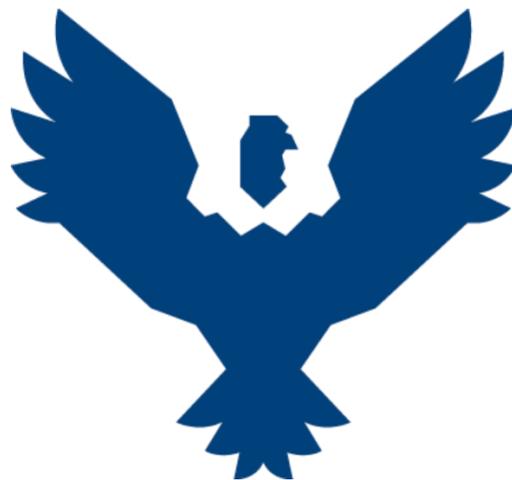




UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

“MODELACIÓN HIDROLÓGICA DE LA CUENCA DE LA LAGUNA DE
SINGRINACOA, DISTRITO DE MARCAPATA, PROVINCIA DE QUISPICANCHIS,
DEPARTAMENTO DE CUSCO”

Presentado por

Bach. Víctor Sebastian Pedraza Ramirez

Para optar al Título Profesional de

Ingeniero Civil

Asesor: Ing. Víctor Manuel Arangoitia Valdivia

CUSCO – PERÚ

AÑO 2023



DEDICATORIA

Este trabajo de grado lo quiero dedicar principalmente a mi padre Rolando y a mis 2 mamás Grethel y Natividad, que, con su apoyo incondicional, se pudo realizar esta investigación sin mayores inconvenientes que soportar el cansancio y dar el mayor esfuerzo.

Quiero dedicar este trabajo de investigación a mis amigos más cercanos, quienes nunca subestimaron mi capacidad y quienes confiaron en mi para lograr aportar un pequeño grano de arena en investigación hidrológica en la facultad.

A mi querida Carmen Aurora Silva Ataco, de quién percibo su paciencia y aliento desde que empezó este trabajo hasta el momento en el cual redacto estos párrafos y cuyo apoyo resaltó en mi de una manera inefable para la culminación de este trabajo.

A mis docentes, en particular al ingeniero William Ronald Delgado Salazar, de quien fui pupilo y quien me incentivo a tener el gusto de aportar en esta rama de ingeniería con conocimiento.



AGRADECIMIENTOS

A la ingeniera Jackeline Pelaez y el ingeniero Carlos Luna, quienes me ayudaron a perfeccionar este trabajo y fueron muy pacientes conmigo en absolver las dudas de esta investigación.

Al ingeniero Víctor Arangoitia, en quién confió en criterio y a quien le tengo una promesa.

A mí mismo, que, sin ánimos de narcisismos y cursilerías, llegó a adaptarse como el agua a cada situación presentada manteniendo su propia esencia y pregonando que las cosas pueden cambiar para mejor.

A mi Universidad Andina del Cusco, cuya plana de docentes de cuando fui estudiante en sus aulas siempre nos presionaron e incentivaron a dar lo mejor de nosotros para engrandecer a nuestra institución siempre.

A Dios, que siempre nos guíe y nos bendiga.

Gracias a todos.



RESUMEN

La presente investigación tuvo como propósito la modelación hidrológica de la cuenca de la laguna Singrinacocha; para lo cual tras haber obtenido los datos hidrometeorológicos de las estaciones seleccionadas para este estudio por medio del producto PISCO de SENAMHI, se realizó un análisis de consistencia y completación de los mismos, tomando en cuenta los aforos y altitudes para las regionalizaciones tanto de la precipitación como de las temperaturas.

Luego se prosiguió con la aplicación, calibración y validación de los modelos de generación de caudales escogidos, determinándose así que el modelo GR2M logra un mejor ajuste en comparación con el modelo Lutz Scholz en esta cuenca; determinando que la mejor aplicación de este último se da cuando hay un registro mucho mayor, motivo por el cual se logró obtener el valor de los caudales de la cuenca en estudio y corroborando la efectividad de los modelos hidrológicos que se usaron mediante la eficiencia de Nash Sutcliffe, ubicándose en el rango “eficiente” el modelo GR2M mientras que el rango “Satisfactorio” lo fue para el modelo hidrológico Lutz Scholz en una cuenca con influencia glaciaria como esta. Sin embargo, la cuenca de la laguna Singrinacocha todavía no muestra inconvenientes sobre el funcionamiento y aprovechamiento de sus recursos hídricos, no obstante, este caso podría modificar en unos años, si no se implementa una estrategia de desempeño en la mejora del uso del recurso hídrico a tiempo.

PALABRAS CLAVE: Regionalización, Modelo hidrológico; Lutz Scholz; GR2M; balance hídrico, caudales.



ABSTRACT

The purpose of the present research was the hydrological modeling of the basin of the Singrinacocha lagoon; for this purpose, after having obtained the hydrometeorological data of the stations selected for this study by means of the PISCO product of SENAMHI, an analysis of their consistency and completeness was performed, taking into account the capacities and altitudes for the regionalizations of both precipitation and temperatures. Then we continued with the application, calibration and validation of the flow generation models chosen, determining that the GR2M model achieves a better fit compared to the Lutz Scholz model in this basin; determining that the best application of the latter occurs when there is a much higher registration, reason why the value of the basin flows under study was obtained and corroborating the effectiveness of the hydrological models that were used by the efficiency of Nash Sutcliffe placing the GR2M model in the "efficient" range while the "Satisfactory" range was for the Lutz Scholz hydrological model in a basin with glacial influence like this. the basin of the lagoon Singrinacocha still does not show problems on the operation and use of its water resources, however, this case could change in a few years, if a performance strategy is not implemented to improve the use of water resources in time.

KEYWORDS: Regionalization, Hydrological model; Lutz Scholz; GR2M; water balance, flows.



MODELACIÓN HIDROLÓGICA DE LA CUENCA DE LA LAGUNA DE SINGRINACOCHA, DISTRITO DE MARCAPATA, PROVINCIA DE QUISPICANCHIS, DEPARTAMENTO DE CUSCO

por Víctor Sebastian Pedraza Ramirez

Fecha de entrega: 12-jun-2023 03:56p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2114735687

Nombre del archivo: DESARROLLO_DE_TESIS1_Victor_Sebastian_Pedraza_Ramirez.pdf (12.5M)

Total de palabras: 95822

Total de caracteres: 419264

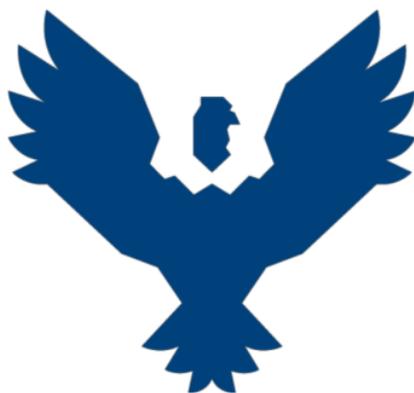
MGT. VICTOR MANUEL ARANGOITIA VALDIVIA
Docente de la E.P. de Ingeniería Civil - UAC



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

⁴
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

“MODELACIÓN HIDROLÓGICA DE LA CUENCA DE LA LAGUNA DE
SINGRINACocha, DISTRITO DE MARCAPATA, PROVINCIA DE QUISPICANCHIS,
DEPARTAMENTO DE CUSCO”

Presentado por
Bach. Víctor Sebastian Pedraza Ramirez

¹
Para optar al Título Profesional de

Ingeniero Civil

Asesor: Ing. Víctor Manuel Arangoitia Valdivia

CUSCO – PERÚ

AÑO 2023



DE SINGRINACOA, DISTRITO DE MARCAPATA, PROVINCIA DE QUISPICANCHIS, DEPARTAMENTO DE CUSCO

INFORME DE ORIGINALIDAD

19%

INDICE DE SIMILITUD

18%

FUENTES DE INTERNET

6%

PUBLICACIONES

11%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Andina del Cusco Trabajo del estudiante	5%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	2%
3	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	repositorio.uandina.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	repositorioacademico.upc.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	repositorio.unc.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	<1%
8	repositorio.unheval.edu.pe Fuente de Internet	<1%


MGT. VICTOR MANUEL ARANGOITIA VALDIVIA
Docente de la E.P. de Ingeniería Civil - UAC



Recibo digital

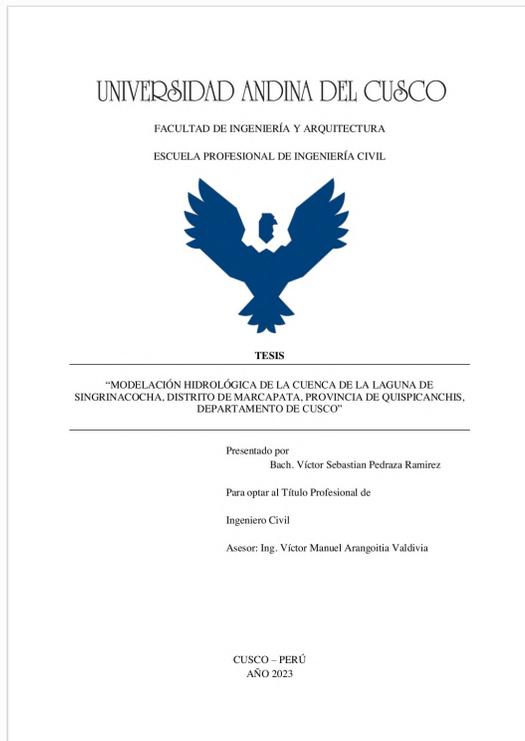
Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por **Turnitin**. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega:	Victor Pedraza
Título del ejercicio:	Pedraza
Título de la entrega:	MODELACIÓN HIDROLÓGICA DE LA CUENCA DE LA LAGUNA ...
Nombre del archivo:	DESARROLLO_DE_TESIS1_Victor_Sebastian_Pedraza_Ramirez...
Tamaño del archivo:	12.5M
Total páginas:	336
Total de palabras:	95,822
Total de caracteres:	419,264
Fecha de entrega:	12-jun.-2023 05:28p. m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega...	2114777724



MGT. VICTOR MANUEL ARANGOITIA VALDIVIA
Docente de la E.P. de Ingeniería Civil - UAC





INTRODUCCION

La subcuenca de Yavero en la cordillera Vilcanota - cuenca de Urubamba ubicada aquí en Perú aporta directamente a la laguna Singrinacocha, esta está ubicada en el distrito de Pitumarca, provincia de Canchis que al ser alimentada por el deshielo generado por el glaciar Ausangate y las propias intensidades en la zona, se mantiene como una fuente de suministro de agua para sus pobladores y que impide su evaporización por las temperaturas mínimas en la zona.

Este distrito mantiene 2 climas definidos que es la época de lluvias y secas, los caudales pueden variar a tal manera que el volumen de agua por las precipitaciones y el deshielo producida en dichas épocas, puede variar su comportamiento y, por lo tanto, existe una ausencia de información acerca de las próximas avenidas, puede ocurrir circunstancias inesperadas, ya que dicha laguna es el suministro de agua para las comunidades allegadas a esta (Maramp' aquí y Yamarcocha), es así que para la estimación de dichos caudales se requerirá la modelación hidrológica apropiada para la zona de estudio ya descrita.

El proyecto de investigación se realizó con la recopilación de datos de las estaciones meteorológicas cercanas Sibinacocha, Quisoquipina, Aymaña, Huayllapampa, Ccatca por medio del plan MERISS e información de SENAMHI a 40 años de las estaciones meteorológicas Sibinacocha, Quisoquipina, Aymaña, Huayllapampa, Ccatca y la artificial Tinki para la recopilación de análisis pluviométricos y meteorológicos de la cuenca en estudio también otorgada por dicha institución. Además, la calibración de los modelamientos hidrológicos GR2M y Lutz Scholz para el punto de interés.



ÍNDICE DE CONTENIDO

1. Capítulo I: Planteamiento Del Problema	19
1.1. Identificación del problema	19
1.1.1. Descripción del problema	19
1.1.2. Formulación interrogativa del problema	26
1.1.2.1. Formulación interrogativa del problema en general.....	26
1.1.2.2. Formulación interrogativa de los problemas específicos.....	26
1.2. Justificación e importancia de la investigación	26
1.2.1. Justificación técnica	26
1.2.2. Justificación social	26
1.2.3. Justificación por viabilidad	27
1.2.4. Justificación por relevancia	27
1.3. Limitaciones de la investigación	27
1.4. Objetivo de la investigación	28
1.4.1. Objetivo general	28
1.4.2. Objetivos específicos.....	28
2. Capítulo II: Marco Teórico	29
2.1. Antecedentes de la tesis	29
2.1.1. Antecedentes a nivel nacional.....	29
2.1.2. Antecedentes a nivel internacional.....	32
2.2. Aspectos teóricos pertinentes	35
2.2.1. Ciclo hidrológico.....	35
2.2.2. Parámetros meteorológicos.....	43
2.2.3. Parámetros geomorfológicos.....	53
2.2.4. Características físicas de la cuenca hidrográfica.....	60
2.2.5. Caudal.....	77
2.2.6. Procedimiento de datos hidrometeorológicos obtenidos.....	83
2.2.6.2. <i>Análisis de consistencia de la información</i>	86
2.2.6.3. <i>Análisis visual gráfico</i>	86
2.2.6.4. <i>Análisis de doble masa</i>	87
2.2.6.5. <i>Análisis estadístico</i>	87
2.2.6.6. <i>Análisis de saltos</i>	88
2.2.6.7. <i>Consistencia en la media</i>	88
2.2.6.8. <i>Correcciones</i>	92



2.2.6.9.	<i>Análisis de tendencia.</i>	92
2.2.6.10.	<i>Completación de datos.</i>	101
2.2.6.11.	<i>Correlación y regresión.</i>	101
2.2.6.12.	<i>Ecuación de regresión lineal simple.</i>	104
2.2.6.13.	<i>Ecuación de regresión lineal múltiple.</i>	105
2.2.6.14.	<i>Generación de datos aleatoria.</i>	106
2.2.6.15.	<i>Bondad y ajuste.</i>	106
2.2.6.16.	<i>Regionalización de precipitación.</i>	107
2.2.6.17.	<i>Estaciones hidrométricas.</i>	108
2.2.6.18.	<i>Estación meteorológica.</i>	109
2.2.7.	Sistemas de coordenadas.	109
2.2.7.1.	<i>Coordenadas geográficas.</i>	109
2.2.7.2.	<i>Coordenadas UTM.</i>	110
2.2.7.3.	WGS84.	112
2.2.8.	Modelamientos hidrológicos.	112
2.2.9.	Modelamientos hidrológicos a nivel mensual.	112
2.2.9.1.	GR2.	112
2.2.9.2.	GR2M.	113
2.2.9.3.	Lutz Scholz.	114
2.3.	Hipótesis	114
2.3.1.	Hipótesis general.	114
2.3.2.	Sub-hipótesis.	114
2.4.	Definición de variables	115
2.4.1.	Variables independientes.	115
2.4.2.	Variables dependientes.	115
3.	Capítulo 3: Metodología	54
3.1.	Metodología de la investigación.	54
3.1.1.	Enfoque de la investigación.	54
3.1.2.	Nivel o alcance de la investigación.	54
3.1.3.	Método de la investigación.	54
3.2.	Diseño de la investigación.	55
3.2.1.	Diseño metodológico.	55
3.2.2.	Diseño de ingeniería.	55
3.3.	Población y muestra.	56



3.3.1.	Población.....	56
3.3.2.	Muestra.....	56
3.3.3.	Criterios de inclusión	57
3.4.	Instrumentos	58
3.4.1.	Instrumentos metodológicos o instrumentos de recolección de datos.....	58
3.4.2.	Instrumentos de ingeniería	60
3.5.	Procedimiento de recolección de datos.....	66
3.5.1.	Ubicación política de la zona de estudio.....	66
3.5.2.	Ubicación geográfica de la zona de estudio.....	67
3.5.3.	Información cartográfica	68
3.5.4.	Información geomorfológica.....	72
3.5.6.	Información pluviométrica	75
3.5.7.	Información hidrológica.	99
3.6.	Procedimiento de análisis de datos.	100
3.6.1.	Parámetros geográficos.	100
3.6.2.	Parámetros geomorfológicos de la cuenca.....	101
3.6.2.1.	Área de la cuenca.	102
3.6.2.2.	Perímetro de la cuenca.	102
3.6.2.3.	Forma de la cuenca.	102
3.6.2.4.	Parámetros relacionados con la red hidrográfica de la cuenca.	104
3.6.2.5.	Fisiografía y factores de relieve de la cuenca.....	107
3.6.2.6.	Análisis estadísticos y completación de la información meteorológicas.	113
3.6.2.7.	Extensión de datos	181
3.6.2.8.	Modelo hidrológico de Lutz Scholz.....	188
3.6.2.8.6.3.1.	Calibración del modelo Lutz Scholz.	201
3.6.2.8.6.3.2.	Validación del modelo Lutz Scholz.	204
3.6.2.9.	Modelo hidrológico GR2M	206
3.6.2.9.4.	Calibración del modelo GR2M.....	228
3.6.2.9.5.	Validación del modelo GR2M.	231
4.	CAPITULO IV: Resultados	237
4.1.	De los parámetros morfológicos de la cuenca.....	237
4.2.	De los cuerpos de agua y manantes.....	241
4.3.	De la información meteorológica.	242
4.4.	De los caudales aforados.....	243



4.5. De los caudales generados de la cuenca.....	244
5. CAPÍTULO V: DISCUSIÓN	250
6. GLOSARIO	253
7. CONCLUSIONES	255
8. RECOMENDACIONES	256
9. REFERENCIAS	257



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación del lugar de estudio	20
Figura 2: Ubicación satelital de la laguna Singrenacocha.....	20
Figura 3: Laguna Singrinacocha – Cusco	21
Figura 4: Laguna Singrinacocha – Cusco	21
Figura 5: Laguna Singrinacocha – Cusco	22
Figura 6: Glaciar Huayruro - Cordillera Vilcanota	22
Figura 7: Capa de hielo del glaciar Quelccaya.....	23
Figura 8: Ubicación geográfica del ámbito de influencia de la cordillera Vilcanota con señalización del lugar de estudio.....	25
Figura 9: Ciclo hidrológico	36
Figura 10: Ciclo hidrológico sistematizado	37
Figura 11: Puntos de recarga, Qochas o Puquio.....	42
Figura 12: Representación cualitativa del ciclo	43
Figura 13: Precipitación	45
Figura 14: Formación de precipitación en las nubes.....	45
Figura 15: Cuenca del Vilcanota.....	54
Figura 16: Tipos de cuencas.....	56
Figura 17: Tipos de cuencas.....	57
Figura 18: Zonificación de la cuenca	59
Figura 19: Divisoria de aguas.....	59
Figura 20: Cuenca de ejemplo con curvas de nivel.....	62
Figura 21: Grilla de análisis por el método de Horton.....	62
Figura 22: Grilla de análisis por medio del método de Nash.....	63
Figura 23: Orden de corrientes de una cuenca	71
Figura 24: Pendiente del cauce principal	74
Figura 25: Pendiente del cauce principal	74
Figura 26: Pendiente del cauce principal	76
Figura 27: Caudal medio diario.....	78
Figura 28: Curva de duración de caudal.....	80
Figura 29: Aforamiento en ríos	80
Figura 30: Hietograma de precipitación.....	81
Figura 31: Curva hipsométrica.....	82
Figura 32: Características de curva hipsométrica	83
Figura 33: Isoyetas	85
Figura 34: Presencia de tendencia en serie hidrometeorológica.....	93
Figura 35: Estación hidrométrica	108
Figura 36: Estación meteorológicas	109
Figura 37: Meridianos y paralelos.....	110
Figura 38: Números de zona UTM	111
Figura 39: Esquema del modelo GR2	113
Figura 40: Programa ArcGis	61
Figura 41: Programa Easyfit	62
Figura 42: Programa Stathgraphics	63



Figura 43: Programa Table Curve 2d&3d	63
Figura 44: Programa WMS	64
Figura 45: Programa Rstudio	65
Figura 46: Ubicación política de la subcuenca Yavero - Cuenca Urubamba.....	66
Figura 47: Delimitación de la cuenca de la laguna Singrinacocha	69
Figura 48: Cuenca Singrinacocha – DEM.....	70
Figura 49: Subcuenca extraída de la subcuenca del río Singrina sin procesar.....	71
Figura 50: Orden de ríos de la laguna Singrinacocha	72
Figura 51: Procesamiento de la cuenca Singrinacocha	73
Figura 52: Ubicación de estaciones meteorológicas	75
Figura 53: Producto PISCOp en mm.....	77
Figura 54: Cuenca Singrinacocha – Rstudio	77
Figura 55: Extracción del producto PISCOp según nuestro punto de interés	78
Figura 56: Extracción del producto primigenio	80
Figura 57: Extracción del producto a nivel anual	80
Figura 58: Producto PISCOtempmax en °C.....	82
Figura 59: Cuenca Singrinacocha – Rstudio Temp.....	83
Figura 60: Delimitación nacional del producto en temperatura max	84
Figura 61: Cuenca Tinki delimitada por la temperatura max.....	84
Figura 62: Productor PISCOtempmin en °C.....	87
Figura 63: Cuenca Singrinacocha – Rstudio Temp.....	87
Figura 64: Cuenca Singrinacocha delimitada por la temperatura mínima	88
Figura 65: Producto PiscoETP en mm	90
Figura 66: Cuenca Singrinacocha - Rstudio ETP.....	90
Figura 67: Cuenca Tinki delimitada por la ETP	91
Figura 68: Cuenca Tinki con puntos de interés.....	100
Figura 69: Cuenca Singrinacocha satelitalmente	101
Figura 70: Rectángulo equivalente de la cuenca Tinki	103
Figura 71: Longitud total de la red hídrica.....	104
Figura 72: Longitud del cauce principal	104
Figura 73: Red hídrica de la cuenca Singrinacocha	105
Figura 74: Densidad de drenaje de cuencas	106
Figura 75: Pendiente del río.	108
Figura 76: Pendiente del río principal	109
Figura 77: Mapa de discretización de subcuencas en el punto de interés	114
Figura 78: Mapa de discretización codificado en Tinki	115
Figura 79: Cuencas discretizadas respecto al punto de interés Tinki.....	116
Figura 80: Localización de las estaciones meteorológicas en la zona de estudio	117
Figura 81: Histograma de precipitación de la estación virtual Tinki	118
Figura 82: Histograma de precipitación de la estación Sibinacocha.....	119
Figura 83: Histograma de precipitación de la estación Quisoquipina.....	120
Figura 84: Histograma de precipitación de la estación Ccatca	120
Figura 85: Histograma de precipitación de la estación Huayllapampa	121
Figura 86: Histograma de precipitación de la estación Aymaña.....	122



Figura 87: Análisis de doble masa de la precipitación.....	124
Figura 88: Histograma de temperaturas de la estación Sibinacocha.....	130
Figura 89: Histograma de temperatura máxima de la estación Tinki.....	130
Figura 90: Histograma de temperaturas de la estación Quisoquipina.....	131
Figura 91: Histograma de temperaturas máximas en la estación Huayllapampa.....	132
Figura 92: Histograma de temperatura máxima de la estación de Ccatca.....	133
Figura 93: Histograma de temperaturas máximas en la estación Aymaña.....	134
Figura 94: Análisis de doble masa de las temperaturas máximas en la cuenca Tinki.....	134
Figura 95: Histograma de temperaturas mínimas de la estación Sibinacocha.....	138
Figura 96: Histograma de temperaturas mínimas de la estación Tinki.....	139
Figura 97: Histograma de temperaturas mínimas de la estación Quisoquipina.....	140
Figura 98: Histograma de temperaturas mínimas de la estación Huayllapampa.....	141
Figura 99: Histograma de temperaturas mínimas de la estación Ccatca.....	142
Figura 100: Histograma de temperaturas mínimas de la estación Aymaña.....	142
Figura 101: Análisis de doble masa de las temperaturas mínimas en la cuenca Tinki.....	143
Figura 102: Histograma de temperaturas medias de la estación Sibinacocha.....	148
Figura 103: Histograma de temperaturas medias de la estación Tinki.....	149
Figura 104: Histograma de temperaturas medias de la estación Quisoquipina.....	150
Figura 105: Histograma de temperaturas medias de la estación Huayllapampa.....	150
Figura 106: Histograma de temperaturas medias de la estación Ccatca.....	150
Figura 107: Histograma de temperaturas medias de la estación Aymaña.....	151
Figura 108: Análisis de doble masa de las temperaturas medias en la cuenca Tinki.....	151
Figura 109: ETP mensual de la estación Sibinacocha.....	156
Figura 110: ETP mensual de la estación Tinki.....	157
Figura 111: ETP mensual de la estación Quisoquipina.....	157
Figura 112: ETP mensual de la estación Huayllapampa.....	158
Figura 113: ETP mensual de la estación Ccatca.....	158
Figura 114: ETP mensual de la estación Aymaña.....	159
Figura 115: Análisis de doble masa para ETP en la cuenca Tinki.....	159
Figura 116: Histograma de aforo de ingreso a Singrinacocha.....	164
Figura 117: Histograma de aforo de desfogue de Singrinacocha.....	165
Figura 118: Histograma de aforo del rio Singrina.....	166
Figura 119: Histograma de aforo del rio Yanancancha.....	167
Figura 120: Histograma de aforo del rio Mapacho.....	168
Figura 121: Histograma de aforo del rio Kellhuapata.....	169
Figura 122: Histograma de aforo del punto Kellhuacocho.....	170
Figura 123: Histograma de aforo del punto Pucarumi.....	171
Figura 124: Histograma de aforo del punto Pinchimuro.....	172
Figura 125: Histograma de aforo del punto Jamarcocha.....	173
Figura 126: Histograma de aforo del punto Ccomercocha.....	174
Figura 127: Gráfica de curvas de precipitación efectiva.....	196
Figura 128: Distribución de caudales aforados y generados.....	199
Figura 129: Correlación de caudales generados.....	202
Figura 130: Correlación de caudales generados.....	205



Figura 131:Discretización de áreas con parámetros geomorfológicos.....	212
Figura 132: Gráfico de distribución de variables	226
Figura 133: Caudales observados vs caudales simulados - calibración	231
Figura 134: Distribución de caudales generados – validación.....	236
Figura 135: Distribución de caudales generados.....	247
Figura 136: Análisis comparativo de caudales.....	247
Figura 137: Distribución de los caudales estudiados	249



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Radiación extraterrestre diaria	50
Tabla 2: Horas de sol media diaria.....	51
Tabla 3: Zonificación de cuencas.....	57
Tabla 4: Tabla valorativa del coeficiente de correlación	103
Tabla 5: Ajuste estadísticos.....	107
Tabla 6: Formato de registro de las características fisiográficas de la cuenca.....	58
Tabla 7: Formato de registro de las precipitaciones de la cuenca mensual.....	58
Tabla 8: Formato de registro de las temperaturas mínimas mensuales.....	59
Tabla 9: Formato de registro de las temperaturas máximas mensuales	59
Tabla 10: Formato de registro de los caudales aforados	60
Tabla 11: Ubicación política de la zona de estudio.....	66
Tabla 12: Composición de la cuenca Urubamba.....	67
Tabla 13: Características geomorfológicas de la cuenca Urubamba.....	68
Tabla 14: Ubicación geográfica de la zona de estudio.....	68
Tabla 15: Registro de DEM según localización.....	69
Tabla 16: Tabla de ubicación de punto de interés	72
Tabla 17: Tabla de subáreas de la cuenca Singrinacocha	74
Tabla 18: Características fisiográficas de la cuenca.....	75
Tabla 19: Ubicación de estaciones meteorológicas.....	76
Tabla 20: Precipitación media mensual de la cuenca Singrinacocha.....	81
Tabla 21: Temperatura máxima mensual de la cuenca Singrinacocha	85
Tabla 22: Temperatura mínima mensual de la cuenca Singrinacocha	89
Tabla 23: Evapotranspiración mensual de la cuenca Singrinacocha.....	92
Tabla 24: Precipitación media mensual de la estación Sibinacocha	93
Tabla 25: Precipitación media mensual de la estación Quisoquipina	94
Tabla 26: Precipitación media mensual de la estación Aymaña	95
Tabla 27: Precipitación media mensual de la estación Ccatca.....	96
Tabla 28: Precipitación media mensual de la estación Huayllapampa	97
Tabla 29: Precipitación media mensual de la estación Tinki	98
Tabla 30: Registro de caudales en la laguna Singrinacocha	99
Tabla 31: Registro de caudales del proyecto Pacchanta	99
Tabla 32: Registro de caudales del proyecto Marampaqui	99
Tabla 33: Clasificación de la cuenca según el factor "K"	102
Tabla 34: Parámetros de factor de forma	103
Tabla 35: Resumen de datos de la red hídrica de la cuenca Singrinacocha	105
Tabla 36: Cálculo de la densidad de drenajes	106
Tabla 37: Intervalos de pendientes en la cuenca Tinki	107
Tabla 38: Tablas de pendientes medias entre curvas de nivel.....	107
Tabla 39: Procesamiento del perfil longitudinal	108
Tabla 40: Áreas parciales y acumuladas	110
Tabla 41: Curva hipsométrica de la cuenca Tinki.....	110
Tabla 42: Áreas parciales entre curvas de nivel.....	111
Tabla 43: Áreas parciales según la cota de la cuenca	111



Tabla 44: Polígono de frecuencias de áreas parciales	112
Tabla 45: Cuadro para el cálculo del índice de pendiente.....	112
Tabla 46: UDH de la cuenca Tinki.....	114
Tabla 47: Método de la distancia inversa en la cuenca de Tinki.....	117
Tabla 48: Clasificación de datos de la estación Sibinacocha	125
Tabla 49: Resultados estadísticos analíticos de la estación Sibinacocha.	126
Tabla 50: Análisis de consistencia de precipitaciones	129
Tabla 51: Análisis de consistencia de temperaturas máximas	138
Tabla 52: Clasificación de datos de la estación Sibinacocha	145
Tabla 53: Resultados estadísticos analíticos de la estación Sibinacocha.	145
Tabla 54: Análisis estadístico de temperaturas mínimas	148
Tabla 55: Clasificación de datos de la estación Sibinacocha.	152
Tabla 56: Resultados estadísticos analíticos de la estación Sibinacocha.	153
Tabla 57: Análisis de consistencia de temperaturas medias	156
Tabla 58: Clasificación de datos de la estación Sibinacocha	160
Tabla 59: Resultados estadísticos analíticos de la estación Sibinacocha.	161
Tabla 60: Análisis de consistencia de evapotranspiración	164
Tabla 61: Clasificación de datos del ingreso a la laguna Singrinacocha	176
Tabla 62: Resultados estadísticos analíticos del ingreso a la laguna Singrinacocha.	176
Tabla 63: Análisis de consistencia de aforamientos I	180
Tabla 64: Análisis de consistencia de aforamientos II.....	181
Tabla 65: Precipitación de datos de las estaciones meteorológicas extendidas - Tinki	182
Tabla 66: Precipitación de datos de las estaciones meteorológicas extendidas - Sibinacocha	183
Tabla 67: Precipitación de datos de las estaciones meteorológicas extendidas - Quisoquipina	184
Tabla 68: Precipitación de datos de las estaciones meteorológicas extendidas - Huayllapampa	185
Tabla 69: Precipitación de datos de las estaciones meteorológicas extendidas - Ccatca.....	186
Tabla 70: Precipitación de datos de las estaciones meteorológicas extendidas - Aymaña	187
Tabla 71: Temperatura media mensual	188
Tabla 72: Promedio anual de temperatura media.....	188
Tabla 73: Cálculo de ETP según Hergreaves- Sanamhi	189
Tabla 74: Área de lagos/lagunas en la cuenca Tinki	190
Tabla 75: Lámina acumulada por año	190
Tabla 76: Tabla de discretización de pendientes.....	191
Tabla 77: Cálculo de retención.....	191
Tabla 78: Cálculo del coeficiente de escurrimiento	193
Tabla 79: Panorama del coeficiente de agotamiento.....	193
Tabla 80: Condicionales para determinar la precipitación efectiva	194
Tabla 81: Valores obtenidos de los coeficientes	195
Tabla 82: Valores contrastados con la fórmula	195
Tabla 83: Cálculo de las curvas de precipitación.....	195
Tabla 84: Gasto y abastecimiento de la cuenca Tinki.....	198



Tabla 85: Caudales generados y aforados	198
Tabla 86: Comparativa entre los caudales aforados y calculados	199
Tabla 87: Regresión múltiple en la calibración del modelo Lutz Scholz.....	201
Tabla 88: Estadísticas de regresión	202
Tabla 89: Prueba T de medias	203
Tabla 90: Regresión múltiple en la validación del modelo Lutz Scholz.....	204
Tabla 91: Estadísticas de regresión	204
Tabla 92: Prueba T de medias	206
Tabla 93: Parámetros del modelo GR2M.....	206
Tabla 94: Valores iniciales del modelo GR2M.....	207
Tabla 95: Tabla de precipitaciones en la cuenca Singrinacocha	210
Tabla 96: Evapotranspiración total de la cuenca Singrinacocha.....	211
Tabla 97: Promedios de datos meteorológicos para el modelo GR2M.....	212
Tabla 98: Datos de precipitación de la UDRH Jamarcacha.....	214
Tabla 99: Datos de precipitación de la UDRH Kellhuapata	215
Tabla 100: Datos de precipitación de la UDRH Moyoccocha	216
Tabla 101: Datos de precipitación de la UDRH Singrina	217
Tabla 102: Datos de precipitación de la UDRH Pacchanta	218
Tabla 103: Datos de precipitación de la UDRH Singrina Rio	219
Tabla 104: Datos de precipitación de la UDRH Mapacho.....	220
Tabla 105: Tabla de parámetros para la correlación de caudales en la cuenca Tinki.	221
Tabla 106: Parámetros linealizados de la cuenca Tinki	223
Tabla 107: Tabla de parámetros	225
Tabla 108: Análisis de varianza	225
Tabla 109: Matriz de correlación de variables	226
Tabla 110: Ecuación generada para la cuenca Tinki.....	227
Tabla 111: Caudales a usarse en el modelo GR2M - calibración	228
Tabla 112: Valores iniciales – calibración	230
Tabla 113: Periodo de calibración.....	230
Tabla 114. Parámetros del modelo.....	230
Tabla 115: Criterios de eficiencia.	230
Tabla 116: Caudales para validación	231
Tabla 117: Valores iniciales estipulados – validación	235
Tabla 118: Periodo de validación.....	235
Tabla 119. Parámetros del modelo.....	235
Tabla 120: Criterios de eficiencia.	235
Tabla 121: Parámetros geomorfológicos de la cuenca Singrinacocha.....	237
Tabla 122: Cálculo de pendiente media de la cuenca	239
Tabla 123: Tipos de pendiente según el porcentaje	239
Tabla 124: Longitud de orden de río N°1 de la cuenca de la laguna Singrinacocha	240
Tabla 125: Área del nevado Ausangate en la cuenca Singrinacocha.....	241
Tabla 126: Precipitaciones anuales de la cuenca de la laguna Singrinacocha	242
Tabla 127: Temperaturas mínimas de la cuenca de la laguna Singrinacocha.....	243
Tabla 128: Caudales aforados finales de la cuenca de la laguna Singrinacocha.....	243



Tabla 129: Tabla de áreas y pendientes de las UDRH.....	244
Tabla 130: Caudales medios mensuales con registros generados	246
Tabla 131: Caudales generados por Lutz Scholz	248
Tabla 132: Caudales generados por GR2M	248



1. Capítulo I: Planteamiento Del Problema

1.1. Identificación del problema

1.1.1. Descripción del problema

Singrenacocha o Sigrinaqocha (en quechua ‘Sigrina’ significa Sirena) es una laguna en Perú ubicada en la región del Cusco, provincia de Quispicanchi, colindante entre los distritos de Ocongate y Marcapata. (...) Desde ella es posible observar las montañas nevadas del Ausangate (Municipalidad Provincial de Marcapata, 2020)

La laguna de Singrinacocha es una laguna de origen glaciar, sub-cuenca de Yavero, perteneciente a la cuenca Urubamba.

Dicha laguna está situada a una altitud de 4350 m.s.n.m, entre sus características tiene 3.82km de largo y 0.88 km en su sección más ancha y está ubicada en la cordillera Vilcanota, en la que se encuentra el nevado Ausangate (el pico más alto de la cordillera con 6372 m.s.n.m), siendo afluente tanto de esta como de otras lagunas.

La cordillera Vilcanota es la segunda cordillera glaciar más grande (Solo detrás de la Cordillera Blanca la sierra del departamento de Áncash) según lo estipulado por el Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM, 2018).

Aquí se encuentran dispersos los glaciares a lo largo de 95km de noroeste a sureste y se extiende 60 km de este a oeste, formando los glaciares un arco.

La cordillera contiene muchas lagunas que fueron originadas por la reducción glaciar de la misma, las que tienen más influencia por sus recursos hídricos son: Sibinacocha, Singrinacocha, Sacacanicocha, Ccascana, Cochachaca, Cocha Uma, Churuco, Armacocha, Sorañaño, Minascocha, Jatun Pucacocha, Yanacocha, Huacascota, Sora y Accocancha, entre otras.

El análisis de cambio de superficie en la Cordillera Vilcanota, muestra que el área glaciar ha disminuido de 495.05 km² a 255.44 km² con una pérdida de 239.61 km² equivalente al 48.40%, en 53 años.

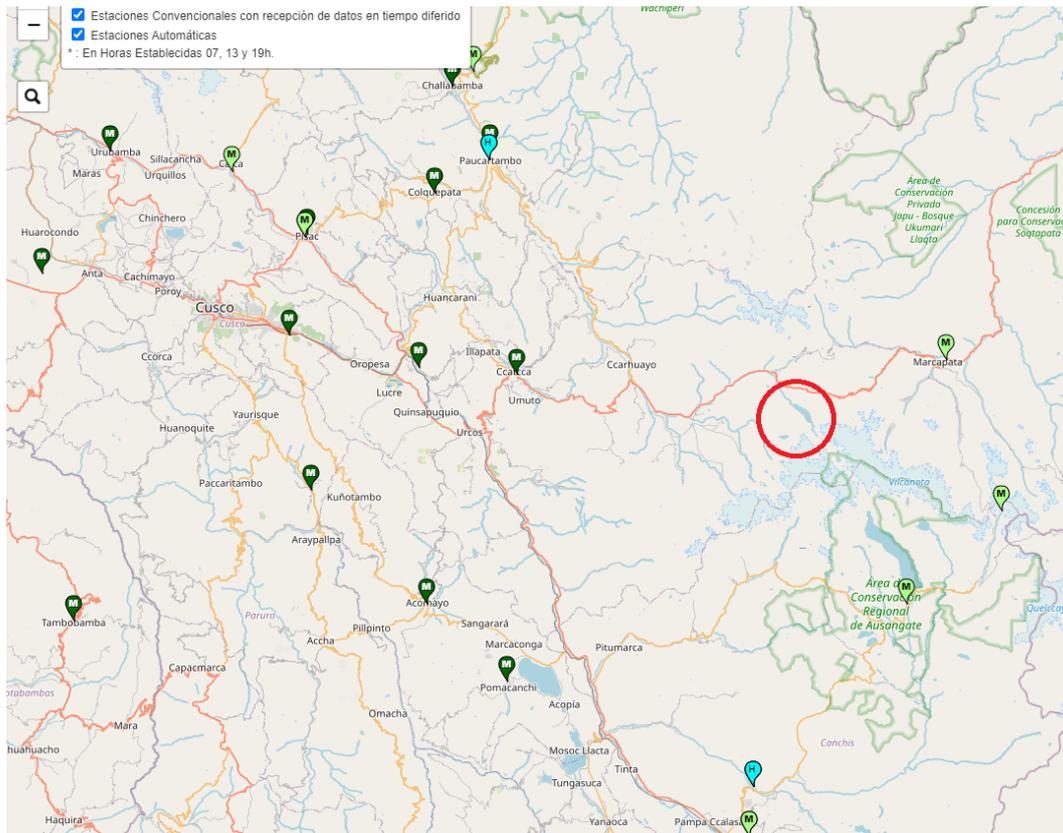
Esto nos da a entender, que se ha duplicado la generación de calor por molécula en dicha zona a causa del calentamiento global. Sin embargo, esta tendencia se ha agudizado en los últimos años. (INAIGEM, 2018)

En la figura 1 se muestra la ubicación de la laguna Singrinacocha, siendo esta nuestro lugar de estudio de la investigación presente.

Conjuntamente, la figura 2 muestra dicha ubicación vía satelital y las figuras 3-5 muestran la laguna y sus particularidades, como las figuras 6 y 7 muestran los glaciares que forman parte de la cordillera Vilcanota.



Figura 1: Ubicación del lugar de estudio



Fuente: Estaciones meteorológicas – SENAMHI (2021)

Figura 2: Ubicación satelital de la laguna Singrenacocha





Fuente: Google Earth

Figura 3: Laguna Singrinacocha – Cusco



Fuente: Municipalidad Provincial de Marcapata - Portal web

Figura 4: Laguna Singrinacocha – Cusco



Fuente: Municipalidad Provincial de Marcapata - Portal Web



Figura 5: Laguna Singrinacocha – Cusco



Fuente: Municipalidad Provincial de Marcapata – Portal Web

Figura 6: Glaciar Huayruro - Cordillera Vilcanota



Fuente: INAIGEM



Figura 7: Capa de hielo del glaciar Quelccaya – Cordillera Vilcanota



Fuente: INAIGEM

Sin embargo, para una obtención de datos debemos de tomar en cuenta que la zona de estudio tiene un periodo climático en donde se definen 2 tipos de clima (secas y lluvia) en el periodo de 1 año.

Según el Programa de Adaptación al Cambio Climático & SENAMHI (2019) el periodo de lluvias y el periodo de estiaje son característicos en las zonas alto andinas (...) durante los meses de verano (diciembre-enero-febrero), se generan vientos del este los que favorecen el ingreso de masas de aire cargados de humedad procedentes de la Amazonía (...)

En la estación de otoño (...) al sur del Perú, predominan los vientos procedentes del Sur con escaso ingreso de humedad hacia las regiones de Cusco y Apurímac, incrementando los días con ausencia de nubes, cielo claro o despejado con escasa lluvia, dando inicio al periodo de estiaje caracterizado por una progresiva intensificación de heladas meteorológicas (temperatura del aire igual o menor a 0°C (...)).

Durante el invierno (junio-julio-agosto), los vientos predominantes en el territorio peruano son del Oeste, condicionando que la humedad sea mínima en la sierra sur sobre las zonas alto andinas, en consecuencia, los cielos están generalmente despejados con una mayor intensidad y frecuencia de heladas.



Todo esto, nos sirve para observar que la zona en la cual se está trabajando tiene un clima particular en que probablemente en ciertos meses aumente la escorrentía como en otros no, tomando en cuenta la información suministrada por las estaciones meteorológicas.

De acuerdo a SENAMHI (2017) las estaciones hidrometeorológicas del sur tienen una ausencia de información hasta el año 2019 respecto a la zona de estudio.

Es importante resaltar que la información que se expone en los anteriores párrafos es importante para la prevención y el beneficio de las comunidades de Yanancancha y Maramp'quí, siendo estas las beneficiarias de la laguna a investigar.

La problemática de la zona a estudiar que es la laguna de Singrinacocha ubicada en la subcuenca de Yavero, es la ausencia de información de la escorrentía superficial en esta, junto con la información meteorológica presente en la zona.

Por lo que por medio de la presente investigación se obtendrá información de caudales medios mensuales por medio de modelos hidrológicos convencionales mencionados calibrados eficientemente para que con dicho pronóstico se logre una prevención respecto al comportamiento de la laguna con los datos proporcionados y recolectados (aforamientos, precipitaciones, temperaturas y evapotranspiración).

La figura 8 muestra la ubicación geográfica del ámbito de influencia de la cordillera Vilcanota y como esta abarca los departamentos de Cusco, Madre de Dios y Puno.



Figura 8: Ubicación geográfica del ámbito de influencia de la cordillera Vilcanota con señalización del lugar de estudio



Fuente: Inventario Nacional de Glaciares – Las cordilleras glaciales del Perú



1.1.2. Formulación interrogativa del problema

1.1.2.1. Formulación interrogativa del problema en general.

- ¿Permiten los modelos hidrológicos estimar eficientemente los caudales medios mensuales en la cuenca de la laguna de Singrinacocha del distrito de Marcapata, provincia de Quispicanchis y departamento de Cusco?

1.1.2.2. Formulación interrogativa de los problemas específicos.

- ¿Cómo serán los parámetros geomorfológicos de la cuenca de la laguna Singrinacocha del distrito de Marcapata, provincia de Quispicanchis y departamento de Cusco?

- ¿Cómo serán las variables meteorológicas de la cuenca de la laguna Singrinacocha distrito de Marcapata, provincia de Quispicanchis y departamento de Cusco determinadas estadísticamente?

- ¿Cuáles serán los modelos hidrológicos más eficientes aplicados a la cuenca de la laguna Singrinacocha del distrito de Marcapata, provincia de Quispicanchis y departamento de Cusco?

1.2. Justificación e importancia de la investigación.

1.2.1. Justificación técnica

Esta investigación contribuirá en el conocimiento de datos hidrológicos y aporta una valiosa información sobre los caudales medios mensuales en la laguna Singrinacocha.

Se desarrollará en el ámbito de Hidrología e Hidráulica en Ingeniería. El plantear la aplicación de modelos hidrológicos y su análisis entre estos puede influir positivamente en la predicción acertada y concreta de la generación de caudales mensuales en nuestra zona de estudio, asegurando de esta manera las previsiones y la cantidad de caudal y precipitación atípicos en esta zona para beneficio social al proporcionar información que podrán ser referentes para una futura investigación.

Tomando en cuenta este propósito y en base a investigaciones anteriores, en este trabajo de tesis se acometerá determinar la estimación de los caudales medios mensuales en la laguna Singrinacocha de la subcuenca de Yavero en la cordillera Vilcanota – cuenca de Urubamba.

Se ejecutó dicha evaluación aplicando 2 modelamientos hidrológicos (GR2M Y Lutz Scholz).

1.2.2. Justificación social

La zona en donde se realizó el trabajo de investigación cuenta con 2 comunidades accesorias y dueñas de esta que son Yanacancha del distrito de Marcapata y la comunidad de



Maranp'aquí (dividida a partes iguales entre ambas) sin embargo la comunidad de Yanacancha es la que tiene un acceso más directo y cercano a la laguna, y por lo tanto la que más frecuenta el lugar. (Municipalidad Provincial de Marcapata, 2020)

El presente trabajo de investigación se enfoca en el aporte y la prevención de información hidrológica acerca de los caudales medios mensuales anómalos de la laguna Singrinacocha para con estas 2 comunidades, esto debido a que ambas tienen un uso de agua para ganadería y uso doméstico, por lo que un indicio de disminución o aumento del volumen de agua de dicha laguna pueden afectar sus actividades y así, prevenir y aprovechar dicha investigación como aporte a futuras obras y decisiones por parte de ambas comunidades ya mencionada.

1.2.3. Justificación por viabilidad

Mediante este estudio se busca evaluar el comportamiento de la laguna Singrinacocha mediante modelos hidrológicos.

Los caudales medios mensuales generados por los modelos hidrológicos son escorrentía superficial y precipitaciones que afluyen a dicha zona de estudio, por lo que afecta directamente a su volumen si es que ocurre una escasez, o si es que aumenta la intensidad o la escorrentía de la zona.

1.2.4. Justificación por relevancia

Este estudio brindará un estudio científico porque sus resultados contribuirán a la ciencia y conocimiento. Además, que servirá como base para futuros estudios ya que ayudará mucho a los profesionales en Ingeniería Civil a que puedan tener datos acerca de la escorrentía que pueda tener la laguna Singrinacocha por medio de los modelos hidrológicos.

1.3. Limitaciones de la investigación

Esta investigación se enfoca en la modelación hidrológica de la cuenca de la laguna de Singrinacocha, para la generación de caudales medios mensuales.

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

Para acceder a los datos necesarios para la calibración y validación de los modelos hidrológicos se solicitaron datos al Plan MERISS que constan de 2 años de aforamiento en dicha cuenca, para la calibración y validación de los modelos hidrológicos y la aplicación de un software de programación para el acceso de 40 años de precipitaciones y temperaturas



(máximas y mínimas) mensuales del producto PISCO por medio de SENAMHI para la generación de caudales mensuales futuros, además de los datos del satélite GIOVANNI de la NASA.

Se aplicaron los modelos hidrológicos de Lutz Scholz calibrado estrictamente a la cuenca Vilcanota y el modelo hidrológico GR2M, requiriendo ambos de un mayor periodo de aforamiento, se recurrió a la aplicación de softwares estadísticos para la generación de caudales por medio de una regresión múltiple y así, observar un comportamiento más acertado respecto la cuenca de la laguna Singrinacocha.

Asimismo, se realizará con los datos de evapotranspiración potencial y temperatura del mismo producto PISCO.

1.4. Objetivo de la investigación

1.4.1. Objetivo general

- Determinar los caudales medios mensuales de la cuenca de la laguna de Singrinacocha del distrito de Marcapata, provincia de Quispicanchis y departamento de Cusco mediante modelos hidrológicos.

1.4.2. Objetivos específicos

- Caracterizar la cuenca de la laguna Singrinacocha del distrito de Marcapata, provincia de Quispicanchis y departamento de Cusco biofísicamente.
- Analizar las variables climáticas de la cuenca de la laguna Singrinacocha del distrito de Marcapata, provincia de Quispicanchis y departamento de Cusco.
- Modelar hidrológicamente la cuenca de la laguna Singrinacocha según los métodos GR2M y Lutz Scholz.



2. Capítulo II: Marco Teórico

2.1. Antecedentes de la tesis.

2.1.1. Antecedentes a nivel nacional.

2.1.1.1. Antecedente N°1.

De acuerdo con con la investigación presentada por Cruz Adrianzén & Romero Callo (2018) denominada “Análisis Comparativo De Los Modelos Lluvia-Escorrentía: GR2M y Lutz-Scholz Aplicados En La Subcuenca Del Rio Callazas” en la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas es que uno de los problemas más comunes en el modelado hidrológico distribuido en áreas remotas del altiplano andino es la limitada información hidrometeorológica, geológica, de cobertura vegetal y de uso del suelo.

Ante esta situación, el uso de modelos simplificados o agregados se presenta como una alternativa conveniente para análisis que no requieren escalas temporales acortadas como: Planificar, administrar y evaluar la disponibilidad de recursos hídricos a nivel mensual para actividades agrícolas, mineras y otras.

En este estudio, se aplicaron tres modelos mensuales de precipitación-escorrentía-agregado (Gr2m, Témez y Lutz Scholz) a la Cuenca del Altiplano Andino del río Carrazas y evaluamos la eficiencia hidrológica de estos modelos con un criterio estadístico (bondad). prueba de bondad de ajuste). Utilizando el factor de eficiencia de Nash como criterio principal, se encontró que el modelo Gr2m se ajusta mejor al comportamiento del tanque con un valor de 0.86, seguido del modelo de Lutz Scholz con 0.776 y el de Témez con 0.52.

Sus conclusiones fueron:

Los resultados obtenidos de la aplicación de los tres modelos en la cuenca del río Callazas evidencian que el modelo GR2m es el que simula mejor el proceso de transformación de lluvia en escorrentía, asimismo, es el más fácil de calibrar (tiene menos parámetros) y aplicar.

La representatividad del modelo GR2m es mucho mayor en los períodos de estiaje, en razón a la poca variabilidad de los flujos, pero esta variabilidad no se mantiene donde se tienen lecturas de caudales picos (periodos de lluvia: enero, febrero, marzo). En este caso los tres modelos no se ajustan correctamente a los valores extremos si no se aplican factores de corrección.

El modelo de Témez tiende a subestimar los caudales en los primeros meses de la simulación y sobreestimarlos en los periodos finales. Las acumulaciones en



los periodos de estiaje tienden a ser lineales y en los periodos húmedos no se ajusta muy bien a los picos, sino al promedio.

El vínculo entre este antecedente con la tesis presente, es que los modelos hidrológicos aplicados en la cuenca de dicha investigación son los modelos tentados a aplicarse en esta investigación por igual, en el cual, al ser de similar topografía como lo es el altiplano andino como lo es los andes en la laguna Singrinacocha, podría ser un referente para su desarrollo, siendo una relación directa a nuestra tesis y relevante en ejecución y metodología.

2.1.1.2. Antecedente N°2.

De acuerdo con la investigación presentada por Zapana Arpasi (2019) denominada “Estimación De Caudales Mediante La Aplicación De Modelos Hidrológicos Semidistribuidos Con La Plataforma Rs Minerve En La Cuenca Del Río Ramis” en la Universidad Nacional del Altiplano es que relata acerca de las incidencias hidrológicas que acontecen en cuencas pueden ser estudiadas a través de modelos hidrológicos que sintetizen y manifiesten diversos procesos acontecidos interiormente, no obstante, la escasa información de registro de datos hace atrayente la alternativa de emplear software y/o plataformas computacionales.

El propósito de la presente investigación es estimar los caudales mediante los modelos hidrológicos GR2M, HBV, y SAC-SMA, desde la perspectiva semidistribuida con la plataforma RS Minerve en la cuenca del río Ramis. Por lo cual se determinó las características de los parámetros geomorfológicos en la cuenca del río Ramis mediante el procesamiento del modelo de elevación digital STRM (Shuttle Radar Topography Mission) v3.0 arc 1, se realizó la interpolación de valores medios de precipitación y temperatura de registro diario del producto PISCO v2.1, el procesamiento se ejecutó en el software Hydraccess, donde se consideró los métodos de interpolación espacial (Polígono de Thiessen, IDW y Kriging).

Finalmente, se empleó la plataforma RS Minerve, donde se efectuó la calibración para el período 1981-2005 y la validación para el período 2006 - 2016, mediante el ajuste de los índices de parámetros estadísticos para cada modelo. Como resultados se obtuvo que la cuenca tiene un área total de 1569.05 km², un perímetro de 1392.58 km, una altitud media de 739.0 m.s.n.m. y la longitud del río principal es 326.85 km.

El modelo que presentó mejor desempeño en la plataforma RS Minerve fue el modelo SAC-SMA alcanzando valores eficientes en relación a la fase de calibración y



validación el cual obtuvo estadísticos de Nash (0.79, 0.79), Nash-ln (0.82, 0.87), Coeficiente de Pearson (0.89, 0.89), RRMSE (0.59, 0.58).

En consecuencia, la presente caracterización espacial de la cuenca del río Ramis pretende encaminar un punto de referencia en el balance hídrico y las medidas integrales en la gestión de los recursos hídricos.

Sus conclusiones son:

Se realizó la interpolación de los valores medios de la precipitación y temperatura, el cual analizó los datos del período (1981-2016) en las unidades de respuesta hidrológica URH (subcuencas) en la cuenca del río Ramis, esto permitió estimar el promedio de valores de interpolación del Polígono de Thiessen, IDW y Kriging 111

En el centroide de cada subcuenca generada en la cuenca del río Ramis, para una mejor simulación dentro del procesamiento de modelación hidrológica semidistribuida.

Se determinó las etapas de calibración y validación para los parámetros de los modelos GRJ, HBV, y SAC-SMA aplicados en la cuenca del río Ramis, estableciendo resultados en relación a los indicadores estadísticos los cuales muestran que el modelo GRJ en relación a las etapas de calibración y validación se obtuvo estadísticos de Nash (0.77, 0.79), Nash-ln (0.8, 0.88), coeficiente de Pearson (0.88, 0.89), RRMSE (0.62, 0.58).

El vínculo de este antecedente con nuestra tesis es que por medio de modelos hidrológicos semidistribuidos y en nuestro caso un modelo agregado (que es parte de los modelos determinísticos) observamos una correlación en el procesamiento respecto a una cuenca en la obtención de los parámetros geomorfológicos, por los cuales obtendremos y calibraremos adecuadamente los modelos hidrológicos, por lo que opinamos que esta investigación tiene una relevancia indirecta e influyente para nuestra investigación.

2.1.1.3. Antecedente N°3.

Según la investigación presentada por Aliaga & Araujo (2019) denominada "Modelación Hidrológica De La Cuenca Del Rio Huallaga, Aguas Arriba Del Punto De Control Santa Lorenza" en la Universidad Nacional Agraria La Molina se trata acerca de la evaluación y cuantificación de los recursos hídricos en el volumen y recencia de la cuenca del río Huaraga aguas arriba del aforo de Santa Lorenza.

Cabe señalar que esta cuenca se dividió en 16 subcuencas o áreas de aporte. Nótese que cada subcuenca se divide en zonas altitudinales y estas se encuentran rodeadas de afluentes (afluentes) que desembocan en el río Huallaga.



Antes de ejecutar las simulaciones, procesamos los datos pluviométricos e hidrométricos para ver si había saltos, tendencias o discrepancias. Las simulaciones se realizaron utilizando los modelos hidrológicos de precipitación-escorrentía SACSMA, HBV y GR2M del sistema informático RS Minerve.

La calibración utiliza datos de nivel de agua de la estación de agua Santa Lorenza para el período del 2 de julio de 2015 al 30 de septiembre de 2016. Como resultado, se validaron con datos de la estación hidrológica Puente Rachia, que estuvo en operación hasta finales de 1999.

El período de validez es del 1 de marzo de 1996 al 31 de septiembre de 1999, con frecuencia de salida mensual. Las medidas de eficiencia como el coeficiente de Nash-Sutcliffe, el coeficiente de correlación de Pearson, la eficiencia de Kling-Gupta y el error medio normalizado se utilizan para evaluar la concordancia entre los datos reales y los datos simulados por el modelo, lo que arroja resultados satisfactorios de Got. Ahora disponible en los modelos GR2M y HBV.

En las pruebas de calibración, estos modelos lograron los índices estadísticos de bondad de ajuste más altos con coeficientes de Nash superiores a 0,68 y coeficientes de correlación de Pearson superiores a 0,88. Se aceptan ambos modelos precipitación-escorrentía, pero se elige el modelo GR2M por su sencillez y facilidad de implementación, en caso contrario se utiliza el modelo HBV.

Para la obtención de los datos de disponibilidad de agua se utilizó el modelo GR2M con frecuencias de salida mensual desde 1996 hasta 2016 arrojando un caudal promedio de 26,85 m³/s y un caudal sostenido del 75% de 7,0 m³/s campo de arroz.

La relación entre la presente investigación y la esta es la aplicación del mismo modelo GR2M a una cuenca para la cuantificación de los recursos hídricos, en nuestro caso, la relevancia de obtener los caudales simulados para una referencia respecto a nuestra zona de estudio, por lo que definimos que es una relación indirecta pero relevante.

2.1.2. Antecedentes a nivel internacional.

2.1.2.1. Antecedente N°1.

De acuerdo a la investigación presentada por Quichimbo M. (2019) denominada “Estudio Comparativo De Los Modelos Nam Y Dbmm Aplicado Al Pronóstico De Caudales” en la Universidad de Cuenca es que se analizan dos sistemas de modelado hidrológico utilizados para la predicción y alerta temprana de eventos extremos.



Primero se realizó una caracterización de los sistemas de modelado y luego estos fueron comparados en base a la capacidad predictiva de los esquemas de validación de los modelos encontrados.

Este estudio es parte de la aplicación del modelo a la Cuenca del Paute, donde se tiene un registro histórico diario y las condiciones climáticas no son estacionarias. Los dos modelos representan un sistema de modelado conceptual (NAM) y un sistema de modelado híbrido (DBM), lo que da como resultado una mejor descripción de los sistemas físicos y un mejor rendimiento en el modelo DBM.

La relación de esta investigación con la nuestra es la aplicación del pronóstico de caudales respecto a la zona de nuestra investigación, en este caso nosotros realizamos un registro mensual, el concepto del sistema de modelado es muy similar en nuestro caso para obtener los parámetros geomorfológicos, por lo que deducimos que la información de esta investigación es de carácter relevante a la nuestra.

2.1.2.2. Antecedente N°2.

El resumen de la tesis de pregrado denominada “Determinación De La Incertidumbre En La Aplicación Del Modelo De Simulación Hidrológica Gr4j, En Cuencas Pluviales No Controladas En Chile” presentada por Salvatierra Seguel (2018) en la Universidad de Chile es la necesidad de establecer técnicas que permitan un desarrollo sostenible de la gestión del recurso hídrico, siendo fundamental en la época moderna para los modelos hidrológicos como alternativas descriptivas a las leyes y principios que rigen los fenómenos naturales.

La investigación y cuantificación de las incertidumbres asociadas con las simulaciones que el modelo realmente realiza son esenciales para determinar la verdadera extensión de cualquier modelo hidrológico en particular.

Este trabajo aborda la investigación de las incertidumbres asociadas a los parámetros de operación del modelo GR4J cuando se aplica a una cuenca hidrográfica no controlada en Chile.

Se trabajó en ocho cuencas pluviométricas de la zona centro-sur de Chile donde se realizará la calibración y validación del modelo, dotando a la base de datos de parámetros que permitan el correcto funcionamiento del modelo GR4J en dichas cuencas.

Luego se presentaron índices geomorfológicos; Esto permite la estimación de los parámetros del modelo considerando únicamente las características geomorfológicas de



la cuenca, y no necesita ser utilizado para lograr la estimación de parámetros analíticos y la información de fluorescencia observada.

Para el análisis de incertidumbre de las cuencas no manejadas, la Cuenca Cauquenes de Arayán y la Cuenca Levu de Las Corrientes, se utilizaron los índices geomorfológicos generados para estimar los parámetros de operación del modelo GR4J, así realizar un análisis comparativo de las sensibilidades de los parámetros del modelo relacionados con las corrientes observadas en las cuencas hidrográficas seleccionadas enumeradas en los flujos generados a partir de índices topográficos producen una aproximación aceptable a la realidad y exhiben una banda de incertidumbre general que abarca tanto los flujos medios mensuales más altos como los más bajos observados explique que el agua se ha movido a la superficie.

Con base en lo anterior, la relación de la banda de incertidumbre para el caudal generado a partir del valor esperado del índice topográfico no supera el 2% y el 36% para el tiempo base del hidrograma UH (Unidad de respuesta Hidrológica). En relación a la capacidad máxima de tránsito del canal.

La relación entre la presente investigación y la ya mencionada es que, aun en la aplicación de modelos GR este caso se basa directamente a casos diarios mientras que el nuestro es de registros mensuales, trata directamente de cuencas no manejadas, en los cuales los índices que tomamos respecto al modelo son relevantes y respecto a la geografía en la cual esta investigación es aplicada, será un factor importante a tomar en cuenta, por lo que definimos que esta investigación tiene una relación directa y es relevante la información procesada.

2.1.2.3. Antecedente N°3.

El resumen de la tesis de pregrado denominada “Análisis Hidrológico De La Cuenca Del Río Toyogres Utilizando El Modelo Hec-Hms” presentado por Umaña Quirós (2014) en el Instituto Tecnológico de Costa Rica – Escuela de ingeniería en construcción es la aplicación del modelo hidrológico HEC-HMS para el análisis de la cuenca del río Toyogre en Cartago, Costa Rica.

La cuenca del río Toyogre representa un caso de estudio relevante ya que forma parte del área metropolitana de la ciudad de Cartago. Tiene un área de captación de 12,27 km², de los cuales cerca del 0% es impermeable y tiene una pendiente promedio del 17%. La parte superior es principalmente tierra agrícola y la parte sur se concentra en áreas urbanas.



El modelo fue calibrado usando 10 tormentas que ocurrieron entre septiembre y octubre de 2011. Se utilizaron cinco tormentas de octubre a noviembre de 2011 para la validación y se evaluaron un total de nueve escenarios operativos, combinando tres modelos de pérdida por filtración y tres funciones de transferencia de precipitación. C2 (síntesis de Soil Conservation Service Curve Number Loss Model y Snyder Synthetic Unit Hydrograph Transformation Function) dio los resultados más satisfactorios, con una eficiencia NS promedio para la calibración de $0,75 \pm 0,15$ y una eficiencia NS promedio para la validación de $0,81 \pm 0,10$.

Solo se utilizó el escenario C2 para el análisis de sensibilidad. La sensibilidad en este caso se rige por el parámetro del número de curva, pero la primera abstracción resultó ser la menos sensible.

Se concluyó que no existía un óptimo único para los parámetros calibrados y que estos estaban relacionados tanto con las características de cada tormenta como con las condiciones previas de humedad del suelo.

Este antecedente tiene relación con nuestra investigación respecto al análisis hidrológico que se tiene respecto a la cuenca del río Toyogre y en nuestro caso es respecto al caudal de la cuenca de la laguna Singrinacocha que conlleva el río Mapacho, esto para el interés de los lugareños en esa zona, esto genera que haya también una investigación respecto a la eficiencia del modelo hidrológico aplicado, por lo que consideramos esta investigación como relevante.

2.2. Aspectos teóricos pertinentes.

2.2.1. Ciclo hidrológico

Según Villón Bejar (2011) El ciclo del agua se refiere a todos los cambios que sufre el agua en la naturaleza, tanto en su estado (sólido, líquido, gaseoso) como en su forma (aguas superficiales, aguas subterráneas, etc.).

Los ciclos del agua suelen ser irregulares, y son precisamente estas irregularidades con las que luchan los humanos.

De igual forma, según Ven Te Chow (1994), El ciclo hidrológico es el término que se le da a la circulación del agua a través de los diversos elementos presentes en la hidrosfera, un espacio que se extiende desde 15 kilómetros por encima de la atmósfera hasta 1 kilómetro por debajo de la litosfera.

El ciclo del agua es fundamental para el estudio de la hidrología y proporciona una base para comprender los diversos fenómenos que surgen de él.



El vapor de agua es transportado y sube a la atmósfera donde se condensa y se deposita en la tierra y en el océano.

El agua de lluvia está bloqueada por la vegetación, fluye sobre el suelo, penetra, fluye bajo tierra como agua subterránea y se descarga en los ríos como escorrentía superficial. La mayor parte del agua y la escorrentía superficial que se captura regresa a la atmósfera por evaporación.

El agua infiltrada puede filtrarse profundamente para reponer el agua subterránea, donde emerge en manantiales, se desliza en los ríos para formar escorrentías superficiales y finalmente fluye hacia el océano o hacia la atmósfera a medida que continúa el ciclo del agua.

De esta manera podemos concluir que lo que respecta al ciclo hidrológico será referido a cambios que sufre el agua en la naturaleza según el estado en el que se encuentra, así como su forma, tomando en cuenta para nuestra investigación la primera definición.

Se muestra la figura 9 describiendo el ciclo hidrológico del agua y los estados del agua.

Figura 9: Ciclo hidrológico



Fuente: Google Imagen

2.2.1.1. Ciclo hidrológico sistematizado.

El ciclo del agua y sus componentes, como la evaporación y la escorrentía, pueden representarse como un subsistema.

