo condiciones de cobertura vegetal en proceso de recuperación.

El método de investigación fue descriptivo correlacional de tipo aplicada, con diseño no experimental.

La población consiste en información hidrológica de 12 meses de la variable precipitación y caudal, a una resolución temporal de 15 minutos.

Los resultados principales fueron:

- Existe una correlación positiva entre las precipitaciones y los caudales; es decir a mayor precipitación mayor caudal.
- Las precipitaciones son iguales estadísticamente entre la parte media y la parte alta de la cuenca Millpu.
- Las intensidades de precipitación para eventos de tormentas fueron de hasta 27mm.
- Existe igualdad estadística entre los caudales de escorrentía generados durante las horas del día y de la noche, en la parte baja de la cuenca Millpu.
- Por la geomorfología esta cuenca es susceptible a erosión hídrica:
- Los pastizales tienen mayor uso de suelo y se encuentran con problemas de erosión hídrica.

- La cuenca se comporta como una quebrada, con alta escorrentía de hasta 104.58 l/s/km² en época húmeda y cero en época seca. El rendimiento hídrico es alto al generar grandes volúmenes en época de precipitaciones y poca regulación hídrica al no generar caudales en época seca.

PALABRAS CLAVE

Escorrentía, monitoreo hidrológico, cambio de uso de suelo, regulación hídrica.

I. PROBLEMA OBJETO DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación del problema

La variabilidad y el cambio climático están ocasionando cambios en los sistemas ecológicos terrestres así como en los medios de vida. El inadecuado uso del suelo contribuye a una reducción en la disponibilidad del recurso hídrico, con los consecuentes conflictos para su uso y aprovechamiento. Existen vacíos de conocimiento sobre cómo se dan estas relaciones entre los aspectos biofísicos como la geomorfología, cobertura vegetal e hidrología que sean con resolución subhoraria para mejorar la toma de decisiones.

1.2. Formulación del Problema

Problema General

¿Cuál es el índice de escorrentía, bajo condiciones de cobertura vegetal en proceso de recuperación en la microcuenca Millpu durante el periodo 2018-2019?

Problemas Específicos

¿Cuál es el comportamiento altitudinal de la precipitación pluvial durante el periodo 2018-2019, en la microcuenca Millpu del distrito de Chinchero, provincia de Urubamba, departamento de Cusco?

¿Cuál es el comportamiento temporal del caudal de escorrentía superficial durante el periodo 2018-2019, en la microcuenca Millpu del distrito de Chinchero, provincia de Urubamba, departamento de Cusco?

¿Cuál es el comportamiento de las tormentas de precipitación durante el periodo 2018-2019 en la microcuenca Millpu-Chinchero-Cusco.

II. OBJETIVOS Y JUSTIFICACIÓN

2.1. Objetivo General

Determinar el índice de escorrentía superficial, bajo condiciones de cobertura vegetal en proceso de recuperación de la microcuenca Millpu, distrito de Chinchero, provincia de Urubamba, departamento de Cusco durante el periodo 2018-2019.

2.2. Objetivos Específicos

- Determinar la variación altitudinal de la precipitación pluvial durante el periodo 2018-2019 en la microcuenca Millpu del distrito de Chinchero, provincia de Urubamba, departamento de Cusco.
- Determinar la variación temporal del caudal de escorrentía superficial, durante el periodo 2018-2019 en la microcuenca Millpu del distrito de Chinchero, provincia de Urubamba, departamento de Cusco.

2.3. Justificación

Desde el año 2017 en la microcuenca de Piuray se viene implementando los Mecanismos de Retribución de los Servicios Ecosistémicos (MRSE), por el cual en las comunidades se han ejecutado diversos proyectos de afianzamiento hídrico con la finalidad de invertir acciones orientadas a una adecuada gestión del ecosistema al ser estas zonas fuente de provisión de recurso hídrico para la ciudad de Cusco, por lo tanto conocer las características geomorfológicas, de cobertura vegetal y las características hidrológicas en las etapas iniciales permitirá conocer el comportamiento hidrológico de la cuenca en una etapa inicial de los proyectos.

En este contexto el presente trabajo mostrara el comportamiento de los indicadores hidrológicos de precipitación pluvial y esorrentía, obtenido en base a mediciones directas a escala horaria. Los datos y resultados serán de interés para la comunidad y las autoridades sobre la mejor gestión del recurso hídrico y sobre todo la implementación y evaluación de estos los servicios ecosistémicos de reciente implementación.

III. HIPÓTESIS

3.1. Hipótesis General

Existe una relación directa y significativa entre las variables de precipitación pluvial y el caudal de la escorrentía superficial, bajo condiciones de cobertura vegetal en proceso de recuperación en el ámbito de la microcuenca Millpu durante el periodo 2018-2019.

3.2. Hipótesis Específica

- Existe variación altitudinal de la precipitación pluvial entre la parte media y alta de la microcuenca Millpu durante el periodo 2018 y 2019.

- Existe variación estacional del caudal de escorrentía superficial, durante el periodo 2018-2019 en la microcuenca Millpu.

IV. MARCO TEÓRICO

4.1. Antecedentes

4.1.1. Ámbito internacional

Ochoa et al. (2016) en la investigación "*Regionalización de los impactos del uso de la tierra en el caudal mediante una red de cuencas pareadas*", ha sistematizado índices hidrológicos y geomorfológicas, variables de uso y cobertura de suelo. Se realizó en 24 cuencas menores a 10 km² en la región andina de Sudamérica. Su investigación explica la importancia de incorporar variables de Uso y Cobertura de Suelo (LUC) para explicar las respuestas hidrológicas ante el clima y LUC. La metodología fue seleccionar y correlacionar 50 índices de las variables hidrológicas. Los resultados obtenidos mostraron que incorporar variables de LUC aumenta la correlación en un 66% de los índices hidrológicos. El error medio absoluto se reduce en un 53. El incorporar variables de LUC sería una buena estrategia para monitorear de forma eficiente el impacto de LUC en las respuestas hidrológicas de las cuencas y con posibilidad de ser usado en zonas con escasos datos.

Delgado, Gamba y Salamanca (2019) en la investigación "*Estudio de los indicadores hidrológicos de la cuenca del río San Francisco en el municipio de Chocontá provincia de Cundinamarca en Colombia 2019*". Busca conocer los indicadores hidrológicos del río San Francisco y la demanda de recurso hídrico para uso poblacional. La metodología analiza estadísticos de 4 estaciones meteorológicas de los municipios Chocontá y Sesquillé, siendo las variables: caudales, temperaturas, precipitación en periodos anuales y multianuales. Los resultados indican que hay poca oferta y mucha

demanda del recurso hídrico, por lo cual se debe gestionar este recurso de forma eficiente y garantizar el desarrollo sustentable de la cuenca.

Pardo (2014) en la investigación *“Modelación hidrológica continua basada en minería de datos en departamento de Cochabamba en Bolivia”* realizado en ecosistema de puna seca del departamento de Cochabamba. La investigación evalúa el modelo agregado de lluvia-escorrentía VHM, basado en la técnica de minería de datos. La metodología mide la precipitación y escorrentía en cuencas pareadas (similares) Dicha metodología fue desarrollada por la Iniciativa Regional de Monitoreo Hidrológico de Ecosistemas Andinos (IMHEA). La investigación compara datos medidos de precipitación y caudal en 2 cuencas, una de ellas con actividad antrópica degradada y la otra cuenca conservada; así mismo se realizó la simulación y evaluación del rendimiento del modelo hidrológico de lluvia-escorrentía. Los resultados mostraron que incorporar el índice de Caudal Base más Bajo (LBF) por sus siglas en inglés y la onda cinemática mejora la habilidad del modelo VHM en predecir caudales

Ochoa (2014) en su investigación *“Regionalización de indicadores hidrológicos para evaluar impactos de los cambios de uso de la tierra en los Andes Tropicales”*, el autor propone en el estudio hidrológico mediante el monitoreo continuo de variables de precipitación y de caudal con la finalidad de medir el impacto del Cambio de Cobertura y Uso de la Tierra y Degradación (CCUTD). La metodología analiza 20 cuencas distribuidas en los andes de sudamerica, 46 indicadores hidrológicos fueron regionalizados mediante la metodología del análisis de componentes principales (ACP), para reducir la redundancia del conjunto de variables. Los resultados muestran que los efectos atribuidos a CCUTD en comparaciones de cuencas pareadas pueden estar sobre o subestimados por diferentes fuentes de incertidumbre, incluyendo

inexactitudes en las mediciones y errores estructurales del modelo. Estas estimaciones pueden proveer conocimiento confiable para evaluar los impactos hidrológicos de diferentes prácticas de manejo de cuencas.

4.1.2. Ámbito nacional

Quillatupa y Cárdenas (2016) en su investigación "*Relación precipitación, infiltración y escorrentía para la época de lluvia en la microcuenca Yanango provincia de Chanchamayo en Perú*". La investigación tiene como propósito predecir la escorrentía superficial y la infiltración a partir de datos de precipitación. La metodología interpola datos de precipitación por la técnica de los Inversos a la Distancia (IDW), para obtener el número de curvas (CN), estimar la escorrentía superficial e infiltración y formula de Manning. Los resultados dieron caudales de 5.02 m³/s y el máximo fue de 136.46 m³/s, las relaciones de precipitación-escorrentía resulto alta como se evidencia mayor riesgo de movimientos en masa, la relación precipitación-infiltración fue moderada.

Camacho (2016) realiza una investigación "*Modelamiento de la escorrentía en cuencas de montaña: caso estudio río Vilcanota*" que tiene por objetivo entender los procesos de escorrentía superficial en la cuenca. La finalidad es poder predecir eventos de remoción en masa por el exceso de precipitación. En la metodología realiza el modelado de las variables precipitación pluvial y humedad de suelo proveniente de información satelital y datos observados en tiempo real, con ello se pueda conocer con anticipación posibles eventos de remoción en masa. Los resultados indican que la escorrentía es generada por los procesos de exceso de saturación de los suelos; así mismo los cambios de cobertura de los suelos del 1988, 2001 y 2014 han propiciado un aumento en promedio en la escorrentía de 20.7 m³/s. También concluye que los cambios de cobertura encontrados no explican por si solo

la mayor recurrencia observada. Se demuestra que valores altos de intensidad de precipitación no están correlacionados con la formación de caudales críticos y que la condición de humedad antecedente es el factor más importante a la hora de modelar y entender la formación de escorrentía en la cuenca del Vilcanota.

4.2. Cuenca hidrográfica

Campos (1992) menciona que la cuenca hidrográfica es el espacio de territorio delimitado por la línea divisoria de las aguas, conformado por un sistema hídrico que conducen sus aguas hacia un mismo punto de salida. En la cuenca hidrográfica las personas desarrollan sus actividades económicas y sociales que generan diferentes efectos favorables y no favorables. Las cuencas hidrográficas son consideradas sistemas hidrológicos, por lo cual existen entradas y salidas que pueden ser cuantificables.

4.3. Geomorfología

Para **Derruau M. (1966)** La geomorfología es una ciencia que tiene por objeto clasificar y explicar las formas del relieve.

4.4. Características fisiográficas de la Cuenca

Ordoñez (2011) indica que la fisiografía sirve para describir los aspectos naturales del paisaje terrestre como: relieve, vegetación, suelos e hidrología; es decir describe las características del paisaje en un momento y lugar determinado. Para caracterizar una cuenca se inicia con la delimitación de la cuenca, identificación de la forma, tamaño, pendiente, red de drenaje, etc.

4.5. Caracterización de la Cuenca hidrográfica

Gaspari et al. (2012) menciona que la caracterización física de una cuenca puede ser realizada mediante el análisis de la morfología y geomorfología, que viene a ser una serie de estudios de un conjunto de variables lineales de superficie, relieve y drenaje. Esta caracterización es de ayuda para interpretar su funcionamiento hidrológico, realizar comparaciones entre cuencas y finalmente la definición de estrategias de su manejo. El cálculo de los parámetros permite conocer el comportamiento de la cuenca según su fisiografía y como afecta a los procesos hidrológicos.

4.5.1. Parámetros asociados a la forma

Área es la superficie de la cuenca dentro de la curva cerrada de divortio aquarum, define las características del escurrimiento ligado a la magnitud y frecuencia de la precipitación. Su tamaño influye en mayor o menor grado en el aporte de escorrentía, tanto directa de flujo de base.

Perímetro es la longitud de los contornos de la cuenca y está ligada a la irregularidad de la cuenca.

Coficiente de Gravelius o índice de compacidad (Kc) parámetro que relaciona el perímetro de la cuenca y la circunferencia de un círculo de igual área que el de la cuenca. Las cuencas redondeadas tienen tiempos de concentración cortos y recesiones rápidas, mientras que las alargadas tienen recesiones más prolongadas. Para su cálculo se usa la siguiente expresión:

$Kc = 0.28 * \frac{P}{\sqrt{A}}$	Donde: P : perímetro (km) A : Área (km ²)
----------------------------------	---

Factor de forma (Ff) es la relación entre el ancho medio de la cuenca y la longitud del curso de agua más largo de la cuenca misma. La forma de la cuenca hidrográfica afecta el hidrograma de escorrentía y las tasas de flujo máximo, la fórmula utilizada en su cálculo es la siguiente:

$Ff = \frac{A}{L}$	Donde: A : Área de la Cuenca (km ²) L : Longitud del río más largo (km.)
--------------------	--

4.5.2. Parámetros relativos al sistema de drenaje

Grado de ramificación determina el orden, longitud y frecuencia de los cauces que conforman el sistema hidrográfico, para establecer el orden de las corrientes es teniendo en cuenta su grado de bifurcación.

Densidad de drenaje (km/km²) la densidad de drenaje que la relaciona la longitud total de los cursos de agua, sobre el área de la subcuenca en km. Su valor se obtiene de la siguiente relación:

$Dd = \frac{Li}{A}$ Donde: Dd : Densidad de Drenaje Li : Suma de la longitud de los ríos de 1 ^{er} , 2 ^{do} y 3 ^{er} orden (km.)	A : Área de la Microcuenca (km ²) Dd > 0.5 la Pp influye rápidamente en las descargas de la cuenca Dd < 0.5 la Pp influye lentamente en las descargas de la cuenca
--	--

Extensión media del escurrimiento superficial es la distancia media en línea recta que el agua precipitada tendrá que recurrir para llegar al lecho de un curso de agua. Se obtiene de la siguiente relación:

$Es = \frac{A}{4 * Li}$ Donde: Es : Extensión Media de escurrimiento Superficial	Li : Suma de la longitud de los ríos de 1 ^{er} , 2 ^{do} y 3 ^{er} Orden (Km.) A : Área de la Subcuenca (Km ²)
--	--

Frecuencia de ríos es el parámetro que relaciona el total de los cursos de agua con el total de la Microcuenca. Se obtiene de la siguiente relación:

$F_{(A)} = \frac{Nq}{Area}$	
Donde:	Nq : Numero de quebradas (número total de cursos de agua)
F _(A) : Frecuencia de quebradas	A : Área de la Subcuenca (km.)

4.5.3. Parámetro relativo a las variaciones altitudinales

Altitud media de la cuenca (ms.n.m) representa la altura media de la cuenca, es el parámetro ponderado de las altitudes de la cuenca obtenidas en el estudio carta o mapa topográfico.

Curva hipsométrica la curva hipsométrica determina la distribución altimétrica de las áreas de la microcuenca, e indica el porcentaje del área de drenaje que se encuentra por encima o por debajo de cada altitud considerada, caracteriza en cierta medida su relieve.

Rectángulo equivalente es un rectángulo que tiene la misma superficie de la cuenca de lado mayor y menor "L" y "I" respectivamente con curvas de nivel paralelas al lado menor, respetándose la hipsometría natural de la cuenca. Sabemos que:

P : Perímetro de la subcuenca

A : Área de la subcuenca

$$\text{Lado Mayor: } L = \frac{P}{4} + \sqrt{\left(\frac{P}{4}\right)^2 - A}; \quad L = \frac{76.17}{4} + \sqrt{\left(\frac{76.17}{4}\right)^2 - 229.54}$$

$$\text{Lado Menor: } I = \frac{P}{4} - \sqrt{\left(\frac{P}{4}\right)^2 - A}, \quad I = \frac{76.17}{4} - \sqrt{\left(\frac{76.17}{4}\right)^2 - 229.54}$$

4.5.4. Parámetros relacionados con la declividad

Pendiente media del río principal (%) este parámetro indica la declividad de un curso de agua entre dos puntos

El valor de la pendiente media se obtiene de la relación:

$I = \frac{H_M - H_m}{1000 * L}$	
Donde:	
I : Pendiente	H _m : Altura Mínima (msnm)
H _M : Altura Máxima (msnm)	L : Longitud Principal del Río (km)

Perfil longitudinal del curso principal este parámetro permite observar como varia la pendiente a lo largo de todo el recorrido del curso principal.

4.6. Degradación de suelos

Según **FAO (2013)** la degradación del suelo es un cambio negativo del suelo que tiene como consecuencia una disminución del ecosistema para producir bienes o prestar servicios para sus beneficiarios. Los suelos degradados no pueden brindar los servicios ecosistémicos de forma normal. Existe un conjunto de efectos de la degradación como: erosión de los suelos o también una reducción del agua en el suelo. La consecuencia final de la degradación de los suelos será la desertificación; es decir una irreparable pérdida de la estructura y textura; así mismo los servicios ecosistémicos asociados.

4.7. Ciclo Hidrológico

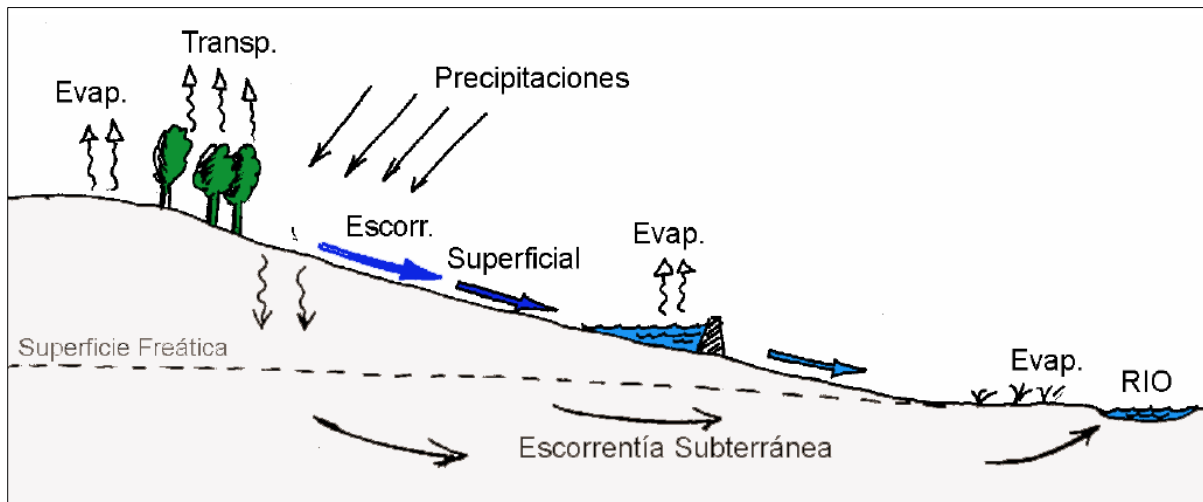
Fattorelli y Fernandez (2011) señala que el ciclo hidrológico se define como la secuencia de fenómenos por medio de los cuales el agua pasa en la superficie terrestre desde la fase de vapor hacia la atmósfera y regresa en sus fases líquida y sólida. La transferencia de agua desde la superficie de la Tierra, se debe a la evaporación directa, a la transpiración por las plantas, y animales, así mismo por sublimación (paso directo del agua sólida a vapor de agua). El vapor de agua es

transportado por la circulación atmosférica y se condensa luego de haber recorrido distancias que pueden sobrepasar 1000 km. El agua condensada da lugar a la formación de niebla, nubes y, posteriormente a precipitación.

Villón (2004) resalta que el ciclo hidrológico es completamente irregular y es precisamente contra estas irregularidades que lucha el ser humano. Una muestra de ello son los periodos de satisfacción con los requerimientos del agua para las diferentes actividades, como periodos de sequías y otros de inundaciones.

Figura1

Esquema de fases del ciclo hidrológico a nivel de Cuenca.



La figura representa las fases del ciclo hidrológico tanto a nivel superficial y subterráneo. Fuente: Sánchez, 2004.

4.8. Precipitación pluvial

Según La Organización Mundial de Meteorología (**OMM, 2001**) la precipitación pluvial es el producto de la condensación del vapor de agua que cae desde las nubes y se deposita en la superficie terrestre. Se expresa en términos de la profundidad de agua que cubriría una proyección horizontal de la superficie terrestre, generalmente en

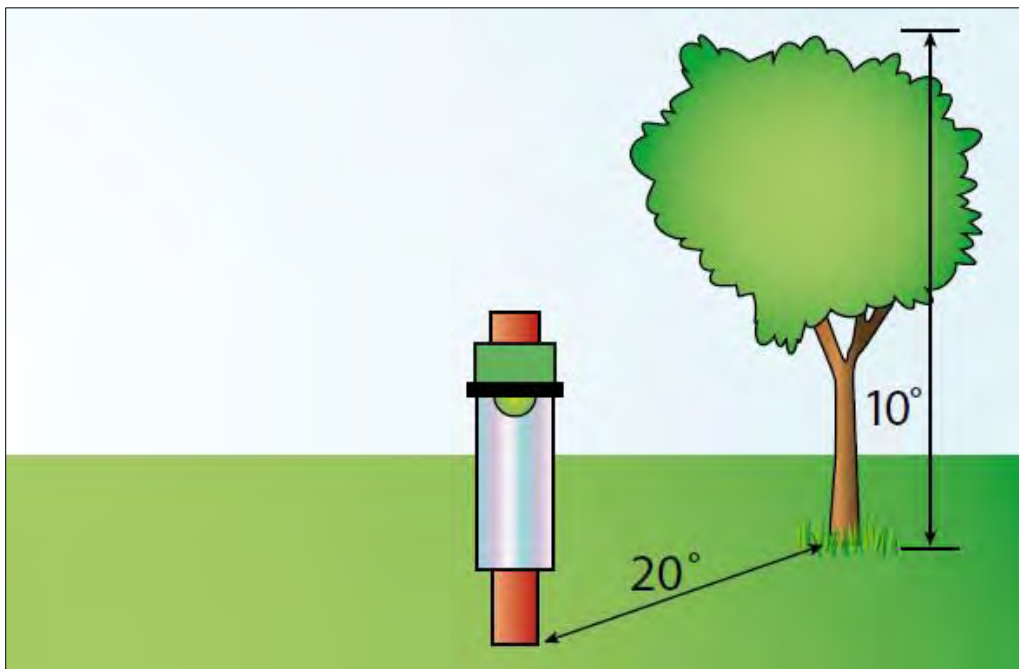
unidades lineales (mm) y cuando se habla de intensidad de precipitación se expresa en unidades lineales por unidad de tiempo (p. ej. mm/h).

4.8.1. Medición de la precipitación pluvial

La **OMM (2008)** menciona que existe métodos para medir la precipitación líquida, existen varios modelos entre ellos el de cubeta basculante, de pesada, ópticos láser, entre otros. Los pluviómetros de cubeta basculante son los más utilizados por su sencillo funcionamiento y bajo coste. Es fundamental medir el valor exacto de la precipitación y escoger cuidadosamente el emplazamiento, la forma y exposición del pluviómetro.

Figura 2

Normas técnicas para ubicación de un pluviómetro.



La figura muestra las medidas de distancia para un pluviómetro. Fuente: OMM, 2008.

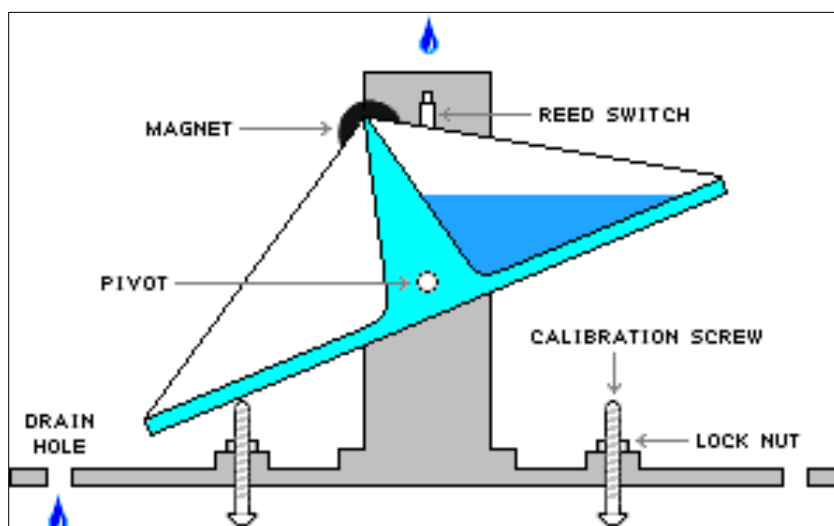
4.8.2. Pluviógrafo basculante

Según **Célleri, De Bièvre, Ochoa y Villacís (2013)** indican que los pluviómetros de cubeta basculante (tipping bucket) son dispositivos de medición continua de la precipitación. Su mecanismo capta el agua de lluvia a través de un embudo, lo dirige hacia un sistema de cubetas que tienen un volumen definido. Las cubetas funcionan como un balancín, cuando una de ellas se llena, el balancín se desequilibra y cambia de posición permitiendo que la cubeta se descargue al mismo tiempo que la otra empieza a llenarse. Cada basculación es registrada dentro de un dispositivo electrónico (datalogger) permitiendo así llevar un monitoreo y cuantificación de los regímenes de precipitación.

Según **Padrón (2013)** menciona que los pluviómetros son equipos capaces de medir lluvia acumulada e intensidades de precipitación, por lo tanto, su uso es ampliamente extendido a nivel mundial.

Figura 3

Esquema de funcionamiento de pluviógrafo automático.



En la figura se observa el funcionamiento y las partes de un pluviómetro. Fuente: Padrón, 2013.

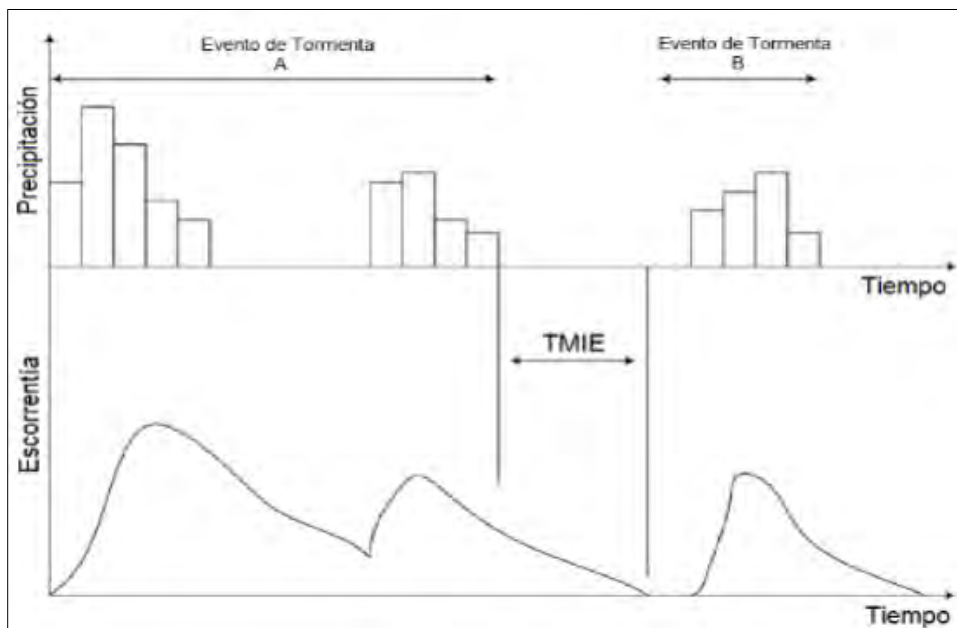
Según **Chow et al. (1994)** indica que la intensidad de precipitación pluvial es la cantidad de lluvia sobre unidad de tiempo. Un histograma es la representación de la precipitación en función del tiempo. En algunas situaciones no es suficiente la precipitación máxima para un tiempo determinado y un tiempo de retorno dado, sino también conocer la evolución de una tormenta. Un histograma refleja la distribución de las precipitaciones a lo largo de un tiempo lluvioso que se puede producir en ese punto con un periodo de retorno dado.

4.8.3. Evento de tormenta de precipitación

Según **Figuroa (2016)** un evento de tormenta pluviométrica (TP) es un patrón de precipitación que se produce en un tiempo dado, el cual inicia al incrementarse la precipitación desde cero, hasta llegar a un pico y luego decae hasta llegar nuevamente a cero, entre evento de tormenta hay un periodo de tiempo con cero de precipitación a lo cual se le denomina interevento.

Figura 4

Ciclo de una tormenta típica de precipitación pluvial.



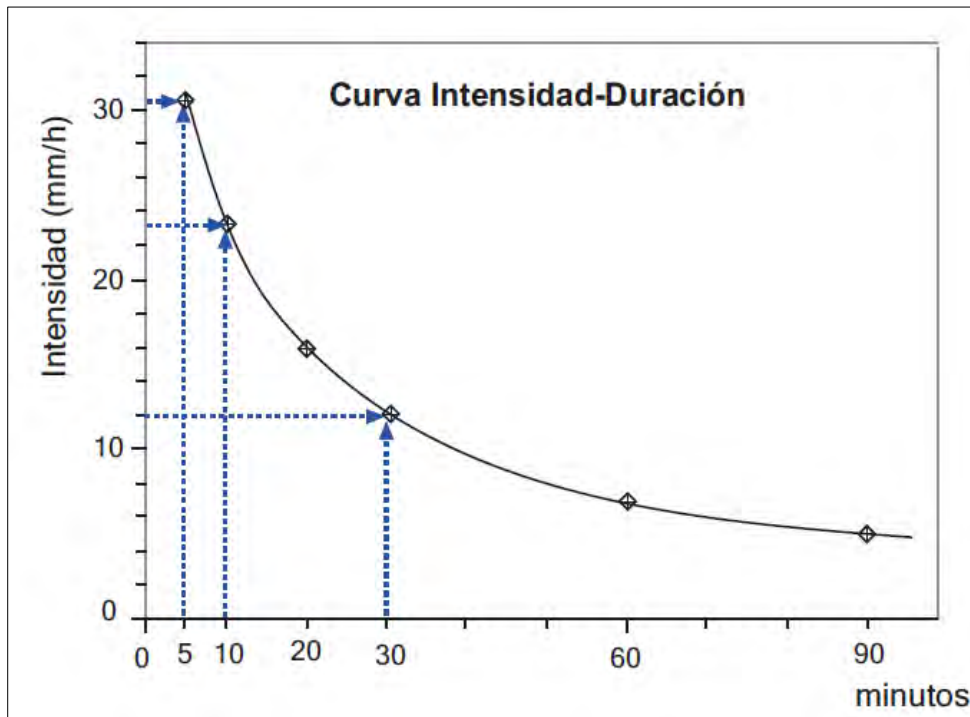
En la figura se muestra los componentes de una tormenta y como se relaciona con la escorrentía en un tiempo. Fuente: Figuroa, 2016.

