



FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS:

**"EVALUACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO DE LA CUENCA DE LA LAGUNA
DE PIURAY CONSIDERANDO EL ESCENARIO MÁS DESFAVORABLE PARA
EL AÑO 2040 SEGÚN EL MODELO WEAP, CON FINES DE ABASTECIMIENTO
PARA LA CIUDAD DE CUSCO Y CHINCHERO"**

Presentado por

Frisancho Colpaert, Roberto Enrique

Luna Marquina, Melissa Almendra

**Para optar por el Título Profesional de Ingeniero
Civil**

Asesor:

Ing. Delgado Salazar, William Ronald

CUSCO – PERÚ

2020



Dedicatoria

A mis padres, Celestino y Rosa, quien durante estos años me brindaron su constante apoyo tanto en mi formación académica como en mi crecimiento personal. Su paciencia fue imprescindible para concluir mi etapa universitaria y comenzar la vida laboral como una persona íntegra.

A mi hermana Elizabeth quien me acompañó durante todos estos años, brindándome su apoyo cuando lo necesite y alentándome a seguir adelante pese a las adversidades.

A mi hermana Gabriela, por su contribución en el desarrollo de la tesis. Su apoyo y visión fueron importantes para hacer de esta, una investigación con visión ambiental.

A mi hija Zoe Alessia, que fue mi motivación todos estos años tanto en la universidad como en la vida, mi cariño hacia ella es incondicional.

A mis tías Rita y Juanita, prima Zayda y mi sobrino Fabricio, siempre estuvieron a mi lado en las buenas y en las malas, alentándome ser una mejor persona.

Frisancho Colpaert, Roberto Enrique



Dedicatoria

A la Virgen del Rosario y Dios por guiar mis pasos, y colmarme de bendiciones durante toda mi vida.

A mis padres Carlos, Xiomara por ser una guía incondicional, por darme el apoyo y su sacrificio para pagar mi educación, todo lo que soy ahora es gracias a ellos.

A mi hermana Alejandra por estar siempre conmigo dándome consejos y apoyándome en todo lo que necesite.

A mi abuela Hilda por los buenos consejos y por las bendiciones y rezos constantes para culminar mi carrera con triunfos.

A toda mi familia por darme sus buenos deseos y apoyarme en los años de mi vida.

Ustedes Mónica, Abijael, Martin, Felipe, Gabriel que fueron mi mano derecha durante toda la etapa de universidad agradezco su compañía y apoyo en estos 6 años que pasamos juntos.

Luna Marquina, Melissa Almendra



Agradecimientos

A nuestra alma mater, Universidad Andina Del Cusco, por acogernos y brindarnos una educación por más de 5 años formándonos para ser buenas personas y excelentes profesionales.

A los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil que durante nuestra estancia en la universidad nos impartieron sus conocimientos y valores, para ser ingenieros civiles exitosos.

A nuestro asesor, Ing. William Ronald Delgado Salazar, por habernos guiado en el nuestro trabajo final, durante el cual nos brindó su confianza y amistad. Sus aportes hicieron de esta una gran investigación.

A la Mgt. Ing. Jackeline Alejandra Pelaez Gamarra y al Ing. Carlos Alberto Mosqueira Lovón, por la orientación que nos dieron en el trayecto de la presente tesis, su orientación fue muy importante en el desarrollo de la misma.

Agradecemos especialmente al Ing. Carlos Luna por su apoyo y paciencia que nos dedicó en el transcurso de la investigación, corrigiendo nuestros errores y puliendo nuestro trabajo.

Al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú – SENAMHI por brindar su información para fines académicos

A la E.P.S. SEDACUSCO por habernos brindado información sobre Piuray para poder hacer factible nuestra investigación.

A la municipalidad Distrital de Chinchero, Piuray por darnos todo el apoyo durante nuestra investigación.

A nuestros familiares, amigos y todos aquellos que contribuyeron con nuestra investigación, brindando su apoyo en los diversos aspectos que llevaron a concluir nuestros estudios académicos.



Resumen

La presente investigación denominada “Evaluación del balance hídrico de la cuenca de la laguna de Piuray considerando el escenario más desfavorable para el año 2040 según el modelo WEAP, con fines de abastecimiento para la ciudad de Cusco y Chinchero” tuvo como objetivo evaluar el impacto de las actividades antrópicas sobre la microcuenca en estudio al año 2040. Para dicho propósito fue necesario reunir información hidrometeorológica, la cual fue suministrada por el SENAMHI, posteriormente fue procesada y completada por métodos estadísticos que nos permitieron además de tener una correlación adecuada, proyectar dichos parámetros. Con la finalidad de obtener resultados ajustados a la cuenca en estudio fue necesario realizar la regionalización de parámetros hidrometeorológicos, la cual fue realizada mediante procedimientos basados en factores de altitud, distancia e influencia de las estaciones meteorológicas seleccionadas.

Adicionalmente a los parámetros hidrometeorológicos, fueron necesarios parámetros geomorfológicos de la cuenca, por lo cual requerimos modelar la misma en el software ARCGIS, valiéndonos de información satelital, parámetros obtenidos mediante visitas a campo e información suministrada por entidades estatales, tales como MINAM, MTC, EPS. SEDACUSCO, etc.

Posteriormente se prosiguió a realizar la generación de caudales mediante los métodos propuestos en la presente investigación, con el fin de evaluar cual tenía un mejor ajuste a la cuenca. El modelo Lutz Scholz obtuvo un coeficiente de correlación de 0.777, mientras que el modelo Temez obtuvo un coeficiente de 0.707, por lo cual el modelo Lutz Scholz fue usado para ser aplicado dentro del balance hídrico de la cuenca.

La microcuenca fue modelada mediante del software WEAP, esto con la finalidad de analizar diversos escenarios que podrían presentarse en el año 2040, siendo el escenario 4 el más desfavorable para la zona de estudio. Dicho escenario indica que la microcuenca deberá abastecer al 30% de la población de la ciudad de Cusco y a la totalidad de la población de Chinchero.

Finalmente, como resultado de la evaluación realizada, el balance hídrico para el año 2019 señala que la microcuenca posee una oferta hídrica anual de 22.83 MMC mientras que la



demanda asciende a 17.12 MMC, dejando una variación volumétrica de 5.71 MMC, la misma que para el año 2040 (dentro del escenario más desfavorable) se ve reducida a 1.46 MMC, lo que indica que la cuenca podrá soportar el escenario más desfavorable al año 2040.



Abstract

The present investigation called "Evaluation of the water balance of the Piuray lagoon basin considering the most unfavorable scenario for the year 2040 according to the WEAP model, for the purpose of supplying the city of Cusco and Chinchero" had the objective of evaluating the impact of anthropic activities on the micro-basin under study to the year 2040. For this purpose it was necessary to gather hydrometeorological information, which was provided by SENAMHI, later it was processed and completed by statistical methods that allowed us, in addition to having an adequate correlation, to project said parameters. In order to obtain results adjusted to the basin under study, it was necessary to carry out the regionalization of hydrometeorological parameters, which was carried out by means of procedures based on factors of altitude, distance and influence of the selected meteorological stations.

In addition to the hydrometeorological parameters, geomorphological parameters of the basin were necessary, for which we need to model it in the ARCGIS software, using satellite information, parameters obtained through field visits and information provided by state entities, such as MINAM, MTC, EPS, SEDACUSCO, etc.

Subsequently, the generation of flows was carried out using the methods proposed in the present investigation, in order to evaluate which one had a better fit to the basin. The Lutz Scholz model obtained a correlation coefficient of 0.777, while the Temez model obtained a coefficient of 0.707, for which the Lutz Scholz model was used to be applied within the water balance of the basin.

The micro-basin was modeled using WEAP software, this in order to analyze various scenarios that could arise in 2040, with scenario 4 being the most unfavorable for the study area. This scenario indicates that the micro-basin should supply 30% of the population of the city of Cusco and the entire population of Chinchero.

Finally, as a result of the evaluation carried out, the water balance for 2019 indicates that the micro-basin has an annual water supply of 22.83 MMC while the demand amounts to 17.12 MMC, leaving a volumetric variation of 5.71 MMC, the same as for the In the year 2040 (within the most unfavorable scenario) it is reduced to 1.46 MMC, which indicates that the basin will be able to withstand the most unfavorable scenario in 2040.



Introducción

La escasez de agua es probablemente uno de los problemas más alarmantes que atraviesa el mundo, según el “Informe sobre Desarrollo Humano 2006: Más allá de la escasez: Poder, pobreza y crisis mundial del agua. PNUD, 2006”, y aunque en nuestro país, no sentimos el impacto de este problema principalmente por la riqueza hídrica de nuestro territorio, una mala administración en el futuro cercano del recurso hídrico, nos expondrá a una crisis.

Como nos indican los registros de la E.P.S. SEDACUSCO, durante casi cincuenta años gran parte de la ciudad de Cusco se viene abasteciendo de la laguna de Piuray, una fuente que en la actualidad tiene una oferta hídrica suficiente para cubrir nuestras necesidades, sin embargo, el crecimiento demográfico que viene experimentando la ciudad de Cusco, entre otros factores, nos conducen a un desabastecimiento en los próximos años.

El presente trabajo emplea el software WEAP con la finalidad de plantear alternativas de gestión del recursos hídrico entre la población de la ciudad del Cusco y la de Chinchero, adicionalmente emplearemos dos modelos determinísticos y estocásticos, Temez y Lutz Scholz con la finalidad de generar caudales mensuales que permitan evaluar la disponibilidad del recurso para diferentes periodos de retorno, modelos que fueron previamente empleados en contextos de similares características, lo que nos indica que dichos modelos nos brindarán resultados confiables y con un margen de error mínimo. El trabajo adicionalmente incluye una proyección de factores como la demografía, crecimiento agropecuario, hidrología, entre otros. Esto con la finalidad de ver si dentro de años futuros la cuenca de la laguna de Piuray tendrá una oferta hídrica suficiente para abastecer a los sectores que actualmente abastece.

Durante el desarrollo del presente trabajo se identificó, planteó y justificó el problema, todo esto en el Capítulo 1, donde también se formuló los objetivos, hipótesis, variables y limitaciones. Dentro del Capítulo 2 realizamos un recuento de todo el marco teórico necesario para analizar el problema, así como los antecedentes tanto nacionales como internacionales que tomamos en consideración para desarrollar la investigación. El Capítulo 3 abarca todo lo concerniente a la metodología empleada, flujogramas, así como el desarrollo del procesamiento de los datos recabados para la investigación, cuyos resultados son expuestos en el Capítulo 4. El Capítulo 5 contiene las conclusiones, recomendaciones y anexos de todo el trabajo.



Índice general

Agradecimientos	IV
Resumen	V
Abstract	VII
Índice general.....	IX
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	32
1.1. Identificación del problema.....	32
1.1.1. Descripción del problema	32
1.1.2. Formulación interrogativa del problema	33
1.1.2.1. Formulación interrogativa del problema general.....	33
1.1.2.2. Formulación interrogativa de los problemas específicos	33
1.2. Justificación e importancia de la investigación	34
1.2.1. Justificación técnica	34
1.2.2. Justificación social.....	34
1.2.3. Justificación por vialidad.....	34
1.2.4. Justificación por relevancia.....	35
1.3. Limitaciones.....	36
1.4. Objetivos de la investigación	37
1.4.1. Objetivo general	37
1.4.2. Objetivo específico.....	37
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	39
2.1. Antecedentes de la investigación.....	39
2.1.1. Antecedentes a nivel nacional.....	39
2.1.2. Antecedentes a nivel internacional.	42
2.2. Aspectos teóricos pertinentes	44



2.2.1. Ciclo hidrológico.....	44
2.2.1.1. Ciclo hidrológico sistematizado	46
2.2.1.2. Modelamiento de un sistema hidrológico.....	48
2.2.1.3. Tipos de modelos hidrológicos	48
2.2.2. Balance hídrico superficial	48
2.2.3. Parámetros meteorológicos	50
2.2.3.1. Precipitación.....	51
2.2.3.2. Evaporación.....	51
2.2.3.3. Evapotranspiración.....	51
2.2.3.3.1. Método Hargreaves por radiación	52
2.2.3.4. Infiltración	54
2.2.3.5. Escorrentía superficial.....	54
2.2.3.5.1. Factores que influyen en la escorrentía superficial	55
2.2.3.5.2. Variables características de la escorrentía superficial	55
2.2.4. Cuenca hidrográfica.....	56
2.2.4.1. Delimitación de la cuenca	56
2.2.4.2. Clasificación de cuencas hidrográficas	57
2.2.4.3. Características físicas de la cuenca hidrográfica	57
2.2.4.3.1. Área de drenaje.....	57
2.2.4.3.2. Perímetro de la cuenca	57
2.2.4.3.3. Corriente principal	57
2.2.4.3.4. Forma de la cuenca.....	58
2.2.4.4. Sistema de drenaje de una cuenca hidrográfica.....	59
2.2.4.4.1. Clasificación de corrientes	59
2.2.4.4.2. Densidad de drenaje (Dd)	61



2.2.4.4.3. Sinuosidad de las corrientes de agua	61
2.2.4.5. Características de relieve de una cuenca hidrográfica	62
2.2.4.5.1. Pendiente del cauce principal	62
2.2.4.5.2. Curva hipsométrica	64
2.2.4.5.3. Elevación media de la cuenca	67
2.2.4.5.4. Características de suelo (Formaciones hidrogeológicas).....	67
2.2.5. Tratamiento de datos hidrometeorológicos	67
2.2.6. Análisis de consistencia de la información	68
2.2.6.1. Análisis visual gráfico	68
2.2.6.2. Análisis de doble masa	69
2.2.6.3. Análisis estadístico	70
2.2.6.4. Análisis de saltos	70
2.2.7. Consistencia en la media	71
2.2.8. Corrección de los datos hidrometeorológicos	74
2.2.8.1. Análisis de tendencias.....	75
2.2.8.1.1. Tendencia en la Media.....	76
2.2.8.1.2. Tendencia en la desviación estándar.....	79
2.2.9. Completación de Datos	84
2.2.9.1. Correlación y regresión.....	85
2.2.9.1.1. Coeficiente de correlación (r)	85
2.2.9.1.2. Coeficiente de determinación (R ²).....	85
2.2.9.2. Ecuación de regresión lineal simple	85
2.2.9.2.1. Estimación de los parámetros.....	86
2.2.9.3. Ecuación de regresión lineal múltiple	86
2.2.9.3.1. Estimación de parámetros.....	87



2.2.9.4. Generación aleatoria.....	87
2.2.9.5. Pruebas de bondad de ajuste	88
2.2.10. Regionalización de los datos meteorológicos	88
2.2.2.1.1. Promedio aritmético	89
2.2.2.1.2. Polígono de Thiessen	89
2.2.2.1.3. Isoyetas.....	90
2.2.11. Generación de caudales.....	92
2.2.10.1. Generación de caudales medios mediante el modelo Lutz Scholz.....	92
2.2.10.1.1. Balance hídrico.....	92
2.2.10.1.2. Coeficiente de escurrimiento	93
2.2.10.1.3. Evapotranspiración potencial.....	94
2.2.10.1.4. Precipitación efectiva.....	95
2.2.10.1.5. Retención de la cuenca	97
2.2.10.2. Generación de caudales medios mediante el modelo Temez.....	102
2.2.10.2.1. Formulación teórica.....	102
2.2.12. Modelo WEAP	104
2.3. Hipótesis.....	105
2.3.1. Hipótesis general.....	105
2.3.2. Sub Hipótesis.....	106
2.4. Variables	106
2.4.1. Variables dependientes	106
2.4.2. Variables independientes	106
2.4.3. Cuadro de operacionalización de variables	108
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	109
3.1. Metodología de la investigación.....	109



3.1.1. Enfoque de la investigación	109
3.1.2. Nivel o alcance de la investigación	109
3.1.3. Método de investigación.....	110
3.2. Diseño de la investigación.....	110
3.2.1. Diseño metodológico.....	110
3.2.2. Diseño de ingeniería	111
3.3. Población y muestra	113
3.3.1. Población.....	113
3.3.1.1 Descripción de la población.....	113
3.3.1.2 Cuantificación de la población.....	114
3.3.2. Muestra.....	115
3.3.2.1. Descripción de la muestra	115
3.3.2.2. Cuantificación de la muestra	115
3.3.2.3. Método de muestreo.....	116
3.3.2.4. Criterios de evaluación de muestra	116
3.4. Instrumentos.....	117
3.4.1. Instrumentos metodológicos.....	117
3.4.2. Instrumentos de ingeniería	123
3.5. Procedimiento de recolección de datos.....	124
3.5.1. Registro de precipitación total mensual.....	126
3.5.2. Registro de temperatura mínima mensual.....	127
3.5.3. Registro de temperatura media mensual	128
3.5.4. Registro de temperatura máxima mensual	129
3.5.5. Registro de humedad relativa mensual	130
3.5.6. Registro de horas sol mensual	131



3.5.7. Registro de velocidad media del viento	132
3.5.8. Registro de evaporación media diaria	133
3.5.9. Determinación de caudales aforados	133
3.5.10. Inventario hídrico.....	135
3.5.11. Cobertura vegetal.....	135
3.6. Procedimiento de análisis de datos	138
3.6.1. Datos generales de la microcuenca	138
3.6.2.1. Ubicación geográfica y política	138
3.6.2. Parámetros morfológicos de la microcuenca	139
3.6.2.1. Parámetros geográficos	139
3.6.2.2. Relaciones de forma de la cuenca	139
3.6.2.3. Características de la red de drenaje.....	141
3.6.2.4. Parámetros fisiográficos de la cuenca	143
3.6.3. Análisis estadístico y completación de la información meteorológica	148
3.6.3.1. Red hidrometeorológica de la microcuenca.....	148
3.6.3.2. Tratamiento de datos hidrometeorológicos	149
3.6.3.2.1. Precipitación total mensual.....	149
3.6.3.2.2. Temperatura media	155
3.6.3.2.3. Temperatura media máxima mensual.....	165
3.6.3.2.4. Temperatura media mínima mensual.....	172
3.6.3.2.5. Humedad relativa media mensual.....	180
3.6.3.3. Completación de datos hidrometeorológicos.....	188
3.6.3.3.1. Completación de datos de precipitación total mensual	189
3.6.3.3.2. Completación de datos de temperatura media mensual	200
3.6.3.3.3. Completación de datos de temperatura máxima media mensual	203



3.6.3.3.4. Completación de datos de temperatura mínima media mensual	205
3.6.3.3.5. Completación de datos de humedad relativa media mensual.....	207
3.7. Procedimiento de datos.....	210
3.7.1. Regionalización de precipitación total mensual	210
3.7.1.1. Información de las estaciones meteorológicas.....	210
3.7.1.2. Determinación de coeficientes de correlación	210
3.7.1.3. Determinación de factores de influencia.....	214
3.7.1.4. Cálculo de la precipitación total mensual de la microcuenca en estudio	215
3.7.2. Regionalización de precipitación máxima en 24 horas	218
3.7.2.1. Determinación de coeficientes de correlación	218
3.7.2.2. Determinación de factores de influencia.....	219
3.7.2.3. Cálculo de la precipitación máxima en 24 horas.....	220
3.7.3. Regionalización de temperatura media.....	222
3.7.3.1. Determinación de coeficientes de correlación	222
3.7.3.2. Determinación de factores de influencia.....	223
3.7.3.3. Cálculo de la temperatura media mensual de la microcuenca en estudio ..	224
3.7.4. Regionalización de temperatura máxima.....	225
3.7.4.1. Determinación de coeficientes de correlación	226
3.7.4.2. Determinación de factores de influencia.....	227
3.7.4.3. Cálculo de la temperatura máxima de la microcuenca	228
3.7.5. Regionalización de temperatura mínima	229
3.7.5.1. Determinación de coeficientes de correlación	230
3.7.5.2. Determinación de factores de influencia.....	231
3.7.5.3. Cálculo de la temperatura máxima de la microcuenca en estudio	232
3.7.6. Regionalización de humedad relativa.....	234



3.7.6.1.	Determinación de coeficientes de correlación	234
3.7.6.2.	Determinación de factores de influencia	235
3.7.6.3.	Cálculo de la humedad relativa media de la microcuenca	236
3.7.7.	Cálculo de evaporación	238
3.7.8.	Cálculo de evapotranspiración	241
3.7.9.	Cálculo de la escorrentía	244
3.7.9.1.	Aforos	244
3.7.9.1.1.	Aforo con correntómetro	244
3.7.9.1.2.	Aforo con flotadores	245
3.7.9.1.3.	Aforo volumétrico	245
3.7.9.2.	Modelo Temez	247
3.7.9.2.1.	Determinación de umbral de escorrentía medio	247
3.7.9.2.2.	Determinación del parámetro excedente	248
3.7.9.2.3.	Cálculo de retención de la cuenca	249
3.7.9.2.4.	Determinación de la corrección por latitud	249
3.7.9.2.5.	Generación de caudales mensuales	251
3.7.9.2.6.	Evaluación estadística	252
3.7.9.3.	Método de generación de caudales Lutz Scholz	256
3.7.9.3.1.	Temperatura media:	256
3.7.9.3.2.	Relación n/N	257
3.7.9.3.3.	Evapotranspiración - Hargreaves por radiación	262
3.7.9.3.4.	Precipitación	263
3.7.9.3.5.	Retención de la cuenca.	264
3.7.9.3.6.	Coefficiente de escurrimiento	265
3.7.9.3.7.	Déficit de escurrimiento	266



3.7.9.3.8. Coeficiente de agotamiento	267
3.7.9.3.9. Generación de caudales	268
3.7.9.3.10. Evaluación estadística	274
3.7.10. Cálculo de infiltración	280
3.7.11. Cálculo de la demanda antrópica	281
3.7.11.1. Cálculo de la demanda poblacional	281
3.7.11.1.1. Método aritmético	282
3.7.11.1.2. Método de Interés Simple	283
3.7.11.1.3. Método geométrico	283
3.7.11.1.4. Método de la parábola	284
3.7.11.1.5. Método de incrementos variables	285
3.7.11.1.6. Método de curva logística	286
3.7.11.1.7. Método de mínimos cuadrados	287
3.7.11.1.8. Consolidación de datos	288
3.7.11.2. Cálculo de la demanda agraria	290
3.7.11.2.1. Área de terrenos de cultivo	290
3.7.11.2.2. Coeficiente de cultivo (kc)	291
3.7.11.2.3. Demanda de cultivo	294
3.7.11.3. Cálculo de la demanda pecuaria	296
3.7.12. Cálculo de la oferta hídrica	299
3.7.12.1. Cálculo de la precipitación efectiva	299
3.7.12.2. Cálculo del ingreso por manantes	301
3.7.13. Balance hídrico	301
3.7.13.1. Caudal ecológico	302
3.7.13.2. Determinación del balance hídrico de la microcuenca	302



3.7.14. Determinación del escenario más desfavorable según el modelo WEAP	303
3.7.14.1. Formulación del modelo	303
3.7.14.2. Parámetros de la microcuenca	304
3.7.14.3. Caracterización de la cuenca	304
3.7.14.4. Parámetros meteorológicos requeridos para catchment	305
3.7.14.5. Datos requeridos para aplicaciones del modelo WEAP	308
3.7.14.6. Formulación del modelo	309
3.7.14.7. Procesamiento de información	311
3.7.14.8. Calibración del modelo WEAP	314
3.7.14.9. Demanda de agua en la cuenca de Piuray por microcuencas	315
CAPITULO IV: RESULTADOS	317
4.1. De los parámetros morfológicos de la cuenca	317
4.2. De los cuerpos de agua y manantes	317
4.3. De la información meteorológica	318
4.4. De los caudales aforados	320
4.5. De los ingresos al sistema	320
4.6. De los egresos del sistema	322
4.6.1. Uso Consuntivo	322
4.6.1.1. Sector agrícola	322
4.6.1.2. Sector pecuario	326
4.6.1.3. Demanda poblacional	329
4.6.2. Egresos naturales	329
4.6.2.1. Evaporación	329
4.6.3. Uso no consuntivo	331
4.6.3.1. Caudal ecológico	331



4.6.4. Uso en proyectos	332
4.7. Del balance hídrico superficial	332
4.8. Del software WEAP	334
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN	340
CONCLUSIONES	343
RECOMENDACIONES	351
GLOSARIO	353
REFERENCIAS	356
ANEXOS	358



ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. N° 1. Clasificación según la escasez física y/o económico de agua	33
Fig. N° 2: Ciclo hidrológico del agua.....	46
Fig. N° 3: Ciclo hidrológico sistematizado	47
Fig. N° 4: Esquema del balance hídrico	50
Fig. N° 5: Factores que influyen en la escorrentía superficial	55
Fig. N° 6: Delimitación de cuenca	56
Fig. N° 7: Clasificación de corrientes.....	60
Fig. N° 8: Sinuosidad de las corrientes de agua	61
Fig. N° 9: Pendiente de cauce principal	62
Fig. N° 10: Pendiente compensada.....	63
Fig. N° 11: Obtención de valores para curva hipsométrica.....	65
Fig. N° 12: Curva hipsométrica.....	65
Fig. N° 13: Características de curva hipsométrica	66
Fig. N° 14: Parte superior de curva hipsométrica.....	66
Fig. N° 15: Parte inferior de curva hipsométrica.....	66
Fig. N° 16: Análisis visual gráfico	69
Fig. N° 17: Análisis de doble masa	69
Fig. N° 18: Análisis de saltos	71
Fig. N° 19: Campana de Gauss.....	73
Fig. N° 20: Presencia de tendencia en serie hidrometeorológica	75
Fig. N° 21: Tipos de tendencias (lineal u no lineal).....	76
Fig. N° 22: Eliminación de tendencias	83
Fig. N° 23: Eliminación de tendencias	83
Fig. N° 24: Eliminación de tendencias	83
Fig. N° 25: Eliminación de tendencias	84
Fig. N° 26: Polígono de Thiessen.....	90
Fig. N° 27: Isoyetas	91
Fig. N° 28: Clasificación del escurrimiento sobre la superficie terrestre.....	93
Fig. N° 29: Coeficientes para el cálculo de la precipitación efectiva.....	97
Fig. N° 30: Almacenamiento hídrico durante la época de lluvias (valores en %)......	101



Fig. N° 31: Flujograma de la investigación.....	111
Fig. N° 32: Esquema de balance hídrico	112
Fig. N° 33: Esquema esorrentía	113
Fig. N° 34: Tesistas aforando con correntómetro.....	134
Fig. N° 35: Diagrama fluvial de la microcuenca	142
Fig. N° 36: Curva hipsométrica y mediana de la altitud	145
Fig. N° 37: Polígono de frecuencia de altitudes	146
Fig. N° 38: Histograma de precipitación de la Estación de Kayra	150
Fig. N° 39: Histograma de precipitación de la Estación Urubamba.....	151
Fig. N° 40: Histograma de precipitación de la Estación Pisac	151
Fig. N° 41: Histograma de precipitación de la Estación Calca	152
Fig. N° 42: Histograma de precipitación de la Estación Anta.....	153
Fig. N° 43: Análisis de doble masa de precipitación.....	154
Fig. N° 44: Análisis de doble masa en comparación a la estación base	154
Fig. N° 45: Histograma de temperatura media mensual – Estación Anta	155
Fig. N° 46: Histograma de temperatura media mensual – Estación Calca.....	156
Fig. N° 47: Histograma de temperatura media mensual - Estación Kayra.....	156
Fig. N° 48: Histograma de temperatura media mensual - Estación Pisac	157
Fig. N° 49: Histograma de temperatura media mensual - Estación Urubamba.....	157
Fig. N° 50: Análisis de doble masa de las 5 estaciones.....	158
Fig. N° 51: Análisis de doble masa en comparación con Kayra	159
Fig. N° 52: Histograma de temperatura máxima mensual de la Estación Anta	165
Fig. N° 53: Histograma de temperatura máxima mensual de la Estación Calca	166
Fig. N° 54: Histograma de temperatura máxima mensual de la Estación Kayra	166
Fig. N° 55: Histograma de temperatura máxima mensual de la Estación Pisac.....	167
Fig. N° 56: Histograma de temperatura máxima mensual de la Estación Urubamba	167
Fig. N° 57: Análisis doble masa de precipitación total mensual	168
Fig. N° 58: Comparativa entre Kayra vs las demás estaciones	169
Fig. N° 59: Histograma de temperatura mínima mensual - Anta	173
Fig. N° 60: Histograma de temperatura mínima mensual - Calca.....	173
Fig. N° 61: Histograma de temperatura mínima mensual - Kayra	174



Fig. N° 62: Histograma de temperatura mínima mensual - Pisac	174
Fig. N° 63: Histograma de temperatura mínima mensual - Urubamba.....	175
Fig. N° 64: Análisis de doble masa - Temperatura mínima mensual.....	176
Fig. N° 65: Comparación Kayra vs resto de estaciones	176
Fig. N° 66: Histograma de humedad relativa media - Anta	180
Fig. N° 67: Histograma de humedad relativa media - Calca.....	181
Fig. N° 68: Histograma de humedad relativa media - Kayra	181
Fig. N° 69: Histograma de humedad relativa media - Pisac.....	182
Fig. N° 70: Histograma de humedad relativa media - Urubamba	182
Fig. N° 71: Análisis de doble masa - Humedad relativa	183
Fig. N° 72: Comparación Kayra vs resto de estaciones	183
Fig. N° 73: Análisis de regresión lineal simple de dos estaciones Kayra vs Calca.....	192
Fig. N° 74: Análisis de regresión lineal simple de dos estaciones Urubamba vs Calca....	192
Fig. N° 75: Ejemplo de completación de datos con HIDROESTA.....	201
Fig. N° 76: Distribución de regresión lineal - Precipitación	211
Fig. N° 77: Distribución de relación exponencial - Precipitación.....	211
Fig. N° 78: Distribución de relación potencial - Precipitación	212
Fig. N° 79: Distribución de relación polinómica - Precipitación	212
Fig. N° 80: Distribución de relación logarítmica - Precipitación	213
Fig. N° 81: Distribución de la precipitación máxima en 24 hr.....	218
Fig. N° 82: Distribución lineal de temperatura media.....	222
Fig. N° 83: Distribución de temperatura media mensual	226
Fig. N° 84: Distribución lineal de temperatura mínima por estación.....	230
Fig. N° 85: Distribución lineal de temperatura media.....	234
Fig. N° 86: Completación de datos mediante HIDROESTA	240
Fig. N° 87: Cálculo de evapotranspiración mediante CROPWAT	242
Fig. N° 88: Coeficientes de umbral de escorrentía medio.....	247
Fig. N° 89: Correlación entre caudales.....	255
Fig. N° 90: Distribución de temperatura media mensual	257
Fig. N° 91: Distribución de n/N durante el año.....	261
Fig. N° 92: Distribución de las curvas de precipitación.....	270



Fig. N° 93: Distribución de caudales mensuales generados acumulados.....	273
Fig. N° 94: Distribución de caudales generados acumulados	274
Fig. N° 95: Correlación entre caudales generados (calibración) y aforados	277
Fig. N° 96: Correlación entre caudales - Validación.....	279
Fig. N° 97: Dispersión de métodos de crecimiento poblacional	289
Fig. N° 98: Esquema del modelo hidrológico de la cuenca en el programa WEAP	304
Fig. N° 99: Cobertura vegetal de la microcuenca Pongobamba I	305
Fig. N° 100: Precipitaciones de las microcuencas.....	305
Fig. N° 101: Variación de la precipitación mensual de las microcuencas	306
Fig. N° 102: Temperatura de las microcuencas.....	306
Fig. N° 103: Variación de la temperatura mensual de las microcuencas	306
Fig. N° 104: Humedad relativa de las microcuencas	307
Fig. N° 105: Variación de la humedad relativa mensual de las microcuencas.....	307
Fig. N° 106: Esquema del modelo hidrológico en el programa WEAP	310
Fig. N° 107: Vista en Google Earth de la microcuenca	310
Fig. N° 108: Esquema de ríos de la microcuenca.....	311
Fig. N° 109: Esquema de corrientes de la microcuenca	312
Fig. N° 110: Gráfico comparativo entre el caudal aforado y generado.....	313
Fig. N° 111: Gráfico comparativo entre el caudal aforado y generado post calibración ..	313
Fig. N° 112: Gráfico comparativo entre el caudal aforado y generado en Excel	314
Fig. N° 113: Evolución del caudal requerido por el sector agrícola de las microcuencas	316
Fig. N° 114: Evolución del balance hídrico durante el año 2019.....	333
Fig. N° 115: Evolución de la demanda poblacional	336
Fig. N° 116: Crecimiento del sector agrario.....	346
Fig. N° 117: Crecimiento del sector pecuario	347
Fig. N° 118: Comparación entre escenarios WEAP.....	350



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Zonas de abastecimiento de la laguna de Piuray en la ciudad del Cusco.....	32
Tabla 2: Radiación extraterrestre diaria.....	53
Tabla 3: Horas de sol media diaria	53
Tabla 4: Tipo de material.....	67
Tabla 5: Escala valorativa de coeficiente de correlación	85
Tabla 6: Esquema del ajuste estadístico en la prueba de bondad	88
Tabla 7: Método de la United States Bureau of Reclamation (USBR)	95
Tabla 8: Límite superior para la Precipitación Efectiva.....	96
Tabla 9: Cuadro de operacionalización de variables	108
Tabla 10: Formato de registro del correntómetro	118
Tabla 11: Formato de registro de precipitación mensual	118
Tabla 12: Formato de registro de temperatura máxima, mínima y media.....	119
Tabla 13: Formato de registro de caudales medios mensuales.....	119
Tabla 14: Formato de encuesta para cálculo de demanda	120
Tabla 15: Estaciones meteorológicas empleadas en la investigación.....	125
Tabla 16: Precipitación total mensual	125
Tabla 17: Registro de precipitación total mensual	126
Tabla 18: Registro de temperatura mínima mensual	127
Tabla 19: Registro de temperatura media mensual	128
Tabla 20: Registro de temperatura mínima mensual	129
Tabla 21: Registro de humedad relativa mensual.....	130
Tabla 22: Registro de horas sol mensual	131
Tabla 23: Registro de velocidad media del viento	132
Tabla 24: Registro de evaporación media diaria	133
Tabla 25: Caudales aforados para el año 2019	134
Tabla 26: Lagunas de la microcuenca	135
Tabla 27: Caudales de manantes de la microcuenca	135
Tabla 28: Resultados por método de proyección de población	136
Tabla 29: Cálculo de la demanda por consumo humano:.....	137
Tabla 30: Resultados de encuesta agrícola	137



Tabla 31: Resultados encuesta pecuaria	138
Tabla 32: Clasificación de cuencas en función al Coeficiente de compacidad	140
Tabla 33: Resumen del diagrama fluvial de la microcuenca.....	142
Tabla 34: Longitud de las curvas de nivel dentro de la cuenca.....	144
Tabla 35: Cuadro de alturas de la microcuenca.....	145
Tabla 36: Índice de pendiente.....	147
Tabla 37: Parámetros morfológicos de la microcuenca.....	148
Tabla 38: Temperatura media mensual - Estación Urubamba	160
Tabla 39: Temperatura media mensual - Estación Pisac	161
Tabla 40: Temperatura media mensual - Estación Kayra.....	162
Tabla 41: Temperatura media mensual - Estación Calca	163
Tabla 42: Temperatura media mensual	164
Tabla 43: Datos de periodos en la Estación de Calca.....	170
Tabla 44: Datos de dos periodos de la estación de Calca.....	177
Tabla 45: Tabla de dos periodos de la estación de Kayra	184
Tabla 46: Valores de humedad relativa de Estación Anta.....	187
Tabla 47: Valores corregidos de humedad relativa de Estación Anta.....	188
Tabla 48: Datos originales de precipitación de las estaciones en estudio	190
Tabla 49: Coeficientes de correlación entre las estaciones	193
Tabla 50: Análisis de regresión entre Kayra y Calca	193
Tabla 51: Análisis de regresión entre Urubamba y Calca	193
Tabla 52: Valores de precipitación del mes de junio de los años 1988 a 1993.....	194
Tabla 53: Resumen de la regresión múltiple entre Kayra y Urubamba.....	194
Tabla 54: Conglomerado entre Urubamba y Calca	194
Tabla 55: Valores de precipitación completados para el mes de Junio	195
Tabla 56: Precipitación corregida por matrices de la estación de Anta.....	196
Tabla 57: Precipitación corregida por matrices de la estación de Pisac	197
Tabla 58: Precipitación corregida por matrices de la estación de Urubamba	198
Tabla 59: Precipitación corregida por matrices de la estación de Calca	199
Tabla 60: Precipitación corregida por matrices de la estación de Kayra.....	200
Tabla 61: Cuadro consolidado de Temperatura Media Mensual.....	203



Tabla 62: Temperatura Máxima Mensual	204
Tabla 63: Cuadro completado Temperatura máxima mensual.....	205
Tabla 64: Temperatura mínima mensual	206
Tabla 65: Cuadro completado de temperatura mínima mensual	207
Tabla 66: Humedad relativa media mensual	208
Tabla 67: Cuadro completado de humedad relativa media mensual	209
Tabla 68: Información de las estaciones meteorológicas	210
Tabla 69: Coeficientes de correlación	210
Tabla 70: Coeficientes de correlación - Precipitación.....	213
Tabla 71: Resumen de coeficientes por distribución.....	213
Tabla 72: Precipitación total mensual corregida	214
Tabla 73: Factores de influencia para precipitación.....	215
Tabla 74: Consolidado de factores de influencia.....	216
Tabla 75: Precipitación total mensual regionalizada.....	217
Tabla 76: Calculo de los coeficientes de correlación	218
Tabla 77: Precipitación máxima en 24 horas corregida	219
Tabla 78: Factores de influencia para la precipitación máxima en 24 hr	220
Tabla 79: Consolidación factores de influencia para las estaciones.....	220
Tabla 80: Precipitación máxima en 24 horas regionalizada.....	221
Tabla 81: Coeficientes de correlación para temperatura media	222
Tabla 82: Temperatura mensual corregida por microcuencia	223
Tabla 83: Factores de influencia por microcuencia.....	224
Tabla 84: Temperatura media regionalizada	225
Tabla 85: Coeficientes de correlación de temperatura media.....	226
Tabla 86: Factores de influencia por estación - Temperatura media.....	228
Tabla 87: Factores de influencia consolidado - Temperatura media.....	228
Tabla 88: Temperatura media regionalizada	229
Tabla 89: Coeficientes de correlación - Temperatura mínima	230
Tabla 90: Factores de influencia por estación - Temperatura mínima	232
Tabla 91: Factores de influencia total - Temperatura mínima.....	232
Tabla 92: Temperatura mínima corregida	233



Tabla 93: Coeficientes de correlación por estación - Temperatura mínima.....	235
Tabla 94: Temperaturas mínimas corregidas por microcuenca.....	235
Tabla 95: Factores de influencia por estación - Temperatura mínima	236
Tabla 96: Factor de influencia total por estación - Temperatura mínima	237
Tabla 97: Temperatura mínima regionalizada.....	238
Tabla 98: Evaporación de la microcuenca de Piuray	239
Tabla 99: Evaporación de la Estación de Urubamba.....	239
Tabla 100: Evaporación completada mediante HIDROESTA.....	240
Tabla 101: Inventario de lagunas de la microcuenca	241
Tabla 102: Cálculo de evaporación en m ³ /s.....	241
Tabla 103: Datos requeridos para obtención de evapotranspiración	242
Tabla 104: Cobertura vegetal de la microcuenca	243
Tabla 105: Evapotranspiración de la microcuenca.....	244
Tabla 106: Cálculo de caudales aforados	246
Tabla 107: Consolidado de caudales mensuales aforados.....	246
Tabla 108: Umbral de escorrentía medio	248
Tabla 109: Parámetro excedente.....	249
Tabla 110: Cálculo de la retención de la cuenca	249
Tabla 111: Correlación por latitud	250
Tabla 112: Interpolación de correlación por latitud	251
Tabla 113: Cálculo de caudales generados.....	252
Tabla 114: Comparación entre caudales generados y aforados.....	253
Tabla 115: Análisis de regresión múltiple.....	254
Tabla 116: Valores de regresión múltiple	254
Tabla 117: Prueba T para medias de dos muestras emparejadas.....	255
Tabla 118: Temperatura media mensual	256
Tabla 119: Temperatura media anual	256
Tabla 120: Temperatura media mensual corregida	257
Tabla 121: Horas sol mensuales - n.....	258
Tabla 122: Interpolación de las estaciones con la microcuenca.....	258
Tabla 123: Horas sol diarias	259



Tabla 124: Horas máximas sol por día	259
Tabla 125: Interpolación de horas sol máxima diaria.....	260
Tabla 126: Relación n/N para la microcuenca.....	260
Tabla 127: Cuadro de radiación extraterrestre media diaria.....	261
Tabla 128: Interpolación de radiación extraterrestre diaria.....	262
Tabla 129: Radiación extraterrestre media diaria.....	262
Tabla 130: Cálculo de ETP por radiación	263
Tabla 131: Calculo de ETP por radiación por mes.....	263
Tabla 132: Cálculo de parámetros para precipitación de años de calibración.....	264
Tabla 133: Cálculo de parámetros para precipitación de años de validación.....	264
Tabla 134: Cálculo de retención de la cuenca	265
Tabla 135: Coeficiente de escurrimiento para calibración	266
Tabla 136: Coeficiente de escurrimiento para validación	266
Tabla 137: Déficit de escurrimiento para calibración	266
Tabla 138: Déficit de escurrimiento para validación.....	267
Tabla 139: Panoramas para el cálculo de agotamiento	267
Tabla 140: Resultados y determinación del panorama.....	268
Tabla 141: Condicionales para determinar la precipitación efectiva	268
Tabla 142: Valores para la elaboración de curvas	269
Tabla 143: Coeficientes de precipitación efectiva.....	269
Tabla 144: Cálculo de las curvas de precipitación	270
Tabla 145: Valores de abastecimiento para meses de lluvias.....	271
Tabla 146: Gasto y abastecimiento de la microcuenca.....	272
Tabla 147: Caudales medios mensuales generados	272
Tabla 148: Comparativa entre caudales generados y aforados.....	273
Tabla 149: Comparación entre caudales generados y aforados - Calibración.....	275
Tabla 150: Análisis de regresión múltiple - Calibración	276
Tabla 151: Datos de la regresión múltiple - Calibración.....	277
Tabla 152: Prueba T para medias de dos muestras emparejadas - Calibración.....	277
Tabla 153: Comparación entre caudales generados y aforados - Validación.....	278
Tabla 154: Análisis de regresión múltiple - Validación	278



Tabla 155: Datos del análisis de regresión múltiple - Validación.....	279
Tabla 156: Prueba T para medias de dos muestras emparejadas - Validación.....	279
Tabla 157: Balance de la microcuenca de la Laguna de Piuray	280
Tabla 158: Cálculo de la variación volumétrica en la laguna de Piuray	281
Tabla 159: Cálculo de la infiltración en la Laguna de Piuray	281
Tabla 160: Población de la microcuenca.....	282
Tabla 161: Método aritmético	282
Tabla 162: Método interés simple	283
Tabla 163: Método geométrico	284
Tabla 164: Método de la parábola	285
Tabla 165: Método de la parábola - constantes	285
Tabla 166: Método de incrementos variables - resultados	286
Tabla 167: Métodos de incrementos variables - datos	286
Tabla 168: Método de curva logística - datos.....	287
Tabla 169: Método de curva logística - resultados.....	287
Tabla 170: Método de mínimos cuadrados - datos.....	287
Tabla 171: Crecimiento aritmético.....	288
Tabla 172: Crecimiento geométrico	288
Tabla 173: Método de mínimos cuadrados	288
Tabla 174: Crecimiento poblacional consolidado	289
Tabla 175: Cálculo de consumo humano	289
Tabla 176: Área de terrenos de cultivo.....	291
Tabla 177: Determinación de inicio y fin de cultivo	292
Tabla 178: Porcentaje de crecimiento de los cultivos	292
Tabla 179: Coeficiente de Cultivo Kc	293
Tabla 180: Grupos de coeficiente de Cultivo Kc	293
Tabla 181: Determinación del coeficiente de cultivo KC	294
Tabla 182: Ponderación de coeficiente de cultivo KC	294
Tabla 183: Ejemplo de cálculo de demanda.....	295
Tabla 184: Demanda calculada por mes.....	296
Tabla 185: Consumo promedio	297



Tabla 186: Procesamiento de datos pecuarios	298
Tabla 187: Demanda de agua para consumo pecuario mensual.....	299
Tabla 188: Precipitación total mensual regionalizada.....	299
Tabla 189: Precipitación efectiva mensual.....	300
Tabla 190: Precipitación efectiva de la microcuenca	300
Tabla 191: Disponibilidad hídrica de los manantes de la microcuenca	301
Tabla 192: Disponibilidad hídrica de los manantes.....	301
Tabla 193: Caudal ecológico medio mensual.....	302
Tabla 194: Balance hídrico de la microcuenca.....	303
Tabla 195: Prioridades de datos introducidos al modelo WEAP	308
Tabla 196: Aforos mensuales por microcuenca	312
Tabla 197: Métodos estadísticos de evaluación para calibración.....	314
Tabla 198: Parámetros estadísticos de calibración.....	315
Tabla 199: Parámetros estadísticos de calibración.....	315
Tabla 200: Aporte de los manantes al balance hídrico.....	318
Tabla 201: Precipitación total anual	319
Tabla 202: Caudales aforados.....	320
Tabla 203: Caudales generados por modelamiento Lutz Scholz.....	321
Tabla 204: Caudales aforados en campo	321
Tabla 205: Cálculo del caudal de demanda agrícola	322
Tabla 206: Crecimiento del cultivo en porcentaje.....	323
Tabla 207: Determinación de Kc por tipo de cultivo	323
Tabla 208: Determinación del Kc Ponderado	324
Tabla 209: Caudal de demanda agrícola	324
Tabla 210: Datos requeridos para cálculo de ETP mediante Hargreaves.....	324
Tabla 211: Procesamiento de datos de ETP de 1998 a 2019.....	325
Tabla 212: Eficiencia de conducción externa.....	325
Tabla 213: Eficiencia de conducción interna	325
Tabla 214: Eficiencia de conducción interna	326
Tabla 215: Producción pecuaria (enero – abril)	327
Tabla 216: Producción pecuaria (mayo - agosto).....	327



Tabla 217: Producción pecuaria (septiembre - diciembre).....	328
Tabla 218: Consumo pecuario mensual	328
Tabla 219: Demanda poblacional	329
Tabla 220: Demanda poblacional calculada.....	329
Tabla 221: Evaporación de la laguna de Piuray	330
Tabla 222: Inventario de lagunas.....	330
Tabla 223: Evaporación de la microcuenca.....	331
Tabla 224: Determinación del caudal ecológico	331
Tabla 225: Caudal ecológico	332
Tabla 226: Demanda extraída por la EPS SEDACUSCO.....	332
Tabla 227: Balance hídrico.....	333
Tabla 228: Dotación de la microcuenca y zona urbana de Chinchero	335
Tabla 229: Dotación de la ciudad de Cusco y Chinchero.....	336
Tabla 230: Resumen de balance hídrico para el año 2019 (MMC).....	343
Tabla 231: Resumen de balance hídrico para el año 2040 (MMC).....	344
Tabla 232: Caudales generados bajo el modelo Lutz Scholz	344
Tabla 233: Caudal proyectado del sector agrario	345
Tabla 234: Caudal proyectado del sector pecuario.....	346
Tabla 235: Demanda poblacional (MMC) en función a los escenarios	347
Tabla 236: Demanda natural (MMC) de la microcuenca	348
Tabla 237: Volumen de demanda (MMC) consolidado	348
Tabla 238: Demanda hídrica en función al escenario (m ³ /s).....	349
Tabla 239: Demanda por consumo humano – Ciudad de Cusco (m ³ /s)	350
Tabla 240: Demanda por consumo humano – Zona urbana de Chinchero (m ³ /s).....	¡Error!

Marcador no definido.



CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Identificación del problema

1.1.1. Descripción del problema

La laguna de Piuray ha sido la fuente de abastecimiento de la ciudad del Cusco desde 1950, suministrando de forma continua a un gran porcentaje de la población. Hasta el año 2000 la laguna cubría en un 90% la demanda de la ciudad, sin embargo, frente a situaciones adversas que se presentaron a causa de la intensiva extracción y de fenómenos meteorológicos dicho porcentaje fue reducido a un 30% (los sectores beneficiarios son expuestos en la Tabla N° 01).

Tabla 1: Zonas de abastecimiento de la laguna de Piuray en la ciudad del Cusco

LOCACIÓN	DISTRITO	VOL. M3
PUQUIN	SANTIAGO	455
PICCHU - CENTRO HISTÓRICO	SANTIAGO	931
SEPTIMA CUADRA	CUSCO	70
MARISCAL GAMARRA	CUSCO	388
UCCHULLO ALTO	CUSCO	70

Fuente: (E.P.S. SEDACUSCO S.A., 2018)

Entre los años 1998 y 2000 la laguna de Piuray sufrió un descenso en el nivel de agua considerable, esto a causa de la falta de lluvias generadas por el fenómeno del niño, así como la extracción por parte de la EPS Sedacusco. Dicho fenómeno ocasionó a su vez tres deslizamientos por los cuales se perdieron cerca de 100 hectáreas, casi en su totalidad destinadas a la agricultura.

En la actualidad la EPS Sedacusco destina al manejo sostenible del recurso hídrico en la microcuenca un 4.8% del monto recaudado de cada recibo, sin embargo, también se debe tener en consideración el crecimiento poblacional y el impacto que este tendrá en la microcuenca en años venideros. Es por ello que el presente estudio pretende evaluar posibles escenarios al año 2040, teniendo como principal factor el crecimiento demográfico, sin descuidar aspectos importantes como el impacto del cambio climático y crecimiento agropecuario de la región.

El 2006 la ONU publicó el “Informe sobre Desarrollo Humano 2006: Más allá de la escasez: Poder, pobreza y crisis mundial del agua. PNUD, 2006” dentro del cual describen porqué la escasez de agua se ha convertido en un problema en todos los continentes, y aunque cabe destacar que el Perú es un país con una riqueza hídrica nada despreciable, dicho informe nos ubica como un país en “Escasez económica del agua”, es decir, el Perú no cuenta con la infraestructura necesaria para transportar el agua desde ríos y acuíferos hacia los sectores que requieren el agua.

Fig. N° 1. Clasificación según la escasez física y/o económico de agua



(Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos WWAP, 2012)

1.1.2. Formulación interrogativa del problema

1.1.2.1. Formulación interrogativa del problema general

¿Cuál será el resultado de la evaluación del balance hídrico de la cuenca de la laguna de Piuray para el escenario más desfavorable evaluado por el modelo WEAP en el año 2040, con fines de abastecimiento para la ciudad de Cusco y Chinchero?

1.1.2.2. Formulación interrogativa de los problemas específicos

- **Problema Específico 01:** ¿Cuál es la oferta hídrica anual en la microcuenca de la laguna de Piuray en el año 2019 y cuanto disminuirá en el año 2040?
- **Problema Específico 02:** ¿Cuál es la demanda hídrica anual en la microcuenca de la laguna de Piuray en el año 2019 y cuanto incrementará en el año 2040?



- **Problema Específico 03:** ¿Cuál será la mayor demanda hídrica dentro de los escenarios evaluados por el modelo WEAP al año 2040 para microcuenca de la laguna de Piuray con fines de abastecimiento para la ciudad de Cusco y Chinchero?

1.2. Justificación e importancia de la investigación

1.2.1. Justificación técnica

La presente investigación se desarrolla dentro de la rama de Hidrología, correspondiente a la Ingeniería Civil. La investigación se justifica en los principios de la Hidrología y el modelamiento del balance hidrológico de una cuenca, en la cual analizaremos la oferta hídrica disponible y la demanda antrópica correspondientes al sector urbano, agrario y pecuario, analizando diferentes escenarios de demanda del recurso.

Según datos preliminares obtenidos en “Plan de gestión de recursos hídricos de la microcuenca de la laguna de Piuray”, realizado por el Centro Guamán Poma de Ayala, la microcuenca posee un superávit de 3.68 millones de metros cúbicos anuales que podrían ser aprovechados, sin embargo, dicho estudio fue realizado el año 2013, las condiciones de demanda y oferta incrementan y disminuyen respectivamente con el paso de los años, por lo cual se hace necesario realizar un seguimiento más exhaustivo al balance hídrico anual de la microcuenca.

1.2.2. Justificación social

La información brindada en la presente investigación podrá ser empleado por entidades como la EPS SEDACUSCO, SENAMHI, la Municipalidad de Chinchero, etc., como sustento científico-técnico al momento de generar planes para el manejo y gestión del recurso hídrico de la microcuenca.

Los estudiantes de carreras afines a la ingeniería civil, tanto de la Universidad Andina del Cusco como otros centros de estudios, serán beneficiados con la presente investigación puesto que la metodología empleada puede servir de base para tesis o investigaciones relacionadas al análisis de cuencas hidrográficas.

1.2.3. Justificación por viabilidad

Para considerar viable nuestra investigación se realizó un análisis de acceso a información, software y vías de acceso a la zona de estudio.



La información de las estaciones meteorológicas empleadas para la investigación fue suministrada por instituciones como el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), y la EPS SEDACUSCO.

Para el procesamiento de información se emplearon una serie de software dentro de los cuales tenemos al Civil3D, HEC-HMS, HIDROESTA, WEAP, CROPWAT, MICROSOFT EXCEL, ARCGIS, este último sirvió para realizar el modelamiento hidrológico, así como el mapeo de los resultados obtenidos.

La microcuenca de la laguna de Piuray cuenta con vías de acceso (en su totalidad trochas carrozables) que nos permitieron realizar diversas tomas de datos como aforo de caudales, toma de muestras para la obtención de contenido de humedad, observación de las áreas de cultivo, además de rápido acceso a los diferentes centros poblados donde fueron realizadas encuestas que nos brindó información del sector agropecuario.

1.2.4. Justificación por relevancia

Consideramos relevante la investigación debido al diagnóstico sobre la situación actual de la relación entre la oferta hídrica y la demanda antrópica, así como la proyección realizada para años venideros, lo cual, de ser diagnosticado a tiempo concientizaría las instituciones pertinentes para generar planes de contingencia en diferentes rubros, tales como infraestructura o sensibilización.

El 2006 la ONU publicó un informe “Informe sobre Desarrollo Humano 2006: Más allá de la escasez: Poder, pobreza y crisis mundial del agua. PNUD, 2006” donde catalogaba al Perú como un país con “escasez económica de agua” lo que quiere decir que, aunque nuestro país cuenta con una riqueza hídrica considerable carecemos de la infraestructura necesaria para conducir dicha agua a las zonas donde se requiere.

La presente investigación podría ser tomada como un punto de inicio para ver alternativas de solución a un uso más consciente del recurso hídrico dentro de la zona de influencia de la cuenca.



1.3. Limitaciones

Nuestra tesis se ve limitada al estudio de aguas superficiales, puesto a que los parámetros necesarios para el estudio de aguas subterráneas requieren equipo más especializado cuyo acceso se ve dificultado por la economía.

La investigación está limitada geográficamente para el estudio de la microcuenca de la laguna de Piuray.

El aforo de algunos cursos de agua se ve limitado por el clima, debido a que muchos de ellos se activan únicamente en presencia de lluvias, en ausencia de las cuales la presencia de agua es casi nula.

La accesibilidad a las diferentes microcuencas se ve limitada por las vías de acceso, en su totalidad trochas carrozables con nula señalización, por lo cual nos fue necesario solicitar a los dirigentes de las comunidades acompañarnos para ubicar las lagunas y cursos de agua con mayor facilidad.

El estudio no plantea una propuesta de gestión hídrica, únicamente puede ser tomado como base científico-técnico para futuros proyectos de investigación centrados en la gestión de los recursos hídricos ofrecidos por la microcuenca.

Para acceder a los datos necesarios para realizar el modelamiento hidrológico fue necesario solicitar información a las entidades pertinentes. Se solicitó información meteorológica de las estaciones de Anta, Calca, Kayra, Pisac y Urubamba al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI, mientras que la información meteorológica de la estación ubicada en la laguna de Piuray fue suministrada por la EPS SEDACUSCO. Solicitar la información a las entidades antes mencionadas, contempla una serie de trámites que, en su mayoría, poseían plazos que dificultaron un desarrollo fluido de la investigación.

Los datos del sector agropecuario tenían que ser lo más actualizados posibles, por ello fue pertinente realizar una encuesta y aplicarla a los productores pertenecientes a la zona de influencia de la cuenca. La evaluación de la muestra nos arrojó como resultado una cantidad muy grande de encuestados, muchas de los cuales son reacios a brindar información sobre su



actividad agropecuaria, por lo que consideramos necesario aplicar otra modalidad de evaluación y así reducir la cantidad de la muestra.

Los modelamientos hidrológicos requerían un considerable número de datos de aforos de caudales en campo para poder calibrar y evaluar que método era el óptimo para la investigación, sin embargo, la estación meteorológica ubicada dentro de la microcuenca no posee datos de caudales, por lo cual fue necesario realizar aforos de los diferentes flujos de agua en la microcuenca, dichos aforos fueron realizados durante todo el 2019. Los datos obtenidos con los aforos fueron suficientes para validar los datos obtenidos con el modelo Temez, sin embargo, el modelo Lutz Scholz requería una mayor cantidad de datos, lo cual fue una limitante considerando la precisión de los datos.

Los modelos hidrológicos Temez y Lutz Scholz requieren datos de aforo en campo para realizar calibraciones y así obtener datos más ajustados a la realidad, sin embargo, para la siguiente investigación únicamente fueron aforados datos mensuales durante el año 2019.

Se realizó ensayos de infiltración en una zona similar al estrato impermeable de la laguna de Piuray, sin embargo, los resultados extraídos no correspondían a la de un material de dichas características, por lo cual la infiltración de la laguna fue incluida dentro de la variación volumétrica del balance hídrico de la cuenca.

1.4. Objetivos de la investigación

1.4.1. Objetivo general

Evaluar el balance hídrico de la cuenca de la laguna de Piuray considerando el escenario más desfavorable para el año 2040 evaluado por el modelo WEAP, con fines de abastecimiento para la ciudad de Cusco y Chinchero.

1.4.2. Objetivo específico

- **Objetivo Específico 01:** Determinar la oferta hídrica anual de la microcuenca de la laguna de Piuray en el año 2019 y en cuanto se reducirá en el 2040.
- **Objetivo Específico 02:** Determinar la demanda hídrica anual de la microcuenca de la laguna de Piuray en el año 2019 y en cuanto se incrementará en el año 2040.



- **Objetivo Específico 03:** Determinar la mayor demanda hídrica dentro de los escenarios evaluados por el modelo WEAP al año 2040 para la microcuenca de la laguna de Piuray con fines de abastecimiento para la ciudad de Cusco y Chinchero.



CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes a nivel nacional

- **Antecedente 01: “Determinación del índice de escasez de agua superficial de la cuenca tributaria Lauramarca; mediante la obtención de la oferta hídrica, evaluando los modelos de Lutz Scholz y GR2M en la cuenca del río Mapacho hasta la estación Paucartambo-Cusco”**

❖ **Por:** Luis Delmiro Mellado Flórez y Shani Alexandra Montes Victorino

❖ **Universidad:** Universidad Andina del Cusco

❖ **País:** Perú

❖ **Ciudad:** Cusco

❖ **Año:** 2017

Para optar por el título profesional de ingeniero civil.

El objetivo principal de la tesis fue determinar el valor del índice de escasez de agua superficial de la cuenca tributaria Lauramarca; mediante la obtención de la oferta hídrica, evaluando los modelos de Lutz Scholz y GR2M en la cuenca del río Mapacho hasta la estación Paucartambo – Cusco.

La presente investigación tuvo como propósito la determinación del índice de escasez de agua superficial de la cuenca tributaria Lauramarca; para lo cual tras haber obtenido los datos hidrometeorológicos de las estaciones seleccionadas para este estudio, se realizó un análisis de consistencia y completación de los mismos, buscando siempre obtener los mejores valores de R² para las regionalizaciones tanto de la precipitación como de las temperaturas, de manera que se generaron los registros necesarios para la modelación de las cuencas estudiadas. Luego se prosiguió con la aplicación, calibración y validación de los modelos de generación de caudales escogidos, aplicándolos en primer lugar en la cuenca del río Mapacho, comparando los caudales generados con los aforos de la estación hidrométrica de Paucartambo, determinándose así que el modelo Lutz Scholz logra un mejor ajuste en comparación con el modelo GR2M en esta cuenca; posteriormente se aplicaron los mismos en las microcuencas que componen la cuenca tributaria Lauramarca, donde el modelo GR2M consiguió un mejor ajuste que el de Lutz Scholz, motivo por el cual se tomó la decisión de



utilizar el primero para la generación de la oferta hídrica superficial disponible al 75% de persistencia; que, con la aplicación de los coeficientes de reducción (coeficiente de reducción por calidad y coeficiente de reducción por caudal ecológico), se logró obtener el valor de la oferta hídrica superficial neta. Paralelamente se calculó la demanda hídrica, mediante encuestas in situ; permitiéndonos obtener el valor del índice de escasez de agua superficial de la cuenca tributaria Lauramarca, ubicándose en el rango “medio”, puesto que se obtuvo 14.60%, valor que indica que la cuenca tributaria Lauramarca aún no presenta problemas sobre el manejo y aprovechamiento de sus recursos hídricos, sin embargo, esta situación podría cambiar en unos años, si no se implementa un plan de manejo en la optimización del uso del recursos hídrico a tiempo.

De la presente investigación podemos extraer:

- El estudio fue realizado a una cuenca de un contexto similar, por lo que podemos dar validez a que el modelo determinístico Lutz Scholz tiene un ajuste adecuado para ser empleado en nuestra cuenca de estudio.
- Al igual que en el Antecedente 01, en la investigación no se consideró la determinación de la oferta hídrica del agua subterránea.
- La investigación tomo en cuenta un total de 8 estaciones meteorológicas, tomando un total de 15 años de registro hidrometeorológicos. Para seleccionar las estaciones a considerar evaluaron el comportamiento con estaciones vecinas, descartando las que tenían un comportamiento inverso a las contiguas.
- Las unidades agropecuarias fueron seleccionadas según su dinámica de explotación, accesibilidad, empadronamiento y diversificación de actividad. Modalidad adoptada por la presente investigación.
- Para la recolección de datos hidrogeológicos se valieron del software ARCGIS, en su versión 10.3, esto debido a que en la actualidad el mencionado software es considerado como la plataforma líder mundial para crear y utilizar sistemas de información geográfica (SIG), misma razón por la cual dicho software fue utilizado en la presente investigación.



▪ **Antecedente 02: “Estudio del Plan de Gestión Integral de los Recursos Hídricos de la Microcuenca de la Laguna Piuray”**

- ❖ **Por:** Centro Guamán Poma de Ayala
- ❖ **País:** Perú
- ❖ **Ciudad:** Cusco
- ❖ **Año:** 2013

El presente informe, creado el año 2013 por el Centro Guamán Poma de Ayala y financiado por la EPS SEDACUSCO, nos presenta un análisis general de la Microcuenca de la laguna de Piuray, abarcando diversos aspectos como una proyección de los recursos hídricos disponibles en la microcuenca, un enfoque de desarrollo sostenible, entre otros.

De la presente investigación podemos extraer:

- El capítulo 4 de la investigación recopila características físico naturales, económicas, sociales e institucionales de la microcuenca de la Laguna Piuray, información que resulto importante al momento de hacer una comparativa tanto en los datos actuales como en los proyectados obtenidos por nuestra investigación. Adicionalmente posee información sobre el área de la microcuenca, información importante al delimitar la microcuenca.
- Los planos presentados por la investigación fueron realizados en el software ARCGIS, información que nos motivó a optar por esta herramienta para realizar nuestros mapas, entre los cuales tenemos: base, ubicación, pendiente, geomorfológico, hidrográfico, zonas, microcuencas, hipsométrico, red de drenaje, isoyetas, isotermas, evapotranspiración, entre otros.
- El informe además de realizar un diagnóstico de la situación de la microcuenca formula una gestión de recursos hídricos donde incluye tanto a la población como a las diversas instituciones que tienen influencia directa en la administración de los recursos de la microcuenca.
- Para la obtención de datos de infiltración, realizaron un análisis para realizar las pruebas pertinentes, durante el transcurso de la investigación nos valimos de estas coordenadas para hacer lo propio, esto debido a que las obtenciones de estos datos requerían estudios mucho más exhaustivos a nivel geológico.



- Previo a su análisis de datos antropológicos el Centro Guamán Poma de Ayala determinó la zona de influencia de la microcuenca de la laguna de Piuray, información que fue tomada en cuenta en la presente investigación para determinar el universo de muestras en las encuestas del sector agropecuario.

2.1.2. Antecedentes a nivel internacional.

- **Antecedente 03: “Análisis de impactos del cambio climático en la cuenca andina del río Teno, usando el modelo WEAP”**
 - ❖ **Por:** Diego Ignacio Mena Pardo
 - ❖ **Universidad:** Universidad de Chile
 - ❖ **País:** Chile
 - ❖ **Ciudad:** Santiago de Chile
 - ❖ **Año:** 2009

Para optar por el título profesional de ingeniero civil.

El objetivo principal de la tesis fue el de estimar el impacto del cambio climático en la cuenca definida por la estación fluviométrica Río Teno después de Junta con Río Claro, concretamente en la disponibilidad de sus recursos hídricos a base del escenario A2 en los periodos 2036-2065 y 2071-2100.

De la presente investigación podemos extraer:

- La investigación hace uso del modelo de simulación hidrológica generado por el Instituto del Medio Ambiente SEI (Stockholm Environment Institute), conocido como Water Evaluation And Planning System o simplemente WEAP, en un contexto similar al de la cuenca de la laguna de Piuray.
- El enfoque de la modelación hidrológica de la investigación es la planificación, modelando la operación de los sistemas de recursos hídricos de la cuenca, esto fue desarrollado gracias al Panel Internacional sobre Cambio Climático (IPCC en siglas inglesas), establecido en 1988 por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la Organización Meteorológica Mundial (OMM). El cual determina cuatro familias de escenarios de emisiones, ellos enfocados en dos factores, el crecimiento poblacional en función al medio ambiente y el desarrollo económico.



- Los resultados obtenidos en la investigación demostraron un descenso importante en el caudal de agua disponible en la cuenca, dato que fue utilizado al plantear las hipótesis específicas de nuestra investigación debido a que el contexto es similar.

- **Antecedente 04: “Implementar el sistema de modelación WEAP como herramienta que determine el impacto del cambio climático sobre la disponibilidad del agua en la cuenca del río Machángara”**
 - **Por:** Mayra Alejandra Parra Ullauri
 - **Universidad:** Universidad de Cuenca
 - **País:** Ecuador
 - **Ciudad:** Cuenca
 - **Año:** 2016

Para optar por el título profesional de ingeniería ambiental.

El objetivo principal de la tesis fue el de implementar el sistema de modelación WEAP como herramienta que determine el impacto del cambio climático sobre la disponibilidad de agua en la cuenca del río Machángara para el fortalecimiento de la toma de decisiones frente a la gestión y planificación del recurso hídrico.

La presente tesis analizó escenarios climáticos futuros de cambios en la precipitación y temperatura y su incidencia en la disponibilidad de agua en una cuenca hidrográfica. Se utilizó el modelo de planificación WEAP (Water Evaluation and Planning) como una herramienta que determinara el impacto del cambio climático sobre la disponibilidad del agua en la cuenca del Río Machángara. La implementación del modelo consistió en recopilar datos históricos climatológicos e hidrológicos, además de la cartografía de la zona de estudio de manera que sirvieron de soporte para la misma obteniendo modelos que pueden ser comparados con la realidad actual. Además, el software permitió el uso de escenarios climáticos ECHAM A2 y B2, para para obtener resultados a los cambios producidos por las variaciones de clima sobre el suministro del agua, así los gestores de agua podrían definir y formular estrategias futuras para una planificación y gestión del agua a corto y mediano plazo. Entre los resultados obtenidos del cruce entre la oferta y demanda de agua en el futuro, se tiene que para el caso de la demanda para consumo humano para los meses entre junio y



agosto existirá un déficit de agua para cubrir sus necesidades. Este estudio podría servir para que los gestores del agua tomen una decisión sustentada en un mejor uso posible del recurso hídrico actual y futuro y su correcta administración en la permanente búsqueda de un desarrollo sostenible de la población de la cuenca del río Machángara.

De la presente investigación podemos extraer:

- Para la selección de los escenarios, la investigación se basó en los establecidos por la SRES (Special Report on Emissions Scenarios) (IPCC, 2000), los cuales consideran con especial énfasis en la producción de gases de efecto invernadero y emisiones de aerosoles precursores (Carter et al, 1999), agrupándose en 4 familias, siendo éstos los escenarios A1, A2, B1 y B2. Estos son consistentes con el crecimiento demográfico, el desarrollo socioeconómico y el cambio tecnológico.
- La presente investigación hace uso del algoritmo “Humedad del Suelo”, el más complejo que ofrece el modelo WEAP, esto debido a que ofrece una simulación más acorde a la realidad al incluir dos capas de suelo, cada una con un comportamiento que modificará los valores tanto de escorrentía superficial, evapotranspiración, escorrentía sub-superficial y percolación.
- La investigación hace uso de los posibles escenarios potenciales futuros proyectados en función a los cambios climáticos, esto principalmente debido a que el objetivo principal de la tesis es determinar el impacto del cambio climático sobre la cuenca en estudio, caso contrario al nuestro que considera la disponibilidad hídrica que poseerá la cuenca de la laguna de Piuray en función al crecimiento poblacional, lo que nos permite estimar el porcentaje de variación y la incidencia que tiene cada uno de los factores en el balance hídrico de las cuencas.

2.2. Aspectos teóricos pertinentes

2.2.1. Ciclo hidrológico

Se denomina ciclo hidrológico a la circulación del agua a través de los diferentes elementos presentes en la hidrosfera, aquel espacio que se extiende desde quince kilómetros por encima de la atmósfera hasta un kilómetro bajo la litósfera.

El ciclo hidrológico constituye el centro de estudio de la hidrología, así como la base para comprender los diferentes fenómenos que surgen en base a él.

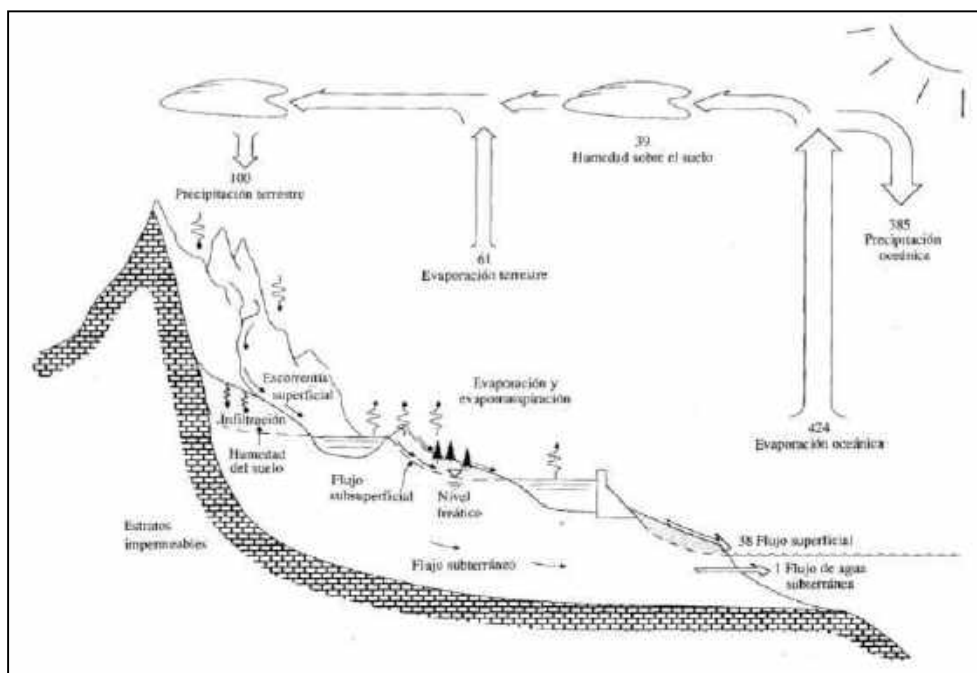


Como se aprecia en la figura N° 2, el agua se evapora desde los océanos, lagos, superficie terrestre, etc. para formar parte de la atmósfera; el vapor de agua se transporta y se eleva en la atmósfera hasta que se condensa y precipita sobre la superficie terrestre o los océanos; el agua precipitada puede ser interceptada por la vegetación, convertirse en un flujo superficial sobre el suelo, infiltrarse en él, correr a través del suelo como flujo subsuperficial y descargar en los ríos como escorrentía superficial. La mayor parte del agua interceptada y de escorrentía superficial regresa a la atmósfera mediante la evaporación. El agua infiltrada puede percolar profundamente para recargar el agua subterránea de donde emerge en manantiales o se desliza hacia ríos para formar la escorrentía superficial, y finalmente fluye hacia el mar o se evapora en la atmósfera a medida que el ciclo hidrológico continúa. (Ven Te Chow, 1994)

Determinar el volumen de agua de la Tierra es complicado, sin embargo, diversos estudios nos brindan proporciones estimadas de volúmenes de agua, tanto dulce como salada. El agua correspondiente a los océanos es la que posee un mayor porcentaje, el cual ascienda a casi el 96.5% de la totalidad de agua del planeta, así mismo tenemos que 1.7% corresponde a hielos polares, 1.7% a manantiales subterráneos siendo únicamente el 0.1% el volumen correspondiente a los sistemas de agua superficial y atmosférica.

Adicionalmente sabemos que las dos terceras partes del agua dulce son hielo polar, gran parte del restante es agua subterránea, la cual se encuentra entre los 200 y 600 m bajo tierra. Los estudios indican que únicamente el 0.006% del agua dulce discurre por los ríos y el 0.003% es agua biológica, fijada en los tejidos de plantas y animales.

Fig. N° 2: Ciclo hidrológico del agua



Fuente: (Ven Te Chow, 1994)

Aunque en porcentaje el agua superficial que discurre por los ríos parezca insignificante, sin inmensos volúmenes de agua que discurren por la superficie continental. La evaporación desde la superficie terrestre consume el 61% de la precipitación siendo el 39% restante conforma la escorrentía hacia los océanos, en su mayoría es un flujo superficial.

2.2.1.1. Ciclo hidrológico sistematizado

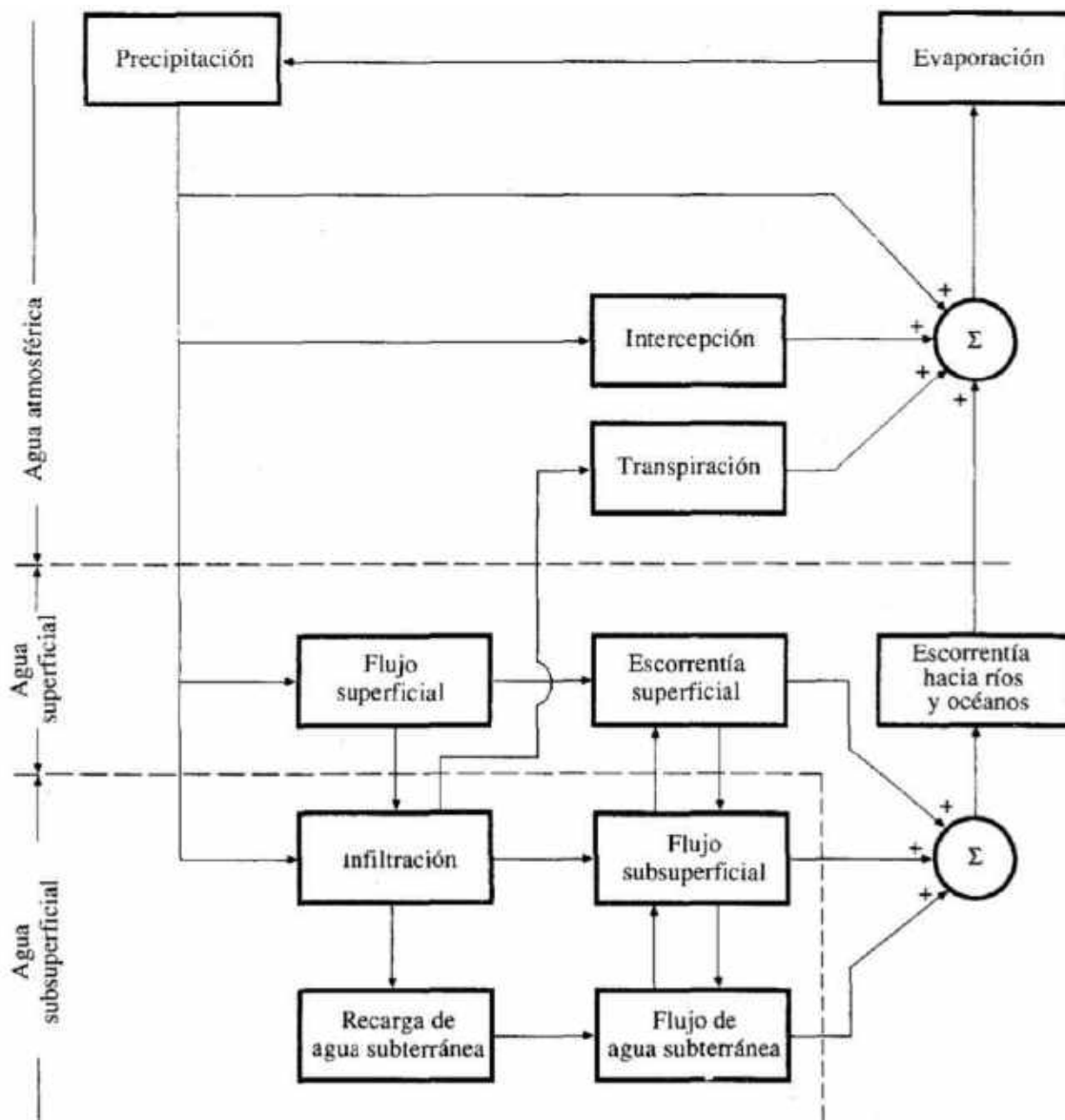
Los fenómenos hidrológicos son en extremo complejos, sin embargo, estos pueden ser representados mediante un sistema, siendo el ciclo hidrológico el todo y sus componentes, como evaporación, escorrentía, etc. subsistemas del ciclo total. Los subsistemas mencionados anteriormente pueden ser analizados por separado y combinar los resultados en función a la interacción los fenómenos en análisis.

La figura N° 3 nos presenta el ciclo hidrológico esquematizado, las líneas puntiagudas nos indican los tres subsistemas presentes en la hidrósfera: el sistema de agua atmosférica, que incluye los fenómenos de la precipitación, evaporación, interceptación y transpiración; el sistema de agua superficial, que contiene los procesos de flujo superficial, escorrentía superficial, nacimientos de agua subsuperficial y subterránea, y escorrentía a ríos y océanos;



finalmente nos presenta el sistema de agua subsuperficial que abarca los procesos de infiltración, flujo subsuperficial y flujo de agua subterránea. Cabe señalar que el flujo de agua subterránea se presenta en estratos profundos de suelo y roca, mientras que el flujo de agua subsuperficial ocurre en la capa del suelo más próxima a la superficie. (Ven Te Chow, 1994).

Fig. N° 3: Ciclo hidrológico sistematizado



Fuente: (Ven Te Chow, 1994)



2.2.1.2. Modelamiento de un sistema hidrológico

La finalidad de analizar un sistema hidrológico es estudiar la operación del mismo y predecir su salida, sin embargo, se requiere aproximar tanto las entradas y salidas del sistema, así como la estructura en general, por lo cual es necesario modelar dichas variables hidrológicas de manera independiente y conectarlas mediante un conjunto de ecuaciones.

Los modelos hidrológicos son divididos en dos categorías:

- Modelos a escala: Representan al sistema en una escala reducida.
- Modelos abstractos: Representan al sistema en forma matemática.

Los sistemas abstractos representan el sistema en forma matemática. La operación del sistema se describe por medio de un conjunto de ecuaciones que relacionan las variables de entrada y salida. Estas variables pueden estar en función del espacio y tiempo, pasando a ser variables probabilísticas o aleatorias, las cuales no tienen un valor fijo en un punto particular del espacio y del tiempo, sin embargo, son descritas por medio de distribuciones de probabilidad. (Ven Te Chow, 1994)

2.2.1.3. Tipos de modelos hidrológicos

Para desarrollar un modelo hidrológico es necesario tener en cuenta tres factores, la variación de los factores en el espacio, variación en el tiempo y aleatoriedad, siendo este último factor el que nos brinda el parámetro para dividir los modelos, teniendo:

- **Modelo determinístico:** No considera aleatoriedad, una entrada dada produce siempre una misma salida. En el presente tipo de modelo no se contempla ninguna incertidumbre.
- **Modelo estocástico:** Tiene salidas que son por lo menos parcialmente aleatorias. Las variables usadas en este tipo de modelo difieren con el tiempo y son alteradas por otros factores externos. Las variables del proceso poseen su propia función de distribución de probabilidad y pueden o no estar correlacionadas entre sí.

2.2.2. Balance hídrico superficial

(Gálvez, 2011) señala que la evaluación de los recursos hídricos de una cuenca requiere de una estimación correcta del balance hidrológico, es decir, comprender el ciclo en sus diferentes fases, la forma en que el agua que se recibe por precipitación y se reparte entre el proceso de evapotranspiración, escorrentía e infiltración.



La ecuación del balance hídrico superficial es simple, siendo la cuantificación de los términos la complejidad del asunto, esto producto de la carencia en el cálculo directo de los mismos.

Dentro de los factores partícipes en el cálculo del balance hídrico superficial tenemos:

- Precipitación (P)
- Evapotranspiración (ET)
- Escorrentía principal (ES)
- Infiltración (I)

La fórmula empleada para calcular el balance hídrico es la siguiente:

$$P = ETR + ES + I \quad \dots (2.1)$$

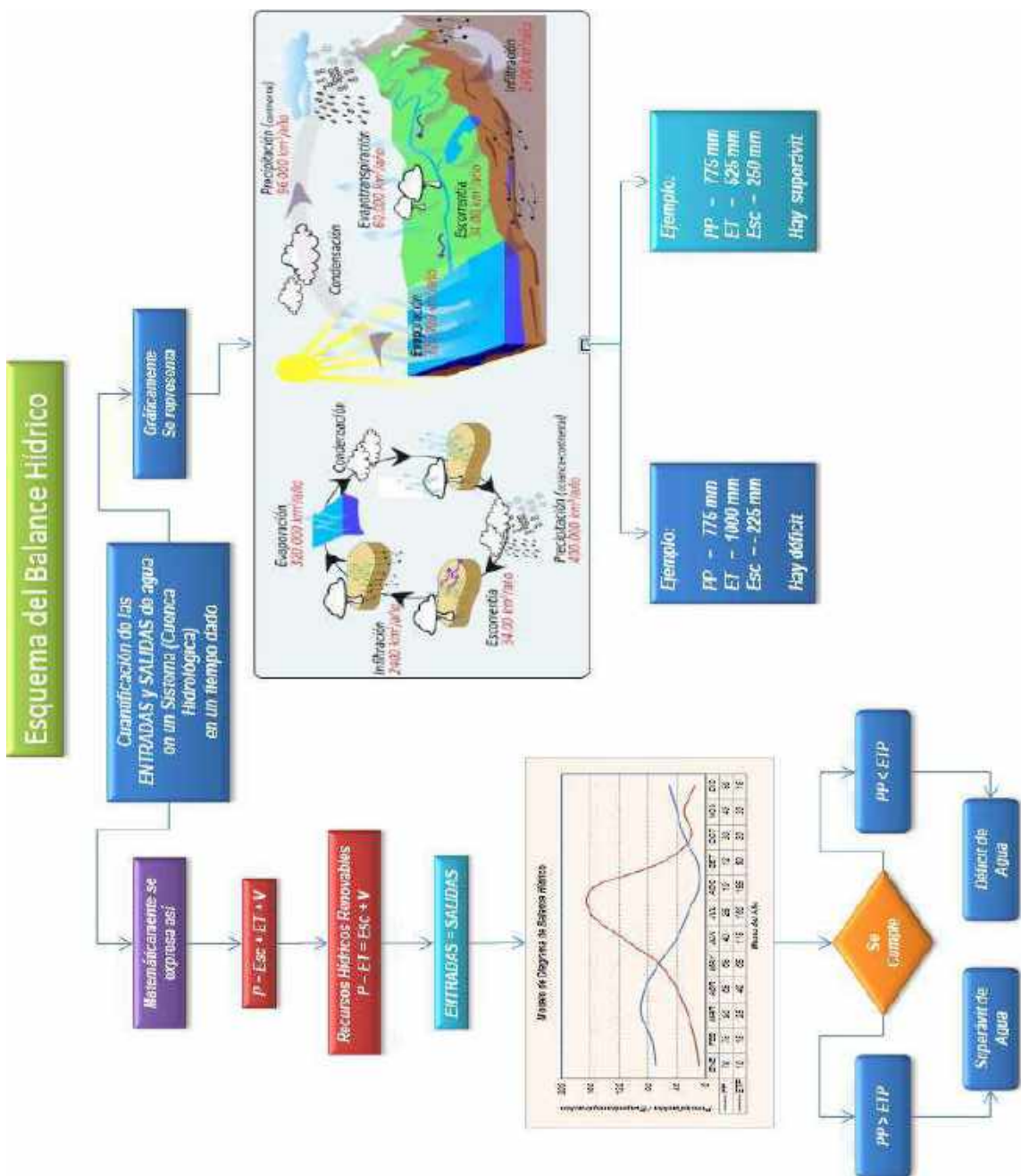
$$CAPTACIÓN - EVAPOTRANSPIRACIÓN = ESCORRENTÍA SUPERFICIAL + INFILTRACIÓN$$

El presente cálculo es un indicador general del estado actual de la cuenca en interés, debido a que nos puede indicar un posible déficit o superávit, esto tal y como muestra la figura N° 4.

Cada componente de la fórmula depende a su vez de factores naturales:

- Captación depende de la precipitación.
- Evapotranspiración depende de la temperatura, tipos de vegetación y usos del suelo.
- Escorrentía e infiltración dependen del tipo de suelo, tipos litológicos, tipo de pendientes, tipos de vegetación y usos del suelo.

Fig. N° 4: Esquema del balance hídrico



Fuente: (Gálvez, 2011)

2.2.3. Parámetros meteorológicos

Todos los modelos tienen como variables diversos procesos que influyen directamente en el ciclo hidrológico, dentro de ellos tenemos:



2.2.3.1. Precipitación.

Según (Ven Te Chow, 1994) la precipitación es el proceso por el cual el agua desciende a la superficie terrestre, lo cual incluye procesos como lluvia, nieve, granizo, nevisca, etc. Para que este fenómeno tenga lugar se requiere que una masa de agua se eleve a un punto tal que se enfríe y parte de su humedad se condense.

La medición de la precipitación es realizada mediante diferentes aparatos, los más comunes son los pluviómetros y pluviógrafos. La medida de lluvia se presenta en función a una altura de caída, la cual es acumulada en una superficie plana e impermeable, esta medición es en función al tiempo.

- **Pluviómetro:** El pluviómetro es un recipiente cilíndrico de lámina, usualmente tiene 20 centímetros de diámetro y 60 de alto. Posee un embudo en la parte superior, conectado con una probeta de sección 10 veces menor a la tapa.

Aunque se acostumbra hacer lecturas cada 24 horas, la medición en el pluviómetro puede hacer en diferentes periodos de tiempo y es usado frecuentemente en zonas de difícil acceso, mediante los pluviómetros totalizadores, que suelen usar anticongelantes para hacer mediciones en periodos de tiempo prolongados.

- **Pluviógrafo:** Usa el mismo concepto que los pluviómetros, captación de agua en diferentes periodos de tiempo, sin embargo, los pluviógrafos nos presentan una información más detallada de la precipitación en el transcurso del tiempo, esto gracias a los pluviogramas que se generan automáticamente debido al movimiento de una aguja ubicada sobre el papel registrador, dicha aguja está acoplada a un sistema de flotadores, que suben o bajan en función a la intensidad de la lluvia.

2.2.3.2. Evaporación

Teóricamente la evaporación es el proceso mediante el cual el agua en estado líquido pasa a estado gaseoso en condiciones naturales, este proceso posee dos factores principales, primero un suministro de energía para proveer el calor latente de vaporización y segundo la facultad de transportar el vapor lejos de la superficie de evaporación.

2.2.3.3. Evapotranspiración

La evapotranspiración es la combinación de dos procesos, evaporación y transpiración, esta última definida como la pérdida de agua hacia a la atmósfera en forma de vapor, esto como



producto de acciones físicas y fisiológicas de los vegetales, ambos procesos expresados en milímetros por unidad de tiempo.

(Sáenz, 1999) señala que existen dos tipos de evapotranspiración:

- **Evapotranspiración potencial:** Se define como la pérdida de agua observada en una superficie líquida o sólida saturada por evaporación y por transpiración de las plantas, que ocurriría en el caso que hubiera un adecuado abastecimiento de humedad de agua al suelo en todo momento,
- **Evapotranspiración real:** Pérdida de agua observada en una superficie líquida o sólida saturada, en las condiciones reinantes atmosféricas y de humedad del suelo, por fenómenos de evaporación y de transpiración de las plantas.

Para determinar la evapotranspiración potencial tenemos entre otros los siguientes métodos:

2.2.3.3.1. Método Hargreaves por radiación

El presente método da mayor importancia a la radiación extraterrestre equivalente mensual en el cual influyen además de la ubicación de la zona de estudio, los días del mes de interés.

El primer valor a calcular es la radiación extraterrestre equivalente mensual, para lo cual nos valemos de la siguiente expresión:

$$RMM = Ra * DM \quad \dots (2.6)$$

Donde:

- RMM = Radiación extraterrestre equivalente mensual
- Ra = Radiación extraterrestre diaria
- DM = Días del mes de interés

Para obtener la radiación extraterrestre diaria usamos la siguiente tabla:



Tabla 2: Radiación extraterrestre diaria

Latitud Sur	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
0	15	15.5	15.7	15.3	14.4	13.9	14.1	15.6	15.3	15.4	15.1	14.8
2	15.3	15.7	15.7	15.1	14.1	13.5	13.7	14.5	15.2	15.5	15.3	15.1
4	15.5	15.8	15.6	14.9	13.8	13.2	13.4	14.3	15.1	15.6	15.5	15.4
6	15.8	16	15.6	14.7	13.4	12.8	13.1	14	15	15.7	15.8	15.7
8	16.1	16.1	15.5	14.4	13.1	12.4	12.7	13.7	14.9	15.8	16	16
10	16.4	16.3	15.5	14.2	12.8	12	12	13.5	14.3	15.9	16.2	16.2
12	16.6	16.3	15.4	14	12.5	11.6	12	13.2	14.7	15.8	16.4	16.5
14	16.7	16.4	15.3	13.7	12.1	11.2	11.6	12.9	14.5	15.8	16.5	16.5
16	16.9	16.4	15.2	13.5	11.7	10.8	11.2	12.6	14.3	15.8	16.7	16.8
18	17.1	16.5	15.1	13.2	11.4	10.4	10.8	12.3	14.1	15.8	16.8	17.1
20	17.3	16.5	15	13	11	10	10.4	12	12.9	15.8	17	17.4

Fuente: (Villón, Hidrología, 2002)

Teniendo la latitud de la zona de estudio ubicamos los valores superiores e inferiores en la tabla y realizamos una interpolación, gracias a la cual tendremos valores de Ra para todos los meses.

Lo siguiente es obtener el valor de RSM, mediante la siguiente ecuación:

$$RSM = 0.075 * RMM * \left(\frac{n}{N}\right)^{0.5} \dots (2.7)$$

Donde:

- RMM = Radiación extraterrestre equivalente mensual
- n = Horas de sol media diaria
- N = Número de horas de sol máxima media diaria

El valor de “n” se obtiene mediante los datos de la cuenca o zona de interés, mientras que el valor de N lo extraemos de la siguiente tabla:

Tabla 3: Horas de sol media diaria

Latitud Sur	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
0	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1
5	12.3	12.3	12.1	12	11.9	11.8	11.8	11.9	12	12.2	12.3	12.4
10	12.6	12.4	12.1	11.8	11.6	11.5	11.6	11.8	12	12.3	12.6	12.7
15	12.9	12.6	12.2	11.8	11.4	11.2	11.3	11.6	12	12.5	12.8	13
20	13.2	12.8	12.3	11.7	11.2	10.9	11	11.5	12	12.6	13.1	13.3
25	13.5	13	12.3	11.6	10.9	10.6	10.7	11.3	12	12.7	13.3	13.7
30	13.9	13.2	12.4	11.5	10.6	10.2	10.4	11.1	12	12.9	13.6	14
35	14.3	13.5	12.4	11.3	10.3	9.8	10.1	11	11.9	13.1	14	14.5
40	14.7	13.7	12.5	11.2	10	9.3	9.6	10.7	11.9	13.3	14.4	15

Fuente: (Villón, Hidrología, 2002)



Se obtiene un factor de corrección que está en función a la altura media de la cuenca, aplicando la siguiente fórmula:

$$FA = 1 + \left(\frac{0.06 * H}{1000} \right) \dots (2.8)$$

Donde:

- FA = Factor de corrección por altitud
- H = Altura media de la cuenca (m.s.n.m.)

Como último paso obtenemos el valor de la evapotranspiración mediante la siguiente expresión:

$$ETP = 0.0075 * RSM * TM * FA \dots (2.9)$$

Donde:

- ETP = Evapotranspiración
- TM = Temperatura media (F°)
- FA = Factor de corrección por altitud

2.2.3.4. Infiltración

(Ven Te Chow, 1994) describe la infiltración como el proceso mediante el cual el agua penetra desde la superficie del terreno hacia capas más profundas del suelo. Son muchos los factores que tienen incidencia en dicho proceso, como la condición de la superficie, así como la cobertura vegetal, las propiedades del suelo, entre las cuales destacan la porosidad, contenido de humedad y conductividad hidráulica. Sin embargo, como sabemos el suelo está compuesto por estratos, los cuales comprenden propiedades físicas diferentes en cada “horizonte” es por ello que la infiltración es considerada un proceso complejo.

La infiltración también juega un rol importante al momento de realizar los cálculos hidráulicos para un proyecto de ingeniería, esto debido a que muchas veces el volumen de agua infiltrada es mayor al volumen de escurrimiento en sí.

2.2.3.5. Escorrentía superficial

Cuando la precipitación alcanza la superficie y discurre por la misma, parte queda retenida debido al fenómeno de la infiltración, el excedente discurre por la superficie, siendo este

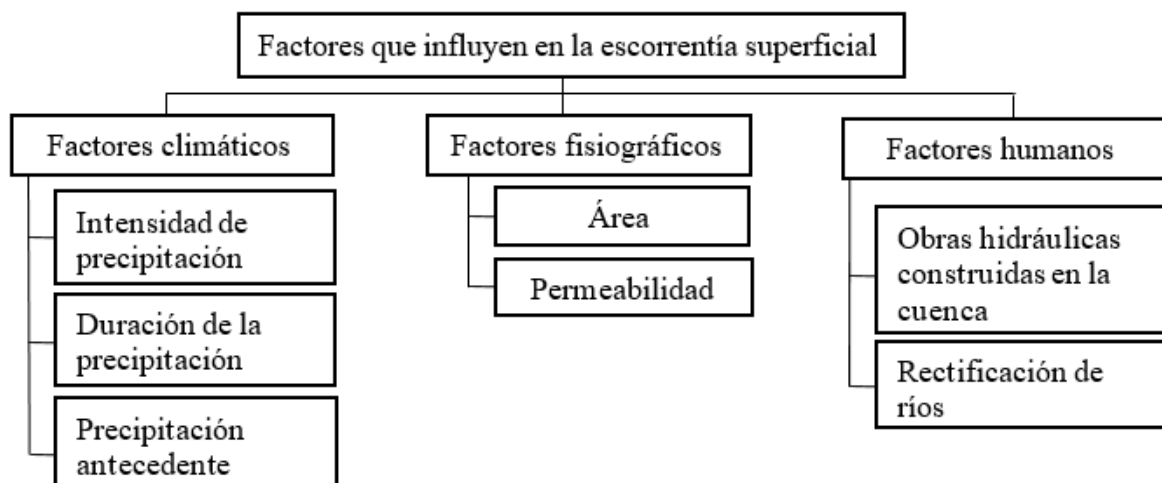
fenómeno denominado escorrentía superficial, el cual desde el punto de vista de la ingeniería es el más importante de medir y predecir.

(Sáenz, 1999) señala que la escorrentía superficial comprende el exceso de la precipitación que corre después de una lluvia intensa y se mueve libremente por la superficie del terreno, y la escorrentía de una corriente de agua, que puede ser alimentada tanto por el exceso de precipitación como por aguas subterráneas.

2.2.3.5.1. Factores que influyen en la escorrentía superficial

El presente esquema presenta los diferentes factores que influyen en la escorrentía, agrupándolos en función a su naturaleza.

Fig. N° 5: Factores que influyen en la escorrentía superficial



Fuente: Elaboración propia

2.2.3.5.2. Variables características de la escorrentía superficial

- **Caudal:** Se define como volumen de escorrentía por unidad de tiempo, las unidades usuales son m³/s o l/s.
- **Coefficiente de escorrentía superficial (C):** Es la relación entre el volumen de agua de escorrentía superficial total y el volumen total de agua precipitado, en un lapso determinado.

$$C = \left(\frac{V_{\text{escorrentía superficial}}}{V_{\text{precipitado total}}} \right)_{\text{intervalo de tiempo}} \quad \dots (2.12)$$

- **Tiempo de concentración (tc):** Corresponde al tiempo que tarda la lluvia del punto más distante hasta el punto de interés.
- **Periodo de retorno (T):** Es el periodo de tiempo promedio en que un determinado evento ocurrirá por lo menos una vez más.
- **Nivel de agua (h):** Corresponde a la altura que alcanza el nivel de agua en función a un punto de referencia.

2.2.4. Cuenca hidrográfica

Según (Mijares, 1992), una cuenca hidrográfica es aquella superficie terrestre en donde (si fuera impermeable) las gotas de lluvia que caen sobre ella tienden a ser drenadas por el sistema de corrientes hacia un mismo punto de salida.

2.2.4.1. Delimitación de la cuenca

La delimitación de una cuenca se realiza mediante una línea imaginaria llamada divortium acuorum (parte aguas), estas se plasman en un plano con curvas de nivel a escala. La divortium acuorum divide a la cuenca en estudio de las adyacentes, y distribuye el escurrimiento generado por la precipitación, la cual en cada cuenca fluye hacia su punto de salida. La mencionada línea imaginaria recorre los puntos ubicados a mayor nivel y parte los flujos de agua en los puntos de salida, llamados estaciones de aforo o puntos de interés.

Fig. N° 6: Delimitación de cuenca



Fuente: (Villón, Hidrología, 2002)



2.2.4.2. Clasificación de cuencas hidrográficas

Las cuencas hidrográficas pueden ser clasificadas por diferentes parámetros, el primero de ellos es la ubicación del punto de salida o punto de interés. Según esta clasificación pueden ser divididas en dos tipos:

- **Endorreicas:** El punto de salida está dentro de los límites de la cuenca y generalmente es un lago.
- **Exorreicas:** El punto de salida se encuentra en los límites de la cuenca y está en otra corriente o en el mar.

2.2.4.3. Características físicas de la cuenca hidrográfica

Las características de la cuenca hidrográfica dependen de factores como la morfología (forma, relieve, red de drenaje, etc.), los tipos de suelos, la capa vegetal, la geología, las prácticas agrícolas, etc. Dichos elementos físicos nos permiten conocer la variación en el espacio de los elementos del régimen hidrológico.

Entre las características más relevantes tenemos:

2.2.4.3.1. Área de drenaje

El área de drenaje de una cuenca corresponde a la proyección horizontal del área generada por la delimitación de la cuenca, posee gran incidencia en la obtención de variables de la cuenca, tales como evapotranspiración, escurrimiento, infiltración, etc.

2.2.4.3.2. Perímetro de la cuenca

El perímetro de la cuenca es la longitud total de la delimitación de la cuenca. Esta característica tiene influencia en variables como factor de forma, longitudes, etc.

2.2.4.3.3. Corriente principal

La corriente principal de una cuenca es la corriente que pasa por la salida de la misma, esta característica aplica únicamente a cuencas exorreicas. El resto de corrientes de una cuenca de este tipo son llamadas corrientes tributarias. Toda cuenca posee solo una corriente principal. (Mijares, 1992)

La cantidad de corrientes tributarias influye directamente en la velocidad de respuesta de la cuenca a una precipitación, es por ello que se han propuesto un cierto número de indicadores de dicho grado de bifurcación.



2.2.4.3.4. Forma de la cuenca

La forma de la cuenca va relacionada directamente con el tiempo de concentración, el mismo que es descrito como el lapso que le toma a una cantidad de agua recorrer desde el límite más extremo hasta el punto de salida. Gracias a este parámetro podemos generar dos variables importantes de la cuenca.

- **Índice de Gravelius o coeficiente de compacidad (K_c)**

Se representa como la relación del perímetro de la cuenca con la longitud de la circunferencia de un círculo cuya área sea equivalente a la de la cuenca.

$$A = \pi * r^2 \quad \dots (2.13)$$

$$r = \left(\frac{A}{\pi}\right)^{1/2} \quad \dots (2.14)$$

$$K_c = \frac{P}{2\pi r} \quad \dots (2.15)$$

Sustituyendo (2.13) en (2.15):

$$K_c = \frac{0.28 * P}{A^{1/2}} \quad \dots (2.16)$$

Donde:

- P = Perímetro de la cuenca (km)
- A = Área de la cuenca (km²)

El coeficiente será mayor en cuencas irregulares, mientras que en cuencas circulares el coeficiente tendrá tendencia a la unidad.

- **Factor de forma (K_f)**

Se define como la relación entre el ancho medio y la longitud axial de la cuenca, siendo esta la que se mida siguiendo el curso de agua más largo desde la desembocadura hasta la cabecera más distante de la cuenca. (Sáenz, 1999)

$$K_f = \frac{B}{L} \quad \dots (2.17)$$



$$B = \frac{A}{L} \quad \dots (2.18)$$

$$K_f = \frac{A}{L^2} \quad \dots (2.19)$$

Donde:

- B = Ancho medio (km)
- L = Longitud axial de la cuenca (km)
- A = Área de drenaje (km²)

El factor de forma nos indica la tendencia de una cuenca a sufrir crecientes, siendo las que tienen un factor de forma bajo las que están más propensas.

2.2.4.4. Sistema de drenaje de una cuenca hidrográfica

Lo conforman el cauce principal y sus respectivos tributarios, dentro de sus principales características tenemos:

2.2.4.4.1. Clasificación de corrientes

Antes de ver la descripción de esta característica, es necesario explicar los diferentes tipos de corrientes presentes en una cuenca, dicha clasificación depende directamente del tipo de escurrimiento.

Las diferentes corrientes en función al orden son:

- **Corriente efímera:** Es aquella que solo lleva agua cuando llueve e inmediatamente después.
- **Corriente intermitente:** Lleva agua la mayor parte del tiempo, pero principalmente en época de lluvias; su aporte cesa cuando el nivel freático desciende por debajo del fondo del cauce.
- **Corriente perenne:** Contiene agua todo el tiempo, ya que aún en época de sequía es abastecida continuamente, pues el nivel freático siempre permanece por arriba del fondo del cauce.

El orden de las corrientes, es una clasificación que proporciona el grado de bifurcación dentro de la cuenca. Para hacer esta clasificación se requiere de un plano de la cuenca que posea tanto las corrientes perennes como las intermitentes. Se debe considerar como corrientes de orden uno aquellas que no tienen ningún tributario; de orden dos, a las que solo tienen tributarios de orden uno; de orden tres a aquellas corrientes con dos o más tributarios de orden dos. La Figura N° 7 muestra los diferentes órdenes de corriente presentes en una cuenca. (Villón, Hidrología, 2002)

Fig. N° 7: Clasificación de corrientes



Fuente: (Villón, Hidrología, 2002)

Las corrientes también se pueden clasificar en función a su posición topográfica o edad geológica. Dentro de esta clasificación tenemos:

- **Ríos de montaña:** Poseen grandes pendientes debido a sus elevadas cotas, poseen pocas curvas producto de las altas velocidades alcanzadas por el curso del agua. Estos ríos suelen producir cantos rodados.
- **Ríos de planicie:** Presentan un gran número de meandros debido a que la corriente no alcanza grandes velocidades. Durante su recorrido forma arenas y finos.
- **Ríos de transición:** Se encuentran en una situación intermedia entre los ríos de planicie y montaña. Las velocidades son moderadas y dentro de su cauce se encuentra grava, canto rodado y grava.

2.2.4.4.2. Densidad de drenaje (Dd)

Comprende la relación entre la longitud total de los cursos de agua de la cuenca entre su área total.

$$D_d = \frac{L}{A} \quad \dots (2.20)$$

Donde:

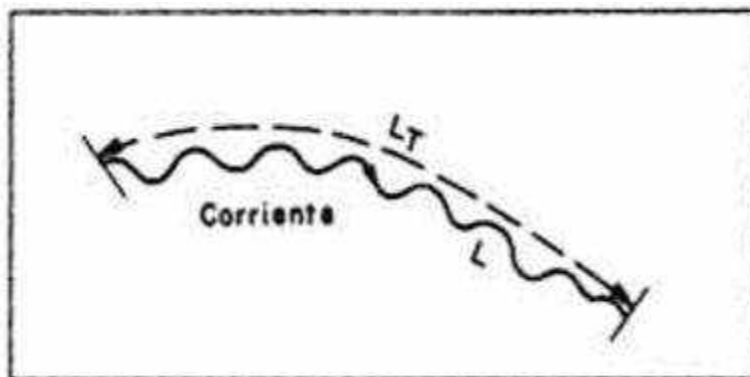
- L = Longitud total de las corrientes de agua (km)
- A = Área total de la cuenca (km²)

Los valores de Dd por lo general varían entre 0.5 y 3.5 km/km², las cuencas con un sistema de drenaje pobre poseen los valores más bajos, mientras que un valor alto indica un notable sistema de drenaje.

2.2.4.4.3. Sinuosidad de las corrientes de agua

La sinuosidad de las corrientes de agua nos indica la medida de la velocidad de la escorrentía de la corriente a lo largo de una corriente. Se obtiene mediante la relación de la longitud del cauce principal y la longitud del valle del río principal medida en línea recta o curva.

Fig. N° 8: Sinuosidad de las corrientes de agua



Fuente: (Sáenz, 1999)

$$S = \frac{L}{L_t} \quad \dots (2.21)$$

Donde:

- L = Longitud del río principal

- L = Longitud del valle del río principal

2.2.4.5. Características de relieve de una cuenca hidrográfica

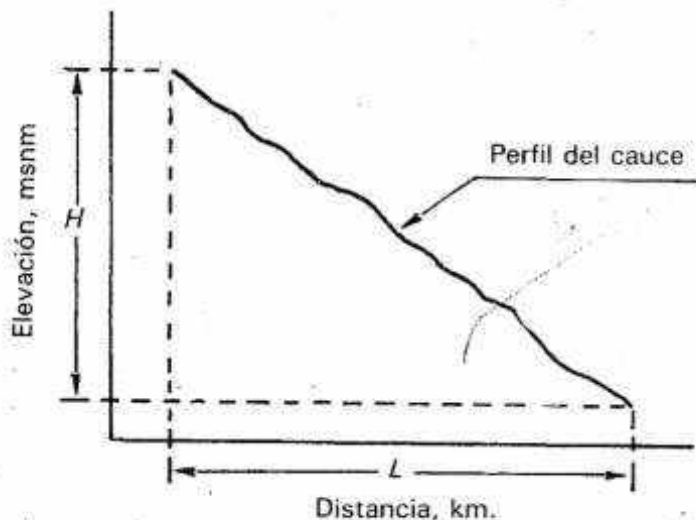
Dentro de las características principales tenemos:

2.2.4.5.1. Pendiente del cauce principal

La pendiente del cauce principal es uno de los factores más importantes del grado de respuesta de una cuenca a una precipitación. La pendiente varía en función al tramo en que se mida, es por eso que se requiere obtener una pendiente media. Para determinar su valor se posee los siguientes métodos:

- La pendiente media es igual a la diferencia de cotas entre el punto más alto y el más bajo, dividido entre la longitud en planta.

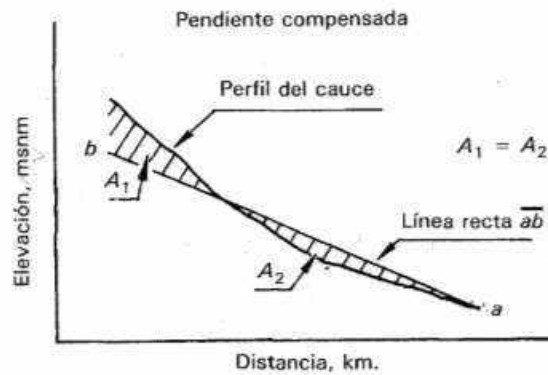
Fig. N° 9: Pendiente de cauce principal



Fuente: (Sáenz, 1999)

- La pendiente media es una línea que, al apoyarse en el extremo aguas abajo genera dos áreas iguales en el perfil del cauce.

Fig. N° 10: Pendiente compensada



Fuente: (Sáenz, 1999)

Método Taylor y Schwartz: Se propone calcular la pendiente media como la de un canal de sección transversal uniforme que tenga la misma longitud y tiempo de recorrido que la corriente en cuestión. (Mijares, 1992)

Se tiene que la velocidad del agua en el tramo i se puede calcular mediante la expresión.

$$V_i = k * \sqrt{S_i} \quad \dots (2.21)$$

Siendo k un factor en función a la rugosidad, mientras que S_i es la pendiente de dicho tramo.

La velocidad también se puede definir como:

$$V_i = \frac{\Delta x}{t_i} \quad \dots (2.22)$$

Despejando t_i tenemos:

$$t_i = \frac{\Delta x}{k * \sqrt{S_i}} \quad \dots (2.23)$$

Por otro lado, la velocidad media de recorrido en todo el cauce se calcula mediante:

$$V_i = \frac{L}{T} = k * \sqrt{S} \quad \dots (2.24)$$

Donde L es la longitud total del cauce y T el tiempo total de recorrido. Realizando la sumatoria tenemos que:



$$T = \sum_{i=1}^m t_i = \sum_{i=1}^m \frac{\Delta x}{k * \sqrt{S_i}} \quad \dots (2.25)$$

$$L = \sum_{i=1}^m \Delta x = m\Delta x \quad \dots (2.26)$$

Finalmente despejando S que es el parámetro que pretendemos obtener:

$$S = \left[\frac{m}{\frac{l}{\sqrt{S_1}} + \frac{l}{\sqrt{S_2}} + \dots + \frac{l}{\sqrt{S_m}}} \right]^2 \quad \dots (2.27)$$

Como las longitudes de los tramos eventualmente serán diferentes, se aplica la siguiente variación:

$$S = \left[\frac{m}{\frac{l_1}{\sqrt{S_1}} + \frac{l_2}{\sqrt{S_2}} + \dots + \frac{l_m}{\sqrt{S_m}}} \right]^2 \quad \dots (2.28)$$

Siendo l_i la longitud del tramo i .

2.2.4.5.2. Curva hipsométrica

Según (Sáenz, 1999) la curva hipsométrica es la representación gráfica del relieve de una cuenca. Representa el estudio de la variación de la elevación de los varios terrenos de la cuenca con referencia al nivel medio del mar. Esta variación puede ser indicada por medio de un gráfico que muestre el porcentaje de área de drenaje que existe por encima o por debajo de varias elevaciones. Dicho gráfico se puede determinar por el método de las cuadrículas del numeral anterior o plani-metrando las áreas entre curvas de nivel. Análogamente, se puede preparar un cuadro de la siguiente manera:

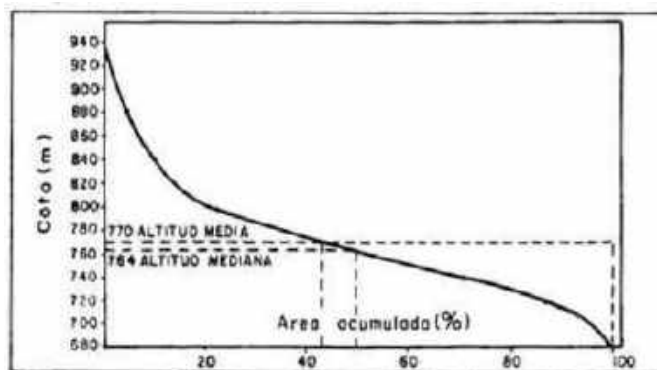
Fig. N° 11: Obtención de valores para curva hipsométrica

(1) Cotas intervalo de clase (manm)	(2) Cota media del intervalo (manm)	(3) Área (km ²)	(4) Área acumulada (km ²)	(5) Porcentaje de Área (%)	(6) Porcentaje acumulado de área (%)	(7) Columna (2) x Columna (3)
940-920	930	1.92	1.92	1.08	1.08	1755.6
920-900	910	2.90	4.82	1.64	2.72	2639.0
900-880	890	3.68	8.50	2.08	4.80	3275.2
880-860	870	4.07	12.57	2.29	7.09	3540.9
860-840	850	4.60	17.17	2.59	9.68	3910.0
840-820	830	2.92	20.09	1.65	11.33	2423.6
820-800	810	19.85	39.94	11.20	22.53	16078.5
800-780	790	23.75	63.69	13.40	35.93	18762.5
780-760	770	30.27	93.96	17.08	53.01	23307.9
760-740	750	32.09	126.05	18.10	71.11	24067.5
740-720	730	27.86	153.91	15.72	86.83	20337.8
720-700	710	15.45	169.36	8.72	95.55	10969.5
700-680	690	7.89	177.25	4.45	100.00	5444.1
TOTAL	—	177.26	—	—	—	136542.1

Fuente: (Béjar, 2001)

El gráfico de la curva hipsométrica se realiza colocando en las abscisas el porcentaje del área acumulada y en las ordenadas se coloca el valor de la cota. La curva representa el porcentaje del área acumulada igualado o excedido para una corta determinada.