Un subsistema para todo el ciclo. Podemos analizar los subsistemas anteriores por separado y combinar los resultados en función de las interacciones de los fenómenos analizados.



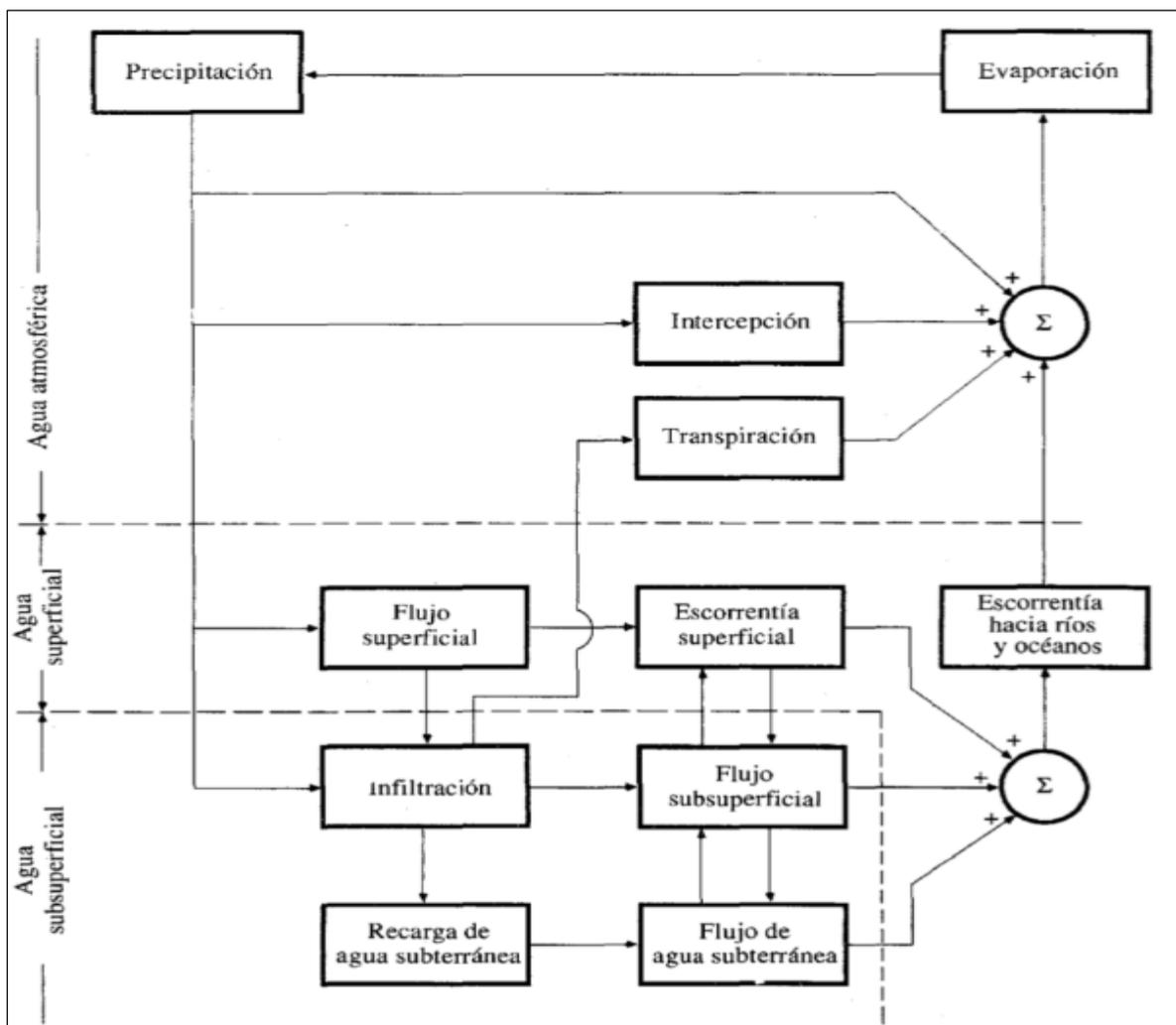
La Figura No. 10 muestra un esquema del ciclo del agua, con líneas nítidas que indican los tres subsistemas que existen en la hidrosfera. Sistema de agua superficial. Esto incluye los procesos de corrientes superficiales, escorrentía superficial, fuentes de agua subterránea y subterránea, y escorrentía en ríos y océanos.

Finalmente, se introduce el sistema de agua subterránea, incluidos los procesos de filtración y flujo de agua subterránea.

Cabe señalar que el flujo de agua subterránea ocurre en capas profundas de suelo y roca, y el flujo de agua subterránea ocurre en capas de suelo cerca de la superficie.

Se muestra la figura 10 respecto al ciclo hidrológico sistematizado en el cual intervienen la precipitación, la evaporación y lo que influye la escorrentía hacia las fuentes de agua principales.

Figura 10: Ciclo hidrológico sistematizado



Fuente: Ven Te Chow (1994)



2.2.1.2. *Modelamiento de un sistema hidrológico.*

Según Ven Te Chow (1994) El propósito de analizar un sistema hidrológico es estudiar su comportamiento y predecir su desempeño.

Sin embargo, necesitamos aproximar tanto las entradas como las salidas del sistema y la estructura general, y para eso necesitamos modelar estas variables hidrológicas de manera sistemática.

Los modelos hidrológicos se dividen en dos categorías:

- **Modelos a escala:** representan sistemas a escala
- **Modelos abstractos:** Representar sistemas en forma matemática

(Ven Te Chow, 1994)

Los sistemas abstractos describen el sistema en forma matemática el comportamiento del sistema se describe mediante un conjunto de ecuaciones que relacionan las variables de entrada y salida.

Estas cantidades, que pueden ser funciones del espacio y el tiempo, pueden ser variables aleatorias que no tienen un valor fijo en ningún punto dado del espacio y el tiempo, pero que se describen mediante distribuciones de probabilidad.

2.2.1.3. *Atmósfera.*

Según Cuevas Hernandez (2021) Está formado por gases y partículas sólidas y líquidas en suspensión que son atraídas por la gravedad de la tierra.

Asimismo, Cuevas Hernandez (2021) también estipula que es el lugar de todos los fenómenos climáticos y meteorológicos que afectan al planeta, regula la entrada y salida de energía de la Tierra y es el principal medio de transferencia de calor además de que la atmósfera tiene una composición uniforme en las primeras capas y se estructura en capas horizontales con características definidas.

Para Quintero Plaza (2016), es la que regula la temperatura de la tierra evitando que los rayos del sol incidan directamente sobre la superficie terrestre, evitando la pérdida de calor durante la noche.

Por la noche actúa como un techo de cristal, reteniendo el calor durante el día y evitando que se pierda en el espacio.



Compuesta por la exósfera, la termósfera, la mesósfera, la estratósfera y la tropósfera en ese orden establecido, genera una capa de protección junto con las partículas de ozono respecto a los rayos emitidos por el sol.

Superficie terrestre.

Según Murcia (2012) También se le llama corteza terrestre, es la parte más superficial de la tierra. Las rocas que lo componen son principalmente oxígeno, silicio, aluminio y hierro.

Se pueden distinguir dos tipos de corteza:

- Corteza continental: su espesor es de unos setenta kilómetros, y la roca más común es el granito.
- Corteza oceánica: Su espesor es de unos diez kilómetros y la roca más común es el basalto.

(Murcia, 2012)

2.2.1.4.Temperatura.

Es una cantidad que representa el estado térmico (en este caso, la atmósfera), por lo que indica la cantidad de energía interna que puede existir para medirlo. SENAMHI (2019)

2.2.1.5.Humedad.

Contenido de vapor de agua en el aire. Se expresa en humedad absoluta, específica o relación de mezcla.

Por lo general, solo podemos referirnos a la humedad relativa que indica el grado de saturación de la atmósfera.

SENAMHI (2019)

2.2.1.6.Infiltración natural de escorrentía.

La infiltración en el suelo según Ordoñez Gálvez (2011) ocurre por la acción combinada de dos fuerzas llamadas gravedad y capilaridad, que pueden actuar en la misma dirección o en direcciones opuestas según la situación.

El grado de infiltración y por tanto la nutrición del subsuelo se ve afectado por dos tipos de condiciones; precipitaciones y condiciones del terreno.

Asimismo, Ven Te Chow (1994) dicta que la infiltración es el proceso por el cual el agua penetra desde la superficie de la tierra hacia las capas más profundas del suelo.



Este proceso está influenciado por muchos factores, como la naturaleza de la superficie, así como la cobertura vegetal, las propiedades del suelo, entre las que se encuentran la porosidad, la humedad y el potencial hidráulico.

Sin embargo, como es sabido, el suelo está formado por capas que tienen diferentes propiedades físicas en cada “horizonte”, por lo que la infiltración se considera un proceso complejo.

Tomando en cuenta estas 2 definiciones, escogeremos la segunda correspondiente a Ven Te Chow (1994) para el desarrollo de nuestra investigación respecto a que siendo la infiltración una variable dependiente de la intensidad de lluvia.

En el trabajo de Gonzaga V.(2020) Se especifica el cálculo como:

$$Si i < f_p * f = i$$

Ecuación 1

Donde:

F= Infiltración expresada como lámina por unidad de tiempo (mm/h)

F_p= Capacidad de infiltración

I= Intensidad de lluvia.

Aparicio Mijares (1992, p.178) señala que después de las inundaciones, cuando las precipitaciones aún son altas, la capilaridad es menos importante que las fuerzas de gravedad porque aumenta la humedad del suelo y disminuye la capacidad de infiltración. Además, en estas condiciones, la infiltración se vuelve independiente de los cambios temporales en la intensidad de la lluvia hasta que supera la capacidad de carga del suelo.

Es así, que el suelo debe estar seco y la capacidad de infiltración debe ser mayor que la intensidad de la lluvia para que la tasa de infiltración corresponda a la cantidad total de lluvia.

Durante la escorrentía de una tormenta, el suelo alcanza la saturación, después de lo cual ocurre la escorrentía superficial, conocida como tiempo de estancamiento, indicado como t_p.



Por las definiciones dadas, tomaremos como dato relevante esta última definición respecto a la intensidad de precipitación dada que será ejecutada en nuestro lugar de investigación.

2.2.1.7. Infiltraciones de corrientes superficiales.

Según Ordoñez Gálvez (2011) Los ríos generalmente se dividen en dos grupos: corrientes y arroyos.

En el primero, el nivel del agua superficial es más alto que el nivel libre del agua subterránea y el agua ingresa a la zona de saturación del flujo superficial.

En cambio, un arroyo se denomina drenaje si su superficie se encuentra por debajo del nivel freático y por tanto recibe un aporte de aguas subterráneas del manto del talud.

2.2.1.8. Escorrentía Superficial

Según Horton (1993) Ignorando la interceptación de la vegetación, la escorrentía superficial es la porción de precipitación que no es absorbida por el suelo a través de la filtración.

Si el suelo tiene una capacidad de infiltración expresada en pulgadas de absorción por hora, y la intensidad de precipitación es menor a la infiltración, la precipitación será absorbida completamente y no habrá escorrentía superficial.

Sin embargo, (Saézn, 1999) Señala que la escorrentía superficial incluye el exceso de precipitación, que se escurre después de fuertes lluvias y se mueve libremente sobre la superficie, y la escorrentía fluvial, que se alimenta del exceso de precipitación y de las aguas subterráneas.

Asimismo, aplicaremos el segundo concepto para nuestra investigación, siendo esta relevante y mejor aplicada que relaciona los conceptos anteriores ya mostrados.

- Variables características de la escorrentía superficial.

- Caudal.
- Coeficiente de escorrentía superficial
- Tiempo de concentración
- Periodo de retorno
- Nivel de agua



2.2.1.9. Escorrentía subterránea.

Felipe del Angel (2015) especifica que es lo que se transporta al manto subterráneo debido a la filtración profunda de agua que ha penetrado en el suelo y luego generalmente fluye hacia las corrientes de los ríos.

La precipitación que contribuye directamente a la escorrentía superficial se denomina exceso de precipitación.

La escorrentía subterránea y la parte retardada de la escorrentía subterránea constituyen la escorrentía de fondo del río.

La porción de escorrentía que ingresa rápidamente a los canales de los ríos se denomina escorrentía directa y es igual a la suma de la escorrentía terrestre y la precipitación que cae directamente en el canal.

2.2.1.10. Recargas o cosecha de aguas.

Según (Ordoñez Gálvez, 2011) es la cantidad de agua que se utiliza para riego en la región es la parte que fluye desde la superficie hasta que ingresa a las capas subterráneas y forma las aguas subterráneas, como se mencionó anteriormente.

La precipitación y el proceso de infiltración de cada tipo de suelo o los mantiene en agua y así contribuye a un río, laguna o lago, o la misma inundación superficial de precipitación produce la misma acumulación mencionada.

Se muestra la figura 11 respecto a los puntos de recarga ya mencionados en las zonas altoandinas del Perú.

Figura 11: Puntos de recarga, Qochas o Puquio

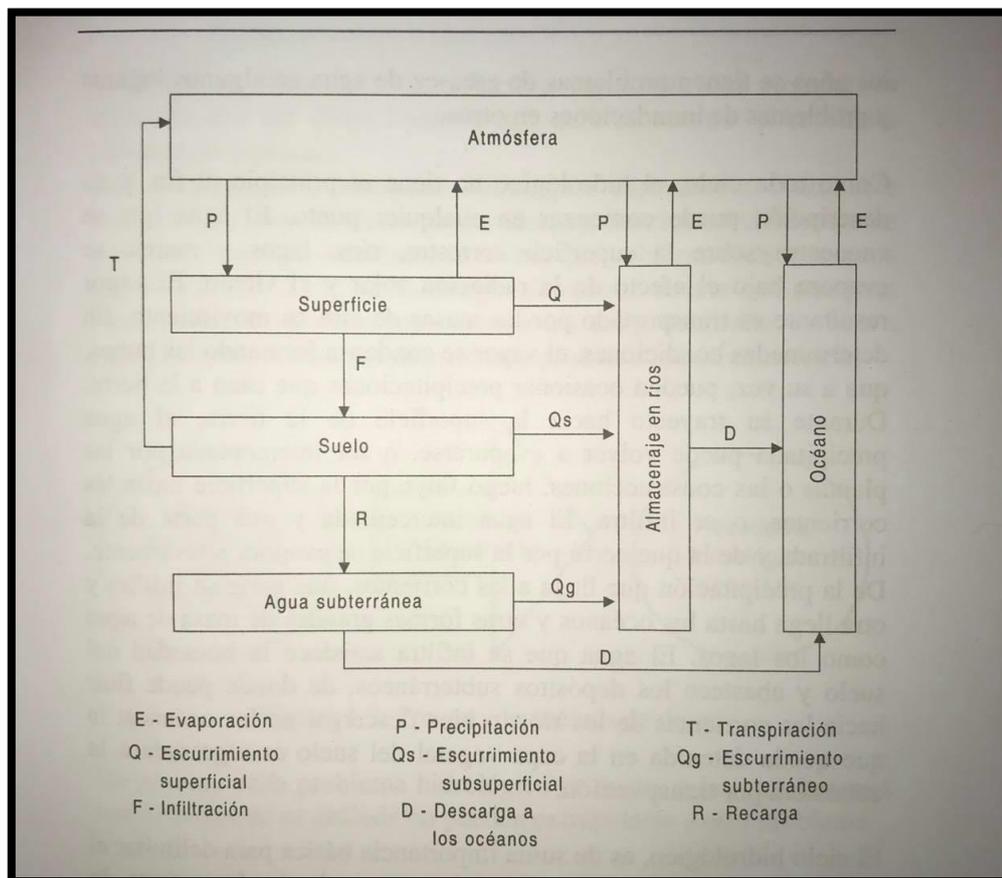


Fuente: Plan MERISS

2.2.1.11. Representación cualitativa del ciclo

Se observa la figura 12 relacionando una representación cualitativa del ciclo hidrológico tomando en cuenta la infiltración, la descarga, la recarga y la transpiración en dicho ciclo.

Figura 12: Representación cualitativa del ciclo



Fuente: Hidrología - Villón Bejar

2.2.2. Parámetros meteorológicos.

2.2.2.1. Medidas pluviométricas.

Según Bateman (2017) podemos definir que la lluvia es una medida de volumen por unidad de área, por lo que se puede medir por la altura del agua.

También puede considerarse cuánta agua (mm) se puede acumular en un área determinada (m²).



2.2.2.2. *Precipitación.*

Basándonos en lo que dice Ven Te Chow (1994) define que la precipitación incluye lluvia, nieve y otros procesos que hacen que el agua caiga a la superficie, como el granizo y la aguanieve. Cuando ocurre la precipitación, los cuerpos de agua se elevan en la atmósfera, se enfrían y condensan parte del agua.

Los tres mecanismos principales del levantamiento de masas de aire son el levantamiento frontal, elevación del terreno. Esto hace que la masa de aire se eleve y fluya sobre la cordillera, y elevación convectiva.

El aire es empujado hacia arriba por convección por el medio de la celda de una tormenta.

La celda convectiva surge del calor de la superficie que provoca inestabilidad vertical en el aire húmedo y se sustenta en el calor latente de vaporización que se libera cuando el vapor de agua se eleva y se condensa.

A medida que el aire sube y se enfría, el agua se condensa de un estado de vapor a un estado líquido.

Si la temperatura está por debajo del punto de congelación, se forman cristales de hielo. La condensación requiere un huevo, llamado núcleo de condensación, alrededor del cual las moléculas de agua pueden unirse o nuclearse.

Algunas partículas de polvo en el aire pueden actuar como núcleos de condensación: Las partículas que contienen iones actúan como núcleos porque los iones atraen electrostáticamente moléculas de agua polarizadas.

Los iones atmosféricos incluyen partículas de sal producidas por la evaporación de la espuma del mar y compuestos de azufre y nitrógeno producidos por la combustión.

Las pequeñas gotas de agua crecen al condensarse y golpear a las más cercanas a ellas mientras se mueven a través del remolino de aire hasta que son lo suficientemente grandes como para que la gravedad supere la fuerza de fricción y las haga caer cuando chocan con otras y comienzan a estirarse. cae en el camino hacia abajo.

Sin embargo, a medida que la gota cae, el agua se evapora de su superficie y se reduce de tamaño, lo que le permite volver a reducirse al tamaño de un aerosol y moverse hacia arriba a través de la turbulencia en la nube.



Según Linsley Kohler (1975) para que se dé la precipitación, se requiere un mecanismo para enfriar el aire hasta el punto en que alcance o se acerque a la saturación.

A medida que las masas de aire se elevan, logran el enfriamiento masivo necesario para producir cantidades significativas de precipitación.

Este fenómeno es causado por sistemas colectivos o convergentes causados por radiación desigual, o barreras topográficas, que producen calentamiento o enfriamiento de la superficie terrestre y la atmósfera.

Existen tres mecanismos principales para elevar masas de aire:

- **Elevación frontal:** El aire caliente se eleva sobre el aire frío a través de un pasaje frontal.
- **Elevación orográfica:** la masa de aire asciende a su paso por las dorsales.
- **Elevación convectiva:** el aire es atraído por convección, son causados por el calor superficial, lo que crea inestabilidad vertical del aire húmedo, son liberados por calor latente de evaporación al ascender y condensar vapor de agua.

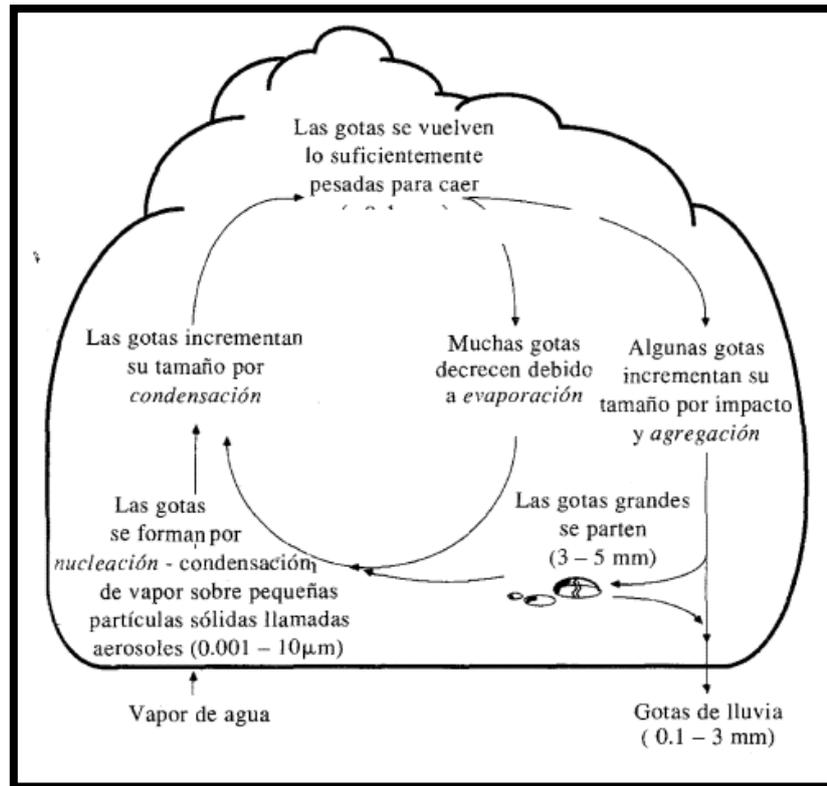
Se observan las figuras 13 y 14 respecto a la precipitación formada en las nubes y como el choque térmico forman dichas gotas para su ejecución.

Figura 13: Precipitación



Fuente: Google imágenes

Figura 14: Formación de precipitación en las nubes



Fuente: Hidrología Aplicada (1994)

2.2.2.3. Retención.

Según Plan MERISS (1980) esta se mide la extensión de los reservorios naturales: acuíferos potenciales, lagunas, humedales, montañas cubiertas de nieve en el área de estudio y su área multiplicada por sus respectivos cuerpos de agua.

La suma de los volúmenes individuales es la superficie del agua de toda la cuenca. Los resultados indican la retención total de la cuenca "R" en (mm/año) para el año promedio. Esto es, por definición, igual al gasto total G durante la estación seca y también al insumo "A" durante la estación de lluvias.

Así, esta se define bajo las siguientes fórmulas:

$$R = \sum \frac{R_n}{A}$$

Ecuación 2



$$R_n = C M_i - P E_i$$

Ecuación 3

$$C M_i = P E_i + G_i + A_i$$

Ecuación 4

Donde:

$C M_i$ = Caudal mensual

$P E_i$ = Precipitación efectiva mensual

G_i = Gasto de la retención

A_i = Abastecimiento de la retención

R_n = Retención

A = Área

2.2.2.4. Coeficiente de escurrimiento.

Según Plan MERISS (1980) la literatura profesional muestra varias referencias para la estimación del coeficiente de escurrimiento “C”. Aplicando estos coeficientes hay que distinguir entre el caso de lluvias torrenciales para el cálculo de avenidas y el caso del caudal anual determinado a partir de la precipitación total anual.

2.2.2.5. Coeficiente de agotamiento.

Según Plan MERISS (1980) para los ríos en la sierra que han sido analizados, el valor de “a” inicial es hasta dos veces más grande que el “a” final.

Este fenómeno se explica por el agotamiento más rápido de los almacenes hídricos a corto plazo, por ejemplo, la retención por interceptación y en lagunas que tienen descargas más elevadas durante un nivel más alto.

Generando, por ejemplo; los caudales producidos por el deshielo de nevados temporales, se puede demostrar que este tipo de almacén hídrico tiene también un valor “a” muy importante que disminuye con su agotamiento progresivo.



La contribución de los acuíferos es muy equilibrada y gana mayor importancia después del agotamiento parcial de otros almacenes.

2.2.2.6. Transpiración.

En la definición de la Universidad Nacional de la provincia de Buenos Aires (2016) es un proceso físico-biológico en el que el agua es metabolizada por las plantas para pasar de un estado líquido a gaseoso e ingresar a la atmósfera.

Es esencialmente el mismo proceso físico que la evaporación de las plantas, excepto que la superficie de la que emergen las moléculas líquidas es la superficie de la hoja en lugar de agua libre.

2.2.2.7. Evaporación.

Según Linsley Kohler (1975) el proceso por el cual el agua líquida se convierte en vapor se llama evaporación. Las moléculas de agua que tienen suficiente energía cinética para vencer las fuerzas gravitatorias que tienden a mantenerlas en la masa líquida son arrojadas a la superficie del agua siendo esta evaporación el agua perdida en la superficie del suelo.

2.2.2.8. Evapotranspiración.

Basándonos en lo que dice Linsley Kohler (1975) Es la determinación de la pérdida total de agua (o evapotranspiración), evaporación de superficies de agua, suelo, nieve, hielo y otras superficies, y transpiración.

La cantidad de agua que sube a la atmósfera (y luego se convierte en precipitación) tanto por evaporación como por transpiración se llama evapotranspiración verdadera, y es la suma de la cantidad de vapor de agua que pasa a través del suelo y las plantas durante un período de tiempo.

De la misma manera Saénz (1999), define que la evapotranspiración es la combinación de dos procesos, la evaporación y la transpiración, esta última definida como la pérdida de agua en forma de vapor a la atmósfera como resultado de la acción física y fisiológica de las plantas, ambos procesos expresados en milímetros por unidad meteorológica.

Señala que existen 2 tipos de evapotranspiración:

- **Evapotranspiración potencial:** definida como la pérdida de agua observada en una superficie líquida o sólida saturada debido a la evaporación y la transpiración de las plantas que ocurriría si el suelo estuviera constantemente bien regado, ya sea en condiciones óptimas.



- **Evapotranspiración real:** La pérdida de agua observada en una superficie líquida o sólida saturada en condiciones típicas de humedad atmosférica y del suelo debido a los fenómenos de evaporación y transpiración de las plantas.

Para la correcta determinación y aplicación de este parámetro, se tomará en cuenta la segunda definición para esta investigación, basándonos en la relevancia que implica su información y la guía correcta para el futuro producto generado por medio de esta tesis y tomando en cuenta la definición de ETP para nuestra investigación.

Es así, que observamos deben de existir métodos para su obtención y su posterior registro académico.

- **Proceso de cálculo de ETP.**

o **Método de Thornthwaite.**

Es un método desarrollado en 1944 y cálculo el uso consuntivo mensual como una función de temperaturas medias mensuales:

$$A = 1.6 * K_a \left(\frac{10 * T_j}{I} \right)^a$$

Ecuación 5

donde

U_j = uso consuntivo en el mes j , en cm.

T_j = temperatura media en el mes j , en °C.

a, I = constantes.

K_a = constante que depende de la latitud y el mes del año

Las constantes I (índice de eficiencia de temperatura) y “ a ” se calculan de la siguiente manera:

$$I = \sum_{j=1}^{12} i_j$$

Ecuación 6

Donde:

$$i_j = \left(\frac{T_j}{5} \right)^{1.514}$$

J = número de mes

(Aparicio Mijares, 1992)



○ **Método Hargreaves por radiación.**

Según Aparicio Mijares (1992) 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:

$$RMM = Ra * DM$$

Ecuación 7

Donde:

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

Para obtener la radiación extraterrestre diaria usamos la tabla 1:

Tabla 1: 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 Bejar (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:

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

Ecuación 8



Donde:

- RMM = Radiación extraterrestre equivalente mensual.
- n = Horas de sol media diaria
- DM = Días del mes de interés.

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.

En la tabla 2 se muestran las tablas de horas sol media diarias que se toman como referencia:

Tabla 2: 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 Bejar (2002)

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

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

Ecuación 9

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:



$$ETP = 0.0075 * RSM * TM * FA$$

Ecuación 10

Donde:

- ETP= Evapotranspiración.
- H = Altura media de la cuenca (m.s.n.m).
- TM= Temperatura media (F°)

(Villón Bejar, Hidrología, 2011)

o **Método de Blaney-Criddle.**

Según Aparicio Mijare (1992) en este método se toma en cuenta, además de la temperatura y las horas de sol diarias, el tipo de cultivo, la duración de su ciclo vegetativo, la temporada de siembra y la zona.

El ciclo vegetativo de un cultivo es el tiempo que transcurre entre la siembra y la cosecha y, por supuesto, varía de cultivo a cultivo. En la tabla 4.4 se presentan los ciclos vegetativos de algunos cultivos comunes en México.

Si se desea estimar la evapotranspiración durante un ciclo vegetativo completo, se puede emplear la fórmula:

$$E_t = K_g * F$$

Ecuación 11

Donde:

- El = evapotranspiración durante el ciclo vegetativo, cm.
- F = factor de temperatura y luminosidad.
- Kg = coeficiente global de desarrollo.

El coeficiente global de desarrollo Kg varía entre 0.5 y 1.2. El factor de temperatura y luminosidad F se calcula como:

$$F = \sum_{i=1}^n f_i$$

Ecuación 12



Donde:

- n = número de meses que dura el ciclo vegetativo.
- $f_i =$

$$P_i \left(\frac{T_i + 17.8}{21.8} \right)$$

Ecuación 13

- P_i = Porcentaje de horas de sol del mes i con respecto al año.
- T_i = Temperatura media del mes i en °C.

(Aparicio Mijares, 1992)

Para aplicación a nuestra investigación, aplicaremos el método de Hargreaves por radiación correspondiente a la segunda forma de evaluación y formulación para nuestra zona de estudio, esto con la justificación de que, según SENAMHI (2019), la determinación del ETP en las estaciones meteorológicas es bajo este método.

2.2.3. Parámetros geomorfológicos.

2.2.3.1. Cuenca.

Según lo dicho por Hernandez (2019) esta es el área donde se acumula el agua de lluvia de los afluentes y el canal principal hasta el punto más bajo o la salida.

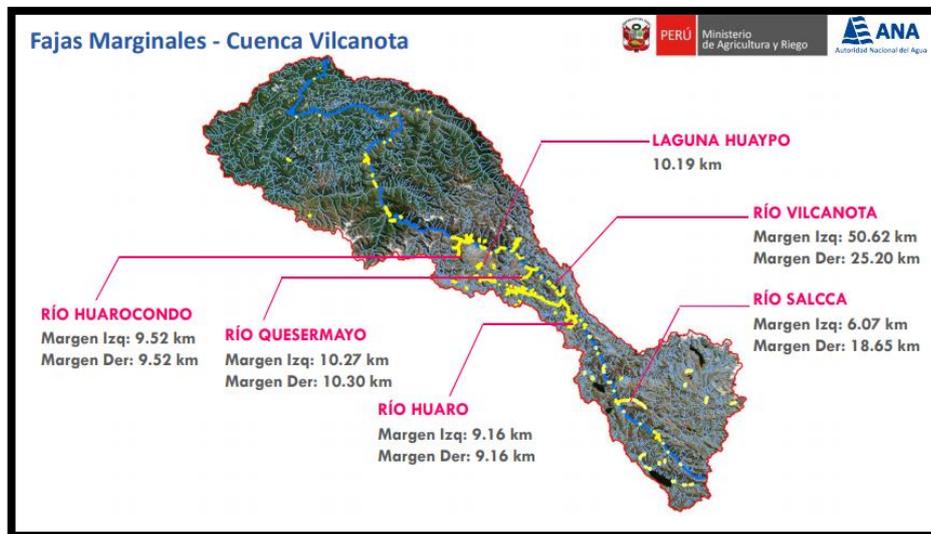
Una cuenca es una zona de la superficie terrestre que, si es impermeable, las gotas de lluvia que caen sobre ella tienden a ser dirigidas a la misma salida por el sistema de drenaje.

Además, Aparicio Mijares (1992) especifica que, una cuenca es una superficie de tierra donde (si no es permeable) las gotas de lluvia que caen sobre ella son dirigidas a la misma salida por el sistema de flujo.

Según a esto, determinamos que también una cuenca puede ser zonificada según a las características que presenta, por lo que da espacio a sus respectiva sub-cuencas (dependiendo obviamente del tamaño de esta).

En la figura 15 se muestra las fajas marginales de la cuenca del Vilcanota, la cual considera el río Huarcocondo, el río Quesermayo, el río Huaru, el río Vilcanota y el río Salcca, así como la laguna Huaypo.

Figura 15: Cuenca del Vilcanota



Fuente: Autoridad Nacional del Agua – ANA

2.2.3.1.1. Delimitación de la cuenca.

Según Villón Bejar (2011) La cuenca está delimitada por una línea imaginaria llamada *divortium acuarum* (divisoria de aguas), que está marcada en un plano con líneas de contorno verdaderas.

Separa la cuenca estudiada de las cuencas vecinas y distribuye el caudal de agua resultante de la precipitación en cada cuenca hasta su punto de desagüe.

La mencionada línea imaginaria pasa por puntos más altos y separa el flujo de agua en puntos de salida, que se denominan estaciones de medida o puntos de interés.

2.2.3.2. Clasificación de cuencas hidrográficas.

Según M.Ponce (2004) Existen 2 tipos de cuencas, que son endorreicas y exorreicas. Por lo general, las cuencas exorreicas contienen ríos y arroyos y desembocan en el mar, de lo contrario, las cuencas endorreicas tienen lagos y humedales y fluyen hacia el centro sin corriente.

- **Endorreicas:** El punto de salida del caudal del río de la cuenca está dentro de los límites de la cuenca y generalmente es un lago o laguna.



- **Exorreicas:** El punto de salida del caudal del río de la cuenca está en los límites de la misma y desemboca a un lago o al mar.

Las cuencas exorreicas suelen tener ríos y estuarios que desembocan en el océano. Las cuencas interiores tienen lagos y pantanos que drenan hacia el centro sin escorrentía.

Algunas cuencas aparentemente cerradas (lagos) no están completamente sin presión y tienen una fracción pequeña (es decir, finita) de escorrentía. Por ejemplo, el lago Titicaca en Perú. Estas cuencas se denominan semi-endorreicas.

De manera similar, algunas cuencas hidrográficas aparentemente abiertas (ríos) pueden no ser completamente exorreicas, con bajas tasas de evaporación en pequeñas lagunas. Por ejemplo, las salinas de la cuenca del río Alto Paraguay en Mato Grosso, Brasil.

Sin embargo, Faustino & Jimenez (2000) clasifican una cuenca de la siguiente manera:

- Son arréicas si no se vierten en ríos, mares o lagos, son areticos y su agua se pierde por evaporación o infiltración sin escorrentía subterránea.
- Son criptorréicas si la red de drenaje superficial no tiene un sistema organizado u obvio y fluye como ríos subterráneos (en áreas kársticas).
- Son endorreicas cuando su agua no llega al mar y desemboca en embalses y lagos.
- Si las pendientes dirigen el agua a un sistema de drenaje importante, como un gran río o mar, son exorreicas.

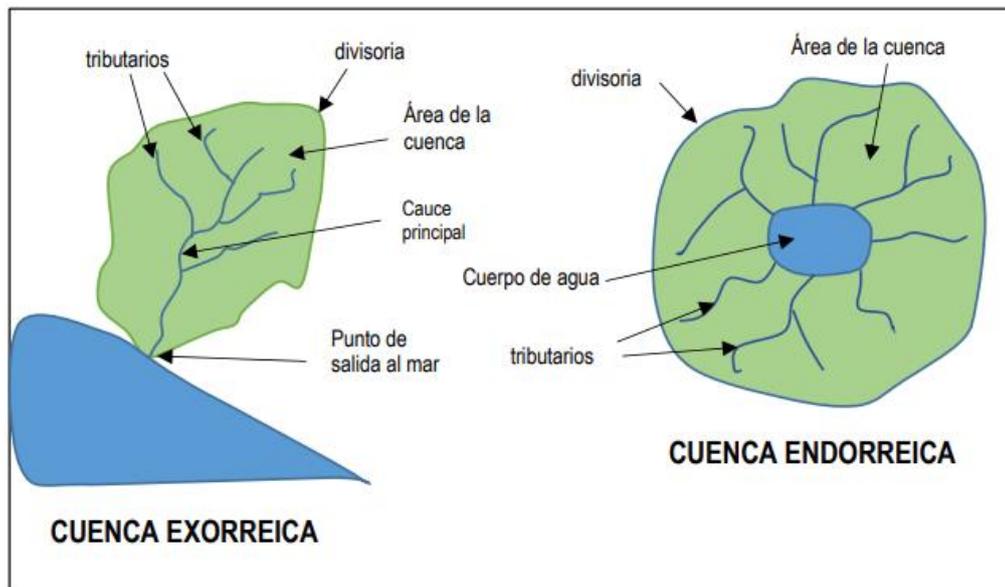
Un aspecto importante es el caso de las cuencas hidrogeológicas o hidrológicas, como las zonas kársticas, donde la escorrentía subsuperficial no se corresponde con la superficial, por lo que estas regiones no coinciden con las cuencas hidrográficas.

Con estas 2 definiciones, desarrollaremos la presente investigación con las ya expuestas debido a que llegan a complementarse en sus definiciones y llegamos a definir completamente la clasificación correcta de la cuenca, para poder aplicar los criterios en el proceso prudente.

La figura 16 muestran las características de las cuencas exorreicas y endorreicas y sus características de divisorias, tributarios y cauces.



Figura 16: Tipos de cuencas



Fuente: Hernández, Nilton

- *Tipos de cuencas por clasificación*

Según (Novoa, 2011) Por tamaño geográfico, se puede definir como grande, mediano y pequeño.

Dado que los términos microcuenca y subcuenca pueden tener alguna relevancia, se recomienda utilizar criterios comunes para los municipios o unidades locales manejables en términos de cursos de agua.

Además, también se clasifica por ecosistemas, pudiendo encontrarse cuencas secas, tropicales, frías y húmedas según el clima del país y el tipo de área natural.

También para los fines a que se dirijan, tales como la energía hidroeléctrica, el aprovechamiento de la población, el riego, la navegación, la ganadería o el aprovechamiento general de los embalses anteriores.

Todos estos también tienen en cuenta el tipo de relieve de la cuenca, por lo que puede haber cuencas planas, montañas altas, cuencas con cañones y crestas.

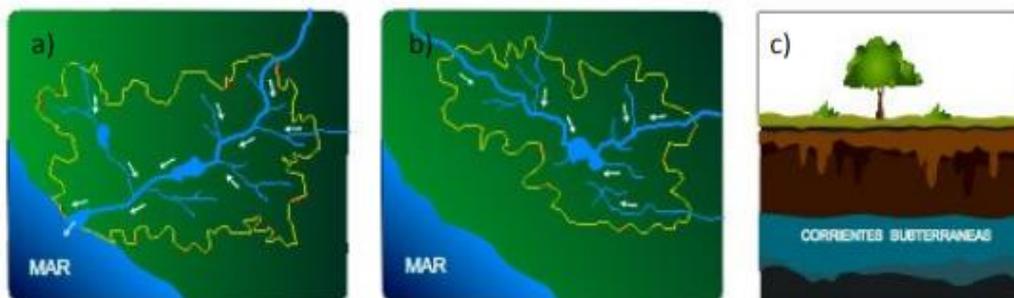
Sin embargo, Villón Bejar (2011) la clasifica solamente en 2, siendo grande o pequeña:

- **Cuenca grande:** es una cuenca en la que predominan sus características físicas (pendiente, altura, área, cauce). Por razones prácticas, una cuenca se considera grande si su área supera los 250 km².
- **Cuenca pequeña:** Esta es una cuenca que responde a lluvias cortas y de alta intensidad y donde las características físicas (tipo de suelo, vegetación) son más importantes que las características del canal. Un área de cuenca pequeña es una cuenca con un área de menos de 250 km².

Con los conceptos dados anteriormente, desarrollaremos la investigación tomando en cuenta la segunda definición al ser básicamente relevante en una interpretación no subjetiva, definiendo parámetros y aplicándolos correctamente.

Se muestra la figura 17 respecto a los tipos de cuencas que existen y cómo éstas pueden desembocar o no al mar.

Figura 17: Tipos de cuencas



Fuente: Google Imágenes

A su vez, la tabla 3 indica la zonificación de cuencas que se tienen tomando en cuenta los procesos y la influencia.

Tabla 3: Zonificación de cuencas

	ZONA ALTA	ZONA MEDIA	ZONA BAJA
	Montaña y Colinas	Valle aluvial	Delta
Procesos dominantes	Erosión	Transporte	Sedimento
Influencia	Lito/Relieve	Erosión-Sedimentación	Fluvio-Marina

Fuente: Pladeyra (2003)



2.2.3.3.Sub-cuenca.

Conjunto de microcuencas que drenan a un solo cauce con caudal fluctuante pero permanente. Novoa (2011).

2.2.3.4.Quebradas.

Es toda área que desarrolla su drenaje directamente a la corriente principal de una microcuenca. Novoa (2011)

2.2.3.5.Zona de cabecera.

Es en donde nacen las corrientes hidrológicas, por ende, se localizan en las partes más altas de la cuenca. Generalmente, son las zonas de captación de agua que pueden presentarse con mayor fragilidad hidrológica. Novoa (2011)

También es en aquí en donde parte la captación de agua de los glaciares y se forman las lagunas o lagos que suministran agua a las zonas alto andinas.

2.2.3.6.Zona de captación – transporte.

Según Novoa (2011) Es inicialmente la parte de la cuenca que retiene la mayor cantidad de agua que ingresa a todo el sistema de la cuenca y transporta el agua que emerge de las cabeceras.

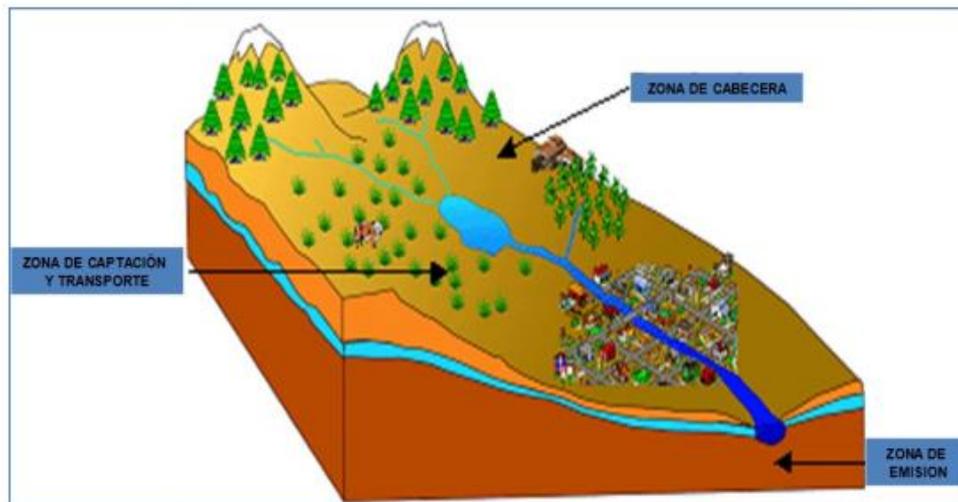
2.2.3.7.Zona de emisión.

Se caracteriza por ser la zona que emite hacia una corriente más caudalosa el agua proveniente de las otras dos zonas funcionales. Novoa (2011).

A continuación se muestra la figura 18 en las cuales se observan las zonas de captación, de cabecera y de emisión.



Figura 18: Zonificación de la cuenca



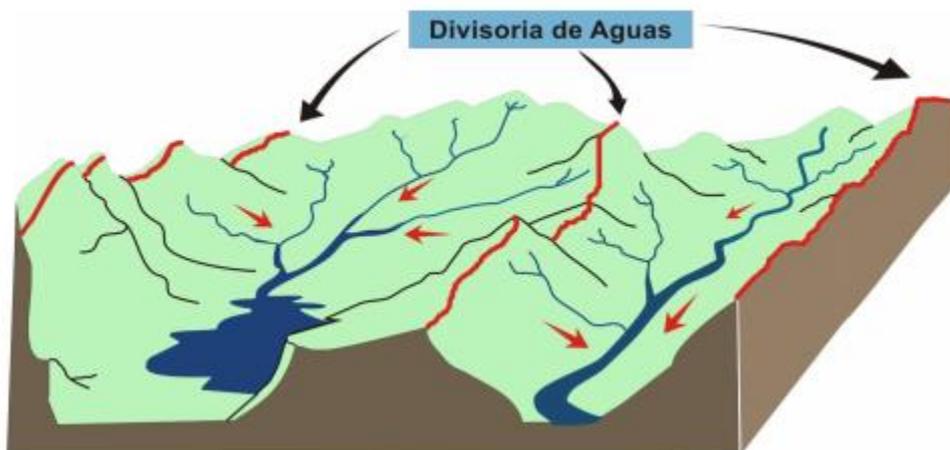
Fuente: Playdera (2003)

2.2.3.8. Divisoria de aguas.

Según Novoa (2011) Es en otras palabras, la delimitación de la cuenca hidrográfica. Es decir, marca el límite entre una cuenca y otra. El agua que se asienta a ambos lados de la cuenca desemboca en otro río.

La figura 19 muestra una divisoria de aguas, en las cuales se parten desde los puntos altos (en la delimitación de las cuencas).

Figura 19: Divisoria de aguas



Fuente: Google imágenes



2.2.3.9. Río principal.

Según Novoa (2011) Un río principal suele ser el río con el flujo más grande (mediano o más grande) o más largo.

Al igual que con la distinción entre río principal y afluente, los conceptos de río principal y nacimiento del río son arbitrarios.

2.2.3.10. Afluentes.

Corresponde a un curso de agua, también llamado tributario, que desemboca en otro río más importante con el cual se une en un lugar llamado confluencia. Novoa (2011).

2.2.3.11. Efluentes.

Según (Novoa, 2011) Lo opuesto a un afluente es un efluente o desviador.

Es decir, un desvío (natural o artificial) causado por la corriente principal de un río más grande que pasa por uno más pequeño.

Los que tienen su origen natural son los que se encuentran principalmente en los deltas de los ríos.

Por lo definido anteriormente, el efluente de una corriente o río se utiliza con fines de riego y suministro de agua y, por lo tanto, puede definirse como generalmente "artificial" para beneficio humano.

2.2.4. Características físicas de la cuenca hidrográfica.

2.2.4.1. Área de la cuenca.

Según Villón Bejar (2011), se refiere al área proyectada en un plano horizontal, es de forma muy irregular y se obtiene después de delimitar la cuenca deseada.

De igual manera, Aparicio Mijares (1992) lo define como la superficie, en proyección horizontal delimitada.

Con todo lo antes mencionado desde el ítem 1.1.1. y tomando en cuenta las 2 definiciones de los autores, circunscribimos que la superficie de una cuenca es igual a la proyección horizontal del área creada por el límite de la cuenca.

Esto tiene un impacto significativo en la determinación de las variables de la cuenca, como la evapotranspiración, la escorrentía y la infiltración.



2.2.4.2. Perímetro de la cuenca

Según Villón Bejar (2011) Es la medición de la delimitación de la cuenca, siendo esta la que bordea la cuenca., asimismo Aparicio Mijares (1992) la determina como la longitud total del borde de la cuenca.

Esta función afecta a variables como el factor de forma, la longitud, etc.

Es así que de igual manera que el ítem 2.2.4.1. , usaremos estas 2 definiciones aplicadas en nuestra investigación.

2.2.4.3. Pendiente de la cuenca.

Según Villón Bejar (2011) La pendiente de la cuenca es un parámetro muy relevante al ser de relaciones importantes y complejas con la infiltración, la escorrentía superficial, la humedad del suelo y la contribución del agua subterránea a la escorrentía.

Uno de los factores que controlan el tiempo de drenaje y la concentración de lluvia, directamente relacionado con la intensidad de la inundación.

Existen varios criterios para evaluar la pendiente de una cuenca, entre ellos:

- ***Criterio de Alvord.***

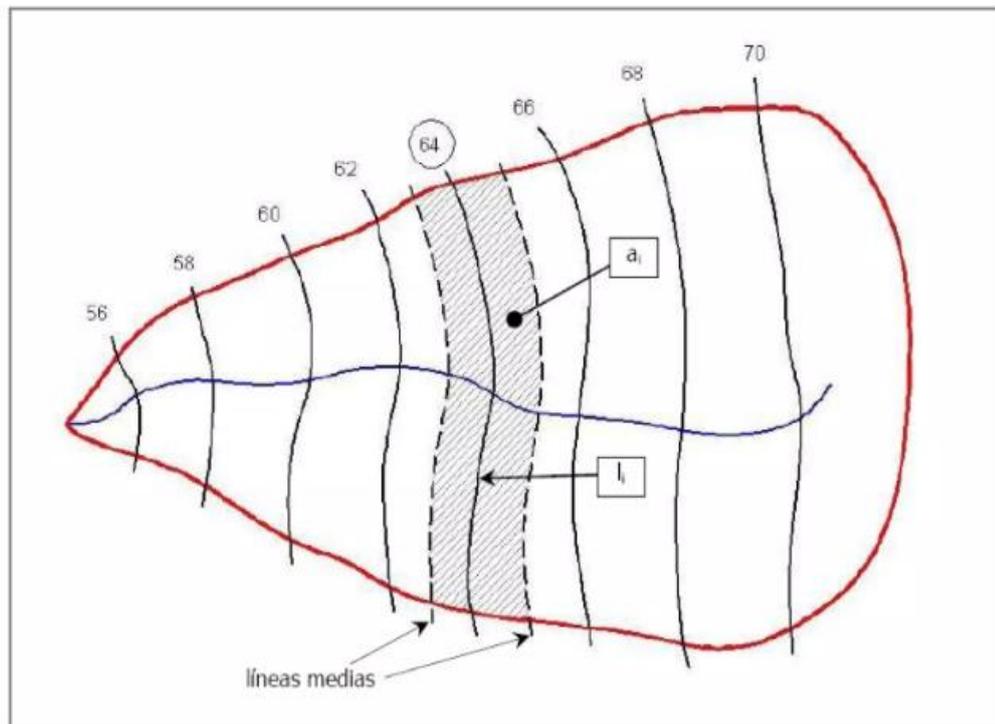
Este criterio está basado, en la obtención previa de las pendientes existentes entre las curvas de nivel.

Dividiendo el área de la cuenca, en áreas parciales por medio de sus curvas de nivel, y las líneas medias de las curvas de nivel.

Se tiene la figura 20, en la cual se aplica el criterio de Alvord, con cuenca de ejemplo con curvas de nivel.



Figura 20: Cuenca de ejemplo con curvas de nivel



Fuente: Villón Bejar (2011)

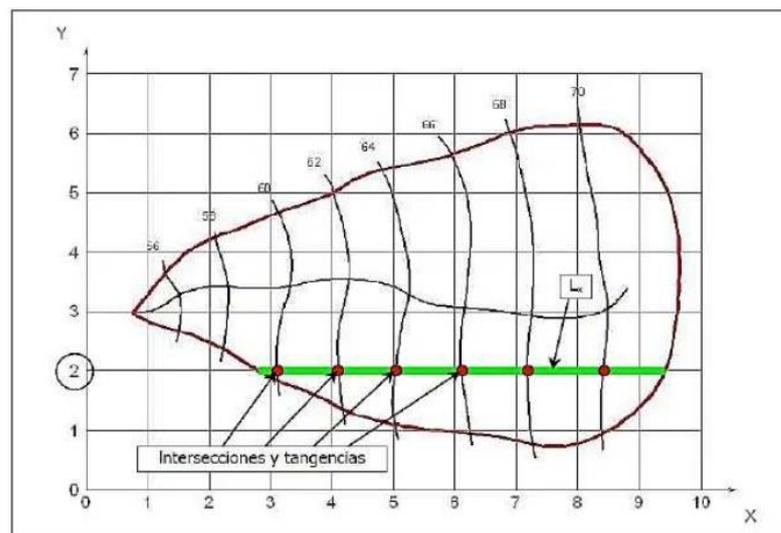
▪ **Criterio de Horton.**

Según Baca Rueda (2017) Este consiste en dibujar una cuadrícula de cuadrados en la proyección plana de la cuenca y alinearla con la dirección del flujo principal.

Si la cuenca en donde se desea el análisis es una que aporta a una subcuenca, la red del plano será más grande y consecuentemente según su tamaño.

La figura 21 muestra una grilla de análisis por el método antes mencionado.

Figura 21: Grilla de análisis por el método de Horton



Fuente: Universidad Nacional de Ingeniería (2017)



- ***Criterio de Nash.***

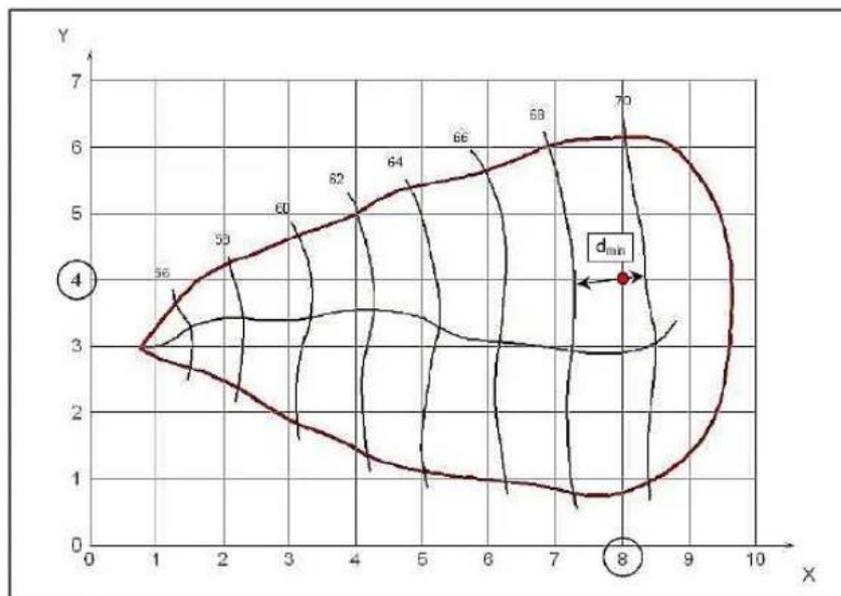
Se especifica por medio de Baca Rueda (2017) que es similar al criterio de Horton, se dibuja una cuadrícula en la dirección del canal principal.

Esto debería satisfacer la condición de que haya aproximadamente 100 intersecciones dentro de la cuenca.

En cada uno de ellos se mide la distancia mínima (d) entre curvas de nivel. Se define como el segmento de línea más corto que se cruza con la línea de contorno más cercana aproximadamente perpendicular al pasar por la intersección.

La figura 22 muestra una grilla de análisis por el método antes mencionado.

Figura 22: Grilla de análisis por medio del método de Nash



Fuente: Universidad Nacional de Ingeniería (2017)

- ***Criterio del rectángulo equivalente***

Es una transformación geométrica que permite representar una cuenca con su forma heterogénea a través de una forma rectangular con la misma área y perímetro (y por lo tanto el mismo porcentaje de densidad).

Cabe resaltar, que, se debe de tomar la definición como tal de Villón Bejar (2011) y Baca Rueda (2017) respecto a la definición de la pendiente de la cuenca y su forma de cálculo, por lo que se tomará como tal la definición del primer autor con fines de investigación en la presente tesis para presentar su análisis por el método del rectángulo equivalente.



2.2.4.4. Altitud media ponderada.

Basándonos en lo estipulado por la ANA (2021) son las diferentes alturas que se denominan áreas de contorno están a una altura promedio del 50%, haciendo que toda el área está arriba y las demás este abajo. Es así que usamos la presente definición para nuestra investigación.

2.2.4.5. Altitud media simple.

Así como lo indica su nombre, se trata acerca de la altitud promedio de la superficie de la cuenca que deseamos investigar. Guerra&Gonzalez (2002).

2.2.4.6. Curva hipsométrica

Según Villón Bejar (2011) Es una curva, colocada en coordenadas rectangulares, que representa la relación entre la cota y la superficie de la cuenca que queda por encima de esta cota.

Para construir la curva inferior se utiliza un mapa con curvas de nivel, el procedimiento es el siguiente:

- Las subáreas de la cuenca están marcadas a lo largo de las curvas de nivel, por ejemplo, de 100 a 100 m.
- Con un planímetro o balanza analítica se determina el área parcial de estos contornos.
- Se determinan las superficies acumuladas de partes de la cuenca
- Se determina el área acumulada restante por elevación del contorno.

El aumento de elevación relativa a las áreas de acumulación respectivas permanece por encima de esas elevaciones.

Debido a lo apropiado de esta definición, consideraremos la aplicación de este método en nuestro estudio posterior.

2.2.4.7. Frecuencia de altitudes.

Según Villón Bejar (2011) Es una representación gráfica de la distribución porcentual de superficies ocupadas por diferentes alturas. Es un complemento de la curva inferior y su complejidad es la siguiente.



- **Altitud media:** es la cota media de la curva inferior, en la que el 50% de la superficie de la cuenca se encuentra por encima de esta cota y el 50% por debajo.

- **Altitud más frecuente:** es el valor máximo en porcentaje de la curva de frecuencia de altitud.

- **Altitud de frecuencia 1/2:** es la altitud correspondiente al punto de abscisa 1/2 de la curva de altitud de frecuencia.

Aritméticamente, la elevación media de la cuenca se obtiene con la siguiente ecuación:

$$E_m = \frac{\sum a * e}{A}$$

Ecuación 14

Donde:

- Em= Elevación media.
- a= Área entre 2 contornos.
- e= Elevación media entre 2 contornos.
- A= Área total de la cuenca.

Por ello y tomando en cuenta esta definición, llegaremos a aplicarla en nuestra investigación al ser la de mayor relevancia encontrada.

2.2.4.8. Coeficiente de escorrentía

Es la relación entre la cantidad total de escorrentía superficial y la cantidad total de agua depositada durante un período de tiempo.

Según Ven Te Chow (1994) es la variable menos precisa del método racional. Su uso en la fórmula supone una relación constante entre la tasa máxima de descarga y la tasa de precipitación del embalse, lo que no es cierto en la realidad.

$$C = \frac{\left(\frac{P_{dc}}{P_0} - 1\right) * \left(\frac{P_{dc}}{P_0} + 23\right)}{\left(\frac{P_{dc}}{P_0} + 11\right)^2}$$

Ecuación 15

Donde:

- P_{dc} = Precipitación diaria corregida (mm)
- P_0 = Umbral de escorrentía (mm)



De esta manera, consideraremos esta fórmula y definición última para que sea relevante en nuestra investigación.

2.2.4.9. Índice de Gravelious

Según Ven Te Chow (1994) Se expresa como la razón del perímetro de la cuenca a la longitud de la circunferencia de un círculo de igual área a la cuenca.

$$A = \pi * r^2$$

Ecuación 16

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

Ecuación 17

$$K_C = \frac{P}{2\pi r}$$

Ecuación 18

Reemplazando la ecuación 16 en la ecuación 18

$$K_C = \frac{0.28 * P}{A^{1/2}}$$

Ecuación 19

Asimismo, Villón Bejar (2011) lo define muestra la relación entre el perímetro de la cuenca y el perímetro es equivalente a la circunferencia, tiene la misma área que la cuenca.

El índice de compacidad intenta representar el efecto del perímetro y el área de la cuenca sobre el flujo de salida, siendo que esta se encuentra en función del tiempo de concentración y la forma de la cuenca como se observa en la ecuación 19.

Si $K = 1$, la cuenca tiene forma circular; generalmente se proporciona para cuencas largas $K > 1$. Las cuencas largas reducen la probabilidad de marejadas ciclónicas completas, lo que afecta el tipo de respuesta que se produce en el río



Bajo los conceptos ya mostrados, usaremos las 2 definiciones para ser aplicadas en nuestra investigación, a raíz de ser relevantes juntamente.

2.2.4.10. *Rectángulo equivalente*

Según Villón Bejar (2011) El rectángulo equivalente es una transformación geométrica que permite representar una cuenca con su forma heterogénea a través de una forma rectangular con la misma área y perímetro (y por lo tanto el mismo porcentaje de densidad). Compacidad o Índice de Gravedad), igual distribución de la altura (y por lo tanto igual curva hipométrica) e igual distribución del terreno respecto a las condiciones de cobertura.

En este rectángulo, las curvas de nivel se convierten en líneas paralelas al lado más corto, que son la primera y la última curvas de nivel.

Es así, que el cálculo del rectángulo equivalente corresponde a la siguiente ecuación:

Si l y L son las dimensiones del rectángulo equivalente, se cumple:

$$A = l * L$$

Ecuación 20

$$P = 2(l + L)$$

Ecuación 21

Tomando el valor del índice de Gravelious.

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

Ecuación 22

De la fórmula del área se tiene:

$$l = \frac{A}{L}$$

Ecuación 23

Si L es el lado mayor se asume:

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



Ecuación 24

Si l es el lado mayor se asume:

$$l = \frac{K\sqrt{A}}{1.12} * (1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K}\right)^2})$$

Ecuación 25

Donde:

- L =Longitud del lado mayor del rectángulo.
- l = Longitud del lado menor del rectángulo.
- K = Índice de Gravelious.
- A = Área de la cuenca.

En la presente investigación, se aplicará el concepto ya desarrollado siendo este relevante y siendo escogido para llevar a cabo la obtención de resultados de la presente tesis según a este método.

2.2.4.11. Factor de forma

Según Villón Bejar (2011) El factor de forma representa la relación entre el ancho medio y el largo de la cuenca, este último medido desde el punto más ancho hasta el desagüe.

El ancho promedio es el área de la cuenca dividida por la longitud de la cuenca. En el caso de cuencas muy anchas o con entradas laterales, el factor de forma puede ser mayor a uno.

Los factores de forma de subdivisión corresponden a cuencas muy anchas en la dirección del flujo.

Es según a esta definición que podemos obtener el factor de forma (F):

$$F = \frac{B}{L}$$

Ecuación 26

Asimismo, Saézn (1999) define que es la relación entre el ancho medio y la longitud axial de la cuenca, medida a lo largo del curso de agua más largo desde la desembocadura hasta la cabecera más alejada de la cuenca.



Para obtener dicho factor, se aplica la siguiente ecuación:

$$K_f = \frac{B}{L}$$

Ecuación 27

$$B = \frac{A}{L}$$

Ecuación 28

$$K_f = \frac{A}{L^2}$$

Ecuación 29

Donde:

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

Por ello, elegiremos la primera definición en la aplicación para este trabajo de investigación, con el objetivo de usar una fórmula y una definición verídica y se nos da el criterio que el mismo factor indica una tendencia respecto a la cuenca en sufrir crecientes si es que dicho factor es bajo.

2.2.4.12. Orden de las corrientes.

Antes de hablar del orden de las corrientes, conviene fijarse en su clasificación. Todos los caudales se pueden dividir en tres clases generales según el tipo de caudal, que está relacionado con las características físicas y condiciones climáticas de la cuenca.

Por lo tanto, la corriente puede ser efímera, intermitente o perenne.

- Las corrientes efímeras son arroyos que llevan agua sólo cuando llueve e inmediatamente después.

- Las corrientes discontinuas llevan agua la mayor parte del tiempo, pero especialmente durante la temporada de lluvias; Su contribución ha terminado cuando el nivel del agua subterránea desciende por debajo del fondo del canal.



- La corriente perenne siempre contiene agua, incluso en épocas secas, todavía se abastece de agua continuamente, desde el nivel freático siempre se mantiene por encima del fondo del canal.

Según Villón Bejar (2011) El orden de flujo es una clasificación que indica el grado de ramificación dentro de una cuenca. Se requiere el plano de la cuenca hidrográfica a estudiar que incluya corrientes perennes e intermitentes bajo el criterio de Horton-Strahler.

- La forma más común de hacer esta clasificación es considerar una corriente ordinal 1 como una corriente sin afluentes.
- Para el orden 2, aquellos con sólo afluentes de orden 1. Orden 3, como un flujo con dos o más afluentes secundarios.

Por lo tanto, el orden de la rama principal indica la extensión de la rama actual dentro de la cuenca.

De la misma manera, Aparicio Mijares (1992) define que los arroyos primarios son afluentes no ramificados y los arroyos secundarios solo tienen afluentes primarios.

- Dos flujos primarios forman el orden 2 y dos flujos terciarios forman el orden 4. La Orden 2 y la Orden 3 forman otra Orden 3.

El orden de la cuenca es el mismo que el orden de la corriente principal en su desembocadura.

Hay que tener en cuenta que el orden de las cuencas depende en gran medida de la escala de la capa a partir de la cual se determinaron.

Con esto en mente, las comparaciones de una cuenca con otra deben hacerse con precaución. Esto es especialmente cierto si los planes relacionados no tienen la misma escala o son editados por diferentes organizaciones.

Otros indicadores de la ramificación o capacidad de la cuenca son la densidad de los ríos D_s , definida como el número de ríos perennes e intermitentes por unidad de área, y la densidad de drenaje D_d , definida como la longitud de los ríos por unidad de área.

El alto orden o densidad de corriente refleja cuencas altamente fragmentadas que responden rápidamente a las tormentas.

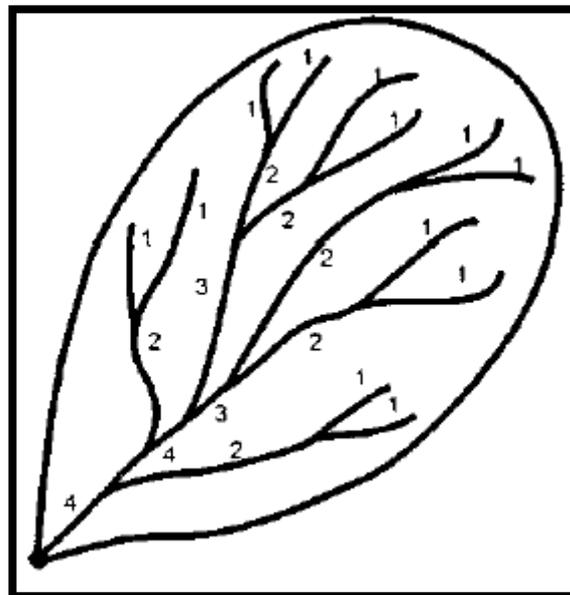


Se observa una pequeña densidad u orden de flujo cuando el suelo es muy resistente a la erosión o muy permeable. Donde estos indicadores son altos, el suelo es erosionable o relativamente impenetrable, las pendientes son empinadas y la vegetación es escasa.

Con ello, determinamos un criterio que se aplicará en la presente investigación, esto tomando en cuenta el orden de corriente según a la segunda definición de este ítem, correspondiente al método de Horton para aplicarse en esta investigación.

La figura 23 muestra un ejemplo del orden de corrientes de una cuenca según el método de Horton.

Figura 23: Orden de corrientes de una cuenca



Fuente: Villón Bejar (2007)

2.2.4.13. Longitud de los tributarios.

Según Villón Bejar (2011) definimos que la longitud de los ríos tributarios indica la pendiente y el grado de drenaje de la cuenca.

Las áreas empinadas y bien drenadas generalmente tienen muchos afluentes pequeños, y las áreas planas con suelos profundos y permeables tienen afluentes largos, que generalmente son corrientes perennes.