4.8.3.1. Curva Intensidad-Duración

Sánchez (2004) indica que la curva intensidad-duración expresa la máxima intensidad de precipitación registrada en diversos intervalos de tiempo.

Figura 5

Curva Intensidad-Duración.



En la figura se muestra la evolución de la precipitación en función del tiempo. Fuente: Sánchez, 2004.

4.9. Escorrentía superficial

Serrato (1998) indica que la escorrentía es la parte de la precipitación pluvial que alimenta a las corrientes superficiales, continuas o intermitentes. Existen distintos tipos de escorrentía dependiendo de su procedencia. La escorrentía superficial depende de los siguientes factores:

- **Factores climáticos**, relacionados con la precipitación pluvial y evaporación

- **Factores fisiográficos**, ligados a las características físicas; como la permeabilidad, coeficiente de escorrentía y características geométricas de la cuenca; tal como son el área, pendiente y forma.

- **Factores de vegetación**, debido al tipo y densidad de vegetación determina el volumen de agua interceptada y evapotranspirada.

- **Factores de naturaleza humana**, relacionados con la intervención humana.

4.9.1. Caudal de escorrentía

La **OMM (2011)** menciona que el caudal es el volumen de agua que pasa por una sección transversal del cauce de un río en un intervalo de tiempo, se expresa en unidades de volumen por tiempo, pueden ser litros por segundo (l/s) para flujos pequeños y de metros cúbicos por segundo (m³/s) para flujos mayores. El caudal también se expresa en unidades de volumen por tiempo y por área de influencia, litros por segundo por kilómetro cuadrado (l/s/km²) a lo cual se le denomina caudal específico.

$Q = \frac{V}{T}$	Ecuación 1
-------------------	-------------------

Siendo:

Q = Caudal V = Volumen, normalmente en litros	T = Tiempo, normalmente en segundos
--	-------------------------------------

4.9.2. Medición del caudal

Según **Céleri et al. (2013)** menciona que las estaciones hidrométricas deben contar con limnógrafos (p. ej. sensores de nivel automáticos) para medir la altura de columna de agua y una sección de control, en zonas de montaña pueden ser vertederos de

pared delgada, con características geométricas conocidas y estables que permitan determinar el flujo de agua que pasa a través de ella. Las mediciones deberían ser con sensores automáticos a un paso de tiempo de 5 minutos ya que en las montañas la respuesta hidrológica ante eventos de precipitación pluvial es rápida y los caudales responden rápidamente, la mejor opción de estructura sería un vertedero de sección combinada, para registrar caudales mínimos y máximos.

Según la **OMM (2011)** indica que los caudales son calculados a partir de la relación de altura entre el agua y caudal, lo que es conocido como curva de descarga. Gráficamente los caudales se colocan en el eje de las abscisas (x) y la altura correspondiente en el eje de las ordenadas (y); en coordenadas rectangulares, la gráfica suele tener forma cóncava invertida ya que el caudal viene frecuentemente descrito por una función de potencial de la profundidad del flujo.

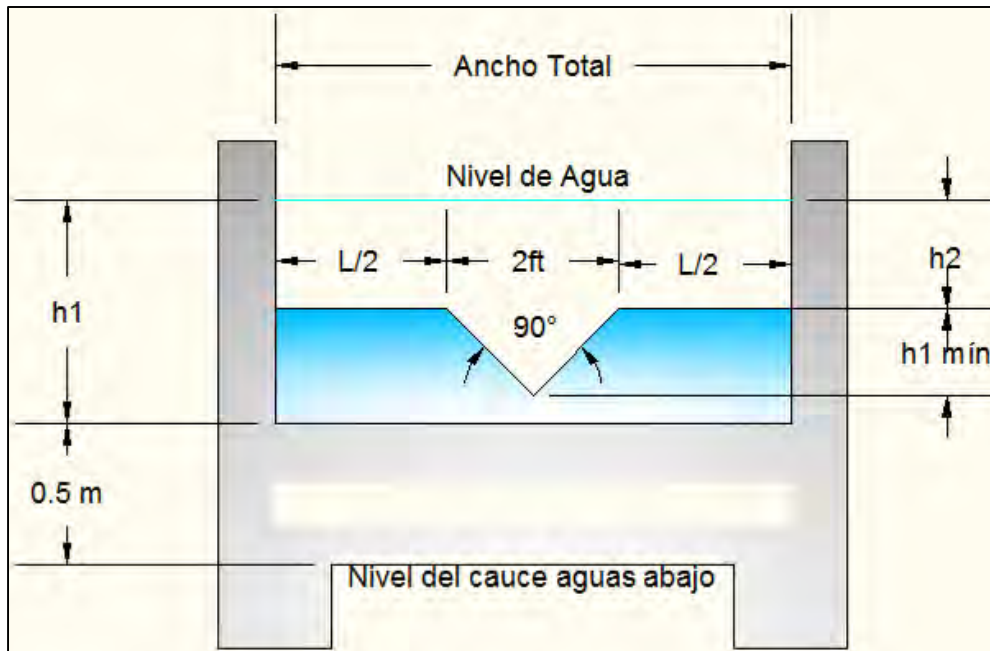
4.9.2.1. Vertederos

Según el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales del Ecuador (**IDEAM, 2007**) indica que los vertederos son dispositivos hidráulicos fijos o removibles que consisten en una escotadura a través de la cual se hace circular el caudal que se quiere medir en el canal o corriente natural. El volumen de agua que fluye por un vertedero depende de la velocidad, cuando la velocidad es considerable el volumen se incrementa y el aforo pierde precisión, por lo cual es importante remansar el agua ampliando la sección del canal arriba del sitio de la estructura para obtener velocidades mínimas < 0.15 m/s. La elección del tipo y las dimensiones del vertedero se basan, en primera instancia al caudal máximo previsto a medir o en los límites del caudal en el caso de corrientes fluctuantes. Debe tomarse en consideración lo siguiente: la altura no debe ser inferior a 6 cm. para el caudal previsto y no debe

exceder de 60 cm; así mismo para vertederos rectangulares o trapeziales, la altura no debe exceder de un tercio de la longitud del vertedero.

Figura 6

Vertedero de sección mixta.



En la figura se observa un vertedero de sección triangular para caudales bajo y rectangular, para caudales medios, consta de una estructura de concreto armado y una platina metálica. Fuente: Célleri et al., 2013.

4.9.2.1.1. Geometría y ecuación del vertedero

Según Célleri et al., (2013) indica que las características geométricas del vertedero determinan el caudal que se descarga. Entre las más comunes se encuentran las de sección rectangular y sección triangular.

Sección triangular con: $\theta = 90^\circ$, $L_t = 0.60 \text{ m}$ y $h_t = 0.30 \text{ m}$.

Sección rectangular con: $L_r = \text{entre } 1.4 \text{ y } 2.60 \text{ m}$.

Villacís, Gonzáles & Ochoa (2013) menciona sobre el cálculo del caudal se determina mediante la siguiente expresión:

Figura 7

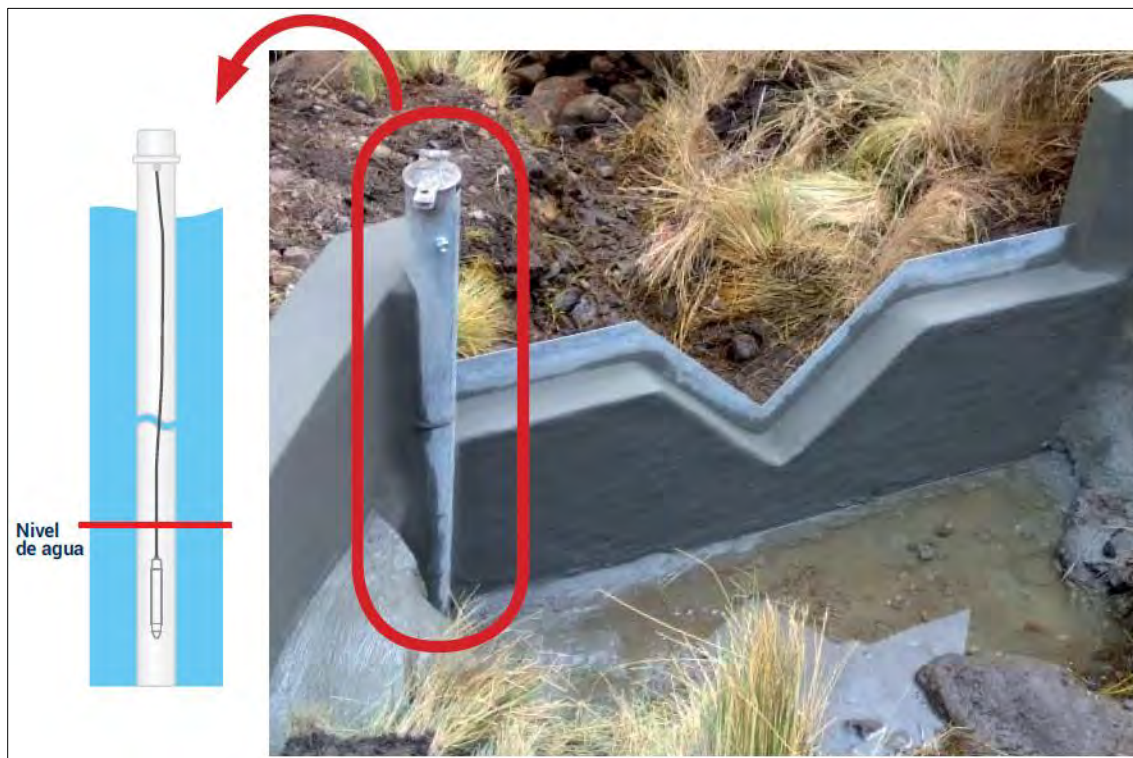
Ecuaciones de vertederos.

TIPO DE VERTEDERO	ECUACIÓN GENERAL
Rectangular	$Q = \frac{2}{3} \sqrt{2g} \mu L H^{1.5}$ <p>Q: Caudal [m³/s]. g: aceleración de la gravedad [9.81 m/s²]. μ: coeficiente de descarga. L: longitud de la cresta [m]. H: Carga hidráulica sobre la cresta [m].</p>
Triangular	$Q = \frac{8}{15} \sqrt{2g} \mu \tan\left(\frac{\phi}{2}\right) H^{2.5}$ <p>Q: Caudal [m³/s]. g: aceleración de la gravedad [9.81 m/s²]. μ: coeficiente de descarga. φ: ángulo de la cresta. H: carga hidráulica sobre la cresta [m].</p>

Q: Caudal (l/s)	ht: altura de la sección triangular (m)
H: altura de agua desde el vértice hasta la superficie de agua (m)	hr: altura de agua sobre la sección triangular (m)
Lt: ancho de la sección triangular (m)	B = Lr – Lt: ancho de la sección rectangular (ancho total del vertedero [Lr] menos el ancho de la sección triangular [Lt]) (m)
Lr: ancho de la sección rectangular (m)	

Fotografía 1

Esquema de medición automática de caudal en un vertedero de sección mixta.



En la figura se observa los componentes y estructura de un vertedero, con el sistema de medición de niveles automático. Fuente: SUNASS, 2020.

4.9.3. Índice de escorrentía

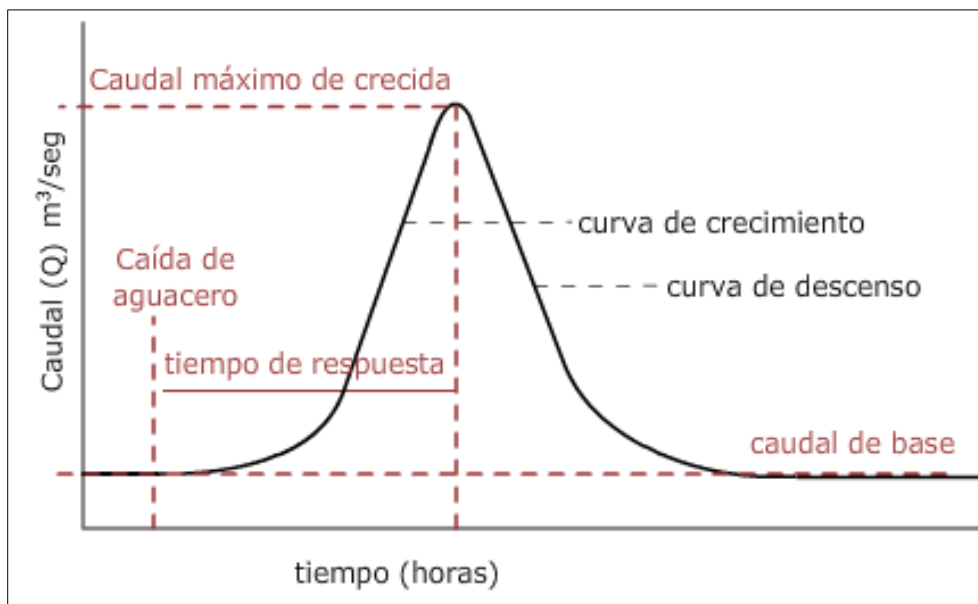
Según **Ochoa, Fitzimons y De Bièvre (2013)** el índice de escorrentía es la relación entre la cantidad de agua total que sale de una cuenca sobre la altura de precipitación que ingreso en ella durante un tiempo determinado. Es la proporción de la precipitación pluvial que ingresa a la cuenca convertida en caudal que sale de la cuenca; es decir el rendimiento hidrológico total de la cuenca, este indicador puede mostrar las pérdidas por evaporación

4.10. Hidrogramas

Según **Sánchez (2004)** indica que el hidrograma de una corriente de agua es la representación gráfica de las variaciones del caudal con respecto al tiempo, arregladas en orden cronológico en un lugar dado de la corriente del cauce de río.

Figura 8

Hidrograma unitario.



En la figura se observa las partes de un hidrograma, desde el inicio de un evento de avenida hasta su recesión. Fuente: Célleri et al., 2013.

4.10.1. Análisis de un hidrograma

Según **Chow (1994)** menciona sobre el cálculo del escurrimiento total que pasa por un cauce de río, se compone de lo siguiente:

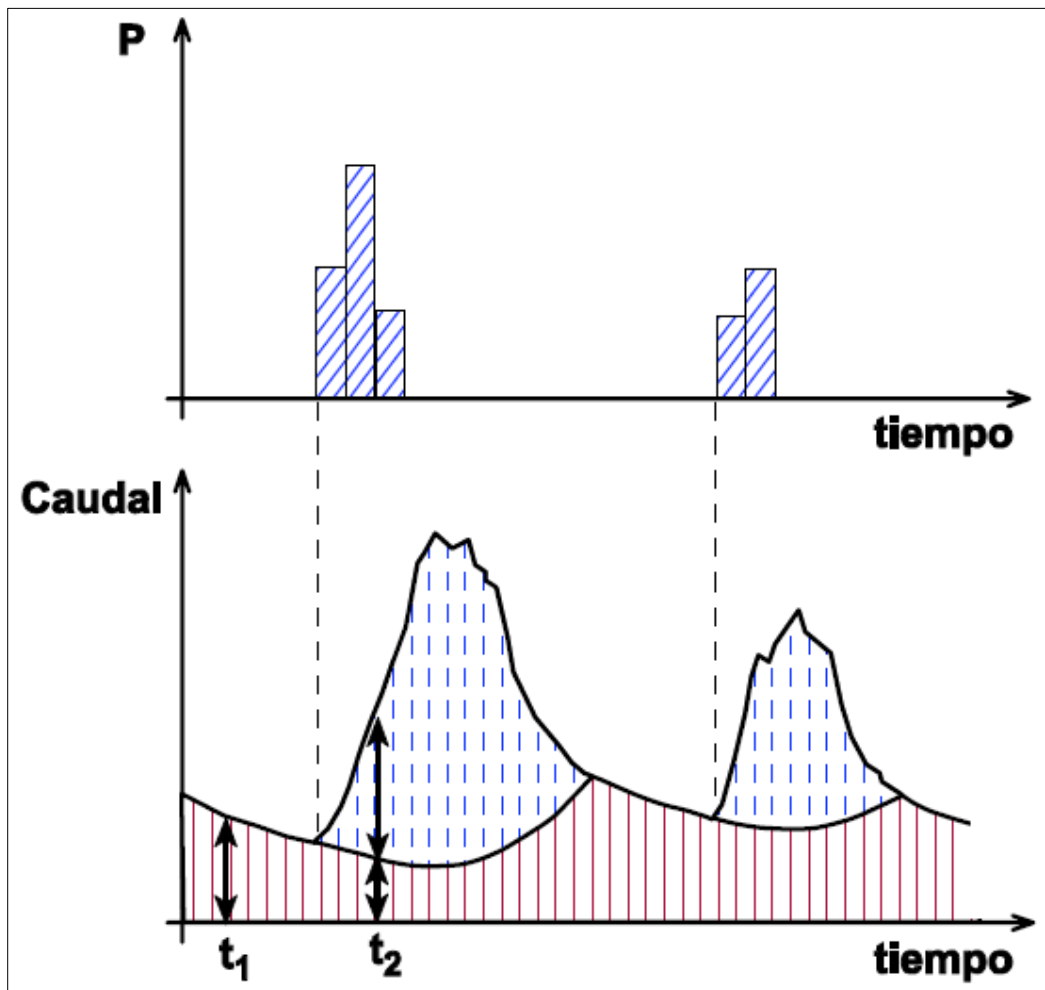
$Q = Q_d + Q_b$	Ecuación 2
-----------------	------------

Donde:

Q = Caudal total	Qb = Flujo base, producido por aporte del agua subterránea.
Qd = Escurrimiento directo, producido por la precipitación.	

Figura 9

Hidrograma en una cuenca hidrográfica.



En la figura se observa el caudal base y como se relación con los incrementos de la precipitación y caudales. Fuente: Célleri et al., 2013.

4.11. Regulación hídrica

Según **De Bièvre, Acosta y Pérez (2013)**, la regulación hídrica es la capacidad del ecosistema para almacenar agua durante la época de precipitaciones, para luego liberar lentamente durante el periodo seco o de estiaje. En zonas con clima estacional la regulación es muy importante para reducir los peligros climáticos al permitir atenuar las crecidas de los ríos por eventos de precipitación intensa y también dotar de agua en época seca.

4.12. Rendimiento hídrico

Según **De Bièvre, Acosta y Pérez (2013)**, el rendimiento hídrico es la capacidad del ecosistema de producir agua en una cuenca, existen varios factores que influyen y uno de ellos es la cobertura vegetal ya diversas especies tienen un rol al infiltrar el agua de lluvia en el subsuelo; así mismo tasa de evapotranspiración del ecosistema como pérdidas por evaporación.

4.13. Uso de suelo y cobertura vegetal

Según **SUNASS (2020)** menciona que hay técnicas para caracterizar el tipo de cobertura y uso de suelo, el uso de imágenes de satélite tiene mejor costo-efectividad en comparación con el levantamiento topográfico convencional. No obstante, el uso de imágenes satelitales puede presentar algunas complicaciones para su aplicación como la disponibilidad para ciertas zonas con nubosidad o por la resolución de la imagen, lo cual dificulta la clasificación a detalle.

Según **Ochoa et al. (2016)** indica que la incorporación de variables de cobertura de suelo puede mejorar la habilidad de los modelos hidrológicos, pues predice y explica la relación de las variables como: rango de descarga, caudal base y curva de duración del caudal, sobre la variable de uso de suelo.

4.14. Control de calidad de datos hidrometeorológicos

Según **Aguilar (2003)** el control de calidad se utiliza para identificar errores cometidos en el proceso de toma de datos, manipulación de formatos, transmisión, y archivamiento de datos; por lo tanto debe ser rutinario efectuar este procedimiento. El procedimiento empieza por la homogenización de series de datos, para identificar y

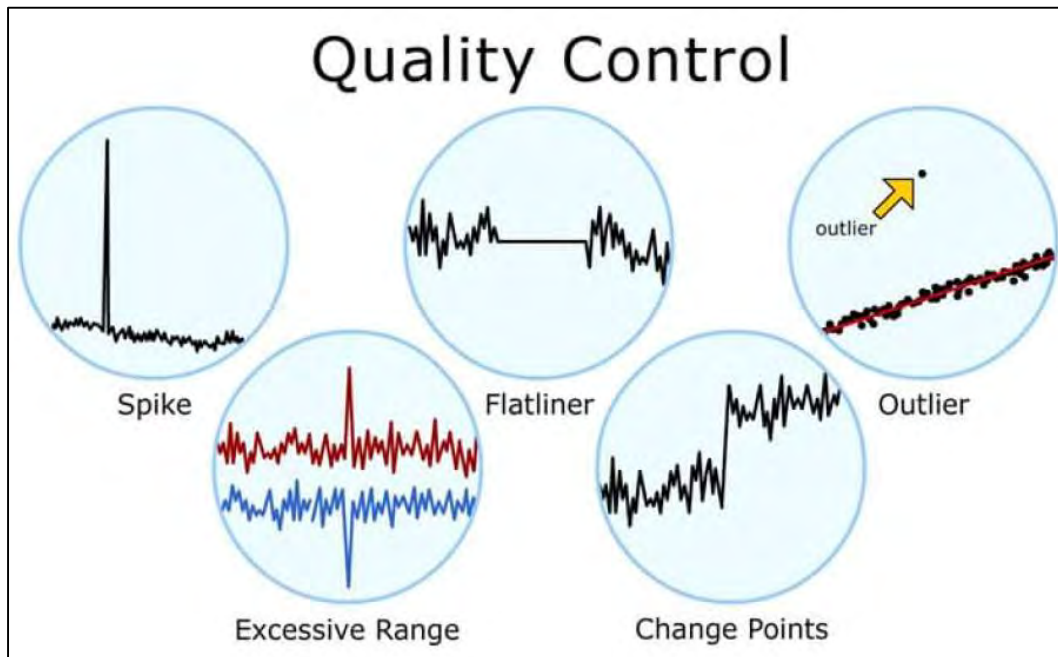
aislar errores de medición; con lo cual se quedan únicamente las variaciones del clima. Para realizar el control de calidad se utilizan herramientas informáticas para identificar picos, líneas continuas, datos extraordinarios, cambios de rango, cambios de pendiente, entre otras.

Huerta (2020) menciona que las principales fuentes de error en una serie de datos estadísticos (figura 10) corresponderían a los siguientes eventos como:

- **Pico** (spike), cuando una serie de datos excede el valor normal de la variable.
- **Serie lineal** (flatliner), cuando una línea recta que anula la variabilidad de la variable.
- **Fuera de serie** (outliner), cuando un dato excede la variabilidad de la variable.
- **Rango de excedencia** (excessive range), cuando dos series de datos exceden sus valores normales paralelamente.
- **Punto de cambio** (change points), cuando se presentan un salto de una serie de datos.

Figura 10

Tipos de errores en series de datos hidrológicos.



En la figura se observa los principales errores de datos que son registrados por un sensor de una medición ambiental. Huerta, 2020.

Según **Padrón (2013)** tener una buena base de datos es una condición fundamental para llevar a cabo de manera exitosa un sistema de monitoreo, los aspectos como la confiabilidad, duración, continuidad y la resolución (escala de tiempo). También indica que el mantenimiento frecuente asegura la buena calidad de los datos, al analizar la precipitación se pueden presentar varios los problemas y pueden alterar la medición del valor real. Las causas de error más frecuente son:

- **Errores del equipo en la medición**, cuando no está calibrado el sensor o por condiciones especiales de la zona geográfica próximas al equipo.
- **Errores sistemáticos**, cuando la serie de datos tiene una dirección detectable o aleatoria no detectables, que pueden ser inducidos por la velocidad del viento.
- **Errores de muestreo**, que se relaciona con la resolución del equipo.

El planificar globalmente, desde un inicio asegura el éxito del monitoreo, esta se debe iniciar antes de la instalación, siendo la primera actividad la búsqueda la mejor opción tecnológica tomando criterios como: localización, acceso y facilidades para la instalación de equipos. Esto permitirá un monitoreo continuo, con menor error y reducir la pérdida de información y por lo tanto menor calidad de datos. Otro aspecto importante es el elegir adecuadamente los equipos a utilizarse, el método de muestreo y la resolución temporal en la toma de datos.

4.15. Correlación estadística de Pearson

Según **Anderson et al. 1999** la correlación mide la fuerza o grado de asociación entre dos variables aleatorias cuantitativas que poseen una distribución normal bivariada conjunta. El coeficiente de correlación de Pearson que se aplica a una población se representa por la siguiente expresión:

Dado un par de variables (X, Y) , el coeficiente de correlación poblacional de Pearson se define como:

$$\rho_{X,Y} = \frac{\sigma_{XY}}{\sigma_X \sigma_Y} = \frac{\text{Cov}(X, Y)}{\sqrt{\text{Var}(X) \text{Var}(Y)}}$$

donde

- σ_{XY} es la **covarianza** de (X, Y)
- σ_X es la **desviación estándar** de la variable X
- σ_Y es la **desviación estándar** de la variable Y

V. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

5.1. Tipo de investigación

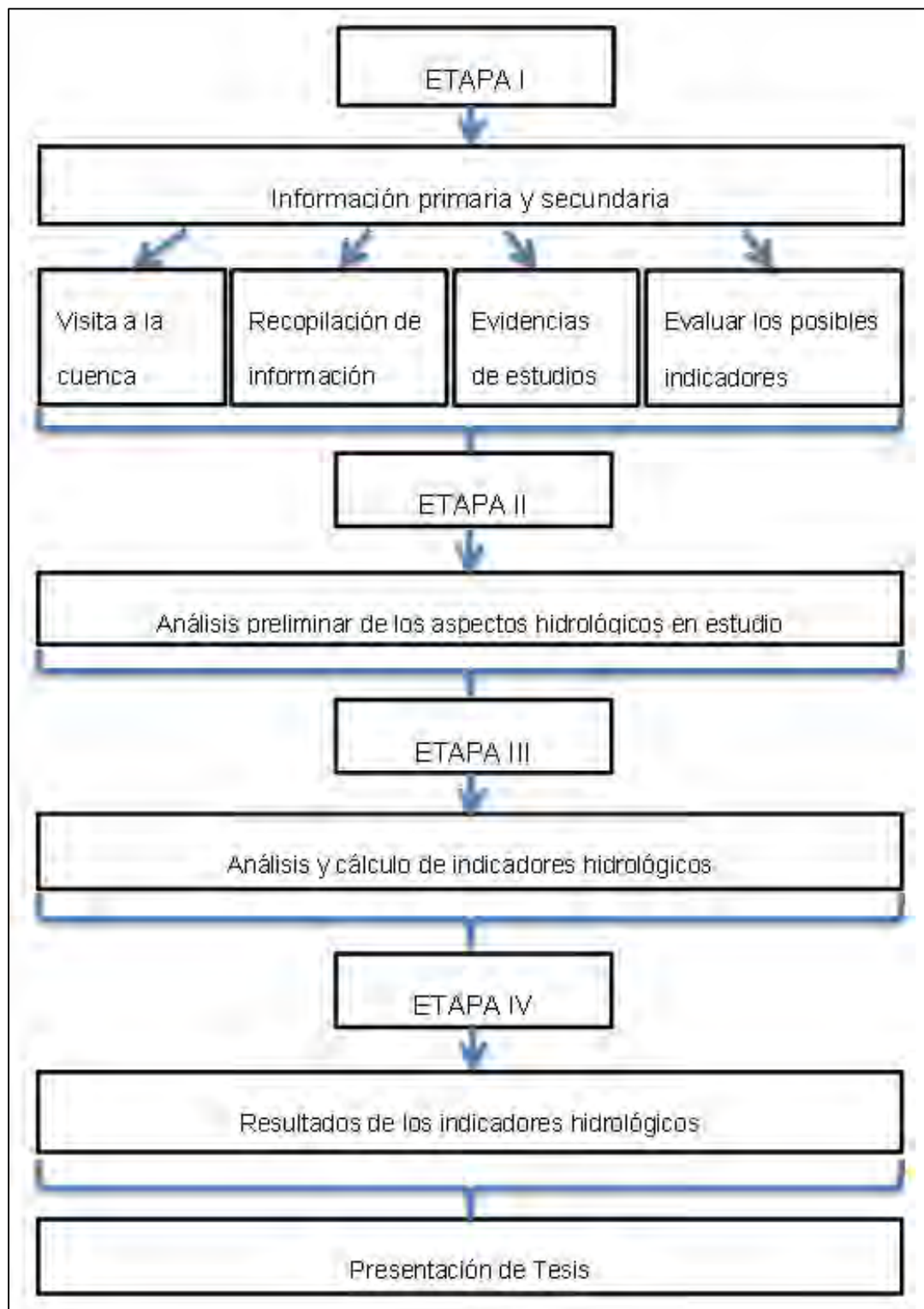
El método de investigación es descriptivo correlacional, en razón a que identifica las características de un fenómeno el cual se presenta en la microcuenca Millpu, y es correlacional ya que medirá la relación entre dos variables como es la precipitación pluvial y el caudal de escorrentía superficial.

El tipo de investigación es aplicada, de diseño no experimental, ya que busca responder la pregunta de investigación planteada mediante la observación y descripción del fenómeno que sería el comportamiento hidrológico, mediante el uso de conocimientos previos. El diseño es no experimental ya que no se manejó las variables.

La metodología del estudio de los indicadores hidrológicos de la cuenca Millpu se va a realizar en cuatro etapas, que inicia con la recolección de información primaria y secundaria, seguido del análisis preliminar, a continuación se hace el análisis y cálculo de los indicadores y finalmente culmina con la presentación de resultados.

Tabla 1

Etapas de la Investigación.



Fuente: Elaboración propia

Etapas I: Recopilación de Información primaria y secundaria

La presente investigación hace uso de fuente primaria con datos de los equipos de medición, también de fuente secundaria como son estudios previos realizados en la misma cuenca, también se hace visitas a campo donde se evidencian el componente ambiental y se contrasta con la información de las fuentes primaria y secundaria; así mismo se identifican actores clave como el Instituto de Investigación en Ecosistemas de Montaña (INAIGEM), Empresa Prestadora de Servicios (EPS SEDA CUSCO), Municipalidad Distrital de Chinchero y otras entidades, con estos actores se consulta sobre los indicadores hidrológicos más adecuados.

Etapas II: Análisis preliminar de los aspectos hidrológicos en estudio

El cálculo de los principales indicadores hidrológicos, geomorfológicos, cobertura y uso de suelo se utiliza la metodología de IMHEA. La elección de este método se debe a la disponibilidad de información a escala de microcuenca, disponibilidad de datos con resolución temporal desde 15 minutos y posibilidad de hacer conclusiones en series cortas de información.

Para caracterizar las Tormentas de Precipitación (TP) se toma los datos instantáneos de precipitación, donde la duración máxima de una tormenta será de 3 horas, valor mínimo 0.2mm con rango de intereventos de 1 hora.

Indicadores en estudio adaptados a nuestra área de estudio con la metodología IMHEA

Célleri et al. (2013) menciona que la metodología para el procesamiento de datos tiene como fin de obtener una serie de parámetros e indicadores sobre la respuesta

hidrológica de las cuencas de ecosistemas andinos, estos indicadores permiten entender la dinámica del régimen hidrológico en diferentes condiciones, los índices propuestos pueden representar las características o impactos relevantes sobre las condiciones biológicas de las cuencas como uso de suelo y cobertura vegetal. La caracterización de los regímenes hidrológicos es fundamental para entender en funcionamiento hidrológico de un ecosistema, el cual varía ampliamente por factores como su ubicación geográfica, latitud, altitud, entre otros. Los indicadores hidrológicos pueden ser utilizados para caracterizar y entender los cambios naturales y antrópicos en sus regímenes hidrológicos.