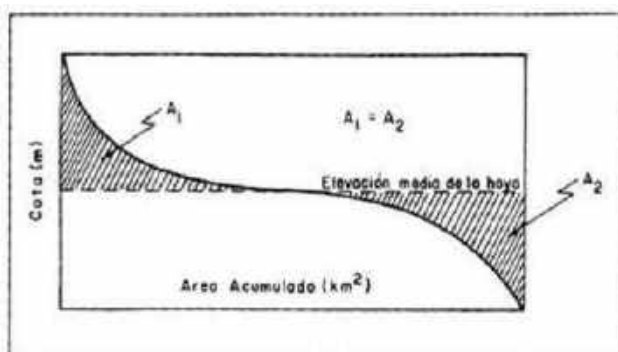
Fig. N° 12: Curva hipsométrica



Fuente: (Béjar, 2001)

La curva hipsométrica a su vez sirve para delimitar otros parámetros y características.

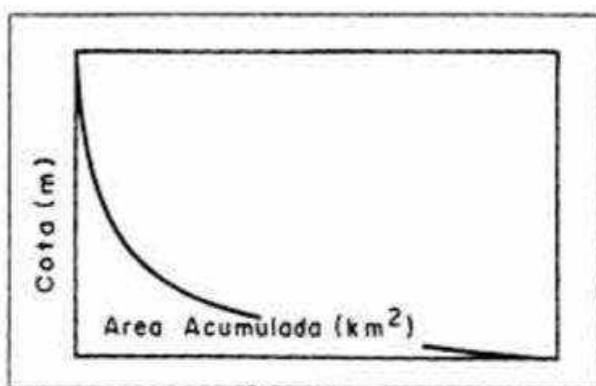
Fig. N° 13: Características de curva hipsométrica



Fuente: (Béjar, 2001)

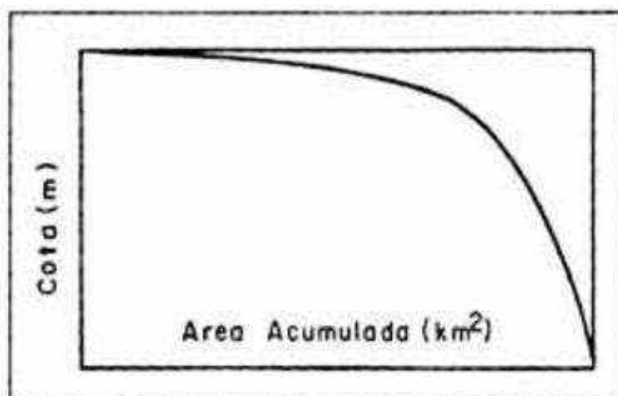
La forma de la curva también es un indicador de la morfología.

Fig. N° 14: Parte superior de curva hipsométrica



Fuente: (Béjar, 2001)

Fig. N° 15: Parte inferior de curva hipsométrica



Fuente: (Béjar, 2001)



2.2.4.5.3. Elevación media de la cuenca

Además de poder obtener el presente valor en el gráfico de la curva hipsométrica, podemos aplicar la presente fórmula:

$$E = \frac{\sum_{i=1}^n (\text{cota media intervalo, } x \text{ Area } i)}{\sum_{i=1}^n (\text{Área } i)} \quad \dots (2.28)$$

Donde:

- n = Números de intervalos de clase

2.2.4.5.4. Características de suelo (Formaciones hidrogeológicas)

Las características del suelo tienen una influencia directa en el fenómeno de la escorrentía, es por ello que es importante definir características como diámetro de partículas, vegetación, etc. Para determinar el tipo de material de suelo en función al diámetro de partícula tenemos el siguiente cuadro:

Tabla 4: Tipo de material

Tipo de material	Diámetro (mm)
Grava	$2 \leq \emptyset$
Arena gruesa	$0.2 \leq \emptyset < 2$
Arena fina	$0.02 \leq \emptyset < 0.2$
Limo	$0.002 \leq \emptyset < 0.02$
Arcilla	$\emptyset < 0.002$

Fuente: Elaboración propia

Esta característica es fundamental debido a que marca las condiciones de la escorrentía, retención de agua, infiltración, etc. factores que influyen directamente en el volumen aportado por la cuenca.

2.2.5. Tratamiento de datos hidrometeorológicos

Este análisis se realiza con la finalidad de confiabilidad en los datos hidrometeorológicos, para ello se analizó en la presente tesis la consistencia de la información y la completación de datos donde resulte necesario.



2.2.6. Análisis de consistencia de la información

El análisis según, (Araujo, 1985) , es aquel que hace referencia a la no homogeneidad e inconsistencia en secuencias hidrológicas el cual representa uno de los aspectos más importantes del estudio en la hidrología, ya que, cuando no se identifica, elimina ni se ajustan la inconsistencia y no homogeneidad en la muestra histórica, un error significativo puede introducirse en todos los análisis futuros que se realicen obteniendo resultados altamente errados.

La inconsistencia, es el error sistemático que se presenta como saltos y tendencias, y no homogeneidad a los cambios de los datos vírgenes con el tiempo (Araujo, 1985). Este análisis presenta los siguientes procesos: Análisis visual gráfico, análisis de doble masa y análisis estadístico.

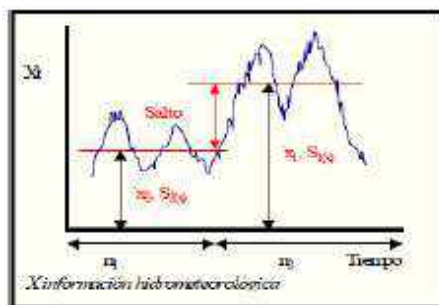
2.2.6.1. Análisis visual gráfico

Realizando un análisis visual grafico en el cual se grafica dicha información en un sistema de coordenadas cartesianas, ubicando en el eje de las ordenadas los valores de la serie hidrometeorológica y en el eje de las abscisas el tiempo (año, meses, días, etc.). (Villón, Hidrología, 2002)

La estación más importante de la cuenca es Kayra la cual tiene mayores datos disponibles para realizar el estudio, en cuanto a las estaciones de Anta, Calca, Pisac, Urubamba, Piuray se completaron los datos con la media mensual, con estas estaciones se evalúa la variación temporal de la precipitación.

Según (Aliaga Araujo & De Pierola Canales, 1978) el análisis nos da una primera aproximación de la bondad de la información y separar los periodos dudosos para su posterior análisis de doble masa y estadístico.

Fig. N° 16: Análisis visual gráfico

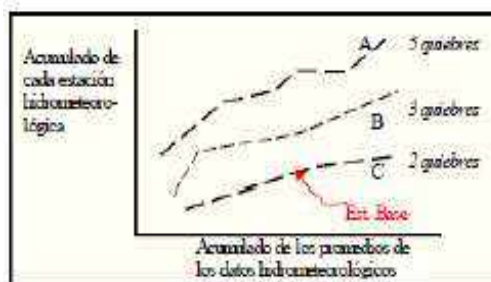


Fuente: (Aliaga Araujo & De Pierola Canales, 1978)

2.2.6.2. Análisis de doble masa

Para el análisis de doble masa (Aliaga Araujo & De Pierola Canales, 1978) señala que los errores también se pueden ver por el quiebre o quiebres que presentan los diagramas, el cual se considera una estación con menos errores consistentes, aquella que presente menos quiebres al momento de ser evaluado.

Fig. N° 17: Análisis de doble masa



Fuente: (Aliaga Araujo & De Pierola Canales, 1978)

El diagrama de doble masa es obtenido dibujando en el eje de las abscisas los acumulados de los promedios anuales de todas las estaciones de la cuenca y en el eje de las ordenadas los acumulados de los volúmenes anuales de cada estación de estudio.

Respecto a este análisis (Araujo, 1985), indica lo siguiente:

Existen muchas formas de realizar este análisis, son las siguientes:

- Graficar en el eje de las abscisas el promedio anual acumulado de la información de todas las estaciones de la cuenca y, en el eje de las ordenadas la información anual acumulada de cada una de las estaciones analizadas.



- En el sector de las rectas de doble masa obtenidas en el anterior paso, elegir la que presente mayor regularidad, es decir un menor número de puntos de quiebre, como los más confiables.
- La estación elegida como la más confiable se grafica en el eje de las abscisas y en las ordenadas cada una de las demás estaciones, obteniéndose así tantas rectas como número de series se tengan menos una. En el gráfico se definen los quiebres que pueden ser significativos para su posterior análisis estadístico.
- Se debe tener en cuenta que, sólo para efectos de análisis de doble masa, la información incompleta se llena por interpolación o con el promedio mensual, si el análisis es mensual. (Araujo, 1985)

2.2.6.3. Análisis estadístico

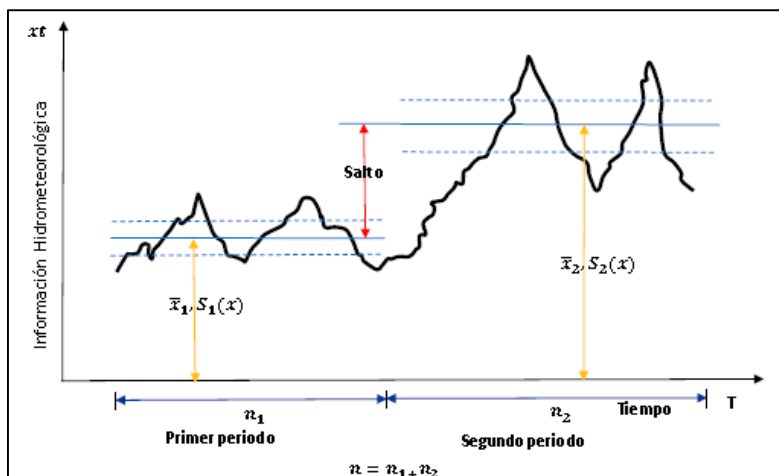
Según (Tarazona Santos, 2005) la evaluación de los errores detectados en la forma de saltos se realiza mediante un análisis estadístico; vale decir, un proceso de diferencia para las medias y desviaciones estándar de ambos periodos separados en la fase anterior, mediante las pruebas de T de Student y F de Fisher respectivamente.

Se realiza el análisis estadístico, mediante el cual se determina finalmente la confiabilidad de los datos, realizando un análisis de saltos y análisis de tendencia en la media y desviación estándar.

2.2.6.4. Análisis de saltos

Según (Aliaga Araujo & De Pierola Canales, 1978) los saltos o “jump” también se les dice resbalones son formas determinísticas transitorias las cuales permiten a una serie estadística periódica pasando de un estado a otro, como respuesta a los cambios realizados por el hombre y debido al continuo desarrollo o explotación de recursos hidráulicos en la cuenca. Estos saltos se presentan desviación estándar, en la media, y otros parámetros, pero generalmente desde un punto de vista práctico.

Fig. N° 18: Análisis de saltos



Fuente: (Aliaga Araujo & De Pierola Canales, 1978)

2.2.7. Consistencia en la media

Este análisis estadístico comprueba, la prueba “t” de student, si los valores medios de las muestras, son estadísticamente iguales o diferentes con una probabilidad del 95% o con 5% de nivel de significación, como se detalla a continuación:

- El cálculo de la media y desviación estándar para cada periodo:

$$x1 = \frac{1}{n1} \sum_{i=1}^{n1} xi \quad \dots (2.29)$$

$$S1(X) = \left[\frac{1}{n1 - 1} \sum_{i=1}^{n1} (xi - \bar{x}_1)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad \dots (2.30)$$

$$x2 = \frac{1}{n2} \sum_{j=1}^{n2} xj \quad \dots (2.31)$$

$$S2(X) = \left[\frac{1}{n2 - 1} \sum_{j=1}^{n2} (xj - \bar{x}_2)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad \dots (2.32)$$

Donde:

- x: Información de análisis.
- \bar{x}_1, \bar{x}_2 : Medias del periodo 1 y 2 respectivamente.
- (x) (x): Desviación estándar del periodo 1 y 2



- n_1 n_2 : Tamaño del periodo 1 y 2
- n : Tamaño total de la muestra:

$$n = n_1 + n_2 \quad \dots (2.33)$$

A) Prueba de medidas

- **Teniendo en cuenta la hipótesis planteada y la alternativa posible, así como el nivel de significación “ α ”**

- $H_p \mu_1 = \mu_2$ (Media poblacional)
- $H_a \mu_1 \neq \mu_2$
- α 0.05 (5%)

- **Cálculo de la desviación estándar de las diferencias de los promedios**

$$S_p = \left[\frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad \dots (2.34)$$

- **Desviación estándar de la diferencia de los promedios**

$$S_d = S_p \left[\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad \dots (2.35)$$

- **Realización de la prueba T**

Se calcula el valor estadístico t_c según:

$$T_c = \frac{\{x_1 - x_2\} - \{\mu_1 - \mu_2\}}{S_d} \quad \dots (2.36)$$

Donde:

$$\mu_1 - \mu_2 = 0 \text{ (por hipótesis planteada)} \quad \dots (2.37)$$

- **Hallar el valor de T_t en las tablas, con 95% de probabilidades**

- $\alpha = 0.05$ cuando la tabla es de una sola entrada.
- $\frac{\alpha}{2} = 0.025$ si tabla es de dos entradas.
- G. L. = $n_1 + n_2 - 2$ (Grados de libertad).

Conclusiones:

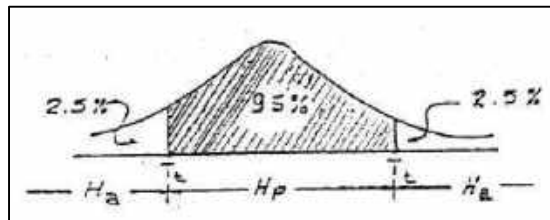
- Si $|T_c| \leq T_t(95\%) \rightarrow \bar{x}_1 = \bar{x}_2$ (estadísticamente)

- Si $|T_c| > T_t(95\%) \rightarrow \bar{x}_1 \neq \bar{x}_2$ (estadísticamente)

Donde:

- S_p : Desviación Estándar ponderada.
- S_d : Desviación estándar de los promedios.

Fig. N° 19: Campana de Gauss



Fuente: Máximo Villón (1999)

B) Consistencia en la desviación estándar

(Aliaga Araujo & De Pierola Canales, 1978), indica que se debe seguir el siguiente procedimiento Sobre la consistencia en la desviación estándar:

▪ **Cálculo de las variaciones de ambos periodos**

$$S1^2\{x\} = \left[\frac{1}{n1 - 1} \right] * \sum_{i=1}^{n1} \{xi - x1\}^2 \quad \dots (2.38)$$

$$S2^2\{x\} = \left[\frac{1}{n2 - 1} \right] * \sum_{j=1}^{n2} \{xj - x2\}^2 \quad \dots (2.39)$$

▪ **Cálculo del Estadístico “F”**

Se establece la hipótesis planteada, así como el nivel de significación:

- $H_p: \sigma12=\sigma22$ (Varianzas poblacionales)
- $H_a: \sigma12\neq\sigma22$
- $\alpha=0.05$ (5%)

Cálculo de F_c :

$$F_c = \left[\frac{S1\langle x \rangle}{S2\langle x \rangle} \right]^2, \text{ si } S2^2\langle X \rangle > S2^2(X) \quad \dots (2.40)$$

$$F_c = \left[\frac{S2\langle x \rangle}{S1\langle x \rangle} \right]^2, \text{ si } S2^2\langle X \rangle > S1^2(X) \quad \dots (2.41)$$



▪ **Hallar el valor de “Ft” en las tablas**

El valor tabular “Ft”, se obtiene de la tabla de “F”, con una probabilidad al 95%, o a un nivel de significación del 5% es decir con $\alpha = 0.05$ y los siguientes grados de libertad:

$$G.L.N. = n1 - 1 \quad \dots (2.42)$$

$$S1^2\langle X \rangle > S2^2\langle X \rangle \quad \dots (2.43)$$

$$G.L.D. = n2 - 1 \quad \dots (2.44)$$

$$G.L.N. = n2 - 1 \quad \dots (2.45)$$

$$S2^2\langle X \rangle > S1^2\langle X \rangle \quad \dots (2.46)$$

$$G.L.D. = n1 - 1 \quad \dots (2.47)$$

Donde:

- *FC*: F calculado
- *Ft*: F tabulado de la tabla F de Fischer
- G.L.N.: Grados de libertad del numerador.
- G.L.D.: Grados de libertad del denominador.
- α : Nivel de significancia

▪ **Criterios de decisión:**

- Si $Fc < Ft\langle 95\% \rangle \rightarrow S1\langle x \rangle = S2\langle x \rangle$, no se debe corregir la información.
- Si $Fc > Ft\langle 95\% \rangle \rightarrow S1\langle x \rangle \neq S2\langle x \rangle$, se debe corregir la información.

2.2.8. Corrección de los datos hidrometeorológicos

Según (Aliaga Araujo & De Pierola Canales, 1978) en el caso que los parámetros de la media y desviación estándar resulten estadísticamente iguales, la información original no se corrige si es consistente con 95% de probabilidades, aun cuando en el análisis de doble masa se observe algunos quiebres.

Se realizan las correcciones con las siguientes ecuaciones:

$$x(t) = \frac{xt - x1}{S1(x)} S2(x) + x2 \quad \dots (2.48)$$

$$x(t) = \frac{xt - x2}{S2(x)} S1(x) + x1 \quad \dots (2.49)$$

Donde:

- $(t)'$: Valor corregido de la información
- x_t : Valor a ser corregido

2.2.8.1. Análisis de tendencias.

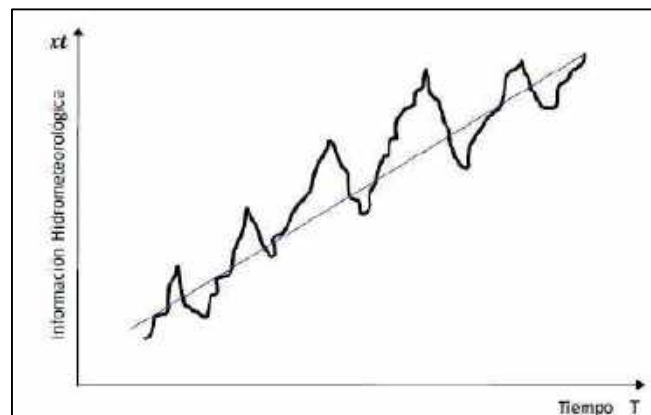
Según (Aliaga Araujo & De Pierola Canales, 1978) las tendencias es aquel componente determinístico que se definen como un cambio sistemático y continuo sobre una muestra de información hidrometeorológica en cualquier parámetro.

Las propiedades de las tendencias se detallarán a continuación:

- No se repiten, por sí mismas, en la misma forma o con las mismas propiedades.
- Las tendencias pueden ser lineales o no lineales, por lo que cualquier función continua de tendencias no lineal puede ser representada en series de potencias o expresión logarítmica.
- Pueden existir en cualquier parámetro de una serie (media, varianza y en parámetros de alto orden). Pero por lo general las tendencias se presentan únicamente en la media si la información es anual y en la media y desviación estándar si la información es mensual.
- Se pueden separar de las otras componentes de la serie, lo cual hace posible removerlas.

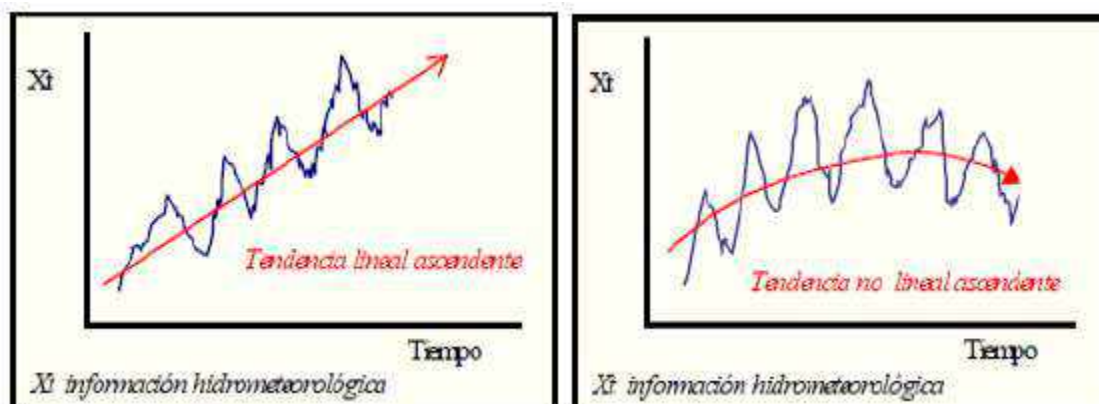
Según (Tarazona Santos, 2005) nos menciona que las tendencias en general son aproximadas por la ecuación de regresión lineal, esto se analizará en los dos primeros parámetros de una serie: en la media y en la desviación estándar.

Fig. N° 20: Presencia de tendencia en serie hidrometeorológica



Fuente: (Aliaga Araujo & De Pierola Canales, 1978)

Fig. N° 21: Tipos de tendencias (lineal u no lineal)



Fuente: (Tarazona Santos, 2005)

Aliaga (1983), indica el siguiente procedimiento para realizar el análisis de tendencia:

2.2.8.1.1. Tendencia en la Media

La tendencia en la media T_m es expresada en forma general por el polinomio:

$$T_m = A_m + B_m * t + C_m * t^2 + D_m * t^3 \quad \dots (2.50)$$

Para la estimación la tendencia es suficiente la ecuación de regresión lineal simple Según Aliaga & Piérola (1993)

$$T_m = A_m + B_m * t \quad \dots (2.51)$$

Donde:

- T_m = Tendencia en la media.
- A_m, B_m, C_m = Coeficientes de la ecuación de regresión.
- t = Tiempo tomado como la variable independiente.

A) Regresión lineal simple

Con la información disponible, se estima los parámetros de la ecuación de regresión lineal simple, como sigue:

$$A_m = T_m - t * B_m \quad \dots (2.52)$$

$$B_m = R \frac{S_{T_m}}{S_t} \quad \dots (2.53)$$



$$R = \frac{t * t_m - t * T_m}{S_t * S_{T_m}} \dots (2.54)$$

Donde:

- A_m y B_m : Coeficientes de los polinomios de regresión que deben de ser estimados
- T_m : Promedio (media) de la tendencia o igual al promedio de los datos históricos
- t : Promedio (media) del tiempo cronológico t .
- S_{T_m} : Desviación estándar de la tendencia en la media.
- S_t : Desviación estándar del tiempo.
- R : Coeficiente de correlación lineal simple entre la tendencia en la media y el tiempo en consideración.
- t_m : Promedio del producto de la tendencia por el tiempo

Los valores de t , T_m , S_t , y $t * T_m$ se determinan según las ecuaciones:

$$t = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i \dots (2.55)$$

$$T_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_{nt} \dots (2.56)$$

$$S_t = \left[\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (t_i - t)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \dots (2.57)$$

$$t * T_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i * t_m \dots (2.58)$$

▪ Prueba de hipótesis T de Student

Para analizar el coeficiente de regresión según “t de student”, desarrollándolos se realizaron algunos pasos que se mostraran a continuación:

Establecimiento de la prueba de hipótesis y nivel de confianza según:

- ❖ $\mu\rho \rho=0$ (Es el coeficiente de correlación poblacional)
- ❖ $\mu\rho \rho \neq 0$



❖ $\alpha = 0.05$

Para reconocer si la tendencia es significativa o no significativa se realiza una prueba de hipótesis para el coeficiente de regresión Bm o también para el coeficiente de correlación R .

Se establecerá la prueba de hipótesis y del nivel de confianza $\alpha = 0.05$, considerando que:

- ❖ $H_p: \rho = 0$ (es el coeficiente de correlación poblacional)
- ❖ $H_a: \rho \neq 0$

Cálculo del estadístico t_c , según

$$t_c = \frac{R\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-R^2}} \dots (2.59)$$

Donde:

- ❖ T_c = Valor del estadístico T calculado.
- ❖ n = Número total de datos.
- ❖ R = Coeficiente de correlación muestral entre los datos y el tiempo en orden cronológico

Se determinará el valor teórico (t tabulado t_t) de distribución de probabilidad de t de student al 95% de probabilidad, el cual se calcula mediante la tabla de student.

- ❖ $\alpha = 0.05$
- ❖ G.L. = $n-2$
- ❖ $\alpha/2 = 0.025$ si tabla es de dos entradas
- ❖ G.L.: Grados de libertad

▪ **Criterio de decisión**

Para determinar las zonas de aceptación o rechazo se deberá hacer una comparación del valor t calculada (t_c) con los valores críticos t tabulado (t_t).

$$Si [t_c] \leq t_t(95\%) \rightarrow x_1 = x_2 \dots (2.60)$$

Coeficiente de correlación R no significativa (la información no presenta una tendencia en la media significativa al 95% de probabilidad), no se debe corregir la información.

$$Si [t_c] > t_t(95\%) \rightarrow x_1 \neq x_2 \dots (2.61)$$



Coeficiente de correlación R es significativa (la tendencia en la media es significativa), se debe corregir la información.

▪ **Eliminación de tendencia en la media.**

De resultar el coeficiente R de correlación no significativo, significa que la información no presenta una tendencia significativa al 95 % de probabilidades, por lo que no necesita corrección. Por otro lado, de resultar significativo entonces necesita corregirse mediante la siguiente ecuación:

$$Y_t = X'_t - T_m \quad \dots (2.62)$$

$$Y_t = X'_t - (A_m + B_m * t) \quad \dots (2.63)$$

Donde

- ❖ $X'(t)$ = Serie corregida de saltos.
- ❖ Tm = Tendencia en la media.
- ❖ Y_t = Serie sin tendencia en la media.
- ❖ $t=1,2,3\dots n$ con n igual al tamaño de la muestra

Para que el proceso Xt preserve la media constante, se devuelve el promedio de las $X'(t)$, por lo que las ecuaciones anteriores toman la siguiente forma

$$Y_t = X'_t - T_m + T_m \quad \dots (2.64)$$

- ❖ Tm = Promedio de la tendencia en la media o promedio de los valores corregidos de salto.
- ❖ $(t)'$ = Serie hidrometeorológica analizada, corregida de saltos.
- ❖ Y_t = Serie corregida de tendencia en la media.
- ❖ $t = 1, 2, \dots, n$ con n igual al tamaño muestral.

Si la tendencia polinomial resultase significativa en la prueba estadística, ésta se corrige de la siguiente forma:

2.2.8.1.2. Tendencia en la desviación estándar.

Luego de tener la corrección de la tendencia en la media se necesitará verificar la existencia de tendencia en la desviación estándar.



Este tipo de tendencia se presenta semanal mensual o anual. Esta tendencia al igual que en la media puede ser aproximada por la ecuación de regresión polinomial tal como:

$$T_m = A_s + B_s * T + C_s * t_2 + \dots \dots (2.65)$$

Mientras que (Aliaga Araujo & De Pierola Canales, 1978) nos menciona que en la mayoría de casos las tendencias son lineales, por lo que pueden aproximarse con una ecuación de regresión lineal como:

$$T_s = A_s + B_s t \dots (2.66)$$

Donde

- ❖ T_s = Tendencia en la desviación estándar hidrometeorológica corregida sin saltos ni tendencia en la media.
- ❖ A_s, B_s = Coeficientes de la ecuación de regresión que deben ser estimados a partir de los datos.
- ❖ $t = 1, 2, 3, \dots, n$
- ❖ n = Número total de años.

A) Estimación y evaluación

Para evaluar la tendencia en la desviación estándar presentan las siguientes formas:

- **Cálculo de la desviación estándar:**

Se calcula la desviación estándar para cada periodo (años) para obtener valores de desviación estándar con la siguiente formula:

$$S_p = \left[\frac{1}{W - 1} \sum_{p=1}^W \{Y_{p,\delta} - Y_p\}^2 \right]^{\frac{1}{2}} \dots (2.67)$$

Donde:

- ❖ S_p = Desviación estándar para el periodo p (año p).
- ❖ Y_p = Promedio del periodo p.
- ❖ Y_p = Serie sin tendencia en la media.
- ❖ $p = 1, 2, \dots, n$ con n igual al número de periodos.
- ❖ $\delta = 1, 2, \dots, w$
- ❖ $w = 12, 52, 365$ si el análisis es con información mensual, semanal o diaria, respectivamente.



• **Cálculo de los parámetros de la ecuación de regresión lineal simple**

Calculando los parámetros de las ecuaciones de regresión lineal simple A_m , B_m y R según las ecuaciones anteriores para la desviación estándar y el tiempo utilizando las ecuaciones dadas para la tendencia en la media

$$A_m = S_p - t * B_m \quad \dots (2.68)$$

$$B_m = R \frac{S_{Sp}}{S_t} \quad \dots (2.69)$$

$$R = \frac{t * S_p - t * S_p}{S_t * S_{Sp}} \quad \dots (2.70)$$

Donde:

- ❖ A_m, B_m = Coeficientes de la ecuación de regresión.
- ❖ t = Tiempo tomado como la variable independiente.

• **Cálculo de los parámetros de la ecuación de la desviación estándar**

Se forman grupos de datos de desviación estándar, presentando varios datos de S_p así como también años con el orden t que ocupan, teniendo al coeficiente de correlación R .

$$T_s = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_p \quad \dots (2.71)$$

Donde:

- ❖ T_s = Tendencia en la desviación estándar y su universo de valores son el grupo de datos S_p que se formaron y que se usaran para el cálculo de parámetros.
- ❖ t = Orden que ocupa cada uno de los datos S_p .
- ❖ n = Número de periodos formados.
- ❖ \bar{T}_s = Promedio de la tendencia (promedio de las S_p calculadas).
- ❖ t = Promedio del tiempo cronológico t (orden que ocupan los datos S_p)

$$T_s = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_t \quad \dots (2.72)$$



- $\bar{t} * \bar{T}_s$ = Promedio del producto de los datos S_p por el número de orden que ocupan el grupo, siendo su valor:

$$t * T_s = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_p * t_i \quad \dots (2.73)$$

- S_{T_s} = Desviación estándar del grupo de datos S_p .

$$S_{T_s} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (S_{pi} - S_p)^2}{n - 1}} \quad \dots (2.74)$$

- S_t = Desviación estándar del tiempo t

$$S_T = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_i - t)^2}{n - 1}} \quad \dots (2.75)$$

- R = Coeficiente de correlación lineal simple entre la tendencia en la media y el tiempo en consideración.

• **Eliminación de la tendencia en la desviación estándar:**

Para saber si es significativa la tendencia en la desviación estándar es necesario verificar la correlación R en la prueba estadística siendo necesaria su corrección de la forma siguiente:

$$Z_t = \frac{X_{(t)} - T_m}{T_s} \quad \dots (2.76)$$

Donde:

- ❖ Z_t = Serie corregida sin tendencia en la media ni en la desviación estándar.
- ❖ $X'(t)$ = Serie corregida de saltos.
- ❖ T_m = Tendencia en la media.
- ❖ T_s = Tendencia en la desviación estándar.

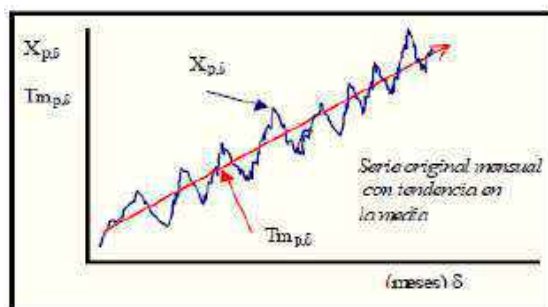
Para que el proceso preserve la media y la desviación estándar constante, la ecuación toma la siguiente forma:

$$Z_t = \frac{x'(t) - T_m}{T_s} * T_s + T_m \quad \dots (2.77)$$

$$Z_t = \frac{x'(t) - (A_m + T_m * t)}{(A_s + B_s * t)} * T_s + T_m \quad \dots (2.78)$$

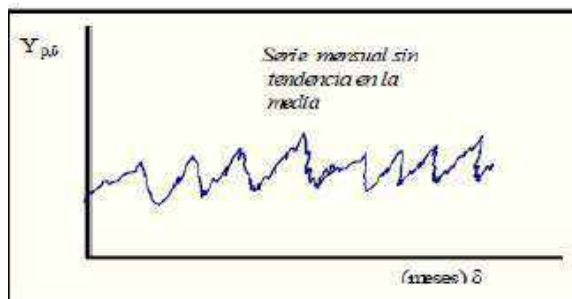
En la siguiente figura se muestra cómo se eliminan las tendencias en la media y la desviación estándar de la serie.

Fig. N° 22: Eliminación de tendencias



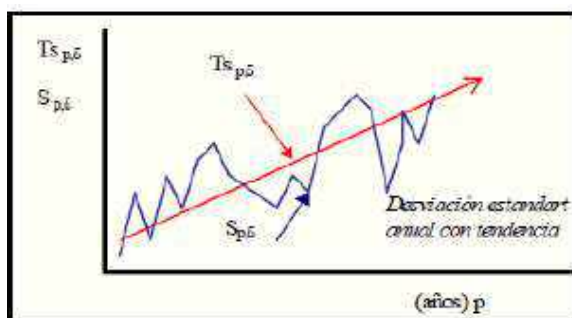
Fuente: (Tarazona Santos, 2005)

Fig. N° 23: Eliminación de tendencias



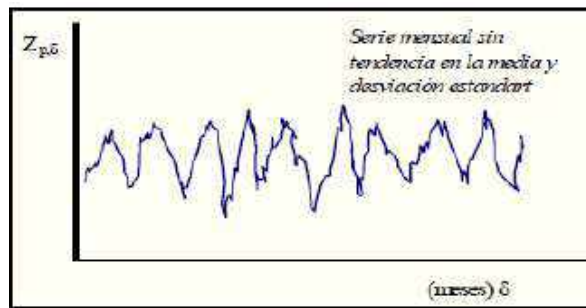
Fuente: (Tarazona Santos, 2005)

Fig. N° 24: Eliminación de tendencias



Fuente: (Tarazona Santos, 2005)

Fig. N° 25: Eliminación de tendencias



Fuente: (Tarazona Santos, 2005)

2.2.9. Completación de Datos

Después de analizar saltos y tendencias se deberá completar los datos vacíos para obtener series completas y uniformes a esto se le llama completación, se deberá asegurar la confianza de la técnica utilizada debido a que:

Al incrementar la longitud del registro, disminuye el error estándar de estimación de los parámetros ya que cuando el tamaño de muestras tiende al infinito, el estimado se asemeja más al parámetro poblacional. Si el procedimiento no es el correcto, el estimado no mejorara sino empeorara, prefiriendo así utilizar los registros cortos. (Tarazona Santos, 2005)

(Rodríguez Baca, 2014), nos dice que, generalmente, para llenar los registros de una estación se recurre a los datos disponibles en estaciones próximas con régimen similar de funcionamiento. Este problema puede formularse como:

$$P_x = \sum_{i=1}^n a_i p_i \quad \dots (2.79)$$

Entre los métodos de completación de datos más utilizados destacan:

- ❖ Método del promedio aritmético
- ❖ Método de la relación normalizada
- ❖ Método de regresión simple
- ❖ Método de generación aleatoria, estocásticos, etc.
- ❖ Método del inverso de la distancia
- ❖ Método de correlación
- ❖ Método de isoyetas



2.2.9.1. Correlación y regresión.

Se requiere un proceso estadístico la cual mida el grado de asociación correlativa en ambas variables teniendo al coeficiente de correlación y determinación.

Según (Béjar, 2001) la correlación es definida como la asociación entre dos o más variables aleatorias, que explica solo parcialmente la variación total de una variable aleatoria, por la variación de otras variables aleatorias involucradas en la ecuación.

2.2.9.1.1. Coeficiente de correlación (r)

El cual permite evaluar el grado de asociación de dos variables linealmente relacionados.

Tabla 5: Escala valorativa de coeficiente de correlación

ESCASA O NULA	$R \rightarrow 0 - 0.25$
DEBIL	$R \rightarrow 0.26 - 0.5$
ENTRE MODERADA Y FUERTE	$R \rightarrow 0.51 - 0.75$
ENTRE FUERTE Y PERFECTA	$R \rightarrow 0.76 - 1.00$

Fuente: (Tuya Pendas, Martinez Ortega, & Pérez Abreu, 2009)

2.2.9.1.2. Coeficiente de determinación (R²)

Es el porcentaje, de la variación total de la variable dependiente “y”, que explicada por la variable independiente “x”, por lo tanto, explica lo importante de las variables independientes dentro del modelo.

2.2.9.2. Ecuación de regresión lineal simple

La ecuación es genera a partir de una línea y es simple porque intervienen solo dos variables:

$$Y_i = \alpha + \beta * X_i \quad \dots (2.80)$$

Donde:

- ❖ Y_i = Variable dependiente.
- ❖ X_i = Variable independiente.
- ❖ α, β = Parámetros de la ecuación de regresión, donde α es el punto de intersección entre la línea de la regresión y el eje “y” y β es el coeficiente de la regresión o pendiente de la línea de regresión.



2.2.9.2.1. Estimación de los parámetros.

Para estimar los parámetros de la regresión se requiere el método de los mínimos cuadrados que consiste en minimizar la suma de los cuadrados del error.

$$\alpha = \bar{y} - b\bar{x} = \frac{\sum y \sum x^2 - \sum x \sum xy}{n \sum x^2 - \langle \sum x \rangle^2} \dots (2.81)$$

$$\beta = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{n \sum x^2 - \langle \sum x \rangle^2} \dots (2.82)$$

$$r = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{\langle n \sum x^2 - \langle \sum x \rangle^2 \rangle \langle n \sum y^2 - \langle \sum y \rangle^2 \rangle}} \dots (2.83)$$

Donde:

- ❖ $\bar{y} = \sum yn$
- ❖ $\bar{x} = \sum xn$
- ❖ n = Número de valores.
- ❖ r = Coeficiente de correlación.
- ❖ R² = Coeficiente de determinación.

Valores de r entre -1 y 1 describen los varios grados de asociación, si X y Y son independientes r= 0.

2.2.9.3. Ecuación de regresión lineal múltiple

Según (Tarazona Santos, 2005) para el proceso de completación de datos de una estación base a otra, se debe tener las siguientes consideraciones:

- ❖ Buscar las estaciones que guardan buena relación con la estación base.
- ❖ Se debe separar datos de la época seca con los datos de la época humedad.
- ❖ Completar los datos con un coeficiente de correlación alto en su posibilidad.

Según (Béjar, 2001), esta técnica se utiliza cuando la variable es dependiente y, es función de dos o más variables independientes $X_1, X_2, X_3 \dots X_m$.

Siendo el modelo lineal:



$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + \dots + a_mx_m \quad \dots (2.84)$$

Donde:

- ❖ m = Número de variables independientes.
- ❖ a_1, a_2, a_3 = Parámetros a estimar.
- ❖ x_1, x_2, x_3 = Variables independientes.

2.2.9.3.1. Estimación de parámetros.

Extendiendo el método de mínimos cuadrados, para el caso de una regresión lineal múltiple, las ecuaciones normales que se obtiene son:

$$\sum y = a_0n + a_1 \sum x_1 + a_2 \sum x_2 + \dots + a_n \sum x_m \quad \dots (2.85)$$

$$\sum x_1, y = a_0 \sum x_1 + a_1 \sum x_1^2 + a_2 \sum x_1x_2 + \dots + a_m \sum x_1x_m \quad \dots (2.86)$$

$$\sum x_m, y = a_0 \sum x_m + a_1 \sum x_1 + x_m + a_2 \sum x_2x_m + \dots + a_m \sum x_m^2 \quad \dots (2.87)$$

Para la solución de las ecuaciones tienen que ser 0 para poder hallar cada coeficiente de relación (r) y determinación (R^2) múltiple, se puede calcular a partir de la ecuación:

$$r = \sqrt{\frac{a_0 \sum y + a_1 \sum x_1y + a_2 \sum x_2y + a_3 \sum x_2y + \dots + a_m \sum x_my - n\bar{y}^2}{\sum y^2 - n\bar{y}^2}} \quad \dots (2.88)$$

$$R^2 = r^2 \quad \dots (2.89)$$

2.2.9.4. Generación aleatoria.

Se realiza con la siguiente ecuación

$$P_1 = \bar{P} + \sigma\xi \quad \dots (2.90)$$

Donde:

- ❖ ξ = número aleatorio con distribución normal, log normal, gamma, etc.

Para rellenar los datos, se deberá aprobar un test de Chi – cuadrado Smirnov- Kolmogorov si la serie hidrológica se ajusta a la distribución seleccionada. (Rodríguez Baca, 2014)



2.2.9.5. Pruebas de bondad de ajuste

El objetivo de esta es medir la certidumbre consiguiendo la hipótesis estadística sobre la población también calificara una variable aleatoria se distribuya según una función de probabilidades

Según (Béjar, 2001) las pruebas de bondad de ajuste, consiste en comprobar gráfica y estadísticamente si la frecuencia empírica de la serie estudiada se ajusta a una determinada función de probabilidades teórica, seleccionada previamente, con los parámetros estimados en base a los valores muestrales.

Tabla 6: Esquema del ajuste estadístico en la prueba de bondad



Fuente: (Béjar, 2001)

Se recomienda que antes de realizar el ajuste estadístico se deberá comparar gráficamente el histograma de la serie con la función densidad teórica para decir si hay una similitud o diferencia de ambos.

2.2.10. Regionalización de los datos meteorológicos

Las mediciones hidrológicas se hacen con el fin de obtener información de los procesos hidrológicos. Esta información se utiliza para poder entender mejor estos procesos y para el diseño, análisis y toma de decisiones. Sin embargo, en nuestro país gran parte del territorio no cuenta con equipo de medición o en ocasiones éste no opera de manera adecuada, lo que repercute directamente en la baja calidad o confiabilidad de la información o bien en la falta de esta. Eso trae como consecuencia que la estimación de una avenida de diseño sea poco confiable, por lo que se recurre al uso de coeficientes de seguridad grandes, provocando que el costo de las obras civiles sea muy alto.

Al realizar un análisis hidrológico en una determinada zona es necesario tener la precipitación media de la zona. Los pluviógrafos generalmente pueden brindar datos en función a periodos de tiempo como:



- ❖ Altura de precipitación diaria
- ❖ Altura de precipitación media diaria
- ❖ Altura de precipitación mensual
- ❖ Altura de precipitación media mensual
- ❖ Altura de precipitación anual
- ❖ Altura de precipitación media anual

Para obtener la precipitación media en una zona se posee tres métodos generalizados:

2.2.2.1.1. Promedio aritmético

Se determina el promedio aritmético de las alturas de las precipitaciones registradas de las estaciones que se encuentran dentro de la zona de estudio. El método es básico y solo se obtiene buenos resultados si se posee una considerable cantidad de medidas pluviométricas, además debe haber una distribución uniforme de las estaciones.

$$P_{med} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i \quad \dots (2.91)$$

Donde:

- ❖ P_{med} = Precipitación media de la zona de estudio
- ❖ P_i = Precipitación de la estación i
- ❖ n = Número de estaciones dentro de la zona de estudio

2.2.2.1.2. Polígono de Thiessen

El método consiste en delimitar la zona de influencia de las estaciones dentro de la zona de estudio, para ello es necesario tener la delimitación de dicha zona y la ubicación exacta de las estaciones.

(Villón, Hidrología, 2002) nos indica los pasos a seguir:

- ❖ Ubicar las estaciones dentro y fuera de la cuenca
- ❖ Unir las estaciones formando triángulos, procurando que los ángulos serán menores a 90°
- ❖ Trazar las mediatrices de los lados de los ángulos, formando polígonos.

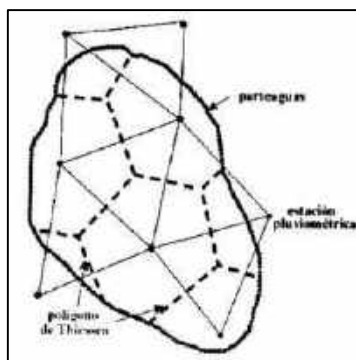
- ❖ Definir el área de influencia de cada estación, cada estación quedará rodeada por las líneas del polígono. El área encerrada por los polígonos de Thiessen y el parteaguas será el área de influencia de la estación correspondiente.
- ❖ Calcular el área de cada estación.
- ❖ Calcular la precipitación media usando como peso el área de influencia correspondiente.

$$P_{med} = \frac{1}{A_T} \sum_{i=1}^n A_i * P_i \quad \dots (2.92)$$

Donde:

- ❖ P_{med} = Precipitación media de la zona de estudio
- ❖ P_i = Precipitación de la estación i
- ❖ n = Número de estaciones tomadas en cuenta
- ❖ A_T = Área total de la cuenca
- ❖ A_i = Área de influencia del polígono de Thiessen correspondiente a la estación

Fig. N° 26: Polígono de Thiessen



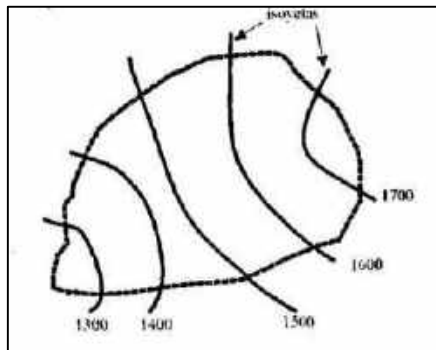
Fuente: (Villón, Hidrología, 2002)

2.2.2.1.3. Isoyetas

El método de las isoyetas es el más preciso de los expuestos, consiste en ubicar las estaciones de las zonas de estudio y trazar isoyetas, las cuales están definidas como curvas que unen puntos de igual precipitación. Si la precipitación es de tipo orográfica, las isoyetas tendrán una tendencia a seguir una configuración similar a las de la curva de nivel. Al igual que el

método del polígono de Thiessen mientras mayor sea el número de estaciones mayor precisión habrá.

Fig. N° 27: Isoyetas



Fuente: (Villón, Hidrología, 2002)

Para aplicar el método se requiere ubicar las estaciones a usar, tanto las que están dentro como fuera del área de estudio. Por medio de las alturas de precipitación entre las diversas estaciones se realiza una interpolación similar a la que se hace para generar curvas de nivel.

Las isoyetas y el parteaguas generan diferentes áreas, cuya medición es necesaria para aplicar la fórmula expuesta a continuación.

$$P_{med} = \frac{1}{A_T} \sum_{i=1}^n \frac{P_{i-1} + P_i}{2} * A_i \quad \dots (2.93)$$

Donde;

- ❖ Pmed = Precipitación media
- ❖ AT = Área total de la cuenca
- ❖ Pi = Altura de precipitación de las isoyetas i
- ❖ Ai = Área parcial comprendida entre las isoyetas Pi-1 y Pi
- ❖ N = Número de áreas parciales



2.2.11. Generación de caudales

2.2.10.1. Generación de caudales medios mediante el modelo Lutz Scholz.

El modelo hidrológico ofrece la calibración de parámetros hidrológicos, esta presenta una serie de expresiones empíricas las cuales permitirá estimar los valores de los caudales a escala mensual en las cuencas.

Para el cálculo de Lutz Scholz se realizan una serie de procedimientos que se detallaran a continuación.

2.2.10.1.1. Balance hídrico

La ecuación que describe el balance hídrico mensual en mm/mes se presenta a continuación:

$$CM_i = P_i - D_i + G_i - A_i \quad \dots (2.94)$$

Donde:

- ❖ CM_i = Caudal mensual (mm/mes)
- ❖ P_i = Precipitación mensual sobre la cuenca (mm/mes)
- ❖ D_i = Déficit de escurrimiento (mm/mes)
- ❖ G_i = Gasto de la retención de la cuenca (mm/mes)
- ❖ A_i = Abastecimiento de la retención (mm/mes)

Asumiendo:

Para períodos largos el Gasto y Abastecimiento de la retención tienen el mismo valor es decir $G_i = A_i$, y reemplazando (P-D) por (C*P), y teniendo en cuenta la transformación de unidades (mm/mes a m^3/s):

$$Q = c' * C * P * AR \quad \dots (2.95)$$

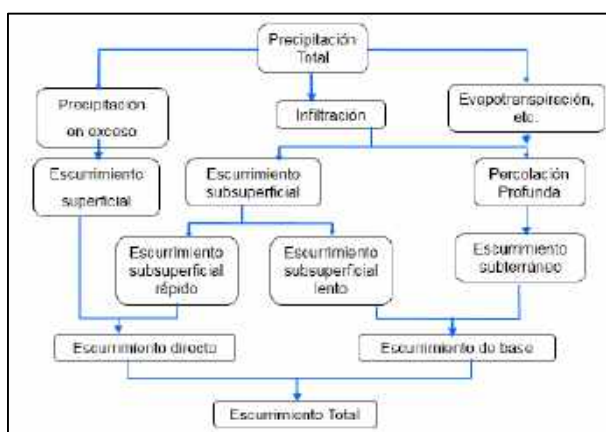
Donde:

- ❖ Q = Caudal (m^3/s)
- ❖ c' = Coeficiente de conversión del tiempo (mes/s)
- ❖ C = Coeficiente de escurrimiento
- ❖ P = Precipitación total mensual (mm/mes)
- ❖ AR = Área de la cuenca (m^2)

2.2.10.1.2. Coeficiente de escurrimiento

El escurrimiento superficial se clasifica en dos tipos: el flujo en la superficie del terreno y el escurrimiento en corrientes. El primero es el agua que fluye en una capa delgada a lo largo de una superficie; el segundo sólo puede persistir en distancias cortas, antes de que las irregularidades en la superficie de la cuenca concentren el flujo en canales. Cuando el agua llega a un cauce bien definido forma el escurrimiento en corrientes, en el que fluye a través de una trayectoria confinada, mucho más angosta que la del flujo en la superficie. (Ven Te Chow, 1994)

Fig. N° 28: Clasificación del escurrimiento sobre la superficie terrestre



Fuente: (Ven Te Chow, 1994)

La fórmula propuesta por L. Turc:

$$C = \frac{P - D}{P} \quad \dots (2.96)$$

Donde:

- ❖ C = Coeficiente de escurrimiento (mm/año)
- ❖ P = Precipitación Total anual (mm/año)
- ❖ D = Déficit de escurrimiento (mm/año)

Para la determinación de D y L, se utilizan las siguientes expresiones:

$$D = P * \frac{1}{\left(0.9 + \frac{P^2}{L^2}\right)^{\frac{1}{2}}} \quad \dots (2.97)$$



$$L = 300 + 25 * (T) + 0.05 * (T)^3 \quad \dots (2.98)$$

Siendo:

- ❖ L = Coeficiente de Temperatura
- ❖ T = Temperatura media anual (°C)

Por otro lado, se desarrolló un método empírico, la cual es válida para el sur, dado que no se ha podido obtener una ecuación general del coeficiente de escorrentía para la sierra.

$$\bar{C} = 3.16E12 \langle P^{-0.571} \rangle \langle EP^{-3.686} \rangle \quad r = 0.96 \quad \dots (2.99)$$

$$\bar{D} = -1380 + 0.872 \langle P \rangle + 1.032 \langle EP \rangle \quad r = 0.96 \quad \dots (2.100)$$

Donde:

- ❖ C = Coeficiente de escurrimiento
- ❖ D = Déficit de escurrimiento (mm/año)
- ❖ P = Precipitación total anual (mm/año)
- ❖ EP = Evapotranspiración anual según Hargreaves (mm/año)
- ❖ r = Coeficiente de correlación

2.2.10.1.3. Evapotranspiración potencial

Se refiere a la velocidad de evapotranspiración de la cobertura vegetal completa la cual está en activo crecimiento y sin limitación de agua según (Bavel, 1966) nos dice que la evapotranspiración que ocurre cuando la presión de vapor de la superficie evaporante está en el punto de saturación.

La evapotranspiración potencial se ha determinado mediante la fórmula de Hargreaves en base a temperatura:

$$EP = 0.0075 * (RSM) * (TF) * (FA) \quad \dots (2.101)$$

RSM y FA, se determinan con las siguientes ecuaciones:

$$RSM = 0.075 * (RA) * \sqrt{\frac{n}{N}} \quad \dots (2.102)$$

$$FA = 1 + 0.06 * (AL) \quad \dots (2.103)$$



Donde:

- ❖ RSM = Radiación solar media
- ❖ TF = Componente de temperatura
- ❖ FA = Coeficiente de corrección por elevación
- ❖ TF = Temperatura media anual (°F)
- ❖ RA = Radiación extraterrestre (mm H₂O / año)
- ❖ (n/N) = Relación entre insolación actual y posible (%) - 50 % (estimación en base a los registros)
- ❖ AL = Elevación media de la cuenca (Km)

Para determinar la temperatura anual se toma en cuenta el valor de los registros de las estaciones y el gradiente de temperatura de -5.3 °C 1/ 1000 m, determinado para la sierra.

2.2.10.1.4. Precipitación efectiva.

El método a utilizar para el cálculo de la precipitación efectiva es el método de Método de la United States Bureau of Reclamation (USBR)

Tabla 7: Método de la United States Bureau of Reclamation (USBR)

Precipitación total mensual (rango) Mm	Porcentaje del aumento (rango) %	Precipitación efectiva acumulada (rango) mm
0 - 25.4	90 - 100	22.9 - 25.4
25.4 - 50.8	85 - 95	44.5 - 49.5
50.8 - 76.2	75 - 90	63.5 - 72.4
76.2 - 101.6	50 - 80	76.2 - 92.7
101.6 - 127.0	30 - 70	83.8 - 102.9
127.0 - 152.4	Oct - 40	86.4 - 118.1
>152.4	0 - 10	86.4 - 120.6

Fuente: (Plan MERISS, 1980)



Cálculo de Precipitación Efectiva mensual:

$$PE = C I * PE II + C II * PE III \dots (2.104)$$

Donde:

- ❖ PE = Precipitación efectiva mensual.
- ❖ PE II = Precipitación efectiva mensual de la curva II.
- ❖ PE III = Precipitación efectiva mensual de la curva III.
- ❖ C_1 y C_2 = Coeficientes (C1 y C2)

La precipitación efectiva desde el punto de vista hidrológico se tiene un polinomio de quinto grado elaborado por Programa Nacional de Pequeñas y Medianas Irrigaciones - PLAN MERIS II

$$PE = a_0 + a_1P + a_2P^2 + a_3P^3 + a_4P^4 + a_5P^5 \dots \dots (2.105)$$

Donde:

- ❖ PE = Precipitación efectiva (mm/mes)
- ❖ P = Precipitación total mensual (mm/mes)
- ❖ a_1 = Coeficiente del polinomio

Se puede observar en la siguiente tabla los límites de la precipitación efectiva, así como los juegos de coeficientes a_1 los cuales permiten alcanzar por interpolación los valores de C.

Tabla 8: Límite superior para la Precipitación Efectiva

Curva N°	Ecuación	Rango
Curva I	PE = P - 120.6	P > 177.8 mm/mes
Curva II	PE = P - 86.4	P > 152.4 mm/mes
Curva III	PE = P - 59.7	P > 127.0 mm/mes

Fuente: Elaboración propia



Fig. N° 29: Coeficientes para el cálculo de la precipitación efectiva

COEFICIENTE PARA EL CÁLCULO DE PE SEGÚN CURVA			
a_i	CURVA I	CURVA II	CURVA III
a_0	(-0.018)	(-0.021)	(-0.028)
a_1	-0.0185	0.1358	0.2756
a_2	0.001105	-0.002296	-0.004103
a_3	-1.20E-05	4.35E-08	5.53E-05
a_4	1.44E-07	-8.90E-08	1.24E-07
a_5	-2.85E-10	-8.79E-11	-1.42E-09

Fuente: (Plan MERISS, 1980)

2.2.10.1.5. Retención de la cuenca

Si existe un equilibrio entre el gasto y el abastecimiento de la reserva de la cuenca y además que el caudal total sea igual a la precipitación efectiva anual, la contribución de la reserva hídrica al caudal se puede calcular según las fórmulas:

$$R_i = CM_i - P_i \quad \dots (2.106)$$

$$CM_i = PE_i + G_i - A_i \quad \dots (2.107)$$

Donde:

- ❖ CMI = Caudal mensual (mm/mes)
- ❖ PEI = Precipitación Efectiva Mensual (mm/mes)
- ❖ Ri = Retención de la cuenca (mm/mes)
- ❖ GI = Gasto de la retención (mm/mes)
- ❖ AI = Abastecimiento de la retención (mm/mes)
- ❖ Ri = Gi para valores mayores que cero (mm/mes)
- ❖ Ri = Ai para valores menores que cero (mm/mes)

Sumando los valores de G o A respectivamente, se halla la retención total de la cuenca para el año promedio. Tomando en cuenta la sierra varía de 43 a 188 (mm/año).

a) Relación entre descargas y retención.

En el periodo de estación seca, el gasto de la retención alimenta los ríos, constituyendo el



caudal o descarga básica. La reserva o retención de la cuenca se agota al final de la estación seca; durante esta estación la descarga se puede calcular en base a la ecuación:

$$Q_i = Q_0 * e^{-a t} \quad \dots (2.108)$$

Donde:

- ❖ Q_i = Descarga en el tiempo t
- ❖ Q_0 = Descarga inicial
- ❖ a = Coeficiente de agotamiento
- ❖ t = Tiempo

Empezando la estación lluviosa, el proceso de agotamiento de la reserva termina, comenzando a su vez el abastecimiento de los almacenes hídricos. Este proceso está desarrollado por un déficit entre la precipitación efectiva y el caudal real.

b) Coeficiente de agotamiento

Para calcular el coeficiente de agotamiento “a” con los datos hidrometeorológicos, el coeficiente no es contante en la temporada de secas porque este disminuye gradualmente. En la estación seca se empleará un valor promedio para despreocupar la variación del coeficiente “a”. El coeficiente de agotamiento tiene una dependencia logarítmica del área de la cuenca

$$a = f \langle LmAR \rangle \quad \dots (2.109)$$

$$a = 3.1249E67 \langle AR \rangle^{-0.1144} \langle EP \rangle^{-19.336} \langle T \rangle^{-3.369} \langle R \rangle^{-1.429} \quad \dots (2.110)$$

$$r = 0.86 \quad \dots (2.111)$$

Para calcular el del coeficiente de agotamiento se empleó la ecuación empírica para distintos lugares como se detallará a continuación:

Cuencas con agotamiento muy rápido. Debido a temperaturas elevadas (>10°C) y retención que va reducida 50 y 80 mm/año.

$$a = -0.00252 \langle LnAR \rangle + 0.034 \quad \dots (2.112)$$

- Cuencas con agotamiento rápido. Retención entre 50 y 80 mm/año y vegetación poco



desarrollada (Puna):

$$a = -0.00252 \langle \ln AR \rangle + 0.030 \quad \dots (2.113)$$

Donde:

- ❖ a = Coeficiente de agotamiento por día
- ❖ AR = Área de la cuenca (km²)
- ❖ EP = Evapotranspiración potencial anual (mm/año)
- ❖ T = Duración de la temporada seca (días)
- ❖ R = Retención total de la cuenca (mm/año)

c) Almacenamiento hídrico

Tres tipos de almacenes hídricos naturales que inciden en la retención de la cuenca son considerados: Acuíferos, Lagunas y pantanos, y Nevados. La determinación de la lámina "L" que almacena cada tipo de estos almacenes está dado por:

c.1) Acuíferos:

$$L_A = -750(I) + 315 \left(\frac{mm}{año} \right) \quad \dots (2.114)$$

Siendo:

- ❖ LA = Lámina específica de acuíferos
- ❖ I = Pendiente de desagüe: I ≤ 15 %

c.2) Lagunas y Pantanos:

$$L_L = 500 \left(\frac{mm}{año} \right) \quad \dots (2.115)$$

Siendo:

- ❖ LL = Lámina específica de lagunas y pantanos

c.3) Nevados:

$$L_N = 500 \left(\frac{mm}{año} \right) \quad \dots (2.116)$$



Siendo:

- ❖ LN = Lámina específica de nevados

El almacenamiento se expresa en milímetros sobre toda la cuenca. Se considera como referencia los reportes del modelo elaborado por el PLAN MERISS II (Misión Técnica Alemana).

d) Gasto de la retención

El importe mensual de la retención en el periodo de la estación seca se puede hallar experimentalmente en base a los datos históricos de la cuenca en estudio por siguiente formula:

$$G_i = \left[b_i / \sum_{i=1}^m b_i \right] R \quad \dots (2.117)$$

Donde:

- ❖ b_1 = Es la relación entre el caudal del mes actual y anterior (Coeficiente del gasto de la retención).
- ❖ $\sum_{i=1}^m b_i$ = Sumatoria de la relación entre el caudal del mes i y el caudal inicial (Coeficiente del gasto de la retención),
- ❖ G_1 = Es el gasto mensual de la retención (mm/mes)
- ❖ R = Retención de la cuenca (mm/mes).

Pero el coeficiente del gasto de la retención se calcula de la siguiente expresión:

$$b_i = e^{-a t} \quad \dots (2.118)$$

Donde:

- ❖ b_1 = Relación entre el caudal del mes actual y anterior (coeficiente del gasto de la retención).



- ❖ a = Coeficiente de agotamiento.
- ❖ t = Número de días del mes, es acumulativo para los meses siguientes.

e) Restitución

Se tiene como referencia los valores para estimar el almacenamiento mensual en la zona.

$$R_i = (r_i / \sum r_i) \cdot A \quad \dots (2.119)$$

$$r_i = r / 100 \quad \dots (2.120)$$

Donde:

- ❖ R_i = Proporción del agua de lluvia que entra en el almacen hidrico para el mes(i)
- ❖ A = Almacenamiento hídrico
- ❖ r = Almacenamiento hídrico (mm/año)
- ❖ r_i = Almacenamiento hídrico durante la época de lluvias (r %)

f) Abastecimiento de la retención

En la época de lluvias el agua se retiene en la cuenca, almacenando naturalmente en acuíferos, lagunas, pantanos, nevados, para luego alimentar los ríos.

Fig. N° 30: Almacenamiento hídrico durante la época de lluvias (valores en %)

REGION	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Total
CUSCO	0	5	35	40	20	0	100
HUANCAVELICA	10	0	35	30	20	5	100
JUNIN	10	0	25	30	30	5	100
CAJAMARCA	25	-5	0	20	25	35	100

Fuente: (Plan MERISS, 1980)

La lámina de agua A_i que entra en la reserva de la cuenca se muestra en forma de déficit mensual de la Precipitación Efectiva PE_i . Se calcula mediante la ecuación:



$$A_i = a_i \left[\frac{R}{100} \right] \quad \dots (2.121)$$

Siendo:

- ❖ A_i = Abastecimiento mensual déficit de la precipitación efectiva (mm/mes)
- ❖ a_i = Coeficiente de abastecimiento (%)
- ❖ R = Retención de la cuenca (mm/año)

g) Caudal mensual para un año promedio

La lámina de agua que corresponde a un caudal mensual para un año promedio se calcula según la ecuación del balance hídrico.

$$CM_i = PE_i + G_i - A_i \quad \dots (2.122)$$

Donde:

- ❖ CM_i = Caudal del mes i (mm/mes).
- ❖ PE_i = Precipitación efectiva del mes i (mm/mes).
- ❖ G_i = Gasto de la retención del mes i (mm/mes).
- ❖ A_i = Abastecimiento del mes i (mm/mes).

2.2.10.2. Generación de caudales medios mediante el modelo Temez

El método de generación de caudales del modelo Temez fue desarrollado por J. R. Temez en España, sin embargo, fue ampliamente aplicado en las cuencas de la sierra sur peruana.

El modelo reproduce los procesos esenciales del transporte de agua que tienen lugar en las diferentes fases del ciclo hidrológico.

2.2.10.2.1. Formulación teórica

La ley de excedentes se plantea mediante las siguientes expresiones.

A) Cálculo del excedente: El valor del excedente depende directamente de la retención de la cuenca.

$$T_i = 0 \quad \text{si } P_i \leq P_0 \quad \dots (2.123)$$



$$T_i = \frac{(P_i - P_0)^2}{P_i + \partial - 2 * P_0} \quad \dots (2.124)$$

$$\partial = H_{max} - H_{i-1} + EP_i \text{ si } P_i > P_0 \quad \dots (2.125)$$

$$P_0 = C * (H_{max} - H_0) \quad \dots (2.126)$$

Donde:

- ❖ P_i = Precipitación en el periodo comprendido desde el instante i-1 a i (mm)
- ❖ T_i = Excedente en el periodo comprendido desde el instante i-1 a i (mm)
- ❖ H_{max} = Capacidad máxima de humedad del suelo (mm)
- ❖ H_{i-1} = Humedad en el suelo en el instante i-1 a i (mm)
- ❖ EP = Evapotranspiración potencial desde el instante i-1 a i (mm)
- ❖ C = Parámetro de excedente

B) Cálculo de la evapotranspiración potencial: Para calcular la evapotranspiración potencial aplicaremos el método de Hargreaves, el mismo que está en función a la latitud de la zona de estudio, nos valdremos de tablas para determinar el valor de los diversos factores.

$$ETP = MF * TMF * CH * CE \quad \dots (2.127)$$

$$CH = 0.166 * (100 - HR)^{0.5} \quad \dots (2.128)$$

$$CE = 1 + 0.04 * (E/2000) \quad \dots (2.129)$$

Donde:

- ❖ ETP = Evapotranspiración potencial (mm/mes)
- ❖ MF = Factor mensual de latitud (obtenido mediante un cuadro)
- ❖ TMF = T° media mensual (°F)
- ❖ CH = Factor de corrección para la humedad relativa
- ❖ CE = Factor de corrección para la altura o elevación del lugar
- ❖ HR = Humedad relativa media mensual



❖ E = Elevación del lugar m.s.n.m.

C) Infiltración: Para el siguiente cálculo es necesario poseer la infiltración máxima de la cuenca, así como el excedente (calculado anteriormente).

$$I_i = I_{max} * \frac{T_i}{T_i + I_{max}} \quad \dots (2.130)$$

Donde:

❖ I = Infiltración del acuífero

❖ T = Excedente

❖ I_{max} = Infiltración máxima

D) Aportación total

$$A_i = T_i - I_i \quad \dots (2.131)$$

2.2.12. Modelo WEAP

Este modelo se adecua a las necesidades para distintas especialidades como los encargados de planificación hidrológica, hidráulicos, economistas y comunidades locales, este conceptualiza una teoría o una hipótesis de como dicho fenómeno funciona, los cuales sirven de apoyo para la toma de decisiones que garanticen y satisfagan las distintas demandas que se presenten.

Este modelo simula diferentes modelos los cuales simularan fenómenos que estén relacionados en tres categorías:

La primera simulación es del comportamiento de flujos en los cauces en diferentes escenarios hidráulicos.

La segunda simulación es de la relación entre las características meteorológicas, así como también la escorrentía de la cuenca.

Y por último la simulación de planificación las cuales modelan la operación de los sistemas de recursos hídricos de la cuenca.

Los requerimientos para usar la herramienta son:



WEAP es accesible debido a su interfaz gráfica, lo cual lo hace más simple que otros modelos similares. Sin embargo, se requiere conocimiento técnico para usarlo y se recomienda disponer de un computador de buena calidad con acceso a Internet. Finalmente, dependiendo de las cuestiones que se esperan resolver con WEAP, el modelo puede requerir un rango amplio de datos, ya sea desde poca información si el problema es simple, hasta una gran cantidad de datos climáticos, y de suministro y demanda agua si se está modelando la hidrología y los recursos Hídricos de un sistema complejo. Santiago Boston (2009).

El modelo WEAP presenta distintos procesos de aplicación de este.

El desarrollo de un modelo WEAP incluye generalmente las siguientes etapas:

- **Definición del estudio:** En esta etapa se establece el marco temporal, los límites espaciales, los componentes del sistema y la configuración del problema.
- **Búsqueda de información:** En esta etapa se hace una recolección de datos de acuerdo con el tipo de estudio definido. Esta etapa puede ser iterativa, y generalmente se realiza en dos partes: una etapa de recolección de datos generales, y una etapa de recolección de datos específicos una vez se ha montado el modelo y se han identificado necesidades adicionales de información.
- **Desarrollo del modelo:** En esta etapa se construye el esquema, se realiza la entrada de datos y se realizan corridas iniciales de modelo para observar su comportamiento preliminar y para eliminar posibles inconsistencias y errores.
- **Calibración:** Aquí se desarrolla una caracterización de la oferta y demanda actual del agua, las cargas de contaminantes, los recursos y las fuentes para el sistema.
- **Uso del modelo, generación de escenarios:** Una vez que el modelo está calibrado, se pueden explorar los impactos que tendría una serie de supuestos alternativos sobre las políticas futuras, costos, y clima, por ejemplo, en la demanda de agua, oferta de agua, hidrología y contaminación. Santiago Boston (2009).

2.3. Hipótesis

2.3.1. Hipótesis general

El balance hídrico de la cuenca de la laguna de Piuray evaluado con el modelo WEAP para el escenario más desfavorable en el año 2040 tendrá un descenso en la disponibilidad hídrica



de 3 millones de metros cúbicos para satisfacer el abastecimiento de las poblaciones de Cusco y Chichero.

2.3.2. Sub Hipótesis

- **Hipótesis específica 01:** La oferta hídrica anual de la microcuenca de la laguna de Piuray en el año 2019 asciende a 20 millones de metros cúbicos anuales, la oferta hídrica se reducirá en 5% en el año 2040.
- **Hipótesis específica 02:** La demanda hídrica anual de la microcuenca de la laguna de Piuray en el año 2019 asciende a 15 millones de metros cúbicos anuales, en el año 2040 el incremento será de un 10%.
- **Hipótesis específica 03:** La mayor demanda hídrica dentro de los escenarios evaluados por el modelo WEAP al año 2040 para la microcuenca de la laguna de Piuray con fines de abastecimiento para la ciudad de Cusco y Chinchero, será la correspondiente al Escenario N° 04.

2.4. Variables

2.4.1. Variables dependientes

- Balance hídrico: El establecimiento del balance hídrico completo de una cuenca hidrográfica es un problema muy complejo, que involucra muchas mediciones de campo. Con frecuencia, para fines prácticos, se suelen separar el balance de las aguas superficiales y el de las aguas subterráneas. (Gálvez, 2011)

2.4.2.1. Indicadores de variables dependientes

Balance hídrico: La presente variable dependiente hace referencia al equilibrio entre los ingresos y salidas de una cuenca. Los indicadores del balance hídrico son dos:

- ❖ Oferta hídrica
- ❖ Demanda hídrica

2.4.2. Variables independientes

- Oferta hídrica superficial: Cantidad de agua superficial dentro de la cuenca disponible para la extracción.
- Demanda hídrica: Referido a aquel valor que indica la cantidad de agua que es demandada para uso poblacional, agrícola y pecuario, en un determinado sector o cuenca hidrográfica.



2.4.2.1. Indicadores de variables independientes:

Para la variable independiente: Oferta hídrica superficial

- ❖ Precipitación efectiva
- ❖ Coeficiente de escurrimiento
- ❖ Coeficiente de agotamiento
- ❖ Retención de la cuenca
- ❖ Gasto de retención
- ❖ Abastecimiento de retención
- ❖ Evapotranspiración

Para la variable independiente: Demanda hídrica

Demanda antrópica

- ❖ Uso agrícola
- ❖ Uso pecuario
- ❖ Uso doméstico

Demanda natural

- ❖ Evaporación
- ❖ Caudal ecológico

2.4.3. Cuadro de operacionalización de variables

Tabla 9: Cuadro de operacionalización de variables

Cuadro de operacionabilidad de variables					
Tipo de variable	Variable	Descripción de la variable	Indicadores	Unidad	Instrumento
Independiente	Oferta hídrica superficial	Cantidad de agua disponible	Evapotranspiración	mm/mes	Registro de estaciones meteorológicas de SENAMHI y Sedacusco
			Precipitación efectiva	mm/mes	
			Coefficiente de escurrimiento	-	
			Coefficiente de agotamiento	-	
			Retención de la cuenca	mm/mes	
			Gasto de retención	mm/mes	
			Abastecimiento de retención	mm/mes	
	Demanda hídrica	Cantidad de agua requerida para cubrir una necesidad	Uso agrícola	m ³ /s	Encuestas propias y software Arcgis
			Uso pecuario	m ³ /s	
			Uso doméstico	m ³ /s	
Cantidad de agua extraída por ciclo hidrológico		Evaporación	mm/día	Registro de consumo EPS Sedacusco	
		Caudal ecológico	m ³ /s		
Dependiente	Balance hídrico	Diferencia entre los ingresos y egresos de la cuenca	Demanda hídrica	m ³ /s	Plantillas de Excel
			Oferta hídrica	m ³ /s	

Fuente: Elaboración propia



CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1. Metodología de la investigación

3.1.1. Enfoque de la investigación

La presente investigación tiene un enfoque Cuantitativo

Según (Sampieri, Collado, & Baptista, 2010). Metodología de la Investigación. Una investigación de tipo cuantitativa es aquella que para medir un fenómeno se vale de la estadística tratando de probar una hipótesis, establecer patrones o hacer un análisis causa-efecto.

Dentro de la presente investigación se llevará a cabo una recolección de datos, los mismos que serán procesados y analizados mediante métodos estadísticos, a su vez realizaremos un modelamiento hidrológico de la cuenca para al final realizar una comparativa entre la oferta hídrica disponible y la demanda, lo que nos lleva a determinar que la investigación es de tipo cuantitativa.

3.1.2. Nivel o alcance de la investigación

La presente investigación es Correlacional.

Según (Caballero Romero, 2014) los estudios correlacionales tienen por objeto medir el grado de relación significativa que existe entre dos o más variables, conocer el comportamiento de una variable dependiente a partir de la información de la variable independiente o causal. Es decir, intenta predecir, el valor aproximado que tendrá el comportamiento de un grupo de individuos en una variable, a partir de valor que tienen en las otras variables relacionadas.

El objetivo de la presente investigación es determinar la disponibilidad hídrica de la cuenca de la laguna de Piuray, para lo cual es necesario analizar las diferentes variables que influyen en ella, siendo estas la oferta y demanda hídrica (variables independientes) así como su relación entre ellas, describiendo de esta manera a nuestra variable dependiente, el balance hídrico.



3.1.3. Método de investigación

La presente investigación es Hipotético-deductivo.

Según (Bernal, 2010) el método hipotético-deductivo consiste en un procedimiento que parte de unas aseveraciones en calidad de hipótesis y busca refutar o falsear tales hipótesis, deduciendo de ellas conclusiones que deben confrontarse con los hechos.

Determinamos que el método aplicado en la investigación es hipotético-deductivo debido a que previo al procesamiento de los datos planteamos tanto una hipótesis general como cinco hipótesis específicas, las cuales fueron posteriormente refutadas o comprobadas.

3.2. Diseño de la investigación

3.2.1. Diseño metodológico

La presente investigación tiene un diseño no experimental.

(Sampieri, Collado, & Baptista, 2010) afirman que una investigación es aquella que se realiza sin manipular deliberadamente variables. Es decir, se trata de estudios donde no hacemos variar en forma intencional las variables independientes para ver su efecto sobre otras variables. Lo que hacemos en la investigación no experimental es observar fenómenos tal como se dan en su contexto natural, para posteriormente analizarlos.

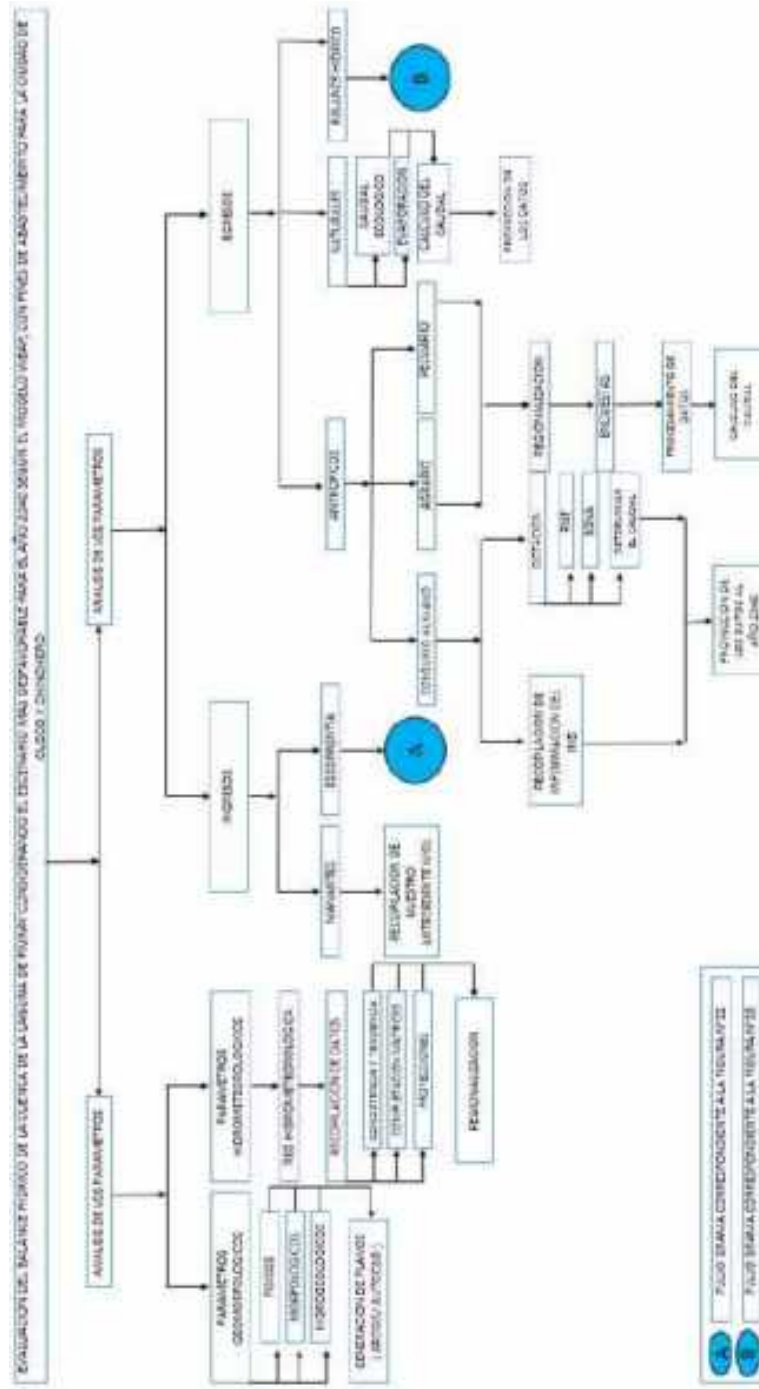
En un estudio no experimental no se genera ninguna situación, sino que se observan situaciones ya existentes, no provocadas intencionalmente en la investigación por quien la realiza. En la investigación no experimental las variables independientes ocurren y no es posible manipularlas, no se tiene control directo sobre dichas variables ni se puede influir sobre ellas, porque ya sucedieron, al igual que sus efectos.

Durante la presente investigación no se alteró intencionalmente las variables en estudio, el principal objetivo era conseguir datos de precisión y exactitud, tales como los datos hidrometeorológicos, así como la demanda de agua de sectores como la agricultura, industrial y pecuario, por ello se solicitó dicha información a entidades encargadas como la EPS SEDACUSCO y Senamhi. Adicionalmente se realizaron encuestas para obtener datos actuales de la demanda de los diversos sectores que son alimentados por la laguna de Piuray.

3.2.2. Diseño de ingeniería

El estudio se realizó en diferentes etapas, cada una de ellas descrita en los siguientes flujogramas:

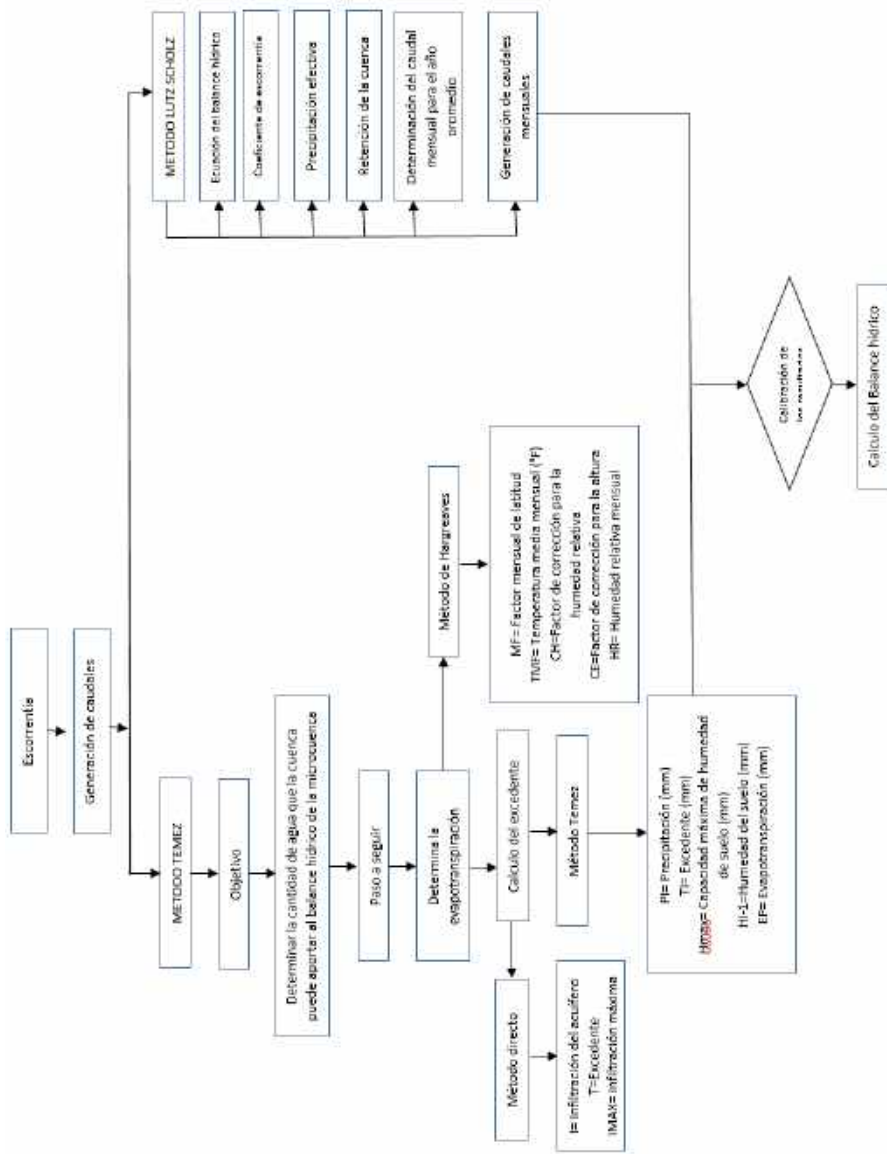
Fig. N° 31: Flujograma de la investigación



Fuente: Elaboración propia

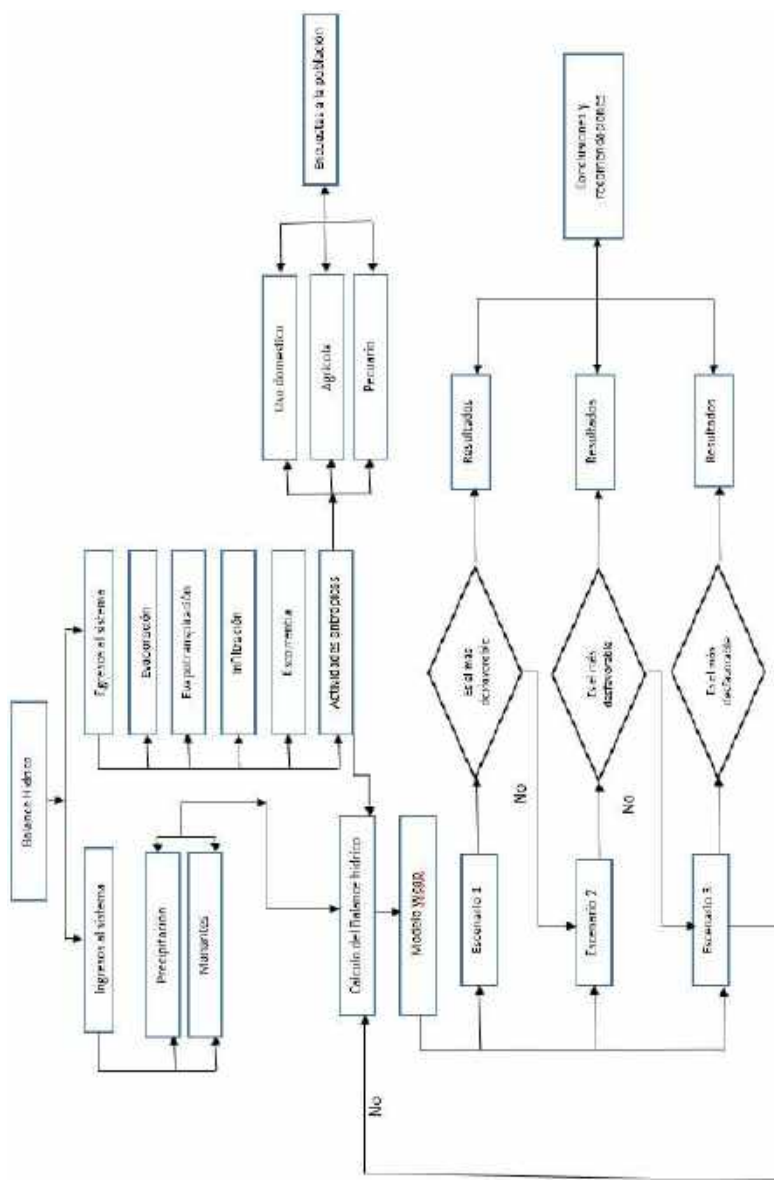


Fig. N° 32: Esquema de cálculo de escorrentía y oferta hídrica



Fuente: Elaboración propia

Fig. N° 33: Esquema Balance Hídrico



Fuente: Elaboración propia

3.3. Población y muestra

Los datos requeridos para la presente investigación requirieron dividir la población en dos, una para la oferta hídrica y otra para la demanda.

3.3.1. Población

3.3.1.1 Descripción de la población

- Estudio de la oferta hídrica



Para el estudio de la oferta hídrica la población estaba constituida por estaciones hidrometeorológicas cercanas a la zona de estudio, las mismas que tienen como finalidad recopilar datos como precipitación, temperatura, caudales medios, entre otros.

- Estudio de la demanda de agua

Para el estudio de la demanda de agua nos valimos de diversas fuentes, en primera instancia, para los datos de consumo por parte del centro histórico de la ciudad del Cusco y la zona urbana de Chinchero, nos valimos de información suministrada por la EPS SEDACUSCO.

Para el consumo de agua por parte del sector agropecuario la población es abarcada por unidades agropecuarias ubicadas dentro del área de influencia de la zona de estudio, estas están a cargo de un productor agropecuario, que lo constituye como unidad económica y que, por lo tanto, puede suministrar información del uso necesario de agua requerido por dicha actividad.

3.3.1.2 Cuantificación de la población

- Estudio de la oferta hídrica

Para la cuantificación de la población de la oferta hídrica, hicimos uso de información suministrada por 6 estaciones meteorológicas, todas ellas con una proximidad considerable a la zona de estudio, estas son:

- Estación meteorológica – Calca
- Estación meteorológica – Pisac
- Estación meteorológica – Urubamba
- Estación meteorológica – Kayra
- Estación meteorológica – Anta
- Estación meteorológica – Piuray

- Estudio de la demanda de agua

La medición fue basada en función a unidades agrarias, las cuales son constituidas como unidades de terreno utilizados para la producción agrícola, así como estimaciones de producción pecuaria, obtenidos mediante procesamiento estadístico de datos recaudados por medio de una encuesta al sector en mención.



3.3.2. Muestra

3.3.2.1. Descripción de la muestra

- Estudio de la oferta hídrica

Las muestras dentro del estudio corresponden a las estaciones meteorológicas de las cuales obtuvimos datos como precipitación, temperatura, velocidad del viento, entre otros. Los mismos datos que fueron necesarios para realizar las proyecciones mediante modelos matemáticos.

- Estudio de la demanda de agua

La muestra para la demanda de agua corresponde a las unidades agropecuarias, por ende la cantidad de terreno destinado a dicha actividad.

Se entiende como unidades agropecuarias, a los terrenos utilizados total o parcialmente para la producción agrícola y/o de todo el ganado, conducidos como una unidad económica por un productor agropecuario.

3.3.2.2. Cuantificación de la muestra

- Estudio de la oferta hídrica

La cuantificación de la muestra para el estudio de oferta hídrica fue en base a la cercanía de las estaciones meteorológicas a la cuenca de estudios, según el criterio de los investigadores.

Las estaciones seleccionadas fueron las siguientes:

- Estación meteorológica – Calca
- Estación meteorológica – Pisac
- Estación meteorológica – Urubamba
- Estación meteorológica – Kayra
- Estación meteorológica – Anta
- Estación meteorológica – Piuray
- Estudio de demanda de agua

El criterio usado para la cuantificación de la muestra fue el brindado por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura FAO.



3.3.2.3. Método de muestreo

Para la cuantificación de la muestra, en el caso de estudio de la oferta hídrica, se realizó un muestreo no probabilístico, el cual consiste en aplicar el criterio del investigador, indicando cuales muestras con aquellas que convienen para la investigación.

Por otra parte, las muestras de la demanda fueron determinadas mediante el método probabilístico, aplicando la formula presentada a continuación:

$$n = \frac{N^2 * t^2 * \sigma^2}{N * e^2 + t^2 * \sigma^2} \dots (3.1)$$

Donde:

- n = Muestra.
- N = Población.
- σ = Probabilidad de que exista y probabilidad de que no exista.
- e = Error de selección de muestra (5%).
- t = Coeficiente de confianza 95% (1.96).

3.3.2.4. Criterios de evaluación de muestra

En nuestro caso se presenta un método no probabilístico, teniendo el caso de la oferta hídrica la cual no se eligió siguiendo un procedimiento mecánico o en base a fórmulas de probabilidad, este se seleccionó por decisión de los investigadores de acuerdo a las características de la investigación.

3.3.3. Criterios de inclusión.

3.3.3.1. De la estación hidrometeorológica.

Para elegir las estaciones se consideró lo siguiente:

- Las estaciones deben de tener un registro de 15 años por lo menos, las cuales tengan la disponibilidad de información de registros hidrométricos.



- Las ubicaciones de las estaciones preferentemente deberán estar dentro de la cuenca de estudio.
- Se deberá descartar las estaciones que presenten un comportamiento distinto a las estaciones aledañas.

3.3.3.2. Unidades agropecuarias.

Para seleccionar las unidades agropecuarias se consideró lo siguiente:

- Serán de fácil acceso por la vía terrestre.
- Deberá haber un responsable en la unidad.
- Las unidades agropecuarias se deberán tomar solo las que estén dentro de la cuenca de estudio.
- Se deberá tomar en cuenta el sector de una explotación dinámica y no estén en abandono temporal o total, de preferencia aquellas que presentan actividad agrícola y pecuaria.

3.4. Instrumentos

3.4.1. Instrumentos metodológicos

Para realizar la recopilación de datos los cuales serán necesarios para el modelo hidrometeorológico, se tienen los siguientes formatos:



Tabla 10: Formato de registro del correntómetro

		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO			
"EVALUACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO DE LA CUENCA DE LA LAGUNA DE PIURAY CONSIDERANDO EL ESCENARIO MÁS DESFAVORABLE PARA EL AÑO 2040 SEGÚN EL MODELO WEAP, CON FINES DE ABASTECIMIENTO PARA LA CIUDAD DE CUSCO Y CHINCHERO"					
EQUIPO	CORRONTOMETRO			FECHA	
RIO					
PROVINCIA		DISTRITO		COMUNIDAD	
COORDENADAS UTM					
NORTE		ESTE		ELEVACION	
ANCHO DEL CAUCE	DISTANCIA ENTRE PUNTOS			TIRANTE	VELOCIDAD
(m)	(cm)			(m)	(m/s)

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11: Formato de registro de precipitación mensual

		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO											
"EVALUACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO DE LA CUENCA DE LA LAGUNA DE PIURAY CONSIDERANDO EL ESCENARIO MÁS DESFAVORABLE PARA EL AÑO 2040 SEGÚN EL MODELO WEAP, CON FINES DE ABASTECIMIENTO PARA LA CIUDAD DE CUSCO Y CHINCHERO"													
OFICINA GENERAL DE ESTADISTICA E INFORMATICA													
ESTACION				LATITUD=	DPTO=								
PARAMETRO				LONGITUD=	PROV=								
				ALTITUD=	DIST=								
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTAL

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12: Formato de registro de temperatura máxima, mínima y media

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO													
EVALUACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO DE LA CUENCA DE LA LAGUNA DE PIURAY CONSIDERANDO EL ESCENARIO MÁS DESFAVORABLE PARA EL AÑO 2040 SEGÚN EL MODELO WEAP, CON FINES DE ABASTECIMIENTO PARA LA CIUDAD DE CUSCO Y CHINCHERO													
OFICINA GENERAL DE ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA								LATITUD=		DPTO=			
ESTACION								LONGITUD=		PROV=			
PARAMETRO	TEMPERATURA							ALTITUD=		DIST=			
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTAL

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13: Formato de registro de caudales medios mensuales

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO													
EVALUACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO DE LA CUENCA DE LA LAGUNA DE PIURAY CONSIDERANDO EL ESCENARIO MÁS DESFAVORABLE PARA EL AÑO 2040 SEGÚN EL MODELO WEAP, CON FINES DE ABASTECIMIENTO PARA LA CIUDAD DE CUSCO Y CHINCHERO													
OFICINA GENERAL DE ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA								LATITUD=		DPTO=			
ESTACION								LONGITUD=		PROV=			
PARAMETRO	CAUDALES MEDIOS MENSUALES							ALTITUD=		DIST=			
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTAL

Fuente: Elaboración propia.



Tabla 14: Formato de encuesta para cálculo de demanda

ENCUESTA PARA EL CÁLCULO DE DEMANDA DE AGUA PARA LA INDUSTRIA
AGROPECUARIA

Fecha: ___/___/___

Nº de encuesta: _____

1. Datos de identificación del productor

Nombre:	
Dirección:	
D.N.I.:	
Celular:	
Comunidad:	

2. Tipos de tierra y cantidad

	Tipo de tierra	Unidad	Cantidad
Área de cultivo	Riego por aspersión		
	Riego por gravedad		
	Secano		
Huertos	Biohuerto a campo abierto		
	Fitotoldo		
	Frutales		
Pastos cultivados	Riego por aspersión		
	Riego por gravedad		
	Secano		
Pastos naturales	Riego		
	Secano		
Bosquetes	Especies Nativas		
	Especies Exóticas		

3. Producción agrícola

Producto	Nº de campañas	Unidad	Cantidad
Papa comercial			
Papa nativa			
Mashua			
Quinoa			
Arveja			
Maíz			
Habas			
Cebada			
Avena			
Trigo			
Alfalfa			
Hortalizas			
Otros:			



1. Producción pecuaria

Ganado Vacuno				
Tipo	Cantidad	Conoc.	Unidad	Cant. Agua
Ternero (hasta 1 año)				
Vaquillas (1 – 2 años)				
Vaquillonas (2 años – 1er parto)				
Vacas (desde 1er parto)				
Toretas (1 – 2 años)				
Toros (2 años – antes de castrar)				
Bueyes (castrado)				
Ganado fuera de parcelas				
Ganado Ovino				
Tipo	Cantidad	Conoc.	Unidad	Cantidad
Cordero (hasta 1 año)				
Borreguillas (2 años – 1er parto)				
Borregas (desde 1er parto)				
Carnerillos (1 – 2 años)				
Carneros (2 años – antes de castrar)				
Capones (Castrados)				
Ganado fuera de parcelas				
Ganado Porcino				
Tipo	Cantidad	Conoc.	Unidad	Cantidad
Lechones (hasta destetar)				
Gorriñas (destetar – 1er parto)				
Marranas (desde 1er parto)				
Carnerillos (destete – 6 meses)				
Varracos (desde 6 meses)				
Ganado fuera de parcelas				
Otras especies				
Tipo	Cantidad	Conoc.	Unidad	Cantidad
Cabras				
Llamas				



Vicuñas				
Caballos, yeguas, potros				
Cuyes				
Ganado fuera de parcelas				
Aves de corral				
Tipo	Cantidad	Conoc.	Unidad	Cantidad
Pollos				
Gallinas				
Gallos				
Pavos				
Patos				
Ganado fuera de parcela				

2. Procedencia del agua

Tipo	Marcar
Pozo	
Río	
Laguna	
Manantial	
Reservorio	


Otros: _____

3. Época del año en que tiene problemas de abastecimiento de agua

Mes	Marcar	Mes	Marcar
Enero		Julio	
Febrero		Agosto	
Marzo		Septiembre	
Abril		Octubre	
Mayo		Noviembre	
Junio		Diciembre	

3.4.2. Instrumentos de ingeniería

Instrumento	Descripción
 <p>FUENTE: ELABORACION PROPIA</p>	<p>Cinta métrica</p> <p>Es un instrumento de medida que consiste en una cinta flexible graduada y de fácil transporte, el cual ha sido utilizado para obtener las dimensiones requeridas en el trabajo de campo.</p>


Instrumento	Descripción
 <p>FUENTE: ELABORACION PROPIA</p>	<p>Correntómetro</p> <p>Aparato que sirve para medir la velocidad y la dirección de las corrientes de agua, utilizada en el proceso de aforamiento del trabajo de campo.</p>

Instrumento	Descripción
 <p>FUENTE:GOOGLE</p>	<p>GPS</p> <p>Equipo que permite determinar en todo el mundo la posición de un objeto, una persona, un vehículo o una nave, con una precisión hasta de centímetros o unos pocos metros. Utilizado para georeferenciar todo el trabajo de campo realizado.</p>



Instrumento	Descripción
 <p data-bbox="511 483 672 514">Fuente: Google</p>	<p data-bbox="982 283 1084 310">AutoCAD</p> <p data-bbox="820 336 1243 493">AutoCAD Civil 3D es una herramienta específica para diseño gráfico de vías, carreteras, cálculo, perfiles y animaciones entre otras cosas.</p>

Instrumento	Descripción
 <p data-bbox="511 955 672 987">Fuente: Google</p>	<p data-bbox="982 682 1084 709">ArcGIS</p> <p data-bbox="820 735 1243 976">ArcGIS es un completo sistema que permite recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir información geográfica. Considerada plataforma líder mundial para crear y utilizar sistemas de información geográfica (SIG).</p>

Instrumento	Descripción
 <p data-bbox="511 1354 672 1386">Fuente: Google</p>	<p data-bbox="998 1186 1084 1213">WEAP</p> <p data-bbox="820 1239 1248 1438">Programa de modelación para planificar y distribuir el agua, el cual puede ser aplicado en escalas diferentes de grandes y pequeñas captaciones, el programa ha sido ampliamente utilizado en cuencas peruanas.</p>

3.5. Procedimiento de recolección de datos

Los datos requeridos para la investigación fueron suministrados por dos entidades, el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) y la empresa prestadora de servicios SEDACUSCO. Los datos suministrados por el SENAMHI correspondían a los registros de precipitación (total mensual), temperatura (mínima, media y máxima diaria), humedad relativa (media mensual), velocidad del viento (media mensual), horas sol, los



mismos que fueron recabados por las estaciones meteorológicas solicitadas, las cuales son descritas en la Tabla N° 16.

Tabla 15: Estaciones meteorológicas empleadas en la investigación

N°	Estación	Coordenadas Geográficas						Altitud msnm	Distrito	Provincia
		Latitud			Longitud					
		°	'	"	°	'	"			
1	Pisac	-13	24	57	-71	51	3	2950	Pisac	Calca
2	Kayra	-13	33	24.7	-71	52	29.8	3219	San Jerónimo	Cusco
3	Urubamba	-13	18	18.6	-72	7	28.4	2850	Urubamba	Urubamba
4	Anta	-13	28	6	-72	12	57	3340	Zurite	Anta
5	Calca	-13	20	0	-71	57	0	2926	Calca	Calca

Fuente: Elaboración propia

La siguiente tabla presenta un ejemplo de la presencia de datos en la información suministrada por el SENAMHI, la totalidad de los resúmenes se encuentran en el Anexo I.

Tabla 16: Precipitación total mensual

PRECIPITACION TOTAL MENSUAL DE ANTA EN (mm)												
Año	ENE	FEB	MA	ABR	MA	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1964												
1965												
1966												
1967												
1968												
1969												
1970												
1971												
1972												
1973												
1974												
1975												
1976												
1977												
1978												
1979												
1980												
1981												
1982												
1983												
1984												
1985												
1986												
1987												
1988												
1989												
1990												
1991												
1992												
1993												
1994												
1995												
1996												
1997												
1998												

PRECIPITACION TOTAL MENSUAL CALCA EN (mm)												
Año	EN	FE	MA	AB	MA	JU	JUL	AG	SET	OC	NO	DIC
1963												
1964												
1965												
1966												
1967												
1968												
1969												
1970												
1971												
1972												
1973												
1974												
1975												
1976												
1977												
1978												
1979												
1980												
1981												
1982												
1983												
1984												
1985												
1986												
1987												
1988												
1989												
1990												
1991												
1992												
1993												
1994												
1995												
1996												
1997												
1998												



Fuente: Elaboración propia



3.5.1. Registro de precipitación total mensual

La siguiente tabla representa un ejemplo de los datos suministrados por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrológica (SENAMHI) de las estaciones solicitadas para poder desarrollar los diversos parámetros de la cuenca en estudio.