La longitud de los afluentes aumenta según su orden. Esta disposición es también casi la ley de la progresión geométrica.



Esta relación no se aplica a flujos individuales. Las mediciones de corriente se realizan dividiendo la corriente en una serie de segmentos de línea recta dibujados lo más cerca posible de la trayectoria del canal actual.

Por ello, aplicaremos el concepto presente para la investigación a realizarse considerándolo relevante en la aplicación junto con el ítem anterior.

2.2.4.14. Densidad de corriente.

Según Villón Bejar (2011) Solo se consideran flujos intermitentes persistentes para determinar el número de flujos.

La corriente principal cuenta desde la cabecera hasta la desembocadura del río como una sola corriente.

Luego están todos los afluentes de orden inferior, desde la cabecera hasta su confluencia con la corriente principal, hasta llegar a los afluentes primarios.

Esta relación entre el número de ríos y el área drenada muestra parcialmente la eficiencia del drenaje.

Dependiendo de la longitud de ese caudal, puede haber dos vertientes con el mismo módulo de densidad que se drenen de manera muy diferente.

Es decir:

$$D_C = \frac{N_C}{A}$$

Ecuación 30

Donde:

- Dc= Densidad de corriente.
- Nc= Número de corrientes perennes e intermitentes.
- A= Área total de la cuenca (km²).

Bajo la definición anterior, concluimos que dicha densidad es la relación entre el número de corrientes y el área drenada y será el concepto que se aplicará en esta investigación.



2.2.4.15. Densidad de drenaje.

Tomando en cuenta el ítem anterior, determinamos una relación total entre los cursos de agua presentes en la cuenca entre el área total.

Según Villón Bejar (2011) se define como:

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

Ecuación 31

Donde:

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

Los valores de Dd generalmente varían entre 0,5 y 3,5 km/km², siendo las cuencas con sistemas de drenaje deficientes los que indican los valores más bajos y los valores altos que indican un buen sistema de drenaje.

Por lo que se aplicará dicho concepto en la presente investigación encontrándola relevante y aplicándose con el criterio debido.

2.2.4.16. Cauce o corriente principal.

Según Aparicio Mijares (1992) El flujo principal de la cuenca es a través de su salida. Se debe tener en cuenta que esta definición solo se aplica a cuencas exorreicas.

2.2.4.17. Pendiente del cauce principal.

Según Villón Bejar (2011), conocer la pendiente del cauce principal de una cuenca es un parámetro importante en el estudio del comportamiento del recurso hídrico. Por ejemplo, a la hora de determinar las características óptimas del aprovechamiento de la energía hidroeléctrica o solucionar el problema de las inundaciones.

En general, la pendiente de un lecho puede considerarse como el cociente de la rugosidad en ambos extremos del lecho dividido por la longitud horizontal del lecho.



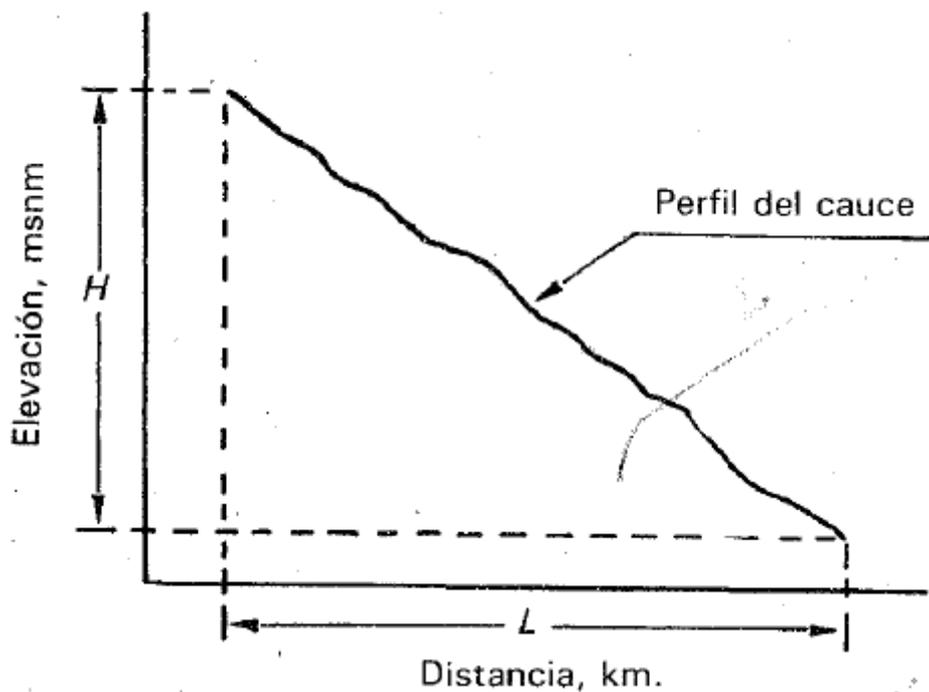
Asimismo, Aparicio Mijares (1992) precisa que uno de los indicadores más importantes de la respuesta de una cuenca a las tormentas es la pendiente del cauce principal.

Como esta pendiente varía a lo largo del canal, necesitamos determinar la pendiente promedio. Hay varias maneras de hacer esto, incluyendo:

- a) La pendiente media es igual a la diferencia de altura entre los extremos del arroyo dividida por su longitud medida en el plano.

Se muestra en la figura 24 la pendiente del cauce principal, respecto a distancia vs elevación.

Figura 24: Pendiente del cauce principal

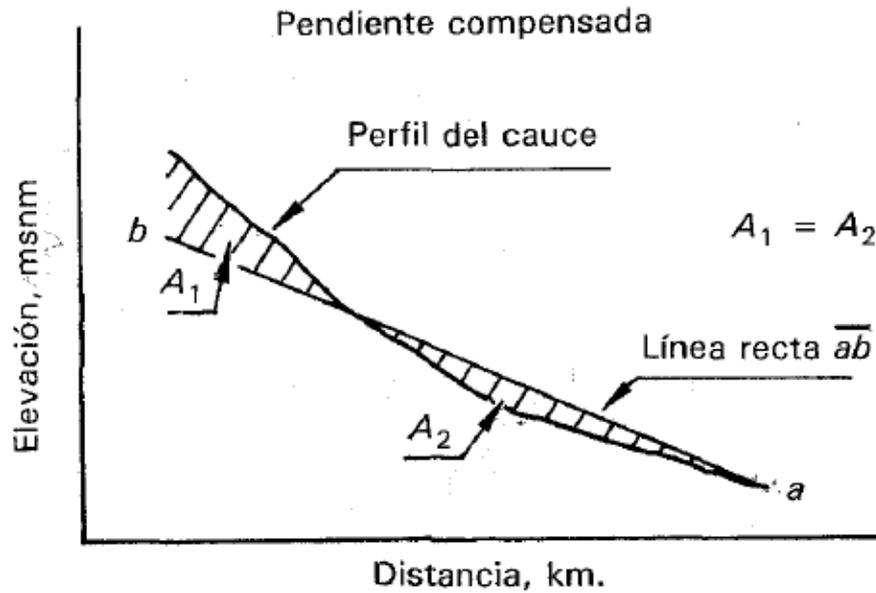


Fuente: Aparicio Saéñz (1994)

- b) La pendiente media es una línea recta con base en el extremo aguas arriba del arroyo, lo que significa que hay áreas iguales entre el perfil del cauce y sus aguas arriba y aguas abajo.

La pendiente del cauce principal por este método se muestra en la figura 25.

Figura 25: Pendiente del cauce principal



Fuente: Aparicio Saénz (1994)

- c) Taylor y Schwartz sugieren que la pendiente promedio se calcule como un canal de sección transversal uniforme, que tenga la misma longitud y tiempo de tránsito que el flujo en cuestión.

- *Método de Taylor-Schwartz*

Tomando en cuenta un tramo i de la corriente principal, podemos calcular la velocidad de recorrido del agua por medio de:

$$V_i = k * \sqrt{S_i}$$

Ecuación 32

Donde:

- k = Factor de rugosidad.
- S_i = pendiente del tramo i .

Por lo tanto:

$$V_i = \frac{\Delta x}{t_i}$$

Ecuación 33



Donde:

- Δx = Longitud del tramo i
- t_i = Tiempo de recorrido del tramo

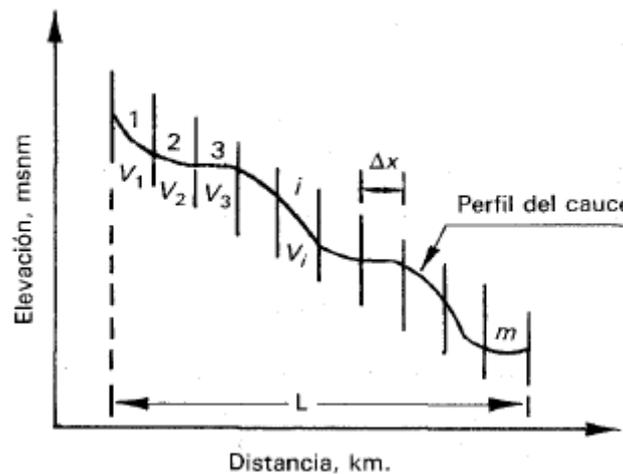
Con ello, se obtiene:

$$t_i = \frac{\Delta x}{k\sqrt{S_i}}$$

Ecuación 34

Se muestra la figura 26 que es la pendiente del cauce principal por el método de Taylor-Schwartz.

Figura 26: Pendiente del cauce principal



Fuente: Aparicio Mijares (1994)

La velocidad media de recorrido en todo el cauce dividido en m es:

$$V = \frac{L}{T} = k * \sqrt{S}$$

Ecuación 35

Donde:

- L = Longitud total del cauce.
- T = Tiempo total de recorrido.
- S = pendiente media.



Despejando la variable S que se obtendrá según las variables T y L se tendrá:

$$S = \left[\frac{L}{\frac{l_1}{\sqrt{S_1}} + \frac{l_2}{\sqrt{S_2}} + \dots + \frac{l_n}{\sqrt{S_n}}} \right]^2$$

Ecuación 36

Tomando en cuenta que la magnitud L representa tramos no iguales y en donde:

- Li= Longitud de tramo i.

Tomando en cuenta las anteriores definiciones, consideramos relevante la segunda definición con la cual desarrollaremos el presente trabajo de investigación al ser la que nos plantea completamente el teorema de Taylor-Schwartz que será aplicada en la presente.

2.2.4.18. Tiempo de concentración

Basándonos en lo que nos dice Sánchez San Román (2016), el tiempo de concentración se puede definir como el tiempo mínimo para que todos los puntos de la cuenca contribuyan simultáneamente al caudal recibido en la salida.

Es así, que elegiremos esta definición para poder aplicarse en la investigación presente bajo el siguiente método de cálculo.

2.2.5. Caudal.

Se define como el volumen de agua que pasa por la sección transversal del cauce por unidad de tiempo, y se expresa en m³/s o l/s.

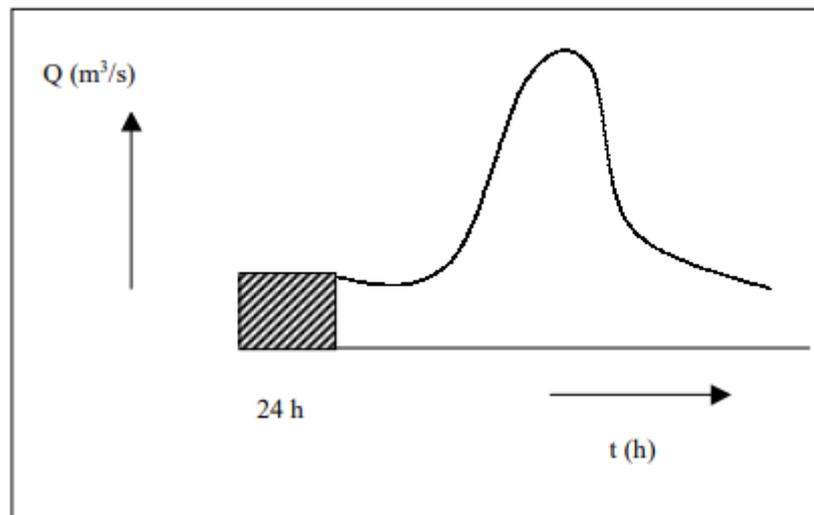
2.2.5.1. Caudal medio diario.

Según Carvajal (2016) Este es el caudal medio en m³/s durante 24 horas.

Si tiene un registrador de nivel de agua (un dispositivo que puede registrar los niveles de agua de forma continua a lo largo del tiempo).

Se observa en la figura 27 la muestra del caudal medio diario respecto al tiempo en 24 horas.

Figura 27: Caudal medio diario



Fuente: Análisis de caudales - Ingeniero ambiental.com

2.2.5.2. Caudal medio mensual.

Se calcula hallando para cada mes la media aritmética de los caudales promedios diarios. (Villón Bejar, Hidrología, 2011)

2.2.5.3. Caudal promedio mensual interanual.

Por la definición de Carvajal (2016), definimos que es el promedio del caudal medio mensual de un mes dado durante n años.

2.2.5.4. Caudal medio anual.

Es la media de los caudales promedios diarios durante un año. Carvajal (2016).

2.2.5.5. Caudal máximo instantáneo anual.

Según Carvajal (2016) Este es el caudal más grande que ocurre en un año determinado.

Para determinar esto, su estación de nivel debe estar equipada con un registrador de nivel de agua.

En caso contrario, estamos hablando de un caudal máximo medio anual inferior al caudal máximo anual actual.

2.2.5.6. Caudal mínimo anual.

Es el menor caudal que se presenta durante un año determinado. Carvajal (2016).

2.2.5.7. Caudal específico.



Según Prieto & Velasquez (2016) es un método utilizado para evaluar y administrar datos, como el rendimiento promedio mínimo, promedio y máximo, del período de tiempo tomado para el análisis.

2.2.5.8. Caudal ecológico

Por definición de MINAGRI (2018) es la cantidad y calidad de los recursos hídricos necesarios para mantener el hábitat fluvial y su entorno en buenas condiciones, teniendo en cuenta las necesidades humanas, animales y vegetales.

De igual manera, los requisitos físicos para mantener la estabilidad. y cumplir sus funciones como caudal de dilución, conductividad de sólidos, recarga de acuíferos, manteniendo las características estéticas y paisajísticas del entorno.

2.2.5.9. Aforamiento.

Es Felipe del Angel (2015) Este es el proceso de medir el caudal en cualquier escenario (canal, río, etc.) por lo que puede variar desde l/seg. hasta m³/seg.

Hay 2 tipos de revisiones:

- **Aforos directos:** Con un instrumento o proceso, medimos caudal.
- **Aforos indirectos:** Se mide el nivel de agua del canal ya partir de esto estimamos el caudal.

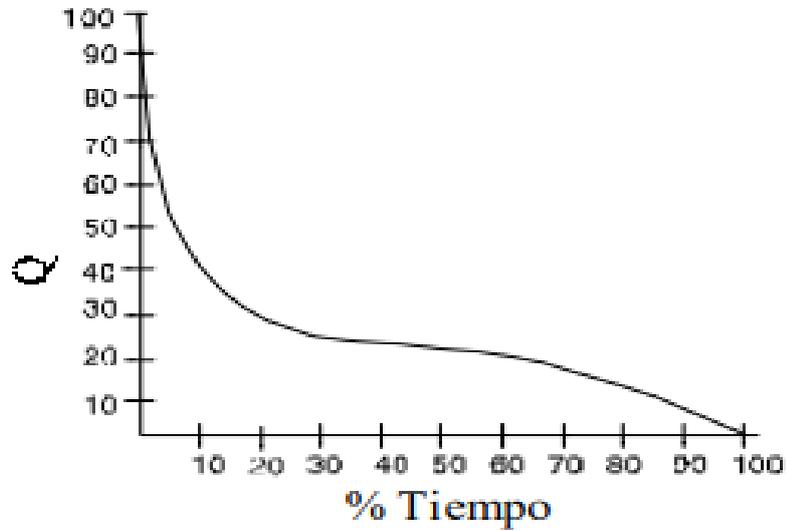
2.2.5.10. Curva de duración de caudal.

Según Carvajal (2016) la curva de duración es un procedimiento gráfico para analizar la frecuencia de los datos de la corriente y representar la frecuencia de ocurrencia acumulada de una corriente determinada.

Se pueden utilizar datos de caudal promedio anual, mensual o diario para construir la curva.

Se observa en la figura 28, la curva de duración de caudal que muestra el porcentaje de tiempo versus el caudal, así como la figura 29 que muestra el aforamiento de caudales in situ.

Figura 28: Curva de duración de caudal



Fuente: Análisis de caudales - Ingeniero Ambiental

Figura 29: Aforamiento en ríos



Fuente: Google imágenes

2.2.5.11. *Histograma*

Basándonos en CELEO (2018) Este es un gráfico de barras que muestra los cambios en la intensidad de la lluvia.

Además, se muestran las variaciones en la precipitación (en milímetros (mm)) o la intensidad de la precipitación (en milímetros por hora (mm/h)) sobre el intervalo de tiempo previamente seleccionado. Se puede cuantificar la precipitación pluvial de un lugar según su duración.

2.2.5.12. *Hietograma.*

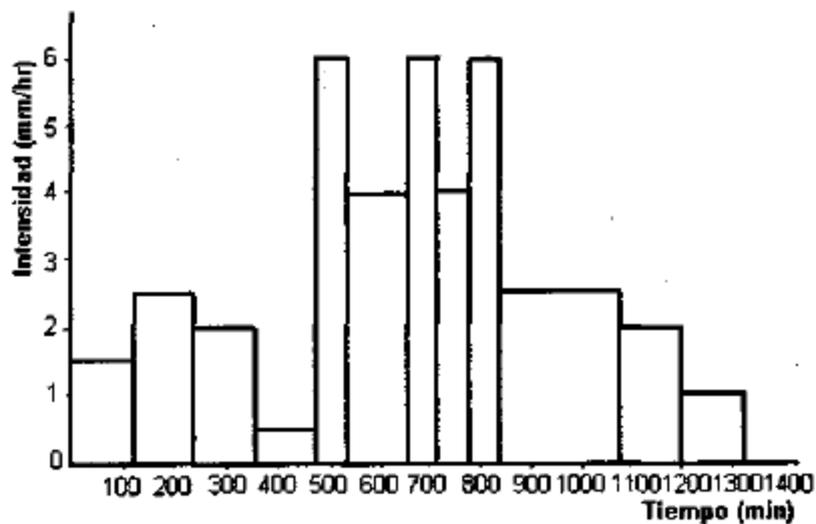
Según Villón Bejar (2011) Esta es una gráfica escalonada similar a un histograma que muestra el cambio en la intensidad de la tormenta (expresada en mm/hr) durante el mismo período de tiempo expresado en minutos u horas.

Este hietograma facilita ver cuándo la precipitación alcanzó su máxima intensidad y en qué valor.

Matemáticamente, este gráfico representa la precipitación versus el tiempo.

La figura 30 muestra un ejemplo de un hietograma de precipitación en la cual se da el tiempo versus la intensidad de la precipitación.

Figura 30: Hietograma de precipitación.



Fuente: Villón Bejar (2007)

Según a esta definición, aplicaremos este concepto a nuestra investigación.

2.2.5.13. *Curva masa de precipitación*

Según Villón Bejar (2011) podemos definir que una curva de masa de precipitación es un gráfico de la precipitación acumulada a lo largo del tiempo. Extraído directamente del pluviograma.

La curva de masa de precipitación es una curva no descendente, y la pendiente de la tangente en cada punto representa la intensidad instantánea en ese punto.

Por lo que aplicándose la relación ente la precipitación y el tiempo vista aplicadas en el anterior ítem, usaremos este concepto para poderse aplicar según corresponda en la presente investigación.

2.2.5.14. Curva hipsométrica.

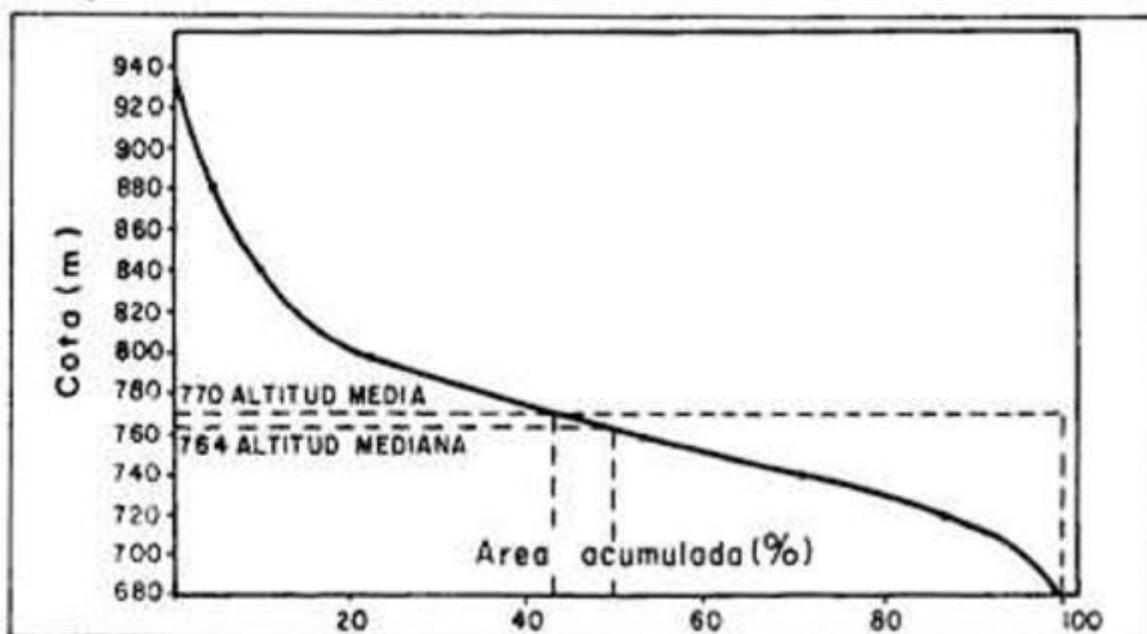
Según Saéñz (1999) es una representación gráfica del relieve de la cuenca. Representa un estudio de los cambios de elevación de diferentes topografías de la cuenca con respecto al nivel medio del mar.

Esta variación se puede mostrar mediante gráficos que muestran el porcentaje de cuencas hidrográficas que se encuentran por encima o por debajo de diferentes elevaciones.

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 figura 31 muestra una curva hipsométrica en la cual el área acumulada se contrasta con las cotas hasta que la intersección entre ambas sea la altitud media.

Figura 31: Curva hipsométrica



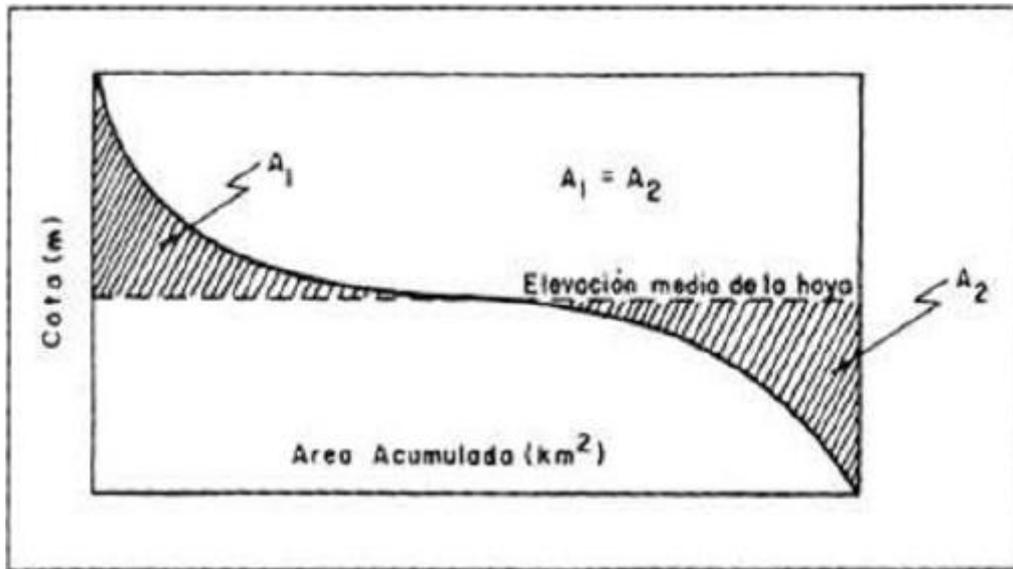
Fuente: Villón Bejar (2007)

La curva representa el porcentaje del área acumulada igual o mayor para una corta determinada.

De la misma manera, la forma de curva es un indicador de morfología.

Se muestra la figura 32 aludida a las características de la curva hipsométrica por medio áreas iguales para la elevación media.

Figura 32: Características de curva hipsométrica



Fuente: Villón Bejar (2007)

2.2.5.15. *Polígono de frecuencias de áreas parciales*

El polígono representa en el eje de las ordenadas el porcentaje parcial del área de una cuenca en estudio y en el eje de las abscisas, las áreas parciales respecto a la cuenca en investigación. (Cordova, 2016)

2.2.6. Procedimiento de datos hidrometeorológicos obtenidos.

2.2.6.1. *Métodos de distribución e interpolación temporal.*

2.2.6.1.1. *Método de la distancia inversa.*

Este algoritmo utiliza una combinación ponderada de datos de muestra para calcular los valores de las celdas.

El modelo sugiere que la frecuencia del resultado previsto disminuye a medida que aumenta la distancia entre el punto evaluado y los puntos circundantes.

Así, se admite que el punto más cercano al baricentro tiene mayor peso en el cálculo del valor final de la celda, su modelo matemático.

$$Z = \left(\sum \left(\frac{Z_i}{d_i^n} \right) \right) / \sum \left(\frac{1}{d_i^n} \right)$$



Ecuación 37

Los pesos se asignan a los puntos de muestra mediante un factor de ponderación que controla cómo disminuye la influencia del peso a medida que aumenta la distancia al nuevo punto.

De la misma manera, se calculará el factor L y el peso correspondiente de cada estación:

$$L = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}$$

Ecuación 38

$$L = D$$

Ecuación 39

$$Peso = \frac{1/D_n^2}{\sum 1/D_{Total}^2}$$

Ecuación 40

Cuanto mayor sea el factor de ponderación, menos influencia tiene un punto cuando está más lejos de un punto desconocido durante el proceso de interpolación.

A medida que aumenta el coeficiente, el valor del punto desconocido se aproxima al del punto observado más cercano.

Es importante señalar que el método de interpolación IDW también tiene algunos inconvenientes.

Una distribución desigual de los puntos de datos de muestra puede generar resultados de interpolación de mala calidad.

Además, los valores máximo y mínimo de la superficie interpolada deben ocurrir solo en los puntos de datos de muestra.

Este será el método que se aplicará en nuestra investigación, aplicándose el criterio a las estaciones hidrometeorológicas cuya información sea conseguida.

2.2.6.1.2. Isoyetas.

Basándonos en lo que define Villón Bejar (2011) El método de las isoyetas es el método más preciso entre los métodos presentados, consiste en ubicar estaciones en el área de



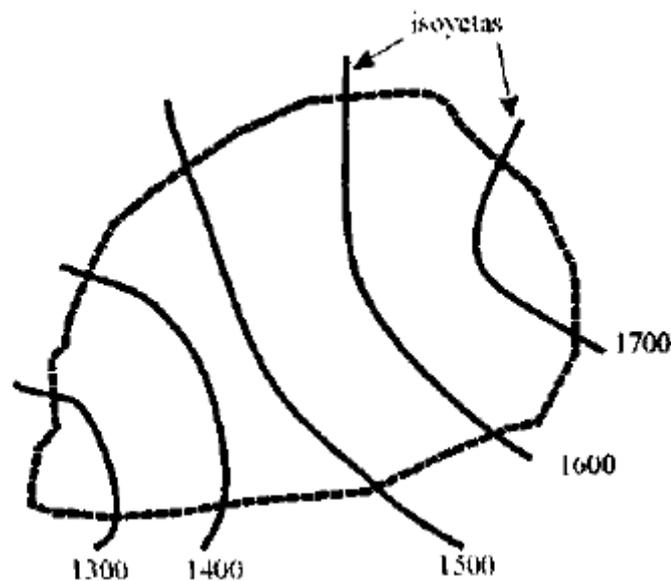
estudio y trazar isoyetas, que se definen como curvas que conectan puntos con precipitaciones iguales.

Si la precipitación es de tipo orográfica, las isoyetas tenderán a seguir una configuración similar a la de la curva de nivel.

Al igual que el método del polígono de Thiessen, cuanto mayor sea el número de estaciones, mayor será la precisión.

La figura 33 muestra las isoyetas según a las curvas de nivel presentadas en las distintas cuencas de análisis.

Figura 33: Isoyetas



Fuente: Villón Bejar (2011)

Los métodos incluyen:

- Localizar estaciones dentro y fuera de la cuenca.
- Graficar isoyetas, interpolar la precipitación entre diferentes estaciones, similar a cómo se generan las curvas de nivel
- Encuentra el área A_1, A_2, \dots, A_n entre 2 congruentes consecutivos.
- Si P_0, P_1, \dots, P_n es la cantidad de precipitado expresada en isoyetas correspondientes, calcule la precipitación promedio usando:



$$P_{med} = \frac{\frac{P_0 + P_1}{2} A_1 + \dots + \frac{P_{n-1} + P_n}{2} * A_n}{A_1 + \dots + A_n}$$
$$P_{med} = \frac{I}{A_T} \sum_{i=1}^n \frac{P_{i-1} + P_i}{2} A_i$$

Ecuación 41

Donde:

- Pmed= Precipitación media.
- At= Área total de la cuenca.
- Pi= Altura de precipitación de las isoyetas.
- Ai= Área parcial comprendida entre las isoyetas pi-1 y pi.
- n= Número de áreas parciales.

Bajo este concepto de definición, consideraremos una referencia del cálculo de precipitación media de la zona con este método.

2.2.6.2. Análisis de consistencia de la información.

Según Vito Aliaga (1985) este método, que se ocupa de la heterogeneidad e inconsistencia de las secuencias hidrológicas, representa uno de los aspectos más importantes de la investigación hidrológica, ya que cuando la inconsistencia y heterogeneidad de las plantillas históricas no se identifican, eliminan o ajustan., se puede introducir un error significativo en todos los análisis futuros, arrojando resultados muy falsos.

Las inconsistencias son errores sistemáticos que se manifiestan como saltos y tendencias, y son inconsistentes con los cambios en los datos en blanco a lo largo del tiempo.

Este análisis incluyó los siguientes procedimientos: análisis gráfico de imágenes, análisis de masa dual y análisis estadístico.

2.2.6.3. Análisis visual gráfico.

Realizar un análisis de visualización gráfica, donde se grafica la información antes mencionada en sistema de coordenadas cartesianas, ubicando los valores de las series hidrometeorológicas en el eje X y en el eje Y el tiempo (año, mes, día, etc.).



Tomando en cuenta la definición de Vito Aliaga (1985) El análisis nos proporciona una primera estimación de la calidad de la información y separa periodos cuestionables para su análisis en doble volumen y posterior análisis estadístico.

Tomando en cuenta esta definición respecto a nuestra investigación, en términos de disponibilidad de datos, estos se complementaron con promedios mensuales relativos a las estaciones cercanas a nuestro sitio de estudio y, por lo tanto, se evaluó la variación temporal de la precipitación.

2.2.6.4. Análisis de doble masa.

Basándonos en lo definido por Vito Aliaga (1985) el gráfico de masa dual se obtiene trazando en abscisas el promedio anual acumulado de todas las estaciones de la cuenca y el volumen anual acumulado de cada estación estudiada en el gráfico.

Respecto a este análisis, se indica lo siguiente:

Existen varias formas de realizar este análisis, son las siguientes: En el eje y se analiza la información anual acumulada para cada estación.

- En el área de las líneas de doble masa en el paso anterior, elija la línea con la mayor regularidad, es decir, la menor cantidad de puntos de ruptura, como la más confiable.
- En las coordenadas se grafica la estación seleccionada como más confiable y en las coordenadas cualquier otra estación, obteniendo así tantas líneas como cadenas menos uno. El histograma identifica intervalos de ruptura que pueden ser significativos para análisis estadísticos posteriores.
- Cabe señalar que, únicamente para efectos del análisis de doble volumen, la información incompleta se completa por interpolación o por media mensual, si se analiza mensualmente.

Se aplicó el criterio mencionado en nuestra investigación según se amerite en el proceso de la tesis.

2.2.6.5. Análisis estadístico.

Según Vito Aliaga (1985) la evaluación de los errores detectados en forma de saltos se realiza mediante análisis estadístico; es decir, un proceso que difiere en la media y



desviación estándar de dos períodos diferentes del período anterior, utilizando las pruebas T de Student y F de Fisher, respectivamente.

Es así, que se hace un análisis estadístico, mediante el cual finalmente se determinó la confiabilidad de los datos, realizando un análisis de salto y un análisis de tendencia en la media y la desviación estándar.

2.2.6.6. Análisis de saltos.

Según (Vito Aliaga, 1985), podemos definir que los saltos o "jump", también conocidos como deslizamientos, son transitorios definidos que permiten que una secuencia cíclica de estados haga la transición de un estado a otro, en respuesta a cambios evolutivos e impulsados por el hombre, o explotando continuamente los recursos hidráulicos de la cuenca.

Estos saltos se presentan como desviación estándar, media y otros parámetros, pero generalmente son desde un punto de vista práctico.

2.2.6.7. Consistencia en la media.

Según Aliaga Araujo (1983) 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:

$$x1 = \frac{1}{n1} \sum_{i=1}^{n1} xi$$

Ecuación 42

$$s1(X) = \left[\frac{1}{n1 - 1} \sum_{i=1}^{n1} (xi - \bar{x}1.)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

Ecuación 43



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

Ecuación 44

Donde se especifica:

- x= Información de análisis.
- X1, X2= Medias del periodo 1 y 2 respectivamente.
- (xi, xj) = Desviación estándar del periodo 1 y 2.
- n1, n2= Tamaño del periodo 1 y 2.
- n= Tamaño total de la muestra.

De la misma manera, n será el total de los totales de las muestras totales de otras muestras.

a) Prueba de medidas.

Tomando en cuenta los parámetros establecidos, se calculan la desviación estándar de las diferencias de los promedios, desviación estándar de la diferencia de los promedios y la realización de dicha prueba.

$$S_p = \left[\frac{(n1 - 1)S1^2 + (n2 - 1)S2^2}{n1 + n2 - 2} \right]^{\frac{1}{2}}$$

Ecuación 45

$$S_d = S_p \left[\frac{1}{n1} + \frac{1}{n2} \right]^{\frac{1}{2}}$$

Ecuación 46

$$T_c = \frac{\{x1 - x2\} - \{\mu1 - \mu2\}}{S_d}$$

Ecuación 47

Donde:

- $\mu1 - \mu2 = 0$ = Diferencia de medias
- Sp= Desviación estándar ponderada.



- Sd= Desviación estándar de los promedios.
- Hallando el valor de T en las tablas con el 95% de probabilidades, podremos encontrar los valores tanto de los grados de libertad con el coeficiente α tomando valores de 0.05 si es que se trata de una sola entrada, así como su mitad si es que es de 2. (tomando en cuenta la campana de Gauss).

Entonces:

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

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

Ecuación 48 y Ecuación 49

b) Consistencia en la desviación estándar.

Según lo estipulado por Aliaga Araujo (1983) indica que se debe seguir el siguiente procedimiento Sobre la consistencia en la desviación estándar:

El cálculo empleado contempla el cálculo de variaciones de ambos periodos, tomando en cuenta el factor de cálculo “F” y según a tablas obtener Ft.

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

Ecuación 50

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

Ecuación 51

Estableciendo una hipótesis según el nivel de significación de $\alpha=0.05$ se calcula.

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

Ecuación 52

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

Ecuación 53



Hallando el factor F_t según la tabulación correspondiente al 95% de credibilidad a un nivel de significación del 5% con el factor α correspondiente y estipulado en este ítem, tendremos:

$$G. L. N. = n_1 - 1$$

Ecuación 54

$$S_1^2(X) > S_2^2(X)$$

Ecuación 55

$$G. L. D. = n_2 - 1$$

Ecuación 56

$$G. L. N. = n_2 - 1$$

Ecuación 57

$$S_2^2(X) > S_1^2(X)$$

Ecuación 58

$$G. L. D. = n_1 - 1$$

Ecuación 59

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.

Entonces:

$$\text{Si } F_c < F_t(95\%) \rightarrow S_1(x) = S_2(x)$$

Ecuación 60

$$\text{Si } F_c < F_t(95\%) \rightarrow S_1(x) \neq S_2(x)$$

Ecuación 61

En la cual se interpreta que si se da el escenario de la Ec.2.52, se interpretará que no se requiere una corrección de información, mientras que si se da el caso de la Ec.2.53 será requerida la corrección de dicha información.

Así, en este trabajo de investigación, se aplicará este criterio considerándolo relevante y directamente vinculado.



2.2.6.8. Correcciones.

Según Aliaga Araujo (1983) en el caso de que los parámetros media y desviación estándar sean estadísticamente iguales, la información original no se corrige si coincide con la probabilidad 95%, aunque en el análisis de doble masa se de las grietas se observan.

Las correcciones se hacen con las siguientes ecuaciones.

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

Ecuación 62

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

Ecuación 63

Donde:

- (t)= Valor corregido de la información.
- Xt= Valor a ser corregido.

2.2.6.9. Análisis de tendencia.

Según Aliaga Araujo (1983) una tendencia es un componente determinista definido como un cambio sistemático y continuo en una muestra de información hidrometeorológica en cualquier parámetro.

Las propiedades de las tendencias se detallan a continuación:

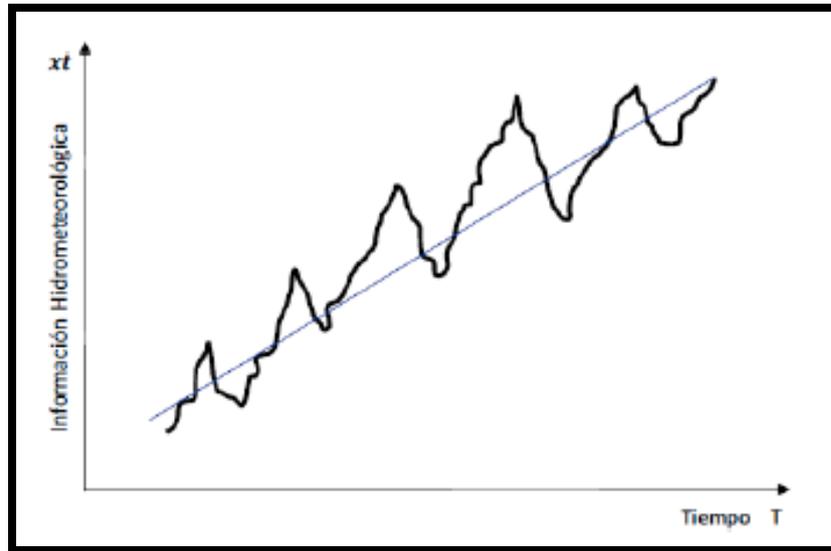
- No se repiten, del mismo modo o de la misma naturaleza.
- La tendencia puede ser lineal o no lineal, por lo que cualquier función de tendencia no lineal continua puede expresarse como una serie de potencias o una expresión logarítmica.
- Pueden existir en cualquier parámetro de una serie (media, varianza y parámetros de orden superior).
- Pero en general, las tendencias se presentan como media solo si la información es anual y como media y desviación estándar si la información es mensual.
- Pueden separarse de otros elementos de la serie, lo que permite retirarlos. Se nos dice que la tendencia generalmente se aproxima mediante una ecuación de regresión



lineal, que se analizará en los dos primeros parámetros de una serie: la media y la desviación estándar.

Se muestra la figura 34 respecto a una serie de datos hidrometeorológicos y una línea de tendencia que refleja la variable de tiempo versus dicha información.

Figura 34: Presencia de tendencia en serie hidrometeorológica.



Fuente: Aliaga Araujo (2008)

2.2.6.9.1. *Tendencia en la media.*

Según lo estipulado por Aliaga Araujo (1983), se expresa la tendencia en la media T_m una fórmula general de manera:

$$T_m = A_m + B_m * t + C_m * t^2 + D_m * t^3$$

Ecuación 64

Para la estimación la tendencia es suficiente la ecuación de regresión lineal simple se tiene:

$$T_m = A_m + B_m * t$$

Ecuación 65

Donde:

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

De esta manera podemos definir de una regresión lineal:



- *Regresión lineal:*

Estipulado por Aliaga Araujo (1983) y tomando en cuenta el item presente, podemos definir:

$$Am = T_m - t \cdot B_m$$

Ecuación 66

$$B_m = R \frac{S_{Tm}}{S_t}$$

Ecuación 67

$$R = \frac{t * t_m - t * T_m}{S_t * S_{Tm}}$$

Ecuación 68

Donde:

- Am y Bm= Coeficientes de los polinomios de regresión que deben de ser estimados.
- Tm= Promedio (media) de la tendencia o igual al promedio de los datos históricos.
- t= Promedio (media) del tiempo cronológico t.
- STm= Desviación estándar de la tendencia en la media.
- St= Desviación estándar del tiempo.
- R= Coeficiente de correlación lineal simple entre la tendencia en la media y el tiempo en consideración.
- tm= Promedio del producto de la tendencia por el tiempo.

Asimismo, los factores faltantes se determinan por medio de:

$$t = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i$$

Ecuación 69

$$T_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_{nt}$$

Ecuación 70



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

Ecuación 71

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

Ecuación 72

Tomando en cuenta los conceptos de regresión lineal, podemos aplicar la prueba de hipótesis de T de student.

Se establece una prueba de hipótesis y nivel de confianza y para reconocer dicha prueba, se determina una tendencia que depende si es significativa o no significativa, así, se realiza una prueba de hipótesis para el coeficiente de regresión B_m o R .

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

$H_p = p=0$ o $H_a = p \neq 0$ (tomando el primer factor como coeficiente de correlación poblacional).

El cálculo estadístico T_c según:

$$t_c = \frac{R\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-R^2}}$$

Ecuación 73

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.

$\mu\rho$ tomando $\rho=0$

Aplicando el concepto de Tarazona Santos (2004) tomaremos un criterio de decisión para determinar zonas de aceptación o rechazo según al valor “t” calculado (t_c) con los valores críticos tabulados.

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

Ecuación 74

Coefficiente 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.

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

Ecuación 75

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

De la misma manera, si es que el coeficiente R resulta ser no significativo, la información no presenta una tendencia significativa al 95% de probabilidad.

En el caso si, se requiera una corrección según lo expresado a continuación:

$$Y_t = X'_t - T_m$$

Ecuación 76

$$Y_t = X'_t - (A_m + B_m * t)$$

Ecuación 77

$X'(t)$ = Serie corregida de saltos.

Tm = Tendencia en la media.

Yt = Serie sin tendencia en la media.

$t = 1, 2, 3, \dots, n$ con n igual al tamaño de la muestra



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

$$Y_t = X'_t - T_m + T_m$$

Ecuación 78

T_m = 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.

2.2.6.9.2. *Desviación estándar.*

Según Aliaga Araujo (1983), podemos definir que después de una corrección de la tendencia en la media, es necesario verificar la existencia de una tendencia dentro de la desviación estándar.

Este tipo de tendencia ocurre semanalmente, mensualmente o anualmente. Esta tendencia, como en la media, se puede aproximar mediante una ecuación de regresión polinomial como:

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

Ecuación 79

Así, determinamos por la misma definición que en la mayoría de casos las tendencias son lineales y pueden aproximarse a una regresión lineal con la forma:

$$T_s = A_s + B_s t$$

Ecuación 80

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.

- **Respecto a la 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:

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

Ecuación 81

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.**

Computando los parámetros de la ecuación de regresión lineal simple A_m , B_m y R de acuerdo con las ecuaciones anteriores para la desviación estándar, podremos usar las siguientes ecuaciones para generar una tendencia en la media.

$$A_m = S_p - t * B_m$$

Ecuación 82

$$B_m = R \frac{S_{Sp}}{S_t}$$

Ecuación 83

$$R = \frac{t * S_p - t * S_p}{S_t * S_{Sp}}$$



Ecuación 84

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 .

$$T_s = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_p$$

Ecuación 85

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).
- \bar{t} = Promedio del tiempo cronológico t (orden que ocupan los datos S_p).

$$T_s = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_t$$

Ecuación 86

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

$$t * T_s = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_p * t_i$$

Ecuación 87

ST_s = Desviación estándar del grupo de datos S_p .



$$S_{Ts} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (S_{pi} - S_p)^2}{n - 1}}$$

Ecuación 88

S_t = Desviación estándar del tiempo t

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

Ecuación 89

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:

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

Ecuación 90

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.

Con el intento de que se preserve la media y la desviación estándar constante, la ecuación toma la siguiente forma:

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

Ecuación 91

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



Tomando en cuenta lo descrito en este ítem, se aplicará lo estipulado aquí en nuestra investigación con un criterio desarrollado en la hidrología para la obtención de resultados.

2.2.6.10. Completación de datos.

Según lo estipulado por Aliaga Araujo (1983) Luego de analizar los saltos y tendencias, se deben completar los datos en blanco para obtener una serie completa y homogénea, a esto se le llama completa, se debe garantizar la confiabilidad de la técnica.

Asimismo, Tarazona Santos (2004) complementa que, al aumentar la longitud del registro, se reduce el error estándar de la estimación del parámetro, ya que a medida que el tamaño de la muestra tiende al infinito, la estimación se acerca más al parámetro poblacional.

Si el procedimiento no es correcto, la estimación no mejorará, sino que se deteriorará, de ahí la preferencia por utilizar registros más cortos.

Por ello, para completar registros de una estación se recurre a los datos disponibles en estaciones próximas con regímenes parecidos.

Algunos de estos métodos son:

- Método del promedio aritmético.
- Método de la relación normalizada.
- Método de regresión simple.
- Método de generación aleatoria (métodos estocásticos).
- Método del inverso de la distancia.
- Método de correlación.
- Método de isoyetas.

2.2.6.11. Correlación y regresión.

Se requiere un procedimiento estadístico para medir el grado de correlación entre dos variables con un coeficiente de correlación definido y de determinación.

Como lo estipula Villón Bejar (2006) en su libro “Hidrología estadística” se refiere a que la correlación se define como la asociación entre dos o más variables aleatorias, que



explica solo una parte de la variabilidad total de una variable aleatoria, debido a la variabilidad de las otras variables aleatorias que se unen a la ecuación.

Asimismo, se recomienda según lo estipulado por Ofungwu (2014) aplicar un método estadístico de prueba para determinar la correlación entre nuestras variables.

2.2.6.11.1. Coeficiente de correlación (r).

Este coeficiente permite evaluar el grado de asociación de dos variables linealmente relacionados.

Según Ofungwu (2014), se determina 2 tipos de coeficientes de correlación según al grado y tipo de investigación que se desea aplicar dichos conceptos:

- Coeficiente de Pearson.

El coeficiente de correlación de Pearson, también conocido como **coeficiente de correlación de Pearson r** o correlación producto-momento, es el coeficiente de correlación más utilizado para detectar una correlación lineal monótona entre dos variables.

Definimos "monótona" como una relación predominantemente en una dirección (positiva o negativa) y representamos los datos en un diagrama de dispersión.

Esta es una forma eficiente de determinar si una relación es cuasi-monótona y lineal.

El coeficiente de Pearson mide la correlación lineal o "relativa" entre dos variables; esto significa que, si la correlación es alta y se trazan pares de datos coincidentes de dos variables en un diagrama de dispersión, los puntos trazados mostrarán el patrón.

Es lineal y se puede acercar y alejar con una línea recta (pendiente ascendente positiva o pendiente descendente negativa). Si la correlación fuera perfecta (es decir, el coeficiente de correlación es 1 o -1), todos los puntos graficados estarían exactamente sobre la línea recta.

- Coeficiente de Spearman.

El coeficiente de correlación no paramétrica de Spearman, también conocido como **coeficiente de correlación de rango de Spearman o rho de Spearman**, denotado por ρ , puede determinar correlaciones monótonas lineales y no lineales entre dos variables, sin norma ni pico para el coeficiente de Pearson.



Se calcula ordenando los valores de datos en una muestra (por ejemplo, muestra X) desde el más pequeño (ordenado 1) hasta el más grande (ordenado n, donde n es el tamaño de la muestra). muestras de datos); clasificación independiente de muestras de datos para la segunda variable (por ejemplo, muestra Y); y luego reorganiza los rangos de datos de la segunda variable para mantener la correspondencia entre los valores de datos X e Y correspondientes.

Los coeficientes de Spearman se derivan de la misma ecuación que los coeficientes de Pearson, pero usan rangos de datos en lugar de valores de datos reales. Si hay valores coincidentes en los datos, se asigna la fila central, el rango medio de la relación.

Los valores atípicos no afectan los resultados porque se utilizan rangos de datos en lugar de valores de datos reales.

$$r = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \left[\frac{x_i - \bar{x}}{s_x} \right] \left[\frac{y_i - \bar{y}}{s_y} \right]$$

Ecuación 93

Donde:

- r= Coeficiente de correlación
- Xi = Variable dependiente
- Yi= Variable independiente

Asimismo, según Ofungwu (2014) se aplica una escala valorativa según el valor cercano a 1:

Se muestra a continuación la tabla 4, exhibiendo los valores correspondientes a los coeficientes de correlación desde escasa o nula hasta fuerte y perfecta.

Tabla 4: Tabla valorativa del 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: Ofungwu (2014)



De esta manera, definimos que, para nuestra investigación, tomando en cuenta los datos que se emplearán debidamente sustentados en anteriores ítems, determinamos que se aplicará el modelo estadístico de prueba de Pearson.

2.2.6.11.2. Coeficiente de determinación (r^2).

Es el porcentaje de la variación total en la variable dependiente 'y' explicada por la variable independiente 'x' lo que explica la importancia de la variable independiente en el modelo.

2.2.6.12. Ecuación de regresión lineal simple.

Es una ecuación generada a partir de la intervención de 2 variables:

$$Y_i = \alpha + \beta * X_i$$

Ecuación 94

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.

- 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.

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

Ecuación 95

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

Ecuación 96



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

Ecuación 97

Donde:

- $\bar{y} = \frac{\sum y}{n}$
- $\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$
- 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.

2.2.6.13. Ecuación de regresión lineal múltiple.

Dependiendo del proceso de llenado de datos de una estación base a otra, tomando en cuenta lo dicho por Villón Bejar (2006) se deben considerar los siguientes puntos:

- Buscar una estación que tenga una buena relación con la estación base.
- Los datos de la estación seca deben separarse de los datos de la estación lluviosa.
- Complementar los datos con el mayor coeficiente de correlación posible.

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

Siendo:

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 \dots a_mx_m$$

Ecuación 98

Donde:

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



- Estimación de los parámetros.

Extendiendo el método de mínimos cuadrados, se obtiene la ecuación normal en el caso de regresión lineal múltiple:

$$\sum y = a_0 n + a_1 \sum x_1 + a_2 \sum x_2 + \dots + a_m \sum x_m \quad \text{Ec.2.91}$$

$$\sum x_1 y = a_0 \sum x_1 + a_1 \sum x_1^2 + a_2 \sum x_1 x_2 + \dots + a_m \sum x_1 x_m \quad \text{Ec.2.92}$$

$$\sum x_m y = a_0 \sum x_m + a_1 \sum x_1 x_m + a_2 \sum x_2 x_m + \dots + a_m \sum x_m^2 \quad \text{Ec.2.93}$$

Para resolver la ecuación, debe ser 0 para que se pueda encontrar cada factor de razón (r) y determinar el multiplicador (R²), que se puede calcular a partir de la ecuación:

$$r = \sqrt{\frac{a_0 \sum y + a_1 \sum x_1 y + a_2 \sum x_2 y + a_3 \sum x_3 y + \dots + a_m \sum x_m y - n \bar{y}^2}{\sum y^2 - n \bar{y}^2}} \quad \text{Ec.2.94}$$

$$R^2 = r^2 \quad \text{Ec.2.95}$$

2.2.6.14. Generación de datos aleatoria.

Se calcula con la siguiente ecuación

Donde:

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

Se requiere una prueba de chi-cuadrado de Smirnov-Kolmogorov para completar los datos si la serie hidrológica sigue la distribución dada.

2.2.6.15. Bondad y ajuste.

Según lo que se estipula por medio de Vito Aliaga (1985) el objetivo es medir la precisión con la que se realizan supuestos estadísticos sobre la población y también caracterizar variables estocásticas para ser distribuidas de acuerdo a una función de probabilidad.

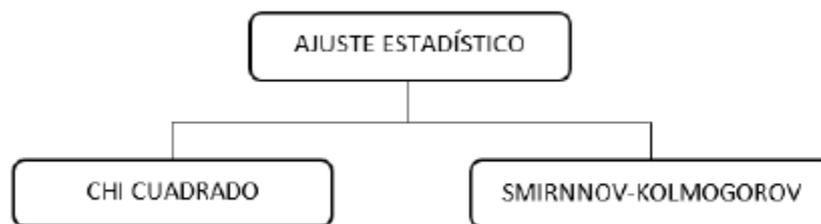
Las pruebas de calidad de bondad de ajuste incluyen un examen gráfico y estadístico de si las frecuencias experimentales de la serie estudiada concuerdan con algunas funciones de



probabilidad teóricas preseleccionadas y estimaciones de parámetros basadas en valores de muestra.

Según la tabla 5, se especifica los ajustes estadísticos para pruebas de bondad y en nuestro caso, tomando en cuenta los histogramas de series de datos pluviométricos, se aplicará un método paramétrico como lo es Smirnov-Kolmogorov.

Tabla 5: Ajuste estadísticos



Fuente: Frisancho&Luna

2.2.6.16. *Regionalización de precipitación.*

Basándonos en lo definido por Parizaca Perez (2012) La regionalización de la precipitación máxima involucra una variedad de técnicas de inferencia estadística y modelos probabilísticos.

Este modelo utiliza un conjunto de observaciones distribuidas espacialmente en puntos dentro de una región considerada uniforme para estimar los cuantiles asociados con diferentes probabilidades excedidas por los puntos conectados a esta región.

Según SENAMHI (2017) genera una información relevante que proporciona a la hora de tomar decisiones ya sean científicas, académicas, sociales, técnicas, etc.

Existen diferentes técnicas matemático-estadísticas que ayudan a definir regiones de acuerdo a diferentes características de los elementos a analizar, donde una región homogénea, sus elementos comparten entre sí características y comportamiento es la misma.

Estimar la intensidad y frecuencia de eventos extremos de variables hidrometeorológicas, como la precipitación máxima anual (PMA) es esencial para el diseño de instalaciones de recursos hídricos, zonas de inundación y evaluación económica de proyectos de control de inundaciones en tierras bajas y áreas de tierras bajas.



Por lo que aplicaremos la segunda definición en su aplicación para este trabajo de investigación debido a su relevancia respecto a nuestro tema de tesis para su obtención y debido procedimiento.

2.2.6.17. Estaciones hidrométricas.

Según (Vera Hernández, 2016) es una ubicación fija dentro de un alcance que toma varios pasos para determinar la tasa de flujo en un punto y tiempo determinados.

Estos sitios deben estar ubicados en áreas de fácil acceso con lechos de ríos estables que no estén sujetos a erosión, sedimentación o inundaciones y deben estar lo más nivelados posible (50 m. aguas arriba y aguas abajo de la estación), evitando así la corrupción de la información de acceso.

La figura 35 muestra una estación hidrométrica convencional a las orillas de un humedal como ubicación referencial.

Figura 35: Estación hidrométrica



Fuente: Google imágenes



2.2.6.18. Estación meteorológica.

Según Instituto PCE Ibérica (2017) Una estación meteorológica es un lugar donde se realizan mediciones y observaciones específicas de diversos parámetros meteorológicos utilizando instrumentos adecuados para determinar el comportamiento de la atmósfera.

Por ejemplo, en el siguiente enlace puedes ver una estación meteorológica profesional que puede manejar muchos parámetros.

Asimismo, pueden clasificarse en estaciones pluviométricas, pluviográficas, climatológicas, sinópticas y agrometereológicas.

Se muestra la figura 36 respecto a una la estación meteorológica en funcionamiento..

Figura 36: Estación meteorológica



Fuente: Google imágenes

2.2.7. Sistemas de coordenadas.

2.2.7.1.Coordenadas geográficas.

Según lo estipulado por Ibañez Asensio, Gisbert Blanquer, & Moreno Ramón (1999) sostienen que las coordenadas geográficas son coordenadas que muestran la ubicación de un punto en la superficie terrestre con referencia a la latitud y la longitud.

Como ya sabemos, la tierra gira alrededor de un eje llamado eje geodésico o línea epipolar.



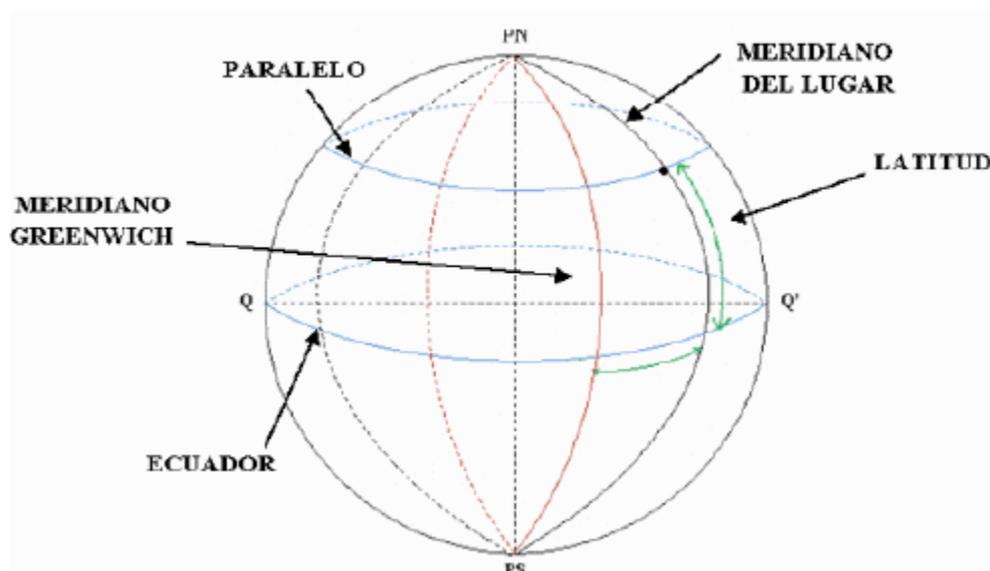
Los extremos de este eje se llaman polos norte y sur, y el gran círculo perpendicular a este eje se llama ecuador.

El ecuador divide la tierra en dos partes, los hemisferios norte y sur, y los pequeños círculos paralelos al ecuador se llaman paralelos; hay innumerables similitudes, pero algunas son mucho más importantes, como el Trópico de Cáncer, el Trópico de Capricornio, el Círculo Polar Ártico y el Círculo Polar Antártico.

La cuadrícula de latitud y longitud geográfica muestra las coordenadas geográficas que indican la ubicación exacta de cualquier punto en la superficie de la Tierra.

La figura 37 muestra tanto lo que son las latitudes y longitudes respecto al meridiano de Greenwich y el Ecuador

Figura 37: Meridianos y paralelos



Fuente: UPV (1999)

2.2.7.2. Coordenadas UTM.

Basándonos en lo dicho Ibañez Asensio, Gisbert Blanquer, & Moreno Ramón (1999) el sistema de coordenadas UTM (Universal Transverse Mercator) es un sistema de proyección cartográfica basado en cuadrículas que puede representar puntos en la superficie de la Tierra.



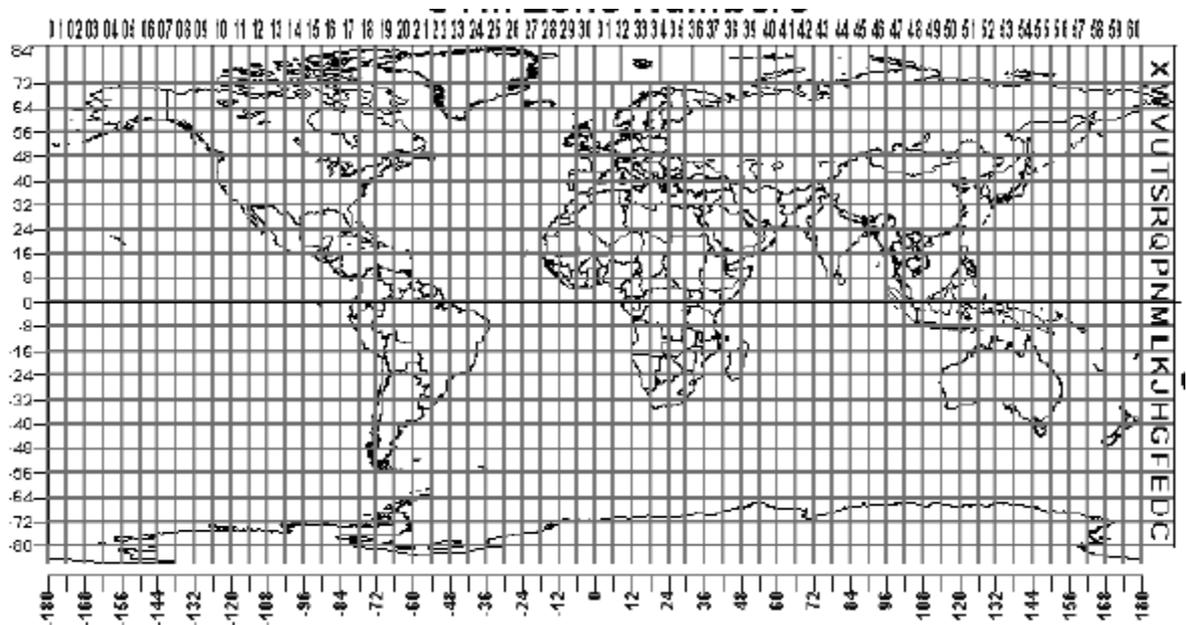
Fue creado por el ejército de los EE. Modelo de elipsoide basado en la Tierra de 1947 (Hayford International Ellipsoid Reference); fue muy utilizado desde el principio, pero hoy ha sido reemplazado por lo elipsoide WGS84 para hacer que el sistema sea compatible con GPS. La unidad básica de medida es el metro.

Entonces se basa en la proyección del elipsoide en cuestión, la proyección UTM es un sistema de cilindros tangentes a la elipse en el meridiano original: los puntos del elipsoide se proyectan sobre el cilindro tangente al meridiano fijo (lo llamaremos). meridiano central), de manera que cuando se despliega el cilindro, el ecuador se desplaza hacia la línea cuyo eje es X, y el meridiano central se convierte en otra línea perpendicular a la anterior, que pasa a ser el eje Y.

Para evitar una distorsión de proyección excesiva, el elipsoide de la Tierra se divide en amplitudes de 60 grados, cada una con el meridiano central y el ecuador como ejes de referencia.

La figura 38 muestra lo que son las referencias en la zona UTM respecto a sus números de zona.

Figura 38: Números de zona UTM



Fuente: UTM System (1947)

Este será el sistema de coordenadas que se aplicará en nuestra investigación, aplicándose con la prudencia y criterio requerido.



2.2.7.3.WGS84.

Basándonos en lo que dice Lohmar (1984) El Sistema Geodésico Mundial ha sido desarrollado para el Departamento de Defensa de los EE. UU.

A partir de WGS 60, la aproximación de la figura de la tierra y su campo de gravedad ha convergido constantemente al WGS 84 más reciente de la Agencia de Cartografía de Defensa (DMA). WGS 84 es el sistema de referencia tanto para la emisión de GPS y efemérides precisas GPS.

Por lo tanto, el WGS 84 será de gran importancia, en todo el mundo, para aplicaciones prácticas. La precisión absoluta de una referencia de posición WGS 84 real es del orden de 1 a 3 metros, dependiendo del método aplicado.

Si WGS 84 está destinado a ser utilizado en las redes de control horizontal, el enfoque de una red de orden cero medidas por técnicas de satélite es obligatorio para fijar la realización del WGS 84 absolutamente.

2.2.8. Modelamientos hidrológicos.

Basándonos en lo dicho por Cabrera (2012) los modelos de cuencas reflejan cómo entendemos los sistemas de cuencas y cómo respondemos a ellos.

La capacidad predictiva depende de cómo se configure e implemente, y la calidad de las predicciones generalmente corresponde a la calidad de nuestra comprensión del sistema y el modelo que representa.

Por lo tanto, podemos decir que se puede lograr una representación adecuada de la cuenca de estudio gracias al modelado hidrológico, pero se debe tener en cuenta que existen muchas formas de determinar el comportamiento anterior para encontrar la forma más precisa de describir el comportamiento.

2.2.9. Modelamientos hidrológicos a nivel mensual.

2.2.9.1.GR2.

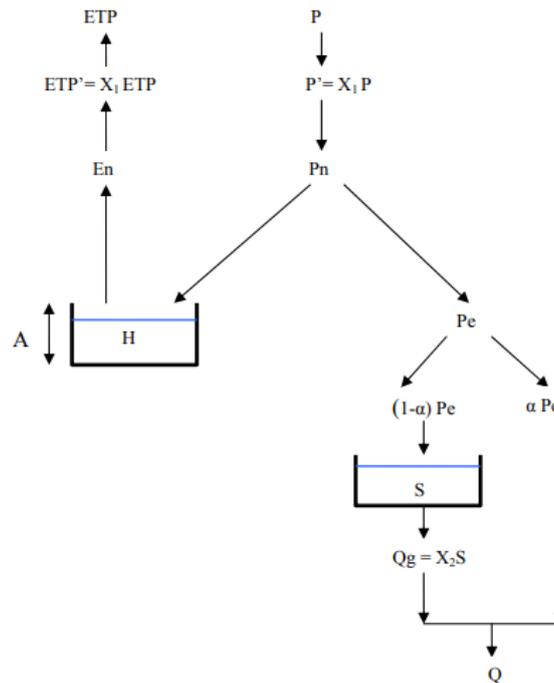
Según lo dicho por Cabezas Calvo Rubio (2015) el modelo GR2 fue desarrollado en el French Research Institute for Agricultural and Environmental Engineering (CEMAGREF) a fines de la década de 1980 y se usa con éxito en muchas cuencas francesas, así como en las áreas de sabana y bosque de Costa de Marfil. Su redacción es extremadamente simple.



Según Makhoulf y Michel (1994), el modelo incluye dos tanques, uno sobre el suelo con capacidad máxima A y capacidad H, y uno subterráneo con capacidad ilimitada y capacidad S.

La figura 39 muestra el esquema del modelo GR2 para lo que es el modelamiento hidrológico de una cuenca.