Tabla 1a. Indicadores de respuesta hidrológica

PARÁMETROS, INDICADORES Y APLICACIONES		Unidades	Intereses/preguntas							
			Caracterización	Oferta de recurso para	Regulación	Disponibilidad en sequía	Estado de conservación	Manejo (cambio de	Control de eventos	Cambio climático
	EXIGE MICROCUENCAS PARES						x	x		
PARÁMETROS DE CARACTERIZACIÓN										
BIOFÍSICOS										
	Ecosistema dominante.	-	x				x			x
	Área.	km ²	x	x						
	Forma.	-	x		x					x
	Pendiente.	%	x		x					x
	Altitud mínima (vertedero).	msn m	x							
	Altitud máxima.	msn m								
	Cobertura.	%	x	x	x	x	x	x	x	x
	Actividades / uso de la tierra.	%	x	x	x	x	x	x	x	x
	Suelos.	%	x	x	x	x	x			x
	Geología.	-	x							
PRECIPITACIÓN										
1 9	Precipitación anual.	mm	x	x						
2 0	Precipitación mensual.	mm	x	x						
1 4	Precipitación del mes más seco.	mm	x			x				
1 8	Índice de estacionalidad de la precipitación	-	x							
1 7	Intensidad máxima de precipitación acumulado cada 15 min.	mm/ h	x				x			x
1 7	Intensidad máxima de precipitación acumulado cada hora.	mm/ h	x							x
2 2	Curva de intensidad-duración de precipitación.	-	x							x
2 5	Gráficos de doble masa.	-	x							
RÉGIMEN DE CAUDAL										
Caudales bajos										
1	Caudal mínimo diario.	l/s/k m ²	x	x	x	x	x	x		

SERIE DE TIEMPO LARGA: Incertidumbre sobre procesos actuales. La Iniciativa MHEA aporta información base.

6	Q95.	l/s/k m ²	x	x	x	x	x	x	
1 2	Número de días con caudal cero.	-	x	x	x	x	x	x	
1 3	Promedio de caudal del mes más seco.	l/s/k m ²	x	x		x	x	x	
Caudales altos									
2	Caudal máximo diario.	l/s/k m ²	x	x	x		x	x	x
7	Q10.	l/s/k m ²	x	x	x		x	x	x
Caudales medios									
4	Caudal o volumen promedio diario anual o mensual.	l/s/k m ²	x	x			x	x	
5	Caudal promedio diario a largo plazo.	l/s/k m ²	x	x			x	x	
8	Q50.	l/s/k m ²	x	x			x	x	
INDICADORES DE RESPUESTA HIDROLÓGICA									
Indicadores básicos									
2 4	Visualización de series de tiempo de alta resolución.	-	x	x	x	x	x	x	x
1 0	Coefficiente de escorrentía (RC) anual.	-	x	x			x	x	
9	Índice de caudal base (Baseflow Index, BFI)	-	x	x	x		x	x	
1 1	Diferencia entre precipitación y caudal anual.	mm	x					x	
2 1	Curva de duración de caudal (FDC).	%	x	x	x		x	x	x
3	Rango de descarga (Q _{máx} /Q _{mín}).	-	x	x	x		x	x	
2 3	Indicadores cualitativos	-	x	x	x				
Indicadores complejos									
1 6	Hidrograma unitario	l/s/k m ²	x				x		x
1 5	Tiempo de respuesta	s	x		x		x		x

Lista de indicadores hidrológicos para caracterizar la hidrología en una cuenca.
Fuente: Ochoa, Fitzimons, y De Bièvre (2010).

Eta III Análisis preliminar de los aspectos hidrológicos en estudio

Una vez obtenida la información de la fuente primaria y secundaria procedemos a realizar el control de calidad, para este fin según **Aguilar (2003)** se iniciaría con el

análisis de consistencia de datos, para el presente trabajo no se considera hacer la homogenización de series, en vista que no se tiene la serie de información larga. Posteriormente y teniendo los datos consistentes se hace los cálculos de los diferentes indicadores mediante tablas dinámicas del software MS-Excel y script en Rstudio.

Etapas IV: Entrega de resultados

Finalmente se hace la redacción y presenta los resultados.

5.2. Ámbito de investigación

En este capítulo describimos la ubicación espacial, ubicación temporal y aspectos físicos como son: clima, zonas de vida, geología y fisiografía.

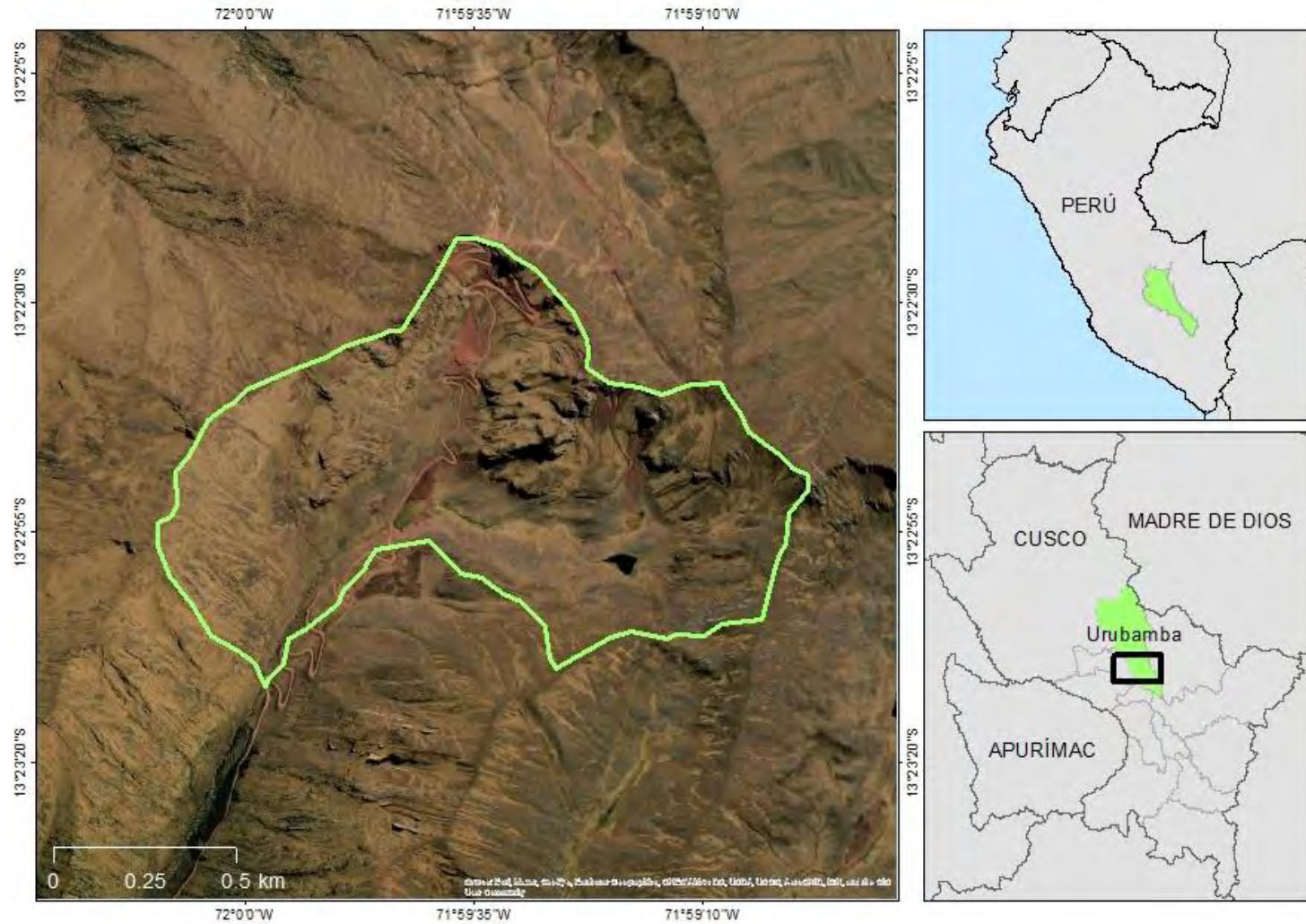
El estudio se realizó en la microcuenca Millpu, localizado en la vertiente oriental del Perú, en la sub cuenca Urubamba, distrito de Chinchero, provincia de Urubamba.

5.2.1. Ubicación geográfica

Altitud media: 4385m.s.n.m.	Este: 825710.35 m.
	Norte: 8518742.24 m.

Figura 11

Mapa de ubicación geográfica de la microcuenca Millpu.



Fuente: Elaboración propia.

5.2.2. Ubicación hidrográfica

Departamento: Cusco	Distrito: Chinchero
Provincia: Urubamba	Sector: Piuray

Figura 12

Mapa de delimitación política de la microcuenca Millpu.



Fuente: Aybar, 2018.

5.2.3. Ubicación hidrológica

Cuenca:	Vilcanota
Sub cuenca:	Huarocondo
Microcuenca:	Millpu

Figura 13

Mapa de delimitación hidrológica de la microcuenca Millpu.



Signos Convencionales

- Límite Provincial
- Río Vilcanota
- Lagos y Lagunas
- Ríos Secundarios
- Subcuencas

Fuente: Aybar, 2018.

5.2.4. Ubicación temporal

Inicio: Octubre 2018
Finalización: Septiembre 2023

5.2.5. Zonas de Vida

Según la clasificación de los sistemas ecológicos de la región andina, basada en ecorregiones y adaptado por la Gerencia de Planeamiento, Presupuesto y Acondicionamiento Territorial (GORE Cusco). La zona de estudio corresponde a la ecorregión de Puna Central Andina Húmeda, en el subsistema de la Puna Húmeda (P-Aa-PH).

Fotografía 2

Pastizal de puna en la microcuenca del Millpu



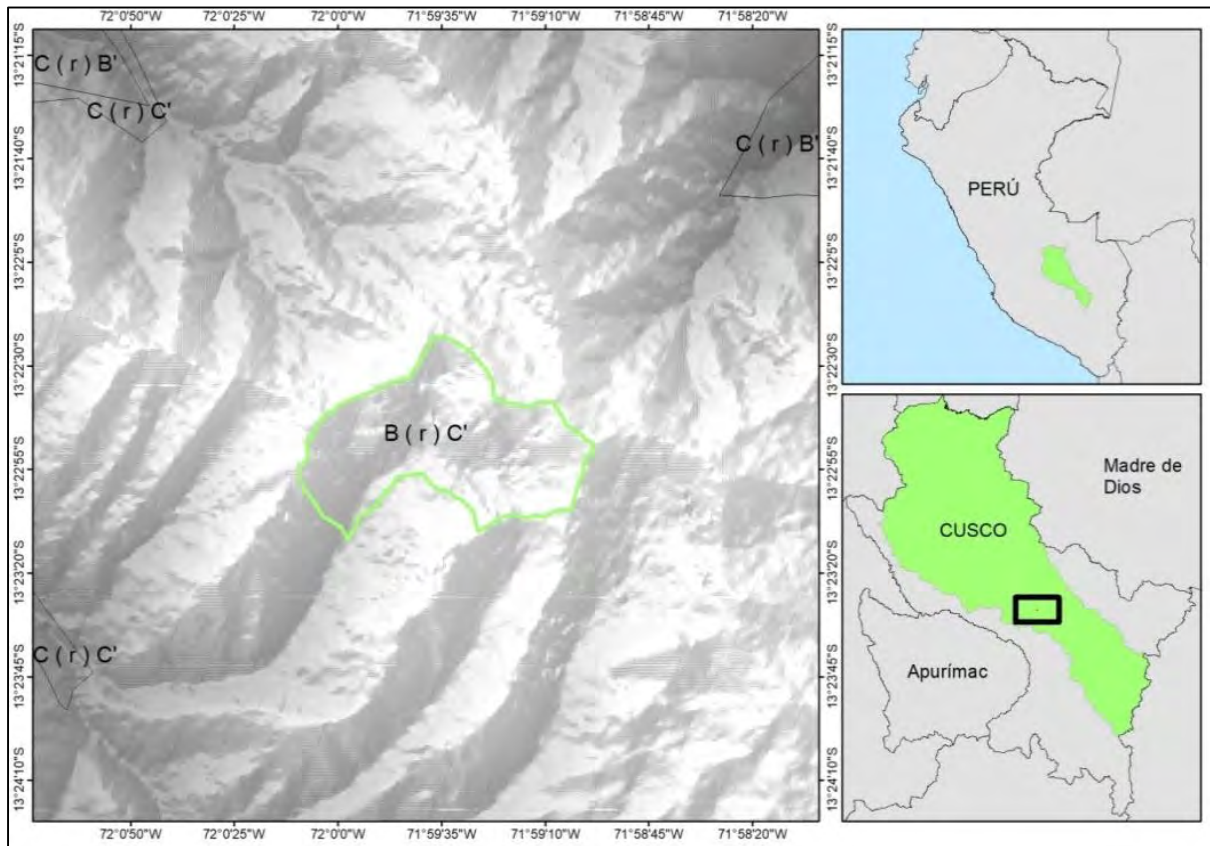
Fuente: Elaboración propia.

5.2.6. Clasificación climatológica

Según **SENAMHI (2020)** el Perú cuenta con 38 climas, según dicha publicación la zona de estudio presenta un clima Frio templado, con humedad abundante en todas las estaciones del año (BrC).

Figura 14

Mapa de clasificación climática de la microcuenca Millpu.



Fuente: Elaboración propia.

5.2.7. Caracterización climatológica

El análisis climático a nivel regional se realizó en base a los datos meteorológicos de la red de estaciones del SENAMHI, se han utilizado 2 estaciones meteorológicas con variables de precipitación pluvial del periodo 1964 al 2015 que se puede apreciar en la Tabla 1; asimismo, fue necesario incorporar los datos del producto Peruvian Interpolation data of the SENAMHI's Climatological and hydrological Observation (PISCO v1.0), este producto esta generado en base a mediciones por satélite, información de campo y técnicas geoestadísticas, los cuales muestran la precipitaciones a una escala de grilla de 0.05° (1 km^2).

En base a los datos observados de precipitación pluvial podemos indicar que tiene un comportamiento estacional y mayoritariamente concentrado en la estación de verano (diciembre, enero y febrero) y en menor medida en primavera (setiembre, octubre y noviembre).

Tabla 2

Ubicación de estaciones meteorológicas Senamhi.

Departamento	Estación Meteorológica	Ubicación		
		Latitud	Longitud	Altitud m.s.n.m.
CUSCO	Anta	-13.4683	- 72.21583	3340
	Urubamba	-13.3106	- 72.12389	2863

Figura 15

Registro de precipitación multianual promedio mensual (1970-2019).

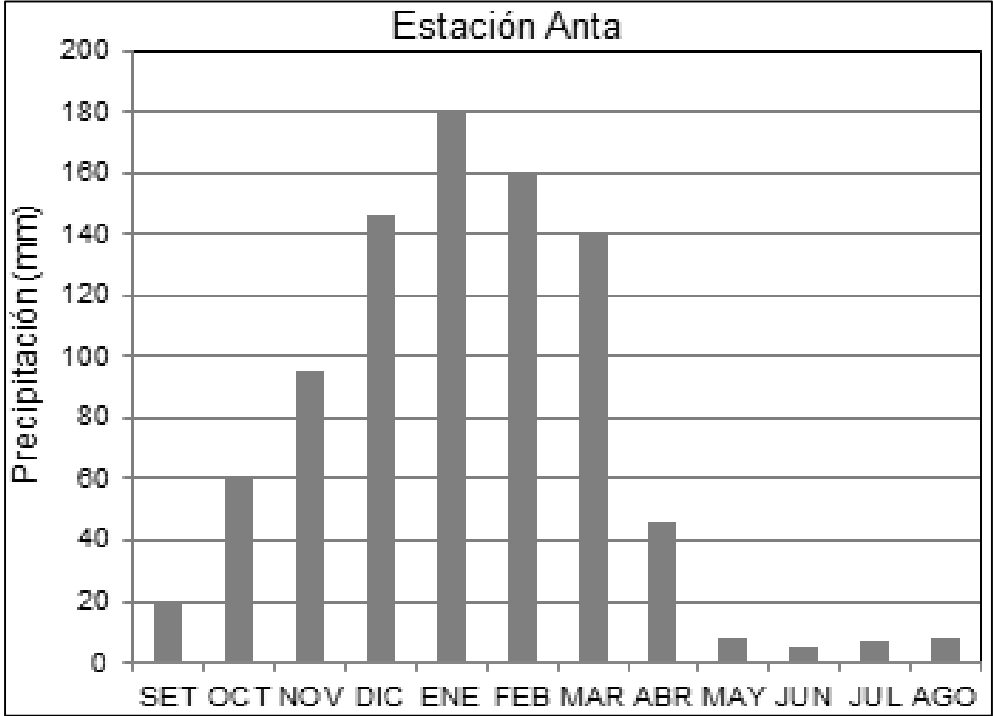
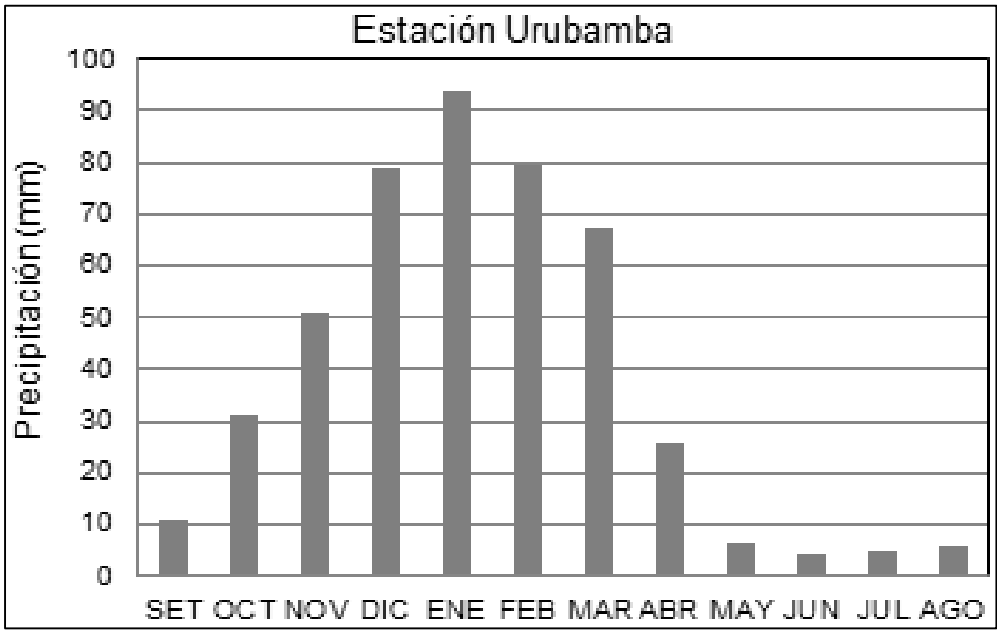


Figura 16

Registro de precipitación multianual promedio mensual (1970-2019).



Fuente: Elaboración propia.

5.3. Materiales y metodología

En este capítulo se describe los instrumentos y materiales utilizados; así mismo se describe la metodología.

5.3.1. Materiales

- Lápices y lapiceros.
- Series diarias de precipitación pluvial, 1970 – 2019.
- Series diarias de precipitación del producto grillado PISCO v1.
- Carta Nacional versión digital en escala 1:100000.
- Modelo de Elevación del Terreno ASTER GDEM de 30m.
- Base de datos espaciales digital del ZEE-OT 2016 (GORE Cusco).
- Mapa de cobertura vegetal (EPS SEDA Cusco).
- Mapa de suelos (EPS SEDA Cusco).
- Mapa geomorfológico (EPS SEDA Cusco).
- Software: MS-Excel, ArcGis v10, Google Earth, Rstudio y MS Word.

5.3.2. Equipos

- Receptor Navegador GPS Garmin Etrex Legend.
- Cámara fotográfica.
- Laptop Core 2 dúo (Sistema operativo de 64 bits)
- Disco duro externo 1 TB.

5.3.2.1. Instrumentos de medición

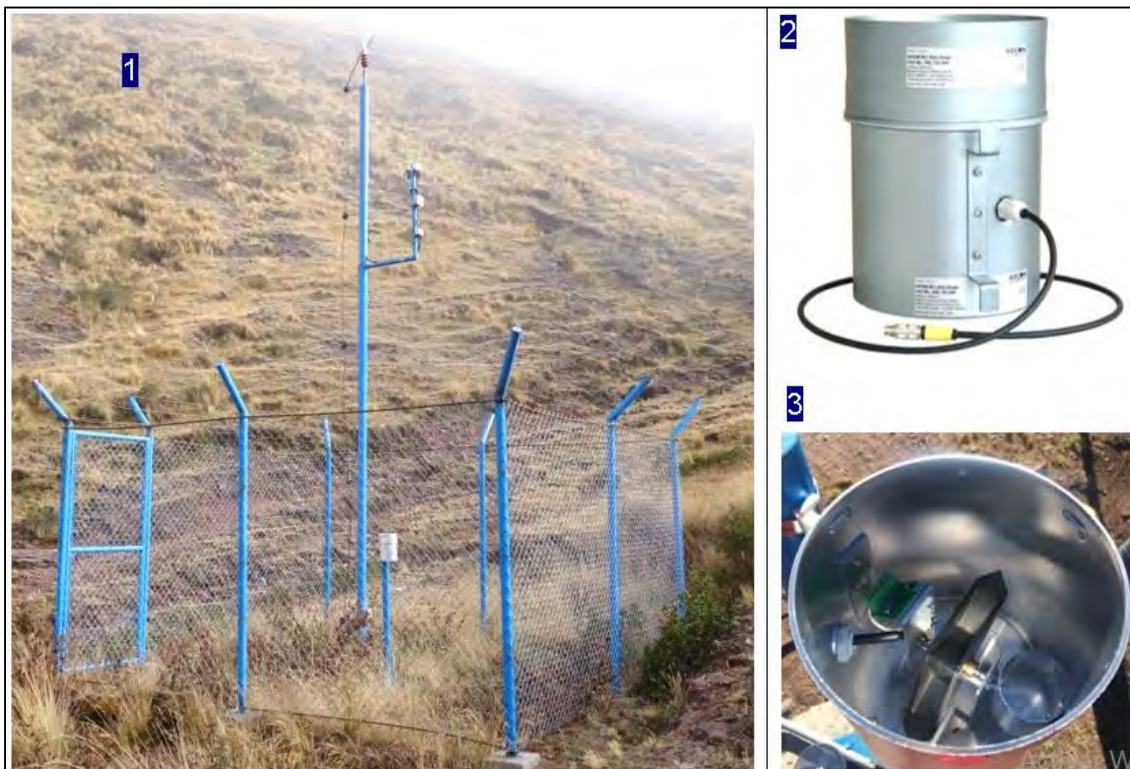
En esta parte describimos las especificaciones técnicas de los instrumentos

5.3.2.1.1. Sensor de precipitación

- Marca: Adcom, modelo RG1.
- Tipo: cubeta basculante.
- Resolución: 0.2mm.
- Precisión: <2% hasta 60mm/hr.
- Área de captación: 200 cm²

Fotografía 3

Sistema de monitoreo de la precipitación pluvial.



En las fotografías se muestra los componentes de un sistema de monitoreo de la precipitación, donde: 1) Estación pluviométrica automática, 2) Pluviómetro automático, 3) Sistema de cubeta basculante.

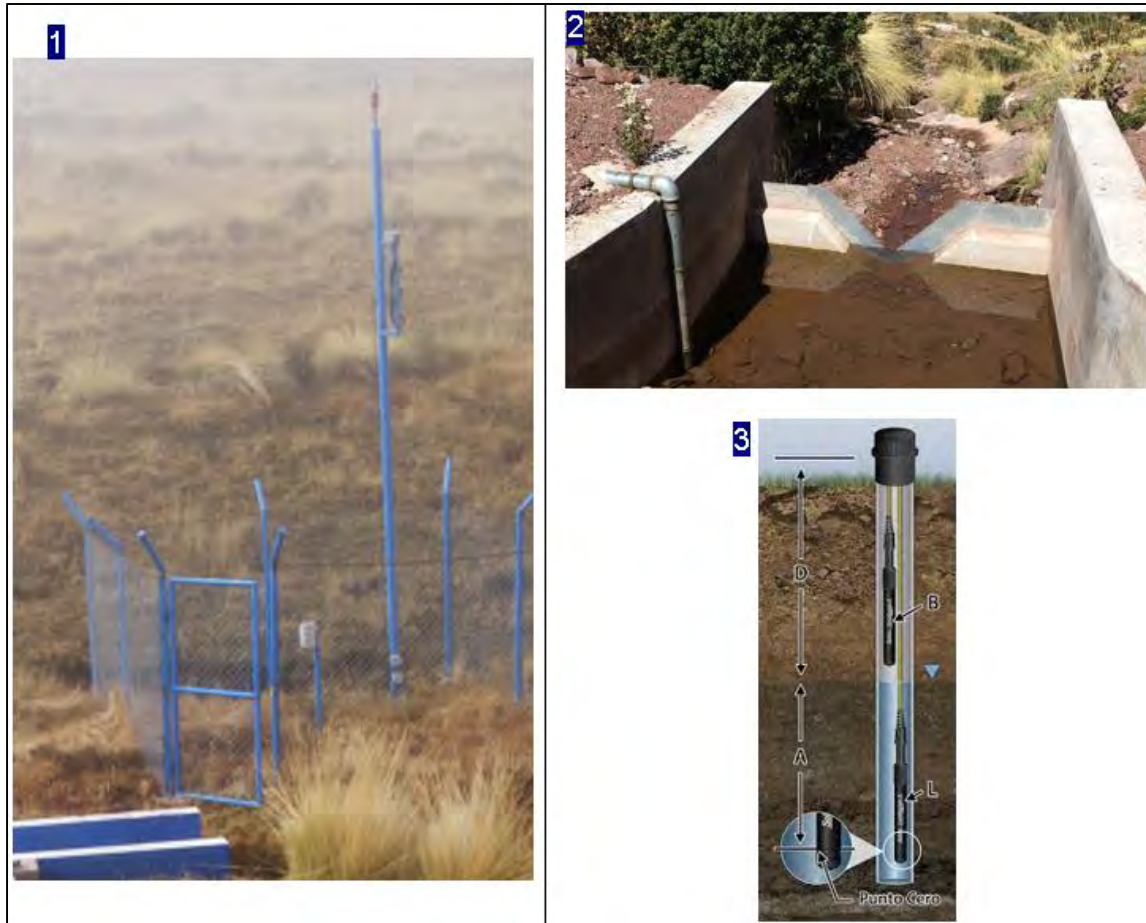
5.3.2.1.2. Sensor barométrico de nivel de agua

- Marca: Adcom modelo PA2.

- Sensor de nivel piezométrico autocompensado.
- Precisión: <1%.

Fotografía 4

Sistema de monitoreo de caudales.



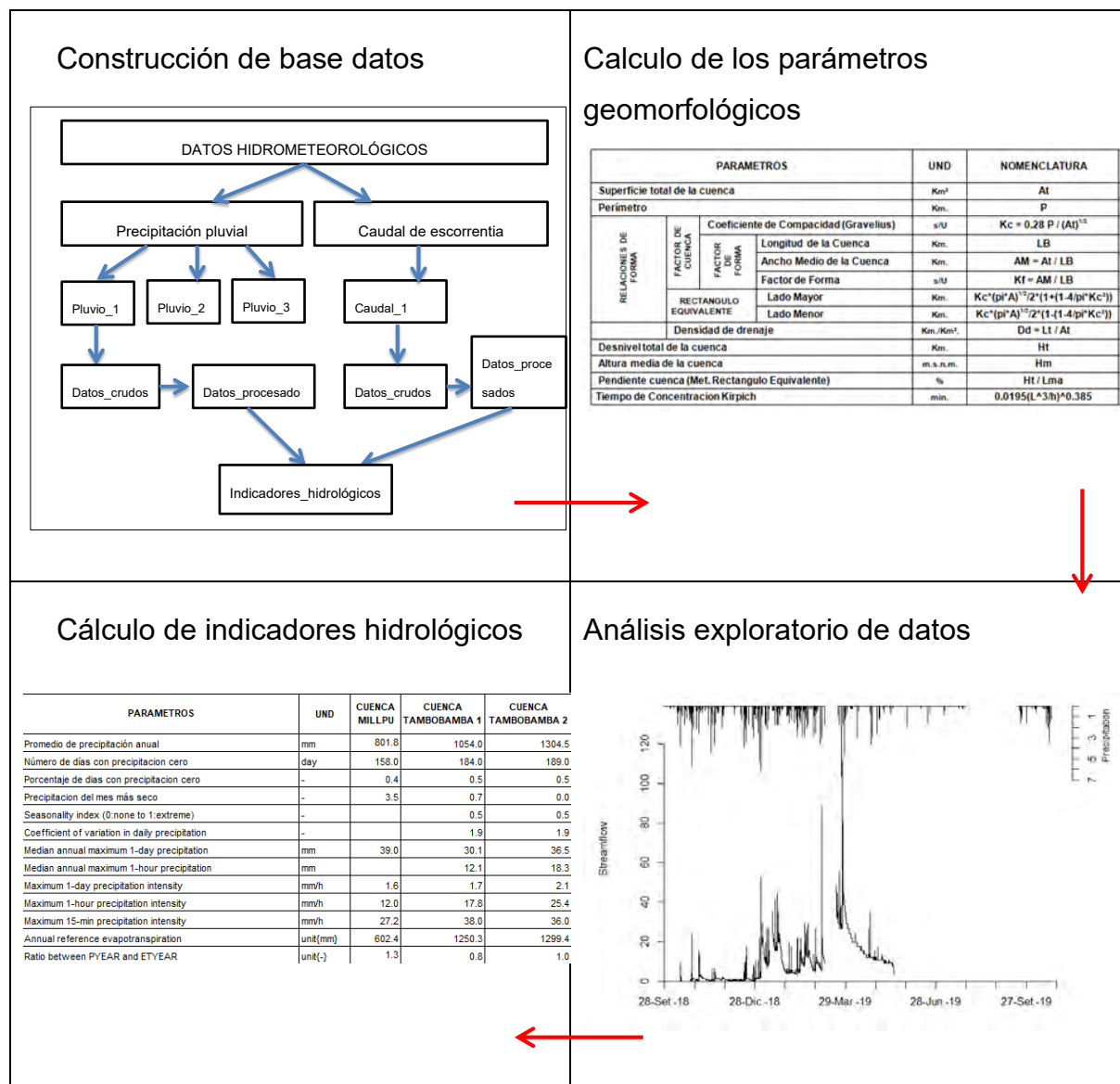
En las fotografías se muestra los componentes de un sistema de monitoreo de caudales, donde: 1) Estación hidrométrica automática, 2) Vertedero de sección mixta, 3) Sensor de presión hidrostática.