Tabla 17: Registro de precipitación total mensual

 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL 													
"EVALUACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO DE LA CUENCA DE LA LAGUNA DE PIURAY CONSIDERANDO EL ESCENARIO MÁS DESFAVORABLE PARA EL AÑO 2040 SEGÚN EL MODELO WEAP, CON FINES DE ABASTECIMIENTO PARA LA CIUDAD DE CUSCO Y CHINCHERO"													
DATOS GENERALES DE LA ESTACIÓN													
NOMBRE:	ESTACIÓN KAYRA						TIPO:	METEOROLÓGICA					
LATITUD:	13° 33' 24.7"						DEPARTAMENTO:	CUSCO					
LONGITUD:	71° 52' 29.8"						PROVINCIA:	CUSCO					
ALTITUD:	3219						DISTRITO:	SAN JERÓNIMO					
PARÁMETRO:	PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL						PERIODO:	1964-2018					
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
1964		92.50	101.60	26.00	6.50	0.00	0.00	0.00	0.00	36.50	0.00	65.60	
1965	101.80	100.50	112.40	88.00	5.80	0.00	0.40	1.00	29.60	58.30	42.50	153.00	
1966	78.30	171.20	79.90	18.30	19.80	0.00	0.00	1.70	31.90	59.70	65.20	71.40	
1967	59.10	118.40	140.30	19.00	1.80	0.60	11.00	19.00	32.80	70.90	57.20	125.60	
1968	149.40	106.60	84.50	34.60	6.30	5.30	30.90	8.60	16.30	84.60	86.70	54.40	
1969	144.40	77.80	88.10	16.80	2.90	3.30	7.20	3.90	22.80	29.80	54.70	72.90	
1970	170.60	92.60	132.50	86.10	2.30	1.00	3.70	3.40	42.10	46.10	48.20	177.40	
1971	128.90	161.60	83.60	40.00	1.50	0.10	0.00	5.70	3.50	55.70	51.00	127.50	
1972	192.10	66.80	57.20	29.70	3.40	0.00	6.50	27.30	12.20	7.90	50.20	100.20	
1973	221.30	120.90	99.60	75.20	14.00	0.00	9.10	11.80	14.50	65.10	88.80	96.50	
1974	102.50	157.70	121.50	34.50	3.60	8.20	1.00	34.60	5.90	43.30	60.90	108.00	
1975	124.70	131.00	55.30	66.80	22.50	0.70	0.30	0.60	51.10	47.50	51.00	170.10	
1976	119.60	83.10	123.10	42.90	13.00	8.70	0.70	2.50	26.80	25.30	47.80	66.80	
1977	116.70	122.80	69.30	47.60	7.90	0.00	4.40	0.00	29.90	65.00	71.50	78.00	
1978	175.40	106.10	88.50	48.70	11.40	0.00	3.40	0.00	13.70	12.30	86.70	117.90	
1979	101.10	131.60	108.80	46.80	6.20	0.00	0.90	8.10	11.50	18.40	85.60	81.80	
1980	106.20	126.40	135.00	23.20	3.70	0.00	5.30	1.00	12.60	62.90	60.20	83.10	
1981	225.40	80.80	124.40	56.90	1.80	3.90	0.00	9.80	45.90	108.90	120.80	144.30	
1982	178.90	115.50	143.10	58.80	0.00	9.20	3.40	4.90	14.00	37.90	122.50	98.60	
1983	128.40	84.00	54.50	29.80	3.40	6.20	0.50	0.90	5.50	26.00	44.30	100.20	
1984	198.60	142.40	71.00	82.80	0.00	2.00	1.30	11.40	4.20	114.60	69.40	102.80	
1985	129.10	119.40	74.20	33.20	15.60	11.60	0.90	0.00	43.30	62.10	116.50	122.40	
1986	76.40	92.20	125.70	65.50	6.20	0.00	1.80	4.20	7.50	17.30	69.60	102.70	
1987	224.30	87.90	48.60	13.10	2.10	1.30	9.20	0.00	8.20	26.50	101.80	107.60	
1988	163.80	84.30	166.50	108.90	4.60	0.00	0.00	0.00	9.90	36.20	47.60	103.70	
1989	151.40	126.80	119.30	38.60	6.40	9.10	0.00	6.10	30.70	48.70	60.70	88.50	
1990	157.60	90.40	60.20	47.40	7.50	31.80	0.00	5.80	13.30	73.70	86.90	66.50	
1991	97.60	163.60	105.20	45.10	11.00	5.10	1.50	0.00	21.40	49.30	83.60	99.00	
1992	114.10	102.40	104.00	14.90	0.00	19.40	0.00	21.40	8.00	50.70	117.40	57.00	
1993	206.70	110.50	75.80	18.80	0.90	0.00	2.70	6.90	18.00	46.20	111.90	201.50	
1994	177.00	163.90	173.90	45.50	11.80	0.00	0.00	0.00	25.70	40.20	40.50	119.90	
1995	122.00	94.80	95.30	17.80	0.00	0.00	0.60	1.20	28.80	26.70	70.20	102.60	
1996	131.90	98.00	70.50	32.30	11.00	0.00	0.00	6.30	19.60	58.40	49.00	133.20	
1997	123.30	127.70	104.80	31.00	4.80	0.00	0.00	7.10	12.30	44.40	201.50	148.40	
1998	116.30	156.20	22.60	31.00	1.60	1.90	0.00	1.60	4.30	49.80	49.70	58.90	
1999	89.30	92.20	92.00	42.80	1.30	3.40	1.00	0.00	43.10	18.80	39.70	119.50	
2000	197.40	137.30	119.50	10.90	2.60	5.80	2.70	4.50	10.70	49.30	29.30	82.00	
2001	233.00	173.10	137.40	36.40	11.50	0.00	17.40	10.20	20.60	38.30	96.80	89.40	
2002	134.50	184.60	112.70	21.60	16.20	2.50	27.10	3.70	10.30	78.70	97.80	132.40	
2003	163.90	135.50	142.90	56.50	2.00	6.40	0.00	21.30	3.70	34.60	23.10	123.80	
2004	173.70	125.80	66.50	21.00	2.40	20.50	17.00	9.00	21.70	25.60	60.90	87.90	
2005	140.80	130.60	120.20	33.10	3.20	0.40	1.20	4.00	4.50	39.10	59.30	102.50	
2006	203.40	155.50	145.90	40.90	0.20	4.90	0.00	10.50	7.50	72.50	67.80	147.20	
2007	140.80	58.70	107.30	93.60	5.80	0.00	4.00	0.00	1.00			88.40	

Fuente: (SENAMHI, 2019)



3.5.2. Registro de temperatura mínima mensual

Tabla 18: Registro de temperatura mínima mensual



"EVALUACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO DE LA CUENCA DE LA LAGUNA DE PIURAY CONSIDERANDO EL ESCENARIO MÁS DESFAVORABLE PARA EL AÑO 2040 SEGÚN EL MODELO WEAP, CON FINES DE ABASTECIMIENTO PARA LA CIUDAD DE CUSCO Y CHINCHERO"

DATOS GENERALES DE LA ESTACIÓN			
NOMBRE:	ESTACIÓN KAYRA	TIPO:	METEOROLÓGICA
LATITUD:	13° 33' 24.7"	DEPARTAMENTO:	CUSCO
LONGITUD:	71° 52' 29.8"	PROVINCIA:	CUSCO
ALTITUD:	3219	DISTRITO:	SAN JERÓNIMO
PARÁMETRO:	TEMPERATURA MÍNIMA MENSUAL (°C)	PERIODO:	1964-2018

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1964		6.73	6.65	4.41	0.75	-4.07	-4.10	0.13	3.44	4.73	4.64	6.09
1965	6.31	7.34	5.75	3.20	-0.95	-3.41	-2.27	-0.89	3.21	5.14	6.09	7.06
1966	5.96	7.07	5.29	1.68	0.79	-2.90	-3.27	-0.43	2.18	5.83	6.34	5.68
1967	5.83	7.26	6.83	3.35	1.67	-2.09	-2.05	0.87	3.24	5.14	4.70	6.11
1968	6.24	7.28	5.74	2.27	-1.41	-2.20	-1.45	1.60	2.81	5.30	6.44	5.77
1969	6.50	6.58	6.63	3.73	0.47	-1.31	-2.06	-1.15	2.81	4.72	5.09	6.58
1970	7.41	7.44	5.88	5.29	0.02	-1.55	-2.73	-1.42	2.96	4.31	4.14	6.08
1971	6.16	6.59	4.89	2.16	-0.65	-1.53	-2.68	0.20	1.61	4.04	5.00	6.11
1972	6.68	6.79	6.57	4.40	0.59	-1.89	-1.08	0.97	2.57	5.10	6.69	6.78
1973	8.32	8.67	7.71	5.39	0.85	-1.34	-0.21	1.39	3.81	5.75	6.87	6.85
1974	7.35	7.59	6.49	4.33	-0.38	-1.24	-2.86	0.71	2.49	5.08	4.90	5.87
1975	6.15	6.73	6.37	3.86	2.18	-0.88	-3.06	-0.51	2.82	4.55	5.62	6.26
1976	7.13	6.93	5.47	2.90	0.51	-0.97	-1.23	0.15	3.33	4.20	4.76	7.06
1977	6.84	7.10	6.81	3.32	0.53	-2.84	-1.16	-0.23	3.85	4.89	7.31	6.68
1978	7.55	7.10	6.91	4.53	1.20	-1.72	-3.04	-1.96	3.41	4.25	6.75	7.51
1979	7.09	7.09	6.74	3.61	0.15	-2.62	-2.03	-0.11	3.48	4.92	6.67	7.10
1980	7.41	7.26	7.20	1.91	-0.74	-2.34	-1.64	0.94	2.47	6.50	5.67	6.47
1981	7.69	7.60	6.59	3.29	0.64	-2.68	-3.04	-0.40	2.71	5.63	7.67	7.04
1982	8.08	6.98	7.35	4.29	-1.08	-0.99	-1.25	0.96	3.55	6.16	7.59	6.90
1983	7.58	7.55	6.82	4.77	1.39	0.39	-0.46	1.52	3.20	4.65	5.42	6.02
1984	7.92	7.96	7.04	5.14	1.11	-0.10	-1.91	0.95	1.93	6.02	6.72	6.34
1985	7.26	6.36	6.88	4.97	1.14	-1.48	-2.60	0.12	3.91	4.35	6.12	6.19
1986	6.42	7.39	6.94	4.30	0.25	-3.13	-1.42	1.24	3.30	3.46	4.61	7.03
1987	8.08	7.06	5.84	3.79	0.55	-0.99	-1.65	-0.17	3.76	5.08	7.40	6.58
1988	7.60	6.73	7.92	5.50	1.25	-2.03	-3.19	-1.15	3.82	4.91	5.71	6.35
1989	7.31	5.98	5.99	4.70	0.62	0.64	-2.09	0.61	3.94	5.40	4.60	6.40
1990	7.48	5.99	4.77	4.31	0.86	0.79	-1.02	0.28	3.17	6.21	7.16	6.83
1991	7.19	6.96	6.61	3.81	0.82	-0.75	-2.77	-1.94	2.05	5.66	6.21	5.43
1992	6.75	7.07	5.34	2.90	0.18	0.07	-2.64	0.72	3.27	4.67	5.64	5.45
1993	6.95	6.74	5.87	4.74	1.19	-2.09	-0.97	-0.36	2.85	5.45	7.45	7.41
1994	7.04	7.47	6.77	5.41	1.02	-2.27	-2.30	-1.10	3.71	5.73	6.69	7.54
1995	7.36	7.34	7.65	3.87	-0.05	-0.42	0.32	0.81	2.95	5.47	6.12	6.26
1996	7.21	7.24	6.77	5.03	1.86	-1.51	-2.15	2.21	4.02	5.40	6.20	7.50
1997	7.67	7.31	6.79	3.47	1.11	-1.82	-1.32	1.57	3.46	6.02	7.42	7.57
1998	8.25	8.71	7.27	4.94	0.32	-1.30	-1.30	2.04	2.93	6.68	6.43	6.21
1999	7.44	7.37	6.86	4.95	1.85	-1.26	-2.48	-0.85	3.47	4.45	4.96	6.90
2000	6.99	7.16	6.21	4.45	0.77	-0.61	-0.70	1.55	3.02	5.41	4.83	5.54
2001	7.92	7.15	7.14	3.39	1.43	-1.13	-0.46	-1.18	3.48	5.75	6.90	6.60
2002	6.99	8.02	7.23	5.07	0.52	0.55	0.39	0.45	3.92	6.14	5.89	7.51
2003	7.47	8.09	7.93	4.09	1.68	-1.01	-1.66	1.19	2.26	4.32	5.56	7.49
2004	8.24	7.19	5.88	3.96	0.64	-1.47	-0.90	0.25	4.11	5.55	6.01	6.41
2005	7.65	7.50	6.93	3.93	-0.21	-1.81	-2.19	-0.01	2.75	6.33	6.13	7.29
2006	7.38	7.26	6.94	4.48	-1.45	0.06	-2.67	1.70	3.43	5.81	6.27	6.29
2007	7.71	7.52	7.31	4.41	1.66	-2.06	-0.63	0.17	2.22	4.70	5.80	6.15
2008	7.67	6.22	5.50	3.46	0.23	-1.28	-2.04	0.52	2.51	5.66	5.53	7.28
2009	7.08	6.84	5.84	4.43	0.37	-1.77	-0.55	0.33	3.17	4.35	7.81	7.20
2010	7.59	7.09	7.47	4.38	2.28	0.01	-0.72	-0.92	3.02	5.92	5.53	7.23
2011	7.16	7.84	7.05	4.61	0.05	-1.23	-0.81	0.83	3.83	5.34	5.62	6.24
2012	6.75	7.28	5.83	4.44	-0.05	-0.82	-2.11	-0.85	2.64	5.21	6.82	7.91
2013	6.57	7.86	7.21	2.37	1.21	-0.41	-1.53	0.45	2.15	6.08	6.19	6.98
2014	7.40	7.00	6.06	4.01	2.07	-0.10	-0.55	0.61	4.24	5.95	6.48	7.85
2015	7.55	7.15	6.88	6.09	2.95	0.58	-1.10	1.00	4.38	5.05	7.19	7.27
2016	8.05	9.34	6.97	5.18	0.97	-0.50	-1.07	1.45	3.23	3.92	5.90	6.88
2017	7.79	7.12	6.68	5.79	3.01	-0.34	-1.03	1.28	4.88	4.83	6.53	7.38
2018	7.01	8.20	7.39	4.71	0.98	-0.38	-0.65	1.87	3.03	6.70	7.50	

Fuente: (SENAMHI, 2019)



3.5.3. Registro de temperatura media mensual

Tabla 19: Registro de temperatura media mensual



"EVALUACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO DE LA CUENCA DE LA LAGUNA DE PIURAY CONSIDERANDO EL ESCENARIO MÁS DESFAVORABLE PARA EL AÑO 2040 SEGÚN EL MODELO WEAP, CON FINES DE ABASTECIMIENTO PARA LA CIUDAD DE CUSCO Y CHINCHERO"

DATOS GENERALES DE LA ESTACIÓN			
NOMBRE:	ESTACIÓN KAYRA	TIPO:	METEOROLÓGICA
LATITUD:	13° 33' 24.7"	DEPARTAMENTO:	CUSCO
LONGITUD:	71° 52' 29.8"	PROVINCIA:	CUSCO
ALTITUD:	3219	DISTRITO:	SAN JERÓNIMO
PARÁMETRO:	TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (°C)	PERIODO:	1964-2018



AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1964		13.80	12.60	12.00	9.80	8.00	8.10	10.00	11.80	12.50	12.00	12.70
1965	12.66	12.87	11.83	11.20	9.63	8.15	8.32	9.41	11.16	13.37	13.55	13.28
1966	13.13	13.19	12.45	11.29	9.85	8.85	8.77	10.29	11.34	12.82	14.17	12.69
1967	12.92	13.13	12.57	11.63	10.74	8.71	8.13	9.74	11.52	12.27	12.70	12.51
1968	12.27	12.79	12.07	10.74	8.80	8.60	8.23	10.45	11.61	12.50	12.92	13.19
1969	12.55	12.74	13.37	11.97	10.54	9.30	8.62	9.58	11.51	13.11	13.15	12.89
1970	13.06	13.22	12.34	12.05	10.11	9.18	7.94	9.44	10.83	12.86	13.07	12.24
1971	12.58	12.10	12.05	10.88	9.68	8.79	8.56	10.30	11.66	12.12	13.00	12.36
1972	12.44	12.80	12.64	12.30	10.30	9.06	9.71	10.44	11.04	13.20	13.90	13.79
1973	13.36	14.09	13.71	12.45	10.48	9.33	9.25	10.75	11.96	13.68	13.89	13.13
1974	12.38	12.90	13.15	11.77	10.11	8.93	8.47	8.91	11.35	12.59	12.90	12.84
1975	11.98	12.37	12.44	11.93	10.29	8.91	8.27	9.90	11.31	12.48	12.91	12.63
1976	12.69	12.82	12.41	11.39	9.80	9.10	9.27	9.73	11.10	13.53	13.13	13.61
1977	13.52	12.66	13.11	11.84	10.29	8.73	9.18	10.47	12.30	13.21	13.47	13.30
1978	12.95	13.62	13.30	11.99	10.79	9.18	8.20	9.15	11.96	12.94	13.72	13.66
1979	13.27	13.39	12.79	11.77	10.77	9.58	9.26	10.76	13.20	13.63	14.32	13.83
1980	14.04	13.80	13.34	11.30	10.26	9.76	9.04	11.27	11.86	13.45	14.00	14.04
1981	13.35	13.34	13.34	11.15	10.98	8.87	8.90	9.36	10.81	13.01	14.00	13.16
1982	13.56	13.56	13.33	12.10	9.74	9.39	9.85	10.77	12.12	13.55	13.63	13.99
1983	14.76	14.55	14.50	13.62	11.58	10.59	10.57	11.65	12.00	13.35	13.91	13.44
1984	12.91	12.97	13.33	12.51	11.22	9.80	9.48	10.56	11.78	12.75	13.23	13.40
1985	13.56	12.62	13.55	12.48	10.70	8.66	8.53	10.71	11.87	13.03	13.08	13.13
1986	13.50	13.59	13.14	12.49	10.35	9.26	9.31	11.24	12.34	13.01	13.60	14.23
1987	14.28	14.51	14.07	13.16	11.24	10.05	9.89	11.77	13.32	13.90	14.78	14.44
1988	14.07	14.38	13.90	12.94	11.36	9.64	9.25	11.30	12.77	13.95	13.97	13.43
1989	13.19	12.71	12.78	12.54	10.64	10.49	9.10	10.67	12.79	13.40	13.03	14.03
1990	13.79	13.42	12.81	12.67	10.75	9.44	9.33	10.31	12.41	13.27	13.62	13.42
1991	14.13	13.62	13.32	12.07	10.83	9.76	8.70	9.47	11.22	13.29	13.00	13.06
1992	13.41	13.71	12.99	12.18	11.44	9.84	8.25	9.92	12.39	12.64	13.56	13.32
1993	12.92	13.31	12.54	12.22	10.97	9.49	9.49	9.65	11.47	13.33	13.99	13.73
1994	13.25	13.73	13.43	12.50	10.93	9.02	9.17	10.18	12.40	13.51	14.04	14.26
1995	14.02	13.88	13.55	12.65	10.90	10.12	10.73	11.59	12.09	13.99	13.84	13.57
1996	13.33	13.48	13.60	12.60	11.40	9.48	9.15	11.12	12.72	13.65	13.55	13.55
1997	13.52	13.13	13.20	11.84	10.60	9.46	9.77	10.42	12.33	14.26	14.64	14.70
1998	15.06	15.38	14.68	13.80	11.41	10.53	10.25	12.07	12.92	14.30	14.05	13.62
1999	13.93	13.39	13.11	12.47	11.32	9.85	8.69	10.63	12.35	12.92	13.87	13.80
2000	13.17	13.21	12.78	12.84	11.30	9.92	9.64	11.23	12.66	13.09	14.37	13.32
2001	13.16	12.82	13.30	11.68	10.87	9.59	9.81	9.67	12.60	13.70	14.43	14.01
2002	13.90	13.39	13.54	12.46	10.65	10.63	9.31	10.54	12.82	13.98	13.80	14.12
2003	14.05	14.44	13.92	12.57	11.41	10.11	9.75	11.06	12.01	13.77	14.37	14.31
2004	14.23	14.01	13.54	12.78	11.18	9.30	9.48	10.00	12.73	13.91	14.08	14.10
2005	14.33	16.80	13.82	12.50	10.87	9.73	9.65	11.17	12.21	13.76	14.05	14.10
2006	13.24	13.97	13.43	12.46	9.83	10.21	9.34	11.77	12.85	13.48	13.54	13.35
2007	14.35	14.01	13.55	12.26	11.13	9.82	9.83	11.35	11.82			13.53
2008	12.63	12.79	12.12	11.77	10.45	9.98	9.69	11.35	12.18	13.47	14.02	13.53
2009	12.92	12.63	12.71	12.31	10.60	10.03	10.10	11.17	13.19	14.46	15.04	13.90
2010	13.48	13.46	13.33	12.64	11.66	11.01	10.69	11.07	13.24	13.99	14.43	13.71
2011	13.31	12.52	13.04	12.21	10.70	10.32	9.51	11.50	12.02	13.21	14.57	13.01
2012	13.44	12.54	12.65	11.96	10.44	10.10	10.07	11.06	12.60	14.71	14.80	13.43
2013	13.08	13.24	13.36	11.96	11.45	9.47	9.60	11.11	12.92	13.94	14.33	13.27
2014	13.57	13.28	13.13	12.20	11.11	10.76	9.84	10.93	12.83	13.63	14.78	14.15
2015	13.18	13.48	13.32	12.28	11.19	10.46	9.42	11.05	13.05	13.51	14.85	14.10
2016	15.19	15.25	14.95	13.61	11.74	10.54	10.33	11.90	12.99	12.51	14.50	13.89
2017	13.96	14.15	13.59	13.24	11.48	10.37	10.33	11.79	13.14	13.38	14.38	14.40
2018	13.41	14.62	13.81	12.78	11.12	9.52	9.55	11.16	12.62	13.70	15.00	

Fuente: (SENAMHI, 2019)



3.5.4. Registro de temperatura máxima mensual

Tabla 20: Registro de temperatura mínima mensual

 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL 												
"EVALUACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO DE LA CUENCA DE LA LAGUNA DE PIURAY CONSIDERANDO EL ESCENARIO MÁS DESFAVORABLE PARA EL AÑO 2040 SEGÚN EL MODELO WEAP, CON FINES DE ABASTECIMIENTO PARA LA CIUDAD DE CUSCO Y CHINCHERO"												
DATOS GENERALES DE LA ESTACIÓN												
NOMBRE:	ESTACIÓN KAYRA						TIPO:	METEOROLÓGICA				
LATITUD:	13° 33' 24.7"						DEPARTAMENTO:	CUSCO				
LONGITUD:	71° 52' 29.8"						PROVINCIA:	CUSCO				
ALTITUD:	3219						DISTRITO:	SAN JERÓNIMO				
PARÁMETRO:	TEMPERATURA MÁXIMA MENSUAL (°C)						PERIODO:	1964-2018				
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1964		20.90	18.70	19.60	18.80	20.10	19.50	20.00	20.20	20.20	19.40	19.40
1965	19.00	18.40	17.90	19.20	20.20	19.70	18.90	19.70	19.10	21.60	21.00	19.50
1966	20.30	19.30	19.60	20.90	18.90	20.60	20.80	21.00	20.50	19.80	22.00	19.70
1967	20.00	19.00	18.30	19.90	19.80	19.50	18.30	18.60	19.80	19.40	20.70	18.90
1968	18.30	18.30	18.40	19.20	19.00	19.40	17.90	19.30	20.40	19.70	19.40	20.60
1969	18.60	18.90	20.10	20.20	20.60	19.90	19.30	20.30	20.20	21.50	21.20	19.20
1970	18.70	19.00	18.80	18.80	20.20	19.90	18.60	20.30	18.70	21.40	22.00	18.40
1971	19.00	17.60	19.20	19.60	20.00	19.10	19.80	20.40	21.70	20.20	21.00	18.60
1972	18.20	18.80	18.70	20.20	20.00	20.00	20.50	19.90	19.50	21.30	21.10	20.80
1973	18.40	19.50	19.70	19.50	20.10	20.00	18.70	20.10	20.10	21.60	20.90	19.40
1974	17.40	18.20	19.80	19.20	20.60	19.10	19.80	17.10	20.20	20.10	20.90	19.80
1975	17.80	18.00	18.50	20.00	18.40	18.70	19.60	20.30	19.80	20.40	20.20	19.00
1976	18.25	18.70	19.35	19.87	19.09	19.16	19.76	19.31	18.86	22.86	21.49	20.16
1977	20.20	18.21	19.41	20.35	20.04	20.29	19.51	21.16	20.74	21.52	19.62	19.91
1978	18.34	20.13	19.69	19.45	20.37	20.08	19.44	20.25	20.51	21.62	20.68	19.80
1979	19.44	19.69	18.84	19.93	21.38	21.78	20.54	21.62	22.92	22.33	21.96	20.55
1980	20.66	20.34	19.47	20.69	21.26	21.85	19.71	21.60	21.24	20.40	22.32	21.60
1981	19.00	19.07	20.08	19.00	21.31	20.42	20.83	19.12	18.90	20.38	20.32	19.28
1982	19.03	20.14	19.31	19.91	20.56	19.76	20.95	20.57	20.68	20.94	19.67	21.07
1983	21.94	21.54	22.18	22.47	21.76	20.78	21.59	21.78	20.80	22.05	22.40	20.86
1984	17.90	17.98	19.61	19.88	21.32	19.70	20.86	20.16	21.63	19.48	19.73	20.45
1985	19.86	18.88	20.21	19.98	20.25	18.80	19.65	21.30	19.82	21.71	20.03	20.06
1986	20.57	19.79	19.34	20.68	20.45	21.64	20.03	21.24	21.38	22.55	22.58	21.42
1987	20.47	21.96	22.29	22.53	21.93	21.08	21.43	23.70	22.88	22.72	22.15	22.29
1988	20.53	22.02	19.87	20.37	21.47	21.31	21.68	23.75	21.71	22.98	22.22	20.50
1989	19.07	19.44	19.57	20.37	20.65	20.34	20.29	20.72	21.64	21.40	21.46	21.65
1990	20.10	20.84	20.85	21.03	20.63	18.08	19.68	20.34	21.64	20.33	20.08	20.01
1991	21.07	20.28	20.02	20.32	20.84	20.27	20.16	20.88	20.39	20.92	19.78	20.69
1992	20.06	20.35	20.63	21.46	22.70	19.61	19.14	19.12	21.51	20.61	21.48	21.18
1993	18.89	19.88	19.20	19.69	20.75	21.07	19.95	19.65	20.08	21.20	20.53	20.04
1994	19.46	19.99	20.08	19.58	20.84	20.30	20.64	21.45	21.08	21.29	21.39	20.98
1995	20.67	20.41	19.45	21.43	21.84	20.65	21.13	22.37	21.22	22.51	21.56	20.88
1996	19.44	19.72	20.43	20.17	20.93	20.47	20.45	20.03	21.42	21.90	20.90	19.60
1997	19.36	18.95	19.60	20.20	20.08	20.74	20.85	19.27	21.20	22.50	21.86	21.82
1998	21.87	22.04	22.08	22.66	22.49	20.73	21.80	22.10	22.90	21.91	21.67	21.03
1999	20.42	19.40	19.36	19.98	20.79	20.95	19.86	22.10	21.22	21.39	22.77	20.69
2000	19.34	19.25	19.35	21.23	21.82	20.44	19.97	20.91	22.29	20.77	23.91	21.09
2001	18.39	18.49	19.45	19.97	20.30	20.30	20.08	20.51	21.72	21.65	21.96	21.42
2002	20.81	18.75	19.84	19.84	20.77	20.71	18.23	20.62	21.71	21.82	21.70	20.73
2003	20.62	20.78	19.90	21.05	21.14	21.23	21.15	20.93	21.76	23.22	23.18	21.12
2004	20.22	20.83	21.19	21.60	21.71	20.07	19.86	19.74	21.35	22.26	22.14	21.78
2005	21.00	21.80	20.70	21.06	21.95	21.27	21.49	22.34	21.66	21.18	21.96	20.90
2006	19.10	20.68	19.92	20.44	21.10	20.35	21.34	21.84	22.26	21.15	20.80	20.41
2007	20.99	20.49	19.79	20.11	20.59	21.70	20.28	22.52	21.42			20.90
2008	19.04	20.52	19.68	21.14	21.00	21.16	21.39	22.45	22.41	21.51	22.38	20.52
2009	20.01	20.19	20.81	21.34	21.52	21.82	20.79	22.80	23.24	24.14	22.44	20.90
2010	20.43	21.08	21.37	22.17	21.85	22.11	22.41	23.43	23.57	22.62	23.13	21.09
2011	20.74	18.92	20.00	21.04	21.29	21.59	20.47	22.45	21.92	22.39	23.49	19.80
2012	20.73	19.32	20.76	20.93	21.51	21.13	22.08	23.36	23.85	24.05	23.14	20.63
2013	20.78	20.85	21.73	23.17	22.40	20.10	21.01	22.05	23.64	22.48	22.85	21.00
2014	21.27	21.10	21.58	21.23	21.01	22.56	21.07	20.89	21.02	21.75	22.81	21.35
2015	19.83	20.82	20.79	19.56	20.46	21.59	21.46	21.95	22.44	21.97	22.50	20.93
2016	22.33	21.15	22.92	22.04	22.51	21.58	21.72	22.35	22.74	21.09	23.10	20.89
2017	20.13	21.18	20.50	20.69	19.94	21.08	21.69	22.29	21.39	21.92	22.23	21.42
2018	19.80	21.03	20.22	20.85	21.25	19.42	19.75	20.44	22.20	22.10	22.40	

Fuente: (SENAMHI, 2019)



3.5.5. Registro de humedad relativa mensual

Tabla 21: Registro de humedad relativa mensual



"EVALUACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO DE LA CUENCA DE LA LAGUNA DE PIURAY CONSIDERANDO EL ESCENARIO MÁS DESFAVORABLE PARA EL AÑO 2040 SEGÚN EL MODELO WEAP, CON FINES DE ABASTECIMIENTO PARA LA CIUDAD DE CUSCO Y CHINCHERO"

DATOS GENERALES DE LA ESTACIÓN			
NOMBRE:	ESTACIÓN KAYRA	TIPO:	METEOROLÓGICA
LATITUD:	13° 33' 24.7"	DEPARTAMENTO :	CUSCO
LONGITUD:	71° 52' 29.8"	PROVINCIA :	CUSCO
ALTITUD:	3219	DISTRITO :	SAN JERÓNIMO
PARÁMETRO:	HUMEDAD RELATIVA (%)	PERIODO:	1964-2018



AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1964		83.33	82.23	71.03	69.15	55.42	63.27	70.54	77.76	76.42	78.46	70.15
1965	79.38	81.12	80.63	70.24	47.18	42.21	72.74	47.00	62.73	44.54	64.67	69.56
1966	71.51	77.05	71.47	66.63	67.93	60.52	59.29	61.60	63.02	65.78	63.97	68.61
1967	68.14	73.30	76.10	67.58	65.19	62.32	64.56	64.21	61.39	65.28	61.47	68.00
1968	71.38	74.43	69.77	69.49	64.69	63.08	65.00	65.30	61.65	65.42	68.10	65.75
1969	71.94	71.56	72.83	55.06	51.80	63.57	52.41	48.52	46.89	45.06	62.90	67.45
1970	73.47	72.43	72.83	75.21	68.06	50.98	50.39	67.97	49.18	43.16	41.20	46.45
1971	45.01	48.08	73.21	70.48	64.23	64.95	61.07	61.55	59.72	60.13	57.83	67.91
1972	47.15	45.63	46.15	46.98		62.62	59.19	61.09	59.83	56.29	62.07	63.44
1973	77.56	75.77	75.60	75.63	71.77	70.56	65.09	61.09	63.07	64.70	64.15	68.15
1974	74.16	77.03	72.50	72.19	63.89	63.27	58.44	66.11	56.01	65.67	63.02	69.65
1975	73.85	73.88	74.14	70.53	73.42	72.20	60.77	62.97	64.12	62.73	65.70	70.43
1976	74.67	72.87	74.08	71.72	68.62	64.78	61.48	62.89	65.01	60.15	65.64	67.55
1977	71.96	75.13	87.59	74.90	68.52	69.99	70.46	53.52	59.15	55.46	63.52	63.09
1978	72.40	68.06	67.07	67.94	62.77	56.93	58.78	51.69	54.43	48.03	58.92	67.47
1979	70.92	72.64	74.54	75.09	65.76	61.78	60.39	53.73	52.09	50.56	58.69	67.24
1980	69.93	70.20	74.50	69.65	65.31	59.24	57.65	56.47	56.23	57.65	54.56	61.23
1981	72.11	72.87	71.77	75.21	61.73	58.02	55.96	59.73	57.81	58.43	63.65	67.60
1982	72.64	67.84	73.29	71.14	66.51	63.04	57.59	57.85	58.27	59.86	66.29	64.25
1983	63.98	65.74	64.69	65.18	66.29	66.87	62.11	57.36	54.80	52.17	53.78	60.37
1984	72.31	74.97	76.46	84.70	83.22	83.95	83.55	82.79	80.90	80.90	70.63	71.55
1985	76.55	78.79	76.58	77.53	74.36	71.93	70.16	61.08	68.98	74.72	69.96	70.28
1986	74.64	75.79	79.98	77.50	67.23	69.16	71.53	67.03	65.41	61.87	60.64	65.01
1987	73.55	69.52	69.76	68.27	69.90	67.17	64.75	59.54	59.49	58.65	63.36	66.42
1988	74.29	71.64	75.09	76.49	75.61	71.18	69.92	60.23	60.42	58.86	69.88	71.66
1989	81.20	81.02	80.04	80.04	71.48	70.47	67.54	66.75	65.14	0.00	67.24	61.40
1990	71.74	68.32	70.32	72.56	68.42	70.88	61.62	57.15	56.37	63.88	70.17	71.00
1991	69.54	75.15	73.09	74.59	66.46	63.19	57.25	50.81	62.90	61.65	63.00	66.33
1992	71.66	74.41	76.19	70.89	63.06	62.08	61.77	59.81	55.83	60.99	64.19	69.70
1993	75.37	78.33	79.87	78.93	70.70	60.87	60.71	59.52	64.27	72.29	79.62	86.05
1994	85.62	88.17	87.08	85.80	80.16	69.73	65.32	52.43	66.66	74.21	80.97	84.57
1995	86.69	84.96	88.86	84.72	78.19	77.02	80.31	71.97	71.46	68.62	68.16	73.91
1996	81.85	78.87	76.95	77.18	71.52	63.70	60.22	65.47	64.27			
1997	77.07	78.57	78.75	74.91	70.68	65.12	66.70	63.93	65.31	64.76	72.69	78.08
1998	76.44	78.33	77.03	76.40	67.03	72.18		68.53	63.85	69.29	69.89	74.20
1999	76.35	79.13	81.90	77.70	73.17	69.79	78.41	77.38	84.48	73.74	73.21	80.66
2000	82.09	84.01	81.66	76.33	72.89	72.52	72.07	71.36	70.26	76.04	70.01	70.92
2001	78.51	78.65	75.67	73.41	79.65	79.28	81.93	81.32	81.61	82.25	84.80	84.67
2002	82.17	84.51	86.15	82.12	79.92	79.43	80.97	74.30	74.33	76.90	76.31	80.59
2003	79.76	80.50	80.97	78.64	77.57	41.83	41.95	74.49	74.26	72.20	72.39	77.73
2004	77.71	74.79	75.94		72.37	41.09	72.39	73.52	74.61	72.88	73.61	72.54
2005	77.27	94.00	77.14	72.51	72.26	41.14	40.87	76.47	74.60	75.07	74.33	77.10
2006	81.49	76.84	79.13	77.22	71.41	74.25	38.68	72.17	73.17	73.26	73.62	76.45
2007	76.06	74.28	75.41	75.57	72.00	36.49	70.26	67.39	69.11			72.09
2008	76.35	71.80	72.65	69.23	70.10	69.12	82.70	66.52	67.97	71.74	70.82	74.48
2009	74.06	73.06	72.39	72.43	69.90	69.54	70.08	67.67	71.33	67.13	69.98	74.02
2010	76.64	76.51	75.43	73.70	72.87	73.11	74.83	72.24	71.41	71.93	72.68	75.71
2011	78.34	78.93	77.09	76.59	75.61	71.59	73.88	73.95	77.25	76.08	72.38	
2012	77.49	73.38	69.89	71.13	60.55	58.85	71.96	52.16	62.72	56.71	62.69	74.00
2013	75.94	75.16	75.27	72.37	73.80	91.37	76.82	76.54	76.34	68.67	60.70	64.17
2014	63.63	64.79	65.10	69.47	73.08	73.06	74.24	69.64	64.40	65.97	62.87	69.03
2015	73.50	75.35	74.22	74.59	73.63	69.82	69.04	64.46	62.77	59.96	61.87	69.65
2016	70.43	75.13	69.65	69.80	63.28	57.74	56.68	59.45	56.08	66.37	56.16	70.30
2017	73.30	75.25	76.81	77.40	73.37	67.27	62.66	59.59	61.22	62.03	61.62	68.30
2018	74.53	75.06	77.31	71.96	68.13	69.26	64.57	68.50	62.82	71.00	69.00	

Fuente: (SENAMHI, 2019)



3.5.6. Registro de horas sol mensual

Tabla 22: Registro de horas sol mensual



 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL 												
"EVALUACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO DE LA CUENCA DE LA LAGUNA DE PIURAY CONSIDERANDO EL ESCENARIO MÁS DESFAVORABLE PARA EL AÑO 2040 SEGÚN EL MODELO WEAP, CON FINES DE ABASTECIMIENTO PARA LA CIUDAD DE CUSCO Y CHINCHERO"												
DATOS GENERALES DE LA ESTACIÓN												
NOMBRE:	ESTACIÓN URUBAMBA						TIPO:	METEOROLÓGICA				
LATITUD:	13° 18' 18.6"						DEPARTAMENTO :	CUSCO				
LONGITUD:	71° 7' 28.4"						PROVINCIA :	URUBAMBA				
ALTITUD:	2850						DISTRITO :	URUBAMBA				
PARÁMETRO:	HORAS SOL MENSUAL						PERIODO:	1984-2018				
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1984									271.10	182.30		
1985						215.20	237.90	198.60	161.90	169.50	166.00	128.30
1986	140.10	105.80	119.30	145.10	222.30	243.30	240.30	230.80	199.50	236.80	230.10	158.80
1987	145.30	187.10	201.80	192.00	229.70	196.00	247.40	236.30	222.60	204.10	168.30	182.00
1988	121.40	188.00	115.70	129.90	222.00	251.00	261.00	259.20	229.00	224.90	203.70	171.80
1989	116.20	138.80	145.10	161.40	211.30	201.60	244.10	221.10	203.60	200.70	189.30	170.00
1990	183.10	188.50	195.60	188.30	206.80	158.10	255.80	258.10	230.10	168.30	166.60	131.00
1991	168.10	179.80	144.90	182.10	224.70	231.50	252.90	228.70	172.50	188.70	144.20	186.00
1992	167.70	152.90	188.70	219.60	248.00	191.00	244.50	211.00	228.70	202.70	199.00	148.60
1993	121.50	158.60	156.60	143.10	230.60	246.40	247.80	230.00	204.40	190.30	156.50	141.50
1994	127.50	151.50	182.20	159.80	231.40	242.90	259.40	267.70	211.70	216.20	197.40	161.80
1995	173.50	152.50	161.90	212.40	235.10	213.90	221.00	270.60	234.00	241.80	216.80	210.30
1996	163.20	185.00	189.20	185.60	240.20	262.20	253.60	217.50	239.80	256.60	170.70	186.90
1997	152.80		163.30	222.10	256.00	276.50	279.20	242.10	219.90	244.20	226.40	187.20
1998	191.70	179.40	203.50	178.60	277.80	215.70	275.40	271.60	257.20	225.40	187.20	176.20
1999	180.10	127.70	138.20	193.90	217.70	249.10	239.50	276.70	191.30	205.50	215.30	140.20
2000	147.30	147.10	144.80	188.30	209.80	207.10	214.30	221.80	223.10	200.00	222.00	199.90
2001	126.80	127.90	164.00	197.60	202.90	229.70	227.80	247.20	228.50	194.90	184.30	184.00
2002	180.20	100.20	154.50	160.20	216.90	199.40	191.00	240.60	208.40	183.80	188.30	140.00
2003	139.00	148.70	146.40	204.40	220.20	226.60	263.40	237.10	240.10	243.60	231.20	148.20
2004	160.60	168.60	179.20	202.20	247.50	201.70	213.30	219.10	203.30	203.10	197.10	177.30
2005	184.70	178.00	194.90	226.80	278.30	251.60	268.80	262.90	220.80	182.00	198.10	156.50
2006	140.00	179.40	172.50	185.50	265.20	211.10	260.70	239.00	233.30	199.30	160.90	140.70
2007	155.00	118.30	148.50	184.20	215.70	250.00	234.00	282.20	195.60	185.90	172.80	166.30
2008	97.60	122.10	154.70	199.30	238.30	238.20	259.40	243.90	248.60	196.60	204.40	148.20
2009	131.00	140.20	167.00	196.60	231.00	251.40	235.60	264.10	233.90	214.30	153.20	122.40
2010	136.30	121.50	170.00	184.60	209.50	239.70	171.80				96.40	133.60
2011	140.00	99.20	125.30	167.70	226.50	224.60	236.50	245.70	209.50	195.80	198.10	125.40
2012	142.80	96.80	174.80	156.90	228.80	226.40	254.10	236.80	224.60	209.30	164.40	109.00
2013	116.80	92.90	145.50	111.16	207.20		222.60	198.50	247.50	153.32	194.60	108.50
2014	120.50	121.60	162.50	161.20	204.30	226.70	231.40	239.50	179.30	213.90	182.70	155.80
2015	149.50	149.70	170.10	132.60	199.70	223.00	251.60	244.70	230.60	195.80	176.70	158.60
2016	175.60	132.70	211.90	186.20	241.50	212.80	251.30	229.90	225.40	181.70	211.80	139.80
2017	139.70	118.90	139.70	136.90		204.40	247.90		190.20	201.80	146.10	117.40
2018	132.20	101.60	139.50	167.70	235.40	189.00	202.80	218.50				

Fuente: (SENAMHI, 2019)



3.5.7. Registro de velocidad media del viento

Tabla 23: Registro de velocidad media del viento

 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL 													
"EVALUACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO DE LA CUENCA DE LA LAGUNA DE PIURAY CONSIDERANDO EL ESCENARIO MÁS DESFAVORABLE PARA EL AÑO 2040 SEGÚN EL MODELO WEAP, CON FINES DE ABASTECIMIENTO PARA LA CIUDAD DE CUSCO Y CHINCHERO"													
DATOS GENERALES DE LA ESTACIÓN													
NOMBRE:	ESTACIÓN KAYRA						TIPO:	METEOROLÓGICA					
LATITUD:	13° 33' 24.7"						DEPARTAMENTO:	CUSCO					
LONGITUD:	71° 52' 29.8"						PROVINCIA:	CUSCO					
ALTITUD:	3219						DISTRITO:	SAN JERÓNIMO					
PARÁMETRO:	VELOCIDAD MEDIA DE VIENTO (m/s)						PERIODO:	1964-2018					
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
1964				0.93	0.93	1.07	1.23	1.53	2.07	2.10	1.93	1.40	
1965	1.43	1.00	0.87	0.73	0.40	0.67	1.17	1.43	1.40	1.63	1.43	0.77	
1966	0.53	0.40	0.97	0.47	0.43	0.67	0.70	1.00	1.07	1.20	1.07	1.20	
1967	1.00	1.07	0.63	0.67	0.50	1.00	0.73	0.83	1.07		0.90	0.83	
1968	1.20	0.77	0.83	0.63	0.77	0.63	0.43	0.87	1.47	1.00	0.73	0.63	
1969	0.53	1.00	0.67	0.30	0.33	0.93	1.20	1.17	1.43	1.30	1.30	1.10	
1970	1.00	1.17	1.10	0.87	0.87	1.20	1.00	1.20	1.07	1.13	0.57	0.50	
1971	0.33	0.30	0.43	0.93	0.57	0.53	0.47	0.53	0.80	1.37	2.67	1.33	
1972	1.17	0.70	0.63	0.57	0.60	0.63	1.40	1.97	2.83	3.70	3.43	2.63	
1973	2.00	1.17	0.93	0.93	1.07	1.23	1.53	2.27	1.77	1.73	1.50	1.50	
1974	1.03	0.83	0.53	0.60	0.97	0.77	0.90	1.43	2.40	0.97	1.77	0.67	
1975	1.40	0.87	0.77	0.93	0.50	0.90	0.97	1.10	2.20	2.37	1.30	0.93	
1976	0.93	1.03	0.70	0.83	1.07	1.67	1.83	2.73	2.53	2.80	2.30	2.17	
1977	1.27	1.23	0.87	0.77	1.20	1.03	1.13	2.27	1.57	1.90	1.03	1.03	
1978	1.00	1.07	0.83	0.60	0.53	0.53	0.67	1.60	1.97	2.53	1.40	0.30	
1979	0.70	0.73	0.87	0.57	0.67	0.60	0.73	1.77	2.10	1.73	1.13	1.23	
1980	1.00	0.80	1.10	0.83	0.63	0.73	0.93	1.27	1.23	1.07	0.93	1.13	
1981	0.57	0.73	0.83	0.50	0.50	0.70	0.70	1.47	1.50	0.97	1.00	0.70	
1982	0.70	0.73	0.97	0.90	0.37	0.53	0.93	1.87	1.23	1.00	1.00	0.90	
1983	0.93	0.77	0.63	0.60	0.73	0.77	0.53	1.00	0.67	1.47	1.20	1.10	
1984	0.57	0.97	0.73	0.67	0.60	0.40	0.67	1.23	1.97	1.23	1.37	0.70	
1985	0.73	0.73	0.53	0.70	0.40	0.30	0.37	0.83	1.30	1.27	0.87	1.03	
1986	0.70	0.73	0.87	0.67	0.67	0.37	1.20	1.30	1.40	1.20	1.23	0.77	
1987	0.70	0.70	1.10	0.87	0.87	0.73	1.17	1.70	1.40	1.07	1.17	1.13	
1988	0.57	0.67	0.83	0.57	0.53	0.37	0.23	0.83	1.50	1.83	2.33	1.20	
1989	0.87	0.87	0.93	0.80	0.60	0.80	1.17	1.57	1.30	2.50	2.67	2.47	
1990	2.17	1.80	1.60	1.57	2.07	2.07	2.27	2.93	3.17	2.73	2.20	1.57	
1991	1.57	1.37	1.40	1.27	0.70	1.30	1.10	1.93	1.40	2.07	1.47	2.03	
1992	1.57	1.73	1.07	1.23	1.57	2.10	1.10	1.70	2.20	2.13	1.93	1.63	
1993	1.40	1.63	1.13	1.30	1.47	1.10	1.77	2.10	1.57	1.83	1.80	1.33	
1994	1.40	1.40	1.50	0.83	0.87	1.20	1.33	2.53	1.80	2.30	1.87	1.70	
1995	1.63	1.83	1.10	1.13	1.50	0.80	1.30	2.43	2.47	2.70	1.90	1.93	
1996	1.23	1.67	1.23	1.47	1.30	1.33	1.97	2.20	2.43				
1997	1.67	1.87	1.30	1.07	1.00	1.07	0.97	2.37	1.77	2.00	1.47	1.17	
1998	1.37	1.47	1.43	0.77	1.33	1.27		1.47	2.07	2.50	1.83	1.83	
1999	2.07	1.40	1.23	1.43	0.87	1.23	1.63	1.73	1.80	2.83	2.50	1.73	
2000	1.20	1.80	1.20	1.73	0.90	1.17	1.80	1.97	3.23	2.87	3.23	2.07	
2001	1.70	1.40	1.07	1.27	0.97	1.13	1.57	2.90	2.80	2.67	2.37	1.90	
2002	1.60	1.10	1.63	1.47	1.20	1.07	1.23	1.20	2.10	2.70	1.67	1.17	
2003	0.97	1.40	0.93	0.87	1.13	1.37	1.93	2.23	1.63	2.73	3.00	1.47	
2004	1.37	1.43	1.63	0.87	1.30	0.97	0.97	1.77	2.77	1.77	1.97	1.57	
2005	1.20		0.83	1.13	1.00	0.73	1.93	1.73	2.97	2.17	1.83	1.63	
2006	1.00	1.23	0.97	0.90	1.00	1.20	1.80	1.63	2.50	2.27	2.63	2.10	
2007	1.33	1.67	2.13	1.63	1.57	0.80	1.83	1.90	2.70	2.23	2.73	2.93	
2008	2.10	1.40	1.70	1.90	1.50	1.50	1.70	1.90	2.30	2.20	2.70	1.00	
2009	0.80	1.10	1.30	1.60	1.80	1.80	1.90	2.90	2.50	3.10	1.30	1.40	
2010	0.90	1.10	1.40	1.00	1.60		1.70	1.60	2.00	2.40	1.90	1.40	
2011	1.40	1.80	0.80	1.10	1.20	1.20	1.70	2.00	2.00	1.30	1.80	1.80	
2012	2.10	1.50	1.40	1.60	1.80	1.60	2.00	2.30	4.10	2.70	2.30	1.60	
2013	2.10	1.40	1.40	1.60	1.80	1.60	2.00	2.30	2.90	2.70	2.30	1.70	
2014	1.40	2.10	2.30	1.60	1.90	2.40	2.10			3.90			
2015	2.40	2.00	1.90	1.50	1.10	2.00	2.00	2.30	3.30	3.00	2.70	2.30	
2016	2.00	1.10	2.30	1.80	1.70	1.20	0.80	1.80	2.70	1.40	1.90	1.50	
2017	1.80	1.40	1.70	1.20	1.40	1.10	1.40	1.70	2.10	1.80	1.80	1.60	
2018	1.30	0.70	1.00	1.40	2.20	1.80	2.00	2.50	2.70	2.00	2.90		

Fuente: (SENAMHI, 2019)

3.5.8. Registro de evaporación media diaria

Tabla 24: Registro de evaporación media diaria

 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL 													
"EVALUACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO DE LA CUENCA DE LA LAGUNA DE PIURAY CONSIDERANDO EL ESCENARIO MÁS DESFAVORABLE PARA EL AÑO 2040 SEGÚN EL MODELO WEAP, CON FINES DE ABASTECIMIENTO PARA LA CIUDAD DE CUSCO Y CHINCHERO"													
DATOS GENERALES DE LA ESTACIÓN													
NOMBRE:	ESTACIÓN PIURAY						TIPO:	METEOROLÓGICA					
LATITUD:	-13°25'15.9"						DEPARTAMENTO :	CUSCO					
LONGITUD:	-72°02'45"						PROVINCIA :	URUBAMBA					
ALTITUD:	3698						DISTRITO :	CHINCHERO					
PARÁMETRO:	EVAPORACIÓN (mm/día)						PERIODO:	2013-2018					
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
2013		2.49	2.67	3.06	2.81	2.42	2.78	3.01	3.59	2.91	3.27	2.56	
2014	2.52	2.56	2.66	2.59	2.55	2.75	2.79		2.96	3.18	3.44	3.01	
2015	2.70	3.03	2.98	2.38	2.52	2.73	3.27	3.54	3.45		3.40	2.97	
2016	3.42	2.94	3.51	3.05	3.26	3.15	3.42	3.48	3.82	3.25	3.92	2.91	
2017	2.81	3.09								3.42	2.79	3.04	
2018	3.71												
Nro.DAT	5.00	5.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	3.00	4.00	4.00	5.00	5.00	
MEDIA	3.03	2.82	2.96	2.77	2.79	2.76	3.07	3.34	3.46	3.19	3.36	2.90	
DESV.ST	0.51	0.28	0.40	0.34	0.34	0.30	0.33	0.29	0.36	0.21	0.40	0.20	
C.V.	0.17	0.10	0.13	0.12	0.12	0.11	0.11	0.09	0.11	0.07	0.12	0.07	
MIN	2.52	2.49	2.66	2.38	2.52	2.42	2.78	3.01	2.96	2.91	2.79	2.56	
MAX	3.71	3.09	3.51	3.06	3.26	3.15	3.42	3.54	3.82	3.42	3.92	3.04	

Fuente: (SENAMHI, 2019)

3.5.9. Determinación de caudales aforados

Para la determinación de los caudales se aplicaron diversos métodos de medición según la disposición de los canales o cursos de agua. Los métodos optados fueron los siguientes:

- Aforo con flotadores
- Aforo volumétrico
- Aforo por correntómetro

Fig. N° 34: Tesistas aforando con correntómetro



Fuente: Elaboración propia

Los resultados obtenidos para el año 2019 fueron los siguientes:

Tabla 25: Caudales aforados para el año 2019

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL	
--	---	--

"EVALUACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO DE LA CUENCA DE LA LAGUNA DE PIURAY CONSIDERANDO EL ESCENARIO MÁS DESFAVORABLE PARA EL AÑO 2040 SEGÚN EL MODELO WEAP, CON FINES DE ABASTECIMIENTO PARA LA CIUDAD DE CUSCO Y CHINCHERO"

MES	Q (m3/seg)	N° PUNTOS	HUMEDO	SECO	V. MIN
ENE	1.563	30	29	1	1
FEB	1.189	29	27	2	2
MAR	1.168	29	28	1	3
ABR	1.110	28	19	6	3
MAY	1.836	27	20	6	1
JUN	1.365	27	20	6	1
JUL	3.387	28	20	6	2
AGO	4.648	23	14	8	1
SEP	4.403	29	14	11	4
OCT	4.683	29	15	9	5
NOV	2.206	34	25	5	4
DIC	1.700	29	28	1	0

Fuente: Elaboración propia

3.5.10. Inventario hídrico

La información de lagunas fue obtenida mediante el archivo “Inventario Nacional de Glaciares y Lagunas” generado por la Autoridad Nacional del Agua - ANA. El archivo en formato shapefile fue desarrollado gracias al software ARCGIS, pudiendo calcular datos como ubicación, área, perímetro, etc.

La microcuenca de la laguna de Piuray cuenta con 3 cuerpos de agua considerables, cuya información es descrita en la Tabla 27.

Tabla 26: Lagunas de la microcuenca

LAGUNAS			
NOMBRE	Área	UBICACIÓN	
	km ²	UTM X	UTM Y
CHINCHAC	0.015	827349.21	8516700.13
CUSICOCHA	0.011	827160.11	8518098.54
PIURAY	3.044	821417.48	8514896.57

Fuente: Elaboración propia

La información de manantes fue obtenida gracias al “Estudio del Plan de Gestión Integral de los Recursos Hídricos de la Microcuenca de la Laguna de Piuray”, elaborado por el Centro de Educación y Comunicación Guamán Poma de Ayala.

El resumen de los datos de caudales de los manantes está sintetizado en la Tabla 28.

Tabla 27: Caudales de manantes de la microcuenca

MANANTES (M3/SEG)													
MANANTES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUM.
MANATE 1	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	1.200
MANATE 2	0.146	0.146	0.146	0.146	1.458	0.146	0.146	0.146	0.146	0.146	0.146	0.146	3.063
MANATE 3	0.078	0.078	0.078	0.078	0.078	0.078	0.078	0.078	0.078	0.078	0.078	0.078	0.938
MANATE 4	0.155	0.155	0.155	0.155	0.155	0.155	0.155	0.155	0.155	0.155	0.155	0.155	1.854
MANATE 5	0.073	0.073	0.073	0.073	0.073	0.073	0.073	0.073	0.073	0.073	0.073	0.073	0.875
MANATE 6	0.568	0.568	0.568	0.568	0.568	0.568	0.568	0.568	0.568	0.568	0.568	0.568	6.813
MANATE 7	0.188	0.188	0.188	0.188	0.188	0.188	0.188	0.188	0.188	0.188	0.188	0.188	2.250
MANATE 8	0.056	0.056	0.056	0.056	0.056	0.056	0.056	0.056	0.056	0.056	0.056	0.056	0.667
Σ	1.362	1.362	1.362	1.362	2.675	1.362	1.362	1.362	1.362	1.362	1.362	1.362	17.659

Fuente: (Ayala, 2013)

3.5.11. Cobertura vegetal

La información de cobertura vegetal fue extraída del Mapa Nacional de Cobertura Vegetal, realizado el año 2015 por la Dirección General de Evaluación, Valorización y Financiamiento del Patrimonio Natural, oficina del Ministerio del Ambiente. La información se encontraba



disponible en formato shapefile, debido a lo cual el procesamiento de información fue realizado en el software ARCGIS.

Información para determinación de la demanda de agua

La demanda de agua de la microcuenca se dividía en 4 factores:

- Demanda doméstica
- Demanda agrícola
- Demanda pecuaria

Para la demanda doméstica se hizo uso de los datos del Instituto Nacional de Estadística e Informática – INEI, así como el censo realizado el año 2013 por el Centro de Educación y Comunicación Guaman Poma de Ayala para Estudio del Plan de Gestión Integral de los Recursos Hídricos de la Microcuenca de la Laguna de Piuray, gracias a los cuales se realizó una proyección de poblacional para el año 2018, cuyos resultados son presentados en la Tabla 28, así como en la Tabla N° 29.

Tabla 28: Resultados por método de proyección de población

MÉTODOS	POBLACIÓN				
	1993	2007	2013	2015	2018
MÉTODO ARITMÉTICO	2525	2500	2618	2658	2684
MÉTODO DE INTERES SIMPLE	2525	2500	2618	2658	2698
MÉTODO GEOMÉTRICO	2525	2500	2618	2658	2697
MÉTODO DE LA PARABOLA	2525	2500	2618	2658	4438
MÉTODO DE LOS INCREMENTOS VARIABLES	2525	2500	2618	2658	2703
MÉTODOS DE LA CURVA NORMAL	2525	2500	2618	2658	2659
MÉTODO DE MÍNIMOS CUADRADOS	2525	2500	2618	2658	2739

Fuente: Elaboración propia

Mediante la aplicación de la fórmula 3.2 podemos calcular la dotación de agua requerida por la población. Los resultados son expresados en la Tabla N° 30.

$$Demanda = Nro\ de\ habitantes * dotación\ por\ poblador \dots (3.2)$$

El Reglamento Nacional de Edificaciones nos indica que en poblaciones de clima frío con lotes menores a 90 m² la dotación por habitante es de 120 litros/día/habitante, siendo este el valor que aplicamos para el cálculo de la demanda.



Tabla 29: Cálculo de la demanda por consumo humano:

POBLACIÓN PARA EL AÑO 2018 =	2739	habitantes
DOTACIÓN DE AGUA =	80	l/día/habitante
DOTACIÓN DE AGUA =	219120	lt/día
DOTACIÓN DE AGUA =	0.0025	m3/seg

Fuente: Elaboración propia

Los datos de la demanda agrícola fueron obtenidos mediante la realización una encuesta en las comunidades dependientes de la microcuenca de la laguna de Piuray, dicha encuesta nos facilitó datos de cantidad de tierras de cultivo, cultivos de mayor frecuencia y tipo de riego.

Los resultados de los datos son resumidos en la tabla N° 31.

Tabla 30: Resultados de encuesta agrícola

UNIDADES FAMILIARES =		786					
CONSOLIDADO							
PRODUCTO	GRUPO	AREA TOTAL	UND	AREA PROM.	UND	AREA CULTIVO	UND
PAPA COMERCIAL	A	27.178	ha	0.194	ha/und	152.585	ha
PAPA NATIVA	A	3.000	ha	0.021	ha/und	16.843	ha
OLLUCO	A	0.917	ha	0.007	ha/und	5.146	ha
QUINUA	D	0.000	ha	0.000	ha/und	0.000	ha
ARVEJA	D	5.033	ha	0.036	ha/und	28.257	ha
MAÍZ	A	3.000	ha	0.021	ha/und	16.843	ha
HABAS	A	11.332	ha	0.081	ha/und	63.619	ha
CEBADA	D	13.331	ha	0.095	ha/und	74.844	ha
AVENA	D	25.216	ha	0.180	ha/und	141.568	ha
TRIGO	D	6.167	ha	0.044	ha/und	34.621	ha
ALFALFA	G	8.833	ha	0.063	ha/und	49.591	ha
HORTALIZAS	C	3.500	ha	0.025	ha/und	19.650	ha
LISAS	A	0.000	ha	0.000	ha/und	0.000	ha
OCA	A	0.000	ha	0.000	ha/und	0.000	ha
OTROS:		0.000	ha	0.000	ha/und	0.000	ha

Fuente: Elaboración propia

La encuesta aplicada a las comunidades dependientes de la microcuenca de la laguna de Piuray también nos suministró los datos del sector pecuario, cantidad de ganado con lo cual fue posible calcular la demanda de dicho sector, el cual es expresado en la tabla N° 32.

Tabla 31: Resultados encuesta pecuaria

NRO ENCUESTAS:		35	NRO UNIDADES:		786
PRODUCCIÓN PECUARIA					
DATOS ENCUESTAS		REQUERIMIENTO PECUARIO - LT			
TIPO	ANIMAL	CANTIDAD	PROM.	TOTAL	CONSUMO
		cabeza	cabeza/und	cabeza	lt/día
GANADO VACUNO	TERNERO	10	0.286	224.571	25.000
	VAQUILLAS	3	0.086	67.371	35.000
	VAQUILLONAS	7	0.200	157.200	55.000
	VACAS	12	0.343	269.486	57.000
	TOROS	34	0.971	763.543	70.000
	TOROS	15	0.429	336.857	30.000
	BUEYES	2	0.057	44.914	55.000
GANADO OVINO	CORDERO	151	4.314	3391.029	2.600
	BORREGUILLAS	2	0.057	44.914	3.000
	BORREGAS	24	0.686	538.971	4.300
	CARNERILLOS	0	0.000	0.000	2.100
	CARNEROS	7	0.200	157.200	1.500
	CAPONES	0	0.000	0.000	1.100
GANADO PORCINO	LECHONES	76	2.171	1706.743	1.800
	GORRINAS	0	0.000	0.000	6.000
	MARRANAS	4	0.114	89.829	6.000
	VARRACOS	0	0.000	0.000	6.800
OTRAS ESPECIES	CABRAS	0	0.000	0.000	10.000
	LLAMAS	2	0.057	44.914	20.000
	VICUÑAS	0	0.000	0.000	15.000
	CABALLOS	0	0.000	0.000	50.000
	CUYES	790	22.571	17741.143	0.100
AVES DE CORRAL	POLLOS	131	3.743	2941.886	1.000
	GALLINAS	360	10.286	8084.571	4.000
	GALLOS	50	1.429	1122.857	4.000
	PAVOS	0	0.000	0.000	1.000
	PATOS	2	0.057	44.914	1.000

Fuente: Elaboración propia

3.6. Procedimiento de análisis de datos

3.6.1. Datos generales de la microcuenca

3.6.2.1. Ubicación geográfica y política

El área de estudio tiene como ámbito de análisis la microcuenca de Piuray que se ubica en:

- Departamento: Cusco
- Provincia: Urubamba
- Distrito: Chinchero
- Altitud promedio: 3160 m.s.n.m.
- Coordenadas UTM: 13°24'30" latitud sur y 72°03'15" longitud oeste



La ubicación de la cuenca se encuentra más detallada en el Plano N° 01, anexo x.

3.6.2. Parámetros morfológicos de la microcuenca

El escenario de estudio de la presente investigación corresponde a la microcuenca de la laguna de Piuray, cuya delimitación se realizó gracias al software ARCGIS y se encuentra plasmada en el plano N° 02, Anexo XIV.

La microcuenca se encuentre dentro de la cuenca del Vilcanota e involucra ríos como el Cusihuaygo y Quehuaraygo, los cuales convergen en la laguna de Piuray de donde surge el río Ccorimarca.

Dentro de los parámetros morfológicos de la microcuenca tenemos:

3.6.2.1. Parámetros geográficos

▪ Área o superficie total de la cuenca

La microcuenca de la laguna de Piuray posee un área de 39.776 km².

▪ Perímetro de la cuenca

La microcuenca cuenta con un perímetro de 35.554 km.

3.6.2.2. Relaciones de forma de la cuenca

▪ Coeficiente de compacidad

El coeficiente de compacidad fue obtenido gracias a la fórmula 3.3.

$$Kc = 0.28 * \frac{P}{\sqrt{A}} \quad \dots (3.3)$$

Siendo:

- P = Perímetro = 35.554 km
- A = Área = 39.776 km²

$$Kc = 0.28 * \frac{35.554}{\sqrt{39.776}} = 1.578$$



Tabla 32: Clasificación de cuencas en función al Coeficiente de compacidad

Kc	Clasificación
1 a 1.25	Casi redonda a oval-redonda
1.25 a 1.5	Oval redonda a oval-oblonga
1.5 a 1.75	Oval oblonga a rectangular oblonga
> 1.75	Rectangular

(Gaspari, 2012)

Como se observa en la Tabla N° 33, la cuenca se encuentra en el rango 1.5 – 1.75, lo que nos indica que tiene forma de oval oblonga a rectangular oblonga. Cuando las cuencas son de forma alargada, las probabilidades de que queden cubiertas completamente por una tormenta se reducen, generando mayor concentración en los ríos.

▪ **Índice de forma**

El índice de forma se expresa como la relación existente entre el ancho promedio de la cuenca y la longitud de la misma, expresada en la ecuación 3.4.

$$Kf = \frac{AM}{LB} \quad \dots (3.4)$$

Donde:

- AM = Ancho medio de la cuenca = 9.773
- LB = Longitud axial = 2.401

$$Kf = \frac{9.773}{2.401} = 2.401$$

El índice de forma nos indica la posibilidad de tener una tormenta intensa simultanea sobre toda la cuenca, en el caso de nuestra cuenca de estudio, la forma es oval oblonga por lo que la posibilidad de tener una tormenta uniforme es media.

▪ **Rectángulo equivalente**

Mediante las fórmulas 3.5 y 3.6 logramos calcular los lados del rectángulo equivalente.



$$L = \frac{K * \sqrt{A}}{1.12} * \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K}\right)^2} \right] \dots (3.5)$$

$$I = \frac{K * \sqrt{A}}{1.12} * \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K}\right)^2} \right] \dots (3.6)$$

Donde:

- L = Lado mayor
- I = Lado menor
- K = Índice de compacidad = 1.58
- A = Área de la cuenca = 36.679 km²

$$L = \frac{1.58 * \sqrt{36.679}}{1.12} * \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{1.58}\right)^2} \right] = 15.16$$

$$I = \frac{1.58 * \sqrt{36.679}}{1.12} * \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{1.58}\right)^2} \right] = 2.617$$

Determinamos:

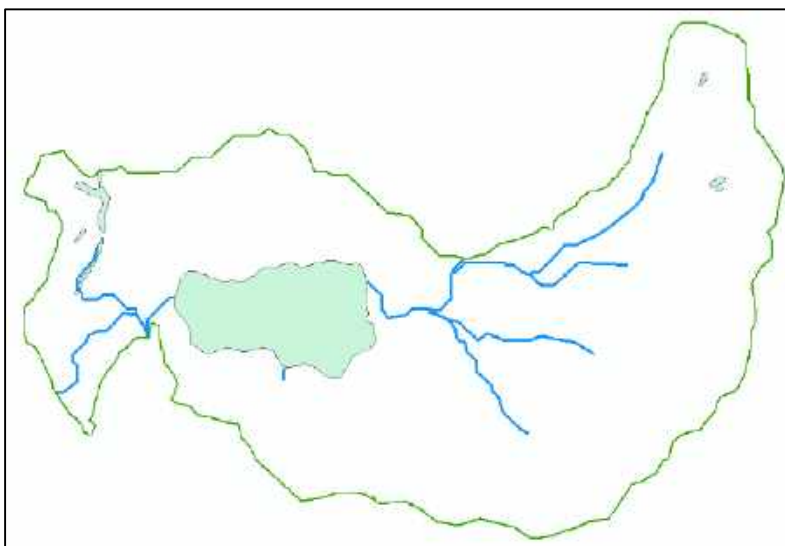
- L = Lado mayor = 15.16 km
- I = Lado menor = 2.617 km

3.6.2.3. Características de la red de drenaje

- **Número de orden**

Mediante el software ARCGIS pudimos determinar que la microcuenca de la laguna de Piuray es de grado 2, según la clasificación brindada por R. E. Horton. Esto indica que la red de drenaje de la microcuenca es poco desarrollada, principalmente por su corta extensión.

Fig. N° 35: Diagrama fluvial de la microcuenca



Fuente: Elaboración propia

La Tabla N° 34 muestra el resumen de las características de los ríos de la microcuenca en función a su grado de ramificación.

Tabla 33: Resumen del diagrama fluvial de la microcuenca

Nro Orden	Long. Ríos km	Nro Ríos
1	23.169	11
2	6.421	4
3	1.213	1
4	0.000	0
5	0.000	0
6	0.000	0

Fuente: Elaboración propia

▪ Densidad de corriente

La densidad de corriente expresa la relación entre el número de ríos de la cuenca y el área total de la misma. Calculamos su valor mediante la ecuación 3.7.

$$Dc = \frac{\text{Nro ríos}}{\text{Área de la cuenca}} \dots (3.7)$$



Donde:

- Número de Ríos = 16
- Área de la cuenca = 39.776 km²

$$Dc = \frac{16}{39.776} = 0.402$$

La densidad de corriente 0.402 al ser relacionada con la forma de la cuenca (oval oblonga a rectangular oblonga) nos indicaría que la cuenca no posee una gran eficiencia de drenaje.

▪ Densidad de drenaje

La densidad de drenaje corresponde a la relación entre la longitud total de las corrientes intermitentes (perennes) y el área total de la cuenca, es expresada mediante la fórmula 3.8.

$$Dd = \frac{L}{A} \quad \dots (3.8)$$

Donde:

- L = Longitud total de corrientes intermitentes = 30.802 km
- A = Área de la cuenca = 39.776 km²

$$Dd = \frac{30.802}{39.776} = 0.774 \frac{km}{km^2}$$

3.6.2.4. Parámetros fisiográficos de la cuenca

▪ Pendiente media de la cuenca

La pendiente media de la cuenca se obtuvo mediante el criterio Alvord, el cual está expresado por la ecuación 3.9.

$$S = \frac{D * L}{A} \quad \dots (3.9)$$

Donde:

- A = Área total de la cuenca = 39.776 km²
- D = Desnivel constante entre las curvas de nivel = 0.05 km
- L = Longitud total de las curvas de nivel dentro de la cuenca = 191.26 km



Para obtener el valor de la longitud total de las curvas de nivel dentro de la cuenca hicimos uso del software ARCGIS el cual nos arrojó la Tabla N° 35.

Tabla 34: Longitud de las curvas de nivel dentro de la cuenca

Altura (m.s.n.m.)	Nro curvas	Longitud (km)
3650	1	0.240
3700	8	21.308
3750	4	13.168
3800	3	13.489
3850	2	12.898
3900	2	13.755
3950	2	14.360
4000	1	12.692
4050	1	13.068
4100	1	12.464
4150	1	12.914
4200	1	13.162
4250	4	13.769
4300	5	12.205
4350	3	5.599
4400	4	3.920
4450	2	1.633
4500	2	0.616
	Σ	191.260

Fuente: Elaboración propia

Reemplazando valores en la fórmula tenemos:

$$S = \frac{0.05 * 191.26}{39.776} = 0.24 = 24\%$$

El valor de 24% de pendiente nos indica que la microcuenca en estudio posee una pendiente moderada.

▪ **Curva hipsométrica y polígono de frecuencia de altitudes**

La curva hipsométrica es una representación gráfica de la relación de las alturas de la cuenca en función a la superficie de la misma.



Tabla 35: Cuadro de alturas de la microcuenca

Nro	RANGO	COTA	AREA	%	Ai	Hi	Hi x Ai	Ai ACUM B _{SUP}	Ai ACUM S _{SUP}	% ACUM B _{SUP}	% ACUM S _{SUP}
1	3643 - 3700	3643	4.60	11.58	0	0	0.000	0	39.70	0	100.00
2	3700 - 3750	3700	9.24	23.29	4.60	3672	16875.736	4.60	35.10	11.58	88.42
3	3750 - 3800	3750	2.93	7.38	9.24	3725	34434.686	13.84	25.86	34.87	65.13
4	3800 - 3850	3800	2.84	7.15	2.93	3775	11060.490	16.77	22.93	42.25	57.75
5	3850 - 3900	3850	2.38	5.99	2.84	3825	10853.690	19.61	20.09	49.39	50.61
6	3900 - 3950	3900	2.23	5.62	2.38	3875	9207.530	21.98	17.71	55.38	44.62
7	3950 - 4000	3950	1.98	4.99	2.23	3925	8750.163	24.21	15.48	61.00	39.00
8	4000 - 4050	4000	1.72	4.33	1.98	3975	7872.370	26.19	13.50	65.98	34.02
9	4050 - 4100	4050	1.76	4.43	1.72	4025	6914.081	27.91	11.79	70.31	29.69
10	4100 - 4150	4100	1.60	4.03	1.76	4075	7164.081	29.67	10.03	74.74	25.26
11	4150 - 4200	4150	1.71	4.31	1.60	4125	6597.097	31.27	8.43	78.77	21.23
12	4200 - 4250	4200	2.04	5.14	1.71	4175	7143.409	32.98	6.72	83.08	16.92
13	4250 - 4300	4250	2.16	5.44	2.04	4225	8613.746	35.02	4.68	88.21	11.79
14	4300 - 4350	4300	1.42	3.58	2.16	4275	9225.236	37.18	2.52	93.65	6.35
15	4350 - 4400	4350	0.62	1.56	1.42	4325	6149.394	38.60	1.10	97.23	2.77
16	4400 - 4450	4400	0.34	0.84	0.62	4375	2706.459	39.22	0.48	98.79	1.21
17	4450 - 4516	4450	0.15	0.37	0.34	4425	1482.680	39.55	0.15	99.63	0.37
		4516			0.15	4483	650.198	39.70	0.00	100.00	0.00
					Suma=		155701.046				

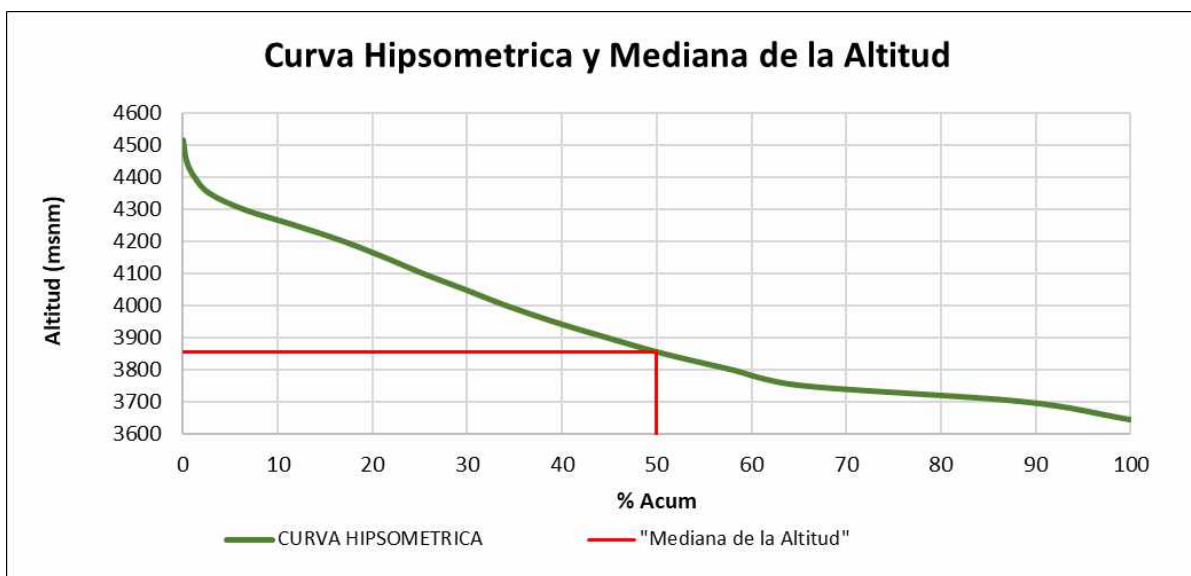
X	Y
50	3600.00
50	3855.06
0	3855.06

3922.19	DIVISIÓN ENTRE LAS SUMATORIAS DE Hi x Ai Y Ai
3855.06	INTERPOLACIÓN ENTRE % ACUM BSUP Y COTA

Fuente: Elaboración propia

Mediante la distribución grafica de los valores presentados en la Tabla N° 36 podemos visualizar la curva hipsométrica presentado en la Fig. N° 36, la misma que nos indica que la cuenca posee una distribución uniforme de altitudes.

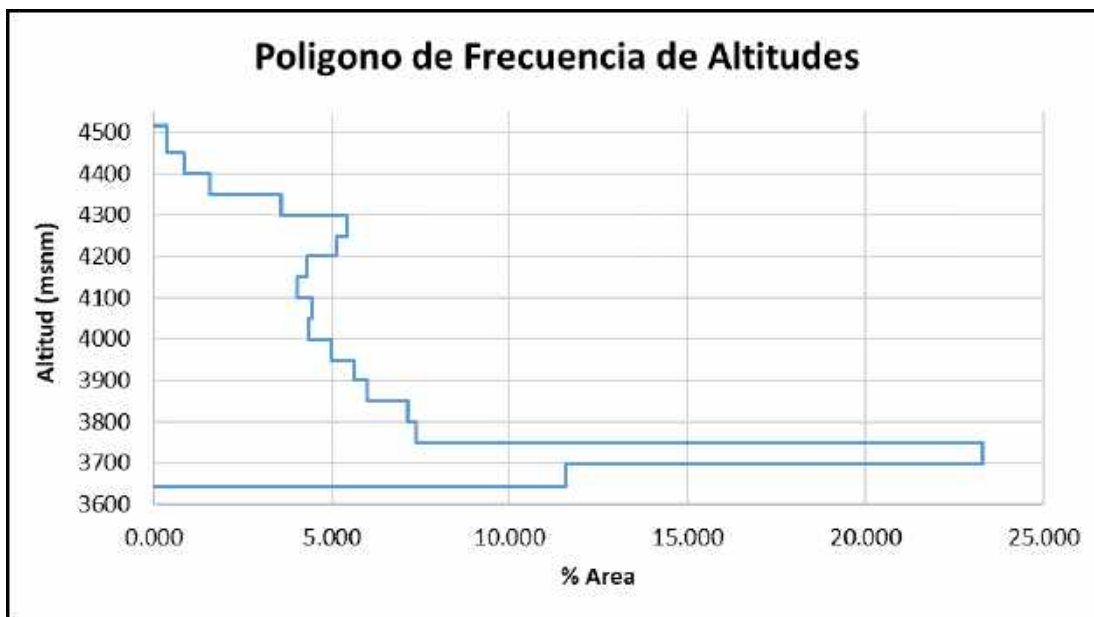
Fig. N° 36: Curva hipsométrica y mediana de la altitud



Fuente: Elaboración propia

Para una mejor visión de la distribución de las altitudes en función al área que ocupan, se genera el Polígono de Frecuencia de Altitudes, Fig. N° 37, el cual se elabora en función al porcentaje de área que ocupa un determinado rango de alturas.

Fig. N° 37: Polígono de frecuencia de altitudes



Fuente: Elaboración propia

▪ Índice de pendiente

Para calcular el índice de pendiente se aplicó el método planteado por Máximo Villón, una ponderación entre las pendientes y el tramo recorrido por el río, describiendo en parte el relieve de la cuenca. Matemáticamente se expresa mediante la ecuación 3.10.

$$I_p = \sum_{i=2}^n \sqrt{\beta_i * (a_i - a_{i-1})} * \frac{1}{\sqrt{L}} \quad \dots (3.10)$$

$$\beta_i = \frac{A_i}{A_T} \quad \dots (3.11)$$

Donde:

- I_p = Índice de pendiente
- n = Número de curvas de nivel dentro del rectángulo equivalente
- $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$ = Cotas de las curvas de nivel



- \square_i = Razón el área total de la cuenca y el comprendido en las curvas de nivel en análisis, ecuación (3.11)
- L = Longitud del lado mayor del rectángulo equivalente

Para el desarrollo completo del índice de pendiente desarrollamos los cálculos en la Tabla N° 37.

Tabla 36: Índice de pendiente

ALTITUD		DATOS	INDICE
MIN	MAX	AREA	Ip
3643	3660	0.016	0.001
3660	3680	0.280	0.003
3680	3700	4.301	0.012
3700	3720	4.996	0.013
3720	3740	3.408	0.011
3740	3760	1.566	0.007
3760	3780	1.146	0.006
3780	3800	1.051	0.006
3800	3820	1.118	0.006
3820	3840	1.181	0.006
3840	3860	1.045	0.006
3860	3880	0.945	0.006
3880	3900	0.925	0.006
3900	3920	0.930	0.006
3920	3940	0.866	0.005
3940	3960	0.869	0.005
3960	3980	0.804	0.005
3980	4000	0.737	0.005
4000	4020	0.651	0.005
4020	4040	0.706	0.005
4040	4060	0.703	0.005
4060	4080	0.707	0.005
4080	4100	0.716	0.005
4100	4120	0.616	0.005
4120	4140	0.630	0.005
4140	4160	0.672	0.005
4160	4180	0.697	0.005
4180	4200	0.685	0.005
4200	4220	0.751	0.005
4220	4240	0.851	0.005
4240	4260	0.908	0.005
4260	4280	0.888	0.005
4280	4300	0.797	0.005
4300	4320	0.696	0.005
4320	4340	0.516	0.004
4340	4360	0.355	0.003
4360	4380	0.243	0.003
4380	4400	0.228	0.003
4400	4420	0.167	0.002
4420	4440	0.122	0.002
4440	4460	0.080	0.002
4460	4480	0.047	0.001
4480	4500	0.041	0.001
4500	4516	0.024	0.001
AREA =		39.679	0.215
PERIMETRO =		35.5539	

RECTÁNGULO EQUIVALENTE	
L =	15.160
I =	2.617

INDICE DE PENDIENTE	
IP =	0.215

Fuente: Elaboración propia

Los parámetros morfológicos de la microcuenca de la laguna de Piuray fueron consolidados en la tabla N° 38.

Tabla 37: Parámetros morfológicos de la microcuenca

PARÁMETROS MORFOLÓGICOS DE LA CUENCA						
MICROCUENCA DE LA LAGUNA DE PIURAY						
PARÁMETROS				UND	SIMBOLO	VALOR
Área o superficie total de la cuenca				km ²	At	39.776
Perímetro				km	P	35.554
Centro de gravedad				m	Xc	823458.776
				m	Yc	8514944.420
Relaciones de forma	Factor de cuenca	Coeficiente de compacidad		-	$Kc=0.28*P/AT^{1/2}$	1.578
		Longitud Axial (al curso + largo)		Km	LB	4.070
	Factor cuenca	Ancho Medio		Km	$AM = At / LB$	9.773
		Índice de forma		-	$Kf = AM / LB$	2.401
Sistema de drenaje	Rectángulo equivalente		Lado mayor	Km	L _{MAY}	15.160
			Lado menor	Km	L _{MEN}	2.617
	Grado de ramificación		Long. Total	Km	Orden 1	23.169
	Grado de ramificación		Long. Total	Km	Orden 2	6.421
	Grado de ramificación		Long. Total	Km	Orden 3	1.213
	Grado de ramificación		Long. Total	Km	Orden 4	0.000
	Grado de ramificación		Long. Total	Km	Orden 5	0.000
	Grado de ramificación		Long. Total	Km	Orden 6	0.000
	Número de ríos para los diferentes grados de ramificación				Orden 1	11.000
					Orden 2	4.000
					Orden 3	1.000
					Orden 4	0.000
					Orden 5	0.000
					Orden 6	0.000
Longitud total de los ríos de dif. Grados			Km	Lt	30.802	
Número de ríos según grados				Nro Ríos	16.000	
Longitud del río principal			Km	Lr	4.070	
Densidad de drenaje			Km/Km ²	$Dd = Lt / At$	0.774	
Densidad de corriente			r/Km ²	$Dc=N^{\circ}Rios/At$	0.402	
Desnivel total de la cuenca				Km	Ht	0.873
Altura media de la cuenca				m.s.n.m.	Hm	3922.192
Pendiente de la cuenca (ARCGIS)				%	-	23.738
Pendiente de la cuenca (Criterio Alvord)				%	$S=D*\sum(L)/At$	0.240
Índice de pendiente				%	lp	0.215
Pendiente media del cauce por Taylor - Schwarz				%	S ₃	0.143

Fuente: Elaboración propia

3.6.3. Análisis estadístico y completación de la información meteorológica

3.6.3.1. Red hidrometeorológica de la microcuenca

La información meteorológica fue obtenida gracias a las estaciones pertenecientes al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú – SENAMHI, para lo cual se realizó un plano de red hidrometeorológica, Anexo XIV - Plano N° 08.



Para el desarrollo de la investigación fue imprescindible la obtención de información meteorológica de la zona en estudio, para lo cual nos valimos de estaciones hidrometeorológicas pertenecientes al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú – SENAMHI. El proceso de selección de estaciones se basó en parámetros como unidad hidrográfica, distancia y altura.

Las características de las estaciones seleccionadas para el estudio fueron consolidadas en la Tabla N° 16, la distribución de las estaciones fue desarrolladas en el Anexo XIV - Plano N° 08.

3.6.3.2. Tratamiento de datos hidrometeorológicos

La información hidrometeorológica suministrada por el SENAMHI tuvo que ser analizada mediante estadística y un procesamiento de consistencia, este nos indicará la confiabilidad de los datos o si es requerida una corrección estadística. Para determinar estos factores se realizaron en primera instancia un análisis visual, el cual nos muestra posibles cambios en la tendencia de los datos de la estación, posteriormente se aplicó el análisis de doble masa, el cual nos indica el quiebre en la tendencia de los datos, gracias al cual serán aplicadas las correcciones estadísticas, finalmente se completaron los datos faltantes y se corrigieron los existentes mediante el método de correlación múltiple.

3.6.3.2.1. Precipitación total mensual

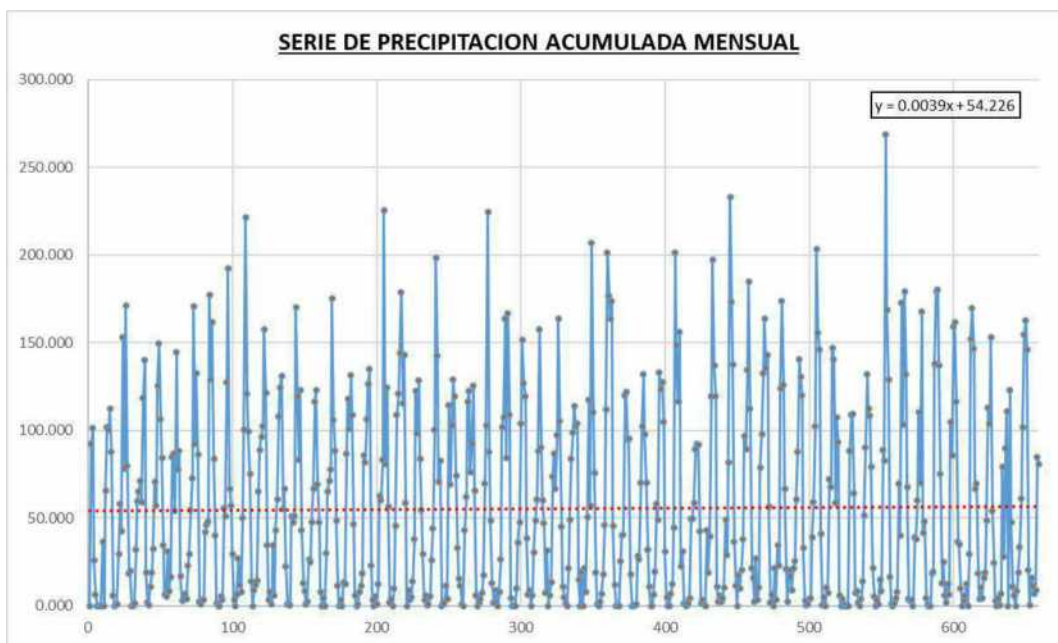
Las cinco estaciones meteorológicas seleccionadas para el estudio de la microcuenca presentan registros de precipitación total mensual, la misma que fue procesada de la siguiente manera:

- **Análisis visual grafico**

El análisis visual gráfico se realiza mediante histogramas generados en base al dato en análisis, dicho histograma nos muestra las variaciones entre datos máximos y mínimos de cada año, así como su relación con los valores medios de la estación.

La Figura N° 38 corresponde al histograma en base a los datos de precipitación total mensual de la estación de Kayra.

Fig. N° 38: Histograma de precipitación de la Estación de Kayra



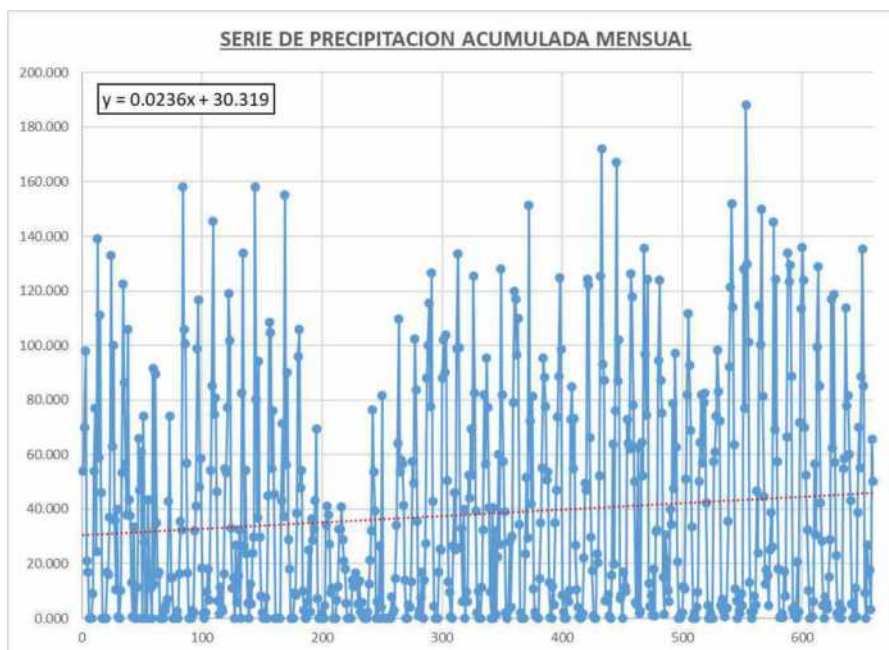
Fuente: Elaboración propia

El gráfico nos indica un comportamiento normal de los datos de precipitación, aunque como es evidente se visualiza temporadas en los que la precipitación fue mayor mientras que en otros pudo haber una baja considerable. Como se aprecia en la ecuación de la línea de tendencia, la pendiente es 0.0039, un valor bajo por lo cual no fue necesario dividir en dos bloques la información suministrada.

La Figura N° 39 nos muestra el histograma realizado con la precipitación total mensual de la estación Urubamba.

El histograma nos muestra una pendiente algo pronunciada sin embargo esto es ocasionado por los datos presentes en el año de 1984 y aunque esto pudo verse afectado por sequías durante dicha temporada, por fines de análisis es necesario realizar una corrección estadística de dichos datos.

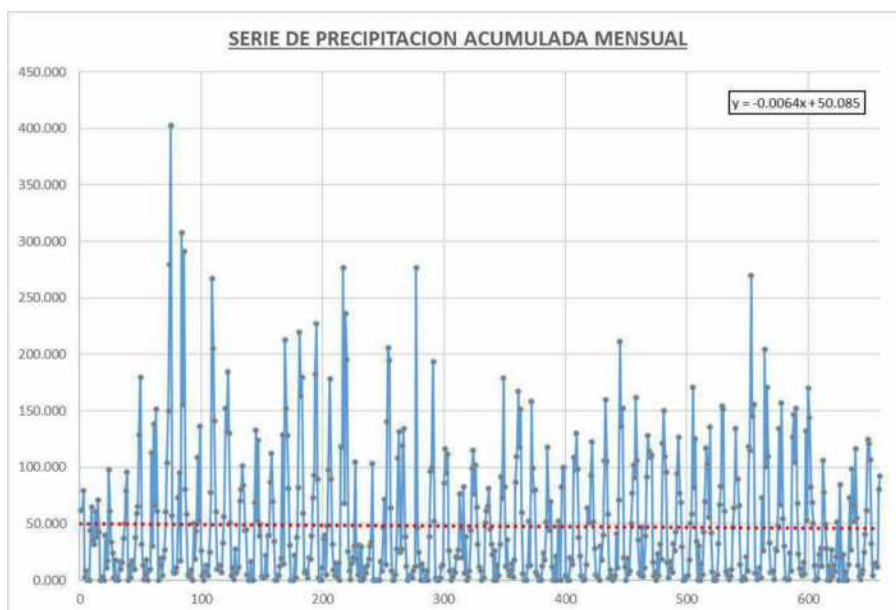
Fig. N° 39: Histograma de precipitación de la Estación Urubamba



Fuente: Elaboración propia

La Figura N° 40 nos muestra el histograma realizado con la precipitación total mensual de la estación Pisac.

Fig. N° 40: Histograma de precipitación de la Estación Pisac

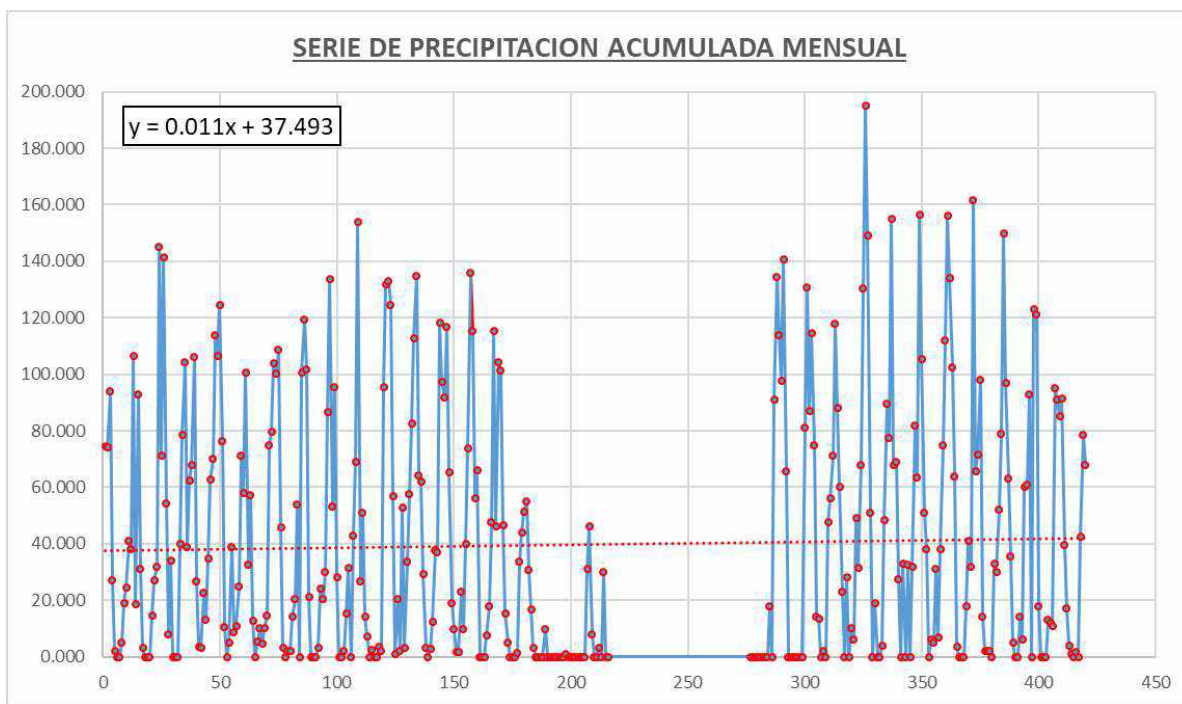


Fuente: Elaboración propia

Analizando el histograma de la estación de Pisac vemos que presenta picos mucho más elevados al resto de datos, lo que representa cargas de lluvia mucho más intensas que el resto de años, sin embargo, al analizar el dato arrojado por la pendiente de la línea de tendencia vemos una cierta uniformidad en los datos.

La Figura N° 41 nos muestra el histograma realizado con la precipitación total mensual de la estación Pisac.

Fig. N° 41: Histograma de precipitación de la Estación Calca

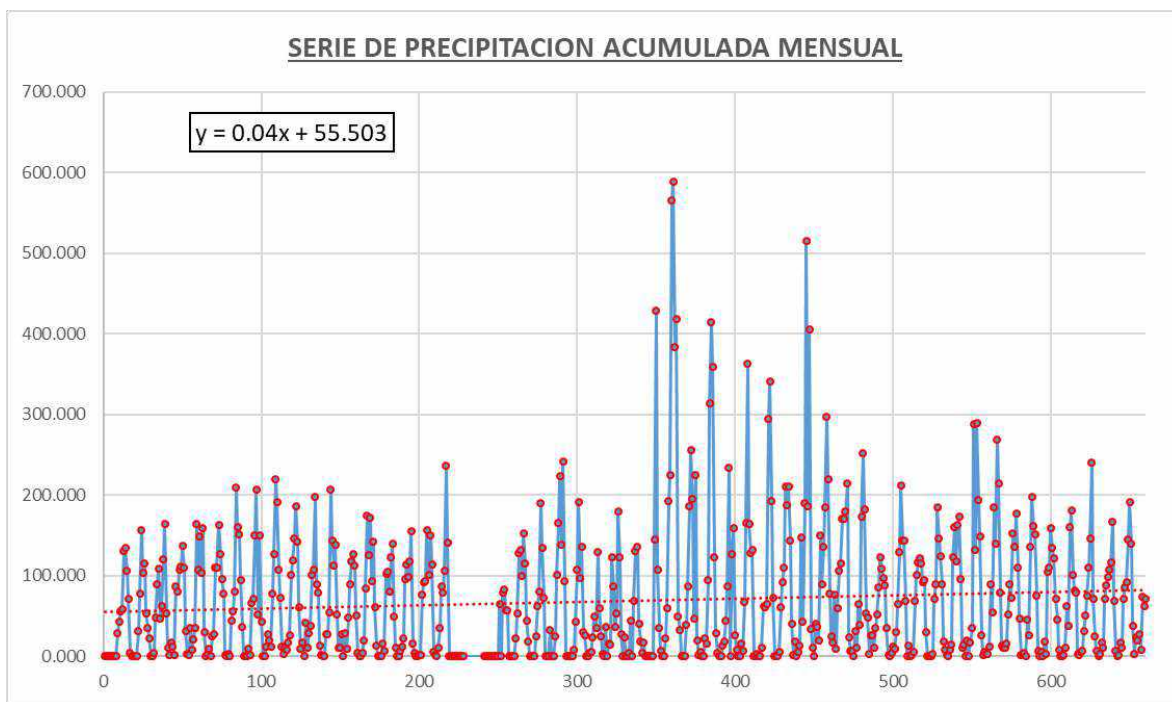


Fuente: Elaboración propia

Los datos suministrados por SENAMHI de la Estación de Pisac están divididos en dos bloques, sin embargo, ambos grupos de datos presentan uniformidad, cabe resaltar que la estación de Calca solo registró datos hasta el año 1998 por lo cual se tuvo que realizar una extensa completación de datos mediante la correlación múltiple.

La Figura N° 42 nos muestra el histograma realizado con la precipitación total mensual de la estación Anta.

Fig. N° 42: Histograma de precipitación de la Estación Anta



Fuente: Elaboración propia

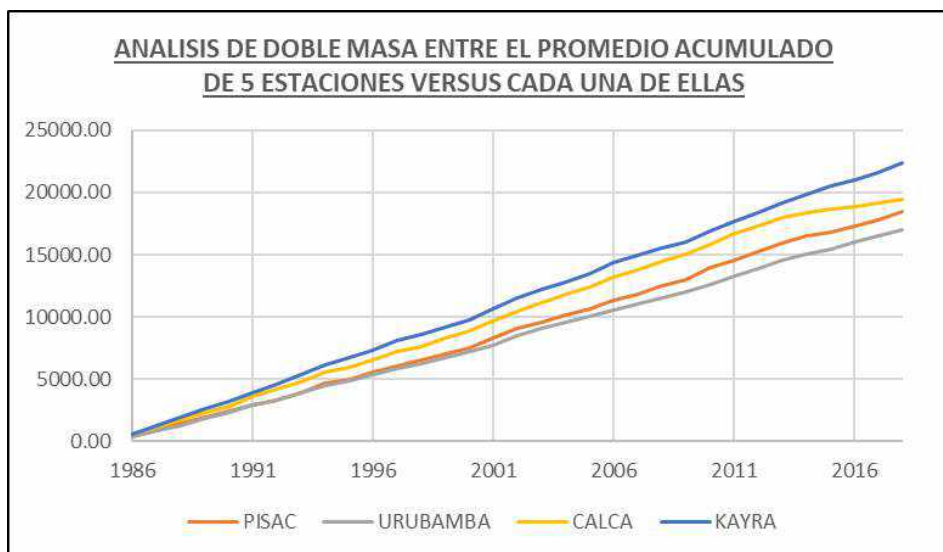
La estación de Anta presenta un considerable incremento en precipitaciones en un lapso de aproximadamente diez años, con lo cual podemos saber que al realizar el análisis de doble masa tendremos un salto a considerar para realizar las correcciones estadísticas.

▪ **Análisis de doble masa**

El análisis de doble masa propiamente dicho, consiste en conocer mediante los quiebres que se presentan en los diagramas, las causas de los fenómenos naturales, o si estos han sido ocasionados por errores sistemáticos. En este último caso, permite determinar el rango de los periodos dudosos y confiables para cada estación en estudio, la cual se deberá corregir utilizando ciertos criterios estadísticos. (Béjar, 2001)

Para el análisis de doble masa realizado en la investigación se generó dos gráficos, el primero (Figura N° 43) nos permitió determinar la estación base (estación con menos quiebres), la cual fue la Estación Kayra, cuyos datos son los más completos en comparación a los del resto de estaciones.

Fig. N° 43: Análisis de doble masa de precipitación



Fuente: Elaboración propia

El segundo gráfico, Figura N° 44, es una comparación entre el promedio acumulado de las estaciones frente a la estación base, el gráfico nos indica los puntos de inflexión en la serie de datos de las estaciones, los cuales deberán ser corregidos mediante métodos estadísticos.

Fig. N° 44: Análisis de doble masa en comparación a la estación base



Fuente: Elaboración propia

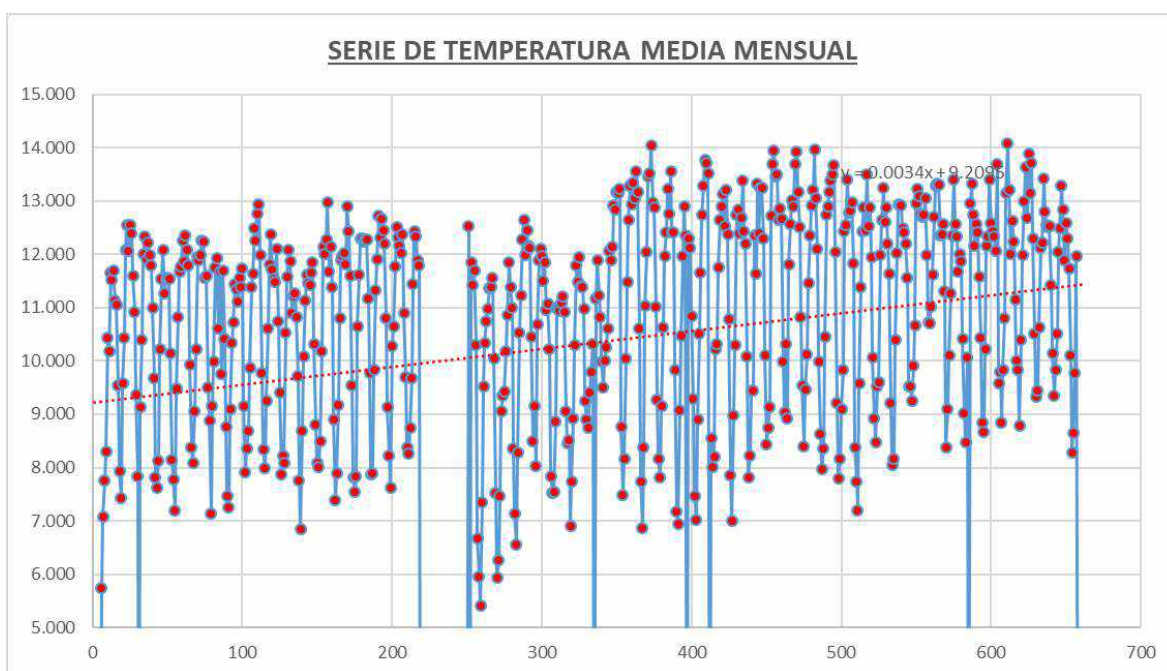
3.6.3.2.2. Temperatura media

Las cinco estaciones seleccionadas para el estudio poseen datos de temperatura media, los datos fueron completados mediante el software HIDROESTA, los cuales fueron analizados de la siguiente forma:

- **Análisis visual gráfico**

Para realizar el análisis visual gráfico se diseñaron histogramas con los datos de temperatura media mensual de cada estación.

Fig. N° 45: Histograma de temperatura media mensual – Estación Anta

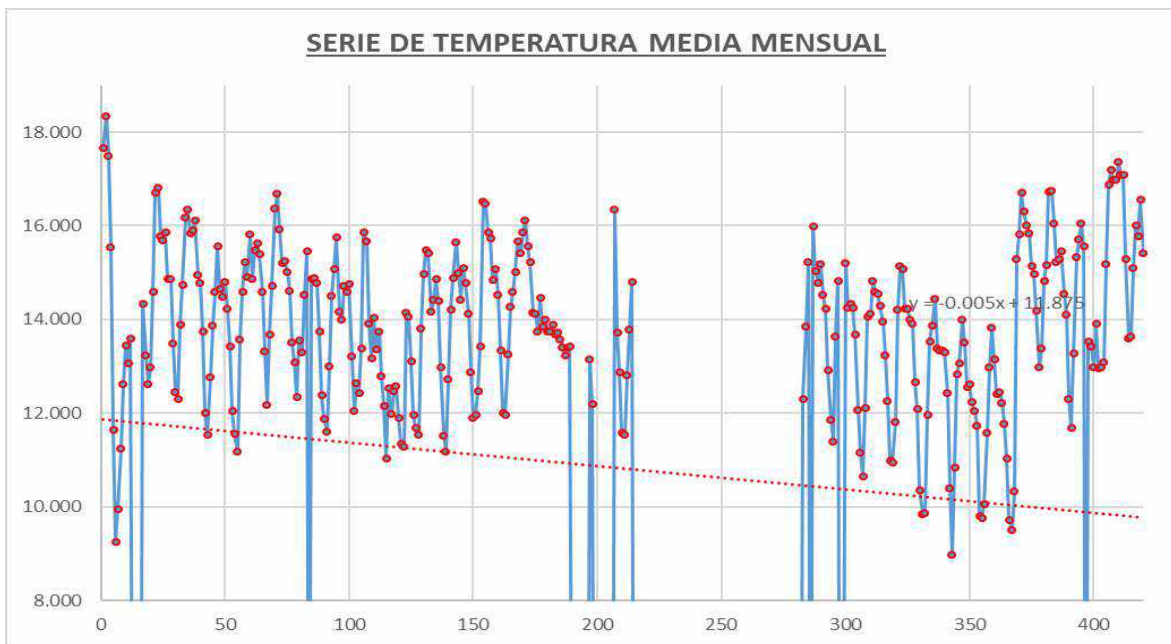


Fuente: Elaboración propia

Como nos indica la línea de tendencia, la temperatura tuvo un incremento paulatino en los 54 años de datos que posee la estación, sin embargo, al analizar el panorama global podemos indicar que dicho incremento no se debe a un cambio en la ubicación de la estación sino por factores climáticos.



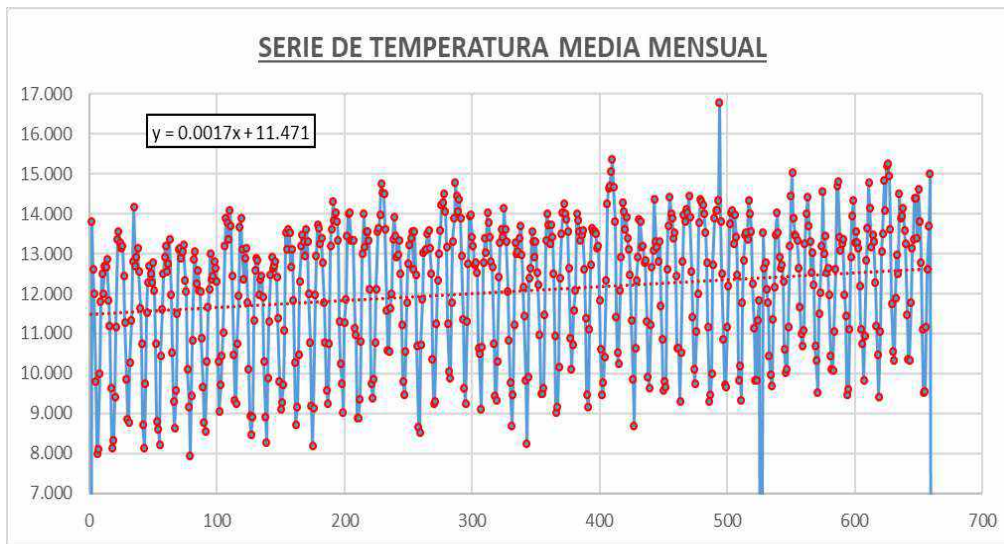
Fig. N° 46: Histograma de temperatura media mensual – Estación Calca



Fuente: Elaboración propia

La estación de Calca posee datos de temperatura media mensual únicamente hasta el año 1998, aunque por el gráfico podemos apreciar que hubo un considerable salto de temperatura, el cual debe ser analizado.

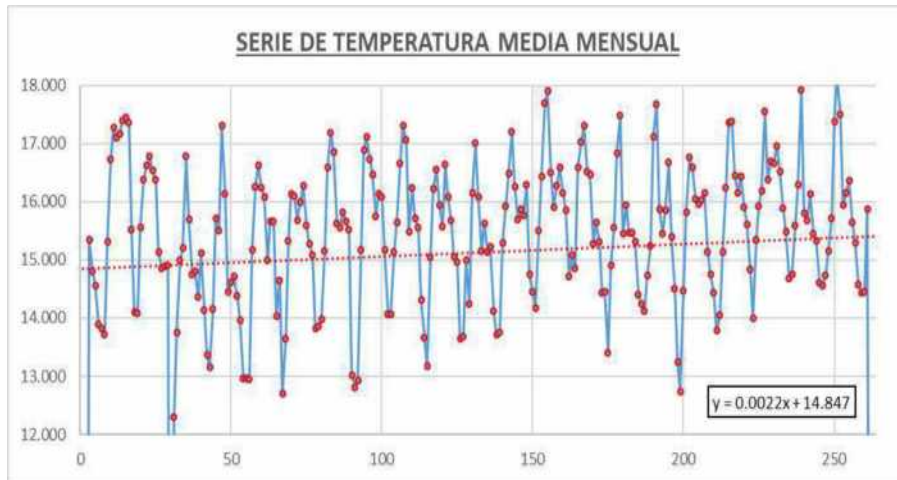
Fig. N° 47: Histograma de temperatura media mensual - Estación Kayra



Fuente: Elaboración propia

La temperatura media mensual de Kayra, al igual que la de Anta muestra un crecimiento constante, aunque con una pendiente ligera de 0.0017, con algunos picos que podrían ser errores sistemáticos, algo que será corregido posteriormente.

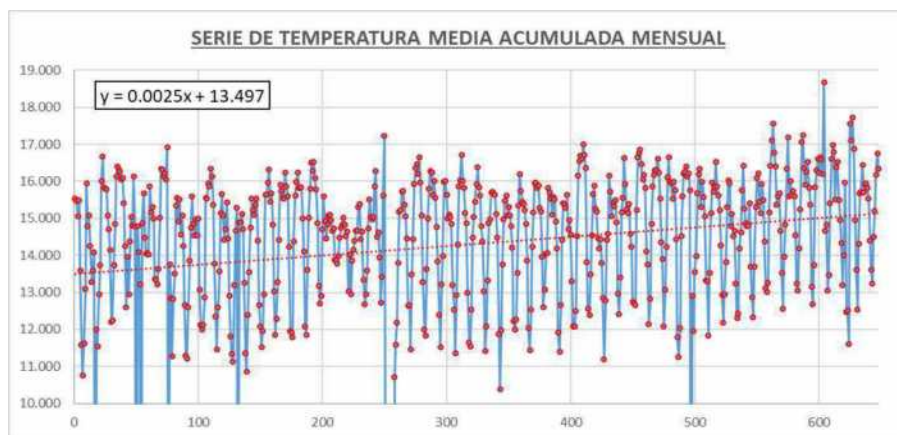
Fig. N° 48: Histograma de temperatura media mensual - Estación Pisac



Fuente: Elaboración propia

La estación meteorológica de Pisac cuenta con registros de la temperatura media mensual desde el año 1997 hasta 2018, al igual que el resto de estaciones la línea de tendencia muestra un incremento constante, con una pendiente de 0.0027, ligeramente superior a la estación de Kayra.

Fig. N° 49: Histograma de temperatura media mensual - Estación Urubamba



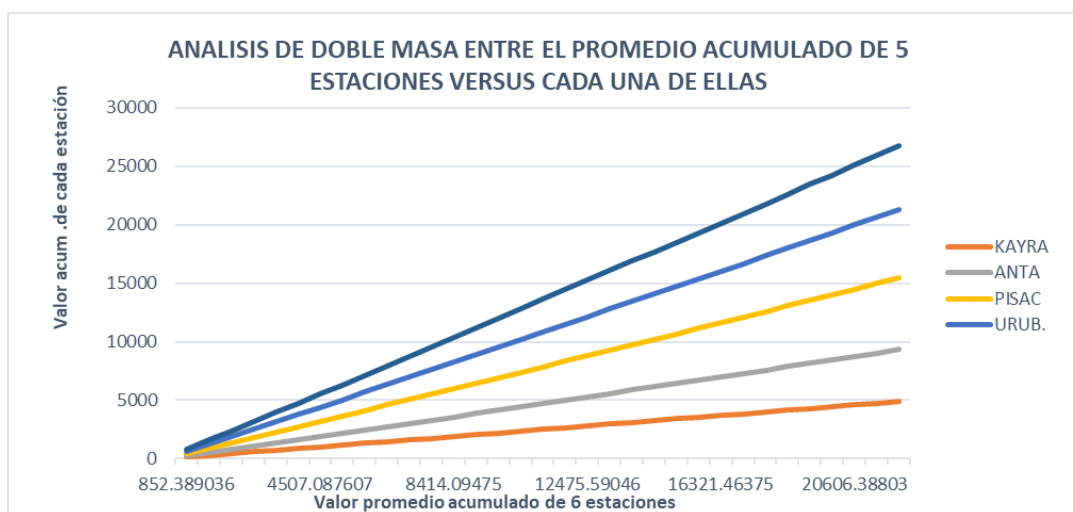
Fuente: Elaboración propia

La estación de Urubamba cuenta con registros desde el año 1963, como se puede apreciar en el histograma, la temperatura media tuvo un incremento constante, la ecuación de la línea de tendencia posee una pendiente de 0.0025, valor muy parecido a la estación de Pisac.

- **Análisis de doble masa**

Para el análisis de doble masa se elaboraron los siguientes gráficos.

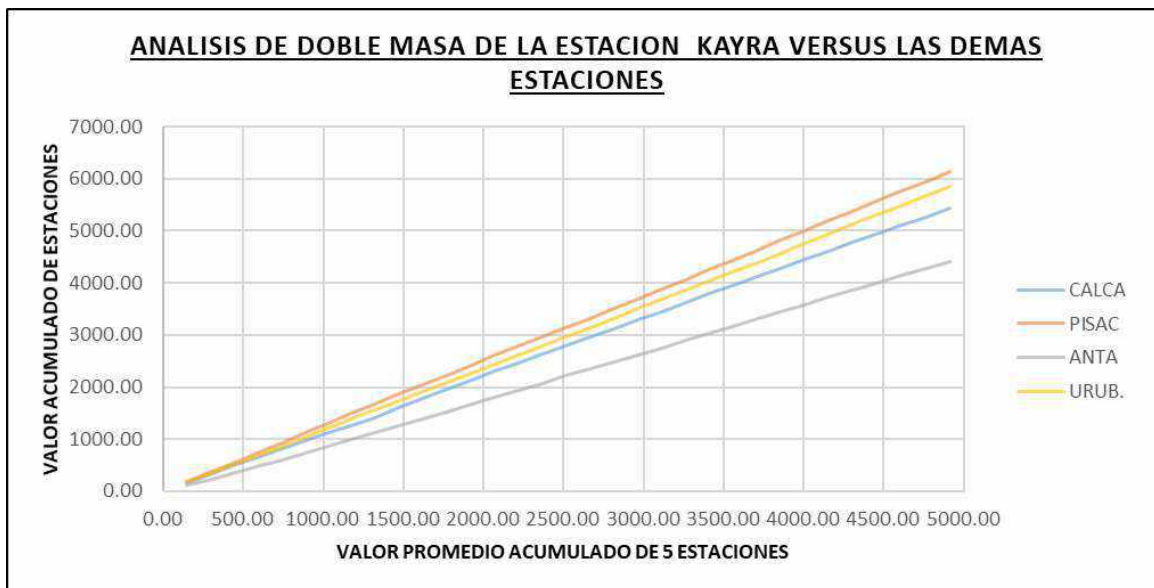
Fig. N° 50: Análisis de doble masa de las 5 estaciones



Fuente: Elaboración propia

El Gráfico N° 52 fue generado mediante el promedio acumulado de cada estación, podemos ver un ascenso constante sin presencia de quiebres, seleccionamos la estación de Kayra como “estación base” debido a que era la que contaba con mayor cantidad de datos, adicionalmente su histograma era el de mejor distribución.

Fig. N° 51: Análisis de doble masa en comparación con Kayra



Fuente: Elaboración propia

La Figura N° 53 nos muestra la comparación de Kayra frente a las cuatro estaciones, el gráfico nos indica que ninguna estación presenta quiebres por lo que la completación con la media es aceptable y la información está lista para ser usada.

Los datos finales a usar serán los presentados en las Tablas N° 39 a la N° 43.