Figura 39: Esquema del modelo GR2



Fuente: Google imágenes

2.2.9.2. GR2M.

Según Cabrera (2012) que sostiene en su investigación “Modelos agregados: GR2M “es un modelo acoplado que simula flujos a intervalos mensuales.

El modelo convierte la precipitación en escorrentía utilizando dos funciones: una función de producción y una función de transporte.

Una representación del comportamiento del flujo de la cuenca (en este caso, una sonda con una cuenca más baja) afectará la precipitación promedio versus la escorrentía en el área de estudio.

Todo esto se debe a que la calibración del modelo en cuestión se basa en la "creación" del tanque, que lo analiza para encontrar la salida del tanque.



2.2.9.3. Lutz Scholz.

Según Cabrera (2012) este modelo hidrológico está vinculado entre sí porque tiene una estructura determinista para calcular caudales mensuales para el año medio (Balance hidrológico es un modelo determinista); y un marco aleatorio para generar una secuencia extendida de líneas (proceso de Markov - modelo aleatorio).

Fue desarrollado por el especialista Lutz Scholz para las cuencas del altiplano peruano en los años 1979-1980 como parte de la cooperación técnica de la República Alemana bajo el Plan Meris II.

Para nuestra investigación, se aplicarán los modelos hidrológicos de Lutz Scholz y GR2M para obtener la generación de caudales.

2.2.9.4. Delimitación de zonas de calibración.

Según Llauca (2019) el proceso consiste en identificar áreas estadísticamente homogéneas dentro de un área determinada para asociar áreas submarinas con las mismas características. Los resultados del análisis de sensibilidad de los índices hidroclimáticos RR y RV se utilizaron como variables generadoras de agregados.

Además, los valores de latitud y longitud del punto medio de cada subcuenca se comparan con las estimaciones del caudal medio anual obtenidas mediante el método de Budyko (Budyko, 1974).

Se considera que los predictores están normalizados para evitar el dominio de diferentes vectores con valores absolutos grandes.

2.3. Hipótesis

2.3.1. Hipótesis general

- Es posible predecir por medio de modelamientos hidrológicos los caudales medios mensuales de la cuenca de la laguna de Singrinacocha del distrito de Marcapata, provincia de Quispicanchis y departamento de Cusco.

2.3.2. Sub-hipótesis.

- Sub-hipótesis N°1: La cuenca de la laguna Singrinacocha sería de un relieve muy empinado originando un menor tiempo de concentración.
- Sub-hipótesis N°2: La cuenca Singrinacocha sería de características climáticas muy lluviosas y muy frías.
- Sub-hipótesis N°3: Los modelos hidrológicos de GR2M y Lutz Scholz serían más eficientes en la cuenca de la laguna Singrinacocha con una eficiencia de Nash-Sutcliffe desde satisfactorio a muy bueno.



2.4. Definición de variables

2.4.1. Variables independientes.

- Caudales medios mensuales generados por los modelos hidrológicos GR2M y Lutz Scholz.

- **Indicadores de la variable independiente.**

- Precipitación (media mensual, diría). (mm).
- Temperatura (media, mínima y máxima) (°/mes).
- ETP (mm/mes)

2.4.2. Variables dependientes.

- Caudales aforados, características fisiográficas, variables climatológicas.

- **Indicadores de la variable dependiente.**

- Aforamiento (l/s).



2.4.3. Cuadro de Operacionalización de variables.

Variable	Denominación:	Tipo:	Naturaleza:	Medición:	Indicador:	Unidad de medida:	Instrumento:	Dimensión:	Definición operacional:	Definición conceptual:	
Variable independiente	X1	Caudales medios mensuales generados por los modelos Lutz Scholz y GR2M	Descriptivo	Cuantitativo	Volúmen	ETP	mm/mes	Datos de las estaciones metereológicas	Ingeniería	Definición mediante recolección de datos en estaciones metereológicas	Pérdida de humedad de una superficie por evaporación directa junto con la pérdida de agua por transpiración de la vegetación.
			Descriptivo	Cuantitativo	Clima	Precipitación	mm	Datos de las estaciones metereológicas	Ingeniería	Definición mediante recolección de datos en estaciones metereológicas	Volúmen de agua mediante intensidad de lluvia
			Descriptivo	Cuantitativo	Clima	Temperatura	°/mes	Datos de las estaciones metereológicas	Ingeniería	Definición mediante recolección de datos en estaciones metereológicas	Grados o nivel térmico de una zona
Variable dependiente	Y1	Caudales aforados	Descriptivo	Cuantitativo	Caudales medios aforados	Volúmen	m ³	Fichas y tablas de recolección y procesamiento de datos	Ingeniería	Definición mediante procesamiento de datos en tablas	Escorrentía superficial presente en los puntos de interés por desfogue de ríos.



3. Capítulo 3: Metodología

3.1. Metodología de la investigación.

3.1.1. Enfoque de la investigación.

Este estudio se basa en la estimación de caudales mensuales mediante el análisis comparativo de los modelos hidrológicos, GR2M y Lutz Scholz, que son los modelos hidrológicos mayormente usados cuando no contamos con mucha información hidrológica y cuando se tratan de cuencas en la cuenca Vilcanota respectivamente, para determinar la escorrentía superficial en la laguna Singrinacocha, por lo que esta investigación tiene un enfoque de tipo cuantitativo.

Según Hernández Sampieri (2014) la investigación propuesta es de un enfoque cuantitativo debido a que permite evaluar la realidad en función de parámetros que son medibles, replicables y que estos pueden ser reproducidos con las mismas condiciones en cualquier momento. Además, nos permite hacer el uso de datos numéricos.

3.1.2. Nivel o alcance de la investigación.

Según Hernández Sampieri (2014) En la investigación descriptiva, en términos técnicos, se selecciona un conjunto de preguntas y cada pregunta se mide de forma independiente para describir los datos obtenidos y las variables en estudio.

Este estudio se basa en la estimación de caudales mensuales mediante el análisis comparativo de los modelos hidrológicos, GR2M y Lutz Scholz para determinar la escorrentía superficial en la laguna Singrinacocha, por lo que esta investigación tiene un enfoque de tipo descriptivo.

3.1.3. Método de la investigación.

Según nuestra investigación y lo estipulado por Popper (1980), nuestro método de investigación fue mediante un enfoque hipotético-deductivo de investigación deductivo basado en las siguientes proposiciones:

Implica desarrollar hipótesis a partir de premisas, una de las cuales es general (leyes científicas y teorías denominadas afirmaciones nominales) y la otra empírica (llamadas enunciados de restricción, que serán hechos observables que pueden suscitar interrogantes y fomentar la investigación).



3.2. Diseño de la investigación.

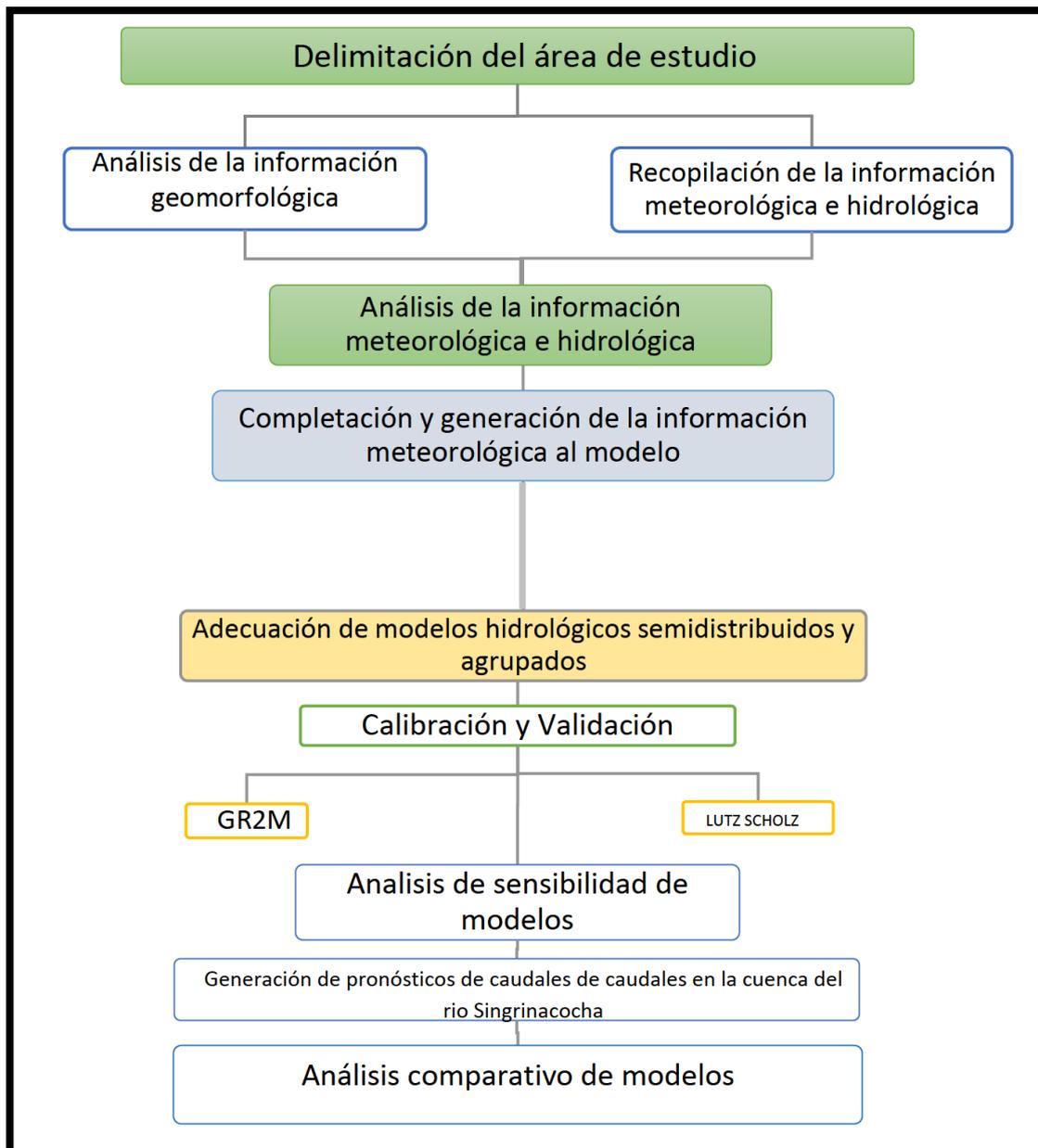
3.2.1. Diseño metodológico.

Según (Murillo, 2010), el diseño del estudio fue no experimental ya que solo obtuvimos datos observando eventos de depósito y erosión y luego analizamos sus correlaciones.

Los resultados presentados se calcularon sin cambiar las variables durante la recopilación de datos y el análisis de impacto.

3.2.2. Diseño de ingeniería.

Figura 40: Diagrama de flujo de la investigación



Fuente: Elaboración propia



3.3. Población y muestra.

3.3.1. Población

3.3.1.1. Descripción de la población

La población correspondiente son los datos meteorológicos y fisiográficos de las lagunas ubicadas en la cuenca de Urubamba, mismas que tienen como finalidad recopilar los datos de precipitaciones, temperaturas (máximas y mínimas) y aforamientos.

3.3.1.2. Cuantificación de la población

La población se cuantifica haciendo uso de información meteorológica suministrada por el producto “PISCO” (Peruvian Interpolated data of the SENAMHI’s Climatological and hydrological Observations) de SENAMHI, el satélite “GIOVANNI” de la NASA y el satélite “GlobalWeather for ” del The National Centers for Environmental Prediction (NCEP) Climate Forecast System Reanalysis (CFSR) de los Estados Unidos.

3.3.2. Muestra

3.3.2.1. Descripción de la muestra

La muestra correspondiente son los datos meteorológicos y fisiográficos de la cuenca de la laguna Singrinacocha, mismas que tienen como finalidad recopilar los datos de precipitaciones, temperaturas (máximas y mínimas) y aforamientos.

3.3.2.2. Cuantificación de la muestra

La muestra se cuantifica haciendo uso de información meteorológica de precipitaciones, temperaturas de 36 años suministrada por el producto “PISCO” (Peruvian Interpolated data of the SENAMHI’s Climatological and hydrological Observations) de SENAMHI, las estaciones meteorológicas de SENAMHI y el satélite “GIOVANNI” de la NASA a la vez que los puntos de aforos del Plan MERISS en un periodo de 1 año.

Las estaciones meteorológicas usadas fueron:

- Estación meteorológica - Sibinacocha
- Estación meteorológica -
- Estación meteorológica - Ccatca
- Estación meteorológica - Aymaña
- Estación meteorológica - Huayllapampa



- Estación artificial – Tinki

3.3.2.3. Método de muestreo

Según Hernandez Sampieri (2014) para la cuantificación de la muestra, en el caso de estudio de la modelación hidrológica, 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.

En ese aspecto, se aplicó un muestreo por conveniencia en el que las muestras se seleccionan de una población solo porque están convenientemente disponibles para el investigador. Estas muestras se seleccionaron únicamente por la facilidad de reclutamiento

3.3.2.4. Criterios de evaluación de muestra

En nuestro caso presentamos un método no probabilístico, teniendo en cuenta que no se eligió un procedimiento a base fórmulas de probabilidad, se seleccionó a criterio del tesista y del investigador acorde a lo requerido en esta investigación.

3.3.3. Criterios de inclusión

Para la elección de las bases de datos se planteó:

- Debe de haber un registro mínimo de 15 años que tengan la disponibilidad de información de registros meteorológicos.
- La zona de influencia de dichos datos debe de estar acorde a lo especificado por el INAGEM y, por lo tanto, registrar los datos en las coordenadas a nivel de cuenca.
- Los datos que no presentan una tendencia similar a los demás procesados, serán descartados.
- Se deben descartar las estaciones que presenten un comportamiento anómalo respecto a las otras estaciones.



3.4.2.2. GIOVANNI – NASA

Explicándolo en términos de (Montoya, 2016) La interface web GIOVANNI (en honor a Giovanni Domenico Cassini) provee información de varios satélites para todas las zonas del mundo. Los datos ya se encuentran procesados y pueden ser descargados en una escala requerida.

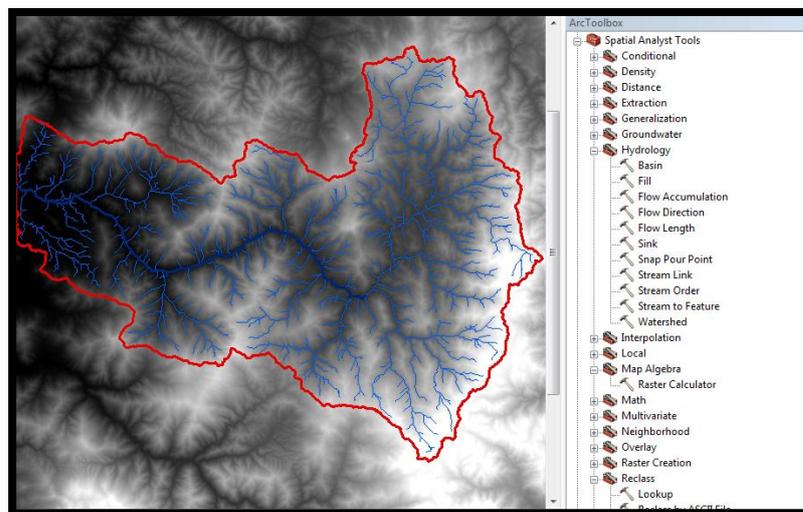
3.4.2.3. Programas para el procesamiento de datos

3.4.2.4. ArcGIS

Para la presente investigación, el programa elegido para poder obtener los parámetros geomorfológicos fue ArcGis dado que permite la simulación hidráulica de un modelo computacional representado en este caso por elementos tipo: Río (tramos de rio), Punto (Nodos de intersección), gráficos (hidrogramas, hietogramas, caudal, etc.)

Se muestra la figura 40 con una captura de pantalla del programa ArcGIS.

Figura 40: Programa ArcGis



Fuente: Google Images

3.4.2.5. EasyFit

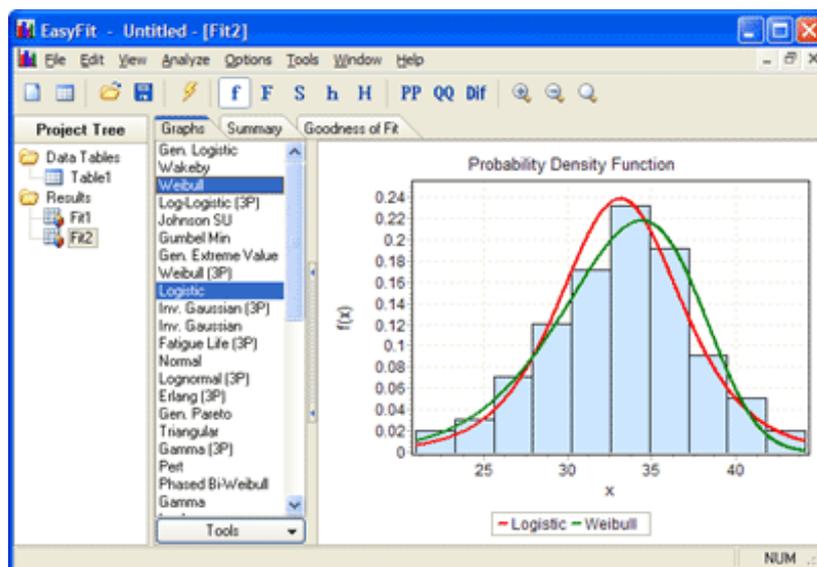
Para la presente investigación, el programa elegido para el análisis de consistencia fue EasyFit, dado que permite seleccionar la distribución de probabilidad que mejor se adapte a los datos que nosotros queremos procesar. Incluye numerosas funciones diseñadas evitar errores de análisis. La característica clave de EasyFit es la capacidad de ajustar

automáticamente más de 55 distribuciones a los datos de muestra y seleccionar el mejor modelo junto con la bondad de las pruebas de ajuste (Kolmogorov-Smirnov, Anderson-Darling, Chi-Squared) y así generar los posteriores gráficos de tendencia donde será más observable el tipo de muestra con la que se trabajará en la investigación.

Entre las pruebas de ajuste, se aplicó la prueba de ajuste Kolmogorov-Smirnov, que, según Villón Bejar en su libro Hidrología estadística (2006) La prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra es un procedimiento de "bondad de ajuste", que permite medir el grado de concordancia existente entre la distribución de un conjunto de datos y una distribución teórica específica. Su objetivo es señalar si los datos provienen de una población que tiene la distribución teórica especificada, es decir, contrasta si las observaciones podrían razonablemente proceder de la distribución especificada.

Se muestra la figura 41 con una captura de pantalla del programa Easyfit.

Figura 41: Programa Easyfit



Fuente: Google Images

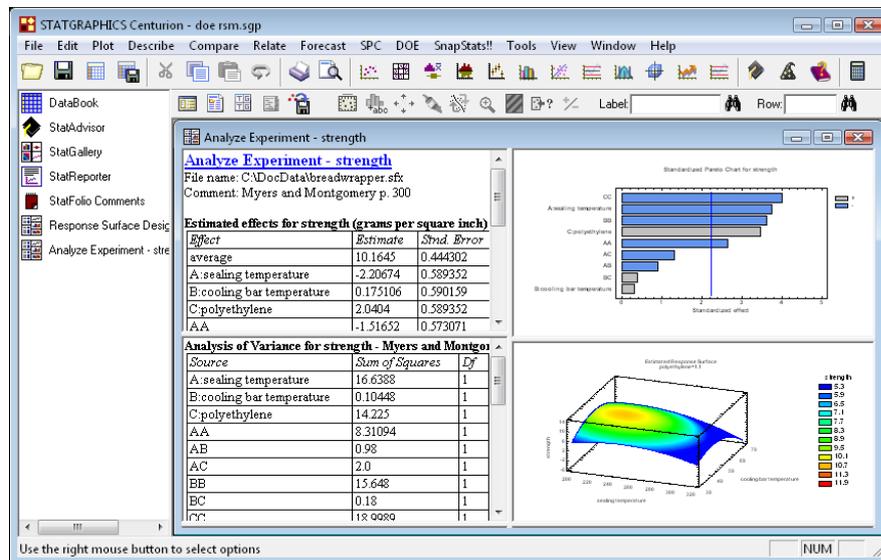
3.4.2.6. Statgraphics

Para la presente investigación, el programa elegido para las correlaciones y análisis de regresión fue Statgraphics dado que es un software que realiza análisis estadísticos, probabilísticos, pero, sobre todo, comparación de muestras y cuanta correlación hay entre una y otra. Está desarrollado para la optimización de datos y tiene el objetivo de mejorar la productividad.



Se muestra la figura 42 con una captura de pantalla del programa Stathgraphics.

Figura 42: Programa Stathgraphics



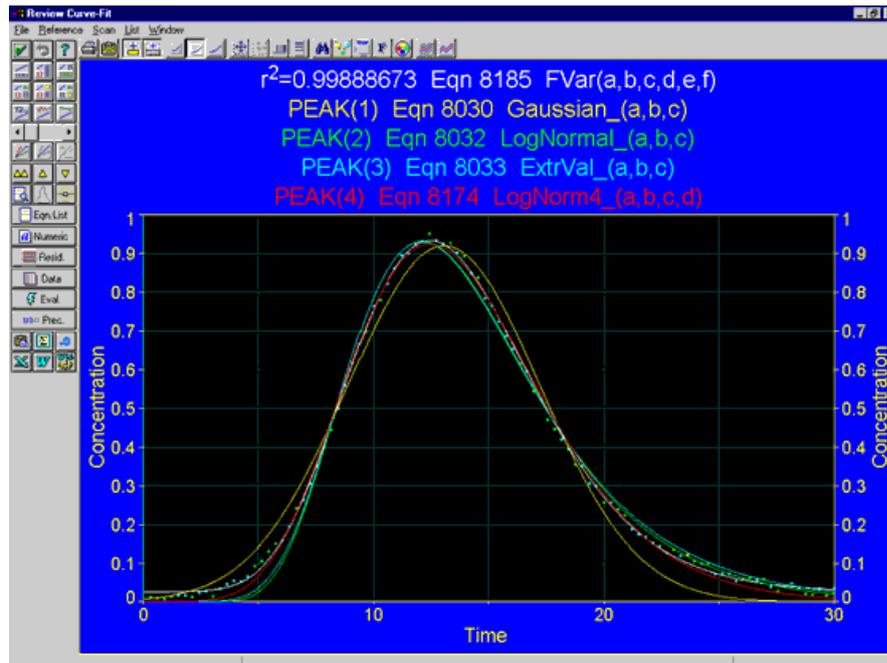
Fuente: Google Images

3.4.2.7. Table Curve (2d&3d)

Para la presente investigación, el programa elegido para el análisis de los aforamientos fue Table Curve (2d&3d) dado que sirve para graficar y modelar para cualquier tipo de datos, por lo que si es que la información va desde una tendencia lineal o no lineal el software podrá aplicar las ecuaciones que representen dichas tendencias.

Se muestra la figura 43 con una captura de pantalla del programa Table Curve 2d&3d.

Figura 43: Programa Table Curve 2d&3d



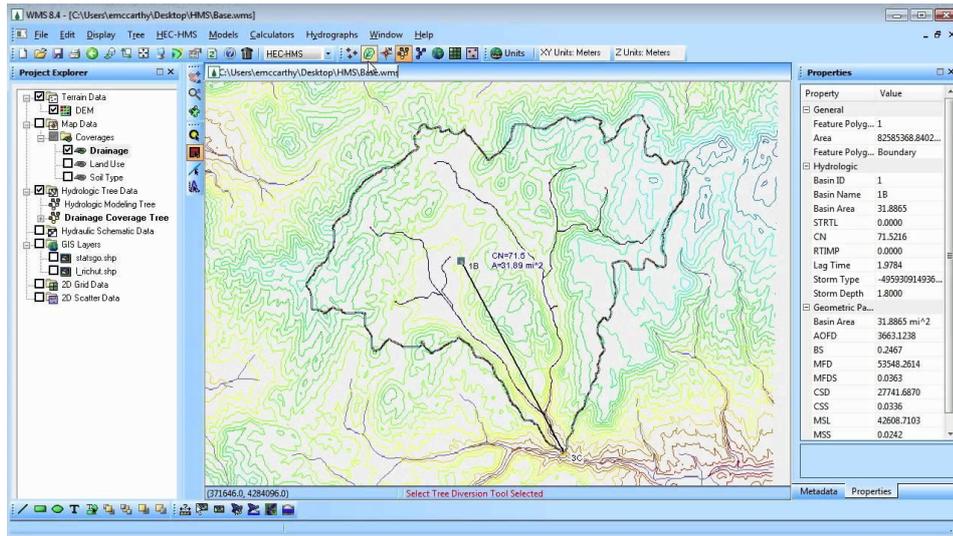
Fuente: Google Images

3.4.2.8. WMS

Para la presente investigación, el programa elegido para las características geomorfológicas de las subcuencas fue Watershed Modeling System dado que es software de modelado gráfico integral para todas las fases de la Hidrología e Hidráulica de cuencas hidrográficas y su uso se basa en la delimitación automatizada de cuencas hidrográficas y modelado hidrológico.

Se muestra la figura 44 con una captura de pantalla del programa WMS.

Figura 44: Programa WMS



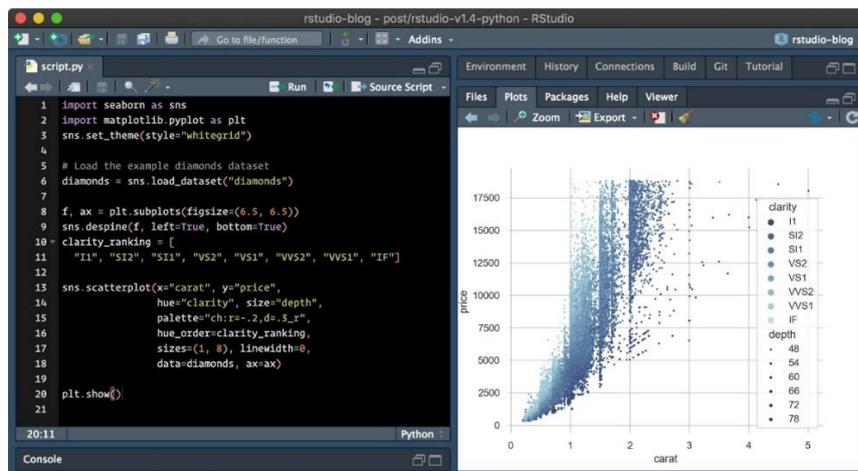
Fuente: Google Images

3.4.2.9. Rstudio

Para la descriptación de los datos del producto PISCO fue Rstudio dado que permite administrar proyectos en los que se trabaja con múltiples tipos de archivos de código, entre los que encontramos R scripts, Documentos R Markdown, archivos HTML o TeX, y muchos otros. Para comenzar vamos a localizar el menú «File». Desde aquí se pueden crear archivos de «R» así como proyectos.

Se muestra la figura 45 con una captura de pantalla del programa Rstudio.

Figura 45: Programa Rstudio



Fuente: Google Images



3.5. Procedimiento de recolección de datos.

3.5.1. Ubicación política de la zona de estudio.

La cuenca del río Yavero donde se encuentra la zona de estudio se ubica en el departamento de Cusco, abarcando 3 provincias y 6 distritos.

Se muestra en la tabla 11 la ubicación política de nuestra zona de estudio.

Tabla 11: Ubicación política de la zona de estudio

Departamento	:	Cusco
Provincia	:	Quispicanchis, Calca, Paucartambo,
Distrito	:	Ocongate, Ccarhuayo, Colquepata, Lares, Challabamba, Yanatile

Fuente: Autoridad Nacional del Agua – ANA

Según lo estipulado por (ANA, 2021), la laguna Singrinacocha se encuentra en la zona sur de la cuenca Urubamba, en la provincia de Quispicanchis, siendo comprendida en el distrito de Ocongate (1.61%) que conforma la cuenca ya mencionada.

La cuenca Yavero es parte de la cuenca Urubamba, razón que la vuelve una subcuenca que alberga nuestro punto de interés.

La figura 46 muestra la ubicación política de la subcuenca Yavero, localizada en la cuenca Urubamba.

Figura 46: Ubicación política de la subcuenca Yavero - Cuenca Urubamba



Tabla 13: Características geomorfológicas de la cuenca Urubamba

Características geomorfológicas de la cuenca	Valor
Área (km ²)	58735.00
Perímetro (km)	2031.88
Longitud río (km)	914.63
Pendiente de cauce principal (%)	0.53
Ancho promedio (km)	64.22
Índice de compacidad	2.37
Rectángulo equivalente (Lado mayor) (km)	954.40
Rectángulo equivalente (Lado menor) (km)	61.54
Tiempo de concentración (minutos)	5685.00
Tiempo de concentración (metodología)	Kirpich

Fuente: Autoridad Nacional del Agua

Según la información proporcionada, la laguna de Singrinacocha comprende un área de estudio de la siguiente manera:

La ubicación en coordenadas geográficas se muestra en la tabla 14 respecto a nuestra zona de estudio.

Tabla 14: Ubicación geográfica de la zona de estudio

Coordenadas Geográficas		
Latitud	:	13° 39' 39.976" S
Longitud	:	71° 9' 36.696" W
Coordenadas UTM (WGS 84, Zona 19S)		
Este	:	266331.7 m
Norte	:	8488712.6 m
Altitud	:	4331m - 4345m

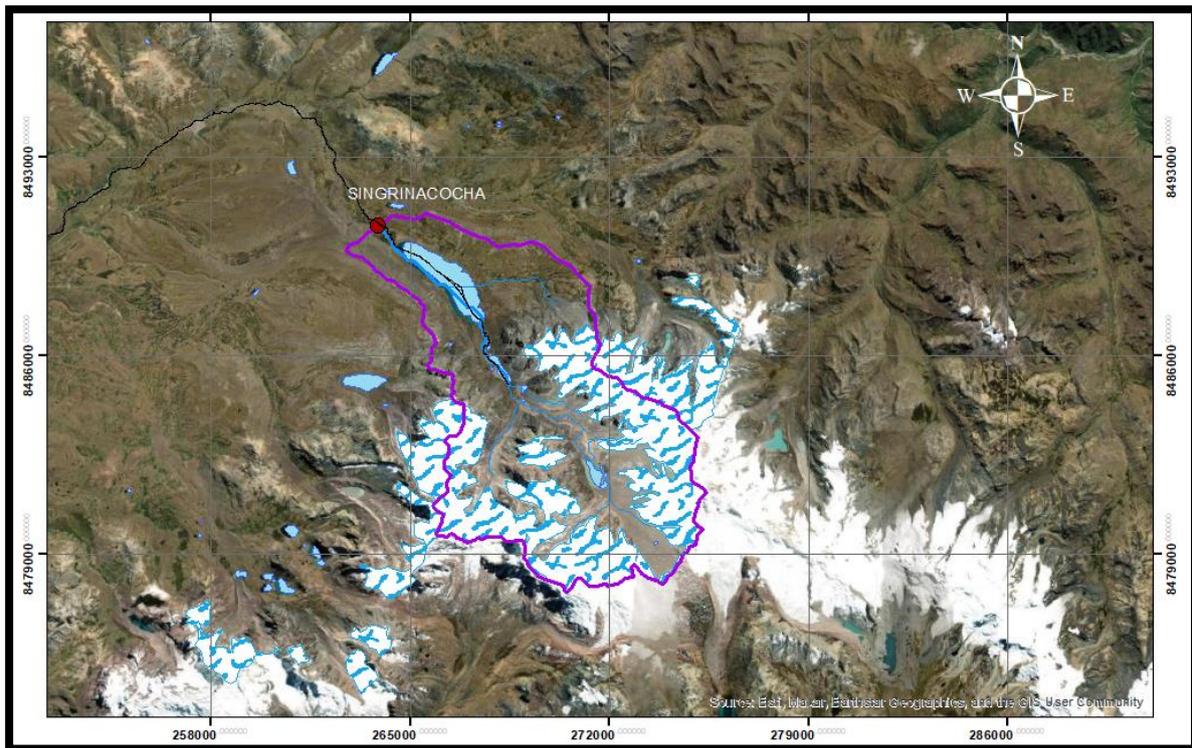
Fuente: MINAM - Ministerio del ambiente

3.5.3. Información cartográfica

A continuación, se presenta la delimitación del área de estudio que en este caso es la subcuenca del río Yavero, vertiente de la laguna Singrinacocha y que pertenece a la unidad administrativa Urubamba-Vilcanota (ANA, 2021).

La figura 47 muestra la delimitación de nuestro lugar de estudio siendo la laguna Singrinacocha.

Figura 47: Delimitación de la cuenca de la laguna Singrinacocha



Fuente: Elaboración propia

3.5.3.1. Modelo de elevación digital

El Modelo de Elevación Digital (DEM) fue obtenido para el presente trabajo de investigación por el producto SRTM (Shuttle Radar Topography Mission v.3.0). Información cartográfica obtenida a partir de aquí por la cual se puede obtener en el siguiente enlace. (<https://earthexplorer.usgs.gov/>, 2021)

Se reconocieron seis cuadrantes del Modelo de Elevación Digital (DEM) del Shuttle Radar Topography Mission v3.0 arc-1 los cuales son los siguientes módulos:

La tabla 15 muestra el registro DEM de los módulos los cuales abarcan nuestro lugar de estudio a modo de traslape de datos.

Tabla 15: Registro de DEM según localización



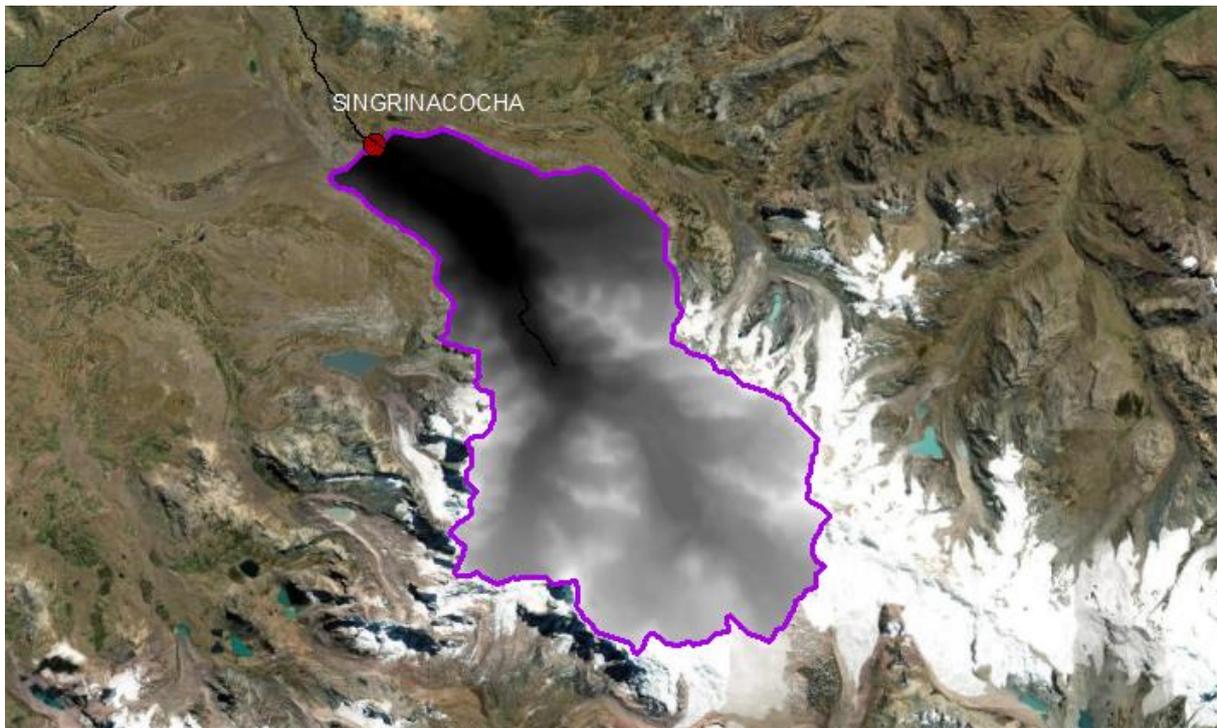
Ubicación geográfica		Módulo DEM
W	S	
71° 9' 36.696"	13° 39' 39.976"	s14_w072_1arc_v3
		s14_w073_1arc_v3
		s13_w073_1arc_v3
		s13_w072_1arc_v3

Fuente: Elaboración propia

Según a ello y con la delimitación de nuestra cuenca Singrinacocha, delimitamos y extraemos el DEM correspondiente y delimitado por nuestra zona de interés.

La figura 48 muestra el módulo DEM delimitado según la cuenca Singrinacocha.

Figura 48: Cuenca Singrinacocha – DEM

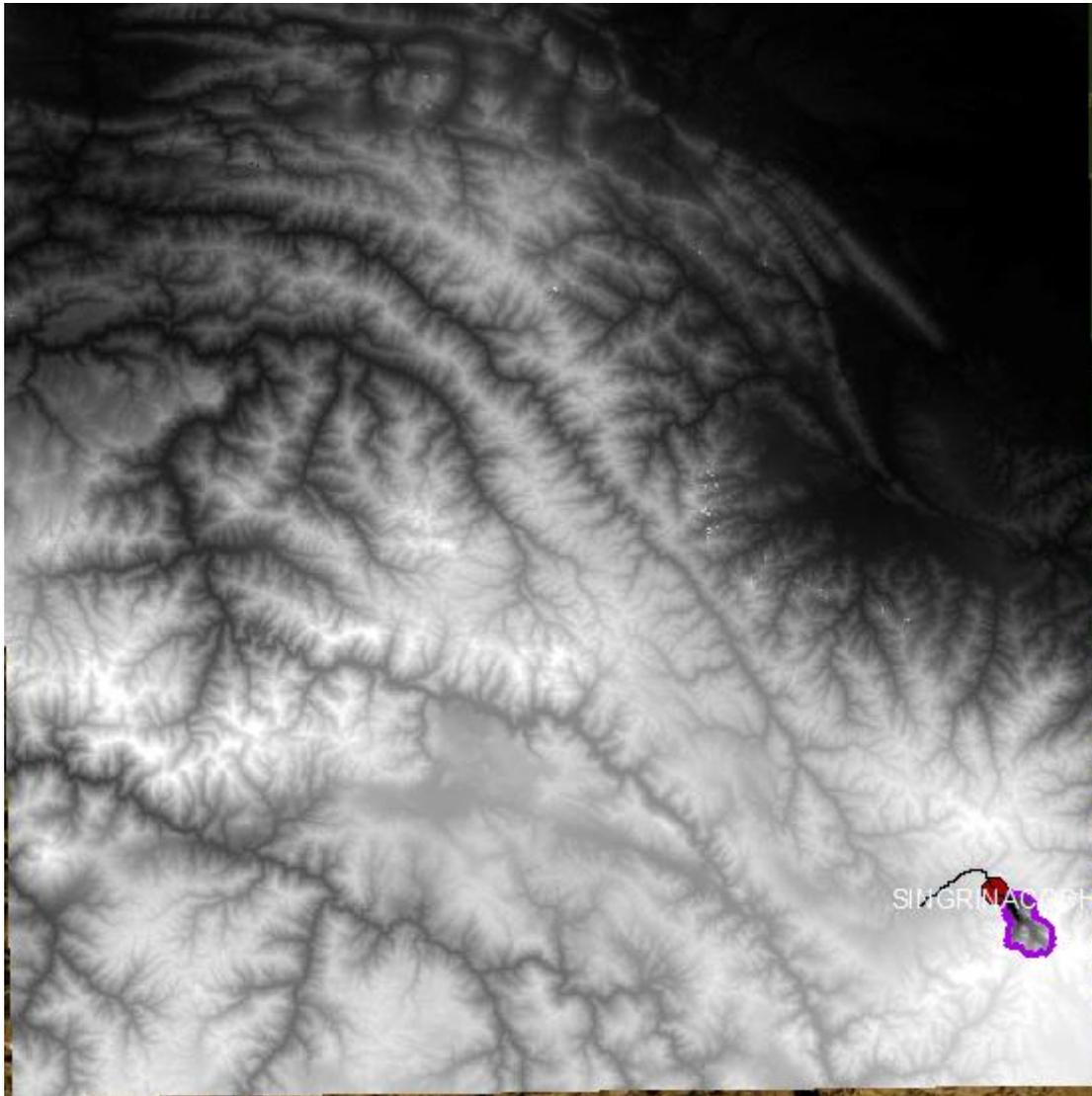


Fuente: USGS – EarthExplorer



La figura 49 muestra la extracción según el DEM correspondiente con los módulos descritos en la tabla 15.

Figura 49: Subcuenca extraída de la subcuenca del río Singrina sin procesar



Fuente: Elaboración propia

Con ello, se procede a describir el procedimiento cartográfico en el software Arcgis:

- Procedemos ir a la página del MINAM para extraer en la opción de descargas la información de “CUENCAS HIDROGRÁFICAS” en la cual procesaremos la Cuenca Urubamba y en su discretización extraer la subcuenca Yavero, generando un shape exclusivo de dicho lugar de interés.

- Tomando en cuenta nuestro punto de interés que es la laguna Singrinacocha y junto a los aforamientos, vamos a generar una propia subcuenca donde todos los afluentes conecten, que en este caso será la subcuenca de Tinki.

La tabla 16 muestra la ubicación política de nuestro punto de interés referencial.

Tabla 16: Tabla de ubicación de punto de interés

N°	P.interés	Ubicación política				
		Dpto.	Provincia	Este (m)	Norte (m)	ltitud (m.s.n.m)
1	Tinki	Cusco	Quispicanchis	220136.9	8526391	3773

Fuente: Elaboración propia

Por lo que desde el programa empezaremos a delimitar y procesar dicha cuenca desde su punto de interés.

3.5.4. Información geomorfológica

La figura 50 muestra el orden de ríos que se encuentran en la cuenca de la laguna Singrinacocha.

Figura 50: Orden de ríos de la laguna Singrinacocha

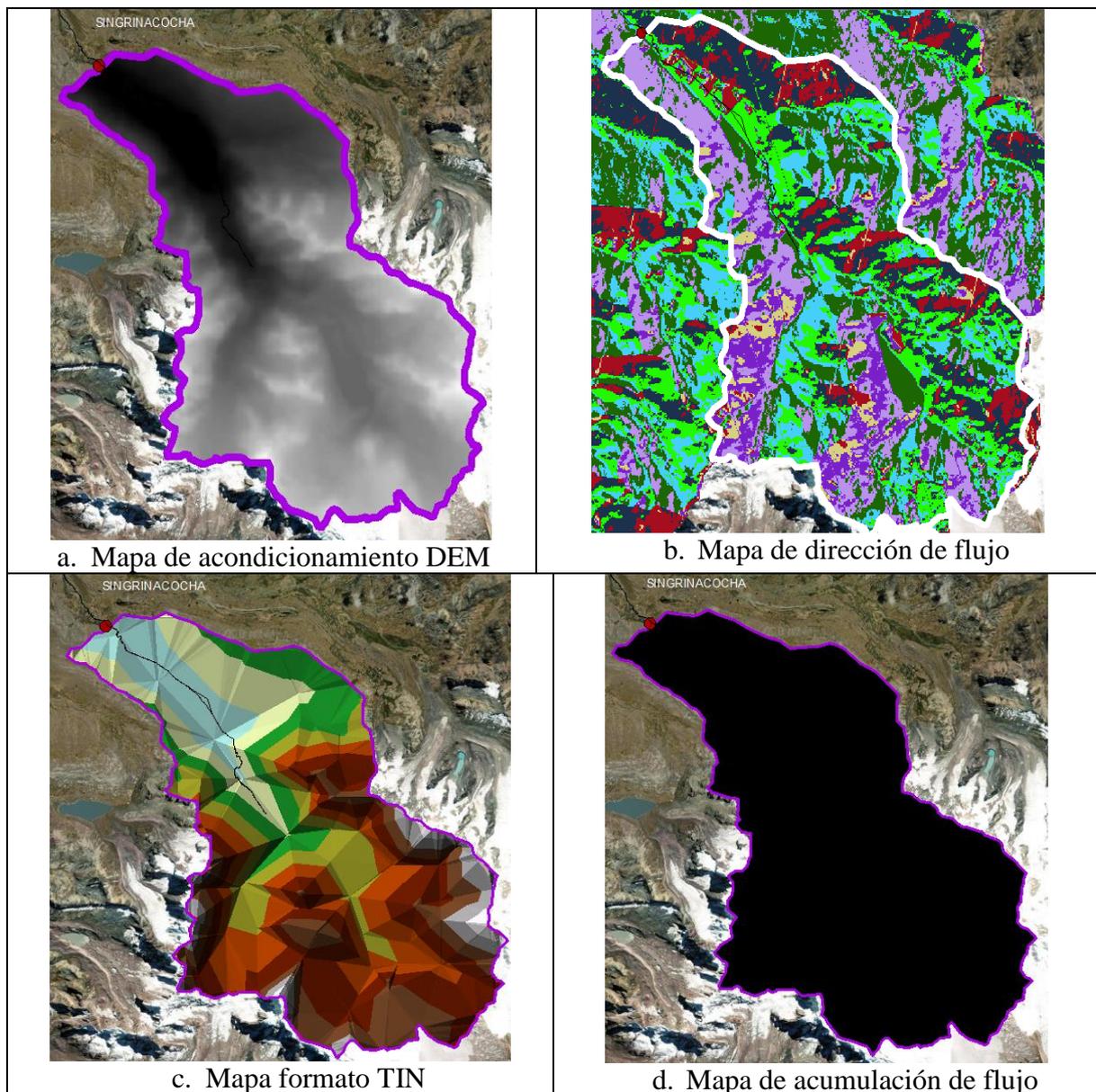


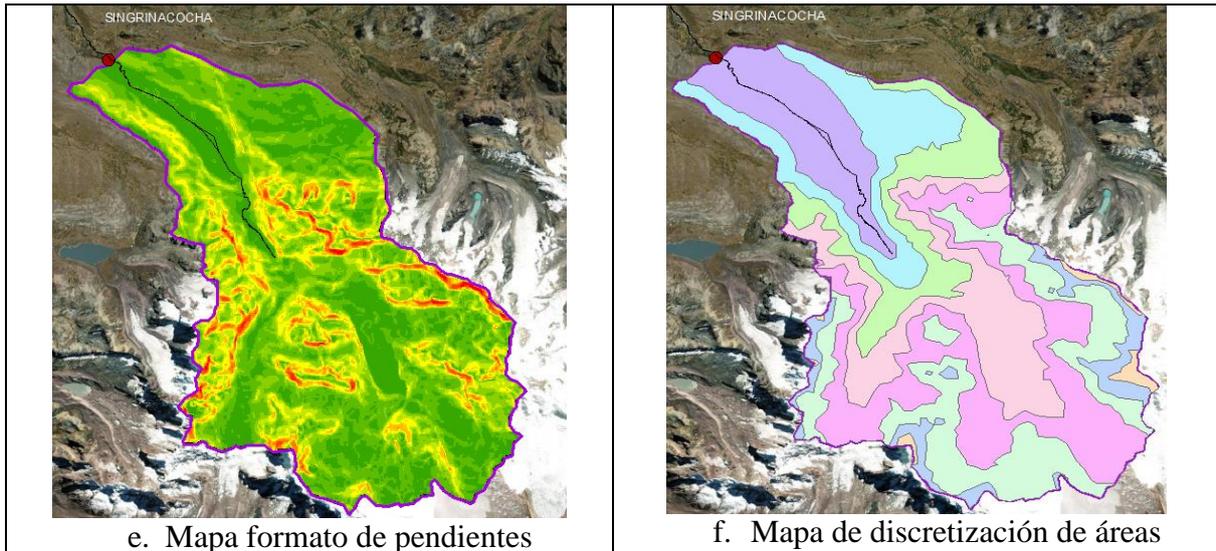
Fuente: Elaboración propia

- a) Para nuestra conveniencia y con el mismo DEM procesado, dividiremos la cuenca en 8 sub-áreas para el mejor manejo geomorfológico. Por lo que usamos en la herramienta “Reclass”, la opción “Reclassify” y ahí, dividirlos en zonas equitativas.
- b) Procedemos a convertirla a polígono y podremos disgregarlo y manejarlo de una manera más versátil.

En la figura 51 se muestra el compilado general de los distintos puntos de procesamiento de la cuenca Singrinacochoa.

Figura 51: Procesamiento de la cuenca Singrinacochoa





Fuente: Elaboración propia

c) Finalmente, para lograr la recopilación adecuada de información, iremos a la opción de “Zonal” en la herramienta “Spatial Analyst Tools”, eligiendo la opción “Zonal Statistics as Table” con la finalidad de procesarlo posteriormente.

Se muestra en la tabla 17 las subáreas de la cuenca Singrinacocha para su posterior procedimiento.

Tabla 17:Tabla de subáreas de la cuenca Singrinacocha

ZonalSt_Reclass_Singrina													
OBJECTID *	Value	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM	VARIETY	MAJORITY	MINORITY	MEDIAN
1	1	11578	10992734.742668	4313	4530	217	4399.23847	71.896397	50934383	218	4324	4314	4383
2	2	11448	10869306.212995	4531	4747	216	4651.756988	59.86826	53253314	217	4650	4544	4657
3	3	9949	9446080.32085	4748	4964	216	4852.868831	64.085689	48281192	217	4798	4824	4853
4	4	14802	14053762.278543	4965	5181	216	5069.609174	59.061228	75040355	217	5025	4966	5062
5	5	20845	19791290.007852	5182	5398	216	5293.000911	61.30372	110332604	217	5359	5182	5293
6	6	17260	16387510.939579	5399	5615	216	5501.784531	62.615508	94960801	217	5558	5614	5501
7	7	4906	4658002.81979	5616	5832	216	5696.623115	60.332234	27947633	217	5625	5763	5685
8	8	1076	1021608.445596	5833	6050	217	5903.492565	52.367419	6352158	200	5841	5926	5893

Fuente: Elaboración propia

d) Luego de ello, procederemos a obtener los datos de la pendiente de nuestra cuenca, por ello usaremos un mapa de pendientes. Usando la herramienta “Slope” llegamos a cargar nuestro DEM de la cuenca y lo clasificamos según a nuestra conveniencia.

e) Asimismo, usamos la herramienta “Raster to TIN” para la obtención de la pendiente del río trazando adecuadamente el cauce del río.

3.5.5. Discretización de áreas

La tabla 18 muestra la recolección de datos que se obtuvieron de la discretización de áreas de la cuenca de la laguna Singrinacocha.



Con ello sintetizamos nuestra recolección de datos de la siguiente manera:

Tabla 18: Características fisiográficas de la cuenca

Parámetros básicos paramétricos		
Área de la cuenca (A)	87.21	km ²
Perímetro de la cuenca (P)	49.03	km
Longitud del cauce principal (Lp)	8.11	km
Cota inicial del cauce principal	4313	msnm
Cota final del cauce principal	4483	msnm

Fuente: Elaboración propia

3.5.6. Información pluviométrica

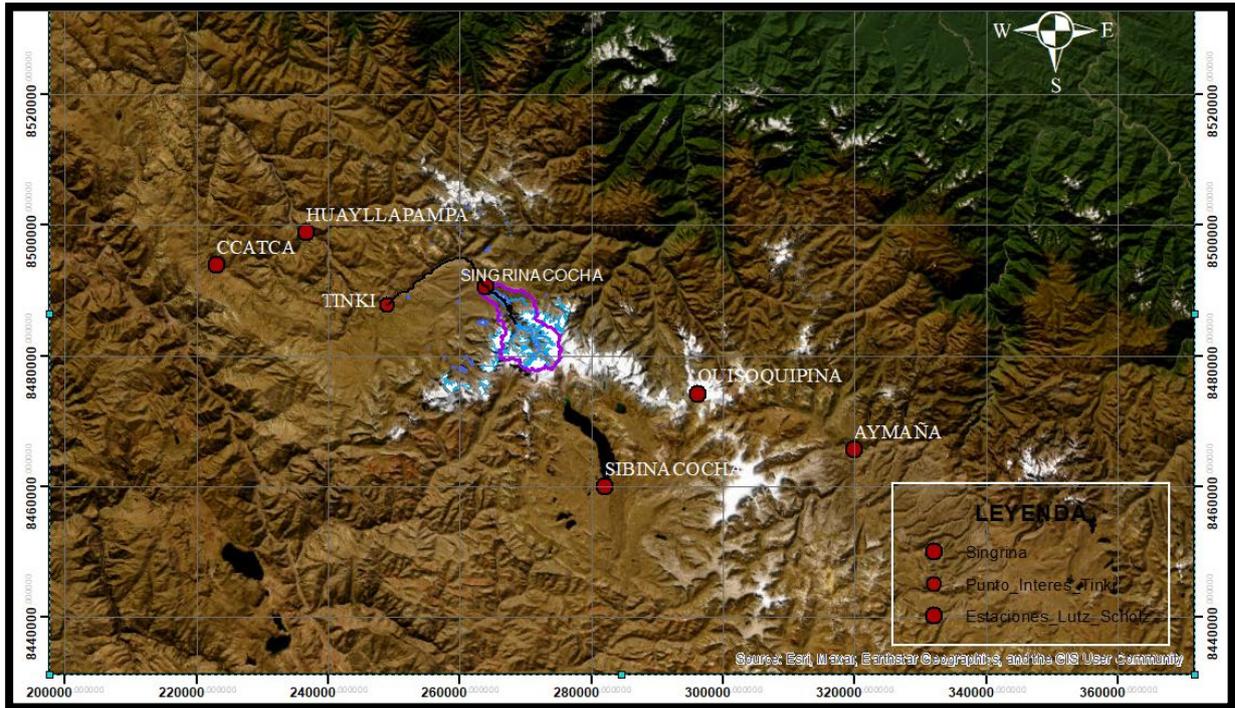
Próximo a ello, georreferenciamos los que son las estaciones meteorológicas próximas a la subcuenca, como fuentes de información por las cuales también se demuestra la existencia de pluviómetros.

“Se debe tener en cuenta que la precisión de la predicción espacio-temporal de las precipitaciones, tendrá más fiabilidad en los lugares donde se tenga información de pluviómetros, en esta última versión de PISCOp precipitación (versión 2) se ha hecho hincapié en esta premisa y se ha desarrollado un control de calidad robusto y exhaustivo que incluye un proceso de completación de datos.”

SENAMHI (Aybar, Lavado-Casimiro, Huerta, Fernández, & Vega, 2017)

La figura 52 muestra en un mapa de coordenadas UTM la ubicación correspondiente de las estaciones meteorológicas.

Figura 52: Ubicación de estaciones meteorológicas



Fuente: SENAMHI

En la tabla N°19 se presentan las ubicaciones de las estaciones meteorológicas correspondientes

Tabla 19: Ubicación de estaciones meteorológicas

N°	Estacion	Ubicación política				
		Dpto.	Provincia	Este (m)	Norte (m)	Ititud (m.s.n.m)
1	Sibinacocha	Cusco	Canchis	281936.4	8459960.4	4880
2	Quisoquipina	Cusco	Canchis	296093.3	8474138.8	5157
3	Aymaña	Cusco	Carabaya	319793.9	8465714	4175
4	Ccatca	Cusco	Quispicanchis	222989.1	8493960.4	3681
5	Huayllapampa	Cusco	Quispicanchis	236636.8	8498854	3358

Fuente: Elaboración propia

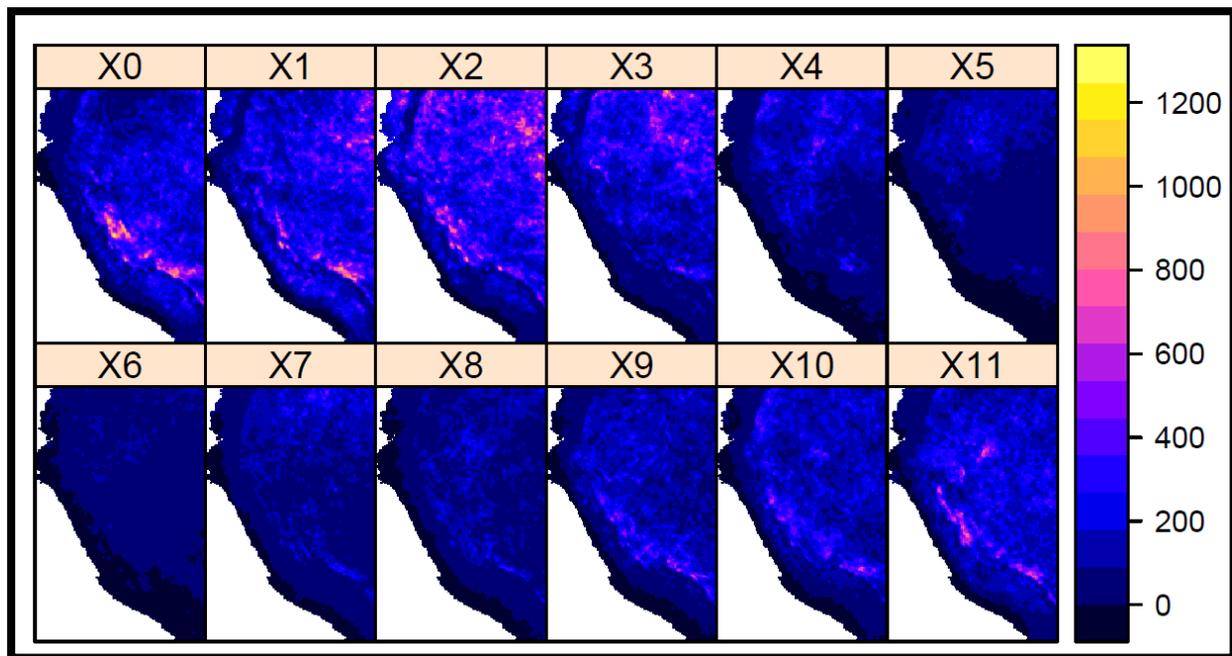
Luego de tener los datos de las estaciones meteorológicas tomando en cuenta el punto de interés igual, procedemos a extraer el producto PISCOp de precipitación y temperatura para el posterior uso de modelos hidrológicos.

Para esta sección, procederemos a utilizar los programas Rstudio y ArcGIS por medio del cual extraeremos el producto adecuadamente para el uso de los modelos hidrológicos GR2M y Lutz-Scholz correspondientemente.

a) Según (Cañari Quispe, 2020) en la consola de programación procedemos a adjuntar las ubicaciones de la extensión de archivo shape “.shp” ya delimitado por el ArcGIS y que delimita nuestra zona de estudio y lo incluimos en la consola de programación ubicando el archivo donde se encuentra el producto y el shape, cargado junto con el producto PISCOp en formato “.ncdf4”.

La figura 53 muestra el procesamiento del producto PISCOp en mm en el programa Rstudio para su extracción posterior.

Figura 53: Producto PISCOp en mm



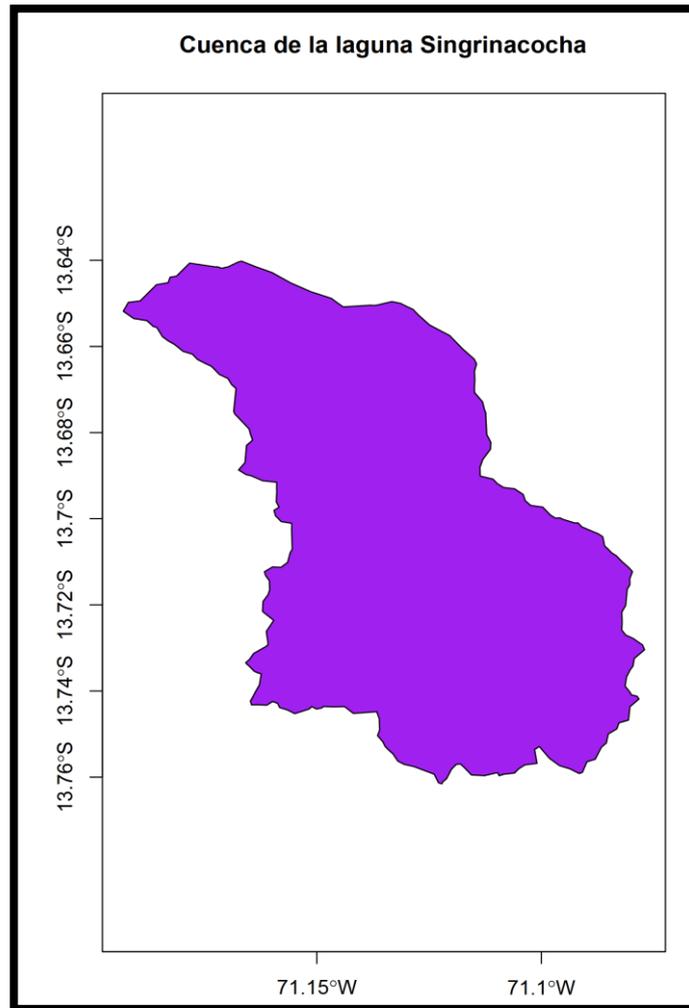
Fuente: SENAMHI

Observamos primeramente que, partiendo desde el criterio que X0 es enero y X11 es diciembre, observamos que, desde diciembre hasta principios de abril, las precipitaciones en la zona de la sierra en el Perú son constantes y abundantes.

b) Luego de ello, ploteamos y sintetizamos la cuenca Tinki en Rstudio generando su plot con el shape hecho en ArcGIS con la georreferenciación trabajada.

La figura 54 muestra el raster generado por el programa Rstudio respecto a la cuenca de la laguna Singrinacochoa.

Figura 54: Cuenca Singrinacochoa – Rstudio

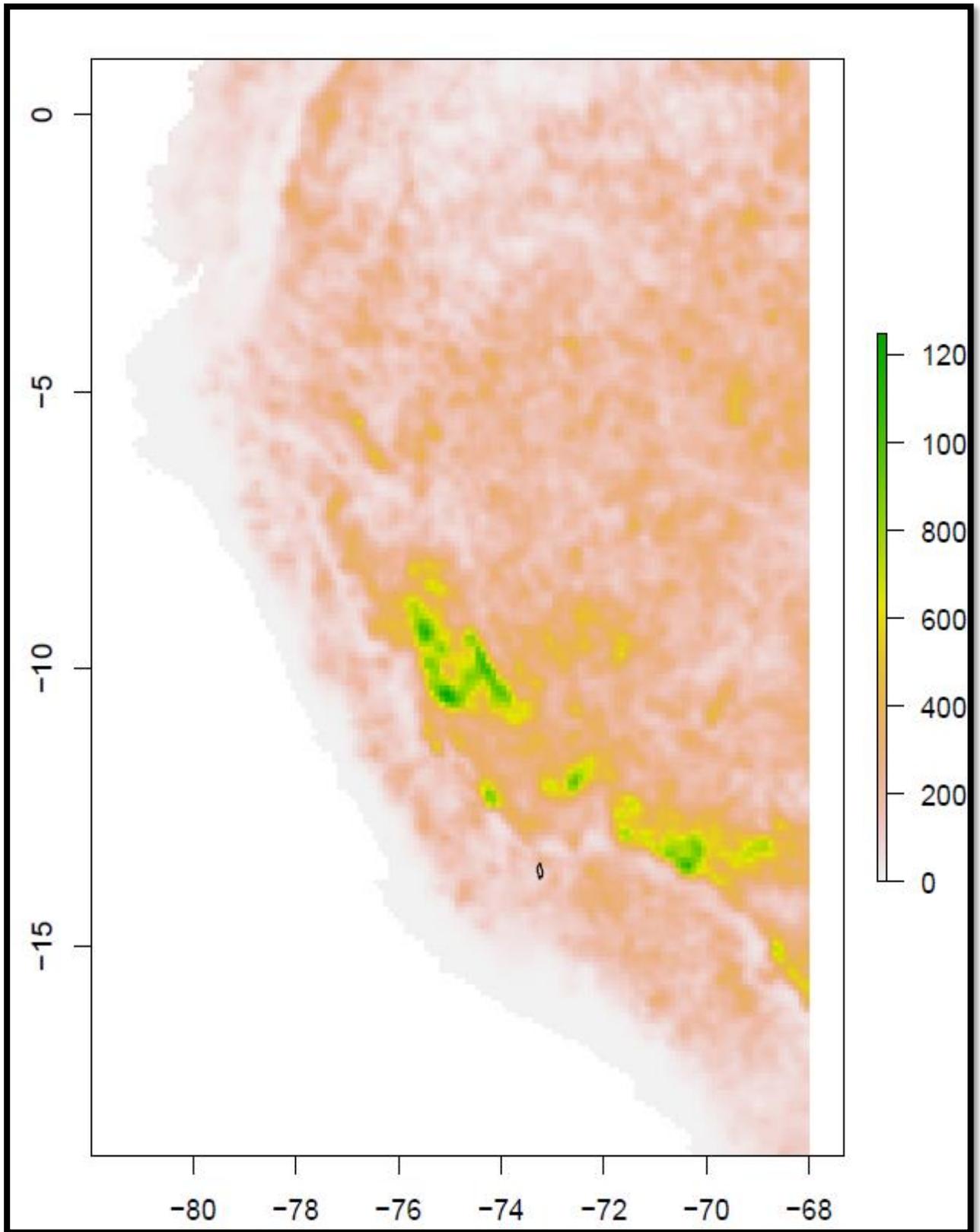


Fuente: Extracción del Producto PISCOp - SENAMHI

- c) Luego de ello, procedemos a descomponer el producto según al área delimitada requerida de nuestro punto de interés. Primero, hallando la precipitación promedio mensual según al punto ya mencionado de forma trimestral.
- d) Posterior a ello, extraemos el producto según a la zona de interés requerida y delimitado por el shape, esto con el objetivo de que la programación del programa nos delimite los datos a zonas específicas y con ello, poder obtener datos verídicos sin errores.
- e) Luego de ello, usamos un comando para poder asignarle los meses deseados, el orden y como deseamos que se nos entregue el producto, partiendo desde la data de 1981 hasta 2016.

La figura 55 muestra el raster generado por el programa Rstudio respecto a todo el producto PISCOp.

Figura 55: Extracción del producto PISCOp según nuestro punto de interés

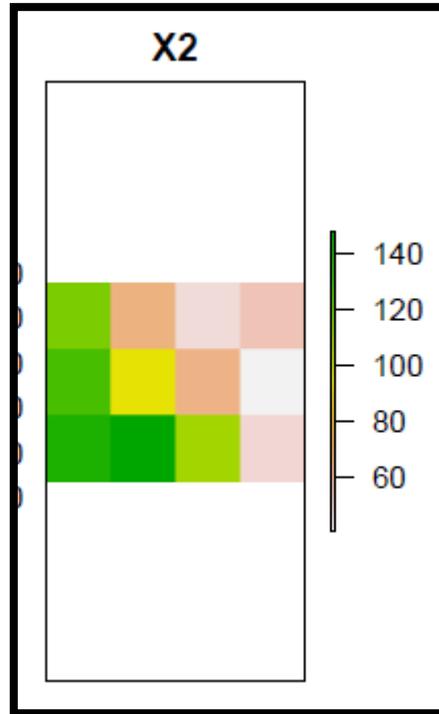


Fuente: Elaboración propia



La figura 56 muestra el raster generado por el programa Rstudio por la extracción del producto a la escala del raster de Singrinacocha.