5.3.3. Metodología

A continuación se describe la metodología para la obtención de los parámetros geomorfológicos e indicadores hidrológicos. El procedimiento se inició con el diseño de una base de datos que permitió organizar jerárquicamente la información, luego se adquirió la información primaria y secundaria, seguidamente se analizó las características físicas del territorio, con esta información y mediante el uso de hojas de cálculo MS Excell y herramientas SIG, permitió obtener los parámetros geomorfológicos; así mismo para la precipitación pluvial y caudales se analizó los datos provenientes de las estaciones automáticas, luego se hizo el control de calidad, y finalmente se calculó los indicadores, esto mediante el uso de hojas de cálculo en software MS Excell y script en el software Rstudio, ambos proporcionados por la red IMHEA. A continuación se describe las etapas para el análisis de la información.

Figura 17

Esquema metodológico para la obtención de Indicadores Hidrológicos.



Fuente: Elaboración propia.

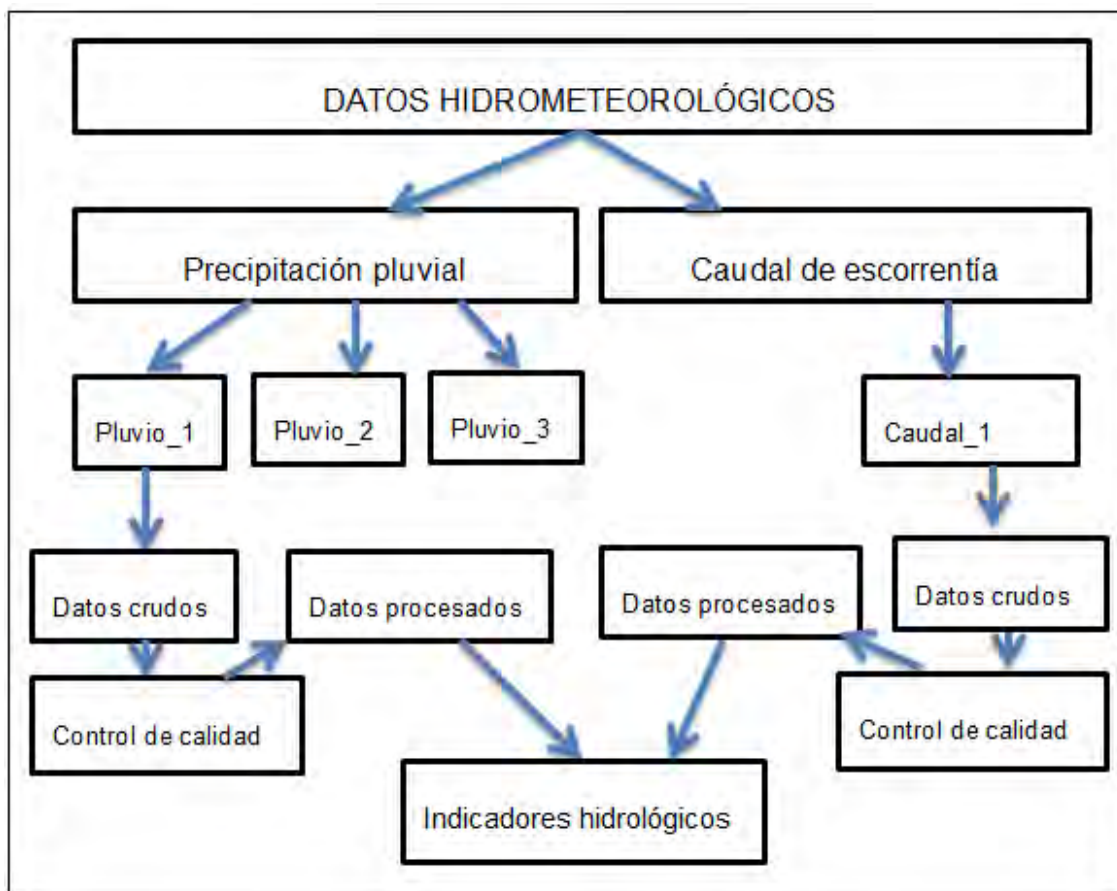
5.3.3.1. Construcción de una base de datos

Para iniciar un análisis eficiente de la información hidrológica se debe tener en cuenta revisar protocolos de instalación y análisis de datos, por lo cual se ha organizado la información de la siguiente forma:

En primer lugar se ha realizado visitas a la zona de estudio para observar la correcta instalación del instrumental, en segundo lugar se ha organizado la información en una base de datos (Figura 17), en tercer lugar se hace uso de hojas de cálculo en MS-Excel y Rstudio, para finalmente calcular los indicadores hidrológicos.

Figura 18

Esquema de base de datos.



Fuente: Elaboración propia

5.3.3.2. Análisis de los parámetros geomorfológicos

Los parámetros geomorfológicos nos permitirá conocer el comportamiento de la cuenca según su fisiografía y como podría afectar a los procesos hidrológicos. Los resultados se han obtenido automáticamente a partir de la creación de una

geodatabase asociada a la cartografía de la microcuenca, lo cual permite desplegar en forma tabular elementos, atributos del sistema hidrológico, las herramientas informáticas utilizadas fueron MS-Excel y ArcGis10.

El análisis geomorfológico se inició con la delimitación de la unidad de estudio, con lo cual se obtienen el área y perímetro, seguidamente se hace un corte del Modelo Digital del Elevación (DEM), luego se generan los cursos de agua donde se jerarquiza según el orden de las corrientes con la metodología Pfafstetter modificado, seguidamente se generan las pendientes, y finalmente se determina la curva hipsométrica.

Tabla 3

Fórmulas para cálculo de los parámetros geomorfológicos.

PARAMETROS			UND	NOMENCLATURA	
Superficie total de la cuenca			Km ²	At	
Perímetro			Km.	P	
RELACIONES DE FORMA	FACTOR DE CUENCA	Coeficiente de Compacidad (Gravelius)		s/U	$Kc = 0.28 P / (At)^{1/2}$
		FACTOR DE FORMA	Longitud de la Cuenca	Km.	LB
			Ancho Medio de la Cuenca	Km.	$AM = At / LB$
	RECTANGULO EQUIVALENTE		Factor de Forma	s/U	$Kf = AM / LB$
			Lado Mayor	Km.	$Kc * (\pi * A)^{1/2} / 2 * (1 + (1.4 / \pi * Kc^2))$
			Lado Menor	Km.	$Kc * (\pi * A)^{1/2} / 2 * (1 - (1.4 / \pi * Kc^2))$
Densidad de drenaje			Km./Km ² .	$Dd = Lt / At$	
Desnivel total de la cuenca			Km.	Ht	
Altura media de la cuenca			m.s.n.m.	Hm	
Pendiente cuenca (Met. Rectangulo Equivalente)			%	Ht / Lma	
Tiempo de Concentracion Kirpich			min.	$0.0195(L^3/h)^{0.385}$	

5.3.3.3. Análisis de cobertura vegetal

La información de cobertura de uso de suelo fue obtenida a partir de las imágenes satelitales WorldView-2, Sentinel 2, GeoEye con resolución submétrica que fue donada por El Proyecto Infraestructura Natural para la Seguridad Hídrica (INSH)

iniciativa promovida y financiada por la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID) y MAXAR NextView disponibles del año 2015 y 2016, corresponden a meses con menor cobertura de nubes; así mismo se usa imágenes Google Earth de la época seca y húmeda, para diferenciar los tipos de cobertura vegetal. Para la obtención de las áreas se hizo la caracterización mediante visualización de imágenes satelitales usando el software ArcGis 10 herramientas Spatial Analysis y también se hizo visitas de campo, para contrastar la correspondencia de la imagen satelital con lo observado en terreno.

Para la caracterización de la vegetación y uso de suelo se utilizó la metodología de IMHEA (2013) y SUNASS (2020).

Tabla 4

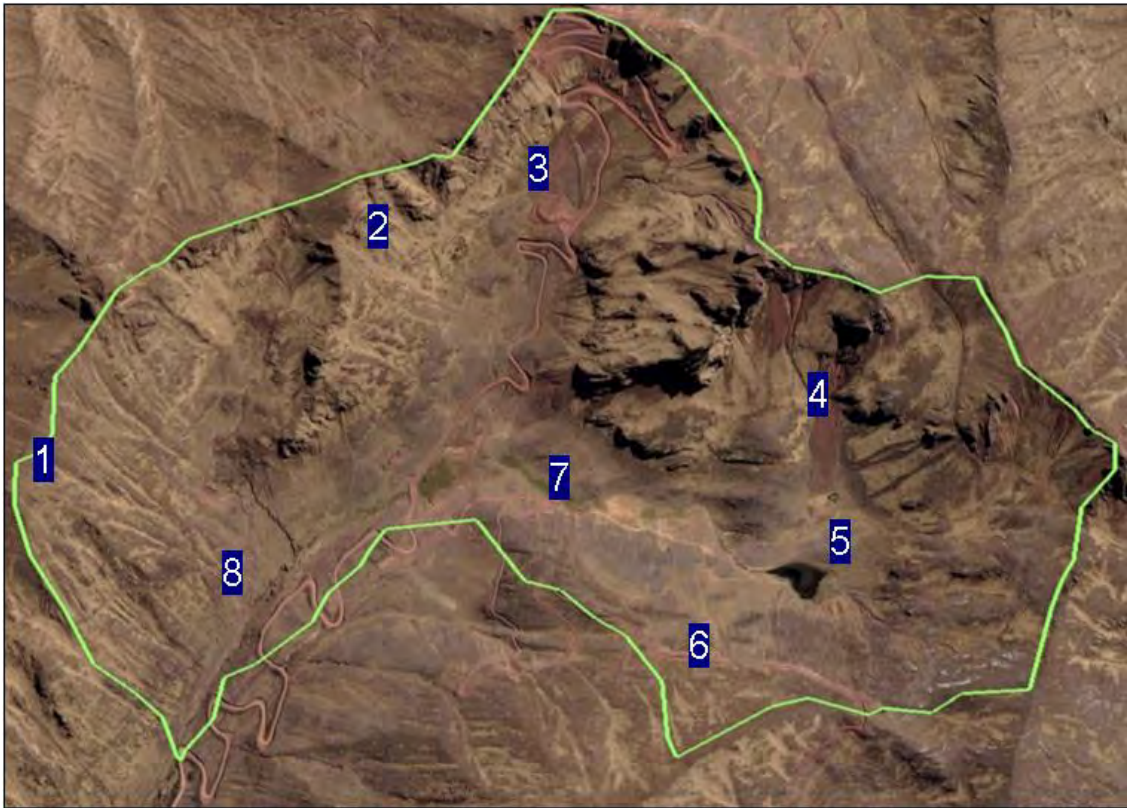
Clasificación de la cobertura y uso de suelo

Land cover		
LC _{GRASS}	Grass, tussock grass, and short vegetation	%
LC _{FOREST}	Native and exotic forest, crops, and tall vegetation	%
LC _{WETLAND}	Wetlands, lagoons, and saturated areas	%
Land use		
LU _N	Natural or conservation	-
LU _A	Cultivation	-
LU _G	Grazing	-
LU _F	Afforestation	-

En la Figura 19 se observa la zonificación de tipos de cobertura vegetal predominante y estado de conservación, en la Fotografía 6 se observa pastizales con problemas de erosión laminar con la consecuente pérdida de materia orgánica. Fte: Ochoa, 2016

Figura 19

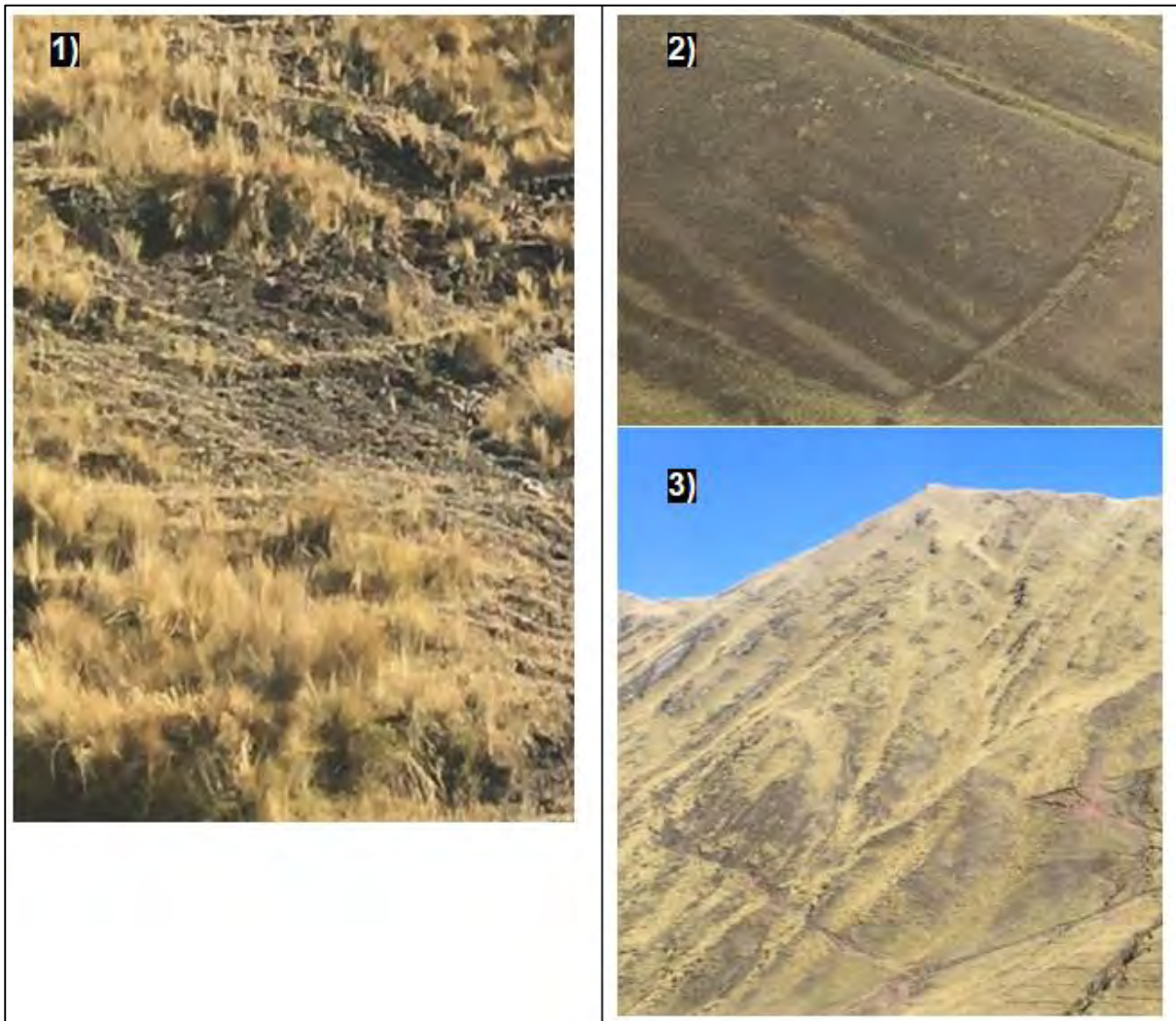
Tipos de cobertura de suelo.



La figura muestra la disposición espacial de los puntos de cobertura de suelo dominante: 1,2,6 Pastizal, 3,4 Suelo desnudo, 5 laguna, 7 bofedal, 8 matorral.

Fotografía 5

Cobertura vegetal de pastizal.



Estado de conservación de los pastizales. La fotografía 1 pastizal con sobrepastoreo, 2) pastizal degradado por pérdida de materia orgánica, 3) pastizal conservado.

Fotografía 6

Suelo desnudo.



En la fotografía 1,2 suelo desnudo por remoción para construcción de carretera.

Fotografía 7

Laguna permanente.



En la figura se observa la formación de una laguna permanente producto las acciones de siembra de agua.

Fotografía 8

Cobertura vegetal de matorral altoandino.



Fotografía 1. T'ayanca (*Baccharis buxifolia*), 2. Llaulli (*Barnadesia horrida*).

5.3.3.4. Análisis de las variables hidrometeorológicas

El análisis de las precipitaciones y el caudal se hizo en base al uso de sensores de precipitación y niveles de columna de agua que serán convertidos a caudales.

También se utilizaron fuentes secundarias, para comparar patrones espaciales y temporales de las series observadas de precipitación, el producto utilizado fue PISCO del SENAMHI con una resolución espacial de 1 km² y resolución temporal a paso de 24 horas.

En la Figura 20 se observa la ubicación de los pluviómetros y vertederos en la cuenca Millpu

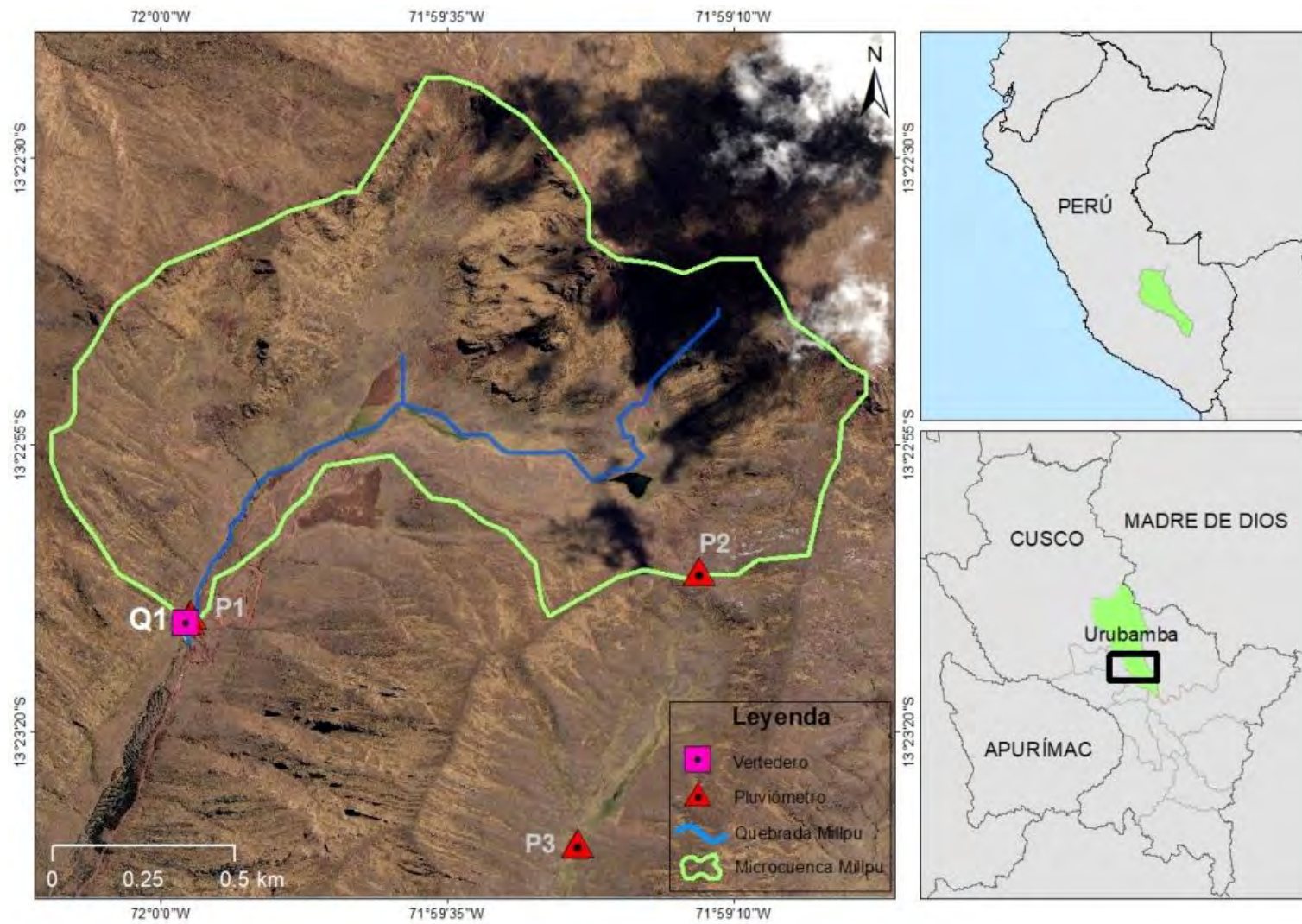
Tabla 5

Coordenadas de las estaciones meteorológicas.

Estación	Nombre	Código	Latitud	Longitud	Altitud
Pluviómetro 1	Millpu_1	Plu_1	-13.3851	-71.9986	4135
Pluviómetro 2	Millpu_2	Plu_2	-13.3849	-71.9869	4360
Pluviómetro 3	Cancan_1	Plu_3	-13.3919	-71.9899	4264
Vertedero 1	Caudal_1	Q_1	-13.3853	-71.9989	4130

Figura 20

Mapa de ubicación de pluviómetros y vertedero en la zona de estudio.



5.3.3.4.1. Análisis de la precipitación pluvial

Para el análisis de la precipitación pluvial se inicia con la medición del evento mediante un pluviómetro, seguidamente los datos son transmitidos mediante señal de radio UHF e internet, luego se ordena y jerarquiza en una base de datos, posteriormente se realiza el control de calidad con la utilización de herramientas estadísticas del software Rstudio y MS-Excell, finalmente se calcula los indicadores hidrológicos.

Fotografía 9

Estaciones pluviométricas N° 1 en MC: Millpu



Figura 1) Estación pluviométrica N°1 sector Millpu bajo.

Fotografía 10

Estaciones pluviométricas N°2 en la MC. Millpu



Figura 2) Estación pluviométrica N°2 sector Millpu

Fotografía 11

Estaciones pluviométricas N°3 en la MC. Millpu



Figura 3) Estación pluviométrica N°3 sector Cancan.

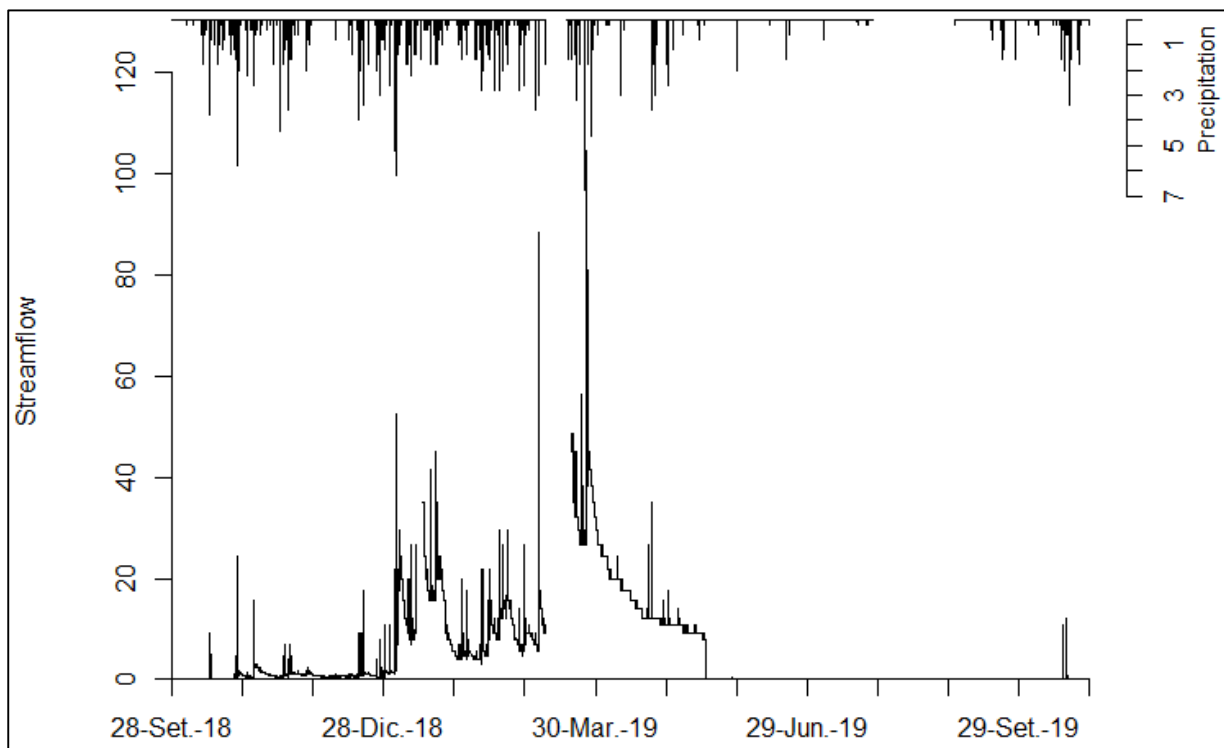
5.3.3.4.1.1. Control de calidad de los datos de precipitación

Esta ser inicia con la visualización de datos, para establecer datos anómalos, saltos, puntos de cambio.

En la figura 29 corresponde a los registros de información de la variable de precipitación y caudal con la finalidad de mostrar los datos atípicos y realizar el control de calidad de forma visual. El periodo es a partir de 01/10/2018 hasta 22/10/2019,

Figura 21

Serie total de datos de precipitación y caudal a resolución de 15 minutos.



En la figura se observa serie completa con vacíos de información de caudal.

El control de calidad se inicia con la visualización de la series de cada estación, posteriormente se realiza el análisis de consistencia, para lo cual se utiliza el método de análisis de doble masa, comparando con información de estaciones meteorológicas cercanas con el fin de eliminar los datos anómalos e incoherencias espaciales y temporales.

En la figura 30 como parte del proceso del control de calidad el 3 de julio 2019 se realizó se realizó una visita de campo, con la finalidad de calibrar los sensores de precipitaciones, esta información ha sido valiosa porque ha permitido evaluar la precisión y exactitud de las mediciones, los resultados de estas mediciones no

podieron ser contrastadas ya que durante el tiempo de calibración hubo pérdida de datos.

Fotografía 12

Calibración de pluviómetro



En la figura se observa el procedimiento de calibración dinámica de la precipitación (3/7/2019), el cual no pudo ser registrado por pérdida de datos.

Figura 22

Comportamiento de la precipitación en pluviómetro N°1

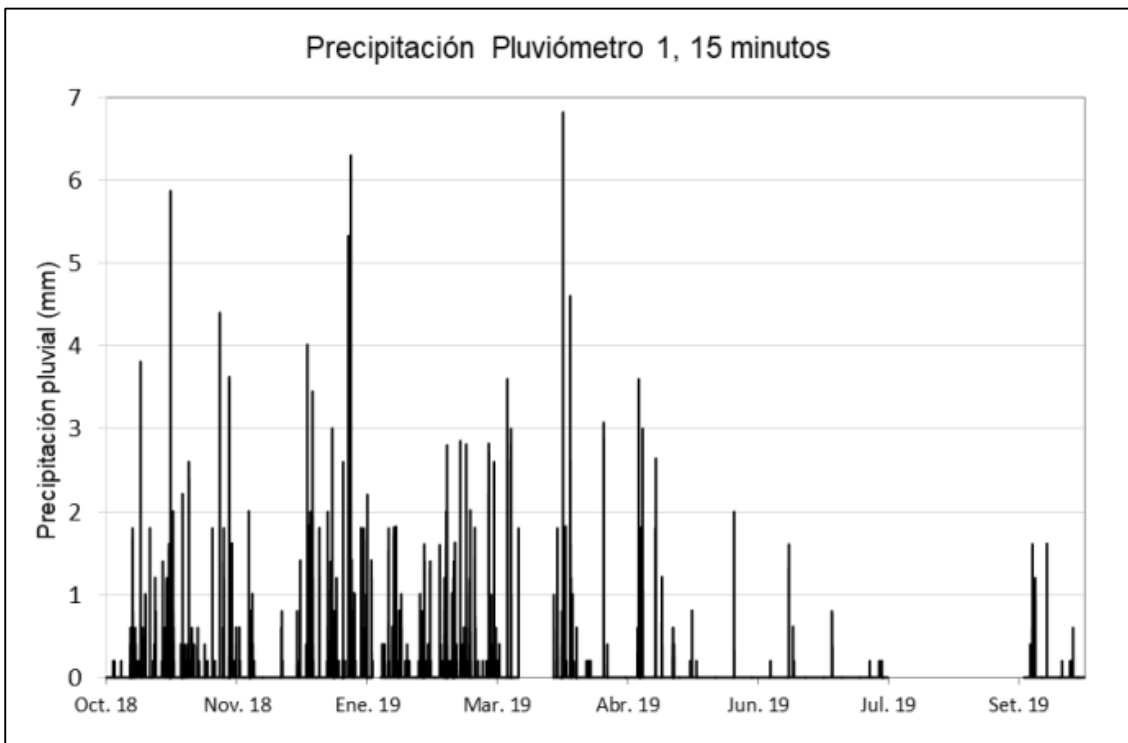


Figura 23

Comportamiento de la precipitación en pluviómetro N°2

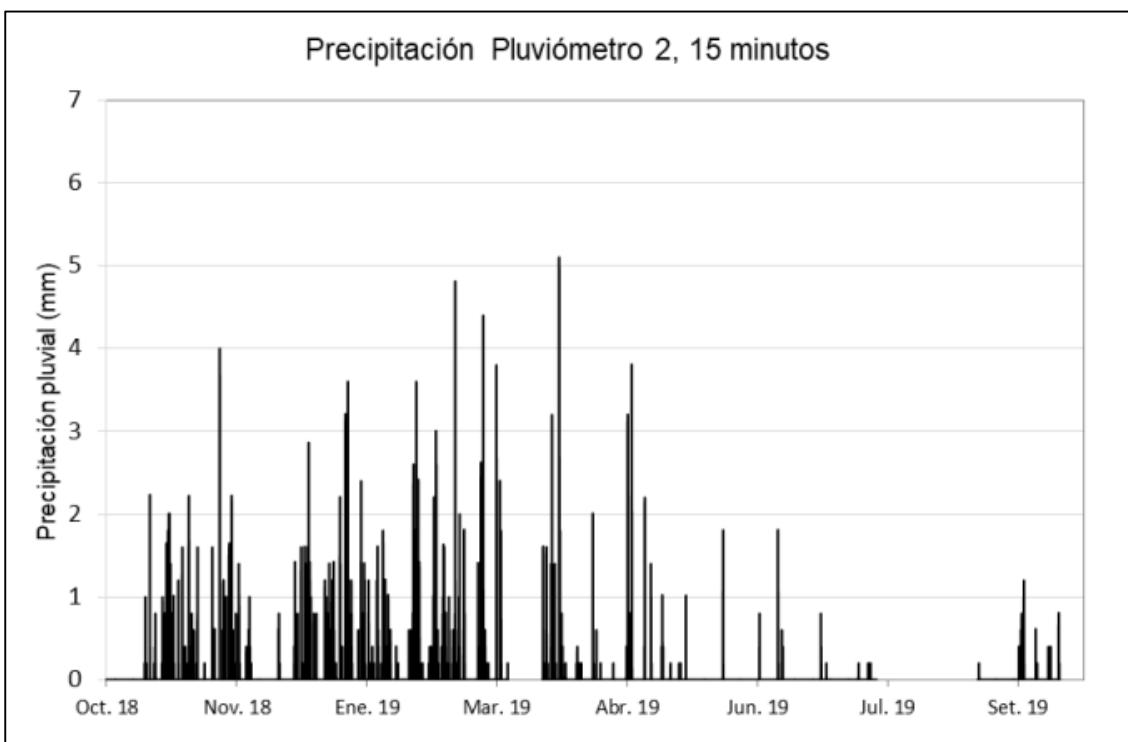
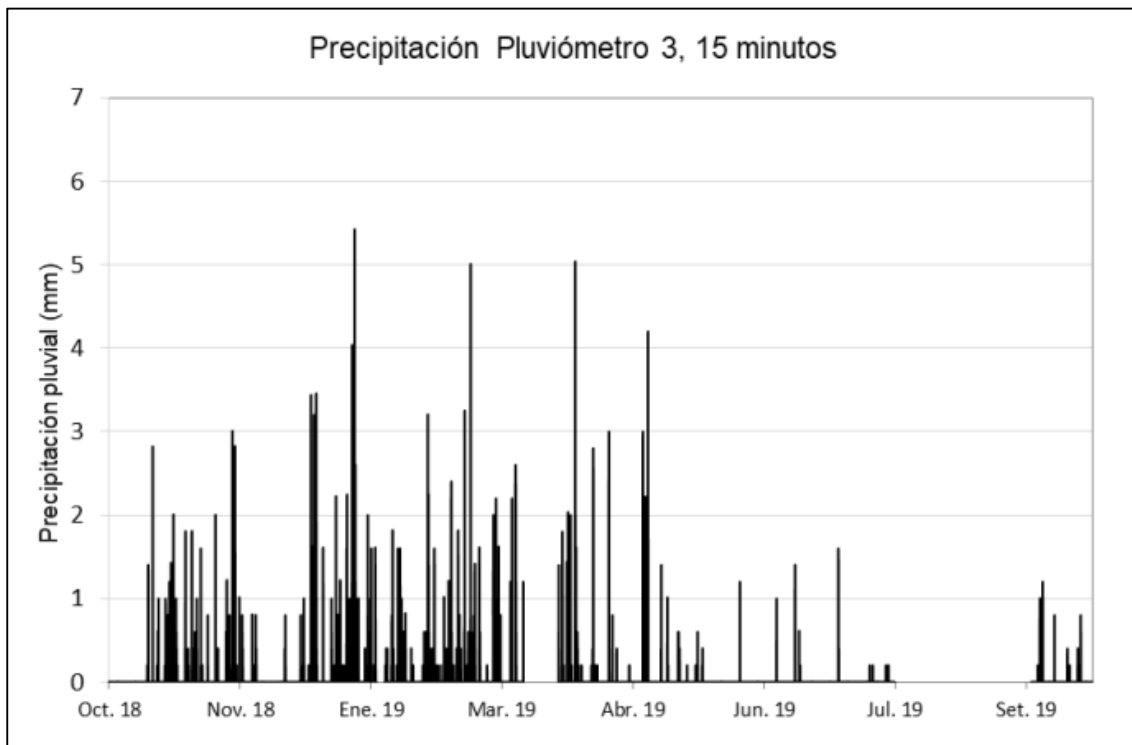


