

UNIVERSIDAD RICARDO PALMA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE TITULACIÓN POR TESIS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**ANÁLISIS HIDROLÓGICO Y ESTIMACIÓN DEL
BALANCE HÍDRICO PARA LA PRESA DE RELAVES
PATAZ - LA LIBERTAD - 2019**

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL

PRESENTADA POR:

Bach. HURTADO ASTO, JENNYFER STEFY JESUS

ASESOR: Mg. Ing. MOGROVEJO GUTIÉRREZ, RUBÉN ESAÚ

LIMA - PERÚ

2019

DEDICATORIA

Dedico la presente tesis a mis padres por su continuo esfuerzo en mi formación universitaria y en todo momento. A Hans, mi fiel apoyo. A mis hermanos, tíos y abuelos por sus consejos en los años de estudio.

Jennyfer Stefy Jesus Hurtado Asto

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi alma mater por la educación, principios y visión que han inculcado en mi persona en los años de formación.

Jennyfer Stefy Jesus Hurtado Asto

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.1 Descripción de la realidad de la problemática	2
1.2 Formulación del Problema	2
1.2.1 Problema principal	2
1.2.2 Problemas secundarios	2
1.3 Objetivo de la investigación	3
1.3.1 Objetivo principal	3
1.3.2 Objetivos secundarios	3
1.4 Justificación e importancia de la investigación	3
1.4.1 Conveniencia	3
1.4.2 Relevancia social	4
1.4.3 Implicancia práctica	4
1.5 Limitaciones de la investigación	4
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	5
2.1 Antecedentes de la investigación	5
2.2 Bases teóricas	10
2.3 Definiciones conceptuales	10
2.3.1 Hidrología	10
2.3.2 Balance Hidrológico	10
2.3.3 El Ciclo Hidrológico	11
2.3.4 Cuenca Hidrológica	11
2.3.5 Delimitación de una Cuenca	11
2.3.6 Superficie de la Cuenca	11
2.3.7 Curvas características de una Cuenca	12
2.3.8 Pruebas de Bondad y Ajuste	12
2.3.9 Análisis de Consistencia	12
	iv

2.3.10	Análisis de Dobles Masas	12
2.3.11	Hidrograma	12
2.3.12	Índice o factor de forma de una cuenca (F)	13
2.3.13	Índice de compacidad (índice de Gravelious)	13
2.3.14	Rectángulo equivalente	13
2.3.15	Índice de pendiente	13
2.3.16	Pendiente de la cuenca	14
2.3.17	Perfil longitudinal del curso de agua	15
2.3.18	Pendiente del cauce	15
2.3.19	Red de drenaje	15
2.3.20	Formas de precipitación.	16
2.3.21	Tipos de precipitación	17
2.3.22	Medición de la precipitación	18
2.3.23	Cálculo de la precipitación media sobre una zona	18
2.3.24	Elementos fundamentales del análisis de las tormentas	19
2.3.25	Hietograma	20
2.3.26	Curva masa de precipitación	20
2.3.27	Precipitación	21
2.3.28	Evaporación	21
2.3.29	Transpiración	21
2.3.30	Evapotranspiración	21
2.3.31	Escurrimiento	21
2.3.32	Infiltración	22
2.3.33	Método de Thorntwaite	23
2.4	Estructura teórica y científica que sustenta la investigación	23
2.4.1	Análisis hidrológico	23
2.4.2	Estimación del balance hídrico	26
2.4.3	Manejo de relaves	28
2.5	Formulación de Hipótesis	31
2.5.1	Hipótesis principal	31
2.5.2	Hipótesis secundarias	31
2.5.3	Variables	31

CAPÍTULO III: DISEÑO METODOLÓGICO	33
3.1 Tipo y nivel	33
3.2 Diseño de investigación	33
3.3 Muestra	33
3.4 Técnicas de recolección de datos	33
3.4.1 Tipos de técnicas e instrumentos	33
3.4.2 Criterio de validez y confiabilidad de los instrumentos	34
3.4.3 Técnicas de procesamiento y análisis de datos	34
CAPÍTULO IV: DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN	35
4.1 Estudios Generales de la zona	35
4.1.1 Ubicación y localización	35
4.1.2 División política administrativa	35
4.2 Estudio de topografía	36
4.2.1 Resumen de Topografía	37
CAPÍTULO V: PROPUESTA O APLICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	39
5.1. Análisis hidrológico	39
5.1.1 Parámetros geomorfológicos	39
5.1.2 Datos de variables meteorológicas	47
5.1.3 Datos completados	49
5.1.4 Series de precipitación y temperatura para simulaciones	58
5.1.5 Obtención de caudales	62
5.1.6 Cálculo de evapotranspiración	70
5.1.7 Cálculo de Infiltración	73
5.1.8 Caudal de la tormenta de diseño	75
5.2 Curva Z vs Altitud	79
5.3 Balance Hídrico	80
CAPÍTULO VI: PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	83
6.1 Resultados de la Investigación	83
6.2 Análisis e interpretación de los resultados	83
6.3 Contrastación de Hipótesis	84

DISCUSIÓN DE RESULTADOS	85
CONCLUSIONES	87
RECOMENDACIONES	88
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	89
ANEXOS	92
Anexo 1: Matriz de consistencia	92
Anexo 2: Matriz operacionalización de variables	93
Anexo 3: Planos detallados	94

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Componentes del coeficiente de infiltración	23
Tabla 2. Operacionalización de las variables.....	32
Tabla 3. Áreas parciales y acumuladas para elaboración de Curva Hipsométrica	40
Tabla 4. Áreas parciales entre curvas de nivel.....	41
Tabla 5. Altitud más frecuente Vs Porcentaje de incidencia	42
Tabla 6. Rectángulo equivalente.....	43
Tabla 7. Perfil longitudinal del río.....	44
Tabla 8. Cálculo del Índice de pendiente.....	46
Tabla 9. Cálculo de pendiente media de la cuenca	47
Tabla 10. Estaciones meteorológicas.....	47
Tabla 11. Registros históricos de precipitación completados – Estación Cajabamba	50
Tabla 12. Registros históricos de precipitación completados – Estación Huamachuco .	51
Tabla 13. Registros históricos de precipitación completados – Estación Mollepata.....	52
Tabla 14. Registros históricos de precipitación completados – Estación Buldibuyo	53
Tabla 15. Registros históricos de temperatura completados – Estación Cajabamba.....	56
Tabla 16. Registros históricos de temperatura completados – Estación Huamachuco...	57
Tabla 17. Precipitación media mensual de la cuenca calculada con interpolación.....	
IDW.	60
Tabla 18. Temperatura media mensual interpolada para la cuenca.....	61
Tabla 19. Cobertura vegetal sobre la cuenca.....	63
Tabla 20. Parámetros de calibración según cobertura.	64
Tabla 21. Parámetros de calibración según subcuencas.	65
Tabla 22. Serie de caudales simulados	69
Tabla 23. Factores de Corrección de e.....	71
Tabla 24. Evapotranspiración potencial calculada mediante el método de.....	
Thornthwaite.....	72
Tabla 25. Datos de infiltración calculados.....	74
Tabla 26. Análisis de bondad de ajuste.....	75
Tabla 27. Consideraciones y métodos usados.....	77
Tabla 28. Cálculos gráfica Altitud Vs Área y Altitud Vs Volumen.....	79
Tabla 29. Parámetros considerados para modelo de balance hídrico.	81
Tabla 30. Resumen de resultados de balance hídrico sin drenaje en cuenca aportante..	81

Tabla 31. Balance hídrico considerando drenaje en cuenca aportante.	83
Tabla 32. Balance hídrico considerando aumento de capacidad de la planta de..... tratamiento	83

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de Límites Políticos y Referenciales de la Provincia de Pataz.....	36
Figura 2. Mapa Topográfico	37
Figura 3. Mapa de Ubicación.....	37
Figura 4. Mapa Geológico	38
Figura 5. Mapa de Área de Interés de Microcuenca	38
Figura 6. División de microcuenca en bandas altitudinales.....	39
Figura 7. Áreas parciales y acumuladas para la elaboración de Curva Hipsométrica	39
Figura 8. Curva Hipsométrica del Área de interés de la Microcuenca Pataz	40
Figura 9. Polígono de Frecuencias de Áreas Parciales	42
Figura 10. Rectángulo equivalente	43
Figura 11. Pendiente del río Principal	45
Figura 12. Curvas Doble Masa de la Estación Cajabamba.....	48
Figura 13. Curvas Doble Masa de la Estación Huamachuco.....	48
Figura 14. Curvas Doble Masa de la Estación Mollepata.....	49
Figura 15. Registros históricos de precipitación completados – Estación Cajabamba...	54
Figura 16. Registros históricos de precipitación completados – Estación Huamachuco	54
Figura 17. Registros históricos de precipitación completados – Estación Mollepata	55
Figura 18. Registros históricos de precipitación completados – Estación Buldibuyo....	55
Figura 19. Registros históricos de temperatura completados – Estación Cajabamba....	58
Figura 20. Registros históricos de temperatura completados – Estación Huamachuco .	58
Figura 21. Interpolación IDW.....	59
Figura 22. Registros históricos de temperatura interpolados para la cuenca.....	59
Figura 23. Series de temperaturas medias mensuales obtenidas de PISCO	62
Figura 24. Ubicación cuenca en la subdivisión por subcuencas de la cuenca del..... Marañón.....	62
Figura 25. Cobertura vegetal sobre la cuenca.....	64
Figura 26. Esquema de modelo hidrológico de microcuenca en WEAP.....	66
Figura 27. Evapotranspiración potencial calculada en WEAP.....	66
Figura 28. Evapotranspiración real calculada en WEAP.....	67
Figura 29. Flujo base calculado en función de los tipos de suelo.....	67
Figura 30. Simulación de caudales mensuales promedio	68
Figura 31. Simulación de caudales con el modelo Soil Moisture Method de WEAP	68

Figura 32. Evapotranspiración potencial calculada mediante el método de.....	
Thornthwaite.....	73
Figura 33. Mapa de Número de Curva (condiciones normales).....	76
Figura 34. Recorte de la cuenca para el mapa de CN del Perú.....	77
Figura 35. Salida del HEC-HMS	78
Figura 36. Simulación con HEC-HMS.....	78
Figura 37. Altitud Vs Área y Altitud Vs Volumen.....	79
Figura 38. Esquema de Balance de aguas.....	80

RESUMEN

En el presente trabajo tuvo por objetivo desarrollar el análisis de la hidrología y disponibilidad hídrica para estimar las características y requerimientos de una presa de relaves en Pataz – La Libertad. En primer lugar, se buscó un emplazamiento adecuado para la presa, que se ubique en una zona donde no represente peligro para la población, ni altere en gran medida el curso natural del agua. Luego se hizo un análisis de la red de estaciones pluviométricas y meteorológicas, que nos servirán como datos básicos para cuantificar las entradas y salidas en nuestro balance de aguas. Una vez seleccionadas las estaciones a utilizar, se realizó un tratamiento de datos y los cálculos y análisis respectivos para obtener las variables que requerimos como el caudal para un periodo de retorno de 100 años y la evapotranspiración potencial. Estas variables estimadas para nuestra cuenca se ingresaron en el modelo hidrológico WEAP para obtener caudales simulados, que serían los caudales de la cuenca aportante. Con las variables necesarias calculadas para nuestra cuenca y considerando los procesos propios de la generación de relaves, se procedió a realizar el balance hídrico. Los resultados mostraron que la diferencia entre volúmenes de entrada y salida es positiva en todos los meses. Asimismo, se estudiaron escenarios de balance hídrico donde se implementa un sistema de drenaje en la cuenca aportante y donde se aumenta la capacidad de la planta de tratamiento. Finalmente se llegó a la conclusión que el balance hídrico es siempre positivo, aún con los escenarios planteados, debido a las características climáticas y de impermeabilización

Palabras claves: Presa de relaves, análisis hidrológico, modelo hidrológico.

ABSTRACT

The objective of this work was to develop the analysis of hydrology and water availability to estimate the characteristics and requirements of a tailings dam in Pataz - La Libertad. First, a suitable location for the dam was sought, which is located in an area where it does not represent a danger to the population, nor does it greatly alter the natural course of the water. Then an analysis of the network of rain and weather stations was made, which will serve as basic data to quantify the inputs and outputs in our water balance. Once the stations to be used were selected, data processing and the respective calculations and analyzes were performed to obtain the variables we require such as the flow rate for a 100-year return period and the potential evapotranspiration. These estimated variables for our basin were entered into the WEAP hydrological model to obtain simulated flows, which would be the flows of the contributing basin. With the necessary variables calculated for our basin and considering the processes of tailings generation, the water balance was carried out. The results showed that the difference between input and output volumes is positive in all months. Likewise, water balance scenarios were studied where a drainage system is implemented in the contributing basin and where the capacity of the treatment plant is increased. Finally, it was concluded that the water balance is always positive, even with the scenarios proposed, due to the climatic and waterproofing characteristics.

Keywords: Tailings dam, hydrological analysis, hydrological model.

INTRODUCCIÓN

La minería en el Perú es uno de los principales sectores de la economía y representa una actividad bastante cercana a la población en muchos sectores. La afectación que puede causar la minería en la calidad y disponibilidad de los recursos hídricos ha sido durante los últimos años un motivo de preocupación y reclamos en sectores de la población. Es así que cuidar el correcto uso del recurso hídrico en la actividad minera, es actualmente un requisito para las empresas que incursionan en este sector productivo. Por ello mejorar las tecnologías en tratamiento de aguas, minimizar el consumo de agua mediante técnicas de optimización, y realizar una gestión adecuada en las zonas mineras ayudarán a mejorar la productividad y minimizar los impactos ambientales de esta actividad económica.

El departamento de La Libertad, donde se desarrolla la presente investigación, tiene una importante presencia de mineras en la zona alta. Es por ello que se ve la necesidad de proyectar obras que permitan desarrollar esta actividad económica responsablemente, como es la presa de relaves que en este trabajo se detalla. Uno de los principales inconvenientes para un adecuado estudio en zonas tan alejadas como esta es la falta de datos climatológicos, es por ello que se plantea generar series de caudales mediante un modelo hidrológico previamente calibrado y validado en la cuenca del Marañón. El balance hídrico planteado considera así las principales entradas y salidas de agua de la forma más precisa posible. La presente tesis se desarrolla de la forma siguiente:

En el Capítulo I se describe el problema, objetivos, justificación y limitaciones de la presente investigación.

En el Capítulo II, el marco teórico, se presentan los conceptos clave para comprender los fenómenos en estudio.

En el Capítulo III se explica la metodología desarrollada.

En el Capítulo IV se muestra el desarrollo de la investigación.

En el Capítulo V se presenta la propuesta o aplicación de la investigación, donde se detallan los cálculos y procesos realizados para el análisis hidrológico y balance hídrico.

En el Capítulo VI se presentan los resultados obtenidos y finalmente se detallan la discusión de resultados, conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de la realidad de la problemática

La actividad minera es uno de los sectores productivos más importantes de la economía nacional y genera aproximadamente el 10% del Producto Bruto Interno. Asimismo, la gestión ambiental de las empresas mineras es un tema que viene generando posibles conflictos sociales durante los últimos años. Es por ello que los residuos mineros deben ser cuidadosamente tratados y almacenados en lugares adecuados como botaderos y presas de relaves. Siguiendo esta lógica es imprescindible contar con procesos de diseño que permitan darles la mayor seguridad posible a estas obras de ingeniería, por ello realizar un análisis cuidadoso de la hidrología, que generalmente se ve relacionada a mucha incertidumbre, se vuelve importante pues será la base para los diseños adicionales que se tendrían que hacer. Es de esta manera, que se busca conocer los volúmenes a los que se verá sometida la presa de relaves, para poder prever sus condiciones adecuadas de funcionamiento.

1.2 Formulación del Problema

1.2.1 Problema principal

¿Cómo establecer la relación del análisis hidrológico con el balance hídrico en la Presa de relaves Pataz – La Libertad?

1.2.2 Problemas secundarios

- a) ¿Cuáles serán los volúmenes de operación máximos que se darían en la presa de Relaves Pataz – La Libertad?
- b) ¿Qué metodología de modelamiento hidrológico permite establecer la estimación del balance hídrico en la Presa de relaves Pataz – La Libertad?
- c) ¿Cómo el cálculo de la evapotranspiración potencial (ETP) permite comprender el balance hídrico en la Presa de relaves Pataz – La Libertad?
- d) ¿Qué requerimientos se necesitan en la presa de relaves Pataz – La Libertad para un adecuado funcionamiento?

1.3 Objetivo de la investigación

1.3.1 Objetivo principal

Realizar un análisis hidrológico y balance hídrico para poder hallar las características y requerimientos de la Presa de relaves Pataz – La Libertad.

1.3.2 Objetivos secundarios

- a) Estimar la máxima capacidad de operación de la presa de relaves Pataz – La Libertad.
- b) Estimar mediante modelamiento hidrológico los volúmenes de caudales para la estimación del balance hídrico en la Presa de relaves Pataz – La Libertad.
- c) Explicar la incidencia del cálculo de la evapotranspiración potencial (ETP) en el balance hídrico en la Presa de relaves Pataz – La Libertad.
- d) Presentar escenarios de implementación para mejorar la seguridad y lograr un adecuado funcionamiento de la presa de relaves Pataz – La Libertad.

1.4 Justificación e importancia de la investigación

1.4.1 Conveniencia

Ámbito de investigación.

La investigación se ubica geográficamente en la región natural de la sierra, específicamente en la región de la Libertad, Distrital de Parcoy en la Provincia de Pataz, a una altitud entre 2135 y 2340 m.s.n.m. Actualmente la zona presenta una topografía accidentada, con pendientes que oscilan entre 20% a 60%. Debido a que la investigación hace referencia a la industria Minera, tiene como meta, proporcionar y brindar un estudio a nivel de ingeniería para una máxima producción.

El crecimiento y rentabilidad depende de las condiciones de la ingeniería, las cuales determinarán el desarrollo de la misma. Estas características le dan un valor estratégico, desde el punto de vista ingenieril, de mucha incidencia ocupacional y factor preponderante para maximizar el desarrollo de la presa.

1.4.2 Relevancia social

El primer elemento que se define cuando se trabaja con balance hídrico es el ámbito territorial y sus unidades de análisis (cuencas, subcuencas y microcuencas).

La investigación pretende demostrar que los aspectos ambientales considerados en las etapas diseño, construcción, operación y cierre de una Presa de Relaves; muestra también nuevas alternativas de clasificación de relaves mediante el uso de técnicas estadísticas apropiadas para el control, los cuales nos permiten optimizar el tiempo de vida de una Presa de Relaves trayendo como consecuencia un menor impacto ambiental en lo que se refiere a áreas verdes.

1.4.3 Implicancia práctica

La caracterización hidrológica y balance de aguas son procesos fundamentales para el diseño de una presa de relaves. Además, es necesario conocer los volúmenes de agua a usar y descargar para poder prever planes de mitigación y compensación en la zona, así como estimar la vida útil de la presa.

1.5 Limitaciones de la investigación

En la actualidad, la minería peruana enfrenta el mayor reto ambiental en lo que se refiere al manejo de relaves, debido a que las empresas dedicadas a la minería tienen que cumplir los límites máximos permisibles de emisiones contaminantes. Por ello un manejo adecuado de los relaves considerando los aspectos ambientales durante la etapa de diseño, operación, cierre y post cierre, hará que la actividad minera sea sostenible en el tiempo.

En la presente investigación se realizará el cálculo estadístico del análisis hidrológico para determinar la estimación del balance hídrico en la Presa de relaves Pataz – La Libertad.

Existen limitaciones en cuanto al hallazgo de antecedentes e investigaciones similares; sin embargo, no es un tema que impida el desarrollo de la investigación.

Una limitación en cuanto a la hidrología es la mínima cantidad de estaciones meteorológicas cercanas a Pataz – La Libertad, por lo cual se determinará un criterio de investigación para obtener las precipitaciones del lugar.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

Díaz, L y Alarcon, J (2018), en su estudio se busca realizar el balance hídrico de la cuenca de la Quebrada Niscota, con el fin de conocer su uso potencial como fuente abastecedora de agua para un acueducto que beneficie seis veredas de la parte baja del municipio de Nunchía en el departamento de Casanare, esto con el fin de evaluar la oferta hídrica de acuerdo a la resolución 865 de 2004 emanada del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Para ello se buscará la información necesaria concerniente a censos poblacionales, datos meteorológicos oficiales, imágenes satelitales y mapas geológicos de la cuenca. Una vez recolectada esta información se procede a su respectivo análisis, para esto se utilizarán herramientas de sistemas de información geográfica SIG para encontrar los diferentes parámetros morfológicos de la cuenca y el Software Hec Ras, para determinar los caudales mínimos y máximos que se pueden esperar para el sitio de interés que corresponde a la captación. Posterior al análisis de la información se realizará el balance hídrico involucrando las condiciones morfológicas y climatológicas de la cuenca, el cual nos permitirá conocer la oferta hídrica y compararla con la demanda hídrica requerida para abastecer a la población beneficiada actual y futura, durante todos los meses del año. Así mismo es de gran importancia comprobar que se cumpla con el caudal ecológico luego de captar agua de esta fuente. (pág.15)

Ramos, A y Pacheco, J (2017), en la tesis señala que los modelos hidrológicos e hidráulicos han permitido grandes avances en los estudios de las cuencas hidrográficas, la utilización de modelos como HEC RAS y HEC HMS los cuales han recibido una gran acogida por la comunidad mundial de ingenieros que se desempeñan en el área de la meteorología, hidrología, hidráulica y otras áreas relacionadas con el manejo del recurso hídrico. Gracias a sus grandes aproximaciones los modelos de HEC RAS y HEC HMS fueron seleccionados para realizar las modelaciones para determinar el comportamiento hidrológico e hidráulico de la cuenca del río Frío ubicada en el municipio de Zona Bananera, departamento del Magdalena como producto de las inundaciones que se han presentado en los últimos años.

En la investigación se expone una cantidad de análisis cuantitativos y cualitativos que posibilitan la obtención de la información de entrada de los modelos de simulación, posteriormente, dicha información fue introducida a los modelos para lograr determinar el comportamiento bajo escenarios extremos a los que la cuenca del río Frío puede ser sometida.

De acuerdo con los resultados obtenidos las áreas donde se presentan los principales inconvenientes de carácter hidráulico e hidrológico, se deben principalmente a la configuración geométrica de la batimetría del río y al desarrollo de actividades agrícolas y ganaderas que han generado cambios en el uso del suelo, modificando los números de curva y aumentando la escorrentía hacia los afluentes y finalmente hacia el río principal.

Frente a esta situación se relacionan una serie de recomendaciones que buscan corregir el régimen hidrológico y comportamiento hidrodinámico para evitar nuevas inundaciones que pongan en riesgo a la población que se encuentra en las inmediaciones del río Frío en el municipio de la Zona Bananera Departamento del Magdalena. (pág. 2)

Cárcamo, J y Aníbal, J (2017), indicaron en su estudio realizado por interés y apoyo de la Cooperación Técnica Alemana (GTZ) a través del PRORENA occidente, teniendo como objetivo hacer la estimación de la disponibilidad de los recursos hídricos en las subcuencas de la zona de influencia Parque Nacional Montaña de Celaque (PNMC). La disponibilidad de datos para la estimación del Balance Hídrico, como la escorrentía y la demanda no es completa, como lo ideal para un cálculo exacto, sin embargo; son lo suficientemente confiables como para hacer una buena aproximación del movimiento del agua en tres subcuencas principales del PNMC. La variable de uso consuntivo del agua no fue incorporada en el presente trabajo y por lo tanto también no fue analizado, debido a que la información disponible no es la suficiente para incorporarla, sin embargo, ya con los resultados del presente trabajo es cuestión de tiempo y sistematización de datos para su análisis en el balance mismo. Algunos elementos que deben considerarse referente a los resultados:

Los datos utilizados sobre las variables climáticas de temperatura y precipitación para la estimación del balance hídrico son los promedios mensuales de periodos

irregulares de tiempo, pero que cuentan con una continuidad mínima en algunos casos de hasta 5 años que nos permiten hacer esta primera aproximación. Por lo tanto, esta primera estimación debe manejarse con reserva y aunque se puede utilizar para tomar decisiones y definir estrategias de manejo debería hacerse algún monitoreo directo de datos, por ejemplo, aforos directos en épocas húmeda y seca en las salidas de las subcuencas. Una estimación del porcentaje de precipitación que formaría parte de la escorrentía y la infiltración se realizó en base al mapa de cobertura vegetal y uso del suelo del ICF año 2009 con una resolución de 25 Ha, esto implica las áreas mínimas analizadas en el balance son de esta dimensión. Los valores CN, para cada tipo de cobertura, tomados del Manual de Referencias hipológicas del servicio geológico de Estados Unidos (USGS). (pág. 5)

Del Toro, F; Kretschmar, T y Hinojosa, A (2014), en su investigación tuvo como objetivo hacer una cuantificación del aporte hidrogeológico de la subcuenca hacia el valle en el año hidrológico 2010-2011. Esta región presenta un clima semiárido y se realizan actividades agrícolas de gran importancia, donde sobresale la agricultura. Como parte de la caracterización, se estableció la conductividad hidráulica no saturada utilizando la ecuación de Kozeny-Carman (KC). Se llevó a cabo el cálculo de la evapotranspiración potencial (ETP) utilizando el método de Thornthwaite (Thw), el cual se comparó con la evaporación potencial (EP) estimada con la charola de Penman (CHP) y con la ETP calculada por la estación del CICESE (CIC), cuyo programa utiliza la ecuación de Penman-Monteith para su cálculo. Se estimó un balance hídrico (Almorox, 2003) utilizando el resultado obtenido de la ETP de Thw y los datos de precipitación (P), con los que se obtuvo una infiltración potencial (I) generalizada en la subcuenca de 974 000 m³ y un escurrimiento (Es) de ~86 000 m³. Asimismo, se calculó de forma directa el escurrimiento superficial mediante el uso de un vertedor triangular de pared delgada con el que se estimó un volumen de 60 000 m³. Finalmente, mediante fórmulas empíricas, se calculó una recarga (vertical, de sistema montañoso, horizontal y por percolación por agua de riego) de ~466 000 m³, que fue equivalente al 7% de la precipitación infiltrable en el año hidrológico en estudio. (pág. 70)

Mauri, C y Sarango, D (2016), en su tesis se obtuvo como resultado que la precipitación total mensual de las estaciones relacionadas con el proyecto de Irrigación Chavini, dio como resultado que la información de precipitación total mensual (1964-2009) registrada en la estación meteorológica Satipo es la más representativa para el área de estudio. La parte determinística del modelo Lutz-Scholtz, ha sido calibrada y validada teniendo en cuenta los caudales registrados en la C.H. Chavini (1999-2002), se obtuvieron los caudales mensuales teóricos del año promedio y se compararon con los caudales promedio históricos registrados en la estación central Chavini, encontrándose mínimas diferencias, habiendo una diferencia del 6% del caudal anual obtenido por la parte determinística ($1.66 \text{ m}^3/\text{s}$) con respecto al caudal promedio anual registrado en la bocatoma C.H. Chavini ($1.76 \text{ m}^3/\text{s}$). El análisis de regresión entre los caudales medios mensuales obtenidos por el modelo determinístico y los históricos registrados en la estación central Chavini, da como resultado un coeficiente de determinación de 0.8006 y una correlación de correlación de $R = 0.89$, que es un valor que confirma la validez de los resultados obtenidos con la parte determinística del modelo Lutz-Scholtz. (pág. 124)

Loor Barrezuela (2017), en su estudio tuvo como objetivo estimar el balance hídrico que consistió en estudiar el comportamiento hídrico y tener datos palpables del recurso para la zona de estudio. Para el desarrollo del balance se ocuparon datos de 34 años de precipitación correspondientes a las estaciones meteorológicas cercanas al bosque, estos valores fueron necesarios para realizar dos tipos de balance el primero calculado de manera empírica mediante cálculos manuales y el segundo con ayuda del programa ArcGIS En ambos casos se utilizó la metodología por Thornthwaite para obtener datos de evapotranspiración potencial. La diferencia entre los métodos empleados para el balance fue en que para apoyarnos en el programa ArcGIS se ocuparon los datos de temperatura media anual correspondientes a los años 1981-2010 en formato ráster descargados de la biblioteca virtual del Instituto de Meteorología e Hidrología (INAMHI), cuya información pertenece a las isotermas de todo el Ecuador; en tanto que para nuestro primer caso del balance se ocupó únicamente los datos de temperatura de la estación MO 139 (Gualaceo) la cual es la más próxima a la zona de estudio.

Ambos balances hídricos nos demostraron similitudes en meses donde la precipitación es mayor a la evapotranspiración, estos meses fueron a partir de febrero hasta mayo e identificando a los meses de agosto y septiembre como los más secos del año. Finalmente se monitoreo durante el mes de mayo el caudal correspondiente a la microcuenca Huayrapungu, estos datos fueron relacionados directamente con el balance hídrico estimado en ese mismo mes y determinando una aproximación entre ambos valores y con ello obteniendo una validación indirecta de la metodología del balance hídrico. (pág. 7-8)

Enciso Navarro (2015), en su trabajo tuvo como objetivo fijar y Desarrollar los fundamentos para la estimación de socavación máxima, A partir del desarrollo de modelos determinísticos, para el puente Muyurina se hizo uso de la forma del estribo (trapezoidal) con un ancho de 3.10m, Luz de 9.20m. y tamaños de partícula $d_{50} = 13,23\text{mm}$ y determinar en qué medida afecta la variación de los tiempos de retorno en el análisis de socavación. Como resultado de la investigación se obtiene la profundidad de socavación del Puente Interconexión Muyurina con resultados del expediente técnico con un Periodo de retorno de 200 años y un Caudal de $460\text{ m}^3/\text{s}$ y la socavación promedio de 3.02m a comparación del presente Estudio con un caudal de $189.40\text{m}^3/\text{s}$ y una estimación de socavación promedio de 3.99m con la utilización de diferentes Fórmulas empíricas. Las fórmulas planteadas por el expediente Técnico no están consideradas en el MTC, en el Presente estudio de investigación se consideró las Fórmulas empíricas tales como Artamonov, Froehlich, Melville y Venegas, para la socavación local del estribo. (pág. 7)

Marroquín Liu (2016), en su investigación tiene como objetivo determinar la disponibilidad del recurso hídrico en la subcuenca y así calcular el volumen que podría tener la presa Paltiture. Para alcanzar los objetivos propuestos se analizaron estadísticamente los datos pluviométricos de las estaciones pertenecientes a la zona de estudio, lo cual permitió estimar el caudal de la zona y la disponibilidad de agua en la subcuenca. Se concluye que el volumen del embalse Paltiture se determinó teniendo en cuenta la capacidad hídrica de la subcuenca, el caudal ecológico y la interacción entre ambas, obteniéndose tres posibles resultados: 122, 83 y 141 MMC respectivamente. El embalse ayudará a disminuir la concentración

de elementos contaminantes en el río Tambo por causas litológicas y por ende disminuir los daños ocasionados a la agricultura y la población de la zona. (pág. 9)

2.2 Bases teóricas

Perú es un país altamente sísmico con una topografía accidentada, de manera que si se requiere zonas del depósito de relaves con comportamiento estructural, para minimizar las dimensiones de una presa de relaves, entonces, se requiere relaves filtrados compactados. Los relaves filtrados compactados tienen limitaciones operativas de aplicación durante los periodos de moderada a alta precipitación. (Luis Lara, 2013)

La humedad de compactación de los relaves filtrados es determinada por sus características geotécnicas y mineralógicas. La compactación de relaves filtrados a la humedad del área seca de la curva de compactación, permite la traficabilidad sobre los relaves depositados. Esto es crítico en los meses lluviosos. A mayor diferencia del contenido de humedad entre lo que sale de la planta de filtrado y la humedad para compactación, mayor será el tiempo requerido para desecación. A mayor producción de relaves, mayor será el área requerida para su compactación. (Luis Lara, 2013)

2.3 Definiciones conceptuales

2.3.1 Hidrología

La Hidrología estudia la circulación y distribución del agua sobre la Tierra, tanto en los aspectos de planificación y predicción de los recursos hidráulicos como en el estudio de fenómenos extremos que afectan de forma negativa a la vida y actividad humana. (Martínez Marín, 2005, pág. 1)

2.3.2 Balance Hidrológico

Es la aplicación de la conservación de la masa de agua existente en nuestro planeta y en su total incluirá toda el agua existente (océanos, ríos, subterráneas, etc.), pero en hidrología este balance se limita a las fases no gaseosas correspondientes a una zona concreta (cuenca hidrográfica) y a un período de tiempo determinado. (Martínez Marín, 2005, pág. 5)

2.3.3 El Ciclo Hidrológico

“Conjunto de cambios que experimenta el agua en la naturaleza, tanto en su estado (sólido, líquido, gaseoso), como en su forma (agua superficial, agua subterránea, etc.)” (Villón Béjar, Hidrología, 2011, pág. 16).

2.3.4 Cuenca Hidrológica

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

Una cuenca se puede clasificar atendiendo a su tamaño, en:

- ✓ Cuenca grande. - Es aquella cuenca en la que predominan las características fisiográficas de la misma (pendiente, elevación, área, cauce). Una cuenca se considera grande cuando el área es mayor de 250 km².
- ✓ Cuenca pequeña. - Es aquella cuenca que corresponde a las lluvias de fuerte intensidad y de pequeña duración, y en la cual las características físicas (tipo de suelo, vegetación) son más importantes que las del cauce. Se considera cuenca pequeña a aquella cuya área varíe desde unas pocas hectáreas hasta 250 km². (Villón Béjar, Hidrología, 2011, págs. 21-23)

2.3.5 Delimitación de una Cuenca

Se hace sobre un plano o mapa de nivel, siguiendo las líneas del divortium acuarum (parteaguas), la cual es una línea imaginaria, que divide a las cuencas adyacentes y distribuye el escurrimiento originado por la precipitación, que en cada sistema de corriente, fluye hacia el punto de salida de la cuenca. El parteaguas está formado por los puntos de mayor nivel topográfico y cruza las corrientes en los puntos de salida, llamado estación de aforo. (Villón Béjar, Hidrología, 2011, págs. 21-22)

2.3.6 Superficie de la Cuenca

“Área proyectada en un plano horizontal, es de forma muy irregular, se obtiene después de delimitar la cuenca” (Villón Béjar, Hidrología, 2011, pág. 23).

2.3.7 Curvas características de una Cuenca

- ✓ Curva hipsométrica. - Es la curva que puesta en coordenadas rectangulares, representa la altitud, y la superficie de la cuenca que queda sobre esa altitud.
- ✓ Curva de frecuencia de altitudes. - Es la representación gráfica, de la distribución en porcentaje, de las superficies ocupadas por diferentes altitudes. (Villón Béjar, Hidrología, 2011, págs. 34, 37)

2.3.8 Pruebas de Bondad y Ajuste

“Consisten en comprobar gráfica y estadísticamente, si la frecuencia empírica de la serie analizada, se ajusta a una determinada función de probabilidades teórica seleccionada a priori, con los parámetros estimados con base en los valores muestrales” (Villón Béjar, Hidrología Estadística, 2016, pág. 171).

2.3.9 Análisis de Consistencia

Es para comprobar si es confiable la información disponible. Se realiza mediante criterios físicos y métodos estadísticos que permitan identificar, evaluar y eliminar los posibles errores sistemáticos que han podido ocurrir, sea por causas naturales u ocasionados por la intervención de la mano del hombre. (Villón Béjar, Hidrología Estadística, 2016, pág. 307)

2.3.10 Análisis de Dobles Masas

Es el método utilizado para verificar la homogeneidad de los datos en una estación pluviométrica. Se requiere comprobar con esto si hubo alguna anomalía en la estación pluviométrica durante algún periodo, tal como el cambio de lugar en dicha estación, cambio de las condiciones del aparato registrador, o modificaciones en su método de construcción. (Molsalve Sáenz, 2002, pág. 84)

2.3.11 Hidrograma

“Es una gráfica de los registros continuos de caudales (o de alturas de agua convertibles en caudales) o en función del tiempo. En otras palabras, es la curva de caudales instantáneos” (Reyes Carrasco, 1992, pág. 107).

2.3.12 Índice o factor de forma de una cuenca (F)

$$F_f = \frac{I}{L} = \frac{A}{L^2} \dots \dots \dots (1)$$

Donde:

I = lado menor del rectángulo equivalente (km)

L = lado mayor del rectángulo equivalente (km)

A = área de interés de la microcuenca (km²)

Ff < 1: redondeada Ff > 1: alargado

2.3.13 Índice de compacidad (índice de Gravelious)

Es la relación entre el perímetro de la cuenca y el perímetro equivalente de una circunferencia.

Ecuación simplificada:

$$K = 0.28 x \frac{P}{\sqrt{A}} \dots \dots \dots (2)$$

Donde:

P = Perímetro del área de interés de la microcuenca (km)

A = Área de interés de la microcuenca (km²)

K = 1: Cuenca circular (provocan aumento brusco del caudal en poco tiempo)

K > 1: Cuenca alargada

K (1 – 1.25): Redonda K (1.25 – 1.5): Ovalada K (1.5 – 1.75): Alargada

2.3.14 Rectángulo equivalente

$$\text{Lado Mayor } L = \frac{K\sqrt{A}}{1.12} \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K}\right)^2} \right) \dots (3)$$

$$\text{Lado Menor } I = \frac{K\sqrt{A}}{1.12} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K}\right)^2} \right) \dots (4)$$

Donde:

K = Coeficiente de Compacidad o Índice de Gravelious

A = Área de interés de la microcuenca

2.3.15 Índice de pendiente

Es una ponderación que se establece entre las pendientes y el tramo recorrido por el río. Con este valor se puede establecer el tipo de granulometría que se encuentra en el

cauce. Además, muestra el relieve de la cuenca. Se halla con el triángulo equivalente de la ecuación siguiente:

$$I_p = \sum_{i=1}^n \sqrt{\beta_i(a_i - a_{i-1})} \cdot \frac{1}{\sqrt{L}} \dots\dots\dots(5)$$

Donde:

I_p = índice de Pendiente

n = número de curvas de nivel existente en el rectángulo equivalente, contenido los extremos

a_1, a_2, \dots, a_n = cotas de las “ n ” curvas de nivel consideradas (km)

β_i = fracción de la superficie total del área de interés de la microcuenca comprendida entre las cotas $a_i - a_{i-1}$

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

L = longitud del lado mayor del rectángulo equivalente (km)

(Villón Béjar, Hidrología, 2011, pág. 49)

2.3.16 Pendiente de la cuenca

Es un parámetro muy resaltante en el estudio del área de interés de la microcuenca, tiene una relación muy notoria con la infiltración, escorrentía superficial, humedad del suelo, y la contribución del agua subterránea a la escorrentía. Es uno de los factores que controla el tiempo de escurrimiento y concentración de la lluvia en los canales de drenaje.

Criterio del rectángulo equivalente

Con este criterio se calcula la pendiente del área de interés de la microcuenca, se toma la pendiente media del rectángulo equivalente, es decir:

$$S = \frac{H}{L} \dots\dots\dots(6)$$

Donde:

S = pendiente del área de interés de la microcuenca.

H = desnivel (cota en la parte más alta – cota en la estación de aforo) (km)

L = lado mayor del rectángulo equivalente (km)

(Villón Béjar, Hidrología, 2011, págs. 49, 50, 53)

2.3.17 Perfil longitudinal del curso de agua

“Es aquel que se halla al plotear la proyección horizontal de la longitud del cauce versus su altitud. Su importancia se debe a que nos proporciona las pendientes del cauce a lo largo de su recorrido” (Villón Béjar, Hidrología, 2011, pág. 53).

2.3.18 Pendiente del cauce

Es un parámetro importante en el estudio del comportamiento del recurso hídrico. Generalizando, la pendiente de un tramo de un cauce de un río se puede establecer como el cociente que resulta de dividir el desnivel de los extremos del tramo entre la longitud horizontal de dicho tramo.

Ecuación de Taylor y Schwarz

Este método asume que un río está formado por n tramos de la misma longitud, cada uno con su pendiente uniforme.

$$S = \left[\frac{n}{\frac{1}{\sqrt{S_1}} + \frac{1}{\sqrt{S_2}} + \dots + \frac{1}{\sqrt{S_n}}} \right]^2 \dots\dots\dots(7)$$

Donde:

n = número de tramos iguales, en los cuales se subdivide el perfil

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

S = pendiente media del cauce

(Villón Béjar, Hidrología, 2011, págs. 54, 56)

2.3.19 Red de drenaje

Una red de drenaje de una cuenca son las trayectorias o al arreglo que guardan entre sí, los cauces de las corrientes naturales dentro de ella. Sus características principales son:

Orden de las corrientes

Las corrientes se pueden dividir en tres clases generales, las cuales dependen del tipo de escurrimiento, el que guarda relación con las características físicas y condiciones climáticas del área de interés de la microcuenca.

La corriente puede ser:

- Corriente efímera. - Es la que sólo lleva agua cuando llueve e inmediatamente luego.
- Corriente intermitente. - Lleva agua la mayor parte del tiempo, pero principalmente en época de lluvias.
- Corriente perenne. - Es la que contiene agua todo el tiempo.

Longitud de los tributarios

Se refiere a una indicación de la pendiente de la cuenca y del grado de drenaje. La longitud de los tributarios aumenta como una relación de su orden.