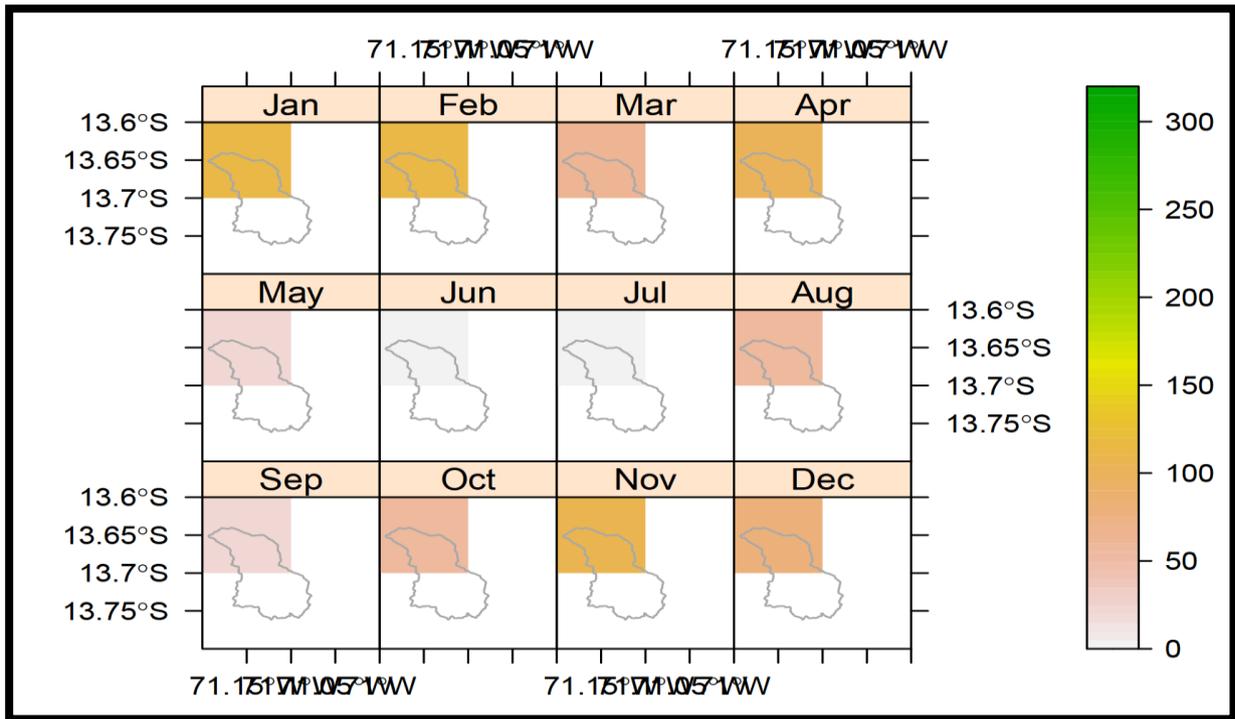
Figura 56: Extracción del producto primigenio



Fuente: Elaboración propia

La figura 57 muestra el raster generado por el programa Rstudio respecto a una escala anual y la extracción a escala.

Figura 57: Extracción del producto a nivel anual



Fuente: Elaboración propia

f) Extrayendo el producto según la programación ya calibrada en la consola del Rstudio sin alteraciones se obtuvo:

En la tabla N°20 se muestra la precipitación media mensual de la cuenca Singrinacocha

Tabla 20: Precipitación media mensual de la cuenca Singrinacocha



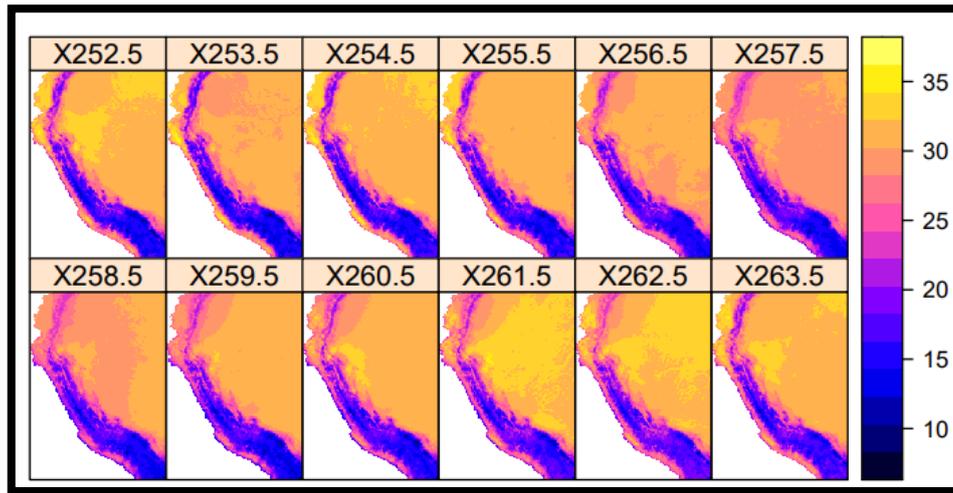
ANO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1981	83.10	94.66	40.61	71.36	19.11	2.64	5.79	39.29	19.33	30.73	77.28	87.04	570.92
1982	80.47	77.71	54.06	53.12	3.23	2.70	11.58	15.62	22.72	26.23	76.21	61.60	485.25
1983	51.28	84.72	40.51	33.96	22.72	2.98	8.03	10.81	4.30	10.18	28.77	60.88	359.14
1984	70.21	114.51	56.07	58.58	9.23	6.49	16.15	29.10	6.17	38.07	84.23	76.67	565.49
1985	73.40	103.42	51.02	56.97	23.84	6.93	10.62	4.39	37.77	12.09	78.30	86.94	545.70
1986	57.30	86.39	54.59	65.07	19.50	1.54	13.29	15.22	21.72	5.99	44.75	72.94	458.30
1987	75.88	83.77	34.67	26.30	9.69	4.37	91.52	11.15	11.44	20.50	78.87	96.69	544.86
1988	55.79	72.75	67.97	110.07	27.16	1.30	5.79	5.10	11.59	17.94	21.92	63.31	460.68
1989	70.80	86.06	54.40	69.87	20.42	9.82	5.83	50.26	29.40	13.45	48.73	67.16	526.21
1990	61.70	98.79	35.00	55.71	17.79	41.95	5.12	16.23	14.11	28.76	51.04	57.74	483.93
1991	52.74	90.26	34.75	41.46	23.69	24.35	6.69	3.54	12.35	17.48	48.16	63.38	418.85
1992	54.80	78.98	29.21	24.08	4.55	11.84	7.13	70.09	7.20	15.14	64.32	57.13	424.48
1993	53.43	81.36	45.00	58.67	7.36	6.60	19.69	62.81	19.53	25.40	61.92	110.76	552.52
1994	72.45	118.02	45.21	70.01	21.07	3.42	5.10	11.89	14.61	19.41	44.88	108.92	535.00
1995	46.31	77.90	70.66	44.56	13.26	2.55	14.02	5.75	18.67	15.02	58.16	67.32	434.17
1996	57.81	89.23	36.43	47.59	26.62	1.50	13.24	58.47	18.69	20.21	48.77	103.22	521.79
1997	54.93	126.73	52.97	36.85	20.28	1.40	12.68	33.77	13.08	17.50	77.62	65.66	513.49
1998	46.27	111.00	40.44	25.07	2.67	8.62	5.09	7.78	3.91	24.47	54.85	57.90	388.07
1999	63.63	151.46	49.45	74.18	13.90	4.22	13.92	3.53	33.92	15.04	36.50	90.41	550.14
2000	69.01	112.44	52.86	36.51	14.52	12.43	18.67	26.81	14.89	32.61	21.89	72.56	485.18
2001	85.99	133.16	70.50	64.36	34.04	3.50	41.73	48.95	17.04	32.35	62.23	56.91	650.76
2002	47.87	161.69	58.50	77.72	24.52	8.37	119.44	20.62	31.28	24.29	72.65	87.02	733.96
2003	71.35	101.60	51.72	35.88	21.48	11.11	11.58	35.53	10.60	14.28	30.80	104.30	500.24
2004	74.55	100.32	41.37	39.31	16.40	15.11	44.59	53.40	21.08	19.94	49.50	92.64	568.19
2005	44.24	119.90	38.19	25.63	10.90	1.40	10.80	10.63	11.08	24.43	53.67	66.93	417.80
2006	78.74	110.55	57.50	70.09	6.32	11.51	7.85	35.89	14.01	21.37	68.43	84.55	566.81
2007	77.19	88.30	55.77	63.20	11.99	3.33	29.18	11.44	8.05	24.08	58.05	75.23	505.81
2008	86.21	122.85	44.37	35.53	18.19	8.85	7.91	15.94	8.25	30.66	43.85	108.61	531.23
2009	65.10	111.11	50.08	43.18	8.96	1.60	31.70	10.19	15.48	13.05	101.81	83.69	535.94
2010	90.26	116.67	45.52	29.59	12.03	4.93	16.83	17.37	8.84	23.28	34.64	100.72	500.68
2011	63.53	147.04	38.27	83.85	15.05	9.40	40.13	11.33	29.63	21.35	31.32	101.05	591.94
2012	63.98	151.74	33.93	47.58	5.71	10.07	16.91	9.40	23.76	17.45	67.29	142.99	590.82
2013	112.40	153.21	57.06	33.00	24.50	9.15	15.89	43.78	5.98	30.81	70.61	154.65	711.06
2014	94.91	113.91	46.90	57.86	26.14	2.58	15.19	22.44	19.53	23.02	49.59	141.59	613.66
2015	91.58	126.85	54.59	107.00	28.66	5.69	35.32	24.82	11.13	13.96	77.94	104.46	682.00
2016	76.05	137.47	32.80	66.43	11.36	4.38	43.24	14.16	17.68	27.78	25.26	78.86	535.49
Media	68.76	109.35	47.86	53.89	16.58	7.46	21.62	24.10	16.36	21.34	55.69	86.46	529.46
Desviacion	15.73132997	24.604418	10.617376	21.444648	7.9700001	7.653822	23.932804	18.526743	8.4331429	7.2397334	19.58008552	25.017805	84.036403
C.V	0.22879422	0.2250097	0.2218415	0.3978986	0.4807022	1.0257931	1.1071396	0.7688219	0.5155891	0.3392221	0.351598822	0.2893693	0.158721
MAX	112.4010468	161.68814	70.655128	110.06998	34.035477	41.948292	119.44342	70.091553	37.769768	38.072498	101.8051682	154.65257	733.95612
MIN	44.23993683	72.749626	29.214231	24.082489	2.6735215	1.2960237	5.0914798	3.5261955	3.9126749	5.9916587	21.89054108	56.911976	359.14325

Fuente: SENAMHI

g) Asimismo, se hará con los datos de evapotranspiración potencial y temperatura como el procedimiento antes mencionado mediante su extracción de Rstudio.

La figura 58 muestra la extracción del producto PISCOtempmax.

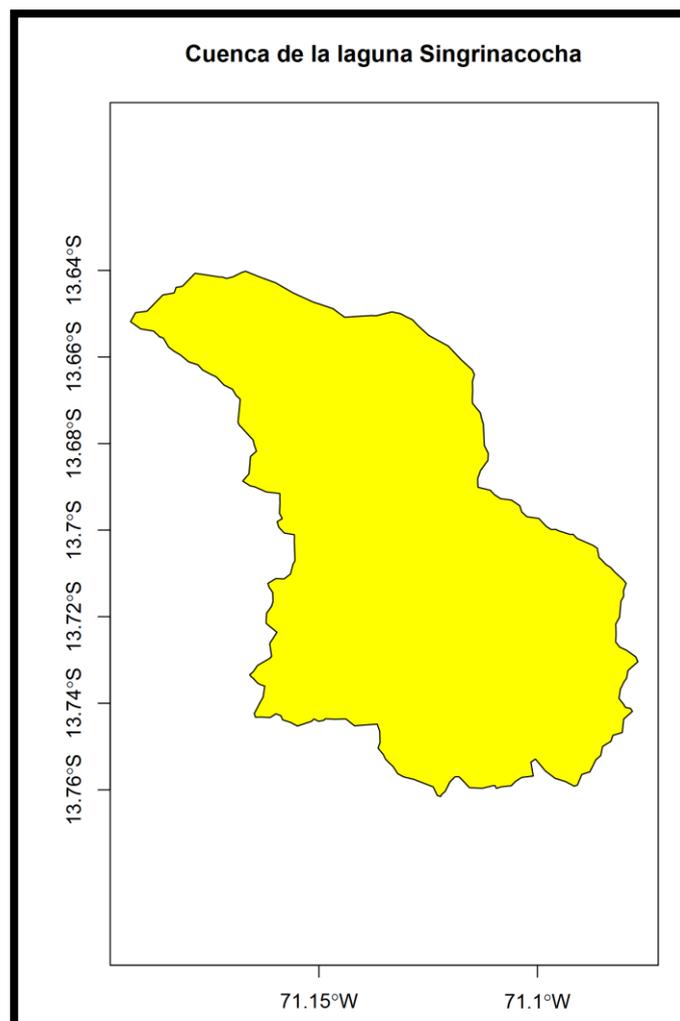
Figura 58: Producto PISCOtempmax en °C



Fuente: Elaboración propia

La figura 59 muestra el raster extraído por el programa Rstudio.

Figura 59: Cuenca Singrinacocha – Rstudio Temp

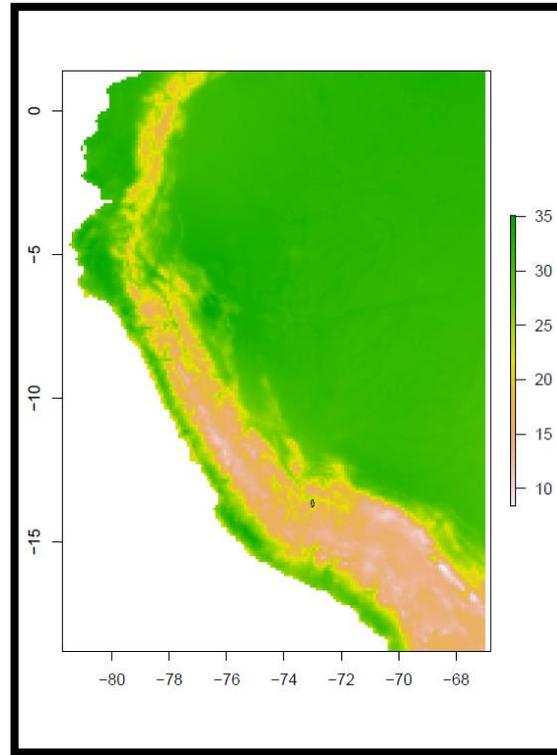




Fuente: Elaboración propia

Asimismo, la figura 60 muestra la delimitación a una escala del raster de la figura 59 para la temperatura máxima del producto PISCO.

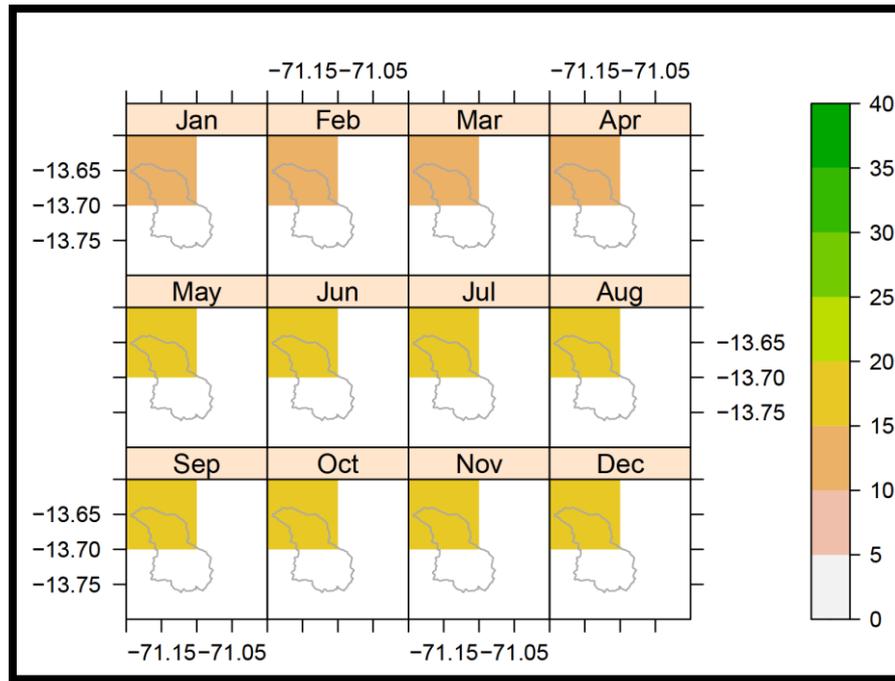
Figura 60: Delimitación nacional del producto en temperatura max



Fuente: Elaboración propia

La figura 61 muestra la cuenca delimitada por la cuenca de la laguna Singrinacocha

Figura 61: Cuenca Singrinacocha delimitada por la temperatura max



Fuente: Elaboración propia

En la tabla N°21 se muestra la temperatura máxima mensual de la cuenca Singrinacocha

Tabla 21: Temperatura máxima mensual de la cuenca Singrinacocha



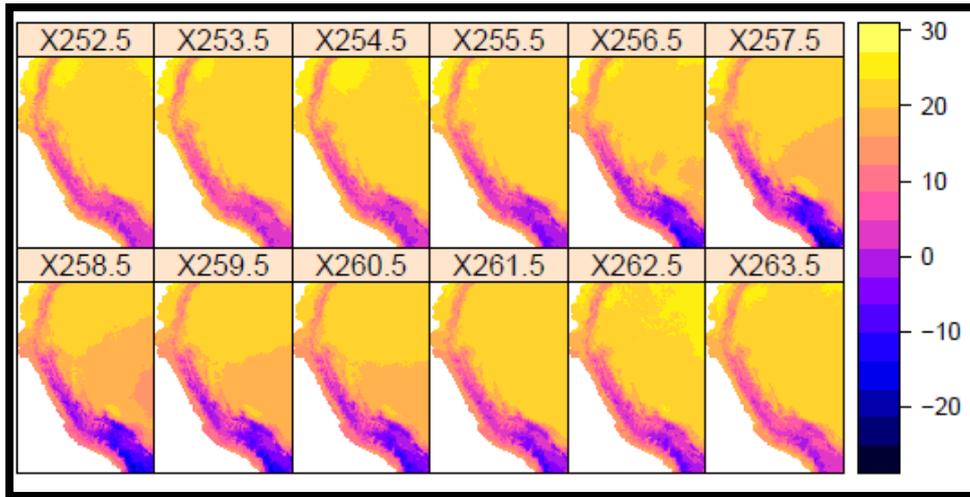
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM
1981	15.13745	14.71405	15.6615248	15.316843	17.1313	17.469568	17.081354	16.559853	16.186888	17.01466	17.978737	16.756844	16.42
1982	14.74646	15.12407	15.3503466	16.009567	17.092718	17.41638	17.882339	17.315588	17.967796	17.469648	17.227991	16.778769	16.70
1983	17.75143	16.67117	17.1154327	17.341181	18.100302	17.288214	17.604879	17.859325	17.700394	17.952574	18.089609	15.979573	17.45
1984	13.02138	13.89373	14.8347788	15.084181	17.549679	17.040449	16.416887	17.076979	17.670454	17.089821	16.625637	15.42729	15.98
1985	14.85802	14.26052	15.7135992	15.214351	17.002293	16.471142	16.217094	18.105551	17.568123	18.188509	16.341145	15.096351	16.25
1986	14.85553	13.48505	14.7707577	15.70634	16.176512	18.037907	15.907168	17.22546	17.595707	17.551935	17.88368	16.062929	16.27
1987	15.22382	16.68988	16.7438793	16.708706	17.558758	17.608343	17.783899	18.95187	19.118103	18.548134	18.25458	17.772749	17.58
1988	15.70742	16.54016	15.4863291	15.724178	16.939428	17.710989	17.340834	19.412218	18.703043	18.53599	18.388199	16.022974	17.21
1989	15.07766	14.10361	14.0551538	15.15081	16.649948	17.276802	16.500887	17.092136	18.115372	17.817116	17.802206	17.610594	16.44
1990	15.37125	15.99929	16.8758335	16.958384	17.729485	16.001837	16.315508	17.775059	18.044172	17.533403	17.515436	16.198582	16.86
1991	16.23867	16.26917	15.4569817	16.127352	17.987823	17.525879	17.283089	18.207453	17.575518	17.819403	17.566702	16.890581	17.08
1992	15.77797	16.39072	16.7582664	17.354839	19.061621	17.545504	16.383146	16.275276	17.29917	17.189543	17.434122	16.672785	17.01
1993	14.73759	14.78751	15.024168	15.507997	17.203047	17.925125	17.288536	17.044582	17.240808	17.33218	17.245026	16.190531	16.46
1994	14.9773	14.76014	15.5021744	15.557565	17.47633	17.542091	17.412737	18.380161	18.352104	18.171257	17.711044	17.092875	16.91
1995	16.36578	16.50281	15.3442793	16.876558	17.839823	18.019293	17.906195	19.212921	18.154589	18.84333	17.834249	16.557915	17.45
1996	14.81837	15.39147	16.0778332	16.141747	17.144827	17.189392	17.256418	17.424921	18.395224	18.581692	17.552877	16.373802	16.86
1997	14.4058	14.41183	15.0792055	15.568978	16.577845	17.182777	17.940609	16.648369	18.320681	19.153755	18.281618	18.724775	16.86
1998	17.75713	17.68894	17.6617661	18.350019	19.251293	18.102402	18.45462	18.993181	19.346712	18.27379	17.847345	17.124237	18.24
1999	16.28544	14.44907	14.4793949	15.470468	16.846333	17.404783	16.605185	17.993725	17.550058	17.331961	18.600458	16.647432	16.64
2000	14.56905	13.92351	14.5420122	16.353392	17.798941	17.060194	16.404469	17.594212	18.550053	16.843042	20.009768	16.560425	16.68
2001	13.88432	14.19871	14.5461874	16.174183	16.837618	17.404659	16.955036	17.769707	18.597523	18.397959	18.685802	17.734859	16.77
2002	17.16427	14.73872	15.3973312	15.650164	17.020033	17.710348	15.282683	17.766357	17.658049	17.806179	17.927244	17.251717	16.78
2003	16.92018	16.2144	15.4248238	16.314915	17.327459	18.488697	17.513502	17.380455	17.890623	18.962248	19.651659	17.578558	17.47
2004	15.96376	15.97581	17.1281891	16.956818	17.795486	17.302937	16.267525	17.038061	17.682934	18.35236	18.682543	17.607298	17.23
2005	16.95399	16.35136	17.0197029	17.398062	18.62653	18.757744	18.125124	18.975262	18.054411	17.954538	18.62281	16.720781	17.80
2006	15.48548	16.32079	16.1308022	16.276892	17.73748	18.243336	18.281946	18.322096	18.605444	18.339848	17.922497	17.696747	17.45
2007	17.52087	16.45398	15.4540062	16.268396	17.446123	18.845314	16.810156	18.905029	18.082811	18.552233	18.766373	17.220726	17.53
2008	14.68657	15.61512	15.638526	16.342669	17.222076	17.946733	18.066826	18.748011	18.964077	18.261301	19.165871	16.52475	17.27
2009	16.51266	15.41138	15.8819275	16.455946	17.603327	18.069851	17.241848	18.883396	19.325096	19.734711	18.494635	17.437075	17.59
2010	16.87775	17.41812	17.4244785	17.828123	18.031345	19.13974	18.835318	19.451532	19.840445	18.726675	19.226686	16.395159	18.27
2011	16.26681	14.13572	15.6918259	16.095972	17.885338	18.419701	17.46756	18.837112	18.43985	18.203405	19.523069	16.629715	17.30
2012	15.68972	14.44834	15.7178583	15.604827	17.677458	17.898844	18.168713	19.038809	19.102661	18.962833	18.846304	16.24964	17.28
2013	16.6153	15.74538	16.5657368	18.018995	17.861971	17.5508	17.367823	18.072466	19.232607	18.119175	19.103683	16.870972	17.59
2014	16.39083	17.8505	17.6164989	17.218126	17.747459	19.536903	17.697527	18.127481	18.324696	18.920185	19.750984	18.038879	18.10
2015	16.18602	16.31792	16.1508923	15.825355	17.311619	19.278318	18.186657	19.269619	19.709423	18.976715	19.646532	18.411356	17.94
2016	19.03169	17.59297	17.9864712	17.836536	18.526649	18.379339	18.573862	18.854172	19.568897	18.464931	19.017603	17.718328	18.46
Media	15.83	15.58	15.90	16.36	17.55	17.80	17.30	18.07	18.29	18.17	18.31	16.91	17.17
Desviacion	1.226276	1.200264	0.99941199	0.874084	0.6558936	0.7418823	0.8273095	0.8839824	0.7922159	0.6728309	0.8777474	0.7939033	0.6096508
C.V	0.077472	0.077043	0.0628661	0.0534436	0.0373743	0.0416793	0.0478192	0.0489147	0.0433091	0.0370379	0.0479334	0.0469589	0.0355035
MAX	19.03169	17.8505	17.9864712	18.350019	19.251293	19.536903	18.835318	19.451532	19.840445	19.734711	20.009768	18.724775	18.462621
MIN	13.02138	13.48505	14.0551538	15.084181	16.176512	16.001837	15.282683	16.275276	16.186888	16.843042	16.341145	15.096351	15.977606

Fuente: SENAMHI

La figura 62 muestra el producto PISCOtempmin extraído según al territorio nacional



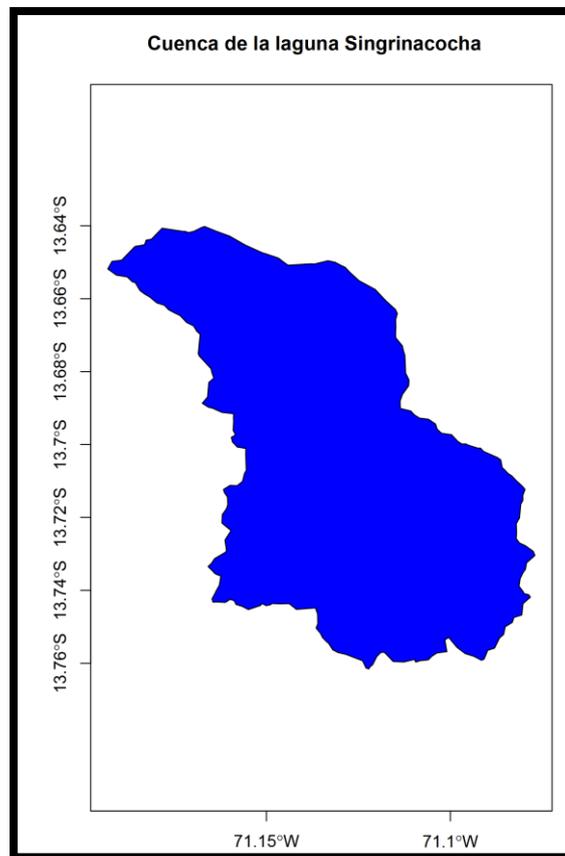
Figura 62: Productor PISCOtempmin en °C



Fuente: Elaboración propia

La figura 63 muestra el raster extraído respecto a la temperatura mínima extraída por el programa Rstudio.

Figura 63: Cuenca Singrinacocha – Rstudio Temp

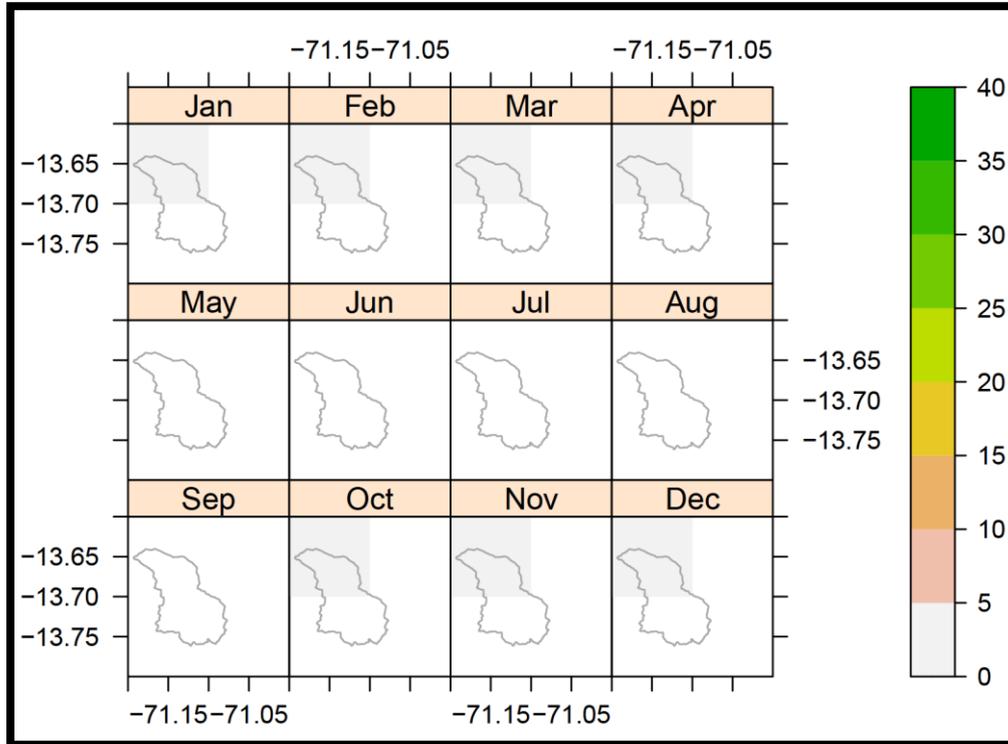


Fuente: Elaboración propia



De la misma manera, la figura 64 muestra la extracción del producto anualmente por la temperatura mínima

Figura 64: Cuenca Singrinacocha delimitada por la temperatura mínima



Fuente: Elaboración propia

En la tabla N°22 se muestra la temperatura mínima mensual de la cuenca Singrinacocha



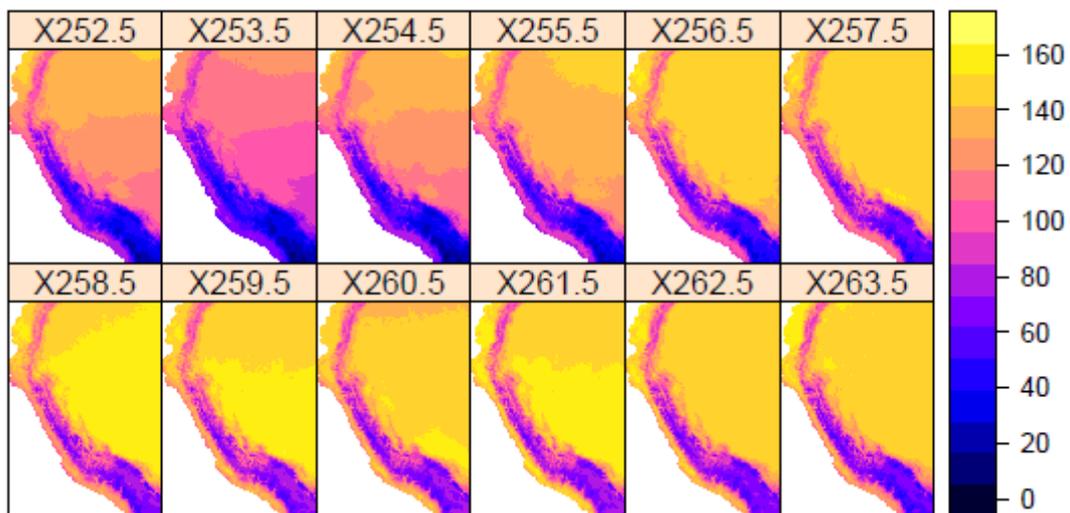
Tabla 22: Temperatura mínima mensual de la cuenca Singrinacocha

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM
1981	3.94	3.81	2.91	0.66	-3.23	-5.69	-5.56	-3.61	-2.01	0.95	2.78	4.29	-0.06
1982	4.02	3.50	3.47	0.76	-4.29	-5.45	-5.91	-4.41	-2.17	0.73	3.10	2.70	-0.33
1983	3.24	3.07	2.75	1.28	-3.05	-4.65	-5.34	-3.44	-1.44	0.23	0.72	3.50	-0.26
1984	3.71	3.76	3.77	1.59	-2.40	-3.40	-6.06	-4.98	-3.22	1.98	2.82	3.05	0.05
1985	2.92	3.30	2.97	1.87	-1.64	-3.62	-6.81	-3.12	-1.08	-1.01	0.83	3.21	-0.18
1986	3.75	3.23	3.55	1.49	-4.07	-5.07	-6.61	-4.42	-1.47	-0.58	1.29	3.81	-0.43
1987	4.49	2.74	1.69	0.34	-2.90	-4.63	-5.37	-4.30	-1.95	0.51	3.15	3.44	-0.23
1988	4.57	3.12	3.94	2.30	-1.47	-5.20	-5.95	-4.70	-0.77	0.62	1.18	2.67	0.03
1989	3.46	2.91	2.47	1.38	-2.52	-3.73	-6.41	-4.43	-1.52	0.61	-0.54	2.70	-0.47
1990	3.63	1.75	1.62	0.44	-2.32	-3.12	-5.81	-4.84	-3.31	1.68	3.40	3.88	-0.25
1991	3.74	3.53	3.39	0.70	-2.75	-5.43	-6.79	-4.77	-2.01	0.67	1.35	2.22	-0.51
1992	2.97	2.28	1.47	-0.57	-3.37	-3.75	-6.25	-4.31	-2.53	0.47	0.91	3.00	-0.81
1993	3.28	2.17	2.61	1.51	-2.25	-5.59	-5.35	-4.60	-1.91	1.02	3.22	4.43	-0.12
1994	3.83	3.63	2.73	1.93	-2.31	-5.35	-5.85	-4.98	-1.04	-0.07	2.49	3.97	-0.08
1995	4.13	3.19	3.33	0.65	-3.56	-4.85	-4.90	-3.97	-0.84	0.29	1.99	3.17	-0.11
1996	3.83	3.83	3.27	2.58	-0.71	-4.96	-5.98	-2.36	-1.04	0.88	2.21	3.98	0.46
1997	4.14	3.52	2.49	0.12	-3.05	-6.27	-5.66	-3.07	-0.01	1.24	3.04	4.13	0.05
1998	4.97	4.34	3.89	1.64	-3.65	-2.84	-5.64	-3.13	-2.12	1.51	2.12	3.47	0.38
1999	4.03	3.92	3.96	1.99	-1.23	-5.07	-5.49	-4.47	-1.48	1.38	0.69	3.24	0.12
2000	4.24	3.74	3.41	1.41	-2.07	-4.50	-5.84	-2.98	-2.06	0.98	0.59	3.20	0.01
2001	3.86	3.64	3.38	1.07	-1.91	-4.21	-5.46	-4.72	-0.29	1.68	2.66	3.56	0.27
2002	3.64	4.27	3.71	2.14	-0.97	-2.51	-4.24	-3.22	-0.49	1.94	2.79	4.25	0.94
2003	4.25	3.98	3.84	1.60	-1.21	-4.55	-5.38	-3.81	-1.94	0.24	1.32	3.81	0.18
2004	3.98	3.33	3.30	1.12	-3.14	-4.17	-4.53	-2.78	-0.52	0.95	2.04	3.65	0.27
2005	3.59	4.09	3.44	1.30	-3.13	-5.54	-5.12	-5.04	-1.51	1.37	1.90	4.06	-0.05
2006	3.85	3.46	3.76	1.67	-4.13	-3.67	-6.18	-2.82	-1.72	0.75	2.86	3.75	0.13
2007	4.32	3.50	3.62	1.97	-1.50	-3.48	-4.71	-3.51	0.13	0.96	1.57	3.20	0.51
2008	4.14	2.64	2.07	-0.22	-4.21	-4.57	-5.92	-3.94	-2.64	1.15	2.18	3.58	-0.48
2009	3.74	3.71	3.05	1.59	-2.13	-5.74	-4.70	-4.60	-1.15	0.81	3.61	3.91	0.17
2010	4.53	4.54	4.20	1.82	-1.67	-2.85	-5.32	-3.93	-1.18	0.89	1.04	3.77	0.49
2011	3.88	3.91	3.51	1.61	-2.56	-4.47	-5.18	-3.73	-0.47	0.45	2.20	3.54	0.22
2012	3.74	3.26	2.96	2.20	-2.92	-4.23	-5.57	-4.88	-1.32	1.21	2.79	4.56	0.15
2013	4.01	3.99	3.38	-0.07	-1.20	-2.45	-3.95	-3.71	-1.98	1.66	2.37	4.36	0.54
2014	3.75	3.20	2.99	1.67	-1.97	-3.58	-4.26	-3.22	0.76	1.92	2.19	4.19	0.64
2015	3.76	3.74	3.45	2.63	-1.09	-3.05	-5.41	-3.32	-0.55	1.13	2.72	3.67	0.64
2016	3.93	4.40	3.32	1.74	-3.03	-4.78	-5.20	-3.68	-1.98	0.87	1.08	3.74	0.03
Media	3.88	3.47	3.16	1.33	-2.49	-4.36	-5.52	-3.94	-1.41	0.89	2.02	3.60	0.05
Desviación	0.42209	0.62021431	0.67053065	0.7771958	0.98777377	1.00578079	0.68569348	0.74237618	0.899181138	0.65761284	0.967417804	0.54658274	0.3767811
C.V	0.108653	0.17861758	0.21239218	0.58409484	-0.3968651	-0.2306205	-0.1242311	-0.1884675	-0.636435511	0.73762422	0.47926312	0.15177334	7.1248008
MAX	4.967568	4.53717852	4.1978364	2.62867689	-0.7064564	-2.4505177	-3.9483144	-2.3649549	0.762027919	1.98294568	3.607732534	4.5591526	0.9435245
MIN	2.915815	1.75301397	1.47161138	-0.5668317	-4.2850637	-6.2665467	-6.8055739	-5.0394001	-3.313825607	-1.0079576	-0.541586995	2.2219615	-0.805851

Fuente: SENAMHI

La figura 65 muestra la extracción del producto PISCOETP a nivel de territorio nacional.

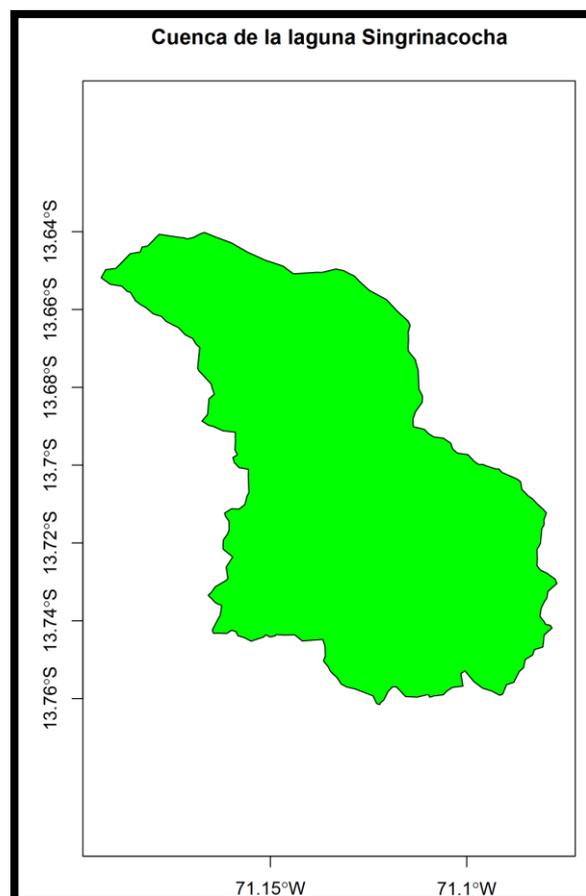
Figura 65: Producto PiscoETP en mm



Fuente: Elaboración propia

Asimismo, la figura 66 muestra el raster extraído del programa Rstudio respecto a la evapotranspiración.

Figura 66: Cuenca Singrinacochoa - Rstudio ETP

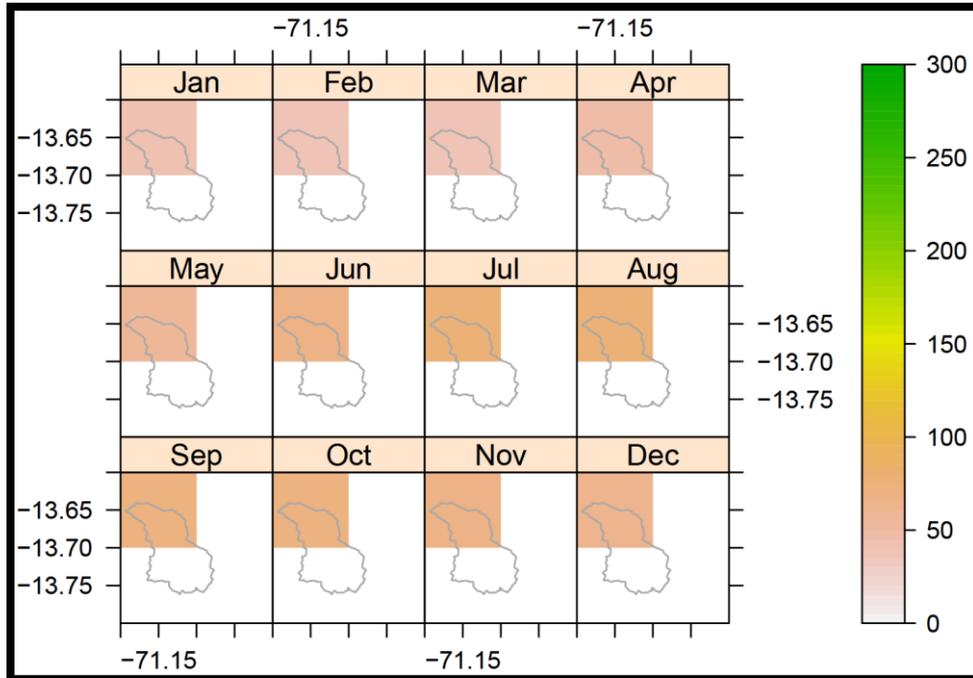




Fuente: Elaboración propia

La figura 67 muestra la extracción a nivel anual del producto respecto a la ETP de la cuenca Singrinacocha.

Figura 67: Cuenca Singrinacocha delimitada por la ETP



Fuente: Elaboración propia

La tabla 23 muestra los datos extraídos de ETP para la cuenca Singrinacocha.



Tabla 23: Evapotranspiración mensual de la cuenca Singrinacochoa

ANO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM
1981	46.293774	38.888252	41.801975	51.70166	59.830997	69.356789	77.23597	77.877945	74.266312	76.253914	69.876129	65.242798	62.39
1982	57.568611	44.142387	43.467506	41.826706	48.679161	57.500366	70.032898	78.778633	79.034363	80.101524	77.088661	79.177856	63.12
1983	75.0103	58.44429	53.343231	47.596931	46.320633	45.330948	58.569942	68.103882	72.376595	77.385078	75.029343	77.1521	62.89
1984	70.719902	63.659027	64.235336	52.697952	45.213833	42.269753	43.576191	54.692268	61.071285	69.755028	75.864822	77.937477	60.14
1985	75.463287	67.313965	67.5933	64.059677	56.936367	46.079174	43.902428	42.445389	46.32576	60.426998	66.155479	78.642082	59.61
1986	80.161919	69.18956	76.464905	71.993988	70.72541	58.930592	53.415642	46.531582	41.53648	47.095036	50.400124	66.149193	61.05
1987	72.933311	69.303123	77.344803	75.008636	73.275253	70.354485	64.717735	53.98259	44.256905	44.555298	41.81617	50.292557	61.49
1988	62.343437	67.191933	76.44088	76.54493	76.114006	71.316246	72.193275	63.283062	54.578781	47.229492	43.819427	40.571175	62.64
1989	49.991535	52.727669	68.933472	70.887985	77.845421	75.002007	79.525391	77.287628	68.857681	61.022209	47.794525	41.45068	64.28
1990	40.923027	41.573765	51.677929	62.153397	68.750458	70.848145	76.831581	49.319729	53.022552	67.345085	67.759048	71.172203	60.11
1991	71.013573	60.027458	65.32988	63.285576	54.050018	45.659954	38.742653	35.426476	42.760056	56.45715	59.232368	66.627342	54.88
1992	67.152016	64.905205	69.369591	63.142056	64.045197	55.498405	44.558094	38.21014	37.324951	39.909344	48.074818	60.174713	54.36
1993	65.960228	64.105804	74.65799	69.466446	70.687714	65.143547	62.769161	51.004501	40.421284	39.876198	41.461079	51.82761	58.12
1994	60.819389	61.761223	76.078392	75.158653	77.379005	71.560936	70.940376	66.350349	54.537117	47.681385	38.944706	40.583469	61.82
1995	49.549774	54.325588	68.505035	73.573921	74.346703	73.339058	71.394226	66.939415	62.976936	58.892284	47.485207	44.587994	62.16
1996	41.929417	40.420071	52.820812	62.601116	71.516174	68.435699	77.423813	74.711845	68.664413	69.733116	63.004379	54.726341	62.17
1997	47.977489	36.646648	42.450428	49.420307	57.66272	68.122223	77.082222	77.964828	73.636551	75.527046	70.480278	65.254883	61.85
1998	56.653709	44.220058	42.02412	39.413479	46.043327	55.280209	66.284576	71.482956	72.629356	75.110207	70.727013	71.141449	59.25
1999	67.041367	52.909916	51.900764	42.800167	41.463894	41.0825	50.768394	60.543751	66.653839	72.505783	73.67395	71.739166	57.76
2000	69.758148	64.556595	62.062111	51.781639	44.515827	40.177284	42.527954	46.286915	55.869396	66.914871	71.691727	76.097214	57.69
2001	73.493416	62.466507	69.380203	61.851635	55.422802	44.669025	39.068172	38.910732	44.257278	57.72998	62.619644	70.475014	56.70
2002	73.534218	68.396393	73.292404	67.827003	65.393074	56.573738	46.676563	41.054745	39.3904	44.905792	51.935169	62.652363	57.64
2003	69.87587	66.261345	71.869843	68.058388	68.686752	66.5289	61.909107	54.639606	40.850456	37.541031	39.289188	51.02507	58.04
2004	60.063137	65.709442	71.761421	71.035164	73.655098	66.694283	66.367599	60.464882	49.484116	41.741051	38.473209	40.632439	58.84
2005	44.329758	53.730015	65.573608	71.174835	78.507172	78.289642	82.59803	77.49556	71.752388	63.795235	49.066498	45.044762	65.11
2006	42.3591	42.191059	56.87101	64.470696	72.442085	73.854362	78.548515	77.450668	69.865173	67.667931	61.903084	55.53352	63.60
2007	45.467201	36.332462	43.075459	49.774876	60.772728	68.217461	72.626816	76.491821	72.161682	72.36393	67.988831	65.213806	60.87
2008	57.888641	46.137947	43.269165	38.356606	49.764763	56.260925	66.752647	72.98317	74.94751	75.532219	68.655197	70.656624	60.10
2009	66.734665	55.207363	51.687904	44.146439	42.507736	43.921871	55.626221	67.878006	71.828056	79.384033	77.288017	77.933891	61.18
2010	73.767502	63.643726	65.57592	54.388374	48.940254	42.776722	42.669422	53.211952	60.594193	73.151611	73.336487	79.255524	60.94
2011	81.212433	70.637016	73.170433	65.042389	58.552166	47.045933	43.835285	41.211411	45.265739	56.037395	64.518829	74.807449	60.11
2012	79.693466	72.214394	74.294518	68.671051	69.677269	57.839489	48.155258	41.771709	39.681049	43.672749	52.016941	62.584244	59.19
2013	71.202057	68.049629	75.991837	72.189407	73.781036	69.611931	64.062668	51.147354	42.108868	40.171478	40.316021	49.557007	59.85
2014	59.207806	60.442738	73.950172	74.606239	72.039131	70.454979	70.402702	65.30719	53.509602	43.316719	40.772305	38.956367	60.25
2015	49.749928	50.855309	64.815086	71.00856	75.334724	73.772705	79.331528	72.875961	65.423607	59.588379	48.641346	43.793163	62.93
2016	42.194866	42.788231	56.65102	64.543488	71.267586	71.482918	76.307045	73.295776	67.681595	65.569748	58.061733	49.348129	61.60
Media	61.67	56.70	62.71	61.45	62.84	60.54	62.15	60.21	57.77	59.89	58.20	60.78	60.41
Desviación	12.555466	11.105147	11.926719	11.463709	11.86252	12.015664	13.957965	14.089316	13.272585	13.630645	13.096795	13.543841	2.453627943
C.V	0.2035986	0.1958411	0.1901739	0.1865484	0.1887812	0.1984891	0.2245821	0.2340186	0.2297617	0.2276046	0.2250242	0.2228402	0.040617205
MAX	81.212433	72.214394	77.344803	76.54493	78.507172	78.289642	82.59803	78.778633	79.034363	80.101524	77.288017	79.255524	65.11312517
MIN	40.923027	36.332462	41.801975	38.356606	41.463894	40.177284	38.742653	35.426476	37.324951	37.541031	38.473209	38.956367	54.36371072

Fuente: SENAMHI

h) Luego de la extracción correspondiente a 36 años de datos, procederemos a ordenar los datos suministrados por las estaciones meteorológicas ya descritas que serán fuentes de información en nuestro lugar de investigación.



De la misma manera, extraeremos los datos de las estaciones meteorológicas anteriormente referenciadas según sus coordenadas, para ello usaremos el programa ArcGIS para su extracción.

En la tabla N°24 se muestra la precipitación media mensual de la estación Sibinacocha.

Tabla 24: Precipitación media mensual de la estación Sibinacocha

ANO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1981	249.11	147.28	157.72	99.84	16.66	2.17	0.28	17.61	35.54	61.31	93.82	198.21	1079.54
1982	243.73	82.49	159.51	71.46	3.04	1.92	2.32	6.23	48.95	62.85	112.61	148.08	943.20
1983	122.33	80.67	115.75	48.12	21.97	2.26	1.60	3.28	7.56	21.63	34.55	160.35	620.05
1984	207.00	150.75	180.12	55.98	13.50	6.48	4.93	12.21	8.82	111.71	157.56	223.37	1132.45
1985	193.17	140.62	162.40	97.96	39.40	9.91	1.79	1.39	72.47	28.29	119.30	243.54	1110.25
1986	168.24	115.10	193.83	105.06	14.59	1.00	3.50	6.07	43.78	12.69	55.14	205.37	924.37
1987	235.90	106.64	106.87	43.04	6.87	3.47	35.45	4.04	18.55	41.68	110.08	218.78	931.37
1988	165.01	98.03	229.77	166.65	38.57	0.74	0.20	0.70	18.12	39.84	25.68	174.84	958.15
1989	198.93	114.66	182.77	97.02	22.65	8.95	1.24	24.86	47.30	32.57	57.40	148.86	937.20
1990	182.19	110.51	129.60	67.93	16.74	44.35	0.12	4.65	22.16	61.16	72.65	148.19	860.24
1991	166.42	109.05	122.09	52.27	33.68	24.76	0.39	0.57	19.11	37.48	49.07	147.16	762.04
1992	163.87	95.95	89.45	29.38	3.08	10.39	1.24	31.18	9.92	29.70	85.37	102.49	652.02
1993	174.61	96.09	161.10	85.15	3.73	5.95	5.26	17.70	31.45	49.45	103.52	265.07	999.09
1994	232.49	152.38	165.84	98.67	20.20	2.18	0.60	3.20	22.92	40.22	64.96	245.62	1049.27
1995	142.16	97.52	216.31	66.27	11.83	2.38	3.47	0.89	29.37	30.25	82.41	172.18	855.05
1996	194.36	127.93	125.72	64.22	25.63	0.28	3.71	18.31	32.76	45.25	64.39	245.50	948.06
1997	180.62	170.68	221.37	51.73	15.10	0.75	2.32	19.15	21.41	41.11	116.25	181.09	1021.58
1998	197.74	137.12	160.97	25.40	1.50	4.47	0.50	4.06	5.98	67.41	72.73	125.84	803.70
1999	203.72	135.28	125.45	112.82	15.39	4.31	1.97	0.26	52.44	31.95	44.22	222.48	950.28
2000	175.62	143.56	159.02	37.43	11.13	12.63	5.70	7.81	22.22	79.03	26.41	186.24	866.80
2001	296.74	155.33	230.62	80.99	37.42	3.11	13.22	18.95	29.05	67.89	74.51	142.68	1150.51
2002	136.94	195.97	222.18	86.53	32.31	7.13	34.14	8.66	60.65	56.75	89.83	215.04	1146.11
2003	220.23	144.78	190.94	55.14	25.35	11.71	2.23	15.86	12.97	28.34	33.33	235.38	976.27
2004	212.26	125.88	130.38	59.64	12.16	13.62	12.15	26.02	42.74	36.61	68.23	237.90	977.59
2005	125.38	149.45	142.17	38.78	9.71	0.56	2.56	3.30	10.85	55.63	74.10	168.30	780.80
2006	248.06	121.17	149.40	104.52	5.61	10.07	1.20	12.31	23.95	43.54	99.07	226.96	1045.84
2007	204.57	98.70	218.18	77.49	11.73	1.89	8.74	2.45	15.85	51.63	69.19	159.90	920.32
2008	247.03	129.50	143.07	34.64	16.42	7.14	1.41	4.30	13.10	62.71	56.67	249.18	965.16
2009	164.11	130.84	123.76	50.20	8.22	0.76	8.83	2.40	25.72	27.77	128.53	213.87	885.01
2010	280.63	126.10	161.19	44.07	11.14	3.10	2.70	8.16	10.44	47.75	42.69	224.50	962.49
2011	171.06	162.15	159.04	115.82	13.36	8.17	11.59	3.63	57.61	37.15	37.56	254.66	1031.80
2012	213.40	202.69	159.47	70.37	4.79	9.04	3.05	2.34	38.09	36.58	75.55	313.90	1129.29
2013	358.36	169.30	157.60	42.47	23.93	10.99	3.02	14.40	8.48	56.23	89.58	322.02	1256.37
2014	277.00	127.59	133.62	72.18	21.06	2.36	3.32	8.20	42.40	55.96	52.22	305.78	1101.70
2015	278.74	130.44	173.69	133.26	27.80	4.69	13.53	11.72	23.10	32.27	82.81	266.58	1178.63
2016	237.92	171.49	113.15	86.64	9.29	3.27	12.66	6.74	35.59	68.32	33.37	170.06	948.50
Media	207.49	132.05	160.39	73.03	16.82	6.86	5.86	9.27	28.37	46.96	73.76	207.50	968.36
Desviacion	51.333383	29.414975	36.876501	31.501089	10.486209	8.1819882	8.174957	8.0834055	16.798757	18.888518	31.244707	53.220142	140.61774
C.V	0.2474017	0.2227615	0.2299137	0.4313343	0.6233882	1.1926805	1.3951621	0.8723636	0.5920796	0.402187	0.4235993	0.2564846	0.1452117
MAX	358.35811	202.69068	230.62217	166.65255	39.401815	44.350918	35.448592	31.179659	72.471141	111.71476	157.5623	322.01514	1256.366
MIN	122.32514	80.665662	89.450938	25.402151	1.495909	0.280631	0.11653	0.255487	5.978288	12.686214	25.678464	102.48543	620.05485

Fuente: SENAMHI



De la misma manera en la tabla 25 se mostrará la precipitación media mensual de la estación Quisoquipina.

Tabla 25: Precipitación media mensual de la estación Quisoquipina

ANO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1981	135.76	96.17	58.73	101.38	10.50	1.71	2.14	22.31	34.46	38.63	81.28	145.01	728.09
1982	130.19	69.92	71.88	67.89	1.20	1.68	5.46	6.80	41.92	34.18	98.22	95.08	624.40
1983	79.13	66.24	53.01	49.82	18.30	1.90	4.66	3.37	6.71	12.56	33.72	119.37	448.79
1984	117.00	115.33	85.25	58.32	7.92	5.35	10.94	13.94	10.27	59.56	120.38	150.86	755.13
1985	114.54	98.29	78.69	89.06	22.39	6.12	4.72	1.67	67.85	15.42	89.20	158.97	746.92
1986	99.94	88.24	77.73	98.76	10.72	0.81	6.50	8.26	42.12	6.39	52.48	127.42	619.36
1987	136.36	81.56	51.91	43.30	4.98	3.06	73.71	5.95	19.02	24.93	91.36	150.57	686.71
1988	94.10	67.14	100.59	147.27	24.90	0.60	2.68	0.81	15.91	24.22	20.62	114.38	613.21
1989	114.70	83.51	78.19	92.30	14.76	8.14	3.07	29.22	50.82	20.91	53.96	110.75	660.33
1990	102.29	92.23	59.22	68.30	10.77	40.47	0.51	6.63	23.29	41.90	59.17	87.82	592.60
1991	105.09	75.65	57.16	55.86	19.82	21.39	1.14	0.84	18.53	26.18	45.86	96.54	524.06
1992	91.53	77.91	38.92	28.49	1.93	8.43	3.45	37.44	12.25	22.61	80.91	81.82	485.69
1993	93.60	73.30	63.91	81.24	3.61	6.05	13.58	27.44	29.23	35.56	86.69	174.93	689.13
1994	127.42	99.59	67.33	96.85	12.93	1.29	2.13	4.71	21.47	23.44	53.76	173.79	684.71
1995	87.58	74.66	94.80	55.66	6.83	2.14	8.24	1.36	30.23	19.38	71.25	103.87	556.00
1996	102.84	99.22	61.48	69.07	15.75	0.30	10.88	22.94	31.88	28.27	58.51	171.37	672.50
1997	87.68	127.95	93.37	51.41	11.43	0.74	3.75	22.10	27.62	25.09	93.70	120.48	665.31
1998	93.39	103.93	72.97	25.13	0.76	5.41	2.62	4.86	6.29	43.38	65.17	83.94	507.86
1999	107.25	107.77	55.97	100.94	9.94	3.61	6.40	1.16	49.28	21.28	41.69	141.35	646.65
2000	96.65	100.94	70.82	39.62	7.46	11.58	12.81	10.45	22.74	51.60	24.01	117.19	565.86
2001	160.32	124.38	101.39	83.37	24.45	2.47	24.33	23.80	26.97	43.73	64.63	87.96	767.80
2002	67.47	152.61	90.35	89.57	17.78	7.30	78.74	11.39	56.16	34.97	79.06	138.60	824.00
2003	120.36	101.26	77.96	51.67	15.37	9.90	7.25	19.29	15.52	17.76	30.23	154.51	621.07
2004	118.16	86.62	59.92	53.00	8.82	11.75	27.47	27.24	37.25	23.39	54.60	151.21	659.42
2005	73.15	113.75	55.62	31.48	5.87	0.56	6.36	4.29	14.81	35.73	65.44	110.34	517.39
2006	137.16	91.35	69.12	97.43	4.21	8.87	4.23	14.62	23.70	28.88	82.12	139.14	700.84
2007	115.34	71.53	86.31	80.20	7.26	2.11	18.57	3.80	16.61	31.27	60.19	107.65	600.85
2008	142.38	101.16	62.05	40.29	10.33	6.68	4.10	6.22	12.97	42.20	48.22	170.68	647.27
2009	97.95	102.34	60.60	52.59	5.51	0.78	19.98	3.88	25.60	18.28	108.46	131.85	627.82
2010	144.09	104.20	68.89	46.30	8.40	3.60	8.39	9.10	12.30	31.40	35.13	153.55	625.36
2011	99.93	130.72	61.76	113.89	8.58	7.94	24.47	5.32	50.59	26.67	33.02	154.35	717.25
2012	114.66	154.43	63.79	67.22	2.54	9.21	9.26	3.95	38.37	23.31	63.73	212.34	762.82
2013	185.08	122.97	72.67	40.39	16.30	9.01	7.03	16.01	7.29	37.62	78.58	222.11	815.07
2014	141.97	92.04	64.49	74.28	13.89	1.77	8.81	10.12	38.69	35.25	51.66	205.65	738.61
2015	143.26	101.17	83.84	132.79	18.21	4.02	23.34	12.23	20.44	17.73	80.92	162.99	800.96
2016	117.86	112.66	52.38	86.94	6.23	2.74	27.69	7.45	31.95	39.59	27.59	119.12	632.20
Media	113.78	98.97	70.09	71.17	10.85	6.10	13.32	11.42	27.53	29.53	63.49	137.43	653.67
Desviacion	25.131815	21.872149	14.817451	28.986413	6.4846455	7.3540083	17.347727	9.549593	15.094502	11.25665	24.595786	35.778794	92.72552
C.V	0.2208762	0.2210069	0.2114209	0.4072904	0.5975479	1.2062977	1.3026942	0.8364883	0.5482784	0.3811358	0.3874149	0.2603378	0.1418541
MAX	185.08227	154.43293	101.39008	147.27015	24.898266	40.469499	78.744541	37.442343	67.851649	59.561431	120.38031	222.10606	823.99569
MIN	67.469573	66.243962	38.917096	25.129269	0.764173	0.302864	0.506492	0.806299	6.292823	6.389427	20.618341	81.823495	448.7923

Fuente: SENAMHI



En la tabla N°26 se muestra la precipitación media mensual de la estación Aymaña.

Tabla 26: Precipitación media mensual de la estación Aymaña

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1981	187.14	107.46	102.15	82.14	30.44	2.69	1.87	42.01	45.06	59.78	91.11	155.41	907.24
1982	208.53	71.10	103.03	56.51	4.63	2.65	3.51	7.95	41.49	46.13	130.59	94.66	770.79
1983	137.32	73.33	81.76	46.99	51.79	2.57	3.65	3.37	5.56	16.79	36.08	104.94	564.15
1984	175.84	99.67	134.73	42.04	35.71	10.57	9.94	20.86	11.85	86.47	163.95	159.01	950.64
1985	169.99	97.24	131.08	87.58	64.51	8.02	2.45	2.39	76.27	19.47	134.98	167.80	961.78
1986	168.61	102.56	120.40	87.78	43.42	1.53	3.03	17.12	55.96	7.67	66.85	149.82	824.76
1987	176.89	80.28	83.05	32.86	16.31	4.82	74.81	11.49	16.89	32.06	125.73	140.98	796.15
1988	151.24	76.07	126.66	116.70	91.62	0.86	1.33	0.67	18.25	32.35	19.50	109.99	745.23
1989	169.90	105.79	98.18	69.36	48.97	14.40	2.34	60.03	65.28	30.74	55.00	107.21	827.21
1990	172.91	97.99	85.72	67.45	37.90	75.86	0.29	11.37	17.99	60.50	59.05	83.39	770.42
1991	166.24	75.99	81.42	42.30	63.71	37.07	0.66	1.31	15.99	37.70	50.40	98.31	671.11
1992	132.60	76.83	48.80	20.29	5.56	12.82	1.91	72.67	12.30	35.57	86.03	84.93	590.31
1993	172.87	80.26	100.96	75.66	15.79	13.17	13.03	43.19	29.78	53.54	101.29	160.36	859.90
1994	210.84	106.41	94.71	78.82	47.00	3.41	1.07	9.50	22.35	32.68	77.83	165.82	850.43
1995	127.51	84.91	122.91	44.11	24.12	3.10	6.52	2.15	29.38	25.09	94.46	111.09	675.34
1996	190.64	100.60	95.42	53.85	61.25	1.09	11.03	35.47	32.35	39.58	79.33	180.13	880.75
1997	147.58	121.06	141.37	47.38	39.97	1.62	3.05	38.68	37.53	36.94	131.04	127.82	874.05
1998	157.49	108.65	101.86	21.76	3.77	10.19	1.37	8.89	7.07	81.09	90.04	69.37	661.57
1999	150.71	103.23	95.19	95.22	43.21	7.13	4.29	0.58	47.79	30.81	49.67	132.80	760.62
2000	171.75	106.00	89.44	31.12	26.84	21.65	10.79	17.20	22.78	82.04	29.21	121.89	730.72
2001	253.76	146.56	142.27	68.97	97.58	3.51	15.34	35.07	32.08	63.15	70.06	75.79	1004.13
2002	111.96	158.85	128.67	73.82	61.46	12.86	71.57	22.22	61.86	55.94	92.77	135.43	987.42
2003	187.69	111.98	120.70	44.81	55.45	16.00	7.35	30.59	20.65	26.47	34.79	145.07	801.55
2004	186.29	94.49	92.52	45.27	29.68	16.48	23.84	48.20	40.01	32.04	63.58	142.79	815.18
2005	112.98	119.40	78.09	25.52	17.92	0.71	4.81	6.76	16.90	53.77	86.24	106.13	629.24
2006	214.27	87.13	83.99	74.56	18.46	15.13	3.45	23.30	28.14	48.45	110.90	143.10	850.89
2007	184.33	71.23	112.47	68.60	36.41	4.40	14.53	6.01	24.52	44.79	69.60	99.34	736.23
2008	222.71	93.94	75.33	31.01	32.94	11.61	2.93	10.14	14.78	57.26	54.11	169.86	776.62
2009	159.78	115.64	77.44	39.42	21.83	0.82	16.28	6.60	27.20	29.94	136.07	127.06	758.07
2010	233.08	113.86	91.74	39.67	39.52	7.16	6.98	12.96	12.77	40.86	39.57	158.18	796.36
2011	153.86	149.41	88.02	90.68	33.48	14.17	20.56	11.72	50.86	38.70	40.38	153.32	845.15
2012	184.47	157.65	94.77	56.09	7.69	17.39	8.53	7.24	45.16	33.71	71.48	196.21	880.38
2013	261.88	111.44	93.16	29.13	66.54	19.47	4.09	22.69	7.40	56.75	82.86	200.26	955.66
2014	216.03	93.92	88.88	61.01	46.91	3.39	7.61	22.21	51.68	48.59	59.18	196.07	895.50
2015	223.86	90.27	123.05	116.09	64.26	7.80	17.96	20.00	25.73	22.90	96.63	169.05	977.61
2016	168.01	110.96	72.64	75.47	18.86	5.09	24.79	14.86	32.38	55.61	32.86	109.70	721.24
Media	178.38	102.84	100.07	59.45	39.04	10.87	11.32	19.65	30.67	43.22	78.15	134.81	808.45
Desviación	35.575072	22.965124	21.596041	25.215229	22.874144	13.539268	16.624093	17.442433	17.668329	18.154331	35.068111	35.063357	111.36021
C.V	0.1994385	0.2233153	0.2158067	0.4241698	0.5858855	1.2459405	1.4684826	0.8875762	0.5761137	0.4200337	0.4487531	0.2600981	0.1377445
MAX	261.87649	158.85338	142.2691	116.70136	97.584722	75.860248	74.805053	72.672488	76.265712	86.471135	163.95315	200.26305	1004.1302
MIN	111.96087	71.098809	48.801994	20.28808	3.766493	0.712806	0.291228	0.580389	5.557476	7.670603	19.497864	69.36815	564.15456

Fuente: SENAMHI

Para la precipitación media mensual de la estación Ccatca se muestra la tabla N°27.