Tabla 38: Temperatura media mensual - Estación Urubamba



"EVALUACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO DE LA CUENCA DE LA LAGUNA DE PIURAY CONSIDERANDO EL ESCENARIO MÁS DESFAVORABLE PARA EL AÑO 2040 SEGÚN EL MODELO WEAP, CON FINES DE ABASTECIMIENTO PARA LA CIUDAD DE CUSCO Y CHINCHERO"

DATOS COMPLETADOS CON LA MEDIA			
NOMBRE:	ESTACIÓN URUBAMBA	TIPO:	METEOROLÓGICA
LATITUD:	13° 18' 18.6"	DEPARTAMENTO :	CUSCO
LONGITUD:	71° 7' 28.4"	PROVINCIA :	URUBAMBA
ALTITUD:	2850	DISTRITO :	URUBAMBA
PARÁMETRO:	T° MEDIA MENSUAL (°C)	PERIODO:	1963-2018

NRO	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1	1986	15.75	15.37	15.05	14.46	12.64	12.65	11.47	13.49	14.43	15.92	16.37	16.46
2	1987	16.20	16.64	15.96	15.08	13.29	11.99	11.84	13.63	15.00	15.81	16.27	16.23
3	1988	15.64	16.01	15.55	14.76	13.83	12.40	11.52	13.21	13.99	15.99	16.01	15.63
4	1989	15.00	15.09	15.04	14.86	13.19	12.54	11.36	12.92	14.30	15.86	16.03	16.72
5	1990	16.01	15.82	15.15	14.88	12.99	11.65	11.54	12.54	14.47	15.04	15.46	15.92
6	1991	16.38	15.85	15.62	14.78	14.38	13.03	11.42	12.09	13.32	14.87	14.98	15.70
7	1992	15.72	15.66	15.63	15.11	14.47	11.87	10.39	11.98	13.76	14.98	15.48	15.61
8	1993	15.08	15.31	15.08	14.78	14.21	12.22	12.00	12.26	13.53	15.34	16.20	15.74
9	1994	15.46	15.38	15.23	14.85	13.86	12.03	11.43	12.53	14.24	15.16	15.95	15.96
10	1995	15.83	15.88	15.29	15.18	13.97	12.59	13.07	14.05	14.07	15.83	15.70	15.53
11	1996	15.09	15.58	15.52	14.92	14.18	11.92	11.40	12.66	14.42	15.41	15.37	15.29
12	1997	15.64	14.70	14.96	14.56	13.31	12.08	12.09	12.49	14.52	16.15	16.55	16.69
13	1998	16.61	17.01	16.72	16.35	13.82	12.55	12.40	13.48	14.55	15.65	15.89	15.27
14	1999	15.19	14.45	14.19	14.43	13.80	12.85	11.19	12.79	14.42	14.58	16.15	15.71
15	2000	15.06	15.44	15.33	15.49	14.90	12.98	12.42	13.41	15.17	15.56	16.63	15.92
16	2001	15.24	15.14	15.38	14.58	14.23	12.74	12.73	12.65	15.23	16.65	16.78	16.86
17	2002	16.46	16.06	16.18	15.83	14.10	13.76	12.14	12.83	14.86	15.87	16.17	16.29
18	2003	16.29	16.61	16.24	15.53	14.35	13.89	12.09	13.07	14.24	16.12	16.64	15.99
19	2004	15.94	15.53	15.99	15.76	14.44	11.79	11.26	12.04	14.51	15.59	16.21	16.26
20	2005	16.40	16.13	16.21	15.76	14.04	12.90	11.96	13.55	13.98	15.67	16.19	16.33
21	2006	15.30	15.98	15.58	15.06	13.32	13.31	11.83	13.53	15.13	15.97	15.71	15.84
22	2007	16.52	15.86	15.61	15.23	14.27	12.93	12.19	12.94	13.82	15.31	16.03	15.95
23	2008	14.79	15.13	14.52	14.66	13.24	12.30	12.43	14.19	14.62	15.76	16.43	15.27
24	2009	14.87	14.80	14.81	15.42	13.69	12.87	12.33	13.70	15.30	16.09	16.23	15.45
25	2010	15.13	15.92	15.50	14.37	13.12	13.02	13.27	15.17	16.42	17.10	17.55	16.78
26	2011	16.41	15.37	15.59	15.69	14.67	13.53	12.56	13.96	14.84	16.34	17.19	15.60
27	2012	16.00	15.63	15.74	15.59	14.55	13.23	13.05	14.19	15.25	17.06	17.24	16.37
28	2013	15.91	16.26	16.54	15.83	15.37	13.15	12.69	13.74	15.85	16.30	16.61	16.24
29	2014	16.66	16.60	16.19	18.67	14.66	14.83	13.06	13.47	15.40	16.61	16.97	16.80
30	2015	15.52	16.38	16.52	15.49	14.96	14.34	13.19	14.01	15.97	12.48	12.51	11.61
31	2016	17.57	17.11	17.73	16.89	14.95	13.62	12.54	14.32	15.68	15.73	16.45	15.70
32	2017	15.92	15.94	15.83	15.54	14.40	13.62	13.24	14.51	15.20	16.18	16.75	16.35
33	2018	15.80	15.77	15.64	15.32	14.04	12.85	12.13	13.29	14.70	15.72	16.15	15.88
NRO		33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0
MEDIA		15.80	15.77	15.64	15.32	14.0	12.8	12.1	13.3	14.7	15.7	16.1	15.9
D.E.		0.63	0.63	0.68	0.83	0.6	0.7	0.7	0.8	0.7	0.8	0.9	0.9
C.V.		0.04	0.04	0.04	0.05	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1
MIN		14.79	14.45	14.19	14.37	12.6	11.7	10.4	12.0	13.3	12.5	12.5	11.6
MAX		17.57	17.11	17.73	18.67	15.4	14.8	13.3	15.2	16.4	17.1	17.6	16.9

Fuente: Elaboración propia



Tabla 39: Temperatura media mensual - Estación Pisac



"EVALUACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO DE LA CUENCA DE LA LAGUNA DE PIURAY CONSIDERANDO EL ESCENARIO MÁS DESFAVORABLE PARA EL AÑO 2040 SEGÚN EL MODELO WEAP, CON FINES DE ABASTECIMIENTO PARA LA CIUDAD DE CUSCO Y CHINCHERO"

DATOS COMPLETADOS CON LA MEDIA			
NOMBRE:	ESTACIÓN PISAC	TIPO:	METEOROLÓGICA
LATITUD:	13° 24' 57"	DEPARTAMENTO:	CUSCO
LONGITUD:	71° 51' 3"	PROVINCIA:	CALCA
ALTITUD:	2950	DISTRITO:	PISAC
PARÁMETRO:	T° MINIMA MENSUAL (°C)	PERIODO:	1986-2018

NRO	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1	1986	15.93	15.83	15.82	15.55	14.84	14.09	13.71	14.52	15.60	16.54	17.18	16.35
2	1987	15.93	15.83	15.82	15.55	14.84	14.09	13.71	14.52	15.60	16.54	17.18	16.35
3	1988	15.93	15.83	15.82	15.55	14.84	14.09	13.71	14.52	15.60	16.54	17.18	16.35
4	1989	15.93	15.83	15.82	15.55	14.84	14.09	13.71	14.52	15.60	16.54	17.18	16.35
5	1990	15.93	15.83	15.82	15.55	14.84	14.09	13.71	14.52	15.60	16.54	17.18	16.35
6	1991	15.93	15.83	15.82	15.55	14.84	14.09	13.71	14.52	15.60	16.54	17.18	16.35
7	1992	15.93	15.83	15.82	15.55	14.84	14.09	13.71	14.52	15.60	16.54	17.18	16.35
8	1993	15.93	15.83	15.82	15.55	14.84	14.09	13.71	14.52	15.60	16.54	17.18	16.35
9	1994	15.93	15.83	15.82	15.55	14.84	14.09	13.71	14.52	15.60	16.54	17.18	16.35
10	1995	15.93	15.83	15.82	15.55	14.84	14.09	13.71	14.52	15.60	16.54	17.18	16.35
11	1996	15.93	15.83	15.82	15.55	14.84	14.09	13.71	14.52	15.60	16.54	17.18	16.35
12	1997	15.93	15.83	15.82	15.55	14.84	14.09	13.71	14.52	15.60	16.54	17.18	16.35
13	1998	17.18	17.40	17.46	17.37	15.53	14.10	14.08	15.56	16.38	16.62	16.78	16.54
14	1999	16.39	15.13	14.85	14.90	14.91	14.09	12.29	13.76	14.99	15.20	16.78	15.70
15	2000	14.75	14.80	14.37	15.12	14.14	13.36	13.15	14.15	15.71	15.50	17.32	16.14
16	2001	14.45	14.61	14.71	14.38	13.97	12.97	12.97	12.95	15.18	16.26	16.63	16.24
17	2002	16.09	14.99	15.66	15.66	14.04	14.65	12.71	13.64	15.33	16.14	16.10	15.69
18	2003	16.00	16.28	15.59	15.27	15.09	13.82	13.85	13.98	15.16	16.59	17.19	16.85
19	2004	15.63	15.55	15.83	15.67	15.53	13.02	12.81	12.93	15.18	16.89	17.12	16.74
20	2005	16.47	15.76	16.13	16.08	15.17	14.07	14.07	15.13	15.65	16.66	17.31	17.06
21	2006	15.49	16.25	15.71	15.56	14.32	13.67	13.17	15.05	16.22	16.56	15.95	15.57
22	2007	16.65	16.09	15.68	15.05	14.96	13.65	13.69	14.99	14.24	16.15	17.01	16.08
23	2008	15.16	15.63	15.13	15.22	14.12	13.73	13.76	15.29	15.94	16.49	17.20	16.26
24	2009	15.71	15.88	15.77	16.29	14.75	14.45	14.18	15.50	16.44	17.71	17.90	16.50
25	2010	15.92	16.28	16.59	16.15	15.86	14.72	15.09	14.87	16.60	17.04	17.32	16.52
26	2011	16.47	15.27	15.65	15.31	14.45	14.46	13.40	14.91	15.56	16.85	17.49	15.45
27	2012	15.95	15.47	15.48	15.32	14.41	14.24	14.12	14.73	15.24	17.13	17.68	15.88
28	2013	15.46	15.87	16.69	15.40	14.50	13.25	12.75	14.48	15.83	16.77	16.60	16.05
29	2014	15.96	16.04	16.16	15.14	14.75	14.43	13.79	14.05	15.14	16.24	17.36	17.38
30	2015	16.45	16.16	16.44	15.92	15.61	14.84	14.00	15.36	15.94	16.19	17.56	16.38
31	2016	16.70	16.67	16.97	16.52	15.90	15.49	14.69	14.76	15.59	16.29	17.93	15.81
32	2017	15.68	16.15	15.45	15.34	14.62	14.56	14.73	15.16	15.72	17.39	18.20	17.50
33	2018	15.94	16.16	16.37	15.65	15.30	14.57	14.44	14.46	15.87	16.54	17.18	16.35
NRO		33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0
MEDIA		15.93	15.83	15.82	15.55	14.8	14.1	13.7	14.5	15.6	16.5	17.2	16.4
D.E.		0.52	0.52	0.60	0.53	0.5	0.5	0.6	0.6	0.4	0.5	0.4	0.5
C.V.		0.03	0.03	0.04	0.03	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
MIN		14.45	14.61	14.37	14.38	14.0	13.0	12.3	12.9	14.2	15.2	16.0	15.5
MAX		17.18	17.40	17.46	17.37	15.9	15.5	15.1	15.6	16.6	17.7	18.2	17.5

Fuente: Elaboración propia



Tabla 40: Temperatura media mensual - Estación Kayra



"EVALUACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO DE LA CUENCA DE LA LAGUNA DE PIURAY CONSIDERANDO EL ESCENARIO MÁS DESFAVORABLE PARA EL AÑO 2040 SEGÚN EL MODELO WEAP, CON FINES DE ABASTECIMIENTO PARA LA CIUDAD DE CUSCO Y CHINCHERO"

DATOS COMPLETADOS CON LA MEDIA			
NOMBRE:	ESTACIÓN KAYRA	TIPO:	METEOROLÓGICA
LATITUD:	13° 33' 24.7"	DEPARTAMENTO :	CUSCO
LONGITUD:	71° 52' 29.8"	PROVINCIA :	CUSCO
ALTITUD:	3219	DISTRITO :	SAN JERÓNIMO
PARÁMETRO:	T° MEDIA MENSUAL (°C)	PERIODO:	1964-2018

NRO	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1	1986	13.50	13.59	13.14	12.49	10.35	9.26	9.31	11.24	12.34	13.01	13.60	14.23
2	1987	14.28	14.51	14.07	13.16	11.24	10.05	9.89	11.77	13.32	13.90	14.78	14.44
3	1988	14.07	14.38	13.90	12.94	11.36	9.64	9.25	11.30	12.77	13.95	13.97	13.43
4	1989	13.19	12.71	12.78	12.54	10.64	10.49	9.10	10.67	12.79	13.40	13.03	14.03
5	1990	13.79	13.42	12.81	12.67	10.75	9.44	9.33	10.31	12.41	13.27	13.62	13.42
6	1991	14.13	13.62	13.32	12.07	10.83	9.76	8.70	9.47	11.22	13.29	13.00	13.06
7	1992	13.41	13.71	12.99	12.18	11.44	9.84	8.25	9.92	12.39	12.64	13.56	13.32
8	1993	12.92	13.31	12.54	12.22	10.97	9.49	9.49	9.65	11.47	13.33	13.99	13.73
9	1994	13.25	13.73	13.43	12.50	10.93	9.02	9.17	10.18	12.40	13.51	14.04	14.26
10	1995	14.02	13.88	13.55	12.65	10.90	10.12	10.73	11.59	12.09	13.99	13.84	13.57
11	1996	13.33	13.48	13.60	12.60	11.40	9.48	9.15	11.12	12.72	13.65	13.55	13.55
12	1997	13.52	13.13	13.20	11.84	10.60	9.46	9.77	10.42	12.33	14.26	14.64	14.70
13	1998	15.06	15.38	14.68	13.80	11.41	10.53	10.25	12.07	12.92	14.30	14.05	13.62
14	1999	13.93	13.39	13.11	12.47	11.32	9.85	8.69	10.63	12.35	12.92	13.87	13.80
15	2000	13.17	13.21	12.78	12.84	11.30	9.92	9.64	11.23	12.66	13.09	14.37	13.32
16	2001	13.16	12.82	13.30	11.68	10.87	9.59	9.81	9.67	12.60	13.70	14.43	14.01
17	2002	13.90	13.39	13.54	12.46	10.65	10.63	9.31	10.54	12.82	13.98	13.80	14.12
18	2003	14.05	14.44	13.92	12.57	11.41	10.11	9.75	11.06	12.01	13.77	14.37	14.31
19	2004	14.23	14.01	13.54	12.78	11.18	9.30	9.48	10.00	12.73	13.91	14.08	14.10
20	2005	14.33	16.80	13.82	12.50	10.87	9.73	9.65	11.17	12.21	13.76	14.05	14.10
21	2006	13.24	13.97	13.43	12.46	9.83	10.21	9.34	11.77	12.85	13.48	13.54	13.35
22	2007	14.35	14.01	13.55	12.26	11.13	9.82	9.83	11.35	11.82	13.61	14.15	13.53
23	2008	12.63	12.79	12.12	11.77	10.45	9.98	9.69	11.35	12.18	13.47	14.02	13.53
24	2009	12.92	12.63	12.71	12.31	10.60	10.03	10.10	11.17	13.19	14.46	15.04	13.90
25	2010	13.48	13.46	13.33	12.64	11.66	11.01	10.69	11.07	13.24	13.99	14.43	13.71
26	2011	13.31	12.52	13.04	12.21	10.70	10.32	9.51	11.50	12.02	13.21	14.57	13.01
27	2012	13.44	12.54	12.65	11.96	10.44	10.10	10.07	11.06	12.60	14.71	14.80	13.43
28	2013	13.08	13.24	13.36	11.96	11.45	9.47	9.60	11.11	12.92	13.94	14.33	13.27
29	2014	13.57	13.28	13.13	12.20	11.11	10.76	9.84	10.93	12.83	13.63	14.78	14.15
30	2015	13.18	13.48	13.32	12.28	11.19	10.46	9.42	11.05	13.05	13.51	14.85	14.10
31	2016	15.19	15.25	14.95	13.61	11.74	10.54	10.33	11.90	12.99	12.51	14.50	13.89
32	2017	13.96	14.15	13.59	13.24	11.48	10.37	10.33	11.79	13.14	13.38	14.38	14.40
33	2018	13.41	14.62	13.81	12.78	11.12	9.52	9.55	11.16	12.62	13.70	15.00	13.79
NRO		33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0
MEDIA		13.66	13.72	13.36	12.50	11.0	9.9	9.6	10.9	12.5	13.6	14.2	13.8
D.E.		0.59	0.90	0.57	0.48	0.4	0.5	0.5	0.7	0.5	0.5	0.5	0.4
C.V.		0.04	0.07	0.04	0.04	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
MIN		12.63	12.52	12.12	11.68	9.8	9.0	8.3	9.5	11.2	12.5	13.0	13.0
MAX		15.19	16.80	14.95	13.80	11.7	11.0	10.7	12.1	13.3	14.7	15.0	14.7

Fuente: Elaboración propia



Tabla 41: Temperatura media mensual - Estación Calca



"EVALUACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO DE LA CUENCA DE LA LAGUNA DE PIURAY CONSIDERANDO EL ESCENARIO MÁS DESFAVORABLE PARA EL AÑO 2040 SEGÚN EL MODELO WEAP, CON FINES DE ABASTECIMIENTO PARA LA CIUDAD DE CUSCO Y CHINCHERO"

DATOS COMPLETADOS CON LA MEDIA													
NOMBRE:	ESTACIÓN CALCA						TIPO:	METEOROLÓGICA					
LATITUD:	13° 20' 0"						DEPARTAMENTO:	CUSCO					
LONGITUD:	71° 57' 0"						PROVINCIA:	CALCA					
ALTITUD:	2926						DISTRITO:	CALCA					
PARÁMETRO:	TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (°C)						PERIODO:	1963-1998					
NRO	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1	1986	14.44	14.38	14.14	13.68	12.91	11.46	11.26	12.40	14.31	14.98	15.53	15.04
2	1987	14.44	14.38	14.14	13.68	12.91	11.46	12.31	13.85	15.23	14.98	15.99	15.04
3	1988	14.79	15.18	14.52	14.23	12.92	11.85	11.40	13.64	14.83	14.98	15.53	15.20
4	1989	14.25	14.34	14.25	13.68	12.08	11.15	10.66	12.12	14.07	14.13	14.82	14.60
5	1990	14.55	14.29	13.95	13.23	12.27	10.98	10.94	11.82	14.21	15.14	15.08	14.23
6	1991	14.24	13.99	13.92	12.67	12.09	10.36	9.85	9.86	11.96	13.54	13.86	14.44
7	1992	13.38	13.33	13.35	13.30	12.42	10.40	8.97	10.85	12.83	13.06	13.99	13.50
8	1993	12.56	12.61	12.23	12.04	11.74	9.80	9.76	10.06	11.58	12.99	13.82	13.16
9	1994	12.40	12.46	12.22	11.78	11.03	9.72	9.50	10.33	15.28	15.81	16.70	16.30
10	1995	16.00	15.84	15.14	14.97	14.18	12.97	13.38	14.82	15.16	16.73	16.75	16.05
11	1996	15.22	15.28	15.46	14.55	14.10	12.30	11.69	13.27	15.34	15.71	16.06	15.57
12	1997	14.44	13.54	13.42	12.97	13.91	12.95	12.98	13.08	15.18	16.88	17.19	16.98
13	1998	16.99	17.36	17.08	17.09	15.29	13.59	13.64	15.09	16.00	15.77	16.55	15.41
14	1999	14.44	14.38	14.14	13.68	12.91	11.46	11.26	12.40	14.31	14.98	15.53	15.04
15	2000	14.44	14.38	14.14	13.68	12.91	11.46	11.26	12.40	14.31	14.98	15.53	15.04
16	2001	14.44	14.38	14.14	13.68	12.91	11.46	11.26	12.40	14.31	14.98	15.53	15.04
17	2002	14.44	14.38	14.14	13.68	12.91	11.46	11.26	12.40	14.31	14.98	15.53	15.04
18	2003	14.44	14.38	14.14	13.68	12.91	11.46	11.26	12.40	14.31	14.98	15.53	15.04
19	2004	14.44	14.38	14.14	13.68	12.91	11.46	11.26	12.40	14.31	14.98	15.53	15.04
20	2005	14.44	14.38	14.14	13.68	12.91	11.46	11.26	12.40	14.31	14.98	15.53	15.04
21	2006	14.44	14.38	14.14	13.68	12.91	11.46	11.26	12.40	14.31	14.98	15.53	15.04
22	2007	14.44	14.38	14.14	13.68	12.91	11.46	11.26	12.40	14.31	14.98	15.53	15.04
23	2008	14.44	14.38	14.14	13.68	12.91	11.46	11.26	12.40	14.31	14.98	15.53	15.04
24	2009	14.44	14.38	14.14	13.68	12.91	11.46	11.26	12.40	14.31	14.98	15.53	15.04
25	2010	14.44	14.38	14.14	13.68	12.91	11.46	11.26	12.40	14.31	14.98	15.53	15.04
26	2011	14.44	14.38	14.14	13.68	12.91	11.46	11.26	12.40	14.31	14.98	15.53	15.04
27	2012	14.44	14.38	14.14	13.68	12.91	11.46	11.26	12.40	14.31	14.98	15.53	15.04
28	2013	14.44	14.38	14.14	13.68	12.91	11.46	11.26	12.40	14.31	14.98	15.53	15.04
29	2014	14.44	14.38	14.14	13.68	12.91	11.46	11.26	12.40	14.31	14.98	15.53	15.04
30	2015	14.44	14.38	14.14	13.68	12.91	11.46	11.26	12.40	14.31	14.98	15.53	15.04
31	2016	14.44	14.38	14.14	13.68	12.91	11.46	11.26	12.40	14.31	14.98	15.53	15.04
32	2017	14.44	14.38	14.14	13.68	12.91	11.46	11.26	12.40	14.31	14.98	15.53	15.04
33	2018	14.44	14.38	14.14	13.68	12.91	11.46	11.26	12.40	14.31	14.98	15.53	15.04
NRO		33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0
MEDIA		14.44	14.38	14.14	13.68	12.9	11.5	11.3	12.4	14.3	15.0	15.5	15.0
D.E.		0.76	0.81	0.79	0.84	0.7	0.8	0.9	1.1	0.8	0.8	0.7	0.7
C.V.		0.05	0.06	0.06	0.06	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0
MIN		12.40	12.46	12.22	11.78	11.0	9.7	9.0	9.9	11.6	13.0	13.8	13.2
MAX		16.99	17.36	17.08	17.09	15.3	13.6	13.6	15.1	16.0	16.9	17.2	17.0

Fuente: Elaboración propia



Tabla 42: Temperatura media mensual



"EVALUACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO DE LA CUENCA DE LA LAGUNA DE PIURAY CONSIDERANDO EL ESCENARIO MÁS DESFAVORABLE PARA EL AÑO 2040 SEGÚN EL MODELO WEAP, CON FINES DE ABASTECIMIENTO PARA LA CIUDAD DE CUSCO Y CHINCHERO"

DATOS COMPLETADOS CON LA MEDIA			
NOMBRE:	ESTACIÓN ANTA	TIPO:	METEOROLÓGICA
LATITUD:	13° 28' 6"	DEPARTAMENTO :	CUSCO
LONGITUD:	71° 12' 57"	PROVINCIA :	ANTA
ALTITUD:	3340	DISTRITO :	ZURITE
PARÁMETRO:	T° MEDIA MENSUAL (°C)	PERIODO:	1986-2018

NRO	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1	1986	11.37	11.38	11.55	10.04	7.53	5.93	6.27	7.46	9.05	9.35	9.42	10.19
2	1987	10.86	11.85	11.38	10.99	8.35	7.13	6.56	8.29	10.54	11.22	12.27	12.65
3	1988	11.99	12.46	12.16	12.13	10.46	8.49	9.16	8.02	10.68	11.89	12.11	11.97
4	1989	11.50	11.85	10.95	11.08	10.23	7.84	7.53	7.54	8.87	11.00	11.00	10.93
5	1990	11.10	11.21	10.91	9.06	8.45	8.52	6.90	7.73	8.92	10.29	11.79	11.48
6	1991	11.95	11.41	11.38	10.98	9.25	8.90	8.74	9.41	9.80	10.32	12.74	11.18
7	1992	11.88	11.23	10.83	9.99	9.50	10.00	10.26	10.61	12.07	11.89	12.14	12.92
8	1993	12.83	13.16	13.14	13.23	8.76	7.48	8.17	10.05	11.48	12.64	13.29	12.94
9	1994	13.34	13.05	13.55	13.16	10.61	7.74	6.86	8.37	11.03	12.04	13.46	13.51
10	1995	14.04	12.97	12.87	11.02	9.27	8.16	7.81	9.15	10.63	11.97	12.41	13.22
11	1996	12.77	13.56	12.41	12.41	9.84	7.18	6.95	9.07	10.47	11.97	12.89	12.35
12	1997	12.63	12.29	12.13	10.84	9.29	7.46	7.03	8.90	10.51	11.66	12.74	13.29
13	1998	13.77	13.72	13.52	11.80	8.56	8.01	8.20	10.22	10.31	11.76	12.65	12.90
14	1999	13.12	12.53	13.21	12.37	10.78	7.86	7.00	8.98	10.29	12.75	12.83	12.39
15	2000	12.68	13.39	12.43	12.20	10.08	7.82	8.22	9.44	9.44	12.35	11.63	13.32
16	2001	12.39	13.24	13.25	12.29	10.10	8.43	8.74	9.14	12.73	13.70	13.94	13.46
17	2002	13.50	12.64	12.85	12.67	9.99	9.03	10.31	8.92	11.82	12.57	13.01	12.89
18	2003	13.69	13.93	13.16	12.50	10.82	9.55	8.40	9.46	10.12	11.47	12.36	12.91
19	2004	13.21	13.96	13.06	12.11	9.99	8.63	7.97	8.36	10.46	12.74	12.89	13.16
20	2005	13.38	13.50	13.68	12.05	9.22	7.80	8.17	9.10	9.84	12.43	12.55	13.41
21	2006	12.79	12.82	12.98	11.83	8.38	7.74	7.20	9.58	11.38	12.44	12.88	12.45
22	2007	13.49	12.52	12.87	11.95	10.06	8.93	8.48	9.53	9.60	11.99	12.64	13.25
23	2008	12.60	12.88	12.20	11.64	9.21	8.05	8.17	10.39	12.02	12.94	12.92	12.91
24	2009	12.48	12.41	12.20	11.55	9.53	9.53	9.25	9.91	10.67	12.96	13.22	13.10
25	2010	12.75	12.71	12.74	13.06	11.98	10.73	10.71	11.02	11.62	12.70	13.28	13.32
26	2011	13.31	12.36	12.37	12.56	11.30	8.37	9.09	10.11	11.27	12.35	13.41	12.56
27	2012	12.34	11.67	12.01	11.86	10.41	9.01	8.48	10.07	10.83	12.95	13.32	12.74
28	2013	12.16	12.56	12.42	11.58	10.44	8.85	8.67	10.23	12.16	12.33	13.40	12.58
29	2014	12.44	12.34	12.06	13.70	9.59	9.79	8.84	9.84	10.81	13.14	14.07	13.20
30	2015	12.00	12.62	12.23	11.16	10.00	9.83	8.79	10.40	11.99	13.00	13.64	12.68
31	2016	13.88	13.15	13.71	12.29	10.52	9.33	9.44	10.63	12.12	12.22	13.43	12.80
32	2017	12.55	12.51	12.53	11.43	10.15	9.35	9.83	10.51	12.05	12.48	13.29	12.83
33	2018	11.89	12.59	12.29	11.73	10.10	8.29	8.65	9.78	11.96	12.11	12.74	12.67
NRO		33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0
MEDIA		12.63	12.62	12.46	11.80	9.8	8.5	8.3	9.4	10.8	12.1	12.7	12.7
D.E.		0.81	0.74	0.79	0.98	0.9	1.0	1.1	0.9	1.0	0.9	0.9	0.8
C.V.		0.06	0.06	0.06	0.08	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
MIN		10.86	11.21	10.83	9.06	7.5	5.9	6.3	7.5	8.9	9.4	9.4	10.2
MAX		14.04	13.96	13.71	13.70	12.0	10.7	10.7	11.0	12.7	13.7	14.1	13.5

Fuente: Elaboración propia

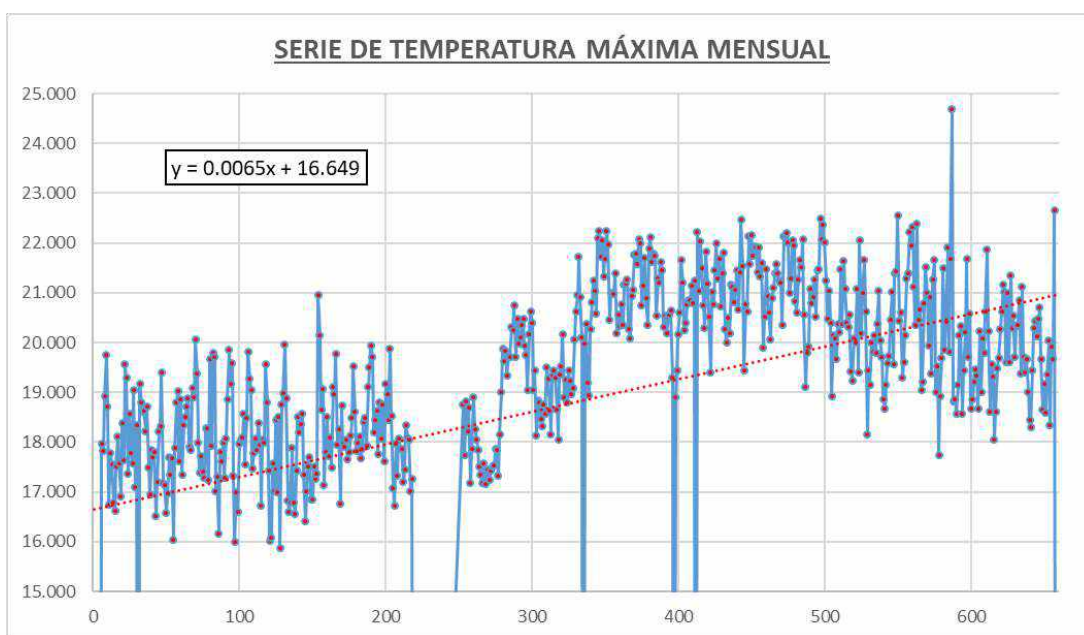
3.6.3.2.3. Temperatura media máxima mensual

Para analizar el comportamiento de la temperatura media máxima se realizaron los tres pasos previos, inicialmente se elaboraron histogramas con la información suministrada por el SENAMHI completada con la media.

- **Análisis visual gráfico**

El análisis visual gráfico para el estudio de la temperatura media máxima fue realizado mediante los histogramas de cada estación.

Fig. N° 52: Histograma de temperatura máxima mensual de la Estación Anta

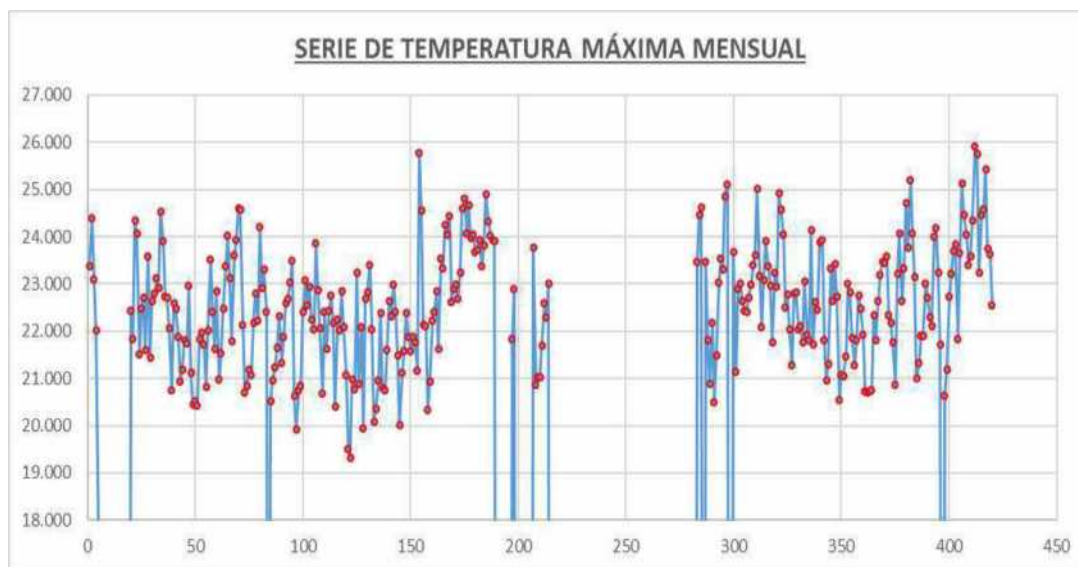


Fuente: Elaboración propia

La Fig. N° 52 corresponde a la estación de Anta, al igual que la temperatura media, el gráfico muestra un ascenso constante, el mismo que se ve reflejado en la pendiente de la línea de tendencia.



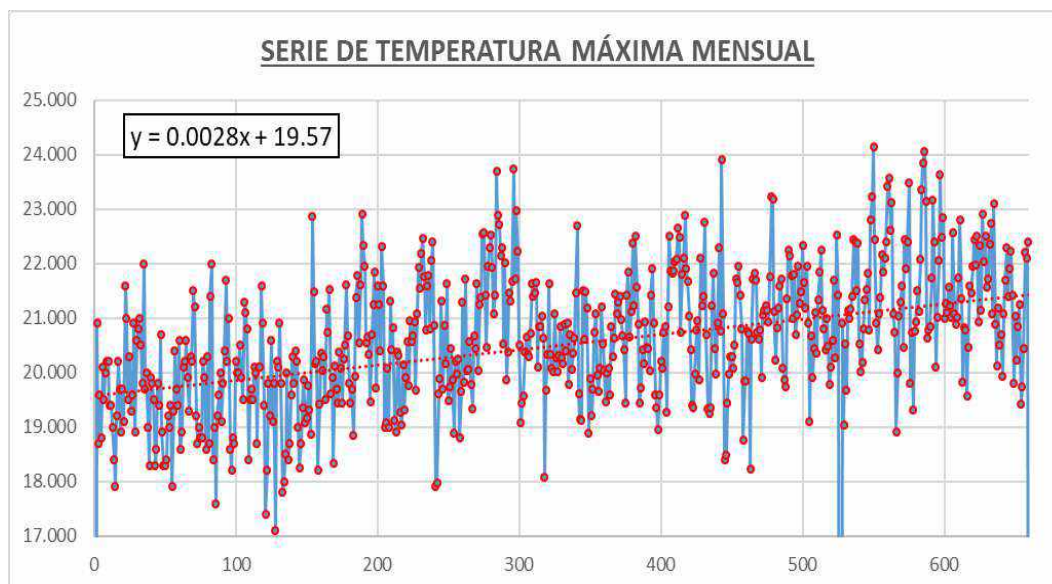
Fig. N° 53: Histograma de temperatura máxima mensual de la Estación Calca



Fuente: Elaboración propia

La Fig. N° 53 fue elaborado con los datos de temperatura media máxima mensual de la estación de Calca, el gráfico nos muestra un crecimiento ligeramente menor al de la estación de Anta.

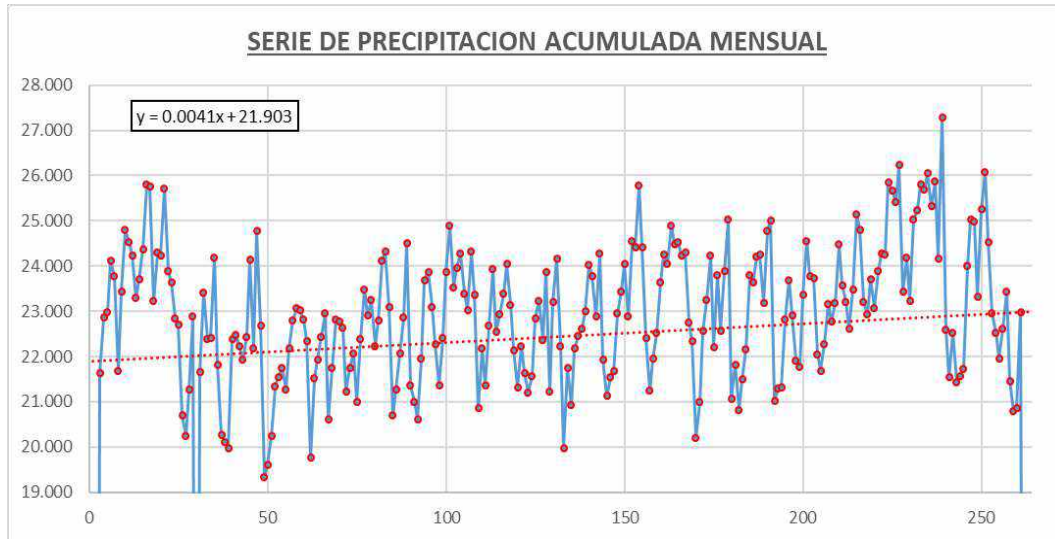
Fig. N° 54: Histograma de temperatura máxima mensual de la Estación Kayra



Fuente: Elaboración propia

La Fig. N° 54 corresponde al histograma de la estación de Kayra, la línea de tendencia posee una pendiente de 0.0028, valor inferior al registrado por la estación de Anta.

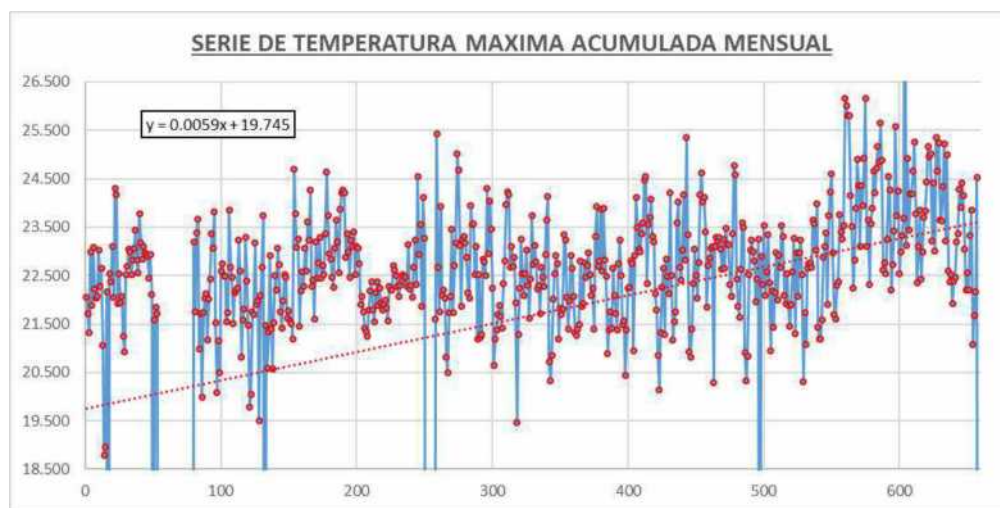
Fig. N° 55: Histograma de temperatura máxima mensual de la Estación Pisac



Fuente: Elaboración propia

La estación de Pisac cuenta con datos desde el año 1997 hasta 2018, razón por la cual la configuración del histograma es diferente al de las estaciones previas, sin embargo, el valor de la pendiente es similar al de la estación de Kayra.

Fig. N° 56: Histograma de temperatura máxima mensual de la Estación Urubamba



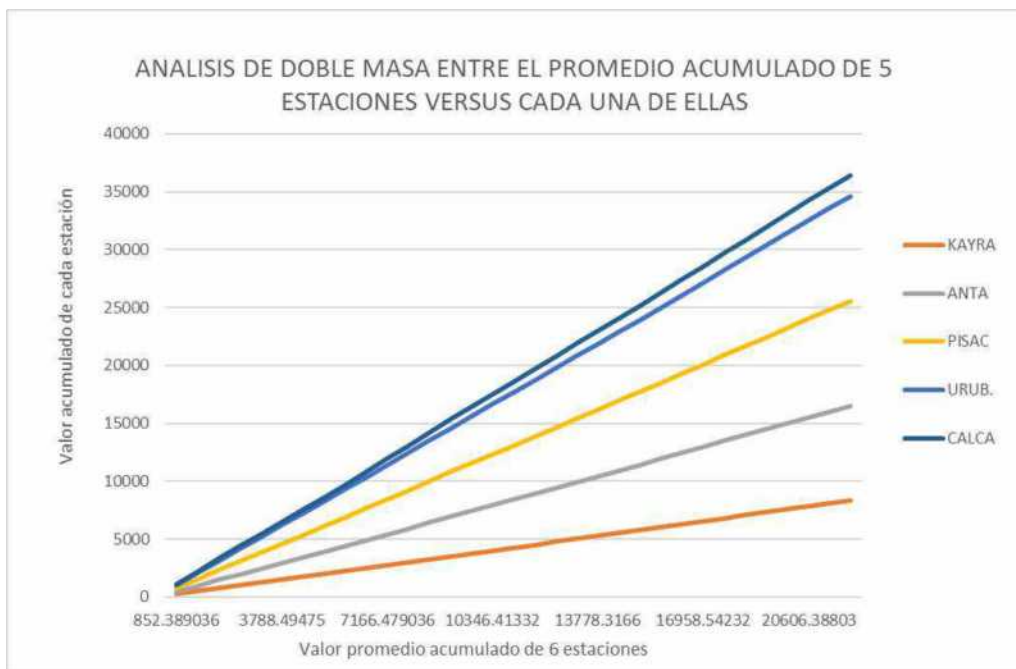
Fuente: Elaboración propia

La Fig. N° 56 corresponde al histograma de la estación de Urubamba cuenta con picos importantes de temperatura, llegando a los 26 °C.

- **Análisis de doble masa**

El análisis de doble masa fue realizado gracias a los siguientes gráficos.

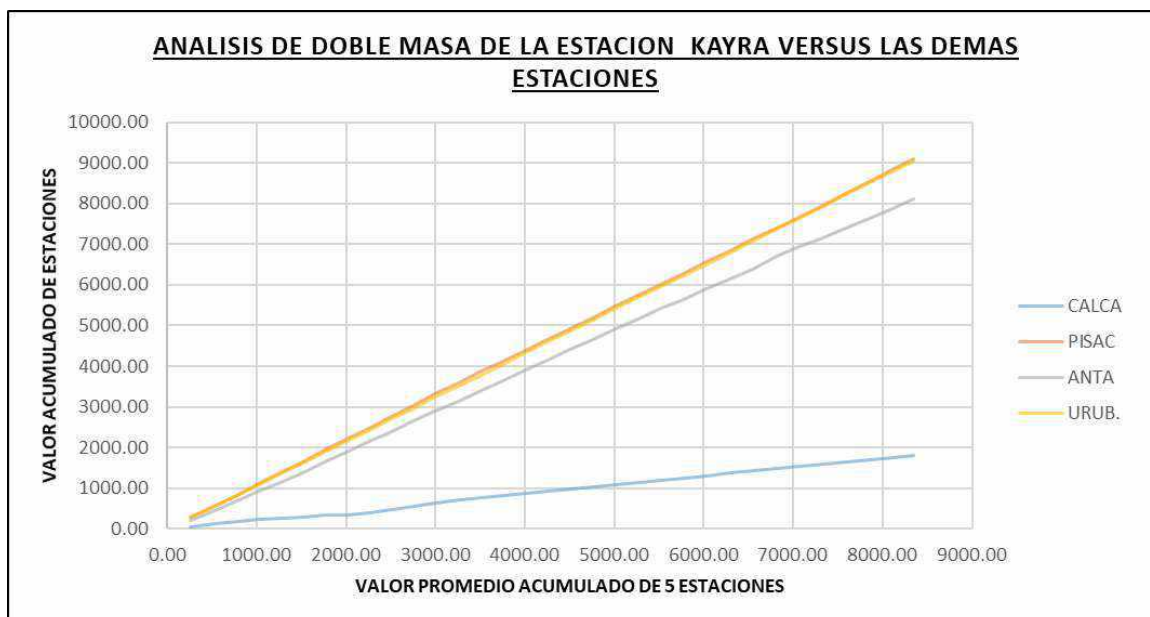
Fig. N° 57: Análisis doble masa de precipitación total mensual



Fuente: Elaboración propia

La Fig. N° 57 fue elaborado con el promedio acumulado de temperatura media máxima de las cinco estaciones empleadas en el estudio, como nos indica la gráfica todas las estaciones presentan tendencias sin quiebres, sin embargo, se seleccionó la estación de Kayra debido a que posee una mayor cantidad de datos frente a las demás.

Fig. N° 58: Comparativa entre Kayra vs las demás estaciones



Fuente: Elaboración propia

Después de seleccionar a Kayra como “estación base” se realizó una comparativa entre la temperatura media máxima mensual acumulada de Kayra frente a las cuatro restantes. La Fig. N° 58 presenta dicha comparación, en dicho gráfico podemos ver los quiebres de las estaciones.

Como podemos ver en la Fig. N° 58 la estación de calca posee un quiebre, razón por la cual se realizó una verificación estadística, la cual nos indicará si es necesario hacer una corrección antes de hacer uso de los datos.

- **Análisis estadístico**

Para realizar el análisis estadístico de los datos de temperatura media máxima se seleccionó los datos antes y después del quiebre seleccionado. En la Fig. N° 58 se seleccionó un quiebre en el año entre 1994 y 1995 en la estación de Calca, posteriormente se obtuvo datos de media, desviación estándar y varianza de ambos periodos. La tabla N° 44 presenta la tabulación de dichos datos.



Tabla 43: Datos de periodos en la Estación de Calca

			Nro. Datos	Media	Desviación est	Varianza
Primer periodo	1986	1994	9.000	42.973	14.085	198.373
Segundo periodo	1995	2018	24.000	58.842	10.204	104.117

Fuente: Elaboración propia

El análisis estadístico consiste en probar, mediante la prueba t (prueba de hipótesis), si los valores medios (\bar{x}_1, \bar{x}_2) de las submuestras, son estadísticamente iguales o diferentes con una probabilidad del 95% o con 5% de nivel de significación. (Béjar, 2001)

El análisis estadístico se realizó de la siguiente manera:

a) Consistencia de la media

Inicialmente se calcula el valor de la desviación estándar ponderada (S_p) mediante la ecuación 3.12.

$$S_p = \left[\frac{(n_1 - 1) * S_1^2 + (n_2 - 1) * S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \right]^{\frac{1}{2}} \dots (3.12)$$

- S_p = Desviación estándar ponderada
- n_1 = Número de datos del primer periodo = 9
- n_2 = Número de datos del segundo periodo = 24
- S_1 = Desviación estándar del primer periodo = 14.085
- S_2 = Desviación estándar del segundo periodo = 10.204

$$S_p = \left[\frac{(9 - 1) * 14.085^2 + (24 - 1) * 10.204^2}{9 + 24 - 2} \right]^{\frac{1}{2}} = 11.333$$

Posteriormente se calcula la desviación de las diferencias de los promedios (S_d) con la ecuación 3.13.

$$S_d = S_p * \left[\frac{1}{n_1} + \frac{2}{n_2} \right]^{\frac{1}{2}} \dots (3.13)$$

- S_p = Desviación estándar ponderada = 11.333
- n_1 = Número de datos del primer periodo = 9



- $n_2 =$ Número de datos del segundo periodo = 24

$$S_{\bar{d}} = 11.333 * \left[\frac{1}{9} + \frac{2}{24} \right]^{\frac{1}{2}} = 4.430$$

Calculamos el valor de t_c mediante la ecuación 3.14.

$$t_c = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{S_{\bar{d}}} \quad \dots (3.14)$$

- $\bar{x}_1 =$ Promedio del primer periodo = 42.973
- $\bar{x}_2 =$ Promedio del segundo periodo = 58.842
- $(\mu_1 - \mu_2) = 0 =$ Por hipótesis
- $S_{\bar{d}} =$ Desviación de las diferencias de los promedios = 4.430

$$t_c = \left| \frac{(42.973 - 58.842)}{4.430} \right| = 3.582$$

Hallamos los grados de libertad G.L.

$$G.L. = n_1 + n_2 - 2 \quad \dots (3.15)$$

- $n_1 =$ Número de datos del primer periodo = 9
- $n_2 =$ Número de datos del segundo periodo = 24

$$G.L. = 9 + 24 - 2 = 31$$

Mediante la tabla de t de Student (Anexo N°) obtenemos el valor de t_t , con una probabilidad al 95%, lo que significa una significancia 5%, gracias al cual obtenemos el valor $t_t = 6.314$. Este valor nos permite realizar la comparación descrita en la fórmula 3.16.

$$Si |t_c| \leq t_t(95\%) \text{ no se requiere un proceso de corrección } \dots (3.16)$$

Reemplazando valores.

$$3.582 < 6.314$$

Lo que nos indica que los datos cubrieron uno de los criterios para proceso de corrección.



b) Consistencia en la desviación estándar

Inicialmente hallamos el valor de F_c mediante la ecuación 3.17.

$$F_c = \frac{S_1^2(x)}{S_2^2(x)}, \text{ si } S_1^2(x) > S_2^2(x) \dots (3.17)$$

- $S_1^2(x)$ = Varianza del primer periodo
- $S_2^2(x)$ = Varianza del segundo periodo

Reemplazando:

$$F_c = \frac{104.117}{198.33} = 0.525$$

Posteriormente obtenemos los valores de los grados de libertad del numerador y denominador, gracias a las fórmulas 3.18 y 3.19.

$$G. L. N. = (n_1 - 1) \text{ y } G. L. D. = (n_2 - 1), \text{ si } S_1^2(x) > S_2^2(x) \dots (3.18)$$

$$G. L. N. = (n_2 - 1) \text{ y } G. L. D. = (n_1 - 1), \text{ si } S_2^2(x) > S_1^2(x) \dots (3.19)$$

Reemplazando valores obtenemos:

$$G. L. N. = 9 - 1 = 8 \text{ y } G. L. D. = 23 - 1 = 22$$

Mediante la tabla de Fisher (Anexo V – 5.1) obtenemos el valor de F_t , con una probabilidad al 95%, lo que significa una significancia 5%, gracias al cual obtenemos el valor $F_t = 1.953$. Este valor nos permite realizar la comparación descrita en la fórmula 3.20.

$$\text{Si } |F_c| \leq F_t(95\%) \text{ no se requiere un proceso de corrección } \dots (3.20)$$

Reemplazando valores.

$$0.525 \leq 1.953$$

Los valores nos indican que no se requiere corrección estadística.

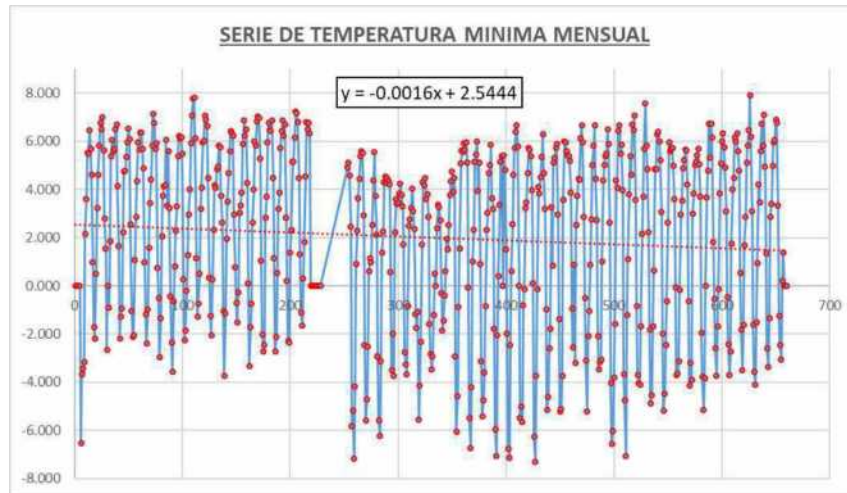
3.6.3.2.4. Temperatura media mínima mensual

El procesamiento de la temperatura media mínima mensual se realizó mediante la siguiente secuencia:

▪ **Análisis visual gráfico**

El análisis visual gráfico para el estudio de la temperatura media máxima fue realizado mediante los histogramas de cada estación.

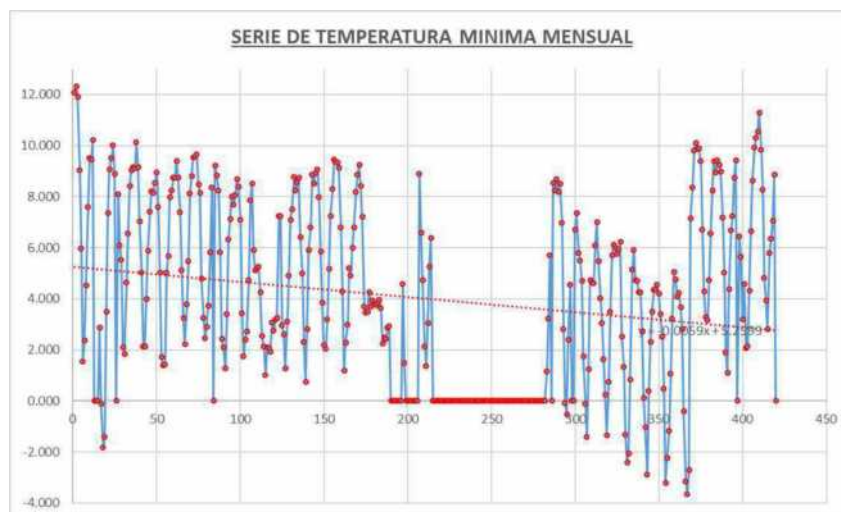
Fig. N° 59: Histograma de temperatura mínima mensual - Anta



Fuente: Elaboración propia

La Fig. N° 59 corresponde a un histograma elaborado con los datos de la temperatura mínima media mensual de la estación de Anta, los datos presentan una distribución uniforme con un ligero descenso.

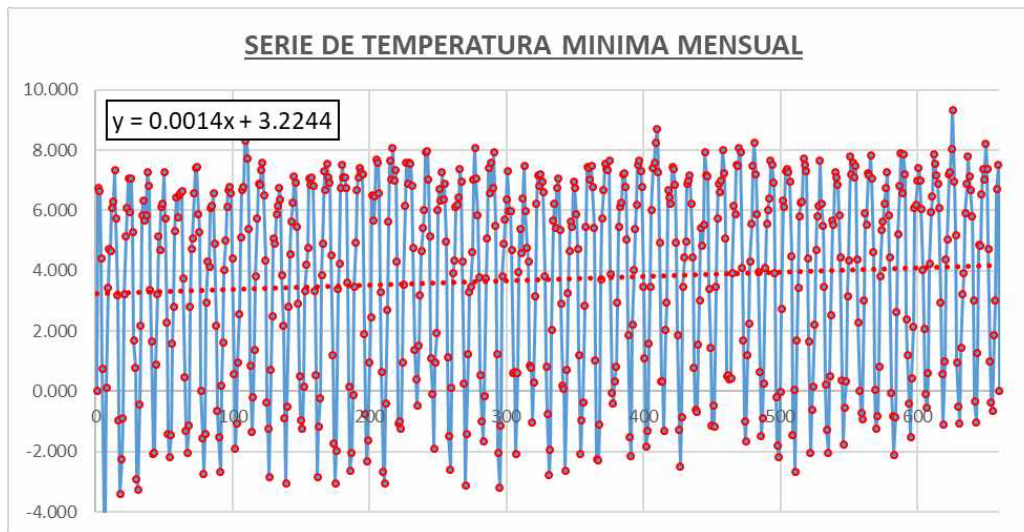
Fig. N° 60: Histograma de temperatura mínima mensual - Calca



Fuente: Elaboración propia

La Fig. N° 60 fue elaborada con los datos de la estación de Calca, como se muestra en el gráfico, la temperatura tuvo descensos hasta los -4°C .

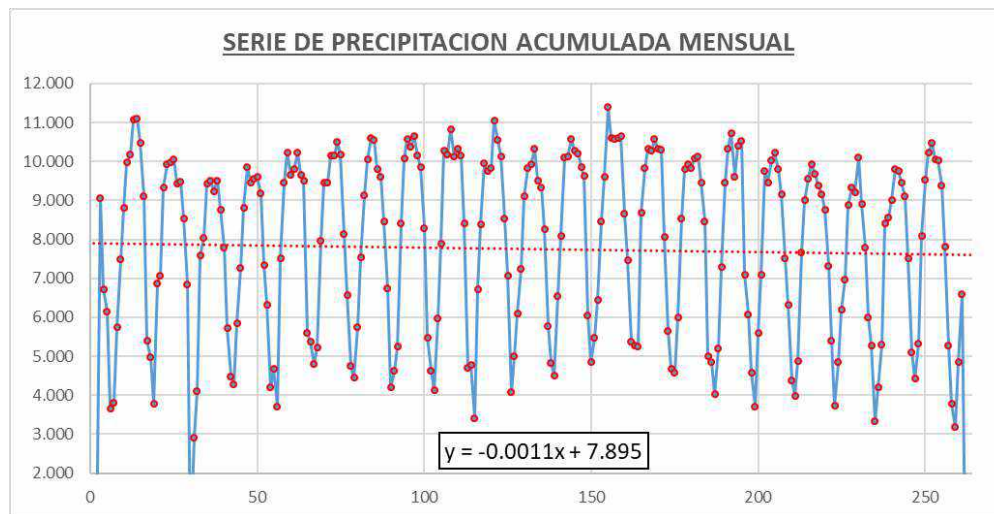
Fig. N° 61: Histograma de temperatura mínima mensual - Kayra



Fuente: Elaboración propia

La estación de Kayra posee la mayor cantidad de datos por lo cual la distribución de temperatura mínima es uniforme, aunque con un pequeño incremento, como nos indica la línea de tendencia.

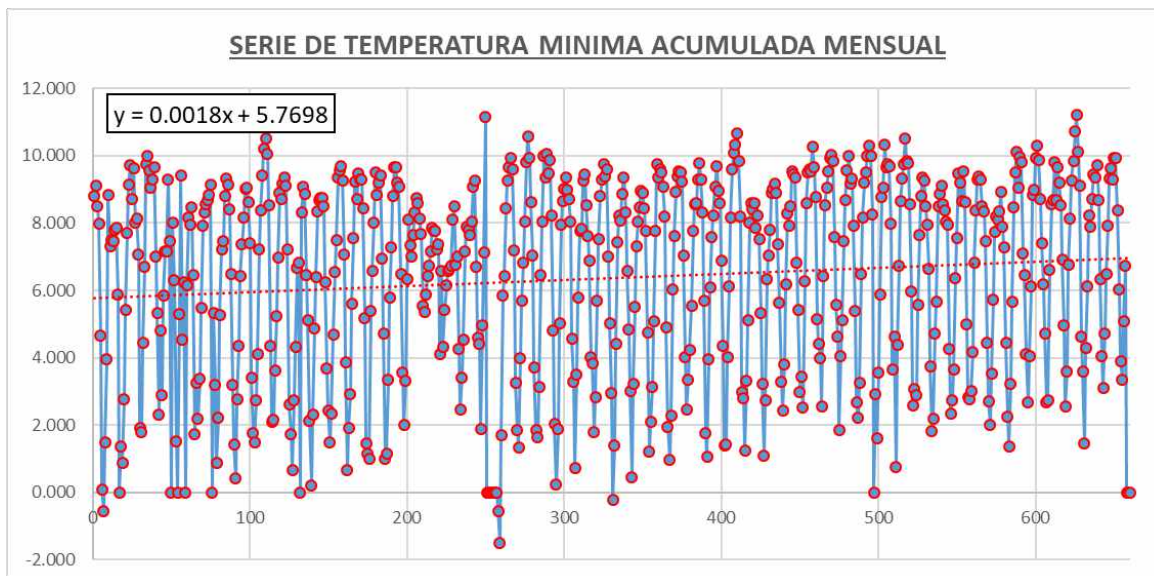
Fig. N° 62: Histograma de temperatura mínima mensual - Pisac



Fuente: Elaboración propia

La estación de Pisac posee datos de temperatura mínima media mensual de 1997 a 2018 por lo cual el histograma posee una distribución diferente a las demás.

Fig. N° 63: Histograma de temperatura mínima mensual - Urubamba



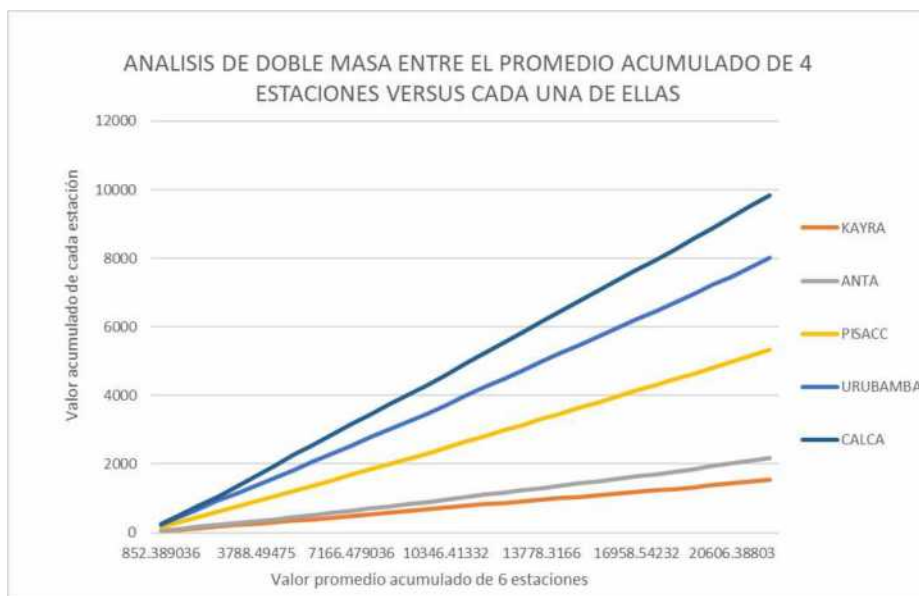
Fuente: Elaboración propia

La estación de Urubamba presenta un incremento de temperatura más elevado frente al resto de las estaciones, aunque la uniformidad del histograma nos indica que no habrá correcciones estadísticas.

- **Análisis de doble masa**

Se realizó inicialmente el gráfico entre el promedio acumulado de la temperatura media mínima mensual, la cual nos indicará la estación base.

Fig. N° 64: Análisis de doble masa - Temperatura mínima mensual

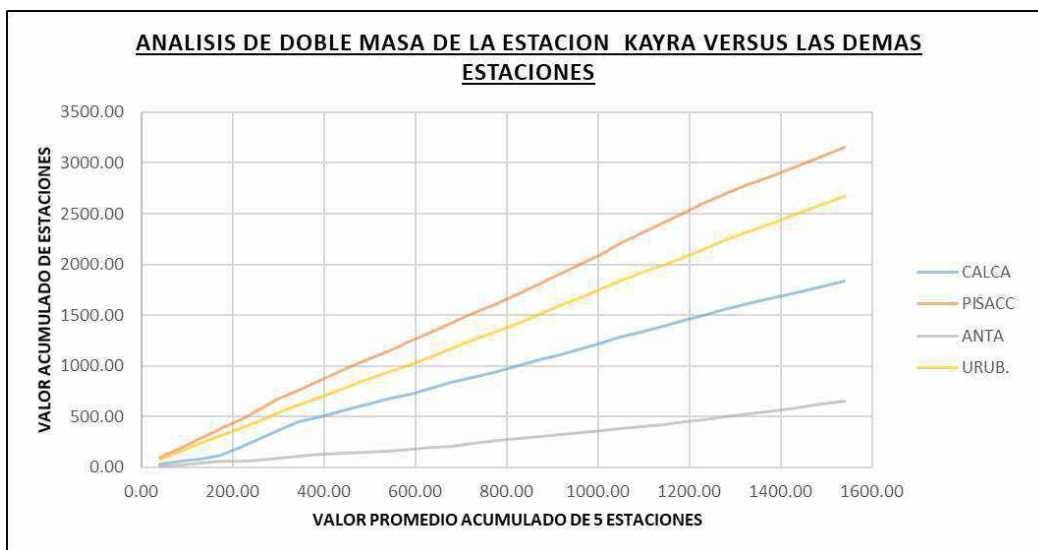


Fuente: Elaboración propia

La estación seleccionada fue Kayra, esto debido a que posee mayor cantidad de datos, no tuvo reubicaciones y su tendencia es constante, sin “quiebres”.

El segundo gráfico realizado fue la comparación entre la estación base (Kayra) y el resto, esto con la finalidad de verificar los “quiebres” para realizar el análisis estadístico.

Fig. N° 65: Comparación Kayra vs resto de estaciones



Fuente: Elaboración propia



El gráfico nos indica que en la estación de Calca posee un quiebre entre los años de 1994 y 1995, el cual tendrá que ser revisado mediante un análisis de consistencia.

▪ **Análisis estadístico**

Para realizar el análisis estadístico de los datos de temperatura media máxima se seleccionó los datos antes y después del quiebre seleccionado. En la Fig. N° 65 se seleccionó un quiebre en el año entre 1994 y 1995 en la estación de Calca, posteriormente se obtuvo datos de media, desviación estándar y varianza de ambos periodos. La tabla N° 45 presenta la tabulación de dichos datos.

Tabla 44: Datos de dos periodos de la estación de Calca

			Nro. Datos	Media	Desviación est	Varianza
Primer periodo	1986	1994	9.000	55.581	25.728	661.912
Segundo periodo	1995	2018	24.000	55.581	0.000	0.000

Fuente: Elaboración propia

El análisis estadístico consiste en probar, mediante la prueba t (prueba de hipótesis), si los valores medios (\bar{x}_1, \bar{x}_2) de las submuestras, son estadísticamente iguales o diferentes con una probabilidad del 95% o con 5% de nivel de significación. (Béjar, 2001)

El análisis estadístico se realizó de la siguiente manera:

a) Consistencia de la media

Inicialmente se calcula el valor de la desviación estándar ponderada (S_p) mediante la ecuación 3.21.

$$S_p = \left[\frac{(n_1 - 1) * S_1^2 + (n_2 - 1) * S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \right]^{\frac{1}{2}} \dots (3.21)$$

- S_p = Desviación estándar ponderada
- n_1 = Número de datos del primer periodo = 9
- n_2 = Número de datos del segundo periodo = 24
- S_1 = Desviación estándar del primer periodo = 25.728
- S_2 = Desviación estándar del segundo periodo = 0



$$S_p = \left[\frac{(9 - 1) * 14.085^2 + (24 - 1) * 10.204^2}{9 + 24 - 2} \right]^{\frac{1}{2}} = 13.070$$

Posteriormente se calcula la desviación de las diferencias de los promedios (S_d) con la ecuación 3.22.

$$S_{\bar{d}} = S_p * \left[\frac{1}{n_1} + \frac{2}{n_2} \right]^{\frac{1}{2}} \dots (3.22)$$

- S_p = Desviación estándar ponderada = 13.070
- n_1 = Número de datos del primer periodo = 9
- n_2 = Número de datos del segundo periodo = 24

$$S_{\bar{d}} = 11.333 * \left[\frac{1}{9} + \frac{2}{24} \right]^{\frac{1}{2}} = 5.109$$

Calculamos el valor de t_c mediante la ecuación 3.23.

$$t_c = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{S_{\bar{d}}} \dots (3.23)$$

- \bar{x}_1 = Promedio del primer periodo = 42.973
- \bar{x}_2 = Promedio del segundo periodo = 58.842
- $(\mu_1 - \mu_2) = 0$ = Por hipótesis
- $S_{\bar{d}}$ = Desviación de las diferencias de los promedios = 4.430

$$t_c = \left| \frac{(55.581 - 55.581)}{5.109} \right| = 0.000$$

Hallamos los grados de libertad G.L.

$$G.L. = n_1 + n_2 - 2 \dots (3.24)$$

- n_1 = Número de datos del primer periodo = 9
- n_2 = Número de datos del segundo periodo = 24

$$G.L. = 9 + 24 - 2 = 31$$



Mediante la tabla de t de Student (Anexo N° V - 02) obtenemos el valor de t_t , con una probabilidad al 95%, lo que significa una significancia 5%, gracias al cual obtenemos el valor $t_t = 6.314$. Este valor nos permite realizar la comparación descrita en la fórmula 3.25.

$$\text{Si } |t_c| \leq t_t(95\%) \text{ no se requiere un proceso de corrección ... (3.25)}$$

Reemplazando valores.

$$0.000 < 1.696$$

Lo que nos indica que los datos cubrieron uno de los criterios para proceso de corrección.

b) Consistencia en la desviación estándar

Inicialmente hallamos el valor de F_c mediante la ecuación 3.26.

$$F_c = \frac{S_1^2(x)}{S_2^2(x)}, \text{ si } S_1^2(x) > S_2^2(x) \dots (3.26)$$

- $S_1^2(x)$ = Varianza del primer periodo
- $S_2^2(x)$ = Varianza del segundo periodo

Reemplazando:

$$F_c = \frac{0.000}{661.912} = 0.000$$

Posteriormente obtenemos los valores de los grados de libertad del numerador y denominador, gracias a las fórmulas 3.27 y 3.28.

$$G. L. N. = (n_1 - 1) \text{ y } G. L. D. = (n_2 - 1), \text{ si } S_1^2(x) > S_2^2(x) \dots (3.27)$$

$$G. L. N. = (n_2 - 1) \text{ y } G. L. D. = (n_1 - 1), \text{ si } S_2^2(x) > S_1^2(x) \dots (3.28)$$

Reemplazando valores obtenemos:

$$G. L. N. = 9 - 1 = 8 \text{ y } G. L. D. = 23 - 1 = 22$$

Mediante la tabla de Fisher (Anexo N° V) obtenemos el valor de F_t , con una probabilidad al 95%, lo que significa una significancia 5%, gracias al cual obtenemos el valor $F_t = 1.953$. Este valor nos permite realizar la comparación descrita en la fórmula 3.29.

Si $|F_c| \leq F_t(95\%)$ no se requiere un proceso de corrección ... (3.29)

Reemplazando valores.

$$0.000 \leq 1.953$$

Los valores nos indican que no se requiere corrección estadística.

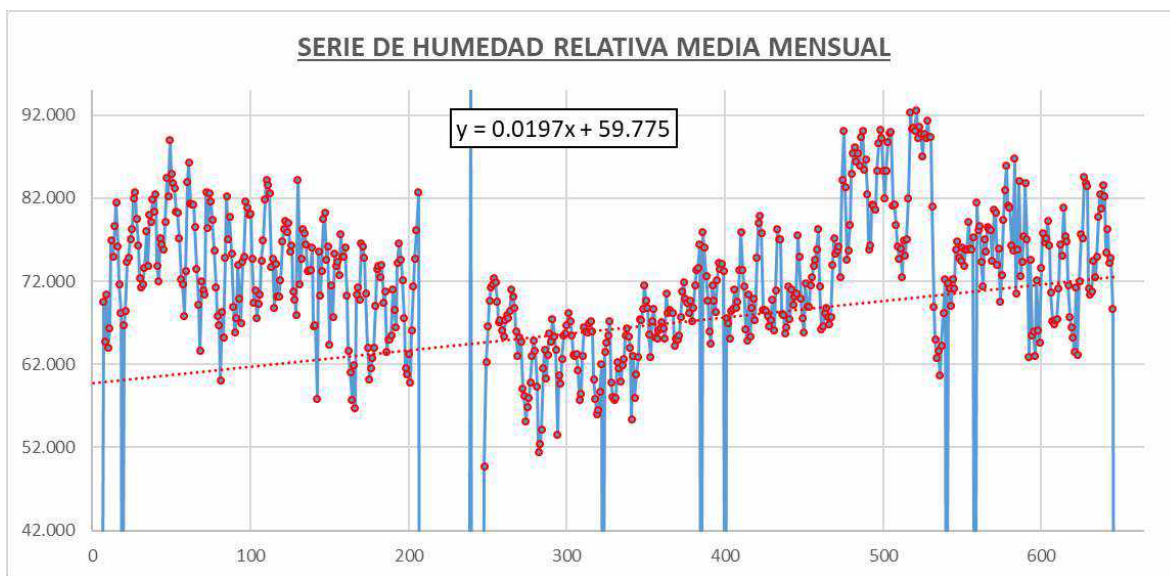
3.6.3.2.5. Humedad relativa media mensual

Las cinco estaciones seleccionadas para el presente estudio cuentan con datos de humedad relativa, la misma que fue procesada y completada de la siguiente manera:

- **Análisis visual gráfico**

El análisis visual gráfico se realizó mediante los histogramas realizado con los datos de humedad relativa media mensual de cada una de las estaciones.

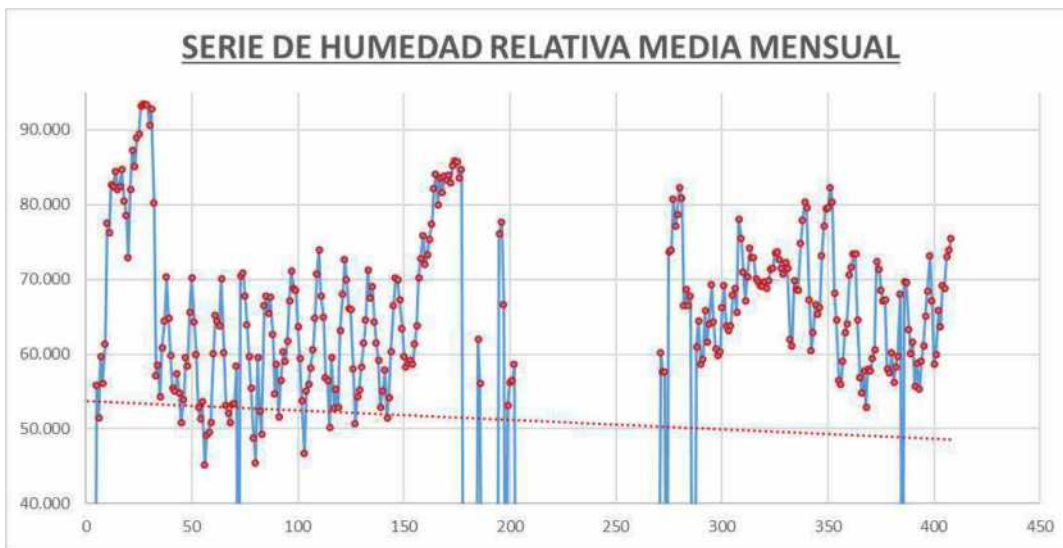
Fig. N° 66: Histograma de humedad relativa media - Anta



Fuente: Elaboración propia

La Fig. N° 66 corresponde a la información de la estación de Anta, el comportamiento mostrado por el histograma no posee una tendencia por lo cual el análisis de doble masa nos podría indicar la necesidad de una corrección estadística.

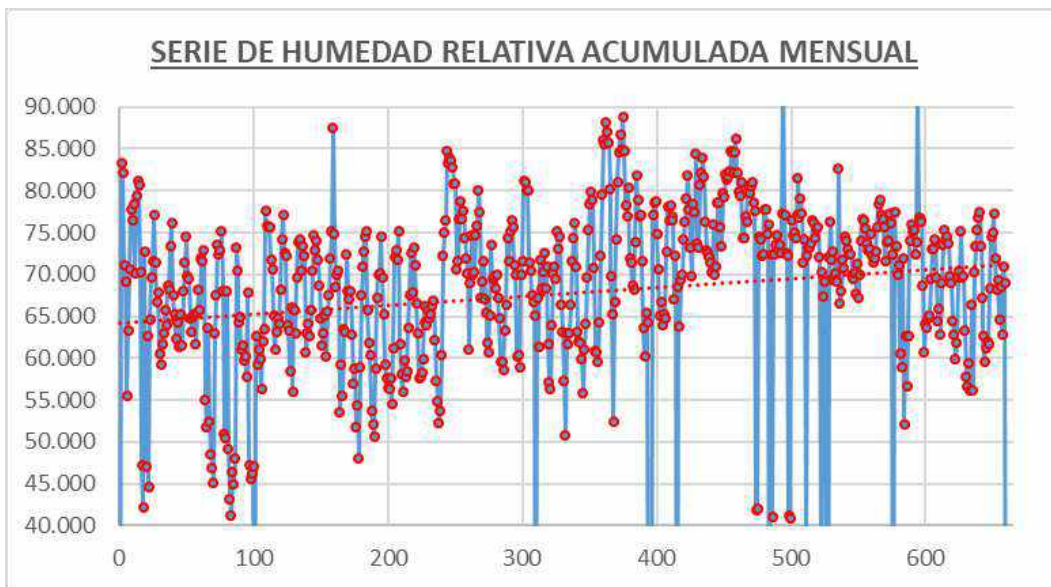
Fig. N° 67: Histograma de humedad relativa media - Calca



Fuente: Elaboración propia

Al igual que la estación de Anta, la estación de Calca presenta un comportamiento irregular.

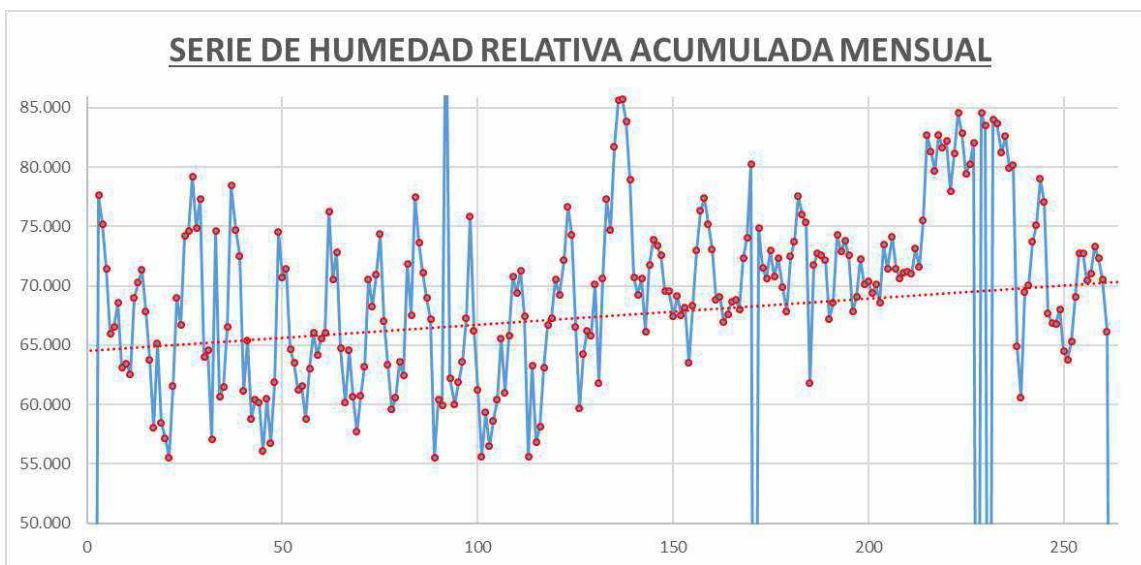
Fig. N° 68: Histograma de humedad relativa media - Kayra



Fuente: Elaboración propia

La Fig. N°68 corresponde al histograma de la humedad relativa media mensual de la estación de Kayra, la cual, aunque no tuvo un cambio de ubicación posee una diferencia en los últimos años.

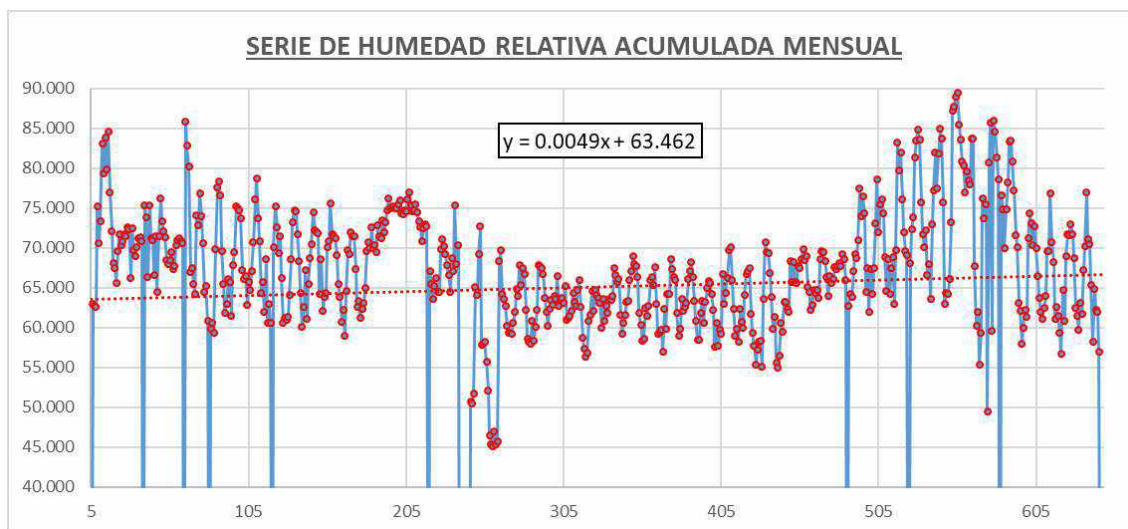
Fig. N° 69: Histograma de humedad relativa media - Pisac



Fuente: Elaboración propia

La estación de Pisac cuenta con datos desde 1997 hasta el 2018, el orden de los datos no presenta una tendencia significativa.

Fig. N° 70: Histograma de humedad relativa media - Urubamba



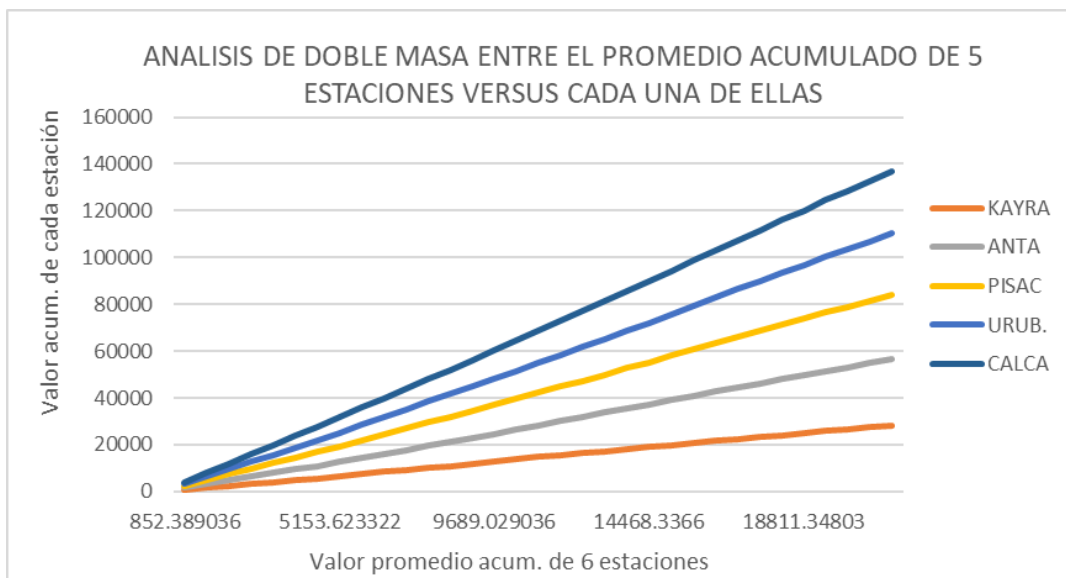
Fuente: Elaboración propia

La Fig. N° 70 corresponde al histograma generado por los datos de la estación de Urubamba, línea de tendencia presenta una pendiente baja en comparación a los histogramas de las demás estaciones.

▪ **Análisis de doble masa**

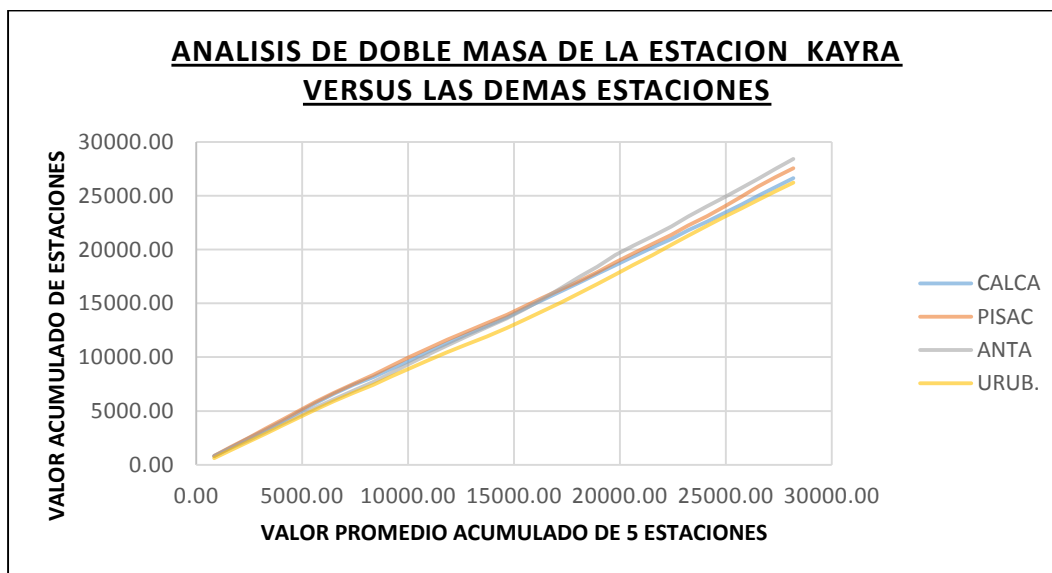
El gráfico de análisis del promedio acumulado de la humedad relativa no indica que la estación de Calca y Kayra, sin embargo, la estación de Kayra posee mayor cantidad de datos por lo que la seleccionamos como estación base.

Fig. N° 71: Análisis de doble masa - Humedad relativa



Fuente: Elaboración propia

Fig. N° 72: Comparación Kayra vs resto de estaciones



Fuente: Elaboración propia



La Fig. N° 72 nos muestra que las estaciones de Anta y Pisac poseen ligeros quiebres entre los años 2002 y 2003 para ambos casos.

▪ **Análisis estadístico**

Para realizar el análisis estadístico de los datos de humedad relativa se seleccionó los datos antes y después del quiebre seleccionado. En la Fig. N° 72 se seleccionó un quiebre en el año entre 1994 y 1995, posteriormente se obtuvo datos de media, desviación estándar y varianza de ambos periodos. La tabla N° 46 presenta la tabulación de dichos datos.

Tabla 45: Tabla de dos periodos de la estación de Kayra

			Nro. Datos	Media	Desviación est	Varianza
Primer periodo	1986	1994	9.000	55.581	25.728	661.912
Segundo periodo	1995	2018	24.000	55.581	0.000	0.000

Fuente: Elaboración propia

El análisis estadístico consiste en probar, mediante la prueba t (prueba de hipótesis), si los valores medios (\bar{x}_1, \bar{x}_2) de las sub muestras, son estadísticamente iguales o diferentes con una probabilidad del 95% o con 5% de nivel de significación. (Béjar, 2001)

El análisis estadístico se realizó de la siguiente manera:

a) Consistencia de la media

Inicialmente se calcula el valor de la desviación estándar ponderada (S_p) mediante la ecuación 3.30.

$$S_p = \left[\frac{(n_1 - 1) * S_1^2 + (n_2 - 1) * S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \right]^{\frac{1}{2}} \dots (3.30)$$

- S_p = Desviación estándar ponderada
- n_1 = Número de datos del primer periodo = 17
- n_2 = Número de datos del segundo periodo = 16
- S_1 = Desviación estándar del primer periodo = 47.87
- S_2 = Desviación estándar del segundo periodo = 69.71

$$S_p = \left[\frac{(17 - 1) * 47.48^2 + (16 - 1) * 69.71^2}{17 + 16 - 2} \right]^{\frac{1}{2}} = 59.452$$



Posteriormente se calcula la desviación de las diferencias de los promedios ($S_{\bar{d}}$) con la ecuación 3.31.

$$S_{\bar{d}} = S_p * \left[\frac{1}{n_1} + \frac{2}{n_2} \right]^{\frac{1}{2}} \dots (3.31)$$

- S_p = Desviación estándar ponderada = 13.070
- n_1 = Número de datos del primer periodo = 9
- n_2 = Número de datos del segundo periodo = 24

$$S_{\bar{d}} = 59.452 * \left[\frac{1}{17} + \frac{1}{16} \right]^{\frac{1}{2}} = 5.109$$

Calculamos el valor de t_c mediante la ecuación 3.32.

$$t_c = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{S_{\bar{d}}} \dots (3.32)$$

- \bar{x}_1 = Promedio del primer periodo = 42.973
- \bar{x}_2 = Promedio del segundo periodo = 58.842
- $(\mu_1 - \mu_2) = 0$ = Por hipótesis
- $S_{\bar{d}}$ = Desviación de las diferencias de los promedios = 4.430

$$t_c = \left| \frac{(801.62 - 924.67)}{20.708} \right| = 5.942$$

Hallamos los grados de libertad G.L.

$$G.L. = n_1 + n_2 - 2 \dots (3.33)$$

- n_1 = Número de datos del primer periodo = 17
- n_2 = Número de datos del segundo periodo = 16

$$G.L. = 17 + 16 - 2 = 31$$

Mediante la tabla de t de Student (Anexo N° III) obtenemos el valor de t_t , con una probabilidad al 95%, lo que significa una significancia 5%, gracias al cual obtenemos el valor $t_t = 1.696$. Este valor nos permite realizar la comparación descrita en la fórmula 3.34.



Si $|t_c| \leq t_t(95\%)$ no se requiere un proceso de corrección (3.34)

Reemplazando valores.

$$0.000 < 1.696$$

Lo que nos indica que los datos no cubrieron uno de los criterios para proceso de corrección y se requiere una corrección.

b) Consistencia en la desviación estándar

Inicialmente hallamos el valor de F_c mediante la ecuación 3.35.

$$F_c = \frac{S_1^2(x)}{S_2^2(x)}, \text{ si } S_1^2(x) > S_2^2(x) \dots (3.35)$$

- $S_1^2(x)$ = Varianza del primer periodo
- $S_2^2(x)$ = Varianza del segundo periodo

Reemplazando:

$$F_c = \frac{2291.85^2}{4860.05^2} = 2.121$$

Posteriormente obtenemos los valores de los grados de libertad del numerador y denominador, gracias a las fórmulas 3.36 y 3.37.

$$G.L.N. = (n_1 - 1) \text{ y } G.L.D. = (n_2 - 1), \text{ si } S_1^2(x) > S_2^2(x) \dots (3.36)$$

$$G.L.N. = (n_2 - 1) \text{ y } G.L.D. = (n_1 - 1), \text{ si } S_2^2(x) > S_1^2(x) \dots (3.37)$$

Reemplazando valores obtenemos:

$$G.L.N. = 16 - 1 = 15 \text{ y } G.L.D. = 17 - 1 = 16$$

Mediante la tabla de Fisher (Anexo N° V - 1) obtenemos el valor de F_t , con una probabilidad al 95%, lo que significa una significancia 5%, gracias al cual obtenemos el valor $F_t = 1.961$. Este valor nos permite realizar la comparación descrita en la fórmula 3.38.

Si $|F_c| \leq F_t(95\%)$ no se requiere un proceso de corrección (3.38)



Reemplazando valores.

$$2.121 > 1.961$$

Los valores nos indican que se requiere corrección estadística, aplicando el siguiente factor (obtenido mediante la ecuación número 3.39) a los valores de las muestras iniciales.

$$X'_{(t)} = \frac{x_t - \bar{x}_1}{S_1(x)} * S_2(x) + \bar{x}_2 \dots (3.39)$$

Para la corrección tabulamos los datos de humedad relativa (Tabla N°47), a su vez calculamos el valor de X'(t) para cada año del periodo a corregir, posteriormente multiplicamos el factor por los datos previos y realizamos el análisis de tendencia nuevamente para verificar si se requiere una nueva corrección.

Tabla 46: Valores de humedad relativa de Estación Anta

Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2003	74.640	75.760	78.230	71.410	66.270	66.560	68.140	68.770	67.730	66.840	67.740	73.970
2004	77.230	75.380	75.740	76.130	72.450	84.230	90.140	83.290	74.550	75.740	78.790	84.980
2005	87.330	88.120	86.440	87.400	85.880	89.400	90.140	85.440	86.670	82.470	75.800	76.290
2006	81.270	81.060	80.560	85.310	88.590	90.280	89.200	85.310	81.920	85.300	88.730	89.880
2007	90.000	81.160	81.270	78.780	76.200	74.730	75.900	72.430	76.900	75.070	77.070	81.980
2008	92.330	90.400	90.420	90.100	92.580	89.180	90.610	89.770	87.000	89.740	89.270	91.390
2009	89.330	89.350	81.020	68.950	64.920	62.730	63.570	60.660	64.250	68.160	72.260	73.180
2010	71.780	71.110	69.070	72.290	71.130	75.820	76.790	74.890	74.470	76.100	73.790	75.850
2011	75.760	79.160	75.980	75.830	77.280	69.515	81.450	78.110	78.640	74.370	71.340	77.050
2012	75.630	78.480	78.220	78.110	74.430	80.560	80.270	74.020	75.920	69.480	72.700	79.440
2013	82.900	85.870	81.100	80.900	76.340	75.680	86.750	70.570	75.760	84.040	72.670	74.300
2014	77.430	83.810	77.030	62.860	74.580	65.480	65.960	62.950	72.160	66.130	64.560	73.640
2015	77.840	76.730	77.190	79.230	76.330	70.600	67.210	66.850	67.360	67.440	71.160	76.470
2016	75.070	80.880	77.390	76.840	71.520	67.650	66.490	65.260	63.450	71.240	63.170	72.000
2017	77.610	77.170	84.610	83.830	83.400	71.100	70.370	70.750	74.420	72.490	74.920	79.750
2018	82.520	80.790	83.610	82.210	75.470	78.260	74.180	74.790	68.620	70.467	70.374	73.180

Fuente: Elaboración propia



Tabla 47: Valores corregidos de humedad relativa de Estación Anta

Año	X_t	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2003	747.639	65.957	66.947	69.130	63.103	58.561	58.817	60.213	60.770	59.851	59.065	59.860	65.365
2004	818.088	66.601	65.006	65.316	65.652	62.479	72.638	77.734	71.827	64.290	65.316	67.946	73.284
2005	868.033	74.218	74.890	73.462	74.278	72.986	75.978	76.607	72.612	73.658	70.088	64.420	64.836
2006	872.173	68.991	68.812	68.388	72.420	75.204	76.639	75.722	72.420	69.542	72.412	75.323	76.300
2007	813.171	77.734	70.098	70.193	68.043	65.814	64.545	65.555	62.558	66.419	64.838	66.566	70.807
2008	910.203	77.613	75.991	76.008	75.739	77.824	74.966	76.168	75.461	73.133	75.436	75.041	76.823
2009	756.099	78.686	78.703	71.366	60.734	57.184	55.255	55.995	53.432	56.594	60.038	63.650	64.460
2010	773.068	62.837	62.251	60.465	63.284	62.268	66.374	67.223	65.560	65.192	66.619	64.597	66.400
2011	794.627	65.830	68.785	66.022	65.891	67.151	60.404	70.775	67.872	68.333	64.623	61.990	66.951
2012	796.532	65.676	68.151	67.925	67.829	64.634	69.957	69.705	64.278	65.928	60.335	63.131	68.984
2013	816.873	71.518	74.080	69.965	69.792	65.858	65.289	74.839	60.881	65.358	72.501	62.692	64.099
2014	748.003	68.413	74.050	68.060	55.540	65.895	57.855	58.279	55.619	63.757	58.429	57.042	65.064
2015	767.107	68.288	67.314	67.718	69.507	66.963	61.936	58.962	58.647	59.094	59.164	62.428	67.086
2016	751.004	66.252	71.380	68.300	67.814	63.119	59.704	58.680	57.594	55.997	62.872	55.750	63.543
2017	798.702	67.347	66.965	73.421	72.744	72.371	61.698	61.064	61.394	64.579	62.904	65.012	69.204
2018	794.617	71.705	70.201	72.652	71.435	65.579	68.003	64.458	64.988	59.626	61.231	61.150	63.589

Fuente: Elaboración propia

Tras haber realizado la consistencia obtenemos los valores de T_t y T_c para verificar la consistencia de la media, adicionalmente F_c y F_t para verificar la consistencia de la desviación estándar.

- $T_c = 0.000$
- $T_t = 1.674$

$T_c < T_t$ por lo cual no se requiere corrección.

- $F_c = 1.000$
- $F_t = 1.932$

$F_c < F_t$ por lo cual no se requiere corrección.

De la misma manera se realizó un análisis de la estación de Pisac cuyo resultado está presentado en los anexos x – y.

3.6.3.3. Completación de datos hidrometeorológicos

Las variables suministradas por las estaciones meteorológicas del SENAMHI poseían datos vacíos, los mismos que fueron completados mediante métodos estadísticos.

Los métodos estadísticos seleccionados para cada variable fueron elegidos en función a la influencia de los mismos en el balance hídrico final, cada una de estas fue comprobada por pruebas de hipótesis de grado de asociación.



Las variables completadas fueron las siguientes:

- Precipitación total mensual
- Temperatura media mensual
- Temperatura máxima mensual
- Temperatura mínima mensual
- Humedad relativa

3.6.3.3.1. Completación de datos de precipitación total mensual

El modelo CORMUL, es un modelo estocástico de correlación, que se fundamenta en el hecho de que la mayor rentabilidad en la mejora del completado se produce al pasar de una regresión simple a una doble y ya a medida que se va aumentando el número de estaciones a correlacionar la tasa de mejora disminuye.

El método establece ecuaciones de correlación doble y mejora el criterio habitual de prioridad (coeficiente de correlación múltiple) en el momento de decidir la pareja de estaciones con las cuales se completan las lagunas de una estación dada.

Este método fue desarrollado en el Centro de Estudios Hidrológicos del CEDEX y se aplica para el completado de precipitaciones.

Para realizar este método se presentan 5 estaciones meteorológicas, Calca, Anta, Urubamba, Pisac y por último Kayra las cuales presentan datos incompletos por lo cual es necesario completarlos por correlación múltiple.



Tabla 48: Datos originales de precipitación de las estaciones en estudio

N° REG.	AÑO	Kayra	Calca	Urubamba	Pisac	Anta
1	1986	0.00		0.00	0.0	0.00
2	1987	1.30		7.50	14.6	
3	1988	0.00	0.00	0.00	0.0	0.00
4	1989	9.10	13.50	9.50	0.0	0.00
5	1990	31.80	28.00	40.00	38.4	36.60
6	1991	5.10	19.00	10.00	8.0	23.30
7	1992	19.40	33.00	40.50	26.0	16.80
8	1993	0.00	6.00	0.00	4.2	0.00
9	1994	0.00	0.00	0.00	0.0	2.20
10	1995	0.00	2.00	1.00	0.0	5.20
11	1996	0.00	0.00	0.40	0.0	0.60
12	1997	0.00	0.00	0.00	0.0	0.00
13	1998	1.90	1.00	0.70	3.0	3.40
14	1999	3.40		0.80	3.7	0.00
15	2000	5.80		8.80	3.7	18.50
16	2001	0.00		0.00	0.0	0.00
17	2002	2.50		5.00	4.3	16.90
18	2003	6.40		8.40	6.8	7.50
19	2004	20.50		30.60	16.4	26.90
20	2005	0.40		0.00	0.0	0.00
21	2006	4.90		1.90	30.0	13.60
22	2007	0.00		0.00	0.0	0.00
23	2008	2.10		2.80	3.6	1.50
24	2009	0.00		0.10	0.0	0.00
25	2010	0.00		0.00	1.1	5.20
26	2011	3.20		17.90	7.0	10.30
27	2012	1.20		0.60	0.5	2.80
28	2013	6.10	1.60	4.40	5.4	6.10
29	2014	0.00	0.00	0.00	0.0	0.00
30	2015	3.90	0.60	0.00	0.0	2.30
31	2016	0.00	0.60	0.30		0.30
32	2017	5.90		0.00	3.2	0.00
33	2018	16.00	10.20	26.80	14.2	24.20

Fuente: Elaboración propia

a) Estacionalización de las Series de Datos de Precipitación

Después de tener los datos consolidados de las estaciones de cada mes se deberá emplear las siguientes formulas.



$$x = \frac{1}{N} \sum_{l=1}^N X_{i,j} \quad \dots (3.40)$$

$$\bar{S}_j = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_{ij} - X_j)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad \dots (3.41)$$

Donde:

- X_{ij} : Precipitación en el año i y mes j .
- X : Media del mes j .
- N : Número de años de la serie.
- S_j : Desviación típica del mes j .

$$t_{i,j} = \frac{X_{i,j} - X_j}{S_j} \quad \dots (3.42)$$

Donde:

- t_{ij} , es una serie estacionaria en media y varianza, donde se han suprimido las tendencias estacionales.

En la estación de Calca se tiene la siguiente información:

ENERO	114.00
MEDIA	103.29
DESV.STD	44.58

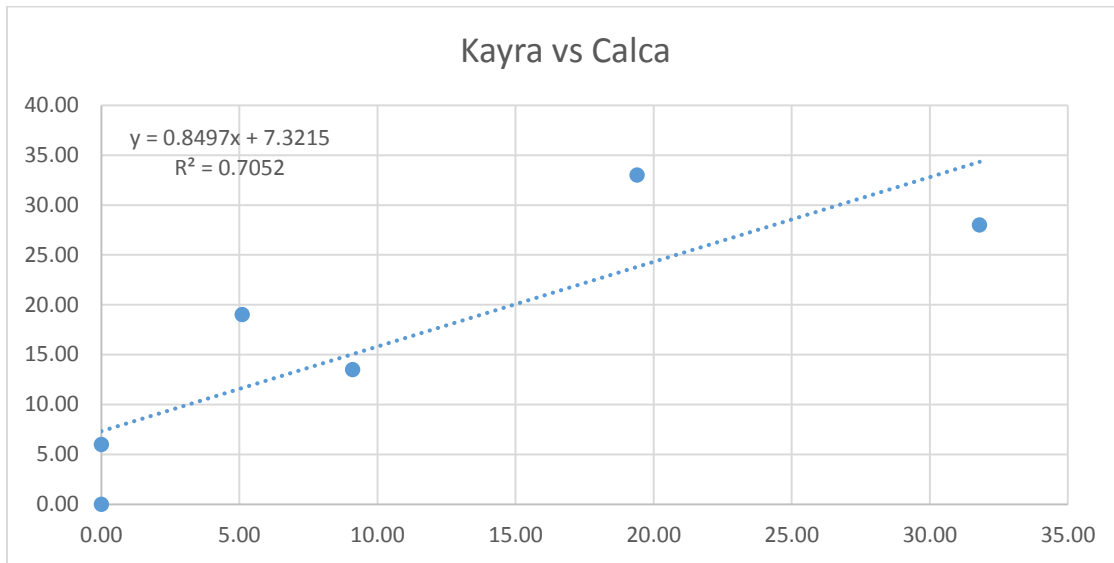
Teniendo estos datos se deberá aplicar la formula (3.42):

$$t_{i,j} = \frac{44 - 114}{103} = -0.679$$

b) Establecimiento de la ecuación de regresión

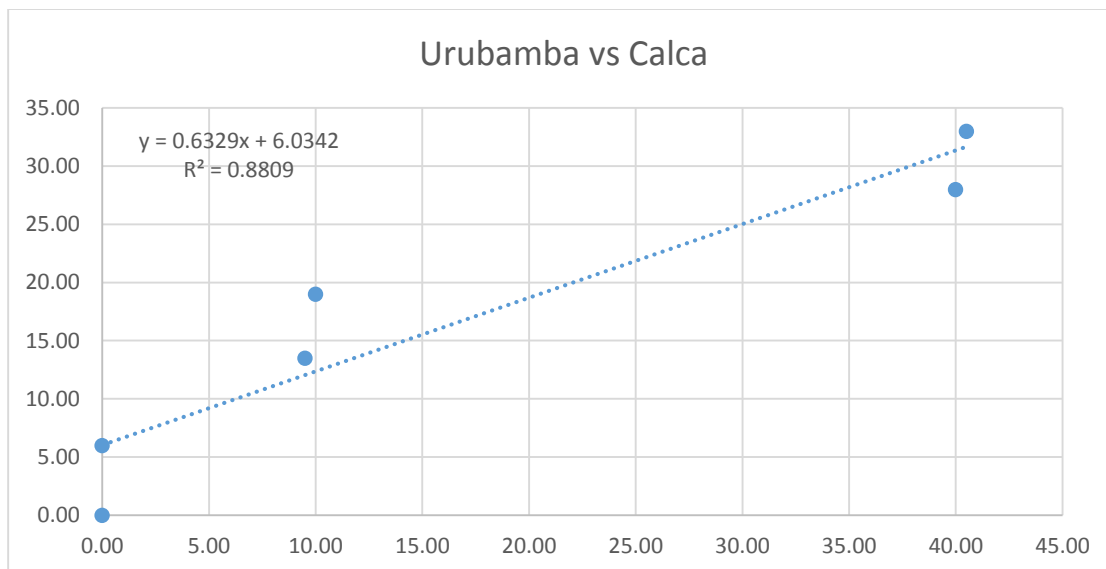
El siguiente paso es obtener la ecuación de regresión para eso se realizará el análisis de regresión lineal simple entre las 4 estaciones para poder completar los datos faltantes de cada mes de junio.

Fig. N° 73: Análisis de regresión lineal simple de dos estaciones Kayra vs Calca



Fuente: Elaboración propia.

Fig. N° 74: Análisis de regresión lineal simple de dos estaciones Urubamba vs Calca



Fuente: Elaboración propia

Los resultados se muestran en el Cuadro siguiente. Adicionalmente, se ha establecido la denominada Matriz de Correlación Simple el cual servirá para el cálculo del coeficiente de correlación múltiple.

Tabla 49: Coeficientes de correlación entre las estaciones

	Kayra	Calca	Urubamba	Pisac	Anta
Kayra	1.000	0.840	0.940	0.939	0.802
Calca	0.840	1.000	0.939	0.838	0.769
Urubamba	0.940	0.939	1.000	0.936	0.760
Pisac	0.939	0.838	0.936	1.000	0.861
Anta	0.802	0.769	0.760	0.861	1.000

Fuente: Elaboración propia

Luego se deberá aplicar la regresión para estas estaciones de Kayra con Calca y Urubamba con Calca y así nos dará los siguientes valores:

Tabla 50: Análisis de regresión entre Kayra y Calca

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0.840
Coefficiente de determinación R ²	0.705
R ² ajustado	0.632
Error típico	7.689
Observaciones	6.000

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1.00	565.74	565.74	9.57	0.04
Residuos	4.00	236.47	59.12		
Total	5.00	802.21			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	7.321	4.338	1.688	0.167	-4.722	19.365	-4.722	19.365
Variable X 1	0.850	0.275	3.093	0.036	0.087	1.612	0.087	1.612

Fuente: Elaboración propia

Tabla 51: Análisis de regresión entre Urubamba y Calca

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0.939
Coefficiente de determinación R ²	0.881
R ² ajustado	0.851
Error típico	4.888
Observaciones	6.000

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Prom. de cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	706.635	706.635	29.575	0.006
Residuos	4	95.573	23.893		
Total	5	802.208			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	6.034	2.783	2.168	0.096	-1.693	13.761	-1.693	13.761
Variable X 1	0.633	0.116	5.438	0.006	0.310	0.956	0.310	0.956

Fuente: Elaboración propia

El siguiente paso es calcular los coeficientes de correlación múltiple con Kayra VS Urubamba.

Tabla 52: Valores de precipitación del mes de junio de los años 1988 a 1993

Kagra	Urubamba
0.00	0.00
9.10	9.50
31.80	40.00
5.10	10.00
19.40	40.50
0.00	0.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 53: Resumen de la regresión múltiple entre Kayra y Urubamba

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0.947
Coefficiente de determinación R ²	0.896
R ² ajustado	0.827
Error típico	5.263
Observaciones	6.000

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Prom. de cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	2	719.102	359.551	12.979	0.033
Residuos	3	83.106	27.702		
Total	5	802.208			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	6.203	3.007	2.063	0.131	-3.367	15.774	-3.367	15.774
Variable X 1	-0.370	0.551	-0.671	0.550	-2.125	1.385	-2.125	1.385
Variable X 2	0.865	0.368	2.353	0.100	-0.305	2.034	-0.305	2.034

Fuente: Elaboración propia

Se obtiene el conglomerado de ambas estaciones:

Tabla 54: Conglomerado entre Urubamba y Calca

Estadísticas de regresión	Kayra vs Calca	Urubamba vs Calca	Regresión múltiple
N° de pares	6.000	6.000	6.000
Coefficiente de correlación	0.840	0.939	0.947
Coefficiente de determinación (R ²)	0.705	0.881	0.896
a (intercepción)	7.321	6.034	6.203
b (x1)	0.850	0.633	-0.370
c (x2)			0.865
Ecuación de regresión múltiple: $Y_{cal} = a + b.x1 + c.x2$			

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, se completa los valores de las estaciones con los siguientes presentados en la Tabla N° 43.



Tabla 55: Valores de precipitación completados para el mes de Junio

N° REG.	AÑO	Kayra	Calca	Urubamba	Pisac	Anta
1	1986	0.00	6.20	0.00	0.0	0.00
2	1987	1.30	12.21	7.50	14.6	15.11
3	1988	0.00	0.00	0.00	0.0	0.00
4	1989	9.10	13.50	9.50	0.0	0.00
5	1990	31.80	28.00	40.00	38.4	36.60
6	1991	5.10	19.00	10.00	8.0	23.30
7	1992	19.40	33.00	40.50	26.0	16.80
8	1993	0.00	6.00	0.00	4.2	0.00
9	1994	0.00	0.00	0.00	0.0	2.20
10	1995	0.00	2.00	1.00	0.0	5.20
11	1996	0.00	0.00	0.40	0.0	0.60
12	1997	0.00	0.00	0.00	0.0	0.00
13	1998	1.90	1.00	0.70	3.0	3.40
14	1999	3.40	5.64	0.80	3.7	0.00
15	2000	5.80	11.67	8.80	3.7	18.50
16	2001	0.00	6.20	0.00	0.0	0.00
17	2002	2.50	9.60	5.00	4.3	16.90
18	2003	6.40	11.10	8.40	6.8	7.50
19	2004	20.50	25.08	30.60	16.4	26.90
20	2005	0.40	6.06	0.00	0.0	0.00
21	2006	4.90	6.03	1.90	30.0	13.60
22	2007	0.00	6.20	0.00	0.0	0.00
23	2008	2.10	7.85	2.80	3.6	1.50
24	2009	0.00	6.29	0.10	0.0	0.00
25	2010	0.00	6.20	0.00	1.1	5.20
26	2011	3.20	20.50	17.90	7.0	10.30
27	2012	1.20	6.28	0.60	0.5	2.80
28	2013	6.10	1.60	4.40	5.4	6.10
29	2014	0.00	0.00	0.00	0.0	0.00
30	2015	3.90	0.60	0.00	0.0	2.30
31	2016	0.00	0.60	0.30	-1.1	0.30
32	2017	5.90	4.02	0.00	3.2	0.00
33	2018	16.00	10.20	26.80	14.2	24.20

Fuente: Elaboración propia

La completación de los valores de las estaciones para el resto de meses se encuentra en el Anexo VI.



Los resultados de la completación se encuentran en las Tabla N° 57 a N° 61.