Densidad de corriente

Es la relación entre la cantidad de corriente y el área drenada.

$$D_c = \frac{N_c}{A} \dots\dots\dots(8)$$

Donde:

Dc = densidad de corriente

Nc = número de corrientes perennes e intermitentes

A = área total de la cuenca (km²)

Densidad de drenaje

Es la relación entre la longitud total de los cursos de agua del área de interés de la microcuenca y su área total.

$$D_d = \frac{L_i}{A} \dots\dots\dots(9)$$

Donde:

L = Longitud del cauce principal (km)

Longitud de cauces aportantes (km)

Li = Longitud total de ríos (km)

A = Área de interés de la microcuenca (km²)

(Villón Béjar, Hidrología, 2011, págs. 60-64)

2.3.20 Formas de precipitación.

Hay diversos tipos de precipitación, como a continuación

- ✓ Lluvia. - Es la precipitación atmosférica de gotas de agua en el estado líquido. Mayormente poseen un diámetro mayor o igual que la mitad de un milímetro, con una velocidad mayor a dos metros por segundo.
 - ✓ Llovizna. - Es aquella precipitación análoga a la lluvia, pero con gotas de diámetro menor al medio milímetro.
 - ✓ Chaparrón o aguacero. - Se refiere a las precipitaciones de agua líquida o sólida, de gran intensidad, que inician y finalizan bruscamente.
 - ✓ Nieve. - Se le llama así a la precipitación formada por agrupaciones cristalinas de hielo en estrellas hexagonales, ramificadas y con frecuencias mezcladas con simples cristales.
 - ✓ Agua nieve. - Es aquella precipitación de nieve en fusión, mientras se precipita sola o con lluvia.
 - ✓ Neviza. - Es la nieve en forma granular y compacta que se es causa del cambio de temperatura.
 - ✓ Rocío. - Se les dice así a las gotas de agua debidas a la condensación directa del vapor contenido en el aire al lado de superficies enfriadas por radiación humana.
 - ✓ Escarche. - Son cristales muy pequeños de hielo, en forma de escamas que se forman al condensarse el vapor de agua del aire.
 - ✓ Granizo. - Es la precipitación de granos de hielo translúcidos. Generalmente son de forma esférica, aunque también pueden ser irregulares o cónicos.
- (Villodas, 2008, págs. 128-129)

2.3.21 Tipos de precipitación

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

- ✓ Precipitación de convección. - Son causadas por el ascenso de aire cálido más liviano que el aire frío de los alrededores. Las diferencias de temperatura pueden ser sobre todo el resultado de calentamientos diferenciales en la superficie o en la capa superior de la capa de aire. La precipitación convectiva es puntual y su intensidad puede variar entre aquella correspondiente a lloviznas ligeras y aguaceros.

- ✓ Precipitación orográfica. - Resultan del ascenso del aire cálido hacia una cadena de montañas. Las regiones que quedan del otro lado de las montañas pueden sufrir la ausencia de lluvias, puesto que todas las nubes son interceptadas y precipitadas en el lado de donde ellas provienen.
- ✓ Precipitación ciclónica. - Se producen cuando hay un encuentro de nubes de diferentes temperaturas: las más calientes son impulsadas a las partes más altas donde pueden producirse la condensación y precipitación.
(Chereque Moran, 1989, pág. 16)

2.3.22 Medición de la precipitación

- ✓ Pluviómetro. - Consiste en un recipiente cilíndrico de lámina de aproximadamente 20cm de diámetro por 60 cm de alto. La tapa del cilindro es un embudo receptor, el cual se comunica con una probeta. Permite medir la altura de lluvia en la probeta, con una aproximación hasta décimos de milímetros, puesto que, por cada centímetro medido, le corresponde a un milímetro de altura de lluvia; para medirla se saca la probeta y se introduce una regla graduada, con la cual se toma la lectura; mayormente se hace una lectura cada 24 horas.
- ✓ Pluviógrafo. – Es un instrumento que registra la altura de lluvia en relación del tiempo, lo cual permite determinar la intensidad de la precipitación, dato importante para el diseño de estructuras hidráulicas. (Villón Béjar, Hidrología, 2011, págs. 73-75)

2.3.23 Cálculo de la precipitación media sobre una zona

- ✓ Altura de precipitación diaria. – Es la suma de las lecturas que se observan en un día.
- ✓ Altura de precipitación media diaria. - Es el promedio aritmético de las lecturas observadas a lo largo de un día.
- ✓ Altura de precipitación mensual. - Es la suma de las alturas diarias acontecidas en un mes.
- ✓ Altura de precipitación media mensual. - Es el promedio aritmético de las alturas de precipitación mensual, correspondiente a un cierto número de meses.
- ✓ Altura de precipitación anual. - Es la suma de las alturas de precipitación mensual, ocurridas en un año.

- ✓ Altura de precipitación media anual. - Es el promedio aritmético de las alturas de precipitación anual, correspondiente a un cierto número de años.

Para hallar la precipitación media de una tormenta o la precipitación media anual, existen tres métodos de uso mayormente usado:

- ✓ Promedio aritmético

Consiste en obtener el promedio aritmético, de las alturas de precipitaciones registradas, de las estaciones localizadas dentro de la zona:

$$P_{med} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i \dots\dots\dots(10)$$

Donde:

Pmed = precipitación media de la cuenca.

Pi = precipitación de la estación i.

N = número de estaciones dentro de la cuenca.

- ✓ Polígono de Thiessen

Para este método, se necesita saber la localización de las estaciones en el lugar de estudio, porque se requiere delimitar la zona de influencia de cada estación, dentro del conjunto de estaciones.

- ✓ Isoyetas

En este método, se necesita un plano de isoyetas de la precipitación registrada, en las diversas estaciones de estudio. Las isoyetas son curvas que unen los puntos de la misma precipitación. Este método es el más exacto. (Villón Béjar, Hidrología, 2011, págs. 76-80)

2.3.24 Elementos fundamentales del análisis de las tormentas

- ✓ La intensidad. - Es la cantidad de agua caída por unidad de tiempo. Lo que interesa particularmente de cada tormenta es la intensidad máxima que se haya presentado, ella es la altura máxima de agua caída por unidad de tiempo. De acuerdo a esto la intensidad se expresa así:

$$i_{m\acute{a}x} = \frac{P}{t} \dots\dots\dots(11)$$

Donde:

$i_{\text{máx}}$ = intensidad máxima (mm/hora)

P = precipitación en altura de agua (mm)

t = tiempo (horas)

- ✓ La duración. - Se refiere al tiempo que demora entre el inicio y el fin de la tormenta. El período de duración, es un período de tiempo, tomado en minutos u horas, dentro del total que dura la tormenta.
- ✓ La frecuencia. - Número de veces que se repite una tormenta, de intensidad y duración definidas en un período de tiempo, mayormente tomado en años.
- ✓ Período de retorno. - Intervalo de tiempo promedio, dentro del cual un evento de magnitud x, puede ser igualado o excedido, por lo menos una vez en promedio. Representa el inverso de la frecuencia.

$$T = \frac{1}{f} \dots\dots\dots(12)$$

Donde:

T = periodo

f = frecuencia.

(Villón Béjar, Hidrología, 2011, págs. 87-88)

2.3.25 Hietograma

“Es la gráfica que representa en el sistema tiempo (horas o minutos) en abscisas e intensidades de precipitación (mm/h) en ordenadas, la cantidad de precipitación producida durante una tormenta dada” (Villodas, 2008, pág. 139).

2.3.26 Curva masa de precipitación

“Es aquella curva de precipitación acumulada en un determinado periodo, que representa en un sistema de ejes en que se grafican los valores del tiempo (generalmente horas) en abscisas y de precipitación acumulada (mm) en ordenadas” (Villodas, 2008, pág. 138).

2.3.27 Precipitación

“Es toda forma de humedad que, originándose en las nubes llega hasta la superficie del suelo. La precipitación puede ser en forma de: lluvias, granizadas, garúas y nevadas” (Villón Béjar, Hidrología, 2011, pág. 69).

2.3.28 Evaporación

“Es una etapa permanente del ciclo hidrológico. Hay evaporación en todo momento y en toda la superficie húmeda. Considerada un fenómeno puramente físico, la evaporación es la transición del estado líquido al estado gaseoso”

$$\text{Evaporación total} = \text{evapotranspiración} \dots(13) \\ \text{(evaporación + transpiración)}$$

(Villón Béjar, Hidrología, 2011, pág. 305).

2.3.29 Transpiración

“Pérdida de agua hacia la atmósfera en forma de vapor, dependiente de las acciones físicas y fisiológicas de los vegetales (estomas)” (Molsalve Sáenz, 2002, pág. 159).

2.3.30 Evapotranspiración

”Está constituida por las pérdidas totales, es decir: evaporación de la superficie evaporante (del suelo y agua) + transpiración de las plantas” (Villón Béjar, Hidrología, 2011, pág. 306).

2.3.31 Esguerrimiento

Componente del ciclo hidrológico, y que se define como el agua proveniente de la precipitación, que circula sobre o bajo la superficie terrestre, y que llega a una corriente para finalmente ser drenada hasta la salida de la cuenca (estación de aforo). Se clasifica en tres tipos:

- ✓ Esguerrimiento Superficial. - Es aquel que proviene de la precipitación no infiltrada y que esguerra sobre la superficie del suelo. El efecto sobre el esguerrimiento total es inmediato, y existirá durante la tormenta e inmediatamente después de que esta termine.
- ✓ Esguerrimiento Subsuperficial. - Es aquel que proviene de una parte de la precipitación infiltrada. El efecto sobre el esguerrimiento total, puede ser inmediato

o retardado. Si es inmediato se le da el mismo tratamiento que al escurrimiento superficial, en caso contrario, como escurrimiento subterráneo.

- ✓ Escurrimiento Subterráneo. - Es aquel que proviene del agua subterránea, la cual es recargada por la parte de la precipitación que se infiltra, una vez que el suelo se ha saturado. (Villón Béjar, Hidrología, 2011, págs. 135-136)

2.3.32 Infiltración

“Es el proceso por el cual el agua penetra desde la superficie del terreno en el suelo; se distingue del proceso de percolación porque este último es el movimiento hacia debajo de agua desde o a través de la zona no saturada hasta el nivel freático o zona saturada” (Molsalve Sáenz, 2002, pág. 131).

La infiltración puede ser calculada mediante el coeficiente de infiltración que corresponder a la fracción de lluvia que aparentemente se infiltra (Schosinsky & Losilla, 2000), el cual puede definirse mediante la siguiente ecuación:

$$C = k_p + k_v + k_{fc} \dots\dots\dots(14)$$

Donde:

C [tanto por uno] = Coeficiente de infiltración.

k_p [tanto por uno] = Fracción que infiltra por efecto de pendiente.

k_v [tanto por uno] = Fracción que infiltra por efecto de cobertura vegetal.

k_{fc} [tanto por uno] = Fracción que infiltra por textura del suelo.

Los valores de las anteriores variables se ven definidos en la Tabla 1.

Tabla 1. Componentes del coeficiente de infiltración

Por textura de suelo:		K_{fc}
Arcilla compacta impermeable		0,10
Combinación de limo y arcilla		0,20
Suelo limo arenoso no muy compacto		0,40
Por pendiente:		K_p
Muy plana	0.02%-0.06%	0,30
Plana	0.3%-0.4%	0,20
Algo plana	1%-2%	0,15
Promedio	2%-7%	0,10
Fuerte	mayor de 7%	0,06
Por cobertura vegetal		K_v
Cobertura con zacate menos 50%		0,09
Terrenos cultivados		0,10
Cobertura con pastizal		0,18
Bosques		0,20
Cobertura con zacate más de 75%		0,21

Fuente: (Schosinsky & Losilla, 2000).

2.3.33 Método de Thorntwaite

“Este método se desarrolló correlacionando datos de evapotranspiración potencial medida en evapotranspirómetros localizados en hoyas hidrológicas con datos de temperatura media mensual y longitud del día” (Molsalve Sáenz, 2002, pág. 176).

2.4 Estructura teórica y científica que sustenta la investigación

2.4.1 Análisis hidrológico

La forma de la superficie de la tierra determina cómo fluye el agua. El análisis de hidrología proporciona un método útil para describir las características físicas de la superficie de la tierra. Puede modelar el flujo de agua y realizar análisis cuantitativos en datos de DEM. El análisis de hidrología puede extraer la información sobre de dónde proviene el agua y hacia dónde se dirige en cualquier celda de datos ráster.

El modelo de análisis de hidrología de DEM se puede usar para identificar la extensión de la inundación, ubicar el recurso de contaminación de un río, pronosticar cómo los cambios en esa área pueden afectar ese flujo. Esto es útil en muchos campos, como la planificación regional, la agricultura y la silvicultura.

Las cuencas hidrográficas se pueden considerar como sistemas físicos donde la entrada es el volumen de agua precipitada y la salida es el volumen de agua drenada a la salida de la cuenca. En términos generales, son una unidad física bien definida para estudios hidrológicos, que tienen una única entrada, que es precipitación, y la escorrentía da salida a la salida de la cuenca, teniendo en cuenta las pérdidas por evapotranspiración. En la escala macro, como en el caso de las grandes cuencas hidrográficas, los patrones de escorrentía, intensidad y estacionalidad pueden controlarse principalmente por los efectos climáticos. Este patrón general refleja los patrones de precipitación y circulación general de la atmósfera. Sin embargo, los aspectos del entorno físico y la cobertura del suelo interactúan entre sí para determinar el patrón estacional y espacial natural de la variación de la escorrentía (Petts, G & Foster, I, 1990)

La escorrentía (descarga) se basa generalmente en las descargas medias mensuales y permite la evaluación de la estacionalidad de los flujos. El promedio anual máximo y mínimo puede revelar posibles variaciones a lo largo de las series históricas de la temporada. Estos aspectos de evaluación cobran importancia debido a las interacciones entre el hombre y el medio ambiente, cuyos resultados generalmente promueven cambios en los aspectos de intensidad y calidad de la relación precipitación-descarga en la cuenca fluvial.

El conocimiento sobre el régimen hidrológico de los ríos es información básica para la toma de decisiones en varias áreas del conocimiento, especialmente para académicos interesados en temas relacionados con la planificación ambiental y el uso de los recursos hídricos dentro de la cuenca fluvial. Sin embargo, la falta de información generalmente dificulta la obtención de dicho conocimiento. La falta de datos y la necesidad de conocerlos a lo largo del área de estudio a menudo impiden que la planificación sea compatible con las necesidades del área de interés.

En el estudio de los recursos hídricos, la cuenca hidrográfica puede considerarse, en términos generales, como un sistema físico donde la entrada de agua es el volumen precipitado y la salida es el volumen de agua drenada por la boca del río y la evapotranspiración. En términos generales, proporciona una unidad física bien definida para estudios hidrológicos, con una única entrada, la precipitación y la producción se dan por escorrentía en la desembocadura del río, considerando las pérdidas por evapotranspiración. En la escala macro, como en el caso de las grandes cuencas hidrográficas, el patrón de escorrentía y su intensidad y estacionalidad se pueden

controlar, principalmente, por los efectos climáticos. Este patrón general refleja los patrones de precipitación y circulación general de la atmósfera. Para comparar las cuencas hidrográficas individuales, la geología, la morfometría de la cuenca, los suelos y la vegetación, así como los aspectos climáticos, interactúan entre sí para determinar el patrón estacional natural de variación en la escurrentía. (Petts, G & Foster, I, 1990)

La variabilidad del régimen hidrológico está controlada por varios elementos que caracterizan la cuenca hidrográfica, como la litología, el relieve, los suelos, la cubierta vegetal y también por factores climáticos como la precipitación, la radiación solar y la evaporación (Tucci, 2002). Para (Clarke, R; Tucci, C; Collischonn, W, 2003), factores como la ubicación geográfica y/o la altitud pueden contribuir sustancialmente a los resultados del análisis del régimen de flujo, el avance de la masa de aire, los eventos de precipitación local, entre otros.

Si bien el control de los sistemas hidrológicos es mayor en los países desarrollados, las modificaciones inadvertidas en estos sistemas son universales, generalmente en función del modelo actual de apropiación de la naturaleza por parte del hombre contemporáneo. Las intervenciones humanas en el ciclo hidrológico pueden ocurrir en diferentes fases. El ciclo hidrológico funciona como una serie de almacenamiento de agua (tanques de agua), conectados por transferencias. Algunos de estos depósitos o cajas están presentes como tales debido a la velocidad de las transferencias, que pueden ser más lentas (por ejemplo, subterráneas) o más rápidas (por ejemplo, ríos), que también pueden tener una función de almacenamiento limitada. En cada punto de intervención en estas ubicaciones pueden ocurrir diferentes intensidades de impacto.

En general, los mayores impactos están asociados con la relación entre el flujo de infiltración, debido a la interferencia en los flujos de vegetación, suelo y río. En el corto plazo, la pérdida de la cubierta arbórea reduce la pérdida de agua del suelo por la transpiración, ya que las raíces profundas de los árboles se cortan, además de causar un mayor flujo de agua en la superficie de la tierra, ya que la vegetación antigua y la manta amortiguadora de hojas caídas se reemplaza por tierra desnuda o por cultivos con menor potencial de almacenamiento. Por lo tanto, la probabilidad de que el agua fluya directamente a los ríos es cada vez mayor.

La producción de agua en una cuenca hidrográfica depende de varios factores climáticos, como la precipitación, la humedad, la evaporación, la temperatura, los vientos,

etc. La topografía también es una influencia importante en la producción de lluvias (Andriucci, L; Sant'anna Neto, J; Ferreira, M, 2002). Estos a su vez influyen directamente en la superficie y el flujo subterráneo, dependiendo de la velocidad del flujo. Específicamente, con respecto a los estudios hidrológicos, la precipitación corresponde al agua proveniente de la evaporación que regresa a las superficies en diferentes formas, contribuyendo a los volúmenes de agua en los ríos y embalses.

La tasa de flujo específica media es una variable hidrológica que se puede usar en estudios de regionalización hidrológica o zonificación. Se determina por la relación entre el caudal medio en una sección de medición dada y el área de drenaje respectiva (Tucci, 2002). Este parámetro solo debe usarse en áreas con una baja densidad de estaciones fluviométricas (Lima, J; Silva, E; Silva, F; Sano, E, 2008), con la ayuda del software GIS (Sistema de Información Geográfica) y geotecnologías para la representación espacial y el mapeo. Sirve como una medida de la producción hídrica en relación con áreas de diferentes tamaños de una cuenca fluvial.

La zonificación hidrológica de una cuenca hidrográfica puede servir como una herramienta importante para visualizar áreas de comportamiento similar desde el punto de vista del uso de aguas superficiales, a fin de contribuir a la planificación y gestión de los recursos hídricos superficiales. Además de los principios que rigen la zonificación ambiental, apunta al equilibrio de los ecosistemas y la sostenibilidad de los recursos naturales.

Actualmente, los planes para la implementación de la política de cobro por el uso y concesión de los recursos hídricos en el ámbito del Comité de Cuencas Hidrográficas en el Estado de São Paulo se encuentran en diferentes etapas. Sin embargo, todavía hay problemas con el monitoreo, que todavía falta en los cursos fluviales; los problemas persisten con la oferta pública y la actualización de los mapas de regionalización.

2.4.2 Estimación del balance hídrico

En el entorno natural, el agua está casi constantemente en movimiento y puede cambiar el estado de líquido a sólido o vapor en condiciones apropiadas. La conservación de la masa requiere que, dentro de un área específica durante un período específico de tiempo, las entradas de agua sean iguales a las salidas de agua, más o menos cualquier cambio de almacenamiento dentro del área de interés. En pocas palabras, el agua que

ingresa a un área debe salir del área o almacenarse dentro del área. La forma más simple de la ecuación de balance de agua es la siguiente:

$$P = Q + E \pm \Delta S \dots \dots \dots (15)$$

Donde, P es precipitación, Q es escorrentía, E es evaporación y ΔS es el almacenamiento en el suelo, acuíferos o reservorios.

En el análisis de balance de agua, a menudo es útil dividir los flujos de agua en agua "verde" y "azul". El "agua azul" es el agua superficial y subterránea disponible para el uso urbano e industrial de riego y los flujos ambientales. El agua "verde" es agua que se ha almacenado en el suelo y que se evapora a la atmósfera. La fuente de agua "verde" es la lluvia o el agua "azul" se ha utilizado para el riego.

Un análisis de balance de agua se puede utilizar para:

Evaluar el estado actual y las tendencias en la disponibilidad de recursos hídricos en un área durante un período específico de tiempo.

Fortalecer la toma de decisiones de gestión del agua, evaluando y mejorando la validez de visiones, escenarios y estrategias.

Las estimaciones del balance hídrico a menudo se presentan como precisas. De hecho, siempre existe incertidumbre, como consecuencia de redes de captura de datos inadecuadas, errores de medición y la heterogeneidad espacial y temporal compleja que caracteriza los procesos hidrológicos. En consecuencia, el análisis de incertidumbre es una parte importante de la estimación del balance hídrico, al igual que el control de calidad de la información antes de su uso.

Cuando las fuentes de datos son imprecisas, a menudo es posible omitir componentes que no afectan los cambios. Por ejemplo, es posible omitir el almacenamiento de un balance anual de agua si los cambios en el almacenamiento de un año a otro (como los reservorios) son insignificantes.

Algunos problemas comunes que ocurren cuando se hacen estimaciones de balance de agua incluyen:

- Los límites temporales y espaciales no están definidos.
- La calidad de los datos de entrada es pobre.
- Doble conteo de flujos de agua cuando el agua fluye dentro de un área agregada al flujo de agua que sale del área.

Extrapolación inapropiada de información a nivel de campo a una escala mayor. Muchas relaciones hidrológicas dependen de la escala (por ejemplo, la escorrentía, ya que

una proporción de lluvia es casi siempre mayor en escalas espaciales y temporales más pequeñas).

Las estimaciones de balance de agua influyen a casi todos porque a menudo son elementos centrales de las campañas de sensibilización. Las partes interesadas directamente involucradas en la toma de decisiones pueden requerir información más detallada sobre el agua disponible. Dado que el análisis del balance hídrico debe basarse en una evaluación de necesidades, todos participan en la determinación de los productos que se necesitan. El proceso de producción de estimaciones de agua se realiza mejor por especialistas con experiencia o por personal que ha recibido capacitación y tiene acceso a asistencia especializada.

2.4.3 Manejo de relaves

Históricamente el manejo de los relaves estaba en función de maximizar el rendimiento económico y se descargaban en los ríos y quebradas y a consecuencia de demandas judiciales por contaminación, se construyen presas de relaves, en primera instancia del tipo aguas arriba que posteriormente van evolucionando a tecnologías que garantizan un mejor manejo. En el manejo de relaves hay que distinguir etapas como: operación, cierre y post cierre. A continuación, presentamos los métodos de disposición de relave (Ministerio de Energía y Minas, 2019):

a.- Presas de Relaves. Son construidas con el mismo relave; el cual es sometido a un proceso de clasificación mediante un hidrociclón y se generan productos: un relave grueso y un relave fino; el relave grueso es utilizado para construir el dique de la presa y el relave fino viene a constituir la poza de finos. Básicamente existen tres métodos de construcción de presas de relaves: Aguas Arriba, Aguas Abajo y Línea Central (Steven & Planning, 2017).

b.- Fondo de Cuerpos Acuáticos. En casos en que, por razones topográficas, geológicas, edafológicas o hídricas, no es posible ubicar los depósitos de los relaves en zonas cercanas, éstos pueden ser conducidos y depositados en el fondo de los cuerpos lacustres o del mar, garantizando la estabilidad física y química de los relaves de manera que no constituya un riesgo para la flora y fauna marina o lacustre. Se autoriza la disposición de relaves en fondos acuáticos cuando el volumen de material imposibilita su acumulación en quebradas, o al hacerlo en tierras planas impedirían su futuro aprovechamiento

agrícola, las deterioren, o en los que podrían presentarse casos de percolación o se trate de zonas sísmicas o que pudieran generar impactos ambientales (Camero Hermoza, 2001).

Los análisis de estabilidad de este tipo de represas son similares a los usados para diseñar cualquier otra estructura, añadiendo el análisis estático de la estabilidad del talud, la aceleración de una fuerza horizontal como producto de un determinado movimiento sísmico, realizar un análisis de suelos desde una dinámica triaxial y otras pruebas.

c.- Relleno Subterráneo. - Conocido como Relleno Hidráulico, es otra forma de disposición de los relaves, constituyéndose además como una alternativa para la prevención de la contaminación ambiental.

Prácticamente, es posible retornar la mitad o hasta dos tercios de los relaves producidos a las labores explotadas en las minas subterráneas, por ejemplo, la CIA. Minera Milpo retorna el 70% de sus relaves. En minería es uno de los tantos métodos de relleno de los espacios vacíos dejados por la explotación minera, en el cual, el material rellente es el relave producido en las plantas de concentración que son transportados como pulpas y el nombre de relleno hidráulico, precisamente se debe al tipo de transporte empleado o sea transporte de sólidos mezclados con agua que adquiere propiedades hidráulicas. Esta técnica tiene amplia aceptación en la minería subterránea, desde el punto de vista de manejo de relaves como desde el punto de vista del relleno. (Lima, J; Silva, E; Silva, F; Sano, E, 2008)

d.- Disposición sub-aérea. Denominado debajo del aire, originalmente fue empleada y desarrollada para lamas de oro en África del Sur, en este método los relaves son descargados en capas delgadas que se dejan secar bajo el calor de los climas calientes y secos, resultando en depósitos que tienen un alto grado de sobre consolidación y/o presión de poros negativos (succión capilar), mejorando así las características físicas de los lodos, en comparación a los almacenados en forma convencional. La disposición sub-aérea en otros lugares, reproduce estos procedimientos empleando el espesamiento de los relaves cuando es necesario, descargándolo en capas finas a partir de grifos espaciados muy cerca uno del otro y manteniendo una poza de decantación pequeña que se controla cuidadosamente. A menudo se colocan drenajes en la parte inferior de los depósitos de

relaves como parte de las técnicas sub-aéreas, con el fin de disminuir la presión de los poros negativos en la porción de los relaves finos.

e.- Descarga espesada. Se basa en la eliminación de la mayor cantidad de agua de los lodos de relaves, mediante espesamiento hasta por lo menos 50 a 60% de sólidos en peso, estos lodos pueden alcanzar inclinaciones de 3 a 6 grados cuando son depositados a partir de una tubería, esta técnica reduce la extensión del área de construcción de la represa. Las condiciones de saturación con agua de estos depósitos, posiblemente, mitigan el desarrollo del Drenaje Ácido de Relave (DAR), pero al igual que cualquier relave saturado, los espesados permanecerán susceptibles a la licuefacción sísmica, por tanto, será necesario una completa desaturación del depósito para garantizar su estabilidad. (Pérez, 2019)

f.- Relaves Deshidratados. La eliminación del agua se puede lograr mediante filtros de vacío, de presión, de tambor, de faja y/o centrífugos, hasta reducir el contenido de agua a unos 20 a 25% en peso. Aunque los costos de operación y de capital pueden ser altos y que requieren un sistema de disposición de relaves de respaldo, este método ofrece ventajas únicas para minas ubicadas en zonas estrechas y montañosas.

g.- Métodos Combinados. En lugares con áreas restringidas, de topografía accidentada, etc., es más conveniente emplear métodos combinados de disposición de relaves, así, el relleno hidráulico puede ser complementado con instalaciones de eliminación del agua de los relaves para el material remanente, este método es empleado con éxito en algunas minas del Perú.

Alternativamente, las arenas cicloneadas pueden ser retornadas al subsuelo como relleno mientras que las lamas remanentes bombeadas a distancias mucho mayores, pero al mismo tiempo, mucho más convenientes. El problema de la generación del Drenaje Ácido de Relave (DAR), asociada con relaves sulfurosos, originan combinaciones novedosas, como la disposición subacuática de las arenas cicloneadas, mientras que las lamas son depositadas en superficie o la separación de la pirita de los relaves por flotación para ser usado como relleno hidráulico, dejando los sólidos más estables para ser dispuestos en superficie.

h.- Flotación Total. En tratamiento de sulfuros polimetálicos, C. Villachica planea una nueva filosofía de tratamiento, denominada “Flotación Total” 2, que permite lograr recuperaciones similares o mayores que los sistemas convencionales, junto con relaves mucho más gruesos y se considera una nueva filosofía por que el relave final es el primer producto y no el último como se consideran en los procesos convencionales. Esta técnica consiste en realizar una molienda gruesa del mineral y flotar todo el material valioso (Cu, Pb, Zn) junto con la pirita, obteniendo un concentrado bulk y un relave libre de sulfuros. El concentrado bulk será tratado de manera convencional, con la ventaja que todo el proceso requerirá una Planta Concentradora de menor capacidad y los costos serán mucho menor. El relave que se obtiene de este proceso, libre de sulfuros, asegurará su estabilidad química en el tiempo.

2.5 Formulación de Hipótesis

2.5.1 Hipótesis principal

Obtendremos volúmenes positivos para la mayoría de los meses en el balance hídrico en la presa de relaves Pataz – La Libertad.

2.5.2 Hipótesis secundarias

- a) Los caudales de descarga de la descarga de agua de la presa de relaves serán positivos en la mayoría de meses.
- b) Es posible obtener caudales a partir de la simulación con un modelo hidrológico para nuestra cuenca.
- c) La evaporación tiene una incidencia significativa en el balance hídrico.
- d) Es necesaria la implementación o mejora de estructuras hidráulicas para lograr un adecuado funcionamiento de la presa de relaves.

2.5.3 Variables

2.5.3.1 Definición conceptual de las variables

Las variables tomadas en cuenta son (Tabla 2):

- ✓ Variables independientes: Precipitación, temperatura.

La precipitación y temperatura son mis variables independientes ya que son las que controlan los volúmenes de agua de entrada al balance hídrico.

- ✓ Variable dependiente: Evapotranspiración

La evaporación es mi variable dependiente ya que se estima a partir de los valores de temperatura.

- ✓ Variable dependiente: Caudales de cuenca aportante.

Es considerada variable dependiente pues es calculada mediante el modelo hidrológico, que tiene por entradas variables climáticas como la precipitación y temperatura.

- ✓ Variable dependiente: Caudales de descarga y volúmenes de almacenamiento.

Se consideran variables dependientes pues son calculadas en base a todo lo anterior y como salidas del balance hídrico.

- ✓ Variable dependiente: Volumen de almacenamiento

Se calcula a partir de las diferencias entre las entradas y salidas del balance de aguas.

2.5.3.2 Operacionalización de las variables

Tabla 2. Operacionalización de las variables

VARIABLE INDEPENDIENTE	DEFINICIÓN OPERACIONAL
Precipitación	Esta variable es obtenida a partir de las mediciones hechas en las estaciones SENAMHI
Temperatura	
VARIABLE DEPENDIENTE	DEFINICIÓN OPERACIONAL
Evapotranspiración	Se calcula a partir de los registros de temperatura
Caudales de cuenca aportante	Se calculan a partir de la simulación con el modelo hidrológico.
Caudal de descarga	Se calcula por medio de las simulaciones de los balances de aguas.
Volumen de almacenamiento	Se calcula a partir de las diferencias entre las entradas y salidas del balance de aguas.

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO III: DISEÑO METODOLÓGICO

3.1 Tipo y nivel

Esta investigación es de tipo aplicada porque pretende evaluar el balance hídrico de la presa a partir de metodologías comprobadas y considerando los parámetros de funcionamiento de una presa de relaves.

3.2 Diseño de investigación

El diseño de la investigación es cuasi experimental porque en un primer momento planteamos un balance hídrico basándonos solo en datos de la realidad, luego planteamos medidas de adaptación que varían algunas variables iniciales y estos escenarios son evaluados calculando sus respectivos balances hídricos.

El método de investigación es el método inductivo, que consiste en analizar situaciones particulares mediante un estudio individual de los hechos que formula conclusiones generales, que ayudan al descubrimiento de temas generalizados.

3.3 Muestra

a) Diseño muestral

La muestra son los registros de precipitaciones, temperaturas y otras variables meteorológicas de la zona de la Presa de relaves ubicado en Pataz – La Libertad.

3.4 Técnicas de recolección de datos

3.4.1 Tipos de técnicas e instrumentos

a) Técnicas de recolección de datos

Las técnicas aplicadas de recolección de datos serán: documentos y registros. Estos serán obtenidos de la base datos de SENAMHI y la ANA.

b) Instrumentos de recolección de datos

Los instrumentos de recolección que se emplearán serán: registros de información meteorológica.

3.4.2 Criterio de validez y confiabilidad de los instrumentos

Los procedimientos para la recolección de datos iniciales son:

- ✓ Construcción de la geometría a partir de la topografía de detalle.
- ✓ Cálculo de volúmenes de escorrentía.
- ✓ Construcción de volúmenes de material.
- ✓ Creación de perfiles de topografía.
- ✓ Búsqueda de alternativas, en función a volúmenes y capacidades.
- ✓ Generación de documentos: Planos y detalles.

3.4.3 Técnicas de procesamiento y análisis de datos

a) Técnicas de procesamiento de datos

La técnica de procesamiento de datos que se empleará en la presente tesis es el Análisis de contenido, es una técnica de investigación que pretende ser objetiva, sistemática y cuantitativa.

b) Análisis de datos

Los análisis que se realizaran son los siguientes:

- ✓ Análisis de precipitaciones. Se realizó mediante el uso de Excel, HydroEst y R.
- ✓ Estimación de la evapotranspiración. Fue calculada mediante programación en R.
- ✓ Simulación de caudales mediante modelo hidrológico. Fueron simulados con el apoyo del modelo Soil Moisture Method del software WEAP
- ✓ Estimación de caudal de avenida. Fue calculado mediante el software HEC-HMS
- ✓ Balance hídrico en la presa de relaves. Se creó una hoja de cálculo Excel para este fin.

CAPÍTULO IV: DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 Estudios Generales de la zona

4.1.1 Ubicación y localización

a) Ubicación política

La provincia de Pataz es una de las doce que conforman el departamento de La Libertad en el Norte del Perú. Limita por el Norte con la provincia de Bolívar; por el Este con el departamento de San Martín; por el Sur con la provincia de Maraón en el departamento de Huánuco; por el Sur y por el Oeste con la provincia de Pallasca y la provincia de Sihuas en el departamento de Ancash; y, por el Oeste con la provincia de Santiago de Chuco y la provincia de Sánchez Carrión. Su capital, desde el 28 de diciembre de 1895, es la ciudad de Tayabamba

Tiene una superficie de 4226,5 km² distribuida en 13 distritos. Su población es de 88 038 habitantes, según el INEI al 2015, siendo la séptima provincia de La Libertad y la septuagésima sexta del Perú por tamaño de población de más a menos.

Sus límites son los siguientes:

Por el Norte: Con la provincia Bolívar del departamento La Libertad.

Por el Este: Con las provincias Mariscal Cáceres y Tocache del departamento San Martín.

Por el Sur: Con la provincia Maraón del departamento de Huánuco.

Por el Oeste: Con el río Maraón que la separa de las provincias Sánchez Carrión y Santiago de Chuco (departamento La Libertad) y las provincias Pallasca, Sihuas y Pomabamba (departamento de Ancash).

b) Localización

La provincia Pataz se encuentra ubicada en la sierra oriental del departamento La Libertad en la margen derecha del río Maraón y al Oeste de la cordillera central de Los Andes, excepto el distrito Ongón y la parte oriental del distrito Huancaspata que se sitúan al Este de la cordillera. Tiene a la ciudad de Tayabamba como capital provincial; ubicado a una altitud de 3203 m.s.n.m, con una extensión territorial de 4000.28 km².

4.1.2 División política administrativa

La provincia de Pataz se encuentra localizada en el departamento y región de La Libertad. Pataz tiene una extensión territorial de 4,226.53 Km², dentro de los cuales se

encuentran distribuidos los distritos de: Tayabamba, Buldibuyo, Chilia, Huancaspata, Huaylillas, Huayo, Ongón, Parcoy, Patáz, Pías, Challas, Taurija y Urpay. Pataz fue creada como provincia el 12 de febrero de 1821, aunque entonces perteneciera a la jurisdicción de San Martín; un año más tarde pasa a ser parte del Amazonas, para en 1849 volver a pertenecer al territorio de La Libertad. Pataz tiene como capital a la ciudad de Tayabamba.

La provincia está dividida en trece distritos: Tayabamba, Buldibuyo, Chilia, Huancaspata, Huaylillas, Huayo, Ongón, Parcoy, Pataz, Pías, Santiago de Challas, Taurija, Urpay (Figura 1).

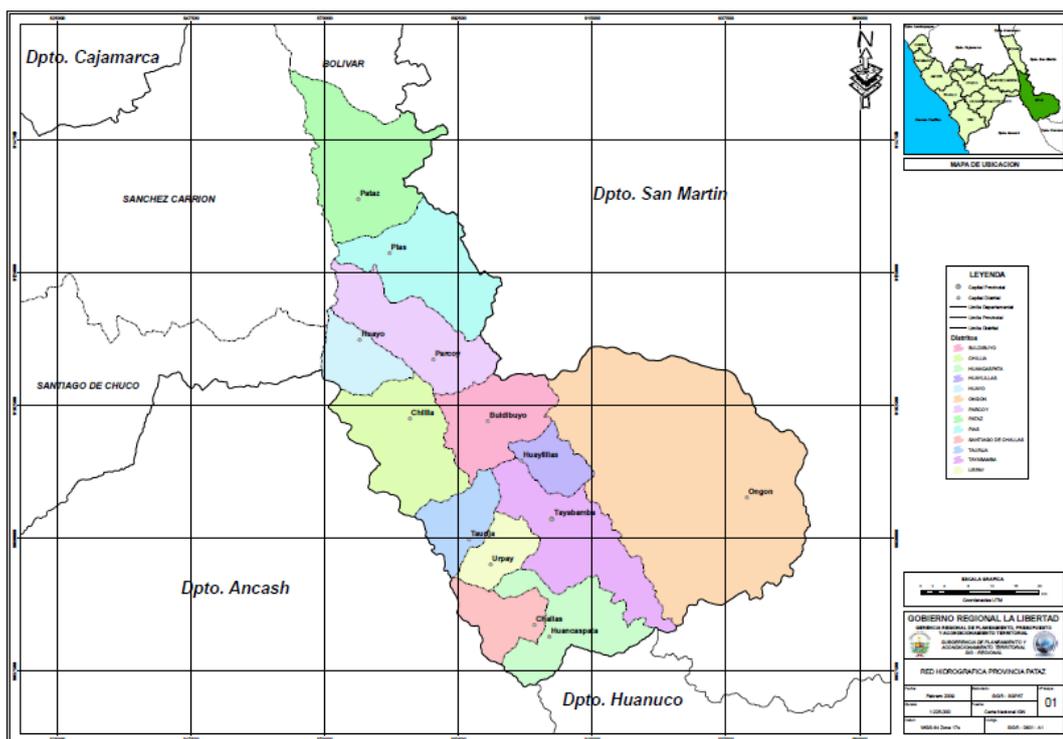


Figura 1. Mapa de Límites Políticos y Referenciales de la Provincia de Pataz

Fuente: <http://www.regionlalibertad.gob.pe>

4.2 Estudio de topografía

La topografía en este proyecto se ha usado para:

- Construcción de la geometría a partir de las bases de datos
- Cálculo de volúmenes, áreas de superficie de escorrentía.
- Construcción de volúmenes de material.
- Creación de perfiles de la topografía (Figura 2, Figura 3, Figura 4 y Figura 5).
- Búsqueda de alternativas, en función a volúmenes y capacidades.
- Generación de documentos: Planos y detalles

- Búsqueda y análisis de soluciones a partir de la geometría.