Figura 24

Comportamiento de la precipitación en pluviómetro N°3

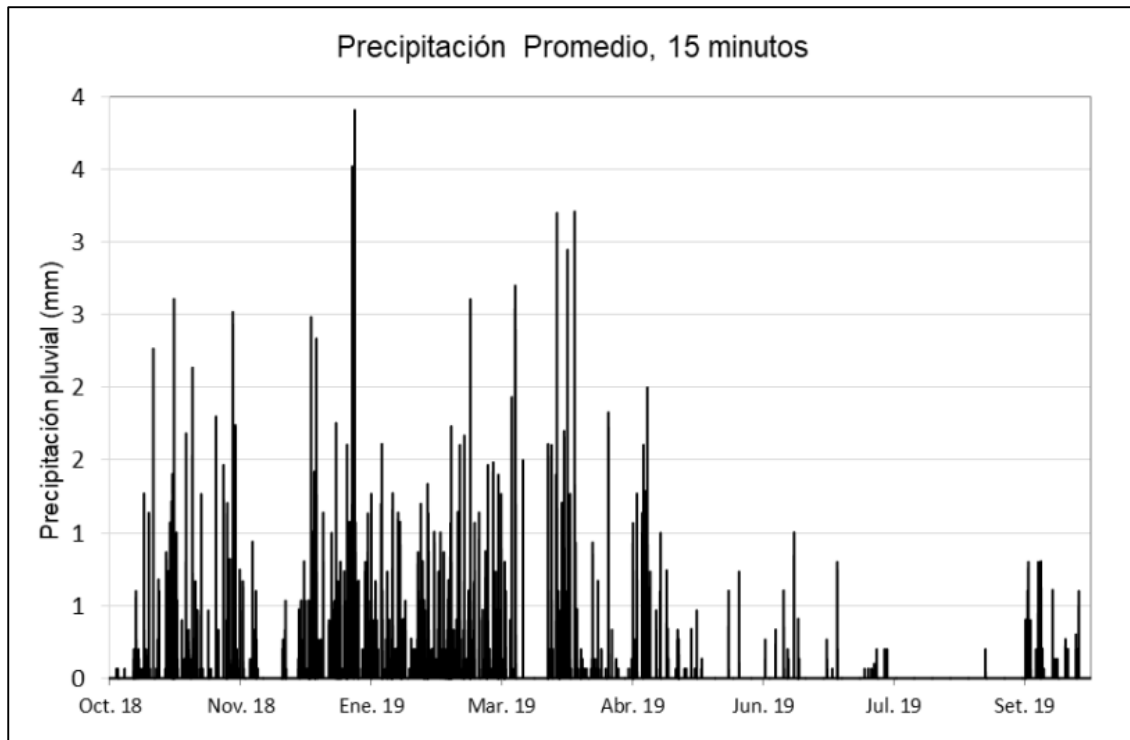


En la figura se observa la precipitación en el Pluvimetro N°3.

Para el análisis de datos y determinación del índice de escorrentía se utilizó el promedio de las precipitaciones de los 3 pluviómetros.

Figura 25

Precipitación media, 15 minutos.

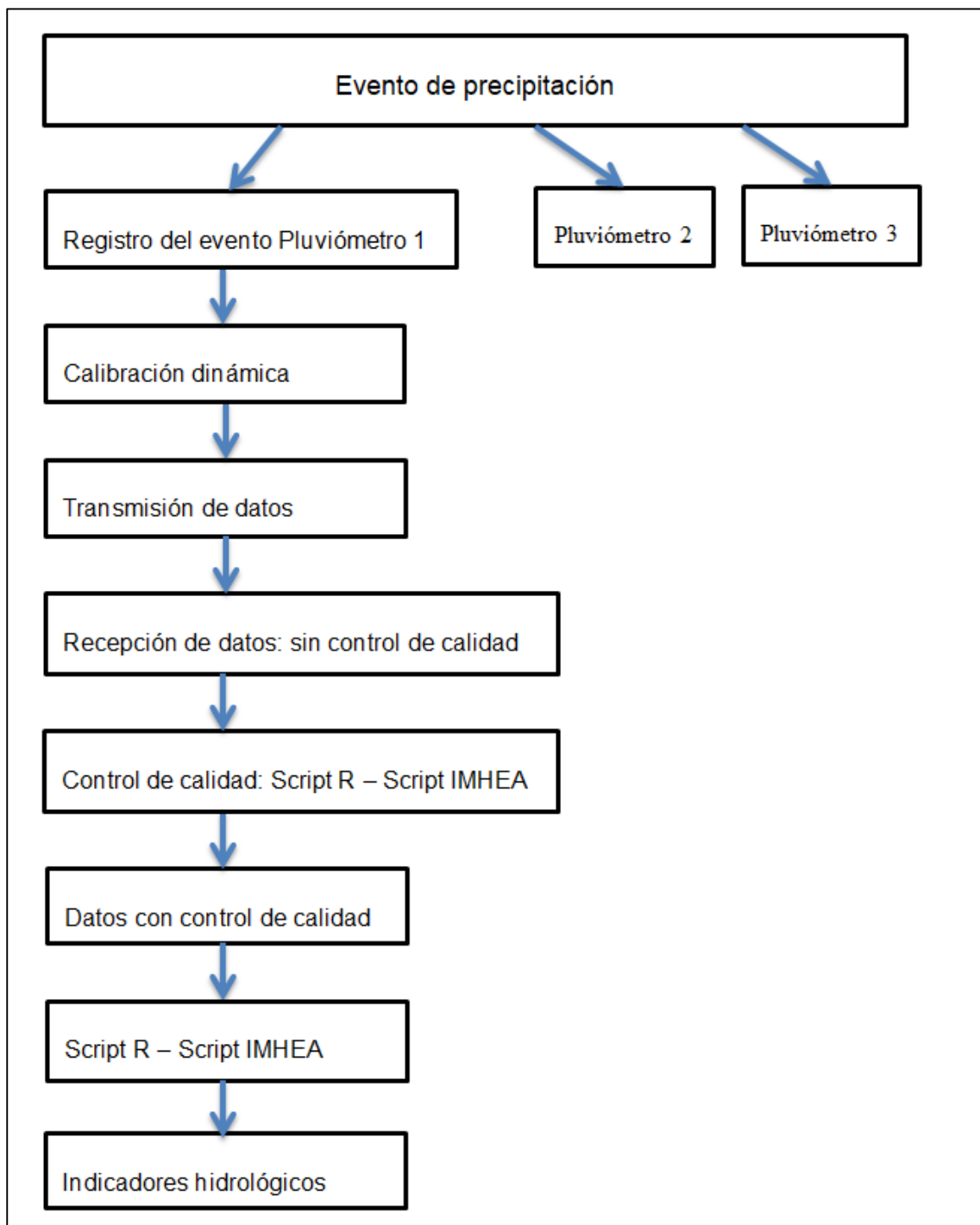


El análisis de información se hace mediante el esquema siguiente:

En la figura 26 se muestra el esquema de obtención de los indicadores.

Figura 26

Esquema Metodológico del Análisis Pluviométrico.



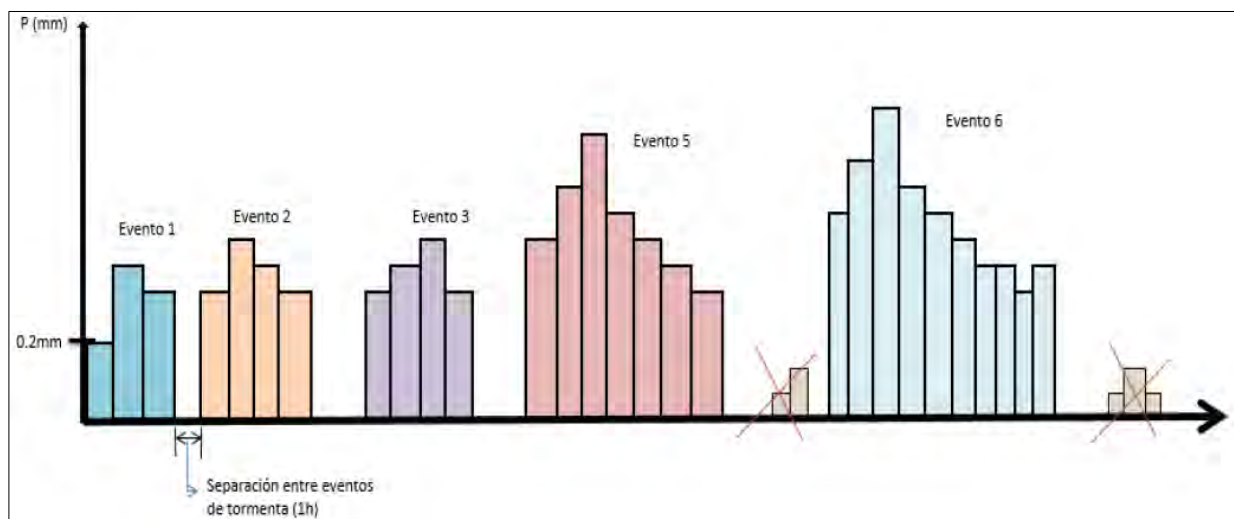
5.3.3.4.2. Análisis de las Tormentas de Precipitación

Para el análisis de las tormentas de precipitación pluvial, se inicia con la identificación de eventos de tormenta de mayor magnitud, la resolución temporal es de 15 minutos y se tiene los siguientes criterios de selección

- Valor de Inter-evento: 1 hora
- Duración del evento: mayor a 3 horas.
- Valor mínimo de precipitación: 0.1mm.

Figura 27

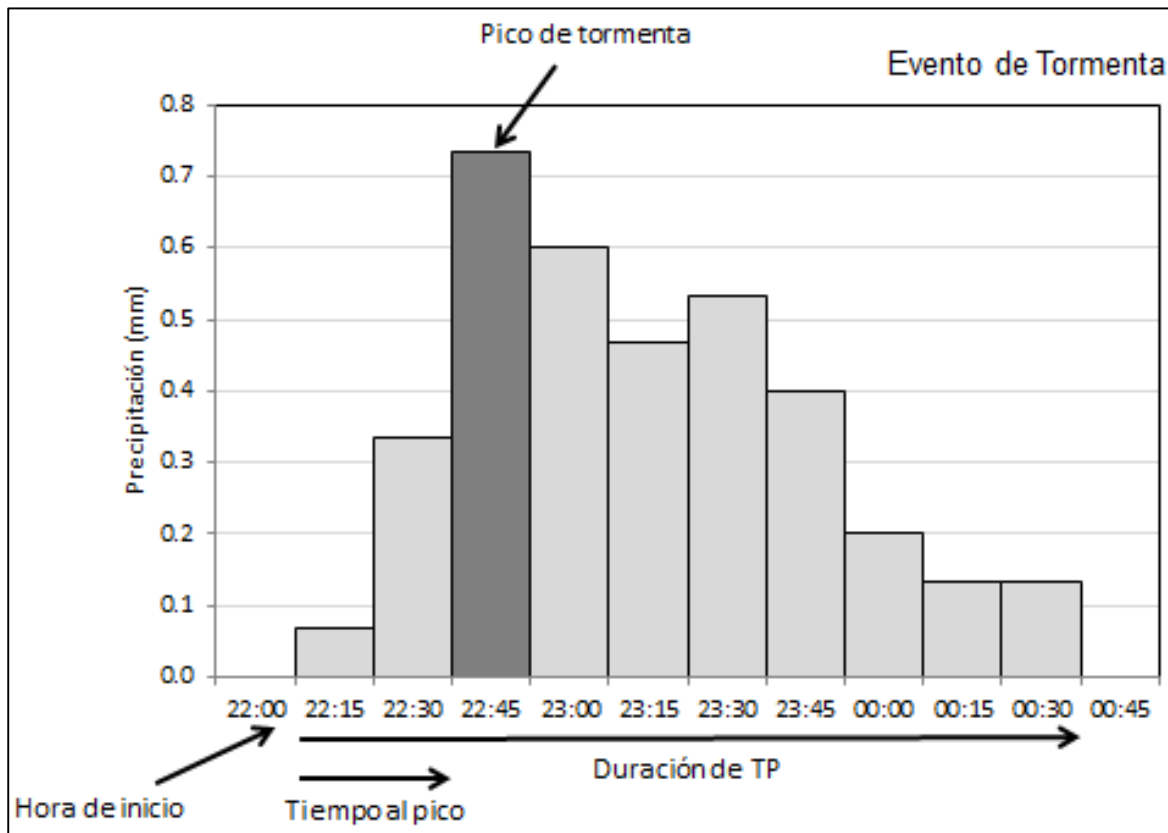
Criterios de elección de tormenta.



Fuente: Quijada, 2020

Figura 28

Proceso de tormenta precipitación.



Fuente: Quijada, 2020.

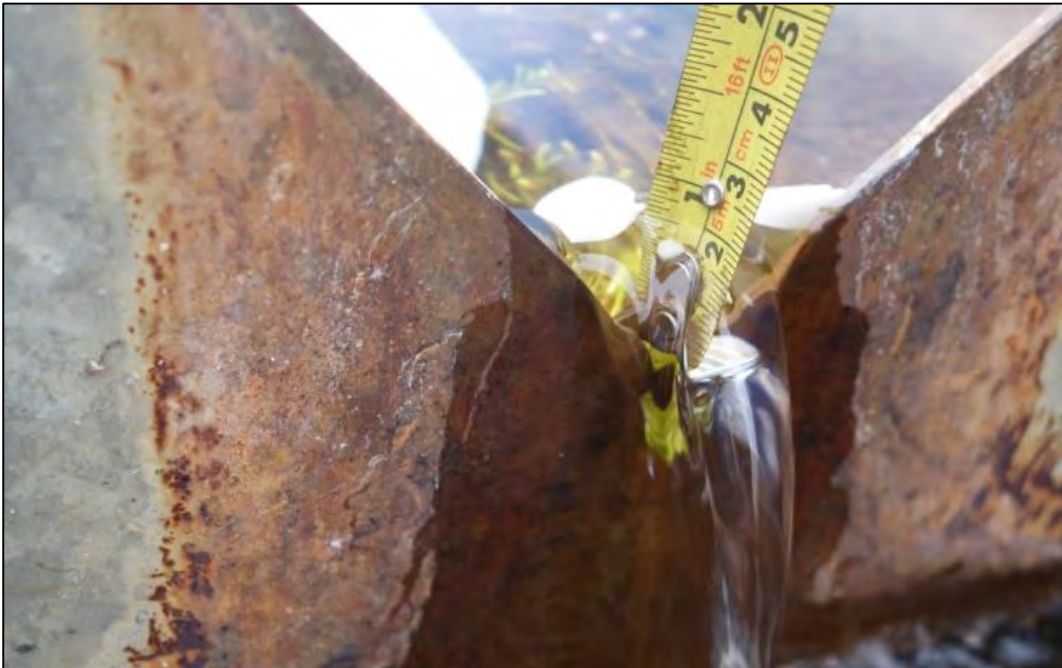
5.3.3.4.2.1. Análisis del caudal de escorrentía superficial

Para el análisis de los caudales se inician con la medición del evento mediante un sensor de nivel piezométrico el cual mide una altura de columna de agua, seguido se realiza la transmisión mediante señal de radio, seguidamente en una computadora se ordenó en la base de datos, luego pasa por un control de calidad de los datos mediante herramientas estadísticas del software Rstudio y MS-Excell, seguidamente se obtiene los caudales instantáneos con la ecuación para vertederos de sección mixta con la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{8}{15} \sqrt{(2g)} C_d \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) h^{5/2}$$

Fotografía 13

Calibración de vertedero.

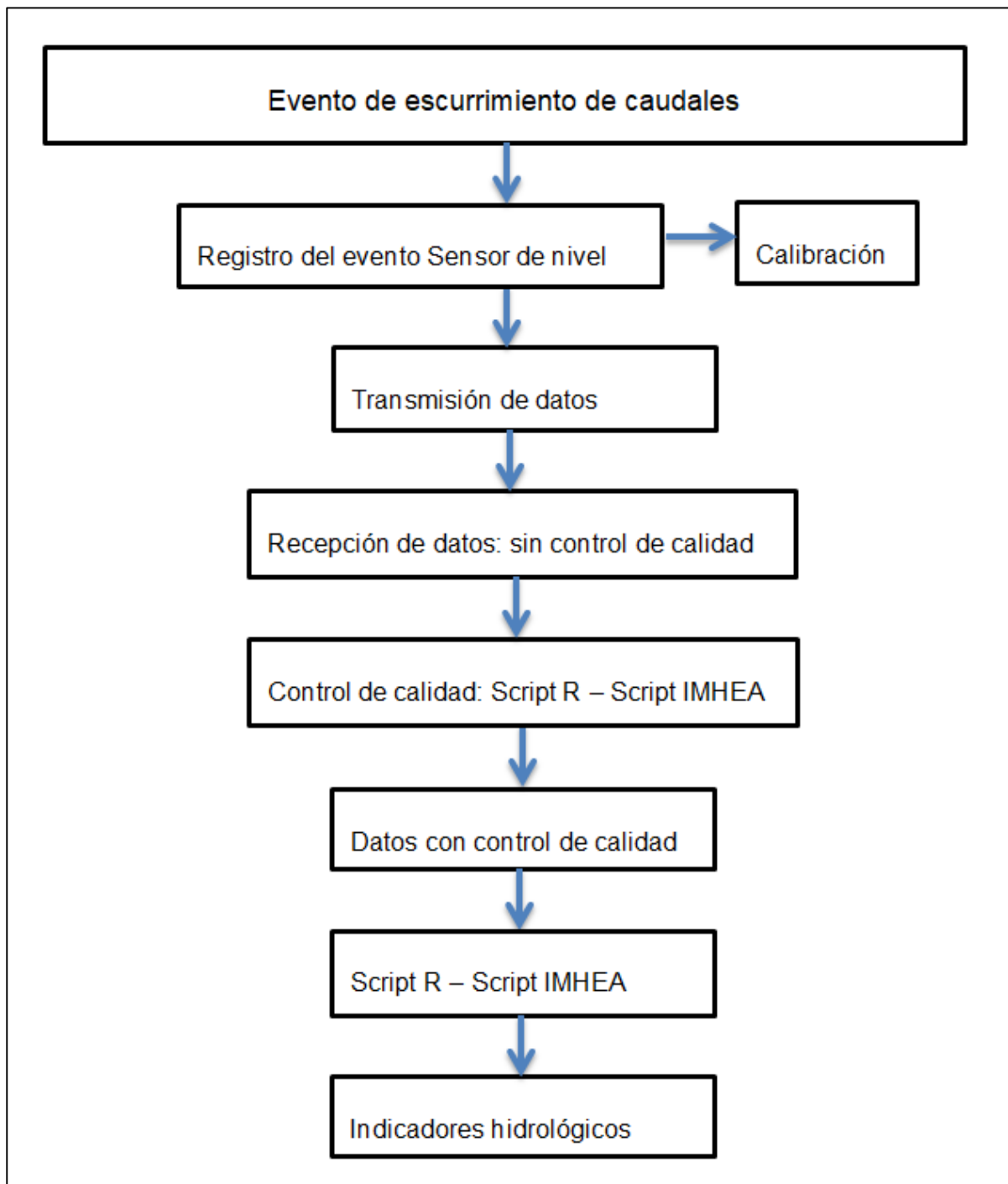


En la figura se muestra el procedimiento de calibración de caudal mediante mediciones directas con regla métrica

El análisis de los caudales se hace mediante el esquema siguiente:

Figura 29

Esquema metodológico del análisis de caudales.

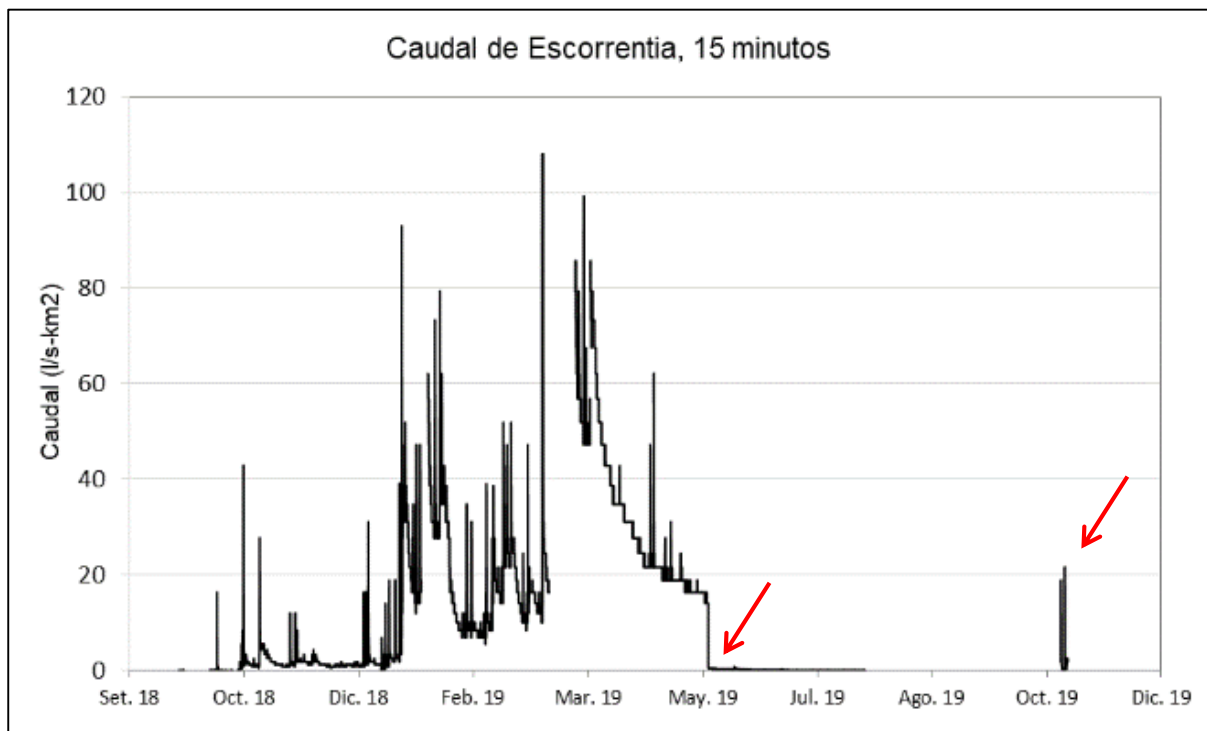


5.3.3.4.2.1.1. Control de calidad datos de caudales

Como parte del proceso del control de calidad el 3 de julio 2019 se realizó se realizó una visita de campo, con la finalidad de calibrar el vertedero, esta información ha sido valiosa porque ha permitido evaluar la precisión y exactitud de las mediciones, con el cual se calcula el error general de las mediciones. Se realizó la visualización de las series y el análisis estadístico, que nos muestra vacíos de 23% con lo cual se hace la reducción del análisis de la serie, a la falta de consistencia se realiza el análisis desde el 01/10/2018 hasta 17/05/2019.

Figura 30

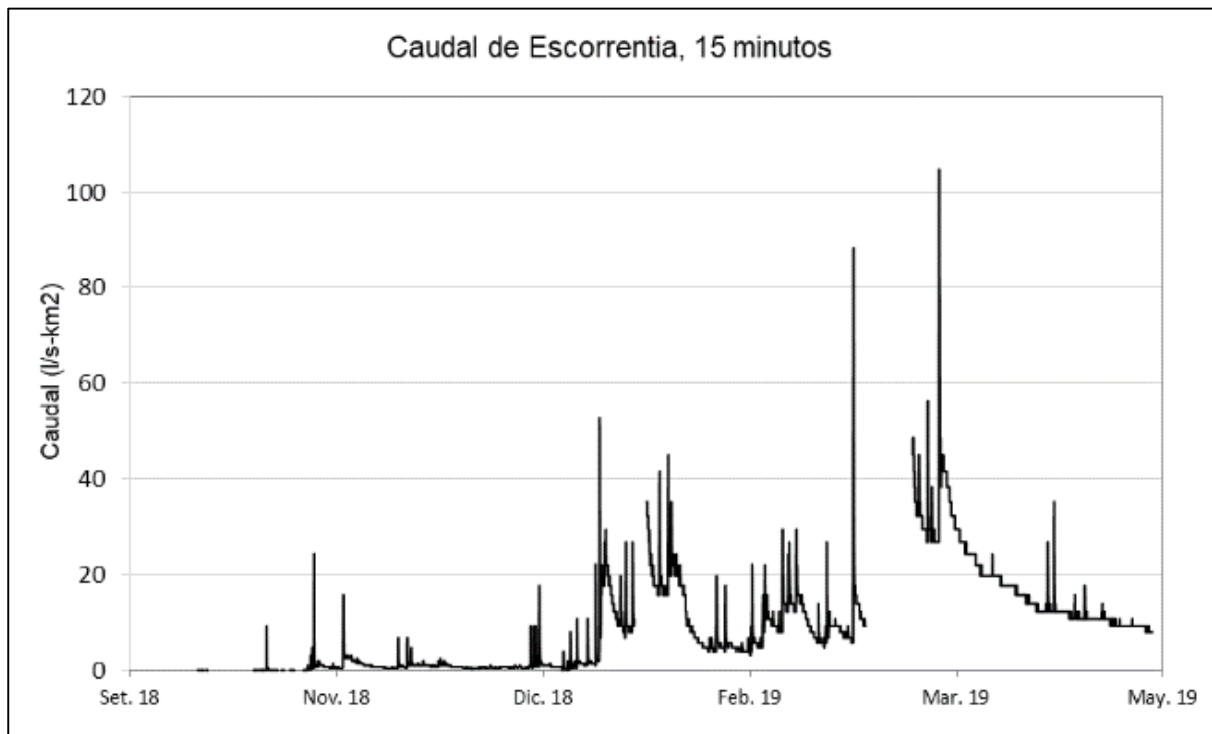
Caudal en vertedero sin control de calidad.



En la figura se observa el caudal con datos con datos atípicos como: saltos y datos planos.

Figura 31

Caudal en vertedero con control de calidad.



En la figura se observa el caudal con la serie corregida.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo muestra los resultados que se inicia para el objetivo general y los 3 objetivos específicos a los cuales se les hace la contrastación de hipótesis para los objetivos específicos 1 y 2; así como la descripción de los parámetros geomorfológicos para objetivo específico 3.

6.1. Análisis del índice de escorrentía superficial y descripción de tormentas de precipitación

6.1.1. Relación precipitación y caudal

Los resultados responden al objetivo general determinar la relación entre la precipitación y el caudal, el periodo de estudio fue de 8 meses en vista que los datos validos se redujeron de 12 a 8 meses, en la presente investigación se ha usado el coeficiente de Pearson para determinar la relación entre ambas variables y la prueba estadística T Student.

Los resultados se muestran a continuación.

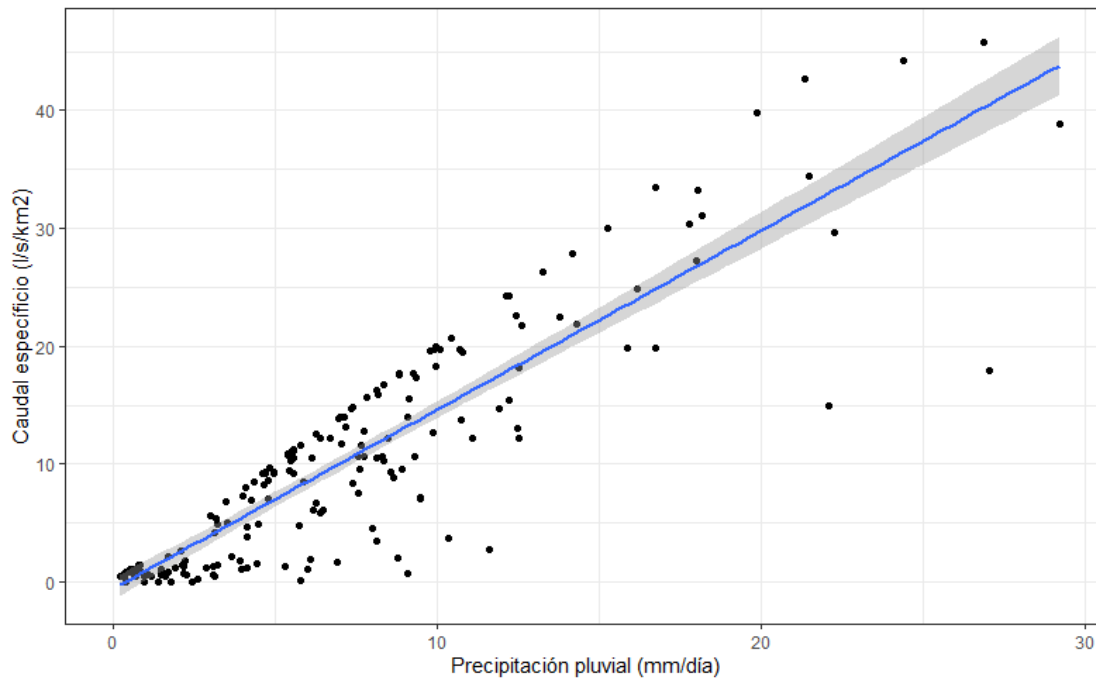
Tabla 6

Estadísticos de Pearson.