Tabla 56: Precipitación corregida por matrices de la estación de Anta



"EVALUACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO DE LA CUENCA DE LA LAGUNA DE PIURAY CONSIDERANDO EL ESCENARIO MÁS DESFAVORABLE PARA EL AÑO 2040 SEGÚN EL MODELO WEAP, CON FINES DE ABASTECIMIENTO PARA LA CIUDAD DE CUSCO Y CHINCHERO"

DATOS GENERALES DE LA ESTACIÓN			
NOMBRE:	ESTACIÓN ANTA	TIPO:	METEOROLÓGICA
LATITUD:	13° 28' 6"	DEPARTAMENTO:	CUSCO
LONGITUD:	71° 12' 57"	PROVINCIA:	ANTA
ALTITUD:	3340	DISTRITO:	ZURITE
PARÁMETRO:	PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL (mm)	PERIODO:	1964-2018

PRECIPITACION TOTAL MENSUAL EN (mm) CORREGIDA POR MATRICES												
Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1986	100.10	152.10	115.80	44.80	18.70	0.00	0.00	0.00	0.00	24.80	62.50	80.80
1987	190.10	134.20	73.20	0.00	0.00	15.11	33.40	0.00	0.00	25.20	100.60	165.00
1988	223.30	138.50	241.50	93.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.10	43.00	107.30
1989	191.30	97.60	136.40	30.20	26.30	0.00	0.00	4.40	6.10	24.20	50.00	34.90
1990	129.80	59.30	24.60	3.20	0.00	36.60	0.00	16.60	15.00	122.40	86.80	36.60
1991	53.90	180.30	123.00	27.50	0.00	23.30	0.00	0.00	4.40	44.60	140.75	69.00
1992	130.60	136.00	40.80	18.80	3.80	16.80	0.00	0.00	0.00	69.68	96.02	157.60
1993	145.10	428.70	107.30	35.90	6.80	0.00	0.00	22.80	59.40	192.40	224.40	565.80
1994	588.00	384.10	418.90	49.10	32.50	2.20	0.00	0.30	39.50	87.00	186.00	255.70
1995	194.70	47.50	224.90	19.90	1.80	5.20	0.60	0.00	22.80	15.60	94.60	313.30
1996	414.50	359.50	122.80	29.20	4.80	0.60	0.20	13.30	18.80	44.00	87.30	234.00
1997	161.93	126.90	158.90	26.40	8.80	0.00	0.00	15.50	7.10	67.50	165.30	362.80
1998	163.70	128.60	131.60	20.96	0.00	3.40	0.00	0.30	11.50	62.80	60.60	65.10
1999	294.20	341.00	193.10	73.30	0.80	0.00	0.20	6.20	60.90	91.50	110.40	211.30
2000	188.00	210.70	143.80	40.80	1.60	18.50	0.60	5.40	13.90	147.70	43.60	189.70
2001	514.50	186.20	404.90	33.70	11.40	0.00	40.00	37.00	19.40	150.10	89.30	135.40
2002	185.40	296.70	220.10	78.50	25.60	16.90	76.00	9.90	59.80	105.80	114.80	170.80
2003	170.30	180.40	215.10	23.90	7.00	7.50	0.00	31.20	10.80	65.10	39.10	173.00
2004	251.70	182.50	53.40	47.80	2.50	26.90	25.70	11.10	35.20	51.90	86.20	122.80
2005	109.30	97.30	88.60	35.60	1.80	0.00	4.00	11.80	9.00	30.60	64.60	129.60
2006	212.60	143.80	143.50	68.80	0.30	13.60	0.00	1.60	5.40	68.40	100.90	116.30
2007	121.30	114.80	92.70	95.10	30.40	0.00	0.80	0.00	2.60	71.00	89.90	184.40
2008	146.70	124.40	89.70	18.10	8.20	1.50	0.00	8.50	14.60	122.80	161.00	117.70
2009	162.90	173.10	96.30	11.00	14.90	0.00	19.30	0.00	17.50	34.80	288.70	132.30
2010	289.00	194.20	148.50	26.40	1.20	5.20	3.40	3.50	12.10	89.60	54.70	184.90
2011	139.50	269.30	214.80	78.90	13.60	10.30	11.00	16.60	52.20	89.40	72.80	152.50
2012	136.30	177.80	110.60	47.50	1.80	2.80	4.40	0.00	45.10	26.80	135.30	197.70
2013	161.60	151.10	75.60	7.00	26.57	6.10	0.10	18.30	3.20	104.50	110.30	158.90
2014	134.50	122.00	71.10	46.30	8.90	0.00	0.00	1.30	11.50	62.90	37.60	160.80
2015	180.90	101.40	81.50	79.20	2.90	2.30	6.20	7.20	31.50	50.90	75.40	110.00
2016	146.50	240.10	70.90	25.00	7.30	0.30	3.00	17.70	11.00	71.60	88.10	98.80
2017	107.90	116.50	166.90	69.20	7.50	0.00	1.80	17.40	11.00	71.90	86.00	92.10
2018	145.00	191.60	139.60	37.80	3.10	24.20	20.20	27.50	8.50	73.60	62.70	71.50
Nro.DATOS	33.00	33.00	33.00	33.00	33.00	33.00	33.00	33.00	33.00	33.00	33.00	33.00
MEDIA	196.52	181.46	143.65	40.71	8.51	7.25	7.60	9.25	18.78	71.79	100.28	162.38
DESV.STD	113.24	91.68	88.63	25.84	9.74	9.79	16.05	10.15	18.53	42.06	54.90	102.10
C.V.	0.58	0.51	0.62	0.63	1.14	1.35	2.11	1.10	0.99	0.59	0.55	0.63
MIN	53.90	47.50	24.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.10	37.60	34.90
MAX	588.00	428.70	418.90	95.10	32.50	36.60	76.00	37.00	60.90	192.40	288.70	565.80

Fuente: Elaboración propia



Tabla 57: Precipitación corregida por matrices de la estación de Pisac



"EVALUACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO DE LA CUENCA DE LA LAGUNA DE PIURAY CONSIDERANDO EL ESCENARIO MÁS DESFAVORABLE PARA EL AÑO 2040 SEGÚN EL MODELO WEAP, CON FINES DE ABASTECIMIENTO PARA LA CIUDAD DE CUSCO Y CHINCHERO"

DATOS GENERALES DE LA ESTACIÓN				
NOMBRE:	ESTACIÓN PISAC		TIPO:	METEOROLÓGICA
LATITUD:	13° 24' 57"		DEPARTAMENTO:	CUSCO
LONGITUD:	71° 51' 3"		PROVINCIA:	CALCA
ALTITUD:	2950		DISTRITO:	PISAC
PARÁMETRO:	PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL		PERIODO:	1964-2018

PRECIPITACION TOTAL MENSUAL EN (mm) CORREGIDAPOR MATRICES												
Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1986	27.80	118.90	134.00	38.50	12.50	0.00	2.10	3.30	4.00	2.10	8.30	11.80
1987	276.30	45.90	24.60	13.30	0.00	14.60	9.10	0.00	0.00	8.20	96.42	38.80
1988	96.10	99.60	193.40	52.40	2.00	0.00	0.00	0.00	2.30	12.00	13.70	85.90
1989	116.30	94.80	111.50	25.90	8.00	0.00	3.00	9.20	7.20	20.50	20.20	27.10
1990	76.70	45.60	20.30	82.60	6.20	38.40	0.00	3.00	8.40	44.10	99.40	115.00
1991	76.20	101.70	64.50	31.40	11.50	8.00	0.00	2.00	2.00	50.70	61.40	65.40
1992	81.00	45.40	31.70	22.60	0.00	26.00	-0.18	13.30	4.00	32.00	91.80	73.00
1993	178.90	82.90	12.40	36.00	8.20	4.20	8.20	14.20	3.00	18.20	87.00	109.80
1994	167.20	118.00	151.60	59.80	5.30	0.00	0.00	0.00	12.40	52.60	13.20	158.60
1995	98.90	79.50	80.00	7.20	4.20	0.00	0.00	0.00	12.20	24.20	18.20	51.60
1996	117.60	69.30	44.40	69.30	12.10	0.00	0.00	21.60	4.84	52.50	47.50	78.20
1997	82.70	99.90	99.50	4.10	2.90	0.00	0.00	20.10	18.10	13.50	108.90	97.80
1998	129.80	98.70	38.20	21.60	4.20	3.00	0.00	0.80	13.50	64.00	50.90	51.30
1999	93.20	122.30	51.50	28.30	4.90	3.70	2.60	0.00	30.00	17.70	40.20	105.90
2000	159.80	105.40	58.70	2.20	9.10	3.70	0.00	2.00	4.40	41.60	11.00	70.60
2001	211.20	136.40	152.20	19.90	12.10	0.00	19.40	5.60	8.00	50.00	77.40	102.00
2002	90.60	161.40	106.10	35.80	6.60	4.30	46.60	3.30	10.90	39.40	91.60	127.90
2003	114.40	108.70	110.70	15.80	4.40	6.80	0.00	23.60	4.00	31.70	18.30	120.90
2004	149.90	109.20	95.60	15.80	2.00	16.40	10.30	6.90	32.50	25.90	43.00	94.30
2005	127.00	76.90	69.10	29.60	0.00	0.00	1.50	3.70	4.10	18.00	50.50	58.60
2006	170.70	82.20	125.00	34.50	0.00	30.00	0.00	14.30	5.20	42.70	69.70	117.10
2007	102.70	55.80	135.80	42.10	7.60	0.00	1.70	0.00	4.90	32.70	66.90	83.30
2008	154.30	151.50	61.50	8.50	5.90	3.60	0.70	3.20	9.80	46.80	64.10	133.90
2009	89.90	89.40	66.20	14.10	0.20	0.00	3.10	0.80	20.40	8.20	118.10	115.30
2010	270.10	145.10	155.80	6.00	6.50	1.10	1.40	11.40	1.80	72.70	26.30	204.20
2011	100.70	170.60	109.20	32.90	6.80	7.00	8.60	0.60	27.90	26.20	48.00	134.50
2012	67.00	157.00	54.20	30.10	1.20	0.50	0.80	0.50	24.10	8.60	127.00	146.80
2013	104.80	152.20	68.10	23.30	10.70	5.40	4.10	15.80	5.60	132.00	52.90	170.10
2014	143.80	82.60	68.70	50.00	12.80	0.00	1.30	1.50	22.90	28.20	12.50	105.80
2015	78.00	49.80	28.30	68.59	12.50	0.00	26.80	3.60	13.10	7.40	20.60	51.80
2016	98.50	84.50	19.70	29.57	22.50	-1.09	7.30	0.00	14.10	72.90	27.10	98.20
2017	66.40	52.50	116.20	54.80	12.90	3.20	0.80	5.50	9.00	24.60	40.80	61.90
2018	124.30	121.10	107.00	32.60	3.90	14.20	13.60	15.00	11.80	80.90	92.60	70.00
Nro.DATOS	33.00	33.00	33.00	33.00	33.00	33.00	33.00	33.00	33.00	33.00	33.00	33.00
MEDIA	122.51	100.45	83.81	31.49	6.66	5.85	5.24	6.21	10.80	36.45	55.02	95.07
DESV.STD	54.57	35.94	46.30	19.91	5.13	9.51	9.66	7.11	8.70	26.86	34.76	42.13
C.V.	0.45	0.36	0.55	0.63	0.77	1.63	1.84	1.15	0.81	0.74	0.63	0.44
MIN	27.80	45.40	12.40	2.20	0.00	-1.09	-0.18	0.00	0.00	2.10	8.30	11.80
MAX	276.30	170.60	193.40	82.60	22.50	38.40	46.60	23.60	32.50	132.00	127.00	204.20

Fuente: Elaboración propia



Tabla 58: Precipitación corregida por matrices de la estación de Urubamba



"EVALUACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO DE LA CUENCA DE LA LAGUNA DE PIURAY CONSIDERANDO EL ESCENARIO MÁS DESFAVORABLE PARA EL AÑO 2040 SEGÚN EL MODELO WEAP, CON FINES DE ABASTECIMIENTO PARA LA CIUDAD DE CUSCO Y CHINCHERO"

DATOS GENERALES DE LA ESTACIÓN				
NOMBRE:	ESTACIÓN URUBAMBA		TIPO:	METEOROLÓGICA
LATITUD:	13° 18' 18.6"		DEPARTAMENTO :	CUSCO
LONGITUD:	71° 7' 28.4"		PROVINCIA :	URUBAMBA
ALTITUD:	2850		DISTRITO :	URUBAMBA
PARÁMETRO:	PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL		PERIODO:	1964-2018

PRECIPITACION TOTAL MENSUAL EN (mm) CORREGIDAPOR MATRICES												
Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1986	53.70	58.10	56.50	41.50	14.00	0.00	0.00	5.00	4.00	13.50	57.50	49.50
1987	102.50	83.70	35.50	1.00	3.00	7.50	17.00	0.00	14.00	27.50	88.00	100.00
1988	53.70	77.50	126.50	43.00	4.50	0.00	0.00	0.00	17.00	25.50	25.00	88.00
1989	102.50	90.00	103.90	50.50	13.30	9.50	0.50	0.00	26.50	46.00	25.00	99.00
1990	115.50	99.30	26.00	33.00	6.00	40.00	0.00	9.50	6.00	52.60	44.00	69.30
1991	102.00	125.50	82.50	39.50	2.00	10.00	0.00	0.00	11.50	32.50	82.00	56.50
1992	133.50	77.30	40.50	9.50	0.00	40.50	0.00	32.00	1.50	22.50	60.00	27.00
1993	52.50	82.00	57.50	39.00	2.00	0.00	2.50	28.00	4.00	30.00	79.00	120.00
1994	95.50	96.60	110.00	34.50	2.00	0.00	0.00	0.00	23.50	51.50	29.50	151.50
1995	128.00	42.10	81.30	10.90	2.20	1.00	0.30	0.00	14.50	35.10	55.00	95.50
1996	117.00	77.50	50.60	53.60	13.20	0.40	0.10	11.60	5.00	35.10	46.90	73.80
1997	72.20	124.70	98.50	8.50	2.30	0.00	0.00	8.30	6.20	10.10	73.00	84.90
1998	88.40	73.20	26.70	10.40	4.00	0.70	0.00	0.40	1.70	22.20	49.70	47.00
1999	88.60	122.30	66.10	29.60	17.50	0.80	0.10	0.00	23.70	20.30	52.20	125.50
2000	54.70	92.90	87.30	6.50	6.40	8.80	0.80	0.10	15.60	63.90	19.70	76.00
2001	124.20	86.90	102.20	7.20	8.40	0.00	16.90	11.60	10.00	72.90	64.20	62.10
2002	172.00	117.80	78.30	50.10	5.80	5.00	62.70	1.80	2.50	64.50	52.10	135.50
2003	167.20	74.30	124.30	12.90	4.30	8.40	1.20	18.00	1.00	31.70	32.50	94.40
2004	126.30	87.20	75.30	15.20	1.50	30.60	21.50	10.30	6.20	39.90	34.50	78.70
2005	96.90	97.00	62.70	20.80	0.00	0.00	1.60	1.90	11.70	10.90	51.10	82.00
2006	123.90	92.80	68.90	33.50	0.00	1.90	0.00	4.00	9.60	50.10	64.60	82.00
2007	47.60	79.00	82.60	42.40	4.60	0.00	1.90	0.10	0.00	57.40	61.00	74.10
2008	111.80	83.20	72.20	4.60	7.10	2.80	0.60	3.10	3.90	35.50	92.20	121.40
2009	56.80	114.10	63.70	10.90	6.30	0.10	2.70	1.60	8.90	4.60	128.00	76.90
2010	98.30	129.70	101.30	13.20	2.20	0.00	2.50	8.20	5.00	46.60	23.90	114.60
2011	152.00	149.90	81.40	44.70	12.60	17.90	15.70	4.80	25.20	38.90	26.10	145.20
2012	188.20	124.40	57.40	18.00	0.30	0.60	1.80	0.30	17.20	8.10	66.50	134.00
2013	100.40	129.50	88.70	3.50	1.40	4.40	0.00	20.60	2.20	71.80	113.40	136.00
2014	69.04	69.90	52.40	32.50	10.20	0.00	0.10	0.50	6.20	56.70	30.60	99.60
2015	123.40	85.20	42.20	28.40	4.60	0.00	7.80	5.60	3.40	15.20	28.90	116.90
2016	124.00	118.80	57.10	22.90	1.80	0.30	5.20	0.00	3.20	54.90	58.50	113.90
2017	128.80	81.80	60.10	43.30	5.10	0.00	0.00	11.00	0.60	38.70	69.90	55.10
2018	62.30	135.20	85.30	9.20	0.00	26.80	16.70	17.90	3.10	65.70	50.10	64.60
Nro.DATOS	33.00	33.00	33.00	33.00	33.00	33.00	33.00	33.00	33.00	33.00	33.00	33.00
MEDIA	104.04	96.35	72.89	24.98	5.11	6.61	5.46	6.55	8.93	37.95	55.59	92.44
DESV.STD	36.53	24.75	25.74	16.18	4.65	11.49	12.03	8.47	7.69	19.42	25.87	31.10
C.V.	0.35	0.26	0.35	0.65	0.91	1.74	2.20	1.29	0.86	0.51	0.47	0.34
MIN	47.60	42.10	26.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.60	19.70	27.00
MAX	188.20	149.90	126.50	53.60	17.50	40.50	62.70	32.00	26.50	72.90	128.00	151.50

Fuente: Elaboración propia



Tabla 59: Precipitación corregida por matrices de la estación de Calca



"EVALUACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO DE LA CUENCA DE LA LAGUNA DE PIURAY CONSIDERANDO EL ESCENARIO MÁS DESFAVORABLE PARA EL AÑO 2040 SEGÚN EL MODELO WEAP, CON FINES DE ABASTECIMIENTO PARA LA CIUDAD DE CUSCO Y CHINCHERO"

DATOS GENERALES DE LA ESTACIÓN			
NOMBRE:	ESTACIÓN CALCA	TIPO:	METEOROLÓGICA
LATITUD:	13° 20' 0"	DEPARTAMENTO:	CUSCO
LONGITUD:	71° 57' 0"	PROVINCIA:	CALCA
ALTITUD:	2926	DISTRITO:	CALCA
PARÁMETRO:	PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL	PERIODO:	1963-1998

PRECIPITACION TOTAL MENSUAL EN (mm) CORREGIDA POR MATRICES												
Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1986	128.57	79.07	162.25	53.17	5.62	6.20	8.19	6.07	-2.84	15.32	60.54	64.13
1987	164.71	87.88	43.48	5.95	1.59	12.21	0.00	0.00	18.00	23.60	91.00	134.50
1988	114.00	97.50	140.50	65.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	24.74	46.02	81.00
1989	130.90	87.00	114.50	75.00	14.20	13.50	0.00	2.00	21.79	47.50	56.00	71.00
1990	118.00	88.00	60.00	23.00	2.77	28.00	0.00	10.00	6.00	49.00	31.50	68.00
1991	130.20	195.00	149.00	51.00	0.00	19.00	0.00	0.00	4.00	48.50	89.60	77.50
1992	155.00	68.00	69.00	27.60	0.00	33.00	0.00	32.50	0.00	32.00	82.00	63.50
1993	156.50	105.50	51.00	38.00	0.00	6.00	5.00	31.00	7.00	38.00	75.00	112.00
1994	156.00	134.00	102.50	64.00	3.50	0.00	0.00	0.00	18.00	41.00	32.00	161.50
1995	65.50	71.50	98.00	14.00	2.00	2.00	2.00	0.00	33.00	30.00	52.00	79.00
1996	150.00	97.00	63.00	35.50	5.00	0.00	0.00	14.00	6.00	60.00	61.00	93.00
1997	142.71	123.00	121.00	18.00	0.00	0.00	0.00	13.00	12.00	11.00	95.00	91.00
1998	85.00	91.50	39.50	17.00	4.00	1.00	0.00	1.50	0.00	42.50	78.50	68.00
1999	126.83	110.10	69.14	68.61	6.78	5.64	4.30	0.83	61.63	25.62	62.31	121.16
2000	166.12	133.26	74.20	36.79	2.82	11.67	9.93	0.95	0.50	53.84	43.17	83.87
2001	175.76	160.02	176.13	32.07	3.71	6.20	29.58	12.99	13.84	61.39	72.90	73.50
2002	146.67	184.48	128.18	80.22	2.87	9.60	-59.06	2.73	8.36	52.97	69.12	128.73
2003	156.71	122.78	126.89	27.38	2.05	11.10	-3.38	19.71	-6.22	36.85	50.15	97.89
2004	156.98	120.97	116.92	45.09	1.05	25.08	14.49	11.62	45.79	37.04	54.38	85.93
2005	145.32	129.69	89.19	38.68	0.53	6.06	0.87	2.83	-5.38	22.25	63.17	88.48
2006	167.49	148.29	150.51	66.96	0.47	6.03	0.09	5.05	-1.33	49.22	72.06	88.73
2007	148.04	61.42	160.62	88.92	2.23	6.20	12.60	0.94	-7.48	46.98	70.00	82.48
2008	128.42	105.29	79.42	20.08	3.19	7.85	-1.65	4.09	10.17	45.78	84.25	118.16
2009	137.23	119.48	85.83	17.53	2.84	6.29	7.14	2.51	24.64	15.02	108.25	84.55
2010	184.51	176.89	180.26	29.26	1.28	6.20	-0.83	9.42	-5.00	62.82	47.18	113.29
2011	132.09	195.60	131.20	78.41	5.07	20.50	-28.61	5.85	55.24	36.82	51.11	135.87
2012	121.63	173.67	73.36	45.96	0.66	6.28	-5.11	1.15	32.24	16.53	80.60	127.86
2013	164.97	143.60	85.00	11.20	5.80	1.60	0.80	22.20	2.00	66.60	63.20	75.40
2014	78.20	73.00	27.80	34.40	4.20	0.00	0.00	2.00	6.60	34.80	14.60	91.20
2015	98.20	38.20	19.60	22.80	4.60	0.60	0.80	5.00	10.20	2.40	32.80	57.60
2016	35.60	87.20	18.00	26.20	3.40	0.60	4.20	0.20	4.80	29.40	8.80	45.80
2017	42.60	35.40	75.20	7.00	2.52	4.02	0.00	0.00	10.20	23.40	32.80	11.60
2018	33.60	3.60	6.80	4.80	5.00	10.20	1.20	4.60	14.40	22.80	77.20	81.20
Nro.DATOS	33.00	33.00	33.00	33.00	33.00	33.00	33.00	33.00	33.00	33.00	33.00	33.00
MEDIA	128.61	110.54	93.58	38.49	3.02	8.26	0.08	6.81	12.07	36.54	60.86	89.62
DESV.STD	40.02	46.26	47.64	23.72	2.78	8.44	13.55	8.70	17.04	16.21	23.01	29.53
C.V.	0.31	0.42	0.51	0.62	0.92	1.02	175.36	1.28	1.41	0.44	0.38	0.33
MIN	33.60	3.60	6.80	4.80	0.00	0.00	-59.06	0.00	-7.48	2.40	8.80	11.60
MAX	184.51	195.60	180.26	88.92	14.20	33.00	29.58	32.50	61.63	66.60	108.25	161.50

Fuente: Elaboración propia



Tabla 60: Precipitación corregida por matrices de la estación de Kayra



"EVALUACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO DE LA CUENCA DE LA LAGUNA DE PIURAY CONSIDERANDO EL ESCENARIO MÁS DESFAVORABLE PARA EL AÑO 2040 SEGÚN EL MODELO WEAP, CON FINES DE ABASTECIMIENTO PARA LA CIUDAD DE CUSCO Y CHINCHERO"

DATOS GENERALES DE LA ESTACIÓN			
NOMBRE:	ESTACIÓN KAYRA	TIPO:	METEOROLÓGICA
LATITUD:	13° 33' 24.7"	DEPARTAMENTO:	CUSCO
LONGITUD:	71° 52' 29.8"	PROVINCIA:	CUSCO
ALTITUD:	3219	DISTRITO:	SAN JERÓNIMO
PARÁMETRO:	PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS	PERIODO:	1964-2018

PRECIPITACION TOTAL MENSUAL EN (mm) CORREGIDO POR MATRICES												
Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1986	76.40	92.20	125.70	65.50	6.20	0.00	1.80	4.20	7.50	17.30	69.60	102.70
1987	224.30	87.90	48.60	13.10	2.10	1.30	9.20	0.00	8.20	26.50	101.80	107.60
1988	163.80	84.30	166.50	108.90	4.60	0.00	0.00	0.00	9.90	36.20	47.60	103.70
1989	151.40	126.80	119.30	38.60	6.40	9.10	0.00	6.10	30.70	48.70	60.70	88.50
1990	157.60	90.40	60.20	47.40	7.50	31.80	0.00	5.80	13.30	73.70	86.90	66.50
1991	97.60	163.60	105.20	45.10	11.00	5.10	1.50	0.00	21.40	49.30	83.60	99.00
1992	114.10	102.40	104.00	14.90	0.00	19.40	0.00	21.40	8.00	50.70	117.40	57.00
1993	206.70	110.50	75.80	18.80	0.90	0.00	2.70	6.90	18.00	46.20	111.90	201.50
1994	177.00	163.90	173.90	45.50	11.80	0.00	0.00	0.00	25.70	40.20	40.50	119.90
1995	122.00	94.80	95.30	17.80	0.00	0.00	0.60	1.20	28.80	26.70	70.20	102.60
1996	131.90	98.00	70.50	32.30	11.00	0.00	0.00	6.30	19.60	58.40	49.00	133.20
1997	123.30	127.70	104.80	31.00	4.80	0.00	0.00	7.10	12.30	44.40	201.50	148.40
1998	116.30	156.20	22.60	31.00	1.60	1.90	0.00	1.60	4.30	49.80	49.70	58.90
1999	89.30	92.20	92.00	42.80	1.30	3.40	1.00	0.00	43.10	18.80	39.70	119.50
2000	197.40	137.30	119.50	10.90	2.60	5.80	2.70	4.50	10.70	49.30	29.30	82.00
2001	233.00	173.10	137.40	36.40	11.50	0.00	17.40	10.20	20.60	38.30	96.80	89.40
2002	134.50	184.60	112.70	21.60	16.20	2.50	27.10	3.70	10.30	78.70	97.80	132.40
2003	163.90	135.50	142.90	56.50	2.00	6.40	0.00	21.30	3.70	34.60	23.10	123.80
2004	173.70	125.80	66.50	21.00	2.40	20.50	17.00	9.00	21.70	25.60	60.90	87.90
2005	140.80	130.60	120.20	33.10	3.20	0.40	1.20	4.00	4.50	39.10	59.30	102.50
2006	203.40	155.50	145.90	40.90	0.20	4.90	0.00	10.50	7.50	72.50	67.80	147.20
2007	140.80	58.70	107.30	93.60	5.80	0.00	4.00	0.00	1.00	48.56	70.34	88.40
2008	108.80	109.20	64.40	7.60	8.70	2.10	0.00	3.90	13.90	51.70	90.20	131.90
2009	112.50	108.30	79.10	21.30	5.30	0.00	3.30	0.70	15.10	8.30	88.70	82.90
2010	268.50	168.50	129.20	16.60	1.30	0.00	1.40	4.70	8.20	70.00	40.00	172.70
2011	103.40	179.30	131.90	67.60	3.90	3.20	3.70	0.00	38.90	38.20	60.20	110.20
2012	70.50	167.70	41.70	48.10	4.50	1.20	0.00	0.10	18.40	19.50	138.20	179.50
2013	180.50	137.20	75.50	13.00	25.30	6.10	2.00	12.40	6.30	105.00	86.00	159.40
2014	161.90	116.50	36.50	35.00	10.10	0.00	3.20	5.80	12.60	48.56	29.60	152.10
2015	169.80	146.50	66.70	69.80	18.60	3.90	10.30	4.60	16.10	19.10	48.60	113.00
2016	104.00	153.10	54.30	24.40	3.00	0.00	4.50	0.50	7.00	79.50	28.00	89.80
2017	111.20	86.90	122.80	47.50	11.20	5.90	0.00	8.40	19.00	33.70	61.40	101.70
2018	154.76	162.50	146.27	20.30	0.20	16.00	11.60	7.10	9.10	84.80	80.80	95.00
Nro.DATOS	33.00	33.00	33.00	33.00	33.00	33.00	33.00	33.00	33.00	33.00	33.00	33.00
MEDIA	148.03	128.11	98.94	37.51	6.22	4.57	3.82	5.21	15.01	46.42	72.34	113.66
DESV.STD	46.63	33.27	38.58	23.51	5.90	7.31	6.30	5.47	9.92	22.11	36.26	34.18
C.V.	0.32	0.26	0.39	0.63	0.95	1.60	1.65	1.05	0.66	0.48	0.50	0.30
MIN	70.50	58.70	22.60	7.60	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	8.30	23.10	57.00
MAX	268.50	184.60	173.90	108.90	25.30	31.80	27.10	21.40	43.10	105.00	201.50	201.50

Fuente: Elaboración propia

3.6.3.3.2. Completación de datos de temperatura media mensual

Para la completación de los datos de temperatura media mensual usamos el software HIDROESTA 2, aplicando el método de Regresión lineal simple.

La regresión lineal simple es el modelo más común dentro de la hidrología, el concepto está basado en la suposición de que dos variables se relacionan en forma lineal. (Villón, 2012)

Mediante dicho método se puede:

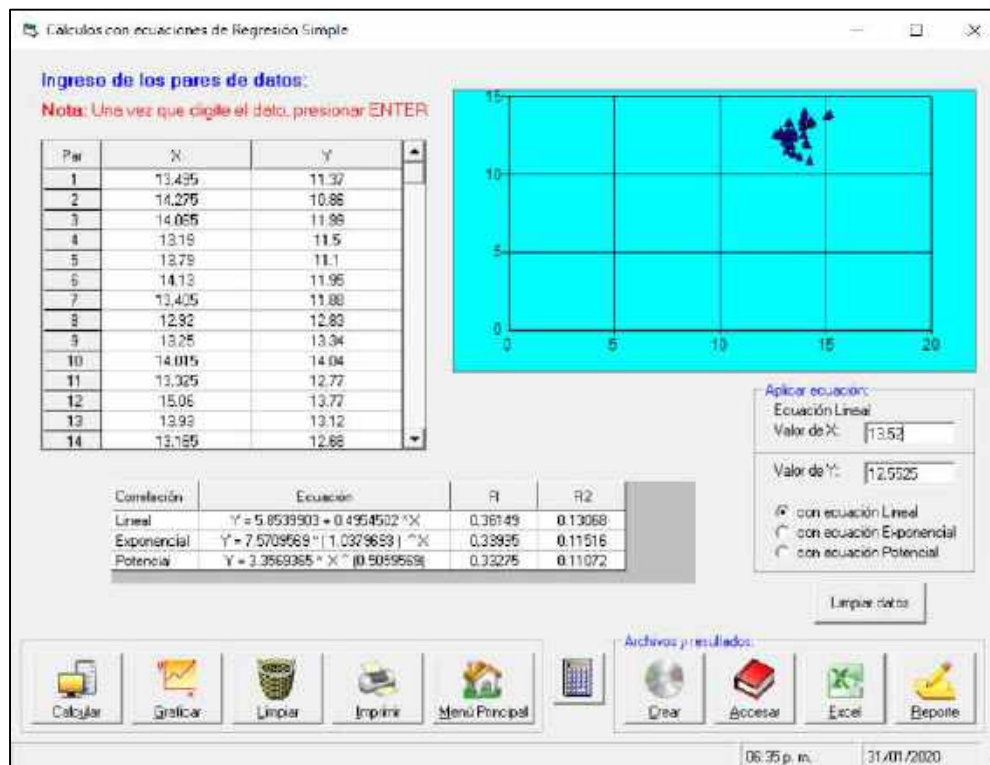
- Caudales y precipitación de una misma cuenca
- Precipitación de una estación con otra estación
- Caudal de una estación con otra estación
- Precipitación con la altitud de una cuenca

Este hecho permite correlacionar estas variables para completar datos o extender un registro. (Villón, 2012).

Para poder emplear el software se requiere una estación con datos completos, debido a la cantidad de datos seleccionamos a Kayra como estación base que servirá como comparativa frente al resto de estaciones incompletas.

Como ejemplo de la completación de datos por medio de HIDROESTA incluimos los resultados de la estación de Anta, mes de enero de la totalidad de años, en comparación con la estación de Kayra.

Fig. N° 75: Ejemplo de completación de datos con HIDROESTA



Fuente: HIDROESTA 2



Mediante el programa pudimos determinar que la ecuación lineal fue:

$$Y = 5.8539 + 0.4955 * X \quad \dots (3.43)$$

Para el año 1997 la temperatura media mensual de la estación de Kayra tenía un valor de 13.52, por lo cual, aplicando la ecuación tenemos:

$$12.55 = 5.8539 + 0.4955 * 13.52$$

El valor de la temperatura media mensual de la estación de Anta para el mes de enero será 12.55 por lo obtenido en el software HIDROESTA 2.

El resto de operaciones realizadas en el software HIDROESTA 2 se encuentra registrado en los Anexo VI.

Posteriormente se consolidaron los datos y se agruparon en los siguientes cuadros, como ejemplo se incluyó el cuadro correspondiente a la estación de Kayra, el resto de cuadros se encuentran en los Anexo VI.



Tabla 61: Cuadro consolidado de Temperatura Media Mensual



"EVALUACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO DE LA CUENCA DE LA LAGUNA DE PIURAY CONSIDERANDO EL ESCENARIO MÁS DESFAVORABLE PARA EL AÑO 2040 SEGÚN EL MODELO WEAP, CON FINES DE ABASTECIMIENTO PARA LA CIUDAD DE CUSCO Y CHINCHERO"

DATOS COMPLETADOS CON HIDROESTA			
NOMBRE:	ESTACIÓN KAYRA	TIPO:	METEOROLÓGICA
LATITUD:	13° 33' 24.7"	DEPARTAMENTO:	CUSCO
LONGITUD:	71° 52' 29.8"	PROVINCIA:	CUSCO
ALTITUD:	3219	DISTRITO:	SAN JERÓNIMO
PARÁMETRO:	T° MEDIA MENSUAL (°C)	PERIODO:	1964-2018

NRO	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1	1986	13.50	13.59	13.14	12.49	10.35	9.26	9.31	11.24	12.34	13.01	13.60	14.23
2	1987	14.28	14.51	14.07	13.16	11.24	10.05	9.89	11.77	13.32	13.90	14.78	14.44
3	1988	14.07	14.38	13.90	12.94	11.36	9.64	9.25	11.30	12.77	13.95	13.97	13.43
4	1989	13.19	12.71	12.78	12.54	10.64	10.49	9.10	10.67	12.79	13.40	13.03	14.03
5	1990	13.79	13.42	12.81	12.67	10.75	9.44	9.33	10.31	12.41	13.27	13.62	13.42
6	1991	14.13	13.62	13.32	12.07	10.83	9.76	8.70	9.47	11.22	13.29	13.00	13.06
7	1992	13.41	13.71	12.99	12.18	11.44	9.84	8.25	9.92	12.39	12.64	13.56	13.32
8	1993	12.92	13.31	12.54	12.22	10.97	9.49	9.49	9.65	11.47	13.33	13.99	13.73
9	1994	13.25	13.73	13.43	12.50	10.93	9.02	9.17	10.18	12.40	13.51	14.04	14.26
10	1995	14.02	13.88	13.55	12.65	10.90	10.12	10.73	11.59	12.09	13.99	13.84	13.57
11	1996	13.33	13.48	13.60	12.60	11.40	9.48	9.15	11.12	12.72	13.65	13.55	13.55
12	1997	13.52	13.13	13.20	11.84	10.60	9.46	9.77	10.42	12.33	14.26	14.64	14.70
13	1998	15.06	15.38	14.68	13.80	11.41	10.53	10.25	12.07	12.92	14.30	14.05	13.62
14	1999	13.93	13.39	13.11	12.47	11.32	9.85	8.69	10.63	12.35	12.92	13.87	13.80
15	2000	13.17	13.21	12.78	12.84	11.30	9.92	9.64	11.23	12.66	13.09	14.37	13.32
16	2001	13.16	12.82	13.30	11.68	10.87	9.59	9.81	9.67	12.60	13.70	14.43	14.01
17	2002	13.90	13.39	13.54	12.46	10.65	10.63	9.31	10.54	12.82	13.98	13.80	14.12
18	2003	14.05	14.44	13.92	12.57	11.41	10.11	9.75	11.06	12.01	13.77	14.37	14.31
19	2004	14.23	14.01	13.54	12.78	11.18	9.30	9.48	10.00	12.73	13.91	14.08	14.10
20	2005	14.33	16.80	13.82	12.50	10.87	9.73	9.65	11.17	12.21	13.76	14.05	14.10
21	2006	13.24	13.97	13.43	12.46	9.83	10.21	9.34	11.77	12.85	13.48	13.54	13.35
22	2007	14.35	14.01	13.55	12.26	11.13	9.82	9.83	11.35	11.82	11.36	11.09	13.53
23	2008	12.63	12.79	12.12	11.77	10.45	9.98	9.69	11.35	12.18	13.47	14.02	13.53
24	2009	12.92	12.63	12.71	12.31	10.60	10.03	10.10	11.17	13.19	14.46	15.04	13.90
25	2010	13.48	13.46	13.33	12.64	11.66	11.01	10.69	11.07	13.24	13.99	14.43	13.71
26	2011	13.31	12.52	13.04	12.21	10.70	10.32	9.51	11.50	12.02	13.21	14.57	13.01
27	2012	13.44	12.54	12.65	11.96	10.44	10.10	10.07	11.06	12.60	14.71	14.80	13.43
28	2013	13.08	13.24	13.36	11.96	11.45	9.47	9.60	11.11	12.92	13.94	14.33	13.27
29	2014	13.57	13.28	13.13	12.20	11.11	10.76	9.84	10.93	12.83	13.63	14.78	14.15
30	2015	13.18	13.48	13.32	12.28	11.19	10.46	9.42	11.05	13.05	13.51	14.85	14.10
31	2016	15.19	15.25	14.95	13.61	11.74	10.54	10.33	11.90	12.99	12.51	14.50	13.89
32	2017	13.96	14.15	13.59	13.24	11.48	10.37	10.33	11.79	13.14	13.38	14.38	14.40
33	2018	13.41	14.62	13.81	12.78	11.12	9.52	9.55	11.16	12.62	13.70	15.00	13.71
NRO		33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0
MEDIA		13.66	13.72	13.36	12.50	11.0	9.9	9.6	10.9	12.5	13.5	14.1	13.8
D.E.		0.59	0.90	0.57	0.48	0.4	0.5	0.5	0.7	0.5	0.6	0.7	0.4
C.V.		0.04	0.07	0.04	0.04	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0
MIN		12.63	12.52	12.12	11.68	9.8	9.0	8.3	9.5	11.2	11.4	11.1	13.0
MAX		15.19	16.80	14.95	13.80	11.7	11.0	10.7	12.1	13.3	14.7	15.0	14.7

Fuente: Elaboración propia

3.6.3.3.3. Completación de datos de temperatura máxima media mensual

La temperatura máxima media mensual fue corregida incluyendo el valor de la media en el mes respectivo, tras realizar el análisis de tendencia arrojó que no era requerida una corrección, por lo cual no se optó por otro método de completación de datos.

Adicionalmente la temperatura máxima tiene incidencia únicamente en el cálculo de evapotranspiración mediante el software CROPWAT, por lo cual la completación de datos con la media resulta aceptable.



Tabla 62: Temperatura Máxima Mensual



"EVALUACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO DE LA CUENCA DE LA LAGUNA DE PIURAY CONSIDERANDO EL ESCENARIO MÁS DESFAVORABLE PARA EL AÑO 2040 SEGÚN EL MODELO WEAP, CON FINES DE ABASTECIMIENTO PARA LA CIUDAD DE CUSCO Y CHINCHERO"

DATOS COMPLETADOS CON LA MEDIA			
NOMBRE:	ESTACIÓN URUBAMBA	TIPO:	METEOROLÓGICA
LATITUD:	13° 18' 18.6"	DEPARTAMENTO:	CUSCO
LONGITUD:	71° 7' 28.4"	PROVINCIA:	URUBAMBA
ALTITUD:	2850	DISTRITO:	URUBAMBA
PARÁMETRO:	TEMPERATURA MÁXIMA MENSUAL (°C)	PERIODO:	1963-2018

DATOS SENAMHI

NRO	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1	1986	22.03	20.81	20.50	21.74	22.07	23.46	21.73	22.71	23.18	25.02	24.68	23.12
2	1987	21.86	23.24	23.31	23.18	22.87	22.14	22.04	23.95	23.55	23.58	22.53	23.10
3	1988	21.20	22.53	21.22	21.28	22.85	22.79	22.50	24.31	22.95	24.05	23.46	22.25
4	1989	20.65	21.20	21.37	21.70	21.88	21.66	21.41	22.34	22.80	23.96	24.23	24.17
5	1990	22.68	23.10	22.70	22.88	21.95	19.47	21.28	22.25	23.25	22.54	22.10	22.54
6	1991	23.02	22.30	21.62	22.43	23.75	22.73	23.13	22.78	22.23	22.30	21.72	22.68
7	1992	22.47	22.27	22.94	23.65	24.13	20.73	20.32	20.85	22.02	22.55	22.91	22.74
8	1993	21.20	21.82	21.70	21.81	23.35	23.24	22.05	21.39	21.98	22.91	22.66	22.07
9	1994	21.32	21.26	21.39	21.49	22.81	21.87	21.92	22.77	22.46	22.71	22.97	22.52
10	1995	22.10	22.24	21.40	23.31	23.92	22.70	22.81	23.87	22.60	23.90	22.83	22.48
11	1996	20.90	21.37	21.75	21.41	22.65	22.09	21.72	21.38	22.74	23.23	22.51	21.50
12	1997	21.57	20.44	21.38	22.24	22.26	22.81	22.75	20.95	22.91	24.12	23.50	23.04
13	1998	23.00	23.36	23.60	24.48	24.54	22.33	23.55	23.71	24.08	23.31	23.19	22.12
14	1999	21.80	20.86	20.15	21.32	22.26	22.65	21.29	22.85	22.49	22.12	24.21	22.50
15	2000	21.17	21.55	21.76	23.60	24.03	22.67	22.41	23.03	24.18	22.83	25.35	23.34
16	2001	20.93	20.82	21.39	22.33	23.05	22.51	22.04	22.77	24.18	24.63	24.03	24.12
17	2002	23.40	21.85	22.71	22.86	23.06	23.11	20.30	23.11	23.29	23.22	23.30	23.04
18	2003	22.64	23.26	22.65	23.48	23.14	23.14	22.32	22.08	23.37	24.77	24.59	22.42
19	2004	21.87	21.64	22.64	23.60	23.50	20.91	20.32	20.84	22.53	23.02	23.23	23.00
20	2005	22.80	21.96	22.43	23.25		22.89	22.31	23.54	22.09	22.57	23.34	22.35
21	2006	20.94	22.19	21.43	22.15	22.98	21.99	22.91	22.68	23.54	23.31	22.09	21.93
22	2007	22.54	21.89	21.45	21.91	22.58	23.27	21.31	22.97	22.07	22.97	23.24	22.53
23	2008	20.31	21.74	21.08	22.66	22.75	22.77	22.68	23.65	23.57	23.02	23.99	21.43
24	2009	21.19	21.20	21.59	22.88	23.11	23.39	21.91	23.74	24.23	24.61	22.97	21.70
25	2010	21.61	22.29	22.38	23.76	23.41	23.26	23.53	26.16	26.02	25.81	25.80	24.15
26	2011	23.52	22.24	22.83	23.90	24.91	24.36	23.11	24.37	23.95	24.93	26.17	23.10
27	2012	23.65	22.32	23.58	23.89	24.66	24.21	24.72	25.16	24.84	25.65	24.88	22.61
28	2013	22.76	22.54	23.26	24.55	24.27	22.20	22.72	23.43	25.58	23.74	24.24	22.54
29	2014	23.00	23.33	23.68	29.93	23.12	24.92	23.44	24.19	24.20	24.66	25.27	23.77
30	2015	22.36	23.10	23.85	22.43	23.00	23.71	23.83	24.44	25.17	24.96	25.02	23.21
31	2016	24.41	23.01	25.35	24.67	25.25	23.64	23.62	24.35	25.23	23.22	25.00	22.60
32	2017	22.37	22.52	21.92	22.39	22.46	23.19	23.37	24.28	23.91	24.42	24.15	23.05
33	2018	22.21	22.56	22.21	23.33	23.85	21.08	21.68	22.17	24.53			
NRO		33.0	33.0	33.0	33.0	32.0	33.0	33.0	33.0	33.0	32.0	32.0	32.0
MEDIA		22.11	22.09	22.22	23.05	23.3	22.7	22.3	23.1	23.5	23.7	23.8	22.7
D.E.		0.97	0.81	1.09	1.57	0.9	1.1	1.0	1.2	1.1	1.0	1.1	0.7
C.V.		0.04	0.04	0.05	0.07	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
MIN		20.31	20.44	20.15	21.28	21.9	19.5	20.3	20.8	22.0	22.1	21.7	21.4
MAX		24.41	23.36	25.35	29.93	25.3	24.9	24.7	26.2	26.0	25.8	26.2	24.2

Fuente: SENAMHI



Tabla 63: Cuadro completado Temperatura máxima mensual



"EVALUACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO DE LA CUENCA DE LA LAGUNA DE PIURAY CONSIDERANDO EL ESCENARIO MÁS DESFAVORABLE PARA EL AÑO 2040 SEGÚN EL MODELO WEAP, CON FINES DE ABASTECIMIENTO PARA LA CIUDAD DE CUSCO Y CHINCHERO"

DATOS COMPLETADOS CON LA MEDIA				
NOMBRE:	ESTACIÓN URUBAMBA		TIPO:	METEOROLÓGICA
LATITUD:	13° 18' 18.6"		DEPARTAMENTO:	CUSCO
LONGITUD:	71° 7' 28.4"		PROVINCIA:	URUBAMBA
ALTITUD:	2850		DISTRITO:	URUBAMBA
PARÁMETRO:	TEMPERATURA MÁXIMA MENSUAL (°C)		PERIODO:	1963-2018

DATOS COMPLETADOS

NRO	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
22	1986	22.03	20.81	20.50	21.74	22.07	23.46	21.73	22.71	23.18	25.02	24.68	23.12
23	1987	21.86	23.24	23.31	23.18	22.87	22.14	22.04	23.95	23.55	23.58	22.53	23.10
24	1988	21.20	22.53	21.22	21.28	22.85	22.79	22.50	24.31	22.95	24.05	23.46	22.25
25	1989	20.65	21.20	21.37	21.70	21.88	21.66	21.41	22.34	22.80	23.96	24.23	24.17
26	1990	22.68	23.10	22.70	22.88	21.95	19.47	21.28	22.25	23.25	22.54	22.10	22.54
27	1991	23.02	22.30	21.62	22.43	23.75	22.73	23.13	22.78	22.23	22.30	21.72	22.68
28	1992	22.47	22.27	22.94	23.65	24.13	20.73	20.32	20.85	22.02	22.55	22.91	22.74
29	1993	21.20	21.82	21.70	21.81	23.35	23.24	22.05	21.39	21.98	22.91	22.66	22.07
30	1994	21.32	21.26	21.39	21.49	22.81	21.87	21.92	22.77	22.46	22.71	22.97	22.52
31	1995	22.10	22.24	21.40	23.31	23.92	22.70	22.81	23.87	22.60	23.90	22.83	22.48
32	1996	20.90	21.37	21.75	21.41	22.65	22.09	21.72	21.38	22.74	23.23	22.51	21.50
33	1997	21.57	20.44	21.38	22.24	22.26	22.81	22.75	20.95	22.91	24.12	23.50	23.04
34	1998	23.00	23.36	23.60	24.48	24.54	22.33	23.55	23.71	24.08	23.31	23.19	22.12
35	1999	21.80	20.86	20.15	21.32	22.26	22.65	21.29	22.85	22.49	22.12	24.21	22.50
36	2000	21.17	21.55	21.76	23.60	24.03	22.67	22.41	23.03	24.18	22.83	25.35	23.34
37	2001	20.93	20.82	21.39	22.33	23.05	22.51	22.04	22.77	24.18	24.63	24.03	24.12
38	2002	23.40	21.85	22.71	22.86	23.06	23.11	20.30	23.11	23.29	23.22	23.30	23.04
39	2003	22.64	23.26	22.65	23.48	23.14	23.14	22.32	22.08	23.37	24.77	24.59	22.42
40	2004	21.87	21.64	22.64	23.60	23.50	20.91	20.32	20.84	22.53	23.02	23.23	23.00
41	2005	22.80	21.96	22.43	23.25	23.26	22.89	22.31	23.54	22.09	22.57	23.34	22.35
42	2006	20.94	22.19	21.43	22.15	22.98	21.99	22.91	22.68	23.54	23.31	22.09	21.93
43	2007	22.54	21.89	21.45	21.91	22.58	23.27	21.31	22.97	22.07	22.97	23.24	22.53
44	2008	20.31	21.74	21.08	22.66	22.75	22.77	22.68	23.65	23.57	23.02	23.99	21.43
45	2009	21.19	21.20	21.59	22.88	23.11	23.39	21.91	23.74	24.23	24.61	22.97	21.70
46	2010	21.61	22.29	22.38	23.76	23.41	23.26	23.53	26.16	26.02	25.81	25.80	24.15
47	2011	23.52	22.24	22.83	23.90	24.91	24.36	23.11	24.37	23.95	24.93	26.17	23.10
48	2012	23.65	22.32	23.58	23.89	24.66	24.21	24.72	25.16	24.84	25.65	24.88	22.61
49	2013	22.76	22.54	23.26	24.55	24.27	22.20	22.72	23.43	25.58	23.74	24.24	22.54
50	2014	23.00	23.33	23.68	29.93	23.12	24.92	23.44	24.19	24.20	24.66	25.27	23.77
51	2015	22.36	23.10	23.85	22.43	23.00	23.71	23.83	24.44	25.17	24.96	25.02	23.21
52	2016	24.41	23.01	25.35	24.67	25.25	23.64	23.62	24.35	25.23	23.22	25.00	22.60
53	2017	22.37	22.52	21.92	22.39	22.46	23.19	23.37	24.28	23.91	24.42	24.15	23.05
54	2018	22.21	22.56	22.21	23.33	23.85	21.08	21.68	22.17	24.53	23.71	23.76	22.74
NRO		33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0
MEDIA		22.11	22.09	22.22	23.05	23.3	22.7	22.3	23.1	23.5	23.7	23.8	22.7
D.E.		0.97	0.81	1.09	1.57	0.9	1.1	1.0	1.2	1.1	1.0	1.1	0.7
C.V.		0.04	0.04	0.05	0.07	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
MIN		20.31	20.44	20.15	21.28	21.9	19.5	20.3	20.8	22.0	22.1	21.7	21.4
MAX		24.41	23.36	25.35	29.93	25.3	24.9	24.7	26.2	26.0	25.8	26.2	24.2

Fuente: Elaboración propia

3.6.3.3.4. Completación de datos de temperatura mínima media mensual

La temperatura mínima influye únicamente en la generación de evapotranspiración mediante el software CROPWAT, por lo cual se optó por completar los datos mediante la media. Se incluyó el valor de la media en el mes respectivo, posteriormente se realizó un análisis de tendencia, el cual arrojó que no era requerida una corrección.



Tabla 64: Temperatura mínima mensual



"EVALUACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO DE LA CUENCA DE LA LAGUNA DE PIURAY CONSIDERANDO EL ESCENARIO MÁS DESFAVORABLE PARA EL AÑO 2040 SEGÚN EL MODELO WEAP, CON FINES DE ABASTECIMIENTO PARA LA CIUDAD DE CUSCO Y CHINCHERO"

DATOS GENERALES DE LA ESTACIÓN			
NOMBRE:	ESTACIÓN URUBAMBA	TIPO:	METEOROLÓGICA
LATITUD:	13° 18' 18.6"	DEPARTAMENTO :	CUSCO
LONGITUD:	71° 7' 28.4"	PROVINCIA :	URUBAMBA
ALTITUD:	2850	DISTRITO :	URUBAMBA
PARÁMETRO:	TEMPERATURA MINIMA MENSUAL (°C)	PERIODO:	1963-2018

DATOS SENAMHI

NRO	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
22	1986	9.65	9.93	9.59	7.18	3.26	1.84	1.33	3.98	5.68	6.83	8.05	9.81
23	1987	10.58	9.95	8.61	7.03	3.72	1.85	1.63	3.14	6.45	8.05	10.01	9.36
24	1988	10.07	9.48	9.88	8.23	4.82	2.02	0.23	1.87	5.02	7.94	8.66	9.01
25	1989	9.35	8.99	8.70	8.03	4.56	3.27	0.73	3.50	5.79	7.77	7.84	9.27
26	1990	9.46	8.54	7.61	6.88	4.03	3.83	1.80	2.82	5.69	7.53	8.82	9.30
27	1991	9.74	9.40	9.61	7.01	5.01	2.96	-0.23	1.39	4.41	7.44	8.23	8.07
28	1992	8.88	9.36	8.33	6.57	4.85	3.01	0.46	3.23	5.51	7.30	8.04	8.48
29	1993	8.96	8.91	8.45	7.76	4.76	1.20	2.09	3.13	5.07	7.77	9.74	9.37
30	1994	9.61	9.50	9.07	8.21	4.90	1.94	0.95	2.29	6.02	7.61	8.93	9.40
31	1995	9.55	9.51	9.23	7.05	4.02	2.47	3.34	4.24	5.53	7.76	8.57	8.58
32	1996	9.28	9.79	9.28	8.32	5.70	1.75	1.07	3.94	6.09	7.59	8.24	9.09
33	1997	9.70	8.96	8.58	6.87	4.35	1.40	1.43	4.02	6.13	8.17	9.61	10.09
34	1998	10.34	10.66	9.83	8.21	2.97	2.78	1.25	3.30	5.12	8.00	8.59	8.42
35	1999	8.58	7.87	8.23	7.53	5.34	3.23	1.09	2.74	6.34	7.03	7.80	8.91
36	2000	9.01	9.18	8.89	7.37	5.62	3.29	2.43	3.79	6.17	8.28	7.91	8.50
37	2001	9.55	9.45	9.37	6.83	5.41	2.97	3.43	2.52	6.28	8.60	9.52	9.59
38	2002	9.55	10.28	9.66	8.79	5.14	4.41	3.97	2.55	6.42	8.52	9.05	9.55
39	2003	9.95	10.04	9.83	7.58	5.57	4.63	1.86	4.06	5.11	7.46	8.68	9.56
40	2004	10.01	9.18	9.34	7.91	5.38	2.67	2.21	3.24	6.48	8.17	9.20	9.52
41	2005	10.00	10.31	9.99	8.27		2.91	1.61	3.57	5.87	8.78	9.05	10.32
42	2006	9.66	9.76	9.69	7.97	3.65	4.64	0.75	4.37	6.73	8.64	9.33	9.74
43	2007	10.51	9.83	9.77	8.55	5.96	2.59	3.07	2.90	5.57	7.66	8.81	9.37
44	2008	9.26	8.51	7.95	6.65	3.73	1.83	2.18	4.72	5.67	8.50	8.86	9.11
45	2009	8.55	8.39	8.03	7.95	4.26	2.35	2.74	3.66	6.37	7.57	9.48	9.20
46	2010	8.65	9.55	8.61	4.98	2.83	2.77	3.00	4.17	6.82	8.38	9.30	9.40
47	2011	9.30	8.49	8.34	7.47	4.43	2.70	2.01	3.54	5.73	7.74	8.20	8.10
48	2012	8.35	8.92	7.90	7.29	4.43	2.25	1.37	3.21	5.66	8.46	9.52	10.12
49	2013	9.05	9.97	9.81	7.11	6.47	4.10	2.66	4.05	6.11	8.85	8.98	9.93
50	2014	10.31	9.86	8.70	7.40	6.19	4.73	2.67	2.74	6.60	8.55	8.67	9.82
51	2015	8.67	9.66	9.19	8.54	6.91	4.96	2.55	3.58	6.77	8.14	9.27	9.85
52	2016	10.72	11.21	10.11	9.10	4.64	3.60	1.45	4.28	6.12	8.23	7.89	8.70
53	2017	9.46	9.36	9.73	8.69	6.34	4.04	3.10	4.73	6.48	7.93	9.34	9.64
54	2018	9.31	9.94	9.93	8.37	6.04	3.90	3.33	5.09	6.72			
NRO		33.0	33.0	33.0	33.0	32.0	33.0	33.0	33.0	33.0	32.0	32.0	32.0
MEDIA		9.50	9.48	9.09	7.63	4.9	3.0	1.9	3.5	6.0	8.0	8.8	9.3
D.E.		0.61	0.69	0.72	0.83	1.0	1.0	1.0	0.8	0.6	0.5	0.6	0.6
C.V.		0.06	0.07	0.08	0.11	0.2	0.3	0.5	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1
MIN		8.35	7.87	7.61	4.98	2.8	1.2	-0.2	1.4	4.4	6.8	7.8	8.1
MAX		10.72	11.21	10.11	9.10	6.9	5.0	4.0	5.1	6.8	8.9	10.0	10.3

Fuente: SENAMHI



Tabla 65: Cuadro completado de temperatura mínima mensual



"EVALUACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO DE LA CUENCA DE LA LAGUNA DE PIURAY CONSIDERANDO EL ESCENARIO MÁS DESFAVORABLE PARA EL AÑO 2040 SEGÚN EL MODELO WEAP, CON FINES DE ABASTECIMIENTO PARA LA CIUDAD DE CUSCO Y CHINCHERO"

DATOS GENERALES DE LA ESTACIÓN			
NOMBRE:	ESTACIÓN URUBAMBA	TIPO:	METEOROLÓGICA
LATITUD:	13° 18' 18.6"	DEPARTAMENTO :	CUSCO
LONGITUD:	71° 7' 28.4"	PROVINCIA :	URUBAMBA
ALTITUD:	2850	DISTRITO :	URUBAMBA
PARÁMETRO:	TEMPERATURA MINIMA MENSUAL (°C)	PERIODO:	1963-2018

DATOS COMPLETADOS

NRO	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
22	1986	9.65	9.93	9.59	7.18	3.26	1.84	1.33	3.98	5.68	6.83	8.05	9.81
23	1987	10.58	9.95	8.61	7.03	3.72	1.85	1.63	3.14	6.45	8.05	10.01	9.36
24	1988	10.07	9.48	9.88	8.23	4.82	2.02	0.23	1.87	5.02	7.94	8.66	9.01
25	1989	9.35	8.99	8.70	8.03	4.56	3.27	0.73	3.50	5.79	7.77	7.84	9.27
26	1990	9.46	8.54	7.61	6.88	4.03	3.83	1.80	2.82	5.69	7.53	8.82	9.30
27	1991	9.74	9.40	9.61	7.01	5.01	2.96	-0.23	1.39	4.41	7.44	8.23	8.07
28	1992	8.88	9.36	8.33	6.57	4.85	3.01	0.46	3.23	5.51	7.30	8.04	8.48
29	1993	8.96	8.91	8.45	7.76	4.76	1.20	2.09	3.13	5.07	7.77	9.74	9.37
30	1994	9.61	9.50	9.07	8.21	4.90	1.94	0.95	2.29	6.02	7.61	8.93	9.40
31	1995	9.55	9.51	9.23	7.05	4.02	2.47	3.34	4.24	5.53	7.76	8.57	8.58
32	1996	9.28	9.79	9.28	8.32	5.70	1.75	1.07	3.94	6.09	7.59	8.24	9.09
33	1997	9.70	8.96	8.58	6.87	4.35	1.40	1.43	4.02	6.13	8.17	9.61	10.09
34	1998	10.34	10.66	9.83	8.21	2.97	2.78	1.25	3.30	5.12	8.00	8.59	8.42
35	1999	8.58	7.87	8.23	7.53	5.34	3.23	1.09	2.74	6.34	7.03	7.80	8.91
36	2000	9.01	9.18	8.89	7.37	5.62	3.29	2.43	3.79	6.17	8.28	7.91	8.50
37	2001	9.55	9.45	9.37	6.83	5.41	2.97	3.43	2.52	6.28	8.60	9.52	9.59
38	2002	9.55	10.28	9.66	8.79	5.14	4.41	3.97	2.55	6.42	8.52	9.05	9.55
39	2003	9.95	10.04	9.83	7.58	5.57	4.63	1.86	4.06	5.11	7.46	8.68	9.56
40	2004	10.01	9.18	9.34	7.91	5.38	2.67	2.21	3.24	6.48	8.17	9.20	9.52
41	2005	10.00	10.31	9.99	8.27	4.85	2.91	1.61	3.57	5.87	8.78	9.05	10.32
42	2006	9.66	9.76	9.69	7.97	3.65	4.64	0.75	4.37	6.73	8.64	9.33	9.74
43	2007	10.51	9.83	9.77	8.55	5.96	2.59	3.07	2.90	5.57	7.66	8.81	9.37
44	2008	9.26	8.51	7.95	6.65	3.73	1.83	2.18	4.72	5.67	8.50	8.86	9.11
45	2009	8.55	8.39	8.03	7.95	4.26	2.35	2.74	3.66	6.37	7.57	9.48	9.20
46	2010	8.65	9.55	8.61	4.98	2.83	2.77	3.00	4.17	6.82	8.38	9.30	9.40
47	2011	9.30	8.49	8.34	7.47	4.43	2.70	2.01	3.54	5.73	7.74	8.20	8.10
48	2012	8.35	8.92	7.90	7.29	4.43	2.25	1.37	3.21	5.66	8.46	9.52	10.12
49	2013	9.05	9.97	9.81	7.11	6.47	4.10	2.66	4.05	6.11	8.85	8.98	9.93
50	2014	10.31	9.86	8.70	7.40	6.19	4.73	2.67	2.74	6.60	8.55	8.67	9.82
51	2015	8.67	9.66	9.19	8.54	6.91	4.96	2.55	3.58	6.77	8.14	9.27	9.85
52	2016	10.72	11.21	10.11	9.10	4.64	3.60	1.45	4.28	6.12	8.23	7.89	8.70
53	2017	9.46	9.36	9.73	8.69	6.34	4.04	3.10	4.73	6.48	7.93	9.34	9.64
54	2018	9.31	9.94	9.93	8.37	6.04	3.90	3.33	5.09	6.72	7.98	8.82	9.29
NRO		33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0
MEDIA		9.50	9.48	9.09	7.63	4.9	3.0	1.9	3.5	6.0	8.0	8.8	9.3
D.E.		0.61	0.69	0.72	0.83	1.0	1.0	1.0	0.8	0.6	0.5	0.6	0.6
C.V.		0.06	0.07	0.08	0.11	0.2	0.3	0.5	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1
MIN		8.35	7.87	7.61	4.98	2.8	1.2	-0.2	1.4	4.4	6.8	7.8	8.1
MAX		10.72	11.21	10.11	9.10	6.9	5.0	4.0	5.1	6.8	8.9	10.0	10.3

Fuente: Elaboración propia

3.6.3.3.5. Completación de datos de humedad relativa media mensual

Los datos de humedad relativa media mensual son valores requeridos para la generación de caudales y el cálculo de evapotranspiración, sin embargo, la cantidad de datos presentes en los datos suministrados por el SENAMHI nos hizo optar por la corrección mediante la media de los datos en los meses respectivos.



Tras realizar la consistencia de la humedad relativa media mensual se observó que era necesario una corrección.

Tabla 66: Humedad relativa media mensual



"EVALUACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO DE LA CUENCA DE LA LAGUNA DE PIURAY CONSIDERANDO EL ESCENARIO MÁS DESFAVORABLE PARA EL AÑO 2040 SEGÚN EL MODELO WEAP, CON FINES DE ABASTECIMIENTO PARA LA CIUDAD DE CUSCO Y CHINCHERO"

DATOS SENAMHI

NOMBRE:	ESTACIÓN ANTA	TIPO:	METEOROLÓGICA
LATITUD:	13° 28' 6"	DEPARTAMENTO :	CUSCO
LONGITUD:	71° 12' 57"	PROVINCIA :	ANTA
ALTITUD:	3340	DISTRITO :	ZURITE
PARÁMETRO:	HUMEDAD RELATIVA (%)	PERIODO:	1965-2018

NRO	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1	1986	71.59	72.31	71.82	69.54	67.12	67.28	66.10	65.34	67.34	67.88	67.59	68.45
2	1987	70.98	70.12	68.80	65.94	63.05	65.22	64.79	59.06	58.15	55.12	56.88	57.93
3	1988	59.81	63.04	64.90	63.68	59.35	51.40	52.45	54.19	61.53	63.74	60.28	63.12
4	1989	65.76	64.79	67.43	65.31	63.79	53.50	60.71	59.72	62.65	65.49	65.76	66.70
5	1990	68.14	67.25	65.44	63.17	62.95	63.25	61.27	57.72	58.39	63.00	66.49	65.95
6	1991	65.86	66.96	67.24	65.93	60.20	57.82	55.96	56.48	58.71	61.97		63.55
7	1992	64.66	65.53	67.23	59.83	58.14	57.71	57.99	62.23	61.51	59.90	61.84	62.65
8	1993	65.41	66.34	65.38	64.03	55.36	63.04	57.93	60.85	62.88	67.41	67.34	68.67
9	1994	71.55	69.70	68.84	65.59	62.83	67.23	68.70	65.18	65.11	66.03	66.28	67.05
10	1995	66.28	65.05	70.48	68.18	68.61	68.30	68.24	64.24	65.13	64.97	65.51	67.64
11	1996	70.77	71.82	69.91	69.38	68.21	69.63	67.20	68.81	71.49	73.36	73.58	76.42
12	1997		77.89	76.11	72.66	69.69	66.02	64.49	71.51	69.68	68.33	72.06	74.16
13	1998	73.45	74.09	73.27		67.56	66.99	65.12	68.46	68.65	70.99	68.83	69.58
14	1999	73.32	77.85	73.31	71.34	66.27	64.89	70.42	65.33	68.74	69.88	67.32	74.79
15	2000	79.00	79.83	77.78	68.49	68.49	68.38	67.84	66.52	67.34	69.72	66.13	70.93
16	2001	78.32	77.01	77.05	68.04	67.88	65.69	66.50	71.40	67.50	71.05	69.19	70.14
17	2002	70.58	77.49	74.93	69.91	67.55	65.86	71.80	68.95	68.93	71.49	72.54	73.86
18	2003	74.64	75.76	78.23	71.41	66.27	66.56	68.14	68.77	67.73	66.84	67.74	73.97
19	2004	77.23	75.38	75.74	76.13	72.45	84.23	90.14	83.29	74.55	75.74	78.79	84.98
20	2005	87.33	88.12	86.44	87.40	85.88	89.40	90.14	85.44	86.67	82.47	75.80	76.29
21	2006	81.27	81.06	80.56	85.31	88.59	90.28	89.20	85.31	81.92	85.30	88.73	89.88
22	2007	90.00	81.16	81.27	78.78	76.20	74.73	75.90	72.43	76.90	75.07	77.07	81.98
23	2008	92.33	90.40	90.42	90.10	92.58	89.18	90.61	89.77	87.00	89.74	89.27	91.39
24	2009	89.33	89.35	81.02	68.95	64.92	62.73	63.57	60.66	64.25	68.16	72.26	
25	2010	71.78	71.11	69.07	72.29	71.13	75.82	76.79	74.89	74.47	76.10	73.79	75.85
26	2011	75.76	79.16	75.98	75.83	77.28		81.45	78.11	78.64	74.37	71.34	77.05
27	2012	75.63	78.48	78.22	78.11	74.43	80.56	80.27	74.02	75.92	69.48	72.70	79.44
28	2013	82.90	85.87	81.10	80.90	76.34	75.68	86.75	70.57	75.76	84.04	72.67	74.30
29	2014	77.43	83.81	77.03	62.86	74.58	65.48	65.96	62.95	72.16	66.13	64.56	73.64
30	2015	77.84	76.73	77.19	79.23	76.33	70.60	67.21	66.85	67.36	67.44	71.16	76.47
31	2016	75.07	80.88	77.39	76.84	71.52	67.65	66.49	65.26	63.45	71.24	63.17	72.00
32	2017	77.61	77.17	84.61	83.83	83.40	71.10	70.37	70.75	74.42	72.49	74.92	79.75
33	2018	82.52	80.79	83.61	82.21	75.47	78.26	74.18	74.79	68.62			
NRO		32.0	33.0	33.0	32.0	33.0	32.0	33.0	33.0	33.0	32.0	31.0	31.0
MEDIA		75.13	75.83	75.08	72.54	70.4	69.5	70.4	68.8	69.5	70.5	70.4	73.2
D.E.		7.85	7.37	6.53	7.87	8.6	9.6	10.3	8.6	7.4	7.4	7.0	7.6
C.V.		0.10	0.10	0.09	0.11	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
MIN		59.81	63.04	64.90	59.83	55.4	51.4	52.5	54.2	58.2	55.1	56.9	57.9
MAX		92.33	90.40	90.42	90.10	92.6	90.3	90.6	89.8	87.0	89.7	89.3	91.4

Fuente: Elaboración propia



Tabla 67: Cuadro completado de humedad relativa media mensual



"EVALUACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO DE LA CUENCA DE LA LAGUNA DE PIURAY CONSIDERANDO EL ESCENARIO MÁS DESFAVORABLE PARA EL AÑO 2040 SEGÚN EL MODELO WEAP, CON FINES DE ABASTECIMIENTO PARA LA CIUDAD DE CUSCO Y CHINCHERO"

DATOS SENAMHI

NOMBRE:	ESTACIÓN ANTA	TIPO:	METEOROLÓGICA
LATITUD:	13° 28' 6"	DEPARTAMENTO :	CUSCO
LONGITUD:	71° 12' 57"	PROVINCIA :	ANTA
ALTITUD:	3340	DISTRITO :	ZURITE
PARÁMETRO:	HUMEDAD RELATIVA (%)	PERIODO:	1965-2018

NRO	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
22	1986	71.59	72.31	71.82	69.54	67.12	67.28	66.10	65.34	67.34	67.88	67.59	68.45
23	1987	70.98	70.12	68.80	65.94	63.05	65.22	64.79	59.06	58.15	55.12	56.88	57.93
24	1988	59.81	63.04	64.90	63.68	59.35	51.40	52.45	54.19	61.53	63.74	60.28	63.12
25	1989	65.76	64.79	67.43	65.31	63.79	53.50	60.71	59.72	62.65	65.49	65.76	66.70
26	1990	68.14	67.25	65.44	63.17	62.95	63.25	61.27	57.72	58.39	63.00	66.49	65.95
27	1991	65.86	66.96	67.24	65.93	60.20	57.82	55.96	56.48	58.71	61.97	70.37	63.55
28	1992	64.66	65.53	67.23	59.83	58.14	57.71	57.99	62.23	61.51	59.90	61.84	62.65
29	1993	65.41	66.34	65.38	64.03	55.36	63.04	57.93	60.85	62.88	67.41	67.34	68.67
30	1994	71.55	69.70	68.84	65.59	62.83	67.23	68.70	65.18	65.11	66.03	66.28	67.05
31	1995	66.28	65.05	70.48	68.18	68.61	68.30	68.24	64.24	65.13	64.97	65.51	67.64
32	1996	70.77	71.82	69.91	69.38	68.21	69.63	67.20	68.81	71.49	73.36	73.58	76.42
33	1997	75.13	77.89	76.11	72.66	69.69	66.02	64.49	71.51	69.68	68.33	72.06	74.16
34	1998	73.45	74.09	73.27	72.54	67.56	66.99	65.12	68.46	68.65	70.99	68.83	69.58
35	1999	73.32	77.85	73.31	71.34	66.27	64.89	70.42	65.33	68.74	69.88	67.32	74.79
36	2000	79.00	79.83	77.78	68.49	68.49	68.38	67.84	66.52	67.34	69.72	66.13	70.93
37	2001	78.32	77.01	77.05	68.04	67.88	65.69	66.50	71.40	67.50	71.05	69.19	70.14
38	2002	70.58	77.49	74.93	69.91	67.55	65.86	71.80	68.95	68.93	71.49	72.54	73.86
39	2003	74.64	75.76	78.23	71.41	66.27	66.56	68.14	68.77	67.73	66.84	67.74	73.97
40	2004	77.23	75.38	75.74	76.13	72.45	84.23	90.14	83.29	74.55	75.74	78.79	84.98
41	2005	87.33	88.12	86.44	87.40	85.88	89.40	90.14	85.44	86.67	82.47	75.80	76.29
42	2006	81.27	81.06	80.56	85.31	88.59	90.28	89.20	85.31	81.92	85.30	88.73	89.88
43	2007	90.00	81.16	81.27	78.78	76.20	74.73	75.90	72.43	76.90	75.07	77.07	81.98
44	2008	92.33	90.40	90.42	90.10	92.58	89.18	90.61	89.77	87.00	89.74	89.27	91.39
45	2009	89.33	89.35	81.02	68.95	64.92	62.73	63.57	60.66	64.25	68.16	72.26	73.18
46	2010	71.78	71.11	69.07	72.29	71.13	75.82	76.79	74.89	74.47	76.10	73.79	75.85
47	2011	75.76	79.16	75.98	75.83	77.28	69.51	81.45	78.11	78.64	74.37	71.34	77.05
48	2012	75.63	78.48	78.22	78.11	74.43	80.56	80.27	74.02	75.92	69.48	72.70	79.44
49	2013	82.90	85.87	81.10	80.90	76.34	75.68	86.75	70.57	75.76	84.04	72.67	74.30
50	2014	77.43	83.81	77.03	62.86	74.58	65.48	65.96	62.95	72.16	66.13	64.56	73.64
51	2015	77.84	76.73	77.19	79.23	76.33	70.60	67.21	66.85	67.36	67.44	71.16	76.47
52	2016	75.07	80.88	77.39	76.84	71.52	67.65	66.49	65.26	63.45	71.24	63.17	72.00
53	2017	77.61	77.17	84.61	83.83	83.40	71.10	70.37	70.75	74.42	72.49	74.92	79.75
54	2018	82.52	80.79	83.61	82.21	75.47	78.26	74.18	74.79	68.62	70.47	70.37	73.18
NRO		33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0
MEDIA		75.13	75.83	75.08	72.54	70.4	69.5	70.4	68.8	69.5	70.5	70.4	73.2
D.E.		7.72	7.37	6.53	7.74	8.6	9.4	10.3	8.6	7.4	7.3	6.8	7.4
C.V.		0.10	0.10	0.09	0.11	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
MIN		59.81	63.04	64.90	59.83	55.4	51.4	52.5	54.2	58.2	55.1	56.9	57.9
MAX		92.33	90.40	90.42	90.10	92.6	90.3	90.6	89.8	87.0	89.7	89.3	91.4

Fuente: Elaboración propia



3.7. Procedimiento de datos

3.7.1. Regionalización de precipitación total mensual

La precipitación varía en función a diferentes factores, por lo cual las lecturas de las estaciones son diferentes a las de la zona de estudio.

Los pluviómetros registran la lluvia puntual, es decir, la que se produce en el punto en la que está instalada el aparato. Para muchos problemas hidrológicos, se requiere conocer la altura de precipitación media de una zona. (Villón, Hidrología, 2002)

3.7.1.1. Información de las estaciones meteorológicas

Para obtener la precipitación que cae sobre el área de estudio se realizó la regionalización en base a la información de altura y ubicación de las estaciones frente a las características de la zona de estudio.

Tabla 68: Información de las estaciones meteorológicas

N°	Estación	Coordenadas Geográficas						Coordenadas UTM		Altitud msnm	Distrito	Provincia
		Latitud			Longitud			Datum GWS 1984				
		°	'	"	°	'	"	X (m)	Y(m)			
1	Pisac	-13	24	57	-71	51	3	191260.093	8515094.93	2950	Pisac	Calca
2	Kayra	-13	33	24.7	-71	52	29.8	188829.815	8499450.66	3219	San Jerónimo	Cusco
3	Urubamba	-13	18	18.6	-72	7	28.4	811549.457	8527316.4	2850	Urubamba	Urubamba
4	Anta	-13	28	6	-72	12	57	801449.163	8509365.3	3340	Zurite	Anta
5	Calca	-13	20	0	-71	57	0	180403.249	8524103.1	2926	Calca	Calca

Fuente: Elaboración propia

3.7.1.2. Determinación de coeficientes de correlación

Los coeficientes de correlación se obtienen mediante un análisis entre la temperatura y precipitación. Valiéndonos de los registros de las estaciones seleccionadas para la investigación, generamos gráficos con líneas de tendencias para diferentes distribuciones.

Tabla 69: Coeficientes de correlación

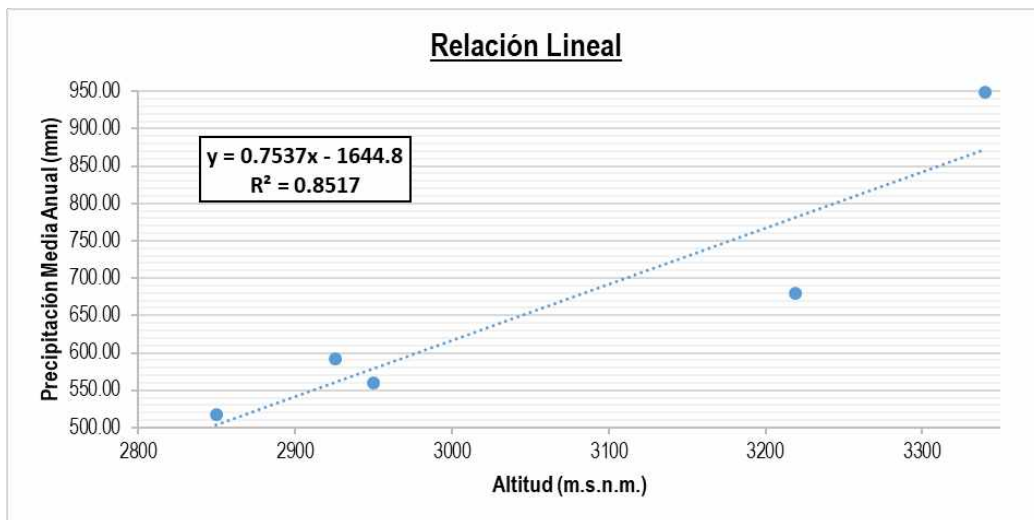
ESTACIÓN	ALTITUD	PREC. MEDIA ANUAL (m)
	m.s.n.m.	
Pisac	2950	559.58
Kayra	3219	679.86
Urubamba	2850	516.90
Anta	3340	948.19
Calca	2926	592.30

Fuente: Elaboración propia



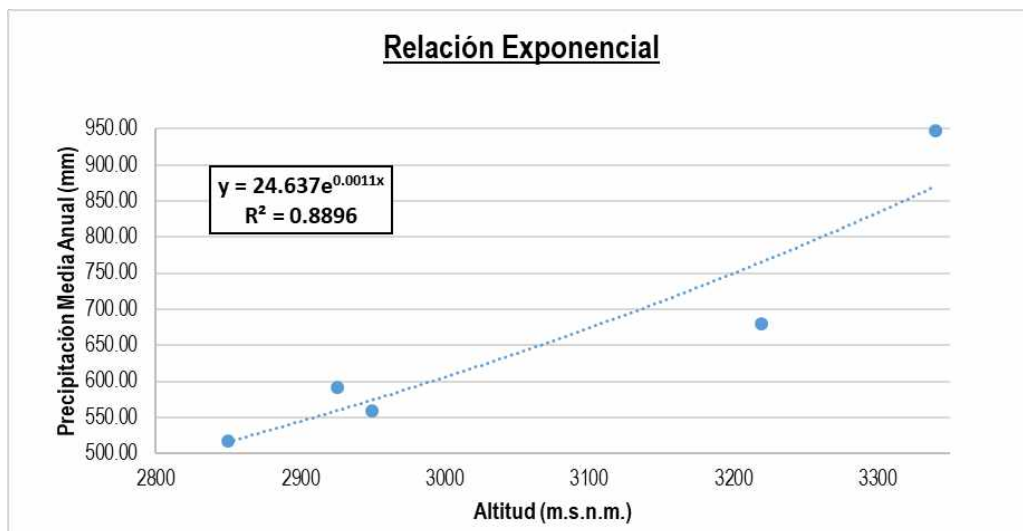
Las distribuciones se generan en base a los datos presentados en la Tabla N° 70.

Fig. N° 76: Distribución de regresión lineal - Precipitación



Fuente: Elaboración propia

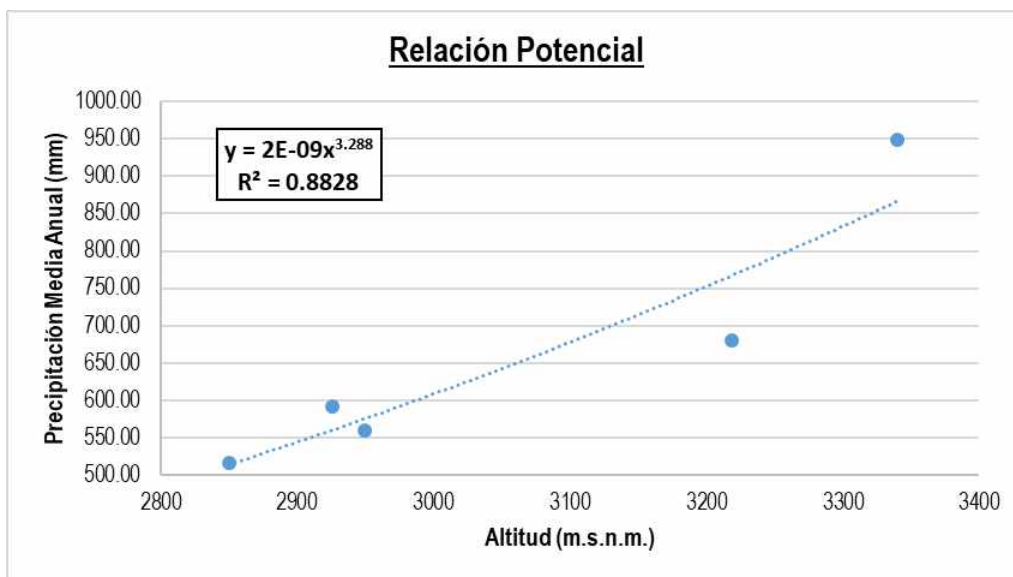
Fig. N° 77: Distribución de relación exponencial - Precipitación



Fuente: Elaboración propia

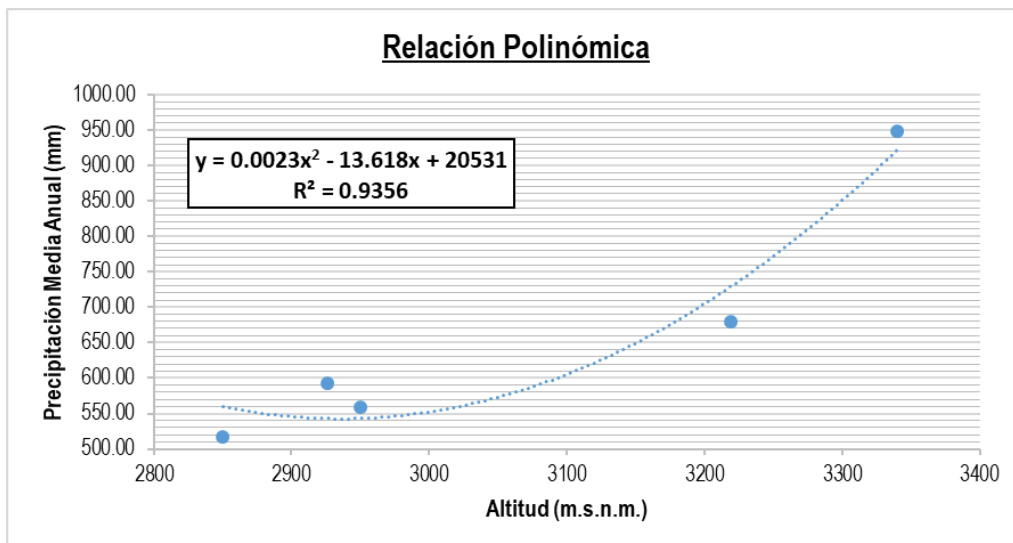


Fig. N° 78: Distribución de relación potencial - Precipitación



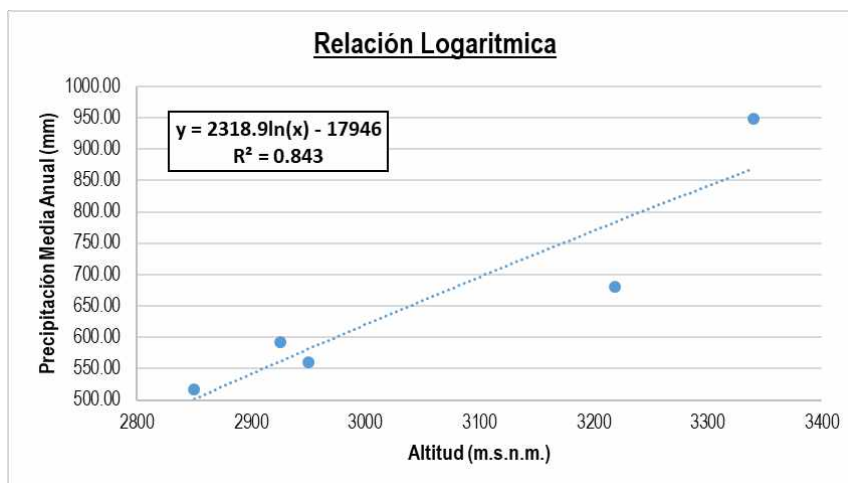
Fuente: Elaboración propia

Fig. N° 79: Distribución de relación polinómica - Precipitación



Fuente: Elaboración propia

Fig. N° 80: Distribución de relación logarítmica - Precipitación



Fuente: Elaboración propia

De las Fig. 76-80 obtenemos los valores de los coeficientes de determinación, al cual se extraemos la raíz cuadrada para obtener el coeficiente de relación.

Tabla 70: Coeficientes de correlación - Precipitación

ESTACIONES	
Pisac, Kayra, Urubamba, Anta, Calca	
Lineal	0.924
Exponencial	0.945
Logarítmica	0.920
Potencial	0.941
Polinómica	0.969
Max r	0.969

Fuente: Elaboración propia

Tabla 71: Resumen de coeficientes por distribución

		LINEAL	EXPONENCIAL	LOGARITMICA	POTENCIAL	POLINOMICA
		$y = a x + b$	$y = a e^{bx}$	$a \ln(x) + b$	$y = a x^b$	$y = a x^2 + b x + c$
CORRELACIÓN - r		0.9243	0.9451	0.9195	0.9415	0.9690
DETERMINACIÓN - R²		0.8544	0.8933	0.8455	0.8864	0.939
COEFICIENTE S	a	0.757	24.243	2327.600	0.000	0.0023
	b	-1654.300	0.0011	-18017.000	3.303	-13.716
	c					20677.000

Fuente: Elaboración propia



Tabla 72: Precipitación total mensual corregida

ESTACIÓN	ALTITUD	PRECIPITACIÓN POR RELACIÓN:					
		ORIGINAL	LINEAL	EXPON.	LOGARIT.	POTEN.	POLINÓ.
Pisac	2950	559.583	577.670	622.117	579.501	5774.377	230.550
Kayra	3219	679.860	781.195	836.334	782.620	7703.385	357.706
Urubamba	2850	516.901	502.010	557.313	499.231	5152.726	268.150
Anta	3340	948.191	872.744	955.398	868.509	8701.862	523.440
Calca	2926	592.305	559.512	605.908	560.487	5620.662	235.379
MICROCUENCA	ALTITUD	PRECIPITACIÓN POR RELACIÓN:					
		ORIGINAL	LINEAL	EXPON.	LOGARIT.	POTEN.	POLINÓ.
MICROCUENCA LAGUN	3922.2		1313.24	1812.66	1242.51	14794.47	2262.51
MICROCUENCA 01	3785.57		1209.86	1559.71	1159.98	13159.51	1714.36
MICROCUENCA 02	3997.89		1370.50	1970.04	1287.00	15758.58	2603.13
MICROCUENCA 03	4199.35		1522.93	2458.76	1401.43	18536.94	3638.16
MICROCUENCA 04	4151.42		1486.66	2332.49	1374.71	17847.27	3374.99
MICROCUENCA 05	4003.6		1374.82	1982.45	1290.32	15833.04	2629.89
MICROCUENCA 06	4008.61		1378.61	1993.40	1293.23	15898.58	2653.50
MICROCUENCA 07	3784.87		1209.33	1558.51	1159.55	13151.48	1711.78
MICROCUENCA 08	3707.2		1150.57	1430.88	1111.29	12280.95	1438.71
MICROCUENCA 09	3717.67		1158.49	1447.46	1117.86	12395.89	1473.90
MICROCUENCA 10	3815.61		1232.59	1612.11	1178.38	13507.58	1827.52
MICROCUENCA 11	3756.97		1188.22	1511.40	1142.33	12833.98	1610.49
MICROCUENCA 12	3805.38		1224.85	1594.07	1172.13	13388.34	1788.52
MICROCUENCA 13	3751.19		1183.85	1501.83	1138.75	12768.89	1589.96

Fuente: Elaboración propia

3.7.1.3. Determinación de factores de influencia

Para la determinación de valores de precipitación se seleccionó la relación lineal. Con los valores obtenidos podemos determinar los distintos factores de influencias, mediante la Tabla N° 73, cuyo proceso de obtención es expresado a continuación.

- **Precipitación corregida:** La precipitación se obtiene gracias a la altura de cada una de las estaciones seleccionadas para el estudio, aplicando dichos valores a la siguiente ecuación.

$$y = 0.7537 * x - 1644.8 \quad \dots (3.44)$$

- y = precipitación corregida
- x = Altura de la estación
- **Diferencia de altitud:** Se obtiene restando la altura de cada una de las estaciones con la altitud de la zona en estudio.



- **% de diferencia de altitud:** Determinamos el porcentaje de cada una de las diferencias de altitudes frente a la sumatoria total de las mismas.
- **Porcentaje inverso:** Dividimos 1 entre el porcentaje de la diferencia de altitud.
- **Factor de Influencia de Altitud:** Hallamos el factor de influencia mediante la siguiente fórmula:

$$Factor\ de\ influencia\ por\ altitud = \frac{\left(\frac{1}{\%}\right)}{\sum \frac{1}{\%}} \quad (3.45)$$

- **Factor de influencia de precipitación:** Obtenemos el factor de influencia de precipitación mediante la siguiente fórmula.

$$F.I.\ por\ precipitación = \frac{P.Histórica\ de\ las\ estaciones}{P.Histórica\ de\ la\ zona\ de\ estudio} \quad \dots (3.46)$$

- **Factor de influencia total:** Para hallar el valor multiplicamos los factores previos.

$$Factor\ de\ influencia = F.I.\ de\ Altitud * F.I.\ de\ Precipitación \quad \dots (3.47)$$

Finalmente consolidamos los datos en la tabla N° 74.

Tabla 73: Factores de influencia para precipitación

COEFICIENTES PARA LA GENERACIÓN DE PRECIPITACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO										
ESTACIONES	ALTITUD	PRECIPITACIÓN HISTÓRICA	PRECIPITACIÓN CORREGIDA	CUENCA						
				Δ DE ALTITUD	%	1/%	FI DE ALTITUD	FI DE PRECIPITA	FI TOTAL	PRECIPITACIÓN
Pisac	2950	559.583	577.67	757.20	23.291	4.2934	0.155	2.056	0.318	177.949
Kayra	3219	679.860	781.20	488.20	15.017	6.6592	0.240	1.692	0.406	276.000
Urubamba	2850	516.901	502.01	857.20	26.367	3.7926	0.137	2.226	0.304	157.190
Anta	3340	948.191	872.74	367.20	11.295	8.8535	0.319	1.213	0.387	366.947
Calca	2926	592.305	559.51	781.20	24.030	4.1615	0.150	1.943	0.291	172.482
			Σ	3251	100	27.760	1.000	9.130	1.706	1150.568

Fuente: Elaboración propio

3.7.1.4. Cálculo de la precipitación total mensual de la microcuenca en estudio

Inicialmente consolidamos los valores de los factores de influencia por cada estación, esto expresado en la Tabla N° 75.



Tabla 74: Consolidado de factores de influencia

AREA DE INTERES	PISAC	KAYRA	URUBAMBA	ANTA	CALCA
Microcuenca Laguna de Pi	0.4200	0.3745	0.4424	0.2972	0.5286

Fuente: Elaboración propia

Para obtener el valor de precipitación total media para cada mes de un año determinado aplicamos la siguiente fórmula.

$$P. \text{ microcuenca}_{\text{enero}} = P. \text{ Pisac}_{\text{enero}} * F.I. \text{ Pisac} + P. \text{ Kayra}_{\text{enero}} * F.I. \text{ Kayra} + P. \text{ Urubamba}_{\text{enero}} * F. I. \text{ Urubamba} + P. \text{ Anta}_{\text{enero}} * F. I. \text{ Anta} + P. \text{ Calca}_{\text{enero}} * F. I. \text{ Calca}$$

Aplicamos la fórmula en cada uno de los meses de los años en estudio para poder determinar la precipitación en la zona de estudio y así procesar la información.

La Tabla N° 76 presenta el consolidado de datos de precipitación total mensual de la microcuenca.



Tabla 75: Precipitación total mensual regionalizada



"EVALUACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO DE LA CUENCA DE LA LAGUNA DE PIURAY CONSIDERANDO EL ESCENARIO MÁS DESFAVORABLE PARA EL AÑO 2040 SEGÚN EL MODELO WEAP, CON FINES DE ABASTECIMIENTO PARA LA CIUDAD DE CUSCO Y CHINCHERO"

PRECIPITACIÓN AFECTADA POR FACTORES DE ALTURA Y DISTANCIA

ZONA DE ESTUDIO:	Microcuenca Laguna de Piuray
------------------	------------------------------

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1986	161.762	197.178	248.536	100.483	22.296	3.279	5.884	8.380	6.258	28.803	105.565	123.231	1011.655
1987	388.959	175.569	88.979	14.078	2.952	20.883	24.716	0.000	18.779	45.499	195.557	220.973	1196.945
1988	252.092	200.395	345.597	144.257	4.553	0.000	0.000	0.000	12.194	45.362	71.745	188.555	1264.750
1989	276.945	202.116	238.541	96.297	26.965	14.747	1.481	8.513	39.578	79.500	86.738	136.227	1207.648
1990	243.287	161.080	81.600	80.152	9.532	71.413	0.000	17.855	18.793	131.675	136.208	150.687	1102.283
1991	198.525	316.171	218.307	82.685	9.834	26.663	0.562	0.840	17.364	93.029	182.572	151.014	1297.566
1992	256.564	167.982	118.777	39.452	1.130	58.541	0.000	44.937	5.339	80.007	180.951	144.362	1098.042
1993	301.624	295.669	117.884	70.173	6.687	4.936	8.204	44.100	31.126	115.493	219.740	402.043	1617.679
1994	435.995	338.676	356.154	105.844	19.040	0.655	0.000	0.089	46.485	107.464	105.963	339.913	1856.277
1995	236.350	139.430	223.908	27.827	4.330	3.045	1.593	0.449	46.545	56.187	113.871	237.228	1090.764
1996	353.045	258.224	137.238	92.361	19.111	0.355	0.104	27.917	20.346	104.243	117.243	234.089	1364.275
1997	236.415	247.686	235.806	34.453	6.649	0.000	0.000	26.252	23.405	52.643	252.841	290.150	1406.299
1998	230.767	218.923	96.316	40.497	6.247	3.820	0.000	1.994	11.451	96.483	121.486	119.692	947.677
1999	266.274	299.559	179.271	99.067	14.111	6.161	3.843	2.284	89.903	64.197	120.597	271.606	1416.872
2000	308.928	269.852	189.992	39.456	9.593	19.286	6.791	4.679	17.153	136.568	60.088	194.705	1257.090
2001	476.739	300.487	374.050	52.141	18.456	3.279	49.666	29.166	28.581	144.662	162.240	182.891	1822.357
2002	297.152	374.740	254.586	111.029	20.531	15.053	80.051	7.952	31.738	134.005	168.807	282.061	1777.704
2003	316.857	247.789	286.011	55.077	7.665	17.066	0.531	45.544	6.718	79.127	68.846	242.069	1373.298
2004	341.676	249.746	176.046	59.267	3.702	49.356	35.504	20.269	59.188	73.126	110.498	189.264	1367.642
2005	258.239	221.593	175.257	65.055	2.013	3.351	3.434	8.897	11.259	47.880	118.617	184.567	1100.163
2006	354.407	254.939	259.835	100.473	0.413	22.508	0.046	14.852	10.845	113.596	151.327	222.053	1505.292
2007	231.226	146.959	246.220	146.760	17.616	3.279	9.951	0.541	3.205	103.252	145.151	199.286	1253.446
2008	266.502	233.965	150.532	24.446	13.001	8.131	0.559	8.862	20.762	115.424	193.883	256.787	1292.855
2009	225.977	243.191	159.601	31.255	10.784	3.369	13.243	2.632	36.385	26.869	282.482	197.512	1233.300
2010	440.914	332.652	298.064	37.888	5.225	5.287	3.229	16.193	9.635	137.202	77.799	315.982	1680.070
2011	259.551	388.556	264.468	123.808	16.615	25.955	15.213	10.401	82.152	88.554	102.907	279.149	1657.330
2012	242.616	328.426	135.427	77.033	3.207	5.076	2.440	0.987	55.072	31.200	217.335	314.510	1413.330
2013	291.262	293.417	163.521	24.204	25.549	9.158	2.924	37.568	7.693	192.793	170.787	278.391	1497.265
2014	232.883	184.094	101.535	80.432	18.537	0.000	1.789	4.467	23.987	92.205	48.766	241.463	1030.156
2015	256.619	163.802	90.119	103.104	17.544	2.461	20.830	10.495	27.790	33.383	79.387	178.934	984.469
2016	197.539	262.842	84.459	52.969	15.337	0.539	10.164	5.554	15.766	121.501	78.588	178.841	1024.099
2017	181.104	144.123	210.739	84.230	15.430	5.679	0.871	15.494	19.822	73.814	113.955	121.966	987.226
2018	198.582	230.383	182.541	39.137	5.277	36.398	24.083	27.484	19.874	128.729	150.760	157.731	1200.979
N° DATOS	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33
MEDIA	279.314	245.158	196.664	70.769	11.513	13.628	9.931	13.808	26.521	90.136	136.767	219.028	1313.237
D. ESTANDAR	75.419	67.280	81.512	35.531	7.473	17.657	17.070	14.096	20.950	39.895	56.815	68.810	254.130
C. VARIACION	0.270	0.274	0.414	0.502	0.649	1.296	1.719	1.021	0.790	0.443	0.415	0.314	0.194
MIN	161.762	139.430	81.600	14.078	0.413	0.000	0.000	0.000	3.205	26.869	48.766	119.692	947.677
MAX	476.739	388.556	374.050	146.760	26.965	71.413	80.051	45.544	89.903	192.793	282.482	402.043	1856.277

Fuente: Elaboración propia



3.7.2. Regionalización de precipitación máxima en 24 horas

La precipitación máxima en 24 horas es empleada en la generación de caudales bajo el modelo de Temez, por lo cual se requirió regionalizar los datos mediante los factores de influencia lineales.

3.7.2.1. Determinación de coeficientes de correlación

Los coeficientes de correlación se obtuvieron mediante la generación de una ecuación lineal en función a la altitud de las estaciones. Los datos están consolidados en la Tabla N° 77.

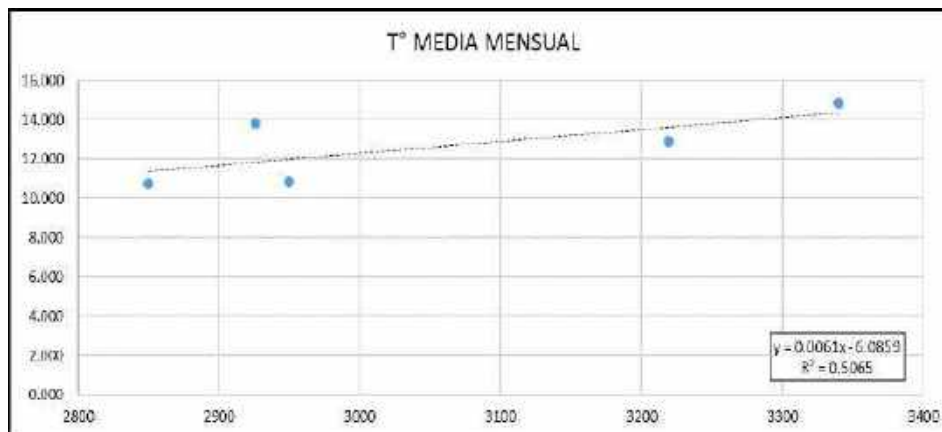
Tabla 76: Calculo de los coeficientes de correlación

ESTACIONES	ELEVACIÓN	MES											
	m.s.n.m.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
PISAC	2950	20.246	19.715	15.930	9.603	3.918	4.087	3.619	3.355	5.245	10.447	14.653	19.439
KAYRA	3219	26.023	24.457	19.767	13.267	3.215	3.033	1.970	2.979	6.764	12.980	18.456	21.709
URUBAMBA	2850	19.032	18.691	15.727	9.361	3.299	4.322	2.856	3.802	5.467	12.586	14.558	19.188
ANTA	3340	27.009	26.279	23.885	12.853	5.111	3.792	3.509	5.209	8.280	17.724	21.608	22.845
CALCA	2926	14.553	14.618	14.478	13.980	13.061	11.769	11.513	12.593	14.140	14.987	15.477	15.010
PROMEDIO	3057	21.373	20.752	17.957	11.813	5.721	5.401	4.693	5.588	7.979	13.745	16.950	19.638
DES. ESTANDAR	210.826943	5.164	4.670	3.860	2.167	4.172	3.593	3.869	4.006	3.651	2.747	3.047	3.010
COEFICIENTES	a	0.022	0.020	0.017	0.006	-0.005	-0.007	-0.007	-0.005	-0.001	0.008	0.014	0.011
	b	-44.776	-39.520	-35.429	-5.208	20.262	27.913	24.887	20.012	9.808	-10.882	-25.970	-14.127
	r	-0.883	-0.890	-0.954	-0.542	0.240	0.432	0.360	0.248	0.035	-0.618	-0.971	-0.774
	R ²	0.780	0.792	0.910	0.293	0.058	0.187	0.130	0.062	0.001	0.382	0.944	0.599

Fuente: Elaboración propia

El Fig. N° 81 es realizado en función a la altitud de las estaciones y el promedio de las precipitaciones máximas en el año, el cual nos indica que la precipitación máxima en 24 posee un incremento directamente con la elevación.

Fig. N° 81: Distribución de la precipitación máxima en 24 hr



Fuente: Elaboración propia



Tabla 77: Precipitación máxima en 24 horas corregida

ÁREA DE ESTUDIO	ELEVACIÓN	MES											
	m.s.n.m.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
MICROCUENCA LAGUNA	3922.1916	40.094	37.810	33.067	16.630	1.605	0.000	0.000	1.505	7.461	20.715	29.098	29.194
MICROCUENCA 01	3785.57	37.138	35.116	30.681	15.869	2.255	0.035	0.000	2.150	7.543	19.614	27.179	27.685
MICROCUENCA 02	3997.89	41.732	39.303	34.389	17.051	1.245	0.000	0.000	1.148	7.416	21.324	30.160	30.030
MICROCUENCA 03	4199.35	46.091	43.275	37.907	18.173	0.287	0.000	0.000	0.197	7.296	22.947	32.989	32.255
MICROCUENCA 04	4151.42	45.054	42.330	37.070	17.906	0.515	0.000	0.000	0.423	7.324	22.561	32.316	31.726
MICROCUENCA 05	4003.6	41.856	39.415	34.489	17.083	1.218	0.000	0.000	1.121	7.413	21.370	30.241	30.093
MICROCUENCA 06	4008.61	41.964	39.514	34.576	17.111	1.194	0.000	0.000	1.097	7.410	21.411	30.311	30.149
MICROCUENCA 07	3784.87	37.123	35.103	30.669	15.865	2.259	0.040	0.000	2.153	7.544	19.608	27.170	27.678
MICROCUENCA 08	3707.2	35.442	33.571	29.312	15.433	2.628	0.612	0.398	2.519	7.590	18.983	26.079	26.820
MICROCUENCA 09	3717.67	35.668	33.778	29.495	15.491	2.578	0.535	0.329	2.470	7.584	19.067	26.226	26.935
MICROCUENCA 10	3815.61	37.788	35.709	31.206	16.036	2.112	0.000	0.000	2.008	7.525	19.856	27.601	28.017
MICROCUENCA 11	3756.97	36.519	34.553	30.181	15.710	2.391	0.246	0.070	2.285	7.560	19.384	26.778	27.369
MICROCUENCA 12	3805.38	37.566	35.507	31.027	15.979	2.161	0.000	0.000	2.056	7.531	19.774	27.458	27.904
MICROCUENCA 13	3751.19	36.394	34.439	30.081	15.678	2.419	0.288	0.108	2.312	7.564	19.337	26.697	27.306

Fuente: Elaboración propia

3.7.2.2. Determinación de factores de influencia

Los factores de influencia son determinados en función a la altura y temperatura, de la siguiente manera:

- **Precipitación máxima en 24 hrs promedio:** El valor se obtuvo promediando los valores de todos los meses.
- **Precipitación máxima en 24 hrs corregida:** El valor se obtuvo aplicando la fórmula de regresión lineal.

$$y = 0.006124 * x - 6.08585 \quad \dots (3.45)$$

- y = Precipitación corregida
- x = Altura de la estación
- **Diferencia de altitud:** Se obtiene restando la altura de cada una de las estaciones con la altitud de la zona en estudio.
- **% de diferencia de altitud:** Determinamos el porcentaje de cada una de las diferencias de altitudes frente a la sumatoria total de las mismas.
- **Porcentaje inverso:** Dividimos 1 entre el porcentaje de la diferencia de altitud.
- **Factor de Influencia de Altitud:** Hallamos el factor de influencia mediante la siguiente fórmula:



$$\text{Factor de influencia por altitud} = \frac{\left(\frac{1}{\%}\right)}{\sum \frac{1}{\%}} \dots (3.46)$$

- **Factor de influencia de precipitación:** Obtenemos el factor de influencia de precipitación mediante la siguiente fórmula.

$$F.I. \text{ por precipitación} = \frac{P. \text{ Histórica de las estaciones}}{P. \text{ Histórica de la zona de estudio}} \dots (3.47)$$

- **Factor de influencia total:** Para hallar el valor multiplicamos los factores previos.

$$\text{Factor de influencia} = F.I. \text{ de Altitud} * F.I. \text{ de Precipitación} \dots (3.48)$$

Los factores de influencia y los parámetros obtenidos fueron consolidados en la Tabla N° 79.

Tabla 78: Factores de influencia para la precipitación máxima en 24 hr

FACTORES DE INFLUENCIA PARA LA GENERACIÓN DE TEMPERATURA MEDIA DE LA ZONA DE ESTUDIO										
ESTACIONES	ALTITUD	PREC.	PREC. C.	Δ H	%	1/%	F.I. DE ALTITUD	F.I. DE TEMP.	F.I. TOTAL	T° HIST. CUENCA
	m.s.n.m.	C°	C°							
PISAC	2950	10.85	11.98	972.19164	22.473	0.044	0.168	1.652	0.278	3.021
KAYRA	3219	12.88	13.63	703.19164	16.255	0.062	0.233	1.392	0.324	4.177
URUBAMBA	2850	10.74	11.37	1072.19164	24.785	0.040	0.153	1.670	0.255	2.740
ANTA	3340	14.84	14.37	582.19164	13.458	0.074	0.281	1.208	0.340	5.045
CALCA	2926	13.85	11.83	996.19164	23.028	0.043	0.164	1.295	0.213	2.949
				4325.9582	100	0.264	1	7.216	1.410	17.932

Fuente: Elaboración propia

3.7.2.3. Cálculo de la precipitación máxima en 24 horas

Inicialmente se consolidaron los factores de influencia total en la Tabla N° 80.

Tabla 79: Consolidación factores de influencia para las estaciones

AREA DE INTERES	PISAC	KAYRA	URUBAMBA	ANTA	CALCA
MC Laguna de Piuray	0.278	0.324	0.255	0.340	0.213

Fuente: Elaboración propia

Para obtener el valor de precipitación máxima en 24 horas para cada mes de un año determinado aplicamos la siguiente fórmula.



$P. \text{ Max } 24 \text{ hr microcuencana}_{\text{enero}} = P. \text{ Max } 24 \text{ hr Pisac}_{\text{enero}} * F.I. \text{ Pisac} + P. \text{ Max } 24 \text{ hr Kayra}_{\text{enero}} * F.I. \text{ Kayra} + P. \text{ Max } 24 \text{ hr Urubamba}_{\text{enero}} * F. I. \text{ Urubamba} + P. \text{ Max } 24 \text{ hr Anta}_{\text{enero}} * F. I. \text{ Anta} + P. \text{ Max } 24 \text{ hr Calca}_{\text{enero}} * F. I. \text{ Calca}$

Aplicamos la fórmula en cada uno de los meses de los años en estudio para poder determinar la precipitación en la zona de estudio y así procesar la información.

La Tabla N° 81 presenta el consolidado de datos de precipitación total mensual de la microcuencana.

Tabla 80: Precipitación máxima en 24 horas regionalizada

PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HRS AFECTADA POR FACTORES DE ALTURA Y DISTANCIA													
ZONA DE ESTUDIO:		MC Laguna de Piuray											
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1986	21.002	26.893	18.299	25.331	9.557	2.539	3.651	5.153	5.032	11.139	20.053	23.046	171.692
1987	37.783	19.978	26.157	5.704	3.886	7.205	14.271	2.705	6.233	10.484	22.195	28.142	184.743
1988	29.422	24.625	38.149	25.891	4.447	2.539	2.483	2.705	9.571	15.400	21.949	31.292	208.471
1989	23.583	42.550	22.235	18.381	10.217	5.664	3.305	6.818	14.785	19.566	19.465	20.312	206.881
1990	23.707	26.907	12.724	14.510	5.597	17.237	2.427	11.290	12.139	20.183	21.564	22.863	191.149
1991	23.586	32.337	28.602	21.219	5.453	9.756	2.756	4.040	10.754	14.879	25.368	23.772	202.521
1992	22.911	22.289	20.263	12.269	3.904	26.717	3.280	13.929	6.207	14.158	20.777	13.243	179.949
1993	32.900	29.665	22.533	12.724	5.866	3.375	5.376	11.947	13.533	19.537	22.754	40.870	221.079
1994	41.890	34.891	31.944	12.842	10.639	4.019	2.610	3.315	17.455	25.447	19.139	38.101	242.290
1995	29.111	18.224	22.101	14.219	4.383	3.565	2.395	2.531	18.849	17.787	28.276	31.074	192.515
1996	42.206	31.072	26.798	15.930	8.980	2.376	2.116	7.703	10.807	17.240	27.687	31.987	224.902
1997	27.451	27.441	31.310	12.290	8.523	3.543	2.849	12.337	10.000	17.684	37.268	41.878	232.574
1998	35.993	25.759	18.747	14.901	4.551	5.154	2.489	3.655	10.983	16.962	23.296	17.255	179.745
1999	29.573	38.959	27.893	18.707	8.998	4.968	3.766	3.941	16.856	19.099	22.469	30.913	226.142
2000	37.475	29.647	29.173	11.895	6.141	9.108	3.697	5.927	11.651	24.151	20.530	21.512	210.908
2001	30.776	33.438	35.075	14.322	8.914	2.539	18.681	9.793	10.518	32.444	31.323	21.008	248.831
2002	30.507	32.173	26.067	22.158	12.928	7.355	22.405	7.724	9.904	23.316	30.857	31.326	256.720
2003	32.748	28.361	27.846	23.410	5.978	10.587	2.712	15.595	7.542	22.104	14.548	31.358	222.788
2004	27.424	32.271	20.704	13.040	4.205	15.350	14.798	9.004	13.270	24.097	20.710	29.053	223.927
2005	26.139	23.237	28.089	23.527	4.916	2.668	4.896	6.099	8.369	13.911	19.516	23.051	184.420
2006	40.694	40.308	32.391	25.496	2.964	17.064	2.483	7.140	7.566	20.948	22.735	26.663	246.450
2007	30.544	23.111	31.785	27.169	15.163	2.539	4.355	2.730	5.006	21.885	25.208	31.659	221.154
2008	30.501	33.647	25.375	8.247	8.210	4.399	2.719	6.698	11.023	20.631	34.847	27.537	213.833
2009	34.050	30.884	27.213	10.868	10.258	2.564	5.554	3.226	13.053	9.406	41.925	23.248	212.250
2010	46.895	30.522	30.777	9.845	5.052	4.613	4.686	6.925	8.134	21.721	18.388	39.997	227.556
2011	30.919	43.463	33.724	18.873	9.141	11.222	11.229	8.587	15.555	26.075	26.177	29.460	264.424
2012	21.238	41.239	17.042	19.546	4.729	3.798	3.929	2.953	20.158	10.552	34.702	30.990	210.878
2013	36.144	31.917	24.076	7.507	10.964	5.819	3.537	12.617	5.354	28.965	25.582	38.340	230.821
2014	37.223	23.331	16.228	20.793	9.842	2.539	3.185	4.377	10.122	27.068	17.771	36.221	208.700
2015	34.569	26.565	19.542	16.528	9.237	4.066	14.607	6.294	10.521	15.691	19.519	25.192	202.332
2016	26.094	35.628	20.539	11.379	11.783	3.652	7.644	8.170	9.618	24.666	25.856	26.854	211.881
2017	27.503	21.034	35.400	29.223	7.912	5.310	3.317	13.830	11.069	16.936	20.843	19.038	211.416
2018	27.257	35.213	31.052	12.607	3.928	17.752	10.406	11.847	7.146	20.761	22.428	26.804	227.201
N° DATOS	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33
MEDIA	31.207	30.230	26.056	16.708	7.493	7.018	6.019	7.321	10.872	19.542	24.416	28.305	215.186
D. ESTANDAR	6.442	6.574	6.215	6.151	3.061	5.821	5.282	3.832	3.888	5.505	6.111	6.983	22.476
C. VARIACION	0.206	0.217	0.239	0.368	0.409	0.829	0.878	0.523	0.358	0.282	0.250	0.247	0.104
MIN	21.002	18.224	12.724	5.704	2.964	2.376	2.116	2.531	5.006	9.406	14.548	13.243	171.692
MAX	46.895	43.463	38.149	29.223	15.163	26.717	22.405	15.595	20.158	32.444	41.925	41.878	264.424

AREA DE INTERES	PISAC	KAYRA	URUBAMBA	ANTA	CALCA
MC Laguna de Piuray	0.278	0.324	0.255	0.340	0.213

Fuente: Elaboración propia



3.7.3. Regionalización de temperatura media

Al igual que la precipitación, la temperatura depende de factores como altura, es por ello que la regionalización es requerida.

3.7.3.1. Determinación de coeficientes de correlación

Los coeficientes de correlación se obtuvieron mediante la generación de una ecuación lineal en función a la altitud de las estaciones. Los datos están consolidados en la Tabla N° 82.

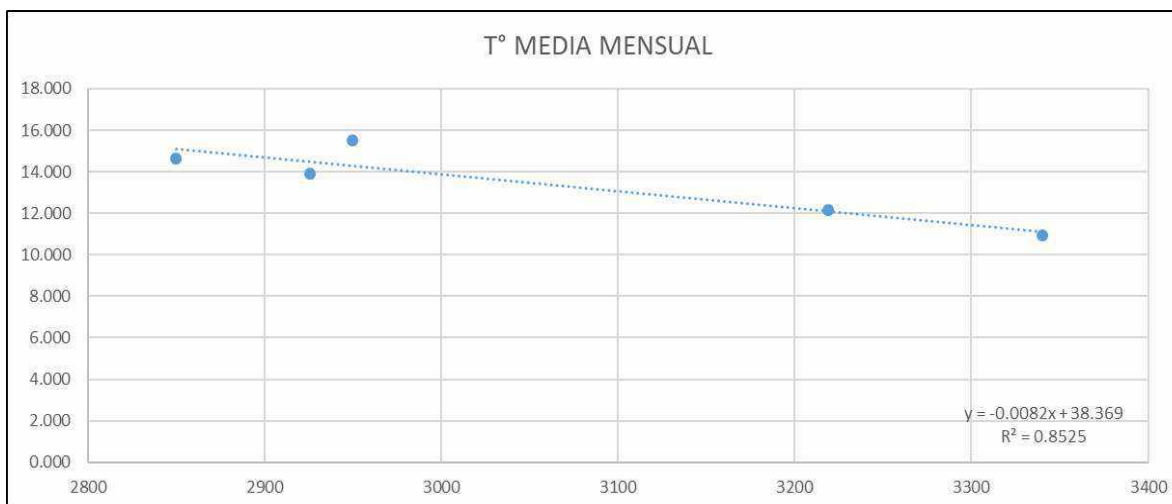
Tabla 81: Coeficientes de correlación para temperatura media

ESTACIONES	ELEVACIÓN	MES											
	m.s.n.m.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
PISAC	2950	15.927	15.830	15.818	15.550	14.839	14.092	13.706	14.518	15.599	16.542	17.175	16.353
KAVRA	3219	13.423	13.486	13.194	12.239	10.738	9.623	9.323	10.643	12.188	13.377	13.876	13.554
URUBAMBA	2850	15.649	15.620	15.527	15.109	13.849	12.673	12.202	13.211	14.493	15.573	15.886	15.717
ANTA	3340	12.361	12.340	12.257	11.523	9.574	8.264	8.072	9.221	10.660	11.926	12.476	12.380
CALCA	2926	14.475	14.591	14.537	14.075	13.188	12.018	11.721	12.756	14.097	15.054	15.487	14.966
PROMEDIO	3057	14.367	14.373	14.267	13.699	12.438	11.334	11.005	12.070	13.407	14.494	14.980	14.594
DES. ESTANDAR	210.826943	1.500	1.470	1.521	1.762	2.203	2.357	2.273	2.116	1.968	1.838	1.829	1.618
COEFICIENTES	a	-0.007	-0.007	-0.007	-0.008	-0.010	-0.010	-0.010	-0.009	-0.009	-0.008	-0.008	-0.007
	b	34.431	34.346	34.983	37.626	42.239	42.419	40.801	40.014	39.620	38.972	38.648	36.335
	r	0.922	0.937	0.939	0.936	0.933	0.910	0.904	0.911	0.919	0.918	0.892	0.926
	R ²	0.851	0.878	0.882	0.877	0.870	0.827	0.817	0.829	0.844	0.843	0.796	0.858

Fuente: Elaboración propia

La Fig. N° 82 está elaborado en función a la altitud de las estaciones y la temperatura corregida mediante la ecuación lineal.

Fig. N° 82: Distribución lineal de temperatura media



Fuente: Elaboración propia



Tabla 82: Temperatura mensual corregida por microcuencia

ÁREA DE ESTUDIO	ELEVACIÓN	MES											
	m.s.n.m.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
MICROCUENCA LAGUNA PI	3922.19164	8.688	8.721	8.404	6.927	4.003	2.536	2.572	4.161	5.989	7.567	8.282	8.441
MICROCUENCA 01	3785.57	9.585	9.613	9.329	7.997	5.335	3.926	3.904	5.410	7.160	8.661	9.339	9.413
MICROCUENCA 02	3997.89	8.191	8.226	7.891	6.335	3.265	1.767	1.834	3.469	5.340	6.961	7.696	7.903
MICROCUENCA 03	4199.35	6.869	6.910	6.525	4.758	1.302	-0.282	-0.130	1.628	3.612	5.347	6.136	6.470
MICROCUENCA 04	4151.42	7.184	7.223	6.850	5.133	1.769	0.205	0.338	2.066	4.023	5.731	6.507	6.811
MICROCUENCA 05	4003.6	8.154	8.189	7.852	6.290	3.210	1.708	1.778	3.417	5.291	6.915	7.651	7.862
MICROCUENCA 06	4008.61	8.121	8.156	7.818	6.251	3.161	1.658	1.730	3.371	5.248	6.875	7.613	7.826
MICROCUENCA 07	3784.87	9.590	9.618	9.334	8.002	5.342	3.933	3.910	5.416	7.166	8.666	9.345	9.418
MICROCUENCA 08	3707.2	10.099	10.125	9.860	8.610	6.099	4.722	4.667	6.126	7.832	9.288	9.946	9.970
MICROCUENCA 09	3717.67	10.031	10.057	9.789	8.528	5.997	4.616	4.565	6.031	7.742	9.204	9.865	9.895
MICROCUENCA 10	3815.61	9.388	9.417	9.126	7.761	5.042	3.620	3.611	5.135	6.903	8.420	9.107	9.199
MICROCUENCA 11	3756.97	9.773	9.800	9.523	8.220	5.614	4.216	4.182	5.671	7.405	8.890	9.561	9.616
MICROCUENCA 12	3805.38	9.455	9.484	9.195	7.842	5.142	3.724	3.710	5.229	6.990	8.502	9.186	9.272
MICROCUENCA 13	3751.19	9.811	9.838	9.562	8.266	5.670	4.275	4.239	5.724	7.455	8.936	9.606	9.657

Fuente: Elaboración propia

La Tabla N° 83 presenta un consolidado de la temperatura media de cada zona de estudio en función a su elevación.

3.7.3.2. Determinación de factores de influencia

Los factores de influencia son determinados en función a la altura y temperatura, de la siguiente manera:

- **Temperatura media mensual promedio:** El valor se obtuvo promediando los valores de todos los meses.
- **Temperatura media mensual corregida:** El valor se obtuvo aplicando la fórmula de regresión lineal.

$$y = 38.36945 - 0.00816 * x \quad \dots (3.49)$$

- y = Temperatura corregida
- x = Altura de la estación
- **Diferencia de altitud:** Se obtiene restando la altura de cada una de las estaciones con la altitud de la zona en estudio.
- **% de diferencia de altitud:** Determinamos el porcentaje de cada una de las diferencias de altitudes frente a la sumatoria total de las mismas.
- **Porcentaje inverso:** Dividimos 1 entre el porcentaje de la diferencia de altitud.