4.2.1 Resumen de Topografía

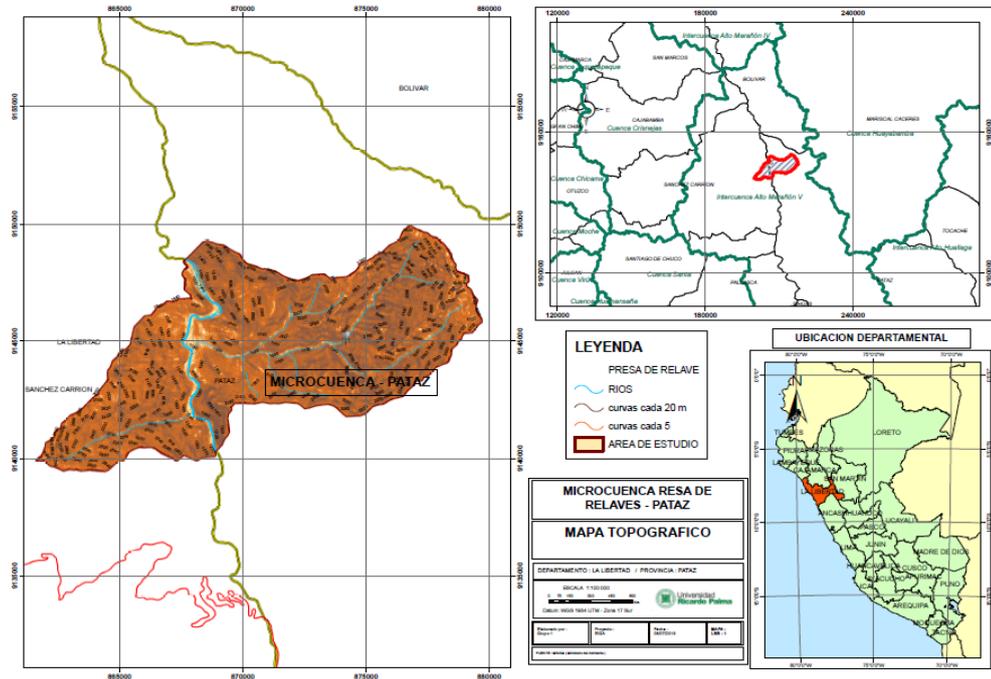


Figura 2. Mapa Topográfico

Fuente: Elaboración propia

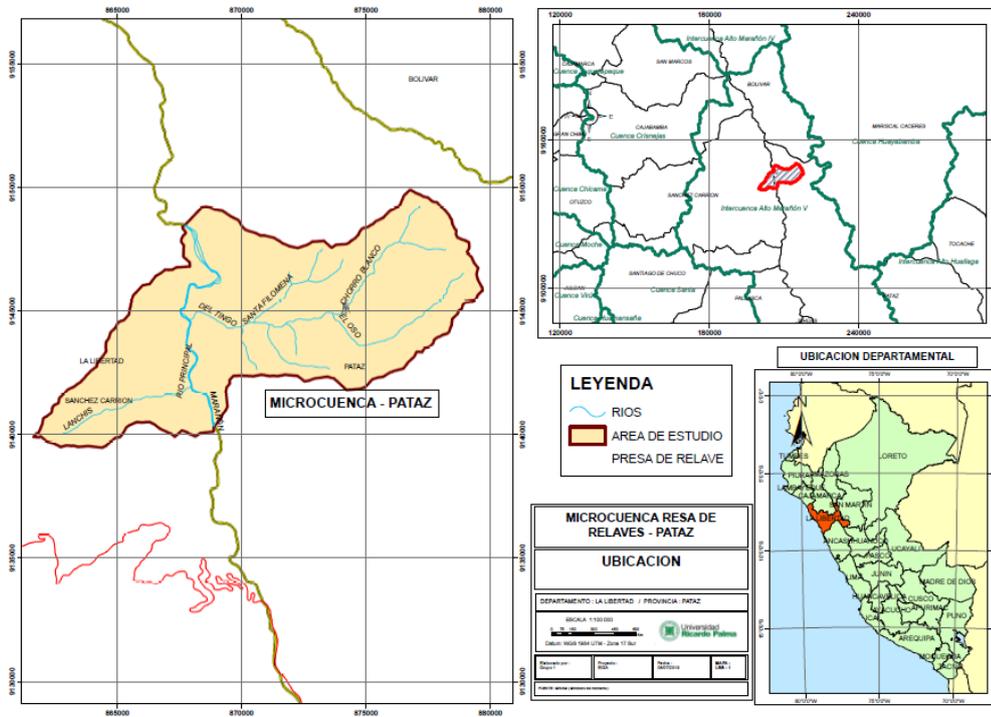


Figura 3. Mapa de Ubicación

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO V: PROPUESTA O APLICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

5.1. Análisis hidrológico

5.1.1 Parámetros geomorfológicos

5.1.1.1 Área de Interés de la Microcuenca

a) Datos obtenidos de la cuenca del Río

Área total de interés de la microcuenca = 46.52 km²

Perímetro del área de interés de la microcuenca = 28.16 km

b) Cuadro de Áreas parciales y Acumulados según la Altitud (Figura 6, Figura 7 y Tabla 3)

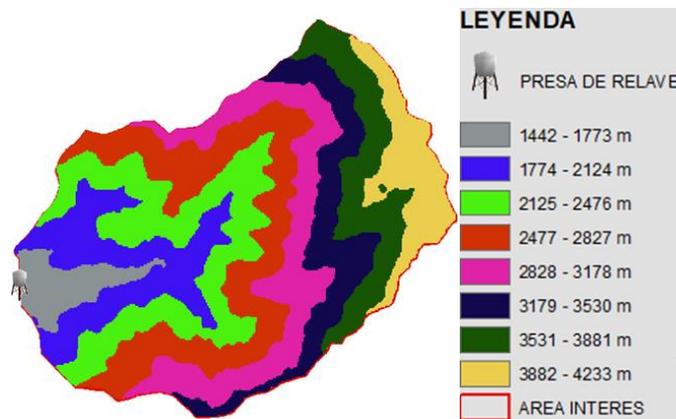


Figura 6. División de microcuenca en bandas altitudinales

Fuente: Elaboración propia.

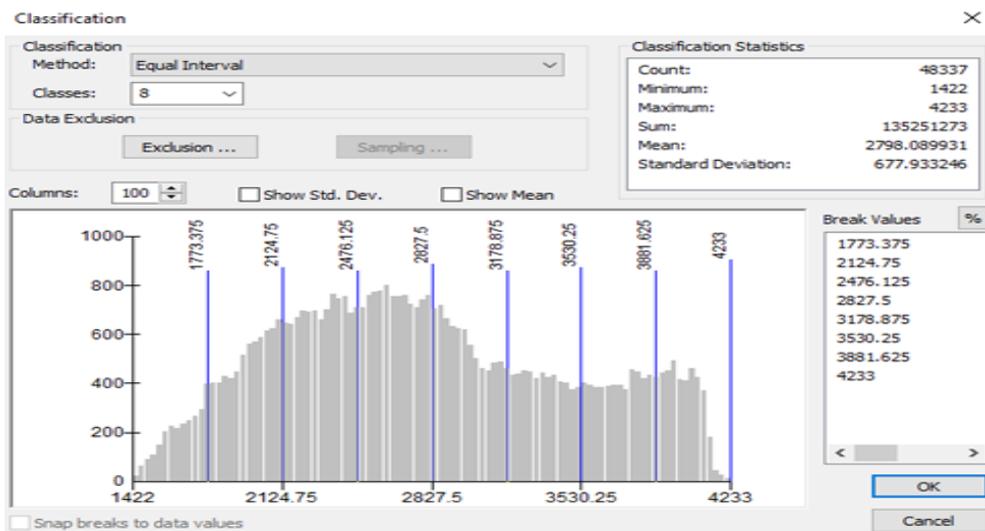


Figura 7. Áreas parciales y acumuladas para la elaboración de Curva Hipsométrica

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. Áreas parciales y acumuladas para elaboración de Curva Hipsométrica

ALTITUD	ÁREAS PARCIALES		ÁREAS ACUMULADAS			
			POR DEBAJO		POR ENCIMA	
m.s.n.m.	Km2	(%)	(KM2)	(%)	KM2	(%)
Punto más bajo						
1422	0.00	0.00	0.00	0.00	46.59	100.00
1774	2.24	4.80	2.24	4.80	44.35	95.20
2125	6.15	13.21	8.39	18.01	38.20	81.99
2477	8.48	18.20	16.87	36.21	29.72	63.79
2828	9.03	19.38	25.90	55.59	20.69	44.41
3179	6.85	14.70	32.75	70.30	13.84	29.70
3531	5.11	10.96	37.86	81.26	8.73	18.74
3882	4.90	10.53	42.76	91.78	3.83	8.22
4233	3.83	8.22	46.59	100.00	0.00	0.00
Punto más alto						
TOTAL	46.59	100.00				

Fuente: Elaboración propia

5.1.1.2 Factor de Relieve

a) Cálculo de la curva Hipsométrica (Figura 8)

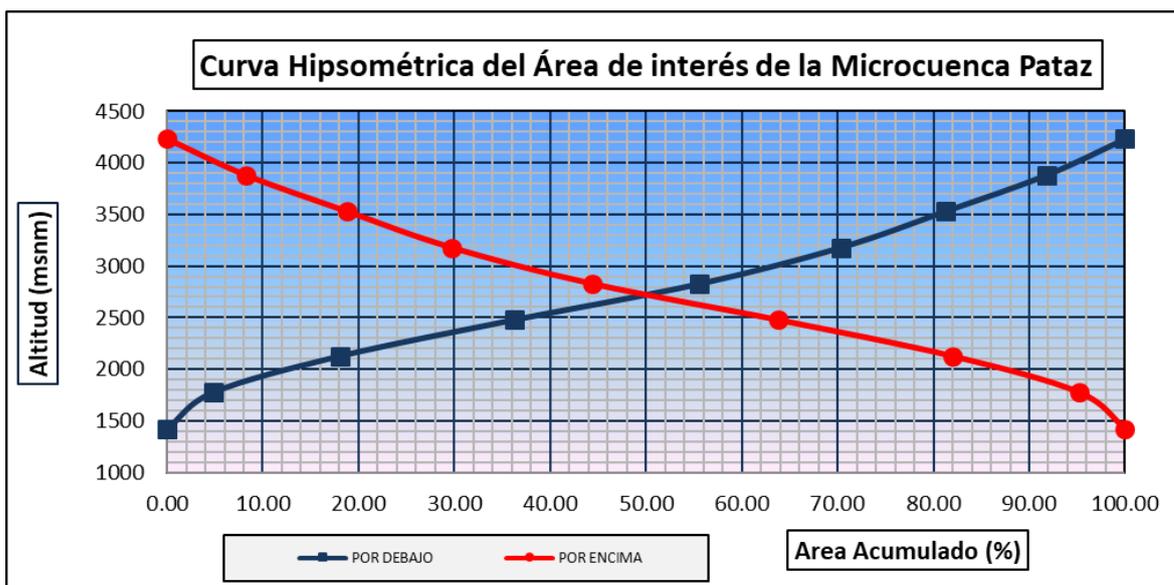


Figura 8. Curva Hipsométrica del Área de interés de la Microcuenca Pataz

Fuente: Elaboración propia

b) Cálculo de la Altitud Mediana

Altitud Mediana = 2740.00 msnm (Intersección de las curvas hipsométricas)

c) Cálculo de la Altitud Media Ponderada

Altitud media Ponderada:
$$H = \frac{\sum a_i c_i}{A} \dots\dots\dots(16)$$

$$c_i = \frac{(c_i + c_{i-1})}{2} \dots\dots\dots(17)$$

Donde:

ai = Área parcial de terreno entre curvas de nivel (km2) (Tabla 4)

ci = Altitud media de cada área parcial entre dos curvas de nivel (msnm)

A = Área de interés de la microcuenca (km2)

Tabla 4. Áreas parciales entre curvas de nivel

ai	ci(altitud media)	ai*ci
2.24	1598.0	3577.27
6.15	1949.5	11999.05
8.48	2301.0	19509.85
9.03	2652.5	23954.93
6.85	3003.5	20573.98
5.11	3355.0	17130.98
4.90	3706.5	18179.55
3.83	4057.5	15536.57
Σ 46.59	Σ	130462.18

Fuente: Elaboración propia

$$H = \frac{(\Sigma a_i c_i)}{A} \dots\dots\dots(18)$$

$$H = \frac{(\Sigma a_i c_i)}{A} = \frac{130462.18}{46.59} = 2800.01 \text{ msnm}$$

d) Cálculo de la Altitud Media Simple

Altitud Media Simple:

$$H_{ms} = \frac{(c_M + c_m)}{2} \dots\dots\dots(19)$$

$$H_{ms} = \frac{(c_M + c_m)}{2} = \frac{(4233 + 1422)}{2} = 2827.50 \text{ msnm}$$

Donde:

CM = Cota o altitud más alta del área de interés de la microcuenca (msnm)

Cm = Cota o altitud más baja del área de interés de la microcuenca (msnm)

e) Cálculo del Polígono de Frecuencia de Áreas Parciales (Tabla 5 y Figura 9)

Tabla 5. Altitud más frecuente Vs Porcentaje de incidencia

COTA (msnm)	A. PARCIAL (%)
1422.00	0.00
1774.00	4.80
2125.00	13.21
2477.00	18.20
2828.00	19.38
3179.00	14.70
3531.00	10.96
3882.00	10.53
4233.00	8.22

Fuente: Elaboración propia

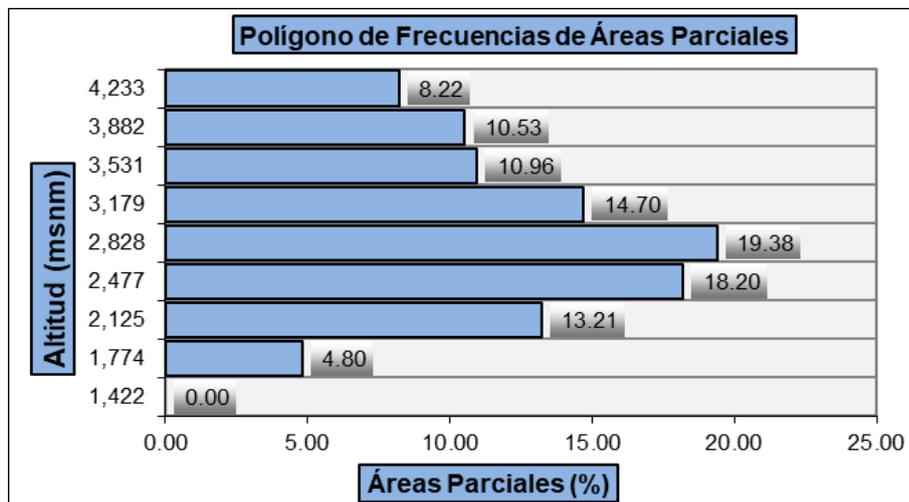


Figura 9. Polígono de Frecuencias de Áreas Parciales

Fuente: Elaboración propia

5.1.1.3 Parámetros de Forma

a) Cálculo del Índice de Gravelius (K)

$$K = 0.28 \times \frac{P}{\sqrt{A}} \dots\dots\dots(20)$$

$$K = 0.28 \times \frac{28.16}{\sqrt{46.52}} = 1.16$$

Donde:

P = Perímetro del área de interés de la microcuenca (km) = 28.16 km

A = Área de interés de la microcuenca (km²) = 46.52 km²

Al ser K = 1.16 la forma del área de interés de la microcuenca es Redonda.

b) Cálculo del Rectángulo Equivalente (Tabla 6 y Figura 10)

Lado Mayor $L = \frac{K\sqrt{A}}{1.12} \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K}\right)^2} \right) \dots\dots\dots(21)$

$$L = \frac{1.16\sqrt{46.52}}{1.12} \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{1.16}\right)^2} \right) = 9.04$$

Lado Menor $I = \frac{K\sqrt{A}}{1.12} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K}\right)^2} \right) \dots\dots\dots(22)$

$$I = \frac{1.16\sqrt{46.52}}{1.12} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{1.16}\right)^2} \right) = 5.15$$

Donde:

K = Coeficiente de Compacidad o Índice de Gravelious = 1.16

A = Área de interés de la microcuenca = 46.52 km²

Tabla 6. Rectángulo equivalente

Cota (msnm)	Area Parcial ai (Km ²)	Ancho, ci (Km)
1422.00	0.00	0.00
1774.00	2.24	0.43
2125.00	6.15	1.20
2477.00	8.48	1.65
2828.00	9.03	1.75
3179.00	6.85	1.33
3531.00	5.11	0.99
3882.00	4.90	0.95
4233.00	3.83	0.74
	Suma ci= L=	9.05

Fuente: Elaboración propia

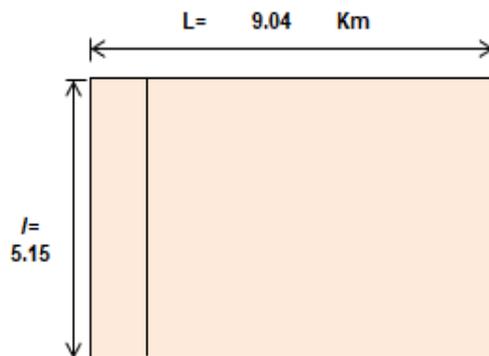


Figura 10. Rectángulo equivalente

Fuente: Elaboración propia

c) Cálculo del Factor de forma

$$F_f = \frac{I}{L} = \frac{A}{L^2} \dots\dots\dots(23)$$

$$F_f = 0.57$$

Donde:

I = lado menor del rectángulo equivalente (km) = 5.15 km

L = lado mayor del rectángulo equivalente (km) = 9.04 km

A = área de interés de la microcuenca (km²) = 46.52 km²

Al ser $F_f < 1$ la forma del área de interés de la microcuenca es redondeada

5.1.1.4 Perfil Longitudinal del Río (Según Método Taylor y Schwarz) (Tabla 7 y Figura 11)

$$S = \left[\frac{n}{\frac{1}{\sqrt{S_1}} + \frac{1}{\sqrt{S_2}} + \dots + \frac{1}{\sqrt{S_n}}} \right]^2 \dots\dots\dots(24)$$

$$S = 0.0821$$

Tabla 7. Perfil longitudinal del río

Progresiva	Long. (m)	Long Acum (m)	Cota	Desnivel	S	1/(S) ^{0.5}
0+000	0.00	0.00	1422.00			
1+000	1000.00	1000.00	1508.00	86.00	0.0570	4.1875
2+000	1000.00	2000.00	1605.00	97.00	0.0604	4.0677
3+000	1000.00	3000.00	1760.00	155.00	0.0881	3.3697
4+000	1000.00	4000.00	1895.00	135.00	0.0712	3.7466
5+000	1000.00	5000.00	2004.00	109.00	0.0544	4.2878
6+000	1000.00	6000.00	2180.00	176.00	0.0807	3.5194
7+000	1000.00	7000.00	2384.00	204.00	0.0856	3.4185
8+000	1000.00	8000.00	2604.00	220.00	0.0845	3.4404
9+000	1000.00	9000.00	3175.00	571.00	0.1798	2.3581
9+840	840.00	9840.00	3776.00	601.00	0.1592	2.5066
						34.9023

Fuente: Elaboración propia

Pendiente del río (%) = 8.21%

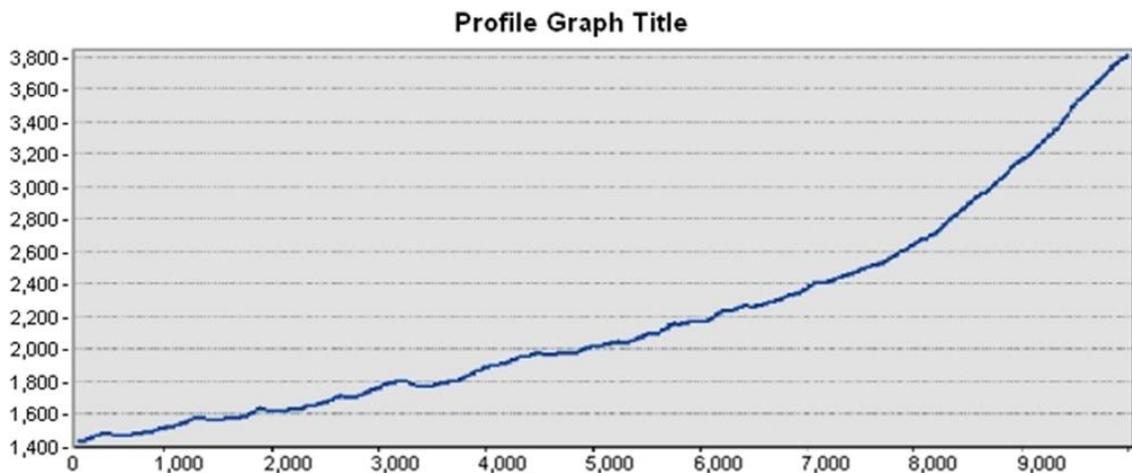


Figura 11. Pendiente del río Principal

Fuente: Elaboración propia

5.1.1.5 Parámetros relacionados con la Red Hidrográfica

a) Cálculo de la Densidad de Drenaje

$$D_d = \frac{L_i}{A} \dots\dots\dots(25)$$

$$D_d = \frac{30.07}{46.52} = 0.65$$

Donde:

L = Longitud del cauce principal (km) = 9.84 km

Longitud de cauces aportantes (km) = 20.23 km

Li = Longitud total de ríos (km) = 30.07 km

A = Área de interés de la microcuenca (km²) = 46.52 km²

b) Cálculo de la Frecuencia de los Ríos

Frecuencia de los Ríos: $Fr = \frac{N^{\circ} \text{cauces}}{A} \dots\dots\dots(26)$

$$Fr = \frac{9}{46.52} = 0.193$$

c) Cálculo de la Extensión media del Escurrimiento Superficial (Es)

Extensión media del Escurrimiento Superficial:

$$Es = \frac{A}{4L_i} \dots\dots\dots(27)$$

$$Es = \frac{46.52}{4 \times 30.07} = 0.387$$

d) Cálculo del Tiempo de Concentración (Tc), según Kirpich

Es el tiempo requerido por una gota para recorrer desde el punto hidráulicamente más lejano hasta la salida de la cuenca. Transcurrido el tiempo de concentración se considera que toda la cuenca contribuye a la salida. Como existe una relación inversa entre la duración de una tormenta y su intensidad (a mayor duración disminuye la intensidad), entonces se asume que la duración crítica es igual al tiempo de concentración tc.

$$T_c = \left(\frac{0.87L^3}{H} \right)^{0.385} \dots\dots\dots(28)$$

$$T_c = \left(\frac{0.87 \times 9.04^3}{4233 - 1422} \right)^{0.385} = 0.56 \text{ hrs}$$

L = lado mayor del triángulo equivalente (km)

H = diferencia de cota más alta menos la cota más baja (m)

5.1.1.6 Otros Parámetros

a) Cálculo del Índice de Pendiente (Ip) (Tabla 8)

$$I_p = \sum_{i=1}^n \sqrt{\beta_i(a_i - a_{i-1})} \cdot \frac{1}{\sqrt{L}} \dots\dots\dots(29)$$

Índice de Pendiente (Ip):

$$\beta_i = \frac{A_i}{A_t} \dots\dots\dots(30)$$

Tabla 8. Cálculo del Índice de pendiente

Ai 1	Bi = Ai/At 2	ai - ai-1 3	Bi* (ai -Ai-1) 4	Raíz (4) 5	5 * 1/(L)^0.5 6
0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.00
2.24	0.05	352.00	16.91	4.11	1.37
6.15	0.13	351.00	46.37	6.81	2.26
8.48	0.18	352.00	64.06	8.00	2.66
9.03	0.19	351.00	68.03	8.25	2.74
6.85	0.15	351.00	51.60	7.18	2.39
5.11	0.11	352.00	38.58	6.21	2.07
4.90	0.11	351.00	36.95	6.08	2.02
3.83	0.08	351.00	28.85	5.37	1.79
46.59				Ip =	17.30231

Fuente: Elaboración propia

b) Cálculo de la Pendiente de la Cuenca (Tabla 9)

$$S = \frac{H}{L} \dots\dots\dots(31)$$

$$S = \frac{H}{L} = \frac{4233 - 1422}{9038.26} = 0.3110 = 31.10 \%$$

Tabla 9. Cálculo de pendiente media de la cuenca

Nº	RANGO PENDIENTE		PROMEDIO	NÚMERO DE OCURRENCIA	PROMEDIO x OCURRENCIA
	INFERIOR	SUPERIOR			
1	0	5	2.5	900	2250
2	5	12	8.5	7290	61965
3	12	18	15.0	16916	253740
4	18	24	21.0	16977	356517
5	24	32	28.0	4943	138404
6	32	44	38.0	615	23370
7	44	100	72.0	166	11952
				47807	848198

Fuente: Elaboración propia

Pendiente media del área de interés de la microcuenca

$$= \frac{\text{Promedio x ocurrencia}}{\text{Número de ocurrencia}} \dots\dots\dots(32)$$

$$\text{Pendiente media del área de interés de la microcuenca} = \frac{848198}{47807} = 17.74\%$$

c) Orden de la corriente

Refleja el grado de ramificación o bifurcación dentro de una hoya.

$$\text{Orden de la corriente} = 2$$

5.1.2 Datos de variables meteorológicas

Se eligieron las 4 estaciones más cercanas a la zona del proyecto para estimar las variables meteorológicas de interés. Estas estaciones y los datos con los que contaban se muestran en la Tabla 10.

Tabla 10. Estaciones meteorológicas

Estaciones Metereológica	Longitud	Latitud	Altura (msnm)	Precipitación	Temperatura
Cajabamba	78°3'4" W	7°37'18" S	2480	X	X
Huamachuco	78°2'24.48" W	7°49'8.97" S	3186	X	X
Mollepata	77°57'14.3" W	8°11'28.93" S	2708	X	
Buldibuyo	77°22'0.00" W	8° 7'0.00" S	3243	X	

Fuente: Elaboración propia

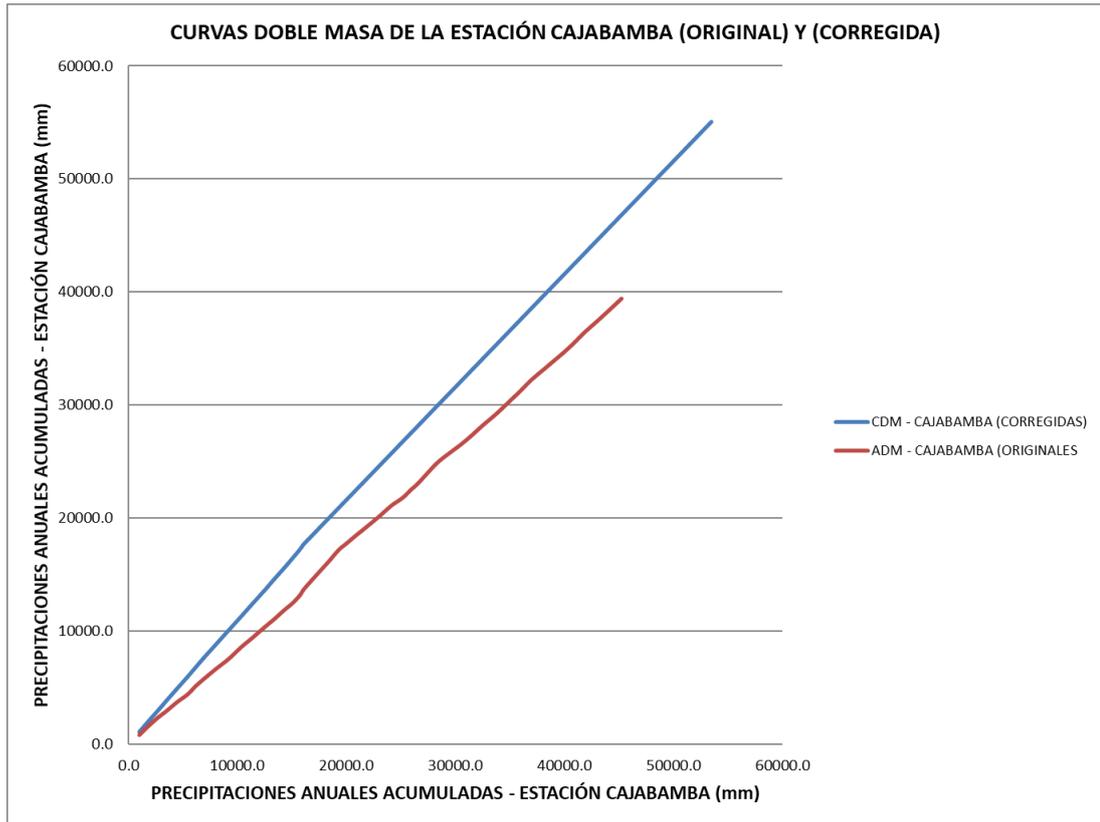


Figura 12. Curvas Doble Masa de la Estación Cajabamba

Fuente: Elaboración propia

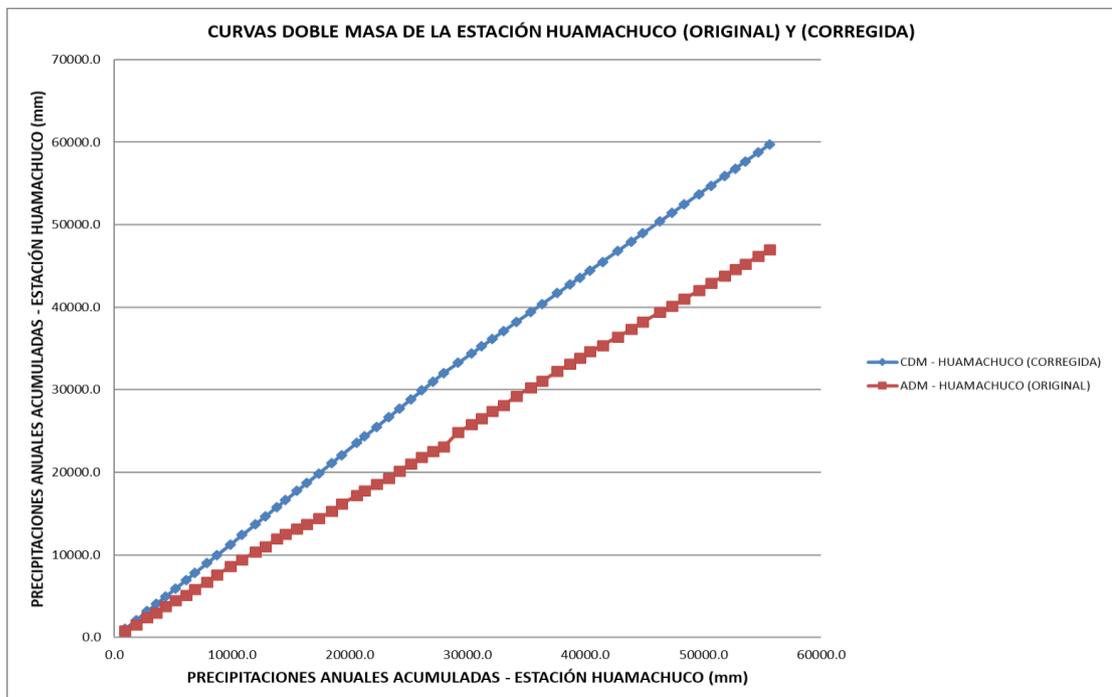


Figura 13. Curvas Doble Masa de la Estación Huamachuco

Fuente: Elaboración propia

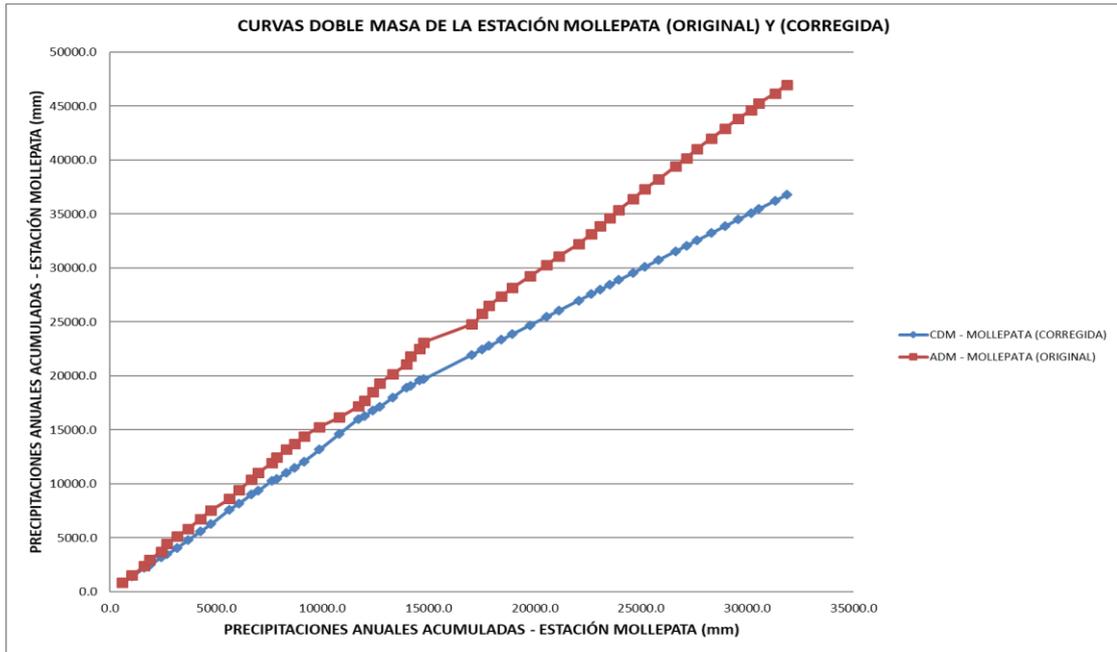


Figura 14. Curvas Doble Masa de la Estación Mollepata

Fuente: Elaboración propia

5.1.3 Datos completados

Las series de precipitación para las estaciones de Cajabamba, Huamachuco y Mollepata fueron completadas y corregidas para el periodo 1963-2018. Asimismo, las precipitaciones completadas de la estación Buldibuyo fueron obtenidas de un estudio de la cuenca del río Marañón (Autoridad Nacional del Agua, 2015) (Figuras 12-18 y Tablas 11-14).

Tabla 11. Registros históricos de precipitación completados – Estación Cajabamba

ESTACIÓN CAJABAMBA													
REGISTRO HISTÓRICO DE TEMPERATURAS COMPLETADO 1963-2018													
PRECIPITACIÓN (mm)													
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom.
1963	131.02	152.01	177.70	114.30	44.09	13.83	9.99	10.89	45.03	97.24	150.69	134.61	90.12
1964	87.52	91.25	122.61	98.27	47.78	3.96	20.38	36.46	41.78	87.97	116.16	80.95	69.59
1965	131.41	152.46	206.94	118.56	15.04	0.11	0.54	0.00	104.72	98.84	108.70	121.07	88.20
1966	159.56	101.10	90.87	68.80	75.88	11.97	8.05	8.14	8.53	173.13	74.36	45.21	68.80
1967	119.07	180.53	201.64	92.57	32.43	2.86	18.14	14.29	12.64	180.86	39.69	100.93	82.97
1968	130.79	151.74	177.38	114.09	44.02	13.80	3.90	11.93	78.09	110.50	108.18	151.19	91.30
1969	41.58	132.87	153.66	53.58	3.20	45.93	0.00	11.20	3.08	39.07	154.00	158.11	66.36
1970	43.38	66.52	108.80	136.83	106.01	14.46	4.45	4.23	38.93	113.02	163.53	123.70	76.99
1971	138.12	145.73	285.13	159.12	61.72	30.00	13.39	8.89	36.22	129.01	113.48	83.37	100.35
1972	120.39	83.06	268.44	153.42	108.56	17.21	44.65	20.87	76.17	54.76	146.43	71.22	97.10
1973	149.24	151.48	151.80	214.36	14.09	39.82	42.06	14.73	72.06	160.34	106.43	126.18	103.55
1974	190.10	188.48	262.07	58.20	18.53	49.75	2.93	20.27	60.48	128.22	75.22	46.93	91.77
1975	97.98	301.40	248.57	134.37	62.44	35.01	32.23	29.67	39.92	108.65	74.92	80.05	103.77
1976	182.76	126.88	207.28	84.21	62.49	10.64	0.00	11.53	11.31	69.77	30.35	90.82	74.00
1977	183.34	178.58	158.45	78.03	4.98	36.26	31.17	3.90	38.42	92.97	154.44	152.39	92.74
1978	48.20	106.00	71.28	105.89	96.98	2.06	36.32	0.00	37.01	70.36	117.43	105.32	66.40
1979	81.23	133.51	187.92	54.00	31.14	0.00	12.29	31.02	119.15	6.32	55.61	61.58	64.48
1980	52.94	28.78	58.88	8.98	2.64	0.00	0.00	0.00	4.62	101.66	131.70	81.07	39.27
1981	63.60	139.91	60.20	35.70	5.00	7.20	0.00	0.00	0.00	101.89	99.75	117.02	52.52
1982	134.82	171.53	86.95	91.29	61.76	36.15	11.57	11.34	36.35	195.50	94.03	222.32	96.13
1983	125.10	46.12	224.79	132.21	42.06	28.28	26.25	26.91	21.16	62.32	35.53	147.53	76.52
1984	120.59	139.91	163.55	105.20	40.58	12.72	9.20	10.02	41.45	62.30	110.10	103.90	76.63
1985	66.90	49.70	85.70	45.70	28.90	0.50	5.30	8.40	54.10	117.80	74.50	159.70	58.10
1986	148.40	117.40	112.70	166.20	27.90	5.50	8.20	24.30	5.60	102.60	121.80	135.70	81.36
1987	247.10	125.50	77.20	106.10	45.60	10.00	12.20	23.00	68.00	67.90	119.10	92.80	82.88
1988	170.20	256.30	86.50	194.50	16.00	12.00	4.50	3.00	31.20	103.10	96.40	107.50	90.10
1989	188.00	187.90	175.70	154.50	16.60	15.20	0.00	2.60	98.90	162.20	38.50	0.00	86.68
1990	232.50	144.80	75.50	95.60	25.30	27.80	1.50	1.20	11.70	202.00	181.70	100.00	91.63
1991	77.90	93.60	176.00	70.00	19.00	6.00	3.50	0.00	20.50	56.80	156.00	81.50	63.40
1992	55.40	70.20	65.90	59.50	12.00	20.50	1.50	10.50	79.70	162.00	65.50	74.00	56.39
1993	87.00	230.00	309.00	216.50	66.80	0.50	5.20	44.30	67.60	166.60	173.00	287.80	137.86
1994	195.00	248.20	182.80	162.60	62.90	4.50	8.60	1.00	19.10	106.10	116.40	135.10	103.53
1995	46.90	156.70	155.60	71.20	65.60	3.70	16.50	1.00	35.20	127.80	80.00	237.40	83.13
1996	121.60	233.20	162.80	151.60	43.10	11.80	0.00	9.50	28.80	151.10	67.60	75.10	88.02
1997	59.90	148.40	84.80	58.80	25.10	21.90	0.00	21.20	39.00	93.80	148.20	184.70	73.82
1998	261.20	262.80	296.30	151.30	22.60	2.70	0.00	7.60	48.60	120.50	64.50	87.10	110.43
1999	187.30	319.70	98.70	73.20	50.60	38.70	14.30	3.10	92.50	21.90	95.30	123.10	93.20
2000	92.30	228.90	186.00	98.80	37.40	14.90	2.31	7.70	65.63	14.80	40.02	141.50	77.52
2001	193.00	127.02	244.21	42.02	46.50	2.63	5.10	0.01	33.90	95.82	169.40	192.90	96.04
2002	73.10	94.40	329.51	108.42	19.72	4.71	13.53	0.00	57.60	124.51	144.21	176.10	95.48
2003	84.90	92.10	137.40	78.63	23.21	17.50	7.90	0.00	50.80	100.81	140.70	139.00	72.75
2004	100.10	76.42	75.33	75.11	41.30	3.13	30.00	4.70	79.70	128.71	158.61	145.90	76.58
2005	120.01	135.00	172.61	70.01	11.10	4.73	1.40	11.70	10.81	149.91	22.71	172.51	73.54
2006	84.71	137.80	276.40	98.90	8.01	22.81	4.40	23.00	60.72	74.31	101.50	140.60	86.10
2007	108.31	58.41	319.20	155.94	44.82	0.00	7.20	1.30	28.52	174.10	85.60	108.10	90.96
2008	155.20	134.60	144.50	125.40	35.40	25.20	9.80	4.80	65.00	167.60	87.50	36.60	82.63
2009	228.30	102.20	220.40	199.50	118.60	16.20	18.40	9.00	7.90	131.60	168.10	121.40	111.80
2010	56.60	124.60	126.40	118.80	63.80	6.60	1.10	5.40	21.80	51.00	85.00	111.20	64.36
2011	75.00	107.60	140.60	170.10	7.70	3.70	11.20	6.40	63.50	101.70	85.70	235.40	84.05
2012	244.60	189.40	103.90	144.70	40.20	4.10	0.00	1.60	1.50	153.30	107.00	79.10	89.12
2013	77.80	128.00	278.50	136.90	63.40	6.60	16.90	27.60	1.40	174.90	19.00	140.50	89.29
2014	120.59	139.91	163.55	105.20	76.20	0.00	9.20	10.02	41.45	12.00	99.75	117.02	74.57
2015	120.59	139.91	163.55	105.20	40.58	12.72	9.20	10.02	41.45	101.89	99.75	20.30	72.10
2016	150.00	55.60	130.40	44.60	13.90	20.00	0.00	1.20	11.20	62.10	14.90	183.80	57.31
2017	100.40	123.40	182.40	96.50	150.70	16.50	0.00	18.30	29.40	21.70	19.60	189.80	79.06
2018	120.10	134.50	128.90	57.20	48.40	1.50	0.00	9.00	36.30	138.80	168.50	51.10	74.53
Media	124.71	141.86	166.85	107.52	42.86	13.87	9.94	10.69	41.72	106.90	101.37	121.25	82.46
Mínima	41.58	28.78	58.88	8.98	2.64	0.00	0.00	0.00	0.00	6.32	14.90	0.00	39.27
Máxima	261.20	319.70	329.51	216.50	150.70	49.75	44.65	44.30	119.15	202.00	181.70	287.80	137.86

Fuente: (Autoridad Nacional del Agua, 2015)

Tabla 12. Registros históricos de precipitación completados – Estación Huamachuco