Tabla 27: Precipitación media mensual de la estación Ccatca

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1981	211.54	138.41	143.29	42.13	6.18	0.60	0.00	7.51	12.87	78.15	78.20	91.89	810.78
1982	180.42	88.73	122.29	26.21	0.38	1.28	1.65	3.78	18.98	64.61	65.55	55.76	629.63
1983	78.66	67.24	47.17	14.19	5.73	0.51	0.42	4.23	3.31	25.76	22.72	56.37	326.30
1984	169.05	155.03	70.74	53.06	0.28	1.44	2.33	11.12	3.87	115.52	45.93	76.10	704.47
1985	135.30	128.75	68.39	27.41	19.23	8.00	1.92	0.00	33.20	75.14	69.01	99.33	665.66
1986	98.19	89.58	126.03	30.81	5.34	0.00	5.14	1.58	10.30	27.12	27.61	52.35	474.05
1987	206.76	97.04	52.92	13.00	3.11	1.71	21.91	0.00	7.23	55.16	66.12	85.94	610.89
1988	120.21	98.58	157.42	72.01	12.56	0.00	0.00	0.06	9.43	53.84	30.24	78.19	632.54
1989	150.50	126.97	129.55	38.32	7.53	3.93	0.00	4.89	19.88	37.86	45.25	51.91	616.58
1990	141.68	98.17	55.94	32.01	4.87	29.28	0.00	2.92	7.28	76.65	68.53	83.78	601.11
1991	95.57	161.75	84.48	21.39	7.04	10.58	0.39	0.00	16.66	40.67	49.90	64.80	553.22
1992	115.65	105.30	61.13	9.51	1.94	8.96	0.03	13.78	3.38	56.25	60.42	40.78	477.13
1993	182.97	111.29	87.38	23.47	1.21	1.01	2.46	12.93	14.46	44.36	58.99	111.27	651.81
1994	114.30	150.49	118.03	35.56	8.57	0.00	0.00	0.51	14.60	51.73	34.95	98.03	626.76
1995	104.15	95.44	117.95	22.09	6.58	0.00	1.07	0.32	13.42	24.50	49.00	70.00	504.52
1996	161.17	130.26	69.08	25.50	5.91	0.00	0.04	14.25	15.09	57.67	35.98	84.86	599.82
1997	134.06	142.05	111.13	15.03	7.19	0.00	0.03	6.16	7.27	36.14	68.27	79.11	606.44
1998	109.66	128.85	63.87	11.14	0.22	4.27	0.00	0.17	1.30	52.24	43.17	54.42	469.30
1999	137.50	146.34	101.79	37.83	1.55	0.31	1.32	0.01	29.41	30.94	21.71	97.14	605.84
2000	154.28	148.04	95.56	16.78	5.50	4.03	3.49	5.11	14.76	74.08	14.49	63.37	599.49
2001	271.97	153.31	128.75	29.08	16.36	0.06	16.07	14.48	16.71	96.11	51.95	62.57	857.44
2002	108.30	203.51	119.98	28.74	8.43	0.00	26.31	0.66	19.68	55.41	53.33	90.84	715.20
2003	158.71	161.73	168.92	20.23	3.99	4.86	0.02	11.74	6.75	30.13	17.46	108.31	692.85
2004	159.67	121.24	77.90	18.66	6.93	16.60	16.21	8.29	15.28	45.47	46.44	68.99	601.69
2005	76.92	141.60	91.13	23.07	3.00	0.00	1.48	3.19	6.56	38.55	45.49	74.65	505.63
2006	197.83	109.48	121.20	50.25	0.09	3.99	0.00	6.64	5.59	85.14	58.37	72.98	711.55
2007	157.94	108.90	142.68	30.62	5.40	0.00	5.39	0.62	0.44	55.52	43.70	55.27	606.49
2008	151.01	125.45	49.92	13.83	12.27	6.31	0.00	3.93	8.84	67.42	51.22	115.44	605.65
2009	121.06	110.15	71.38	27.34	4.03	0.00	4.93	1.12	9.75	12.54	85.75	73.59	521.62
2010	218.08	103.02	99.12	2.03	1.47	0.00	1.98	4.80	5.70	67.57	21.29	121.92	646.98
2011	135.68	214.55	117.06	53.92	1.22	2.86	7.30	0.00	26.29	56.85	34.74	92.82	743.30
2012	108.91	186.04	40.29	4.78	2.19	1.11	2.26	0.86	15.40	15.18	65.23	124.06	566.31
2013	155.42	163.18	80.98	18.15	5.54	1.78	4.82	8.50	7.56	117.09	49.35	111.70	724.06
2014	169.90	126.71	56.97	31.67	10.27	0.00	1.55	0.42	5.00	54.37	17.94	77.94	552.74
2015	171.13	137.30	74.44	65.30	11.93	0.25	8.89	6.00	6.78	25.89	40.27	88.68	636.88
2016	97.18	108.86	48.02	20.67	6.27	1.15	7.53	0.71	13.37	65.96	19.37	46.99	436.05
Media	146.15	130.09	93.69	27.94	5.84	3.19	4.08	4.48	11.84	54.66	46.05	80.06	608.08
Desviacion	42.426948	32.278835	34.278629	15.867931	4.5159008	5.7921496	6.3973056	4.6905489	7.5899053	24.939653	18.529265	22.085768	104.5876
C.V	0.2903031	0.2481224	0.3658677	0.5679492	0.7729561	1.81546	1.567164	1.0470328	0.6407971	0.4563083	0.4023374	0.2758663	0.171997
MAX	271.97043	214.55316	168.92072	72.014	19.23088	29.281059	26.308401	14.482284	33.195259	117.0857	85.748211	124.06168	857.44419
MIN	76.921627	67.242224	40.289487	2.031665	0.085999	0	0	0	0.438315	12.539908	14.493373	40.777076	326.30387

Fuente: SENAMHI

Se muestra la tabla N°28 con la información de la precipitación media mensual de la estación de Huayllapampa.



Tabla 28: Precipitación media mensual de la estación Huayllapampa

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1981	157.29	115.87	156.20	62.42	9.11	0.78	0.36	19.25	16.46	58.04	95.77	114.41	805.97
1982	153.42	71.68	144.96	39.82	1.22	1.93	2.98	9.59	38.17	49.44	83.93	73.22	670.35
1983	65.02	57.58	46.88	15.23	9.83	0.95	1.52	10.42	6.66	18.72	26.91	76.49	336.21
1984	150.86	131.39	92.78	67.93	1.66	3.65	4.63	27.81	10.23	82.94	74.28	102.53	750.69
1985	115.60	112.13	86.32	40.77	18.95	11.23	3.03	1.18	64.14	40.18	89.18	125.53	708.23
1986	95.95	73.09	150.07	39.60	7.48	0.19	7.49	5.50	23.23	16.39	33.11	73.50	525.60
1987	183.98	79.48	69.34	17.59	4.18	3.97	31.59	0.75	9.65	45.16	85.86	127.06	658.62
1988	101.84	73.14	167.58	98.75	13.57	0.10	0.05	0.47	16.64	45.99	41.34	111.32	670.80
1989	123.60	113.21	157.25	57.63	9.69	6.86	0.75	16.25	42.62	28.30	60.23	70.42	686.80
1990	122.03	91.44	71.01	42.97	5.69	38.91	0.04	7.91	11.08	46.13	77.24	127.79	642.24
1991	83.70	136.09	76.34	32.54	8.97	20.15	0.34	0.64	25.21	28.66	59.77	94.30	566.74
1992	114.63	89.68	58.53	15.94	2.84	12.86	0.75	36.88	5.81	36.75	78.38	51.04	504.09
1993	139.66	97.07	102.69	34.86	1.93	3.17	3.00	32.04	22.59	32.42	75.51	168.25	713.19
1994	104.08	146.87	122.85	53.73	9.11	0.10	0.14	3.48	28.95	38.01	41.04	147.26	695.63
1995	81.47	70.76	171.59	38.54	6.70	0.29	1.23	2.22	21.84	20.68	68.36	85.11	568.82
1996	114.59	131.09	75.32	36.99	6.33	0.07	0.29	32.89	26.48	37.37	47.58	129.31	638.30
1997	99.13	145.74	120.29	15.54	8.44	0.06	0.42	14.46	14.49	27.85	89.83	77.30	613.55
1998	86.00	119.24	82.16	15.28	0.30	8.96	0.04	1.24	2.16	41.41	53.95	72.71	483.46
1999	123.07	129.85	108.62	50.76	2.34	0.67	3.16	0.19	54.26	20.58	28.47	132.60	654.56
2000	145.80	113.58	123.76	25.06	5.12	6.40	5.76	13.12	30.49	56.67	17.75	78.82	622.34
2001	207.93	152.79	154.98	60.86	18.28	1.65	20.46	33.48	27.36	66.77	70.00	89.34	903.90
2002	95.03	176.99	154.80	71.54	10.97	2.07	38.89	4.44	43.12	46.66	80.72	130.61	855.84
2003	123.06	128.82	136.04	24.30	7.26	9.34	1.23	24.96	10.28	22.72	27.63	140.11	655.75
2004	139.34	101.51	94.18	31.99	8.29	19.82	22.92	26.76	28.87	38.31	56.96	115.63	684.57
2005	67.99	119.63	109.26	26.72	3.81	0.23	2.23	7.51	12.72	31.88	62.26	97.71	541.96
2006	145.21	110.40	172.15	67.74	1.09	6.22	0.65	18.88	13.74	58.65	76.37	121.05	792.16
2007	120.74	97.25	139.13	43.87	6.48	0.54	8.11	3.48	3.04	44.93	54.81	86.81	609.20
2008	135.34	121.04	79.38	24.70	11.45	8.11	0.80	9.90	12.99	50.08	57.27	149.52	660.58
2009	103.65	106.17	99.78	35.75	3.39	0.25	8.49	4.89	22.31	14.60	134.66	104.49	638.43
2010	180.32	99.43	133.62	6.29	2.11	1.35	4.90	8.77	11.01	49.42	33.62	151.52	682.36
2011	118.29	169.93	139.52	68.79	2.71	5.86	14.25	1.47	53.96	38.62	35.52	141.51	790.43
2012	109.69	173.04	77.97	11.08	2.73	3.84	3.68	4.29	33.83	20.05	79.05	168.44	687.69
2013	141.58	152.70	111.97	27.57	8.29	3.13	6.75	23.71	13.38	71.53	70.25	156.28	787.13
2014	150.96	106.81	75.58	40.56	14.49	0.55	1.82	4.07	6.36	39.31	34.47	116.35	591.31
2015	140.04	126.87	98.14	88.71	13.79	2.21	14.24	16.66	11.35	23.24	65.68	104.14	705.07
2016	97.35	116.44	49.11	36.22	6.92	3.07	13.55	2.81	19.11	41.20	19.68	70.85	476.32
Media	123.28	115.52	111.39	40.80	7.10	5.27	6.40	12.01	22.07	39.71	60.76	110.65	654.97
Desviación	31.877606	29.747186	36.539145	21.943084	4.7469393	7.7350251	9.1848656	11.171416	15.16562	15.946621	25.313635	31.075146	112.58081
C.V	0.25857	0.2575004	0.3280206	0.5378738	0.6688214	1.4690621	1.4341908	0.9301018	0.6871019	0.401548	0.4165986	0.2808457	0.1718871
MAX	207.92528	176.98887	172.14776	98.748798	18.950707	38.908843	38.894976	36.882975	64.136306	82.937112	134.65706	168.43646	903.90245
MIN	65.018903	57.584348	46.879503	6.294487	0.296671	0.055628	0.039458	0.191653	2.157932	14.59755	17.749194	51.038124	336.21459

Fuente: SENAMHI

Se muestra la tabla N°29 con la información de la precipitación media mensual de la estación de Tinki



Tabla 29: Precipitación media mensual de la estación Tinki

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1981	204.77	218.02	138.87	85.42	23.68	2.41	3.27	40.65	44.95	99.44	112.73	124.64	1098.85
1982	193.03	129.34	133.25	60.86	6.28	2.53	6.31	21.43	80.09	82.12	115.49	80.21	910.94
1983	70.96	110.78	62.87	33.12	23.57	2.39	4.33	19.55	14.01	34.13	38.19	88.95	502.84
1984	172.07	210.61	108.21	89.64	9.18	5.92	13.95	47.97	18.39	162.40	110.01	130.72	1079.07
1985	157.23	214.66	94.58	62.09	51.38	13.68	8.47	4.04	109.23	57.55	124.70	142.12	1039.73
1986	110.51	139.97	148.34	68.64	21.28	0.75	14.30	13.11	54.20	23.71	46.24	97.57	738.62
1987	209.34	137.21	76.25	28.50	11.18	4.89	67.26	6.87	28.64	81.20	106.03	141.91	899.28
1988	127.99	148.57	169.92	136.58	38.72	0.42	0.40	3.98	29.92	68.86	49.67	120.22	895.25
1989	166.77	177.06	150.50	76.04	29.42	9.23	3.50	44.44	81.17	55.77	79.92	87.77	961.59
1990	162.13	170.54	74.49	58.53	20.85	53.47	0.30	13.46	34.09	93.93	83.91	134.30	899.99
1991	107.77	233.37	83.31	49.18	37.67	26.26	1.36	3.01	43.76	53.92	72.27	88.42	800.31
1992	130.30	145.39	63.41	22.04	7.45	14.17	4.30	75.47	14.85	56.66	92.01	64.41	690.47
1993	157.72	169.98	111.13	57.77	5.34	5.02	11.00	48.11	52.00	62.15	96.21	176.58	953.02
1994	140.15	240.42	125.48	83.65	32.48	0.45	2.49	7.47	49.08	65.86	61.23	153.57	962.32
1995	108.61	126.28	159.34	54.95	17.42	1.94	9.26	5.58	42.14	42.62	88.40	104.37	760.92
1996	153.40	239.59	78.55	57.28	28.94	0.31	4.70	67.18	58.77	75.32	64.45	146.60	975.09
1997	132.70	277.43	133.83	28.24	24.04	0.22	2.27	38.95	27.87	57.51	133.54	110.05	966.65
1998	122.98	212.81	92.45	23.48	3.24	7.27	0.30	5.95	6.61	81.21	71.99	89.60	717.89
1999	147.08	232.70	102.64	89.71	10.52	2.69	6.66	0.87	97.72	45.38	44.27	153.88	934.11
2000	159.08	209.80	122.60	40.64	17.55	11.14	13.09	26.03	44.49	105.52	24.82	108.00	882.76
2001	237.40	250.62	163.19	79.68	47.54	3.52	45.35	62.28	49.55	109.08	95.04	107.48	1250.73
2002	117.15	304.85	150.13	96.03	39.17	4.87	77.20	15.64	95.48	80.08	108.06	137.96	1226.62
2003	160.72	229.95	129.04	41.80	28.05	13.30	4.13	43.24	20.23	43.36	41.31	153.99	909.12
2004	178.90	189.47	91.28	52.97	21.53	22.30	39.97	59.54	61.82	64.24	72.95	145.11	1000.09
2005	93.51	206.78	110.70	38.31	13.92	0.78	6.06	13.90	16.57	66.73	76.76	107.15	751.16
2006	182.92	207.87	145.95	100.08	5.45	10.35	3.25	35.67	28.23	85.90	102.98	144.61	1053.25
2007	161.75	168.37	144.25	69.87	16.20	1.41	19.78	6.87	10.80	80.26	75.01	103.65	858.21
2008	177.38	213.73	88.56	36.38	30.93	10.34	3.50	16.60	24.32	90.78	64.40	156.79	913.72
2009	137.74	192.10	99.73	52.92	10.65	0.99	20.22	8.65	40.45	32.29	162.30	119.58	877.63
2010	229.06	175.17	119.20	18.21	10.73	2.61	8.53	23.22	19.86	80.84	45.59	159.53	892.54
2011	140.91	275.27	120.43	96.73	14.60	8.41	33.79	5.49	98.87	65.15	45.65	163.09	1068.39
2012	153.61	313.78	92.42	29.86	8.67	7.91	7.33	7.90	65.17	44.17	100.57	180.01	1011.40
2013	194.24	271.17	113.66	39.33	29.79	7.33	12.95	55.13	25.61	115.76	96.70	194.25	1155.92
2014	184.08	195.00	89.48	58.16	42.89	2.15	7.88	15.00	31.30	84.98	47.99	157.18	916.08
2015	186.02	208.45	109.96	118.82	42.40	4.51	36.20	38.23	30.14	50.06	88.66	124.65	1038.11
2016	134.56	237.47	62.44	54.80	16.20	4.56	32.88	11.34	43.66	87.23	28.35	93.05	806.55
Media	155.68	205.13	112.79	60.84	22.19	7.51	14.90	25.36	44.28	71.84	79.68	127.55	927.76
Desviacion	36.887047	49.833686	30.083532	28.256032	13.120223	9.9245171	18.467053	21.243228	27.063594	27.136432	31.659669	31.327885	150.99239
C.V	0.2369386	0.2429394	0.2667205	0.4644179	0.5912224	1.3207859	1.2391145	0.837782	0.6112059	0.3777505	0.3973487	0.245604	0.1627502
MAX	237.40224	313.77625	169.91955	136.57902	51.375447	53.466174	77.198781	75.467244	109.23336	162.39732	162.3024	194.25445	1250.7272
MIN	70.960582	110.77795	62.436918	18.211491	3.244669	0.224293	0.297197	0.866829	6.610786	23.710343	24.824364	64.408796	502.84161

Fuente: SENAMHI



3.5.7. Información hidrológica.

Finalmente, obtendremos el registro de caudales en nuestra zona de estudio en diferentes puntos de control a través de la cuenca.

Cabe aclarar que, para la presente investigación, se requerirán solo aforamientos completos en nuestra zona de estudio.

Según el Plan MERISS (1980), estos aforamientos se realizaron mediante un método directo que correspondió a molinete hidrométrico.

Las tablas 30,31 y 32 muestran un registro de caudales de los puntos de interés.

Tabla 30: Registro de caudales en la laguna Singrinacocha

FUENTE DE AGUA	UBICACIÓN	2012	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO.	SET.	OCT.	NOV	DIC	COORDENADAS		
			l/s	X	Y	Z											
Rio Moyocococha	Ingreso a Laguna Singrina		2740	2308	1730	1706	2486	1768	1632	1382	1342	1409	1893	3011	267479	8487227	4419
Laguna Singrina	Desfogue		5579	4161	5010	3155	3044	2649	2351	2114	2044	2128	3962	5311	263941	8490630	4329
Rio Singrina	Rio Parte Baja		7667	5694	4500	3857	3314	2734	2422	2167	1987	2151	4019	5423	262304	8492800	4201
Rio Yanacancha	Rio		2000	1720	1345	1312	1120	649	608	601	663	783	1014	1453	262554	8493028	4184
Rio Mapacho	Altura de Mahuayani		8276	7532	6521	5526	5683	4143	3349	3214	3117	3718	5873	8094	258744	8494638	4084

Fuente: Plan MERISS

Tabla 31: Registro de caudales del proyecto Pacchanta

FUENTE DE AGUA	UBICACIÓN	Numero	ENE	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	UTM		
			l/s	X	Y	Z											
Rio Pacchanta	Boc. Cnal Kellhuacocha	1	1625	1401	1210	773	609	589	579	474	482	663	720	1212	258392	8479416	4533
Qda. Ccomercococh	Qda.	2	262	391	459	321	253	249	200	178	194	232	249	418	258595	8479966	4495
Rio Pacchanta	Boc. Canal Pinchimuro	3	2950	2269	3151	1882	1114	1104	1083	979	1008	1417	1558	2338	257110	8482266	4300
Rio Pacchanta	Boc. Canal Pucarumi	5	4400	2981	4424	2422	1327	1308	1305	1217	1484	1687	1707	2903	256620	8484616	4186

Fuente: Plan MERISS

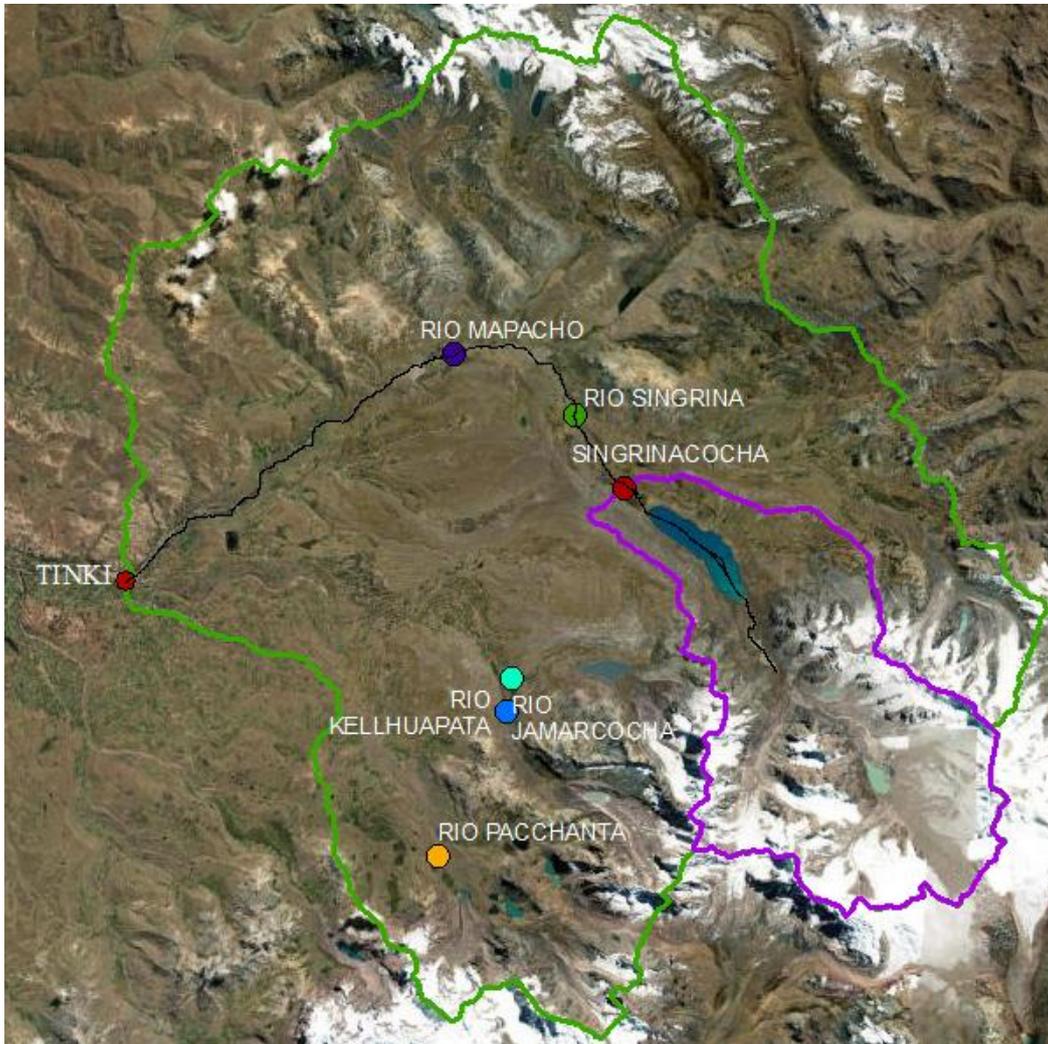
Tabla 32: Registro de caudales del proyecto Marampaqui

FUENTE DE AGUA	UBICACIÓN		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Altitud	UTM	
		NUM	l/s	ms.n.m	Este	Norte											
fecha			21	25	23	5	12	17	20	24	13	25	23				
Rio Jarmacocha	Parte Alta Del Rio	1	1289	1316	1351	884	801	719	693	671	653	649	700		4552	261998	8485339
Rio Jarmacocha	Boc. Canal Marampaqui	2	1341	1389	1386	913	821	748	719	691	685	671	737	740	4366	260450	8484816
Rio Jarmacocha	Canal Marampaqui	3	0	0	0	0	319	321	401	400	417	383	402				
Rio Kellhuapata	Altura del Vaso	4	1218	1379	989	877	683	476	423	411	408	431	478		4552	262711	8483197
Rio Kellhuapata	Boc. Canal Marampaqui	5	1519	1586	1259	943	747	503	461	451	430	453	542	600	4398	260327	8483798
Rio Kellhuapata	Canal Ccollpapampa	6	0	0	0	0	52	52	55	49	53	55	0				
Qda. Tapamayo	Qda.	7	719	753	244	191	81	61	41	39	33	33	51	205	4265	259030	8488065
Rio Marampaqui	Boc. Canal Propuesta	8	3386	3472	2841	1967	1627	1300	1223	1196	1159	1179	1341	1475	4251	259088	8487177

Fuente: Plan MERISS

Así, la figura 68 muestra los puntos de aforamiento en los cuales se obtuvieron los datos de caudales para esta investigación.

Figura 68: Cuenca Tinki con puntos de interés



Fuente: Elaboración propia

3.6. Procedimiento de análisis de datos.

3.6.1. Parámetros geográficos.

En esta investigación, se aplicará una discretización según los caudales registrados en los cuales podrán hacerse unidades de respuesta hidrológica, así, podremos procesar de mejor manera nuestra cuenca y determinar de mejor manera su comportamiento respecto a este factor.

Así, la figura 69 muestra la cuenca de la laguna Singrinacocha satelitalmente.

Figura 69: Cuenca Singrinacocha satelitalmente



Fuente: ArcGIS

3.6.2. Parámetros geomorfológicos de la cuenca.

El método por el cual los parámetros se van a determinar se han especificado ya en el ítem 2.2. de esta investigación, por lo cual, con la ayuda del software ArcGIS y del software WMS podremos auxiliar y obtener resultados más precisos respecto a esta.



Muy aparte de ello, todo este ítem será trabajado según la tabla 18 ya especificada con la discretización de áreas correspondiente a la columna con el mismo nombre para hallar y facilitar los cálculos.

3.6.2.1. Área de la cuenca.

La cuenca de la laguna de Singrinacocha tiene un área de 87.21 km².

3.6.2.2. Perímetro de la cuenca.

La cuenca de la laguna de Singrinacocha tiene un perímetro de 49.03 km.

3.6.2.3. Forma de la cuenca.

○ Índice de Gravelius.

De la fórmula 2.15:

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

Procedemos al cálculo del índice de Gravelius, que en este caso corresponde a 1.4699.

Así, podremos clasificarla de la siguiente manera.

Así, la tabla 33 muestra la clasificación correspondiente según el factor K.

Tabla 33: Clasificación de la cuenca según el factor "K"

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

Fuente: Ven Te Chow (1994)

Por lo que según a lo mostrado, definimos que nuestra cuenca tendría a ser oval redonda a oval-oblonga.

○ Rectángulo equivalente.

Según a lo estipulado en el ítem 2.2.4.10, llegaremos a hacer el cálculo correspondiente según las fórmulas estipuladas.

Para el lado mayor.

Para el lado menor.

$$L = \frac{K\sqrt{A}}{1.12} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{1.12^2}{K}} \right)$$

$$l = \frac{K\sqrt{A}}{1.12} \left(1 - \sqrt{1 + \frac{1.12^2}{K}} \right)$$

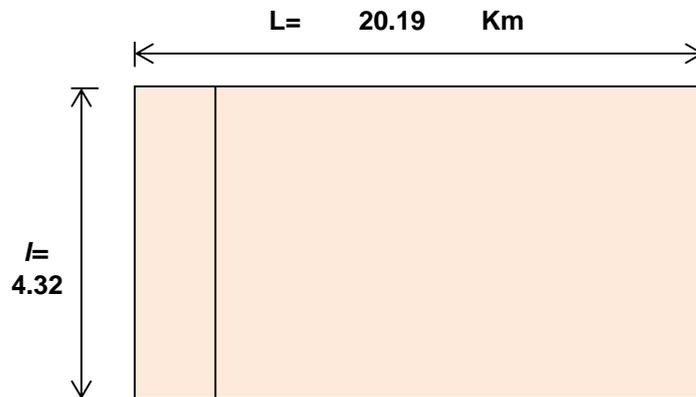


Así, tendremos el siguiente resultado tanto en el lado mayor y menor.

$$L = 20.194$$

$$l = 4.319$$

Figura 70: Rectángulo equivalente de la cuenca Tinki



Fuente: Elaboración propia

○ Índice de forma

Según la ecuación 2.28, aplicaremos la fórmula para obtener el factor de forma teniendo ya los datos del rectángulo equivalente.

Aplicando:

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

Obtenemos un resultado de 0.2578 y según la tabla 35 definimos que nuestra cuenca tiene una forma de cuenca redonda.

La tabla 34 muestra los parámetros de factor de forma de la misma manera.

Tabla 34: Parámetros de factor de forma

FACTOR DE FORMA	FORMA DE LA CUENCA
F > 1	Redonda
F < 1	Alargada

Fuente: Ven Te Chow (1994)

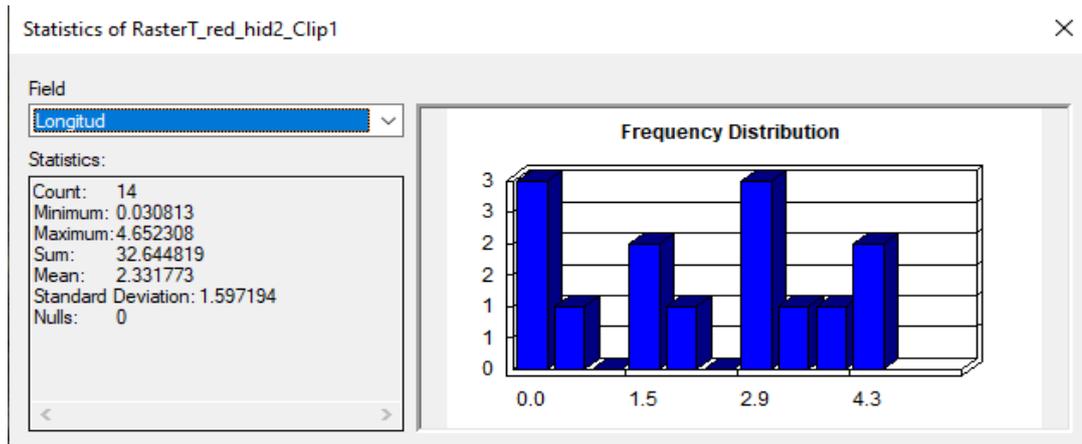
3.6.2.4. Parámetros relacionados con la red hidrográfica de la cuenca.

- Orden de ríos

Mediante el programa ArcGIS determinaremos que la cuenca de la laguna de Singrinacocha es de grado 2, por el método de Horton.

La figura 71 corresponde a la longitud total de la red hídrica y su frecuencia de distribución.

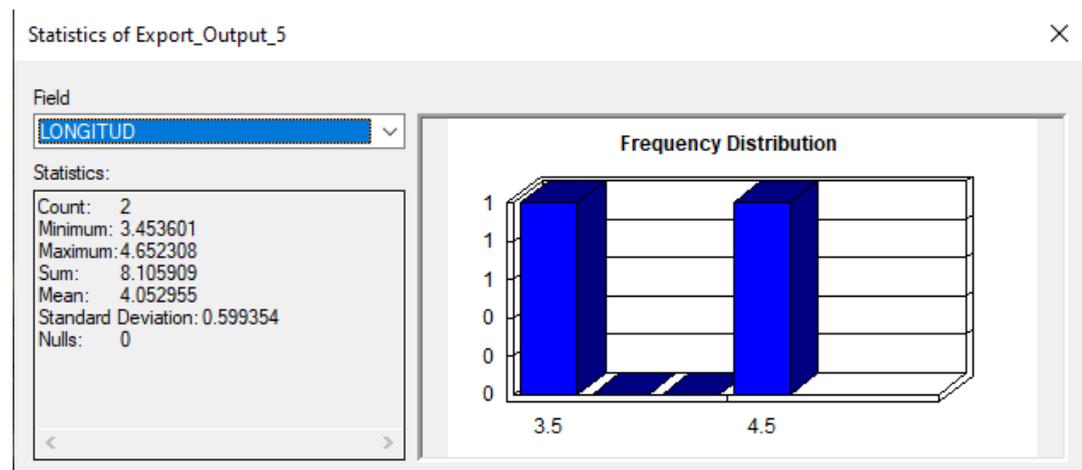
Figura 71: Longitud total de la red hídrica



Fuente: Elaboración propia

Hallando la longitud del cauce principal tendremos la figura 72 correspondiente a la longitud del cauce principal y su frecuencia de distribución.

Figura 72: Longitud del cauce principal



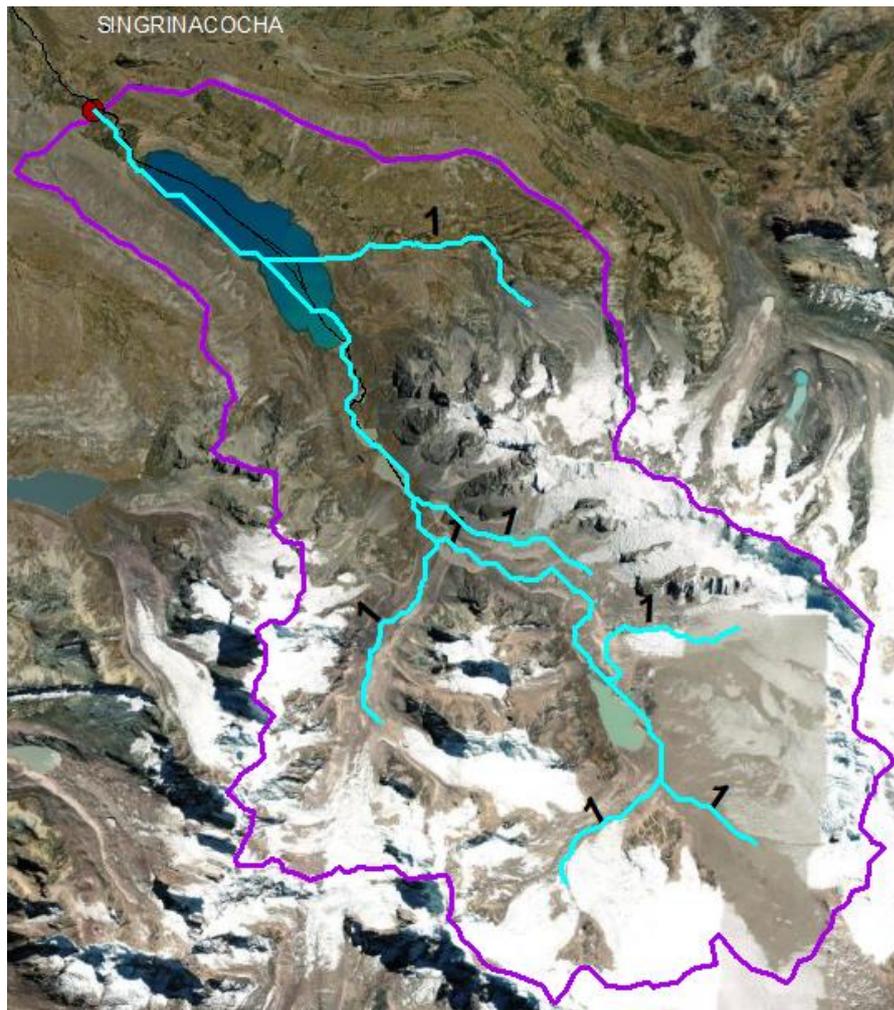
Fuente: Elaboración propia

Hallando el diagrama fluvial de la cuenca tendremos lo que son la discretización de los ríos en la cuenca.

La figura 73 muestra la red hídrica de la cuenca de la laguna Singrinacocha.



Figura 73: Red hídrica de la cuenca Singrinacocha



Fuente: Elaboración propia

Bajo ello, tendremos los siguientes datos compilados en la tabla 35:

Tabla 35: Resumen de datos de la red hídrica de la cuenca Singrinacocha

$L =$	Longitud del cauce principal	8.11	Km
	Longitud de cauces aportantes	24.54	Km
$L_i =$	Longitud total de ríos	32.64	

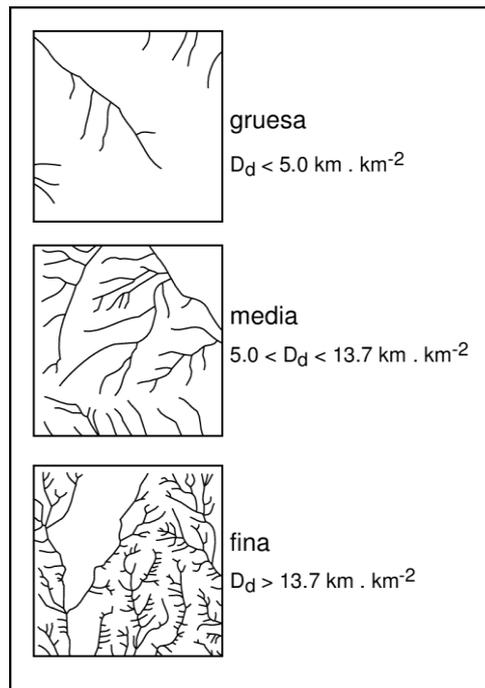
Fuente: Elaboración propia

o Densidad de drenaje.

Así, los resultados obtenidos se darán mediante el mismo programa y clasificadas, por lo que la figura 74 muestra la densidad de drenaje correspondiente a cada tipo de cuenca.



Figura 74: Densidad de drenaje de cuencas



Fuente: Vito Aliaga (1983)

Aplicando la ecuación 2.30 tendremos

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

Según la tabla 36 deberemos de hacer una clasificación adecuada al obtener el resultado.

Tabla 36: Cálculo de la densidad de drenajes

$L =$	Longitud del cauce principal	8.11	Km
	Longitud de cauces aportantes	24.54	Km
$L_i =$	Longitud total de ríos	32.64	
$A =$	Área de la Cuenca	87.21	Km ²
		$D_d =$	0.37 Km

Fuente: Elaboración propia

Hallamos según lo establecido en el orden de ríos y el área de la cuenca obtendremos una densidad de drenaje de 0.37 km.

Por lo que según lo establecido por la tabla 40, decimos que la cuenca Tinki es de una densidad gruesa.



○ Cálculo de frecuencia de ríos.

Según Ven Te Chow (1994) es estipulado como la relación entre el número de cauces y el área, tendremos según lo visto en la densidad de drenaje, veremos que tendremos un total de cauces de 248 entre el área, que nos da un factor de 0.462.

○ Cálculo de la extensión media del escurrimiento superficial.

Según Ven Te Chow (1994) es la extensión media de la cuenca será dada por la relación entre el área y 4 veces la longitud de los ríos, que llega a ser una longitud de 229.52 km por lo que nuestra extensión media es de 0.584.

3.6.2.5. Fisiografía y factores de relieve de la cuenca.

○ Pendiente media de la cuenca.

Bajo el criterio del rectángulo equivalente, determinamos nuestra pendiente de la cuenca con la fórmula:

$$S = \frac{H}{L}$$

Por lo que primero, extraeremos los datos correspondientes en ArcGIS respecto a las pendientes según la tabla 39.

De la misma manera, extrayendo los datos obtendremos la tabla 37.

Tabla 37: Intervalos de pendientes en la cuenca Tinki

Reclass_Slop3			
	OBJECTID *	Value	Count
▶	1	1	5503
	2	2	7665
	3	3	9654
	4	4	9531
	5	5	10860
	6	6	13056
	7	7	29347

Fuente: Elaboración propia

Por lo estipulado en la tabla 37, generaremos un promedio entre pendientes producto del programa ArcGIS para su determinación.

Es así que, se muestra la tabla 38 en la que, con el proceso correspondiente, se obtiene que la pendiente corresponde a 40.739%.

Tabla 38: Tablas de pendientes medias entre curvas de nivel



N°	RANGO PENDIENTE		PROMEDIO	NUMERO DE OCURENC	PROMEDIO x OCURENC
	INFERIOR	SUPERIOR			
1	0	5	2.5	5503	13757.5
2	5	12	8.5	7665	65152.5
3	12	18	15.0	9654	144810
4	18	24	21.0	9531	200151
5	24	32	28.0	10860	304080
6	32	44	38.0	13056	496128
7	44	100	72.0	34171	2460312
				90440	3684391

Pendiente media de la Cuenca:

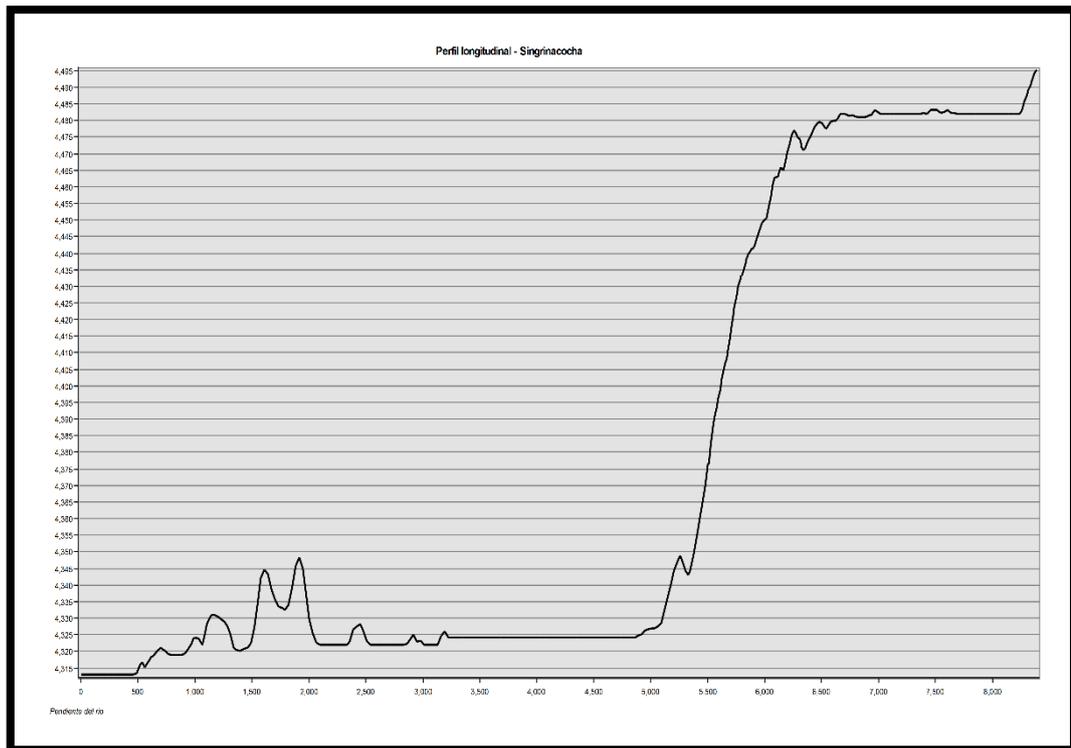
40.739

Fuente: Elaboración propia

○ Pendiente del cauce principal.

Tomando y unificando el cauce principal, accedemos a obtener su perfil longitudinal, del programa ArcGIS extraemos lo visto en la figura 75.

Figura 75: Pendiente del río.



Fuente: Elaboración propia

Con ello y coincidiendo con la longitud anteriormente planteada, procesamos los datos según las cotas y alturas que especifica el DEM y el programa, reflejadas en la tabla 39.

Tabla 39: Procesamiento del perfil longitudinal



Progresiva	Long. (m)	Long Acum (m)	Cota	Desnivel	S	1/(S)^0.5
0+000	0.00	0.00	4313.00			
1+013	1013.00	1013.00	4324.00	11.00	0.0109	9.5964
2+026	1013.00	2026.00	4325.25	1.25	0.0012	28.4675
3+039	1013.00	3039.00	4325.67	0.42	0.0004	49.1111
4+052	1013.00	4052.00	4326.00	0.33	0.0003	55.4048
5+065	1013.00	5065.00	4327.00	1.00	0.0010	31.8277
6+078	1013.00	6078.00	4450.00	123.00	0.1214	2.8698
7+091	1013.00	7091.00	4482.00	32.00	0.0316	5.6264
8+011	920.00	8011.00	4483.00	1.00	0.0011	30.3315
						213.2353

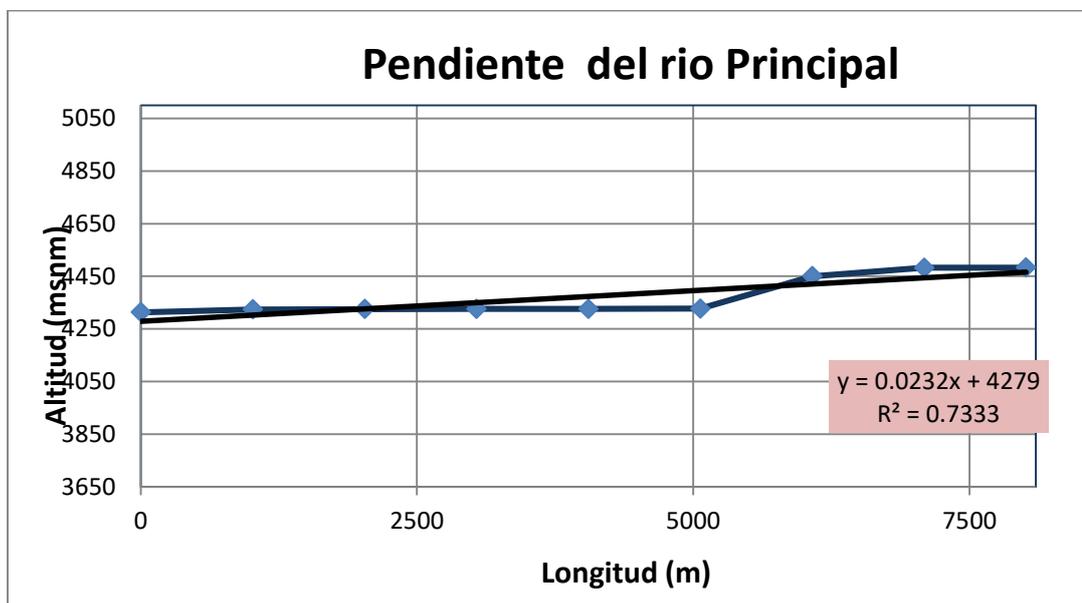
Fuente: Elaboración propia

Aplicando la fórmula de Taylor-Schwarz

$$S = \frac{n}{\frac{1}{\sqrt{S_1}} + \frac{1}{\sqrt{S_2}} + \dots + \frac{1}{\sqrt{S_n}}}$$

La pendiente del cauce principal del río de la cuenca Singrinacocha será de **0.14%** y se grafica en la figura 76.

Figura 76: Pendiente del río principal



Fuente: Elaboración propia

○ Curva hipsométrica y polígono de frecuencias.

Al ser una representación gráfica de la relación de las alturas respecto a las áreas parciales, aplicaremos los datos extraídos de la tabla 17 para usarlas en la tabla 40 respecto a las áreas parciales.



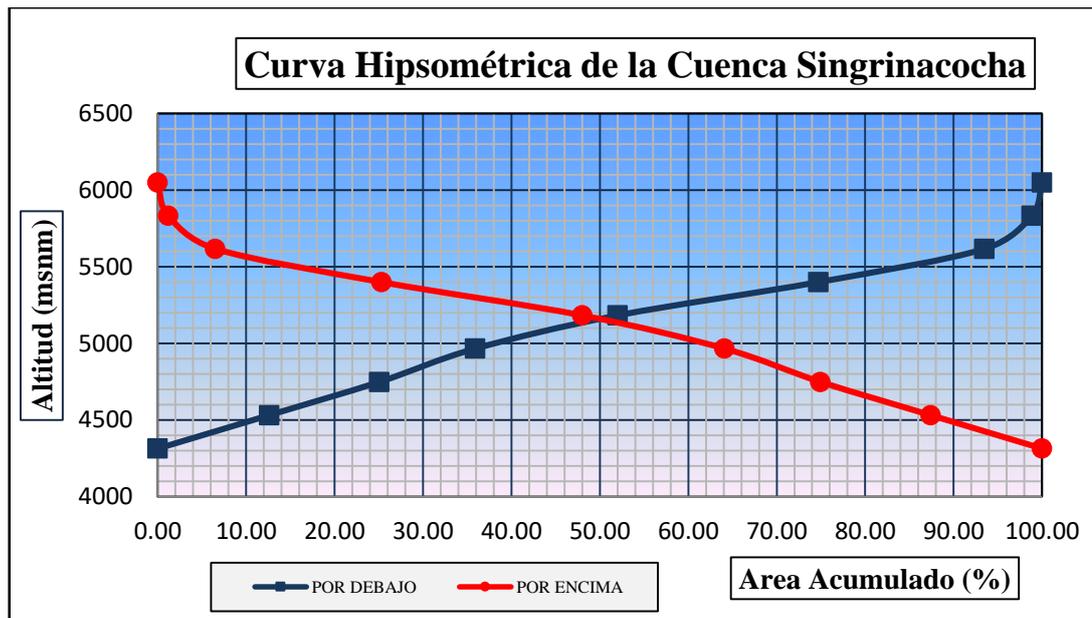
Tabla 40: Áreas parciales y acumuladas

ALTITUD m.s.n.m.	AREAS PARCIALES		AREAS ACUMULADAS			
	Km2	(%)	POR DEBAJO		POR ENCIMA	
			(KM2)	(%)	KM2	(%)
Punto más bajo						
4313	0.00	0.00	0.00	0.00	87.22	100.00
4531	10.99	12.60	10.99	12.60	76.23	87.40
4748	10.87	12.46	21.86	25.07	65.36	74.93
4965	9.45	10.83	31.31	35.90	55.91	64.10
5182	14.05	16.11	45.36	52.01	41.86	47.99
5399	19.79	22.69	65.15	74.70	22.07	25.30
5616	16.39	18.79	81.54	93.49	5.68	6.51
5833	4.66	5.34	86.20	98.83	1.02	1.17
6050	1.02	1.17	87.22	100.00	0.00	0.00
Punto más alto						
TOTAL	87.22	100.00				

Fuente: Elaboración propia

Graficando las áreas acumuladas tanto por debajo y encima obtendremos lo mostrado en la tabla 41.

Tabla 41: Curva hipsométrica de la cuenca Tinki



Fuente: Elaboración propia

Por lo observado en el gráfico y en la intersección de las curvas, la altitud mediana será de **5200 m**.

o Cálculo de la altitud media ponderada.

Para el cálculo de la altura media, lo compararemos con lo obtenido en la curva hipsométrica, por lo cual, según su nombre, parcializaremos las áreas de nuestra cuenca para lograr el resultado mediante las fórmulas.

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



$$H = \frac{\left(\sum a_i c_i\right)}{A}$$

Así, determinamos según la tabla 47 el resultado de 4667.45 m; Lo cual nos indica un resultado muy parecido e incluso equivalente respecto a la escala en la cual se trabaja.

Así, se muestra la tabla 42 respecto a áreas parciales.

Tabla 42: Áreas parciales entre curvas de nivel

ai	ci(altitud media)	ai*ci
10.99	4422.0	48609.87
10.87	4639.5	50428.15
9.45	4856.5	45874.89
14.05	5073.5	71301.76
19.79	5290.5	104705.82
16.39	5507.5	90254.22
4.66	5724.5	26664.74
1.02	5941.5	6069.89
87.22	Σ	443909.33

$$H = 5,089.52 \text{ msnm}$$

Fuente: Elaboración propia

Será esta la altitud media ponderada en la cual nos basaremos y aplicaremos en la investigación.

○ Polígono de frecuencia de áreas parciales.

Se muestra la tabla 43 respecto a las áreas parciales según la cota correspondiente en cada una.

Tabla 43: Áreas parciales según la cota de la cuenca

COTA (msnm)	A. PARCIAL (%)
4313.00	0.00
4531.00	12.60
4748.00	12.46
4965.00	10.83
5182.00	16.11
5399.00	22.69
5616.00	18.79
5833.00	5.34
6050.00	1.17

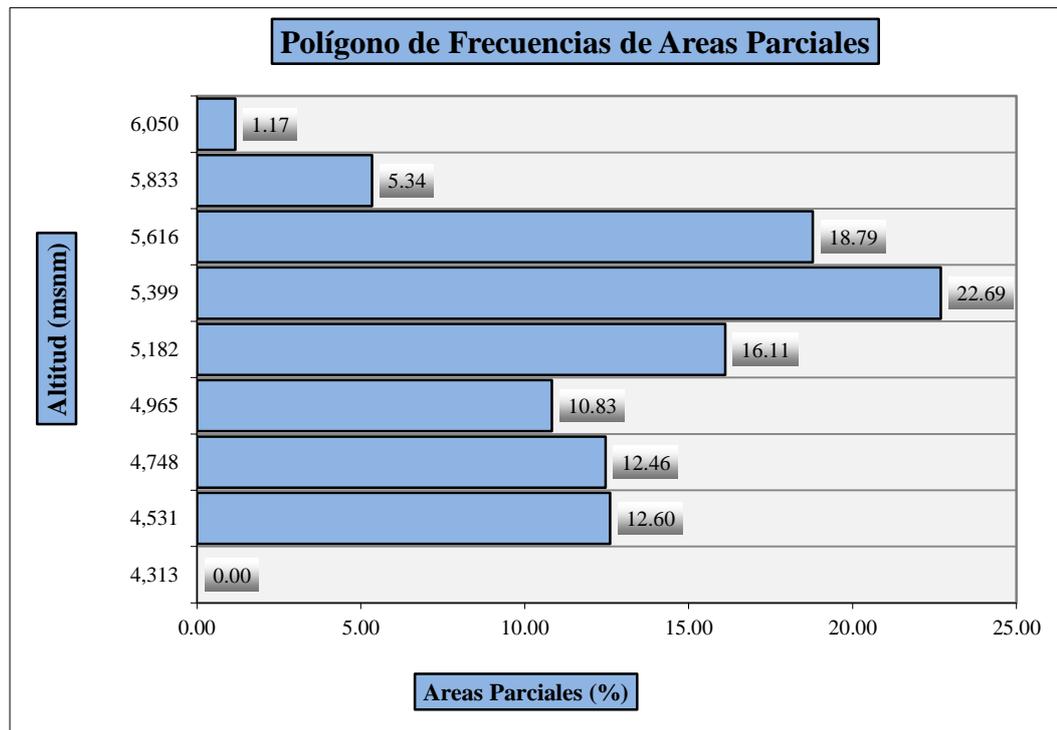
Fuente: Elaboración propia

Con ello, graficaremos el polígono de frecuencias en la imagen 93, la cual observamos con una incidencia de altitud de 4718 m y un porcentaje de incidencia de 35.32%.



Así, se muestra el polígono de frecuencia de áreas parciales según la tabla 44.

Tabla 44: Polígono de frecuencias de áreas parciales



Fuente: Elaboración propia

○ Índice de pendiente.

Aplicando el concepto de Villón Bejar (Hidrología, 2011), usaremos una ponderación de pendientes basadas en las siguientes fórmulas.

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

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

Donde:

- n = Número de curvas de nivel dentro del rectángulo equivalente.
- a1, a2, a3, ..., an = Cotas de las curvas de nivel
- β_i = Razón el área total de la cuenca y el comprendido en las curvas de nivel en análisis.
- L = Longitud del lado mayor del rectángulo equivalente

Con ello, llegaremos a procesar la tabla 45 con los respectivos datos a continuación.

Tabla 45: Cuadro para el cálculo del índice de pendiente



Ai 1	Bi = Ai/At 2	ai - ai-1 3	Bi* (ai - Ai-1) 4	Raíz (4) 5	5 * 1/(L)^0.5 6
0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.00
10.99	0.13	218.00	27.48	5.24	1.17
10.87	0.12	217.00	27.04	5.20	1.16
9.45	0.11	217.00	23.50	4.85	1.08
14.05	0.16	217.00	34.97	5.91	1.32
19.79	0.23	217.00	49.24	7.02	1.56
16.39	0.19	217.00	40.77	6.39	1.42
4.66	0.05	217.00	11.59	3.40	0.76
1.02	0.01	217.00	2.54	1.59	0.35
87.22				Ip =	8.81296

Fuente: Elaboración propia

Con ello determinamos que nuestro índice es de 8.81.

o Cálculo del tiempo de concentración.

Aplicaremos la fórmula del tiempo de concentración según la metodología de Kirpich según la fórmula:

$$T_c = \frac{0.87L^{0.385}}{H}$$

En donde según los datos obtenidos en el rectángulo equivalente según la longitud del cauce más largo de la cuenca (L) y la altura “H” según la diferencia de la cota de más altura y menos altura de la cuenca. Por lo que tendremos un tiempo de concentración de **0.520 horas**.

Resumiendo, tendremos nuestros resultados de los parámetros geomorfológicos de la siguiente manera:

3.6.2.6. Análisis estadísticos y completación de la información meteorológicas.

3.6.2.6.1. Tratamiento de datos hidrológicos.

Las estaciones meteorológicas usadas para el estudio fueron las especificadas en la tabla 19 de la presente investigación.

Para calibrarse a los modelos hidrológicos que se especifican en la presente investigación debemos complementar y procesar la confiabilidad de los datos.

Para realizar este proceso se debe ejecutar un análisis visual y posteriormente observar la tendencia de los datos.

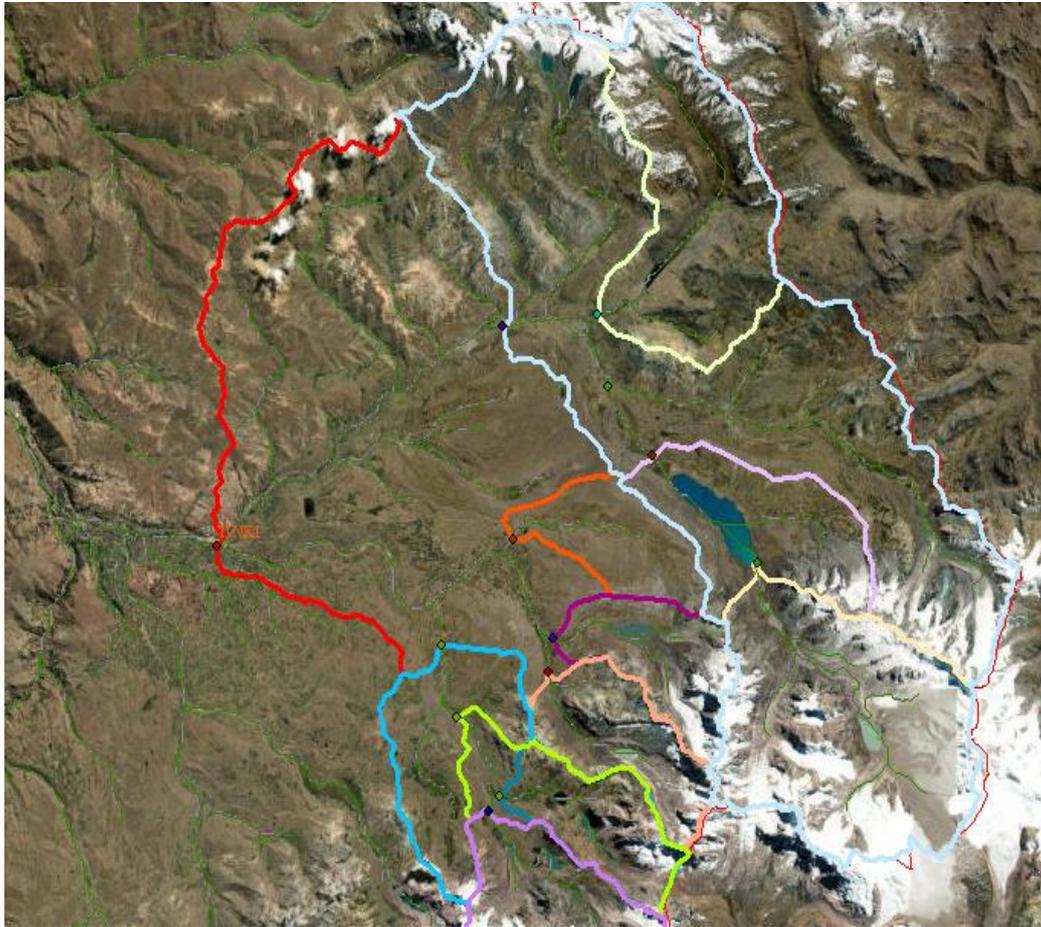
Aplicaremos el análisis de doble masa la cual indica el quiebre de tendencia y al mismo tiempo veremos la regionalización de las estaciones meteorológicas.

Tomando en cuenta que la cuenca de Singrinacocha es la de estudio correspondiente, se tomará un punto de interés según los aforamientos obtenidos.



Así, se muestra la discretización de cuencas según el punto de interés en la figura 77.

Figura 77: Mapa de discretización de subcuencas en el punto de interés



Fuente: Plan MERISS

Por la misma razón, se le asignará un nombre a cada zona discretizada según el punto de interés según las Unidades de Respuesta Hidrológica que consideraremos para la investigación (UDH).

Se tiene la tabla 46, según a la cuenca del punto de interés Tinki que abarca la cuenca de la laguna Singrinacocha.

Tabla 46: UDH de la cuenca Tinki



UDH	Fuente (río)	Punto de control
1	JAMARCOCHA	B.C.MARAMPAQUI
2	KELLHUAPATA	B.C.MARAMPAQUI
3	SINGRINA	DESFOGUE SINGRINA
4	PACCHANTA	KELLHUACOCHA
5	SINGRINA RIO	PARTE BAJA
6	MAPACHO	RIO
7	HAMPATUNI	LAGUNA
8	TTAPAMAYO	QDA
9	PACCHANTA	B.C.PUCARUMI
10	MOYOCCOCHA	INGRESO A LA LAGUNA
11	PACCHANTA	B.C.PINCHIMURO

Fuente: Elaboración propia

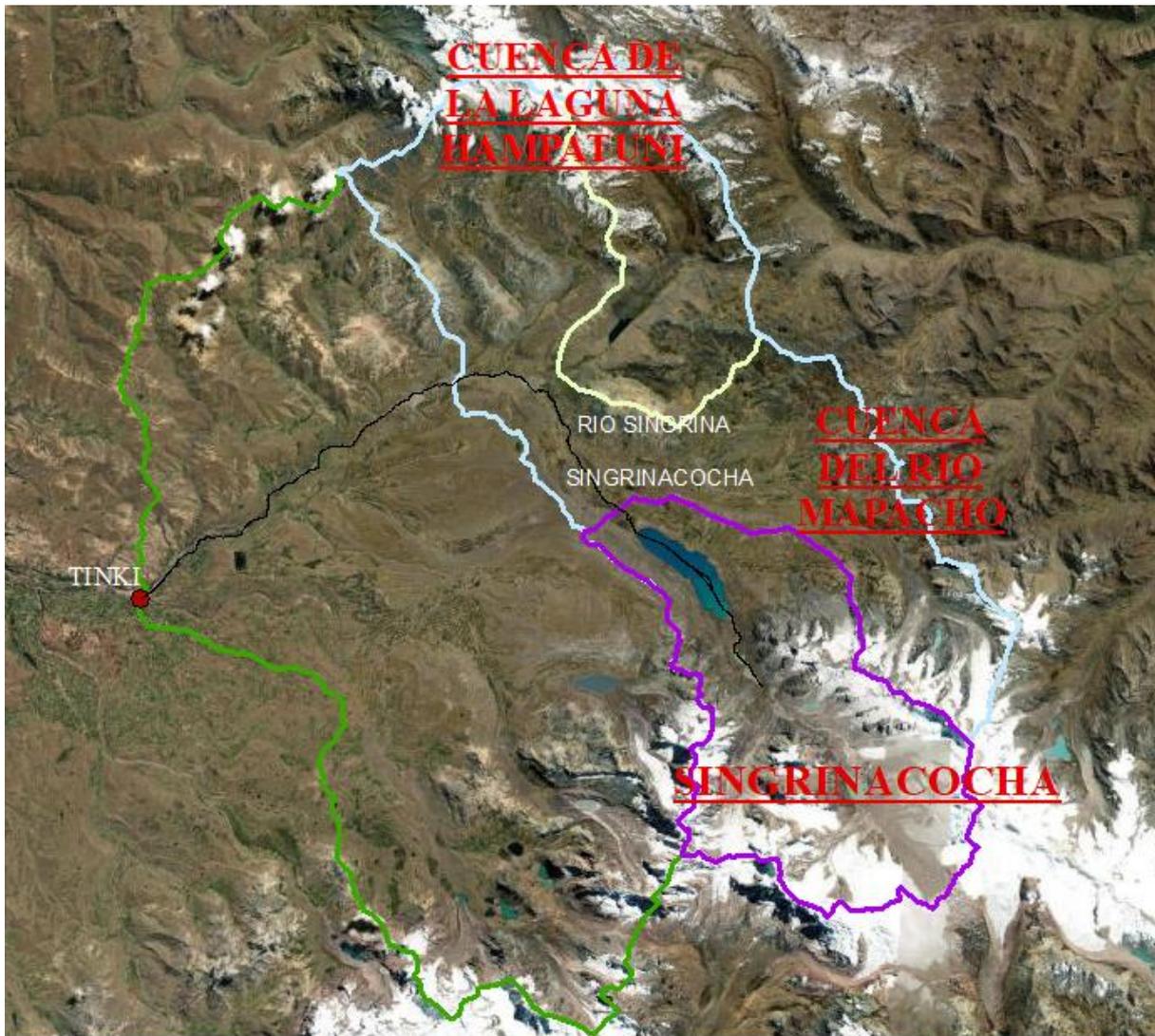
Es así, que según los aforos podremos discretizar el área según las imágenes 78 y 79, para poder procesar sus datos de manera ordenada.

Figura 78: Mapa de discretización codificado en Tinki



Fuente: Elaboración propia

Figura 79: Cuencas discretizadas respecto al punto de interés Tinki



Fuente: Elaboración propia

Luego de ello, se llegó a procesar lo requerido por la cuenca en su totalidad.

3.6.2.6.2. *Precipitación total mensual.*

- Regionalización de estaciones meteorológicas mediante el método de la distancia inversa.