- **Factor de Influencia de Altitud:** Hallamos el factor de influencia mediante la siguiente fórmula:

$$Factor\ de\ influencia\ por\ altitud = \frac{\left(\frac{1}{\%}\right)}{\sum \frac{1}{\%}} \dots (3.50)$$

- **Factor de influencia de precipitación:** Obtenemos el factor de influencia de precipitación mediante la siguiente fórmula.

$$F.I.\ por\ temperatura = \frac{T.Histórica\ de\ las\ estaciones}{T.Histórica\ de\ la\ zona\ de\ estudio} \dots (3.51)$$

- **Factor de influencia total:** Para hallar el valor multiplicamos los factores previos.

$$Factor\ de\ influencia = F.I.\ de\ Altitud * F.I.\ de\ Temperatura \dots (3.52)$$

3.7.3.3. Cálculo de la temperatura media mensual de la microcuena en estudio

Como primer paso agrupamos los factores de influencia total en la Tabla N° 84.

Tabla 83: Factores de influencia por microcuena

AREA DE INTERES	PISAC	KAYRA	URUBAMBA	ANTA	CALCA
MC Laguna de Piuray	0.069	0.122	0.066	0.164	0.075

Fuente: Elaboración propia

Para obtener el valor de temperatura media para cada mes de un año determinado aplicamos la siguiente fórmula.

$$T. Media_{enero} = T. Media\ Pisac_{enero} * F.I.\ Pisac + T. Media\ Kayra_{enero} * F.I.\ Kayra + T. Media\ Urubamba_{enero} * F. I.\ Urubamba + T. Media\ Anta_{enero} * F. I.\ Anta + T. Media\ Calca_{enero} * F. I.\ Calca$$

Aplicamos la fórmula en cada uno de los meses de los años en estudio para poder determinar la precipitación en la zona de estudio y así procesar la información.

La Tabla N° 85 presenta el consolidado de datos de precipitación total mensual de la microcuena.



Tabla 84: Temperatura media regionalizada



"EVALUACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO DE LA CUENCA DE LA LAGUNA DE PIURAY CONSIDERANDO EL ESCENARIO MÁS DESFAVORABLE PARA EL AÑO 2040 SEGÚN EL MODELO WEAP, CON FINES DE ABASTECIMIENTO PARA LA CIUDAD DE CUSCO Y CHINCHERO"

PRECIPITACIÓN AFECTADA POR FACTORES DE ALTURA Y DISTANCIA

ZONA DE ESTUDIO: MC Laguna de Piuray

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1986	6.743	6.733	6.680	6.261	5.352	4.818	4.752	5.451	6.084	6.450	6.639	6.752	72.715
1987	6.785	7.007	6.825	6.539	5.638	5.067	4.940	5.742	6.570	6.858	7.281	7.171	76.424
1988	6.931	7.093	6.904	6.689	6.014	5.255	5.197	5.598	6.428	6.985	7.101	6.909	77.104
1989	6.661	6.665	6.516	6.434	5.782	5.209	4.846	5.308	6.098	6.695	6.757	6.839	73.809
1990	6.758	6.691	6.497	6.087	5.505	5.119	4.804	5.248	6.081	6.584	6.940	6.774	73.090
1991	6.940	6.728	6.665	6.279	5.725	5.266	4.938	5.244	5.835	6.460	6.852	6.682	73.616
1992	6.731	6.648	6.492	6.200	5.872	5.382	4.998	5.562	6.445	6.609	6.909	6.922	74.771
1993	6.724	6.838	6.695	6.618	5.625	4.905	4.974	5.396	6.126	6.834	7.185	6.958	74.878
1994	6.861	6.864	6.880	6.626	5.846	4.871	4.663	5.224	6.491	6.958	7.419	7.368	76.071
1995	7.364	7.156	7.007	6.556	5.866	5.355	5.408	5.963	6.367	7.119	7.209	7.189	78.560
1996	6.964	7.142	6.978	6.729	6.029	5.022	4.837	5.684	6.455	6.973	7.179	6.992	76.984
1997	6.901	6.703	6.659	6.184	5.750	5.111	5.076	5.489	6.389	7.147	7.457	7.536	76.401
1998	7.660	7.760	7.605	7.141	5.934	5.425	5.415	6.251	6.565	7.043	7.245	7.090	81.134
1999	7.078	6.787	6.824	6.593	6.085	5.219	4.680	5.526	6.244	6.815	7.189	6.965	76.005
2000	6.790	6.949	6.699	6.696	5.987	5.179	5.136	5.743	6.243	6.856	7.123	7.103	76.504
2001	6.733	6.844	6.923	6.458	5.881	5.196	5.251	5.370	6.742	7.276	7.471	7.281	77.425
2002	7.200	6.902	7.005	6.786	5.833	5.605	5.390	5.500	6.605	7.065	7.164	7.125	78.180
2003	7.231	7.367	7.102	6.725	6.151	5.578	5.206	5.692	6.176	6.907	7.235	7.211	78.580
2004	7.126	7.198	7.039	6.730	6.023	5.134	4.976	5.240	6.338	7.117	7.252	7.236	77.411
2005	7.254	7.518	7.210	6.714	5.796	5.197	5.163	5.757	6.170	7.037	7.204	7.304	78.324
2006	6.885	7.085	6.977	6.591	5.437	5.245	4.895	5.902	6.616	7.018	7.070	6.921	76.642
2007	7.296	7.021	6.974	6.562	5.978	5.366	5.224	5.799	5.976	6.860	7.167	7.115	77.338
2008	6.722	6.851	6.579	6.425	5.629	5.205	5.177	6.044	6.586	7.080	7.270	7.028	76.596
2009	6.781	6.750	6.714	6.601	5.773	5.541	5.427	5.926	6.568	7.310	7.479	7.132	78.003
2010	6.925	7.003	6.981	6.809	6.343	5.885	5.863	6.149	6.816	7.231	7.462	7.234	80.700
2011	7.119	6.724	6.826	6.704	6.120	5.431	5.290	5.975	6.433	7.015	7.487	6.873	77.997
2012	6.913	6.645	6.718	6.554	5.931	5.474	5.341	5.917	6.409	7.363	7.518	7.034	77.815
2013	6.800	6.945	7.008	6.529	6.121	5.297	5.196	5.902	6.773	7.092	7.357	6.991	78.011
2014	6.990	6.948	6.862	7.076	5.910	5.801	5.349	5.769	6.464	7.171	7.598	7.329	79.268
2015	6.828	7.013	6.954	6.512	6.066	5.767	5.313	6.002	6.777	6.856	7.253	6.824	78.166
2016	7.535	7.399	7.511	6.994	6.238	5.692	5.534	6.122	6.747	6.829	7.464	7.050	81.114
2017	6.987	7.046	6.921	6.637	6.020	5.610	5.648	6.128	6.731	7.083	7.465	7.278	79.554
2018	6.811	7.096	6.952	6.623	5.979	5.271	5.271	5.798	6.616	6.933	7.279	6.980	77.610
N° DATOS	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54
MEDIA	6.890	6.894	6.834	6.516	5.815	5.246	5.098	5.648	6.333	6.894	7.142	6.980	76.290
D. ESTANDAR	0.256	0.266	0.230	0.238	0.234	0.253	0.260	0.285	0.253	0.218	0.230	0.215	2.168
C. VARIACION	0.037	0.039	0.034	0.037	0.040	0.048	0.051	0.050	0.040	0.032	0.032	0.031	0.028
MIN	6.312	6.253	6.355	5.989	5.216	4.619	4.524	5.018	5.835	6.450	6.639	6.475	72.394
MAX	7.660	7.760	7.605	7.141	6.343	5.885	5.863	6.251	6.816	7.363	7.598	7.536	81.134

AREA DE INTERES	PISAC	KAYRA	URUBAMBA	ANTA	CALCA
MC Laguna de Piuray	0.069	0.122	0.066	0.164	0.075

Fuente: Elaboración propia

3.7.4. Regionalización de temperatura máxima

La temperatura máxima tiene influencia dentro del cálculo de la evapotranspiración por lo cual se debe regionalizar los datos de las estaciones meteorológicas seleccionadas para el estudio.



3.7.4.1. Determinación de coeficientes de correlación

Mediante una ecuación lineal en función a la temperatura máxima y la altitud de las estaciones se obtienen los coeficientes de correlación los cuales fueron plasmados en la Tabla N° 86.

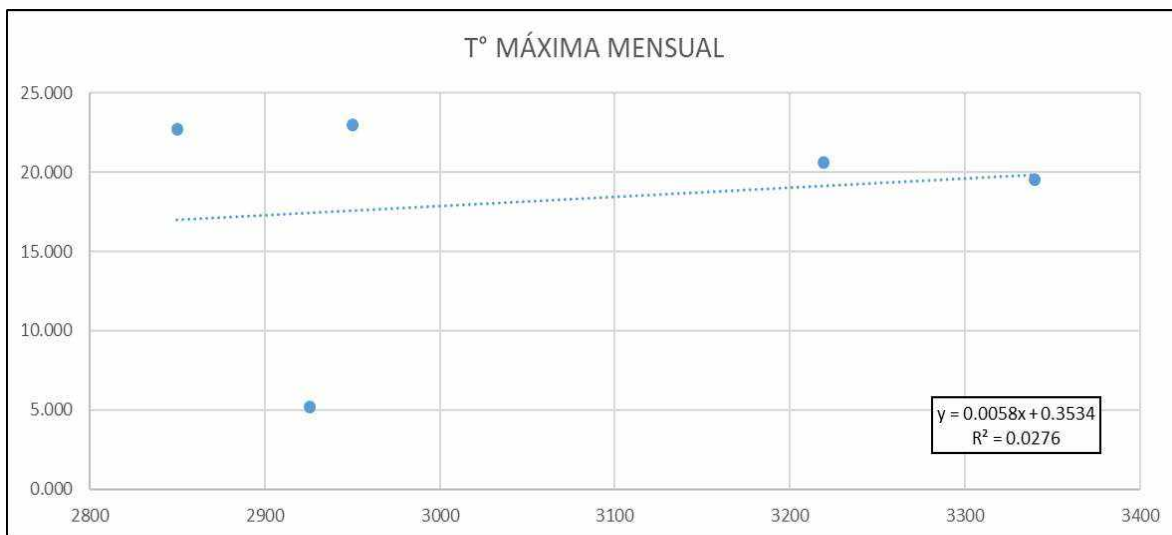
Tabla 85: Coeficientes de correlación de temperatura media

ESTACIONES	ELEVACIÓN	MES											
	m.s.n.m.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
PISAC	2950	21.768	21.595	21.897	22.791	23.450	23.249	22.989	23.400	23.555	23.807	24.437	22.635
KAYRA	3219	19.775	19.851	20.008	20.521	20.845	20.481	20.340	21.009	21.277	21.558	21.607	20.515
URUBAMBA	2850	22.044	21.934	22.083	22.802	23.011	22.539	22.380	22.858	23.147	23.589	23.479	22.576
ANTA	3340	18.921	18.874	19.087	19.419	19.601	19.456	19.362	19.832	19.881	20.178	20.453	19.404
CALCA	2926	7.543	7.449	7.257	5.536	3.283	1.320	0.816	2.676	4.914	6.468	7.511	7.462
PROMEDIO	3057	18.010	17.941	18.067	18.214	18.038	17.409	17.178	17.955	18.555	19.120	19.497	18.518
DES. ESTANDAR	210.826943	5.998	5.998	6.174	7.237	8.397	9.123	9.264	8.660	7.768	7.230	6.879	6.333
COEFICIENTES	a	0.004	0.004	0.004	0.005	0.007	0.008	0.009	0.008	0.006	0.005	0.005	0.004
	b	6.359	5.377	4.690	2.116	-2.964	-8.346	-9.905	-6.630	-0.661	3.213	5.234	5.757
	r	-0.134	-0.144	-0.149	-0.153	-0.172	-0.195	-0.202	-0.196	-0.171	-0.152	-0.143	-0.139
	R ²	0.018	0.021	0.022	0.024	0.030	0.038	0.041	0.038	0.029	0.023	0.020	0.019

Fuente: Elaboración propia

Mediante la el promedio de temperatura máxima anual y la elevación de las estaciones elaboramos la Fig. N° 83.

Fig. N° 83: Distribución de temperatura media mensual



Fuente: Elaboración propia



3.7.4.2. Determinación de factores de influencia

Los factores de influencia son determinados en función a la altura y temperatura, de la siguiente manera:

- **Temperatura máxima mensual promedio:** El valor se obtuvo promediando los valores de todos los meses.
- **Temperatura máxima mensual corregida:** El valor se obtuvo aplicando la fórmula de regresión lineal.

$$y = 0.0058 * x + 0.3534 \quad \dots (3.53)$$

○ y = Temperatura máxima corregida

○ x = Altura de la estación

- **Diferencia de altitud:** Se obtiene restando la altura de cada una de las estaciones con la altitud de la zona en estudio.
- **% de diferencia de altitud:** Determinamos el porcentaje de cada una de las diferencias de altitudes frente a la sumatoria total de las mismas.
- **Porcentaje inverso:** Dividimos 1 entre el porcentaje de la diferencia de altitud.
- **Factor de Influencia de Altitud:** Hallamos el factor de influencia mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Factor de influencia por altitud} = \frac{\left(\frac{1}{\%}\right)}{\sum \frac{1}{\%}} \quad \dots (3.54)$$

- **Factor de influencia de precipitación:** Obtenemos el factor de influencia de precipitación mediante la siguiente fórmula.

$$F.I. \text{ por temperatura} = \frac{T. \text{ Histórica de las estaciones}}{T. \text{ Histórica de la zona de estudio}} \quad \dots (3.55)$$

- **Factor de influencia total:** Para hallar el valor multiplicamos los factores previos.

$$\text{Factor de influencia} = F.I. \text{ de Altitud} * F.I. \text{ de Temperatura} \quad \dots (3.56)$$



Los valores fueron obtenidos gracias a la siguiente tabla:

Tabla 86: Factores de influencia por estación - Temperatura media

FACTORES DE INFLUENCIA PARA LA GENERACIÓN DE TEMPERATURA MEDIA DE LA ZONA DE ESTUDIO										
ESTACIONES	ALTITUD	TEMP.	T° CORREGID	Δ H	%	1/%	F.I. DE ALTITUD	F.I. DE TEMP.	F.I. TOTAL	T° HIST. CUENCA
	m.s.n.m.	C°	C°							
PISAC	2950	22.9643561	17.5834905	972.19164	22.473	0.044	0.168	1.013	0.171	3.919
KAYRA	3219	20.6489969	19.1546398	703.19164	16.255	0.062	0.233	1.127	0.262	5.419
URUBAMBA	2850	22.7036629	16.9994202	1072.19164	24.785	0.040	0.153	1.025	0.157	3.554
ANTA	3340	19.5389857	19.8613649	582.19164	13.458	0.074	0.281	1.191	0.335	6.545
CALCA	2926	5.1862274	17.4433137	996.19164	23.028	0.043	0.164	4.485	0.738	3.825
				4325.9582	100	0.264	1	8.840	1.662	23.262

Fuente: Elaboración propia

3.7.4.3. Cálculo de la temperatura máxima de la microcuenca

Los factores de influencia total son agrupados en la Tabla N° 88.

Tabla 87: Factores de influencia consolidado - Temperatura media

AREA DE INTERES	PISAC	KAYRA	URUBAMBA	ANTA	CALCA
MC Laguna de Piuray	0.171	0.262	0.157	0.335	0.738

Fuente: Elaboración propia

Para obtener el valor de temperatura máxima para cada mes de un año determinado aplicamos la siguiente fórmula.



$$T. \text{ M}{\acute{a}}xima_{\text{enero}} = T. \text{ M}{\acute{a}}xima_{\text{Pisac}}_{\text{enero}} * F.I. \text{ Pisac} + T. \text{ M}{\acute{a}}xima_{\text{Kayra}}_{\text{enero}} * F.I. \text{ Kayra} + T. \text{ M}{\acute{a}}xima_{\text{Urubamba}}_{\text{enero}} * F. I. \text{ Urubamba} + T. \text{ M}{\acute{a}}xima_{\text{Anta}}_{\text{enero}} * F. I. \text{ Anta} + T. \text{ M}{\acute{a}}xima_{\text{Calca}}_{\text{enero}} * F. I. \text{ Calca}$$

Aplicamos la fórmula en cada uno de los meses de los años en estudio para poder determinar la precipitación máxima en la zona de estudio y así procesar la información.

La Tabla N° 89 presenta el consolidado de datos de precipitación total mensual de la microcuenca.



Tabla 88: Temperatura media regionalizada

 													
UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL													
"EVALUACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO DE LA CUENCA DE LA LAGUNA DE PIURAY CONSIDERANDO EL ESCENARIO MÁS DESFAVORABLE PARA EL AÑO 2040 SEGÚN EL MODELO WEAP, CON FINES DE ABASTECIMIENTO PARA LA CIUDAD DE CUSCO Y CHINCHERO"													
TEMPERATURA MÁXIMA AFECTADA POR FACTORES DE ALTURA Y DISTANCIA													
ZONA DE ESTUDIO:		MC Laguna de Piuray											
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1986	23.933	23.382	23.262	22.547	21.073	20.138	18.961	20.934	22.752	24.543	25.481	24.582	271.588
1987	23.874	24.663	24.952	24.169	22.334	20.581	20.324	22.950	24.532	25.293	26.581	26.360	286.612
1988	25.429	25.888	25.246	24.458	22.110	19.933	19.427	22.428	23.047	25.384	26.120	24.515	283.984
1989	23.754	22.891	22.351	22.416	20.423	18.806	17.703	20.130	22.984	23.387	23.461	24.060	262.366
1990	23.793	23.287	22.235	21.712	20.312	17.991	17.898	19.898	22.669	23.461	23.857	23.372	260.483
1991	23.618	23.320	23.321	20.990	20.907	18.789	18.075	18.798	20.467	23.578	24.343	23.020	259.228
1992	22.786	22.082	22.221	22.022	20.807	18.706	17.047	19.456	22.226	23.021	23.881	23.608	257.863
1993	22.506	22.670	22.130	21.696	20.299	17.798	17.986	18.670	20.688	22.350	23.713	22.890	253.397
1994	22.129	22.188	22.145	21.555	19.864	17.181	16.801	18.202	25.385	26.678	27.913	27.579	267.621
1995	27.267	27.201	26.078	25.185	23.921	22.364	22.201	24.429	25.363	27.045	27.641	26.748	305.443
1996	25.927	26.148	26.242	25.076	23.942	20.994	20.371	22.582	24.994	25.662	26.553	25.796	294.288
1997	24.073	22.938	22.864	21.800	22.970	21.915	21.754	22.004	24.888	27.224	27.904	28.057	288.392
1998	28.187	28.783	28.017	26.786	25.143	22.846	23.017	25.117	25.814	25.497	27.204	25.479	311.889
1999	25.079	23.881	24.084	23.249	22.455	21.350	19.969	22.612	23.477	24.830	26.738	24.965	282.690
2000	24.113	24.216	24.006	24.256	22.820	20.647	20.146	22.084	24.302	24.756	27.535	25.779	284.659
2001	23.481	23.906	24.166	23.875	22.263	20.954	20.239	22.050	24.336	25.414	26.330	25.934	282.948
2002	25.737	23.869	24.657	23.804	22.322	20.846	18.802	21.710	23.934	25.182	25.970	25.335	282.168
2003	25.348	25.456	24.519	24.520	23.020	21.508	20.990	21.747	24.010	26.243	26.980	25.470	289.811
2004	24.726	25.104	25.481	24.552	23.371	20.046	18.976	20.566	23.169	25.319	26.023	25.769	283.102
2005	25.569	25.173	25.309	24.516	23.567	21.547	21.316	23.035	23.878	24.652	26.151	25.308	290.019
2006	23.753	24.926	24.308	23.374	22.465	20.373	20.895	22.068	24.502	24.981	25.067	24.734	281.445
2007	25.281	24.496	23.968	23.201	21.958	21.331	19.576	22.939	23.086	25.017	26.224	25.215	282.292
2008	23.229	24.501	23.798	23.662	21.961	20.701	20.325	22.491	24.297	24.639	25.912	24.301	279.816
2009	23.995	24.202	24.450	23.794	22.537	21.503	19.944	23.031	24.863	26.916	26.036	25.108	286.378
2010	24.397	24.826	25.057	24.788	23.120	21.963	21.768	23.873	25.145	25.700	27.293	25.551	293.480
2011	25.421	23.767	24.195	24.156	23.081	21.619	20.058	22.747	23.466	25.745	27.332	24.274	285.860
2012	24.968	23.550	24.497	23.694	23.187	20.993	21.238	23.520	24.368	26.591	28.045	24.343	288.993
2013	24.529	24.353	25.007	24.795	22.824	19.683	19.899	22.184	25.286	25.046	26.277	24.563	284.444
2014	24.761	24.920	25.198	24.700	21.767	21.749	20.192	21.929	23.419	25.254	27.095	25.834	286.820
2015	24.459	25.039	25.061	22.709	21.700	21.021	20.700	22.766	24.743	25.867	26.880	25.196	286.140
2016	26.405	25.181	26.757	24.836	23.566	21.320	21.258	22.788	24.940	24.556	27.247	24.977	293.831
2017	24.522	25.006	24.188	22.874	21.005	20.747	21.022	22.733	23.701	25.514	26.543	25.506	283.362
2018	24.403	24.811	24.107	23.548	22.444	19.175	19.399	20.955	24.802	25.084	26.487	24.784	279.999
N° DATOS	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54
MEDIA	24.256	24.145	24.190	23.432	22.061	20.361	19.852	21.701	23.511	24.942	25.906	24.784	279.141
D. ESTANDAR	1.449	1.440	1.254	1.223	1.231	1.217	1.287	1.381	1.265	1.179	1.363	1.305	11.706
C. VARIACION	0.060	0.060	0.052	0.052	0.056	0.060	0.065	0.064	0.054	0.047	0.053	0.053	0.042
MIN	19.109	19.382	21.008	20.388	18.901	17.181	16.801	18.202	20.269	21.357	21.723	20.171	251.007
MAX	28.187	28.783	28.017	26.786	25.143	22.846	23.017	25.117	25.814	27.224	28.045	28.057	311.889

Fuente: Elaboración propia

3.7.5. Regionalización de temperatura mínima

Al igual que la temperatura máxima, la temperatura mínima tiene influencia en el cálculo de la evapotranspiración mediante el software CROPWAT es por ello que regionalizamos los datos de temperatura mínima.



3.7.5.1. Determinación de coeficientes de correlación

Al igual que con la temperatura máxima, se realizó una ecuación lineal entre la temperatura mínima mensual y la elevación de las estaciones meteorológicas, los datos fueron consolidados en la Tabla N° 90.

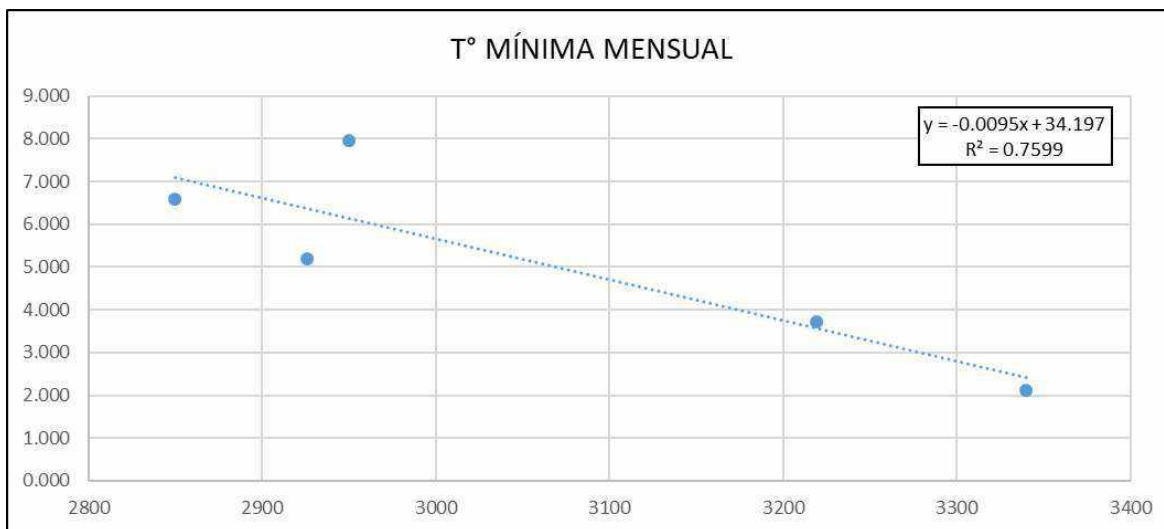
Tabla 89: Coeficientes de correlación - Temperatura mínima

ESTACIONES	ELEVACIÓN	MES											
	m.s.n.m.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
PISAC	2950	10.130	10.073	9.671	8.272	6.140	4.679	4.187	5.477	7.565	9.284	9.910	10.064
KAYRA	3219	7.244	7.268	6.589	4.136	0.722	-1.183	-1.630	0.331	3.173	5.262	6.142	6.706
URUBAMBA	2850	9.203	9.301	8.932	7.423	4.638	2.754	1.978	3.556	5.832	7.718	8.523	9.032
ANTA	3340	5.843	5.875	5.495	3.430	-0.762	-3.354	-3.751	-1.842	1.155	3.424	4.465	5.272
CALCA	2926	7.543	7.449	7.257	5.536	3.283	1.320	0.816	2.676	4.914	6.468	7.511	7.462
PROMEDIO	3057	7.993	7.993	7.589	5.760	2.804	0.843	0.320	2.039	4.528	6.431	7.310	7.707
DES. ESTANDAR	210.826943	1.689	1.684	1.706	2.073	2.819	3.174	3.095	2.851	2.464	2.248	2.106	1.891
COEFICIENTES	a	-0.006	-0.006	-0.007	-0.008	-0.012	-0.013	-0.013	-0.012	-0.010	-0.009	-0.009	-0.008
	b	27.767	27.577	28.430	31.658	39.702	41.839	39.693	38.841	35.813	34.232	33.963	30.846
	r	0.807	0.802	0.843	0.861	0.903	0.891	0.877	0.890	0.876	0.853	0.873	0.844
	R ²	0.652	0.643	0.710	0.742	0.815	0.793	0.770	0.793	0.767	0.728	0.762	0.712

Fuente: Elaboración propia

Mediante el promedio de las temperaturas mínimas y la elevación de las estaciones meteorológicas elaboramos la Fig. N° 84 donde apreciamos que la temperatura desciende a medida que la altitud incrementa.

Fig. N° 84: Distribución lineal de temperatura mínima por estación



Fuente: Elaboración propia



3.7.5.2. Determinación de factores de influencia

Los factores de influencia son determinados en función a la altura y temperatura, de la siguiente manera:

- **Temperatura mínima mensual promedio:** El valor se obtuvo promediando los valores de todos los meses.
- **Temperatura mínima mensual corregida:** El valor se obtuvo aplicando la fórmula de regresión lineal.

$$y = 34.197 - 0.0095 * x \quad \dots (3.57)$$

- y = Temperatura mínima corregida
- x = Altura de la estación

- **Diferencia de altitud:** Se obtiene restando la altura de cada una de las estaciones con la altitud de la zona en estudio.
- **% de diferencia de altitud:** Determinamos el porcentaje de cada una de las diferencias de altitudes frente a la sumatoria total de las mismas.
- **Porcentaje inverso:** Dividimos 1 entre el porcentaje de la diferencia de altitud.
- **Factor de Influencia de Altitud:** Hallamos el factor de influencia mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Factor de influencia por altitud} = \frac{\left(\frac{1}{\%}\right)}{\sum \frac{1}{\%}} \quad \dots (3.58)$$

- **Factor de influencia de precipitación:** Obtenemos el factor de influencia de precipitación mediante la siguiente fórmula.

$$F.I. \text{ por temperatura} = \frac{T.Histórica \text{ de las estaciones}}{T.Histórica \text{ de la zona de estudio}} \quad \dots (3.59)$$

- **Factor de influencia total:** Para hallar el valor multiplicamos los factores previos.

$$\text{Factor de influencia} = F.I. \text{ de Altitud} * F.I. \text{ de Temperatura} \quad \dots (3.60)$$



Los cálculos fueron desarrollados en la Tabla N° X.

Tabla 90: Factores de influencia por estación - Temperatura mínima

FACTORES DE INFLUENCIA PARA LA GENERACIÓN DE TEMPERATURA MEDIA DE LA ZONA DE ESTUDIO										
ESTACIONES	ALTITUD	TEMP.	T° CORREGID	Δ H	%	1/%	F.I. DE ALTITUD	F.I. DE TEMP.	F.I. TOTAL	T° HIST. CUENCA
	m.s.n.m.	C°	C°							
PISAC	2950	7.95451118	6.12788852	972.831	22.472	0.045	0.169	-0.393	-0.066	-0.527
KAYRA	3219	3.72991672	3.5683892	703.831	16.258	0.062	0.233	-0.839	-0.195	-0.729
URUBAMBA	2850	6.57419107	7.07937525	1072.831	24.782	0.040	0.153	-0.476	-0.073	-0.478
ANTA	3340	2.10414216	2.41709025	582.831	13.463	0.074	0.281	-1.487	-0.418	-0.880
CALCA	2926	5.1862274	6.35624533	996.831	23.026	0.043	0.164	-0.603	-0.099	-0.515
				4329.155	100	0.264	1	-3.798	-0.852	-3.128

Fuente: Elaboración propia

3.7.5.3. Cálculo de la temperatura máxima de la microcuenca en estudio

Los valores de los factores de influencia total se encuentran en el siguiente cuadro.

Tabla 91: Factores de influencia total - Temperatura mínima

AREA DE INTERES	PISAC	KAYRA	URUBAMBA	ANTA	CALCA
MC Laguna de Piuray	-0.0663	-0.1954	-0.0727	-0.4182	-0.0992

Fuente: Elaboración propia

Para obtener el valor de temperatura máxima para cada mes de un año determinado aplicamos la siguiente fórmula.

$$T. \text{Mínima}_{\text{enero}} = T. \text{Mínima}_{\text{Pisac}_{\text{enero}}} * F.I. \text{ Pisac} + T. \text{Mínima}_{\text{Kayra}_{\text{enero}}} * F.I. \text{ Kayra} + T. \text{Mínima}_{\text{Urubamba}_{\text{enero}}} * F. I. \text{ Urubamba} + T. \text{Mínima}_{\text{Anta}_{\text{enero}}} * F. I. \text{ Anta} + T. \text{Mínima}_{\text{Calca}_{\text{enero}}} * F. I. \text{ Calca}$$

Aplicamos la fórmula en cada uno de los meses de los años en estudio para poder determinar la precipitación máxima en la zona de estudio y así procesar la información.

La Tabla N° 93 presenta el consolidado de datos de precipitación total mensual de la microcuenca.



Tabla 92: Temperatura mínima corregida



"EVALUACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO DE LA CUENCA DE LA LAGUNA DE PIURAY CONSIDERANDO EL ESCENARIO MÁS DESFAVORABLE PARA EL AÑO 2040 SEGÚN EL MODELO WEAP, CON FINES DE ABASTECIMIENTO PARA LA CIUDAD DE CUSCO Y CHINCHERO"

TEMPERATURA MÍNIMA AFECTADA POR FACTORES DE ALTURA Y DISTANCIA

ZONA DE ESTUDIO: MC Laguna de Piuray

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1965	-5.49	-6.11	-5.43	-3.81	-0.96	1.15	1.15	-0.95	-3.60	-5.00	-5.89	-6.57	-41.52
1966	-6.07	-6.41	-5.41	-3.24	-2.28	1.03	1.62	-0.68	-2.84	-5.55	-6.05	-5.72	-41.62
1967	-5.76	-6.49	-6.38	-4.14	-2.31	0.63	0.09	-0.75	-3.08	-4.86	-4.90	-5.59	-43.53
1968	-5.76	-6.39	-5.65	-3.02	0.03	0.67	0.33	-2.31	-3.13	-4.71	-5.84	-5.48	-41.27
1969	-6.07	-6.12	-5.79	-4.52	-1.54	-0.12	0.75	-0.35	-2.65	-4.35	-4.97	-5.95	-41.69
1970	-6.68	-6.55	-5.67	-5.40	-1.59	-0.36	1.19	0.03	-2.69	-4.12	-4.57	-4.98	-41.38
1971	-6.00	-4.89	-5.36	-3.37	-0.57	0.66	1.59	-0.67	-2.09	-3.54	-4.34	-5.47	-34.06
1972	-6.03	-6.08	-5.96	-4.95	-1.22	0.71	0.37	-0.93	-2.30	-4.16	-5.08	-5.73	-41.38
1973	-6.50	-6.89	-6.66	-5.21	-1.63	0.13	-0.18	-1.31	-3.18	-4.14	-5.44	-5.42	-46.42
1974	-6.04	-6.04	-6.06	-4.51	-0.96	0.07	0.96	-1.12	-2.75	-4.54	-4.55	-5.37	-40.93
1975	-5.37	-5.93	-5.80	-3.98	-2.80	-0.09	1.79	-0.23	-2.81	-4.11	-5.19	-5.70	-40.23
1976	-6.28	-6.20	-5.72	-3.39	-1.48	-0.23	0.28	-0.76	-3.27	-4.03	-4.57	-6.12	-41.77
1977	-6.51	-6.30	-6.27	-4.17	-1.26	1.47	0.30	-0.51	-3.28	-4.28	-5.86	-5.71	-42.38
1978	-6.51	-6.55	-6.49	-5.09	-2.17	0.40	1.02	0.63	-3.16	-3.84	-5.44	-6.04	-43.25
1979	-5.78	-5.80	-5.91	-4.00	-1.49	1.02	0.68	-1.09	-3.24	-4.37	-5.74	-6.18	-41.88
1980	-6.44	-6.09	-6.22	-3.13	-1.06	0.81	0.71	-1.85	-3.03	-5.21	-5.17	-5.80	-42.50
1981	-6.55	-6.52	-6.27	-4.31	-2.10	0.06	0.48	-1.14	-2.78	-4.74	-6.27	-6.07	-46.21
1982	-6.40	-5.98	-5.62	-3.91	-0.50	0.68	1.11	-0.49	-2.69	-4.37	-5.34	-5.53	-39.04
1983	-6.05	-6.03	-5.61	-4.12	-0.95	0.85	1.18	-0.46	-2.58	-4.17	-4.90	-5.27	-38.10
1984	-5.98	-5.91	-5.53	-3.94	-0.81	0.80	1.67	-0.26	-2.35	-4.50	-4.92	-5.37	-37.10
1985	-5.51	-5.26	-4.95	-3.40	1.30	2.16	3.47	1.16	-2.42	-3.46	-4.59	-5.00	-26.50
1986	-5.46	-5.76	-5.63	-3.39	0.20	2.64	2.11	0.36	-1.89	-2.78	-3.14	-4.29	-27.02
1987	-5.32	-5.51	-4.40	-2.96	0.43	2.19	2.81	0.71	-2.51	-3.48	-5.06	-4.97	-28.08
1988	-5.13	-4.95	-5.06	-4.22	-1.28	1.72	1.39	1.40	-2.65	-3.98	-4.33	-4.49	-31.59
1989	-4.78	-4.69	-4.38	-3.71	-1.54	0.79	1.80	1.07	-2.05	-4.11	-4.25	-4.95	-30.80
1990	-5.49	-4.73	-4.05	-2.06	-0.56	-0.62	1.80	0.64	-1.21	-3.91	-5.43	-5.31	-30.95
1991	-5.59	-5.13	-5.11	-3.72	-0.77	0.62	1.63	0.70	-1.37	-3.20	-5.20	-4.25	-31.39
1992	-4.80	-4.74	-3.99	-1.78	-0.48	-0.15	0.16	-1.42	-3.02	-3.55	-4.39	-4.95	-33.11
1993	-5.54	-5.73	-5.01	-4.74	-0.24	2.15	1.39	-0.73	-2.71	-5.07	-6.05	-5.86	-38.14
1994	-5.97	-5.92	-5.83	-4.89	-1.27	2.15	2.83	1.18	-2.57	-3.90	-5.51	-5.84	-35.52
1995	-6.06	-5.18	-5.66	-2.74	0.29	1.72	1.31	0.41	-1.61	-3.86	-4.48	-5.21	-31.08
1996	-5.60	-5.98	-4.88	-4.03	-0.77	2.22	2.94	-0.49	-2.39	-4.27	-5.36	-5.79	-34.40
1997	-6.07	-5.76	-5.29	-2.80	-0.43	2.70	2.81	-0.22	-2.36	-4.07	-5.49	-6.02	-32.99
1998	-6.51	-6.73	-5.97	-4.15	1.33	1.37	2.19	-1.02	-1.85	-4.49	-4.74	-5.18	-35.75
1999	-5.88	-5.74	-5.55	-4.29	-1.57	2.19	3.18	0.99	-2.07	-4.27	-4.51	-5.26	-32.80
2000	-5.62	-6.06	-5.12	-3.81	-0.86	1.60	1.52	-0.15	-1.26	-4.26	-3.27	-5.20	-32.49
2001	-5.85	-5.85	-5.87	-3.44	-0.84	1.77	1.59	1.10	-3.61	-5.52	-5.96	-5.71	-38.19
2002	-5.72	-5.99	-5.65	-4.43	-0.78	0.15	-1.12	0.45	-3.31	-4.66	-5.04	-5.41	-41.50
2003	-6.17	-6.53	-6.15	-3.64	-1.28	0.71	1.99	-0.31	-1.37	-3.01	-4.28	-5.69	-35.72
2004	-6.22	-6.25	-5.05	-3.59	-0.41	1.13	0.95	0.39	-2.74	-4.82	-5.38	-5.63	-37.63
2005	-5.97	-6.34	-5.92	-3.57	0.71	2.44	2.48	0.67	-1.32	-5.03	-4.98	-6.32	-33.13
2006	-6.35	-5.85	-5.91	-4.23	0.91	1.19	3.12	-0.85	-2.67	-4.65	-5.54	-5.25	-36.09
2007	-6.55	-6.32	-6.48	-4.08	-1.20	1.36	1.17	0.80	-1.10	-3.62	-4.72	-5.66	-36.39
2008	-6.77	-5.64	-5.02	-3.18	-0.26	1.70	1.76	-0.44	-2.19	-5.06	-5.17	-6.16	-36.44
2009	-6.11	-5.87	-5.29	-3.91	-0.27	1.89	1.33	0.01	-1.87	-3.77	-6.20	-5.86	-35.91
2010	-5.93	-5.91	-5.59	-3.84	-1.44	0.85	1.01	0.57	-2.08	-4.30	-4.66	-5.56	-36.88
2011	-5.70	-5.94	-5.74	-4.29	-0.76	1.33	0.96	0.55	-3.47	-4.50	-5.20	-5.35	-38.11
2012	-5.61	-5.86	-5.18	-4.05	-0.15	1.12	2.12	0.92	-2.38	-4.44	-5.46	-6.55	-35.51
2013	-5.55	-6.51	-6.12	-2.76	-1.21	0.43	1.33	-0.32	-1.77	-4.72	-5.36	-6.00	-38.55
2014	-6.27	-5.89	-5.19	-3.66	-1.40	0.27	1.12	0.23	-3.04	-4.70	-5.15	-6.23	-39.90
2015	-6.00	-6.10	-5.68	-4.94	-2.12	-0.20	1.16	-0.37	-2.94	-3.88	-5.55	-5.93	-42.55
2016	-6.41	-7.35	-5.99	-4.03	-0.58	0.84	1.52	-0.50	-2.31	-4.33	-4.49	-5.66	-39.28
2017	-6.42	-5.89	-6.33	-4.99	-2.44	0.39	1.01	-0.64	-3.64	-4.22	-5.47	-6.07	-44.71
2018	-5.99	-6.61	-6.34	-3.98	-0.79	0.44	0.87	-1.40	-2.58	-4.56	-5.35	-5.58	-41.88
Nº DATOS	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54
MEDIA	-5.948	-5.960	-5.596	-3.880	-0.892	0.992	1.385	-0.181	-2.516	-4.278	-5.089	-5.579	-37.542
D. ESTANDAR	0.448	0.548	0.594	0.741	0.898	0.838	0.907	0.849	0.658	0.577	0.645	0.499	4.801
C. VARIACION	-0.075	-0.092	-0.106	-0.191	-1.007	0.655	0.655	-4.682	-0.262	-0.135	-0.127	-0.089	-0.128
MIN	-6.775	-7.348	-6.659	-5.404	-2.799	-0.622	-1.124	-2.312	-3.641	-5.551	-6.266	-6.570	-46.425
MAX	-4.783	-4.686	-3.992	-1.785	1.334	2.703	3.470	1.401	-1.104	-2.784	-3.139	-4.247	-26.502

Fuente: Elaboración propia

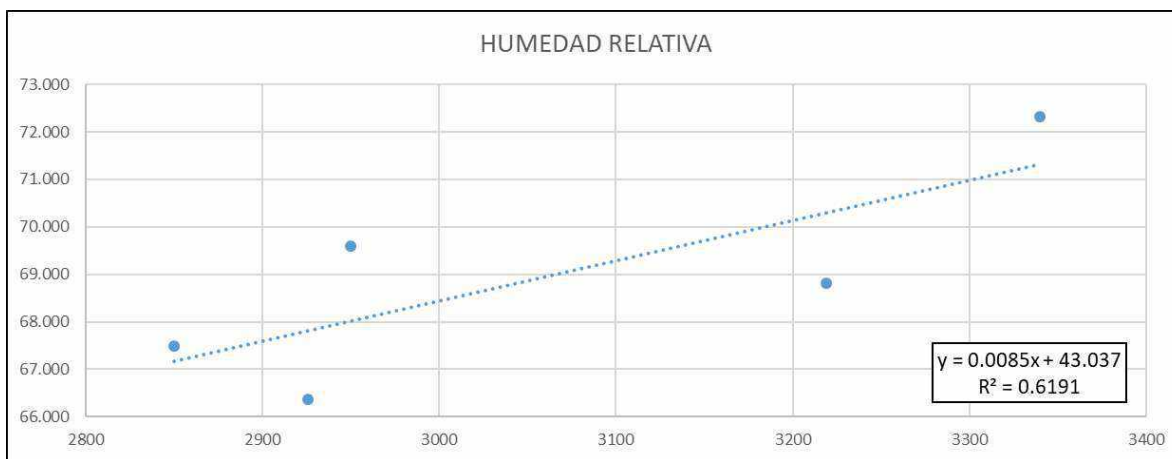
3.7.6. Regionalización de humedad relativa

La humedad relativa es un factor influyente para la obtención de datos como caudales, evapotranspiración, etc. por lo cual fue necesario regionalizar la información de las estaciones seleccionadas.

3.7.6.1. Determinación de coeficientes de correlación

La humedad relativa tiene relación directa con la temperatura y altitud, por lo cual al elaborar una regresión lineal es posible ver matemáticamente dicha relación. La Fig. 85 fue desarrollada con la humedad promedio y la altitud de cada una de las estaciones meteorológicas.

Fig. N° 85: Distribución lineal de temperatura media



Fuente: Elaboración propia

La Tabla N° 94 expresa la relación matemática entre la altitud de las estaciones y la humedad relativa de la zona para cada mes, por lo cual podemos calcular una humedad relativa hipotética para las microcuencas.



Tabla 93: Coeficientes de correlación por estación - Temperatura mínima

ESTACIONES	ELEVACIÓN	MES											
	m.s.n.m.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
PISAC	2950	73.123	74.803	73.789	71.918	68.382	67.602	67.376	68.068	66.785	66.777	66.344	70.084
KAVRA	3219	74.005	74.697	75.159	73.274	69.571	65.225	65.089	64.200	64.582	63.302	66.338	70.328
URUBAMBA	2850	71.772	72.012	71.394	69.460	66.697	64.568	64.260	63.750	64.460	64.533	66.419	70.452
ANTA	3340	76.313	77.112	76.459	74.176	71.477	69.558	69.986	68.019	68.957	70.105	71.581	74.078
CALCA	2926	72.349	72.795	72.046	69.943	65.779	63.219	61.700	61.736	61.937	62.401	64.094	68.446
PROMEDIO	3057	73.512	74.284	73.769	71.754	68.381	66.034	65.682	65.155	65.344	65.423	66.955	70.677
DES. ESTANDAR	210.826943	1.776	1.988	2.108	2.046	2.270	2.530	3.148	2.796	2.651	3.089	2.767	2.066
COEFICIENTES	a	0.008	0.008	0.010	0.009	0.010	0.008	0.010	0.006	0.008	0.008	0.010	0.007
	b	48.983	48.889	44.507	43.789	38.151	42.466	35.477	46.533	41.716	41.063	36.688	48.183
	r	-0.952	-0.881	-0.957	-0.943	-0.919	-0.642	-0.662	-0.459	-0.615	-0.544	-0.754	-0.751
	R ²	0.907	0.776	0.916	0.888	0.844	0.413	0.438	0.211	0.378	0.296	0.569	0.564

Fuente: Elaboración propia

Tabla 94: Temperaturas mínimas corregidas por microcuena

ZONA DE ESTUDIO	ELEVACIÓN	MES											
	m.s.n.m.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
MICROCUENA LAGUNA PI	3922.19164	80.455	81.471	82.051	79.669	76.937	72.705	74.231	70.425	72.031	72.318	75.521	77.044
MICROCUENA 01	3785.57	79.359	80.336	80.744	78.419	75.586	71.651	72.881	69.593	70.975	71.229	74.169	76.038
MICROCUENA 02	3997.89	81.062	82.100	82.776	80.362	77.686	73.288	74.979	70.886	72.616	72.921	76.271	77.601
MICROCUENA 03	4199.35	82.679	83.773	84.704	82.205	79.678	74.841	76.969	72.113	74.174	74.526	78.266	79.083
MICROCUENA 04	4151.42	82.294	83.375	84.246	81.766	79.204	74.472	76.496	71.821	73.803	74.144	77.791	78.730
MICROCUENA 05	4003.6	81.108	82.147	82.831	80.414	77.742	73.332	75.035	70.921	72.661	72.967	76.327	77.643
MICROCUENA 06	4008.61	81.148	82.189	82.879	80.460	77.792	73.371	75.085	70.952	72.699	73.006	76.377	77.680
MICROCUENA 07	3784.87	79.353	80.330	80.737	78.413	75.579	71.646	72.874	69.589	70.970	71.224	74.162	76.033
MICROCUENA 08	3707.2	78.730	79.685	79.993	77.702	74.811	71.047	72.107	69.115	70.370	70.605	73.393	75.462
MICROCUENA 09	3717.67	78.814	79.772	80.094	77.798	74.915	71.128	72.210	69.179	70.451	70.688	73.496	75.539
MICROCUENA 10	3815.61	79.600	80.585	81.031	78.694	75.883	71.883	73.178	69.776	71.208	71.469	74.466	76.260
MICROCUENA 11	3756.97	79.129	80.098	80.470	78.158	75.303	71.431	72.598	69.419	70.754	71.001	73.886	75.828
MICROCUENA 12	3805.38	79.518	80.500	80.933	78.600	75.782	71.804	73.077	69.714	71.128	71.387	74.365	76.184
MICROCUENA 13	3751.19	79.083	80.050	80.414	78.105	75.246	71.386	72.541	69.383	70.710	70.955	73.828	75.786

Fuente: Elaboración propia

3.7.6.2. Determinación de factores de influencia

Los factores de influencia son determinados en función a la altura y temperatura, de la siguiente manera:

- **Humedad relativa media mensual promedio:** El valor se obtuvo promediando los valores de todos los meses.
- **Humedad relativa media mensual corregida:** El valor se obtuvo aplicando la fórmula de regresión lineal.

$$y = 0.0085 + 43.037 \dots (3.61)$$

- y = Humedad media corregida
- x = Altura de la estación



- **Diferencia de altitud:** Se obtiene restando la altura de cada una de las estaciones con la altitud de la zona en estudio.
- **% de diferencia de altitud:** Determinamos el porcentaje de cada una de las diferencias de altitudes frente a la sumatoria total de las mismas.
- **Porcentaje inverso:** Dividimos 1 entre el porcentaje de la diferencia de altitud.
- **Factor de Influencia de Altitud:** Hallamos el factor de influencia mediante la siguiente fórmula:

$$Factor\ de\ influencia\ por\ altitud = \frac{\left(\frac{1}{\%}\right)}{\sum \frac{1}{\%}} \dots (3.62)$$

- **Factor de influencia de precipitación:** Obtenemos el factor de influencia de precipitación mediante la siguiente fórmula.

$$F.I.\ por\ temperatura = \frac{T.Histórica\ de\ las\ estaciones}{T.Histórica\ de\ la\ zona\ de\ estudio} \dots (3.63)$$

- **Factor de influencia total:** Para hallar el valor multiplicamos los factores previos.

$$Factor\ de\ influencia = F.I.\ de\ Altitud * F.I.\ de\ Temperatura$$

El procesamiento de datos fue realizado mediante la siguiente tabulación.

Tabla 95: Factores de influencia por estación - Temperatura mínima

FACTORES DE INFLUENCIA PARA LA GENERACIÓN DE TEMPERATURA MEDIA DE LA ZONA DE ESTUDIO										
ESTACIONES	ALTITUD	TEMP.	T° CORREGID.	Δ H	%	1/%	F.I. DE ALTITUD	F.I. DE TEMP.	F.I. TOTAL	T° HIST. CUENCA
	m.s.n.m.	C°	C°							
PISAC	2950	69.588	68.009	972.192	22.473	0.044	0.168	1.096	0.185	12.845
KAYRA	3219	68.814	70.286	703.192	16.255	0.062	0.233	1.108	0.258	17.759
URUBAMBA	2850	67.481	67.162	1072.192	24.785	0.040	0.153	1.130	0.173	11.647
ANTA	3340	72.318	71.310	582.192	13.458	0.074	0.281	1.054	0.297	21.450
CALCA	2926	66.370	67.805	996.192	23.028	0.043	0.164	1.149	0.189	12.536
				4325.9582	100	0.264	1	5.536	1.101	76.238

Fuente: Elaboración propia

3.7.6.3. Cálculo de la humedad relativa media de la microcuena

Los valores de los factores de influencia total se encuentran en el siguiente cuadro.



Tabla 96: Factor de influencia total por estación - Temperatura mínima

AREA DE INTERES	PISAC	KAYRA	URUBAMBA	ANTA	CALCA
MC Laguna de Piuray	0.185	0.258	0.173	0.297	0.189

Fuente: Elaboración propia

Para obtener el valor de temperatura máxima para cada mes de un año determinado aplicamos la siguiente fórmula.


$$\text{Humedad relativa}_{\text{enero}} = \text{Humedad relativa Pisac}_{\text{enero}} * \text{F.I. Pisac} + \text{Humedad relativa Kayra}_{\text{enero}} * \text{F.I. Kayra} + \text{Humedad relativa Urubamba}_{\text{enero}} * \text{F. I. Urubamba} + \text{Humedad relativa Anta}_{\text{enero}} * \text{F. I. Anta} + \text{Humedad relativa Calca}_{\text{enero}} * \text{F. I. Calca}$$

Aplicamos la fórmula en cada uno de los meses de los años en estudio para poder determinar la precipitación máxima en la zona de estudio y así procesar la información.

La Tabla N° 94 presenta el consolidado de datos de temperatura mínima mensual de la microcuenca.



Tabla 97: Temperatura mínima regionalizada

 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL													
"EVALUACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO DE LA CUENCA DE LA LAGUNA DE PIURAY CONSIDERANDO EL ESCENARIO MÁS DESFAVORABLE PARA EL AÑO 2040 SEGÚN EL MODELO WEAP, CON FINES DE ABASTECIMIENTO PARA LA CIUDAD DE CUSCO Y CHINCHERO"													
HUMEDAD RELATIVA AFECTADA POR FACTORES DE ALTURA Y DISTANCIA													
ZONA DE ESTUDIO:		MC Laguna de Piuray											
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1986	77.638	78.572	79.214	76.740	71.298	70.238	69.977	68.683	68.990	68.041	67.935	74.752	872.079
1987	79.221	77.372	76.613	74.482	72.171	71.347	69.987	66.562	66.286	66.304	70.577	72.249	863.172
1988	77.377	76.846	78.766	78.958	75.759	68.765	69.056	66.752	69.489	68.288	70.635	72.394	873.085
1989	77.852	76.702	77.113	77.259	72.625	69.338	71.343	70.394	70.131	53.886	71.543	72.058	860.242
1990	76.765	74.272	74.071	73.785	72.671	73.803	69.444	69.753	69.075	71.644	73.860	75.023	874.165
1991	75.828	78.000	77.587	76.121	70.928	68.900	66.565	65.422	69.472	70.458	74.357	73.132	866.770
1992	76.253	77.435	77.955	73.703	69.866	70.258	69.581	68.981	67.184	69.998	71.077	73.481	865.772
1993	78.130	79.897	80.142	79.072	70.631	68.525	67.622	69.192	70.811	74.421	77.975	81.663	898.082
1994	83.735	84.001	83.748	81.498	75.496	73.036	70.400	66.109	70.791	73.559	75.722	79.359	917.454
1995	80.496	80.176	82.987	78.426	74.121	73.218	74.622	70.010	71.805	70.547	71.579	74.589	902.576
1996	81.138	80.566	78.605	77.829	74.703	70.719	69.094	72.232	71.452	72.229	73.354	78.007	899.928
1997	81.261	82.140	81.796	77.655	73.948	70.304	69.236	72.143	70.548	70.308	74.141	78.384	901.863
1998	78.776	80.507	77.904	75.312	69.309	73.428	68.888	71.922	70.306	75.589	76.019	77.464	895.424
1999	80.243	83.053	83.198	79.626	76.008	71.192	75.014	71.606	78.407	73.222	72.650	79.267	923.486
2000	84.283	84.464	82.785	75.162	73.866	71.751	71.084	70.798	70.204	73.321	69.771	74.666	902.154
2001	83.134	81.918	81.140	75.810	75.846	73.517	74.460	74.257	73.898	76.034	76.824	77.944	924.781
2002	78.918	83.536	81.843	79.284	76.830	74.429	77.529	73.817	73.302	75.737	76.627	80.489	932.341
2003	81.036	81.909	83.334	78.311	74.922	64.206	64.722	74.187	73.578	74.668	74.350	81.082	906.305
2004	82.217	80.518	80.201	78.553	73.872	70.139	79.450	84.382	76.204	75.771	77.570	80.351	939.228
2005	83.620	90.089	83.229	80.539	78.326	70.851	70.449	78.574	79.388	79.684	76.901	79.834	951.483
2006	85.234	83.200	84.272	83.713	78.523	81.201	69.276	77.956	77.605	79.938	82.461	85.909	969.287
2007	85.173	83.330	84.453	82.617	77.767	65.698	75.999	73.839	76.134	75.218	74.356	80.923	935.505
2008	89.379	86.637	88.396	86.745	86.235	83.730	86.369	79.514	79.573	82.436	81.824	86.528	1017.366
2009	87.315	87.302	84.145	78.271	74.941	73.051	73.814	71.071	73.474	72.027	76.814	80.811	933.036
2010	82.966	82.247	81.569	81.824	79.480	79.112	76.958	76.108	75.971	77.029	77.945	83.378	954.586
2011	85.149	87.769	85.089	84.039	82.500	78.032	82.215	80.273	82.039	79.924	77.927	81.761	986.717
2012	84.148	81.977	79.258	79.329	71.090	74.528	80.612	73.211	76.743	67.975	76.431	84.095	929.397
2013	81.592	87.065	85.100	82.430	80.414	82.453	83.375	78.253	78.746	80.284	75.482	79.471	974.666
2014	80.638	82.966	79.754	75.187	78.638	74.262	74.206	71.809	73.289	73.106	73.337	79.882	917.076
2015	83.259	83.836	82.872	83.676	80.529	77.347	76.008	74.104	73.095	72.863	75.355	78.543	941.486
2016	81.737	85.806	80.354	81.291	75.965	72.698	71.855	71.351	69.571	73.185	67.027	77.163	908.005
2017	80.924	82.029	84.999	85.004	82.189	73.666	71.652	70.663	73.015	71.849	73.599	78.383	927.972
2018	83.395	82.783	83.948	80.453	75.556	77.756	74.425	75.252	70.315	74.368	74.855	78.147	931.253
N° DATOS	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54
MEDIA	81.285	82.136	81.627	79.387	75.714	73.028	72.739	71.972	72.273	72.382	74.168	78.147	914.858
D. ESTANDAR	2.969	3.346	2.890	3.167	3.682	3.940	4.455	4.175	3.576	4.855	3.609	3.296	33.167
C. VARIACION	0.037	0.041	0.035	0.040	0.049	0.054	0.061	0.058	0.049	0.067	0.049	0.042	0.036
MIN	74.241	74.272	74.071	71.612	68.069	64.206	64.722	63.672	66.286	53.886	65.878	72.058	860.242
MAX	89.379	90.089	88.396	86.745	86.235	83.730	86.369	84.382	82.039	82.436	83.054	86.528	1017.366

Fuente: Elaboración propia

3.7.7. Cálculo de evaporación

Los datos de evaporación fueron obtenidos gracias al pozo de evaporación perteneciente a la E.P.S. SEDACUSCO, cuyo registro se encuentra plasmado en la Tabla N° 95.



Tabla 98: Evaporación de la microcuenca de Piuray

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2013		69.85	82.64	91.8	87.01	72.49	86.28	93.46	107.67	90.28	98.04	79.4
2014	78.2	71.71	82.47	77.71	78.98	82.6	86.58	103.67	88.89	98.46	103.12	93.38
2015	83.7	84.88	92.25	71.41	78.26	71.04	101.39	109.75	103.57	98.86	102.14	92.02
2016	105.99	85.17	108.93	91.42	101.21	94.61	105.88	107.79	114.49	100.62	117.61	90.3
2017	87.18	86.55								106.09	83.81	94.34
2018	92.77											
Nro.DATOS	5.00	5.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	5.00	5.00	5.00
MEDIA	89.57	79.63	91.57	83.09	86.37	80.19	95.03	103.67	103.66	98.86	100.94	89.89
DESV.STD	10.60	8.13	12.44	10.18	10.66	10.90	10.10	7.26	10.82	5.68	12.10	6.06
C.V.	0.12	0.10	0.14	0.12	0.12	0.14	0.11	0.07	0.10	0.06	0.12	0.07
MIN	78.20	69.85	82.47	71.41	78.26	71.04	86.28	93.46	88.89	90.28	83.81	79.40
MAX	105.99	86.55	108.93	91.80	101.21	94.61	105.88	109.75	114.49	106.09	117.61	94.34

Fuente: SEDACUSCO

Ante la ausencia de datos fue necesario realizar una completación, para lo cual nos valimos del software HIDROESTA 2.

Para completar los datos con HIDROESTA 2 fue requerida la información de una estación cercana con datos completos por lo cual obtuvimos los registros de evaporación de la estación de Urubamba, los mismos que están registrados en la Tabla N° 100.

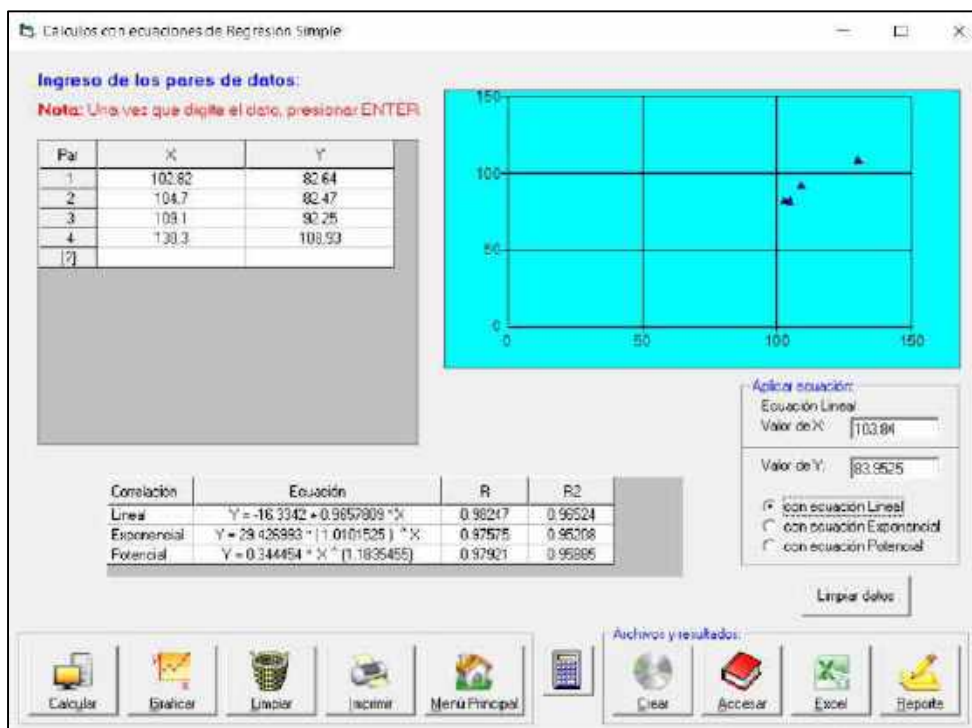
Tabla 99: Evaporación de la Estación de Urubamba

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
2011	102.70	79.66	90.48	93.08	92.94	89.87	113.46	117.62	117.84	128.10	132.30	96.02	1254.07
2012	106.34	69.86	111.80	88.84	106.02	103.30	116.32	130.58	139.80	148.40	141.76	92.84	1355.86
2013	87.40	85.56	102.82	111.16	105.59	101.06	93.18	130.51	144.09	144.24	119.75	97.54	1322.90
2014	113.30	91.90	104.70	104.40	99.00	110.20	109.70	130.10	123.70	147.40	139.40	127.50	1401.30
2015	117.80	85.84	109.10	81.70	97.60	100.30	116.00	129.70	154.90	154.50	149.90	121.60	1418.94
2016	117.60	85.84	130.30	106.50	129.30	113.10	126.00	143.20	171.40	143.64	169.68	105.13	1541.70
2017	106.38	98.26	103.84	94.80	89.66	101.68	131.04	155.06	149.96	148.24	95.64	95.29	1369.85
2018	120.96	89.82	102.56	102.10	127.17	88.96	102.00	107.30	151.02	144.93	135.49	105.13	1377.44
Nro.DATOS	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
MEDIA	109.06	85.84	106.95	97.82	105.91	101.06	113.46	130.51	144.09	144.93	135.49	105.13	1380.26
DESV.STD	10.91	8.46	11.31	9.91	14.87	8.50	12.18	14.49	17.19	7.62	21.64	12.87	82.74
C.V.	0.10	0.10	0.11	0.10	0.14	0.08	0.11	0.11	0.12	0.05	0.16	0.12	0.06
MIN	87.40	69.86	90.48	81.70	89.66	88.96	93.18	107.30	117.84	128.10	95.64	92.84	1254.07
MAX	120.96	98.26	130.30	111.16	129.30	113.10	131.04	155.06	171.40	154.50	169.68	127.50	1541.70

Fuente: SENAMHI

El software requiere incluir los datos de los años de registro por mes, gracias a los cuales se elaboran 3 tipos de regresión. Para el estudio hicimos uso de la regresión lineal.

Fig. N° 86: Completación de datos mediante HIDROESTA



Fuente: Elaboración propia

Gracias a la completación de datos obtuvimos la Tabla N° 101.

Tabla 100: Evaporación completada mediante HIDROESTA

EVAPORACIÓN COMPLETADA CON EL SOFTWARE HIDROESTA													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
2013	78.20	69.85	82.64	91.80	87.01	72.49	86.28	93.46	107.67	90.28	98.04	79.40	1037.12
2014	78.20	71.71	82.47	77.71	78.98	82.60	86.58	103.67	88.89	98.46	103.12	93.38	1045.77
2015	83.70	84.88	92.25	71.41	78.26	71.04	101.39	109.75	103.57	98.86	102.14	92.02	1089.27
2016	105.99	85.17	108.93	91.42	101.21	94.61	105.88	107.79	114.49	100.62	117.61	90.30	1224.02
2017	87.18	86.55	83.95	79.03	73.30	72.90	107.62	122.88	104.37	106.09	83.81	94.34	1102.02
2018	92.77	72.28	82.72	83.85	100.21	52.25	89.18	92.54	104.90	97.92	101.20	89.12	1058.94
Nro.DATOS	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
MEDIA	87.67	78.41	88.83	82.54	86.50	74.32	96.16	105.02	103.98	98.71	100.99	89.76	1092.86
DESV.STD	10.55	7.87	10.54	8.07	11.86	14.02	9.91	11.32	8.40	5.10	10.83	5.43	68.96
C.V.	0.12	0.10	0.12	0.10	0.14	0.19	0.10	0.11	0.08	0.05	0.11	0.06	0.06
MIN	78.20	69.85	82.47	71.41	73.30	52.25	86.28	92.54	88.89	90.28	83.81	79.40	1037.12
MAX	105.99	86.55	108.93	91.80	101.21	94.61	107.62	122.88	114.49	106.09	117.61	94.34	1224.02

Fuente: Elaboración propia

La evaporación se produce únicamente en cuerpos de agua por lo cual realizamos un inventario hídrico de lagunas presentes en la zona de estudio, el mismo que se consolidó en la Tabla N° 102.



Tabla 101: Inventario de lagunas de la microcuenca

INVENTARIO HIDRICO			
NOMBRE	Área	UBICACIÓN	
	km ²	UTM X	UTM Y
CHINCHAC	0.015	827349.21	8516700.13
CUSICOCHA	0.011	827160.11	8518098.54
PIURAY	3.044	821417.48	8514896.57
SIN NOMBRE 1	0.004	827375.13	8516595.47
SIN NOMBRE 2	0.013	815512.34	8518508.25
SIN NOMBRE 3	0.006	815673.82	8516636.53
SIN NOMBRE 4	0.017	815816.96	8516802.11
SIN NOMBRE 5	0.011	818661.72	8515971.09
SIN NOMBRE 6	0.097	818893.62	8516474.47
SIN NOMBRE 7	0.038	818815.61	8515585.86
TOTAL	3.255		

Fuente: Elaboración propia

Al realizar la multiplicación entre el área total de cuerpos de agua podemos obtener el valor de la evaporación mensual en m³/s.

Tabla 102: Cálculo de evaporación en m³/s

EVAPORACIÓN M3/SEG													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
2013	0.11	0.09	0.10	0.12	0.11	0.09	0.11	0.12	0.14	0.11	0.12	0.10	1.32
2014	0.10	0.09	0.10	0.10	0.10	0.10	0.11	0.13	0.11	0.12	0.13	0.12	1.31
2015	0.11	0.11	0.12	0.09	0.10	0.09	0.13	0.14	0.13	0.12	0.13	0.12	1.37
2016	0.13	0.11	0.14	0.11	0.13	0.12	0.13	0.14	0.14	0.13	0.15	0.11	1.54
2017	0.11	0.11	0.11	0.10	0.09	0.09	0.14	0.15	0.13	0.13	0.11	0.12	1.38
2018	0.12	0.09	0.10	0.11	0.13	0.07	0.11	0.12	0.13	0.12	0.13	0.11	1.33
Nro.DATOS	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
MEDIA	0.11	0.10	0.11	0.10	0.11	0.09	0.12	0.13	0.13	0.12	0.13	0.11	1.37
DESV.STD	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.08
C.V.	0.11	0.10	0.12	0.10	0.14	0.19	0.10	0.11	0.08	0.05	0.11	0.06	0.06
MIN	0.10	0.09	0.10	0.09	0.09	0.07	0.11	0.12	0.11	0.11	0.11	0.10	1.31
MAX	0.13	0.11	0.14	0.12	0.13	0.12	0.14	0.15	0.14	0.13	0.15	0.12	1.54

Fuente: Elaboración propia

3.7.8. Cálculo de evapotranspiración

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, más conocida como FAO, recomienda calcular la evapotranspiración mediante el método Penman-Monteith, para lo cual elaboraron el software CROPWAT.

El software requiere datos de la zona de estudio como:

- Temperatura máxima
- Temperatura mínima
- Humedad relativa
- Velocidad de viento

- Horas sol

Para incluir los datos dentro del programa se elaboró cuadros como el mostrado en la Tabla N° 104.

Tabla 103: Datos requeridos para obtención de evapotranspiración

AÑO:	1998	ALTURA:	3922.2	LATITUD:	13.42	LONGITUD:	72.01
MES	T° MIN °C	T° MAX °C	HUMEDAD %	V. VIENTO km/día	HORAS SOL horas	RADIACION MJ/m2/día	ETP mm/día
ENE	-6.514	28.187	78.776	410.575	5.584	19.000	5.470
FEB	-6.733	28.783	80.507	418.466	6.007	19.500	5.600
MAR	-5.972	28.017	77.904	390.908	6.242	19.000	5.290
ABR	-4.150	26.786	75.312	337.553	7.310	18.800	4.730
MAY	1.334	25.143	69.309	368.147	9.229	19.400	4.460
JUN	1.370	22.846	73.428	343.481	7.420	16.000	3.580
JUL	2.190	23.017	68.888	402.056	9.290	18.800	4.120
AGO	-1.021	25.117	71.922	538.664	7.906	18.800	4.900
SEP	-1.847	25.814	70.306	725.474	8.357	21.400	5.910
OCT	-4.494	25.497	75.589	608.062	5.639	18.500	5.320
NOV	-4.735	27.204	76.019	501.117	6.233	19.900	5.630
DIC	-5.180	25.479	77.464	429.548	5.010	18.000	4.930

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente se ingresaron los datos al software, cuyo ejemplo se muestra en la Fig, N° 87.

Fig. N° 87: Cálculo de evapotranspiración mediante CROPWAT

Mes	Temp Min °C	Temp Max °C	Humedad %	Viento km/día	Insolación horas	Rad MJ/m²/día	Eto mm/día
Enero	-6.5	28.2	79	411	5.6	19.0	5.47
Febre	-6.7	28.8	81	418	6.0	19.5	5.60
Marzo	-6.0	28.0	78	391	6.2	18.9	5.28
Abril	-4.2	26.8	75	338	7.3	18.8	4.73
Mayo	1.3	25.1	69	368	9.2	19.4	4.46
Junio	1.4	22.8	73	343	7.4	16.0	3.58
Julio	2.2	23.0	69	402	9.3	18.8	4.12
Agosto	-1.0	25.1	72	539	7.9	18.8	4.90
Septiembre	-1.8	25.8	70	725	8.4	21.5	5.91
Octubre	-4.5	25.5	76	608	5.6	18.5	5.32
Noviembre	-4.7	27.2	76	501	6.2	19.9	5.62
Diciembre	-5.2	25.5	77	430	5.0	18.0	4.93
Promedio	-3.0	26.0	75	456	7.0	18.9	4.99

Fuente: CROPWAT



La evapotranspiración se genera únicamente en cultivos, por lo cual nos valimos de un plano de cobertura vegetal elaborado por el Ministerio del Ambiente el año 2015, el mismo que procesamos mediante el software ARCGIS para obtener los datos de la microcuenca en estudio, dicho plano se encuentra en el Anexo XV – 04.

El plano nos permite obtener el área de las zonas de cultivo, cuya información fue consolidada en la Tabla N° 105.

Tabla 104: Cobertura vegetal de la microcuenca

NOMBRE	AREA (m2)	AREA (km2)	ETP
VEGETACION ARBORIA	1019487	1.02	SI
PASTIZALES NATURALES	2395618	2.40	NO
CULTIVO CON RIEGO	2507993	2.51	SI
CULTIVO CON RIEGO AGROFORESTACION	1138829	1.14	SI
CULTIVO EN SECANO	6228279	6.23	SI
CULTIVO EN SECANO CON AGROFORESTACION	655563.7	0.66	SI
CULTIVO EN SECANO CON CONSERVACION DE SUELOS	952094.6	0.95	SI
CULTIVO EN SECANO CON PROTECCION	18053935	18.05	SI
AREA URBANA	0	0	NO
AREA ROCOSA	2288599	2.29	NO
LAGUNAS	3458706	3.46	NO

AREA EN LA QUE APLICA LA ETP	30556181.04	m2
	30.56	km2

Fuente: Elaboración propia

Gracias al área hallada en los planos podemos convertir los datos de evapotranspiración de unidades mm/día a m3/s, dicho cálculo fue realizado en la Tabla N° 106.



Tabla 105: Evapotranspiración de la microcuenca

AÑO	EVAPOTRANSPIRACIÓN												TOTAL
	ETP m ³ /seg												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
1998	1.935	1.980	1.871	1.673	1.577	1.266	1.457	1.733	2.090	1.881	1.991	1.744	21.198
1999	1.669	1.471	1.386	1.415	1.252	1.234	1.202	1.584	1.609	1.896	2.055	1.676	18.450
2000	1.514	1.577	1.418	1.613	1.309	1.156	1.248	1.500	1.927	1.772	2.154	1.719	18.907
2001	1.337	1.376	1.372	1.457	1.220	1.192	1.181	1.538	1.871	1.917	1.843	1.740	18.044
2002	1.779	1.344	1.549	1.443	1.298	1.146	1.050	1.386	1.740	1.786	1.768	1.528	17.817
2003	1.503	1.563	1.358	1.524	1.333	1.294	1.429	1.471	1.722	2.034	2.154	1.623	19.009
2004	1.581	1.659	1.574	1.528	1.372	1.139	1.043	1.206	1.690	1.885	1.927	1.733	18.337
2005	1.655	1.514	1.606	1.570	1.390	1.298	1.397	1.545	1.712	1.758	1.980	1.800	19.225
2006	1.468	1.687	1.528	1.379	1.337	1.086	1.379	1.454	1.846	1.800	1.740	1.535	18.238
2007	1.623	1.634	1.461	1.358	1.248	1.298	1.178	1.606	1.645	1.843	1.995	1.800	18.687
2008	1.450	1.563	1.400	1.397	1.185	1.086	1.086	1.418	1.712	1.690	1.832	1.446	17.266
2009	1.333	1.333	1.464	1.454	1.312	1.224	1.199	1.630	1.807	2.143	1.666	1.563	18.129
2010	1.383	1.411	1.464	1.439	1.248	1.149	1.273	1.538	1.775	1.772	1.903	1.524	17.881
2011	1.446	1.287	1.255	1.347	1.202	1.149	1.072	1.397	1.542	1.729	1.995	1.507	16.930
2012	1.514	1.337	1.538	1.351	1.397	1.287	1.174	1.528	1.811	2.115	1.945	1.432	18.429
2013	1.613	1.446	1.496	1.464	1.316	1.008	1.075	1.408	1.782	1.779	1.931	1.560	17.877
2014	1.535	1.613	1.669	1.581	1.255	1.323	1.234	1.464	1.662	1.998	1.924	1.683	18.942
2015	1.545	1.599	1.570	1.270	1.167	1.202	1.259	1.549	1.889	1.956	1.984	1.705	18.694
2016	1.747	1.567	1.797	1.560	1.404	1.224	1.284	1.570	1.970	1.747	2.125	1.733	19.727
2017	1.637	1.680	1.549	1.386	1.072	1.210	1.351	1.648	1.814	1.995	1.835	1.673	18.850
2018	1.602	1.715	1.531	1.507	1.468	1.135	1.259	1.429	2.005	1.853	1.896	1.627	19.027
Nro.DATOS	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	8.00
MEDIA	1.57	1.54	1.52	1.46	1.30	1.20	1.23	1.50	1.79	1.87	1.94	1.64	18.56
DESV.STD	0.15	0.17	0.14	0.10	0.11	0.08	0.12	0.11	0.14	0.13	0.13	0.11	0.84
C.V.	0.09	0.11	0.09	0.07	0.09	0.07	0.10	0.08	0.08	0.07	0.07	0.07	0.05
MIN	1.33	1.29	1.26	1.27	1.07	1.01	1.04	1.21	1.54	1.69	1.67	1.43	16.93
MAX	1.93	1.98	1.87	1.67	1.58	1.32	1.46	1.73	2.09	2.14	2.15	1.80	19.73

Fuente: Elaboración propia

3.7.9. Cálculo de la escorrentía

Para calcular la escorrentía aplicamos dos modelos determinísticos y estocásticos, Temez y Lutz Scholz.

3.7.9.1. Aforos

La generación de caudales mediante modelos determinísticos y estocásticos necesitan de una medida de comparación para poder evaluar el ajuste de dichos modelos. Bajo dicho principio, en el presente estudio se realizó aforos de caudales entre los meses enero y diciembre del 2018.

Fueron 3 tipos de aforos realizados, estos en función a la necesidad o disposición de los cursos de agua.

3.7.9.1.1. Aforo con correntómetro

Gracias a los datos tomados por el correntómetro podemos calcular el volumen de los cursos de agua, el siguiente es un ejemplo didáctico de dicha actividad.



Datos:

- $v = \text{Velocidad} = 109 \text{ km/día} = 1.2615 \text{ m/s}$
- $a = \text{Área de la sección} = 90 \text{ cm} \times 14 \text{ cm} = 0.126 \text{ m}^2$

Bajo la fórmula:

$$Q = v * a \quad \dots (3.64)$$

$$Q = 1.2615 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 0.126 \text{ m}^2 = 0.159 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

3.7.9.1.2. Aforo con flotadores

Para calcular el caudal mediante este método es necesario los siguientes datos:

- $a1 = \text{Área sección 1} = 54 \text{ cm} \times 5 \text{ cm} = 0.027 \text{ m}^2$
- $a2 = \text{Área sección 2} = 44 \text{ cm} \times 5 \text{ cm} = 0.022 \text{ m}^2$
- $t = \text{Tiempo} = 4.36 \text{ s}$
- $d = \text{Distancia} = 0.70 \text{ m}$

Aplicamos la fórmula:

$$\text{Volumen} = \frac{a1 + a2}{2} * d \quad \dots (3.65)$$

$$V = \frac{0.027 \text{ m}^2 + 0.022 \text{ m}^2}{2} * 0.70 \text{ m} = 0.01715 \text{ m}^3$$

$$Q = \frac{V}{t} \quad \dots (3.66)$$

$$Q = \frac{0.01715 \text{ m}^3}{4.36 \text{ s}} = 0.00393 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

3.7.9.1.3. Aforo volumétrico

Para el aforo volumétrico nos valimos de un balde cuya área es de 0.02559 m^2 y los datos a recabar son los siguientes:

- $h = \text{Altura de balde lleno} = 0.14 \text{ m}$
- $t = \text{Tiempo de aforo} = 5 \text{ s}$



Hacemos uso de la fórmula:

$$Volumen = \text{Área balde} * h \quad \dots (3.67)$$

$$Volumen = 0.02559 \text{ m}^2 * 0.14 \text{ m} = 0.00179 \text{ m}^3$$

$$Q = \frac{V}{t} \quad (3.68)$$

$$Q = \frac{0.00179 \text{ m}^3}{5 \text{ s}} = 0.000716 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Posteriormente se agruparon los valores y consolidaron en cuadros como el siguiente:

Tabla 106: Cálculo de caudales aforados

NRO	AREA DE SECCION		METODOS							CAUDAL AFORADO	
			BALDE 1	BALDE 2	FLOTADORES	CORRENTOMETRO			V. MIN		
	A	B				PTO 1	PTO 2	PTO 3	Q (m3/seg)	m3/seg	m3/seg
1	0.036					0.01710835			0.01710835		0.01710835
2	0.02	0.016			0.00483661				0		0.00483661
3	0.006	0.0078			0.00097275				0		0.00097275
4									0	0.00014	0.00014
5	0.027	0.022			0.00465658				0		0.00465658
6	0.0672					0.07201191	0.05161337		0.12362528		0.12362528
7	0.016	0.0092			0.00134592				0		0.00134592
8	0.005	0.0036			0.00107107				0		0.00107107
9	0.119					0.04126438	0.01152813		0.05279252		0.05279252
10	0.012	0.0198			0.00595012				0		0.00595012

Fuente: Elaboración propia

La Tabla N° 107 corresponde a los 10 primeros puntos aforados en el mes de enero, sin embargo, para realizar las comparaciones estadísticas se requiere agrupar los datos en función al mes, es por ello que se elaboró la Tabla N° 108.

Tabla 107: Consolidado de caudales mensuales aforados

MES	Q (m3/seg)	N° PUNTOS	HUMEDO	SECO	V. MIN
ENE	1.121	30	29	1	1
FEB	1.643	29	27	2	2
MAR	1.425	29	28	1	3
ABR	1.248	28	19	6	3
MAY	0.613	27	20	6	1
JUN	0.641	27	20	6	1
JUL	0.508	28	20	6	2
AGO	0.590	23	14	8	1
SEP	0.256	29	14	11	4
OCT	0.250	29	15	9	5
NOV	1.484	34	25	5	4
DIC	1.216	29	28	1	0

Fuente: Elaboración propia



3.7.9.2. Modelo Temez

El modelo Temez ha sido ampliamente aplicado en la sierra sur peruana, el desarrollo del mismo está explicado en la siguiente secuencia.

3.7.9.2.1. Determinación de umbral de escorrentía medio

Mediante la Fig. N° 88 podemos determinar los valores de umbral para cada uno de los usos de tierra presentes en la microcuenca, sin embargo, para determinar el umbral general de la cuenca es necesario realizar la ponderación de los valores aplicando la fórmula x.

Fig. N° 88: Coeficientes de umbral de escorrentía medio

USO DE LA TIERRA	PENDIENTE %	CARACT. HIDROLOG.	GRUPO DE SUELO			
			A	B	C	D
Barbecho	> 3	R	15	8	6	4
	< 3	N	17	11	8	6
Cultivo en hilera	> 3	R	23	13	8	6
	< 3	R/N	25	16	11	8
Cereales de invierno	> 3	R	29	17	10	8
	< 3	N	32	19	12	10
Rotación de cultivos pobres	> 3	R	26	15	9	6
	< 3	N	28	17	11	8
Rotación de cultivos densos	> 3	R	37	20	12	9
	< 3	N	42	23	14	11
Praderas	> 3	R/N	47	25	16	13
		Pobre	24	14	8	6
		Media	53	23	14	9
	< 3	Buena	33	18	13	
		Muy buena	41	22	15	
		Pobre	58	25	12	7
Plantaciones regulares de aprovechamiento forestal	> 3	Media	35	17	10	
		Buena	22	14		
		Muy buena	25	16		
	< 3	Pobre	62	26	15	10
		Media	34	19	14	
		Buena	42	22	15	
Masas forestales (bosque, monte bajo, etc.)	> 3	Pobre	34	19	14	
		Media	42	22	15	
		Buena	50	25	16	
		Muy clara	40	17	8	5
		Clara	60	24	14	10
Rocas permeables	> 3	Media	34	22	16	
		Espesa	47	31	23	
		Muy espesa	65	43	33	
Rocas impermeables	> 3			3		
	< 3			5		
Firmes granulares sin pavimento	> 3			2		
Adoquinados	< 3			4		
Pavimentos bituminosos u hormigón				2		
				1,5		
				1		

Fuente: (Villón, Hidrología, 2002)



Por medio del plano de cobertura vegetal (Anexo N° XV - 04) obtenemos los diferentes usos de suelo presentes en la microcuenca, sin embargo, fue requerido procesar la información en el software ARCGIS para determinar qué cantidad de dicha área posee una pendiente mayor al 3%.

Tabla 108: Umbral de escorrentía medio

DETERMINACION DE UMBRAL DE ESCORRENTIA MEDIO					
USO DE TIERRA	PENDIENTE	CARACT. HIDR.	GRUPO SUELO	AREA	P _o
PRADERA	>3	POBRE	D	17.6878	6
CULTIVO EN HILERA	> 3	R	D	13.6043	6
CULTIVO EN HILERA	< 3	R	D	4.8892	11
PRADERA	>3	BUENA	D	0.1527	13
P_o PONDERADO (mm)					6.668

Fuente: Elaboración propia

El umbral de escorrentía ponderado se obtuvo mediante la fórmula 3.69.

$$P_o = \frac{\sum_{i=1}^n A_n * P_{o_n}}{\sum \text{Área}} \quad \dots (3.69)$$

3.7.9.2.2. Determinación del parámetro excedente

Inicialmente se calcula el coeficiente de área mediante la fórmula 3.70 o 3.71

$$K_A = 1 \text{ si } A < 1 \quad \dots (3.70)$$

$$K_A = 1 - \frac{\text{Log}(A)}{15} \text{ si } 1 \leq A < 3000 \quad \dots (3.71)$$

Posteriormente procesamos la precipitación máxima en 24 horas (P'_d) multiplicando por el coeficiente del área hallado previamente.

$$P'_d = K_A * P_d \quad \dots (3.72)$$

El umbral de escorrentía (P_o) debe ser corregido con un coeficiente de corrección (□), el cual para el caso de la sierra sur peruana es 2.

$$P'_o = \beta * P_o \quad \dots (3.73)$$

Para calcular el parámetro excedente aplicamos la siguiente fórmula.

$$C = \frac{(P'_d - P'_o) * (P'_d + 23 * P'_o)}{(P'_d + 11 * P'_o)^2} \dots (3.74)$$

La consolidación de datos del cálculo de parámetro excedente se encuentra en la Tabla N° 110.

Tabla 109: Parámetro excedente

PARAMETRO EXCEDENTE			
COEFICIENTE DE AREA	K _A =	0.90	
PRECIPITACION MAXIMA DIARIA	P _d =	42.17	mm
PRECIPITACION MAXIMA MENSUAL	P' _d =	37.78	mm
COEFICIENTE DE CORRECCION DE UMBRAL	β =	2	
UMBRAL DE ESCORRENTIA CORREGIDO	P' _o =	13.34	mm
PARAMETRO EXCEDENTE	C =	0.247	

Fuente: Elaboración propia

3.7.9.2.3. Cálculo de retención de la cuenca

La retención de la cuenca es calculada mediante las láminas de agua presentes en cada tipo de formación geológica o cuerpo de agua.

Tabla 110: Cálculo de la retención de la cuenca

TIPO	PENDIENTE	LAMINA mm	AREA km2	TOTAL
LAGUNAS Y PANTANOS		500	3.255	1627.477
ACUIFERO	0-4 %	285	4.596	1309.852
	4-8 %	255	6.928	1766.583
	8-15 %	202.5	10.676	2161.887
NEVADOS		500	0.000	0.000
Σ				6865.798
H _{MAX} =				172.611

mm

Fuente: Elaboración propia

La ponderación de la retención de la cuenca se logró mediante la siguiente fórmula.

$$H_{MAX} = \frac{\sum_{i=1}^n A_n * H_n}{\sum \text{Área}} \dots (3.75)$$

3.7.9.2.4. Determinación de la corrección por latitud

Para poder realizar la corrección por latitud se hace uso de la Tabla N° 112 donde se introduce la latitud del centro de gravedad de la microcuenca en estudio. Dicha tabla posee datos de



latitud enteros, sin embargo, la latitud de la cuenca es 13.42° por lo cual fue requerido realizar una interpolación, la misma que es presentada en la Tabla N° 113.

La fórmula de interpolación es la siguiente:

$$y = x - \frac{(x - z) * (a - b)}{(a - c)} \quad \dots (3.76)$$

Donde:

- a = Latitud 1
- b = Latitud de la microcuenca
- c = Latitud 2
- x = Factor de corrección para latitud 1
- y = Factor de corrección para la microcuenca
- z = Factor de corrección para latitud 2

Realizamos el ejemplo didáctico para el mes de enero.

$$y = 2.652 - \frac{(2.652 - 2.68) * (13 - 13.42)}{(13 - 14)} = 2.664$$

Tabla 111: Correlación por latitud

LAT (°)	MESES DEL AÑO											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1	2.288	2.117	2.354	2.197	2.137	1.998	2.091	2.216	2.256	2.358	2.234	2.265
2	2.371	2.136	2.357	2.182	2.108	1.956	2.05	2.194	2.251	2.372	2.263	2.301
3	2.353	2.154	2.36	2.167	2.079	1.922	2.026	2.172	2.246	2.386	2.29	2.337
4	2.385	2.172	2.362	2.151	2.05	1.888	1.995	2.15	2.24	2.396	2.318	2.372
5	2.416	2.189	2.363	2.134	2.02	1.854	1.96	2.126	2.231	2.411	2.345	2.407
6	2.447	2.05	2.363	2.117	1.98	1.82	1.97	2.103	2.226	2.422	2.371	2.442
7	2.47	2.221	2.363	2.099	1.959	1.785	0.1893	2.078	2.218	2.233	2.397	2.476
8	2.508	2.237	2.362	2.061	1.927	1.75	1.858	2.054	2.21	2.443	2.423	2.51
9	2.538	2.251	2.36	2.062	1.896	1.715	1.824	2.028	2.201	2.453	2.448	2.544
10	2.567	2.266	2.357	2.049	1.864	1.679	1.789	2.003	2.191	2.462	2.473	2.577
11	2.596	2.279	2.354	2.023	1.852	1.644	1.754	1.976	2.18	2.47	2.497	2.61
12	2.625	2.292	2.35	2.002	1.799	1.608	1.719	1.95	2.169	2.477	2.52	2.643
13	2.652	2.305	2.345	1.981	1.767	1.872	1.648	1.922	2.157	2.464	2.543	2.675
14	2.68	2.317	2.34	2.959	1.733	1.536	1.648	1.895	2.144	2.43	2.566	2.706
15	2.707	2.326	2.334	2.937	1.7	1.5	1.812	1.867	2.131	2.436	2.583	2.738
16	2.734	2.339	2.317	1.914	1.666	1.464	1.576	1.838	2.171	2.5	2.61	2.769
17	2.76	2.349	2.319	1.891	1.632	1.427	1.54	1.889	2.103	2.504	2.631	2.799
18	2.785	2.359	2.311	1.867	1.598	1.391	1.504	1.789	2.068	2.508	2.651	2.83
19	2.811	2.36	2.302	1.843	1.564	1.354	1.467	1.75	2.072	2.51	2.671	2.859

Fuente: (Villón, Hidrología, 2002)



Tabla 112: Interpolación de correlación por latitud

INTERPOLACION DE FACTOR DE CORRECCION POR LATITUD												
LAT (°)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
13.000	2.652	2.305	2.345	1.981	1.767	1.872	1.648	1.922	2.157	2.464	2.543	2.675
13.420	2.664	2.310	2.343	2.392	1.753	1.731	1.648	1.911	2.152	2.450	2.553	2.688
14.000	2.68	2.317	2.34	2.959	1.733	1.536	1.648	1.895	2.144	2.43	2.566	2.706

Fuente: Elaboración propia

3.7.9.2.5. Generación de caudales mensuales

Para la generación de caudales se elaboró la Tabla N° 114 cuyas filas son descritas a continuación:

Fila 1: Días del mes en análisis

Fila 2: Temperatura media (en grados centígrados) del año de estudio

Fila 3: Temperatura media (en grados Fahrenheit) del año de estudio, obtenida mediante la fórmula 3.77.

Fila 4: Humedad relativa media regionalizada

Fila 5: Factor de corrección por latitud hallada en pasos anteriores

Fila 6: Factor de corrección por humedad relativa, obtenida mediante la fórmula 3.78.

Fila 7: Factor de corrección por altitud, obtenida mediante la fórmula 3.79.

Fila 8: Evapotranspiración (mm/mes), obtenida mediante la fórmula 3.80.

Fila 9: Evapotranspiración (mm/día) la cual se obtuvo dividiendo la fila 8 entre la fila 1

Fila 10: Humedad del suelo, dato obtenido en laboratorio

Fila 11: ∂ , infiltración efectiva, obtenida mediante la fórmula 3.81.

Fila 12: Precipitación efectiva del mes en estudio

Fila 13: Excedente, caudal generado evaluando los factores previos

$$T^{\circ F} = T^{\circ C} * 1.8 + 32 \quad \dots (3.77)$$

$$CH = 0.166 * \sqrt{100 - HR_{MED}} \quad \dots (3.78)$$



$$CE = 1 + 0.04 * \frac{H}{1000} \quad \dots (3.79)$$

$$ETP = T^{\circ}F * MF * CH * CE \quad \dots (3.80)$$

$$\partial = P_o - H_{i-1} + ETP \left(\frac{mm}{mes} \right) \quad \dots (3.81)$$

$$T_1 = \frac{(P_1 - P_o)^2}{P_1 + \partial - 2 * P_o} \quad \dots (3.82)$$

Tabla 113: Cálculo de caudales generados

N°	Parámetro	Und	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1	Dias del mes		31	28	31	30	31	30	30	31	30	31	30	31
2	Temperatura media - T° med	°C	6.811	7.096	6.952	6.623	5.979	5.271	5.271	5.798	6.616	6.933	7.279	6.980
3	Temperatura media - T° med	°F	44.260	44.773	44.514	43.921	42.762	41.488	41.487	42.436	43.910	44.480	45.103	44.564
4	Humedad relativa media - HR med	%	83.395	82.783	83.948	80.453	75.556	77.756	74.425	75.252	70.315	74.368	74.855	78.147
5	Factor mensual de latitud mm - MF		2.664	2.310	2.343	2.392	1.753	1.731	1.648	1.911	2.152	2.450	2.553	2.688
6	Factor de corrección por HR - CH		0.676	0.689	0.665	0.734	0.821	0.783	0.839	0.826	0.904	0.840	0.832	0.776
7	Factor de corrección por h - CE		1.078	1.078	1.078	1.078	1.078	1.078	1.078	1.078	1.078	1.078	1.078	1.078
8	ETP	mm/mes	86.008	76.827	74.803	83.144	66.338	60.632	61.899	72.210	92.147	98.759	103.353	100.248
9	ETP	mm/dia	2.774	2.744	2.413	2.771	2.140	2.021	2.063	2.329	3.072	3.186	3.445	3.234
10	Humedad de suelo - H _{i-1}	mm	126.000	126.000	126.000	126.000	126.000	126.000	126.000	126.000	126.000	126.000	126.000	126.000
11	∂	mm	132.619	123.439	121.414	129.755	112.949	107.243	108.510	118.821	138.759	145.371	149.965	146.860
12	Precipitación - P ₁	mm	198.582	230.383	182.541	39.137	5.277	36.398	24.083	27.484	19.874	128.729	150.760	157.731
13	Excedente - T ₁	mm	115.870	146.991	106.433	6.777	0.018	6.783	2.543	3.259	1.200	57.136	72.246	78.351
14	Excedente - T ₂	m3/seg	1.580	2.219	1.451	0.095	0.000	0.096	0.036	0.044	0.017	0.779	1.018	1.068

Fuente: Elaboración propia

3.7.9.2.6. Evaluación estadística

Para poder determinar si los valores obtenidos con el método de generación de caudales Temez tienen un ajuste aceptable con la realidad, se debe realizar una comparación estadística que nos ofrezca un coeficiente de correlación simple.

Para el presente estudio se realizaron aforos a lo largo del año 2018 por lo cual la comparación se realizará con los caudales generados para dicho año.



Tabla 114: Comparación entre caudales generados y aforados

MES	CAUDAL AFORADO	CAUDAL GENERADO
JUL	0.508	0.036
AGO	0.590	0.044
SEP	0.256	0.017
OCT	0.250	0.779
NOV	1.484	1.018
DIC	1.216	1.068
ENE	1.121	1.580
FEB	1.643	2.219
MAR	1.425	1.451
ABR	1.248	0.095
MAY	0.613	0.000
JUN	0.641	0.096

Fuente: Elaboración propia

Realizamos el análisis mediante la prueba T para medias emparejadas. El cálculo para los valores de la presente Tabla N° 116 se siguió el siguiente procedimiento:

- **Columna 1:** Mes de análisis
- **Columna 2:** Caudal aforado
- **Columna 3:** Caudal calculado
- **Columna 4:** Col 1 * Col 2
- **Columna 5:** (Col 3)²
- **Columna 6:** (Col 2)²
- **Columna 7:** Aplicamos la fórmula 3.87
- **Columna 8:** Col 2 – Col 7
- **Columna 9:** (Col 8)²
- **Columna 10:** Aplicamos la fórmula 3.88

Adicionalmente se calcularon valores mediante las siguientes fórmulas:

$$a = \frac{\sum y * \sum x^2 - \sum x * y * \sum x}{n * \sum x^2 - (\sum x)^2} \dots (3.83)$$

$$b = \frac{n * \sum x * y - \sum y * \sum x}{n * \sum x^2 - (\sum x)^2} \dots (3.84)$$



$$\text{Coeficiente 1} = \frac{n * \sum x * y - \sum y \sum x}{\sqrt{(n * \sum x^2 - (\sum x)^2) * (n * \sum y^2 - (\sum y)^2)}} \dots (3.85)$$

$$\text{Coeficiente 2} = 1 - \frac{\text{Col 9}}{\text{Col 10}} \dots (3.86)$$

$$\text{Col 7} = \text{Col 3} * b + a \dots (3.87)$$

$$\text{Col 10} = (\text{Col 2} - \text{Prom}_{\text{Col 2}})^2 \dots (3.88)$$

Donde:

- a = Intercepción = 0.588
- b = x1 = 0.468
- Coeficiente 1 = Coeficiente de correlación simple
- Coeficiente 2 = Coeficiente de determinación

Tabla 115: Análisis de regresión múltiple

ANALISIS DE REGRESION MULTIPLE									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
n	y	x	x*y	x^2	y^2	Y Calculada	(y-Y)	e^2	y-Yprom
JUL	0.508	0.036	0.018	0.001	0.258	0.605	-0.097	0.009	0.167
AGO	0.590	0.044	0.026	0.002	0.349	0.609	-0.019	0.000	0.106
SEP	0.256	0.017	0.004	0.000	0.065	0.596	-0.341	0.116	0.437
OCT	0.250	0.779	0.195	0.607	0.063	0.953	-0.703	0.494	0.443
NOV	1.484	1.018	1.511	1.036	2.203	1.065	0.419	0.176	0.322
DIC	1.216	1.068	1.299	1.141	1.479	1.089	0.128	0.016	0.090
ENE	1.121	1.580	1.770	2.496	1.256	1.328	-0.207	0.043	0.042
FEB	1.643	2.219	3.646	4.924	2.699	1.627	0.016	0.000	0.528
MAR	1.425	1.451	2.068	2.106	2.031	1.268	0.157	0.025	0.259
ABR	1.248	0.095	0.119	0.009	1.557	0.633	0.615	0.378	0.110
MAY	0.613	0.000	0.000	0.000	0.376	0.588	0.025	0.001	0.092
JUN	0.641	0.096	0.061	0.009	0.411	0.633	0.008	0.000	0.076
Σ	10.995	8.404	10.719	12.333	12.746	10.995	0.000	1.258	2.671
PROM	0.916	0.700	0.893	1.028	1.062	0.916	0.000	0.105	0.223

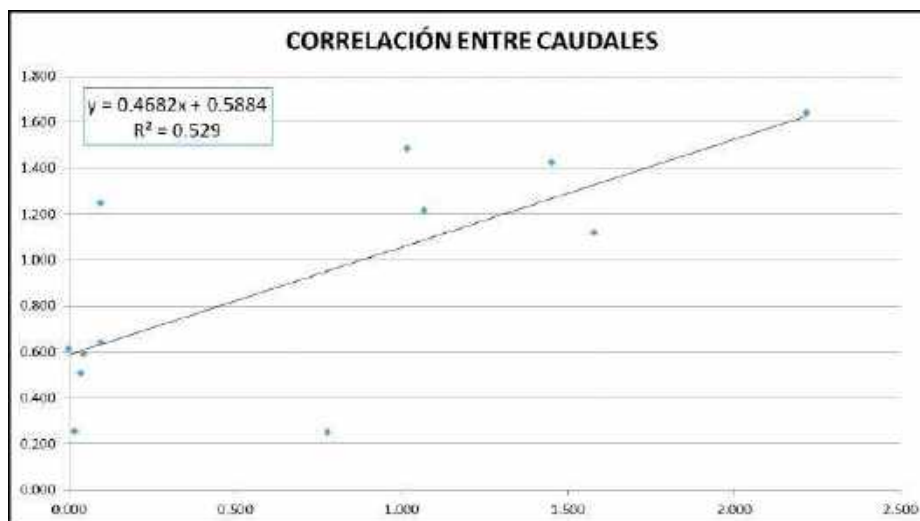
Fuente: Elaboración propia

Tabla 116: Valores de regresión múltiple

REGRESION	
n	12.000
a (intercepción)	0.588
b (x1)	0.468
Coeficiente de correlación simple	0.727
Coeficiente de determinación R^2	0.529

Fuente Elaboración propia

Fig. N° 89: Correlación entre caudales



Fuente: Elaboración propia

Para comprobar los datos obtenidos mediante el análisis, realizamos un análisis prueba T mediante el análisis de datos del software MICROSOFT EXCEL, cuyos resultados son expresados en la Tabla N° 118.

Tabla 117: Prueba T para medias de dos muestras emparejadas

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Media	0.700	0.916
Varianza	0.586	0.243
Observaciones	12	12
Coeficiente de correlación de Pearson	0.727	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	11	
Estadístico t	-1.413	
P(T<=t) una cola	0.093	
Valor crítico de t (una cola)	1.796	
P(T<=t) dos colas	0.185	
Valor crítico de t (dos colas)	2.201	

Fuente: MICROSOFT EXCEL



3.7.9.3. Método de generación de caudales Lutz Scholz

Al igual que el método de generación de caudales Temez, la metodología Lutz Scholz ha sido usado ampliamente en la sierra sur peruana, principalmente por el PLAN MERISS para desarrollar diferentes proyectos hídricos.

Para realiza este método se realizó los siguientes pasos:

3.7.9.3.1. Temperatura media:

Inicialmente se realiza un cuadro acopiando la información de temperatura media mensual promedio de cada una de las estaciones seleccionadas para el estudio.

Tabla 118: Temperatura media mensual

ESTACIONES	ELEVACIÓN	MES											
	m.s.n.m.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
PISAC	2950	15.91	15.81	15.79	15.57	14.83	13.96	13.50	14.36	15.52	16.52	17.15	16.32
KAYRA	3219	13.66	13.72	13.36	12.50	11.01	9.95	9.61	10.94	12.54	13.54	14.06	13.79
URUBAMBA	2850	15.79	15.78	15.65	15.33	14.04	12.84	12.13	13.30	14.71	15.72	16.15	15.88
ANTA	3340	12.62	12.62	12.46	11.80	9.78	8.48	8.33	9.40	10.84	12.11	12.73	12.67
CALCA	2926	14.35	14.41	14.18	13.59	12.90	11.74	11.63	12.89	14.55	14.93	15.84	15.08

Fuente: Elaboración propia

Gracias al cuadro podemos determinar la temperatura promedio anual de cada una de las estaciones.

$$Temperatura_{promedio} = \frac{\sum_{i=1}^n T^{\circ C}}{n} \dots (3.89)$$

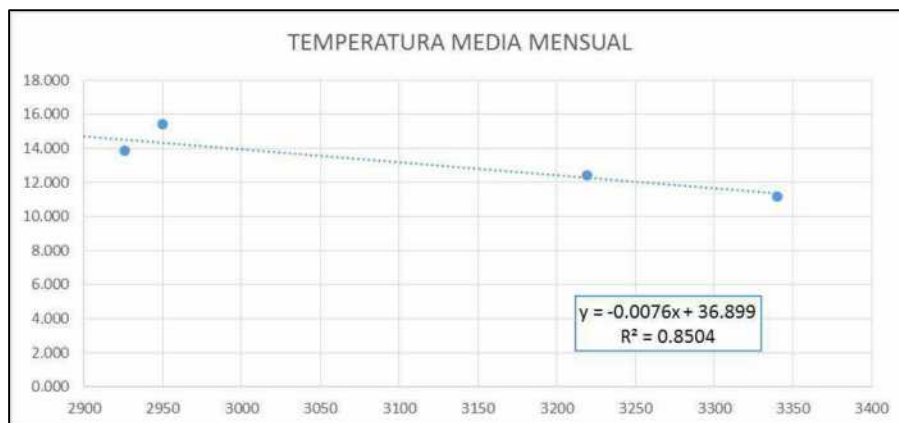
Tabla 119: Temperatura media anual

ESTACIONES	ELEVACIÓN	TEMP.
	m.s.n.m.	C°
PISAC	2950	15.436
KAYRA	3219	12.391
URUBAMBA	2850	14.775
ANTA	3340	11.152
CALCA	2926	13.840

Fuente: Elaboración propia

Gracias a la Tabla N° 120 podemos elaborar una regresión lineal (expresada en la Fig. 90) de la cual obtenemos valores para determinar la temperatura corregida mediante la siguiente ecuación.

Fig. N° 90: Distribución de temperatura media mensual



Fuente: Elaboración propia

$$T. \text{Corregida} = a + b * x \quad \dots (3.90)$$

Tabla 120: Temperatura media mensual corregida

ESTACIONES	ELEVACIÓN	T. CORREG.
	m.s.n.m.	C°
PISAC	2950	14.337
KAYRA	3219	12.280
URUBAMBA	2850	15.102
ANTA	3340	11.354
CALCA	2926	14.521

Fuente: Elaboración propia

3.7.9.3.2. Relación n/N

- **Horas de sol mensuales (n)**

Dentro de la información suministrada por el SENAMHI encontramos la cantidad de horas sol mensual de tres estaciones meteorológicas, Kayra, Anta y Urubamba.

Gracias a dichos datos elaboramos la Tabla N° 122 que agrupa los datos del promedio horas sol por mes de cada una de las estaciones.



Tabla 121: Horas sol mensuales - n

HORAS DE SOL MENSUALES - n													
ESTACION	LAT (°)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
KAYRA	-13.5569	124.536	118.854	142.919	183.165	233.269	233.143	250.135	236.900	203.931	192.260	170.194	139.020
ANTA	-13.4683	164.350	140.700	160.175	157.450	184.767	203.500	238.767	217.967	189.333	187.325	189.325	158.200
URUBAMBA	-13.3052	147.509	142.531	162.782	177.696	229.134	224.479	241.121	240.359	218.788	203.428	185.473	154.915

Fuente: Elaboración propia

Con estos datos, y valiéndonos de que la cantidad de horas sol tiene relación con la latitud del lugar de interés podemos realizar una interpolación, gracias a la siguiente fórmula.

$$y = \frac{x - (x - b)(x - z)}{(a - c)} \quad \dots (3.91)$$

Donde:

- y = Horas sol cuenca
- x = Horas sol latitud 1
- a = Latitud 1
- b = Latitud cuenca
- c = Latitud 2
- z = Horas sol latitud 2

Gracias a la interpolación podemos calcular hasta 3 valores de horas sol para la cuenca, por lo cual optamos por realizar un promedio, entre dichos valores. El cálculo de dichos valores se encuentra consolidado en la Tabla N° 123.

Tabla 122: Interpolación de las estaciones con la microcuenca

INTERPOLACION DE LAS ESTACIONES CON LA ZONA DE INTERES													
NRO 1	-13.416	137.428	132.141	154.065	180.096	230.949	228.281	245.077	238.841	212.268	198.527	178.768	147.940
NRO 2	-13.416	158.909	141.292	161.017	163.991	199.100	210.277	239.527	225.201	198.849	192.527	188.080	157.139
NRO 3	-13.416	188.057	153.708	170.450	142.138	155.887	185.850	231.997	206.693	180.641	184.386	200.716	169.621
CUENCA PIURAY		161.465	142.380	161.844	162.075	195.312	208.136	238.867	223.578	197.253	191.814	189.188	158.233

Fuente: Elaboración propia

Esta última interpolación se deberá realizar la división de la cuenca de Piuray de enero entre el promedio de los días de cada mes.



$$\text{hora sol por dia} = \frac{\# \text{ de dias}}{\text{cuenca de Piuray}} \dots (3.92)$$

$$\text{horas sol por dia} = \frac{31}{161.465}$$

Tabla 123: Horas sol diarias

DATOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
NRO DÍAS	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
HR SOL X DÍA	5.209	5.085	5.221	5.402	6.300	6.938	7.705	7.212	6.575	6.188	6.306	5.104

Fuente: Elaboración propia

- **Horas de sol máximas diarias (N)**

Para el cálculo de horas de sol máximas diarias se hace uso de la Tabla N° 125, la cual está en función a la latitud de la zona de estudio. El valor de la latitud posee decimales sin embargo los valores de la tabla son expresados en números enteros, por lo cual nos valimos de una interpolación, la misma que es expresada en la ecuación 3.93.

Tabla 124: Horas máximas sol por día

Latitud Sur	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	SET	Oct	Nov	Dic
0	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1
5	12.3	12.3	12.1	12	11.9	11.8	11.8	11.9	12	12.2	12.3	12.4
10	12.6	12.4	12.1	11.8	11.6	11.5	11.6	11.8	12	12.3	12.6	12.7
15	12.9	12.6	12.2	11.8	11.4	11.2	11.3	11.6	12	12.5	12.8	13
20	13.2	12.8	12.3	11.7	11.2	10.9	11	11.5	12	12.6	13.1	13.3
25	13.5	13	12.3	11.6	10.9	10.6	10.7	11.3	12	12.7	13.3	13.7
30	13.9	13.2	12.4	11.5	10.6	10.2	10.4	11.1	12	12.9	13.6	14
35	14.3	13.5	12.4	11.3	10.3	9.8	10.1	11	11.9	13.1	14	14.5
40	14.7	13.7	12.5	11.2	10	9.3	9.6	10.7	11.9	13.3	14.4	15

Fuente: (Villón, Hidrología, 2002)

$$y = \frac{x - (x - b)(x - z)}{(a - c)} \dots (3.93)$$

Donde:

- y = Horas sol cuenca
- x = Horas sol latitud 1



- a = Latitud 1
- b = Latitud cuenca
- c = Latitud 2
- z = Horas sol latitud 2

Como ejemplo podemos el cálculo de las horas sol para el mes de enero.

$$y = 12.6 - (10 - 13.416) * \frac{12.6 - 12.900}{10.000 - 15} = 12.805$$

Tabla 125: Interpolación de horas sol máxima diaria

INTERPOLACION - NUMERO DE HORAS DE SOL MAXIMA MEDIA DIARIA PROBABLE PARA DIFERENTES MESES Y LATITUDES SUR - N												
LAT (°)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
10.000	12.600	12.400	12.100	11.800	11.600	11.500	11.600	11.800	12.000	12.300	12.600	12.700
13.416	12.805	12.537	12.168	11.800	11.463	11.295	11.395	11.663	12.000	12.437	12.737	12.905
15.000	12.900	12.600	12.200	11.800	11.400	11.200	11.300	11.600	12.000	12.500	12.800	13.000

Fuente: Elaboración propia

Para hallar la relación de número de hora sol entre el número de horas de sol máxima media diaria probable para diferentes meses y latitudes sur – n, se deberá dividir:

$$\frac{n}{N} = \frac{HORA SOL POR DIA (n)}{HORAS SOL MÁXIMAS DIARIAS (N)} \dots (3.94)$$

$$\frac{n}{N} = \frac{5.209}{12.805} = 0.407$$

Y este tendrá el promedio de cada mes que se halla con al siguiente formula:

$$Promedio = 0.407 * 100 = 40.676$$

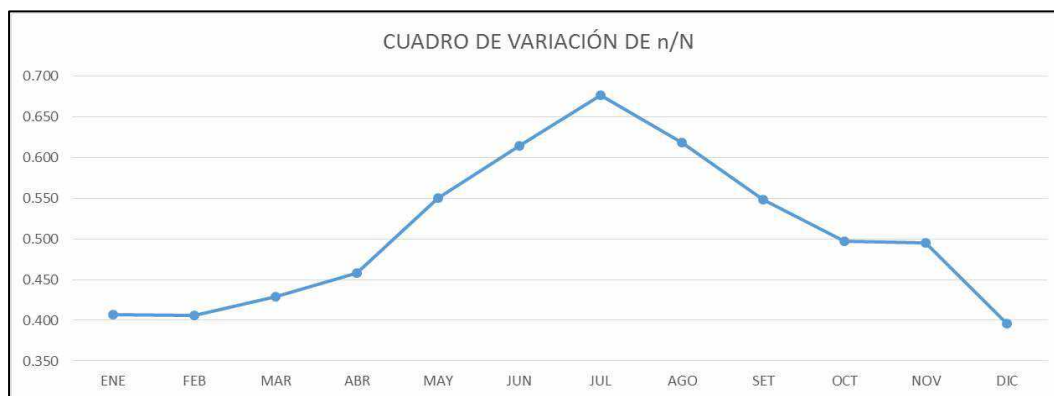
Tabla 126: Relación n/N para la microcuenca

RELACIÓN n/N PARA LA MICROCUENCA DE LA LAGUNA DE PIURAY													
DATO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	PROMEDIO
n/N	0.407	0.406	0.429	0.458	0.550	0.614	0.676	0.618	0.548	0.498	0.495	0.396	0.508
PROMEDIO	40.676	40.561	42.905	45.784	54.961	61.424	67.620	61.836	54.792	49.753	49.513	39.553	50.782

Fuente: Elaboración propia

Gracias a los datos obtenidos en la Tabla 127 podemos elaborar la Fig. N° 91.

Fig. N° 91: Distribución de n/N durante el año



Fuente: Elaboración propia

▪ **Radiación extraterrestre media diaria**

Para obtener la radiación extraterrestre media diaria es requerida la Tabla N° 128, cuyos valores se encuentran en función a la latitud de la zona de estudio.