ESTACIÓN HUAMACHUCO													
REGISTRO HISTÓRICO DE TEMPERATURAS COMPLETADO 1963-2018													
PRECIPITACIÓN (mm)													
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom.
1963	126.43	163.82	176.09	109.95	44.53	14.93	6.36	10.61	39.09	109.07	97.90	120.87	84.97
1964	139.39	178.89	193.40	121.85	52.61	20.59	7.56	23.26	26.24	121.70	129.37	72.88	90.65
1965	118.47	117.44	211.39	104.26	29.68	0.00	16.73	27.96	99.57	78.03	91.78	183.78	89.92
1966	180.98	111.14	98.93	72.57	81.02	4.68	0.00	0.11	0.57	197.18	79.21	44.39	72.57
1967	130.26	210.18	159.83	31.97	33.11	4.57	41.33	15.41	2.85	134.95	36.99	91.22	74.39
1968	103.99	159.08	161.39	62.01	34.33	6.86	9.50	62.56	68.97	129.23	30.42	146.27	81.22
1969	97.80	148.76	149.69	107.81	3.34	35.56	7.46	5.16	11.52	136.88	165.40	180.77	87.51
1970	127.33	52.62	116.52	107.53	59.56	18.28	16.78	5.76	41.36	123.12	101.00	85.81	71.31
1971	81.73	150.06	260.40	117.47	67.91	46.03	54.42	16.81	24.96	113.24	114.97	101.56	95.80
1972	85.89	154.04	308.71	123.43	44.28	18.57	1.15	19.45	21.44	26.56	95.02	61.87	80.03
1973	226.59	126.03	183.04	265.67	40.84	49.44	25.43	17.75	59.46	113.70	105.09	114.61	110.64
1974	109.19	293.07	225.88	60.69	5.99	51.63	1.78	37.72	66.87	105.04	86.37	81.68	93.83
1975	122.69	325.58	303.50	117.96	86.48	25.56	8.20	36.35	81.10	86.83	111.66	32.22	111.51
1976	164.62	177.52	209.15	70.84	30.28	11.11	0.01	18.52	8.60	92.41	65.22	65.60	76.16
1977	288.07	187.25	135.76	136.52	35.25	8.60	16.17	8.60	35.33	69.98	147.75	90.85	96.68
1978	59.62	137.60	68.86	111.61	93.61	2.33	19.73	0.57	36.22	50.66	84.71	165.45	69.25
1979	143.92	229.51	226.09	167.85	46.10	0.00	15.38	26.05	70.43	20.92	76.49	85.55	92.36
1980	56.32	131.30	88.84	85.34	11.01	4.02	0.02	9.74	6.32	187.65	177.15	198.75	79.71
1981	84.79	249.01	105.22	121.95	52.65	20.60	11.54	9.53	32.95	148.62	110.81	198.26	95.49
1982	151.42	195.27	94.24	99.43	64.16	33.56	4.20	3.93	33.80	223.90	102.70	255.94	105.21
1983	139.81	45.47	258.89	148.30	40.62	24.17	21.74	22.53	15.66	64.83	32.83	166.61	81.79
1984	76.79	434.79	246.74	132.46	100.35	24.26	11.88	17.57	39.31	128.60	125.64	135.77	122.85
1985	17.62	90.12	103.24	92.09	54.64	21.06	2.63	4.64	130.73	71.26	67.16	127.27	65.21
1986	171.96	179.07	193.60	121.97	52.66	20.61	9.64	33.15	31.13	66.53	114.37	162.66	96.45
1987	272.16	125.47	145.89	148.52	18.12	17.32	21.33	10.21	41.17	45.65	156.78	142.56	95.43
1988	213.01	170.18	106.96	161.71	51.19	17.41	10.65	4.12	29.43	98.60	79.48	107.54	87.52
1989	139.78	223.95	177.05	149.99	30.73	22.02	0.00	12.50	124.42	130.38	122.81	0.00	94.47
1990	186.85	136.67	25.27	117.21	27.54	57.12	1.40	0.02	90.22	247.91	114.68	66.10	89.25
1991	60.71	178.83	193.33	121.81	52.59	20.58	11.52	15.98	46.23	121.30	109.47	134.39	88.90
1992	139.24	178.70	193.20	121.72	21.86	37.66	2.40	33.54	90.55	93.41	36.17	77.04	85.46
1993	109.40	185.10	228.60	106.20	41.30	0.00	11.50	1.20	82.50	133.00	159.60	197.30	104.64
1994	129.70	300.50	150.70	138.90	38.80	5.50	2.50	12.60	26.90	99.90	143.20	108.90	96.51
1995	57.40	142.60	114.10	97.40	60.90	29.50	4.10	1.40	12.20	115.80	98.90	95.00	69.11
1996	80.80	177.90	195.70	110.30	32.90	6.40	1.90	10.60	26.60	159.70	68.90	53.70	77.12
1997	107.40	128.30	100.20	59.50	52.50	26.10	0.00	13.60	68.90	102.40	87.60	200.80	78.94
1998	168.40	227.70	204.10	136.60	21.00	18.80	0.80	6.20	20.00	115.00	119.90	55.40	91.16
1999	172.30	385.60	136.60	56.60	39.00	50.10	2.20	7.00	90.50	25.00	118.40	109.70	99.42
2000	108.90	186.50	196.50	88.90	69.20	45.00	5.90	18.40	55.10	40.91	54.70	133.90	83.66
2001	240.60	135.70	290.30	30.90	81.60	4.30	9.50	0.60	32.60	128.30	145.30	181.50	106.77
2002	79.90	122.30	190.70	138.60	19.50	19.40	17.60	0.00	40.30	110.20	145.70	185.80	89.17
2003	65.90	112.20	143.80	85.50	19.40	21.80	5.10	8.70	46.40	94.60	84.30	146.70	69.53
2004	51.00	110.30	65.60	67.00	53.60	2.80	26.50	22.90	54.70	126.40	187.70	111.20	73.31
2005	97.60	176.70	289.90	78.40	21.90	11.10	0.00	14.70	23.60	158.30	32.90	128.60	86.14
2006	142.50	154.20	293.00	160.10	22.30	42.90	14.70	35.00	51.60	116.30	99.50	157.90	107.50
2007	135.00	76.00	248.90	123.20	66.40	0.00	17.10	5.60	12.60	220.10	142.20	104.80	95.99
2008	173.10	93.80	156.60	115.90	53.00	33.90	12.30	11.50	74.40	133.70	74.70	64.70	83.13
2009	223.10	117.10	249.10	205.70	120.00	43.70	35.20	12.20	15.30	170.40	137.20	134.70	121.98
2010	92.40	115.60	241.40	72.60	61.40	25.30	21.20	7.70	17.60	75.40	123.40	162.00	84.67
2011	126.90	91.50	178.40	164.90	24.60	0.60	15.00	1.00	68.50	45.30	99.50	229.40	87.13
2012	244.20	186.30	105.50	150.70	28.00	5.00	0.00	46.00	9.10	152.40	150.60	134.40	101.02
2013	67.70	136.20	214.60	156.80	87.70	8.80	12.00	22.90	9.20	138.20	48.90	135.00	86.50
2014	97.10	229.40	265.60	93.20	95.80	1.20	10.06	13.95	40.35	105.89	95.56	117.32	97.12
2015	113.16	150.55	162.82	96.69	31.27	1.66	8.28	12.53	25.82	95.81	84.64	107.59	74.24
2016	113.16	150.55	162.82	96.69	31.27	1.66	8.28	12.53	25.82	95.81	84.64	107.59	74.24
2017	140.20	104.20	206.30	129.70	91.50	0.20	0.20	28.60	28.00	90.30	39.20	201.70	88.34
2018	138.80	129.70	162.00	98.00	76.10	5.10	1.70	1.00	37.90	135.00	100.20	118.40	83.66
Media	130.25	167.64	179.91	113.78	48.36	18.75	10.72	14.97	42.91	112.90	101.73	124.68	88.88
Mínima	17.62	45.47	25.27	30.90	3.34	0.00	0.00	0.00	0.57	20.92	30.42	0.00	65.21
Máxima	288.07	434.79	308.71	265.67	120.00	57.12	54.42	62.56	130.73	247.91	187.70	255.94	122.85

Fuente: (Autoridad Nacional del Agua, 2015)

Tabla 13. Registros históricos de precipitación completados – Estación Mollepatá

ESTACIÓN MOLLEPATA													
REGISTRO HISTÓRICO DE TEMPERATURAS COMPLETADO 1963-2018													
PRECIPITACIÓN (mm)													
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom.
1963	124.96	150.88	201.65	85.33	20.80	5.29	1.87	2.07	4.67	59.67	79.76	93.06	69.17
1964	50.99	82.45	129.85	104.48	33.44	0.01	5.40	17.07	8.88	63.69	40.13	32.07	47.37
1965	43.04	167.51	302.35	48.41	28.07	4.27	5.96	1.74	52.69	80.13	15.29	83.49	69.41
1966	42.88	21.30	34.30	11.20	6.42	0.03	0.03	0.00	0.03	54.06	20.50	22.37	17.76
1967	131.29	202.42	150.07	57.83	16.17	0.00	20.30	0.04	0.00	107.08	14.54	28.92	60.72
1968	32.66	40.75	76.14	5.26	3.71	1.36	2.04	5.75	9.15	29.77	22.55	47.04	23.02
1969	16.46	51.78	196.45	75.18	0.00	9.35	0.00	0.00	0.00	52.40	112.85	111.78	52.19
1970	158.31	26.50	111.00	109.78	44.10	8.53	0.00	3.92	30.96	95.19	51.67	50.86	57.57
1971	60.96	122.61	279.02	87.14	9.43	19.00	9.99	0.01	4.55	37.59	50.54	134.02	67.91
1972	83.48	141.06	222.25	88.33	27.24	8.51	0.00	4.21	0.00	4.87	59.09	45.22	57.02
1973	206.24	71.22	223.69	308.97	45.88	11.74	0.00	3.24	75.70	111.85	68.75	200.06	110.61
1974	126.38	185.87	97.66	71.23	0.00	12.13	0.00	2.04	8.81	16.34	7.02	35.62	46.93
1975	63.69	255.46	344.97	98.64	12.66	0.00	0.00	12.50	12.79	0.00	34.24	13.78	70.73
1976	86.13	86.13	114.82	3.99	13.37	0.00	0.00	2.80	4.42	7.76	5.82	24.36	29.13
1977	183.04	312.82	97.27	85.76	9.64	0.00	0.00	0.00	0.00	58.71	98.57	53.82	74.97
1978	8.58	29.60	45.21	38.86	31.05	0.00	0.00	0.00	0.00	12.87	10.55	38.35	17.92
1979	57.94	41.20	302.50	80.25	12.68	0.00	0.00	0.00	32.71	3.04	20.16	0.00	45.87
1980	60.30	23.09	66.28	0.00	13.04	0.00	0.00	0.00	0.00	149.31	50.85	97.86	38.39
1981	45.01	147.02	138.12	7.22	8.00	0.00	0.00	4.26	0.00	69.38	28.89	134.76	48.56
1982	119.05	154.24	144.81	175.36	8.39	0.00	0.00	0.00	21.41	164.28	94.19	220.58	91.86
1983	279.22	30.52	266.23	220.53	41.01	48.05	0.00	5.79	1.88	112.85	112.53	330.09	120.73
1984	125.52	695.19	270.15	63.07	42.25	16.00	6.99	0.00	10.56	88.70	58.41	0.00	114.74
1985	25.98	33.08	93.77	40.80	16.44	0.00	0.00	0.00	19.28	30.44	0.00	43.74	25.29
1986	111.99	89.25	106.15	71.86	4.26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	32.83	66.88	40.27
1987	119.51	62.25	69.32	48.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	17.38	39.66	29.70
1988	142.51	228.79	141.66	85.51	20.84	5.30	1.88	2.08	12.21	58.18	48.81	89.99	69.81
1989	170.78	273.11	254.36	40.12	3.63	0.00	0.00	0.00	0.00	59.69	50.07	92.33	78.67
1990	56.47	23.90	0.00	29.51	24.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.22
1991	0.00	0.00	247.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	72.97	219.78	44.99
1992	0.00	0.00	85.84	15.23	2.29	0.90	0.72	0.48	0.00	0.60	4.27	9.03	9.95
1993	633.90	422.00	592.30	330.60	0.00	0.00	0.00	0.00	22.80	89.30	48.30	104.60	186.98
1994	110.90	166.90	180.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	17.10	39.63
1995	64.60	54.60	35.80	30.80	0.00	0.00	0.00	0.00	1.80	56.40	53.60	41.40	28.25
1996	102.60	161.50	152.00	57.90	4.00	31.40	0.00	0.00	3.10	47.80	18.20	12.50	49.25
1997	94.70	90.50	31.60	44.50	3.90	7.00	0.00	0.00	21.70	15.00	66.50	146.90	43.53
1998	186.20	172.30	252.70	54.30	8.20	3.60	0.00	1.20	1.50	59.60	38.50	44.00	68.51
1999	123.20	327.90	82.70	42.40	48.00	2.30	2.80	0.00	27.10	10.90	39.90	63.70	64.24
2000	64.90	147.30	114.60	60.60	31.70	4.10	0.00	9.00	19.60	5.00	20.70	118.50	49.67
2001	220.00	122.10	346.80	31.70	19.80	0.00	0.00	0.00	22.50	42.80	69.01	43.40	76.51
2002	30.20	72.10	217.60	66.20	5.70	3.40	0.60	0.00	4.70	68.30	92.20	27.80	49.07
2003	48.00	86.70	85.10	41.20	10.20	7.40	1.80	0.00	13.00	19.90	33.40	94.70	36.78
2004	36.10	76.80	59.20	48.00	7.90	6.30	5.50	0.00	13.20	73.50	54.50	57.00	36.50
2005	46.40	85.00	151.20	29.00	4.20	0.00	0.00	1.70	0.40	38.00	6.20	69.10	35.93
2006	95.30	115.70	207.20	93.10	8.50	6.10	0.00	0.00	8.20	30.40	28.70	80.90	56.18
2007	72.40	39.20	192.50	75.60	12.80	0.00	0.90	0.00	0.90	74.80	31.20	54.00	46.19
2008	117.10	113.70	148.60	84.30	12.80	11.40	0.00	1.20	10.80	60.90	43.61	26.10	52.54
2009	186.50	140.10	152.80	73.30	9.50	0.00	4.60	0.00	1.10	83.80	56.60	97.60	67.16
2010	39.10	86.70	119.70	46.60	28.20	1.10	1.60	0.00	14.70	17.50	58.10	105.10	43.20
2011	73.50	29.90	98.40	108.70	0.00	3.90	7.00	0.00	13.40	13.70	38.20	103.10	40.82
2012	90.00	121.90	136.50	115.80	11.10	3.10	0.00	0.00	7.10	77.70	61.70	56.30	56.77
2013	38.70	125.60	253.80	27.60	22.50	2.70	2.30	9.20	4.20	70.60	12.30	71.70	53.43
2014	72.80	128.40	142.65	60.36	14.71	3.74	1.32	2.00	15.00	27.50	19.10	113.60	50.10
2015	110.60	61.60	192.70	66.50	66.50	2.60	1.90	0.20	1.50	11.00	40.60	61.60	51.44
2016	58.20	107.40	85.00	36.00	1.50	1.50	0.10	0.70	6.70	16.10	4.50	55.20	31.08
2017	77.70	126.20	282.00	59.30	51.60	1.00	0.00	1.50	9.10	59.10	25.50	62.20	62.93
2018	86.60	51.60	146.70	89.60	38.40	2.10	2.90	3.10	10.80	46.80	17.70	65.20	46.79
Media	100.24	124.71	165.60	70.22	16.45	4.56	1.58	1.75	10.10	47.23	40.39	74.16	54.75
Mínima	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.95
Máxima	633.90	695.19	592.30	330.60	66.50	48.05	20.30	17.07	75.70	164.28	112.85	330.09	186.98

Fuente: (Autoridad Nacional del Agua, 2015)

Tabla 14. Registros históricos de precipitación completados – Estación Buldibuyo

ESTACIÓN BULDIBUYO													
REGISTRO HISTÓRICO DE TEMPERATURAS COMPLETADO 1965-2013													
PRECIPITACIÓN (mm)													
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom.
1965	154.0	75.8	28.7	7.7	2.2	2.9	13.8	92.6	58.6	85.0	62.7	83.2	55.60
1966	129.9	225.1	113.0	17.5	13.4	6.8	12.7	14.3	98.4	206.5	73.1	46.4	79.76
1967	167.2	54.5	18.8	1.9	18.4	6.2	42.6	101.2	92.9	177.2	99.0	143.2	76.92
1968	5.0	75.3	30.9	15.8	7.3	1.4	13.5	6.3	237.7	98.1	161.6	45.7	58.21
1969	145.2	163.2	3.6	2.2	0.0	9.0	4.7	117.7	92.6	182.5	39.7	117.3	73.14
1970	205.7	73.2	38.6	9.5	16.7	11.5	7.4	69.2	215.6	52.7	195.9	53.5	79.12
1971	147.7	193.0	7.7	11.6	27.7	0.0	9.9	42.2	258.4	111.4	84.4	159.4	87.78
1972	130.2	24.0	140.0	0.0	1.7	3.3	24.2	221.0	82.7	40.4	91.9	78.9	69.86
1973	146.1	124.7	26.6	1.3	0.0	11.6	52.3	187.8	132.2	192.8	81.5	170.0	93.91
1974	23.6	95.3	28.9	17.4	3.5	4.6	7.6	90.7	237.4	210.1	200.5	51.1	80.89
1975	68.2	103.3	21.0	49.9	0.0	6.2	1.9	8.6	277.2	222.3	77.6	39.2	72.95
1976	17.3	15.3	34.8	24.2	8.4	3.1	6.9	43.4	198.8	119.9	118.4	100.0	57.54
1977	95.1	86.7	14.7	6.1	3.1	0.0	6.8	15.4	84.1	60.3	49.1	89.0	42.53
1978	92.1	64.1	17.0	5.4	3.0	2.4	34.1	30.8	105.2	140.3	60.7	101.5	54.71
1979	111.8	48.7	37.3	0.0	1.2	0.0	0.0	36.1	204.0	131.6	106.1	45.4	60.18
1980	233.9	70.1	0.0	4.6	6.3	0.0	2.1	50.4	89.2	67.0	49.1	183.1	62.98
1981	270.1	117.3	21.4	5.7	0.0	13.0	6.7	58.7	124.0	115.8	130.9	157.5	85.09
1982	104.7	140.3	22.0	3.5	10.8	0.0	11.9	63.2	103.1	222.6	125.9	252.3	88.36
1983	78.7	58.7	6.7	0.0	0.0	12.9	19.9	79.5	181.2	29.9	83.4	190.8	61.80
1984	129.3	57.5	7.6	14.0	1.1	0.0	19.9	78.1	397.2	306.7	65.4	79.3	96.34
1985	107.2	37.6	34.4	16.6	2.6	3.8	74.8	68.2	72.0	102.9	260.3	153.7	77.84
1986	62.6	42.2	46.0	8.3	21.0	0.0	25.4	55.7	90.4	104.8	65.5	65.6	48.96
1987	168.9	112.6	74.1	26.3	26.4	21.2	18.2	20.0	113.9	75.2	123.5	176.1	79.70
1988	7.6	4.3	20.7	6.8	2.1	1.0	39.9	52.4	44.1	61.7	214.8	24.1	39.96
1989	43.1	161.6	70.4	13.1	1.7	19.9	27.1	9.9	45.4	154.7	56.1	44.5	53.95
1990	183.3	151.8	28.8	1.9	4.0	72.2	38.0	36.8	166.8	147.1	159.1	143.3	94.42
1991	123.9	137.6	50.4	3.5	0.5	5.2	35.2	8.8	37.1	49.7	138.0	31.4	51.77
1992	167.9	128.2	28.0	19.8	1.3	8.8	0.0	5.1	39.5	53.0	63.3	136.2	54.25
1993	176.1	181.5	13.7	55.4	5.4	5.2	14.1	53.1	44.3	98.8	45.0	133.0	68.80
1994	86.9	0.0	31.7	1.8	0.0	8.8	15.2	72.6	47.5	283.7	391.8	73.0	84.41
1995	92.6	28.6	6.6	0.3	0.0	13.4	122.8	26.5	66.1	59.4	64.2	59.9	45.03
1996	138.7	70.6	88.6	8.4	0.0	0.0	34.0	80.7	52.1	168.9	90.3	46.8	64.92
1997	78.4	60.8	26.0	43.9	0.2	0.9	6.2	0.0	200.7	151.3	77.7	78.9	60.41
1998	45.4	56.5	9.9	0.0	0.0	1.9	8.7	27.6	60.5	180.4	111.5	69.8	47.68
1999	53.1	66.7	9.1	2.5	3.3	16.2	48.5	95.1	112.0	291.5	120.1	22.8	70.07
2000	5.0	140.0	12.0	13.4	3.4	3.2	70.9	36.3	82.0	118.7	41.0	36.6	46.87
2001	226.2	33.0	110.4	16.6	2.1	14.1	68.8	6.9	63.3	107.5	68.2	293.4	84.20
2002	88.6	193.8	34.2	0.0	24.6	0.7	15.0	43.1	48.8	65.1	111.4	27.7	54.41
2003	197.5	51.2	33.9	11.1	0.6	17.5	35.3	57.3	127.8	70.6	76.4	207.9	73.92
2004	174.9	44.2	52.3	1.1	20.7	21.6	12.6	25.2	219.7	132.1	43.8	26.6	64.56
2005	125.9	95.4	59.6	30.3	0.0	2.1	16.5	7.5	50.0	79.6	118.5	48.9	52.86
2006	233.0	87.7	4.7	4.3	3.4	6.1	9.1	44.2	33.0	117.4	95.8	116.9	62.96
2007	98.6	40.6	77.6	5.6	3.0	3.7	20.7	105.2	96.8	67.8	175.8	103.1	66.54
2008	63.6	111.0	0.0	4.5	0.6	19.0	50.0	41.6	81.0	110.2	188.6	59.4	60.79
2009	208.6	120.6	7.7	12.8	11.2	6.3	55.9	54.0	28.7	171.9	35.9	103.9	68.12
2010	120.5	14.9	15.8	2.2	9.0	2.0	21.0	26.8	72.6	74.6	46.1	102.0	42.29
2011	145.0	94.6	10.7	0.4	5.7	0.0	8.0	95.2	52.3	100.4	121.0	100.0	61.10
2012	62.7	30.4	65.5	5.3	0.0	2.0	16.4	60.1	115.9	97.3	114.8	107.4	56.48
2013	54.7	212.7	36.8	46.9	5.3	0.1	68.1	35.6	78.7	128.2	55.8	86.5	67.44
Media	106.76	126.48	114.56	54.25	26.02	7.58	5.77	11.45	34.26	89.32	118.29	99.31	794.05
D. Tip.	174.67	60.48	64.27	55.79	30.64	13.42	7.56	11.26	24.28	43.21	77.32	65.49	65.35

Fuente: (Autoridad Nacional del Agua, 2015)

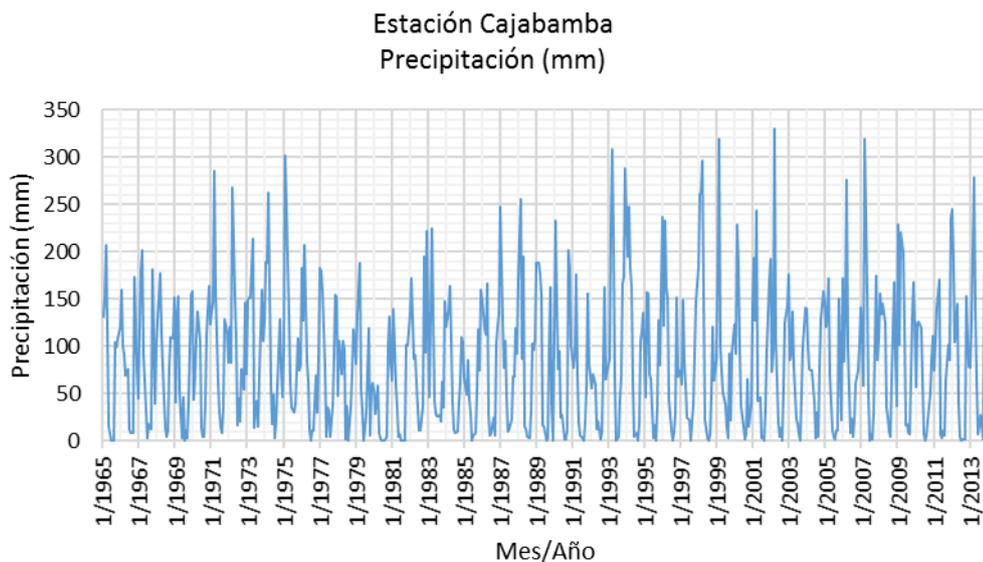


Figura 15. Registros históricos de precipitación completados – Estación Cajabamba
Fuente: Elaboración propia

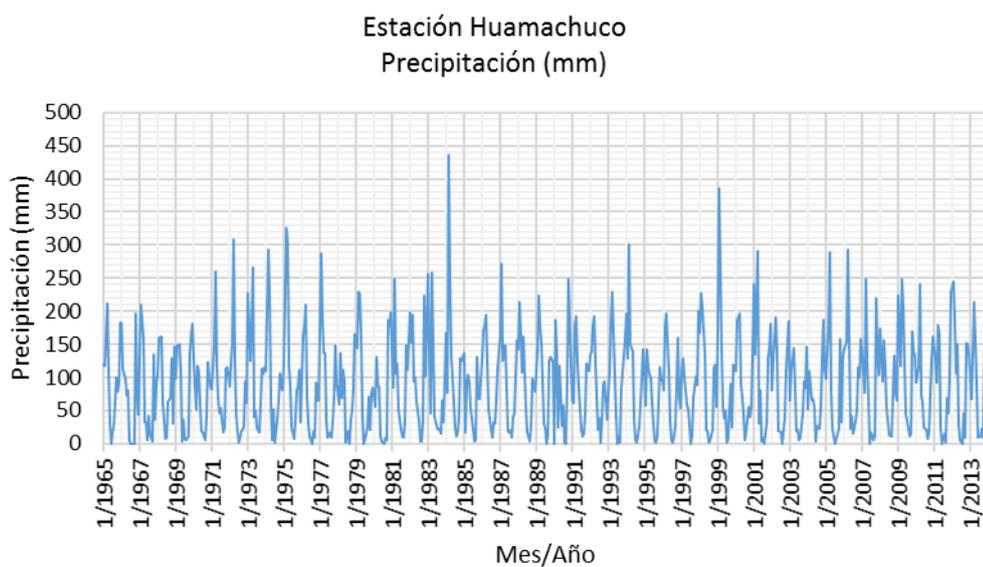


Figura 16. Registros históricos de precipitación completados – Estación Huamachuco
Fuente: Elaboración propia

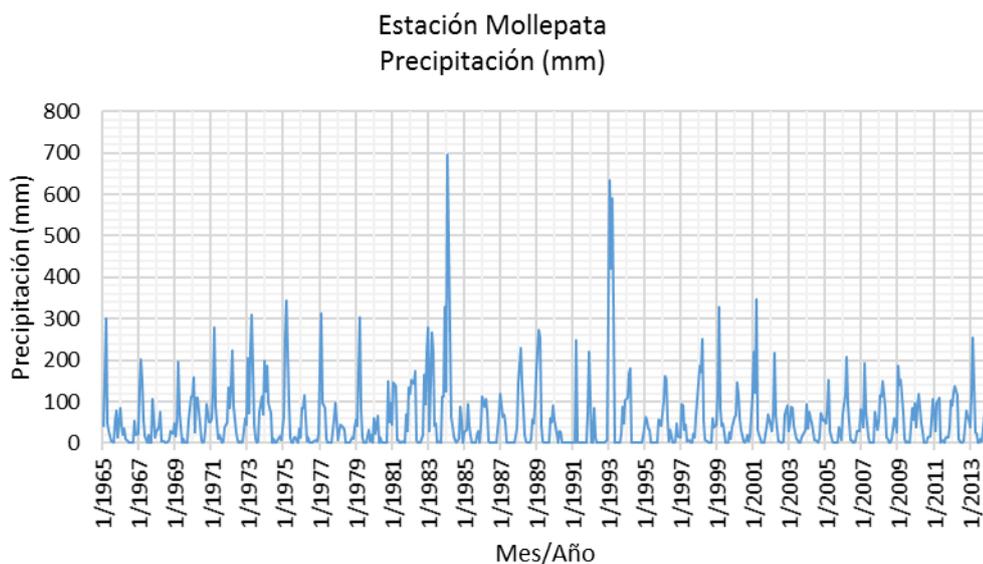


Figura 17. Registros históricos de precipitación completados – Estación Mollepata

Fuente: Elaboración propia

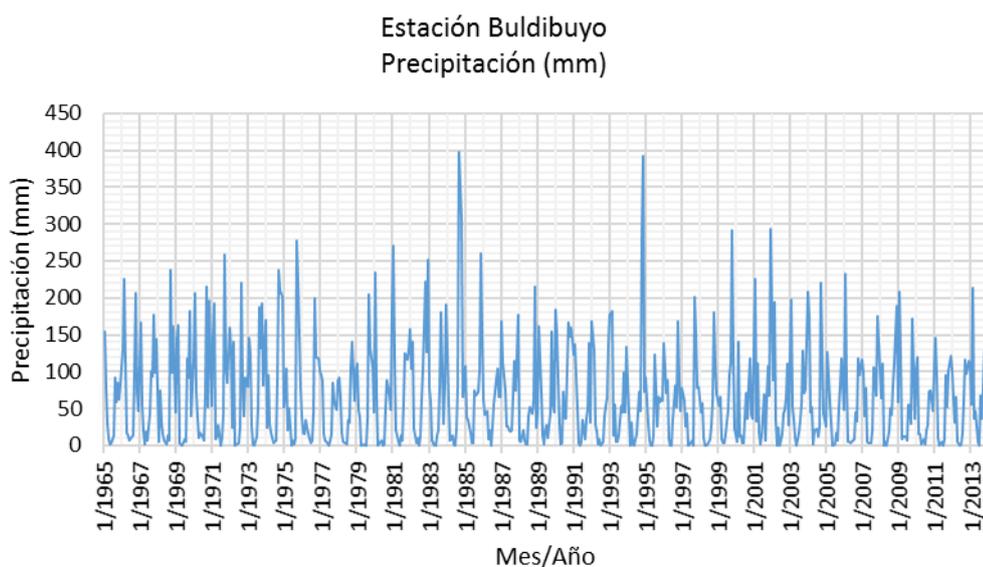


Figura 18. Registros históricos de precipitación completados – Estación Buldibuyo

Fuente: Elaboración propia

Para el caso de los registros de temperatura la información era mucho más escasa y con mayores vacíos en el tiempo. Se tomaron los registros completados de las estaciones Huamachuco y Cajabamba del estudio de la Cuenca Crisnejas (Autoridad Nacional del Agua, 2015). La información recopilada se muestra en las siguientes tablas y figuras (Tablas 15-16 y Figuras 19-20).

Tabla 15. Registros históricos de temperatura completados – Estación Cajabamba

ESTACIÓN CAJABAMBA
REGISTRO HISTÓRICO DE TEMPERATURAS COMPLETADO 1965-2013
TEMPERATURA (°C)

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom.
1965	16.1	13.9	13.7	13.3	12.7	13.0	13.6	14.2	15.0	16.9	16.8	13.9	14.43
1966	15.6	13.3	12.0	11.9	12.5	13.5	14.7	13.9	13.8	14.3	14.1	15.4	13.75
1967	14.8	15.0	14.5	14.1	13.9	14.3	15.0	15.0	12.8	14.8	15.5	15.6	14.61
1968	15.5	16.2	15.3	14.6	14.0	13.9	13.8	15.3	14.2	15.7	15.4	15.0	14.91
1969	14.2	13.5	13.7	13.8	13.8	15.3	15.6	15.8	15.7	15.5	15.6	14.0	14.71
1970	13.3	14.4	13.4	13.1	12.4	12.7	13.8	14.7	14.1	14.5	14.3	14.4	13.76
1971	14.3	14.1	13.9	13.6	12.9	13.1	13.1	13.9	13.4	12.8	14.1	13.9	13.59
1972	15.5	15.6	14.7	14.1	13.3	13.6	14.1	14.1	14.0	14.3	14.3	16.1	14.48
1973	15.4	14.8	14.0	14.2	13.9	14.4	14.8	15.3	15.4	15.4	15.9	14.2	14.81
1974	15.7	14.7	14.0	14.2	13.0	14.3	14.3	14.8	14.7	14.1	14.2	15.6	14.47
1975	15.2	15.7	14.9	13.6	13.1	14.0	14.7	15.3	15.1	14.6	14.7	14.7	14.63
1976	15.4	16.1	15.6	14.0	13.2	14.0	14.9	14.5	14.1	14.4	14.9	15.7	14.73
1977	15.5	15.5	14.7	14.3	14.1	14.2	14.4	14.8	15.4	14.8	15.2	16.0	14.91
1978	15.6	15.1	15.4	13.4	14.0	13.1	14.3	15.2	14.9	15.3	16.0	15.3	14.80
1979	15.8	15.3	14.4	14.3	14.4	14.6	14.5	14.7	15.6	15.1	15.5	14.4	14.88
1980	15.6	16.9	16.9	15.4	16.7	16.7	17.6	16.1	16.2	13.4	14.6	15.4	15.96
1981	15.0	16.4	14.9	13.7	13.6	16.4	15.8	16.3	14.5	14.1	15.1	16.5	15.19
1982	16.4	16.4	17.2	16.4	15.4	16.2	16.1	15.6	15.9	14.8	15.7	16.7	16.07
1983	16.8	17.2	17.4	17.1	16.3	19.0	19.5	16.4	17.0	17.3	16.6	16.5	17.26
1984	15.3	15.4	13.0	13.9	12.3	14.0	16.1	15.0	15.3	16.5	16.9	16.6	15.03
1985	15.8	16.0	16.1	15.0	13.9	14.3	15.0	15.7	15.5	15.7	16.1	16.4	15.46
1986	16.5	17.1	16.5	16.1	14.1	15.0	16.0	16.5	15.8	15.9	16.3	17.1	16.08
1987	16.9	17.7	16.8	16.2	16.0	15.9	16.2	17.1	17.0	16.6	16.7	18.1	16.77
1988	16.3	16.7	16.7	15.7	15.4	15.2	16.0	16.3	17.3	16.6	16.9	15.5	16.22
1989	16.6	16.5	16.1	15.4	14.5	14.8	14.7	15.5	15.8	16.8	16.3	16.3	15.78
1990	17.0	16.8	16.5	14.3	14.4	15.0	15.4	16.8	16.3	15.6	16.0	16.4	15.88
1991	16.7	16.5	16.6	15.2	14.4	15.9	15.7	16.2	16.3	16.1	16.1	17.3	16.08
1992	16.7	16.4	16.8	15.3	14.2	14.8	17.0	17.1	17.1	17.4	17.1	16.5	16.37
1993	15.7	16.5	15.7	14.5	15.4	19.5	20.6	16.2	14.8	14.9	16.4	16.4	16.38
1994	15.2	16.1	17.2	16.2	15.4	14.9	15.8	15.9	15.9	15.3	16.1	15.6	15.80
1995	16.8	17.3	17.1	17.1	16.7	16.4	15.7	16.2	16.2	16.0	17.1	16.3	16.58
1996	15.9	16.8	16.7	15.2	14.7	15.0	15.4	15.6	16.0	15.6	15.7	16.3	15.74
1997	17.0	17.9	17.4	15.9	15.4	15.3	16.3	16.0	16.1	16.0	15.7	16.9	16.33
1998	16.6	17.1	16.8	16.3	15.6	15.8	16.7	17.7	17.4	17.6	17.1	17.0	16.81
1999	17.2	16.6	16.5	15.9	15.1	16.1	16.0	16.6	16.0	15.5	16.2	16.5	16.18
2000	16.5	17.0	16.3	16.1	15.5	15.9	16.1	15.8	15.8	15.4	16.6	16.5	16.13
2001	16.9	17.9	17.1	16.1	16.0	15.3	16.1	16.3	15.8	16.1	15.6	17.5	16.39
2002	16.8	17.0	17.6	16.2	16.1	15.7	16.6	16.3	16.5	16.9	16.9	17.3	16.66
2003	16.9	17.7	17.2	16.4	15.5	16.0	16.7	17.2	16.5	17.3	17.5	16.7	16.80
2004	16.8	17.3	16.5	16.0	15.9	15.3	17.0	16.6	17.2	17.0	16.9	17.2	16.64
2005	16.8	16.9	17.2	16.5	15.8	16.8	16.2	17.1	16.6	17.9	17.0	16.2	16.75
2006	16.8	17.6	17.2	16.5	15.6	15.7	16.0	16.3	16.3	17.2	16.9	17.0	16.59
2007	16.6	16.4	16.1	16.4	16.2	15.8	16.7	16.2	16.6	16.7	17.8	16.6	16.51
2008	16.3	16.5	16.6	16.7	15.6	15.7	16.1	16.0	15.5	19.9	16.2	16.8	16.49
2009	16.6	17.4	17.2	16.8	15.7	16.0	16.7	16.1	16.1	16.2	16.2	16.9	16.49
2010	16.8	17.0	17.2	16.4	16.5	16.2	16.8	17.5	17.6	17.8	17.5	16.1	16.95
2011	17.1	16.1	16.5	16.6	15.8	16.0	16.1	15.9	15.3	16.0	16.3	16.5	16.18
2012	17.3	17.1	16.8	16.2	15.7	15.4	16.2	16.2	16.6	15.8	16.3	17.0	16.38
2013	17.3	17.3	17.4	16.5	15.5	16.1	16.7	17.1	16.8	17.0	18.1	17.4	16.93
Media	16.11	16.26	15.92	15.24	14.74	15.23	15.78	15.86	15.71	15.87	16.06	16.13	15.74
D. Típ.	0.95	1	0.87	1.14	1.38	1.25	1.22	1.32	1.34	0.92	1.08	1.29	0.98

Fuente: (Autoridad Nacional del Agua, 2015)

Tabla 16. Registros históricos de temperatura completados – Estación Huamachuco

ESTACIÓN HUAMACHUCO
REGISTRO HISTÓRICO DE TEMPERATURAS COMPLETADO 1965-2013
TEMPERATURA (°C)

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom.
1965	12.2	14.2	14.2	14.2	13.3	13.1	13.0	12.7	13.1	12.9	13.4	13.9	13.35
1966	11.3	12.0	12.2	11.5	11.0	10.7	11.7	11.7	11.7	11.8	14.7	10.5	11.73
1967	11.2	11.5	11.8	10.8	10.6	10.8	11.5	11.7	11.2	11.1	12.1	11.8	11.34
1968	11.7	12.1	11.8	11.9	11.0	10.9	10.9	11.3	11.0	11.4	11.8	11.5	11.44
1969	11.9	11.8	12.5	11.7	11.1	11.7	12.4	12.3	12.7	12.7	12.2	11.6	12.05
1970	11.3	12.4	11.7	11.5	11.0	11.4	11.6	12.8	12.1	12.6	11.9	11.9	11.85
1971	11.1	11.6	11.5	10.9	10.6	10.7	11.2	11.2	11.6	11.0	11.7	11.5	11.22
1972	12.4	12.5	12.2	11.7	11.3	11.3	12.0	11.5	10.8	11.4	10.9	12.6	11.72
1973	11.9	11.4	11.3	11.4	10.9	11.1	11.5	12.3	12.7	12.5	13.3	10.8	11.76
1974	11.9	11.5	11.4	11.3	10.0	11.0	11.3	11.4	11.1	10.8	10.8	11.9	11.20
1975	11.1	11.7	11.6	10.7	10.1	10.9	11.3	11.7	11.8	11.4	11.6	10.9	11.23
1976	11.7	12.3	12.5	11.3	10.6	11.1	11.7	11.3	11.1	10.9	11.1	11.8	11.45
1977	11.6	12.0	12.1	11.5	11.0	11.0	11.5	12.0	12.3	11.8	12.3	12.3	11.78
1978	12.3	11.3	11.8	10.5	10.7	10.0	11.7	11.9	12.0	12.7	12.4	11.8	11.59
1979	11.9	12.0	11.6	11.6	10.4	10.5	11.7	11.6	11.5	11.6	12.1	11.5	11.50
1980	11.4	11.7	12.3	11.5	11.1	11.4	12.2	11.7	12.2	11.6	12.4	11.0	11.71
1981	11.4	12.0	11.7	11.6	10.3	10.9	12.0	12.4	11.3	11.8	11.1	11.6	11.51
1982	11.5	11.2	11.6	11.1	10.5	11.0	11.5	11.8	11.9	11.4	11.1	12.0	11.38
1983	12.4	12.2	12.3	11.5	11.3	11.5	12.7	12.6	13.0	12.8	13.3	11.3	12.24
1984	10.4	11.9	11.4	11.1	9.6	10.8	11.3	11.6	11.6	11.2	10.2	11.7	11.07
1985	11.0	11.4	11.6	11.0	9.9	10.9	11.0	11.8	11.6	11.2	11.3	11.7	11.20
1986	11.7	11.8	11.7	12.3	11.3	11.4	12.0	12.1	12.0	11.3	12.2	12.3	11.84
1987	12.1	12.3	12.3	11.5	11.3	11.1	11.2	12.2	12.1	12.6	12.5	12.6	11.98
1988	12.2	11.7	11.5	10.8	9.8	10.1	11.5	11.9	11.8	12.7	12.2	11.9	11.51
1989	12.3	12.4	12.4	12.2	10.7	11.5	11.3	12.4	11.7	12.4	12.2	12.5	12.00
1990	12.0	12.7	13.0	12.3	11.7	12.1	12.6	13.3	13.4	12.7	13.2	12.1	12.59
1991	11.4	11.8	12.3	11.7	11.1	11.5	11.9	12.1	12.5	12.3	12.7	12.6	11.99
1992	12.6	12.4	12.6	12.2	12.1	13.1	13.0	12.5	12.7	13.1	12.7	13.4	12.70
1993	11.3	11.9	12.0	11.4	10.9	10.7	11.9	12.7	12.8	12.6	13.5	12.4	12.01
1994	11.9	11.9	12.5	11.3	11.1	11.0	11.9	12.2	12.2	12.2	12.3	12.4	11.91
1995	12.2	12.5	12.5	12.0	11.8	12.0	11.9	12.7	12.0	12.0	12.5	11.9	12.17
1996	11.2	11.6	12.3	11.1	10.5	11.1	11.7	11.9	11.9	11.6	11.2	11.9	11.50
1997	13.2	13.7	13.5	12.7	12.4	11.4	12.2	11.9	11.7	11.9	11.1	13.6	12.44
1998	11.5	13.0	12.2	12.1	11.5	12.0	12.9	14.1	13.8	14.1	13.9	11.4	12.71
1999	10.6	10.3	10.6	10.0	9.7	10.4	10.9	11.8	11.3	11.0	11.3	10.4	10.69
2000	11.7	12.8	12.5	12.1	11.5	12.1	12.5	12.0	11.2	10.5	10.6	12.2	11.81
2001	12.8	13.7	12.7	11.9	11.8	11.8	12.3	12.6	12.0	12.3	11.7	13.2	12.40
2002	13.2	13.4	14.0	12.3	12.2	12.0	12.9	12.5	12.8	13.1	12.9	13.6	12.91
2003	13.2	13.7	13.4	12.9	12.2	12.4	13.4	13.6	13.2	13.6	13.9	13.0	13.21
2004	12.9	13.5	13.0	12.4	12.4	12.1	13.5	13.0	14.0	13.4	12.8	13.4	13.03
2005	12.6	13.1	13.6	12.7	12.3	12.9	12.4	13.6	12.8	14.5	13.1	12.3	12.99
2006	13.1	13.5	13.3	12.9	12.1	12.4	12.4	12.9	13.1	13.4	13.1	13.3	12.96
2007	12.3	12.9	12.9	12.7	12.7	12.2	13.2	13.1	13.4	12.9	14.6	11.3	12.85
2008	12.9	12.8	12.7	12.3	11.2	11.3	12.2	12.0	11.6	12.4	12.6	12.2	12.18
2009	12.7	13.4	13.3	13.1	12.3	12.2	12.4	13.0	12.6	12.7	12.6	13.3	12.80
2010	12.3	12.6	12.8	12.1	12.4	12.6	13.2	14.1	14.3	14.2	14.2	12.0	13.07
2011	12.9	12.1	12.7	12.8	11.9	12.4	12.5	12.5	11.5	11.9	12.1	12.8	12.34
2012	13.6	13.5	13.2	12.5	12.1	12.3	12.8	12.6	13.3	11.9	12.8	12.9	12.79
2013	12.7	13.4	13.1	12.5	12.1	12.6	12.9	13.4	13.5	13.2	14.4	13.4	13.10
Media	12.01	12.35	12.36	11.82	11.25	11.50	12.07	12.33	12.23	12.23	12.38	12.16	12.06
D. Típ.	0.66	0.83	0.72	0.81	0.75	0.77	0.85	0.76	0.68	0.7	0.84	0.92	1.05