Estadísticos	
Multiple R-squared	0.8443
Adjusted R-squared	0.8427
p-value	< 2.2e-16

Figura 32

Diagrama de dispersión.



Interpretación

A un 95% de probabilidades existe una correlación positiva alta de 0.89 entre la variable precipitación diaria (mm) y caudal de escorrentía superficial diaria (l/s/km²).

Es decir, a mayor precipitación pluvial, se espera como respuesta mayor caudal de escorrentía superficial.

		Caudal de escorrentía superficial (l/s/km ²)	Precipitación diaria (mm)
Caudal de escorrentía superficial (l/s/km ²)	Correlación de Pearson	1	0.89575***
	Sig.		0.197
	N	229	229
Precipitación diaria (mm)	Correlación de Pearson	0.89575***	1
	Sig.	0.197	
	N	229	229
*** al 99%			



Contrastación de hipótesis

En este capítulo se hace la verificación de la hipótesis:

Hipótesis general

Existe una relación directa y significativa entre la precipitación pluvial y el caudal de escorrentía superficial en el período de 8 meses en la MC. Millpu.

$H_0: r = 0$	$H_1: r > 0$
--------------	--------------

Donde:

r = Coeficiente de correlación de r de Pearson

Tabla 7

Tabla prueba estadística t Student.

Modelo	Correlación de Pearson	Prueba de t calculado	Prueba de t teórico	Nivel de significancia
Precipitación pluvial (mm)	0.89575	28.281	2.2e-16	0.01

Se concluye: Siendo el valor de teórico menor que t calculado, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, por lo tanto, al 99% de confiabilidad la escorrentía superficial depende la precipitación pluvial durante el periodo 2018 y 2019.

6.1.2. Determinar el índice de escorrentía

Para calcular el índice de escorrentía se ha normalizado los valores de precipitación pluvial y del caudal a una resolución de 15 minutos y para el periodo de 1 año, ejecutando el script IMHEA (Ochoa et. al 2002) cuyos valores mostramos a continuación:

Tabla 8

Índice de escorrentía.

PARAMETROS	UND	CUENCA MILLPU
Índice de escorrentía anual	-	0.19

6.1.3. Caracterización de tormentas de precipitación

Para este procedimiento se consideró utilizar el Pluviómetro con menor porcentaje de datos, siendo el Pluviómetro 2 (Plu_2). En la figura 35 muestra que las tormentas se inician en el mes de octubre hasta mayo, donde se identificaron 13 tormentas con duración entre 1 y 7 horas.

Figura 33

Distribución temporal de las tormentas.

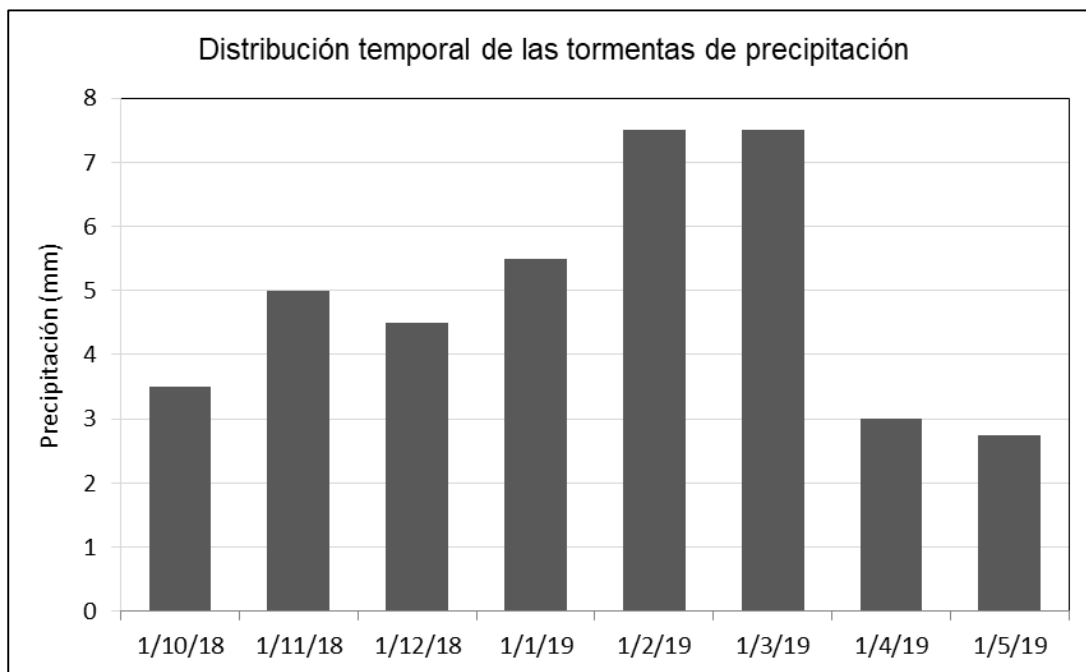
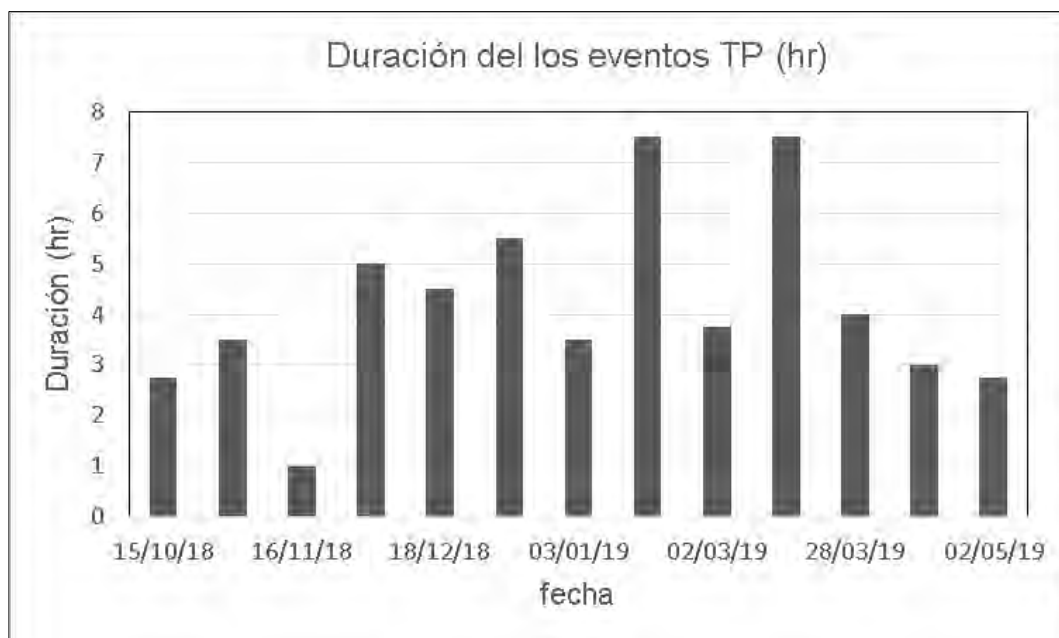


Figura 34

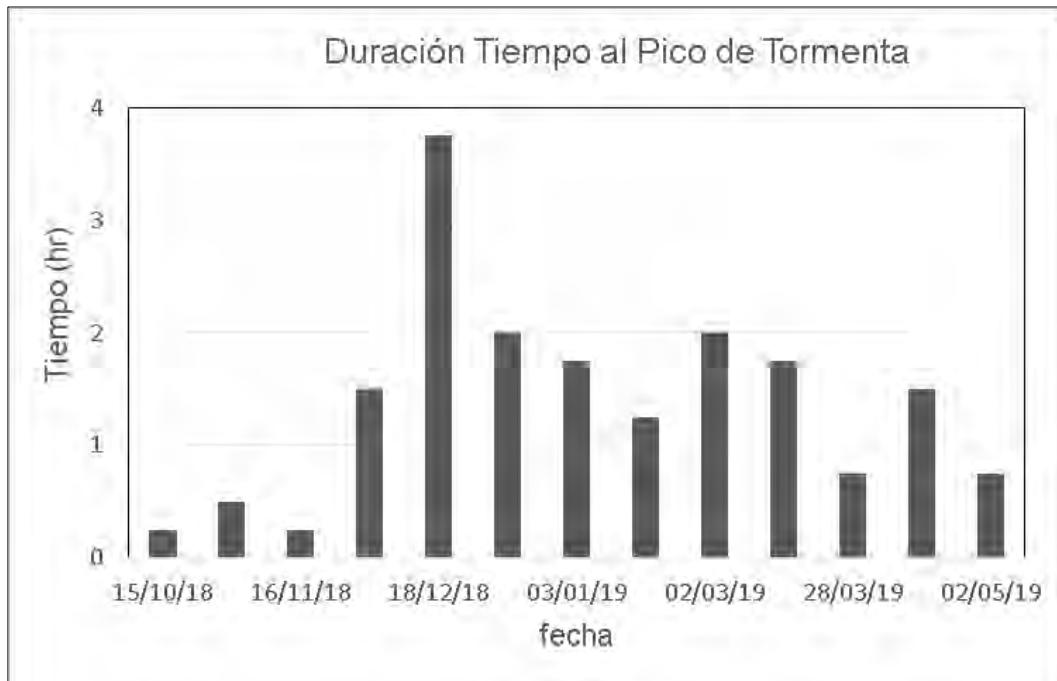
Cantidad y duración de tormenta de precipitación.



En la figura 35 el Indicador de Tiempo al Pico más alto ser registro el día 18 diciembre con una duración de 3.7 horas.

Figura 35

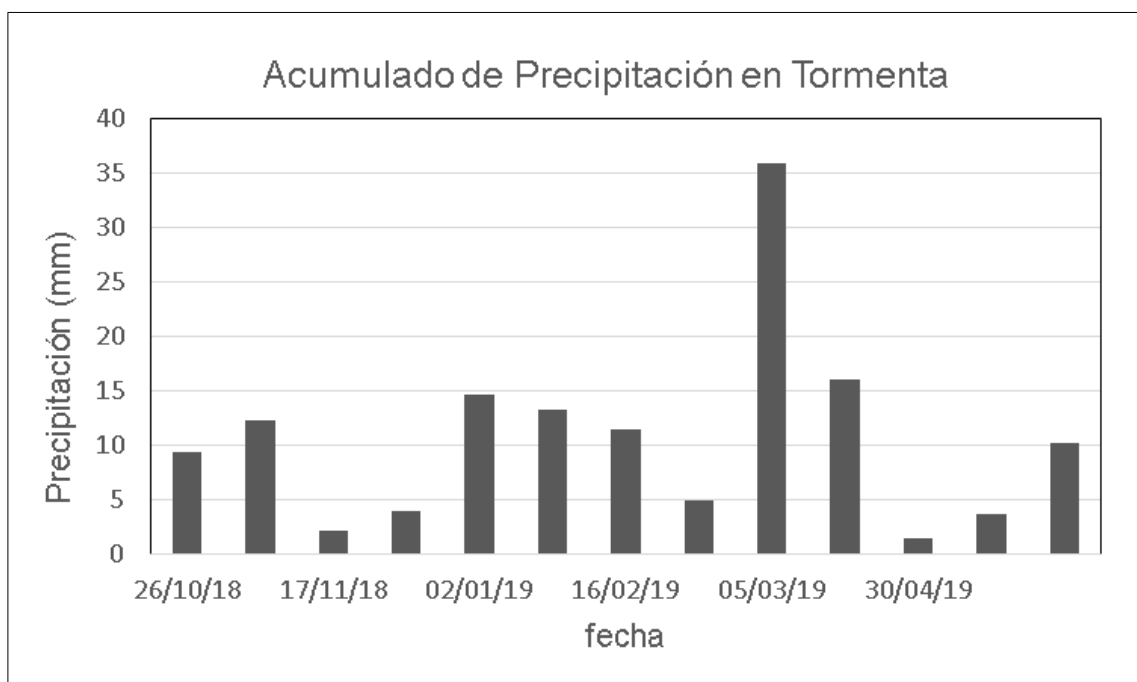
Duración tiempo al pico.



En la figura 36 el indicador de Acumulado de precipitación durante tormenta dio como resultado 35.4 mm., para el día 5/03/2019.

Figura 36

Acumulado de precipitación durante tormenta.



6.2. Determinación de la variación altitudinal de la precipitación pluvial

Para contrastar el objetivo específico 1 determinar la variación espacial de la precipitación durante 12 meses entre el 2018-2019 en la microcuenca de Millpu, para lo cual se ha utilizado el análisis estadístico de comparación de medias y seguidamente se valida la hipótesis mediante la prueba de T Student.

Tabla 9

Prueba de T Student.

	PLU_1	PLU_2
Media	2.224164524	2.197429306
Varianza	26.43395065	27.08731296
Observaciones	389	389
Varianza agrupada	26.76063181	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	776	
Estadístico t	0.072076777	
P(T<=t) una cola	0.47127969	
Valor crítico de t (una cola)	1.646819608	
P(T<=t) dos colas	0.94255938	
Valor crítico de t (dos colas)	1.963025728	

Contrastación de hipótesis

En este capítulo se hace verificación de las hipótesis, siendo:

Hipótesis específica 1

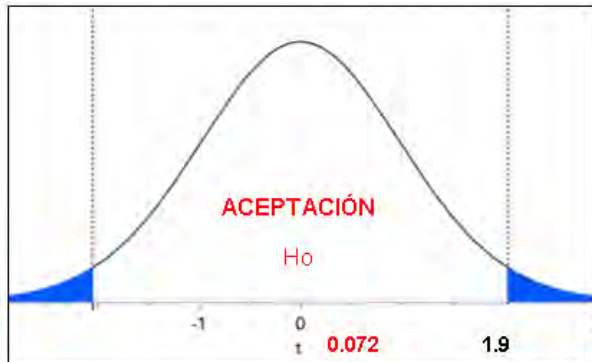
Existe una variación espacial entre las precipitaciones de la zona media y alta de la microcuenca Millpu, durante el periodo 2018.2019.

H₀: $\mu_1 = \mu_2$	H₁: $\mu_1 \neq \mu_2$
--	---

Tabla 10

Estadísticos de prueba de T Student.

	Prueba de t calculado	Prueba de t teórico	Nivel de significancia
Precipitación pluvial (mm)	1.9630	0.0721	0.05



Se concluye: Siendo el valor t teórico mayor que t calculado, se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alterna, por lo tanto, al 95% de confiabilidad las precipitaciones en ambas partes de la cuenca son iguales estadísticamente durante el periodo 2018 y 2019.

6.2.1. Caracterización de las precipitaciones

Para caracterizar las precipitaciones se ha analizado la información de 3 pluviómetros automáticos instalados a diferentes altitudes dentro de la cuenca de estudio a diferentes altitudes. En la tabla 9 la precipitación mensual más alta se presentó en el pluviómetro 2 (Plu_2) con 178.6mm., seguido del pluviómetro 1 (Plu_1) con 158.8 mm.

Tabla 11

Precipitación mensual en la microcuenca Millpu y Cancan.

	Cod	n	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar	Acumulado Anual
Pluviómetros	Plu_1	12	0.00	158.80	66.06	57.39	868.6
	Plu_2	12	0.00	178.60	65.75	59.23	854.8
	Plu_3	12	0.00	158.80	66.82	57.89	839.8

En la figura 39 y tabla 10 precipitaciones acumularon en promedio 801mm., de los cuales 48% se concentran en los meses de verano, luego de lo cual disminuye notablemente. Se concluye que la precipitación es de régimen unimodal con marcada estación húmeda. El módulo pluviométrico es de 801.8mm/año

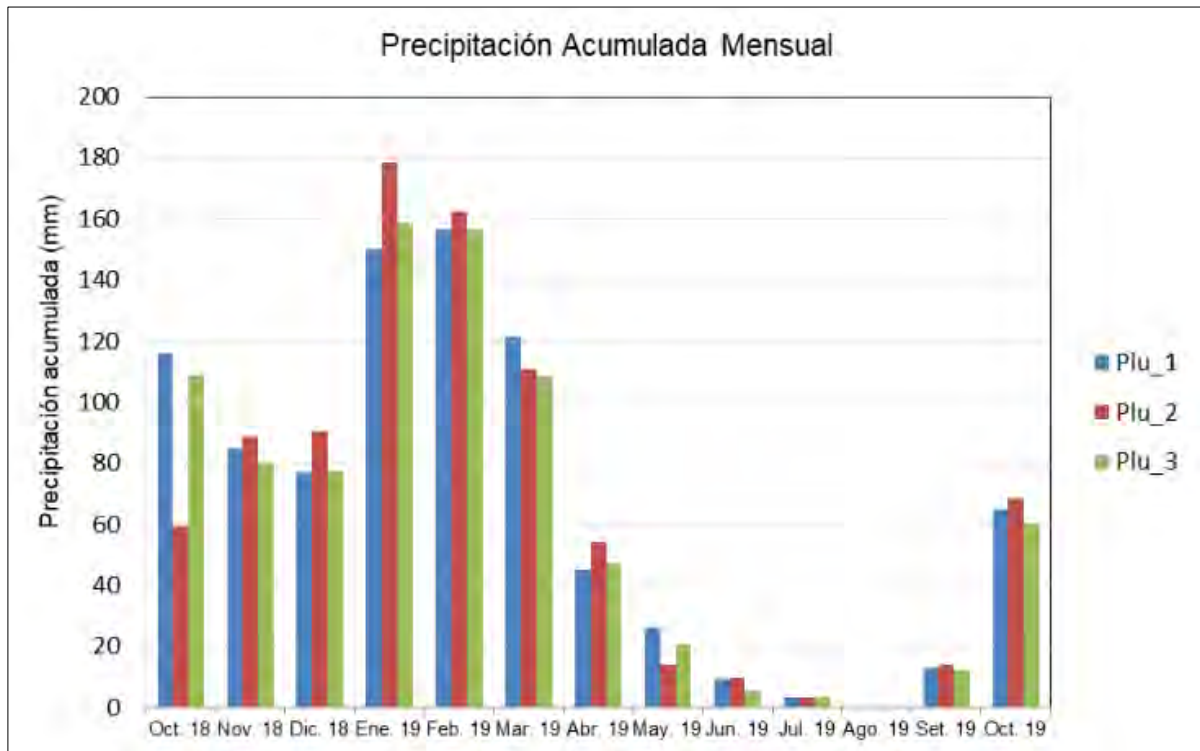
Tabla 12

Comportamiento de la precipitación periodo 2018-2019.

Mes	Precipitación pluvial mensual (mm)					
	Plu_1	Plu_2	Plu_3	Promedio (mm)	Porcentaje (%)	
Oct-18	116	59.4	109.2	94.9	11	
Nov-18	85	88.6	80	84.5	10	
Dic-18	77.2	90.4	77.4	81.7	10	
Ene-19	150.2	178.6	158.4	162.5	19	
Feb-19	156.4	162.6	156.3	158.4	19	
Mar-19	121.6	110.8	108.8	113.7	13	
Abr-19	45.2	54.4	47.2	48.9	6	
May-19	26.2	14.2	20.6	20.3	2	
Jun-19	9.4	10	5.6	8.3	1	
Jul-19	3.2	3.4	3.2	3.3	0	
Ago-19					0	
Set-19	13	14	12.5	13.2	2	
Total	868.6	854.8	839.8	801.8	100	

Figura 37

Variación temporal de las precipitaciones periodo 2018-2019.



En la tabla 11 se calculó los Indicadores Hidrológicos de Precipitación. El índice de Precipitación con Valor Cero (PDP0) es 0.4%. Durante el periodo de verano las intensidades de precipitación mayoritarias fueron en el mes de diciembre donde el 77% correspondieron a intensidades de 0 a 3.3 mm/día. Lo cual indica que las precipitaciones fueron de baja intensidad.

Tabla 13

Distribución de frecuencias de intensidades de precipitación diaria.

Mes	Intervalos más frecuentes de intensidad		
	Intervalo de precipitación (mm)	Frecuencia (días)	% días
Oct-18	3.5	19	61
Nov-18	3.8	19	63
Dic-18	3.72	24	77
Ene-19	7.48	22	71
Feb-19	3.12	12	43
Mar-19	8.45	26	84
Abr-19	2.4	26	87
May-19	1.8	27	87
Jun-19	0.96	28	90
Jul-19	0.36	27	87
Ago-19			
Set-19	0.7	22	73
Promedio	3.01	20	

Tabla 14

Indicadores hidrológicos de precipitación.

PARAMETROS	UND	CUEN CA MILLP U
Promedio de precipitación anual	mm	801.8
Número de días con precipitación cero	día	158.0
Porcentaje de días con precipitación cero (PDP0)	%	0.4
Precipitación del mes más seco (PMMS)	mm	3.5
Intensidad de precipitación máxima en 1 día	mm/h	1.6
Intensidad de precipitación máxima en 1 hora	mm/h	12.0
Intensidad de precipitación máxima en 15 minutos (IPMS)	mm/h	27.2
Evapotranspiración anual	mm	602.4
Rango de precipitación/evapotranspiración (RPE)		1.3

6.3. Determinación de la variación temporal del caudal de escorrentía

Para contrastar el objetivo específico 2 determinar la variación temporal del caudal durante 8 meses entre el 2018-2019 en la microcuenca de Millpu, para lo cual se hizo el análisis estadístico de comparación de medias y seguidamente se valida con la prueba de hipótesis de T Student. Los resultados se muestran a continuación.

Tabla 15

Prueba de T Student.

	Q NOCHE	Q DIA
Media	16.9339469	16.84637072
Varianza	313.0226996	298.8945868
Observaciones	198	198
Varianza agrupada	305.9586432	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	394	
Estadístico t	0.049816386	
P(T<=t) una cola	0.480146976	
Valor crítico de t (una cola)	1.648730226	
P(T<=t) dos colas	0.960293953	
Valor crítico de t (dos colas)	1.966003201	

Contrastación de hipótesis

En este capítulo se hace verificación de las hipótesis, siendo:

Hipótesis específica 2

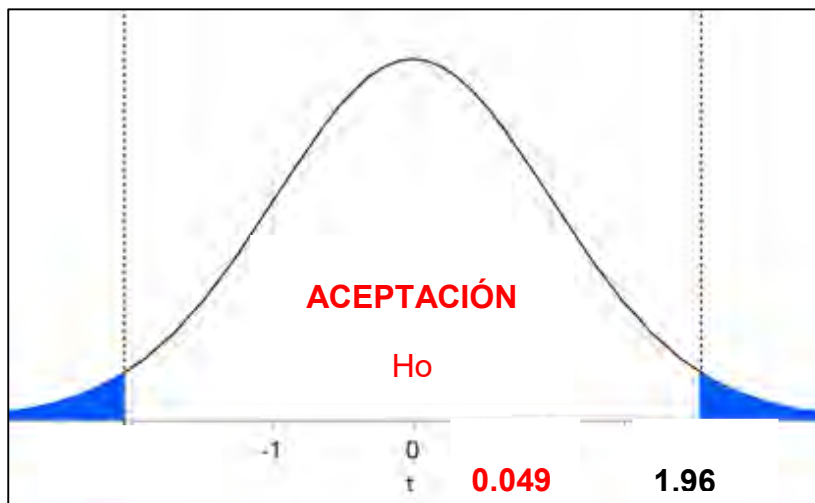
Existe una variación temporal de los caudales durante el día y la noche, durante el periodo 2018.2019.

H₀: $\mu_1 = \mu_2$	H₁: $\mu_1 \neq \mu_2$
--	---

Tabla 16

Estadísticos de prueba de T Student.

	Prueba de t calculado	Prueba de t teórico	Nivel de significancia
Caudal (l/s/km ²)	1.9660	0.0498	0.05



Se concluye: Siendo el valor t teórico mayor que t calculado, se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alterna, por lo tanto al 95% de confiabilidad los caudales son iguales estadísticamente durante el día y noche durante el periodo 2018 y 2019.

6.3.1. Caracterizar el caudal de escorrentía superficial

Para conocer el comportamiento temporal de los caudales, en base al control de calidad y homogenización de series. En la Figura 48 se muestra toda la temporal que corresponde a la finalización de época seca del 2018 (octubre 2018) hasta la finalización de la época húmeda (mayo 2019) en la microcuenca Millpu, distrito de Chinchero, provincia Urubamba, Cusco.

En la figura 40 se observada los registros a escala diaria, con este fin se promedió los caudales y se hizo la acumulación de lluvias, se muestra un marcado receso de caudales en época seca que inicia en octubre hasta mediados de diciembre.

En la figura 46 el Índice de caudal medio en 15 minutos es de 9.54 l/s/km^2 , el caudal más bajo fue de 0 l/s/km^2 y el caudal máximo fue de 115.2 l/s/km^2

En la figura 49 y tabla 15 el Índice de caudal medio en 24 horas es de 9.54 l/s/km^2 , el caudal más bajo fue de 0 l/s/km^2 y el caudal máximo fue de 115.2 l/s/km^2

Los caudales a escala mensual se observan que inicia en octubre y con marcado receso de mayo hasta mediados de diciembre, donde se tiene un caudal medio de 12.39 l/s/km^2 .

Figura 38

Relación precipitación escorrentía a resolución 15 min.

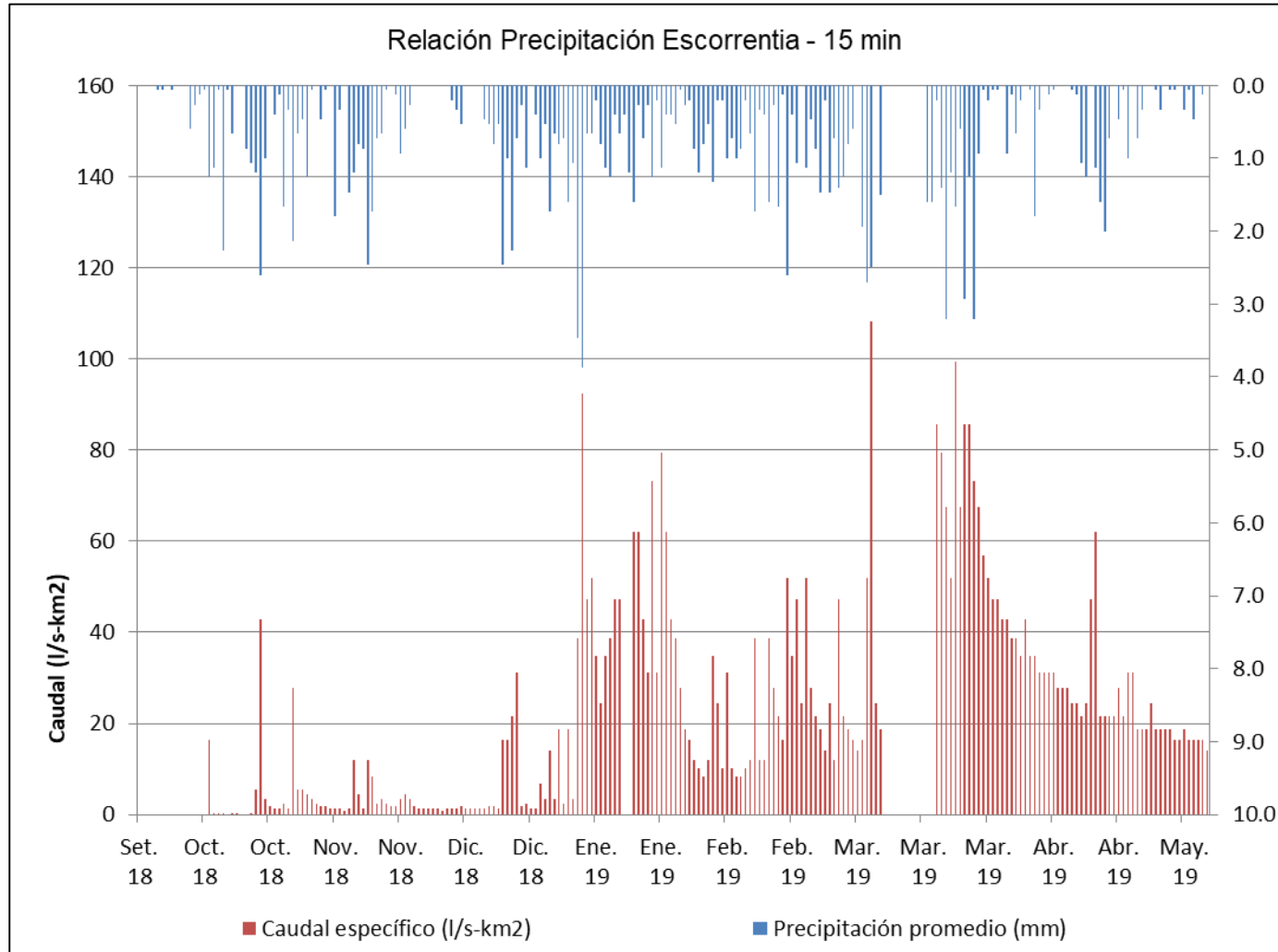


Tabla 17

Estadística descriptiva de los caudales diarios.

Caudal específico	
Media	9.546333139
Error típico	0.696965673
Mediana	8.040776665
Moda	0.68534687
Desviación estándar	9.83191074
Varianza de la muestra	96.6664688
Curtosis	1.873917333
Coefficiente de asimetría	1.376998441
Rango	45.7401955
Mínimo	0
Máximo	45.7401955
Suma	1899.720295

Tabla 18

Indicadores hidrológicos de caudales diarios.

PARAMETROS	UND	CUENCA MILLPU
Caudal mínimo diario	l/s*km ²	0.0
Promedio de caudal mes más seco	l/s*km ²	0.0
Caudal máximo diario	l/s*km ²	45.7
Promedio caudal diario anual	l/s*km ²	
50th percentil flow from IDC (MA2)	l/s*km ²	
Discharge range: QDMAX/QDMIN		45.7
Caudal promedio anual	l/s*km ²	
Caudal mínimo diario	l/s*km ²	0.0
5th percentil de caudal FDC		
90th percentil FDC	l/s*km ²	11.5
Rango de descarga (max/min)	l/s*km ²	39.0

Figura 39

Relación precipitación escorrentía a resolución 24 horas.