Tabla 127: Cuadro de radiación extraterrestre media diaria

Latitud Sur	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
0	15	15.5	15.7	15.3	14.4	13.9	14.1	15.6	15.3	15.4	15.1	14.8
2	15.3	15.7	15.7	15.1	14.1	13.5	13.7	14.5	15.2	15.5	15.3	15.1
4	15.5	15.8	15.6	14.9	13.8	13.2	13.4	14.3	15.1	15.6	15.5	15.4
6	15.8	16	15.6	14.7	13.4	12.8	13.1	14	15	15.7	15.8	15.7
8	16.1	16.1	15.5	14.4	13.1	12.4	12.7	13.7	14.9	15.8	16	16
10	16.4	16.3	15.5	14.2	12.8	12	12	13.5	14.3	15.9	16.2	16.2
12	16.6	16.3	15.4	14	12.5	11.6	12	13.2	14.7	15.8	16.4	16.5
14	16.7	16.4	15.3	13.7	12.1	11.2	11.6	12.9	14.5	15.8	16.5	16.5
16	16.9	16.4	15.2	13.5	11.7	10.8	11.2	12.6	14.3	15.8	16.7	16.8
18	17.1	16.5	15.1	13.2	11.4	10.4	10.8	12.3	14.1	15.8	16.8	17.1
20	17.3	16.5	15	13	11	10	10.4	12	12.9	15.8	17	17.4

Fuente: (Villón, Hidrología, 2002)

Se realiza la interpolación de radiación extra media diaria, como ejemplo podemos el cálculo del valor para el mes de enero.

$$y = x - \frac{(x - b)(x - z)}{(a - c)} \dots (3.95)$$

$$y = 16.600 - \frac{(10 - 13.416) * (16.600 - 16700)}{(10.00 - 15)} = 16.668$$



Tabla 128: Interpolación de radiación extraterrestre diaria

INTERPOLACION - RADIACION EXTRATERRESTRE MEDIA DIARIA												
LATITUD	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
12.000	16.600	16.300	15.500	14.200	12.800	12.000	12.000	13.500	14.300	15.900	16.200	16.200
13.416	16.668	13.772	13.246	12.561	11.844	11.454	11.522	12.202	12.729	13.577	13.877	14.014
14.000	16.700	12.600	12.200	11.800	11.400	11.200	11.300	11.600	12.000	12.500	12.800	13.000

Fuente: Elaboración propia

Para hallar la radiación extraterrestre media diaria (RMD) de la cuenca se aplica las siguientes formulas:

$$Radiacion_{mensual} = \# \text{ de dias} * interpolacion RMD_{cuenca} \dots (3.96)$$

$$Radiacion_{mes} = 31 * 16.668 = 516.718$$

Tabla 129: Radiación extraterrestre media diaria

RADIACIÓN EXTRATERRESTRE MEDIA DIARIA (RMD) DE LA CUENCA												
DATO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
CUENCA 13.416	16.668	13.772	13.246	12.561	11.844	11.454	11.522	12.202	12.729	13.577	13.877	14.014
NRO DÍAS	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
RADIACION X MES	516.718	385.628	410.616	376.815	367.152	343.605	357.176	378.264	381.864	420.899	416.321	434.434
RADIACION ACUM.	4789.494											

Fuente: Elaboración propia

3.7.9.3.3. Evapotranspiración - Hargreaves por radiación

Para poder calcular la evapotranspiración por Hargreaves se recopilan los siguientes datos:

- RA = Radicación acumulada
- RSM = Radiación Solar Media, mediante la ecuación 3.97.
- n/N = Relación entre horas sol
- T (F°) = Temperatura en grados Fahrenheit
- AL = Altitud, mediante la ecuación 3.x.
- FA = Factor de Altura, mediante la ecuación 3.x.
- ETP = evapotranspiración, mediante la ecuación 3.x.



Tabla 130: Cálculo de ETP por radiación

DATOS	
RA =	4789.494
RSM =	2559.786
n/N =	50.782
T (F°) =	44.423
AL =	3.922
FA=	1.235
ETP=	1053.564

Fuente: Elaboración propia

Las fórmulas empleadas fueron:

$$RSM = 0.075 * RA * \sqrt{\frac{n}{N}} \quad \dots (3.97)$$

$$AL = \frac{Elevacion_{cuenca}}{1000} \quad \dots (3.98)$$

$$FA = 1 + 0.06 * AL \quad \dots (3.99)$$

$$ETP = 0.0075 * RSM * T(F^\circ) * FA \quad \dots (3.100)$$

Tabla 131: Calculo de ETP por radiación por mes

DATOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
RA =	516.718	385.628	410.616	376.815	367.152	343.605	357.176	378.264	381.864	420.899	416.321	434.434
RSM =	247.163	184.198	201.720	191.226	204.143	201.971	220.284	223.089	211.998	222.662	219.710	204.916
n/N =	40.676	40.561	42.905	45.784	54.961	61.424	67.620	61.836	54.792	49.753	49.513	39.553
T (F°) =	48.718	48.829	48.108	45.771	40.233	37.810	38.160	40.394	43.289	46.335	47.295	48.137
AL =	3.922	3.922	3.922	3.922	3.922	3.922	3.922	3.922	3.922	3.922	3.922	3.922
FA=	1.235	1.235	1.235	1.235	1.235	1.235	1.235	1.235	1.235	1.235	1.235	1.235
ETP=	111.563	83.332	89.911	81.093	76.096	70.752	77.883	83.492	85.027	95.588	96.275	91.390
Σ	1042.401											

Fuente: Elaboración propia

3.7.9.3.4. Precipitación.

Para procesar la precipitación se debe considerar dos periodos de años, inicialmente calibración se obtendrá mediante los datos de los 15 primeros años.



Tabla 132: Cálculo de parámetros para precipitación de años de calibración

DATOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
NRO DATOS	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
MEDIA	276.502	232.567	191.794	71.139	10.869	15.586	3.545	12.553	26.981	82.477	138.078	213.632	1275.722
DESV. STAN	71.905	61.876	86.811	36.757	7.728	21.904	6.493	15.952	21.771	33.164	55.916	83.814	236.611
COEF. VARIA	0.260	0.266	0.453	0.517	0.711	1.405	1.832	1.271	0.807	0.402	0.405	0.392	0.185
PREC. MIN.	161.762	139.430	81.600	14.078	1.130	0.000	0.000	0.000	5.339	28.803	60.088	119.692	947.677
PREC. MAX.	435.995	338.676	356.154	144.257	26.965	71.413	24.716	44.937	89.903	136.568	252.841	402.043	1856.277

Fuente: Elaboración propia

Para la validación de datos se requiere la totalidad de datos de precipitación, en total se procesaron 33 años en todas las estaciones de estudio, como podemos apreciar, los valores como media y desviación estándar no poseen una variación considerable.

Tabla 133: Cálculo de parámetros para precipitación de años de validación

DATOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
NRO DATOS	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33
MEDIA	279.314	245.158	196.664	70.769	11.513	13.628	9.931	13.808	26.521	90.136	136.767	219.028	1313.237
DESV. STAN	75.419	67.280	81.512	35.531	7.473	17.657	17.070	14.096	20.950	39.895	56.815	68.810	254.130
COEF. VARIA	0.270	0.274	0.414	0.502	0.649	1.296	1.719	1.021	0.790	0.443	0.415	0.314	0.194
PREC. MIN.	161.762	139.430	81.600	14.078	0.413	0.000	0.000	0.000	3.205	26.869	48.766	119.692	947.677
PREC. MAX.	476.739	388.556	374.050	146.760	26.965	71.413	80.051	45.544	89.903	192.793	282.482	402.043	1856.277

Fuente: Elaboración propia

3.7.9.3.5. Retención de la cuenca.

La retención de la cuenca se encuentra en función a los diferentes cuerpos de agua, así como a la pendiente de los acuíferos. En el siguiente cuadro se puede presentar el total de la laguna lagos y nevados que existe en la microcuenca de Piuray y el área correspondiente a cada acuífero en función a su pendiente.

$$R_n = Lamina * Area \quad \dots (3.101)$$

$$R = \sum \frac{R_n}{A} \quad \dots (3.102)$$



Tabla 134: Cálculo de retención de la cuenca

AREA				
39.78	KM2			

TIPO	PENDIENTE	LAMINA mm	AREA km2	TOTAL
LAGUNAS Y PANTANOS		500	3.255	1627.477
ACUIFERO	0-4 %	285	4.596	1309.852
	4-8 %	255	6.928	1766.583
	8-15 %	202.5	10.676	2161.887
NEVADOS		500	0.000	0.000
			Σ	6865.798
			R	172.611

Fuente: Elaboración propia

3.7.9.3.6. Coeficiente de escurrimiento

El coeficiente de escurrimiento de escurrimiento puede obtenerse mediante diferentes fórmulas, las siguientes son las más usuales. Para determinar el valor a usar podemos optar por uno de ellos.

$$C_1 = 0.914 - 2.36 * 10^{-4} * P_C - 0.0581 * T_C$$

$$C_2 = 0.682 - 0.0526 * T_C - 1.36 * 10^{-4} * t_c^2$$

$$C_3 = 1.813 - 1.87 * 10^{*10^{-4}} * P_C - 1.12^{-3}$$

$$C_4 = 5.21 - 7.31 * 10^{-3} * ETP + 2.68 * 10^{-6}$$

$$C_5 = 3.16 * 10^{12} * P_C^{-0.571} * ETP^{-3.686}$$

$$C_6 = 6.47 - 0.0691 * \ln(P_C) - 0.8 * \ln(ETP)$$

$$C_7 = \frac{P_C - D_1}{P_C}$$

$$C_8(TURC) = \frac{P_C - D_2}{P_C}$$

Se debe realizar el cálculo de un coeficiente de escurrimiento tanto para la calibración como para la validación.



Tabla 135: Coeficiente de escurrimiento para calibración

$C_1 =$	0.212	$C_5 =$	0.384
$C_2 =$	0.312	$C_6 =$	0.408
$C_3 =$	0.394	$C_7 =$	0.357
$C_4 =$	0.483	$C_8 =$	0.640

Fuente: Elaboración propia

Tabla 136: Coeficiente de escurrimiento para validación

$C_1 =$	0.203	$C_5 =$	0.378
$C_2 =$	0.312	$C_6 =$	0.406
$C_3 =$	0.387	$C_7 =$	0.351
$C_4 =$	0.483	$C_8 =$	0.649

Fuente: Elaboración propia

3.7.9.3.7. Déficit de escurrimiento

Para hallar el déficit de escurrimiento se emplea las siguientes formulas:

$$D_1 = -1380 + 0.872 * P_c + 1.032 * ETP \quad \dots (3.103)$$

$$L = 300 + 25 * t_c + 0.05 + t_c^3 \quad \dots (3.104)$$

$$D_2 = \frac{P_c}{(0.9 + \frac{P_c^2}{L^2})^{0.5}} \quad \dots (3.105)$$

Es necesario calcular un déficit de escurrimiento tanto para calibración como para validación, esto debido a que los valores dependen de la precipitación total mensual. Las siguientes tablas nos presentan los valores hallados para ambos casos.

Tabla 137: Déficit de escurrimiento para calibración

$D_1 =$	819.707
$D_2 =$	459.548
$L =$	488.987

Fuente: Elaboración propia



Tabla 138: Déficit de escurrimiento para validación

$D_1 =$	828.437
$D_2 =$	446.563
$L =$	471.787

Fuente: Elaboración propia

3.7.9.3.8. Coeficiente de agotamiento

El coeficiente de agotamiento se encuentra regulado en función a determinadas cualidades de la cuenca, las mismas que están descritas en el siguiente cuadro:

Tabla 139: Panoramas para el cálculo de agotamiento

PANORAMA	FORMULA
1. Sea una cuenca de agotamiento muy rápido por temperatura elevada $> 10^{\circ}\text{C}$ y retención R reducida a mediana (50 a 80 mm/año)	$a = -0.00252 * \ln(AR) + 0.034$
2. Sea una cuenca de agotamiento rápido por la retención R (50 a 80 mm/año) y vegetación poco desarrollada (puna)	$a = -0.00252 * \ln(AR) + 0.030$
3. Sea una cuenca de agotamiento mediano por la retención R mediana alrededor de 80 mm/año y vegetación mezclada (pastos bosques o terrenos)	$a = -0.00252 * \ln(AR) + 0.026$
4. Sea una cuenca de agotamiento reducido por alta retención R (arriba de 100 mm/año) y vegetación mezclada (pastos bosques o terrenos cultivados)	$a = -0.00252 * \ln(AR) + 0.023$
5. Sea una cuenca de agotamiento rápido por temperatura elevada $< 10^{\circ}\text{C}$ y retención R reducida a mediana (50 a 80 mm/año)	$a = -0.00252 * \ln(AR) + 0.032$

Fuente: Elaboración propia



Tras desarrollar las fórmulas obtuvimos los siguientes valores.

Tabla 140: Resultados y determinación del panorama

NRO	a
1	0.025
2	0.021
3	0.017
4	0.014
5	0.023

PANORAMA
4
0.0137

Fuente: Elaboración propia

3.7.9.3.9. Generación de caudales

- **Precipitación efectiva**

Para el cálculo de la precipitación efectiva se hace uso de las condicionales necesarias para elaborar las tres curvas requeridas para la evaluación.

Tabla 141: Condicionales para determinar la precipitación efectiva

CURVA I	CURVA II	CURVA III
Si $P \geq 177,8$ mm/mes	Si $P \geq 152,4$ mm/mes	Si $P \geq 127,0$ mm/mes
$PE = P - 120,60$ (mm/mes)	$PE = P - 86,40$ (mm/mes)	$PE = P - 59,70$ (mm/mes)

Fuente: Elaboración propia

En caso de no cumplirse las condicionales previas se elaboran las mismas mediante la siguiente ecuación.

$$PE = a_0 + a_1 * P + a_2 * P^2 + a_3 * P^3 + a_4 * P^4 + a_5 * P^5 \quad \dots (3.106)$$

Para resolver las ecuaciones de las diferentes curvas, hacemos uso de la precipitación efectiva y la Tabla N° 143.



Tabla 142: Valores para la elaboración de curvas

COEFICIENTES DE PRECIPITACIÓN EFECTIVA			
	CURVA I	CURVA II	CURVA III
a0	-0.01836	-0.02138	-0.02800
a1	-0.01850	0.13576	0.27560
a2	0.00111	-0.00230	-0.00410
a3	-0.00001	0.00004	0.00006
a4	0.00000	0.00000	0.00000
a5	0.00000	0.00000	0.00000

Fuente: Elaboración propia

- **Coefficientes de precipitación efectiva**

Para poder seleccionar las curvas de las cuales haremos uso debemos evaluar los coeficientes que salen de la relación entre una y otra. La Tabla N° 144 resume los coeficientes generados para las curvas.

Tabla 143: Coeficientes de precipitación efectiva

COEFICIENTES DE PRECIPITACIÓN EFECTIVA					
ENTRE I Y II			ENTRE II Y III		
$C1 = \frac{C * Pc - PEI}{PEI - PEII}$	C1 =	0.52017958	$C1 = \frac{C * Pc - PEIII}{PEII - PEIII}$	C1 =	1.62414888
$C2 = \frac{C * Pc - PEI}{PEII - PEI}$	C2 =	0.47982042	$C2 = \frac{C * Pc - PEII}{PEIII - PEII}$	C2 =	-0.62414888

Fuente: Elaboración propia

Como podemos apreciar la relación entre la curva I y II nos dan valores positivos, razón por la cual seleccionamos dichas curvas.

Para determinar los valores de la precipitación para cada mes, nos valemos de las condicionales impuestas en la Tabla N° 144, en caso que el cálculo salga negativo, el valor de la precipitación será 0.

El resultado del procesamiento para cada mes fue consolidado en la Tabla N° 145.

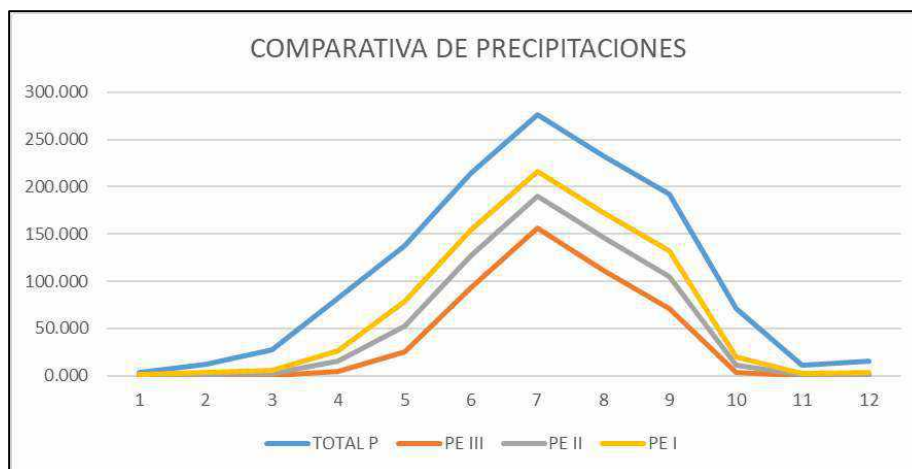
Tabla 144: Cálculo de las curvas de precipitación

MES	DIAS	PRECIPITACION MENSUAL				
		TOTAL P	PE I	PE II	PE III	PE
		mm/mes	(mm/mes)	mm/mes	mm/mes	mm/mes
JUL	31	3.545	0.000	0.433	0.900	0.208
AGO	31	12.553	0.000	1.405	2.897	0.674
SEP	30	26.981	0.123	2.776	5.554	1.396
OCT	31	82.477	4.792	15.500	26.159	9.930
NOV	30	138.078	24.821	52.663	78.378	38.180
DIC	31	213.632	93.032	127.232	153.932	109.441
ENE	31	276.502	155.902	190.102	216.802	172.312
FEB	28	232.567	111.967	146.167	172.867	128.377
MAR	31	191.794	71.194	105.394	132.094	87.604
ABR	30	71.139	3.092	11.232	19.325	6.998
MAY	31	10.869	0.000	1.237	2.555	0.594
JUN	30	15.586	0.000	1.696	3.486	0.814
TOTAL		1275.722	464.923	655.837	814.949	556.528

Fuente: Elaboración propia

En la Fig. N° 92 podemos apreciar la distribución de las diferentes curvas.

Fig. N° 92: Distribución de las curvas de precipitación



Fuente: Elaboración propia

▪ **Cálculo de gasto y abastecimiento**

Valiéndonos del coeficiente de agotamiento podemos obtener los siguientes valores.

$$b_i = (e^{-a*t})^i \quad \dots (3.107)$$



Donde:

- b_i = Relación entre el agotamiento y precipitación
- a = Coeficiente de agotamiento
- t = Número de días del mes
- i = Número de mes del periodo de estiaje

Dicho valor es aplicado únicamente para los meses de estiaje, para el cálculo de gasto adicionalmente se deberá aplicar la siguiente fórmula.

$$G_i = b_i * \frac{R}{\sum b_i} \quad \dots (3.108)$$

Donde:

- R = Retención de la cuenca

Para la temporada de lluvias se usa la Tabla N° 146.

Tabla 145: Valores de abastecimiento para meses de lluvias

NOV	0.050
DIC	0.350
ENE	0.400
FEB	0.200
MAR	0.000

Fuente: Elaboración propia

A su vez para calcular el abastecimiento se aplica la fórmula 3.109.

$$A_i = a_i * R \quad \dots (3.109)$$

Donde:

- R = Retención de la cuenca

Aplicando las anteriores fórmulas calculamos tanto el gasto como el abastecimiento de los meses del año, los datos fueron consolidados en la Tabla N° 143.



Tabla 146: Gasto y abastecimiento de la microcuenca

MES	CONTRIBUCION DE LA RETENCION			
	GASTO		ABASTECIMIENTO	
	bi	Gi mm/mes	ai	Ai mm/mes
JUL	0.182	17.326		
AGO	0.119	11.324		
SEP	0.085	8.036		
OCT	0.051	4.837		
NOV			0.050	8.631
DIC			0.350	60.414
ENE			0.400	69.045
FEB			0.200	34.522
MAR			0.000	0.000
ABR	0.663	62.909		
MAY	0.427	40.557		
JUN	0.291	27.622		
TOTAL	1.818	172.611	1.000	172.611

Fuente: Elaboración propia

▪ **Cálculo de caudales generados**

Aplicando la siguiente fórmula podemos calcular el caudal generado por mes.

$$Q = PE + G_i - A_i \quad \dots (3.110)$$

Los caudales son generados para cada mes, el resultado es expresado en la siguiente tabla.

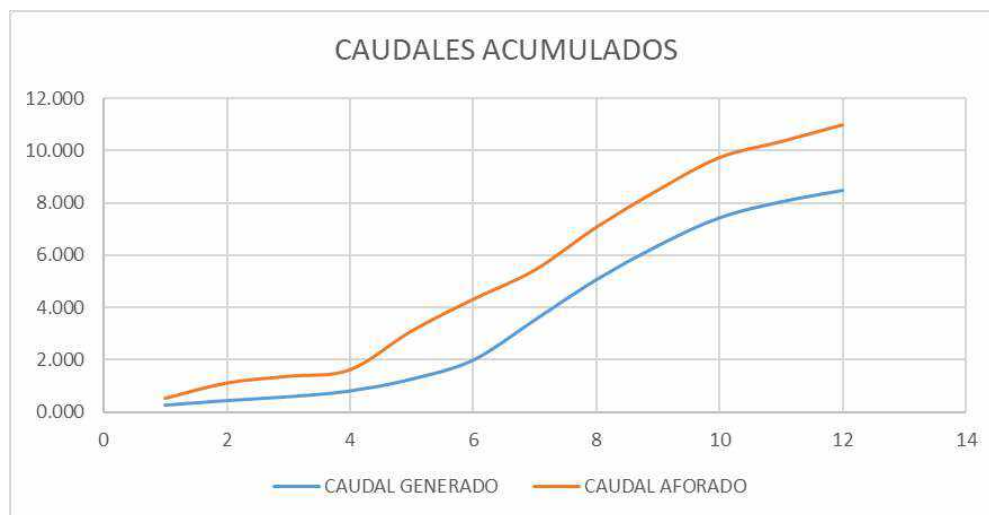
Tabla 147: Caudales medios mensuales generados

MES	CAUDALES MENSUALES			
	GENERADOS		AFORADO	
	mm/mes	m3/s	mm/mes	m3/s
JUL	17.533	0.260	34.195	0.508
AGO	11.998	0.178	39.752	0.590
SEP	9.432	0.145	16.650	0.256
OCT	14.768	0.219	16.864	0.250
NOV	29.550	0.453	96.712	1.484
DIC	49.027	0.728	81.897	1.216
ENE	103.267	1.534	75.458	1.121
FEB	93.855	1.543	99.928	1.643
MAR	87.604	1.301	95.955	1.425
ABR	69.907	1.073	81.306	1.248
MAY	41.151	0.611	41.283	0.613
JUN	28.435	0.436	41.794	0.641
TOTAL	556.528	8.482	721.794	10.995

Fuente: Elaboración propia

En la Fig. N° 93 nos presenta una comparativa entre los caudales generados mediante el modelo y los caudales aforados.

Fig. N° 93: Distribución de caudales mensuales generados acumulados



Fuente: Elaboración propia

El proceso realizado para la calibración de datos, también es elaborado para la validación, siendo sus resultados los siguientes.

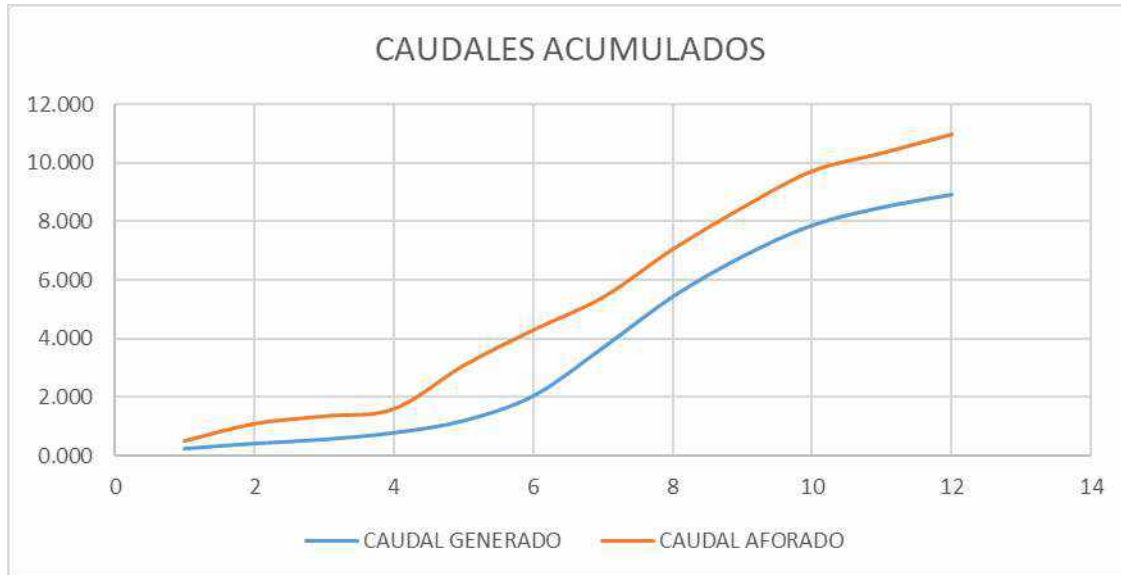
Tabla 148: Comparativa entre caudales generados y aforados

MES	CAUDALES MENSUALES			
	GENERADOS		AFORADO	
	mm/mes	m3/s	mm/mes	m3/s
JUL	17.725	0.263	34.195	0.508
AGO	11.858	0.176	39.752	0.590
SEP	9.120	0.140	16.650	0.256
OCT	15.092	0.224	16.864	0.250
NOV	26.733	0.410	96.712	1.484
DIC	56.783	0.843	81.897	1.216
ENE	110.512	1.641	75.458	1.121
FEB	105.458	1.734	99.928	1.643
MAR	91.957	1.366	95.955	1.425
ABR	69.060	1.060	81.306	1.248
MAY	41.018	0.609	41.283	0.613
JUN	28.156	0.432	41.794	0.641
TOTAL	583.471	8.899	721.794	10.995

Fuente: Elaboración propia

En la Fig. N° 94 nos presenta una comparativa entre los caudales generados mediante el modelo y los caudales aforados.

Fig. N° 94: Distribución de caudales generados acumulados



Fuente: Elaboración propia

3.7.9.3.10. Evaluación estadística

Al igual que en el método de generación de caudales Temez, en Lutz Scholz también se requiere verificar si los resultados obtenidos se ajustan a la realidad, para lo cual nos valemos de métodos estadísticos.

Para el presente estudio se realizaron aforos a lo largo del año 2018 por lo cual la comparación se realizará con los caudales generados para dicho año.



Tabla 149: Comparación entre caudales generados y aforados - Calibración

MES	CAUDALES MENSUALES			
	GENERADOS		AFORADO	
	mm/mes	m3/s	mm/mes	m3/s
JUL	17.533	0.260	34.195	0.508
AGO	11.998	0.178	39.752	0.590
SEP	9.432	0.145	16.650	0.256
OCT	14.768	0.219	16.864	0.250
NOV	29.550	0.453	96.712	1.484
DIC	49.027	0.728	81.897	1.216
ENE	103.267	1.534	75.458	1.121
FEB	93.855	1.543	99.928	1.643
MAR	87.604	1.301	95.955	1.425
ABR	69.907	1.073	81.306	1.248
MAY	41.151	0.611	41.283	0.613
JUN	28.435	0.436	41.794	0.641
TOTAL	556.528	8.482	721.794	10.995

Fuente: Elaboración propia

Realizamos el análisis mediante la prueba T para medias emparejadas. El cálculo para los valores de la presente Tabla N° 151 se siguió el siguiente procedimiento:

- **Columna 1:** Mes de análisis
- **Columna 2:** Caudal aforado
- **Columna 3:** Caudal calculado
- **Columna 4:** Col 1 * Col 2
- **Columna 5:** (Col 3)²
- **Columna 6:** (Col 2)²
- **Columna 7:** Aplicamos la fórmula 3.115
- **Columna 8:** Col 2 – Col 7
- **Columna 9:** (Col 8)²
- **Columna 10:** Aplicamos la fórmula 3.116

Adicionalmente se calcularon valores mediante las siguientes fórmulas:

$$a = \frac{\sum y * \sum x^2 - \sum x * y * \sum x}{n * \sum x^2 - (\sum x)^2} \dots (3.111)$$



$$b = \frac{n * \sum x * y - \sum y * \sum x}{n * \sum x^2 - (\sum x)^2} \dots (3.112)$$

$$\text{Coeficiente 1} = \frac{n * \sum x * y - \sum y \sum x}{\sqrt{(n * \sum x^2 - (\sum x)^2) * (n * \sum y^2 - (\sum y)^2)}} \dots (3.113)$$

$$\text{Coeficiente 2} = 1 - \frac{\text{Col 9}}{\text{Col 10}} \dots (3.114)$$

$$\text{Col 7} = \text{Col 3} * b + a \dots (3.115)$$

$$\text{Col 10} = (\text{Col 2} - \text{Prom}_{\text{Col 2}})^2 \dots (3.116)$$

Donde:

- a = Intercepción = 0.402
- b = x1 = 0.727
- Coeficiente 1 = Coeficiente de correlación simple
- Coeficiente 2 = Coeficiente de determinación

Tabla 150: Análisis de regresión múltiple - Calibración

ANALISIS DE REGRESION MULTIPLE									
n	y	x	x*y	x^2	y^2	Y Calculada	(y-Y)	e^2	y-Yprom
1	0.508	0.260	0.132	0.068	0.258	0.592	-0.084	0.007	0.167
2	0.590	0.178	0.105	0.032	0.349	0.532	0.058	0.003	0.106
3	0.256	0.145	0.037	0.021	0.065	0.508	-0.252	0.064	0.437
4	0.250	0.219	0.055	0.048	0.063	0.562	-0.311	0.097	0.443
5	1.484	0.453	0.673	0.206	2.203	0.732	0.752	0.566	0.322
6	1.216	0.728	0.886	0.530	1.479	0.932	0.285	0.081	0.090
7	1.121	1.534	1.719	2.352	1.256	1.517	-0.397	0.157	0.042
8	1.643	1.543	2.535	2.381	2.699	1.524	0.119	0.014	0.528
9	1.425	1.301	1.854	1.693	2.031	1.348	0.077	0.006	0.259
10	1.248	1.073	1.339	1.151	1.557	1.182	0.065	0.004	0.110
11	0.613	0.611	0.375	0.373	0.376	0.847	-0.234	0.055	0.092
12	0.641	0.436	0.280	0.190	0.411	0.720	-0.078	0.006	0.076
Σ	10.995	8.482	9.989	9.045	12.746	10.995	0.000	1.060	2.671
PROM	0.916	0.707	0.832	0.754	1.062	0.916	0.000	0.088	0.223

Fuente: Elaboración propia

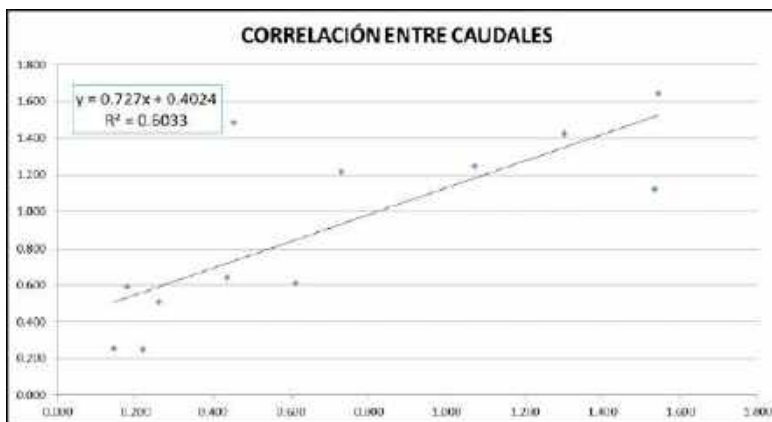


Tabla 151: Datos de la regresión múltiple - Calibración

REGRESION	
n	12.000
a (intercepción)	0.402
b (x1)	0.727
Coefficiente de correlación simple	0.777
Coefficiente de determinación R ²	0.603

Fuente Elaboración propia

Fig. N° 95: Correlación entre caudales generados (calibración) y aforados



Fuente: Elaboración propia

Para comprobar los datos obtenidos mediante el análisis, realizamos un análisis prueba T mediante el análisis de datos del software MICROSOFT EXCEL, cuyos resultados son expresados en la Tabla N° 154.

Tabla 152: Prueba T para medias de dos muestras emparejadas - Calibración

	Variable 1	Variable 2
Media	0.9162663	0.70684451
Varianza	0.2428603	0.27720524
Observaciones	12	12
Coefficiente de correlación de Pearson	0.7767028	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	11	
Estadístico t	2.1207977	
P(T<=t) una cola	0.0287452	
Valor crítico de t (una cola)	1.7958848	
P(T<=t) dos colas	0.0574904	
Valor crítico de t (dos colas)	2.2009852	

Fuente: MICROSOFT EXCEL



Al igual que para la calibración, los datos de validación también requieren una evaluación estadística.

Tabla 153: Comparación entre caudales generados y aforados - Validación

MES	CAUDALES MENSUALES			
	GENERADOS		AFORADO	
	mm/mes	m3/s	mm/mes	m3/s
JUL	17.725	0.263	34.195	0.508
AGO	11.858	0.176	39.752	0.590
SEP	9.120	0.140	16.650	0.256
OCT	15.092	0.224	16.864	0.250
NOV	26.733	0.410	96.712	1.484
DIC	56.783	0.843	81.897	1.216
ENE	110.512	1.641	75.458	1.121
FEB	105.458	1.734	99.928	1.643
MAR	91.957	1.366	95.955	1.425
ABR	69.060	1.060	81.306	1.248
MAY	41.018	0.609	41.283	0.613
JUN	28.156	0.432	41.794	0.641
TOTAL	583.471	8.899	721.794	10.995

Fuente: Elaboración propia

Tabla 154: Análisis de regresión múltiple - Validación

ANALISIS DE REGRESION MULTIPLE									
n	y	x	x*y	x^2	y^2	Y Calculada	(y-Y)	e^2	y-Yprom
1	0.508	0.263	0.134	0.069	0.258	0.603	-0.096	0.009	0.167
2	0.590	0.176	0.104	0.031	0.349	0.546	0.044	0.002	0.106
3	0.256	0.140	0.036	0.020	0.065	0.523	-0.267	0.071	0.437
4	0.250	0.224	0.056	0.050	0.063	0.578	-0.327	0.107	0.443
5	1.484	0.410	0.609	0.168	2.203	0.700	0.785	0.615	0.322
6	1.216	0.843	1.026	0.711	1.479	0.983	0.233	0.054	0.090
7	1.121	1.641	1.839	2.693	1.256	1.505	-0.384	0.147	0.042
8	1.643	1.734	2.849	3.006	2.699	1.565	0.078	0.006	0.528
9	1.425	1.366	1.946	1.865	2.031	1.324	0.101	0.010	0.259
10	1.248	1.060	1.322	1.123	1.557	1.124	0.123	0.015	0.110
11	0.613	0.609	0.373	0.371	0.376	0.830	-0.217	0.047	0.092
12	0.641	0.432	0.277	0.187	0.411	0.714	-0.073	0.005	0.076
Σ	10.995	8.899	10.571	10.295	12.746	10.995	0.000	1.091	2.671
PROM	0.916	0.742	0.881	0.858	1.062	0.916	0.000	0.091	0.223

Fuente: Elaboración propia

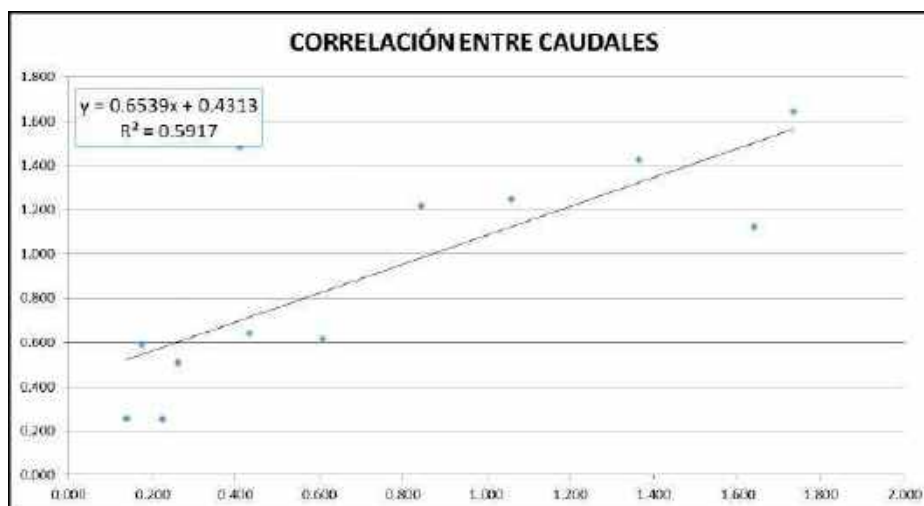


Tabla 155: Datos del análisis de regresión múltiple - Validación

REGRESION	
n	12.000
a (intercepción)	0.431
b (x1)	0.654
Coefficiente de correlación simple	0.769
Coefficiente de determinación R^2	0.592

Fuente: Elaboración propia

Fig. N° 96: Correlación entre caudales - Validación



Fuente: Elaboración propia

Tabla 156: Prueba T para medias de dos muestras emparejadas - Validación

	Variable 1	Variable 2
Media	0.9162663	0.7415513
Varianza	0.2428603	0.33604157
Observaciones	12	12
Coefficiente de correlación de Pearson	0.769231	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	11	
Estadístico t	1.6210288	
P(T<=t) una cola	0.0666493	
Valor crítico de t (una cola)	1.7958848	
P(T<=t) dos colas	0.1332986	
Valor crítico de t (dos colas)	2.2009852	

Fuente: Elaboración propia



3.7.10. Cálculo de infiltración

Para obtener el caudal infiltrado en la laguna de Piuray nos valimos de la fórmula de balance hídrico:

$$\text{Ingresos} - \text{Egresos} \pm \Delta \text{Volumétrica} = 0$$

Considerando que dentro de los egresos se encuentra datos como; demanda antrópica, uso consuntivo, proyectos y egresos naturales (evaporación e infiltración) podemos realizar la siguiente variación a la fórmula.

$$\text{Ingresos} - (\text{Egresos} + \text{infiltración}) \pm \Delta \text{Volumétrica} = 0$$

Los valores ingresos y egresos son presentados en la siguiente tabla:

Tabla 157: Balance de la microcuenca de la Laguna de Piuray

	INGRESO mmc	SALIDA mmc	BALANCE mmc
ENE	3.059	1.573	1.486
FEB	2.645	1.367	1.278
MAR	2.782	1.504	1.277
ABR	2.492	1.548	0.945
MAY	1.176	1.537	-0.362
JUN	1.033	1.277	-0.244
JUL	0.763	1.234	-0.471
AGO	0.957	1.303	-0.346
SEP	1.011	1.272	-0.262
OCT	1.155	1.530	-0.375
NOV	2.518	1.422	1.096
DIC	3.243	1.556	1.687

Fuente: Elaboración propia

La variación volumétrica de la microcuenca fue obtenida mediante los niveles de la laguna los cuales fueron suministrados por la EPS SEDACUSCO. El procesamiento y obtención de la variación volumétrica está resumida en la Tabla N° 159.



Tabla 158: Cálculo de la variación volumétrica en la laguna de Piuray

PARAMETRO	VALOR	UND
NIVEL DE LAGUNA 1ERO ENERO	1.6800	m
NIVEL DE LAGUNA 31 DICIEMBRE	2.1100	m
DIFERENCIA DE NIVEL	0.4300	m
ALTURA LAGUNA 1ERO ENERO	3688.7000	m.s.n.m.
ALTURA LAGUNA 31 DICIEMBRE	3689.1300	m.s.n.m.
ESPEJO DE AGUA 1ERO ENERO	2.9836	km ²
ESPEJO DE AGUA 31 DICIEMBRE	3.0175	km ²
ESPEJO DE AGUA MEDIO	3.0005	km ²
VOLLUMEN	1.2902	mmc

Fuente: Elaboración propia

Gracias a los datos de ingresos, egresos y variación volumétrica pudimos despejar la variable de infiltración en la fórmula de balance hídrico, obteniendo el siguiente valor.

Tabla 159: Cálculo de la infiltración en la Laguna de Piuray

PARÁMETRO	VALOR	UND
INGREOS	22.83	mmc
SALIDAS	17.12	mmc
Δ VOLUMETRICA	1.2902	mmc
INFILTRACIÓN	4.4203	mmc

Fuente: Elaboración propia

3.7.11. Cálculo de la demanda antrópica

Para el cálculo de la demanda se analizaron cuatro factores:

3.7.11.1. Cálculo de la demanda poblacional

Para el cálculo de la demanda poblacional nos valimos de dos censos realizados por el estado y dos censos realizados para el “Estudio del plan de gestión integral de los recursos hídricos de la microcuenca de la laguna de Piuray” elaborado por el Centro de Educación y Comunicación Guamán Poma de Ayala.



Tabla 160: Población de la microcuenca

CENSOS	TOTAL
1993	2525
2007	2500
2013	2618
2015	2658

Fuente: Elaboración propia

Con estos valores pudimos realizar una proyección para el año de estudio, aplicando los siguientes métodos:

3.7.11.1.1. Método aritmético

Para el cálculo de población futura mediante este método se hace uso de la ecuación 3.118.

$$P = P_0 + r * (t - t_0) \quad \dots (3.118)$$

$$r = \frac{P_{i+1} - P_i}{t_{i+1} - t_i} \quad \dots (3.119)$$

Donde:

- P = Población Futura
- Po = Población inicial
- r = Razón de crecimiento, fórmula 3.119
- t = Tiempo futuro
- to = Tiempo inicial

Los resultados fueron los presentados en la Tabla N° 162.

Tabla 161: Método aritmético

DATOS		r	POBLA.
CENSO	POBLACIÓN		2018
1993	2525		2841
2007	2500	-1.786	2639
2013	2618	19.667	2682
2015	2658	20.000	2696
PROM		12.627	2673

Fuente: Elaboración propia



3.7.11.1.2. Método de Interés Simple

El presente método es usado por el Organismo Mundial de la Salud para su aplicación en zonas rurales o urbanas con tasas de crecimiento bajo. Su fórmula es la siguiente:

$$P = P_0 * [1 + r * (t - t_0)] \quad \dots (3.120)$$

$$r = \frac{P_{i+1} - P_i}{P_i * (t_{i+1} - t_i)} \quad \dots (3.121)$$

Donde:

- P = Población Futura
- Po = Población inicial
- r = Razón de crecimiento, fórmula 3.121
- t = Tiempo futuro
- to = Tiempo inicial

Los resultados son expresados en la Tabla N° 163.

Tabla 162: Método interés simple

DATOS		P _{i+1} -P _i	P _i *(t _{i+1} -t _i)	r	POBLA.
CENSO	POBLACIÓN				2018
1993	2525				2837
2007	2500	-25	35350	-0.001	2636
2013	2618	118	15000	0.008	2683
2015	2658	40	5236	0.008	2698
		PROM		0.005	2673

Fuente: Elaboración propia

3.7.11.1.3. Método geométrico

Se aplica en zonas de crecimiento agresivo, es por ello que se requiere identificar que tiempo de población se está evaluando.

$$P = P_0 * r^{(t-t_0)} \quad \dots (3.122)$$

$$r = \left(\frac{P_{i+1}}{P_i} \right)^{\frac{1}{\Delta t}} \quad \dots (3.123)$$

$$\Delta t = t_{i+1} - t_i \quad \dots (3.124)$$



Donde:

- P = Población Futura
- Po = Población inicial
- r = Razón de crecimiento, fórmula 3.123
- t = Tiempo futuro
- to = Tiempo inicial

Los resultados son expresados en la Tabla N° 164.

Tabla 163: Método geométrico

DATOS		Δt	r	POBLA.
CENSO	POBLACIÓN			2018
1993	2525			2851
2007	2500	14	0.999	2637
2013	2618	6	1.008	2682
2015	2658	2	1.008	2697
		PROM	1.005	2673

Fuente: Elaboración propia

3.7.11.1.4. Método de la parábola

Este método es usado en poblaciones en periodo de asentamiento.

$$P = A * \Delta t^2 + B * \Delta t + C \quad \dots (3.124)$$

$$\Delta t = Censo_i - Censo_{i-1} \quad \dots (3.125)$$

Donde:

- P = Población futura
- A,B,C = Constantes
- Δt = Intervalo de tiempo

Los resultados se consolidaron en la Tabla N° 165.



Tabla 164: Método de la parábola

DATOS		Δt	POBLA.
CENSO	POBLACIÓN		2018
2007	2500	0	4438
2013	2618	6	
2015	2658	8	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 165: Método de la parábola - constantes

ECUACIONES	DATOS	
$2500 = 0^2 \times A + 0 \times B + C$	A =	-52.04
$2618 = 6^2 \times A + 6 \times B + C$	B =	748.58
$2658 = 8^2 \times A + 8 \times B + C$	C =	2500

Fuente: Elaboración propia

3.7.11.1.5. Método de incrementos variables

Para poder aplicar este método los censos deben ser preferentemente equidistantes.

$$P_t = P_n + m * \Delta P + m * \left(\frac{m-1}{2}\right) * \Delta_2 P \quad \dots (3.127)$$

$$\Delta_2 P = \frac{\sum(\Delta P_i - \Delta P_{i-1})}{n_{\Delta_2 P}} \quad \dots (3.128)$$

$$m = \frac{\text{Año}_{\text{futuro}} - \text{Año}_{\text{actual}}}{10} \quad \dots (3.129)$$

$$\Delta P = \frac{\sum(P_i - P_{i-1})}{n_{\Delta P}} \quad \dots (3.130)$$

Donde:

- Pt = Población futura
- Pm = Último dato censal
- m = número de intervalos intercensales

Los resultados son expresados en la Tabla N° 167.



Tabla 166: Método de incrementos variables - resultados

DATOS		ΔP	$\Delta_2 P$	POBLA.
CENSO	POBLACIÓN			2018
1993	2525			2703
2007	2500	-25		
2013	2618	118	143	
2015	2658	40	-78	
$\Sigma =$		133.000	65	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 167: Métodos de incrementos variables - datos

AÑO =	2018
m =	1
$\Delta P =$	44.333
$\Delta_2 P =$	32.500

Fuente: Elaboración propia

3.7.11.1.6. Método de curva logística

El presente método es el aplicado por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI).

$$P = \frac{P_s}{1 + e^{a+b*t}} \quad \dots (3.131)$$

$$a = \ln\left(\frac{P_s}{P_0} - 1\right) \quad \dots (3.132)$$

$$b = \ln\left(\frac{P_0 * (P_s - P_1)}{P_1 * (P_s - P_0)}\right) \quad \dots (3.133)$$

$$P_s = \frac{2 * P_0 * P_1 * P_2 - P_1^2 * (P_0 + P_2)}{(P_0 * P_2) - P_1^2} \quad \dots (3.134)$$

Donde:

- P_s = Población de saturación
- P = Población futura
- a y b = Constantes

Tabla 168: Método de curva logística - datos

AÑO =	2018
COND. 1 =	OK
COND. 2 =	OK
P_s =	2678
t =	2.000
a =	-2.642
b =	-1.134

Fuente: Elaboración propia

Tabla 169: Método de curva logística - resultados

DATOS		POBLA.
CENSO	POBLACIÓN	2018
2007	2500	2659
2013	2618	
2015	2658	

Fuente: Elaboración propia

3.7.11.1.7. Método de mínimos cuadrados

Para el método de mínimos cuadrados se realiza el siguiente cuadro de generación de datos.

Tabla 170: Método de mínimos cuadrados - datos

CENSO	POBLACIÓN	Y _i (%)	Log Y _i	X _i ²	X _i * Y _i	Y _i * Log Y _i
1993	2427	3.008	0.478	5890329.0	7300.000	1160.720
2007	2500	4.720	0.674	6250000.0	11800.000	1684.855
2013	2618	1.528	0.184	6853924.0	4000.000	481.949
2015	2658					
Suma	7545	9.256	1.336	18994253.0	23100.000	3327.524
Promedio	2515.000	3.085	0.445	6331417.7	7700.000	1109.175

Fuente: Elaboración propia

- Columna 1: Año del censo
- Columna 2: Población censada
- Columna 3: Porcentaje de crecimiento frente al censo anterior
- Columna 4: Logaritmo de Columna 3
- Columna 5: Columna 2 elevada al cuadrado
- Columna 6: Columna 2 * Columna 3
- Columna 7: Columna 2 * Columna 4



Gracias a dichos valores podemos elaborar las ecuaciones de crecimiento aritmético y geométrico.

Tabla 171: Crecimiento aritmético

CRECIMIENTO ARITMÉTICO		
ECUACIONES	VALORES	
$a + 2515*b - 3.09 = 0$	a =	27.1978
$2515*a + 6331417.67*b - 7700 = 0$	b =	-0.0096
ECUACIÓN FINAL		
$Y_i = 27.1978 + (-0.0096) * X_i$		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 172: Crecimiento geométrico

CRECIMIENTO GEOMÉTRICO		
ECUACIONES	VALORES	
$A + B * (2515) - 0.45 = 0$	A =	0.3600
$A (2515) + B (6331417.67) - 1109.17 = 0$	B =	0.0000
ECUACIÓN FINAL		
$Y_i = 2.29 * e^{(0.00008 * X_i)}$		

Fuente: Elaboración propia

Para determinar el crecimiento poblacional elaboramos el siguiente cuadro.

Tabla 173: Método de mínimos cuadrados

CENSO / AÑOS	POBLACION		CRECIMIENTO		INCREMENTO	
	ARITMÉTICA	GEOMÉTRICA	ARITMÉTICO	GEOMÉTRICO	ARITMÉTICO	GEOMÉTRICO
2015	2658	2658	1.714	2.820	46	75
2025	2704	2733	1.273	2.837	35	78
2035	2739	2811				

Fuente: Elaboración propia

3.7.11.1.8. Consolidación de datos

Para poder determinar el método a usar es necesario recopilar los resultados y ver cual se adapta más a la realidad de la zona en estudio, así como el ajuste de los parámetros.

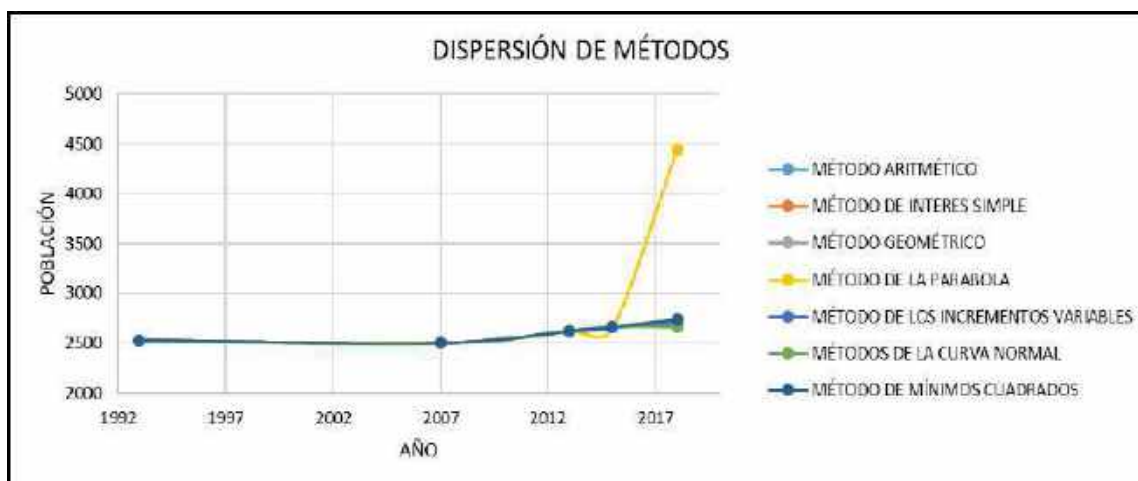
Tabla 174: Crecimiento poblacional consolidado

MÉTODOS	POBLACIÓN
	2018
MÉTODO ARITMÉTICO	2696
MÉTODO DE INTERES SIMPLE	2698
MÉTODO GEOMÉTRICO	2697
MÉTODO DE LA PARABOLA	4438
MÉTODO DE LOS INCREMENTOS VARIABLES	2703
MÉTODOS DE LA CURVA NORMAL	2659
MÉTODO DE MÍNIMOS CUADRADOS	2739

Fuente: Elaboración propia

Al realizar un historial de censos y proyecciones podemos realizar una dispersión para ver la tendencia de los métodos, tal y como vemos en la Fig. N° 98.

Fig. N° 97: Dispersión de métodos de crecimiento poblacional



Fuente: Elaboración propia

Gracias al gráfico determinamos que se usaría el método de mínimos cuadrados, esto además porque generaría una mayor cantidad de consumo. Los cálculos para el consumo se presentan en la Tabla N° 176.

Tabla 175: Cálculo de consumo humano

POBLACIÓN PARA EL AÑO 2018 =	2739	habitantes
DOTACIÓN DE AGUA =	120	l/día/habitante
DOTACIÓN DE AGUA =	328680	lt/día
DOTACIÓN DE AGUA =	0.0038	m3/seg

Fuente: Elaboración propia



El valor de la dotación de agua fue extraído del Reglamento Nacional de Edificaciones, 120 l/día/habitante es la dotación asignada para comunidades rurales con temperatura fría.

La fórmula de la dotación es la siguiente:

$$Demanda = Nro\ de\ habitantes * dotación\ por\ poblador \dots (3.135)$$

$$Demanda = 120 * 2739 = 328680 \frac{lt}{día} = 0.0038 \frac{m^3}{seg}$$

3.7.11.2. Cálculo de la demanda agraria

Según el “Plan de gestión de recursos hídricos de la microcuenca de la laguna de Piuray” realizado por el Centro de Educación y Comunicación Guamán Poma de Ayala la actividad agrícola y ganadera representa el 34.54% de la actividad económica de la provincia de Urubamba, por lo cual fue primordial realizar el cálculo de demanda hídrica para cubrir los requerimientos de dicha actividad.

Para poder determinar la demanda del sector agrario fue necesario realizar una encuesta a la población dependiente de la microcuenca de la laguna de Piuray.

3.7.11.2.1. Área de terrenos de cultivo

Uno de los principales datos que nos suministró la encuesta fue el uso de áreas de cultivo por cada producto, dichos resultados datos fueron arrojados en la Tabla N° 177.

Tabla 176: Área de terrenos de cultivo

UNIDADES FAMILIARES =		786					
CONSOLIDADO							
PRODUCTO	GRUPO	AREA TOTAL	UND	AREA PROM.	UND	AREA CULTIVO	UND
PAPA COMERCIAL	A	27.178	ha	0.194	ha/und	152.585	ha
PAPA NATIVA	A	3.000	ha	0.021	ha/und	16.843	ha
OLLUCO	A	0.917	ha	0.007	ha/und	5.146	ha
QUINUA	D	0.000	ha	0.000	ha/und	0.000	ha
ARVEJA	D	5.033	ha	0.036	ha/und	28.257	ha
MAÍZ	A	3.000	ha	0.021	ha/und	16.843	ha
HABAS	A	11.332	ha	0.081	ha/und	63.619	ha
CEBADA	D	13.331	ha	0.095	ha/und	74.844	ha
AVENA	D	25.216	ha	0.180	ha/und	141.568	ha
TRIGO	D	6.167	ha	0.044	ha/und	34.621	ha
ALFALFA	G	8.833	ha	0.063	ha/und	49.591	ha
HORTALIZAS	C	3.500	ha	0.025	ha/und	19.650	ha
LISAS	A	0.000	ha	0.000	ha/und	0.000	ha
OCA	A	0.000	ha	0.000	ha/und	0.000	ha
OTROS:		0.000	ha	0.000	ha/und	0.000	ha

Fuente: Elaboración propia

Para poder obtener el área de cultivo total obtenemos el terreno promedio de cultivo por cada cultivo mediante la fórmula 3.135 y multiplicamos dicho valor por el número total de unidades familiares.

$$A_{prom.} = \frac{\sum \text{Area por cultivo}}{\text{Nro de encuestas}} \dots (3.135)$$

3.7.11.2.2. Coeficiente de cultivo (kc)

Así como la cantidad de terreno empleada para cada estudio, la encuesta nos facilitó los datos de inicio y final de cosecha, dato relevante para obtener el coeficiente de cultivo (kc) para cada mes y por cada cultivo, estos fueron consolidados en la Tabla N° 178.



Tabla 177: Determinación de inicio y fin de cultivo

DETERMINACIÓN DE INICIO DE COSECHA													
PRODUCTO	GRUPO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
PAPA COMERCIAL	A	33	32	31	28	23	6	4	4	8	28	32	33
PAPA NATIVA	A	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
OLLUCO	A	3	3	3	3	3	0	0	0	0	2	3	3
QUINUA	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ARVEJA	D	5	5	5	4	3	2	2	2	2	4	5	5
MAÍZ	A	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
HABAS	A	22	22	21	19	15	3	3	4	7	19	22	22
CEBADA	D	18	18	17	15	12	4	4	3	5	17	18	18
AVENA	D	24	24	24	22	21	5	5	6	7	23	25	24
TRIGO	D	5	5	5	5	5	2	3	3	3	5	5	5
ALFALFA	G	8	7	7	5	5	2	2	2	2	6	7	8
HORTALIZAS	C	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2
LISAS	A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
OCA	A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia

Mediante la Tabla N° 179 se puede determinar en porcentaje el crecimiento de cada cultivo, dato fundamental para determinar el coeficiente de cultivo para cada etapa de desarrollo.

Tabla 178: Porcentaje de crecimiento de los cultivos

DETERMINACIÓN DEL CRECIMIENTO DEL CULTIVO - PORCENTAJE													
PRODUCTO	GRUPO	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
PAPA COMERCIAL	A	0%	0%	0%	11%	22%	33%	44%	56%	67%	78%	89%	0%
PAPA NATIVA	A	8%	15%	23%	31%	38%	46%	54%	62%	69%	77%	85%	92%
OLLUCO	A	0%	0%	0%	11%	22%	33%	44%	56%	67%	78%	89%	0%
QUINUA	D	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
ARVEJA	D	0%	0%	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
MAÍZ	A	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
HABAS	A	0%	0%	0%	11%	22%	33%	44%	56%	67%	78%	89%	0%
CEBADA	D	0%	0%	0%	11%	22%	33%	44%	56%	67%	78%	89%	0%
AVENA	D	0%	0%	0%	11%	22%	33%	44%	56%	67%	78%	89%	0%
TRIGO	D	0%	0%	0%	13%	25%	38%	50%	63%	75%	88%	0%	0%
ALFALFA	G	0%	0%	0%	0%	17%	33%	50%	67%	83%	0%	0%	0%
HORTALIZAS	C	0%	0%	0%	0%	17%	33%	50%	67%	83%	0%	0%	0%
LISAS	A	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
OCA	A	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Fuente: Elaboración propia

Para determinar el valor de kc de los diferentes cultivos de la microcuenca de Piuray nos valimos de la Tabla N° 180 y N° 181.



Tabla 179: Coeficiente de Cultivo Kc

Coeficiente de Cultivo Kc - Walter Olarte - para Hargreaves								
Crecimiento	Grupo A	Grupo B	Grupo C	Grupo D	Grupo E	Grupo F	Grupo G	Grupo H
0.00	0	0	0	0	0	0	0	0
5.00	0.2	0.15	0.12	0.08	1	0.6	0.55	0.9
10.00	0.36	0.27	0.22	0.15	1	0.6	0.6	0.92
15.00	0.5	0.38	0.3	0.19	1	0.6	0.65	0.95
20.00	0.64	0.48	0.38	0.27	1	0.6	0.7	0.98
25.00	0.75	0.56	0.45	0.33	1	0.6	0.75	1
30.00	0.84	0.63	0.5	0.4	1	0.6	0.8	1.03
35.00	0.92	0.69	0.55	0.46	1	0.6	0.85	1.06
40.00	0.97	0.73	0.58	0.52	1	0.6	0.9	1.08
45.00	0.99	0.74	0.6	0.58	1	0.6	0.95	1.1
50.00	1	0.75	0.6	0.65	1	0.6	1	1.1
55.00	1	0.75	0.6	0.71	1	0.6	1	1.1
60.00	0.99	0.74	0.6	0.77	1	0.6	1	1.1
65.00	0.96	0.72	0.58	0.82	1	0.6	0.95	1.1
70.00	0.91	0.68	0.55	0.88	1	0.6	0.9	1.05
75.00	0.85	0.64	0.51	0.9	1	0.6	0.85	1
80.00	0.75	0.56	0.45	0.9	1	0.6	0.8	0.95
85.00	0.6	0.45	0.36	0.8	1	0.6	0.75	0.9
90.00	0.46	0.35	0.28	0.7	1	0.6	0.7	0.85
95.00	0.25	0.21	0.17	0.6	1	0.6	0.55	0.8
100.00	0	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: (Olarte, 1987)

Tabla 180: Grupos de coeficiente de Cultivo Kc

Grupo A	Frejol, maiz, algodón , papa, remolacha, tomate
Grupo B	Olivo, durazno, cirolero, nogal, frutales caducos
Grupo C	Hortalizas, vid, almendros
Grupo D	Esparragos, cereales
Grupo E	Pasto, trebol, cultivos de cobertura, platano
Grupo F	Naranja, Limon, toronja y otros citricos
Grupo G	Caña de Azucar, alfalfa.
Grupo H	Arroz

Fuente: (Olarte, 1987)

Después de determinar el coeficiente de cultivo para cada etapa de cultivo (Tabla N° 180), es necesario realizar una ponderación del coeficiente kc en base a la cantidad de terreno destinada para el cultivo, dicho procedimiento fue realizados en la Tabla N° 182.



Tabla 181: Determinación del coeficiente de cultivo KC

DETERMINACIÓN DE KC													
PRODUCTO	GRUPO	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
PAPA COMERCIAL	A	0.00	0.00	0.00	1.00	0.69	0.89	0.99	1.00	0.94	0.79	0.49	0.00
PAPA NATIVA	A	0.29	0.51	0.71	0.85	0.95	0.99	1.00	0.98	0.92	0.81	0.61	0.36
OLLUCO	A	0.00	0.00	0.00	1.00	0.69	0.89	0.99	1.00	0.94	0.79	0.49	0.00
QUINUA	D	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ARVEJA	D	0.00	0.00	0.00	1.00	0.27	0.40	0.52	0.65	0.77	0.88	0.90	0.70
MAÍZ	A	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
HABAS	A	0.00	0.00	0.00	1.00	0.69	0.89	0.99	1.00	0.94	0.79	0.49	0.00
CEBADA	D	0.00	0.00	0.00	1.00	0.30	0.44	0.57	0.72	0.84	0.90	0.72	0.00
AVENA	D	0.00	0.00	0.00	1.00	0.48	0.75	0.94	0.74	0.85	0.82	0.54	0.00
TRIGO	D	0.00	0.00	0.00	1.00	0.33	0.49	0.65	0.80	0.90	0.75	0.00	0.00
ALFALFA	G	0.00	0.00	0.00	0.00	0.67	0.83	1.00	0.93	0.77	0.00	0.00	0.00
HORTALIZAS	C	0.00	0.00	0.00	0.00	0.33	0.53	0.60	0.57	0.39	0.00	0.00	0.00
LISAS	A	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
OCA	A	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 182: Ponderación de coeficiente de cultivo KC

PRODUCTO	GRUPO	%	AREA (ha)	VALORES DE KC											
				MESES											
				JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
PAPA COMERCIAL	A	25.28	152.59	0.00	0.00	0.00	1.00	0.69	0.89	0.99	1.00	0.94	0.79	0.49	0.00
PAPA NATIVA	A	2.79	16.84	0.29	0.51	0.71	0.85	0.95	0.99	1.00	0.98	0.92	0.81	0.61	0.36
OLLUCO	A	0.85	5.15	0.00	0.00	0.00	1.00	0.69	0.89	0.99	1.00	0.94	0.79	0.49	0.00
QUINUA	D	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ARVEJA	D	4.68	28.26	0.00	0.00	0.00	1.00	0.27	0.40	0.52	0.65	0.77	0.88	0.90	0.70
MAÍZ	A	2.79	16.84	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
HABAS	A	10.54	63.62	0.00	0.00	0.00	1.00	0.69	0.89	0.99	1.00	0.94	0.79	0.49	0.00
CEBADA	D	12.40	74.84	0.00	0.00	0.00	1.00	0.30	0.44	0.57	0.72	0.84	0.90	0.72	0.00
AVENA	D	23.46	141.57	0.00	0.00	0.00	1.00	0.48	0.75	0.94	0.74	0.85	0.82	0.54	0.00
TRIGO	D	5.74	34.62	0.00	0.00	0.00	1.00	0.33	0.49	0.65	0.80	0.90	0.75	0.00	0.00
ALFALFA	G	8.22	49.59	0.00	0.00	0.00	0.00	0.67	0.83	1.00	0.93	0.77	0.00	0.00	0.00
HORTALIZAS	C	3.26	19.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.33	0.53	0.60	0.57	0.39	0.00	0.00	0.00
LISAS	A	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
OCA	A	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Σ	100	603.57												

Fuente: Elaboración propia

3.7.11.2.3. Demanda de cultivo

Para obtener la demanda de cultivo es necesario tabular los siguientes datos.

- **Área de cultivo:** Obtenida en la Tabla N° 175
- **Kc ponderado:** Obtenido en la Tabla N° 180
- **ETP:** Mediante el software CROPWAT
- **ETR:** ETP * Kc
- **PE 75%:** Precipitación regionalizada efectiva
- **Requerimiento:** ETR – PE 75%



- **Eficiencia de riego:** Implica el manejo adecuado del agua en el predio agrícola, en otras palabras, implica el grado de habilidad que tiene el regante para manejar el agua. (FAO, 2001)
- **Demanda bruta:** Requerimiento cubriendo la eficiencia de riego
- **Módulo de riego:** Correspondiente a la demanda cubriendo los días de riego y la jornada
- **Demanda:** Representa el módulo de riego multiplicado por el área de cultivo

La Tabla N° 184 corresponde a un ejemplo del cálculo de la demanda para los meses de julio a septiembre.

Tabla 183: Ejemplo de cálculo de demanda

CALCULO DEL CAUDAL DE DEMANDA				
DATOS		JUL	AGO	SEP
AREA DE CULTIVO AL MES	ha	16.84	16.84	16.84
KC - PONDERADO		0.286	0.51	0.71
ETP	mm/mes	68.40	80.41	90.06
ETR	mm/mes	19.57	41.07	63.73
PE 75% (terrenos cultivo)	mm	9.32	13.19	24.71
REQUERIMIENTO	mm	10.25	27.87	39.02
REQUERIMIENTO	m3/ha	102.52	278.74	390.17
EFICIENCIA DE RIEGO	%	42	42	42
DEMANDA BRUTA	mm/ha	244.08	663.67	928.98
DIAS		31	31	30
JORNADA	hr	24	24	24
MODULO DE RIEGO	lt/seg/ha	0.09	0.25	0.36
DEMANDA	lt/seg	1.53	4.17	6.04

Fuente: Elaboración propia



Tabla 184: Demanda calculada por mes

DEMANDA			
MES	lt/seg	m3/seg	%
ENE	0.000	0.000	0.000
FEB	0.000	0.000	0.000
MAR	0.000	0.000	0.000
ABR	46.652	0.047	0.148
MAY	119.286	0.119	0.379
JUN	11.674	0.012	0.037
JUL	1.535	0.002	0.005
AGO	4.173	0.004	0.013
SEP	6.037	0.006	0.019
OCT	125.014	0.125	0.398
NOV	0.000	0.000	0.000
DIC	0.000	0.000	0.000
	Σ	0.314	1.000

Fuente: Elaboración propia

3.7.11.3. Cálculo de la demanda pecuaria

Al igual que el cálculo de la demanda agraria la demanda pecuaria fue realizado mediante una encuesta, que además de suministrar la cantidad de animales que poseen las unidades familiares dependientes de la microcuenca de la laguna de Piuray, nos suministraron datos de consumo promedio de animales.



La Tabla N° 186 presentan los datos del consumo promedio de animal por día.

Tabla 185: Consumo promedio

CONSUMO PROMEDIO		
TIPO	ANIMAL	CONSUMO
		lt/día
GANADO VACUNO	TERNERO	25
	VAQUILLAS	35
	VAQUILLONAS	55
	VACAS	57
	TORETES	30
	TOROS	70
	BUEYES	55
GANADO OVINO	CORDERO	2.6
	BORREGUILLAS	3
	BORREGAS	4.3
	CARNERILLOS	2.1
	CARNEROS	1.5
	CAPONES	1.1
GANADO PORCINO	LECHONES	1.8
	GORRINAS	6
	MARRANAS	6
	VARRACOS	6.8
OTRAS ESPECIES	CABRAS	10
	LLAMAS	20
	VICUÑAS	15
	CABALLOS	50
	CUYES	0.1
AVES DE CORRAL	POLLOS	1
	GALLINAS	4
	GALLOS	4
	PAVOS	1
	PATOS	1

Fuente: Elaboración propia

Las encuestas nos suministraron los datos de cantidad de animales por unidad familiar, por lo cual pudimos obtener la cantidad total de animales pertenecientes a la microcuenca.

El siguiente cuadro presenta el resumen de dicho procesamiento de datos.



Tabla 186: Procesamiento de datos pecuarios

NRO ENCUESTAS:		35	NRO UNIDADES:		786
PRODUCCIÓN PECUARIA					
DATOS ENCUESTAS		REQUERIMIENTO PECUARIO - LT			
TIPO	ANIMAL	CANTIDAD	PROM.	TOTAL	CONSUMO
		cabeza	cabeza/und	cabeza	lt/dia
GANADO VACUNO	TERNERO	10	0.286	224.571	25.000
	VAQUILLAS	3	0.086	67.371	35.000
	VAQUILLONAS	7	0.200	157.200	55.000
	VACAS	12	0.343	269.486	57.000
	TORETES	15	0.429	336.857	30.000
	TOROS	34	0.971	763.543	70.000
	BUEYES	2	0.057	44.914	55.000
GANADO OVINO	CORDERO	151	4.314	3391.029	2.600
	BORREGUILLAS	2	0.057	44.914	3.000
	BORREGAS	24	0.686	538.971	4.300
	CARNERILLOS	0	0.000	0.000	2.100
	CARNEROS	7	0.200	157.200	1.500
	CAPONES	0	0.000	0.000	1.100
GANADO PORCINO	LECHONES	76	2.171	1706.743	1.800
	GORRINAS	0	0.000	0.000	6.000
	MARRANAS	4	0.114	89.829	6.000
	VARRACOS	0	0.000	0.000	6.800
OTRAS ESPECIES	CABRAS	0	0.000	0.000	10.000
	LLAMAS	2	0.057	44.914	20.000
	VICUÑAS	0	0.000	0.000	15.000
	CABALLOS	0	0.000	0.000	50.000
	CUYES	790	22.571	17741.143	0.100
AVES DE CORRAL	POLLOS	131	3.743	2941.886	1.000
	GALLINAS	360	10.286	8084.571	4.000
	GALLOS	50	1.429	1122.857	4.000
	PAVOS	0	0.000	0.000	1.000
	PATOS	2	0.057	44.914	1.000

Fuente: Elaboración propia

Para obtener el caudal de consumo pecuario es preciso realizar una sumatoria del consumo independiente por especie, dicho cuadro se encuentra resumiendo en la Tabla N° 188.



Tabla 187: Demanda de agua para consumo pecuario mensual

DEMANDA		
MES	lt/seg	m3/seg
ENE	1.801	0.001801
FEB	1.801	0.001801
MAR	1.801	0.001801
ABR	1.801	0.001801
MAY	1.801	0.001801
JUN	1.801	0.001801
JUL	1.801	0.001801
AGO	1.801	0.001801
SEP	1.801	0.001801
OCT	1.801	0.001801
NOV	1.801	0.001801
DIC	1.801	0.001801

Fuente: Elaboración propia

3.7.12. Cálculo de la oferta hídrica

La oferta hídrica corresponde a la totalidad de ingresos a la microcuenca.

3.7.12.1. Cálculo de la precipitación efectiva

Al poseer los datos de precipitación total mensual regionalizada de la microcuenca, se pudo calcular el caudal de ingreso a la microcuenca.

El primer valor a calcular es la precipitación efectiva, la cual corresponde al 75% de la precipitación total mensual.

Tabla 188: Precipitación total mensual regionalizada

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
2010	440.914	332.652	298.064	37.888	5.225	5.287	3.229	16.193	9.635	137.202	77.799	315.982	1680.07
2011	259.551	388.556	264.468	123.808	16.615	25.955	15.213	10.401	82.152	88.554	102.907	279.149	1657.33
2012	242.616	328.426	135.427	77.033	3.207	5.076	2.440	0.987	55.072	31.200	217.335	314.510	1413.33
2013	291.262	293.417	163.521	24.204	25.549	9.158	2.924	37.568	7.693	192.793	170.787	278.391	1497.27
2014	232.883	184.094	101.535	80.432	18.537	0.000	1.789	4.467	23.987	92.205	48.766	241.463	1030.16
2015	256.619	163.802	90.119	103.104	17.544	2.461	20.830	10.495	27.790	33.383	79.387	178.934	984.47
2016	197.539	262.842	84.459	52.969	15.337	0.539	10.164	5.554	15.766	121.501	78.588	178.841	1024.10
2017	181.104	144.123	210.739	84.230	15.430	5.679	0.871	15.494	19.822	73.814	113.955	121.966	987.23
2018	198.582	230.383	182.541	39.137	5.277	36.398	24.083	27.484	19.874	128.729	150.760	157.731	1200.98
N° DATOS	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33
MEDIA	279.314	245.158	196.664	70.769	11.513	13.628	9.931	13.808	26.521	90.136	136.767	219.028	1313.24
D. ESTAND	75.419	67.280	81.512	35.531	7.473	17.657	17.070	14.096	20.950	39.895	56.815	68.810	254.13
C. VARIACI	0.270	0.274	0.414	0.502	0.649	1.296	1.719	1.021	0.790	0.443	0.415	0.314	0.19
MIN	161.762	139.430	81.600	14.078	0.413	0.000	0.000	0.000	3.205	26.869	48.766	119.692	947.68
MAX	476.739	388.556	374.050	146.760	26.965	71.413	80.051	45.544	89.903	192.793	282.482	402.043	1856.28

Fuente: Elaboración propia



Multiplicando cada valor por 0.75 obtenemos el ingreso efectivo por precipitación a la microcuenca.

Tabla 189: Precipitación efectiva mensual

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
2010	330.685	249.489	223.548	28.416	3.919	3.965	2.422	12.145	7.226	102.901	58.349	236.987	1260.05
2011	194.663	291.417	198.351	92.856	12.461	19.466	11.410	7.801	61.614	66.416	77.181	209.362	1243.00
2012	181.962	246.320	101.570	57.775	2.406	3.807	1.830	0.740	41.304	23.400	163.002	235.883	1060.00
2013	218.447	220.062	122.640	18.153	19.162	6.868	2.193	28.176	5.770	144.594	128.090	208.793	1122.95
2014	174.662	138.071	76.151	60.324	13.902	0.000	1.341	3.350	17.990	69.154	36.575	181.097	772.62
2015	192.464	122.852	67.589	77.328	13.158	1.846	15.622	7.871	20.842	25.037	59.540	134.201	738.35
2016	148.154	197.132	63.344	39.727	11.503	0.404	7.623	4.166	11.825	91.126	58.941	134.131	768.07
2017	135.828	108.092	158.054	63.172	11.572	4.259	0.653	11.621	14.866	55.361	85.466	91.475	740.42
2018	148.937	172.787	136.906	29.353	3.958	27.298	18.062	20.613	14.905	96.547	113.070	118.298	900.73
N° DATOS	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33
MEDIA	209.486	183.869	147.498	53.077	8.635	10.221	7.448	10.356	19.891	67.602	102.575	164.271	984.93
D. ESTAND	56.564	50.460	61.134	26.649	5.605	13.243	12.802	10.572	15.713	29.921	42.611	51.608	190.60
C. VARIACI	0.270	0.274	0.414	0.502	0.649	1.296	1.719	1.021	0.790	0.443	0.415	0.314	0.19
MIN	121.321	104.572	61.200	10.559	0.310	0.000	0.000	0.000	2.404	20.152	36.575	89.769	710.76
MAX	357.554	291.417	280.537	110.070	20.223	53.560	60.038	34.158	67.427	144.594	211.862	301.532	1392.21

Fuente: Elaboración propia

Para poder ingresar los valores de precipitación al balance hídrico es necesario realizar una conversión a m³/s. La tabla N° 191 corresponde a los datos de precipitación efectiva en la totalidad de la microcuenca.

Tabla 190: Precipitación efectiva de la microcuenca

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1998	145.56	142.24	81.47	37.87	6.18	3.80	0.00	1.99	11.24	81.59	97.87	96.77
1999	151.63	154.96	127.85	83.36	13.79	6.10	3.82	2.28	76.97	57.60	97.33	152.16
2000	155.89	151.99	132.24	36.97	9.45	18.69	6.72	4.64	16.68	106.73	54.31	134.05
2001	172.67	155.05	162.40	47.79	17.91	3.26	45.72	27.80	27.27	111.18	120.12	129.37
2002	154.72	162.47	150.46	91.31	19.86	14.69	69.80	7.85	30.13	105.27	123.21	153.21
2003	156.69	149.55	153.60	50.22	7.57	16.60	0.53	42.22	6.65	69.11	61.26	148.31
2004	159.17	149.95	126.46	53.65	3.68	45.46	33.49	19.61	53.58	64.57	90.96	131.95
2005	150.82	143.03	126.11	58.28	2.01	3.33	3.42	8.77	11.06	44.21	96.10	130.06
2006	160.44	150.49	150.98	84.32	0.41	21.70	0.05	14.50	10.66	92.95	114.69	143.16
2007	145.68	112.40	149.22	112.30	17.12	3.26	9.79	0.54	3.19	86.19	111.44	135.74
2008	151.65	146.38	114.28	23.49	12.73	8.03	0.56	8.74	20.07	94.11	133.74	150.68
2009	144.27	148.56	118.85	29.69	10.60	3.35	12.96	2.62	34.27	25.71	153.25	135.09
2010	169.09	158.27	154.81	35.59	5.18	5.24	3.21	15.77	9.49	107.08	68.11	156.60
2011	150.96	163.86	151.45	99.28	16.17	24.88	14.84	10.23	71.35	76.01	85.96	152.91
2012	148.44	157.84	106.08	67.54	3.19	5.03	2.43	0.99	50.22	29.64	141.76	156.45
2013	154.13	154.34	120.74	23.27	24.51	9.02	2.91	35.31	7.60	133.32	124.12	152.84
2014	146.11	129.87	85.04	70.08	17.99	0.00	1.78	4.43	23.07	78.60	44.96	148.18
2015	150.66	120.87	77.12	86.10	17.05	2.45	20.14	10.32	26.55	31.60	69.30	127.71
2016	135.10	151.28	73.05	48.48	14.96	0.54	10.00	5.50	15.37	97.88	68.71	127.67
2017	128.63	110.89	139.68	72.88	15.05	5.63	0.87	15.11	19.19	65.10	93.18	98.17
2018	135.49	145.46	129.23	36.69	5.23	34.28	23.15	26.28	19.24	102.22	114.39	117.92
N° DATOS	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33
MEDIA	150.522	142.879	125.069	60.797	11.214	12.847	9.321	13.194	24.715	74.667	101.775	135.476
D. EST.	11.158	15.735	29.060	26.879	7.172	15.992	15.321	13.156	18.153	27.939	29.136	19.255
C. VAR.	0.074	0.110	0.232	0.442	0.640	1.245	1.644	0.997	0.734	0.374	0.286	0.142
MIN	119.895	108.325	70.946	13.761	0.413	0.000	0.000	0.000	3.189	25.714	44.961	96.770
MAX	172.674	163.856	162.405	112.298	25.801	63.254	69.798	42.225	76.971	133.322	153.248	165.204

Fuente: Elaboración propia



3.7.12.2. Cálculo del ingreso por manantes

Para poder determinar el ingreso de agua por medio de manantes nos valimos del “Estudio del Plan de Gestión Integral de los Recursos Hídricos de la Microcuenca de la Laguna de Piuray” realizado por el Centro de Educación y Comunicación Guamán Poma de Ayala, el mismo que realizó aforos a los manantes más representativos de la microcuenca y cuyos resultados se encuentran plasmados en la Tabla N° 192.

Tabla 191: Disponibilidad hídrica de los manantes de la microcuenca

MANANTES MILES M3 AL MES													
MANANTES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUM.
MANATE 1	267.8	241.9	267.8	259.2	267.8	259.2	267.8	267.8	259.2	267.8	259.2	267.8	3153.3
MANATE 2	390.6	352.8	390.6	378.0	3906.0	378.0	390.6	390.6	378.0	390.6	378.0	390.6	8114.4
MANATE 3	209.3	189.0	209.3	202.5	209.3	202.5	209.3	209.3	202.5	209.3	202.5	209.3	2464.1
MANATE 4	413.9	373.8	413.9	400.5	413.9	400.5	413.9	413.9	400.5	413.9	400.5	413.9	4873.1
MANATE 5	195.3	176.4	195.3	189.0	195.3	189.0	195.3	195.3	189.0	195.3	189.0	195.3	2299.5
MANATE 6	1520.6	1373.4	1520.6	1471.5	1520.6	1471.5	1520.6	1520.6	1471.5	1520.6	1471.5	1520.6	17903.6
MANATE 7	502.2	453.6	502.2	486.0	502.2	486.0	502.2	502.2	486.0	502.2	486.0	502.2	5913.0
MANATE 8	148.8	134.4	148.8	144.0	148.8	144.0	148.8	148.8	144.0	148.8	144.0	148.8	1752.0
Σ	3648.5	3295.3	3648.5	3530.7	7163.9	3530.7	3648.5	3648.5	3530.7	3648.5	3530.7	3648.5	46473.0

Fuente: (Ayala, 2013)

Para poder incluir dichos valores al balance hídrico de la microcuenca fue necesario convertir las unidades a m³/s, cuyos resultados se encuentran plasmados en la Tabla N° 193.

Tabla 192: Disponibilidad hídrica de los manantes

MANANTES (M3/SEG)													
MANANTES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUM.
MANATE 1	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	1.20
MANATE 2	0.15	0.15	0.15	0.15	1.46	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	3.06
MANATE 3	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.94
MANATE 4	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	1.85
MANATE 5	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.88
MANATE 6	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	6.81
MANATE 7	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	2.25
MANATE 8	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.67
Σ	1.36	1.36	1.36	1.36	2.67	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	17.66

Fuente: Elaboración propia

3.7.13. Balance hídrico

El balance hídrico de la microcuenca de Piuray sirvió para determinar el superávit o déficit de la misma, para ello nos basamos en la ecuación:

$$\text{Balance Hídrico} = \text{Ingresos} - \text{Egresos} \quad \dots (3.137)$$



Los ingresos y egresos de la microcuenca considerados fueron los siguientes:

a) Ingresos:

- Caudales generados obtenidos mediante los modelos determinísticos y estocásticos
- Aporte de las aguas subterráneas mediante manantes superficiales.

b) Salidas:

- Demanda antrópica, la misma que posee tres factores (demanda poblacional, agraria, pecuaria)
- Evaporación producida en cuerpos de agua
- Infiltración
- Demanda requerida por proyectos (Caudal requerido por SEDACUSCO)

Cabe destacar que la generación de caudales abarca temas como la escorrentía y la evapotranspiración, por lo cual dichos valores no están incluidos dentro de las salidas del sistema.

Dentro de las salidas también son incluidos valores como caudal ecológico y reducción de caudal por calidad de agua.

3.7.13.1. Caudal ecológico

Para poder determinar el caudal ecológico de la microcuenca se realizó el procedimiento indicado en el Informe Técnico N° 024-2016-ANA-ERH-CLI/FCC de la Dirección de Conservación y Planeamiento de Recursos Hídricos.

Lo indicado en el informe técnico fue resumido en el siguiente cuadro:

Tabla 193: Caudal ecológico medio mensual

TIPO	CAUDAL MEDIO ANUAL	%	
		AVENIDA	ESTIAJE
1	MENOR A 20 M3/SEG	10	15
2	20 - 50 M3/SEG	10	12
3	MAYOR A 50 M3/SEG	10	10

Fuente: (ANA, 2016)

3.7.13.2. Determinación del balance hídrico de la microcuenca

El balance hídrico de la microcuenca fue obtenido mediante la Tabla N° 195.

Tabla 194: Balance hídrico de la microcuenca

COMPON ENTE	VARIABLE DETALLE	BALANCE HÍDRICO SUPERFICIAL (m3/seg)											
		AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL
	EPOCA	ESTIAJE	ESTIAJE	ESTIAJE	AVENIDA	AVENIDA	AVENIDA	AVENIDA	AVENIDA	ESTIAJE	ESTIAJE	ESTIAJE	ESTIAJE
Oferta Hidrica	Aguas Superficiales al 75%	0.132	0.105	0.168	0.308	0.632	1.231	1.300	1.024	0.795	0.457	0.324	0.197
	Manantes	1.362	1.362	1.362	1.362	1.362	1.362	1.362	1.362	1.362	2.675	1.362	1.362
	Total	1.494	1.467	1.530	1.670	1.995	2.593	2.663	2.386	2.157	3.132	1.686	1.560
	TIPO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Demanda Hidrica	Uso consuntivo	2.086	2.085	2.138	2.104	2.203	2.084	2.084	2.139	2.416	2.178	2.085	2.086
	Sector Agrícola	0.002	0.001	0.054	0.020	0.119	0.000	0.000	0.055	0.332	0.094	0.001	0.002
	Sector Poblacional	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004
	Sector Pecuario	2.080	2.080	2.080	2.080	2.080	2.080	2.080	2.080	2.080	2.080	2.080	2.080
	Egresos naturales	0.121	0.135	0.129	0.138	0.135	0.161	0.137	0.141	0.134	0.142	0.077	0.119
	Evaporación	0.116	0.132	0.123	0.127	0.112	0.116	0.091	0.104	0.105	0.126	0.066	0.112
	Infiltración	0.005	0.004	0.006	0.011	0.023	0.044	0.047	0.037	0.028	0.016	0.012	0.007
	Uso no consuntivo	0.235	0.231	0.241	0.175	0.209	0.272	0.280	0.251	0.340	0.493	0.266	0.246
	Caudal ecológico	0.224	0.220	0.230	0.167	0.199	0.259	0.266	0.239	0.324	0.470	0.253	0.234
	Caudal calidad de agua	0.011	0.011	0.011	0.008	0.010	0.013	0.013	0.012	0.016	0.023	0.013	0.012
	Usos o proyectos anteriores	0.250	0.250	0.250	0.250	0.250	0.250	0.250	0.250	0.250	0.250	0.250	0.250
	SEDACUSCO	0.250	0.250	0.250	0.250	0.250	0.250	0.250	0.250	0.250	0.250	0.250	0.250
	Total	2.692	2.701	2.758	2.667	2.797	2.767	2.751	2.780	3.139	3.063	2.678	2.701
Balance Hidrico	Demanda atendida	1.494	1.467	1.530	1.670	1.995	2.593	2.663	2.386	2.157	3.063	1.686	1.560
		100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
	Superávit (+)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.068	0.000	0.000
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.181	-	-
Déficit (-)		1.198	1.234	1.227	0.998	0.802	0.174	0.088	0.394	0.982	0.000	0.991	1.141
		44.494	45.690	44.505	37.397	28.682	6.276	3.206	14.157	31.291	-	37.026	42.247

Fuente: Elaboración propia

Como podemos apreciar en la Tabla N° 192, en época de estiaje la oferta hídrica no cubre las necesidades de la demanda, sin embargo, en épocas de lluvia la demanda de agua es cubierta en su totalidad, incluido un superávit que eleva el nivel de agua de la laguna de Piuray.

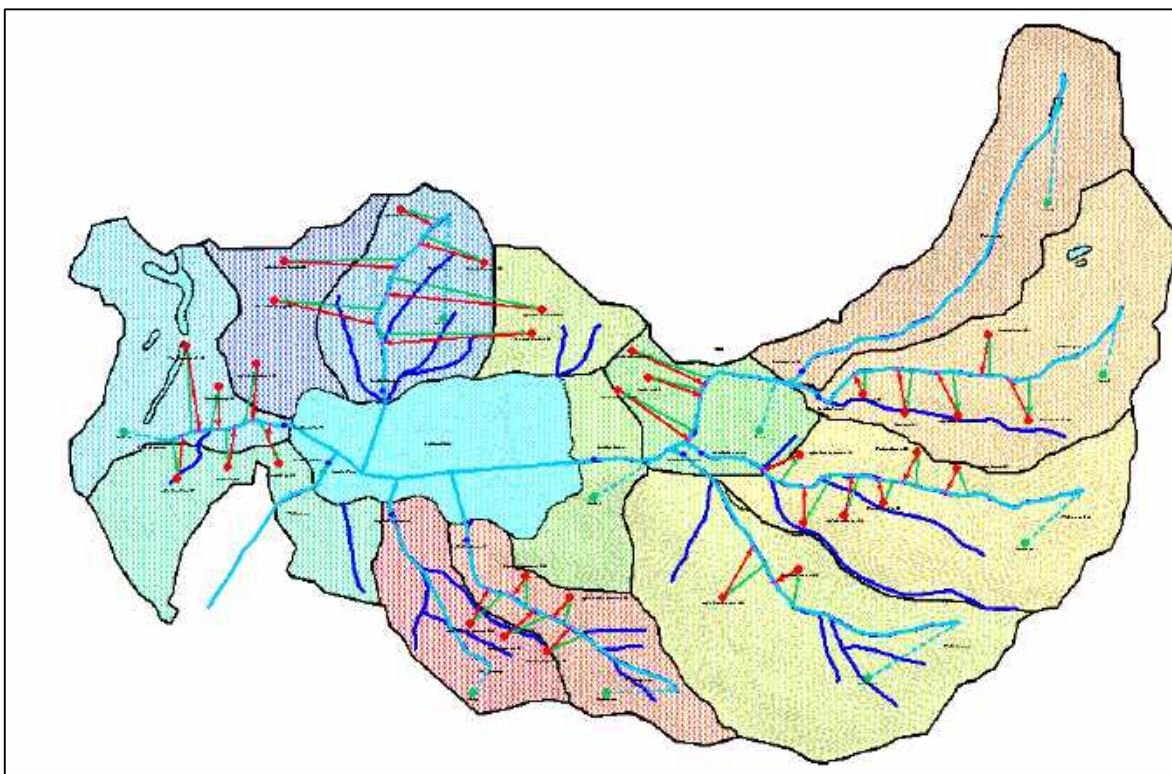
3.7.14. Determinación del escenario más desfavorable según el modelo WEAP

Se ha utilizado este modelo para evaluar diferentes escenarios y ver el comportamiento del agua en la cuenca y elegir el escenario más desfavorable para esta. El modelo generado mediante el software WEAP está basado en el ciclo hidrológico, el cual cuenta con los datos de evaporación, evapotranspiración, temperatura, precipitación, escorrentía, etc.

3.7.14.1. Formulación del modelo

La cuenca de Piuray fue esquematizada en el programa WEAP como se puede observar en la Fig. N° 99. Cabe señalar que el presente modelo es semi distribuido.

Fig. N° 98: Esquema del modelo hidrológico de la cuenca en el programa WEAP



Fuente Elaboración propia.

3.7.14.2. Parámetros de la microcuenca

Para poder realizar este modelo fue necesario una lista de datos, los cuales se clasifican por prioridad e importancia, estos datos fueron proporcionados por diversas entidades, entre las cuales destacamos; SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú), EPS SEDACUSCO (Servicio de Agua de Cusco), INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática), Centro Guamán Poma de Ayala, etc.

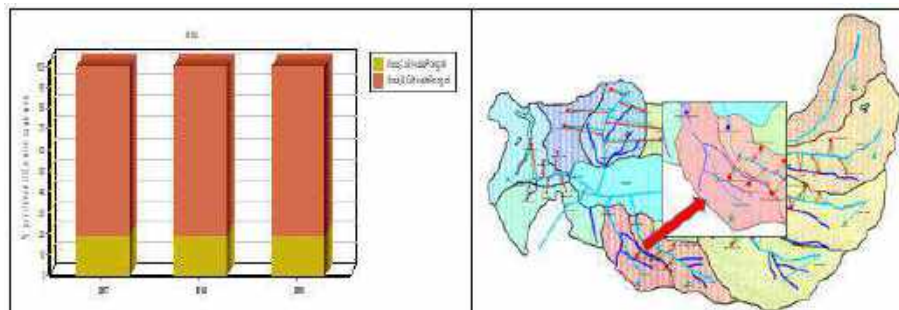
Adicionalmente se realizó diversos estudios y toma de muestras en la microcuenca, tales como aforos, infiltración, contenido de humedad, etc.

3.7.14.3. Caracterización de la cuenca

Para poder representar la cuenca y sus características dentro del programa fueron necesarias diversas herramientas, tales como modelos de elevación digital (DEM), Shapefiles, etc. Así como elementos creados dentro del software, como fueron los ríos, sitios de demanda, conducciones, caudales de retorno, medidores de caudal y los CATCHMENT, que

representan unidades hidrológicas con comportamientos particulares para cada microcuenca dentro de la zona de estudio.

Fig. N° 99: Cobertura vegetal de la microcuenca Pongobamba I



Fuente Elaboración propia

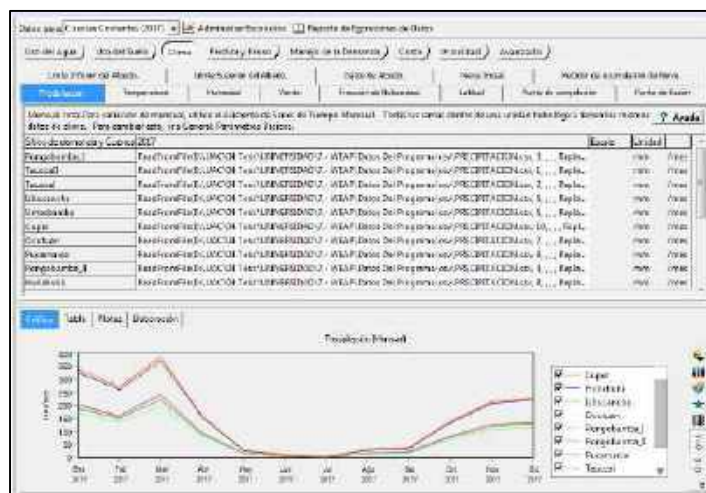
3.7.14.4. Parámetros meteorológicos requeridos para catchment

La completación y tratamiento de los parámetros meteorológicos, tales como precipitación, humedad relativa, temperatura, viento, fueron explicados anteriormente, sin embargo, para introducir dichos datos al programa fueron requeridos formatos CCV.

El periodo seleccionado para el análisis de los escenarios futuros fue 2019-2040, mientras que el periodo 1986-2019 fue seleccionado como base para la calibración del modelo hidrológico.

- **Precipitación**

Fig. N° 100: Precipitaciones de las microcuencas



Fuente Elaboración propia



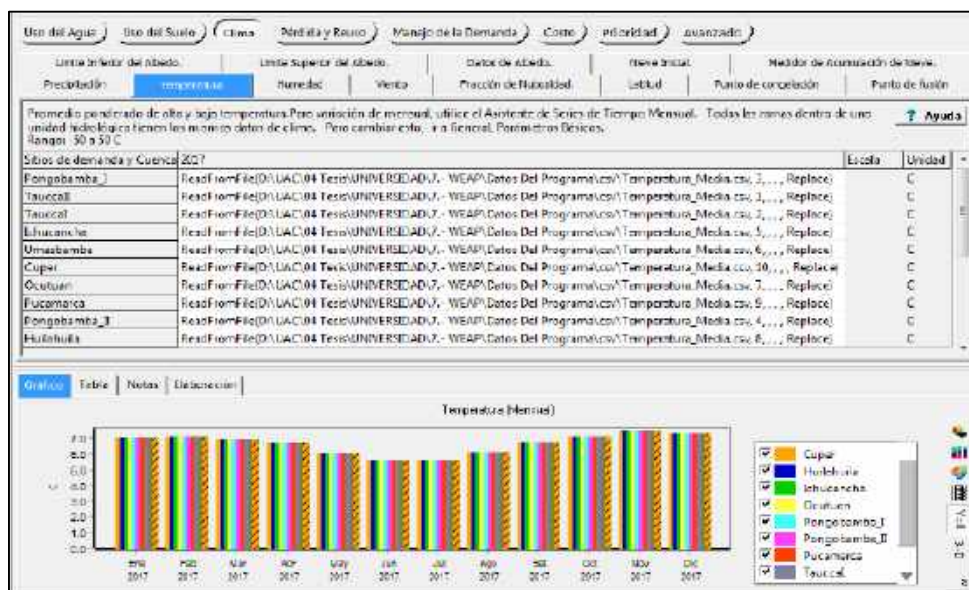
Fig. N° 101: Variación de la precipitación mensual de las microcuencas



Fuente elaboración propia.

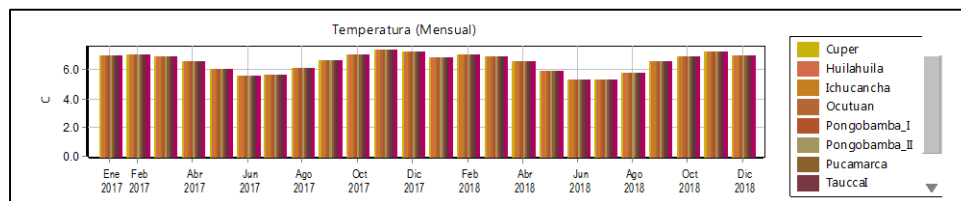
Temperatura

Fig. N° 102: Temperatura de las microcuencas



Fuente elaboración propia.

Fig. N° 103: Variación de la temperatura mensual de las microcuencas

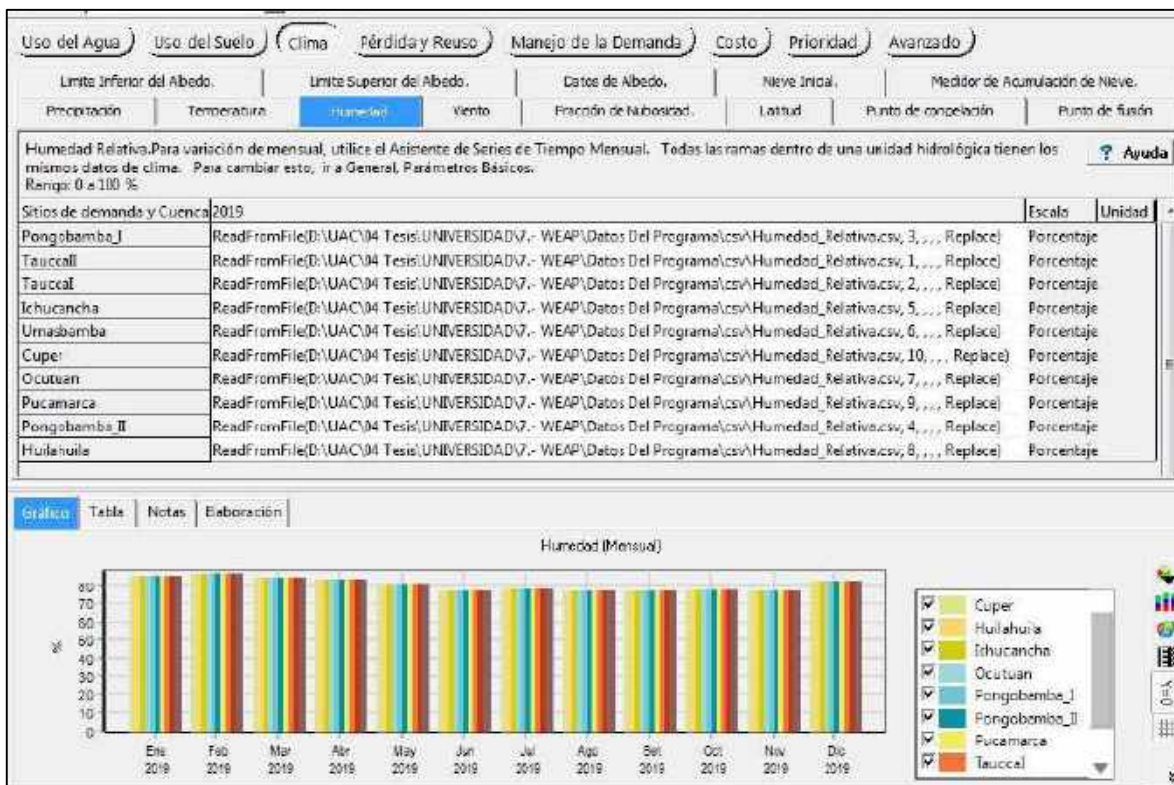


Fuente elaboración propia



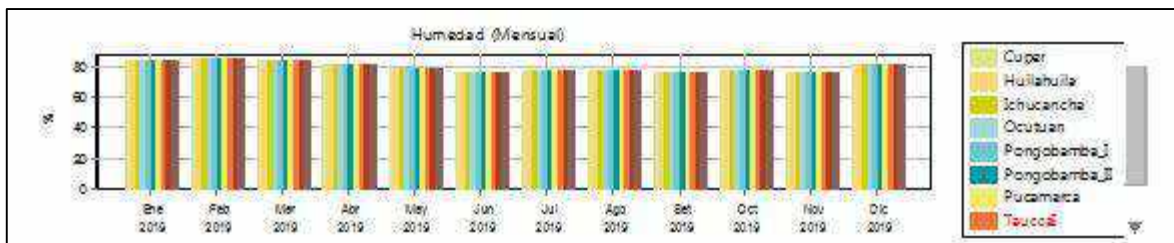
▪ Humedad relativa

Fig. N° 104: Humedad relativa de las microcuencas



Fuente elaboración propia

Fig. N° 105: Variación de la humedad relativa mensual de las microcuencas



Fuente elaboración propia



3.7.14.5. Datos requeridos para aplicaciones del modelo WEAP

Con la finalidad de obtener resultados más precisos se debe introducir la mayor cantidad de datos solicitados por el software, sin embargo, debido a las limitaciones de la investigación solo se introdujeron los detallados en la tabla N° 196.

Tabla 195: Prioridades de datos introducidos al modelo WEAP

DATOS REQUERIDOS PARA ALIMENTAR EL MODELO Y DURANTE EL PROCESO DE CALIBRACIÓN	PRIORIDAD	FORMATO PREFERIDO	NOTAS
DATOS DE ENTRADA - DEMANDAS			
- Uso de suelo			Datos para caracterizar la cuenca.
▪ DEM (Modelo de Elevación Digital)	1	GIS	
▪ Cobertura de vegetación	1	GIS	
▪ Tipo de suelo	1	GIS	
- Clima			Datos necesarios para alimentar el modelo con condiciones climáticas. Precipitación y temperatura deben ser promedios mensuales de cada mes durante el periodo de modelación, mientras que de humedad relativa y viento pueden ser un promedio mensual aproximado.
▪ Precipitación (series de datos históricas, i.e. promedio mensual en cada año del periodo de modelación)	1	Excel	
▪ Temperatura (series de datos históricas, i.e. promedio mensual en cada año del periodo de modelación)	1	Excel	
▪ Humedad relativa (promedio mensual del periodo de modelación)	1	Excel	
▪ Viento (promedio mensual del periodo de modelación)	1	Excel	
▪ Latitud	1	Excel, texto, o csv	
- Sitios de demanda (ciudades, industrias, zonas agrícolas)			Aunque las demandas agrícolas se pueden estimar dentro del modelo hidrológico, también se pueden agrupar en un sitio de demanda.
▪ Tasa abual de consumo de agua	1	No hay formato preferido	
▪ Consumo	1	No hay formato preferido	
▪ Variación mensual	1	No hay formato preferido	
▪ Nivel de actividad anual	1	No hay formato preferido	
DATOS DE ENTRADA			
SUMINISTRO Y RECURSOS			
- Reservorios/represas			Si existen reservorios, es importante tener información sobre su localización y sus características físicas y de operación.
<u>Datos físicos:</u>	1	No hay formato preferido. Los datos pueden venir en diversos formatos o formar parte de un texto. La curva de volumen/elevación puede trabajarse en Excel.	
▪ Capacidad de almacenamiento			
▪ Volumen inicial			
▪ Curva de volumen/elevación			
▪ Evaporación			
- Requerimientos de caudales	1	Excel	
DATOS PARA CALIBRACIÓN DEL MODELO			
- Ríos			Datos importantes del comportamiento del modelo y realizar la calibración.
▪ Series de tiempo de caudales	1	Excel, texto, o csv	

Fuente: Elaboración propia



Como se puede ver en la Tabla N° 196 a cada dato se le asignó una prioridad, donde:

- 1.- Muy importante
- 2.- Relevante este formato será de referencia y puede cambiar de acuerdo al proceso que se realice en la cuenca de estudio.

3.7.14.6. Formulación del modelo

▪ Definición del modelo

La primera parte consto en introducir los datos calculados en el programa, así como también el espacio geográfico en donde se ubica la cuenca, el proyecto se realizó en el periodo de 1986-2019 con la finalidad de calibrar el modelo.

Este es un modelo integrado, esto significa que es un sistema de regulación y distribución de agua, así como también el modelo hidrológico de la cuenca, este modelo es de manera semi distribuida las cuales son analizadas con los catchment.

▪ Definición del esquema del modelo

Tenemos los siguientes elementos que se incluyen en el esquema de la cuenca de Piuray creado en el programa WEAP:

Ríos: Esta representa las descargas de los tributarios de la laguna de Piuray y los ríos principales. Teniendo en total 11 ríos.

Derivaciones: Son dos, la primera va hacia la ciudad de Cusco y la segunda derivación se realizó con el fin de abastecer a la población de Chinchero.

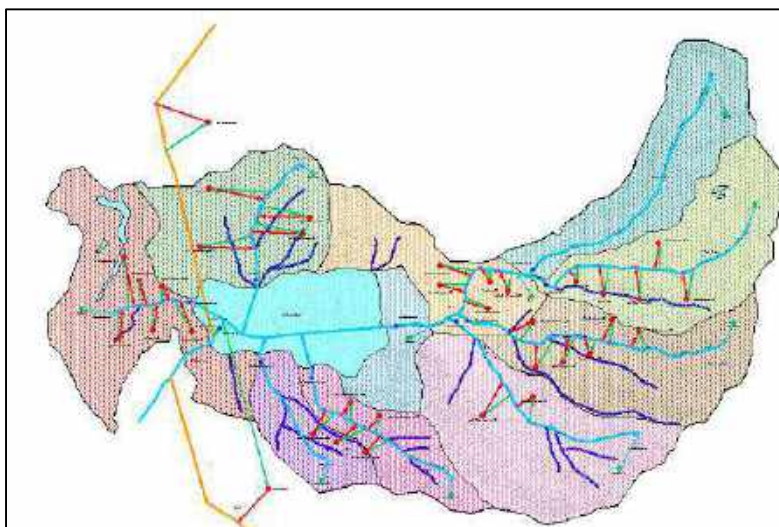
Nodos de demanda: Estos representan las diferentes demandas presentes en la microcuenca, teniendo en total 35 sitios de demanda.

- 9 poblaciones (consumo humano)
- 13 demandas pecuarias
- 13 demandas agrícolas

Medidor de caudales: Estos se encuentran en cada punto de aforo realizado en el año 2019.

El esquema WEAP de la cuenca de Piuray y sus partes se muestra en la Fig. N° 107.

Fig. N° 106: Esquema del modelo hidrológico en el programa WEAP



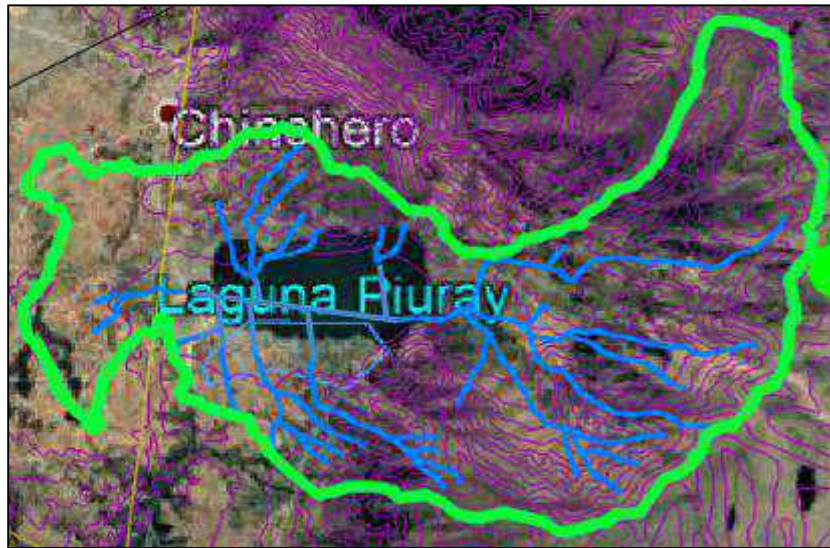
Fuente: Elaboración propia

Fig. N° 107: Vista en Google Earth de la microcuenca



Fuente elaboración propia

Fig. N° 108: Esquema de ríos de la microcuenca



Fuente: Elaboración propia

3.7.14.7. Procesamiento de información

Este proceso se realiza de la siguiente manera:

- Introducir los primeros datos para dar consistencia al modelo de la cuenca de Piuray.
- El segundo paso será colocar datos complementarios, de acuerdo a los resultados que tengamos con las primeras evaluaciones.

Este finaliza en cuanto se corrobore el funcionamiento del modelo sea funcional en el sistema real, a continuación, se mostrará los datos ingresados en el programa.

▪ Caudales aforados del año 2019

Estos caudales fueron obtenidos por aforos de todo el año del 2018 de la cuenca de Taucca II en la siguiente tabla podemos observar los caudales aforados mensualmente por microcuenca.

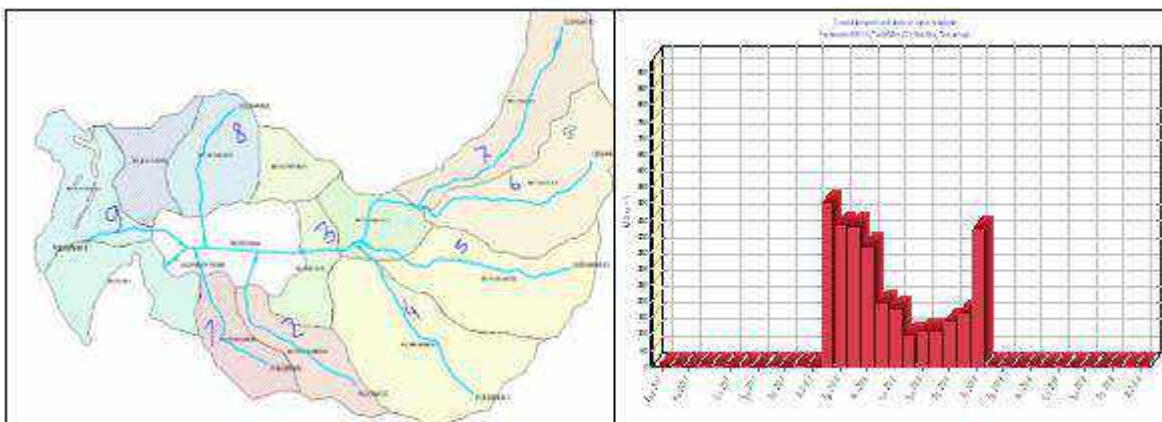
Tabla 196: Aforos mensuales por microcuenca

MES	NRO CORRIENTE (m3/seg)								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ENE	0.12363	0.05279	0.48742	0.16766	0.08092	0.18629	0.13531	0.03860	0.02198
FEB	0.12105	0.05060	0.47555	0.16021	0.07644	0.17801	0.13113	0.03689	0.02144
MAR	0.11541	0.04580	0.44955	0.14389	0.06661	0.15988	0.12196	0.03313	0.02027
ABR	0.10973	0.04097	0.42340	0.12747	0.05672	0.14163	0.11273	0.02935	0.01909
MAY	0.03211	0.01615	0.10963	0.06411	0.01593	0.07123	0.02803	0.01476	0.00494
JUN	0.02994	0.00692	0.08582	0.06084	0.01440	0.06760	0.02705	0.01401	0.00387
JUL	0.03328	0.00834	0.00574	0.03151	0.00028	0.03501	0.02998	0.00726	0.00026
AGO	0.02540	0.00514	0.09174	0.03559	0.02404	0.03955	0.01423	0.00820	0.00414
SEP	0.03545	0.01304	0.13239	0.03750	0.00984	0.04167	0.01443	0.00863	0.00597
OCT	0.06319	0.01972	0.11637	0.04631	0.01575	0.05145	0.01799	0.01066	0.00525
NOV	0.10955	0.08719	0.56713	0.05707	0.05579	0.06341	0.09571	0.01314	0.02557
DIC	0.13427	0.04496	0.62220	0.14054	0.09419	0.15615	0.13343	0.03236	0.02806

Fuente: Elaboración propia

Los aforos fueron realizados en diversas corrientes, las cuales agrupadas hacen representan los caudales generados en las diversas microcuencas de las zonas de estudio, para lo cual se elaboró la Fig. N° 110.