Fuente: (Autoridad Nacional del Agua, 2015)

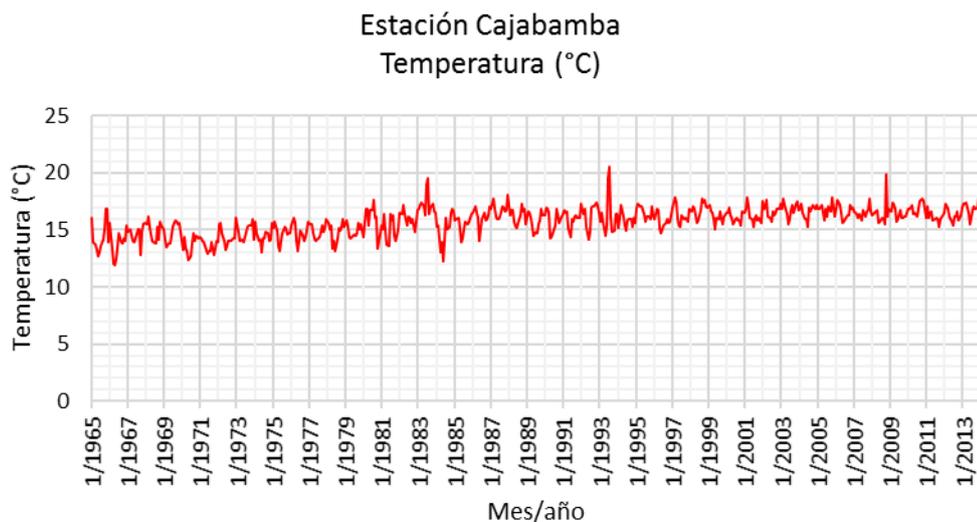


Figura 19. Registros históricos de temperatura completados – Estación Cajabamba

Fuente: Elaboración propia

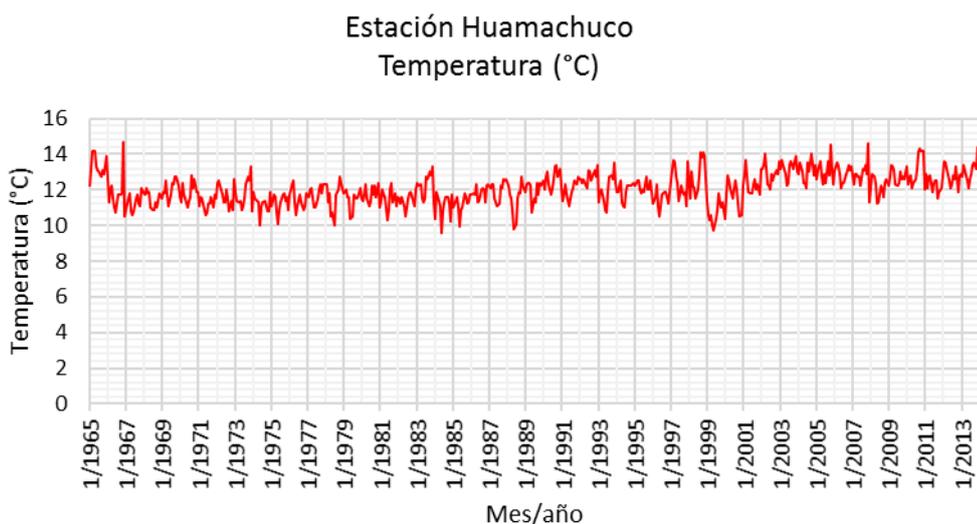


Figura 20. Registros históricos de temperatura completados – Estación Huamachuco

Fuente: Elaboración propia

5.1.4 Series de precipitación y temperatura para simulaciones

Considerando las 4 estaciones disponibles con datos de precipitación, precedimos a realizar una interpolación IDW (Inverse Distance Weighting) para aproximar los valores de precipitación de nuestra cuenca (Figuras 21-23 y Tablas 17-18). Una vez obtenidos los raster de la interpolación, ponderamos los valores de los pixeles que estuvieran dentro de los límites de la cuenca. Realizamos este procedimiento para cada mes con registros comunes de nuestras estaciones (1965-2013).

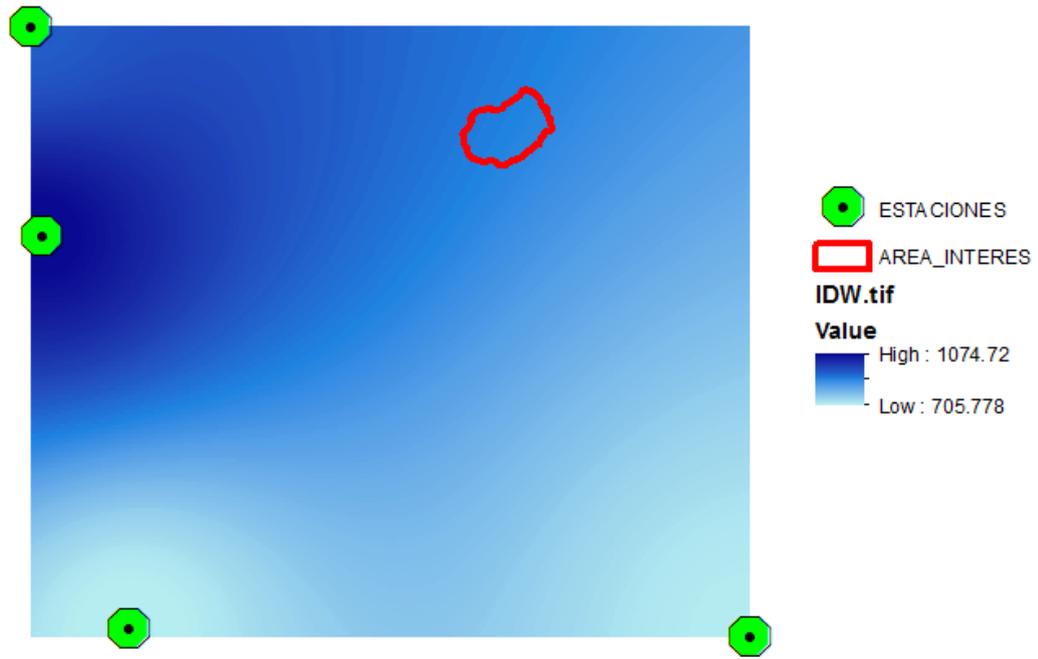


Figura 21. Interpolación IDW

Fuente: Elaboración propia

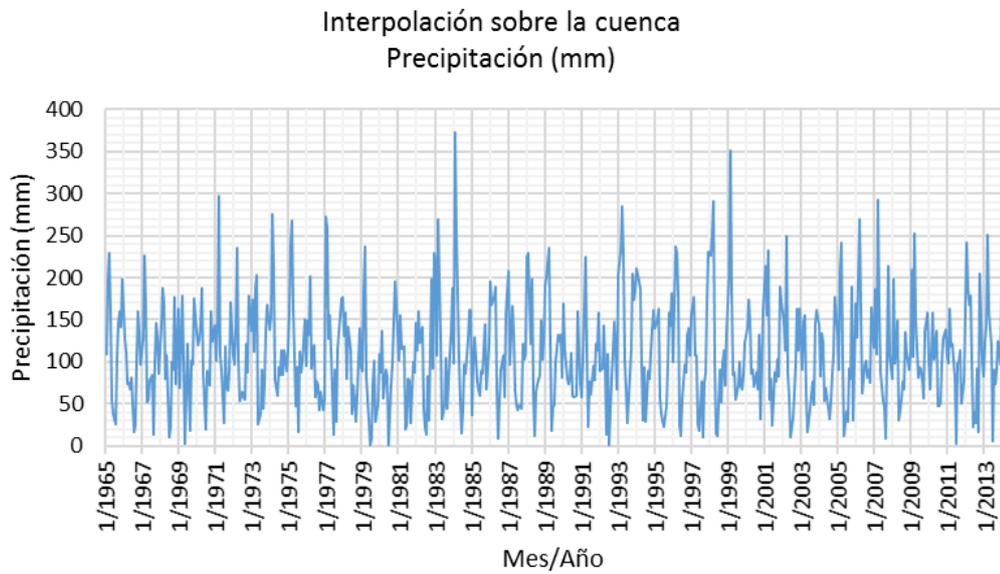


Figura 22. Registros históricos de temperatura interpolados para la cuenca.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 17. Precipitación media mensual de la cuenca calculada con interpolación IDW.

PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL (mm)

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total Anual	Total Acum.	Prom.
1965	108.98	198.04	229.27	159.28	55.55	38.68	25.30	105.60	145.27	160.31	141.58	199.04	1566.90	1566.90	130.58
1966	127.84	110.88	74.05	74.95	66.66	81.63	16.48	24.24	101.83	160.61	135.58	96.58	1071.34	2638.25	89.28
1967	127.53	226.01	167.59	51.14	54.76	78.03	84.21	13.80	101.53	145.52	125.44	85.81	1261.37	3899.61	105.11
1968	144.36	187.83	169.13	78.94	107.01	9.50	22.93	99.74	90.32	176.45	73.66	162.82	1322.69	5222.30	110.22
1969	68.78	122.68	178.64	99.27	2.19	120.85	63.53	17.44	101.15	96.12	175.73	134.10	1180.49	6402.79	98.37
1970	119.26	126.39	146.41	188.05	85.58	19.76	89.51	86.10	71.32	159.20	124.31	143.67	1359.58	7762.37	113.3
1971	100.89	146.31	297.35	107.06	89.18	26.57	117.82	70.13	65.41	89.17	170.48	106.70	1387.07	9149.43	115.59
1972	95.88	141.59	235.91	99.05	53.75	64.06	58.68	55.39	120.90	86.62	179.12	136.81	1327.76	10477.19	110.65
1973	174.04	112.54	188.11	202.59	25.07	37.59	90.92	44.29	73.01	137.32	167.29	138.60	1391.38	11868.57	115.95
1974	155.67	276.41	213.97	78.64	59.51	93.69	84.90	113.97	84.20	113.92	88.48	115.30	1478.67	13347.23	123.22
1975	159.83	240.20	267.92	161.22	47.42	93.95	15.76	112.45	87.84	101.42	150.13	94.98	1533.12	14880.36	127.76
1976	149.69	132.11	201.69	92.44	120.20	57.88	76.89	72.59	43.11	63.75	42.78	55.65	1108.76	15989.12	92.4
1977	272.41	259.20	127.72	155.73	65.33	13.55	90.82	28.90	114.69	136.66	175.83	176.67	1617.52	17606.64	134.79
1978	130.53	158.28	79.93	141.34	113.96	38.55	72.06	53.71	28.86	61.27	140.26	93.72	1112.46	18719.10	92.7
1979	88.56	183.88	236.79	81.94	28.23	0.22	8.56	74.20	101.56	28.43	50.51	109.18	992.06	19711.16	82.67
1980	87.68	136.83	56.64	89.86	82.48	1.45	36.80	72.82	97.81	195.43	169.66	135.80	1163.26	20874.42	96.94
1981	101.47	155.95	115.16	118.63	19.28	26.29	79.98	78.36	26.41	99.46	87.94	145.99	1054.93	21929.35	87.91
1982	113.80	160.64	122.41	140.85	43.58	21.18	13.51	83.42	30.63	198.55	92.75	229.39	1250.69	23180.04	104.22
1983	218.04	107.66	269.55	123.96	32.38	38.85	49.22	105.10	44.20	108.80	132.88	188.41	1419.07	24599.11	118.26
1984	98.86	372.66	255.52	104.26	52.71	14.26	42.41	96.47	86.31	127.60	161.60	161.30	1573.95	26173.06	131.16
1985	37.02	106.58	129.38	76.98	65.89	59.48	88.95	85.85	144.32	67.52	90.38	119.92	1072.26	27245.33	89.36
1986	194.88	167.80	176.74	189.10	65.24	8.17	51.20	90.26	107.03	57.27	157.26	182.46	1447.42	28692.75	120.62
1987	207.17	97.16	166.01	132.15	65.93	48.58	42.09	48.03	43.70	120.83	102.18	109.67	1183.48	29876.23	98.62
1988	224.41	229.09	121.87	198.85	60.93	12.03	64.63	73.45	84.07	149.22	102.92	125.65	1447.12	31323.35	120.59
1989	191.50	201.15	235.56	116.79	18.28	46.05	48.02	99.99	132.11	124.89	131.53	80.76	1426.64	32749.99	118.89
1990	169.65	114.66	79.80	73.15	80.68	110.76	59.47	58.08	60.00	159.65	115.64	72.90	1154.44	33904.43	96.2
1991	57.68	103.19	225.04	110.23	23.06	76.60	60.74	95.67	78.17	121.60	113.50	158.58	1224.07	35128.50	102.01
1992	88.37	92.72	143.13	92.20	13.52	108.52	1.53	81.77	110.55	147.91	110.26	67.56	1058.02	36186.52	88.17
1993	203.55	232.77	285.40	227.96	101.32	68.66	26.65	85.02	113.41	205.40	173.13	184.28	1907.56	38094.09	158.96
1994	210.66	195.32	186.70	94.09	30.67	93.78	27.98	89.42	80.20	112.17	138.19	161.77	1420.93	39515.02	118.41
1995	139.65	149.03	163.49	57.25	38.25	28.43	21.76	47.87	95.29	158.16	143.23	181.85	1224.25	40739.27	102.02
1996	100.06	236.47	229.18	178.95	23.74	11.25	55.66	97.04	87.70	131.59	139.92	106.71	1398.26	42137.53	116.52
1997	155.82	177.22	107.86	106.96	24.87	17.70	75.78	10.64	75.28	87.31	170.31	231.00	1240.74	43378.28	103.4
1998	226.60	251.83	290.36	96.41	14.79	10.95	90.79	52.60	98.28	114.03	72.58	133.12	1452.33	44830.61	121.03
1999	201.62	352.03	180.69	83.95	87.20	54.51	71.92	100.43	70.22	66.74	86.30	123.59	1479.20	46309.80	123.27
2000	140.26	173.41	149.20	85.48	89.90	70.48	87.09	66.80	131.39	31.03	94.17	161.40	1280.60	47590.40	106.72
2001	213.30	155.46	232.07	55.49	79.07	23.68	86.59	77.07	103.09	82.95	188.77	171.19	1468.72	49059.13	122.39
2002	145.51	113.89	249.91	86.50	58.19	9.71	33.95	62.78	97.16	162.65	113.33	162.35	1295.95	50355.08	108
2003	89.93	147.29	154.64	64.69	16.15	43.57	60.61	76.69	48.49	146.67	160.75	142.51	1152.00	51507.08	96
2004	82.65	133.94	123.59	53.67	68.36	43.66	31.84	54.02	84.49	109.65	177.29	134.65	1097.80	52604.88	91.48
2005	90.34	207.19	241.89	102.95	10.96	41.59	28.17	91.54	80.12	188.98	30.89	169.82	1284.44	53889.32	107.04
2006	129.51	202.39	269.53	155.45	62.71	96.54	100.76	81.41	89.83	75.35	163.82	116.21	1543.49	55432.82	128.62
2007	185.60	109.21	292.43	166.41	86.98	52.65	45.86	8.93	110.91	213.70	105.71	79.37	1457.77	56890.59	121.48
2008	199.03	98.18	117.33	148.35	30.52	54.23	76.28	67.28	135.12	110.32	90.63	110.19	1237.46	58128.05	103.12
2009	208.84	106.20	252.34	149.31	81.64	94.19	90.41	78.43	56.79	136.85	158.58	100.67	1514.25	59642.29	126.19
2010	66.98	109.89	157.99	102.61	137.40	46.48	47.21	51.54	99.70	127.65	138.70	106.50	1192.65	60834.94	99.39
2011	97.49	162.28	117.68	121.20	79.21	2.19	98.81	99.79	112.84	50.95	78.02	162.56	1183.03	62017.97	98.59
2012	241.72	188.02	167.71	178.25	22.64	39.86	27.54	91.69	16.17	204.49	99.98	82.08	1360.17	63378.14	113.35
2013	123.08	143.09	250.86	159.48	118.34	5.57	90.80	73.42	92.54	123.73	95.94	188.80	1465.65	64843.79	122.14
Media	144.22	169.66	186.37	118.66	58.39	46.05	57.82	71.56	86.84	123.18	125.10	135.48	1323.34	32903.74	
Mínima	37.02	92.72	56.64	51.14	2.19	0.22	1.53	8.93	16.17	28.43	30.89	55.65	992.06	1566.90	
Máxima	272.41	372.66	297.35	227.96	137.40	120.85	117.82	113.97	145.27	213.70	188.77	231.00	1907.56	64843.79	

Fuente: elaboración propia

Tabla 18. Temperatura media mensual interpolada para la cuenca.

INTERPOLACIÓN SOBRE CUENCA
REGISTRO HISTÓRICO DE TEMPERATURAS COMPLETADO 1965-2013
TEMPERATURA (°C)

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom.
1965	14.3	14.0	13.9	13.7	13.0	13.0	13.3	13.5	14.1	15.1	15.3	13.9	13.94
1966	13.7	12.7	12.1	11.7	11.8	12.2	13.3	12.9	12.8	13.2	14.4	13.2	12.84
1967	13.2	13.4	13.3	12.6	12.4	12.7	13.4	13.5	12.1	13.1	14.0	13.9	13.13
1968	13.8	14.3	13.7	13.4	12.6	12.5	12.5	13.5	12.7	13.8	13.8	13.4	13.34
1969	13.2	12.7	13.2	12.8	12.6	13.7	14.1	14.2	14.3	14.2	14.1	12.9	13.50
1970	12.4	13.5	12.6	12.4	11.8	12.1	12.8	13.8	13.2	13.6	13.2	13.3	12.89
1971	12.8	13.0	12.8	12.4	11.9	12.0	12.2	12.7	12.6	12.0	13.0	12.8	12.52
1972	14.1	14.2	13.6	13.0	12.4	12.6	13.1	12.9	12.5	13.0	12.8	14.5	13.22
1973	13.8	13.3	12.8	12.9	12.5	12.9	13.3	13.9	14.2	14.1	14.7	12.7	13.43
1974	14.0	13.2	12.8	12.9	11.6	12.8	12.9	13.3	13.1	12.6	12.7	13.9	12.99
1975	13.3	13.9	13.4	12.3	11.7	12.6	13.2	13.7	13.6	13.1	13.3	13.0	13.09
1976	13.7	14.4	14.2	12.8	12.0	12.7	13.4	13.0	12.7	12.8	13.2	13.9	13.25
1977	13.7	13.9	13.5	13.0	12.7	12.7	13.1	13.5	14.0	13.4	13.9	14.3	13.49
1978	14.1	13.4	13.8	12.1	12.5	11.7	13.1	13.7	13.6	14.1	14.4	13.7	13.35
1979	14.0	13.8	13.1	13.1	12.6	12.7	13.2	13.3	13.7	13.5	14.0	13.1	13.35
1980	13.7	14.5	14.8	13.6	14.2	14.3	15.2	14.1	14.4	12.6	13.6	13.4	14.03
1981	13.4	14.4	13.4	12.7	12.1	13.9	14.1	14.5	13.0	13.1	13.3	14.3	13.52
1982	14.2	14.0	14.7	14.0	13.2	13.8	14.0	13.9	14.1	13.3	13.6	14.6	13.94
1983	14.8	14.9	15.1	14.6	14.0	15.6	16.4	14.7	15.2	15.3	15.1	14.1	14.98
1984	13.1	13.8	12.3	12.6	11.1	12.5	13.9	13.5	13.6	14.1	13.9	14.4	13.23
1985	13.6	13.9	14.1	13.2	12.1	12.8	13.2	13.9	13.7	13.7	13.9	14.3	13.53
1986	14.3	14.7	14.3	14.4	12.8	13.4	14.2	14.5	14.1	13.8	14.4	14.9	14.16
1987	14.7	15.3	14.8	14.1	13.9	13.7	13.9	14.9	14.8	14.8	14.8	15.6	14.60
1988	14.4	14.4	14.3	13.5	12.9	12.9	14.0	14.3	14.8	14.8	14.8	13.9	14.08
1989	14.7	14.6	14.4	13.9	12.8	13.3	13.2	14.1	13.9	14.8	14.4	14.6	14.06
1990	14.7	14.9	14.9	13.4	13.2	13.7	14.1	15.2	15.0	14.3	14.7	14.5	14.39
1991	14.3	14.4	14.7	13.6	12.9	13.9	14.0	14.3	14.6	14.4	14.6	15.2	14.23
1992	14.8	14.6	14.9	13.9	13.2	14.0	15.2	15.0	15.1	15.5	15.1	15.1	14.70
1993	13.7	14.4	14.0	13.1	13.4	15.5	16.7	14.6	13.9	13.9	15.1	14.6	14.40
1994	13.7	14.2	15.1	14.0	13.5	13.1	14.0	14.2	14.2	13.9	14.4	14.1	14.04
1995	14.7	15.1	15.0	14.8	14.5	14.4	14.0	14.6	14.3	14.2	15.0	14.3	14.58
1996	13.8	14.4	14.7	13.3	12.8	13.2	13.7	13.9	14.1	13.8	13.7	14.3	13.82
1997	15.3	16.0	15.6	14.4	14.0	13.5	14.4	14.1	14.1	14.1	13.6	15.4	14.56
1998	14.3	15.2	14.7	14.4	13.7	14.1	15.0	16.1	15.8	16.0	15.6	14.5	14.95
1999	14.2	13.7	13.8	13.2	12.7	13.5	13.7	14.4	13.9	13.5	14.0	13.7	13.69
2000	14.3	15.1	14.6	14.3	13.7	14.2	14.5	14.1	13.7	13.2	13.9	14.6	14.17
2001	15.0	16.0	15.1	14.2	14.1	13.7	14.4	14.6	14.1	14.4	13.8	15.6	14.58
2002	15.2	15.4	16.0	14.4	14.3	14.0	14.9	14.6	14.8	15.2	15.1	15.6	14.96
2003	15.2	15.9	15.5	14.8	14.0	14.4	15.2	15.6	15.0	15.6	15.9	15.0	15.17
2004	15.0	15.6	14.9	14.4	14.3	13.8	15.4	15.0	15.7	15.4	15.0	15.5	15.01
2005	14.9	15.2	15.6	14.8	14.2	15.0	14.5	15.5	14.9	16.4	15.2	14.4	15.05
2006	15.1	15.7	15.4	14.9	14.0	14.2	14.4	14.8	14.8	15.5	15.2	15.3	14.94
2007	14.7	14.8	14.6	14.7	14.6	14.2	15.1	14.8	15.1	15.0	16.3	14.2	14.85
2008	14.8	14.8	14.8	14.7	13.6	13.7	14.3	14.2	13.7	16.5	14.6	14.7	14.54
2009	14.8	15.6	15.4	15.1	14.2	14.3	14.8	14.7	14.5	14.6	14.6	15.3	14.82
2010	14.8	15.0	15.2	14.5	14.6	14.6	15.2	16.0	16.1	16.2	16.0	14.2	15.19
2011	15.2	14.3	14.8	14.9	14.0	14.4	14.5	14.4	13.6	14.1	14.4	14.8	14.44
2012	15.6	15.5	15.2	14.5	14.1	14.0	14.7	14.6	15.1	14.0	14.7	15.1	14.76
2013	15.2	15.5	15.5	14.7	14.0	14.5	15.0	15.4	15.3	15.3	16.4	15.6	15.20
Media	14.25	14.49	14.31	13.69	13.16	13.54	14.10	14.26	14.13	14.22	14.39	14.33	14.07
Mínima	12.4	12.7	12.1	11.7	11.1	11.7	12.2	12.7	12.1	12.0	12.7	12.7	12.5
Máxima	15.6	16.0	16.0	15.1	14.6	15.6	16.7	16.1	16.1	16.5	16.4	15.6	15.2

Fuente: elaboración propia

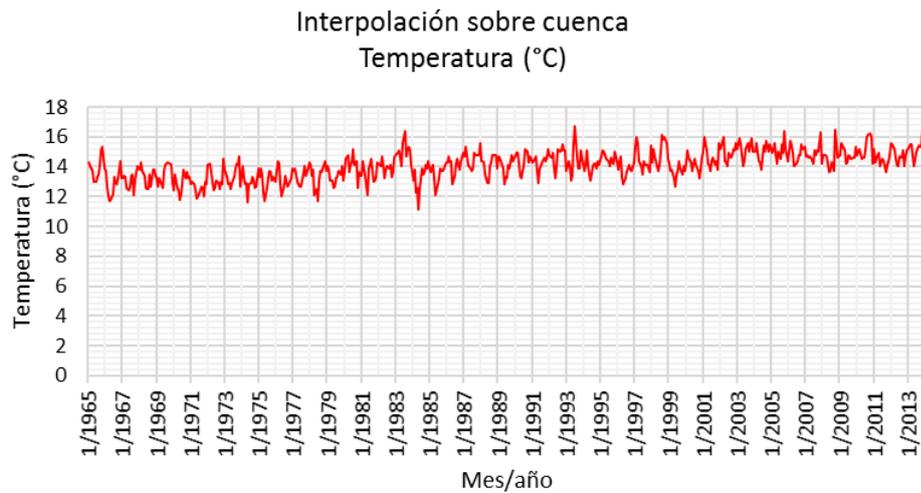


Figura 23. Series de temperaturas medias mensuales obtenidas de PISCO
Fuente: elaboración propia

5.1.5 Obtención de caudales

Estimar los caudales a la salida de nuestra cuenca es muy importante, pues estas cantidades serán uno de los principales inputs en el balance de aguas, lamentablemente no contamos con una estación hidrométrica que nos de registros históricos de caudales, por lo que fue necesario usar otros métodos para calcularlos.

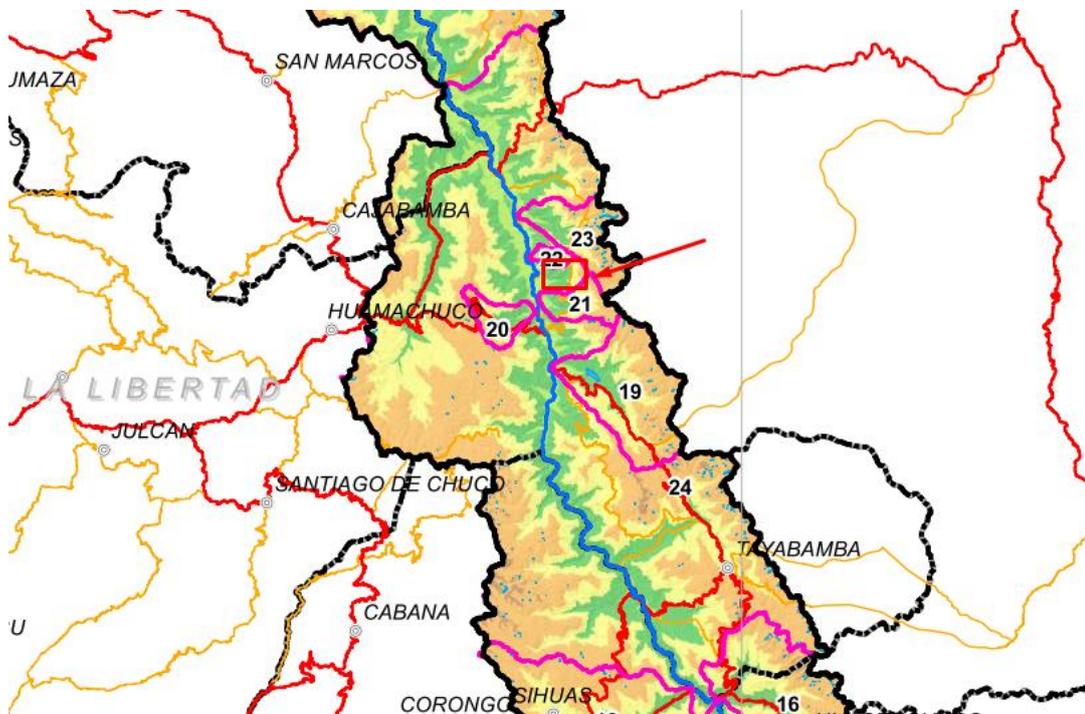


Figura 24. Ubicación cuenca en la subdivisión por subcuencas de la cuenca del Marañón.
Fuente: (Autoridad Nacional del Agua, 2015)

En el estudio de la cuenca del río Marañón se ubicó nuestra zona de estudio en la subdivisión por subcuencas planteada. Es así que se notó que nuestra cuenca se encuentra en la zona 24 correspondiente a la Intercuenca alto Marañón. Pero además se encontraba ubicada exactamente entre las subcuencas 21 (Dem. poblac. Huamachuco Qda Huallanga) y 22 (Demandas. Qda. El Oso) como se observa en la Figura 24.

En dicho estudio se hizo un modelamiento hidrológico con base en el método Soil Moisture Method implementado en el software WEAP para estimar caudales a la salida de las subcuencas y se calibró con los datos de estaciones hidrométricas disponibles. Para estimar los valores de nuestra microcuenca con la misma herramienta utilizada en el estudio, consideramos los siguientes parámetros que se necesitaban para correr el modelo:

- Coeficiente de cultivo, Kc.
- Capacidad de almacenamiento de agua en la zona de raíces, SWC.
- Capacidad de almacenamiento de agua en la zona profunda, DWC.
- Factor de resistencia a la escorrentía, RRF.
- Conductividad de zona de raíces, RZC.
- Conductividad de zona profunda, DC.
- Dirección preferencial de flujo, PFD.
- Acuífero.
- Capacidades iniciales Z1 y Z2.

Algunos de estos valores dependen de la cobertura de la zona por lo que en base al mapa de Cobertura Vegetal del Perú definimos las zonas de nuestra microcuenca como se detalla en la Tabla 19 y se muestra en la Figura 25.

Tabla 19. Cobertura vegetal sobre la cuenca.

Cobertura	Área (km2)	Porcentaje
Agricultura costera y andina	1.281	2.76%
Bosque xérico interandino	5.0710001	10.92%
Pajonal andino	6.3179998	13.60%
Matorral arbustivo	33.7859993	72.73%
TOTAL	46.4559992	

Fuente: Elaboración propia.

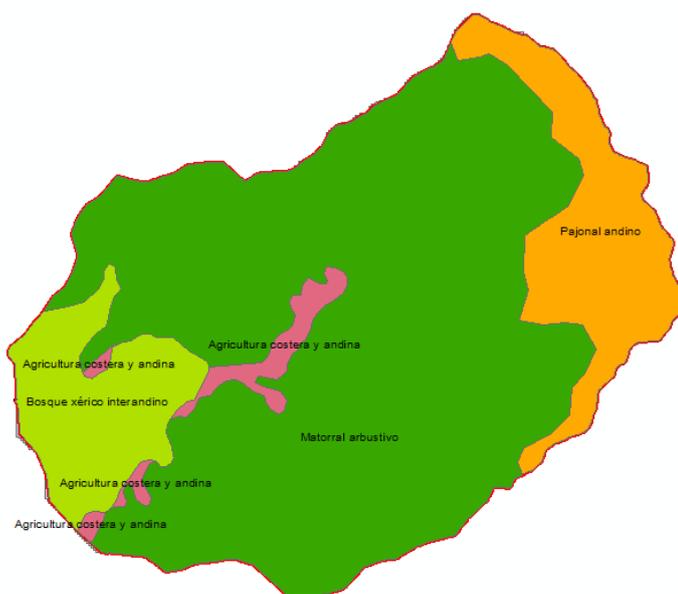


Figura 25. Cobertura vegetal sobre la cuenca.

Fuente: Elaboración propia.

Para cada uno de estos tipos de cobertura se tienen definidos los parámetros mostrados en la Tabla 20 para la cuenca alta del río Marañón, a donde pertenece la cuenca. Son estos parámetros según cobertura que utilizaremos para nuestro modelo hidrológico.

Tabla 20. Parámetros de calibración según cobertura.

Tipo de cobertura	Kc	Sw	RRF	RZC	PFD	Z1
	Crop Coefficient	Soil Water Capacity	Run off Resistance Factor	Root Zone Conductivity	Preffered Flow Direction	Initial Z1
Unidad	-	mm	-	mm/mes		%
Bo_Bofedal	0,85	100	0,1	1500	0,7	30
PjA_Pajonal Altoandino	0,82	75	0,6	1500	0,8	30
Gl_Glaciár	1,1	50	1	1500	0,7	30
Ap_Periglaciár	1,03	100	0,1	1500	0,6	30
Agri_Agricultura Costera y Andina	0,71	300	2	1500	0,7	30
Ma_Matorral Arbustivo	0,75	100	0,7	1500	0,7	30
PF_Plantación Forestal	0,79	300	2	1500	0,4	30
Mi_Minería	0,86	152	1	1500	0,9	30
BraI_Bosque Relicto Alto Andino	0,8	450	1,5	1500	0,8	30
Brm_Bosque Relicto Meso Andino	0,8	450	1,5	1500	0,8	30
Pj_Pajonal	0,71	110	0,5	1500	0,8	30
BSvi_Bosque Seco de Valle Interandino	0,72	200	2	1500	0,8	30
BHM_Bosque Húmedo de Montaña	0,8	450	2	1500	0,8	30
Para_Páramo	0,75	200	0,7	1500	0,5	30
BSS_Bosque Seco Tipo Sabana	0,7	300	2	1500	0,8	30

Fuente: (Autoridad Nacional del Agua, 2015)

Asimismo, los otros parámetros a ser utilizados dependen de la subcuenca como se observa en la Tabla 21. Dado que tanto las subcuencas vecinas (21, 22 y 23) y la zona

a la que pertenece nuestra microcuenca consignan los mismos parámetros, estos serán los utilizados.

Tabla 21. Parámetros de calibración según subcuencas.

Unidad	DWC	DC	Z2
	Deep Water Capacity	Deep Conductivity	Initial Z2
	mm	mm/mes	%
SC001_Cuenca de la E.A Laguna Lauricocha 220110	5000	1000	15
SC002_Demandas río Nupe	5000	1000	15
SC003_Demandas río Vizcarra	5000	1000	15
SC004_Demandas río Aco	5000	1000	15
SC005_Demandas Río Carash	5000	1000	15
SC006_Cabecera río Mosna	5000	1000	15
SC007_Demandas río Shashal	5000	1000	15
SC008_Demandas río Huari	5000	1000	15
SC009_Demandas río Rachactanán	5000	1000	15
SC010_Río Puchca o Mosna en ALA Huari	5000	1000	15
SC011_Demandas río Shiuas	5000	1000	15
SC012_Demandas río Jancapampa	5000	1000	15
SC013_Cierre río Pomabamba	5000	1000	15
SC014_Demandas río Yanamayo	5000	1000	15
SC015_Cuenca de la E.A Marañón 1	5000	1000	15
SC016_Cuenca de la E.A Marañón 2	5000	1000	15
SC017_Dem. Agrícola poblac Sicsibamba río Chullin	5000	1000	15
SC018_Cierre cuenca río rupac	5000	1000	15
SC019_Dem. Ind Mine CHPIAS 1 río San Miguel	5000	1000	15
SC020_Demandas río Lavasen	5000	1000	15
SC021_Dem pobl Huamachuco Qda Huallanga	5000	1000	15
SC022_Demandas Qda El Oso	5000	1000	15
SC023_Demandas Qda El Oso	5000	1000	15
SC024_Intercuenca Alto Marañón V	5000	1000	15
SC025_Dem pobl CH01 río Cantage	5000	1000	15
SC026_Cuenca en EA Balsas 220402	5000	1000	15
SC027_Demandas río Limón	5000	1000	15
SC028_Dem pobl futura Conga río Jadibamba	5000	1000	15
SC029_Demandas río Sendamal	5000	1000	15
SC030_Demandas río Potrerillo	5000	1000	15

Fuente: (Autoridad Nacional del Agua, 2015)

Además, también se requieren datos climáticos:

- Series de precipitación mensual.
- Series de temperatura mensual.
- Distribución mensual de humedad relativa.
- Distribución mensual de velocidad del viento.

Las series de las 2 primeras variables fueron calculadas mediante interpolación de un conjunto de estaciones. Para las 2 últimas variables, el Manual de Referencia de WEAP sugiere que es posible usar datos representativos de un año, que fue lo que hicimos

para nuestro caso, considerando los datos de las estaciones Hacienda Jocos y Cajabamba, respectivamente.

Modelamos el sistema hidrológico de nuestra cuenca como se observa en la Figura 26.

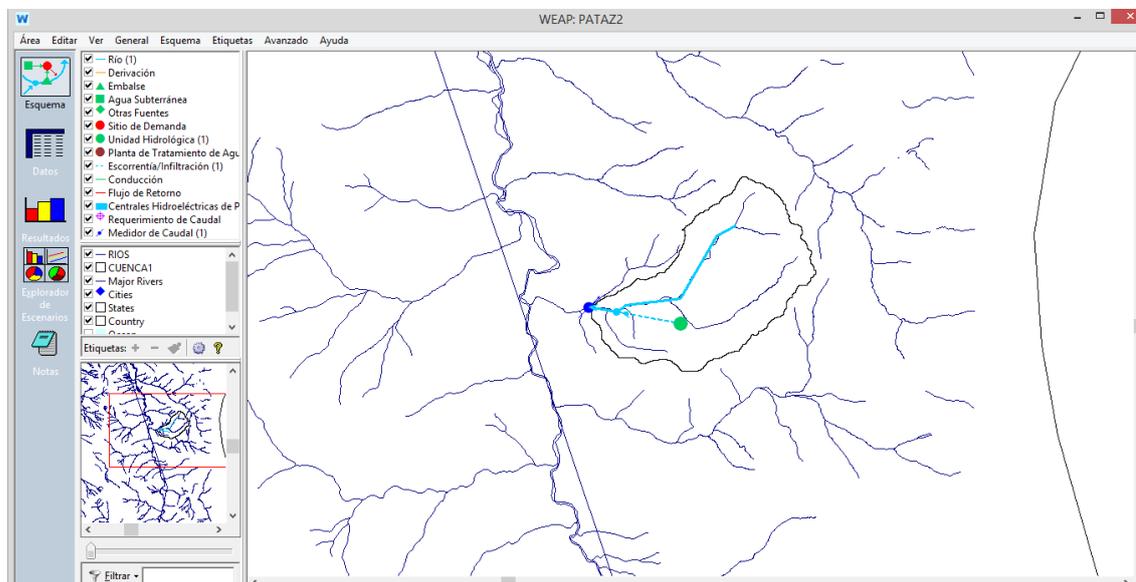


Figura 26. Esquema de modelo hidrológico de microcuenca en WEAP.

Fuente: Elaboración propia

Con los parámetros y series cargadas en el WEAP, procedimos a correr el modelo hidrológico. Los resultados se muestran en la Figura 27, Figura 28 y Figura 29 respectivamente. Los resultados de los caudales simulados se muestran en la Figura 30, Figura 31 y Tabla 22.