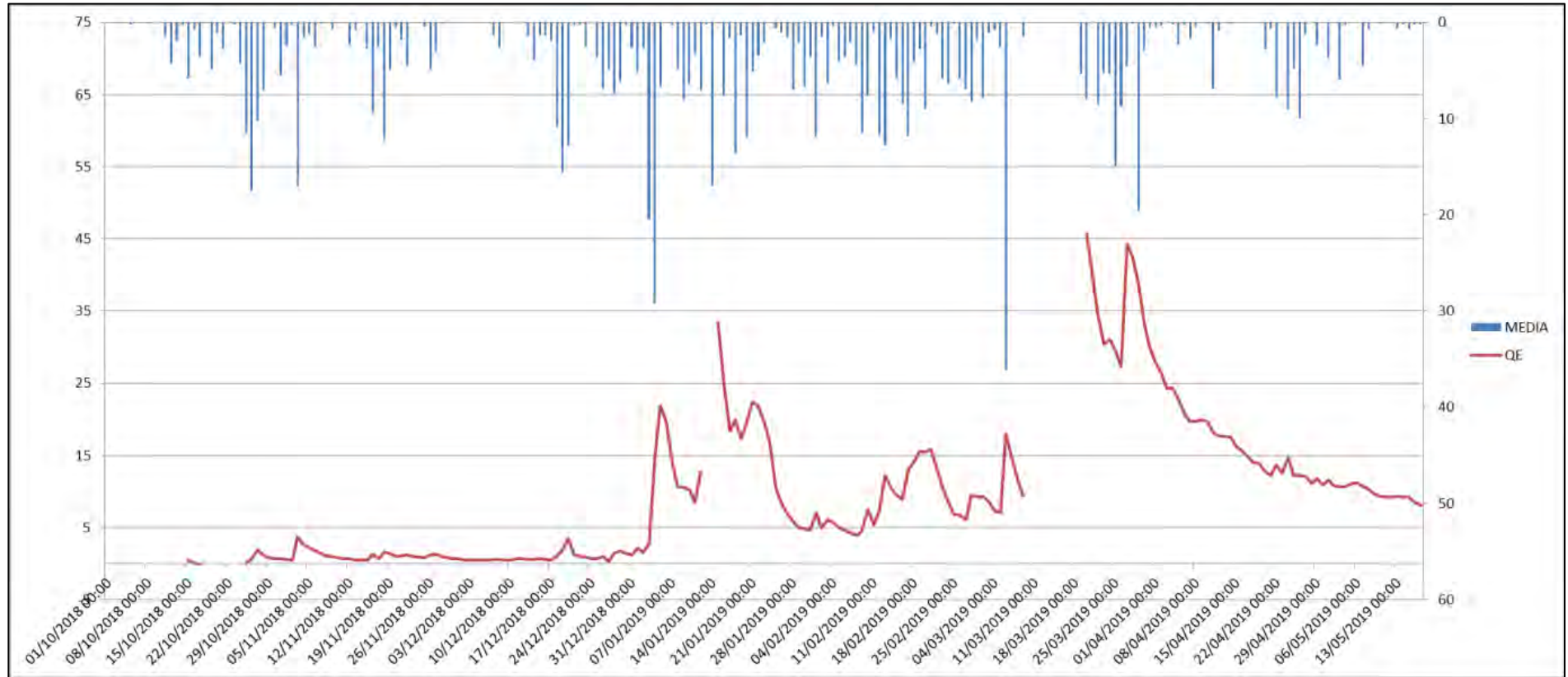
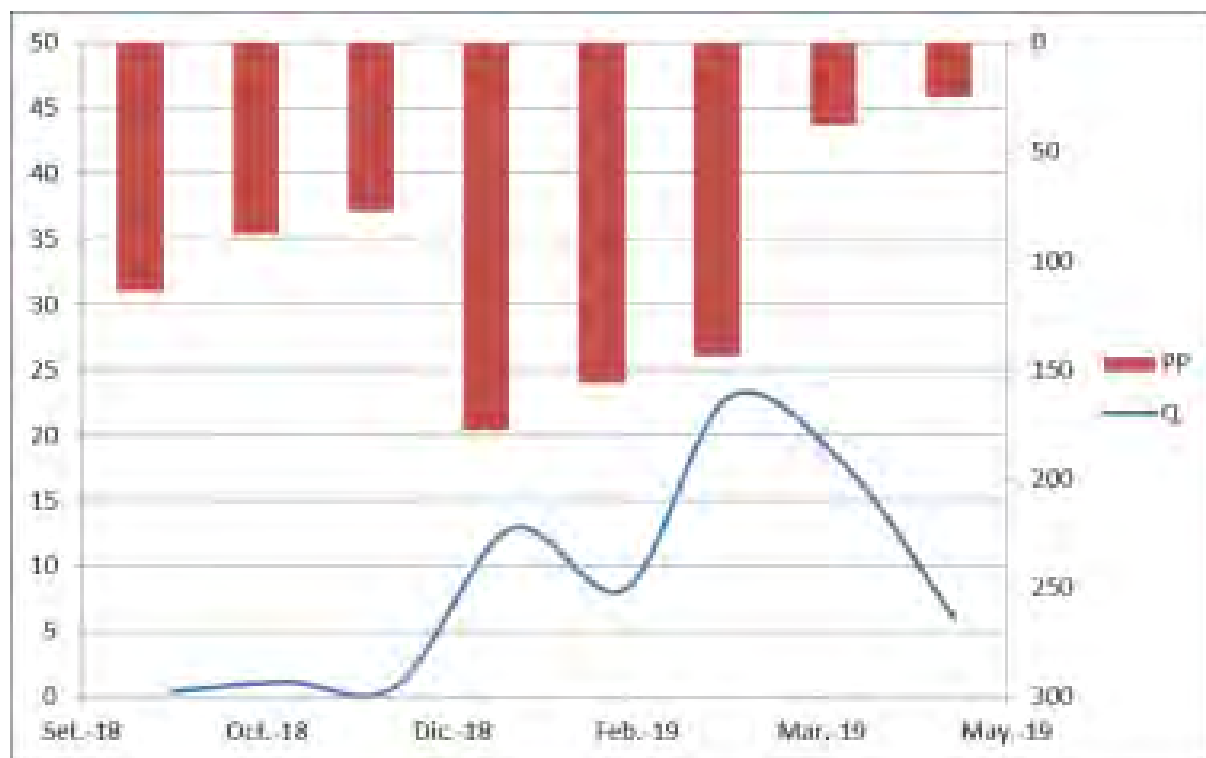


Figura 40

Relación precipitación escorrentía a resolución mensual.



Parámetros Geomorfológicos

En base a la tabla 16, el área en estudio tiene 1.76 km² que corresponde a una cuenca de tamaño pequeño. Se caracteriza por poseer una moderada pendiente de 18%, de forma oval redonda que según **Schum (2003)** las cuencas con valores de índice de compacidad mayor de 1 produce moderada cantidad de sedimentos y moderada respuesta a tormentas de precipitación con la concentración moderada de volúmenes de escorrentía y sedimentos; así mismo el drenaje es moderado; es decir está influenciado por la topografía y el clima, también hay altas velocidades de escorrentía sobre todo en la época húmeda y menores caudales en época seca.

El Índice de Tiempo de concentración (Kirpich) es de 0.3 horas que significa que tienen moderado rendimiento hídrico y poca capacidad de regulación.

Tabla 19

Resumen de cálculos geomorfológicos.

PARAMETROS			UND	CUENCA MILLPU
Superficie total de la cuenca			km ²	1.763
Perímetro			km.	6.424
RELACIONES DE FORMA	FACTOR DE CUENCA	Índice de Compacidad (Gravelius)	s/U	1.365
		Longitud de la Cuenca	km.	2.543
	FACTOR DE FORMA	Ancho Medio de la Cuenca	km.	0.693
		Factor de Forma	s/U	0.273
	RECTANGULO EQUIVALENTE	Lado Mayor	km.	2.543
		Lado Menor	km.	0.693
Densidad de drenaje			km./km ² .	1.487
Desnivel total de la cuenca			km.	0.459
Altura media de la cuenca			m.s.n.m.	4385
Pendiente cuenca (Met. rectángulo equivalente)			%	18.05
Tiempo de concentración Kirpich			hr	0.3

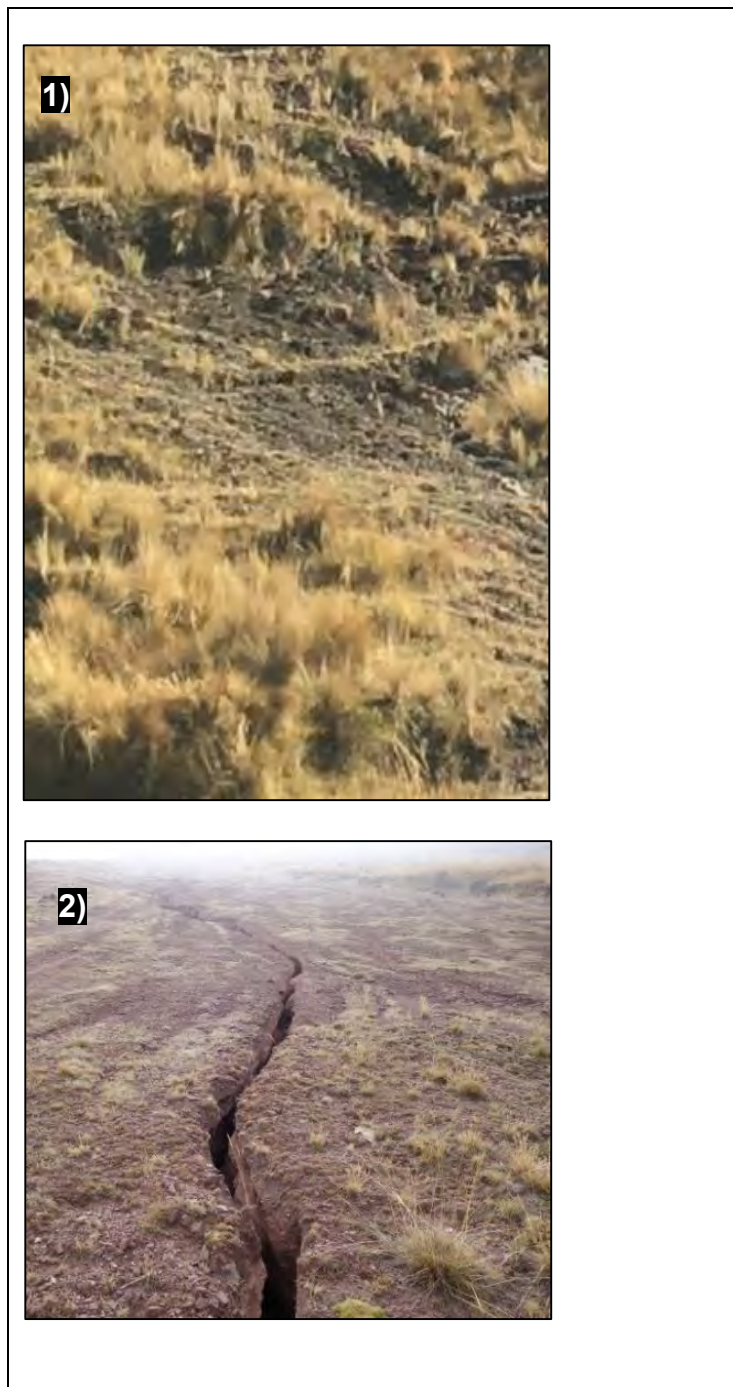
Caracterización de la Cobertura de Suelo

En base a los resultados en la tabla 47 y figura 44, la cobertura de suelo dominante es pastizal altoandino con 93.3%, seguido de suelo desnudo al 5.7%, también podemos indicar que el 30% del pastizal se encuentra con problemas de erosión laminar y cárcavas.

La microcuenca Millpu presenta mayor superficie de pastizal con mayor grado de degradación.

Figura 41

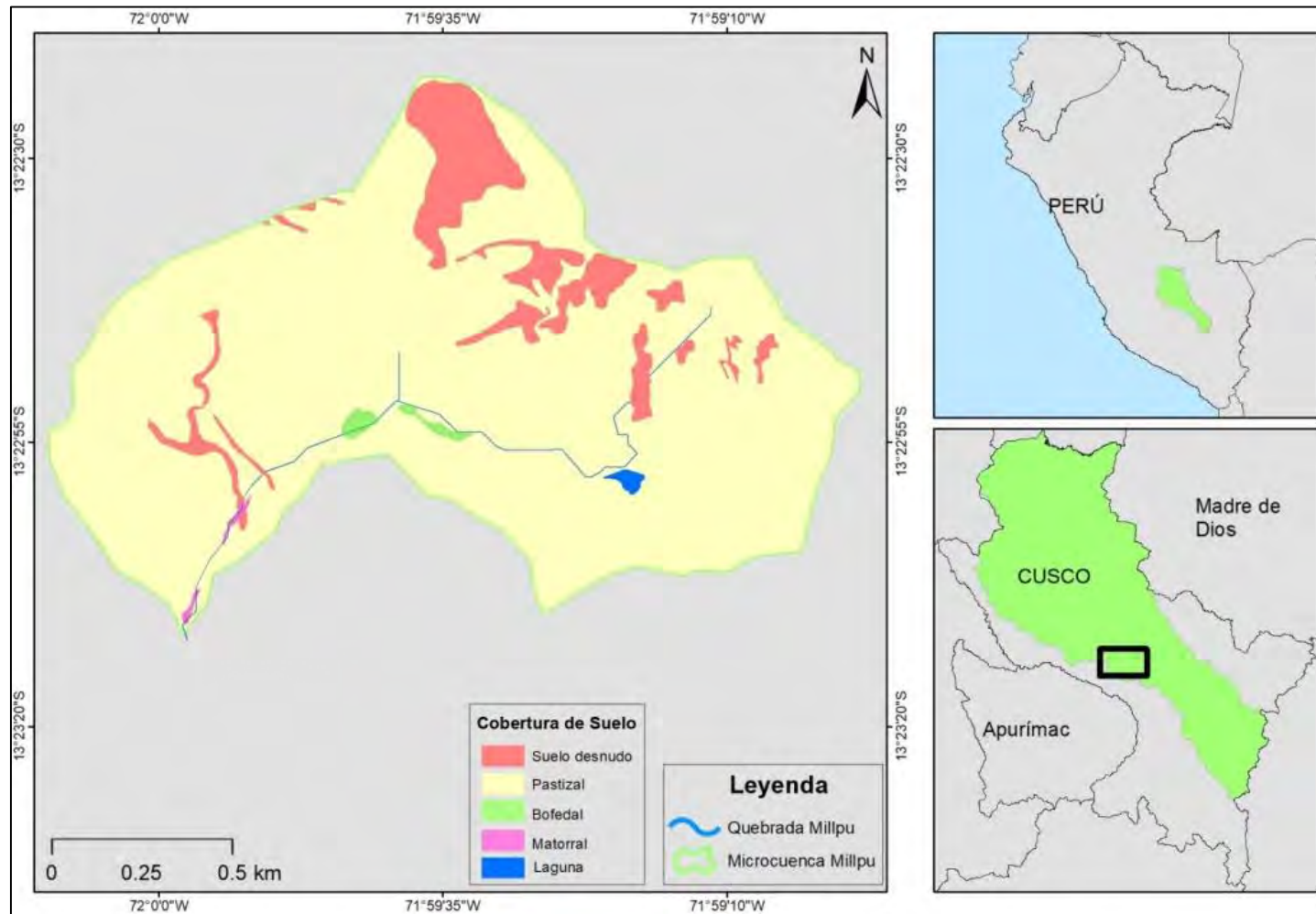
Procesos erosivos en pajonales.



En la figura se observa los tipos de erosión. 1) Erosión laminar incipiente, 2) Erosión moderada en cárcavas.

Figura 42

Mapa de cobertura de suelo.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 20

Evaluación de superficie por tipo de cobertura de suelo.

Tipo de cobertura	Área (m ²)	Porcentaje (%)
Pastizal	157546.67	93.3
Suelo desnudo	9567.17	5.7
Bofedal	742.11	0.4
Matorral	565.86	0.3

Tabla 21

Porcentaje comparado de uso de suelo.

Parámetros	Unid.	Cuenca Millpu
Pajonal y vegetación de porte bajo	%	93.3
Plantaciones nativas, exóticas y vegetación de porte alto	%	0.3
Humedal y lagunas	%	0.4

VII. CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS

7.1. Conclusiones

La presente tesis se ha presentado con fines de entender el comportamiento hidrológico y una aproximación al comportamiento de las tormentas de precipitación, características geomorfológicas y cobertura vegetal, para lo cual ha obtenido información de una red de estaciones automáticas de precipitación y de caudales ubicados dentro de la microcuenca Millpu del distrito de Chinchero de periodo 2018-2019 este sistema es gestionado por la empresa EPS Seda Cusco, dicha información fue sometida a control de calidad, esta información nos permite entender el comportamiento de la precipitación y de los caudales.

Para el objetivo general, sobre determinar el índice de escorrentía en la microcuenca Millpu durante el periodo octubre 2018 a mayo 2019, la correlación nos muestra un valor de 0.84 es decir que, a mayor precipitación mayor caudal de escorrentía superficial, el cual es corroborado mediante el coeficiente de correlación de Pearson y prueba de t Student. También se ha obtenido el Índice de escorrentía de 0.19 valor considerado moderado capacidad de infiltración por el tipo de cobertura vegetal dominante.

Para el objetivo específico 1, sobre determinar la variación altitudinal de la precipitación, el análisis estadístico al 95% de confianza muestra que no existe diferencias entre las lluvias en la parte media y la parte alta de esta microcuenca. La precipitación anual promedio fue de 801.8 mm. La precipitación del mes más seco fue 3.5 mm. La intensidad máxima de precipitación en 15 minutos fue de 27.2 mm. El 75% de las precipitaciones corresponde a intensidades menores de 3.2 mm/día. Las tormentas de precipitación fueron 8 con una duración en promedio de 2 a 7 horas,

siendo febrero y marzo los meses con mayor duración de tormenta de 7.5 hr. Los eventos de tormentas de intensidad fluctúan desde 2.7 a 7.5mm. La duración varía entre 15 minutos hasta 3 horas. El acumulado de precipitación durante la tormenta fluctúa entre 1.5 y 36 mm.

Para el objetivo específico 2 sobre determinar el comportamiento temporal del caudal de escorrentía superficial, según el análisis estadístico al 95% de confianza muestra que no existen diferencias entre los caudales generados durante el día y durante la noche. Los caudales de escorrentía máximo fueron de 104.58 l/s/km²s, caudal medio diario fue 9.54 l/s/km², el caudal más bajo fue de 0 l/s/km²; así mismo el caudal medio anual 12.39 l/s/km².

Sobre los parámetros geomorfológicos en la microcuenca Millpu, esta tiene un área de 1.76 km² y una pendiente de 18%, una altura media de 4385m.s.n.m., según el factor de forma 1.63 y el tiempo de concentración de 15 minutos, estos parámetros nos permiten indicar que se trata de una cuenca pequeña con susceptibilidad a erosión hídrica, con gran capacidad de rendimiento hídrico y poca capacidad de regulación.

Con respecto a la caracterización de la cobertura vegetal y uso de suelo, en la microcuenca Millpu predomina con 93.3% la cobertura de pajonal altoandino que presenta problemas de compactación, erosión laminar y formación de cárcavas, así mismo el suelo desnudo, estas características contribuyen a un mayor escorrentía y menor infiltración.

7.2. Recomendaciones

En base al proceso de esta investigación se recomienda lo siguiente:

A las instituciones públicas encargadas de gestionar los recursos hídricos y de provisión de agua potable deben incorporar sistemas de medición hidrológica con alta resolución temporal, estas deben ser diseñadas considerando equipamiento tecnológico acorde con las necesidades, considerando costos de mantenimiento y teniendo cuidado en gestionar eficientemente la información, con la finalidad de entregar información de forma oportuna y evitar pérdida o manipulación de información.

A las entidades académicas deben alentar realizar investigaciones a escala de microcuencas, al ser estas las que tiene mayores brechas de conocimiento sobre aspectos físicos y climatológicos.

VIII. BIBLIOGRAFIA

1. Camacho, C. (2016). Modelamiento de la escorrentía en cuencas de montaña: caso de estudio río Vilcanota. Lima. Editorial Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
2. Anderson D, D. Sweeney, T. Williams. (1999). Estadística para Administración y Economía. México: International Thomson Editores.
3. De Bièvre, Acosta L.y Perez K. (2003) Guía para el Diagnostico Hidrológico Rápido. Editorial Condesan.
4. Boris Ochoa, Buytaert W. (2016). Regionalization of land-use impacts on streamflow using a network of paired catchments. Imperial Colleague.
5. Caldera, M. (2013). Introducción a la Estadística Descriptiva.
6. Campos, A. (1992). Procesos del ciclo hidrológico. San Luis Potosí, México: Universidad Autónoma de San Luis de Potosí.
7. Castañeda, Barros. (1994). Tendencias de la precipitación en el cono sur de América al este de los andes. Revista Meteorológica.
8. Céleri et al. (2013). Guía metodológica para el monitoreo de ecosistemas andinos. Cuenca: Iniciativa regional para el monitoreo hidrológico en ecosistemas andinos. Editorial Condesan.
9. Chen, Z. P. (2011). Modelling ecosystem water supply services across the Lancang river basin. Journal of resource and ecology, 322-327.
10. Chow V. et al. (1994). Hidrología aplicada. Colombia. Editorial McGRAW-HILL.
11. Delgado et. al. (2019). Estudio de los indicadores hidrológicos de la cuenca del río San Francisco en el municipio de Chonta-Cundinamarca. Cundinamarca: Universidad Católica de Colombia.
12. Enric Aguilar, M. B. (2003). Lineamientos para Homogenización . Suiza.

13. Fattorelli, S., & Fernandez P. (2011). Diseño Hidrológico. Zaragoza: Water Assessment & advisory Global Network.
14. Ferrer, F. (2000). Recomendaciones para el cálculo hidrometeorológico de avenidas. España: CEDEX.
15. Figueroa, C. (2016). Caracterización de campo de precipitación sobre microcuenca urbana del campus de la Universidad Nacional de Colombia.
16. Gaspari, F. J., Vagaría, A. M. R., Senisterra, G. E., Denegri, G. A., Delgado, M. I., & Besteiro, S. I. (2012). Caracterización morfométrica de la cuenca alta del río Sauce Grande, Buenos Aires.
17. Huerta, A. (2020). Curso Analisis de Datos.
18. IDEAM. (2007). Protocolo para el monitoreo y seguimiento del agua. Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
19. Linsley et al. (1990). Hidrologia para ingenieros. Ciudad de México, México. Editorial McGraw-Hill.
20. Narayan Kumar, S. (2009). Radar Based Rainfall Estimation for River Catchment Modeling. Belgica: Universiteit Leuven.
21. Ochoa, B. (2014). Regionalización de indicadores hidrológicos para evaluar impactos de los cambios de uso de la tierra en los Andes Tropicales. London: Imperial Colledge
22. Ochoa, B., Fitzimons, B., & De Bièvre, B. (2010). Guía de precesamiento de datos y obtención de parámetros e indicadores hidrológicos para ecosistemas andinos. Quito: Editorial Condensan.
23. OMM. (2008). Guía de prácticas hidrológicas. Ginebra, Suiza: Organización Meteorológica Mundial.

24. OMM. (2011). Guía de monitoreo hidrometeorológico. Ginebra, Suiza. Organización Meteorológica Mundial.
25. Padrón, R. (2013). Análisis de la estructura de la lluvia del páramo. Cuenca: Universidad de Cuenca.
26. Pardo, P. (2014). Modelación hidrológica continua basada en minería de datos (Trabajo de grado). Cochabamba: Universidad Mayor de San Simón.
27. Pladeyra, D. (2003). Estudio de paisajes hidrológicos y balance hídrico de la cuenca Lerma Chapala. Morelos, México.
28. Quijada Diaz, N. (2020). Caracterización de Eventos de Tormenta Pluviométrica de Utilidad para el Diseño Hidráulico en el Perú. Lima.
29. Quijada, N. V. (2020). Caracterización de Eventos de Tormenta Pluviométrica de Utilidad para el Diseño Hidráulico en el Perú. Lima: Universidad San Ignacio de Loyola.
30. Quillatupa Y., & Cárdenas E. (2016). Relación precipitación, infiltración y escorrentía para la época de lluvia en la microcuenca Yanango-Chanchamayo. Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú.
31. Reuter, H. N. (2007). An evaluation of void-filling interpolation methods for SRTM data. International Journal of Geographical Information Science.
32. Sánchez, J. (2004). El ciclo hidrológico. 6.
33. SENAMHI. (2020). Clasificación Climática Nacional 2020. Lima.
34. SENAMHI. (s/f). Normales Climatológicas 1981-2010.
35. SENAMHI. (s/f). Normales Climatológicas 1981-2010.
36. Serrato, F. D. M. (1998). Erosión y escorrentía en el campo experimental de "El Ardal". Murcia.

37. SUNASS. (2020). Guía de diseño de sistemas de monitoreo hidrológico para evaluar el impacto de los mecanismos de retribución por servicios ecosistémicos hídricos. Lima: Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento.
38. Tobón, C. (2008). Los bosques andinos y el agua. Quito: Programa regional Ecobona-Intercooperation.
39. Villacís, G. O. (2013). Guía de Control de Calidad de Datos Hidrológicos-iMHEA. Quito: Iniciativa regional para el monitoreo hidrológico de ecosistemas altoandinos. Editorial Condesan.
40. Villodas , R. (2008). Hidrología. Mendoza: Universidad Nacional del Cuyo. Argentina.
41. Villón, M. (2004). Hidrología. Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica.

ANEXOS

Delimitación de la cuenca

Se determinó el área de estudio y mediante de la cartográfica y análisis SIG, donde se determinó que la microcuenca Millpu, presenta un área total de 1.76 Km².

Tabla 22

Parámetros Generales.

Parámetros generales		
Morfometría	Valores	Significado Morfométrico
Área	1.76 km ²	Cuenca de tamaño pequeño
Perímetro	6.42 km	

- Longitud del cauce principal

Es la distancia del cauce principal desde el río receptor hasta su nacimiento cerca de la divisoria. Con la herramienta Measure del ArcGis se obtiene:

La longitud de cause principal es de 2.25 km.

Figura 43 Mapa de Longitud del Cause

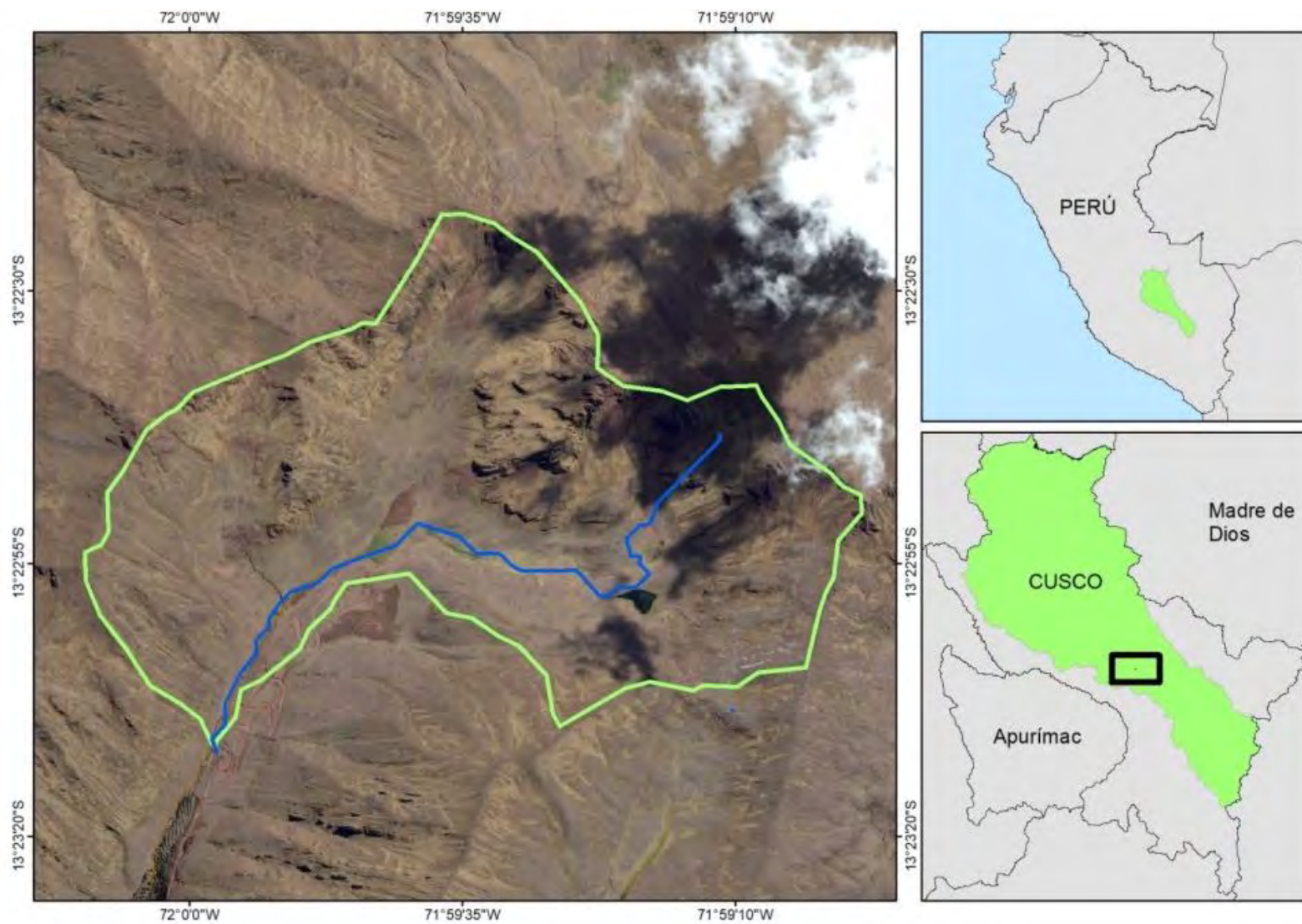


Tabla 23

Clases de Valores de Longitud de Cause Principal

Clases de longitud de cause	Longitud de cause (km)
Corto	7 – 11
Mediano	11 – 15
Largo	>15

- **Orden de Corrientes**

El orden de corriente indica el grado de estructura de la red de drenaje, a mayor número de orden indica mayor control del relieve y mayor posibilidad de erosión. Se obtiene mediante la agregación de corrientes, considerando una corriente de primer orden a aquella que no tiene afluentes, una de segundo orden aquella donde se reúnen dos corrientes de primer orden, una de tercero donde confluyen dos de segundo orden y así sucesivamente. Se utilizó la herramienta Measure del ArcGis, obteniendo una orden de corriente Clase 2.

Figura 44
Orden de corriente en la microcuenca Millpu.