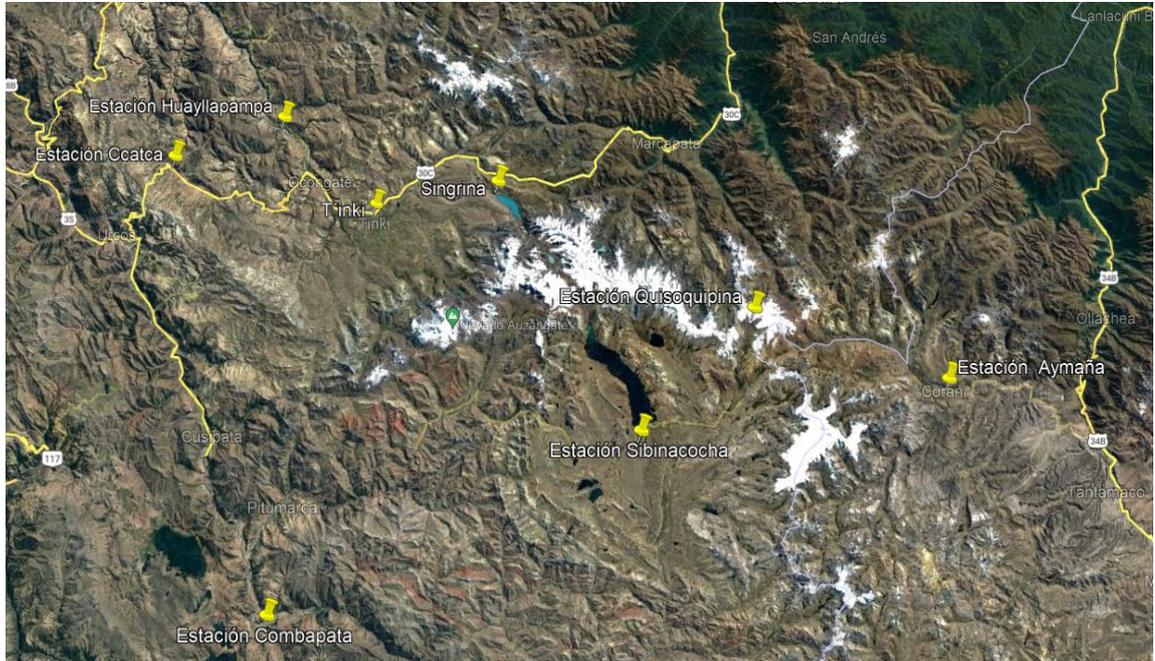
Según a lo mencionado anteriormente, se aplicó el método de distancia inversa en las estaciones meteorológicas para obtener la estación sintética correspondiente y con ello se interpoló las estaciones meteorológicas para ello.

Aplicando las ecuaciones N°37-N°40 se tiene los datos estipulados en la tabla 48 para obtener los pesos en cada estación respecto al punto de interés en donde también existen dichos datos meteorológicos.

Para ello, determinamos que el que mayor peso e influencia en nuestra zona es el mismo punto Tinki seguido de la estación Sibinacocho.

Con ello observamos que la que menos influencia en interpolación tiene es Aymaña.

Figura 80: Localización de las estaciones meteorológicas en la zona de estudio



Fuente: Google Earth (2022)

Tabla 47: Método de la distancia inversa en la cuenca de Tinki

PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL EN EL PUNTO DE INTERÉS							
Año	SIBINACOCHA	QUISOQUIPINA	AYMAÑA	CCATCA	HUAYLLAPAMPA		TINKI
Latitud	13.922	13.7951	13.8728	13.61	13.4724		13.32
Longitud	71.02	70.8862	70.6676	71.56	72.2188		71.58
Cota	4880.00	5157.00	4175.00	3681.00	3358.00		3773.00
Norte	8459960.40	8474138.80	8465714.00	8493960.40	8498854.00		8526391.00
Este	281936.40	296093.30	319793.90	222989.10	236636.80		220136.90
ZONA	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00

Determinación de Pesos Estación Sintética 1							
X	61799.50	75956.40	99657.00	2852.20	16499.90	0.00	
Y	66430.60	52252.20	60677.00	32430.60	27537.00	0.00	
Z	1107.00	1384.00	402.00	92.00	415.00	3773.00	
L	90738.24	92204.03	116676.38	32555.91	32104.60	3773.00	
1/D ²	1.215E-10	1.176E-10	7.346E-11	9.435E-10	9.702E-10	7.025E-08	7.247E-08
Peso	0.00168	0.00162	0.00101	0.01302	0.01339	0.96928	1.00000
	2.00000	3.00000	6.00000	4.00000	5.00000	1.00000	

Fuente: Elaboración propia.

○ Histograma de la precipitación media mensual.

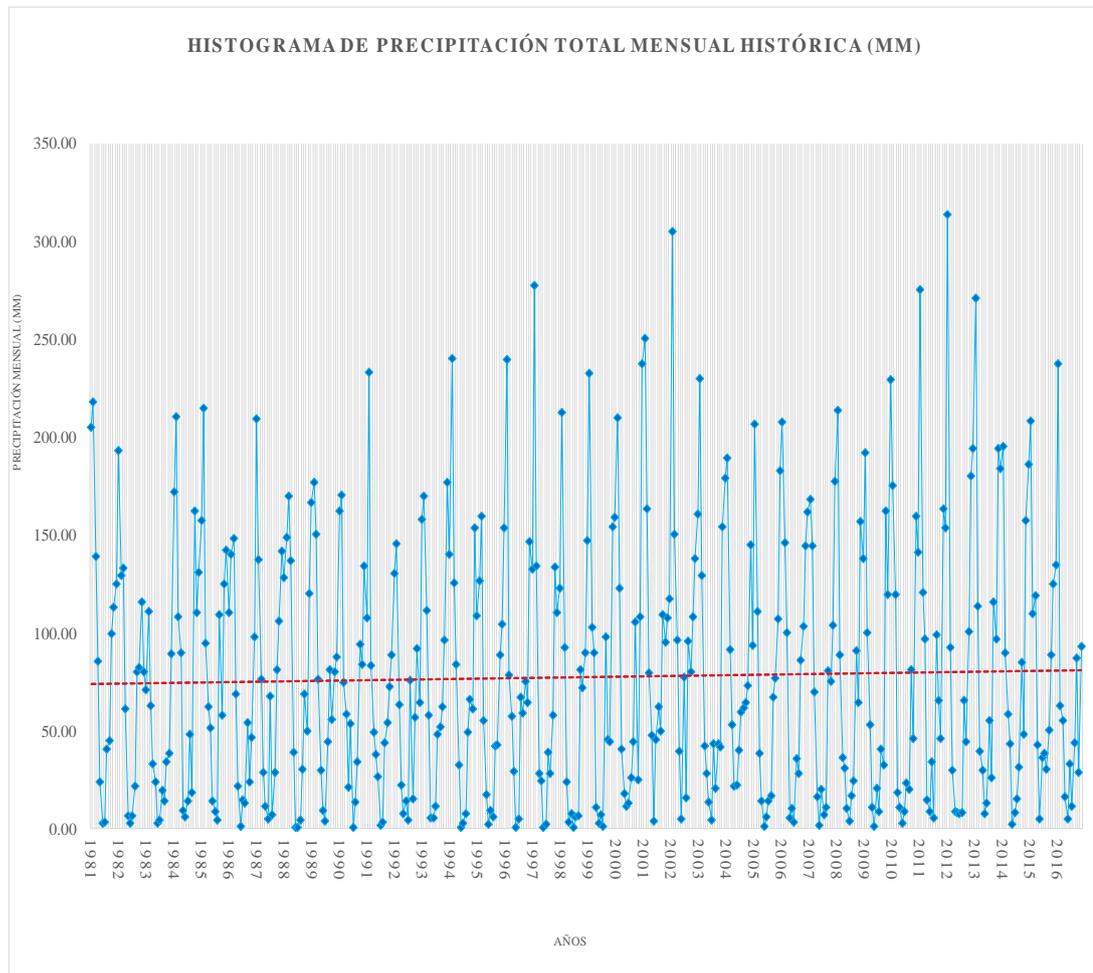
Estos gráficos son generados a partir de la información de 36 años y sustraída del producto PISCO de SENAMHI respecto a las estaciones meteorológicas.

Así, se mostrará las variaciones entre los datos máximos y mínimos de cada año en relación a valores medios.



En la figura 81 se muestra la precipitación extraída del producto PISCO respecto a la estación virtual Tinki.

Figura 81: Histograma de precipitación de la estación virtual Tinki



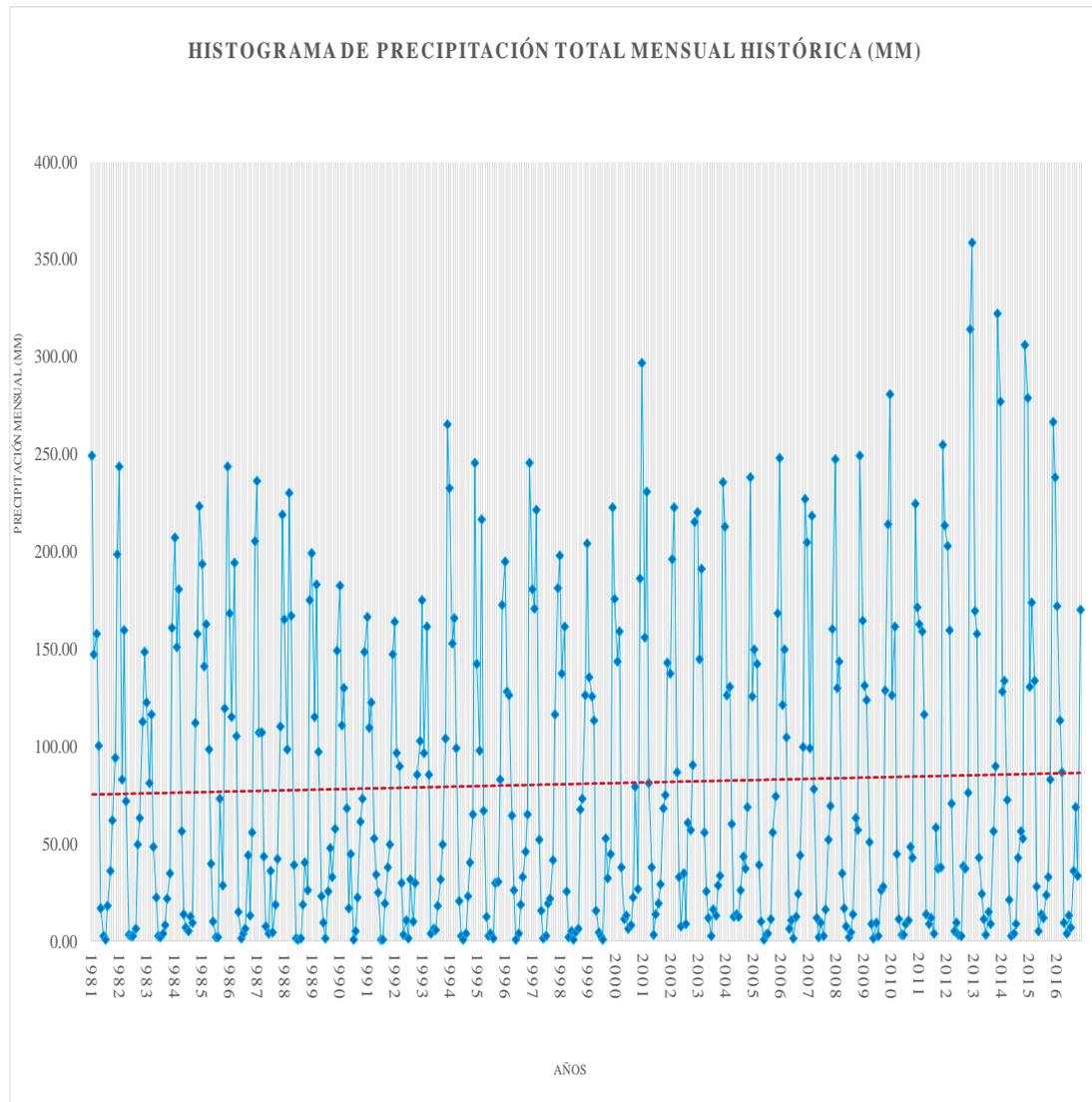
Fuente: Elaboración propia

Se observa por la línea de tendencia de la figura 81 que hay un comportamiento normal de los datos, sin embargo, surgen puntos en donde la precipitación no es uniforme siendo estas los años como los años 1997, 2002 y 2012 con precipitaciones de 277, 222 y 152 y 313 mm correspondientemente, siendo estas particularidades en las cuales es mucho mayor que sus equivalentes en otros años.

En la figura 82, se muestra la precipitación extraída del producto PISCO respecto a la estación meteorológica Sibinacocha.



Figura 82: Histograma de precipitación de la estación Sibinacocha

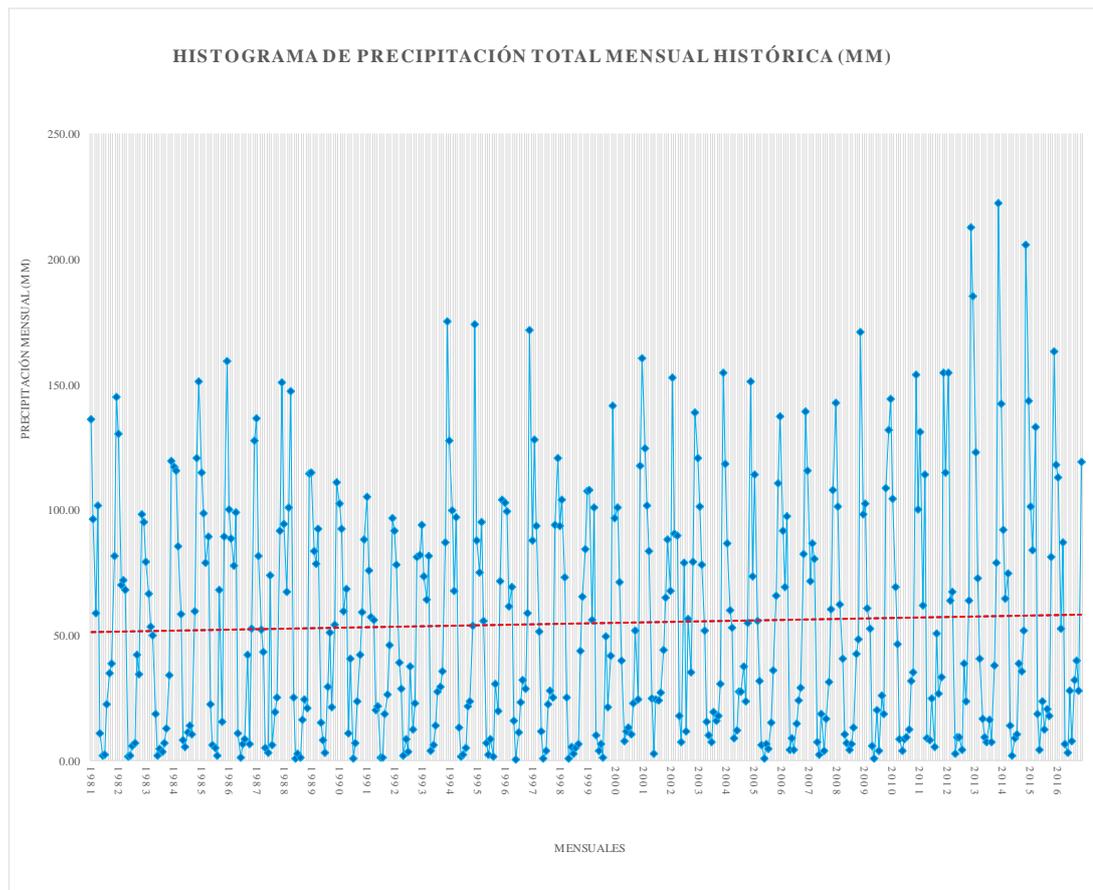


Fuente: Elaboración propia

Se observa por la línea de tendencia de la figura 82 que hay un comportamiento normal de los datos, sin embargo, surgen puntos en donde la precipitación no es uniforme siendo estas los años como los años 2013, 2014 y 2015 con precipitaciones de 385, 305 y 278 mm correspondientemente, siendo estas particularidades en las cuales es mucho mayor que sus equivalentes en otros años.

La imagen 83 muestra a continuación el histograma de la estación Quisoquipina con la información extraída del producto PISCO con la siguiente precipitación:

Figura 83: Histograma de precipitación de la estación Quisoquipina.

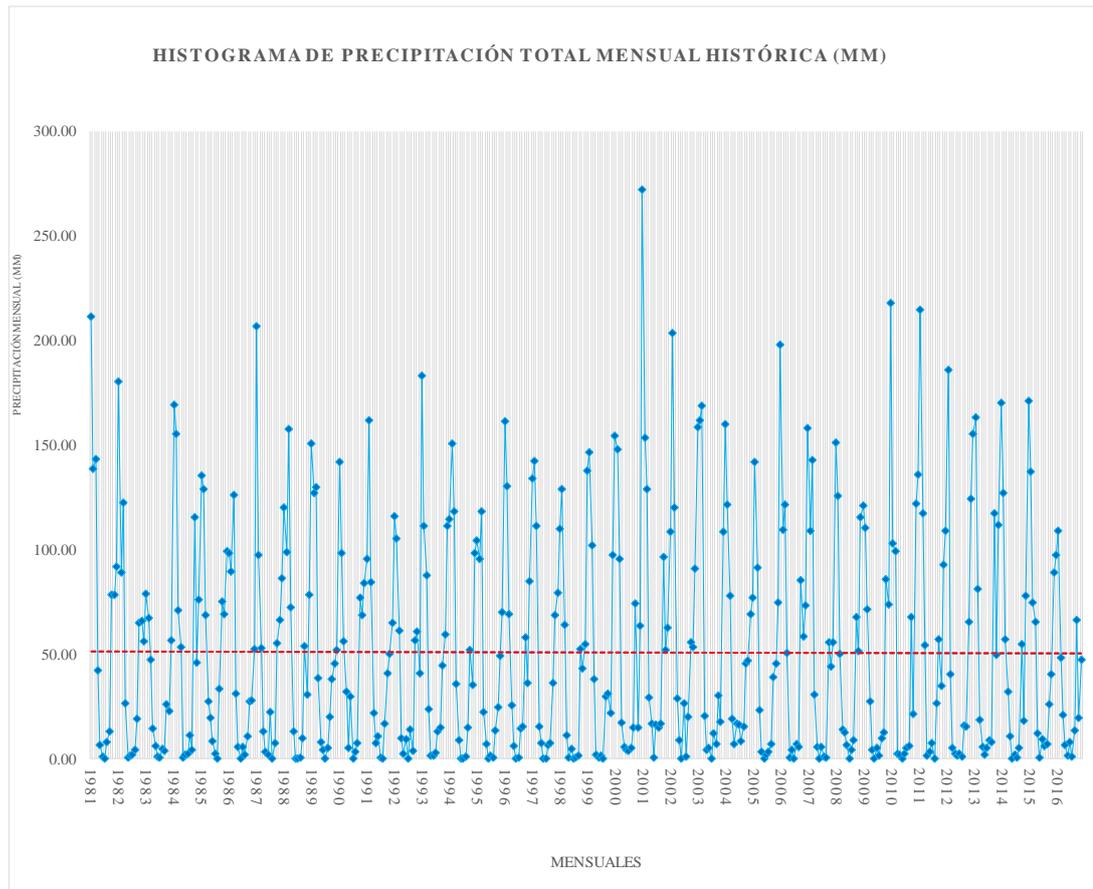


Fuente: Elaboración propia

Los datos que se observan muestran uniformidad en la figura 83 a excepción de picos en el año 2014, sin embargo, por la uniformidad de datos parece ser que no se requerirá una corrección a simple vista.

Se observa el histograma de precipitación de la estación Ccatca en la imagen 84, que presenta un pico de precipitación en el año 2001 con una precipitación de 271 mm, mostrando en su mayoría una uniformidad de datos aparte de este, sin embargo, por la línea de tendencia es donde nos basamos en dicha uniformidad.

Figura 84: Histograma de precipitación de la estación Ccatca

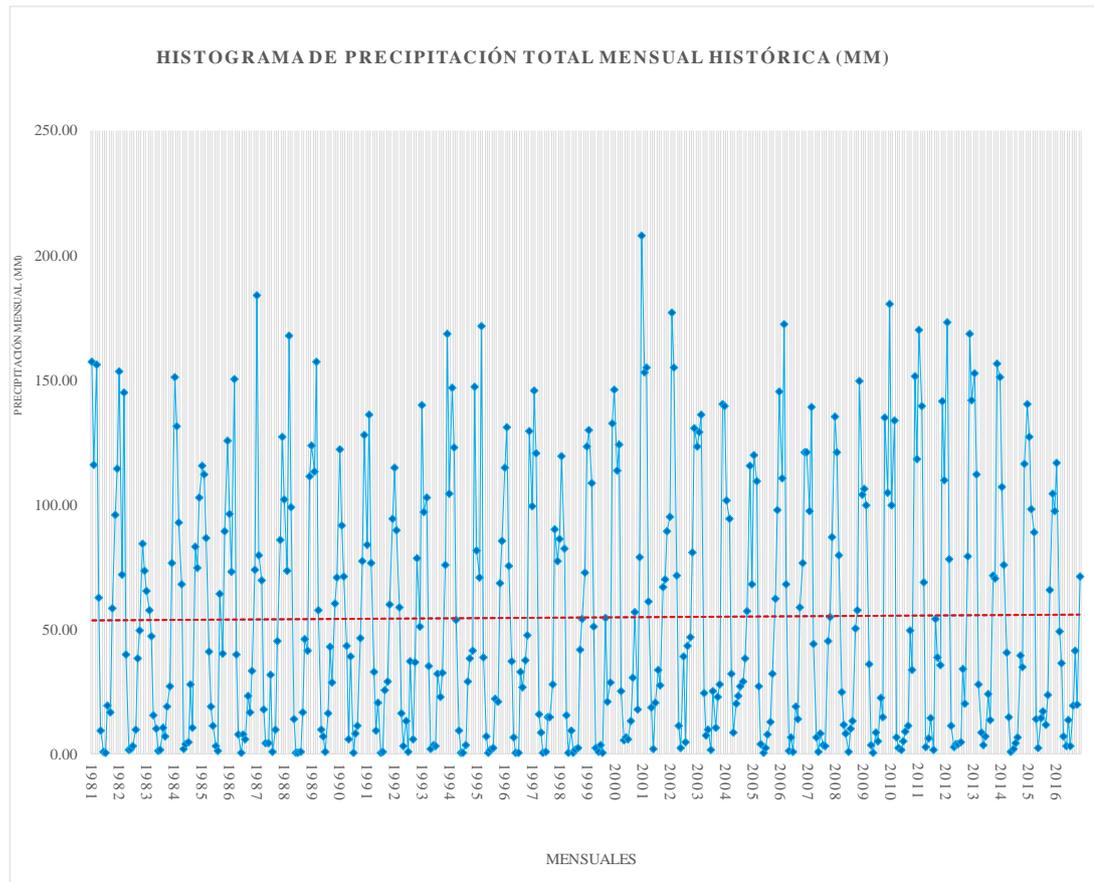


Fuente: Elaboración propia

En la imagen 85 podemos apreciar el histograma de precipitación de la estación Huayllapampa nos muestra una distribución uniforme en dicha estación, basándonos en la línea de tendencia mostrada como en el máximo pico del 2001 con 207 mm.

En dicho pico, implícitamente ocurre la precipitación más intensa en el periodo de tiempo.

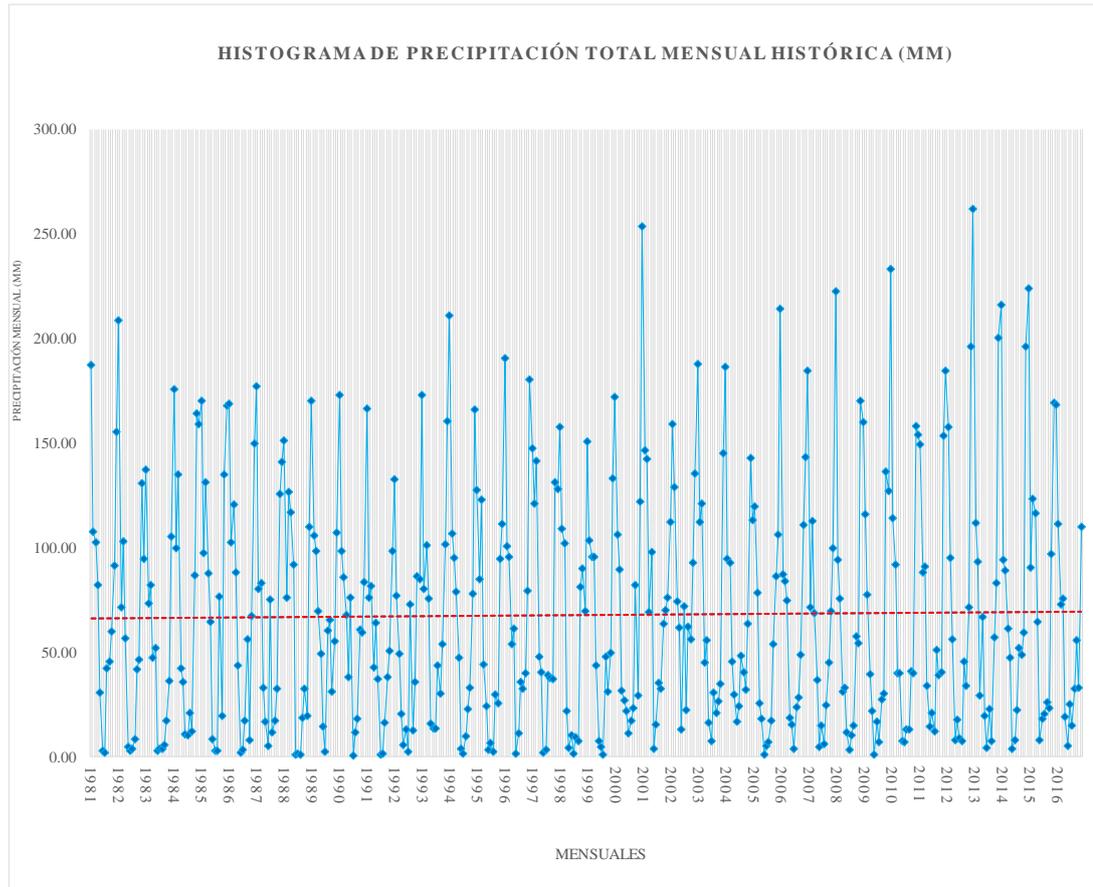
Figura 85: Histograma de precipitación de la estación Huayllapampa



Fuente: Elaboración propia

En la imagen 86 observamos el histograma de precipitación de la estación Aymaña, observamos precipitaciones no tan intensas a comparación de las otras estaciones, presenta una uniformidad más estable teniendo 2 picos que son el año 2001 y 2013.

Figura 86: Histograma de precipitación de la estación Aymaña



Fuente: Elaboración propia

Con todo ello, procederemos a hacer un análisis de doble masa de las estaciones ya descritas respecto a su precipitación.

Cabe resaltar que el análisis de doble masa consiste en conocer los quiebres ya presentados en los diagramas o si han sido generados con errores.

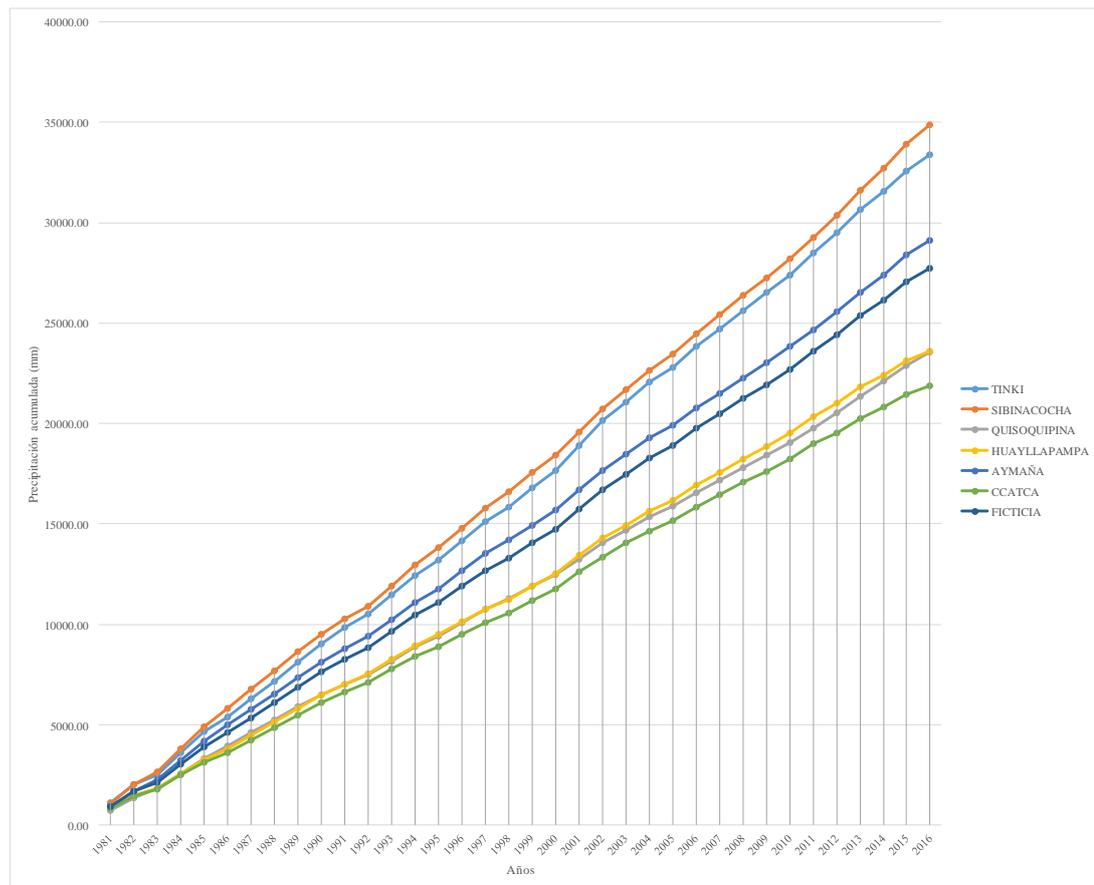
Así, permitirá determinar el rango de periodos dudosos y confiables en cada estación.

Debido a que nuestras estaciones están con datos completos y no tenemos necesidad de completar sino extender dichos datos, procederemos a generar una estación ficticia como estación base (promedio de datos).

Así, se tendrá la figura 87 correspondiente al análisis de doble masa.



Figura 87: Análisis de doble masa de la precipitación.



Fuente: Elaboración propia

Observamos que hay pequeños quiebres en los años 1991 y 2006, pero no relevantes en su homogeneidad, por lo que podríamos afirmar que los datos de precipitación están aptos para los procesamientos posteriores correspondientes.

○ Análisis estadístico de precipitación total mensual.

Según Villón Bejar en Hidrología estadística (2006), el criterio para identificar datos dudosos de los datos confiables, son los picos máximos que se presentan en la serie de datos hidrometeorológicos, los datos en delante de dicho pico máximo se consideran confiables por el cambio natural que pueda sufrir la zona de estudio, haciendo que los datos por detrás se consideren dudosos por corresponder a un periodo pasado.

- Estación Sibinacocha.

El periodo de tiempo con el cual se trabajaron los datos corresponde al periodo con el cual se cuenta de información por el producto PISCOp.



Realizado el análisis de doble masa, procedemos al análisis estadístico de la precipitación total histórica mensual por las cuales empezamos el análisis tomando en cuenta el periodo de datos de 36 años establecidos.

Para ello, tomamos en cuenta el pico máximo de registro que se dio en el año 2013 por lo que procedemos por medio de lo establecido en el marco teórico a empezar a realizar el análisis correspondiente.

Para ello, desde el año 1981 hacia 2013 los clasificaremos como DATOS DUDOSOS mientras que desde el 2014 hacia adelante procederemos a determinarlos como DATOS CONFIABLES.

Tabla 48: Clasificación de datos de la estación Sibinacocha

DATOS DUDOSOS	DATOS CONFIABLE
Periodos Muestrales	Periodos Muestrales
ENTRE LOS AÑOS 1981 - 2013	ENTRE LOS AÑOS 2014 - 2016

Fuente: Elaboración propia

Según Villón Bejar (Hidrología estadística, 2006) El análisis estadístico consiste en probar con una prueba t (prueba de hipótesis) que las medias de las submuestras (\bar{x}_1 , \bar{x}_2) son estadísticamente iguales o diferentes al 95 % de probabilidad o al 5 % de nivel de significación.

El análisis estadístico es el siguiente:

- Para el análisis de consistencia de la media

Se usará la fórmula 2.37, 2.38 y 2.39 establecida para determinar la desviación estándar ponderada.

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

$$S_{\bar{d}} = S_p * \left[\frac{1}{n_1} + \frac{2}{n_2} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$t_c = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{S_{\bar{d}}}$$



Y aplicando la fórmula para obtener los grados de libertad, aplicaremos la fórmula 54 y 57.

$$G. L. = n_1 + n_2 - 2$$

De esta manera, podremos establecer la tabla 49.

Tabla 49: Resultados estadísticos analíticos de la estación Sibinacocha.

ENTRE LOS AÑOS 1981 - 2013		ENTRE LOS AÑOS 2014 - 2016	
Tamaño de la muestra(n1)=	396	Tamaño de la muestra (n2)=	36
Media de la muestra $\bar{X}_1 =$	79.88	Media de la muestra $\bar{X}_2 =$	89.69
Desviación Stand.(S1) =	78.39	Desviación Stand.(S2)=	91.65
Grados de libertad(GL1)=	395	Grados de libertad(GL2)=	35

Fuente: Elaboración propia

a) Desviación estándar ponderada:

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

$$S_p = 79.55$$

b) Desviación de las diferencias de los promedios.

$$S_{\bar{d}} = S_p * \left[\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$S_{\bar{d}} = 13.85$$

c) Cálculo del T calculado (Tc).

$$t_c = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{S_{\bar{d}}}$$

$$T_c = -0.71$$

$$|T_c| = 0.71$$

Tómese en cuenta que el cálculo establecido se basa en el valor absoluto que se pueda dar como resultado.

d) Cálculo del valor crítico de t.

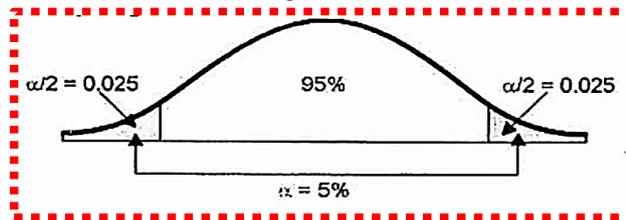


Grados de libertad

$$GL = GL1 + GL2$$

$$GL = 430$$

Probabilidad al 95%, con un nivel de significación del 5%



$$\alpha = 5\% \\ 1.965496192$$

$$Tt = 1.9655$$

De la misma manera, realizaremos una comparación del Tc con Tt

Basándonos en lo estipulado por Villón Bejar (Hidrología estadística, 2006) decimos que si es que el valor absoluto de Tc es menor que Tt en este caso las medias serán iguales y, si, por el contrario, el valor absoluto de Tc es mayor que Tt se debe de realizar el proceso de corrección.

Así nuestra conclusión es que al ser Tc menor que Tt la distribución se mantiene homogénea y por lo tanto no se requiere una corrección de datos, dando credibilidad de que la muestra está lista a usarse.

- o Para el análisis de consistencia en la desviación estándar.

Haciendo el cálculo de F basándonos en las fórmulas desde 60 y 61, según Fc calculado se tiene de referencia los datos de la tabla 53 para su uso

a) Cálculo de Fc

$$F_c = \frac{8400.26}{6144.63} = 1.37$$

b) Cálculo de Ft

Para un nivel de significación $\alpha=5\%$ y basándonos en las fórmulas ya establecidas se tiene:

Grados de libertad

$$GL1 = 395$$

$$GL2 = 35$$

$$\alpha = 5\%$$

$$1.58$$

$$F_t = 1.58$$



Aplicando las fórmulas establecidas de las ecuaciones 60 y 61 al 95% de confiabilidad determinamos que al ser F_t mayor que F_c determinamos una homogeneidad en la desviación ratificando que los datos están listos a usarse.

- Estación Tinki.

Se empezó el análisis tomando en cuenta el periodo de datos de 36 años establecidos. Para ello, tomamos en cuenta el pico máximo de registro en la estación sintética que se dio en el año 2013 por lo que procedemos por medio de lo establecido en el marco teórico a empezar a realizar el análisis correspondiente.

Para ello, se tomó el año 1981 hacia 2012 los clasificaremos como DATOS DUDOSOS mientras que desde el 2013 hacia adelante procederemos a determinarlos como DATOS CONFIABLES.

- Estación Quisoquipina

Realizado el análisis de doble masa, procedemos al análisis estadístico de la precipitación total histórica mensual por las cuales empezamos el análisis tomando en cuenta el periodo de datos de 36 años establecidos.

Para ello, tomamos en cuenta el pico máximo de registro que se dio en el año 2014 por lo que procedemos por medio de lo establecido en el marco teórico a empezar a realizar el análisis correspondiente.

Para ello, desde el año 1981 hacia 2014 los clasificaremos como DATOS DUDOSOS mientras que desde el 2015 hacia adelante procederemos a determinarlos como DATOS CONFIABLES.

- Estación Huayllapampa.

Realizado el análisis de doble masa, procedemos al análisis estadístico de la precipitación total histórica mensual por las cuales empezamos el análisis tomando en cuenta el periodo de datos de 36 años establecidos.

Para ello, tomamos en cuenta el pico máximo de registro que se dio en el año 2013 por lo que procedemos por medio de lo establecido en el marco teórico a empezar a realizar el análisis correspondiente.

Para ello, desde el año 1981 hacia 2001 los clasificaremos como DATOS DUDOSOS mientras que desde el 2002 hacia adelante procederemos a determinarlos como DATOS CONFIABLES.



- Estación Ccatca

Realizado el análisis de doble masa, procedemos al análisis estadístico de la precipitación total histórica mensual por las cuales empezamos el análisis tomando en cuenta el periodo de datos de 36 años establecidos.

Para ello, tomamos en cuenta el pico máximo de registro que se dio en el año 2013 por lo que procedemos por medio de lo establecido en el marco teórico a empezar a realizar el análisis correspondiente.

Para ello, desde el año 1981 hacia 2001 los clasificaremos como DATOS DUDOSOS mientras que desde el 2002 hacia adelante procederemos a determinarlos como DATOS CONFIABLES.

- Estación Aymaña

Realizado el análisis de doble masa, procedemos al análisis estadístico de la precipitación total histórica mensual por las cuales empezamos el análisis tomando en cuenta el periodo de datos de 36 años establecidos.

Para ello, tomamos en cuenta el pico máximo de registro que se dio en el año 2013 por lo que procedemos por medio de lo establecido en el marco teórico a empezar a realizar el análisis correspondiente.

Para ello, desde el año 1981 hacia 2013 los clasificaremos como DATOS DUDOSOS mientras que desde el 2014 hacia adelante procederemos a determinarlos como DATOS CONFIABLES.

Habiendo realizado el análisis de consistencia correspondiente para los datos meteorológicos respecto a las precipitaciones, obtenemos los datos de la tabla 50.

Tabla 50: Análisis de consistencia de precipitaciones

Parámetros	ESTACION					
	SIBINACOCHA	TINKI	QUISOQUIPINA	HUAYLLAPAMPA	CCATCA	AYMAÑA
	<u>Prueba T de Student</u>					
Desviación estándar ponderada	79.55	65.93	47.42	50.97	53.74	56.24
Desviación de las diferencias de los promedios	13.85	10.09	9.96	4.97	5.24	9.79
Cálculo de Tc	0.71	0.48	0.56	0.64	0.26	0.52
Grados de libertad	430	430	430	430	430	430
Cálculo de Tt	1.9655	1.9655	1.9655	1.9655	1.9655	1.9655
	<u>Prueba F de Fisher</u>					
Cálculo de Fc	1.37	1.14	1.17	1.16	1.13	1.20
Cálculo de Ft	1.58	1.48	1.77	1.26	1.26	1.58

Fuente: Elaboración propia

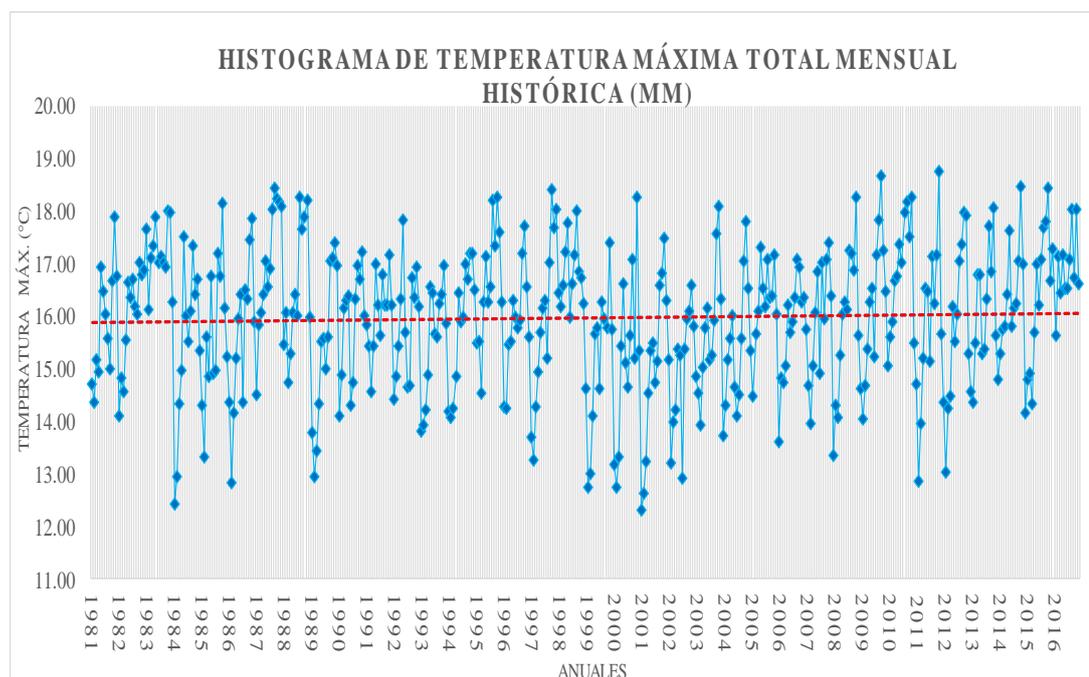
3.6.2.6.3. *Temperatura máxima total mensual.*

- *Histograma de temperatura máxima total.*

En las estaciones seleccionadas para el estudio se realizó el estudio y la extracción del producto PISCO para su análisis correspondiente generando el histograma correspondiente para cada una de las estaciones.

En la imagen 88 se obtiene la siguiente distribución descrita de la estación Sibinacocha. Según la pendiente de la línea de tendencia observamos cierta inconsistencia en los primeros años que probablemente bajo un análisis de corrección podremos ver en qué años no hay uniformidad.

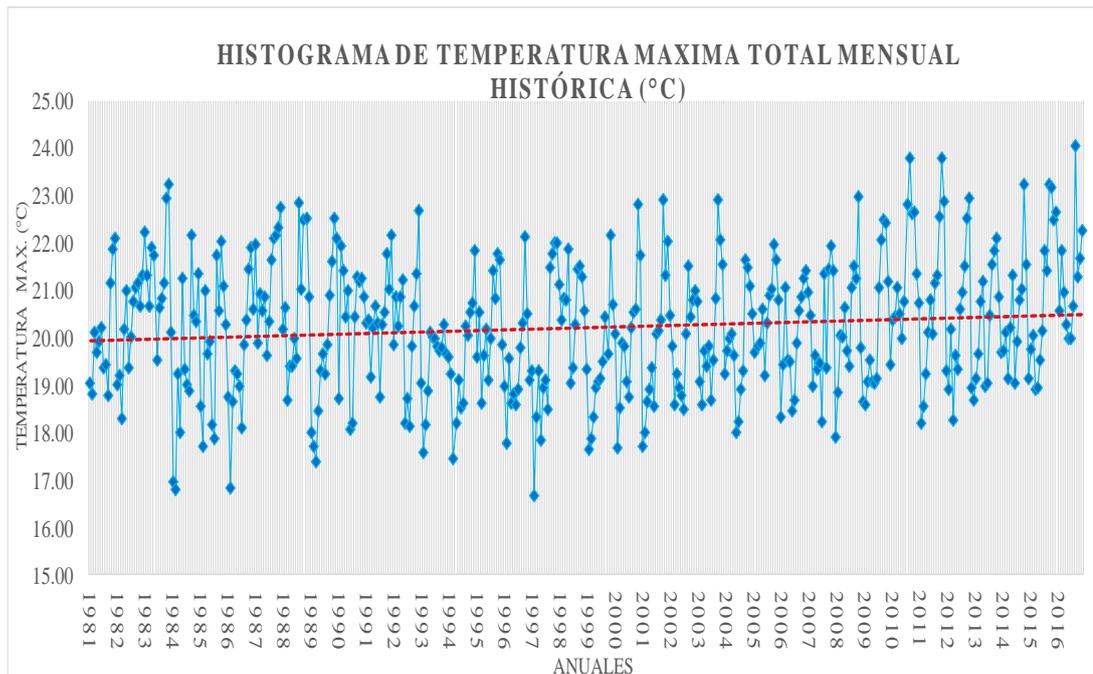
Figura 88: Histograma de temperaturas de la estación Sibinacocha



Fuente: Elaboración propia

En la imagen 89 se muestra la distribución de la estación Tinki, la cual se especifica sus datos de temperatura máxima de una manera parecida a la estación Sibinacocha, siendo su línea de tendencia muy parecida a la de la esta última.

Figura 89: Histograma de temperatura máxima de la estación Tinki



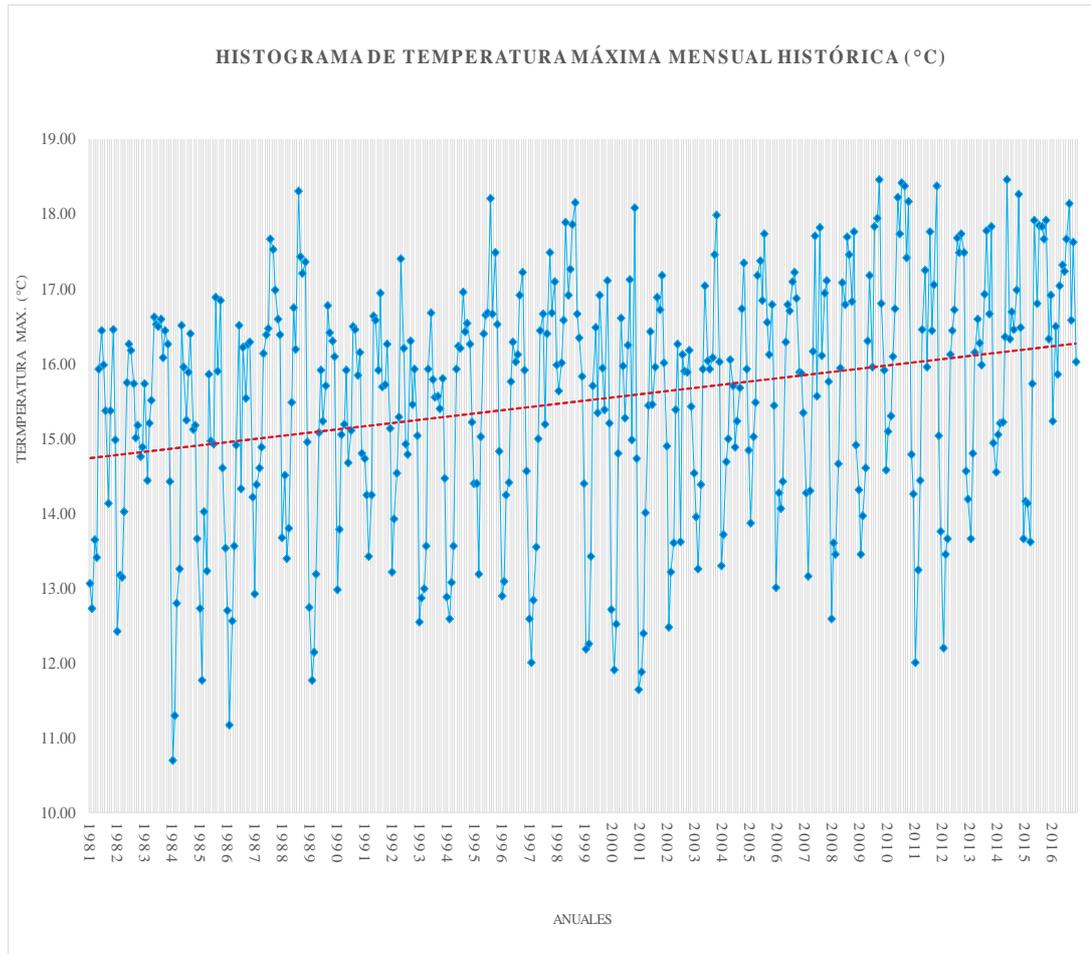
Fuente: Elaboración propia

Se observa que muy probablemente tengamos que corregir los datos presentes si es que se observa quiebres en el posterior análisis de doble masa.

Sin embargo, continuando con la recopilación de datos procedemos a la estación Quisoquipina.

En la imagen 90 podemos observar su distribución y como de igual manera como en las anteriores estaciones observamos una línea de tendencia ascendente, lo que posiblemente genere que haya que corregir los datos.

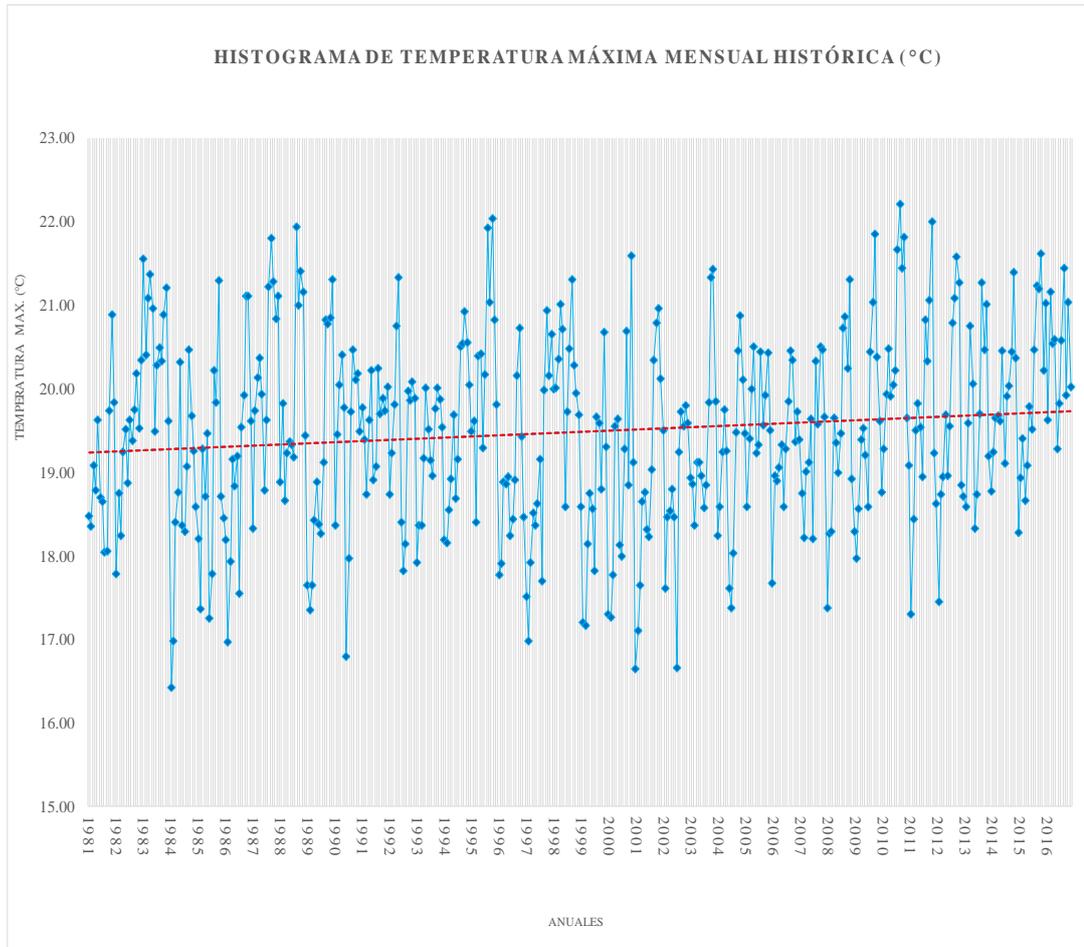
Figura 90: Histograma de temperaturas de la estación Quisoquipina



Fuente: Elaboración propia

Procediendo con la Figura 91 correspondiente a la estación de Huayllapampa se observa el mismo patrón.

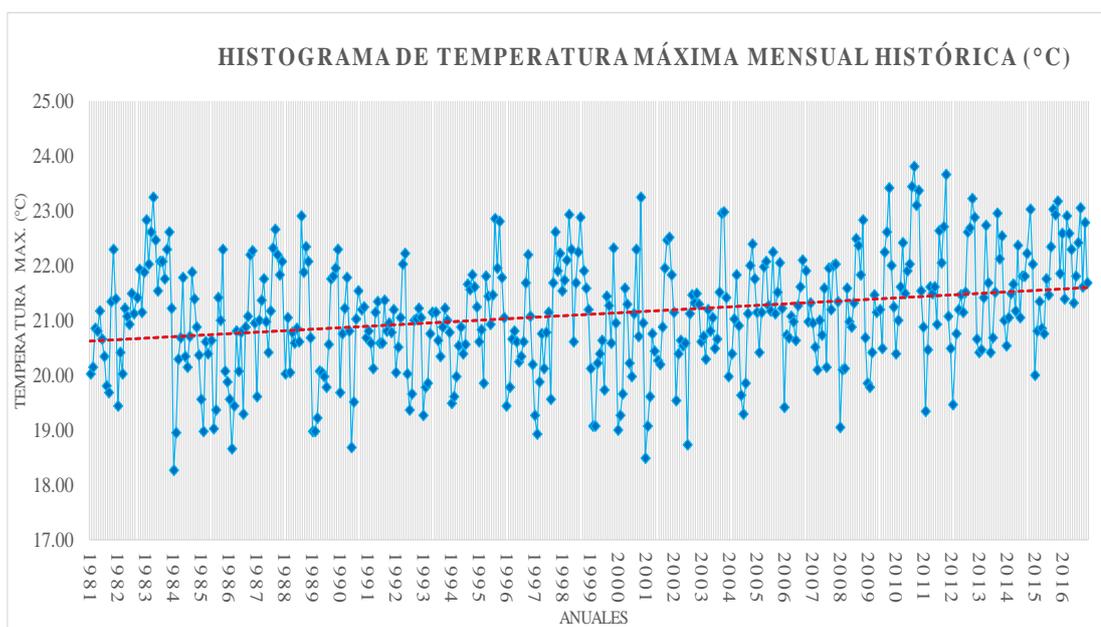
Figura 91: Histograma de temperaturas máximas en la estación Huayllapampa



Fuente: Elaboración propia

En la estación de Ccatca también se observan datos en los cuales la línea de tendencia llega a ser ascendente como sus similares en el transcurso de los años recopilados.

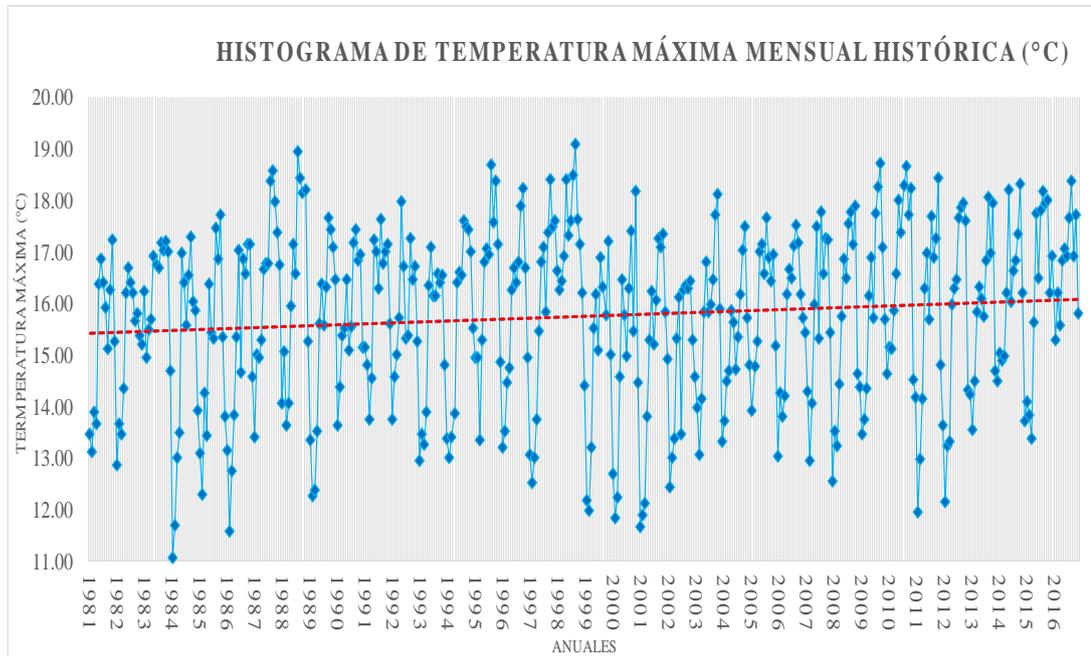
Figura 92: Histograma de temperatura máxima de la estación de Ccatca



Fuente: Elaboración propia

De igual manera se procederá con el mismo análisis en la estación Aymaña.

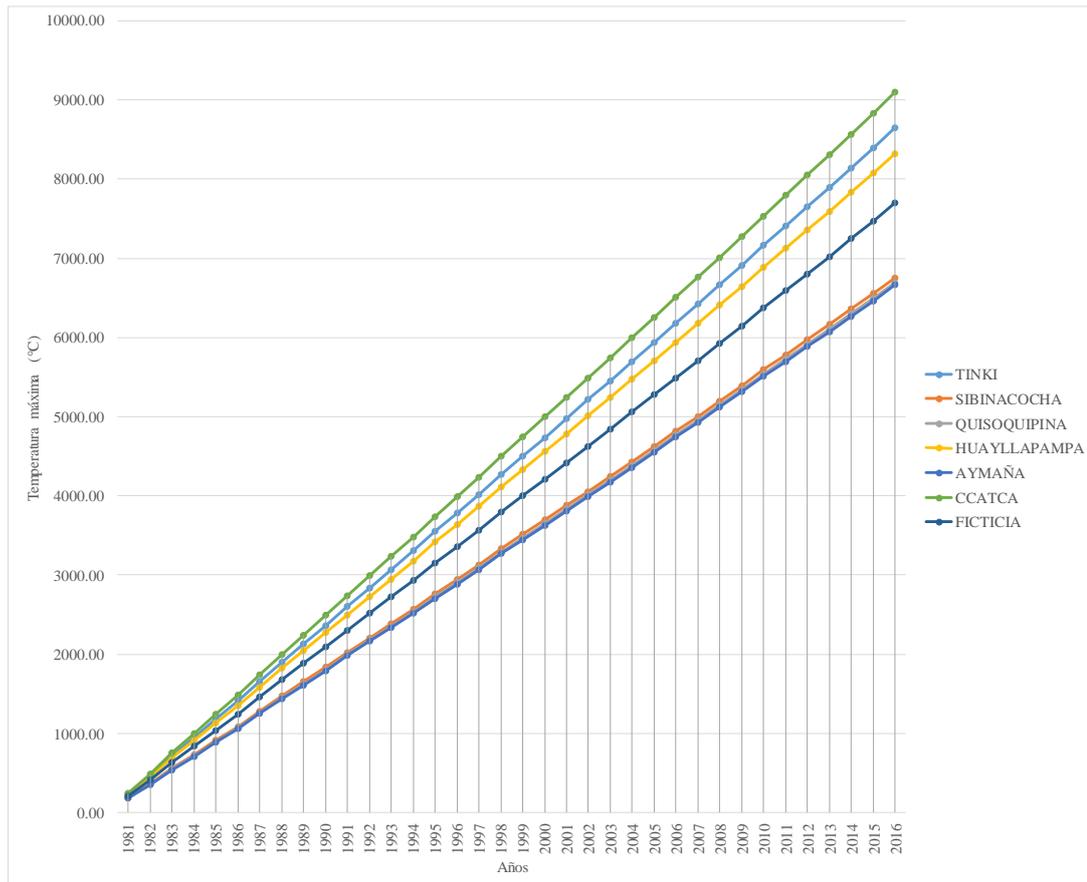
Figura 93: Histograma de temperaturas máximas en la estación Aymaña



Fuente: Elaboración propia

Con lo ya procesado, procedemos a un análisis de datos partiendo desde un análisis de doble masa.

Figura 94: Análisis de doble masa de las temperaturas máximas en la cuenca Tinki



Fuente: Elaboración propia

Algo que debemos tomar en cuenta es que se observa un quiebre significativo en los años 1997-1998 en las estaciones de Sibinacocha, Tinki y Huayllapampa.

La línea de tendencia en todas las estaciones representa una ascensión como tal, eso no necesariamente da una referencia de datos no confiables, al contrario, se aplica un criterio en el cual se muestra que hubo incremento de temperaturas a lo largo en 36 años, corroborando la influencia del calentamiento global en la zona.

Aún así, siendo el quiebre corregido puntualmente, debería de mantenerse o mejorarse los datos categorizándose como homogéneos y estar aptos para el proceso.

○ Análisis estadístico de temperaturas máximas.

- Estación Sibinacocha.

Realizado el análisis de doble masa, procedemos al análisis estadístico de la temperatura máxima histórica mensual por las cuales empezamos el análisis tomando en cuenta el periodo de datos de 36 años establecidos.

Para ello, tomamos en cuenta el pico máximo de registro que se dio en el año 2013 por lo que procedemos por medio de lo establecido en el marco teórico a empezar a realizar el análisis correspondiente.



Para ello, desde el año 1981 hacia 2013 los clasificaremos como DATOS DUDOSOS mientras que desde el 2014 hacia adelante procederemos a determinarlos como DATOS CONFIABLES.

- Estación Tinki.

Realizado el análisis de doble masa, procedemos al análisis estadístico de la temperatura máxima histórica mensual por las cuales empezamos el análisis tomando en cuenta el periodo de datos de 36 años establecidos.

Para ello, tomamos en cuenta el pico máximo de registro que se dio en el año 1998 por lo que procedemos por medio de lo establecido en el marco teórico a empezar a realizar el análisis correspondiente.

Para ello, desde el año 1981 hacia 1998 los clasificaremos como DATOS DUDOSOS mientras que desde el 1999 hacia adelante procederemos a determinarlos como DATOS CONFIABLES.

- Estación Quisoquipina.

Realizado el análisis de doble masa, procedemos al análisis estadístico de la temperatura máxima histórica mensual por las cuales empezamos el análisis tomando en cuenta el periodo de datos de 36 años establecidos.

Para ello, tomamos en cuenta el pico máximo de registro que se dio en el año 2001 por lo que procedemos por medio de lo establecido en el marco teórico a empezar a realizar el análisis correspondiente.

Para ello, desde el año 1981 hacia 2001 los clasificaremos como DATOS DUDOSOS mientras que desde el 2002 hacia adelante procederemos a determinarlos como DATOS CONFIABLES.

- Estación Huayllapampa.

Realizado el análisis de doble masa, procedemos al análisis estadístico de la temperatura máxima histórica mensual por las cuales empezamos el análisis tomando en cuenta el periodo de datos de 36 años establecidos.

Para ello, tomamos en cuenta el pico máximo de registro que se dio en el año 1998 por lo que procedemos por medio de lo establecido en el marco teórico a empezar a realizar el análisis correspondiente.

Para ello, desde el año 1981 hacia 1998 los clasificaremos como DATOS DUDOSOS mientras que desde el 1999 hacia adelante procederemos a determinarlos como DATOS CONFIABLES.



- Estación Quisoquipina.

Realizado el análisis de doble masa, procedemos al análisis estadístico de la temperatura máxima histórica mensual por las cuales empezamos el análisis tomando en cuenta el periodo de datos de 36 años establecidos.

Para ello, tomamos en cuenta el pico máximo de registro que se dio en el año 2001 por lo que procedemos por medio de lo establecido en el marco teórico a empezar a realizar el análisis correspondiente.

Para ello, desde el año 1981 hacia 2001 los clasificaremos como DATOS DUDOSOS mientras que desde el 2002 hacia adelante procederemos a determinarlos como DATOS CONFIABLES.

- Estación Huayllapampa

Realizado el análisis de doble masa, procedemos al análisis estadístico de la temperatura máxima histórica mensual por las cuales empezamos el análisis tomando en cuenta el periodo de datos de 36 años establecidos.

Para ello, tomamos en cuenta el pico máximo de registro que se dio en el año 2001 por lo que procedemos por medio de lo establecido en el marco teórico a empezar a realizar el análisis correspondiente.

Para ello, desde el año 1981 hacia 1995 los clasificaremos como DATOS DUDOSOS mientras que desde el 1996 hacia adelante procederemos a determinarlos como DATOS CONFIABLES.

- Estación Ccatca

Realizado el análisis de doble masa, procedemos al análisis estadístico de la temperatura máxima histórica mensual por las cuales empezamos el análisis tomando en cuenta el periodo de datos de 36 años establecidos.

Para ello, tomamos en cuenta el pico máximo de registro que se dio en el año 2001 por lo que procedemos por medio de lo establecido en el marco teórico a empezar a realizar el análisis correspondiente.

Para ello, desde el año 1981 hacia 1984 los clasificaremos como DATOS DUDOSOS mientras que desde el 1985 hacia adelante procederemos a determinarlos como DATOS CONFIABLES.

- Estación Aymaña.

Realizado el análisis de doble masa, procedemos al análisis estadístico de la temperatura máxima histórica mensual por las cuales empezamos el análisis tomando en cuenta el periodo de datos de 36 años establecidos.



Para ello, tomamos en cuenta el pico máximo de registro que se dio en el año 2001 por lo que procedemos por medio de lo establecido en el marco teórico a empezar a realizar el análisis correspondiente.

Para ello, desde el año 1981 hacia 1998 los clasificaremos como DATOS DUDOSOS mientras que desde el 1999 hacia adelante procederemos a determinarlos como DATOS CONFIABLES.