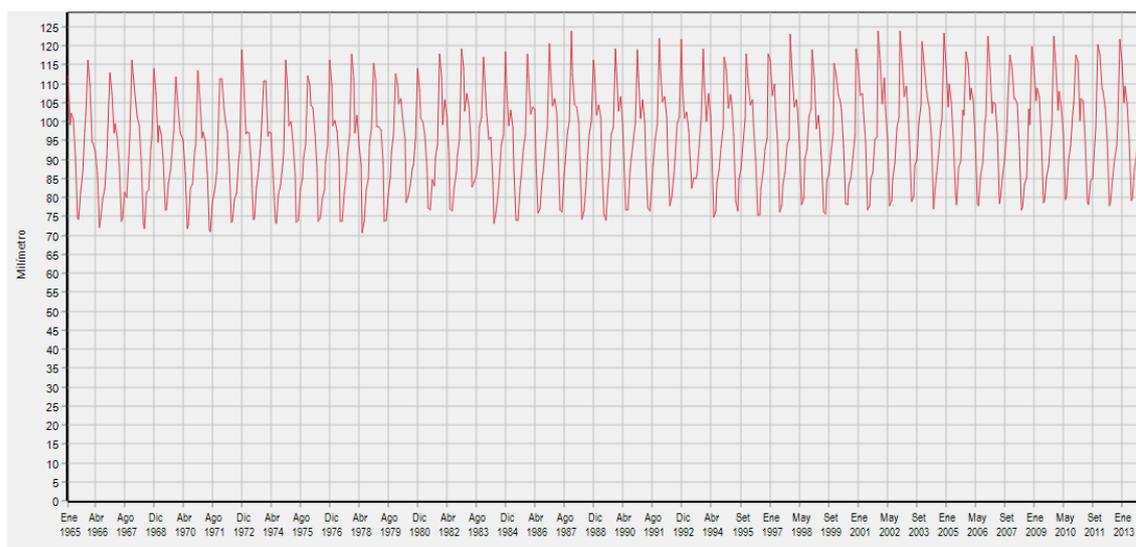


Figura 27. Evapotranspiración potencial calculada en WEAP.

Fuente: Elaboración propia

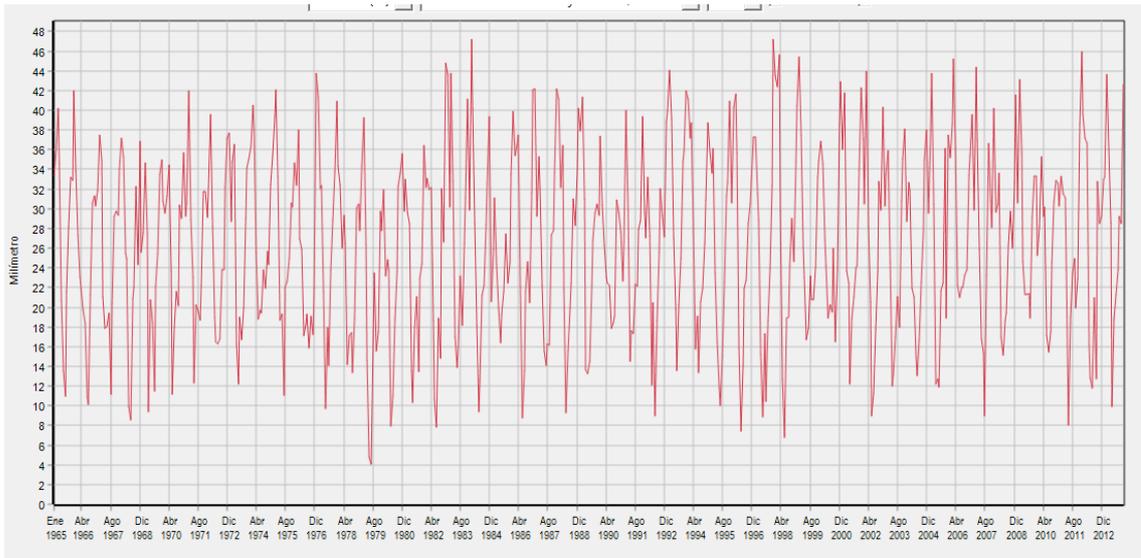


Figura 28. Evapotranspiración real calculada en WEAP.

Fuente: Elaboración propia

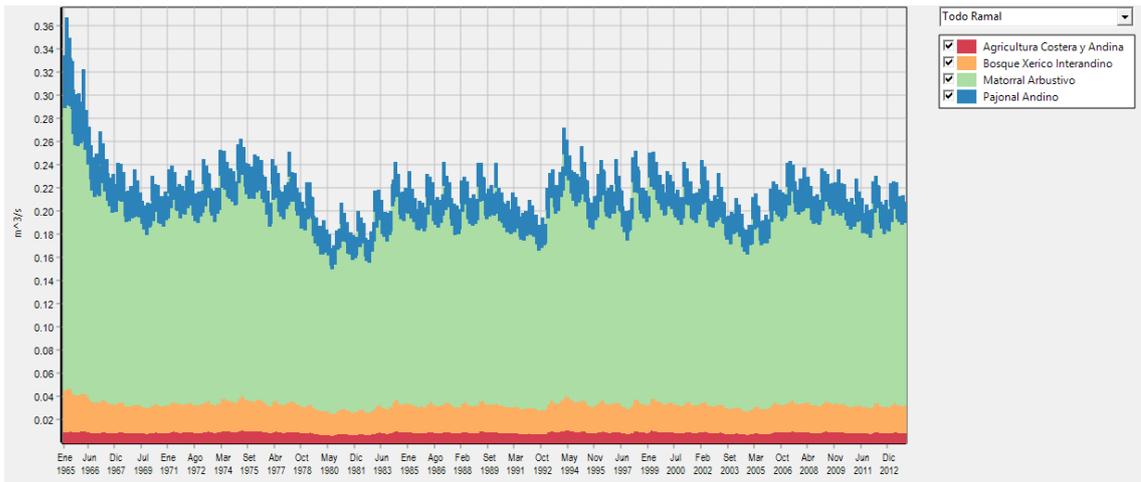


Figura 29. Flujo base calculado en función de los tipos de suelo

Fuente: Elaboración propia

Tabla 22. Serie de caudales simulados

SIMULACIÓN WEAP
SERIES DE CAUDALES 1965-2013
CAUDALES (m3/s)

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom.
1965	1.4	2.5	2.7	2.0	0.9	0.7	0.5	1.2	1.8	1.9	1.7	2.2	1.63
1966	1.5	1.5	1.0	1.0	0.9	1.0	0.4	0.4	1.1	1.8	1.6	1.1	1.11
1967	1.4	2.8	2.0	0.8	0.7	1.0	1.0	0.4	1.1	1.6	1.5	1.0	1.26
1968	1.5	2.2	1.9	1.0	1.2	0.4	0.4	1.0	1.1	1.9	1.0	1.7	1.28
1969	0.9	1.5	2.0	1.2	0.3	1.3	0.8	0.4	1.1	1.1	2.0	1.5	1.16
1970	1.3	1.5	1.6	2.2	1.1	0.4	1.0	1.0	0.9	1.7	1.5	1.5	1.32
1971	1.1	1.8	3.4	1.4	1.1	0.5	1.3	0.9	0.8	1.0	1.9	1.2	1.37
1972	1.1	1.6	2.6	1.3	0.7	0.8	0.7	0.7	1.4	1.0	2.0	1.5	1.29
1973	1.9	1.5	2.1	2.4	0.6	0.5	1.0	0.6	0.8	1.5	1.9	1.5	1.36
1974	1.7	3.5	2.5	1.1	0.8	1.1	1.0	1.3	1.1	1.3	1.1	1.2	1.47
1975	1.7	3.0	3.1	2.0	0.7	1.1	0.4	1.2	1.1	1.2	1.7	1.1	1.53
1976	1.6	1.6	2.2	1.2	1.4	0.8	0.9	0.9	0.6	0.7	0.6	0.6	1.10
1977	2.9	3.3	1.5	1.8	0.9	0.4	1.0	0.5	1.2	1.5	2.0	1.9	1.58
1978	1.5	2.0	1.0	1.6	1.3	0.6	0.8	0.7	0.5	0.7	1.5	1.0	1.10
1979	1.0	2.2	2.7	1.1	0.5	0.2	0.2	0.7	1.1	0.5	0.6	1.1	0.99
1980	0.9	1.5	0.7	1.0	0.9	0.3	0.4	0.8	1.1	2.1	2.0	1.5	1.09
1981	1.1	1.8	1.3	1.3	0.4	0.4	0.8	0.9	0.4	1.0	1.0	1.5	1.00
1982	1.2	1.9	1.4	1.6	0.6	0.4	0.3	0.8	0.5	2.0	1.1	2.4	1.18
1983	2.4	1.4	2.9	1.5	0.5	0.5	0.6	1.1	0.6	1.1	1.5	2.0	1.35
1984	1.1	4.5	3.0	1.4	0.7	0.4	0.5	1.0	1.0	1.4	1.9	1.8	1.56
1985	0.6	1.2	1.4	1.0	0.8	0.8	1.0	1.0	1.6	0.9	1.0	1.2	1.04
1986	2.1	2.1	2.0	2.2	0.9	0.3	0.6	1.0	1.2	0.7	1.7	2.0	1.39
1987	2.3	1.3	1.8	1.6	0.8	0.7	0.6	0.6	0.6	1.2	1.2	1.1	1.14
1988	2.4	2.8	1.4	2.3	0.9	0.4	0.7	0.8	1.0	1.6	1.2	1.3	1.40
1989	2.1	2.5	2.7	1.5	0.4	0.6	0.6	1.1	1.5	1.4	1.5	0.9	1.40
1990	1.8	1.5	0.9	0.9	0.9	1.3	0.8	0.7	0.7	1.7	1.4	0.8	1.11
1991	0.6	1.2	2.4	1.4	0.4	0.8	0.7	1.0	0.9	1.3	1.3	1.7	1.16
1992	1.0	1.1	1.5	1.1	0.4	1.1	0.3	0.8	1.2	1.6	1.3	0.8	1.01
1993	2.1	2.9	3.3	2.7	1.3	0.9	0.5	0.9	1.3	2.3	2.0	2.0	1.85
1994	2.4	2.5	2.1	1.2	0.5	1.1	0.5	1.0	1.0	1.2	1.6	1.8	1.40
1995	1.5	1.8	1.8	0.8	0.5	0.4	0.4	0.5	1.1	1.7	1.7	2.0	1.19
1996	1.2	2.7	2.6	2.1	0.5	0.3	0.6	1.1	1.1	1.4	1.6	1.2	1.38
1997	1.6	2.2	1.2	1.2	0.5	0.3	0.8	0.3	0.8	1.0	1.9	2.5	1.20
1998	2.5	3.2	3.3	1.3	0.4	0.3	0.9	0.7	1.1	1.3	0.9	1.4	1.44
1999	2.2	4.5	2.2	1.1	1.0	0.8	0.9	1.1	0.9	0.8	1.0	1.3	1.47
2000	1.5	2.0	1.7	1.1	1.0	0.9	1.0	0.8	1.5	0.5	1.0	1.7	1.23
2001	2.3	1.9	2.6	0.8	0.9	0.5	0.9	0.9	1.2	1.0	2.1	1.9	1.41
2002	1.6	1.4	2.7	1.1	0.7	0.3	0.4	0.7	1.1	1.8	1.3	1.7	1.25
2003	1.0	1.7	1.7	0.8	0.4	0.5	0.7	0.9	0.6	1.5	1.8	1.5	1.10
2004	0.9	1.5	1.4	0.7	0.7	0.6	0.4	0.6	0.9	1.2	2.0	1.4	1.03
2005	1.0	2.4	2.7	1.3	0.4	0.5	0.4	0.9	0.9	2.0	0.6	1.7	1.23
2006	1.4	2.4	3.0	1.9	0.8	1.1	1.2	1.0	1.1	0.9	1.8	1.3	1.48
2007	2.0	1.4	3.2	2.0	1.1	0.7	0.6	0.3	1.1	2.3	1.3	0.9	1.42
2008	2.1	1.2	1.3	1.7	0.5	0.7	0.9	0.8	1.5	1.2	1.1	1.2	1.18
2009	2.2	1.4	2.7	1.8	1.0	1.1	1.1	0.9	0.7	1.5	1.8	1.1	1.45
2010	0.8	1.3	1.7	1.2	1.5	0.7	0.6	0.6	1.1	1.4	1.6	1.2	1.13
2011	1.0	1.9	1.3	1.4	0.9	0.3	1.0	1.1	1.3	0.7	0.9	1.7	1.13
2012	2.6	2.3	1.9	2.1	0.5	0.5	0.4	1.0	0.4	2.1	1.2	0.9	1.32
2013	1.3	1.7	2.7	1.9	1.4	0.4	0.9	0.9	1.1	1.3	1.1	2.0	1.39
Media	1.58	2.07	2.10	1.44	0.78	0.65	0.71	0.83	1.02	1.36	1.44	1.46	1.29
Mínima	0.6	1.1	0.7	0.7	0.3	0.2	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.6	1.0
Máxima	2.9	4.5	3.4	2.7	1.5	1.3	1.3	1.3	1.6	2.3	2.1	2.5	1.8

Fuente: Elaboración propia

5.1.6 Cálculo de evapotranspiración

En 1948, Thornthwaite propuso una clasificación climática cuya principal característica fue la utilización de la evapotranspiración potencial como parámetro fundamental para la delimitación de los distintos tipos climáticos.

Al igual que habían hecho anteriormente otros climatólogos, Thornthwaite buscaba una clasificación climática basada en la distribución de las especies vegetales, al considerar que en ellas se conjugan los diversos efectos de los elementos del clima. Consideró la evapotranspiración como el proceso principal de intercambio de energía, humedad y momento entre la superficie terrestre y la atmósfera, y su medida como variable fundamental para su clasificación climática.

a) Sistema Thornthwaite

Se basa en el concepto de evapotranspiración potencial y en el balance de vapor de agua, y contiene cuatro criterios básicos:

- Índice global de humedad,
- Variación estacional de la humedad efectiva,
- Índice de eficiencia térmica, y
- Concentración estival de la eficacia térmica.

La evapotranspiración potencial (ETP) se determina a partir de la temperatura media mensual, corregida según la duración del día (Tabla 24 y Figura 32).

El método de Thornthwaite para el cálculo de evapotranspiración potencial fue desarrollado en los Estados Unidos, en experimentos realizados entre las latitudes 29° a 43° Norte, en tanques de 4 m² y nivel freático constante a medio metro de profundidad. Se puede aplicar con relativa confianza en regiones de clima similar, es decir, en regiones húmedas. El procedimiento a seguir es el siguiente:

$$e = 16 \times \left(10 \times \frac{t}{I}\right)^{\alpha} \dots\dots\dots(33)$$

$$\alpha = 0.675 \times I^3 \times 10^{-6} - 0.771 \times I^2 \times 10^{-4} + 0.01792 \times I + 0.49239 \dots\dots\dots(34)$$

Donde:

e = evapotranspiración mensual, en mm, por mes de 30 días de 12 horas de duración.

t = Temperatura media mensual, en °C, en el mes considerado

a = exponente que varía con el índice anual de calor de la localidad

Índice térmico mensual

$$i = \left(\frac{t}{5}\right)^{1.514} \dots\dots\dots(35)$$

Índice térmico anual

$$I = \sum i \dots\dots\dots(36)$$

Luego de los cálculos, corregir el valor calculado de e, según el número real de días del mes considerado y la duración de cada día. Para ello, dicho valor debe multiplicarse por un factor que se obtiene de la tabla 23 siguiente:

Tabla 23. Factores de Corrección de e

LAT SUR	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
5	1.04	0.95	1.04	1.00	1.02	0.99	1.02	1.03	1.00	1.05	1.03	1.06
10	1.08	0.97	1.05	0.99	1.01	0.96	1.00	1.01	1.00	1.06	1.05	1.10
15	1.12	0.98	1.05	0.98	0.98	0.94	0.97	1.00	1.00	1.07	1.07	1.12
20	1.14	1.00	1.05	0.97	0.96	0.91	0.95	0.99	1.00	1.08	1.09	1.15
25	1.17	1.01	1.05	0.96	0.94	0.88	0.93	0.98	1.00	1.10	1.11	1.18
30	1.20	1.03	1.06	0.95	0.92	0.85	0.90	0.96	1.00	1.12	1.14	1.21
35	1.23	1.04	1.06	0.94	0.89	0.82	0.87	0.94	1.00	1.13	1.17	1.25
40	1.27	1.06	1.07	0.93	0.86	0.78	0.84	0.92	1.00	1.15	1.20	1.29
45	1.31	1.10	1.07	0.91	0.81	0.71	0.78	0.90	0.99	1.17	1.26	1.36
50	1.37	1.12	1.08	0.89	0.77	0.67	0.74	0.88	0.99	1.19	1.29	1.41

Fuente: <https://debconsulting.weebly.com/clasif-climat-wt.html>

Tabla 24. Evapotranspiración potencial calculada mediante el método de Thornthwaite.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom.
1965	76.7	67.1	72.2	67.2	62.9	60.4	65.0	67.2	70.8	83.5	84.1	74.7	70.99
1966	74.8	60.6	61.4	55.6	57.5	58.0	68.2	65.9	63.8	70.5	79.0	72.2	65.62
1967	69.9	64.8	69.7	61.2	60.9	60.7	68.2	69.6	57.8	68.8	75.0	77.0	66.97
1968	74.2	71.0	72.4	66.6	61.8	58.6	60.7	69.0	61.6	73.9	72.8	72.3	67.90
1969	68.8	58.6	67.8	61.5	61.2	67.0	72.7	74.2	73.5	76.7	74.8	67.6	68.70
1970	64.4	66.2	65.0	60.5	57.3	57.1	64.3	72.6	66.7	73.5	69.3	72.8	65.81
1971	68.7	63.6	67.7	61.6	59.3	57.6	61.1	65.4	63.3	62.3	68.9	70.0	64.12
1972	77.0	70.5	71.8	63.9	60.6	59.7	65.6	64.7	60.4	67.7	65.2	81.9	67.41
1973	73.9	63.2	64.8	62.5	60.7	61.2	66.5	72.0	72.9	76.1	80.0	66.2	68.35
1974	76.8	63.7	66.3	63.8	55.6	61.8	64.8	68.5	65.6	65.3	65.2	77.5	66.25
1975	70.9	68.6	70.6	59.1	55.9	60.1	66.7	71.3	69.1	68.9	69.5	69.7	66.71
1976	73.7	72.0	76.7	62.3	57.6	60.4	67.9	65.4	61.9	66.1	68.3	76.7	67.42
1977	73.0	67.6	70.3	63.1	62.1	59.6	64.8	68.6	71.2	70.2	73.2	79.5	68.60
1978	76.7	64.2	73.1	56.8	60.9	52.8	65.2	70.6	68.4	76.3	77.7	74.7	68.11
1979	75.9	67.2	67.5	64.3	61.7	60.0	66.0	67.4	69.2	71.4	74.4	69.8	67.91
1980	71.2	70.8	79.7	66.1	72.3	70.3	80.5	71.9	72.9	61.8	69.0	70.0	71.38
1981	70.3	71.3	69.3	60.7	57.4	68.5	72.6	76.6	63.3	67.6	68.2	79.4	68.77
1982	75.8	67.1	79.1	69.5	64.4	66.6	70.6	70.5	70.7	67.8	69.3	80.8	71.02
1983	78.1	71.6	79.8	71.6	67.7	79.0	89.5	74.3	77.3	82.5	79.5	73.0	76.98
1984	68.8	67.5	61.6	60.8	51.1	58.9	71.8	69.3	68.7	76.6	73.9	81.0	67.49
1985	72.0	67.4	75.1	64.4	57.3	60.2	65.4	71.7	68.7	72.4	73.1	79.3	68.92
1986	76.1	72.1	75.0	72.3	60.6	62.8	71.7	74.9	70.1	71.4	75.5	83.0	72.13
1987	78.3	76.0	78.1	68.4	68.1	63.8	67.7	77.2	74.8	78.9	77.8	88.5	74.79
1988	77.2	69.9	75.2	65.1	61.6	59.2	70.2	73.4	76.2	80.4	79.2	74.2	71.81
1989	79.9	71.6	76.2	68.4	60.9	62.3	63.8	71.8	68.7	80.4	75.8	80.5	71.69
1990	79.0	73.2	79.7	63.4	63.0	64.5	70.1	80.5	77.1	75.0	77.5	78.6	73.46
1991	75.8	69.5	78.3	65.4	61.1	66.5	69.7	73.0	74.1	76.3	77.0	85.6	72.68
1992	79.0	69.8	78.8	66.4	61.9	65.9	78.9	77.8	77.2	85.2	80.3	83.3	75.38
1993	70.0	69.0	71.6	60.8	64.5	79.4	93.4	75.0	67.7	71.4	81.0	79.5	73.61
1994	71.2	68.4	82.4	69.3	66.6	60.9	70.3	72.7	71.3	72.6	75.9	76.1	71.48
1995	78.4	74.4	80.1	74.5	73.4	69.6	68.7	74.6	70.6	73.5	79.7	76.2	74.48
1996	72.8	70.6	79.5	64.4	61.7	62.3	68.6	70.9	71.1	72.5	70.6	78.6	70.29
1997	84.1	82.3	85.8	71.1	69.1	62.4	72.2	70.3	68.9	72.7	67.4	86.7	74.42
1998	73.5	74.3	76.2	69.9	65.2	66.0	76.3	87.5	83.0	89.5	84.3	76.8	76.87
1999	76.6	65.5	72.1	64.0	61.4	65.0	68.9	75.3	69.8	70.3	73.4	73.7	69.67
2000	76.0	75.4	77.6	71.3	67.7	69.1	74.1	71.4	66.7	66.2	71.1	80.2	72.24
2001	81.2	82.2	81.0	69.3	69.8	63.8	72.1	74.6	68.8	75.3	68.9	88.5	74.63
2002	82.0	76.0	88.7	69.9	70.4	65.1	75.4	73.4	73.8	81.6	79.5	87.6	76.95
2003	81.4	80.0	83.1	72.8	67.0	67.8	77.5	82.1	74.9	84.9	86.7	80.9	78.28
2004	80.0	77.7	77.9	69.8	70.3	63.3	79.9	77.0	81.9	83.5	78.5	86.4	77.17
2005	78.9	74.0	84.5	73.1	69.2	73.4	71.5	81.5	74.4	93.4	80.2	75.5	77.47
2006	81.1	78.8	82.8	74.3	67.8	66.8	71.0	75.3	73.8	84.6	80.5	84.6	76.80
2007	77.6	71.1	75.6	72.9	73.4	67.1	77.6	75.6	76.8	80.1	91.5	74.4	76.14
2008	79.5	72.0	78.3	73.7	65.8	64.0	71.4	71.2	65.6	95.4	76.2	80.0	74.42
2009	78.6	78.2	83.2	76.5	70.0	68.0	74.9	74.7	71.5	76.4	75.3	85.0	76.02
2010	77.4	71.9	80.1	70.0	72.3	69.5	77.5	85.9	85.2	90.9	87.6	73.1	78.46
2011	83.4	68.1	78.6	75.7	69.4	70.0	73.4	73.2	65.1	73.0	74.6	81.2	73.82
2012	86.5	77.4	81.4	71.4	69.3	65.7	74.2	74.0	77.0	71.1	76.4	83.2	75.64
2013	81.3	76.3	83.1	71.8	67.0	68.6	75.6	80.1	77.6	81.9	91.7	86.9	78.49
Media	76.09	70.83	75.65	66.92	63.98	64.31	71.32	73.30	70.85	75.68	76.01	78.26	71.93
Mínima	64.4	58.6	61.4	55.6	51.1	52.8	60.7	64.7	57.8	61.8	65.2	66.2	64.1
Máxima	86.5	82.3	88.7	76.5	73.4	79.4	93.4	87.5	85.2	95.4	91.7	88.5	78.5

Fuente: Elaboración propia.

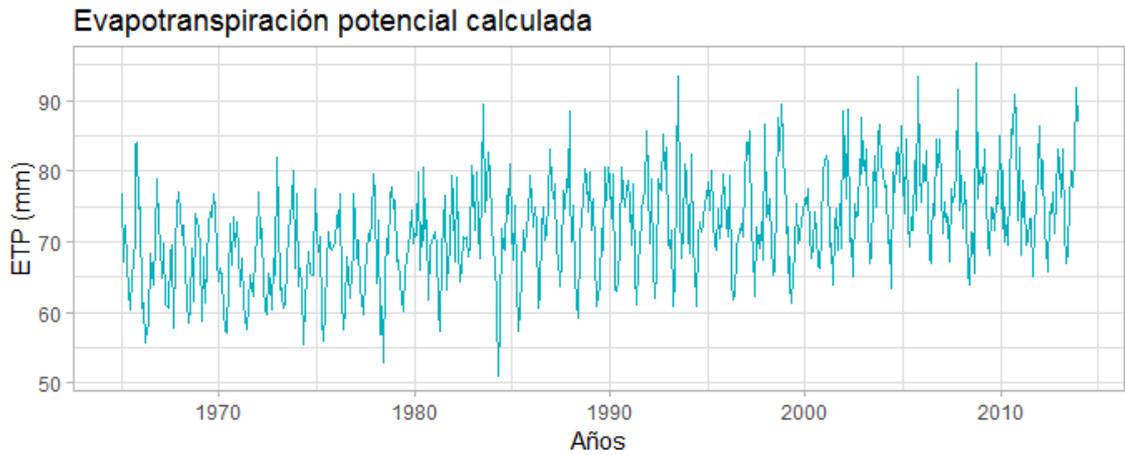


Figura 32. Evapotranspiración potencial calculada mediante el método de Thornthwaite
 Fuente: Elaboración propia

5.1.7 Cálculo de Infiltración

En base a los valores recomendados (Schosinsky & Losilla, 2000) en la Tabla 1. Para nuestra cuenca son aplicables:

- El tipo de suelo es limo arcilloso (Herrera Viloche, 2018) $k_{fc} = 0.20$
- La pendiente es cercana al 31%, seleccionamos $k_p = 0.06$
- La cobertura con pasto es menor al 50%, seleccionamos $k_v = 0.09$

Con estos datos calculamos el coeficiente de infiltración:

$$C = k_{fc} + k_p + k_v = 0.35 \dots\dots\dots(37)$$

Este coeficiente representa la fracción de precipitación que se infiltra, los valores calculados de infiltración a partir de la precipitación se muestran en la Tabla 25.

Tabla 25. Datos de infiltración calculados.

INFILTRACIÓN MEDIA MENSUAL (mm)

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total Anual	Total Acum.	Prom.
1965	38.14	69.31	80.24	55.75	19.44	13.54	8.86	36.96	50.84	56.11	49.55	69.66	548.42	548.42	45.7
1966	44.74	38.81	25.92	26.23	23.33	28.57	5.77	8.49	35.64	56.21	47.45	33.80	374.97	923.39	31.25
1967	44.63	79.10	58.66	17.90	19.17	27.31	29.47	4.83	35.54	50.93	43.90	30.03	441.48	1364.87	36.79
1968	50.53	65.74	59.20	27.63	37.45	3.32	8.03	34.91	31.61	61.76	25.78	56.99	462.94	1827.81	38.58
1969	24.07	42.94	62.52	34.75	0.77	42.30	22.24	6.10	35.40	33.64	61.51	46.94	413.17	2240.98	34.43
1970	41.74	44.24	51.24	65.82	29.95	6.92	31.33	30.14	24.96	55.72	43.51	50.29	475.85	2716.83	39.65
1971	35.31	51.21	104.07	37.47	31.21	9.30	41.24	24.54	22.89	31.21	59.67	37.34	485.47	3202.30	40.46
1972	33.56	49.56	82.57	34.67	18.81	22.42	20.54	19.39	42.31	30.32	62.69	47.88	464.72	3667.02	38.73
1973	60.91	39.39	65.84	70.91	8.78	13.16	31.82	15.50	25.55	48.06	58.55	48.51	486.98	4154.00	40.58
1974	54.48	96.74	74.89	27.52	20.83	32.79	29.72	39.89	29.47	39.87	30.97	40.35	517.53	4671.53	43.13
1975	55.94	84.07	93.77	56.43	16.60	32.88	5.52	39.36	30.74	35.50	52.55	33.24	536.59	5208.12	44.72
1976	52.39	46.24	70.59	32.35	42.07	20.26	26.91	25.41	15.09	22.31	14.97	19.48	388.07	5596.19	32.34
1977	95.34	90.72	44.70	54.51	22.87	4.74	31.79	10.12	40.14	47.83	61.54	61.84	566.13	6162.32	47.18
1978	45.68	55.40	27.98	49.47	39.88	13.49	25.22	18.80	10.10	21.45	49.09	32.80	389.36	6551.68	32.45
1979	31.00	64.36	82.88	28.68	9.88	0.08	3.00	25.97	35.54	9.95	17.68	38.21	347.22	6898.90	28.94
1980	30.69	47.89	19.82	31.45	28.87	0.51	12.88	25.49	34.23	68.40	59.38	47.53	407.14	7306.05	33.93
1981	35.51	54.58	40.31	41.52	6.75	9.20	27.99	27.43	9.25	34.81	30.78	51.10	369.23	7675.27	30.77
1982	39.83	56.22	42.84	49.30	15.25	7.41	4.73	29.20	10.72	69.49	32.46	80.29	437.74	8113.01	36.48
1983	76.32	37.68	94.34	43.39	11.33	13.60	17.23	36.78	15.47	38.08	46.51	65.94	496.68	8609.69	41.39
1984	34.60	130.43	89.43	36.49	18.45	4.99	14.84	33.76	30.21	44.66	56.56	56.46	550.88	9160.57	45.91
1985	12.96	37.30	45.28	26.94	23.06	20.82	31.13	30.05	50.51	23.63	31.63	41.97	375.29	9535.86	31.27
1986	68.21	58.73	61.86	66.19	22.83	2.86	17.92	31.59	37.46	20.05	55.04	63.86	506.60	10042.46	42.22
1987	72.51	34.01	58.10	46.25	23.07	17.00	14.73	16.81	15.29	42.29	35.76	38.39	414.22	10456.68	34.52
1988	78.54	80.18	42.66	69.60	21.32	4.21	22.62	25.71	29.42	52.23	36.02	43.98	506.49	10963.17	42.21
1989	67.03	70.40	82.45	40.88	6.40	16.12	16.81	35.00	46.24	43.71	46.04	28.27	499.32	11462.50	41.61
1990	59.38	40.13	27.93	25.60	28.24	38.77	20.81	20.33	21.00	55.88	40.47	25.51	404.05	11866.55	33.67
1991	20.19	36.12	78.76	38.58	8.07	26.81	21.26	33.48	27.36	42.56	39.73	55.50	428.43	12294.98	35.7
1992	30.93	32.45	50.09	32.27	4.73	37.98	0.53	28.62	38.69	51.77	38.59	23.64	370.31	12665.28	30.86
1993	71.24	81.47	99.89	79.79	35.46	24.03	9.33	29.76	39.69	71.89	60.59	64.50	667.65	13332.93	55.64
1994	73.73	68.36	65.34	32.93	10.74	32.82	9.79	31.30	28.07	39.26	48.37	56.62	497.33	13830.26	41.44
1995	48.88	52.16	57.22	20.04	13.39	9.95	7.62	16.75	33.35	55.35	50.13	63.65	428.49	14258.74	35.71
1996	35.02	82.76	80.21	62.63	8.31	3.94	19.48	33.96	30.70	46.06	48.97	37.35	489.39	14748.14	40.78
1997	54.54	62.03	37.75	37.44	8.70	6.19	26.52	3.73	26.35	30.56	59.61	80.85	434.26	15182.40	36.19
1998	79.31	88.14	101.62	33.74	5.18	3.83	31.78	18.41	34.40	39.91	25.40	46.59	508.32	15690.71	42.36
1999	70.57	123.21	63.24	29.38	30.52	19.08	25.17	35.15	24.58	23.36	30.20	43.26	517.72	16208.43	43.14
2000	49.09	60.69	52.22	29.92	31.46	24.67	30.48	23.38	45.99	10.86	32.96	56.49	448.21	16656.64	37.35
2001	74.65	54.41	81.22	19.42	27.67	8.29	30.31	26.97	36.08	29.03	66.07	59.92	514.05	17170.69	42.84
2002	50.93	39.86	87.47	30.28	20.37	3.40	11.88	21.97	34.00	56.93	39.67	56.82	453.58	17624.28	37.8
2003	31.47	51.55	54.12	22.64	5.65	15.25	21.21	26.84	16.97	51.33	56.26	49.88	403.20	18027.48	33.6
2004	28.93	46.88	43.26	18.79	23.93	15.28	11.14	18.91	29.57	38.38	62.05	47.13	384.23	18411.71	32.02
2005	31.62	72.52	84.66	36.03	3.84	14.56	9.86	32.04	28.04	66.14	10.81	59.44	449.55	18861.26	37.46
2006	45.33	70.84	94.34	54.41	21.95	33.79	35.26	28.49	31.44	26.37	57.34	40.67	540.22	19401.49	45.02
2007	64.96	38.22	102.35	58.24	30.44	18.43	16.05	3.13	38.82	74.80	37.00	27.78	510.22	19911.71	42.52
2008	69.66	34.36	41.07	51.92	10.68	18.98	26.70	23.55	47.29	38.61	31.72	38.57	433.11	20344.82	36.09
2009	73.10	37.17	88.32	52.26	28.57	32.97	31.64	27.45	19.88	47.90	55.50	35.23	529.99	20874.80	44.17
2010	23.44	38.46	55.30	35.91	48.09	16.27	16.52	18.04	34.89	44.68	48.55	37.27	417.43	21292.23	34.79
2011	34.12	56.80	41.19	42.42	27.72	0.77	34.58	34.92	39.50	17.83	27.31	56.90	414.06	21706.29	34.51
2012	84.60	65.81	58.70	62.39	7.92	13.95	9.64	32.09	5.66	71.57	34.99	28.73	476.06	22182.35	39.67
2013	43.08	50.08	87.80	55.82	41.42	1.95	31.78	25.70	32.39	43.30	33.58	66.08	512.98	22695.33	42.75
Media	50.48	59.38	65.23	41.53	20.44	16.12	20.24	25.04	30.40	43.11	43.79	47.42	463.17	11516.31	
Mínima	12.96	32.45	19.82	17.90	0.77	0.08	0.53	3.13	5.66	9.95	10.81	19.48	347.22	548.42	
Máxima	95.34	130.43	104.07	79.79	48.09	42.30	41.24	39.89	50.84	74.80	66.07	80.85	667.65	22695.33	

Fuente: Elaboración propia.

5.1.8 Caudal de la tormenta de diseño

Para calcular el caudal de la tormenta de diseño consideramos a la estación Hacienda Jocos como representativa de la cuenca por ser una de las estaciones más cercanas a la cuenca y tener una altitud de 2720 msnm muy cercana a la altitud media de la cuenca (2800 msnm). En función de sus registros de precipitaciones hacemos un análisis de bondad de ajuste (Tabla 26) a diferentes funciones probabilísticas.

Tabla 26. Análisis de bondad de ajuste.

Estación		Hacienda Jocos
Delta tabular		0.2099
Delta teórico	Normal	0.1670
	Log Normal 2 parámetros	0.1476
	Log Normal 3 parámetros	0.1310
	Gamma 2 parámetros	0.1309
	Gamma 3 parámetros	-
	Log-Pearson tipo III	-
	Gumbel	0.1497
	LogGumbel	0.1989
	Distribución seleccionada	Gamma 2 parámetros

Fuente: Elaboración propia.

La distribución Gamma 2 parámetros es la que muestra mejor ajuste, por lo que en base a ella se calcula la Precipitación para un periodo de retorno de 100 años, que es la que se considera usualmente para análisis de presas de relaves. Así calculamos $Pr_{100} = 71.35$ mm

Realizamos la simulación para hallar el caudal correspondiente.

Con la ayuda del mapa de número de Curva para Perú de la ANA (Figura 33 y Figura 34) en formato shape, seleccionamos como número de curva $CN=70$.

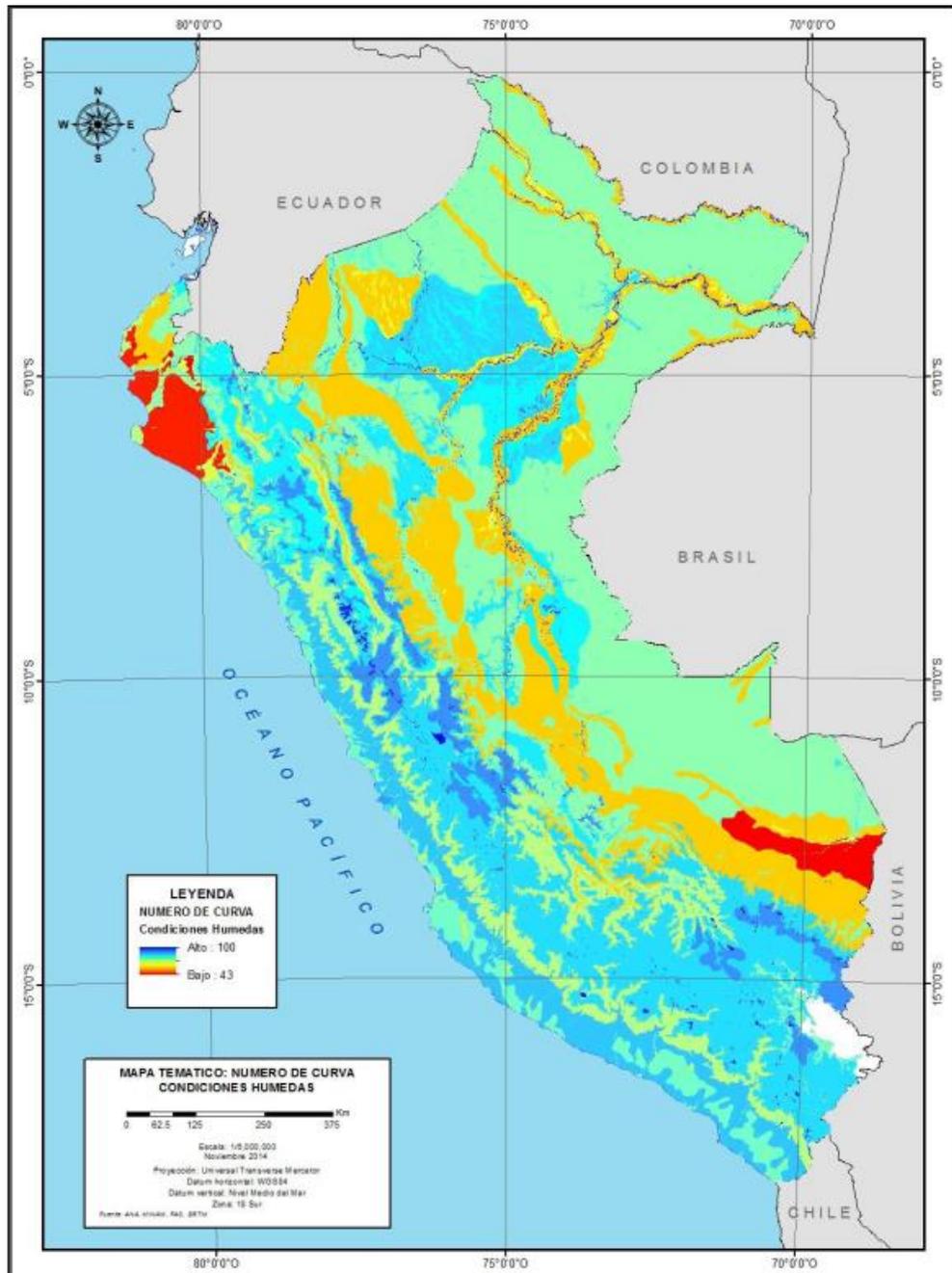


Figura 33. Mapa de Número de Curva (condiciones normales)

Fuente: ANA

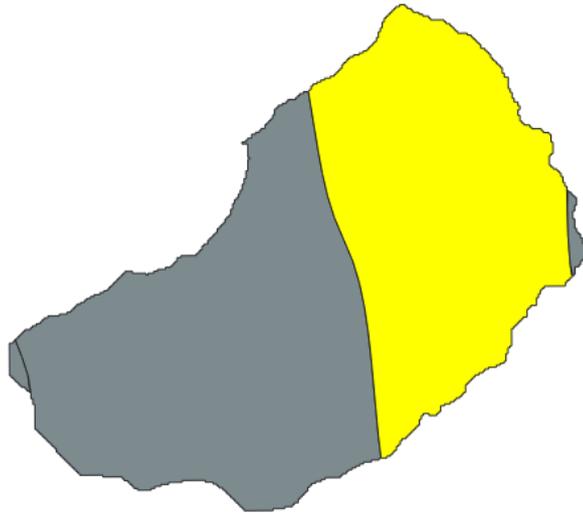


Figura 34. Recorte de la cuenca para el mapa de CN del Perú.

Fuente: Elaboración propia.

Dentro de las ecuaciones propuestas (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2008), escogemos la ecuación de tiempo de concentración del SCS, por ser la que considera condiciones más parecidas a las de nuestro estudio. Así:

$$t_c = \frac{0.0136.L^{0.8}\left(\frac{1000}{CN} - 9\right)^{0.7}}{S^{0.5}} \dots\dots\dots(38)$$

Donde:

L = Longitud hidráulica de la cuenca (mayor trayectoria de flujo)

S = Pendiente promedio de la cuenca

CN = Número de curva.

Así calculamos: $t_c = 122.58$ min

Según las recomendaciones del SCS el tiempo de retardo es el 60% del t_c : Lag time = 73.55 min

Los métodos de cálculo usados en el HEC-HMS se muestran en la Tabla 27.