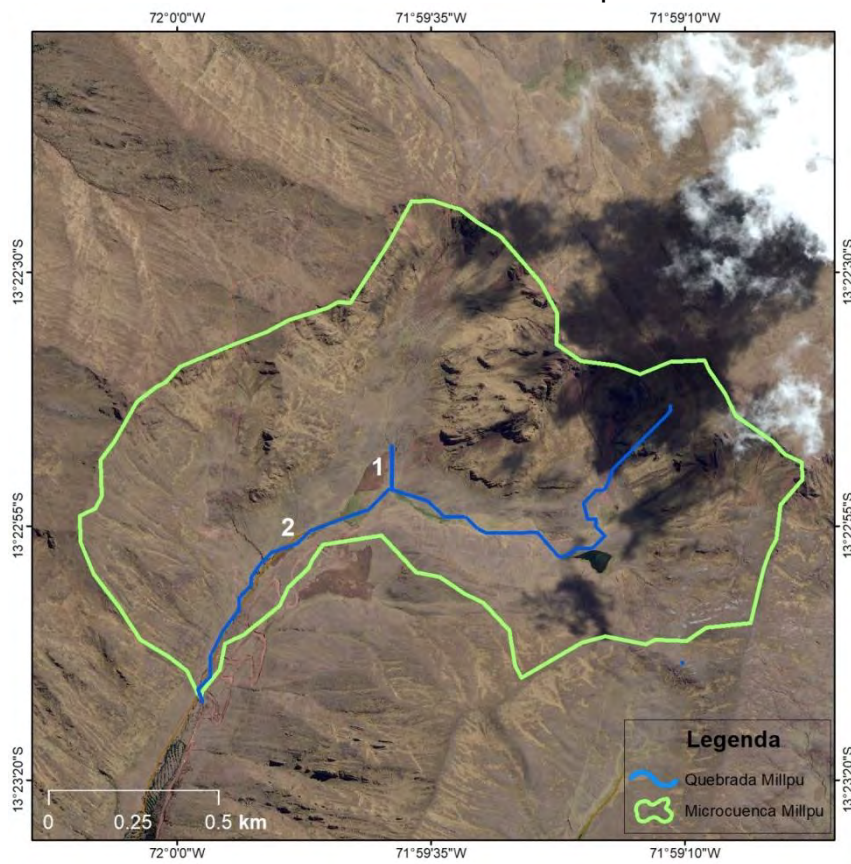


Tabla 24

Clases de Orden de Corriente

Clases de Orden	Rango de Ordenes
Bajo	1 – 2
Mediano	2 – 4
Alto	>6

Figura 45

Distribución Mensual de la Precipitación, estación Anta, 1964-2020.

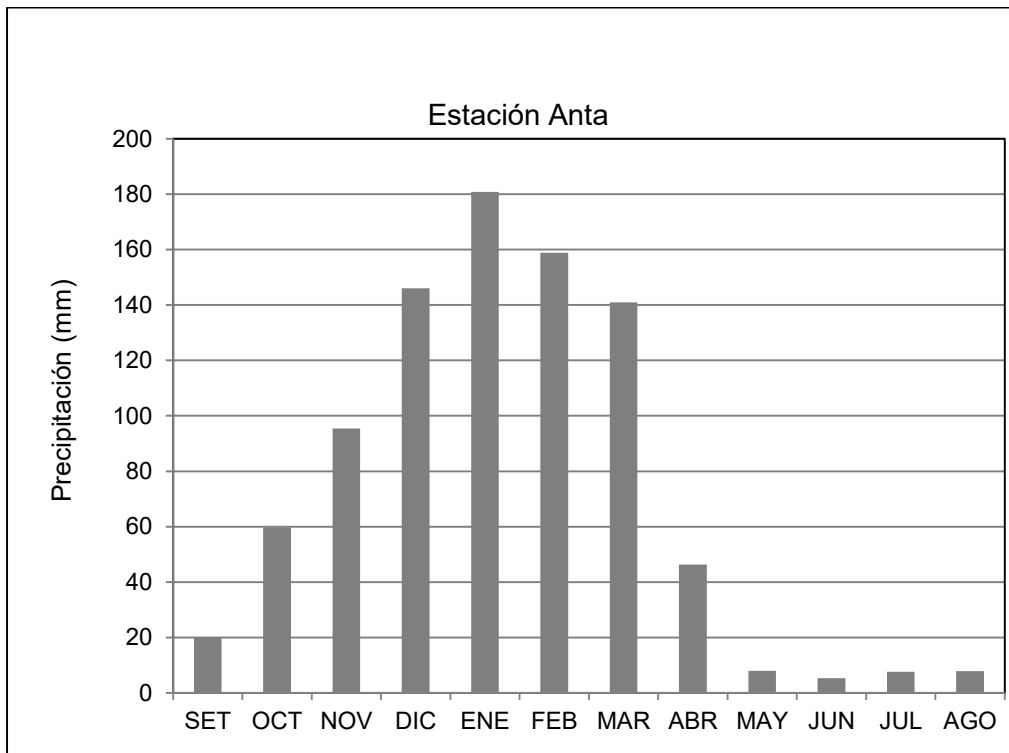
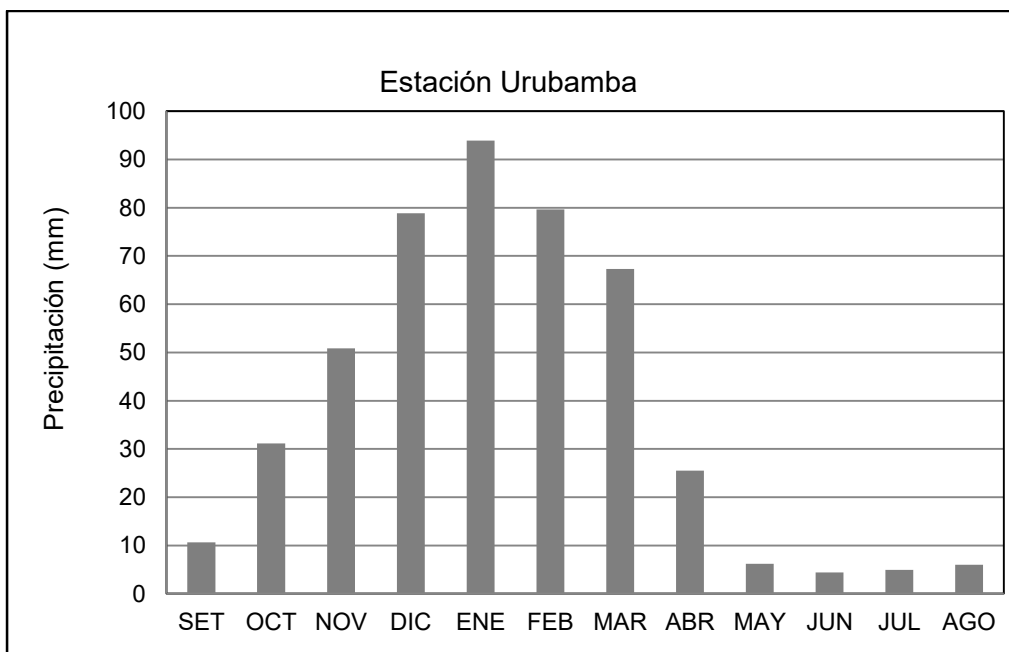


Figura 46

Régimen de precipitaciones, estación Urubamba 1964 - 2020.





Conjunto de datos de caudales medios diarios

Fecha	Precipitación pluvial (mm)	Caudal (l/s)	Fecha	Precipitación pluvial (mm)	Caudal (l/s)
1/10/2018	0.00		1/11/2018	1.48	0.55
2/10/2018	0.00		2/11/2018	0.36	0.46
3/10/2018	0.00		3/11/2018	10.37	3.74
4/10/2018	0.00		4/11/2018	2.12	2.64
5/10/2018	0.20		5/11/2018	1.72	2.17
6/10/2018	0.00		6/11/2018	2.23	1.85
7/10/2018	0.00		7/11/2018	0.79	1.44
8/10/2018	0.13		8/11/2018	0.52	1.05
9/10/2018	0.00		9/11/2018	0.84	1.00
10/10/2018	0.00		10/11/2018	0.41	0.76
11/10/2018	1.47		11/11/2018	0.34	0.69
12/10/2018	4.27		12/11/2018	1.51	0.68
13/10/2018	0.97	0.00	13/11/2018	0.70	0.53
14/10/2018	0.33		14/11/2018	0.22	0.43
15/10/2018	3.14	0.48	15/11/2018	1.65	0.49
16/10/2018	0.40	0.06	16/11/2018	5.33	1.27
17/10/2018	1.80	0.00	17/11/2018	1.67	0.74
18/10/2018	0.00		18/11/2018	6.94	1.62
19/10/2018	2.47	0.00	19/11/2018	3.21	1.43
20/10/2018	1.13		20/11/2018	0.79	1.04
21/10/2018	1.40	0.00	21/11/2018	1.49	1.11
22/10/2018	0.00		22/11/2018	2.88	1.16
23/10/2018	0.20		23/11/2018	0.50	1.01
24/10/2018	4.27		24/11/2018	0.43	0.85
25/10/2018	5.81	0.09	25/11/2018	0.63	0.80

26/10/2018	9.09	0.72	26/11/2018	3.10	1.26
27/10/2018	6.10	1.93	27/11/2018	2.17	1.27
28/10/2018	4.14	1.22	28/11/2018	0.59	1.04
29/10/2018	0.42	0.83	29/11/2018	0.38	0.75
30/10/2018	0.63	0.67	30/11/2018	0.34	0.69
31/10/2018	3.09	0.64			

Fecha	Precipitación pluvial (mm)	Caudal (l/s)	Fecha	Precipitación pluvial (mm)	Caudal (l/s)
1/12/2018	0.34	0.69	1/01/2019	3.65	2.11
2/12/2018	0.25	0.51	2/01/2019	2.14	1.48
3/12/2018	0.24	0.48	3/01/2019	11.63	2.79
4/12/2018	0.22	0.43	4/01/2019	22.08	14.97
5/12/2018	0.22	0.43	5/01/2019	14.33	21.92
6/12/2018	0.27	0.53	6/01/2019	9.78	19.56
7/12/2018	0.99	0.58	7/01/2019	7.13	14.00
8/12/2018	1.62	0.57	8/01/2019	7.77	10.68
9/12/2018	0.29	0.52	9/01/2019	9.30	10.60
10/12/2018	0.24	0.48	10/01/2019	8.37	10.27
11/12/2018	0.32	0.65	11/01/2019	5.89	8.45
12/12/2018	0.34	0.69	12/01/2019	9.90	12.73
13/12/2018	1.02	0.58	13/01/2019	0.20	
14/12/2018	2.27	0.62	14/01/2019	17.00	
15/12/2018	1.05	0.70	15/01/2019	16.77	33.45
16/12/2018	0.97	0.54	16/01/2019	16.21	24.81
17/12/2018	1.19	0.44	17/01/2019	9.98	18.35
18/12/2018	6.00	1.07	18/01/2019	16.75	19.90
19/12/2018	8.80	1.99	19/01/2019	9.37	17.33
20/12/2018	8.17	3.46	20/01/2019	15.89	19.85
21/12/2018	0.73	1.20	21/01/2019	13.80	22.47
22/12/2018	0.67	1.01	22/01/2019	12.64	21.82
23/12/2018	1.72	0.90	23/01/2019	10.78	19.50
24/12/2018	0.34	0.69	24/01/2019	8.38	16.76
25/12/2018	2.21	0.69	25/01/2019	5.57	10.54
26/12/2018	3.99	1.04	26/01/2019	4.68	8.30
27/12/2018	2.61	0.29	27/01/2019	4.26	6.98
28/12/2018	4.47	1.54	28/01/2019	6.42	5.85
29/12/2018	3.94	1.74	29/01/2019	3.56	4.98
30/12/2018	0.86	1.45	30/01/2019	5.75	4.83
31/12/2018	1.93	1.20	31/01/2019	4.17	4.67

Fecha	Precipitación pluvial (mm)	Caudal (l/s)	Fecha	Precipitación pluvial (mm)	Caudal (l/s)
1/02/2019	9.49	7.05	1/03/2019	5.60	9.26
2/02/2019	3.25	4.96	2/03/2019	8.59	9.31
3/02/2019	6.19	6.12	3/03/2019	4.82	8.57
4/02/2019	3.03	5.67	4/03/2019	4.04	7.34
5/02/2019	4.51	4.95	5/03/2019	4.79	7.04
6/02/2019	4.17	4.66	6/03/2019	27.08	17.97
7/02/2019	3.14	4.22	7/03/2019	7.35	14.71
8/02/2019	4.14	3.88	8/03/2019	5.79	11.57
9/02/2019	8.00	4.53	9/03/2019	5.45	9.41
10/02/2019	7.58	7.57	10/03/2019		
11/02/2019	3.20	5.41	11/03/2019		
12/02/2019	9.48	7.17	12/03/2019		
13/02/2019	12.52	12.25	13/03/2019		
14/02/2019	6.15	10.51	14/03/2019		
15/02/2019	7.64	9.55	15/03/2019		
16/02/2019	8.68	8.90	16/03/2019		
17/02/2019	12.48	13.09	17/03/2019		
18/02/2019	9.09	14.04	18/03/2019		
19/02/2019	9.16	15.51	19/03/2019	5.40	
20/02/2019	12.23	15.46	20/03/2019	26.87	45.74
21/02/2019	8.17	15.88	21/03/2019	19.90	39.80
22/02/2019	7.20	13.14	22/03/2019	21.50	34.40
23/02/2019	8.13	10.47	23/03/2019	17.82	30.37
24/02/2019	7.39	8.38	24/03/2019	18.18	31.03
25/02/2019	3.48	6.83	25/03/2019	22.28	29.62
26/02/2019	6.28	6.68	26/03/2019	18.02	27.31
27/02/2019	6.51	6.08	27/03/2019	24.43	44.26
28/02/2019	8.92	9.58	28/03/2019	21.38	42.62
			29/03/2019	29.22	38.84
			30/03/2019	18.08	33.23
			31/03/2019	15.29	30.05

Fecha	Precipitación pluvial (mm)	Caudal (l/s)	Fecha	Precipitación pluvial (mm)	Caudal (l/s)
1/04/2019	14.19	27.84	1/05/2019	7.67	11.61
2/04/2019	13.27	26.27	2/05/2019	5.40	10.80
3/04/2019	12.16	24.31	3/05/2019	8.34	10.68
4/04/2019	12.24	24.29	4/05/2019	5.51	10.68
5/04/2019	12.46	22.59	5/05/2019	5.56	11.11
6/04/2019	10.45	20.64	6/05/2019	5.59	11.18
7/04/2019	10.73	19.72	7/05/2019	7.60	10.67

8/04/2019	10.13	19.72	8/05/2019	5.49	10.31
9/04/2019	9.98	19.95	9/05/2019	4.82	9.65
10/04/2019	9.93	19.72	10/05/2019	4.70	9.28
11/04/2019	12.56	18.18	11/05/2019	4.66	9.26
12/04/2019	9.29	17.64	12/05/2019	4.63	9.26
13/04/2019	8.82	17.64	13/05/2019	4.98	9.36
14/04/2019	8.86	17.58	14/05/2019	4.73	9.26
15/04/2019	8.14	16.21	15/05/2019	4.96	9.26
16/04/2019	7.85	15.71	16/05/2019	4.35	8.50
17/04/2019	7.39	14.79	17/05/2019	4.12	8.04
18/04/2019	7.01	13.96			
19/04/2019	6.98	13.89			
20/04/2019	7.77	12.74			
21/04/2019	6.41	12.23			
22/04/2019	10.76	13.71			
23/04/2019	6.29	12.58			
24/04/2019	11.92	14.76			
25/04/2019	8.51	12.23			
26/04/2019	11.11	12.23			
27/04/2019	6.72	12.17			
28/04/2019	5.57	11.13			
29/04/2019	7.08	11.76			
30/04/2019	5.41	10.83			

Tabla 25

Análisis de la precipitación media del mes de octubre 2018.

Variable			Frecuencias			
Límite inferior	Límite superior	Marca de clase	Frecuencia absoluta	Frecuencia acumulada	Frecuencia relativa (%)	Fr. Relativa acumulada
0.0	4.0	2.0	20	20	0.65	0.65
4.0	8.0	6.0	6	26	0.19	0.84
8.0	12.0	10.0	1	27	0.03	0.87
12.0	16.0	14.0	1	28	0.03	0.90
16.0	20.0	18.0	3	31	0.10	1.00
			31		1.00	

Durante el mes de octubre 2018 acumulo 17.4 mm, de los cuales se registraron 20 días con precipitaciones inferiores a 4 mm que representa el 65%; así mismo se tubo 6 días con precipitaciones en el intervalo de 4-8 mm que corresponde al 19%. La precipitación media máxima fue de 18 mm y la media mínima fue de 2 mm.

Periodo noviembre 2018

Tabla 26

Análisis de la precipitación media del mes de noviembre 2018.

Variable			Frecuencias			
Límite inferior	Límite superior	Marca de clase	Frecuencia absoluta	Frecuencia acumulada	Frecuencia relativa (%)	Fr. Relativa acumulada
0.0	4.0	2.0	24	24	0.80	0.80
4.0	8.0	6.0	3	27	0.10	0.90
8.0	12.0	10.0	1	28	0.03	0.93
12.0	16.0	14.0	0	28	0.00	0.93
16.0	20.0	18.0	2	30	0.07	1.00
			30		1.00	

Durante el mes de octubre 2018 acumulo 18.8 mm, de los cuales se registraron 24 días con precipitaciones inferiores a 4 mm que representa el 77%; así mismo se tubo 3 días con precipitaciones en el intervalo de 8-12 mm que corresponde al 10%.

Periodo diciembre 2018

Tabla 27

Análisis de la precipitación media del mes de noviembre 2018

Variable			Frecuencias			
Límite inferior	Límite superior	Marca de clase	Frecuencia absoluta	Frecuencia acumulada	Frecuencia relativa (%)	Fr. Relativa acumulada
0.0	4.0	2.0	24	24	0.77	0.77
4.0	8.0	6.0	2	26	0.06	0.84
8.0	12.0	10.0	3	29	0.10	0.94
12.0	16.0	14.0	1	30	0.03	0.97
16.0	20.0	18.0	1	31	0.03	1.00
			31		1.00	

Durante el mes de octubre 2018 acumulo 18.8 mm, de los cuales se registraron 24 días con precipitaciones inferiores a 4 mm que representa el 80%; así mismo se tubo 3 días con precipitaciones en el intervalo de 4-8 mm que corresponde al 10%. La precipitación media máxima fue de 18 mm y la media mínima fue de 2 mm.

Periodo enero 2019

Tabla 28

Análisis de la precipitación media del mes de enero 2019.

Variable			Frecuencias			
Límite inferior	Límite superior	Marca de clase	Frecuencia absoluta	Frecuencia acumulada	Frecuencia relativa (%)	Fr. Relativa acumulada
0.0	7.0	3.5	22	22	0.71	0.71
7.0	14.0	10.5	5	27	0.16	0.16
14.0	21.0	17.5	3	30	0.10	0.10
21.0	28.0	24.5	0	30	0.00	0.00
28.0	35.0	31.5	0	30	0.00	0.00
35.0	42.0	38.5	1	31	0.03	0.03
			31		1.00	

Durante el mes de octubre 2018 acumulo 37.4mm, de los cuales se registraron 22 días con precipitaciones inferiores a 7mm que representa el 71%; así mismo se tuvo 5 días con precipitaciones en el intervalo de 7-14mm que corresponde al 16%. La precipitación media máxima fue de 38.5 mm y la media mínima fue de 3.5mm.

Periodo febrero 2019

Tabla 29

Análisis de la precipitación media del mes de febrero 2019.

Variable			Frecuencias			
Límite inferior	Límite superior	Marca de clase	Frecuencia absoluta	Frecuencia acumulada	Frecuencia relativa (%)	Fr. Relativa acumulada
0.0	3.0	1.5	12	12	0.43	0.43
3.0	6.0	4.5	5	17	0.18	0.61
6.0	9.0	7.5	2	19	0.07	0.68
9.0	12.0	10.5	3	22	0.11	0.79
12.0	15.0	13.5	4	26	0.14	0.93
15.0	18.0	16.5	2	28	0.07	1.00
			28		1.00	

Durante el mes de febrero 2018 acumulo 15.6mm, de los cuales se registraron 12 días con precipitaciones inferiores a 3.0mm que representa el 43%; así mismo se tuvo

5 días con precipitaciones en el intervalo de 3-6mm que corresponde al 17%. La precipitación media máxima fue de 16.5 mm y la media mínima fue de 1.5mm.

Periodo marzo 2019

Tabla 30

Análisis de la precipitación media del mes de marzo 2019.

Variable			Frecuencias			
Límite inferior	Límite superior	Marca de clase	Frecuencia absoluta	Frecuencia acumulada	Frecuencia relativa (%)	Fr. Relativa acumulada
0.0	8.0	4.0	26	26	0.84	0.84
8.0	16.0	12.0	2	28	0.06	0.90
16.0	24.0	20.0	2	30	0.06	0.97
24.0	32.0	28.0	0	30	0.00	0.97
32.0	40.0	36.0	0	30	0.00	0.97
40.0	48.0	44.0	1	31	0.03	1.00
			21		1.00	

Durante el mes de marzo 2019 acumulo 172.07mm, de los cuales se registraron 12 días con precipitaciones inferiores a 8.0mm que representa el 84%; así mismo se tuvo 2 días con precipitaciones en el intervalo de 8-24mm que corresponde al 12%. La precipitación media máxima fue de 44 mm y la media mínima fue de 4 mm.

Periodo abril 2019

Tabla 31

Análisis de la precipitación media del mes de abril 2019

Variable			Frecuencias			
Límite inferior	Límite superior	Marca de clase	Frecuencia absoluta	Frecuencia acumulada	Frecuencia relativa (%)	Fr. Relativa acumulada
0.0	3.0	1.2	26	26	0.87	0.87
3.0	6.0	4.5	1	27	0.03	0.90
6.0	9.0	7.5	1	28	0.03	0.93
9.0	12.0	10.5	2	30	0.07	0.97
12	15.0	13.5	0	30	0.03	1.00
			30		1.00	

Durante el mes de abril 2019 acumulo 36.2mm, de los cuales se registraron 26 días con precipitaciones inferiores a 3.0mm que representa el 87%; así mismo se tuvo 2 días con precipitaciones en el intervalo de 9-12mm que corresponde al 7%. La precipitación media máxima fue de 13.5mm y la media mínima fue de 1.5mm.

Periodo abril 2019

Tabla 32

Análisis de la precipitación media del mes de abril 2019

Variable			Frecuencias			
Límite inferior	Límite superior	Marca de clase	Frecuencia absoluta	Frecuencia acumulada	Frecuencia relativa (%)	Fr. Relativa acumulada
0.0	3.0	1.2	26	26	0.87	0.87
3.0	6.0	4.5	1	27	0.03	0.90
6.0	9.0	7.5	1	28	0.03	0.93
9.0	12.0	10.5	2	30	0.07	0.97
12	15.0	13.5	0	30	0.03	1.00
			30		1.00	

Durante el mes de abril 2019 acumulo 36.2mm, de los cuales se registraron 26 días con precipitaciones inferiores a 3.0mm que representa el 87%; así mismo se tuvo 2 días con precipitaciones en el intervalo de 9-12mm que corresponde al 7%. La precipitación media máxima fue de 13.5mm y la media mínima fue de 1.5mm.

Periodo mayo 2019

Tabla 33

Análisis de la precipitación media del mes de mayo 2019.

Variable			Frecuencias			
Límite inferior	Límite superior	Marca de clase	Frecuencia absoluta	Frecuencia acumulada	Frecuencia relativa (%)	Fr. Relativa acumulada
0.0	2.0	1.0	27	27	0.87	0.87
2.0	4.0	3.0	0	27	0.00	0.87
4.0	6.0	5.0	1	28	0.03	0.90

6.0	8.0	7.0	2	30	0.06	0.97
8.0	10.0	9.0	1	31	0.03	1.00
			31		1.00	

Durante el mes de abril 2019 acumulo 36.2mm, de los cuales se registraron 26 días con precipitaciones inferiores a 2.0mm que representa el 87%; así mismo se tuvo 2 días con precipitaciones en el intervalo de 9-12mm que corresponde al 7%. La precipitación media máxima fue de 13.5mm y la media mínima fue de 1.5mm.

Periodo junio 2019

Tabla 34

Análisis de la precipitación media del mes de junio 2019

Variable			Frecuencias			
Límite inferior	Límite superior	Marca de clase	Frecuencia absoluta	Frecuencia acumulada	Frecuencia relativa (%)	Fr. Relativa acumulada
0.0	1.0	0.5	29	29	0.97	0.97
1.0	2.0	1.5	0	29	0.00	0.97
2.0	3.0	2.5	0	29	0.03	0.97
3.0	4.00	3.5	1	30	0.00	1.00
			30		1.00	

Durante el mes de junio 2019 acumulo 4.8mm, de los cuales se registraron 29 días con precipitaciones inferiores a 0.5mm que representa el 97%; así mismo se tuvo 1 día con precipitaciones en el intervalo de 3-4mm que corresponde al 3%.

La precipitación media máxima fue de 3.5mm y la media mínima fue de 0.5mm.

Periodo julio 2019

Tabla 35

Análisis de la precipitación media del mes de julio 2019

Variable			Frecuencias			
Límite inferior	Límite superior	Marca de clase	Frecuencia absoluta	Frecuencia acumulada	Frecuencia relativa (%)	Fr. Relativa acumulada

0.0	1.0	0.5	30	30	0.97	0.97
1.0	2.0	1.5	1	31	0.03	1.00
2.0	3.0	2.5	0	31	0.00	1.00
3.0	4.00	3.5	0	31	0.00	1.00
			31		1.00	

Durante el mes de junio 2019 acumulo 3.6mm, de los cuales se registraron 30 días con precipitaciones inferiores a 3.5mm que representa el 97%; así mismo se tuvo 1 día con precipitaciones en el intervalo de 1- 2mm que corresponde al 3%.

La precipitación media máxima fue de 3.5mm y la media mínima fue de 0.5mm.

Periodo septiembre 2019

Tabla 36

Análisis de la precipitación media del mes de julio 2019

Variable			Frecuencias			
Límite inferior	Límite superior	Marca de clase	Frecuencia absoluta	Frecuencia acumulada	Frecuencia relativa (%)	Fr. Relativa acumulada
0.0	1.0	0.5	25	25	0.83	0.83
1.0	2.0	1.5	3	28	0.10	1.93
2.0	3.0	2.5	1	29	0.03	0.97
3.0	4.00	3.5	1	30	0.00	1.00
			30		1.00	

Durante el mes de septiembre 2019 acumulo 16.2mm, de los cuales se registraron 25 días con precipitaciones inferiores a 1.0mm que representa el 83%; así mismo se tuvo 3 días con precipitaciones en el intervalo de 1- 2 mm que corresponde al 10%.

La precipitación media máxima fue de 3.5mm y la media mínima fue de 0.5mm.

Tormentas de Precipitación

Fecha	Duración del los eventos TP (hr)	Acumulado de los eventos de TP (mm)	Tiempo al pico
15/10/18	2.75	3.9	0.25
26/10/18	3.50	9.4	0.5

16/11/18	1.00	12.3	0.25
17/11/18	5.00	2.1	1.5
18/12/18	4.50	3.9	3.75
02/01/19	5.50	14.6	2
03/01/19	3.50	13.3	1.75
16/02/19	7.50	11.5	1.25
02/03/19	3.75	4.9	2
05/03/19	7.50	36	1.75
28/03/19	4.00	16.1	0.75
30/04/19	3.00	1.5	1.5
02/05/19	2.75	3.6	0.75

Registro de Precipitación y Caudal diario

fecha	Plu_1	Plu_2	Plu_3	Media	QE
01/10/2018 09:00	0	0	0	0.0	
02/10/2018 09:00	0	0	0	0.0	
03/10/2018 09:00	0	0	0	0.0	
04/10/2018 09:00	0	0	0	0.0	
05/10/2018 09:00	0.6	0	0	0.2	
06/10/2018 09:00	0	0	0	0.0	
07/10/2018 09:00	0	0	0	0.0	
08/10/2018 09:00	0.4	0	0	0.1	
09/10/2018 09:00	0	0	0	0.0	
10/10/2018 09:00	0	0	0	0.0	
11/10/2018 09:00	4.4	0	0	1.5	
12/10/2018 09:00	12.8	0	0	4.3	
13/10/2018 09:00	5.8	0	0	1.9	0.000
14/10/2018 09:00	1	0	0	0.3	
15/10/2018 09:00	17.4	0	0	5.8	0.484
16/10/2018 09:00	2.2	0	0	0.7	0.061
17/10/2018 09:00	3.6	3.2	4	3.6	0.005
18/10/2018 09:00	0	0	0	0.0	
19/10/2018 09:00	4.2	5	5.6	4.9	0.003
20/10/2018 09:00	1.4	1.2	0.8	1.1	
21/10/2018 09:00	3	2.4	3	2.8	0.004
22/10/2018 09:00	0	0	0	0.0	
23/10/2018 09:00	0.2	0.2	0.2	0.2	
24/10/2018 09:00	4.8	4.6	3.4	4.3	
25/10/2018 09:00	11.2	13	10.4	11.5	0.09
26/10/2018 09:00	17.2	18.2	17	17.5	0.72
27/10/2018 09:00	16.2	4.2	10.4	10.3	1.93
28/10/2018 09:00	7.6	7.4	6.2	7.1	1.22
29/10/2018 09:00	0	0	0	0.0	0.83

30/10/2018 09:00	0	1.8	0	0.6	0.67
31/10/2018 09:00	5	5.6	6	5.5	0.64

Registro Fotográfico



En la figura, 1) pluviómetro en calibración



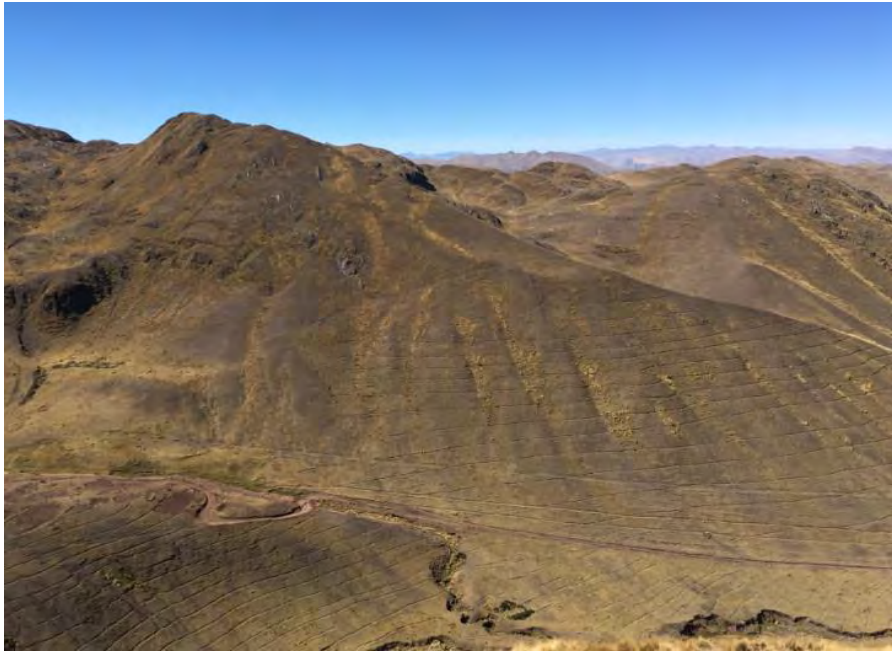
En la figura, 2) Medición de zanjas de infiltración



En la figura 3) convección de humedad en pluviómetro 2



En la figura 4) Pastizal degradado en vertiente oriental.



En la figura 5) Pastizal degradado en vertiente occidental.



En la figura 6) Vertedero con problemas de sedimentación.