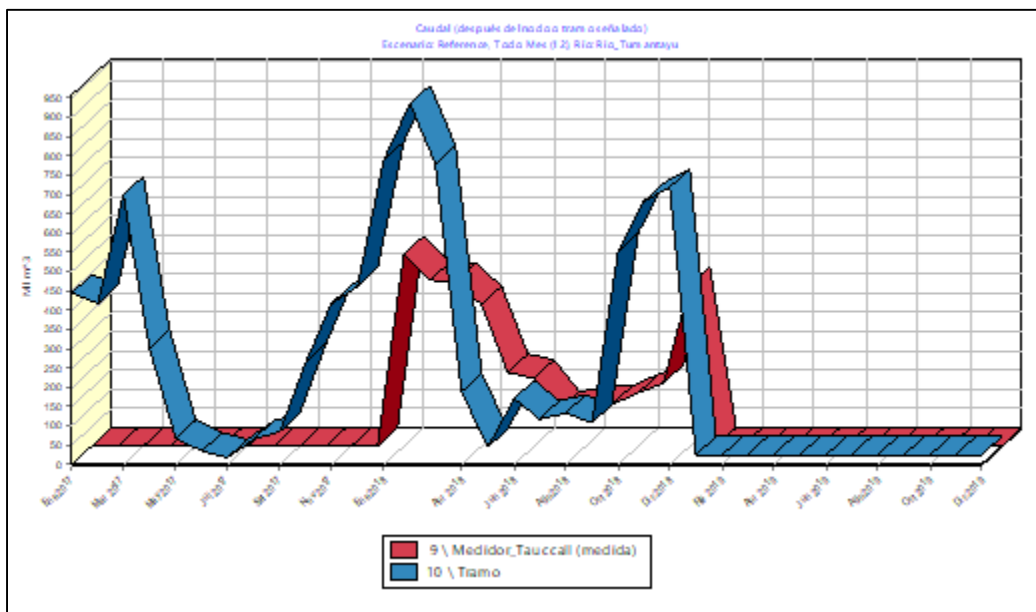
Fig. N° 109: Esquema de corrientes de la microcuenca



Fuente: Elaboración propia

Gracias a la recopilación de datos de niveles de la laguna de Piuray entre el 2017 y 2019, fue posible realizar la comparación con los caudales generados bajo el modelo hidrológico del programa WEAP para posteriormente calibrar el modelo y obtener datos de mayor confiabilidad.

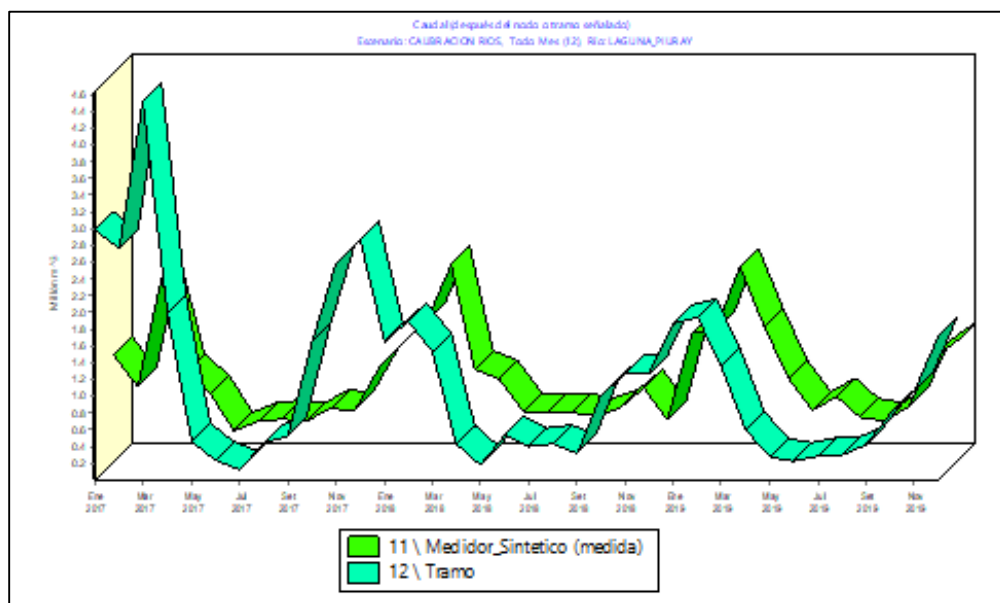
Fig. N° 110: Gráfico comparativo entre el caudal aforado y generado



Fuente: Elaboración propia

Después de haber realizado la calibración se genera un nuevo gráfico comparativo para visualizar la confiabilidad del modelo.

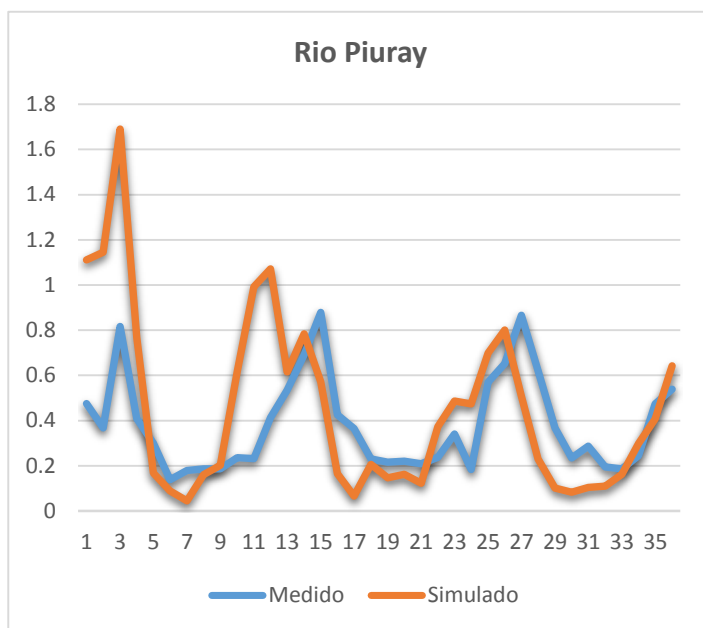
Fig. N° 111: Gráfico comparativo entre el caudal aforado y generado post calibración



Fuente: Elaboración propia

Fig. N° 112: Gráfico comparativo entre el caudal aforado y generado en Excel

Medido	Simulado	Medido	Simulado
0.475	1.111	0.216	0.147
0.368	1.145	0.220	0.162
0.816	1.690	0.210	0.123
0.409	0.769	0.238	0.373
0.300	0.169	0.340	0.487
0.138	0.088	0.184	0.473
0.180	0.045	0.570	0.698
0.186	0.161	0.652	0.801
0.186	0.202	0.867	0.508
0.236	0.617	0.621	0.230
0.232	0.992	0.367	0.101
0.413	1.071	0.235	0.084
0.534	0.615	0.287	0.105
0.690	0.784	0.195	0.110
0.879	0.572	0.187	0.162
0.425	0.165	0.245	0.298
0.365	0.066	0.474	0.407
0.230	0.206	0.538	0.643



Fuente elaboración propia.

3.7.14.8. Calibración del modelo WEAP

La calibración de un modelo hidrológico es el proceso mediante el cual se ajustan de manera óptima los valores simulados en función a los valores observados en campo. Para poder realizar dicha calibración, los datos simulados deben cumplir ciertos requisitos estadísticos, los mismos que son presentados en la Tabla N° 198.

Tabla 197: Métodos estadísticos de evaluación para calibración

Métodos Estadísticos
PBIAS (>-25% y <25%)
Nash-Sutcliffe (NSE>0.5)
RSR (<=0.7)

Fuente: Elaboración propia

La Tabla N° 199 muestra los resultados de las pruebas estadísticas aplicadas a los caudales generados por el modelo del software WEAP.

Tabla 198: Parámetros estadísticos de calibración

Puntos de Calibración	PBIAS	Nash-Sutcliffe	RSR	Período
TUMANTAYU	-0.337	0.525	0.689	2017-2018
cusihuycco	-0.612	0.483	0.719	2017-2018
Cancha Punta	-0.675	0.479	0.722	2017-2018
Hatunmayo	-0.270	0.559	0.664	2017-2018
Pongocanca	-0.217	0.581	0.648	2017-2018
tynccamayo	-0.251	0.566	0.658	2017-2018
Molinocanca	-0.111	0.513	0.698	2017-2018
Pucamarca	-0.158	0.497	0.709	2017-2018
Rio X	-0.414	0.560	0.664	2017-2018
Piuray	-0.231	-5.815	2.611	2017-2018

Fuente elaboración propia.

3.7.14.9. Demanda de agua en la cuenca de Piuray por microcuencas

En la zona de estudio se identificaron diferentes demandas siendo una de las más importantes la demanda agrícola, la Tabla N° 200 presenta la distribución de caudales en función a las microcuencas y los meses del año. El caudal requerido, al igual que la demanda poblacional tiene un crecimiento anual, el cual se ve representado en la Fig. N° 114.

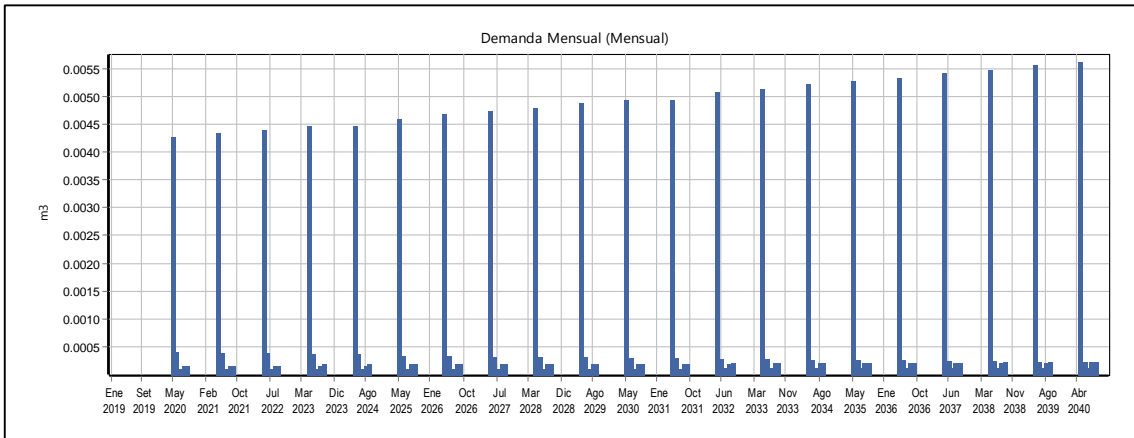
Tabla 199: Parámetros estadísticos de calibración

MICROCUENCA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
CUPER ALTO	0.00000	0.00000	0.00000	0.00907	0.02315	0.00082	0.00031	0.00084	0.00121	0.02487	0.00000	0.00000
CUPER BAJO	0.00000	0.00000	0.00000	0.00506	0.01292	0.00046	0.00017	0.00047	0.00068	0.01388	0.00000	0.00000
HUILAHUILA	0.00000	0.00000	0.00000	0.00578	0.01476	0.00052	0.00020	0.00054	0.00077	0.01586	0.00000	0.00000
HUITAPUGIO	0.00000	0.00000	0.00000	0.00433	0.01104	0.00039	0.00015	0.00040	0.00058	0.01186	0.00000	0.00000
ICHUCANCHA	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00533	0.00021	0.00015	0.00020	0.00016	0.00000	0.00000	0.00000
OCUTUAN	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00562	0.00021	0.00012	0.00021	0.00022	0.00000	0.00000	0.00000
PIURAY	0.00000	0.00000	0.00000	0.00868	0.02216	0.00078	0.00030	0.00080	0.00116	0.02381	0.00000	0.00000
PONGOBAMBA I	0.00000	0.00000	0.00000	0.00633	0.01616	0.00057	0.00022	0.00059	0.00085	0.01736	0.00000	0.00000
PONGOBAMBA II	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00170	0.00007	0.00005	0.00007	0.00004	0.00000	0.00000	0.00000
PUCAMARCA	0.00000	0.00000	0.00000	0.00605	0.01544	0.00055	0.00021	0.00056	0.00081	0.01659	0.00000	0.00000
TAUCCA I	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00130	0.00005	0.00005	0.00005	0.00002	0.00000	0.00000	0.00000
TAUCCA II	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00295	0.00012	0.00009	0.00011	0.00007	0.00000	0.00000	0.00000
UMASBAMBA	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00422	0.00017	0.00013	0.00016	0.00011	0.00000	0.00000	0.00000

Fuente Elaboración propia



Fig. N° 113: Evolución del caudal requerido por el sector agrícola de las microcuencas



Fuente elaboración propia



CAPITULO IV: RESULTADOS

4.1. De los parámetros morfológicos de la cuenca

Los parámetros morfológicos de la cuenca nos suministran indicadores del comportamiento de la misma frente a los fenómenos meteorológicos. El coeficiente de compacidad de la cuenca es igual a 1.578, lo cual nos indica lo siguiente:

- De acuerdo a los rangos establecidos por (Gaspari, 2012) la microcuenca se encuentra en el rango de 1.5 – 1.75, lo que significa que su clasificación es “Oval oblonga a rectangular oblonga”.
- Las microcuencas ovals oblonga a rectangular oblongas son menos propensas a quedar cubiertas completamente por una tormenta, esto nos sugiere que la concentración es de mayor velocidad.

El siguiente parámetro analizado es el índice de forma, el mismo que tiene un valor numérico de 2.401, lo que nos señala lo siguiente:

- El índice de forma sugiere que la cuenca es propensa a sufrir precipitaciones uniformes.

La densidad de drenaje es otro parámetro importante para evaluar preliminarmente la cuenca, el resultado obtenido en el cálculo es 0.774

- El valor de 0.774 nos da a entender que la cuenca no posee un buen sistema de drenaje.

Para obtener la pendiente de la cuenca se optó por dos métodos, el primero usando el software ARCGIS que nos arrojó un valor de 23.738 %, mientras que el método tradicional (Criterio Alvord) nos otorgó un valor de 24.042 %.

- La pendiente de cuenca nos señala que la respuesta a las precipitaciones es baja.

4.2. De los cuerpos de agua y manantes

Posterior al análisis de planos, Raster y Shapefiles correspondientes a la microcuenca de la laguna de Piuray pudimos obtener los siguientes resultados:

- Existen 3 cuerpos de agua principales (Piuray, Chinchac, Cusicocha)



- Existen 7 lagunas menores, cuya sumatoria de área es 0.049 km² por lo cual consideramos importante agregar al cálculo de diversos parámetros como evaporación.
- La microcuenca de la laguna de Piuray posee más de 29 manantes, sin embargo, solo ocho de ellos poseen una contribución relevante al balance hídrico de la cuenca.
- Los caudales aportados por los manantes fueron recopilados y adaptados al balance hídrico de la cuenca, dichos resultados se muestran en la Tabla N° 201.

Tabla 200: Aporte de los manantes al balance hídrico

MANANTES (M3/SEG)													
MANANTES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUM.
MANATE 1	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	1.200
MANATE 2	0.146	0.146	0.146	0.146	1.458	0.146	0.146	0.146	0.146	0.146	0.146	0.146	3.063
MANATE 3	0.078	0.078	0.078	0.078	0.078	0.078	0.078	0.078	0.078	0.078	0.078	0.078	0.938
MANATE 4	0.155	0.155	0.155	0.155	0.155	0.155	0.155	0.155	0.155	0.155	0.155	0.155	1.854
MANATE 5	0.073	0.073	0.073	0.073	0.073	0.073	0.073	0.073	0.073	0.073	0.073	0.073	0.875
MANATE 6	0.568	0.568	0.568	0.568	0.568	0.568	0.568	0.568	0.568	0.568	0.568	0.568	6.813
MANATE 7	0.188	0.188	0.188	0.188	0.188	0.188	0.188	0.188	0.188	0.188	0.188	0.188	2.250
MANATE 8	0.056	0.056	0.056	0.056	0.056	0.056	0.056	0.056	0.056	0.056	0.056	0.056	0.667
Σ	1.362	1.362	1.362	1.362	2.675	1.362	1.362	1.362	1.362	1.362	1.362	1.362	17.659

Fuente: (Ayala, 2013)

4.3. De la información meteorológica

La información suministrada por el SENAMHI tuvo que ser procesada mediante métodos estadísticos y dentro los resultados obtenidos tenemos:

- La estación de Kayra posee la información más completa y fiable por lo cual se eligió como “estación base”.
- Posterior al procesamiento de datos se realizó la completación de datos, los datos de la precipitación total anual de todas las estaciones se encuentran plasmados en la Tabla N° 202.
- Los coeficientes de correlación entre las diversas estaciones, en comparación a nuestra estación base, arrojan valores entre 0.55 a 0.74, valores aceptables para la aceptación de datos.
- Tras realizar el análisis de doble masa, consistencia y tendencia, podemos ver que los datos de temperatura poseen una correlación correcta y no es necesario realizar una mayor corrección.



- Al regionalizar los datos de la temperatura podemos apreciar que posee una fuerte relación con la altitud. La altura media de la cuenca es 3922.192 y la temperatura media anual es de 6.358° C.

Tabla 201: Precipitación total anual

AÑO	KAYRA	CALCA	URUB.	ANTA	PISAC
1986	569.100	589.148	353.300	599.600	363.300
1987	630.600	582.913	479.700	736.813	527.220
1988	725.500	569.256	460.700	855.300	557.400
1989	686.300	633.393	566.700	601.400	443.700
1990	641.100	484.271	501.200	530.900	539.700
1991	682.400	763.800	544.000	666.750	474.800
1992	609.300	562.600	444.300	670.100	420.800
1993	799.900	625.000	496.500	1788.600	563.000
1994	798.400	712.500	594.600	2043.305	738.700
1995	560.000	449.000	465.900	940.900	376.000
1996	610.200	584.500	484.800	1329.000	517.347
1997	805.300	626.707	488.700	1101.126	547.500
1998	493.900	428.500	324.400	648.557	476.000
1999	543.100	662.963	546.700	1382.900	500.300
2000	652.000	617.120	432.700	1004.300	468.500
2001	864.100	818.085	566.600	1621.900	794.200
2002	822.100	813.934	748.100	1360.300	724.500
2003	713.700	651.511	570.200	923.400	559.300
2004	632.000	715.358	527.200	897.700	601.800
2005	638.900	587.054	436.600	582.200	439.000
2006	856.300	754.897	531.300	875.200	691.400
2007	618.501	680.435	450.700	803.000	533.500
2008	592.400	606.699	538.400	813.200	643.800
2009	525.500	611.291	474.600	950.800	525.700
2010	881.100	811.113	545.500	1012.700	902.400
2011	740.500	847.758	714.400	1120.900	673.000
2012	689.400	679.944	616.800	886.100	617.800
2013	808.700	642.366	671.900	823.265	745.000
2014	611.858	366.800	427.740	656.900	530.100
2015	687.000	292.800	461.600	729.400	360.490
2016	548.100	264.200	560.600	780.300	474.370
2017	609.700	244.741	494.400	748.200	448.600
2018	788.430	265.400	536.900	805.300	687.000

Fuente: Elaboración propia



4.4. De los caudales aforados

Tras haber realizado el aforo de caudales y procesado la información obtuvimos los siguientes resultados:

Tabla 202: Caudales aforados

Q FINAL	
MES	Q m ³ /s
ENE	1.295
FEB	1.251
MAR	1.156
ABR	1.061
MAY	0.357
JUN	0.310
JUL	0.152
AGO	0.248
SEP	0.299
OCT	0.347
NOV	1.075
DIC	1.386

Fuente: Elaboración propia

En época de estiaje muchos puntos de aforo no se encuentran activos, sin embargo, hay 14 puntos intermitentes que aportan un flujo constante a la laguna de Piuray.

4.5. De los ingresos al sistema

Los ingresos a una cuenca son tanto los superficiales como los subterráneos, sin embargo, para la presente investigación solo hicimos uso de los ingresos superficiales y los manantes captados.

- El ingreso superficial fue obtenido mediante el modelamiento hidrológico, mediante el análisis de los coeficientes de correlación determinamos que el modelo a usar es Lutz Scholz, el cual nos suministró los caudales presentados en la Tabla N° 204.
- La comparación realizada de los coeficientes de correlación de los modelos hidrológicos se encuentran presentados en los Anexos X – 10.3.
- Los ingresos al sistema fueron comparados estadísticamente con los valores de aforados en campo, valores presentados en la Tabla N° 208.



- Dentro de la validación de datos pudimos observar que el valor del coeficiente de correlación está por encima de 0.77, ligeramente superior a los obtenidos por el modelamiento hidrológico Temez.

Tabla 203: Caudales generados por modelamiento Lutz Scholz

MES	GENERADOS	
	mm/mes	m3/s
JUL	17.725	0.263
AGO	11.858	0.176
SEP	9.120	0.140
OCT	15.092	0.224
NOV	26.733	0.410
DIC	56.783	0.843
ENE	110.512	1.641
FEB	105.458	1.734
MAR	91.957	1.366
ABR	69.060	1.060
MAY	41.018	0.609
JUN	28.156	0.432
TOTAL	583.471	8.899

Fuente: Elaboración propia

Tabla 204: Caudales aforados en campo

Q FINAL	
MES	Q (m3/seg)
ENE	1.295
FEB	1.251
MAR	1.156
ABR	1.061
MAY	0.357
JUN	0.310
JUL	0.152
AGO	0.248
SEP	0.299
OCT	0.347
NOV	1.075
DIC	1.386

Fuente: Elaboración propia



4.6. De los egresos del sistema

Para poder determinar los egresos del sistema dividimos totalidad de salidas en las siguientes categorías:

4.6.1. Uso Consuntivo

El uso consuntivo corresponde al caudal de agua destinado a cubrir las necesidades de las diferentes actividades antrópicas de la población afectada por la microcuenca.

4.6.1.1. Sector agrícola

Para determinar el caudal destinado al sector agrícola fue necesario realizar una encuesta entre los productores agrícolas de cada microcuenca, cabe resaltar que para el cultivo en la zona la precipitación cubre todas las necesidades en temporada de avenida, sin embargo, en temporada de estiaje es necesario direccionar cierto caudal, el mismo que fue calculado en la Tabla N° 206.

Tabla 205: Cálculo del caudal de demanda agrícola

CALCULO DEL CAUDAL DE DEMANDA													
DATOS		JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
AREA DE CULTIVO AL MES	ha	16.84	16.84	16.84	517.48	586.72	586.72	586.72	586.72	586.72	517.48	482.86	45.10
KC - PONDERADO		0.29	0.51	0.71	0.30	0.54	0.74	0.87	0.85	0.86	0.82	0.57	0.57
ETP	mm/mes	107.82	131.91	151.97	164.24	164.17	143.38	137.20	121.99	132.98	124.07	114.21	101.41
ETR	mm/mes	30.85	67.38	107.55	49.25	88.90	105.86	119.19	103.86	114.69	101.50	64.88	58.23
PE 75% (terrenos cultivo)	mm	7.45	10.36	19.89	67.60	102.57	164.27	209.49	183.87	147.50	53.08	8.63	10.22
REQUERIMIENTO	mm	23.41	57.02	87.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	48.42	56.25	48.01
REQUERIMIENTO	m3/ha	234.05	570.21	876.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	484.19	562.49	480.08
EFICIENCIA DE RIEGO	%	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
DEMANDA BRUTA	mm/ha	585.14	1425.53	2191.46	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1210.47	1406.22	1200.21
DIAS		31	31	30	31	30	31	31	28	31	30	31	30
JORNADA	hr	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
MODULO DE RIEGO	lt/seg/ha	0.22	0.53	0.85	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.47	0.53	0.46
DEMANDA	lt/seg	3.68	8.96	14.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	241.67	253.51	20.88

Fuente: Elaboración propia

El proceso de obtención de los valores presentados en el cuadro es el siguiente:

- **Área de cultivo al mes:** El área total de terrenos de cultivo fue obtenido mediante la encuesta realizada a los productores agropecuarios.
- **Kc – Ponderado:** El Kc es obtenido en función a los productos cultivados en la zona y a su personaje de crecimiento, por lo cual fue requerido elaborar la Tabla N° 207. Gracias a los porcentajes y grupo de cultivo pudimos determinar el Kc por tipo de cultivo (Tabla N° 208), sin embargo, lo requerido para el cálculo de los demás valores es el Kc –



ponderado, el mismo que fue obtenido mediante un balance en función al área empleada por cada cultivo, los resultados se reflejan en la Tabla N° 209.

El consolidado de datos fue realizado en la Tabla N° 210, como fue previsto, en época de avenida la precipitación cubre toda la demanda agrícola.

Tabla 206: Crecimiento del cultivo en porcentaje

DETERMINACIÓN DEL CRECIMIENTO DEL CULTIVO - PORCENTAJE													
PRODUCTO	GRUPO	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
PAPA COMERCIAL	A	0%	0%	0%	11%	22%	33%	44%	56%	67%	78%	89%	0%
PAPA NATIVA	A	8%	15%	23%	31%	38%	46%	54%	62%	69%	77%	85%	92%
OLLUCO	A	0%	0%	0%	11%	22%	33%	44%	56%	67%	78%	89%	0%
QUINUA	D	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
ARVEJA	D	0%	0%	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
MAÍZ	A	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
HABAS	A	0%	0%	0%	11%	22%	33%	44%	56%	67%	78%	89%	0%
CEBADA	D	0%	0%	0%	11%	22%	33%	44%	56%	67%	78%	89%	0%
AVENA	D	0%	0%	0%	11%	22%	33%	44%	56%	67%	78%	89%	0%
TRIGO	D	0%	0%	0%	13%	25%	38%	50%	63%	75%	88%	0%	0%
ALFALFA	G	0%	0%	0%	0%	17%	33%	50%	67%	83%	0%	0%	0%
HORTALIZAS	C	0%	0%	0%	0%	17%	33%	50%	67%	83%	0%	0%	0%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 207: Determinación de Kc por tipo de cultivo

DETERMINACIÓN DE Kc													
PRODUCTO	GRUPO	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
PAPA COMERCIAL	A	0.00	0.00	0.00	0.39	0.69	0.89	0.99	1.00	0.94	0.79	0.49	0.00
PAPA NATIVA	A	0.29	0.51	0.71	0.85	0.95	0.99	1.00	0.98	0.92	0.81	0.61	0.36
OLLUCO	A	0.00	0.00	0.00	0.39	0.69	0.89	0.99	1.00	0.94	0.79	0.49	0.00
QUINUA	D	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ARVEJA	D	0.00	0.00	0.00	0.15	0.27	0.40	0.52	0.65	0.77	0.88	0.90	0.70
MAÍZ	A	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
HABAS	A	0.00	0.00	0.00	0.39	0.69	0.89	0.99	1.00	0.94	0.79	0.49	0.00
CEBADA	D	0.00	0.00	0.00	0.16	0.30	0.44	0.57	0.72	0.84	0.90	0.72	0.00
AVENA	D	0.00	0.00	0.00	0.23	0.48	0.75	0.94	0.74	0.85	0.82	0.54	0.00
TRIGO	D	0.00	0.00	0.00	0.17	0.33	0.49	0.65	0.80	0.90	0.75	0.00	0.00
ALFALFA	G	0.00	0.00	0.00	0.00	0.67	0.83	1.00	0.93	0.77	0.00	0.00	0.00
HORTALIZAS	C	0.00	0.00	0.00	0.00	0.33	0.53	0.60	0.57	0.39	0.00	0.00	0.00

Fuente: Elaboración propia



Tabla 208: Determinación del Kc Ponderado

DETERMINACIÓN DEL KC PONDERADO															
PRODUCTO	GRUPO	%	AREA (ha)	VALORES DE KC											
				MESES											
				JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
PAPA COMERCIAL	A	25.28	152.59	0.00	0.00	0.00	59.68	105.11	136.31	150.72	152.42	143.94	121.22	74.94	0.00
PAPA NATIVA	A	2.79	16.84	4.82	8.60	11.92	14.36	16.08	16.71	16.84	16.52	15.46	13.67	10.30	6.12
OLLUCO	A	0.85	5.15	0.00	0.00	0.00	2.01	3.55	4.60	5.08	5.14	4.85	4.09	2.53	0.00
ARVEJA	D	4.68	28.26	0.00	0.00	0.00	4.24	7.63	11.30	14.69	18.37	21.76	24.87	25.43	19.78
HABAS	A	10.54	63.62	0.00	0.00	0.00	24.88	43.83	56.83	62.84	63.55	60.01	50.54	31.24	0.00
CEBADA	D	12.40	74.84	0.00	0.00	0.00	11.89	22.20	32.93	42.91	53.64	62.87	67.36	54.05	0.00
AVENA	D	23.46	141.57	0.00	0.00	0.00	32.25	68.42	105.70	132.76	104.92	120.33	115.61	75.82	0.00
TRIGO	D	5.74	34.62	0.00	0.00	0.00	5.89	11.43	16.96	22.50	27.52	31.16	25.97	0.00	0.00
ALFALFA	G	8.22	49.59	0.00	0.00	0.00	0.00	33.06	41.33	49.59	46.28	38.02	0.00	0.00	0.00
HORTALIZAS	C	3.26	19.65	0.00	0.00	0.00	0.00	6.42	10.48	11.79	11.20	7.66	0.00	0.00	0.00
Σ		100	603.57	4.82	8.60	11.92	155.19	317.73	433.16	509.74	499.56	506.07	423.32	274.31	25.89
KC - PONDERADO				0.29	0.51	0.71	0.30	0.54	0.74	0.87	0.85	0.86	0.82	0.57	0.57

Fuente: Elaboración propia

Tabla 209: Caudal de demanda agrícola

DEMANDA		
MES	lt/seg	m3/seg
ENE	0.000	0.000
FEB	0.000	0.000
MAR	0.000	0.000
ABR	241.667	0.242
MAY	253.513	0.254
JUN	20.883	0.021
JUL	3.680	0.004
AGO	8.964	0.009
SEP	14.240	0.014
OCT	0.000	0.000
NOV	0.000	0.000
DIC	0.000	0.000

Fuente: Elaboración propia

- **EPT:** La evapotranspiración fue determinada mediante la metodología Hargreaves 3, la Tabla N° 203 nos muestra los datos requeridos para realizar el cálculo, mientras que los datos de ETP empleados en el cálculo de la demanda para la agricultura corresponden a los extraídos en función a la media de los datos antes mencionados. (Tabla N° 211).

Tabla 210: Datos requeridos para cálculo de ETP mediante Hargreaves

N°	Parámetro	Und
1	Días del mes	
2	Temperatura media - T° med	°C
3	Temperatura media - T° med	°F
4	Humedad relativa media - HR med	%
5	Factor mensual de latitud mm - MF	
6	Factor de corrección por HR - CH	
7	Factor de corrección por h - CE	

Fuente: CROPWAT



Tabla 211: Procesamiento de datos de ETP de 1998 a 2019

AÑO	ETP mm/mes												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
Nro.DATO	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	8
MEDIA	137.20	121.99	132.98	124.07	114.21	101.41	107.82	131.91	151.97	164.24	164.17	143.38	19155
DESV.STD	12.90	13.07	12.51	8.61	9.80	7.05	10.91	9.97	11.53	11.15	10.92	9.84	870
C.V.	0.09	0.11	0.09	0.07	0.09	0.07	0.10	0.08	0.08	0.07	0.07	0.07	0
MIN	116.87	101.92	110.05	107.70	93.93	85.50	91.45	105.71	130.80	148.18	141.30	125.55	17473
MAX	169.57	156.80	163.99	141.90	138.26	112.20	127.72	151.90	177.30	187.86	182.70	157.79	20360

Fuente: Elaboración propia

- **ETR:** Corresponde a la ETP multiplicado por el Kc - ponderado
- **PE (75%):** La precipitación efectiva fue determinada mediante la metodología USDA SCS (P) la misma que plantea las siguientes fórmulas. (FAO, 1986)

$$Pe = Pt * \left(125 - \frac{0.2 * Pt}{125} \right) \text{ si } Pt < 250mm$$

$$Pe = 125 + 0.1 * Pt \text{ si } Pt > 250 mm$$

- **Requerimiento:** Cuando la ETR es superior a la precipitación efectiva representa que es necesario destinar un caudal para cubrir la necesidad de los cultivos, como podemos apreciar en la Tabla N° 213, durante los meses del periodo de estiaje es necesario un caudal adicional mientras que, en los meses de avenida, la lluvia cubre toda la necesidad.
- **Eficiencia de riego:** La eficiencia de riego fue determinada mediante las siguientes tablas.

Tabla 212: Eficiencia de conducción externa

EFICIENCIA DE CONDUCCIÓN EXTERNA - EFCE		
TIPO DE CANAL	A < 20 ha	A > 20 ha
CANAL SIN REVESTIR	80	70
CANALES REVESTIDOS	90	80

Fuente: (FAO, 2001)

Tabla 213: Eficiencia de conducción interna

EFICIENCIA DE CONDUCCIÓN INTERNA - EFCI		
TIPO DE CANAL	A < 20 ha	A > 20 ha
SIN REVESTIR	60 a 75	80
REVESTIDA O TUBERÍA	70 a 90	90 a 95

Fuente: (FAO, 2001)



Tabla 214: Eficiencia de conducción interna

EFICIENCIA DE CONDUCCIÓN INTERNA - EFA		
TIPO DE CANAL	A < 20 ha	A > 20 ha
SURCOS	50 - 75	30 - 50
MELGAS	50 - 85	30 - 50
ASPERSION	60 - 85	40 - 60
GOTEO	60 - 85	50 - 60

Fuente: (FAO, 2001)

$$EFP = 0.8 * 0.75 * 0.75 = 0.42$$

- **Demanda bruta:** Para poder cubrir la necesidad de riego es preciso prever la eficiencia de riego y evaluar la cantidad total de agua necesaria.
- **Módulo de riego:** La demanda de agua se representa en una caudal (volumen sobre unidad de tiempo), esto teniendo en cuenta el área total de cultivos.
- **Demanda:** Para poder incluir el valor de la demanda dentro del balance hídrico, el caudal destinado a la agricultura fue convertido a m³/seg.

4.6.1.2. Sector pecuario

La encuesta aplicada en los poblados dependientes de la microcuenca arrojó datos de la cantidad de animales por unidad familiar, así como el consumo de estos. Los datos fueron procesados en la Tabla N° 216, 217 y 218.



Tabla 215: Producción pecuaria (enero – abril)

PRODUCCIÓN PECUARIA									
DATOS ENCUESTAS		REQUERIMIENTO PECUARIO - LT							
TIPO	ANIMAL	CANTIDAD	PROM.	TOTAL	CONSUMO	ENE	FEB	MAR	ABR
		cabeza	cabeza/und	cabeza	lt/día	31	28	31	30
GANADO VACUNO	TERNERO	10	0.286	224.571	25.000	174042.857	157200.000	174042.857	168428.571
	VAQUILLAS	3	0.086	67.371	35.000	52212.857	47160.000	52212.857	50528.571
	VAQUILLONAS	7	0.200	157.200	55.000	121830.000	110040.000	121830.000	117900.000
	VACAS	12	0.343	269.486	57.000	208851.429	188640.000	208851.429	202114.286
	TORETES	15	0.429	336.857	30.000	261064.286	235800.000	261064.286	252642.857
	TOROS	34	0.971	763.543	70.000	591745.714	534480.000	591745.714	572657.143
	BUEYES	2	0.057	44.914	55.000	34808.571	31440.000	34808.571	33685.714
GANADO OVINO	CORDERO	151	4.314	3391.029	2.600	2628047.143	2373720.000	2628047.143	2543271.429
	BORREGUILLAS	2	0.057	44.914	3.000	34808.571	31440.000	34808.571	33685.714
	BORREGAS	24	0.686	538.971	4.300	417702.857	377280.000	417702.857	404228.571
	CARNERILLOS	0	0.000	0.000	2.100	0.000	0.000	0.000	0.000
	CARNEROS	7	0.200	157.200	1.500	121830.000	110040.000	121830.000	117900.000
	CAPONES	0	0.000	0.000	1.100	0.000	0.000	0.000	0.000
GANADO PORCINO	LECHONES	76	2.171	1706.743	1.800	1322725.714	1194720.000	1322725.714	1280057.143
	GORRINAS	0	0.000	0.000	6.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	MARRANAS	4	0.114	89.829	6.000	69617.143	62880.000	69617.143	67371.429
OTRAS ESPECIES	VARRACOS	0	0.000	0.000	6.800	0.000	0.000	0.000	0.000
	CABRAS	0	0.000	0.000	10.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	LLAMAS	2	0.057	44.914	20.000	34808.571	31440.000	34808.571	33685.714
	VICUÑAS	0	0.000	0.000	15.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	CABALLOS	0	0.000	0.000	50.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	CUYES	790	22.571	17741.143	0.100	13749385.714	12418800.000	13749385.714	13305857.143
	POLLOS	131	3.743	2941.886	1.000	2279961.429	2059320.000	2279961.429	2206414.286
AVES DE CORRAL	GALLINAS	360	10.286	8084.571	4.000	6265542.857	5659200.000	6265542.857	6063428.571
	GALLOS	50	1.429	1122.857	4.000	870214.286	786000.000	870214.286	842142.857
	PAVOS	0	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	PATOS	2	0.057	44.914	1.000	34808.571	31440.000	34808.571	33685.714
				Σ	REQ	lt	29274008.571	26441040.000	29274008.571
					m3	29274.009	26441.040	29274.009	28329.686
				Q	m3/seg	0.011	0.011	0.011	0.011

Fuente: Elaboración propia

Tabla 216: Producción pecuaria (mayo - agosto)

PRODUCCIÓN PECUARIA									
DATOS ENCUESTAS		REQUERIMIENTO PECUARIO - LT							
TIPO	ANIMAL	CANTIDAD	PROM.	TOTAL	CONSUMO	MAY	JUN	JUL	AGO
		cabeza	cabeza/und	cabeza	lt/día	31	30	31	31
GANADO VACUNO	TERNERO	10	0.286	224.571	25.000	174042.857	168428.571	174042.857	174042.857
	VAQUILLAS	3	0.086	67.371	35.000	52212.857	50528.571	52212.857	52212.857
	VAQUILLONAS	7	0.200	157.200	55.000	121830.000	117900.000	121830.000	121830.000
	VACAS	12	0.343	269.486	57.000	208851.429	202114.286	208851.429	208851.429
	TORETES	15	0.429	336.857	30.000	261064.286	252642.857	261064.286	261064.286
	TOROS	34	0.971	763.543	70.000	591745.714	572657.143	591745.714	591745.714
	BUEYES	2	0.057	44.914	55.000	34808.571	33685.714	34808.571	34808.571
GANADO OVINO	CORDERO	151	4.314	3391.029	2.600	2628047.143	2543271.429	2628047.143	2628047.143
	BORREGUILLAS	2	0.057	44.914	3.000	34808.571	33685.714	34808.571	34808.571
	BORREGAS	24	0.686	538.971	4.300	417702.857	404228.571	417702.857	417702.857
	CARNERILLOS	0	0.000	0.000	2.100	0.000	0.000	0.000	0.000
	CARNEROS	7	0.200	157.200	1.500	121830.000	117900.000	121830.000	121830.000
	CAPONES	0	0.000	0.000	1.100	0.000	0.000	0.000	0.000
GANADO PORCINO	LECHONES	76	2.171	1706.743	1.800	1322725.714	1280057.143	1322725.714	1322725.714
	GORRINAS	0	0.000	0.000	6.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	MARRANAS	4	0.114	89.829	6.000	69617.143	67371.429	69617.143	69617.143
OTRAS ESPECIES	VARRACOS	0	0.000	0.000	6.800	0.000	0.000	0.000	0.000
	CABRAS	0	0.000	0.000	10.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	LLAMAS	2	0.057	44.914	20.000	34808.571	33685.714	34808.571	34808.571
	VICUÑAS	0	0.000	0.000	15.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	CABALLOS	0	0.000	0.000	50.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	CUYES	790	22.571	17741.143	0.100	13749385.714	13305857.143	13749385.714	13749385.714
	POLLOS	131	3.743	2941.886	1.000	2279961.429	2206414.286	2279961.429	2279961.429
AVES DE CORRAL	GALLINAS	360	10.286	8084.571	4.000	6265542.857	6063428.571	6265542.857	6265542.857
	GALLOS	50	1.429	1122.857	4.000	870214.286	842142.857	870214.286	870214.286
	PAVOS	0	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	PATOS	2	0.057	44.914	1.000	34808.571	33685.714	34808.571	34808.571
				Σ	REQ	lt	29274008.571	28329685.714	29274008.571
					m3	29274.009	28329.686	29274.009	29274.009
				Q	m3/seg	0.011	0.011	0.011	0.011

Fuente: Elaboración propia



Tabla 217: Producción pecuaria (septiembre - diciembre)

DATOS ENCUESTAS		PRODUCCIÓN PECUARIA							
TIPO	ANIMAL	REQUERIMIENTO PECUARIO - LT							
		CANTIDAD	PROM.	TOTAL	CONSUMO	SEP	OCT	NOV	DIC
		cabeza	cabeza/und	cabeza	lt/día	30	31	30	31
GANADO VACUNO	TERNERO	10	0.286	224.571	25.000	168428.571	174042.857	168428.571	174042.857
	VAQUILLAS	3	0.086	67.371	35.000	50528.571	52212.857	50528.571	52212.857
	VAQUILLONAS	7	0.200	157.200	55.000	117900.000	121830.000	117900.000	121830.000
	VACAS	12	0.343	269.486	57.000	202114.286	208851.429	202114.286	208851.429
	TORRETES	15	0.429	336.857	30.000	252642.857	261064.286	252642.857	261064.286
	TOROS	34	0.971	763.543	70.000	572657.143	591745.714	572657.143	591745.714
	BUEYES	2	0.057	44.914	55.000	33685.714	34808.571	33685.714	34808.571
GANADO OVINO	CORDERO	151	4.314	3391.029	2.600	2543271.429	2628047.143	2543271.429	2628047.143
	BORREGUILLAS	2	0.057	44.914	3.000	33685.714	34808.571	33685.714	34808.571
	BORREGAS	24	0.686	538.971	4.300	404228.571	417702.857	404228.571	417702.857
	CARNERILLOS	0	0.000	0.000	2.100	0.000	0.000	0.000	0.000
	CARNEROS	7	0.200	157.200	1.500	117900.000	121830.000	117900.000	121830.000
	CAPONES	0	0.000	0.000	1.100	0.000	0.000	0.000	0.000
	LECHONES	76	2.171	1706.743	1.800	1280057.143	1322725.714	1280057.143	1322725.714
GANADO PORCINO	GORRINAS	0	0.000	0.000	6.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	MARRANAS	4	0.114	89.829	6.000	67371.429	69617.143	67371.429	69617.143
	VARRACOS	0	0.000	0.000	6.800	0.000	0.000	0.000	0.000
	CABRAS	0	0.000	0.000	10.000	0.000	0.000	0.000	0.000
OTRAS ESPECIES	LLAMAS	2	0.057	44.914	20.000	33685.714	34808.571	33685.714	34808.571
	VICUÑAS	0	0.000	0.000	15.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	CABALLOS	0	0.000	0.000	50.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	CUYES	790	22.571	17741.143	0.100	13305857.143	13749385.714	13305857.143	13749385.714
AVES DE CORRAL	POLLOS	131	3.743	2941.886	1.000	2206414.286	2279961.429	2206414.286	2279961.429
	GALLINAS	360	10.286	8084.571	4.000	6063428.571	6265542.857	6063428.571	6265542.857
	GALLOS	50	1.429	1122.857	4.000	842142.857	870214.286	842142.857	870214.286
	PAVOS	0	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	PATOS	2	0.057	44.914	1.000	33685.714	34808.571	33685.714	34808.571
				Σ	REQ	lt	28329685.714	29274008.571	28329685.714
					m3	28329.686	29274.009	28329.686	29274.009
				Q	m3/seg	0.011	0.011	0.011	0.011

Fuente: Elaboración propia

El consumo de agua es constante durante todos los meses del año, la consolidación de datos fue realizada en la Tabla N° 219.

Tabla 218: Consumo pecuario mensual

DEMANDA		
MES	lt/seg	m3/seg
ENE	10.930	0.011
FEB	10.930	0.011
MAR	10.930	0.011
ABR	10.930	0.011
MAY	10.930	0.011
JUN	10.930	0.011
JUL	10.930	0.011
AGO	10.930	0.011
SEP	10.930	0.011
OCT	10.930	0.011
NOV	10.930	0.011
DIC	10.930	0.011

Fuente: Elaboración propia



4.6.1.3. Demanda poblacional

La demanda poblacional fue generada en función a la proyección realizada por diferentes métodos, los resultados fueron acopiados en la Tabla N° 221.

Tabla 219: Demanda poblacional

MÉTODOS	POBLACIÓN				
	1993	2007	2013	2015	2018
MÉTODO ARITMÉTICO	2525	2500	2618	2658	2696
MÉTODO DE INTERES SIMPLE	2525	2500	2618	2658	2698
MÉTODO GEOMÉTRICO	2525	2500	2618	2658	2697
MÉTODO DE LA PARABOLA	2525	2500	2618	2658	4438
MÉTODO DE LOS INCREMENTOS VARIABLES	2525	2500	2618	2658	2703
MÉTODOS DE LA CURVA NORMAL	2525	2500	2618	2658	2659
MÉTODO DE MÍNIMOS CUADRADOS	2525	2500	2618	2658	2739

Fuente: Elaboración propia

El método seleccionado fue el de mínimos cuadrados, gracias al cual se pudo determinar la cantidad de agua requerida por las poblaciones dependientes de la microcuenca.

Tabla 220: Demanda poblacional calculada

POBLACIÓN PARA EL AÑO 2018 =	2739	habitantes
DOTACIÓN DE AGUA =	80	l/día/habitante
DOTACIÓN DE AGUA =	219120	lt/día
DOTACIÓN DE AGUA =	0.0025	m3/seg

Fuente: Elaboración propia

4.6.2. Egresos naturales

Los egresos naturales corresponden a datos como evapotranspiración, evaporación, infiltración y escorrentía, sin embargo, para la presente investigación se consideró únicamente la evaporación e infiltración puesto que la evapotranspiración fue incluida dentro de la generación de caudales, al igual que la escorrentía.

4.6.2.1. Evaporación

La estación de la laguna de Piuray, perteneciente a la EPS SEDACUSCO, posee datos de evaporación de los últimos 6 años, gracias a los cuales pudimos determinar la evaporación generada en los cuerpos de agua relevantes dentro de la microcuenca.



Tabla 221: Evaporación de la laguna de Piuray

EVAPORACIÓN MM/MES												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2013	89.57	69.85	82.64	91.80	87.01	72.49	86.28	93.46	107.67	90.28	98.04	79.40
2014	78.20	71.71	82.47	77.71	78.98	82.60	86.58	103.67	88.89	98.46	103.12	93.38
2015	83.70	84.88	92.25	71.41	78.26	71.04	101.39	109.75	103.57	98.86	102.14	92.02
2016	105.99	85.17	108.93	91.42	101.21	94.61	105.88	107.79	114.49	100.62	117.61	90.30
2017	87.18	86.55	83.95	79.03	73.30	72.90	107.62	122.88	104.37	106.09	83.81	94.34
2018	92.77	72.28	82.72	83.85	100.21	52.25	89.18	92.54	104.90	97.92	101.20	89.12
Nro.DATOS	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
MEDIA	89.57	78.41	88.83	82.54	86.50	74.32	96.16	105.02	103.98	98.71	100.99	89.76
DESV.STD	9.48	7.87	10.54	8.07	11.86	14.02	9.91	11.32	8.40	5.10	10.83	5.43
C.V.	0.11	0.10	0.12	0.10	0.14	0.19	0.10	0.11	0.08	0.05	0.11	0.06
MIN	78.20	69.85	82.47	71.41	73.30	52.25	86.28	92.54	88.89	90.28	83.81	79.40
MAX	105.99	86.55	108.93	91.80	101.21	94.61	107.62	122.88	114.49	106.09	117.61	94.34

Fuente: EPS SEDACUSCO

Para poder determinar el volumen total de evaporación fue necesario determinar el área de las lagunas relevantes dentro de la microcuenca.

Tabla 222: Inventario de lagunas

INVENTARIO HIDRICO			
NOMBRE	Área	UBICACIÓN	
	km ²	UTM X	UTM Y
CHINCHAC	0.015	827349.21	8516700.13
CUSICOCHA	0.011	827160.11	8518098.54
PIURAY	3.044	821417.48	8514896.57
SIN NOMBRE 1	0.004	827375.13	8516595.47
SIN NOMBRE 2	0.013	815512.34	8518508.25
SIN NOMBRE 3	0.006	815673.82	8516636.53
SIN NOMBRE 4	0.017	815816.96	8516802.11
SIN NOMBRE 5	0.011	818661.72	8515971.09
SIN NOMBRE 6	0.097	818893.62	8516474.47
SIN NOMBRE 7	0.038	818815.61	8515585.86
TOTAL	3.255		

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de la evaporación en la microcuenca se encuentran en la Tabla N° 224.



Tabla 223: Evaporación de la microcuenca

EVAPORACIÓN M3/SEG													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
2013	0.11	0.09	0.10	0.12	0.11	0.09	0.11	0.12	0.14	0.11	0.12	0.10	1.32
2014	0.10	0.09	0.10	0.10	0.10	0.10	0.11	0.13	0.11	0.12	0.13	0.12	1.31
2015	0.11	0.11	0.12	0.09	0.10	0.09	0.13	0.14	0.13	0.12	0.13	0.12	1.37
2016	0.13	0.11	0.14	0.11	0.13	0.12	0.13	0.14	0.14	0.13	0.15	0.11	1.54
2017	0.11	0.11	0.11	0.10	0.09	0.09	0.14	0.15	0.13	0.13	0.11	0.12	1.38
2018	0.12	0.09	0.10	0.11	0.13	0.07	0.11	0.12	0.13	0.12	0.13	0.11	1.33
Nro.DATOS	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00
MEDIA	0.11	0.10	0.11	0.10	0.11	0.09	0.12	0.13	0.13	0.12	0.13	0.11	1.36
DESV.STD	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.04
C.V.	0.05	0.05	0.06	0.05	0.07	0.10	0.05	0.05	0.04	0.03	0.05	0.03	0.03
MIN	0.10	0.09	0.10	0.09	0.09	0.07	0.11	0.12	0.11	0.11	0.11	0.10	1.31
MAX	0.13	0.11	0.14	0.12	0.13	0.12	0.14	0.15	0.14	0.13	0.15	0.12	1.54

Fuente: Elaboración propia

4.6.3. Uso no consuntivo

El uso no consuntivo corresponde al caudal necesario para cubrir las necesidades ecológicas de la microcuenca.

4.6.3.1. Caudal ecológico

El caudal ecológico se obtiene en función a la temporada y caudal procedente de los modelos hidrológicos.

Tabla 224: Determinación del caudal ecológico

TIPO	CAUDAL MEDIO ANUAL	%	
		AVENIDA	ESTIAJE
1	MENOR A 20 M3/SEG	10	15
2	20 - 50 M3/SEG	10	12
3	MAYOR A 50 M3/SEG	10	10

Fuente: (ANA, 2016)

Posteriormente se realizó el cálculo del caudal ecológico para cada mes.



Tabla 225: Caudal ecológico

MES	Q m3/seg
ENE	0.123
FEB	0.130
MAR	0.102
ABR	0.119
MAY	0.069
JUN	0.049
JUL	0.030
AGO	0.020
SEP	0.016
OCT	0.025
NOV	0.031
DIC	0.063

Fuente: Elaboración propia

4.6.4. Uso en proyectos

En la actualidad la EPS SEDACUSCO extrae en promedio un caudal de 291 litros por segundo de la laguna de Piuray para abastecer a parte de la ciudad de Cusco, el resumen de extracción de los años 2014 a 2018 se encuentra resumido en la Tabla N° 229.

Tabla 226: Demanda extraída por la EPS SEDACUSCO

DEMANDA SEDACUSCO		
AÑO	m3/anual	m3/seg
2014	9831293	0.31174826
2015	8960579	0.2841381
2016	9341315	0.29621116
2017	9343544	0.29628184
2018	8442110	0.26769755
PROMEDIO	9183768.2	0.29121538

Fuente: (E.P.S. SEDACUSCO S.A., 2018)

4.7. Del balance hídrico superficial

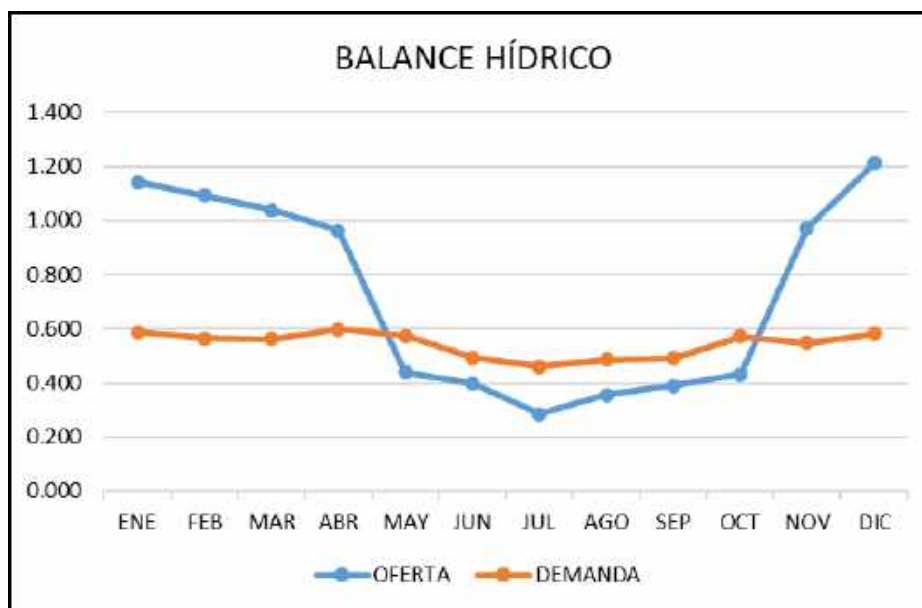
Tras haber realizado el cálculo de los componentes de ingresos y salidas de la microcuenca fue necesario realizar un balance que nos muestre el estado mensual de la microcuenca. Como fue previsto durante los meses de estiaje existe un déficit por lo cual las lagunas tienen un descenso de nivel, mientras que en los meses de avenida hay un superávit que contribuye con el incremento de nivel de las lagunas.

Tabla 227: Balance hídrico

MES	OFERTA m3/seg	DEMANDA m3/seg	ESTADO	DEFICIT m3/seg	SUPERAVIT m3/seg
ENE	1.142	0.587	SUPERÁVIT	-	0.555
FEB	1.093	0.565	SUPERÁVIT	-	0.528
MAR	1.039	0.562	SUPERÁVIT	-	0.477
ABR	0.962	0.597	SUPERÁVIT	-	0.364
MAY	0.439	0.574	DÉFICIT	0.135	-
JUN	0.399	0.493	DÉFICIT	0.094	-
JUL	0.285	0.461	DÉFICIT	0.176	-
AGO	0.357	0.486	DÉFICIT	0.129	-
SEP	0.390	0.491	DÉFICIT	0.101	-
OCT	0.431	0.571	DÉFICIT	0.140	-
NOV	0.972	0.549	SUPERÁVIT	-	0.423
DIC	1.211	0.581	SUPERÁVIT	-	0.630

Fuente: Elaboración propia

Fig. N° 114: Evolución del balance hídrico durante el año 2019



Fuente: Elaboración propia

Como podemos apreciar en los meses más críticos, la demanda es atendida únicamente en 30 y 40 % de su totalidad, mientras que en meses de avenida el superávit supera 50 y 60 %, posteriormente se agrega estos datos en el software WEAP para analizar los escenarios futuros y analizar el balance hídrico futuro.



4.8. Del software WEAP

Tras haber modelado y calibrado la cuenca de estudio en el software WEAP, se determinó que los escenarios futuros más desfavorables son los siguientes:

- Escenario 1
 - Únicamente la proyección de la población de la microcuenca
- Escenario 2
 - Proyección de la población de la microcuenca
 - Proyección de población urbana de Chinchero
- Escenario 3
 - Proyección de la población de la microcuenca
 - Proyección de población urbana y rural de Chinchero
- Escenario 4
 - Proyección de la población de la microcuenca
 - Proyección de población urbana y rural de Chinchero
 - Proyección de población de Cusco

Los datos proyectados de los componentes de la demanda hídrica actual y proyectada se encuentran plasmados en Anexos XI – 10.1 al Anexo XI – 10.4.

El caudal más significativo de influencia dentro del balance hídrico proyectado corresponde al consumo humano, el mismo que se plasmó en la Tabla N° 231 y Tabla N° 232, así como en la Fig. N° 116.



Tabla 228: Dotación de la microcuenca y zona urbana de Chinchero

AÑO	DOTACIÓN MICROCUENCA				DOTACIÓN CHINCHERO URBANO			
AÑO	POBL.	LPPD	LT/DIA	M3/SEG	POBL.	LPPD	LT/DIA	M3/SEG
2020	2648	80	211840	0.0025	5053	120	606360	0.0070
2021	2652	80	212160	0.0025	5200	120	624000	0.0072
2022	2658	80	212640	0.0025	5347	120	641640	0.0074
2023	2664	80	213120	0.0025	5494	120	659280	0.0076
2024	2670	80	213600	0.0025	5641	120	676920	0.0078
2025	2674	80	213920	0.0025	5788	120	694560	0.0080
2026	2681	80	214480	0.0025	5935	120	712200	0.0082
2027	2686	80	214880	0.0025	6082	120	729840	0.0084
2028	2690	80	215200	0.0025	6229	120	747480	0.0087
2029	2696	80	215680	0.0025	6376	120	765120	0.0089
2030	2702	80	216160	0.0025	6522	120	782640	0.0091
2031	2707	80	216560	0.0025	6725	120	807000	0.0093
2032	2712	80	216960	0.0025	6928	120	831360	0.0096
2033	2718	80	217440	0.0025	7130	120	855600	0.0099
2034	2724	80	217920	0.0025	7333	120	879960	0.0102
2035	2728	80	218240	0.0025	7535	120	904200	0.0105
2036	2736	80	218880	0.0025	7738	120	928560	0.0107
2037	2740	80	219200	0.0025	7941	120	952920	0.0110
2038	2745	80	219600	0.0025	8143	120	977160	0.0113
2039	2751	80	220080	0.0025	8346	120	1001520	0.0116
2040	2758	80	220640	0.0026	8548	120	1025760	0.0119

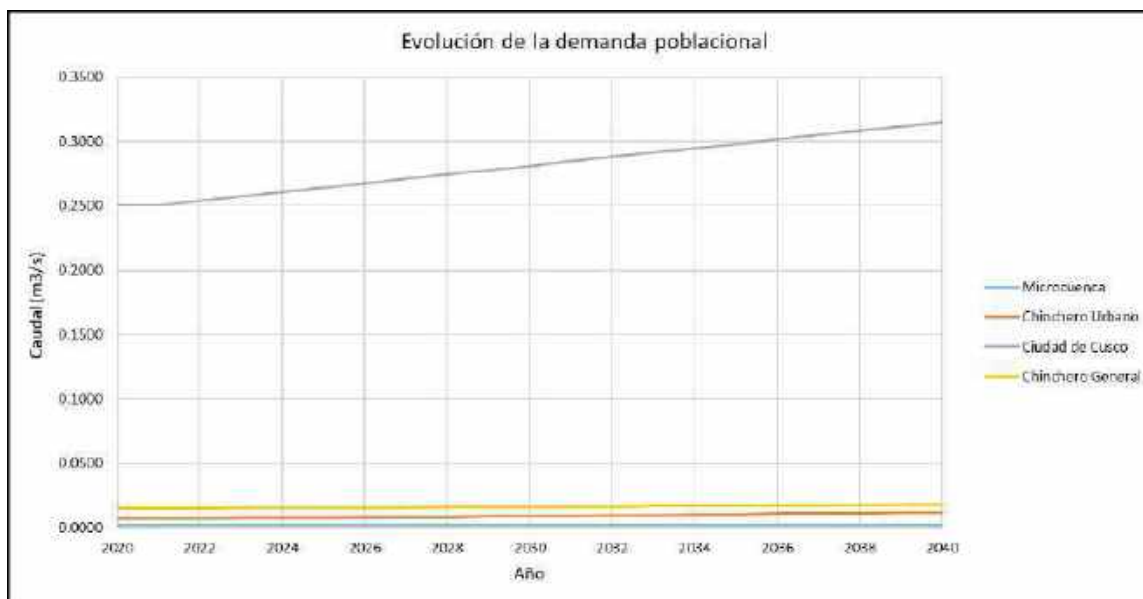
Fuente: Elaboración propia

Tabla 229: Dotación de la ciudad de Cusco y Chinchero

AÑO	CIUDAD DE CUSCO				CHINCHERO GENERAL			
	POBL.	LPPD	LT/DIA	M3/SEG	POBL.	LPPD	LT/DIA	M3/SEG
2020	120000	180	21600000	0.2500	10741	120	1288920	0.0149
2021	120274	180	21649320	0.2506	10830	120	1299600	0.0150
2022	121902	180	21942360	0.2540	10920	120	1310400	0.0152
2023	123530	180	22235400	0.2574	11011	120	1321320	0.0153
2024	125159	180	22528620	0.2607	11102	120	1332240	0.0154
2025	126787	180	22821660	0.2641	11195	120	1343400	0.0155
2026	128416	180	23114880	0.2675	11288	120	1354560	0.0157
2027	130044	180	23407920	0.2709	11382	120	1365840	0.0158
2028	131672	180	23700960	0.2743	11476	120	1377120	0.0159
2029	133300	180	23994000	0.2777	11572	120	1388640	0.0161
2030	134929	180	24287220	0.2811	11668	120	1400160	0.0162
2031	136557	180	24580260	0.2845	11765	120	1411800	0.0163
2032	138186	180	24873480	0.2879	11863	120	1423560	0.0165
2033	139814	180	25166520	0.2913	11961	120	1435320	0.0166
2034	141442	180	25459560	0.2947	12061	120	1447320	0.0168
2035	143070	180	25752600	0.2981	12161	120	1459320	0.0169
2036	144699	180	26045820	0.3015	12262	120	1471440	0.0170
2037	146327	180	26338860	0.3048	12364	120	1483680	0.0172
2038	147955	180	26631900	0.3082	12467	120	1496040	0.0173
2039	149584	180	26925120	0.3116	12571	120	1508520	0.0175
2040	151212	180	27218160	0.3150	12675	120	1521000	0.0176

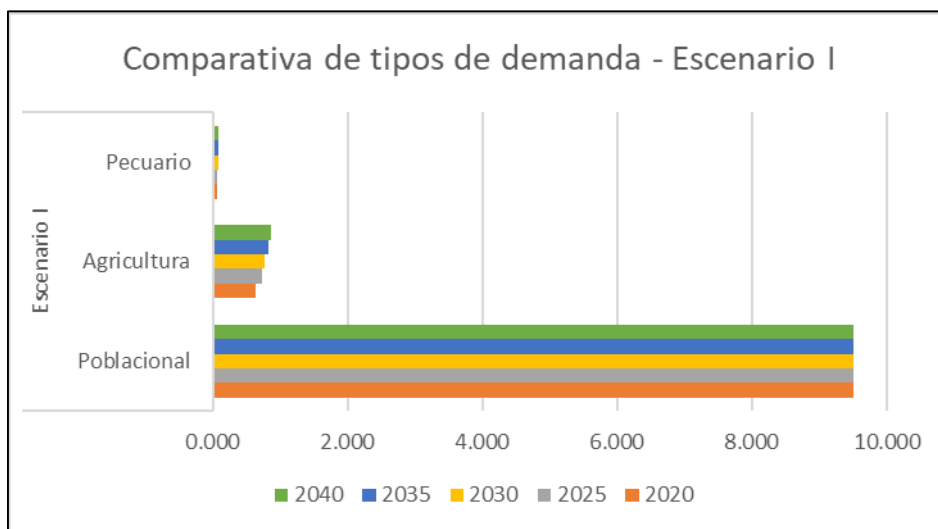
Fuente: Elaboración propia

Fig. N° 115: Evolución de la demanda poblacional



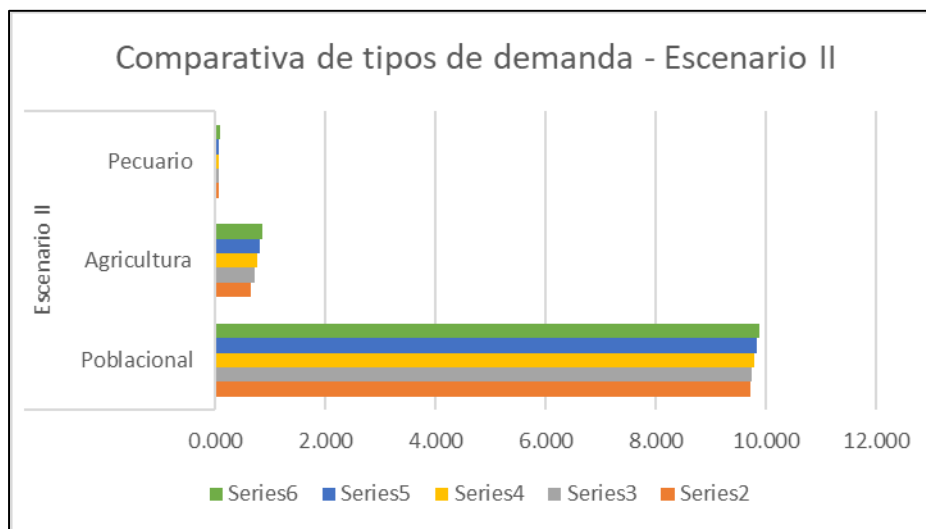
Fuente: Elaboración propia

Fig. N° 116: Comparativa de tipos de demanda - Escenario I



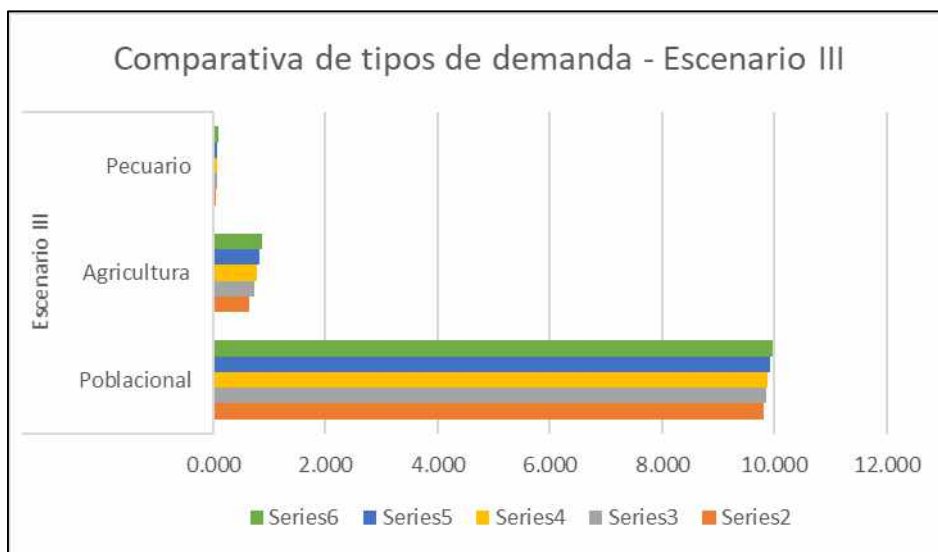
Fuente: Elaboración propia

Fig. N° 117: Comparativa de tipos de demanda – Escenario II



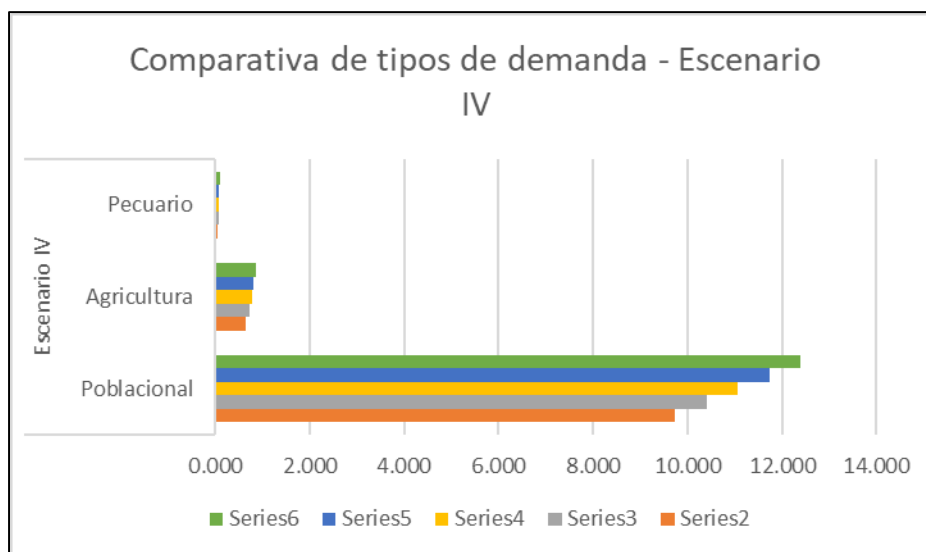
Fuente: Elaboración propia

Fig. N° 118: Comparativa de tipos de demanda – Escenario III



Fuente: Elaboración propia

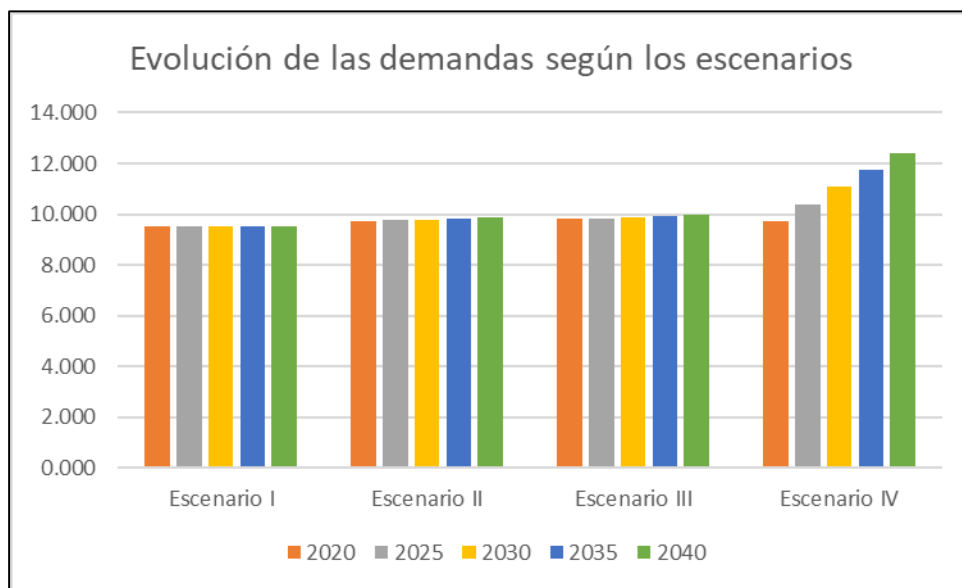
Fig. N° 119: Comparativa de tipos de demanda – Escenario IV



Fuente: Elaboración propia



Fig. N° 120: Evolución de las demandas según los escenarios



Fuente: Elaboración propia



CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

1. ¿Por qué se realizó la completación de datos de precipitación mediante el método de correlación múltiple, mientras que los datos de temperatura y humedad relativa por el software HIDROESTA 2?

Los datos de precipitación son los que tienen mayor incidencia dentro del balance hídrico de la microcuenca, es por ello que decidimos realizar el método que ofrece los resultados más confiables, por lo cual aplicamos la correlación múltiple. Los datos de temperatura y humedad relativa tienen incidencia dentro de cálculos como evaporación, evapotranspiración o demanda para el cultivo, por lo cual optamos por un método menos complicado, pero con resultados confiables.

Cabe señalar que previamente se realizó la corrección y completación de datos de precipitación mediante el software HIDROESTA 2, sin embargo, al realizar la comparación entre los coeficientes de correlación de ambos métodos observamos que la correlación múltiple ofrece datos más fiables, esto debido a que considera la elevada variación entre los datos de precipitación. Los datos de temperatura y humedad relativa no presentan una variación considerable por lo cual el software HIDROESTA 2 nos ofrece datos con buen ajuste.

2. ¿Por qué se determinó emplear los métodos de generación de caudales Temez y Lutz Scholz para realizar el estudio de la microcuenca?

Para poder determinar los métodos de modelación hidrológica nos valimos de antecedentes y estudios realizados en cuencas próximas a la de la zona de estudio, dentro de los más frecuentes observamos que el Proyecto Especial Regional Plan MERISS INKA realizó estudios en cuencas de la sierra sur peruana bajo el modelo Lutz Scholz, obteniendo buenos ajustes, razón por la cual optamos por hacer uso de dicho método.

Al igual que el modelo Lutz Scholz, el modelo Temez fue empleado en cuencas de la sierra peruana, obteniendo buenos ajustes, adicionalmente dos antecedentes de la tesis hicieron uso de dicho método.



3. ¿Qué influencia tiene dentro del modelo determinístico estocástico Lutz Scholz la presencia de lagunas, pantanos y nevados en la microcuenca?

La microcuenca posee múltiples lagunas que cuentan con un área total de 3.255 km² que corresponde al 8.18 % del área total de la microcuenca, mientras que el humedal (extensión de un pantano o marismas) posee un área aproximada de 0.489 km² que representa un 1.229 % de la totalidad de la microcuenca. Considerando que, tras haber realizado el modelamiento y comparación estadística, se obtuvo un coeficiente de correlación apropiado para el estudio, por lo cual podemos afirmar que la influencia de lagunas, pantanos y nevados se encuentra considerada dentro del modelo hidrológico.

Sin embargo, aunque la microcuenca en estudio no posea nevados, consideramos que el modelo hidrológico Lutz Scholz debe poseer un valor de ajuste menor en función a la presencia de estos, puesto a que la situación climática actual genera un deshielo acelerado, incrementando significativamente el caudal de la zona de estudio.

4. ¿Cuál fue la razón por la cual el modelo Lutz Scholz tuvo un mejor ajuste que el modelo Temez?

El modelo determinístico Temez hace uso de datos más generales como humedad del suelo y retención máxima de la cuenca para determinar la cantidad de agua que se pierde por motivos de infiltración, mientras que el modelo Lutz Scholz adicionalmente hace uso de valores como coeficiente de escurrimiento y agotamiento, por lo cual los valores de gasto y abastecimiento son más ajustados a la realidad, lo que se ve reflejado en los coeficientes de correlación.

5. ¿Se pueden aplicar los modelos hidrológicos generados en el presente estudio, en las microcuencas que componen la zona de estudio sin la necesidad de realizar aforos?

Los caudales generados por los modelos hidrológicos se encuentran en función a parámetros como pendientes, áreas de cuerpos de agua, cantidad de área de cultivo, entre otros valores que poseen una variación en cada microcuenca perteneciente a la zona de estudio. Los valores generados por los modelos hidrológicos podrían tener o no un buen ajuste por lo cual siempre es necesario realizar aforos para corroborar la efectividad del modelo.



6. ¿En función al estudio realizado, considera eficiente la labor de los actores políticos e institucionales dentro de la gestión del recurso hídrico de la microcuenca de la laguna de Piuray?

La microcuenca de la laguna de Piuray abastece a la ciudad de Cusco desde la década de los 70, por lo cual los estudios se vienen realizando desde dicha década hasta la actualidad, así como la gestión del recurso hídrico. En la actualidad la EPS SEDACUSCO realiza diversas labores para optimizar la recepción de los ingresos a la laguna, como ejemplo, durante los últimos años realiza trabajos como tala de eucalipto, especie que absorbe gran cantidad de agua, y considerando los pocos beneficios que ofrece dicha especie, no representa un beneficio a la microcuenca. Otros actores políticos como la Municipalidad de Chinchero participan de la gestión del agua realizando programas de capacitación a los productores agropecuarios, sin embargo, consideramos que su influencia en la microcuenca podría ser mayor.

7. ¿En función a los resultados obtenidos en el presente estudio, considera importante la realización de un estudio de aguas subterráneas en la microcuenca de la laguna de Piuray?

Durante el estudio realizado en la microcuenca pudimos observar la presencia de manantes tanto en las partes elevadas como en los bordes de la laguna, por lo cual podemos deducir que existe un flujo considerable de aguas subterráneas. El realizar un estudio de aguas subterráneas podría indicarnos la posibilidad de realizar captaciones para el aprovechamiento de dichos caudales.



CONCLUSIONES

Conclusión N° 01:

Se ha concretado el objetivo general además se cumplió totalmente con la hipótesis general “El balance hídrico de la cuenca de la laguna de Piuray según el escenario más desfavorable tendrá un descenso en el superávit anual de 3 millones de metros cúbicos”. Según el balance hídrico realizado para el año 2040, la microcuenca de la Laguna de Piuray estaría en condiciones de cubrir la demanda del escenario más desfavorable analizado en el software WEAP sin embargo se evidencia el descenso planteado en la hipótesis general.

La tabla N° 230 nos muestra el consolidado de los parámetros del balance hídrico realizado para el año 2019, en millones de metros cúbicos. Como podemos apreciar el balance hídrico nos indica que hay una diferencia volumétrica de 5.711 MMC, siendo este un balance positivo dentro de la microcuenca en estudio, sin embargo, como se muestra en la Tabla N° 234 dicha diferencia volumétrica se ve reducida a 1.455 MMC.

Dentro de las limitaciones del estudio se consideró que la infiltración de la laguna estaría incluida dentro de la variación volumétrica obtenida mediante el balance hídrico, por lo cual dicha reducción de la variación volumétrica (de 5.711 MMC a 1.455 MMC) en un estudio más detallado (que incluya aguas subterráneas) se vería reducida en mayor grado, por lo cual, aunque teóricamente la microcuenca podría cubrir las necesidades del escenario propuesto anteriormente, no sería recomendable someter al sistema a la sobreexplotación del recurso hídrico.

Tabla 230: Resumen de balance hídrico para el año 2019 (MMC)

MES	NRO DIAS	OFERTA	DEMANDA	BALANCE
ENE	31	3.059	1.573	1.486
FEB	28	2.645	1.367	1.278
MAR	31	2.782	1.504	1.277
ABR	30	2.492	1.548	0.945
MAY	31	1.176	1.537	-0.362
JUN	30	1.033	1.277	-0.244
JUL	31	0.763	1.234	-0.471
AGO	31	0.957	1.303	-0.346
SEP	30	1.011	1.272	-0.262
OCT	31	1.155	1.530	-0.375
NOV	30	2.518	1.422	1.096
DIC	31	3.243	1.556	1.687
TOTAL	365	22.834	17.123	5.711



Fuente: Elaboración propia

Tabla 231: Resumen de balance hídrico para el año 2040 (MMC)

MES	NRO DIAS	OFERTA	DEMANDA	BALANCE
ENE	31	2.380	1.803	0.577
FEB	28	3.023	1.707	1.316
MAR	31	1.973	1.621	0.352
ABR	30	2.455	1.730	0.725
JUN	30	1.020	1.615	-0.595
JUL	31	0.763	1.604	-0.841
AGO	31	0.956	1.608	-0.652
SEP	30	1.024	1.557	-0.533
OCT	31	1.464	2.031	-0.567
NOV	30	2.047	1.481	0.566
DIC	31	3.881	1.951	1.931
TOTAL	365	22.157	20.702	1.455

Fuente: Elaboración propia

Conclusión N° 02:

Se ha concretado el Objetivo Específico N° 01 y la Hipótesis específica N° 01 se cumplió parcialmente. Dicha hipótesis indica que el caudal generado bajo el modelo estadístico estocástico tendría una reducción del 5% al año 2040, sin embargo, tras haber realizado los cálculos y generado caudales para los años comprendidos entre 2019 y 2040, se comprobó que la reducción del caudal es de 3.52%, lo cual corresponde a un caudal de 0.822 MMC.

Tabla 232: Caudales generados bajo el modelo Lutz Scholz

CAUDAL GENERADO BAJO EL MODELO LUTZ SCHOLZ (MMC)													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
NRO DIAS	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365
2019	3.467	3.027	3.098	2.750	0.956	0.805	0.406	0.664	0.775	0.929	2.785	3.713	23.375
2020	3.426	3.052	3.043	2.748	0.956	0.804	0.407	0.665	0.776	0.946	2.757	3.755	23.337
2021	3.384	3.077	2.989	2.746	0.956	0.804	0.407	0.665	0.777	0.964	2.729	3.798	23.298
2022	3.343	3.102	2.936	2.744	0.956	0.803	0.407	0.665	0.779	0.983	2.700	3.840	23.259
2023	3.301	3.127	2.883	2.742	0.957	0.803	0.407	0.666	0.780	1.001	2.671	3.883	23.221
2024	3.259	3.152	2.830	2.740	0.957	0.802	0.408	0.666	0.781	1.020	2.643	3.925	23.182
2025	3.217	3.177	2.777	2.738	0.957	0.802	0.408	0.666	0.782	1.039	2.614	3.966	23.143
2026	3.174	3.201	2.724	2.736	0.957	0.801	0.408	0.667	0.784	1.058	2.584	4.008	23.104
2027	3.132	3.226	2.672	2.734	0.957	0.801	0.409	0.667	0.785	1.077	2.555	4.049	23.065
2028	3.089	3.250	2.621	2.732	0.957	0.800	0.409	0.667	0.786	1.097	2.526	4.091	23.026
2029	3.047	3.275	2.569	2.730	0.957	0.800	0.409	0.668	0.787	1.117	2.496	4.132	22.987
2030	3.004	3.299	2.518	2.728	0.958	0.799	0.410	0.668	0.788	1.137	2.467	4.173	22.948
2031	2.961	3.323	2.467	2.726	0.958	0.799	0.410	0.668	0.790	1.157	2.437	4.213	22.909
2032	2.918	3.347	2.416	2.724	0.958	0.798	0.410	0.669	0.791	1.178	2.407	4.254	22.869
2033	2.875	3.371	2.366	2.722	0.958	0.798	0.410	0.669	0.792	1.198	2.377	4.294	22.830
2034	2.832	3.395	2.316	2.720	0.958	0.797	0.411	0.669	0.793	1.219	2.347	4.335	22.791
2035	2.788	3.419	2.266	2.718	0.958	0.797	0.411	0.669	0.794	1.240	2.317	4.375	22.751
2036	2.744	3.443	2.217	2.716	0.958	0.796	0.411	0.670	0.795	1.261	2.286	4.414	22.712
2037	2.701	3.467	2.168	2.713	0.958	0.795	0.411	0.670	0.796	1.283	2.256	4.454	22.672
2038	2.657	3.490	2.120	2.711	0.959	0.795	0.412	0.670	0.797	1.304	2.225	4.493	22.633
2039	2.613	3.514	2.073	2.709	0.959	0.794	0.412	0.670	0.798	1.326	2.194	4.532	22.593
2040	2.568	3.537	2.026	2.707	0.959	0.793	0.412	0.671	0.799	1.348	2.163	4.571	22.553

Fuente: Elaboración propia



Conclusión N° 03:

Se ha concretado el Objetivo Específico N° 02, más la Hipótesis Específica N° 02 no se ha cumplido. Dicha hipótesis indicaba que la demanda de la microcuenca tendrá un incremento de 10% frente al anual. Para poder evaluar dicha hipótesis se realizó un análisis desgregado de la demanda de la microcuenca, siendo los resultados los siguientes:

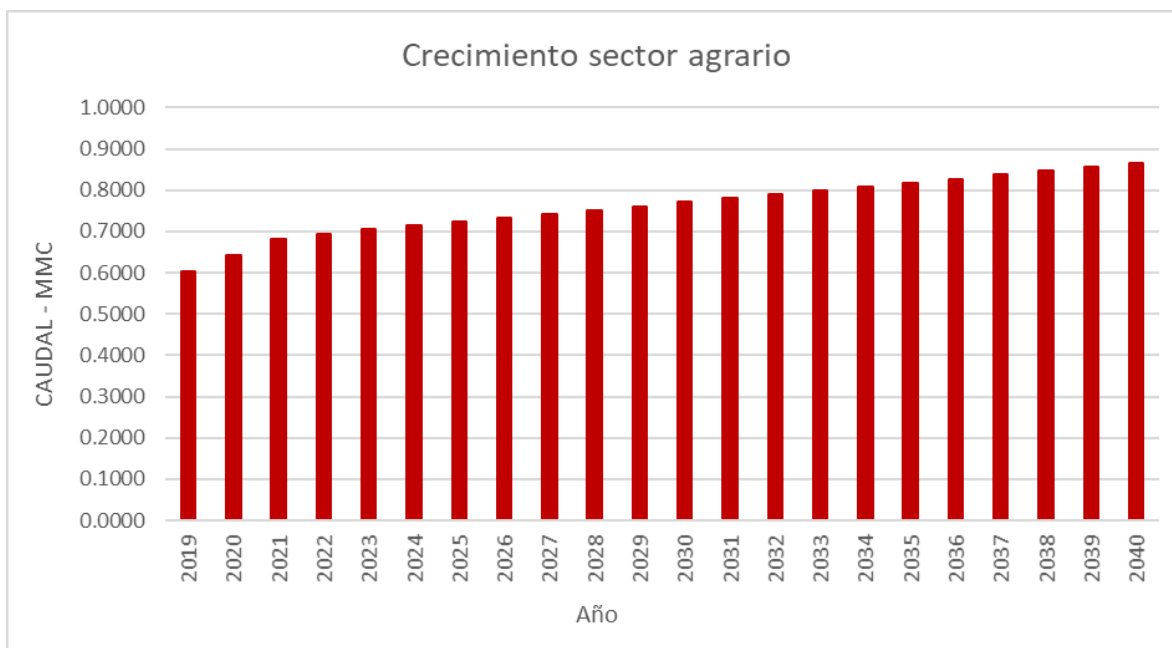
La tasa de crecimiento del sector agropecuario publicado por el INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática) se encuentra en función al tipo de ganado y cultivo, por lo cual fue necesario aplicar dichas tasas a la realidad de la microcuenca en estudio. La Tabla N° 237 nos presenta el crecimiento proyectado de la agricultura, mientras que la Fig. 121 nos muestran gráficamente la evolución de la demanda.

Tabla 233: Caudal proyectado del sector agrario

AÑO	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	TOTAL
2019	0.0015	0.0034	0.0044	0.0821	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0306	0.0949	0.0093	0.2262
2020	0.0015	0.0036	0.0047	0.0887	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0330	0.1004	0.0094	0.2413
2021	0.0016	0.0038	0.0050	0.0953	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0354	0.1058	0.0095	0.2564
2022	0.0016	0.0039	0.0052	0.0968	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0360	0.1083	0.0093	0.2610
2023	0.0017	0.0039	0.0052	0.0983	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0365	0.1099	0.0091	0.2646
2024	0.0017	0.0040	0.0053	0.0998	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0370	0.1114	0.0088	0.2681
2025	0.0017	0.0040	0.0054	0.1014	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0375	0.1131	0.0086	0.2717
2026	0.0018	0.0041	0.0055	0.1029	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0380	0.1146	0.0084	0.2753
2027	0.0018	0.0042	0.0056	0.1044	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0386	0.1162	0.0081	0.2788
2028	0.0018	0.0042	0.0057	0.1057	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0390	0.1176	0.0079	0.2820
2029	0.0018	0.0043	0.0058	0.1075	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0396	0.1194	0.0076	0.2859
2030	0.0019	0.0044	0.0058	0.1090	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0401	0.1210	0.0074	0.2895
2031	0.0019	0.0044	0.0059	0.1105	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0406	0.1225	0.0071	0.2930
2032	0.0019	0.0045	0.0060	0.1120	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0412	0.1241	0.0069	0.2966
2033	0.0019	0.0046	0.0061	0.1136	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0417	0.1257	0.0066	0.3002
2034	0.0020	0.0046	0.0062	0.1151	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0422	0.1273	0.0064	0.3037
2035	0.0020	0.0047	0.0063	0.1166	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0427	0.1289	0.0062	0.3073
2036	0.0020	0.0047	0.0063	0.1181	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0432	0.1304	0.0059	0.3108
2037	0.0020	0.0048	0.0064	0.1197	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0437	0.1320	0.0057	0.3144
2038	0.0021	0.0049	0.0065	0.1212	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0443	0.1336	0.0054	0.3179
2039	0.0021	0.0049	0.0066	0.1227	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0448	0.1352	0.0052	0.3215
2040	0.0021	0.0050	0.0067	0.1242	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0453	0.1367	0.0049	0.3250

Fuente: Elaboración propia

Fig. N° 121: Crecimiento del sector agrario



Fuente: Elaboración propia

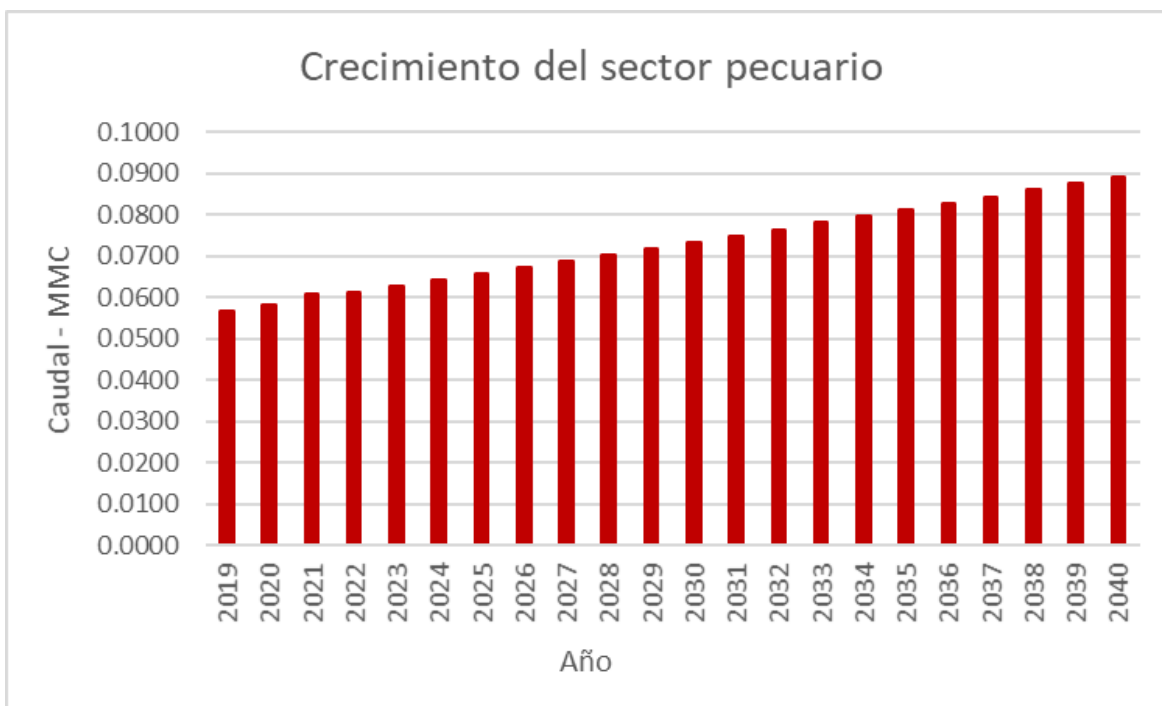
Según la tasa de crecimiento suministrada por el INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática) el sector pecuario tendrá un incremento importante a nivel porcentual, sin embargo, dicho incremento representa únicamente 0.031 millones de metros cúbicos. La Tabla 238 nos muestra la evolución del caudal destinado al sector pecuario, mientras que la Fig. 122 nos muestra gráficamente dicha evolución.

Tabla 234: Caudal proyectado del sector pecuario

AÑO	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
2019	0.00180	0.00180	0.00180	0.00180	0.00180	0.00180	0.00180	0.00180	0.00180	0.00180	0.00180	0.00180
2020	0.00185	0.00185	0.00185	0.00185	0.00185	0.00185	0.00185	0.00185	0.00185	0.00185	0.00185	0.00185
2021	0.00193	0.00193	0.00193	0.00193	0.00193	0.00193	0.00193	0.00193	0.00193	0.00193	0.00193	0.00193
2022	0.00194	0.00194	0.00194	0.00194	0.00194	0.00194	0.00194	0.00194	0.00194	0.00194	0.00194	0.00194
2023	0.00199	0.00199	0.00199	0.00199	0.00199	0.00199	0.00199	0.00199	0.00199	0.00199	0.00199	0.00199
2024	0.00204	0.00204	0.00204	0.00204	0.00204	0.00204	0.00204	0.00204	0.00204	0.00204	0.00204	0.00204
2025	0.00209	0.00209	0.00209	0.00209	0.00209	0.00209	0.00209	0.00209	0.00209	0.00209	0.00209	0.00209
2026	0.00213	0.00213	0.00213	0.00213	0.00213	0.00213	0.00213	0.00213	0.00213	0.00213	0.00213	0.00213
2027	0.00218	0.00218	0.00218	0.00218	0.00218	0.00218	0.00218	0.00218	0.00218	0.00218	0.00218	0.00218
2028	0.00223	0.00223	0.00223	0.00223	0.00223	0.00223	0.00223	0.00223	0.00223	0.00223	0.00223	0.00223
2029	0.00228	0.00228	0.00228	0.00228	0.00228	0.00228	0.00228	0.00228	0.00228	0.00228	0.00228	0.00228
2030	0.00233	0.00233	0.00233	0.00233	0.00233	0.00233	0.00233	0.00233	0.00233	0.00233	0.00233	0.00233
2031	0.00238	0.00238	0.00238	0.00238	0.00238	0.00238	0.00238	0.00238	0.00238	0.00238	0.00238	0.00238
2032	0.00243	0.00243	0.00243	0.00243	0.00243	0.00243	0.00243	0.00243	0.00243	0.00243	0.00243	0.00243
2033	0.00248	0.00248	0.00248	0.00248	0.00248	0.00248	0.00248	0.00248	0.00248	0.00248	0.00248	0.00248
2034	0.00253	0.00253	0.00253	0.00253	0.00253	0.00253	0.00253	0.00253	0.00253	0.00253	0.00253	0.00253
2035	0.00258	0.00258	0.00258	0.00258	0.00258	0.00258	0.00258	0.00258	0.00258	0.00258	0.00258	0.00258
2036	0.00263	0.00263	0.00263	0.00263	0.00263	0.00263	0.00263	0.00263	0.00263	0.00263	0.00263	0.00263
2037	0.00268	0.00268	0.00268	0.00268	0.00268	0.00268	0.00268	0.00268	0.00268	0.00268	0.00268	0.00268
2038	0.00273	0.00273	0.00273	0.00273	0.00273	0.00273	0.00273	0.00273	0.00273	0.00273	0.00273	0.00273
2039	0.00278	0.00278	0.00278	0.00278	0.00278	0.00278	0.00278	0.00278	0.00278	0.00278	0.00278	0.00278
2040	0.00283	0.00283	0.00283	0.00283	0.00283	0.00283	0.00283	0.00283	0.00283	0.00283	0.00283	0.00283

Fuente: Elaboración propia

Fig. N° 122: Crecimiento del sector pecuario



Fuente: Elaboración propia

El crecimiento demográfico tiene una variación importante en el transcurso de los 20 años, en el escenario más desfavorable el crecimiento representa un 21.5% frente al actual.

Tabla 235: Demanda poblacional (MMC) en función a los escenarios

Escenario	2020	2025	2030	2035	2040
Escenario I	9.502	9.504	9.505	9.507	9.509
Escenario II	9.708	9.751	9.793	9.836	9.878
Escenario III	9.812	9.848	9.884	9.919	9.958
Escenario IV	9.735	10.400	11.064	11.729	12.396

Fuente: Elaboración propia

La demanda natural representa un parte importante de la demanda total de la microcuenca, la Tabla 236 nos presenta los volúmenes anuales (en millones de metros cúbicos) requeridos por la evaporación y caudal ecológico, así como la evolución de dicho volumen con el paso de los años.

Tabla 236: Demanda natural (MMC) de la microcuenca

Demanda	2020	2025	2030	2035	2040
Caudal ecologico	2.024	2.013	2.002	1.991	1.980
Evaporación	4.185	4.459	4.734	5.008	5.282

Fuente: Elaboración propia

La consolidación de la demanda es plasmada en la Tabla 236, así como el incremento en función al año base, así como el porcentaje que representa.

Tabla 237: Volumen de demanda (MMC) consolidado

Año	Escenario	Total	Dif.	%
2020	Escenario I	16.341	-	-
	Escenario II	16.341	-	-
	Escenario III	16.341	-	-
	Escenario IV	16.341	-	-
2025	Escenario I	16.694	0.353	2.16
	Escenario II	16.947	0.606	3.71
	Escenario III	17.106	0.765	4.68
	Escenario IV	17.231	0.890	5.45
2030	Escenario I	17.013	0.672	4.11
	Escenario II	17.299	0.957	5.86
	Escenario III	17.445	1.104	6.76
	Escenario IV	18.105	1.764	10.79
2035	Escenario I	17.332	0.991	6.07
	Escenario II	17.662	1.321	8.08
	Escenario III	17.785	1.444	8.84
	Escenario IV	18.980	2.639	16.15
2040	Escenario I	17.652	1.311	8.02
	Escenario II	18.026	1.685	10.31
	Escenario III	18.127	1.785	10.93
	Escenario IV	19.856	3.515	21.51

Fuente: Elaboración previa

Los resultados presentados en la Tabla 237 no indican que en el escenario más favorable (Escenario I) el incremento de la demanda corresponde a un 8%, mientras que en el escenario más desfavorables (Escenario IV) la demanda posee un incremento de 21.51% cumpliendo ampliamente lo indicado en la hipótesis específica N° 2.

Conclusión N° 04:

Se ha concretado el Objetivo Específico N° 03 y se ha comprobado totalmente la Hipótesis N° 03, el escenario más desfavorable evaluado en el modelo WEAP es el N° 4, cuya demanda



hídrica alcanza los 19.856 MMC anuales. A continuación, se describen los elementos de la demanda hídrica pertenecientes a los escenarios planteados en la presente investigación.

- Escenario 1:
 - Únicamente la proyección de la población de la microcuenca.
- Escenario 2
 - Proyección de la población de la microcuenca.
 - Proyección de población urbana de Chinchero.
- Escenario 3
 - Proyección de la población de la microcuenca.
 - Proyección de población urbana y rural de Chinchero.
- Escenario 4
 - Proyección de la población de la microcuenca.
 - Proyección de población urbana y rural de Chinchero.
 - Proyección de población de Cusco.

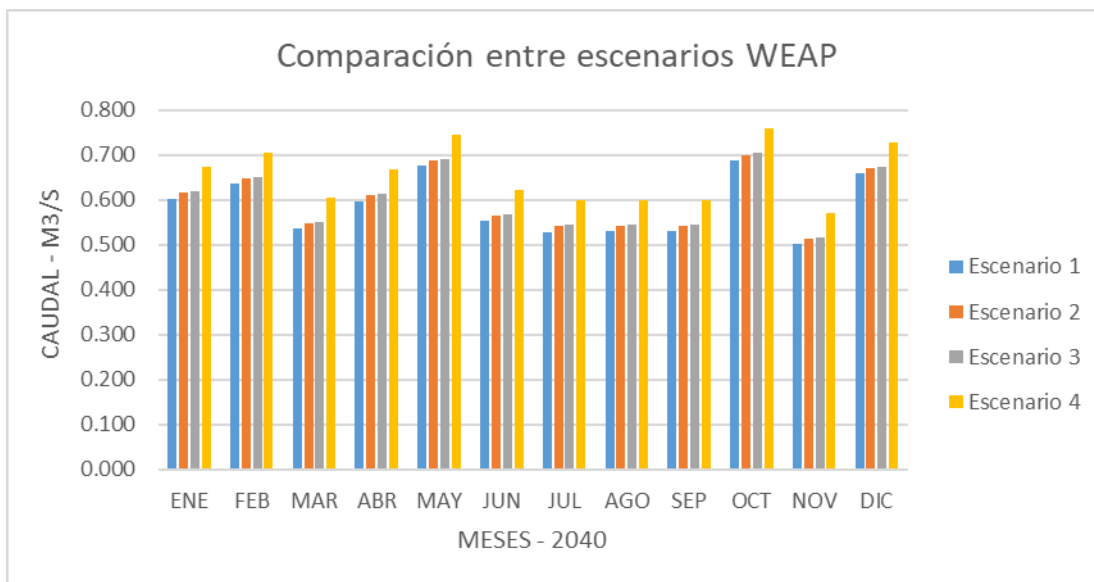
La Tabla N° 238 presenta las demandas obtenidas en función a los siguientes escenarios.

Tabla 238: Demanda hídrica en función al escenario (m³/s)

MES	ESCENARIO 01	ESCENARIO 02	ESCENARIO 03	ESCENARIO 04
ENE	0.603	0.615	0.618	0.673
FEB	0.636	0.648	0.651	0.706
MAR	0.535	0.547	0.550	0.605
ABR	0.598	0.610	0.613	0.668
MAY	0.675	0.687	0.690	0.745
JUN	0.553	0.565	0.568	0.623
JUL	0.529	0.541	0.544	0.599
AGO	0.531	0.543	0.546	0.601
SEP	0.531	0.543	0.546	0.601
OCT	0.689	0.700	0.704	0.758
NOV	0.501	0.513	0.516	0.571
DIC	0.658	0.670	0.673	0.728
TOTAL	7.038	7.181	7.219	7.877

Fuente: Elaboración propia

Fig. N° 123: Comparación entre escenarios WEAP



Fuente: Elaboración propia

El escenario N° 04 requiere un considerable volumen adicional debido al crecimiento demográfico de la ciudad de Cusco, como se puede observar en la Tabla N° 245 el 30% de la población de Cusco para el año 2040 corresponde a 174475 habitantes, los cuales requerirán un caudal de 0.36348 m³/s, representando un incremento de 0.0822 m³/s, que expresado en millones de metros cúbicos asciende a 2.5922.

Tabla 239: Demanda por consumo humano – Ciudad de Cusco (m³/s)

CÁLCULO PARA LA POBLACIÓN EN EL 2019		
POBLACIÓN =	135019	habitantes
DOTACIÓN DE AGUA =	180	l/día/habitante
DOTACIÓN DE AGUA =	24303456	lt/día
DOTACIÓN DE AGUA =	0.281290	m ³ /seg
CÁLCULO PARA LA POBLACIÓN EN EL 2040		
POBLACIÓN =	174475	habitantes
DOTACIÓN DE AGUA =	180	l/día/habitante
DOTACIÓN DE AGUA =	31405482	lt/día
DOTACIÓN DE AGUA =	0.363489	m ³ /seg
VARIACIÓN DE CAUDAL		
VARIACIÓN DE CAUDAL =	0.082199	m ³ /seg

Fuente: Elaboración propia



RECOMENDACIONES

A la Universidad Andina del Cusco

- Que dé un mayor enfoque en la rama de hidrología, tanto a nivel de materias como laboratorio, puesto que, a nivel regional y nacional, la investigación es limitada y considerando el panorama actual será una de las áreas de mayor desarrollo a futuro.
- Que impulse la investigación dentro de la rama de hidrología, ya que las entidades estatales como SENAMHI, INEI, etc. brindan facilidades para suministrar datos como precipitación, temperatura, horas sol, humedad relativa, entre otras, todas ellas indispensables para el desarrollo de las investigaciones dentro de la rama.

Al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología – SENAMHI

- Que restauren la estación de Calca e implementen nuevos equipos de medición de los diversos parámetros, ya que la ubicación de dicha estación amerita dicha inversión. La presente investigación, al igual que las realizadas dentro de la microcuenca de Piuray y zonas contiguas tienen como limitante que dicha estación posee datos únicamente hasta 1998.
- Que implementen equipos para la medición de evaporación en las diversas estaciones de la región. En el desarrollo de la presente investigación nos percatamos que únicamente la estación de Urubamba posee un tanque evaporímetro y considerando que las evaporaciones de los cuerpos de agua tienen una influencia considerable dentro del balance hídrico es necesario un cálculo preciso de este dato en cualquier estudio hidrológico.

A la E.P.S. SEDACUSCO

- Que brinden mayores facilidades a los investigadores universitarios para suministrar datos pertenecientes a la estación meteorológica presente en la Laguna de Piuray, ya que al ser una de las principales fuentes de agua usadas para cubrir la demanda de la ciudad de Cusco, resulta un punto de interés para tesis, tanto de la carrera de ingeniería Civil como ingeniería Ambiental, Química, etc.



- Realizar aforos mensuales de los caudales de ingreso a la microcuenca para poder tener un modelamiento continuo y evaluar la cantidad de agua extraída de la laguna. Esto también contribuirá en futuras investigaciones realizadas en la microcuenca.

De la presente investigación

- Consideramos de gran importancia realizar visitas a campo, esto para evaluar el contexto y realizar la comparación entre los datos obtenidos en gabinete con los observados en campo.
- Es importante realizar una comparación entre dos o más modelamientos, esto con la finalidad de evaluar un modelo que se ajuste más a la realidad de la cuenca y poder determinar caudales de manera más precisa. En la presente investigación se hizo el modelamiento Lutz Scholz y Temez, debido a que ambos métodos fueron empleados con anterioridad en cuencas de la sierra sur peruana de similares características a la nuestra.
- Si se desea hacer uso exclusivo del modelamiento Temez, es necesario realizar ensayos de contenido de humedad mensualmente, esto debido a que el modelo requiere de dicho dato para considerar el caudal infiltrado y así arrojar un caudal excedente correspondiente al caudal generado.
- Que se realicen los aforos por dos o más métodos, puesto a que muchas veces las investigaciones optan por hacer uso del correntómetro y aunque los datos arrojados por dicho aparato son más precisos que los obtenidos por otros métodos, muchas veces la hélice no está correctamente calibrada y emplear un método adicional de aforos permite detectar dicho error con facilidad.
- Se recomienda realizar una evaluación de las áreas pertenecientes a zonas de cultivo y urbanas, esto debido a que los planos y archivos generados por los diversos ministerios generalmente se encuentran desactualizados. Así mismo es necesario realizar una actualización en las áreas pertenecientes a lagunas, nevados, pantanos, etc.
- Es necesario realizar un estudio para ver la viabilidad de la implementación de un sistema de riego más eficiente, lo que permitirá ahorrar un considerable caudal en los meses de estiaje.



GLOSARIO

- **Absorción:** Incorporación de agua y/o solutos dentro de la estructura de un sólido.
- **Aforo de caudales:** Conjunto de operaciones para determinar el caudal de un curso de agua para un nivel observado.
- **Acuífero:** Formación geológica permeable capaz de almacenar, transmitir y proporcionar cantidades aprovechables de agua.
- **Área de drenaje:** Parte de una cuenca que contribuye a la escorrentía directa.
- **Balance hídrico:** Evaluación de los aportes y las descargas de agua de un acuífero o una cuenca hidrográfica para un periodo de tiempo determinado.
- **Calibración:** Proceso por el cual los parámetros de un modelo se ajustan para obtener concordancia entre los resultados generados por el modelo y los valores medidos de la variable.
- **Calidad del agua:** Propiedades físicas, químicas, biológicas y organolépticas del agua.
- **Canal:** Superficie límite longitudinal que comprende el lecho y las orillas dentro de la que fluye un líquido con una superficie límite.
- **Capacidad disponible:** Volumen de agua en un embalse entre los niveles mínimo y máximo, en condiciones normales de explotación.
- **Captación:** Evacuación temporal o permanente de agua de cualquier origen.
- **Caudal:** Volumen de agua que fluye a través de una sección transversal de un río o un canal en una unidad de tiempo.
- **Caudal medio mensual:** Media aritmética a lo largo de un cierto número de años de los valores observados de una variable hidrológica asociada a una determinada fecha o periodo dentro del año.
- **Caudal máximo instantáneo:** Mayor caudal registrado instantáneamente en un período determinado. Este período puede ser un mes, un año o todo el registro.
- **Corriente subterránea:** Masa de agua en movimiento que pasa a través de un intersticio de gran tamaño, como una caverna, cueva o un grupo de grandes intersticios intercomunicados.
- **Cuenca:** Área que tiene una salida única para su escorrentía superficial.



- **Demanda de agua:** Cantidades de agua previstas para su distribución a los usuarios en periodos de tiempo determinados para usos específicos y a un precio dado.
- **Dotación de riego:** Cantidad de agua necesaria para satisfacer las necesidades de riego por unidad de superficie.
- **Escorrentía:** Parte de la precipitación que fluye por la superficie de terreno hacia un curso de agua (escorrentía de superficie) o en el interior del suelo (escorrentía subterránea o flujo hipodérmico)
- **Estación hidrológica:** Lugar donde se efectúan observaciones hidrológicas o climatológicas para fines hidrológicos.
- **Estiaje:** Época del año con poca o casi nula presencia de precipitaciones.
- **Evaporación real:** Cantidad de agua que se evapora de una superficie de agua libre.
- **Evapotranspiración real:** Cantidad de agua evaporada y transpirada desde el suelo y la cubierta vegetal.
- **Frecuencia:** Intervalo de tiempo medio a largo plazo transcurrido entre un fenómeno hidrológico y otro de igual o mayor magnitud.
- **Grado de saturación:** Relación entre el volumen de agua de una muestra de suelo y el volumen de huecos de dicha muestra.
- **Humedad atmosférica:** Contenido de vapor de agua en el aire.
- **Humedal:** Extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de aguas, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en bajamar no exceda de 6 metros.
- **Infiltración:** Flujo de agua que penetra en un medio poroso a través de la superficie de suelo.
- **Nivel de agua:** Cota de superficie libre de una masa de agua respecto de un plano de referencia.
- **Nivel freático:** Superficie de la zona de saturación en un acuífero libre en la que la presión hidrostática es igual a la presión atmosférica.
- **Percolación:** Flujo de un líquido a través de un medio poroso no saturado, por ejemplo, el flujo de agua en el suelo por acción de la gravedad.



- **Perímetro mojado:** Longitud de perímetro de contacto entre un curso de agua en movimiento y su cauce, medido en una sección transversal.
- **Persistencia:** Tendencia de un proceso hidrológico o serie temporal a repetirse o continuar, que introduce una correlación positiva entre los valores sucesivos de las variables observadas.
- **Radiación extraterrestre:** Es la radiación solar diaria que recibe una superficie horizontal situada en el límite superior de la atmosfera.
- **Requerimiento de agua:** Cantidad total de agua necesaria para diferentes usos durante un periodo determinado, teniendo en cuenta los condicionantes económicos, sociales y otros factores.
- **Tendencia:** Cambio gradual de una variable.
- **Tiempo de concentración:** Tiempo necesario para que la escorrentía de tormenta llegue hasta el desagüe desde el punto de la cuenca con mayor tiempo de recorrido.
- **Tormenta:** Precipitación muy intensa de lluvia, nieve o granizo, que puede presentarse acompañada de viento y está asociada a un fenómeno meteorológico diferenciado.
- **Transmisividad:** Caudal a través de una sección de un acuífero de anchura unidad bajo un gradiente hidráulico unitario.

Las definiciones presentes fueron extraídas de (Organización Meteorológica Mundial, 2012).



REFERENCIAS

- Aliaga Araujo, S. V., & De Pierola Canales, J. (1978). *Análisis de Consistencia de Series Hidrometeorológicas*. Lima: Universidad Nacional Agraria.
- Ambiente, M. d. (2017). *DECRETO SUPREMO N° 004-2017-MINAM*. Lima: El Peruano.
- ANA, A. N. (2016). *Informe Técnico N° 024-2016-ANA-DCPRH-CLI/FCC*. Lima: Dirección de conservación y planeamiento de recursos hídricos.
- Araujo, S. V. (1985). *Hidrología Estadística*. Lima.
- Ayala, C. d. (2013). *Estudio del Plan de Gestión Integral de los Recursos Hídricos de la Microcuenca de la Laguna de Piuray*. Cusco.
- Bavel, C. H. (1966). *Potential evaporation: The combination concept and its experimental*. Washington: Water Resources Research.
- Béjar, M. V. (2001). *Hidrología Estadística*. Cartago: Ediciones Villón.
- Bernal, C. (2010). *Metodología de la Investigación*. Bogotá: Pearson Educación.
- Caballero Romero, A. (2014). *Metodología Integral Innovadora para Planes y Tesis*. México D.F.: Cengage Learning.
- E.P.S. SEDACUSCO S.A. (2018). *Memoria Anual 2018*. Cusco: Oficina de Planeamiento y Control de Gestión.
- FAO. (2001). *Manual de Riego Parcelario*. Santiago de Chile: Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe.
- FAO, P. D. (1986). *Las necesidades de agua de los cultivos*. Roma: FAO.
- Gàlvez, J. J. (2011). *Balance Hídrico Superficial*. Lima: Sociedad Geográfica de Lima.
- Gaspari, F. J. (2012). Caracterización morfométrica de la cuenca alta del río Sauce Grande, Buenos Aires, Argentina. *Revista electronica del Comité de Medio Ambiente*, 143-158.



- Gutierrez C., D. C. (2015). *Cálculo del Índice de escasez de la cuenca del río Opia*. Bogotá: Universidad Católica de Colombia.
- Mijares, F. J. (1992). *Fundamentos de Hidrología de Superficie*. Ciudad de México: Limusa S.A.
- Olarte, W. (1987). *Manual de Riego por Gravedad*. Lima: CCTA - Perú.
- Plan MERISS. (1980). *Generación de caudales medios mensuales de la sierra peruana*. Cusco: Plan MERISS.
- Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos WWAP. (2012). *Informe sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo*. Ginebra: Naciones Unidas.
- Rodríguez Baca, E. (24 de Mayo de 2014). *Scribd*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/225879106/Recopilacion-y-Analisis-de-Datos-Hidrologicos>
- Sáenz, G. M. (1999). *Hidrología en la Ingeniería*. Bogotá: Alfaomega.
- Sampieri, R., Collado, C., & Baptista, M. (2010). *Metodología de la investigación*. México D.F.: McGraw-Hill.
- Tarazona Santos, N. E. (2005). *Generación De Descargas Mensuales En Subcuencas De La Cuenca Del Río Santa Utilizando El Método De Lutz Scholz*. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Tuya Pendas, L., Martínez Ortega, R. M., & Pérez Abreu, A. (2009). *El Coeficiente De Correlacion De Los Rangos De Spearman*. La Habana: Instituto Superior de Ciencias Médicas de La Habana.
- Ven Te Chow, D. R. (1994). *Hidrología aplicada*. Bogotá: McGraw-Hill Interamericana S.A.
- Villón, M. (2002). *Hidrología*. Cartago: MaxSoft.
- Villón, M. (2012). *Hidroesta 2*. Cartago: MaxSoft.



ANEXOS