Tabla 27. Consideraciones y métodos usados.

Método de pérdidas	SCS Número de curva
Método de transformación	Hidrograma Unitario SCS
Tormenta de diseño	SCS tipo 2 (se ajusta mejor a condiciones de la sierra peruana)

Fuente: Elaboración propia.

Realizando la simulación en HEC-HMS (Figura 35 y Figura 36) obtenemos $Q_{100} = 57.6$ m^3/s

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
Subbasin-1	46.52	57.6	10Jun1995, 13:20	16.28
Junction-1	46.52	57.6	10Jun1995, 13:20	16.28

Figura 35. Salida del HEC-HMS

Fuente: Elaboración propia

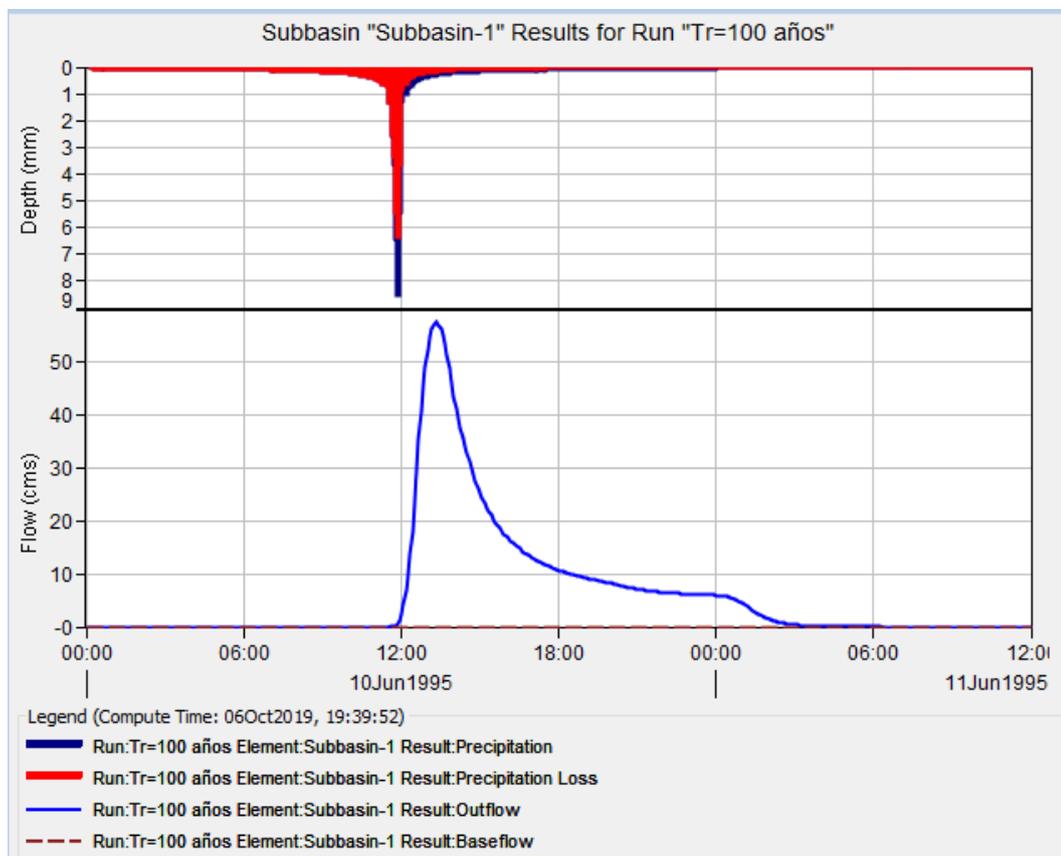


Figura 36. Simulación con HEC-HMS

Fuente: Elaboración propia

5.2 Curva Z vs Altitud

En base a los DEM se elaboró la siguiente curva para la zona de emplazamiento de la presa (Tabla 28 y Figura 37).

Tabla 28. Cálculos gráfica Altitud Vs Área y Altitud Vs Volumen

Cota Mín.	Cota Máx.	Rango	Área (m ²)	Volumen (m ³)	Volumen acum.
1432	1434	1432-1434	159	0	0
1434	1436	1434-1436	886.8	1045.8	1045.8
1436	1438	1436-1438	1673	2559.8	3605.6
1438	1440	1438-1440	2064.2	3737.2	7342.8
1440	1442	1440-1442	2784.5	4848.7	12191.5
1442	1444	1442-1444	3897.9	6682.4	18873.9
1444	1446	1444-1446	4377.8	8275.7	27149.6
1446	1448	1446-1448	5569.9	9947.7	37097.3
1448	1450	1448-1450	6460.7	12030.6	49127.9
1450	1452	1450-1452	7658.5	14119.2	63247.1
1452	1454	1452-1454	9168.1	16826.6	80073.7
1454	1456	1454-1456	10313.2	19481.3	99555
1456	1458	1456-1458	11629.6	21942.8	121497.8
1458	1460	1458-1460	13750.4	25380	146877.8
1460	1462	1460-1462	16656.5	30406.9	177284.7

Fuente: Elaboración propia.

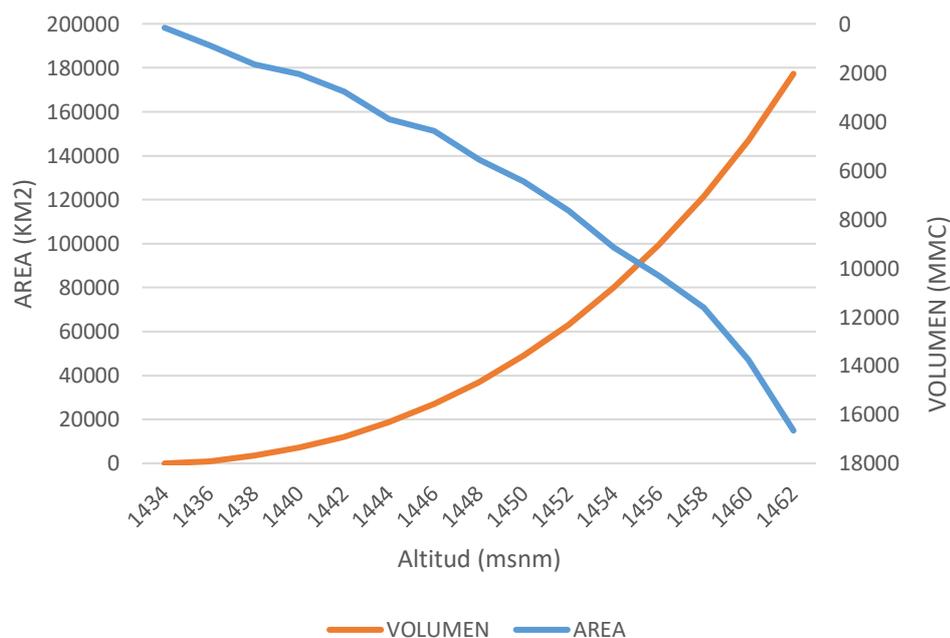


Figura 37. Altitud Vs Área y Altitud Vs Volumen

Fuente: Elaboración propia.

5.3 Balance Hídrico

El propósito del balance aguas fue determinar lo siguiente:

- El tamaño de los volúmenes de operación.
- Las cantidades excedentes de agua.

El conjunto de las cantidades calculadas mediante el balance hídrico tiene por fin poder servir para diseñar las estructuras hidráulicas auxiliares.

Para realizar el Balance Hídrico se usará un año promedio con los valores de precipitación y evaporación estimados. El modelo genérico a aplicar es el siguiente:

$$V_p = V_{\text{precip.}} + V_{\text{escorr}} - V_{\text{evap.}} - V_{\text{infil.}} + V_{\text{relaves}} \dots\dots\dots(39)$$

Donde:

V_p = Volumen de agua en el depósito

V_{precip} = Volumen de precipitación

V_{escorr} = Volumen de escorrentía de la cuenca aportante

V_{infil} = Volumen de agua infiltrada

V_{relaves} = Volumen de agua contenida en los relaves entrantes

El análisis de Balance Hídrico en el vaso se presenta en función de láminas de agua en mm, las cuales son convertidas a unidades de volumen (m^3) y finalmente a unidades de caudal (l/s). A continuación, se presenta un esquema del balance de aguas (Figura 38).

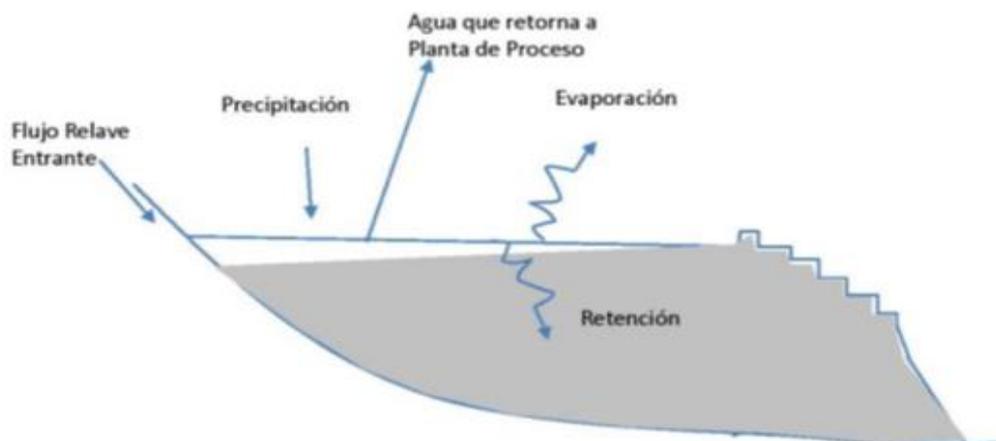


Figura 38. Esquema de Balance de aguas

Fuente: Elaboración propia.

Los parámetros que se consideraron para la modelización de nuestro balance se ven detallados en la Tabla 29. El área de la superficie horizontal fue calculada en base a la altura proyectada de la presa (20 m) e interpolando en la curva Z vs Altitud. La permeabilidad de la zona y el factor de impermeabilización fueron estimados de estudios previos en la zona.

Tabla 29. Parámetros considerados para modelo de balance hídrico.

Area Cuenca aportante:	46.59 km ²
Area de superficie horizontal de la cancha :	10313.2 m ²
Permeabilidad de la superficie de drenaje (K) :	1.00E-07 m/s
Capacidad de planta de tratamiento:	30 m ³ /h
Factor de impermeabilización (f):	0.7

Fuente: Elaboración propia

La infiltración es calculada considerando el factor de impermeabilización (f) y la permeabilidad (K) de la siguiente forma:

$$Infiltración = (1 - f) \times K \times tiempo \dots\dots\dots (42)$$

Bajo estas consideraciones realizamos el balance hídrico para un año típico y considerando el aporte del evento extremo calculado previamente en el mes que mostrará un desempeño más crítico. Consideramos que el volumen de agua aportado por el relave entrante es de la misma magnitud que el que existe en la presa de relaves Hualanga, cercana a nuestra ubicación (Tabla 30).

Tabla 30. Resumen de resultados de balance hídrico sin drenaje en cuenca aportante.

Mes	Precipitación (mm)	Escorrentía (mm)	Evaporación (mm)	Infiltración (mm)	Relaves (mm)	Balance (mm)	Volumen (m ³)	Caudal Medio (l/s)	Descarga (m ³ /h)	Evento extremo (m ³)	Días a máxima capacidad
Ene	144.22	410.21	76.09	77.76	113.6	514.18	5302.84	2.05	7.37		
Feb	169.66	490.39	70.83	77.76	113.6	625.07	6446.44	2.49	8.95		
Mar	186.37	544.70	75.65	77.76	113.6	691.26	7129.06	2.75	9.90		
Abr	118.66	362.57	66.92	77.76	113.6	450.15	4642.49	1.79	6.45	16280	33.75
May	58.39	202.57	63.98	77.76	113.6	232.83	2401.21	0.93	3.34		
Jun	46.05	163.42	64.31	77.76	113.6	180.99	1866.61	0.72	2.59		
Jul	57.82	183.27	71.32	77.76	113.6	205.62	2120.55	0.82	2.95		
Ago	71.56	215.76	73.30	77.76	113.6	249.85	2576.78	0.99	3.58		
Set	86.84	256.10	70.85	77.76	113.6	307.93	3175.71	1.23	4.41		
Oct	123.18	352.10	75.68	77.76	113.6	435.44	4490.77	1.73	6.24		
Nov	125.10	363.02	76.01	77.76	113.6	447.94	4619.72	1.78	6.42		
Dic	135.48	378.44	78.26	77.76	113.6	471.50	4862.71	1.88	6.75		
Suma	1323.34	3922.53	863.20	933.12	1363.20	4812.75	49634.88				

Fuente: Elaboración propia

Considerando los días a máxima capacidad que tendría que operar la planta de tratamiento (mayores a los días posibles de un mes) se definen 2 posibles opciones, un incremento en la capacidad de la planta de tratamiento o un sistema de drenaje por medio de canales de las aguas provenientes de la cuenca aportante. Se estima que este sistema drenante de canales alrededor del área de la presa, tendrá una capacidad de drenaje del 60 % del área de la cuenca. Así considerando el sistema de drenaje la esorrentía y caudales serán calculadas considerando solo el solo restante (40%) del área que no es drenada en base a estos mismos valores para toda la microcuenca.

De otro lado, consideraremos por motivos de seguridad que la planta de tratamiento puede operar como máximo 15 días. En base a ello realizamos simulaciones para ambos casos que son mostradas en los resultados.

CAPÍTULO VI: PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

6.1 Resultados de la Investigación

El balance hídrico para los casos de implementación de un sistema de drenaje en la cuenca aportante, así como del aumento de la capacidad en la planta de tratamiento se detallará en las tablas siguientes (Tabla 31 y Tabla 32).

Tabla 31. Balance hídrico considerando drenaje en cuenca aportante.

Mes	Precipitación (mm)	Escorrentía (mm)	Evaporación (mm)	Infiltración (mm)	Relaves (mm)	Balance (mm)	Volumen (m3)	Caudal Medio (l/s)	Descarga (m3/h)	Evento extremo (m3)	Días a máxima capacidad
Ene	144.22	164.08	76.09	77.76	113.6	268.06	2764.51	1.07	3.84		
Feb	169.66	196.16	70.83	77.76	113.6	330.83	3411.94	1.32	4.74		
Mar	186.37	217.88	75.65	77.76	113.6	364.44	3758.52	1.45	5.22		
Abr	118.66	145.03	66.92	77.76	113.6	232.61	2398.93	0.93	3.33	6512	14.45
May	58.39	81.03	63.98	77.76	113.6	111.29	1147.72	0.44	1.59		
Jun	46.05	65.37	64.31	77.76	113.6	82.94	855.40	0.33	1.19		
Jul	57.82	73.31	71.32	77.76	113.6	95.65	986.49	0.38	1.37		
Ago	71.56	86.30	73.30	77.76	113.6	120.40	1241.70	0.48	1.72		
Set	86.84	102.44	70.85	77.76	113.6	154.27	1591.00	0.61	2.21		
Oct	123.18	140.84	75.68	77.76	113.6	224.18	2312.00	0.89	3.21		
Nov	125.10	145.21	76.01	77.76	113.6	230.13	2373.41	0.92	3.30		
Dic	135.48	151.38	78.26	77.76	113.6	244.44	2520.96	0.97	3.50		
Suma	1323.34	1569.01	863.20	933.12	1363.20	2459.24	25362.59	0.82	2.94		

Area Cuenca aportante:	46.59 km2
Area de superficie horizontal de la cancha :	10313.2 m2
Permeabilidad de la superficie de drenaje (K) :	1.00E-07 m/s
Capacidad de planta de tratamiento:	24 m3/h
Factor de impermeabilización (f):	0.7
Capacidad de drenaje de la cuenca aportante:	0.6

Fuente: Elaboración propia

Tabla 32. Balance hídrico considerando aumento de capacidad de la planta de tratamiento

Mes	Precipitación (mm)	Escorrentía (mm)	Evaporación (mm)	Infiltración (mm)	Relaves (mm)	Balance (mm)	Volumen (m3)	Caudal Medio (l/s)	Descarga (m3/h)	Evento extremo (m3)	Días a máxima capacidad
Ene	144.22	410.21	76.09	77.76	113.6	514.18	5302.84	2.05	7.37		
Feb	169.66	490.39	70.83	77.76	113.6	625.07	6446.44	2.49	8.95		
Mar	186.37	544.70	75.65	77.76	113.6	691.26	7129.06	2.75	9.90		
Abr	118.66	362.57	66.92	77.76	113.6	450.15	4642.49	1.79	6.45	16280	14.71
May	58.39	202.57	63.98	77.76	113.6	232.83	2401.21	0.93	3.34		
Jun	46.05	163.42	64.31	77.76	113.6	180.99	1866.61	0.72	2.59		
Jul	57.82	183.27	71.32	77.76	113.6	205.62	2120.55	0.82	2.95		
Ago	71.56	215.76	73.30	77.76	113.6	249.85	2576.78	0.99	3.58		
Set	86.84	256.10	70.85	77.76	113.6	307.93	3175.71	1.23	4.41		
Oct	123.18	352.10	75.68	77.76	113.6	435.44	4490.77	1.73	6.24		
Nov	125.10	363.02	76.01	77.76	113.6	447.94	4619.72	1.78	6.42		
Dic	135.48	378.44	78.26	77.76	113.6	471.50	4862.71	1.88	6.75		
Suma	1323.34	3922.53	863.20	933.12	1363.20	4812.75	49634.88	1.60	5.74		

Area Cuenca aportante:	46.59 km2
Area de superficie horizontal de la cancha :	10313.2 m2
Permeabilidad de la superficie de drenaje (K) :	1.00E-07 m/s
Capacidad de planta de tratamiento:	56 m3/h
Factor de impermeabilización (f):	0.7
Capacidad de drenaje de la cuenca aportante:	0

Fuente: Elaboración propia

6.2 Análisis e interpretación de los resultados

Puede notarse en ambos casos que se puede llegar a cumplir el requerimiento de disminuir la operación a máxima capacidad de la planta de tratamiento por debajo de los 15 días. Asimismo, en el primer caso es posible reducir la capacidad de la planta de

tratamiento hasta los 24 m³/s. De otro lado en el segundo caso, donde no se cuenta con un sistema de drenaje, ha sido necesario, aumentar esta capacidad hasta los 56 m³/s.

Entre ambas situaciones implementadas, se notan diferencias que pueden servir para decidir la que sea más conveniente. Se observa en la primera situación que los volúmenes de almacenamiento serán considerablemente mayores que en la segunda. Asimismo, la necesidad de una planta de tratamiento de mayor capacidad puede representar un riesgo y siempre es adecuado buscar que los días que esta planta tenga que operar a máxima capacidad sean los menos posibles.

6.3 Contrastación de Hipótesis

Como se planteaba en la hipótesis los caudales obtenidos fueron positivos en todos los meses, como consecuencia de las condiciones climáticas y la impermeabilización.

De igual forma, los caudales de descarga han seguido este mismo patrón como se supuso. La modelización hidrológica basada en el modelo Soil Moisture Method implementado en el software WEAP y considerando los parámetros calibrados para nuestra zona por la ANA, ha permitido obtener los caudales simulados. La incidencia de la evaporación se ve reflejada en su relación con la precipitación, es así que este factor genera condiciones húmedas que hacen proclive que el balance genere volúmenes positivos. Por otro lado, dado los caudales de descarga positivos obtenidos, ha sido necesario plantear la implementación de 2 posibles medidas: un sistema de drenaje de la cuenca aportante o un aumento de la capacidad de la planta de tratamiento, para poder tener un adecuado funcionamiento.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- 1) Para las 2 situaciones presentadas se observa que existiría en todos los meses un caudal de descarga a considerar correspondiente a $2.94 \text{ m}^3/\text{h}$ en promedio considerando un sistema de drenaje y de $5.74 \text{ m}^3/\text{h}$ sin considerarlo, esto debido a la baja infiltración considerada que es debido a la proyección de un sistema de impermeabilización. Además, y en menor medida también este hecho se debe a las relativamente altas tasas de precipitación que siempre son mayores a las de evaporación en un 51 % en la media anual. Otro factor a considerar es el aporte de caudal de la cuenca aportante que representa $1.28 \text{ m}^3/\text{s}$ en promedio, y que sin embargo pese a reducirse a cero en simulaciones adicionales, no genera un cambio de signo en el balance hídrico de ningún mes.
- 2) La situación más ventajosa del primer escenario es que se necesitará tratar una menor cantidad de agua y los volúmenes de operación serán menores en un 49 %. Además, esta diferencia será captada aguas arriba de la presa y podrá ser derivada para otros usos aguas abajo.
- 3) Los caudales máximos simulados se concentran en los meses de febrero y marzo, con valores mayores a $2 \text{ m}^3/\text{s}$ en promedio, mientras que los mínimos se dan en julio con un caudal promedio de $0.65 \text{ m}^3/\text{s}$. El régimen hidrológico así tiene un comportamiento típico al de las cuencas de la costa peruana y además ocasiona que estos primeros meses del año sean los críticos al momento de realizar el balance hídrico.
- 4) En presente trabajo se presenta un análisis hidrológico más detallado al que se realizan en otras investigaciones de presas de relaves (Villanueva Jiménez, 2006) donde se considera el caudal medio estimado de $0.6 \text{ m}^3/\text{s}$ como representativo de su zona de estudio. En comparación nuestro caudal medio estimado es de $1.29 \text{ m}^3/\text{s}$. Así mismo, en tal estudio, el caudal de avenida de $53 \text{ m}^3/\text{s}$ fue calculado para 500 años de periodo de retorno en tal estudio. En contraste nuestro caudal de avenida de $57.6 \text{ m}^3/\text{s}$ fue calculado para 100 años de periodo de retorno considerando como referencia el tiempo de operación proyectado para la presa. La estimación de la cantidad de días que debe funcionar a máxima capacidad la presa de relaves depende directamente del volumen almacenado producto del caudal extremo estimado que corresponde a 16.28 MM.

- 5) La evapotranspiración representa el aproximadamente el 48 % de las salidas de agua en el modelo de balance hídrico, considerando su aporte conjunto con el proceso de infiltración. Asimismo, a diferencia de la infiltración que es constante, la evapotranspiración tiene un comportamiento variable que depende del mes del año y por lo general es menor a la precipitación.

CONCLUSIONES

- 1) El análisis hidrológico permite estimar los volúmenes de agua producidos de los diferentes procesos hidrológicos como: caudales históricos, precipitación, infiltración, evapotranspiración. Estos volúmenes permitieron realizar el balance hidrológico y así estimar los volúmenes de descarga que se deben realizar. El modelo de balance hídrico mostrado es adecuado para estimar volúmenes de operación y excedentes en condiciones de diseños previos, por ser un modelo simplificado y que no requiere demasiados datos de entrada.
- 2) En condiciones normales los máximos caudales de operación (descarga) alcanzan los 5.22 m³/h y los 9.90 m³/h en cada una de las situaciones analizadas respectivamente. Considerando el caso de evento extremo se llega a 24 m³/s y 56 m³/s que corresponden a la máxima capacidad de la planta de tratamiento en cada uno de los casos respectivamente.
- 3) El modelo hidrológico Soil Moisture Method implementado en el software WEAP permitió estimar adecuadamente la serie de caudales históricos. Los parámetros usados en este modelo son los que se utilizaron para las subcuencas cercanas dentro de la cuenca del río Marañón.
- 4) La evapotranspiración potencial calculada es una de las salidas de agua considerada dentro del modelo de balance hídrico. Se considera una variable importante pues representa el 48 % de los volúmenes de salida.
- 5) Se presentaron las opciones de implementar un sistema de drenaje de la cuenca aportante y de aumentar la capacidad de la planta de tratamiento. Entre ambas situaciones planteadas, la implementación de un sistema de drenaje por medio de canales en la cuenca aportante genera menores volúmenes de operación en la presa de relaves, por lo que, por temas de seguridad, esta es una mejor opción.

RECOMENDACIONES

- 1) Realizar un análisis de la permeabilidad del terreno de la presa, para poder asegurar de que no vayan a ver filtraciones, para asegurar la estabilidad de la presa y también para evitar efectos contaminantes
- 2) Realizar un análisis de la permeabilidad del terreno de la presa, para poder asegurar de que no vayan a ver filtraciones, para asegurar la estabilidad de la presa y también para evitar efectos contaminantes
- 3) Realizar un análisis de rotura de presa, para diseñar un plan de contingencia ante este tipo de eventualidades extremas, y así poder reducir daños.
- 4) Gestionar la adquisición de información de estaciones pluviométricas y meteorológicas de empresas mineras en la zona, pues se ha visto que la disponibilidad de información de SENAMHI es bastante escasa en el área de estudio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andriucci, L; Sant'anna Neto, J; Ferreira, M. (2002). Análisis de la variabilidad y tendencia de las lluvias y la descripción de la producción agrícola en la Cuenca del río Pirapó - PR. *Boletín de Geografía*, 20, 214-57.
- Autoridad Nacional del Agua. (2015). *Evaluación de Recursos Hídricos en la cuenca Crisnejas*. Lima: Autoridad Nacional del Agua.
- Autoridad Nacional del Agua. (2015). *Evaluación de recursos hídricos en la cuenca Marañón*. Lima: Autoridad Nacional del Agua.
- Camero Hermoza, P. (2001). *Encapsulamiento Concurrente de la Pirita en Presas de Relaves*. Potosí - Bolivia.
- Cárcamo, J y Aníbal, J. (2017). *Estimación del balance hídrico. Parque Nacional Montaña de Celaque*. Lima - Perú: Ministerio de Energía y Minas.
- Chereque Moran, W. (1989). *Hidrología para estudiantes de ingeniería civil*. Lima - Perú.
- Clarke, R; Tucci, C; Collischonn, W. (2003). Variabilidad temporal en el régimen hidrológico de la cuenca del río Paraguay. *Revista Brasileña de Recursos Hídricos*, 8(1), 201-211.
- Del Toro, F; Kretzschmar, T y Hinojosa, A. (2014). Estimación del balance hídrico en una cuenca semiárida, El Mogor, Baja California, México. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 5(6), 69-81.
- Díaz, L y Alarcon, J. (2018). *Estudio hidrológico y balance hídrico para determinar la oferta y la demanda de agua de la cuenca de la quebrada Niscota para un Acueducto Interveredal En Nunchía, Casanare*. (Tesis de Pregrado), Universidad Católica De Colombia, Facultad de ingeniería Programa de especialización en recursos hídricos, Bogotá - Colombia. Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/15989/1/Proyecto%20Final.pdf>
- Enciso Navarro, P. (2015). *Estudio Hidráulico y Estimación de socavación en el Puente Interconexión Muyurina- Ayacucho*. (Tesis de Pregrado), Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Carrera de Ingeniería Civil, Ayacucho - Perú.
- Gold Associates. (21 de Enero de 2018). *Experiencias de Operación de Depósitos de Relaves Espesados y Filtrados*. Obtenido de http://www.iimp.org.pe/pptjm/jm20131017_relaves.pdf

- Herrera Viloche, A. (2018). *Diseño Del Canal De Riego Para El Anexo Collay, Distrito Detayabamba–Provincia De Pataz–Región La Libertad*. Lima - Perú: Universidad César Vallejo.
- Informe técnico por pruebas realizadas con relave. (31 de Diciembre de 2018). *Informe N° 2014-3-0-SO43-A*, G & G LATINOS S.A.C, Marzo 2014. Obtenido de http://repositorio.upao.edu.pe/bitstream/upaorep/4458/1/RE_ING.CIVIL_DAN.MARROQUIN_LENNIN.RONDAN_NUEVA.LINEA.DE.CONDUCCI%C3%93N_DATOS.PDF
- Lima, J; Silva, E; Silva, F; Sano, E. (2008). La variabilidad espacio-temporal del caudal específico promedio en el Estado de Goiás. *Simposio Internacional de Savanas Tropicales*, 1-6.
- Loor Barrezuela, Y. (2017). *Estudio del balance hídrico superficial de las cuencas hidrográficas sector San Juan y San Bartolomé en el área de interceptación con el Bosque y Vegetación Protector Aguarongo*. (Tesis de Pregrado), Universidad Politécnica Salesiana, Carrera de Ingeniería Ambiental , Cuenca - Ecuador.
- Luis Lara, J. (2013). *Experiencias de Operación de depósitos de Relaves espesados y filtrados*.
- Marroquín Liu, A. (2016). *Balance hídrico superficial de la subcuenca del río Paltiture*. (Tesis de Pregrado), Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Civil, Piura - Perú.
- Martínez Marín, E. (2005). *Hidrología Práctica*. Madrid - España: Rugarte S.L.
- Mauri, C y Sarango, D. (2016). *Determinación de rendimiento hídrico en cuencas con poca información hidrométrica y su aplicación al Proyecto de Irrigación Chavini*. (Tesis de Pregrado), Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ciencias Físicas E.A.P. De Ingeniería Mecánica De Fluidos, Lima – Perú.
- Ministerio de Energía y Minas. (2019). *Guía para el manejo de Relaves de Minas y Concentrados*. Lima - Perú: MINEM.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2008). *Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje*. Lima - Perú: MTC.
- Molsalve Sáenz, G. (2002). *Hidrología en la Ingeniería*. Bogotá - Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.

- Pérez, J. (31 de Enero de 2019). *Estimación del balance hídrico*. Obtenido de https://www.academia.edu/12416261/Estimaci%C3%B3n_del_balance_h%C3%ADdrico
- Petts, G & Foster, I. (1990). *Rivers and Landscape. The Athenaeum Press*. (3 ed.). Great Britain: New Castle.
- Ramos, A y Pacheco, J. (2017). Análisis hidrológico e hidráulico de la cuenca del río Frio, municipios de Ciénaga y zona bananera, departamento del Magdalena. *Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia - Universidad Central*, 23-67.
- Reyes Carrasco, L. (1992). *Hidrología Básica*. Lima - Perú: A & B S.A.
- Schosinsky, G., & Losilla, M. (2000). Modelo Analítico para determinar la infiltración con base en la lluvia mensual. *Revista Geológica de América Central*, 43-55.
- Steven, G., & Planning, V. (2017). *Design, and Análisis of Tailings Dams*. Canadá.
- Tucci, C. (2002). *Regionalización de caudales*. Rio Grande do Sul - Brasil: Ed. Universidade.
- Villanueva Jiménez, A. (2006). *Diseño de presa de relaves Alpamarca y el uso de materiales de mina como cuerpo de presa*. (Tesis de Pregrado), Universidad Nacional de Ingeniería, Carrera de Ingeniería Civil, Lima - Perú.
- Villodas, R. (2008). *Hidrología. Guía de Estudio para las Cátedras Hidrología I - Hidrología II*. Mendoza - Argentina.
- Villón Béjar, M. (2011). *Hidrología*. Lima - Perú: Villón.
- Villón Béjar, M. (2016). *Hidrología Estadística*. Lima - Perú: Villón.

ANEXOS

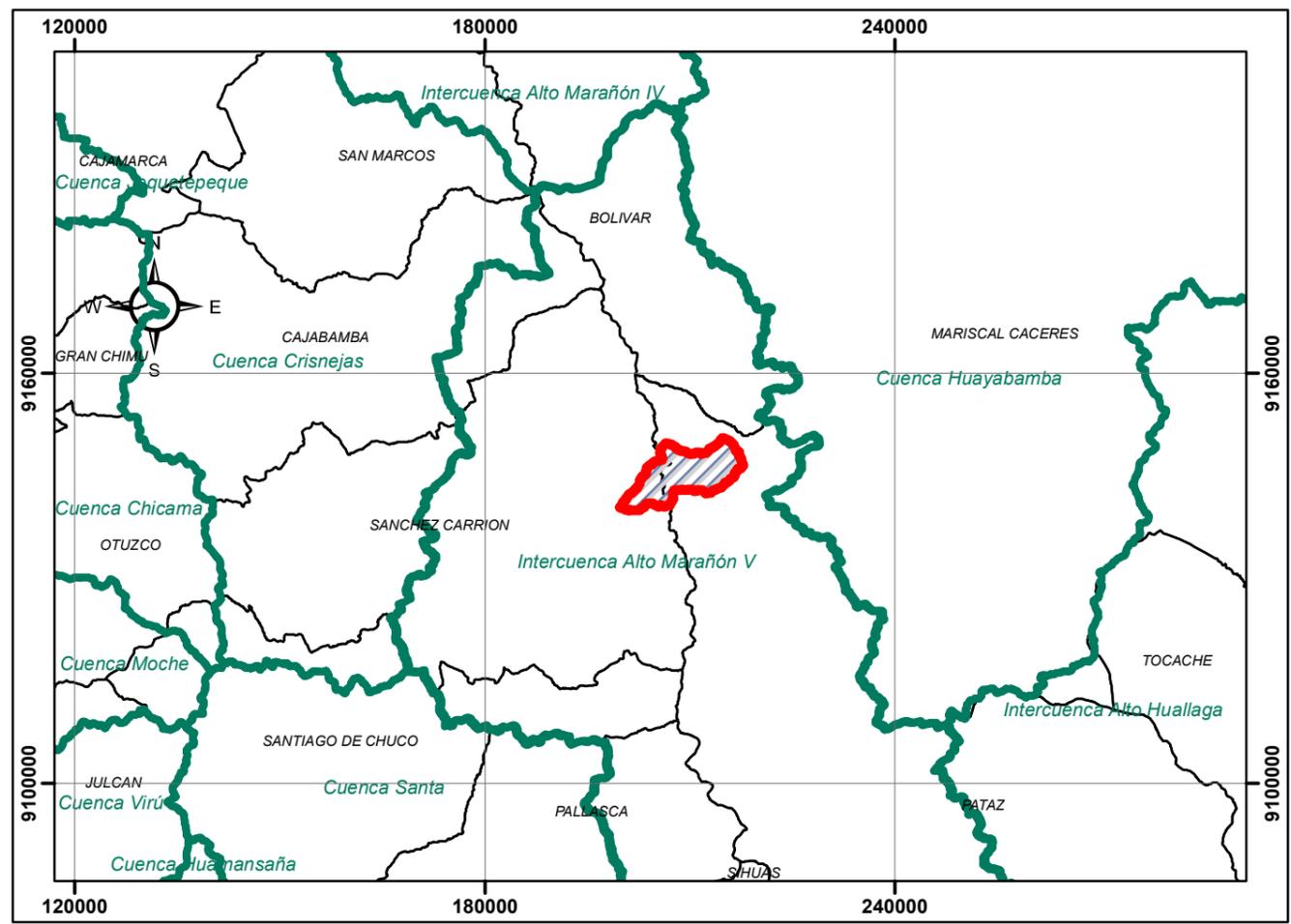
Anexo 1: Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
PRINCIPAL ¿Cómo establecer la relación del análisis hidrológico con el balance hídrico en la Presa de relaves Pataz – La Libertad?	PRINCIPAL Realizar un análisis hidrológico y balance hídrico para poder hallar las características y requerimientos de la Presa de relaves Pataz – La Libertad.	PRINCIPAL Obtendremos volúmenes positivos para la mayoría de los meses en el balance hídrico en la presa de relaves Pataz – La Libertad.	VARIABLE INDEPENDIENTE: Precipitación, temperatura. VARIABLE DEPENDIENTE: Evapotranspiración, Caudales de cuenca aportante, Caudales de descarga y Volúmenes de almacenamiento.	TIPO DE INVESTIGACIÓN: Investigación Aplicada MÉTODO DE INVESTIGACIÓN: Método Cuasi experimental
PROBLEMAS SECUNDARIOS a) ¿Cuáles serán los volúmenes de operación máximos que se darían en la presa de Relaves Pataz – La Libertad? b) ¿Qué metodología de modelamiento hidrológico permite establecer la estimación del balance hídrico en la Presa de relaves Pataz – La Libertad? c) ¿Cómo el cálculo de la evapotranspiración potencial (ETP) permite comprender el balance hídrico en la Presa de relaves Pataz – La Libertad? d) ¿Qué requerimientos se necesitan en la presa de relaves Pataz – La Libertad para un adecuado funcionamiento?	OBJETIVOS SECUNDARIOS a) Estimar la máxima capacidad de operación de la presa de relaves Pataz – La Libertad. b) Estimar mediante modelamiento hidrológico los volúmenes de caudales para la estimación del balance hídrico en la Presa de relaves Pataz – La Libertad. c) Explicar la incidencia del cálculo de la evapotranspiración potencial (ETP) en el balance hídrico en la Presa de relaves Pataz – La Libertad. d) Presentar escenarios de implementación para mejorar la seguridad y lograr un adecuado funcionamiento de la presa de relaves Pataz – La Libertad.	HIPÓTESIS SECUNDARIOS a) Los caudales de descarga de la descarga de agua de la presa de relaves serán positivos en la mayoría de meses. b) Es posible obtener caudales a partir de la simulación con un modelo hidrológico para nuestra cuenca. c) La evaporación tiene una incidencia significativa en el balance hídrico. d) Es necesaria la implementación o mejora de estructuras hidráulicas para lograr un adecuado funcionamiento de la presa de relaves.	MUESTRA: La muestra son los registros de precipitaciones, temperaturas y otras variables meteorológicas de la zona de la Presa de relaves ubicado en Pataz – La Libertad.	TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS: Análisis de contenido INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS: Ensayos, diagramas de flujo, libros, programas y archivos.

Anexo 2: Matriz operacionalización de variables

VARIABLE INDEPENDIENTE	DEFINICIÓN OPERACIONAL
Precipitación	Esta variable es obtenida a partir de las mediciones hechas en las estaciones SENAMHI
Temperatura	
VARIABLE DEPENDIENTE	DEFINICIÓN OPERACIONAL
Evapotranspiración	Se calcula a partir de los registros de temperatura
Caudales de cuenca aportante	Se calculan a partir de la simulación con el modelo hidrológico.
Caudal de descarga	Se calcula por medio de las simulaciones de los balances de aguas.
Volumen de almacenamiento	Se calcula a partir de las diferencias entre las entradas y salidas del balance de aguas.

Anexo 3: Planos detallados



MICROCUCENCA - PATAZ

LEYENDA

-  RIOS
-  AREA DE ESTUDIO
-  PRESAS DE RELAVE

MICROCUCENCA PRESAS DE RELAVES - PATAZ

UBICACIÓN

DEPARTAMENTO : LA LIBERTAD / PROVINCIA : PATAZ

ESCALA 1:100 000



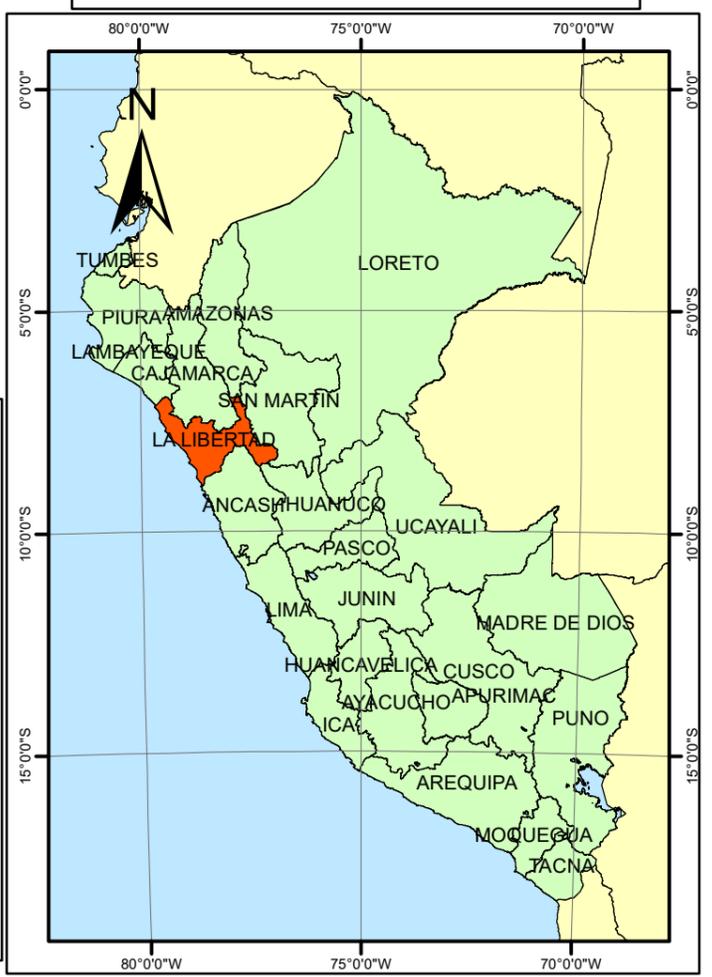
Datum: WGS 1984 UTM - Zona 17 Sur

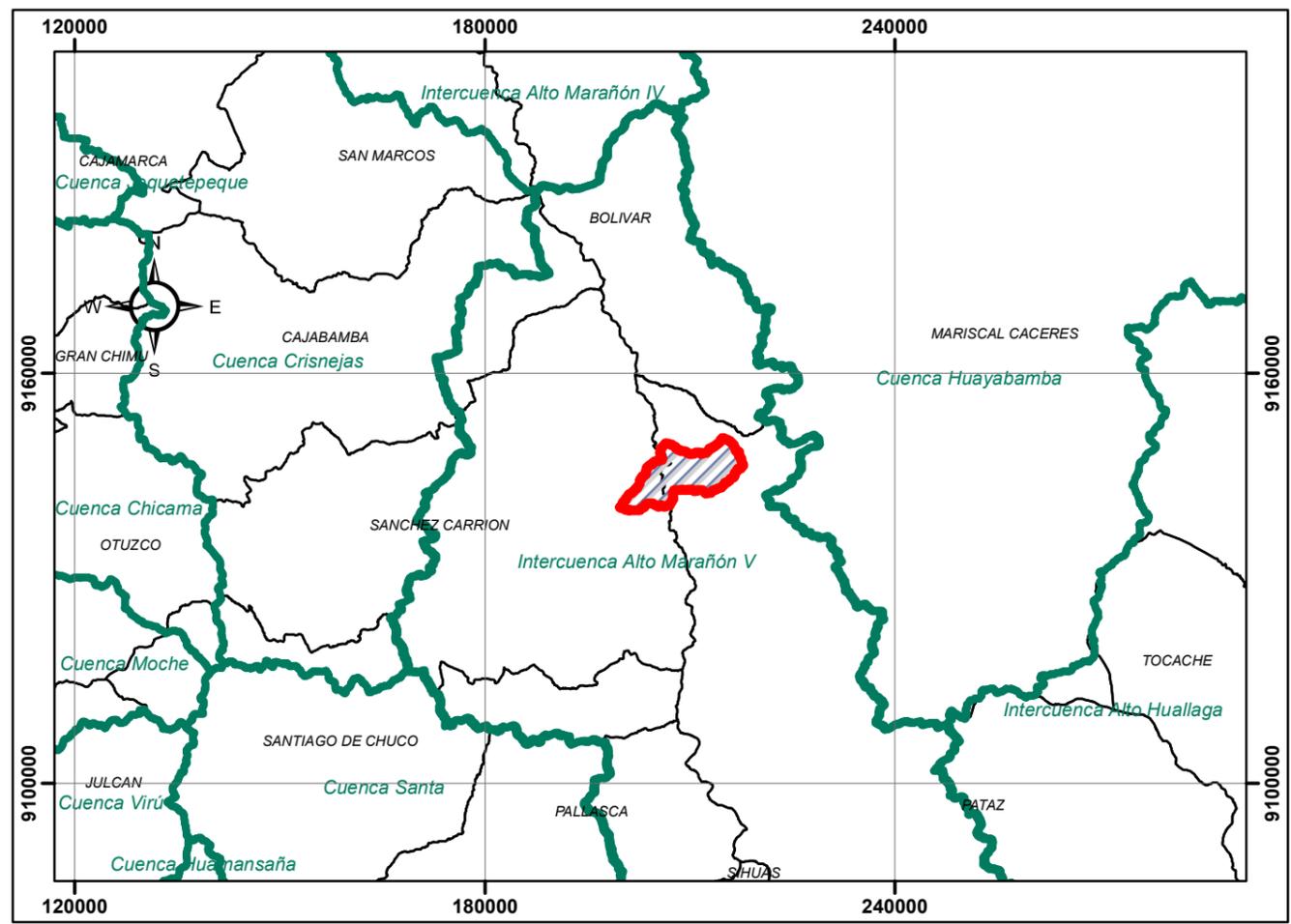
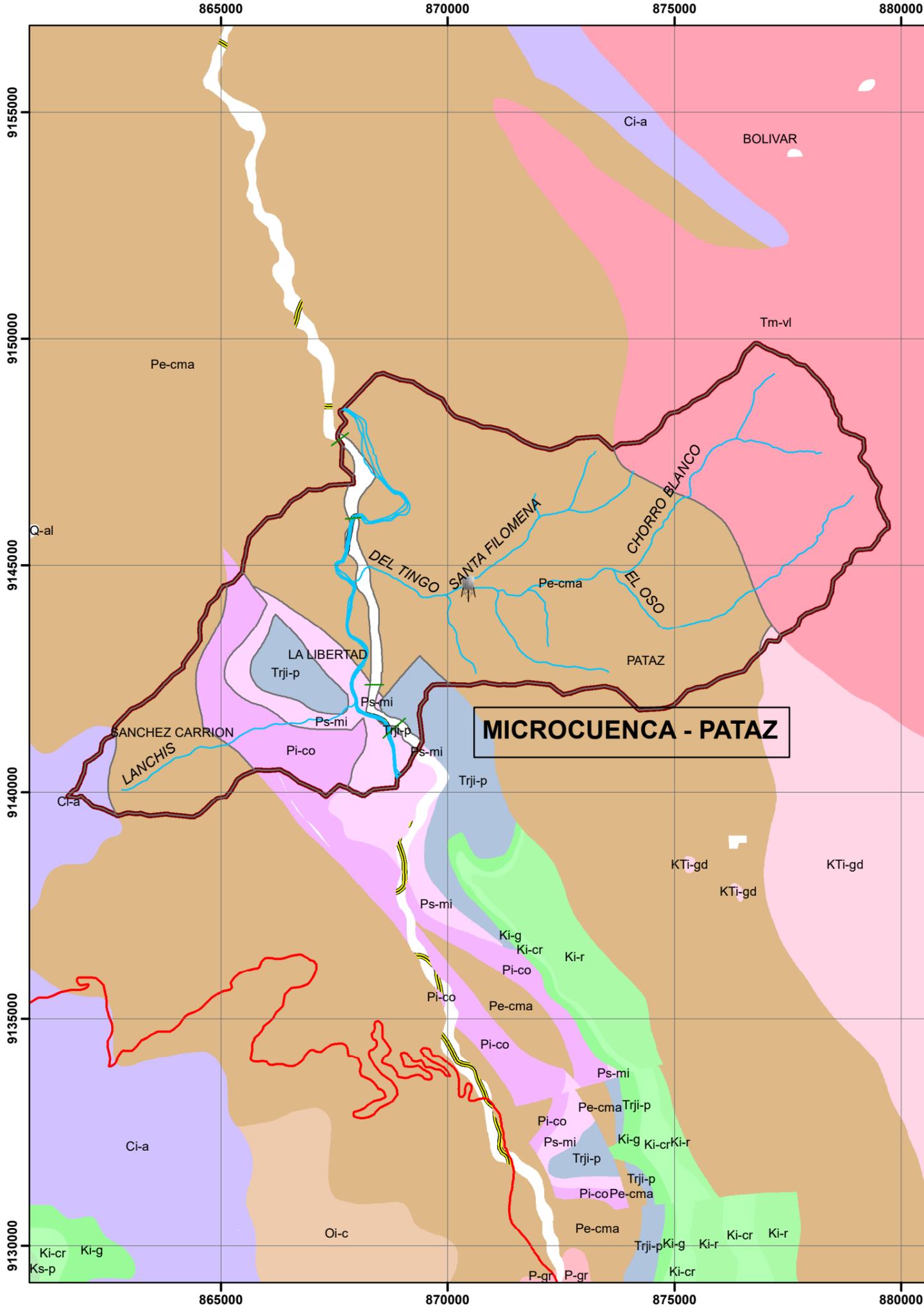


Elaborado por : Stefy Hurtado Asto	Tesis : Análisis Hidrológico y	Fecha : 26/09/2019	MAPA : M-1
---------------------------------------	-----------------------------------	-----------------------	---------------

FUENTE : MINAM (Ministerio del Ambiente)

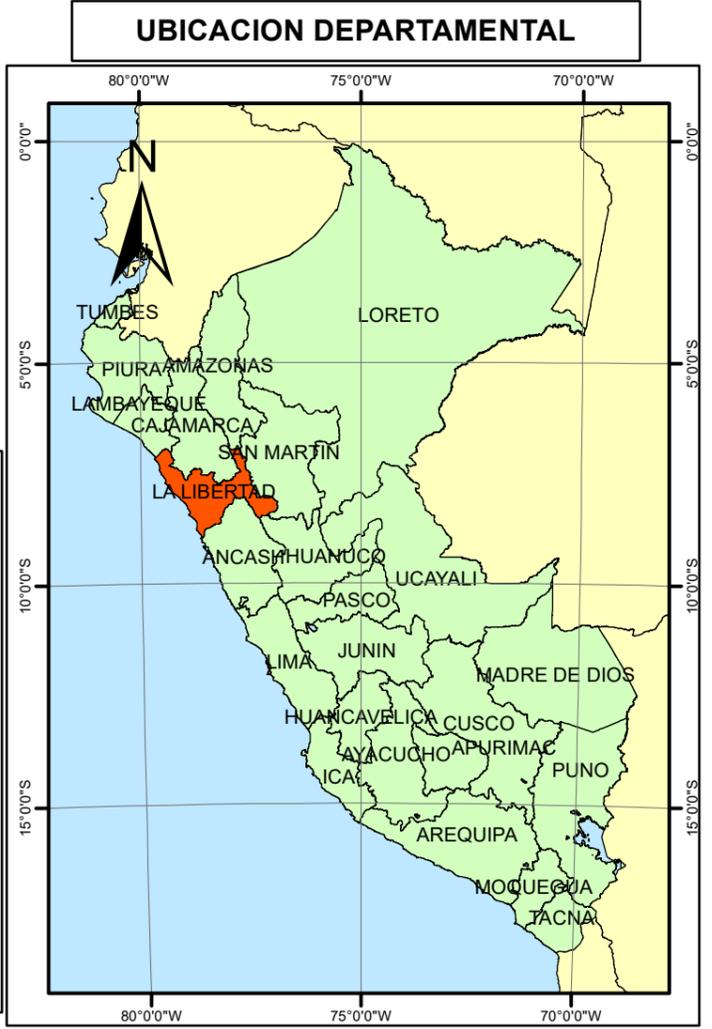
UBICACION DEPARTAMENTAL





LEYENDA

- PRESA DE RELAVE
- SECCIONE_CAD
- RIOS
- geologia
- AREA DE ESTUDIO



MICROCUENCA PRESA DE RELAVES - PATAZ

MAPA GEOLÓGICO

DEPARTAMENTO : LA LIBERTAD / PROVINCIA : PATAZ

ESCALA 1:100 000

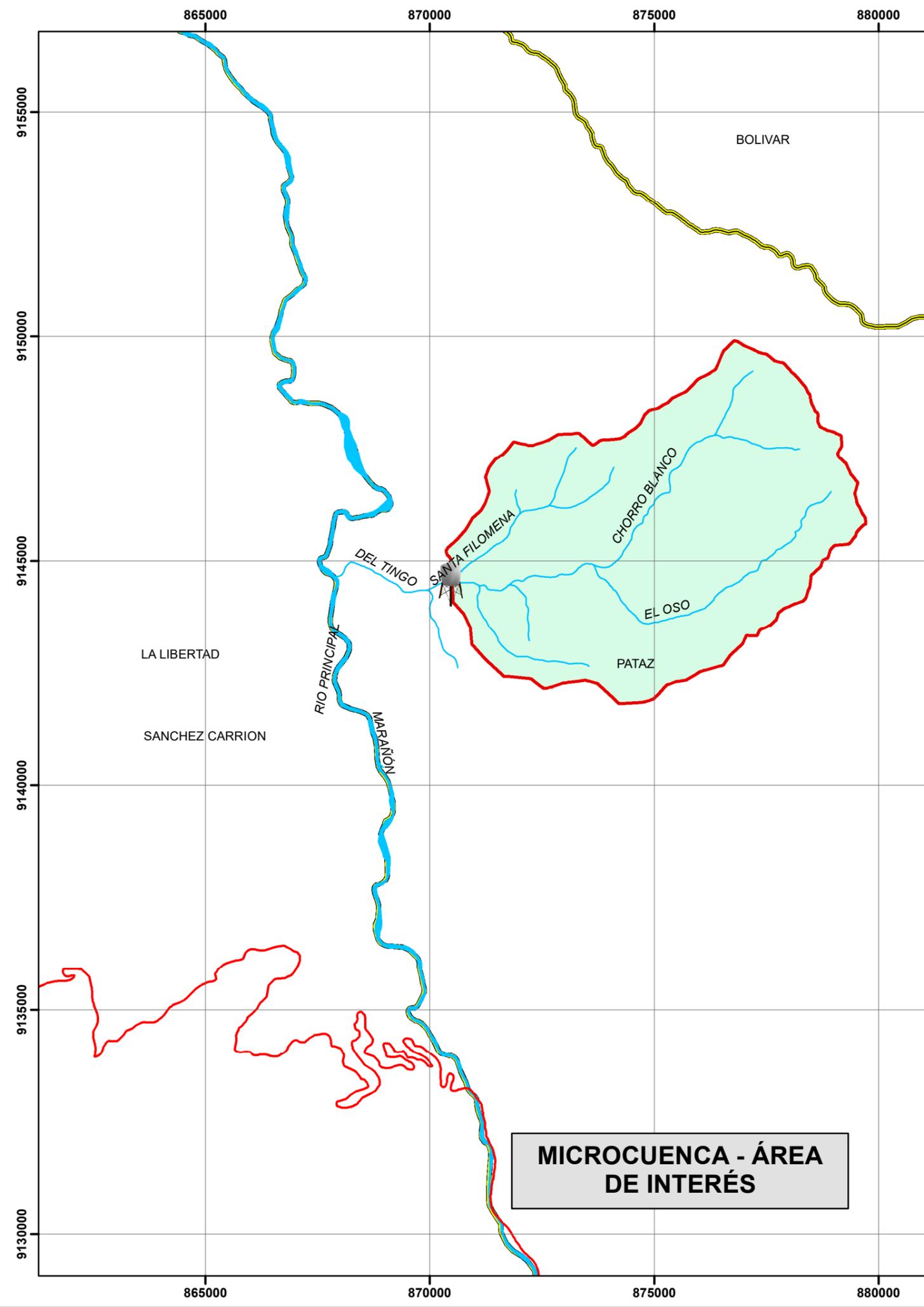
0 75 150 300 450 600 Km

Datum: WGS 1984 UTM - Zona 17 Sur

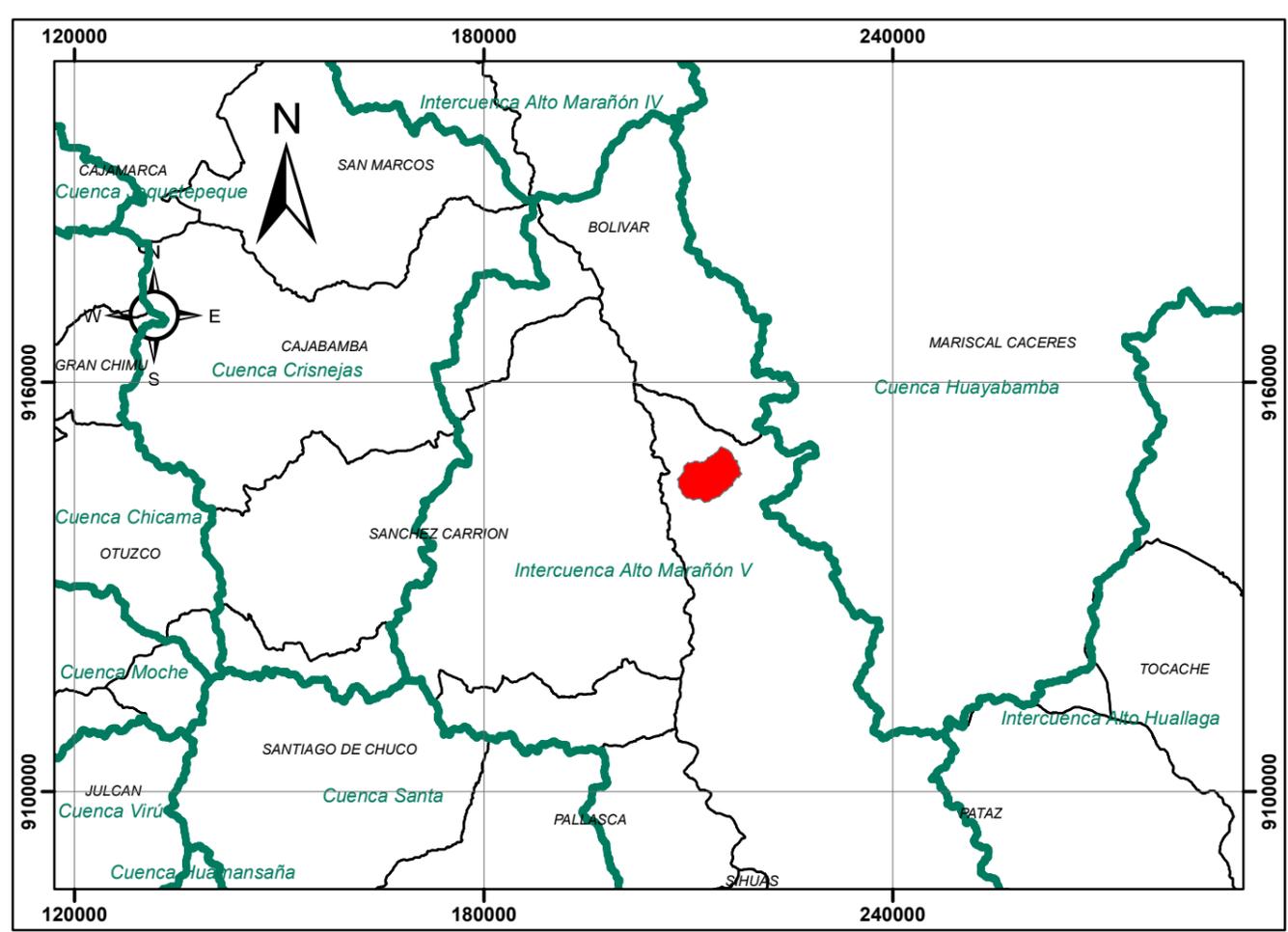
Elaborado por : Stefy Hurtado Asto Tesis : Análisis Hidrológico y Fecha : 26/09/2019 MAPA : M-3

FUENTE : MINAM (Ministerio del Ambiente)

Universidad Ricardo Palma



MICROCUECA - ÁREA DE INTERÉS



LEYENDA

- RIOS
- AREA INTERES
- Rios_Navegables
- PRESAS DE RELAVE

MICROCUECA - ÁREA DE INTERÉS

UBICACIÓN

DEPARTAMENTO : LA LIBERTAD / PROVINCIA : PATAZ

ESCALA 1:100 000

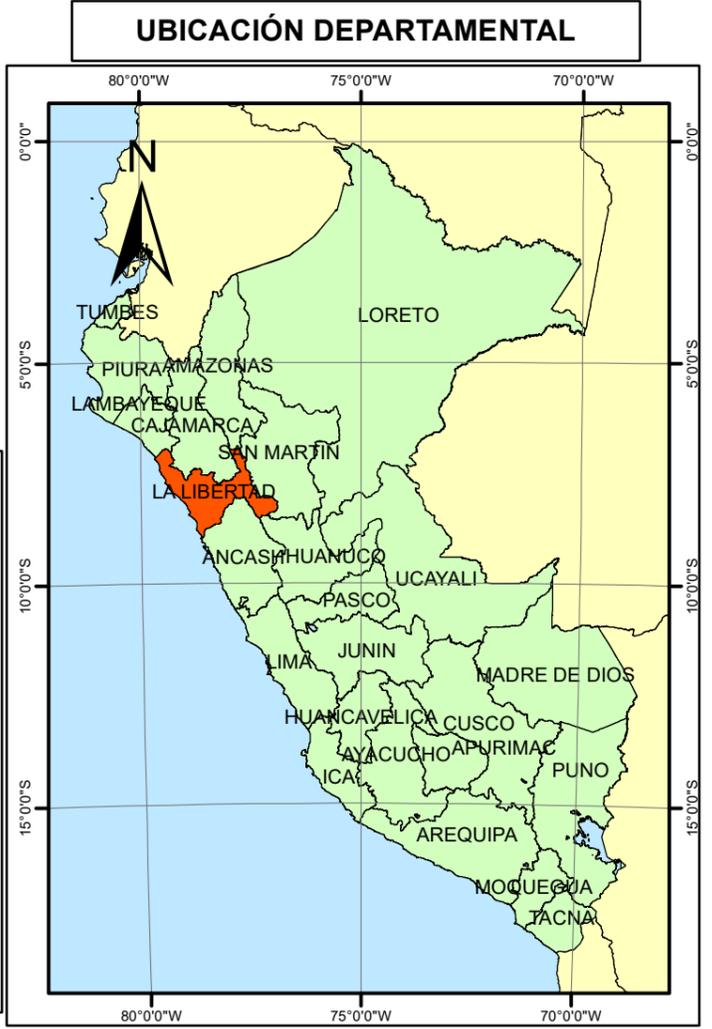
0 75 150 300 450 600 Km

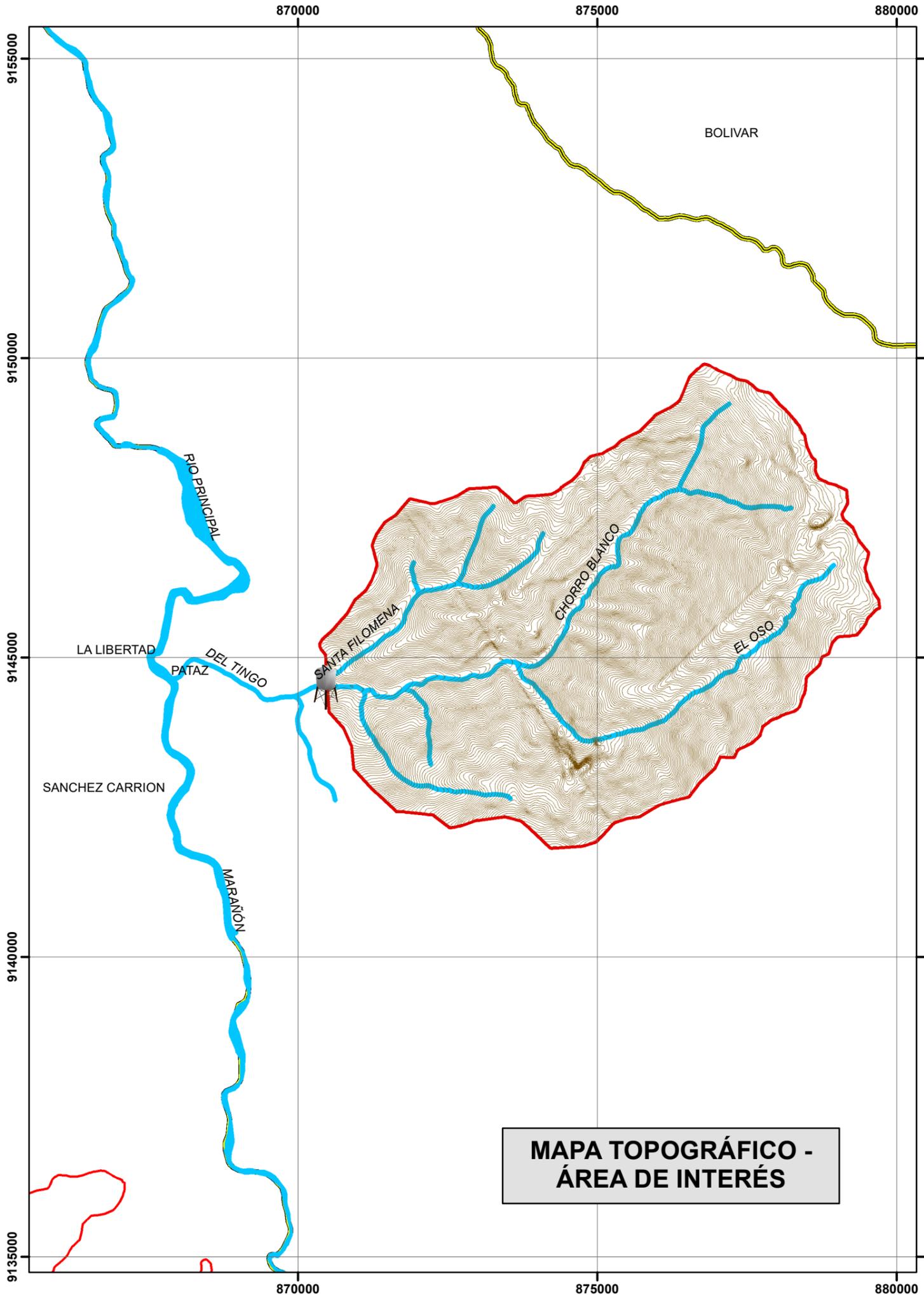
Datum: WGS 1984 UTM - Zona 17 Sur

Universidad Ricardo Palma

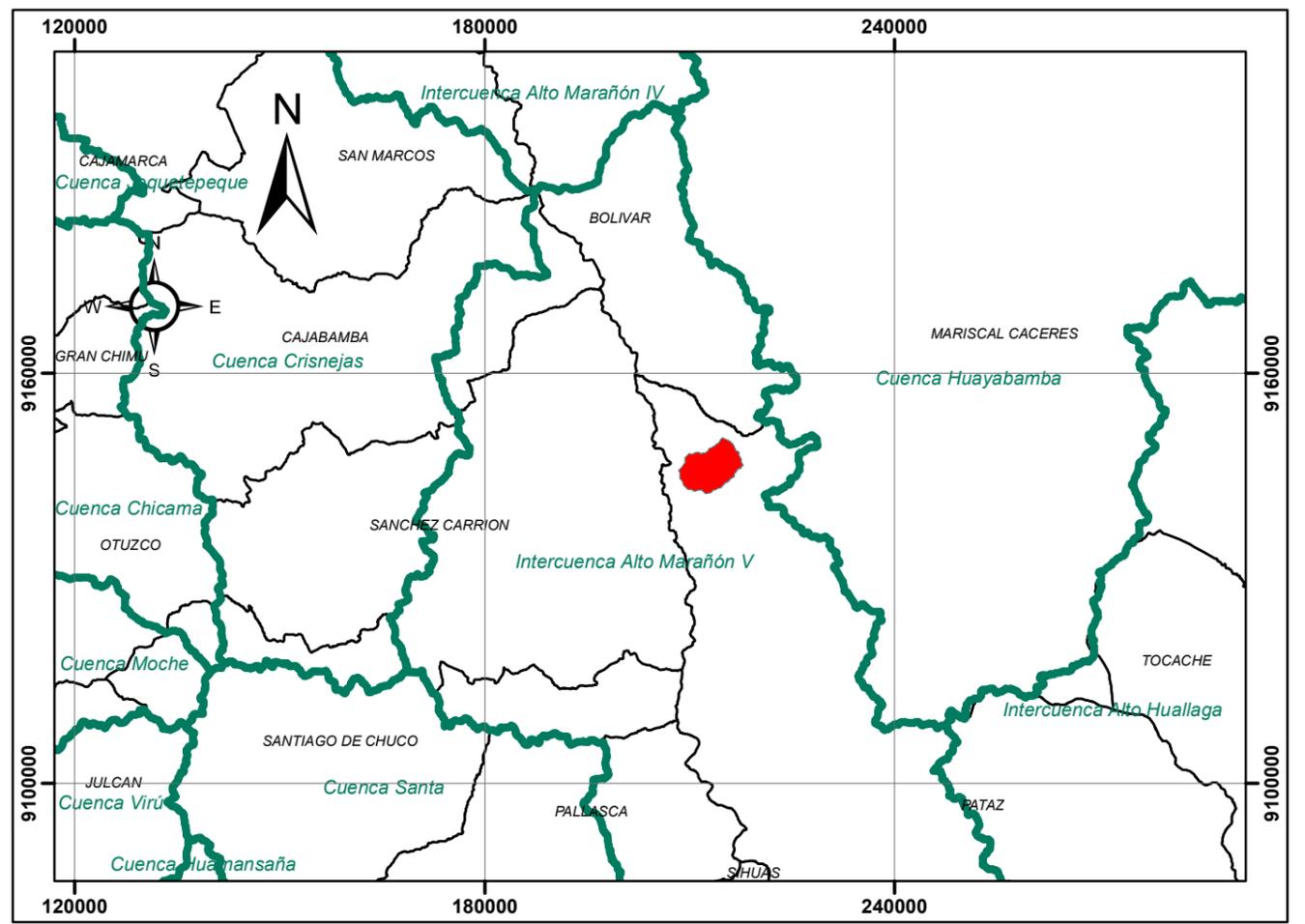
Elaborado por : Stefy Hurtado Asto	Tesis : Análisis Hidrológico y	Fecha : 26/09/2019	MAPA : M-4
---------------------------------------	-----------------------------------	-----------------------	---------------

FUENTE : MINAM (Ministerio del Ambiente)





**MAPA TOPOGRÁFICO -
ÁREA DE INTERÉS**



LEYENDA

- Curvas cada 20m
- PRESA DE RELAVE
- RIOS
- AREA INTERES

MAPA TOPOGRÁFICO - ÁREA DE INTERÉS

TOPOGRAFÍA

DEPARTAMENTO : LA LIBERTAD / PROVINCIA : PATAZ

ESCALA 1:75 000

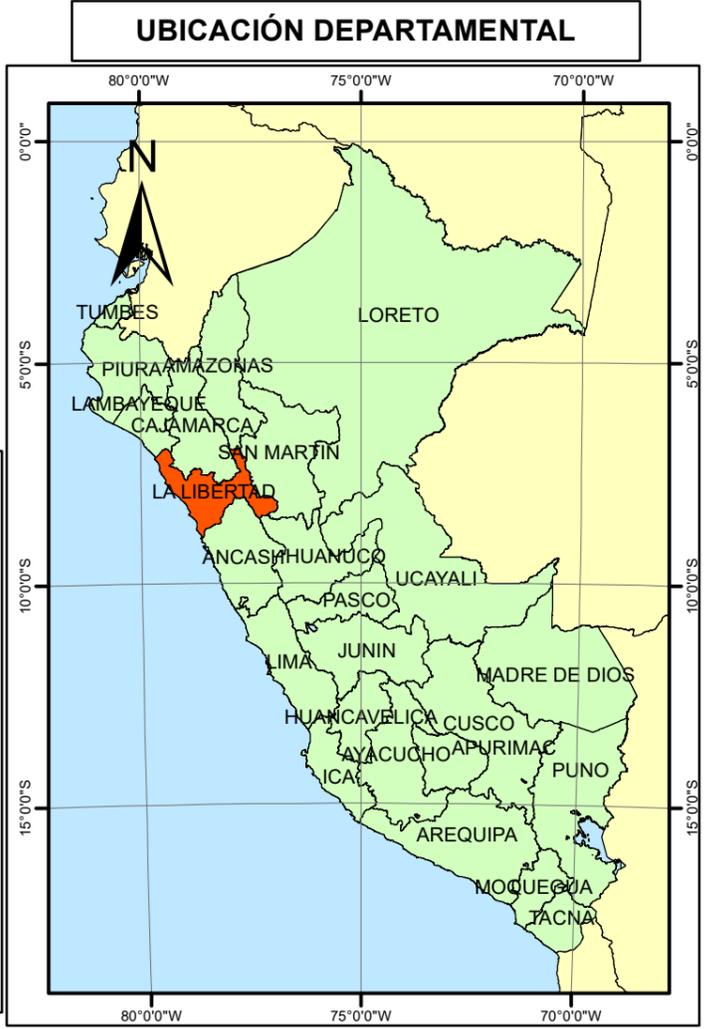
0 75 150 300 450 600 Km

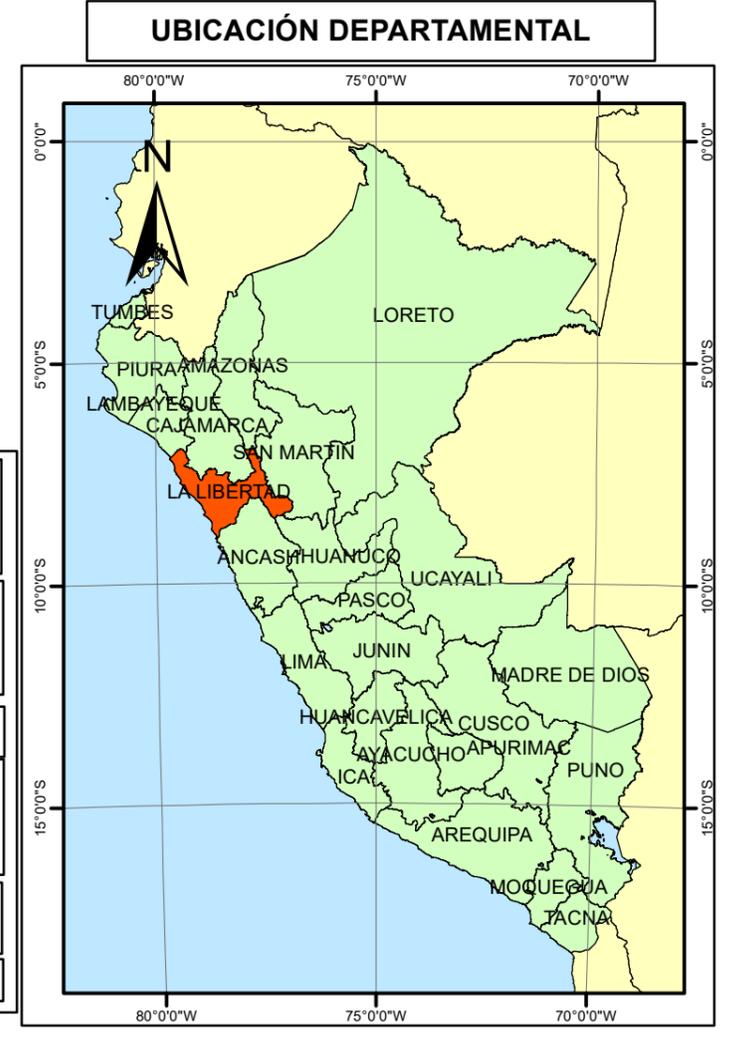
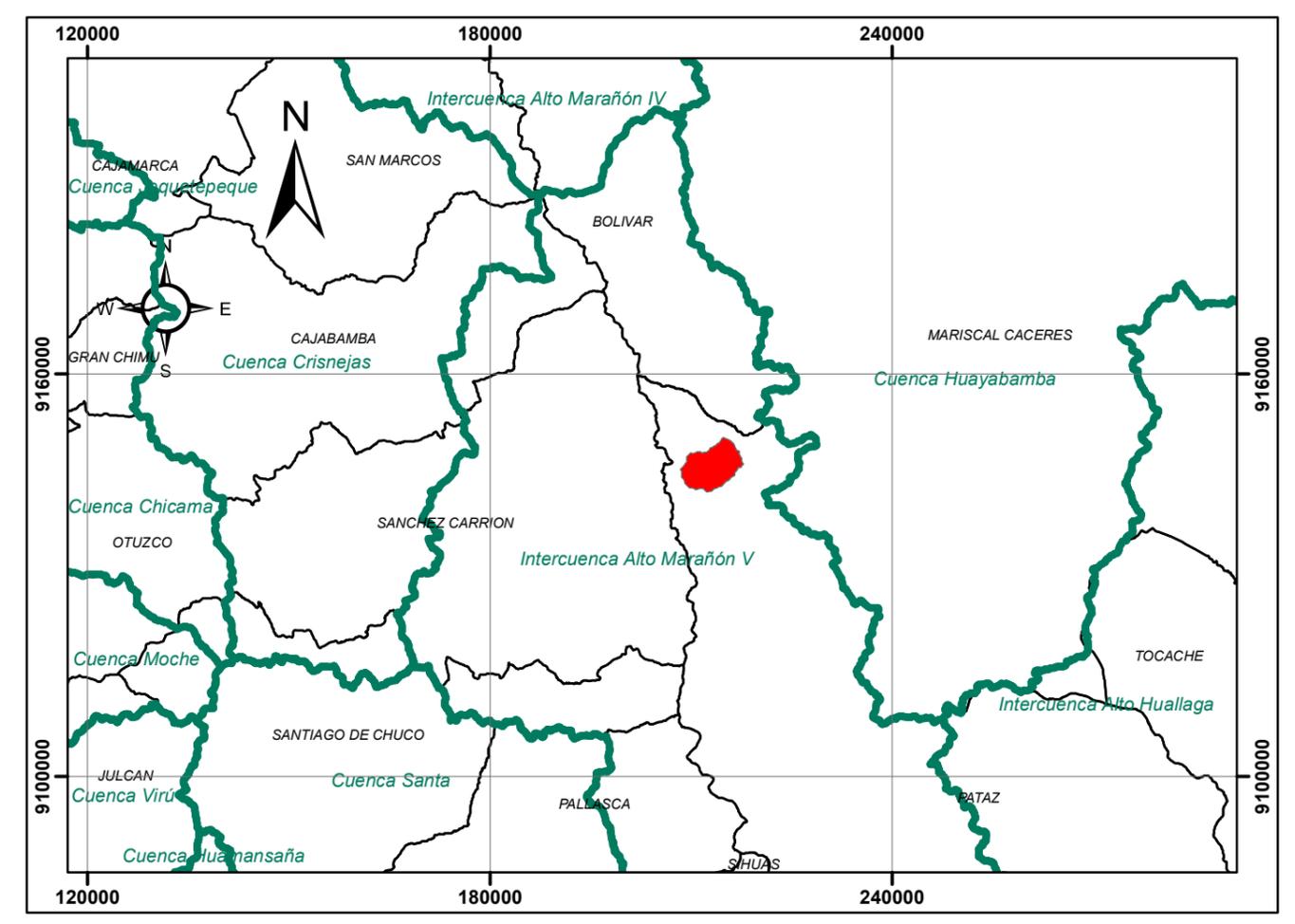
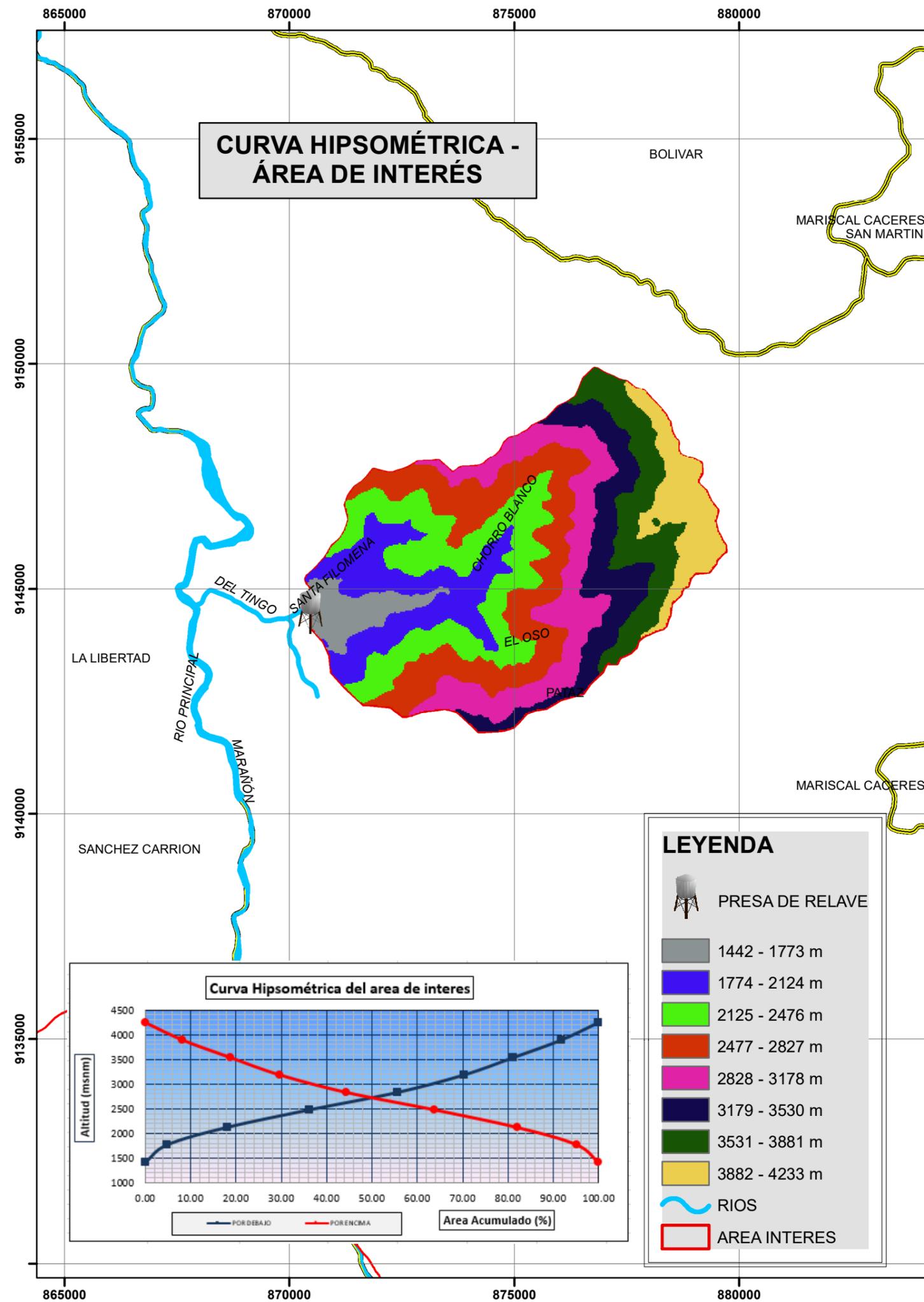
Datum: WGS 1984 UTM - Zona 17 Sur

Elaborado por : Stefy Hurtado Asto | Tesis : Análisis Hidrológico y | Fecha : 26/09/2019 | MAPA : M-5

FUENTE : MINAM (Ministerio del Ambiente)

Universidad Ricardo Palma





CURVA HIPSOMÉTRICA

ÁREA DE INTERÉS

DEPARTAMENTO : LA LIBERTAD / PROVINCIA : PATAZ

ESCALA 1:75 000

0 75 150 300 450 600 Km

Datum: WGS 1984 UTM - Zona 17 Sur

Elaborado por :
Stefy Hurtado Asto

Tesis :
Análisis Hidrológico y

Fecha :
26/09/2019

MAPA :
M-6

FUENTE : MINAM (Ministerio del Ambiente)