Por ello, en la tabla 51 se tiene el respectivo análisis de consistencia de las temperaturas máximas correspondientes de las estaciones y la estación sintética utilizadas en esta investigación.

Tabla 51: Análisis de consistencia de temperaturas máximas

Parámetros	ESTACION					
	SIBINACOCHA	TINKI	QUISOQUIPINA	HUAYLLAPAMPA	CCATCA	AYMAÑA
	<u>Prueba T de Student</u>					
Desviación estándar ponderada	1.29	1.37	1.55	1.13	1.03	1.69
Desviación de las diferencias de los promedios	0.12	0.13	0.15	0.11	0.16	0.16
Cálculo de Tc	1.76	1.44	0.00	0.00	0.00	0.06
Grados de libertad	430	430	430	430	430	430
Cálculo de Tt	1.9655	1.9655	1.9655	1.9655	1.9655	1.9655
	<u>Prueba F de Fisher</u>					
Cálculo de Fc	1.07	1.01	1.07	1.00	1.00	1.02
Cálculo de Ft	1.25	1.25	1.26	1.26	1.4	1.25

Fuente: Elaboración propia

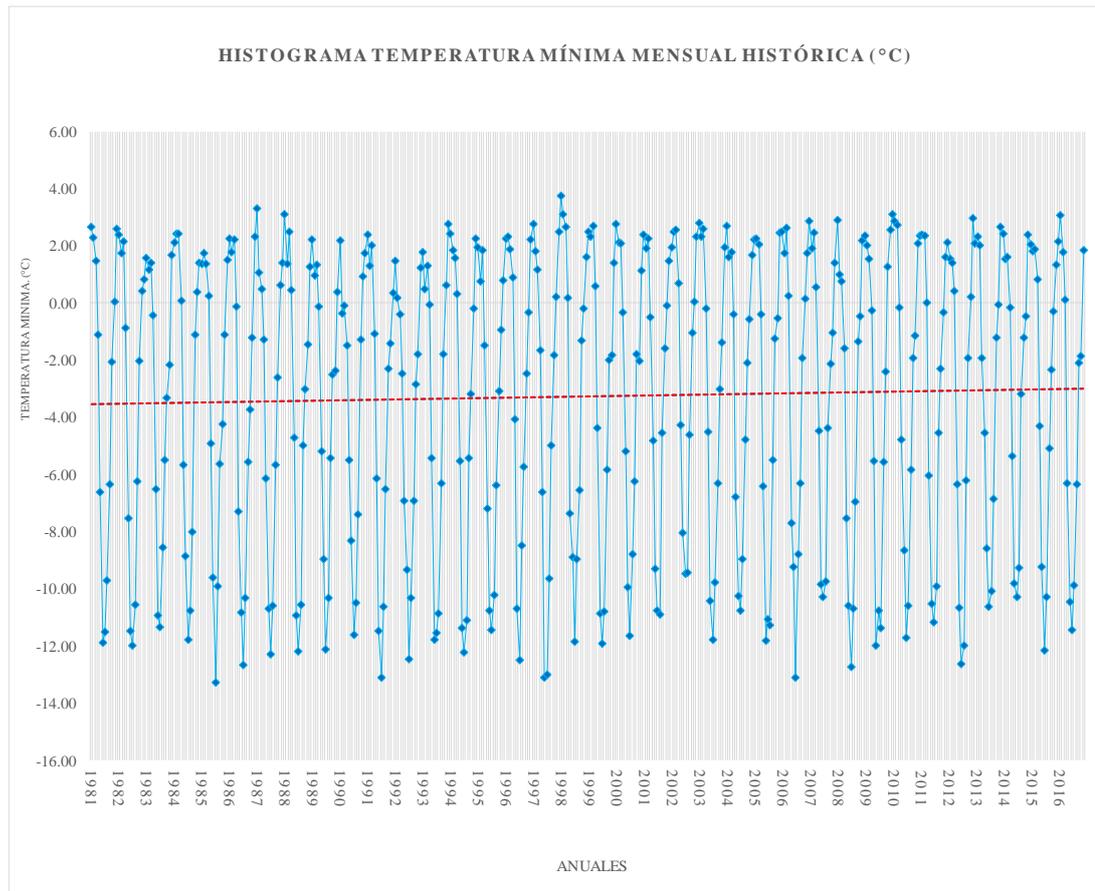
○ Análisis de la temperatura mínima total mensual.

Para la imagen 95 observamos la distribución de datos en la estación Sibinacocha tomando en cuenta los picos negativos incidentes en esta.

Esto muestra que los datos más relevantes son la incidencia de datos negativos en las zonas en las cuales existen alturas y nevados cercanos.

Aun así, la línea de tendencia nos muestra que los datos aparentan ser homogéneos, por ello, la pendiente mostrada no resulta ser muy pronunciada.

Figura 95: Histograma de temperaturas mínimas de la estación Sibinacocha

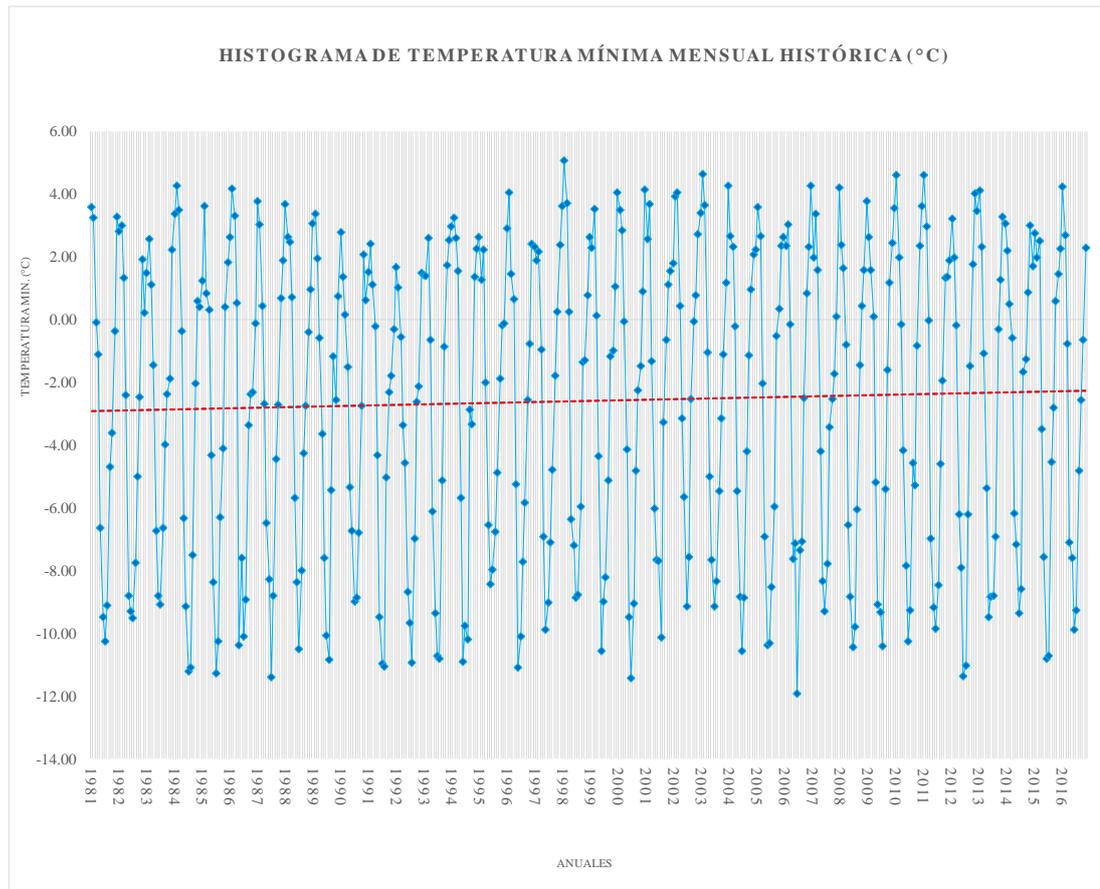


Fuente: Elaboración propia

De la misma manera, podemos observar en la imagen 96 que la estación en Tinki presenta parecida distribución respecto a sus datos.

Observando dicho gráfico se observa cierta pronunciación y picos bastante altos negativamente, lo cual es consistente respecto a la zona en la cual estos datos han sido extraídos.

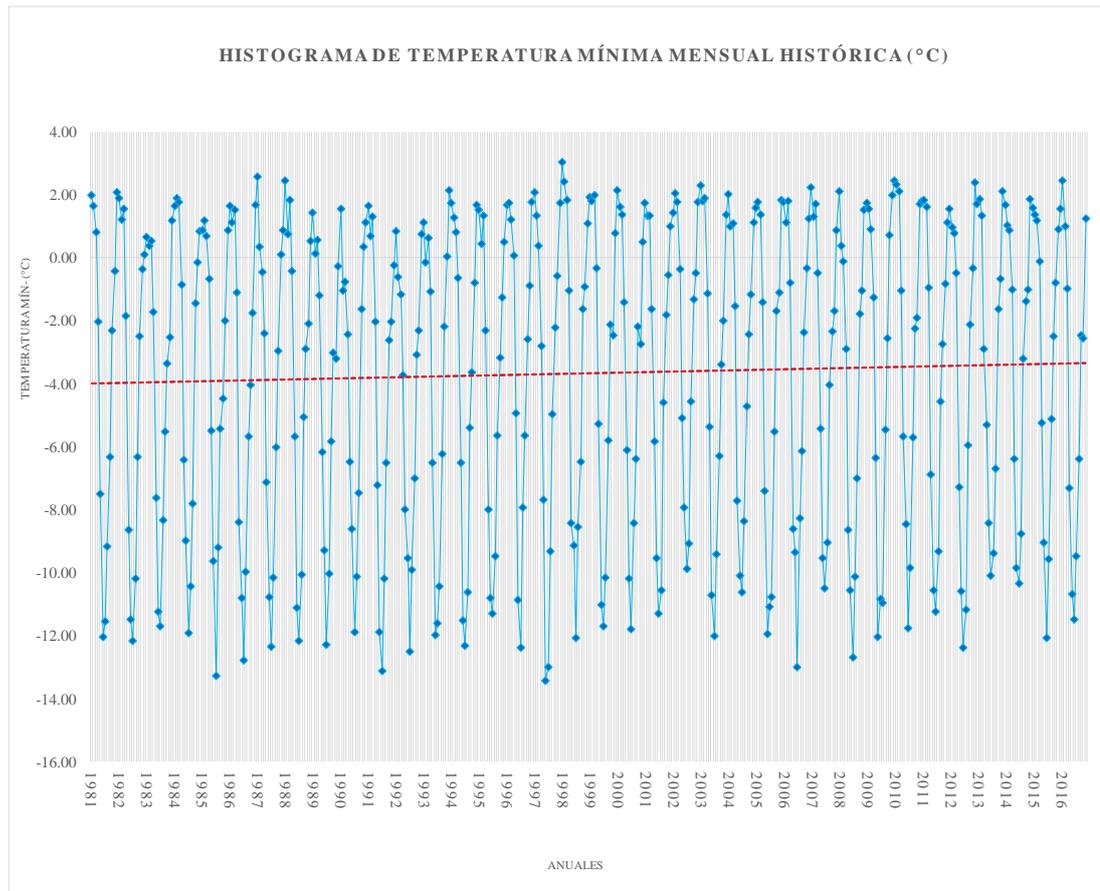
Figura 96: Histograma de temperaturas mínimas de la estación Tinki



Fuente: Elaboración propia

De la misma manera, observamos en el histograma de la estación Quisoquipina que de la misma manera que las estaciones ya presentadas observamos picos de temperaturas negativas, sin embargo, se observa una densidad de datos entre periodos bastante accidentado pero que por la línea de tendencia parece ser con una distribución homogénea.

Figura 97: Histograma de temperaturas mínimas de la estación Quisoquipina



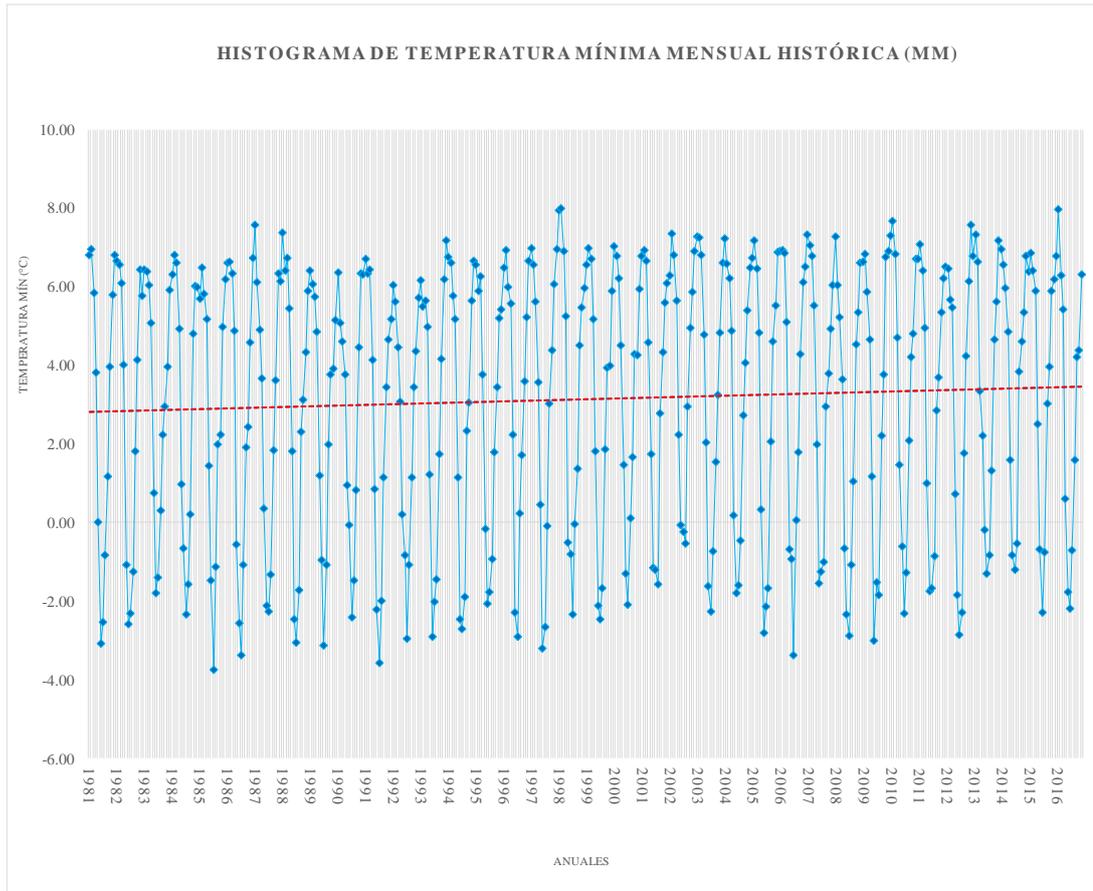
Fuente: Elaboración propia

Otra de los histogramas de las estaciones se presenta las estaciones de Huayllapampa, Ccatca y Aymaña, correspondientes las figuras 98,99 y 100 en las cuales podemos observar una línea de tendencia ligeramente pronunciada.

Esto quiere decir, que, si bien observamos las temperaturas mínimas de las estaciones está implícito que las zonas en las cuales se registran estos datos están aumentando de temperatura gradualmente, lo que quiere decir que quizás hay un quiebre y al mismo tiempo la influencia del propio calentamiento global.

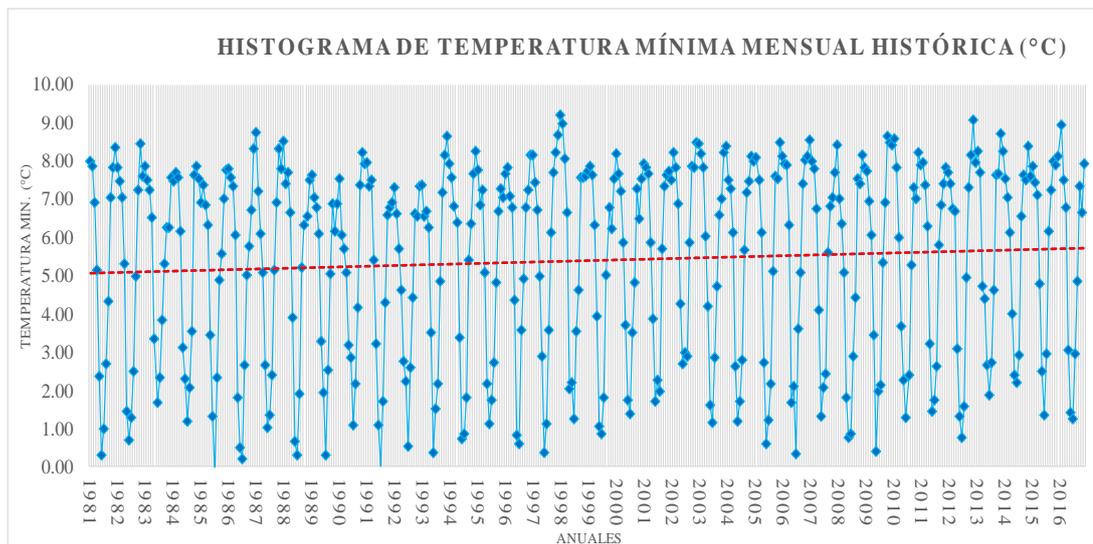
Lo más recomendable, es un análisis estadístico de los datos.

Figura 98: Histograma de temperaturas mínimas de la estación Huayllapampa



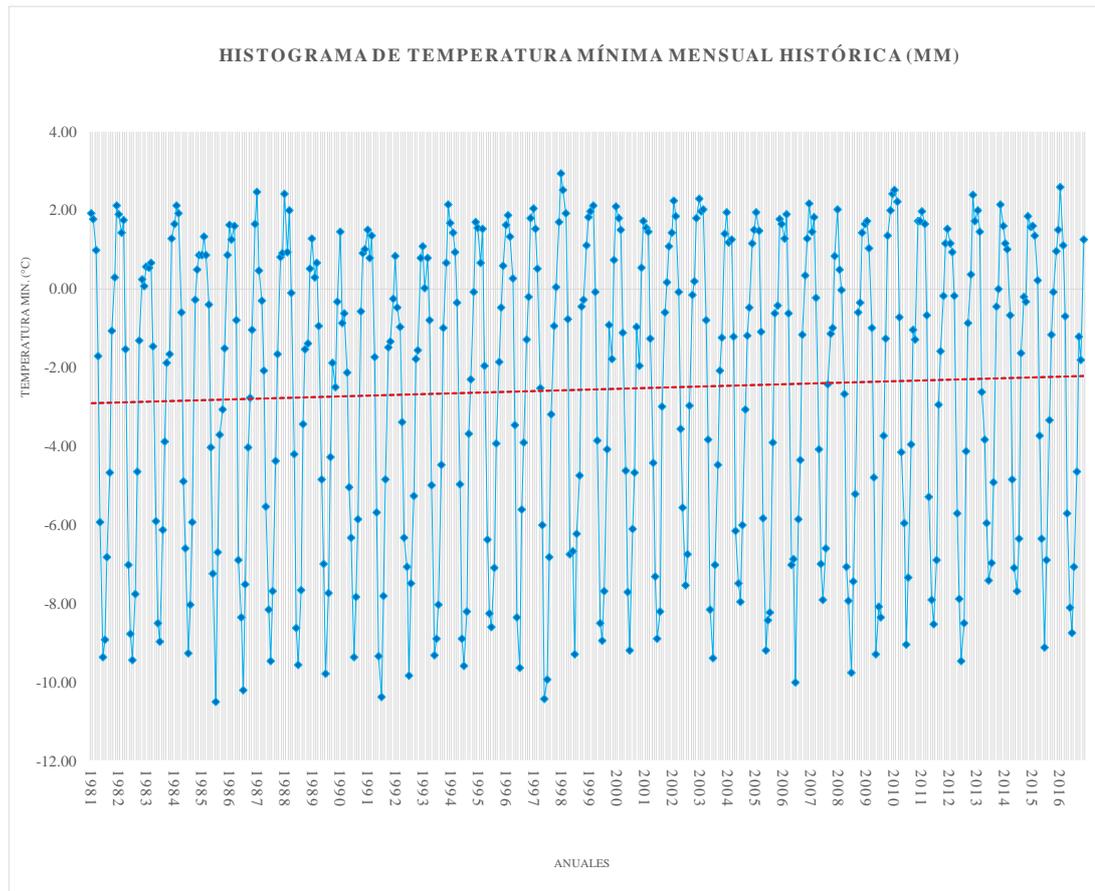
Fuente: Elaboración propia

Figura 99: Histograma de temperaturas mínimas de la estación Ccatca



Fuente: Elaboración propia

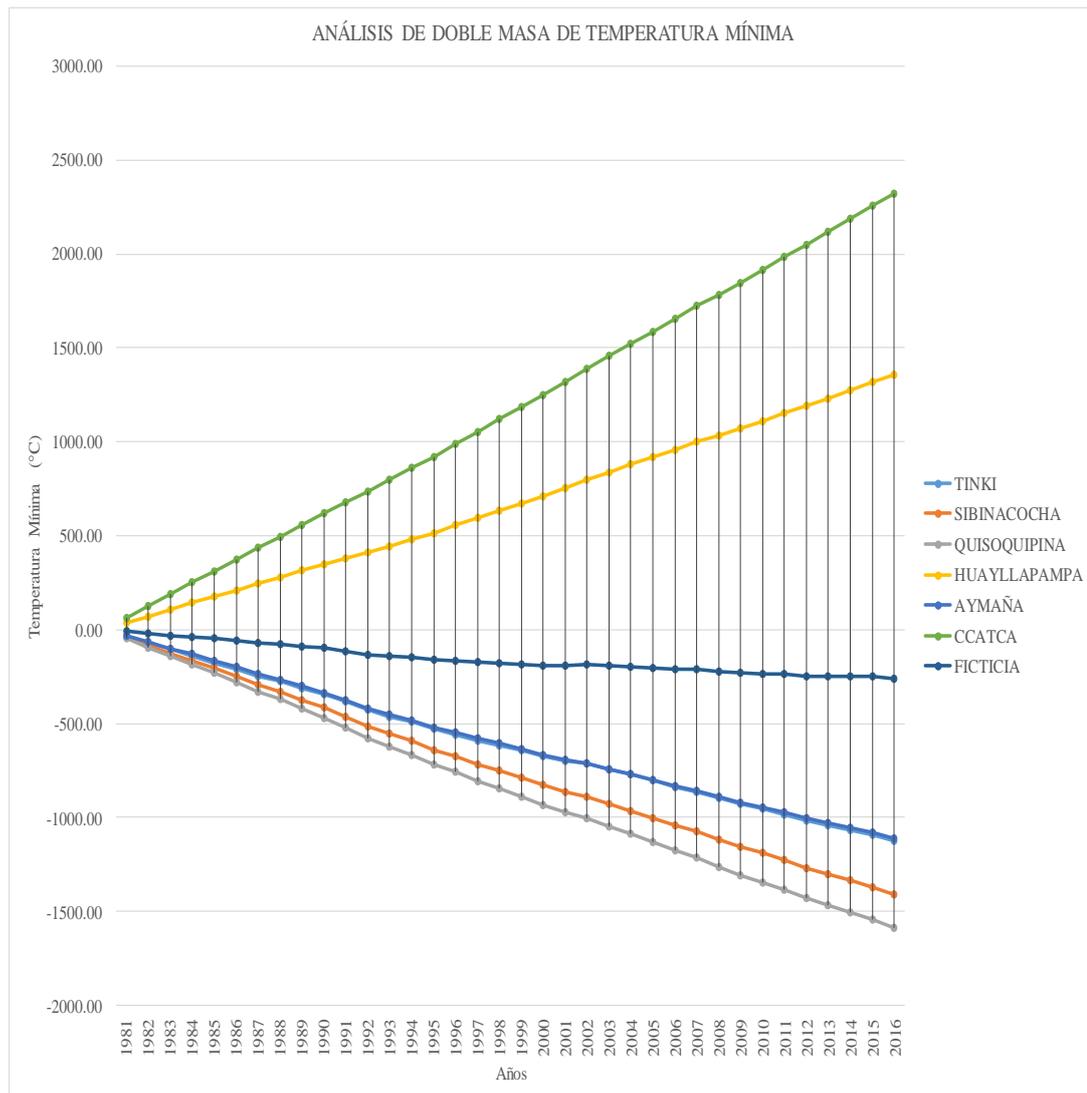
Figura 100: Histograma de temperaturas mínimas de la estación Aymaña



Fuente: Elaboración propia

Así, procederemos a la evaluación de un análisis de doble masa que producirá un criterio mejor de nuestras muestras.

Figura 101: Análisis de doble masa de las temperaturas mínimas en la cuenca Tinki



Fuente: Elaboración propia

Observamos los datos si bien presentan una bifurcación respecto a la línea de referencia principal, observamos que no hay quiebres en los datos, por lo que podemos decir que los datos si estaría aptos para su proceso correspondiente.

○ Análisis estadístico de temperaturas mínimas.

- Estación Sibinacocha.

Realizado el análisis de doble masa, procedemos al análisis estadístico de la temperatura máxima histórica mensual por las cuales empezamos el análisis tomando en cuenta el periodo de datos de 36 años establecidos.

Para ello, tomamos en cuenta el pico máximo de registro que se dio en el año 2013 por lo que procedemos por medio de lo establecido en el marco teórico a empezar a realizar el análisis correspondiente.



Para ello, desde el año 1981 hacia 2006 los clasificaremos como DATOS DUDOSOS mientras que desde el 2007 hacia adelante procederemos a determinarlos como DATOS CONFIABLES.

La tabla 52 muestra la clasificación correspondiente

Tabla 52: Clasificación de datos de la estación Sibinacocha

DATOS DUDOSOS Periodos Muestrales ENTRE LOS AÑOS 1981 - 2006	DATOS CONFIABLE Periodos Muestrales ENTRE LOS AÑOS 2007 - 2016
---	---

Fuente: Elaboración propia

Por lo ya estipulado en el análisis estadístico de las temperaturas, tomaremos en cuenta los conceptos ya mencionados y efectuaremos el análisis estadístico directamente.

- o Para el análisis de consistencia de la media

Se establece lo siguiente en la tabla 53:

Tabla 53: Resultados estadísticos analíticos de la estación Sibinacocha.

Tamaño de la muestra(n1)=	312	Tamaño de la muestra (n2)=	120
Media de la muestra $\bar{X}_1 =$	-3.33	Media de la muestra $\bar{X}_2 =$	-3.08
Desviación Stand.(S1) =	5.14	Desviación Stand.(S2)=	5.15
Grados de libertad(GL1)=	311	Grados de libertad(GL2)=	119

Fuente: Elaboración propia

- e) Desviación estándar ponderada:

$$S_p = 5.14$$

- f) Desviación de las diferencias de los promedios.

$$S_d = 0.55$$

- g) Cálculo del T calculado (Tc).

$$|T_c| = 0.47$$

Tómese en cuenta que el cálculo establecido se basa en el valor absoluto que se pueda dar como resultado.

- h) Cálculo del valor crítico de t.

$$GL = GL_1 + GL_2$$

$$GL = 430$$

De la misma manera, realizaremos una comparación del Tc con Tt



$$T_t = 1.9655$$

Notamos que T_c es menor que T_t , por lo que la temperatura no ha de corregirse.

- Para el análisis de consistencia en la desviación estándar.

Haciendo el cálculo de F basándonos en las fórmulas desde la ecuación 60 y 61, según F_c calculado se tiene de referencia los datos de la tabla 53 para su uso

c) Cálculo de F_c

$$F_c = \frac{26.47}{26.41} = 1.00$$

d) Cálculo de F_t

Para una probabilidad del 95% con un nivel de significación $\alpha=5\%$ y basándonos en las fórmulas ya establecidas se tiene:

GL1 =	311
GL2 =	119
$\alpha =$	5%
	1.30
$F_t =$	1.30

- Estación sintética Tinki

Realizado el análisis de doble masa, procedemos al análisis estadístico de la temperatura máxima histórica mensual por las cuales empezamos el análisis tomando en cuenta el periodo de datos de 36 años establecidos.

Para ello, tomamos en cuenta el pico máximo de registro que se dio en el año 2013 por lo que procedemos por medio de lo establecido en el marco teórico a empezar a realizar el análisis correspondiente.

Para ello, desde el año 1981 hacia 2006 los clasificaremos como DATOS DUDOSOS mientras que desde el 2007 hacia adelante procederemos a determinarlos como DATOS CONFIABLES.

- Estación Quisoquipina

Realizado el análisis de doble masa, procedemos al análisis estadístico de la temperatura máxima histórica mensual por las cuales empezamos el análisis tomando en cuenta el periodo de datos de 36 años establecidos.

Para ello, tomamos en cuenta el pico máximo de registro que se dio en el año 2013 por lo que procedemos por medio de lo establecido en el marco teórico a empezar a realizar el análisis correspondiente.



Para ello, desde el año 1981 hacia 2007 los clasificaremos como DATOS DUDOSOS mientras que desde el 2008 hacia adelante procederemos a determinarlos como DATOS CONFIABLES.

- Estación Huayllapampa

Realizado el análisis de doble masa, procedemos al análisis estadístico de la temperatura máxima histórica mensual por las cuales empezamos el análisis tomando en cuenta el periodo de datos de 36 años establecidos.

Para ello, tomamos en cuenta el pico máximo de registro que se dio en el año 2013 por lo que procedemos por medio de lo establecido en el marco teórico a empezar a realizar el análisis correspondiente.

Para ello, desde el año 1981 hacia 2006 los clasificaremos como DATOS DUDOSOS mientras que desde el 2007 hacia adelante procederemos a determinarlos como DATOS CONFIABLES.

- Estación Ccatca

Realizado el análisis de doble masa, procedemos al análisis estadístico de la temperatura máxima histórica mensual por las cuales empezamos el análisis tomando en cuenta el periodo de datos de 36 años establecidos.

Para ello, tomamos en cuenta el pico máximo de registro que se dio en el año 2013 por lo que procedemos por medio de lo establecido en el marco teórico a empezar a realizar el análisis correspondiente.

Para ello, desde el año 1981 hacia 1986 los clasificaremos como DATOS DUDOSOS mientras que desde el 1987 hacia adelante procederemos a determinarlos como DATOS CONFIABLES.

- Estación Aymaña

Realizado el análisis de doble masa, procedemos al análisis estadístico de la temperatura máxima histórica mensual por las cuales empezamos el análisis tomando en cuenta el periodo de datos de 36 años establecidos.

Para ello, tomamos en cuenta el pico máximo de registro que se dio en el año 2013 por lo que procedemos por medio de lo establecido en el marco teórico a empezar a realizar el análisis correspondiente.

Para ello, desde el año 1981 hacia 2013 los clasificaremos como DATOS DUDOSOS mientras que desde el 2014 hacia adelante procederemos a determinarlos como DATOS CONFIABLES.



Con lo estipulado en los anteriores párrafos, se muestra la tabla 54 respecto al análisis estadístico de temperaturas mínimas.

Tabla 54: Análisis estadístico de temperaturas mínimas

Parámetros	ESTACION					
	SIBINACOCHA	TINKI	QUISOQUIPINA	HUAYLLAPAMPA	CCATCA	AYMAÑA
	<u>Prueba T de Student</u>					
Desviación estándar	5.14	4.83	4.87	3.36	2.58	3.88
Desviación de las	0.55	0.52	0.54	0.36	0.33	0.37
Cálculo de Tc	0.47	0.51	0.47	0.78	0.78	1.38
Grados de libertad	430	430	430	430	430	430
Cálculo de Tt	1.9655	1.9655	1.9655	1.9655	1.9655	1.9655
	<u>Prueba F de Fisher</u>					
Cálculo de Fc	1.00	1.06	1.00	1.01	1.05	1.05
Cálculo de Ft	1.30	1.30	1.31	1.30	1.33	1.25

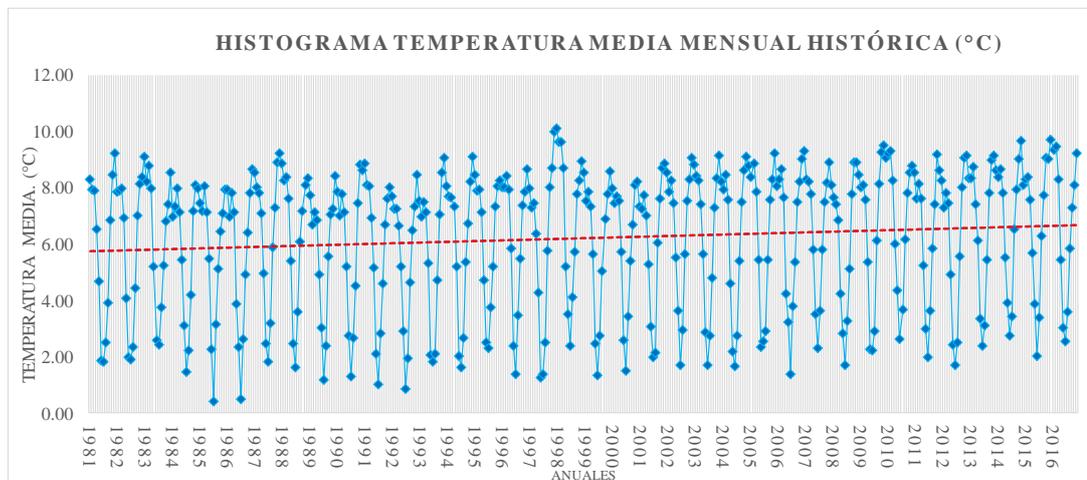
Fuente: Elaboración propia

3.6.2.6.4. Temperatura media total mensual.

Para la temperatura media se tendrá el gráfico que se aplican en el histograma presente con el objetivo de poder interpretar y explicar la información de la mejor manera.

En la figura 102 se observa el histograma de temperaturas medias que se registran en el periodo estipulado de la estación de Sibinacocha.

Figura 102: Histograma de temperaturas medias de la estación Sibinacocha.



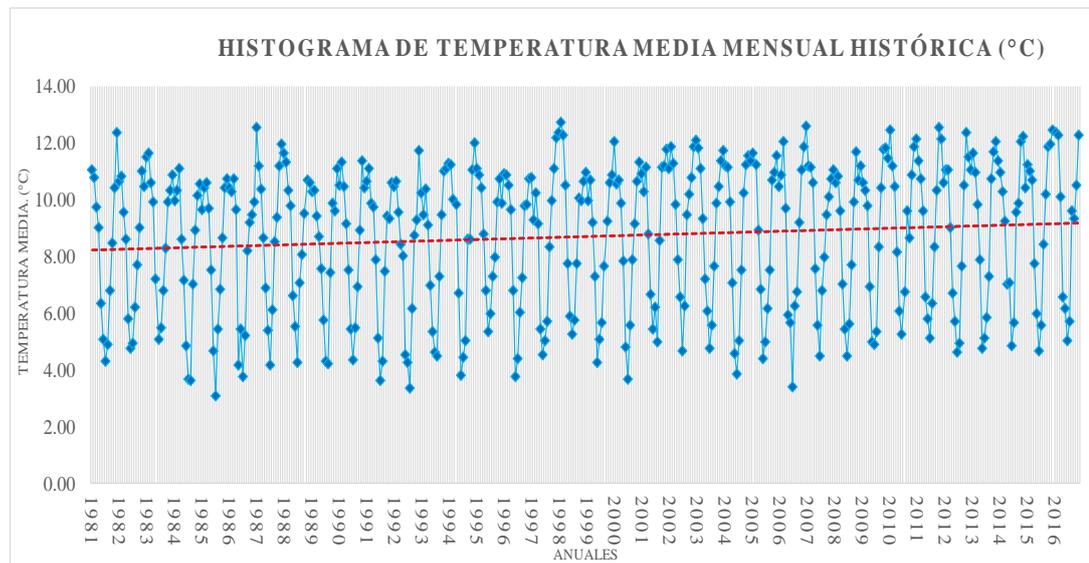
Fuente: Elaboración propia

Se observa una presencia de cierta pendiente en la línea de tendencia que, por lo anterior ya mencionado, puede ser analizado estadísticamente para su corroboración, lo que sugiere que en los últimos años se han generado un incremento de pendientes.

Lo que sugiere que analizando la distribución procederemos a determinar puntos de quiebre futuros si los hubiera, además de contar con los picos que se observan en los años 1985-1986.

Sin embargo, observamos que es muy probable un análisis estadístico correctivo para esta estación.

Figura 103: Histograma de temperaturas medias de la estación Tinki



Fuente: Elaboración propia

En la imagen 104 se observa en la distribución de la estación Quisoquipina y se nota una pendiente ascendente partiendo desde el margen izquierdo, esto, posiblemente nos indique que la distribución de los datos no sea homogénea, por lo que también será analizada estadísticamente para su corroboración de datos.

De la misma manera observamos en las imágenes 105,106 y 107 de las estaciones Huayllapampa, Ccatca y Aymaña correspondientemente, presentan el mismo comportamiento respecto a su línea de tendencia, dándonos a entender una distribución que puede no ser homogénea.

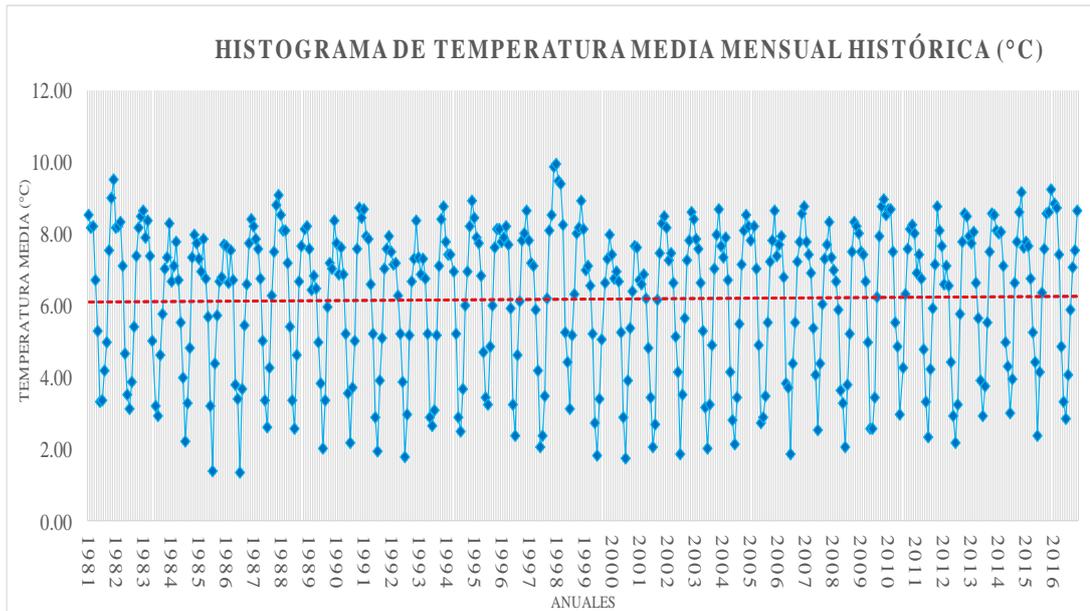
Cabe resaltar que en el histograma de temperaturas medias de las estaciones ya mencionadas básicamente presentan puntos de condensación de datos debido a que al ser dichas temperaturas medias el registro se mantiene durante bastante tiempo hasta que se genera un cambio significativo en otra temporada.

Esto corroborando que los datos son de las temperaturas medias al presentarse este comportamiento.

Así, se muestran las figuras 104,105,106 y 107 respecto al histograma de temperaturas medias.

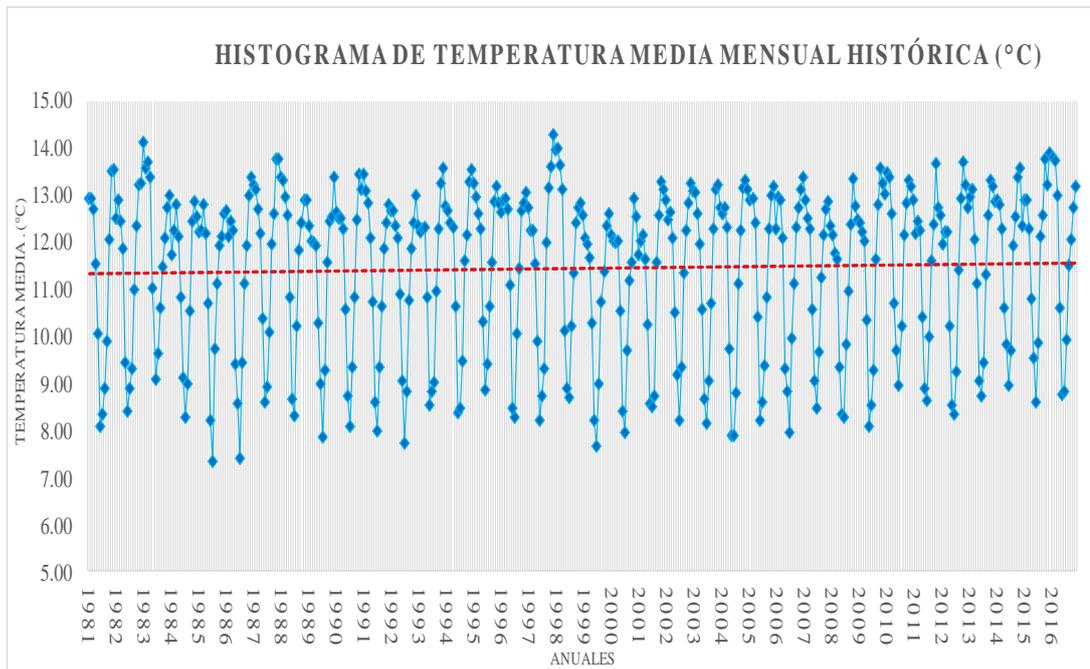


Figura 104: Histograma de temperaturas medias de la estación Quisoquipina



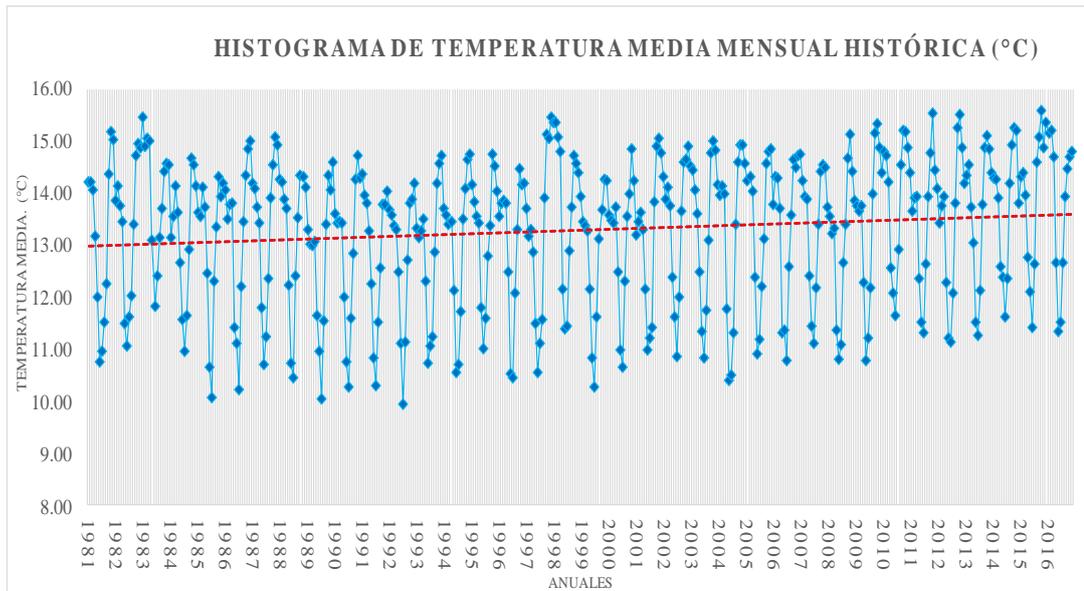
Fuente: Elaboración propia

Figura 105: Histograma de temperaturas medias de la estación Huayllapampa



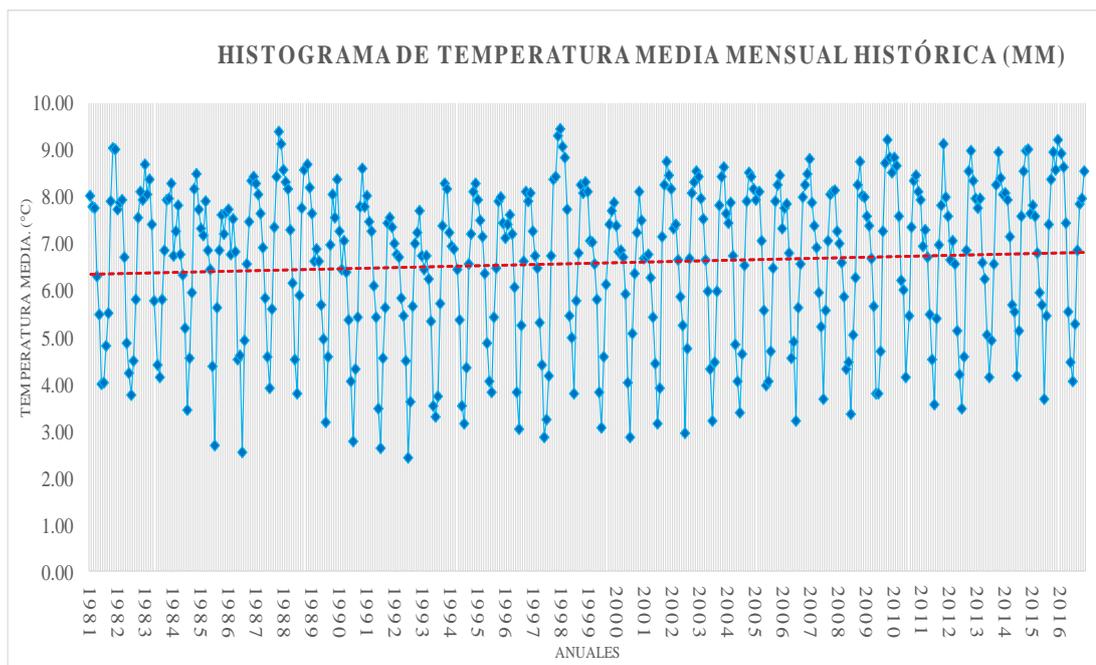
Fuente: Elaboración propia

Figura 106: Histograma de temperaturas medias de la estación Ccatca



Fuente:Elaboración propia

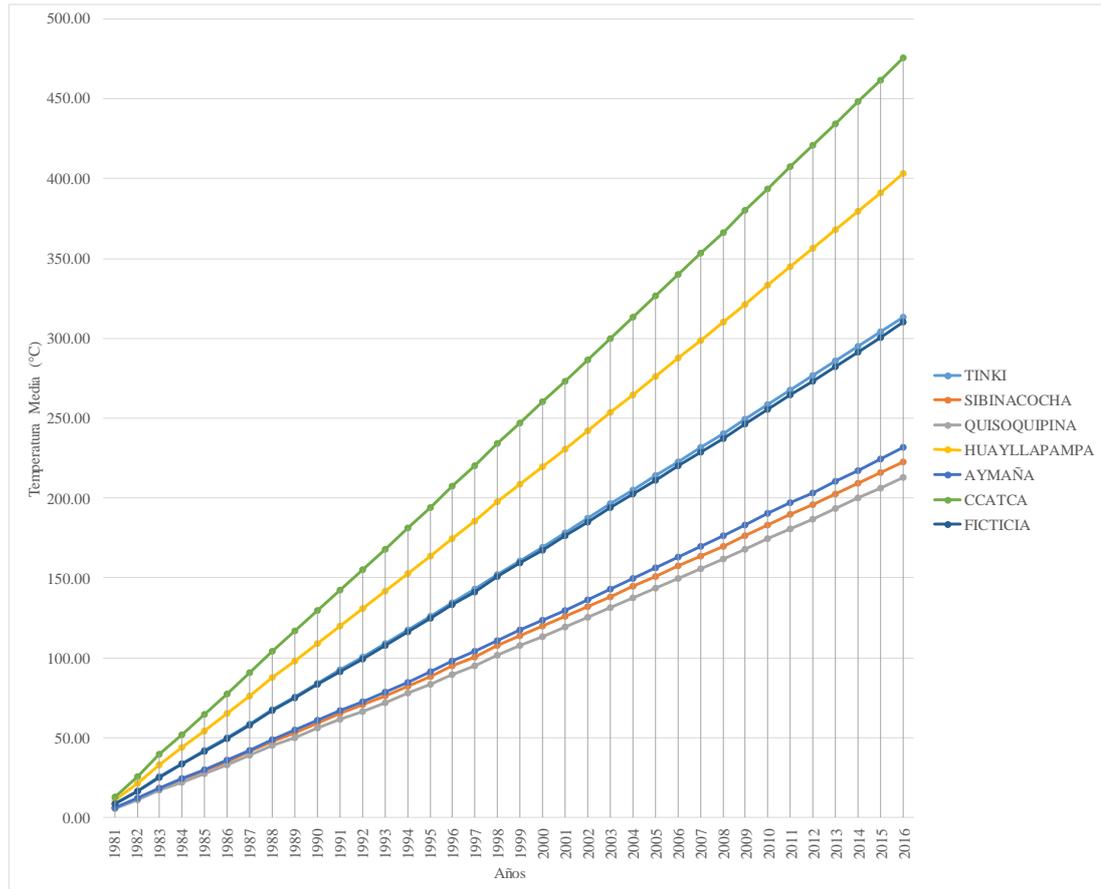
Figura 107: Histograma de temperaturas medias de la estación Aymaña



Fuente:Elaboración propia

Por lo tanto, realizando un análisis de doble masa correspondiente a la imagen 108 observamos pequeños pero importantes quiebres entre los años 1981-1998 en las últimas tres estaciones mencionadas, correspondientes a aplicarse el análisis estadístico correspondiente.

Figura 108: Análisis de doble masa de las temperaturas medias en la cuenca Tinki



Fuente: Elaboración propia

○ Análisis estadístico de temperaturas medias.

- Estación Sibinacocha

Realizado el análisis de doble masa, procedemos al análisis estadístico de la temperatura máxima histórica mensual por las cuales empezamos el análisis tomando en cuenta el periodo de datos de 36 años establecidos.

Para ello, tomamos en cuenta el pico máximo de registro que se dio en el año 2013 por lo que procedemos por medio de lo establecido en el marco teórico a empezar a realizar el análisis correspondiente.

Para ello, desde el año 1981 hacia 2013 los clasificaremos como DATOS DUDOSOS mientras que desde el 2014 hacia adelante procederemos a determinarlos como DATOS CONFIABLES.

Se muestra así la tabla 55 respecto a la clasificación de datos.

Tabla 55: Clasificación de datos de la estación Sibinacocha.

DATOS DUDOSOS Periodos Muestrales	DATOS CONFIABLE Periodos Muestrales
ENTRE LOS AÑOS 1981 - 2006	ENTRE LOS AÑOS 2007 - 2016



Fuente: Elaboración propia

Por lo ya estipulado en el análisis estadístico de las temperaturas, tomaremos en cuenta los conceptos ya mencionados y efectuaremos el análisis estadístico directamente.

- Para el análisis de consistencia de la media

Se establece lo estipulado en la tabla 56.

Tabla 56: Resultados estadísticos analíticos de la estación Sibinacocha.

Tamaño de la muestra(n1)=	312	Tamaño de la muestra (n2)=	120
Media de la muestra $\bar{X}_1 =$	6.05	Media de la muestra $\bar{X}_2 =$	6.56
Desviación Stand.(S1) =	2.48	Desviación Stand.(S2)=	2.42
Grados de libertad(GL1)=	311	Grados de libertad(GL2)=	119

Fuente: Elaboración propia

- i) Desviación estándar ponderada:

$$S_p = 2.46$$

- j) Desviación de las diferencias de los promedios.

$$S_d = 0.26$$

- k) Cálculo del T calculado (Tc).

$$|T_c| = 1.95$$

Tómese en cuenta que el cálculo establecido se basa en el valor absoluto que se pueda dar como resultado.

- l) Cálculo del valor crítico de t.

$$GL = GL_1 + GL_2$$

$$GL = 430$$

De la misma manera, realizaremos una comparación del Tc con Tt

$$T_t = 1.9655$$

Notamos que Tc no es mayor que Tt, por lo que la temperatura no ha de corregirse mediante las fórmulas 2.54 y 2.55.

- Para el análisis de consistencia en la desviación estándar.



Haciendo el cálculo de F basándonos en las fórmulas 60 y 61, según Fc calculado se tiene de referencia los datos de la tabla 53 para su uso

e) Cálculo de Fc

$$F_c = \frac{6.13}{5.85} = 1.05$$

f) Cálculo de Ft

Para una probabilidad del 95% con un nivel de significación $\alpha=5\%$ y basándonos en las fórmulas ya establecidas se tiene:

GL1 =	311
GL2 =	119
$\alpha =$	5%
	1.30
Ft =	1.30

Aplicando las fórmulas establecidas de las ecuaciones 60 y 61 al 95% de confiabilidad determinamos que al ser Ft mayor que Fc determinamos una homogeneidad en la desviación ratificando que los datos están listos a usarse.

- Estación Tinki

Realizado el análisis de doble masa, procedemos al análisis estadístico de la temperatura máxima histórica mensual por las cuales empezamos el análisis tomando en cuenta el periodo de datos de 36 años establecidos.

Para ello, tomamos en cuenta el pico máximo de registro que se dio en el año 2013 por lo que procedemos por medio de lo establecido en el marco teórico a empezar a realizar el análisis correspondiente.

Para ello, desde el año 1981 hacia 2006 los clasificaremos como DATOS DUDOSOS mientras que desde el 2007 hacia adelante procederemos a determinarlos como DATOS CONFIABLES.

- Estación Quisoquipina.

Realizado el análisis de doble masa, procedemos al análisis estadístico de la temperatura máxima histórica mensual por las cuales empezamos el análisis tomando en cuenta el periodo de datos de 36 años establecidos.

Para ello, tomamos en cuenta el pico máximo de registro que se dio en el año 2001 por lo que procedemos por medio de lo establecido en el marco teórico a empezar a realizar el análisis correspondiente.



Para ello, desde el año 1981 hacia 1998 los clasificaremos como DATOS DUDOSOS mientras que desde el 1999 hacia adelante procederemos a determinarlos como DATOS CONFIABLES.

- Estación Huayllapampa

Realizado el análisis de doble masa, procedemos al análisis estadístico de la temperatura máxima histórica mensual por las cuales empezamos el análisis tomando en cuenta el periodo de datos de 36 años establecidos.

Para ello, tomamos en cuenta el pico máximo de registro que se dio en el año 2013 por lo que procedemos por medio de lo establecido en el marco teórico a empezar a realizar el análisis correspondiente.

Así, desde el año 1981 hacia 1995 los clasificaremos como DATOS DUDOSOS mientras que desde el 1996 hacia adelante procederemos a determinarlos como DATOS CONFIABLES.

- Estación Ccatca.

Realizado el análisis de doble masa, procedemos al análisis estadístico de la temperatura máxima histórica mensual por las cuales empezamos el análisis tomando en cuenta el periodo de datos de 36 años establecidos.

Para ello, tomamos en cuenta el pico máximo de registro que se dio en el año 2013 por lo que procedemos por medio de lo establecido en el marco teórico a empezar a realizar el análisis correspondiente.

Así, desde el año 1981 hacia 1986 los clasificaremos como DATOS DUDOSOS mientras que desde el 1987 hacia adelante procederemos a determinarlos como DATOS CONFIABLES.

- Estación Aymaña.

Realizado el análisis de doble masa, procedemos al análisis estadístico de la temperatura máxima histórica mensual por las cuales empezamos el análisis tomando en cuenta el periodo de datos de 36 años establecidos.

Para ello, tomamos en cuenta el pico máximo de registro que se dio en el año 2013 por lo que procedemos por medio de lo establecido en el marco teórico a empezar a realizar el análisis correspondiente.

Así, desde el año 1981 hacia 1997 los clasificaremos como DATOS DUDOSOS mientras que desde el 1998 hacia adelante procederemos a determinarlos como DATOS CONFIABLES.



Con lo estipulado en los anteriores párrafos, se muestra la tabla 57 correspondiente al análisis de consistencia de las temperaturas medias.

Tabla 57: Análisis de consistencia de temperaturas medias

Parámetros	ESTACION					
	SIBINACOCHA	TINKI	QUISOQUIPINA	HUAYLLAPAMPA	CCATCA	AYMAÑA
	<u>Prueba T de Student</u>					
Desviación estándar	2.46	2.53	2.06	1.73	1.38	1.67
Desviación de las	0.26	0.27	0.23	0.17	0.18	0.16
Cálculo de Tc	1.95	1.95	0.73	0.28	0.00	1.82
Grados de libertad	430	430	430	430	430	430
Cálculo de Tt	1.9655	1.9655	1.9655	1.9655	1.9655	1.9655
	<u>Prueba F de Fisher</u>					
Cálculo de Fc	1.05	1.02	1.01	1.01	1	1.02
Cálculo de Ft	1.30	1.30	1.31	1.25	1.33	1.25

Fuente: Elaboración propia

3.6.2.6.5. Evapotranspiración

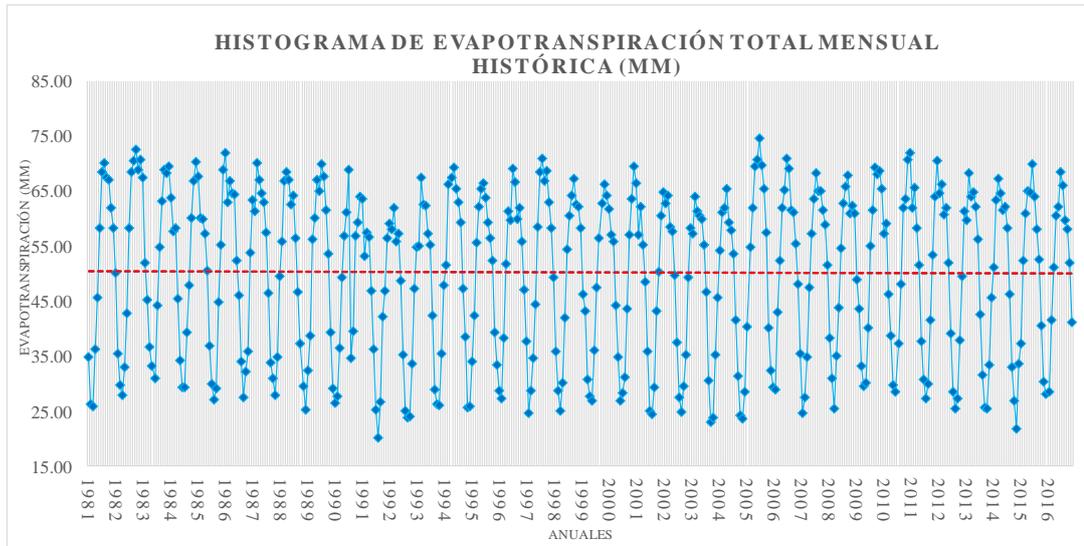
Respecto al análisis de ETP (Evapotranspiración) procederemos a observar la distribución de datos correspondientes a cada estación para su posterior evaluación y así poder decidir según a un criterio estadístico que análisis tomar.

Se observa en las estaciones presentes que las líneas de tendencia presentan una distribución homogénea de los datos respecto al comportamiento que se muestra en las distintas estaciones que influyen en su registro (que influyen temperatura y humedad).

Cabe resaltar que en los registros de datos proporcionados por el producto PISCO de SENAMHI (2016) trabajan mediante el método de Hargreaves y Sanami respecto al cálculo de la evapotranspiración de cada registro.

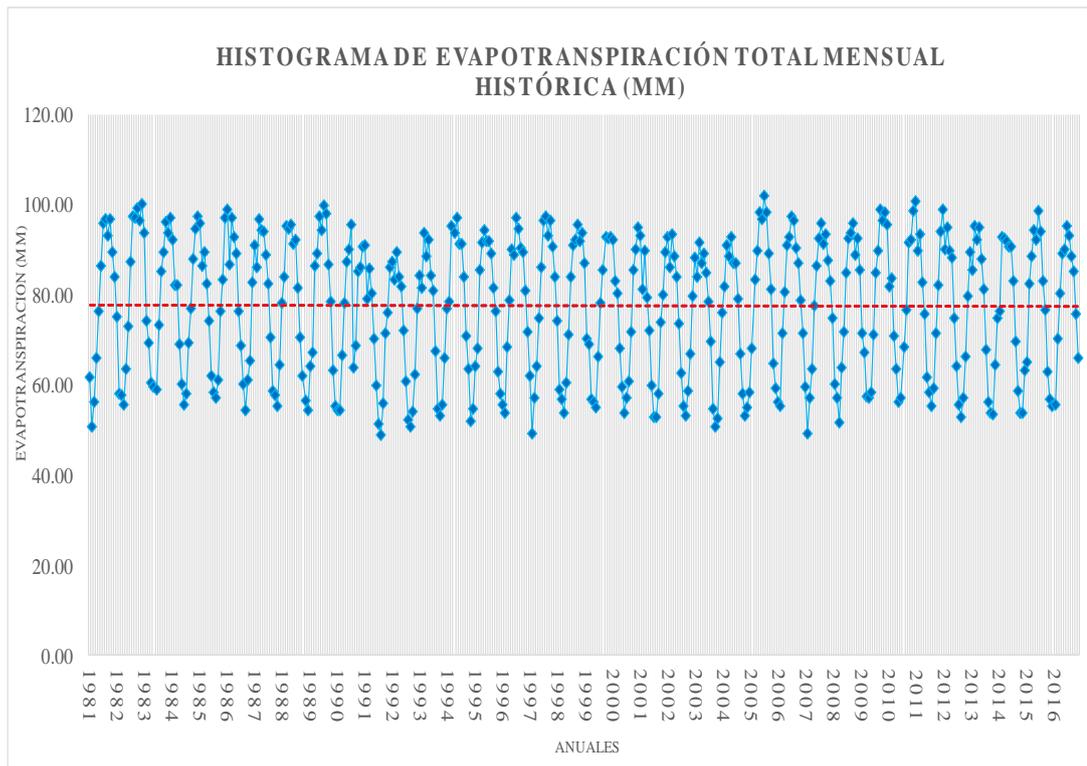
Se muestran así, las figuras 109, 110, 111, 112, 113 y 114 para su respectivo análisis.

Figura 109: ETP mensual de la estación Sibinacocha.



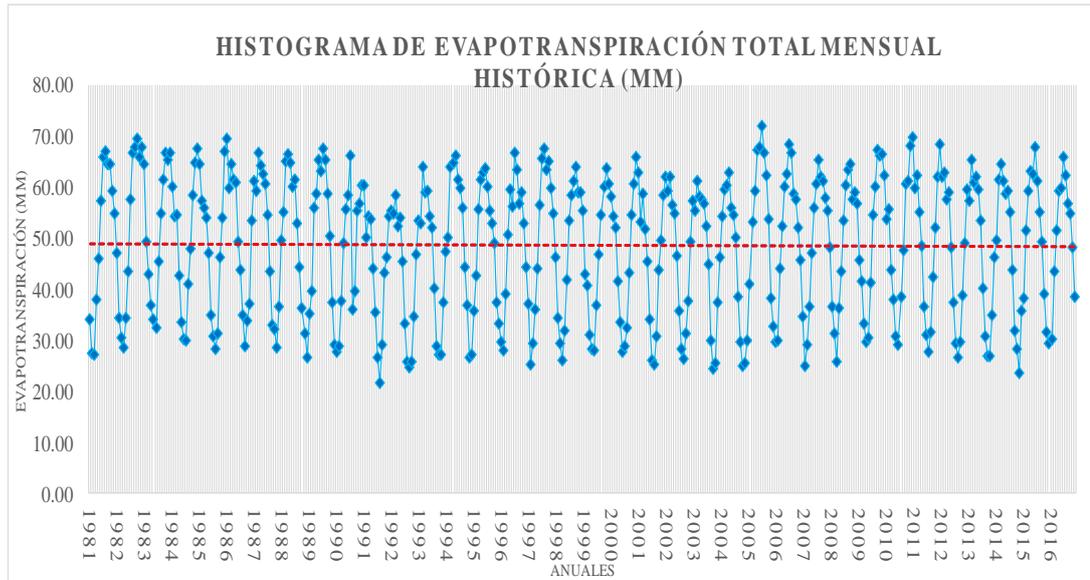
Fuente: Elaboración propia

Figura 110: ETP mensual de la estación Tinki



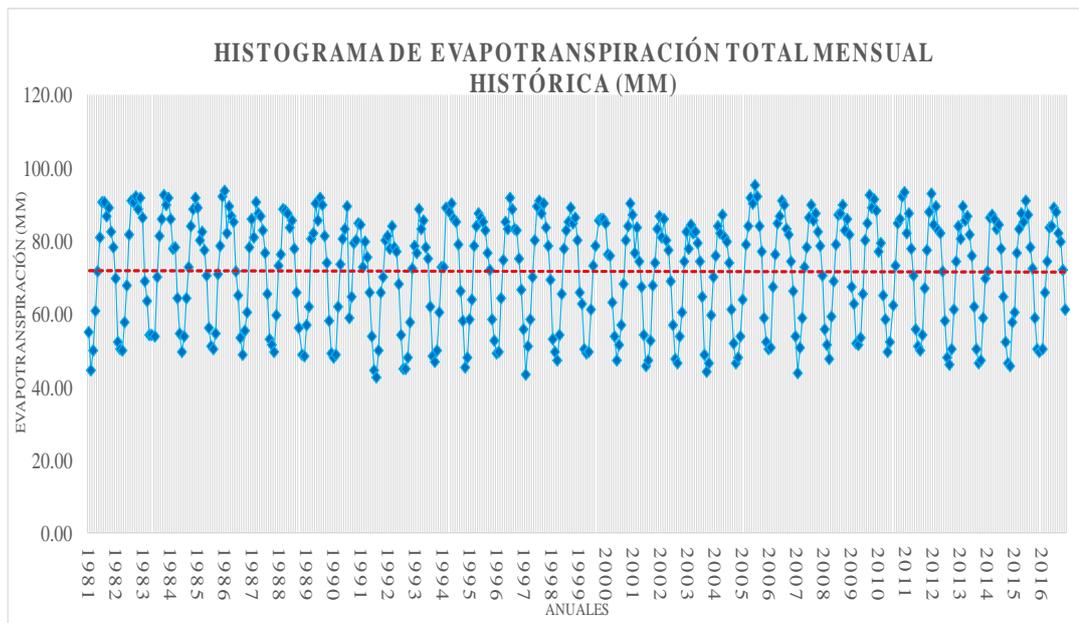
Fuente: Elaboración propia

Figura 111: ETP mensual de la estación Quisoquipina



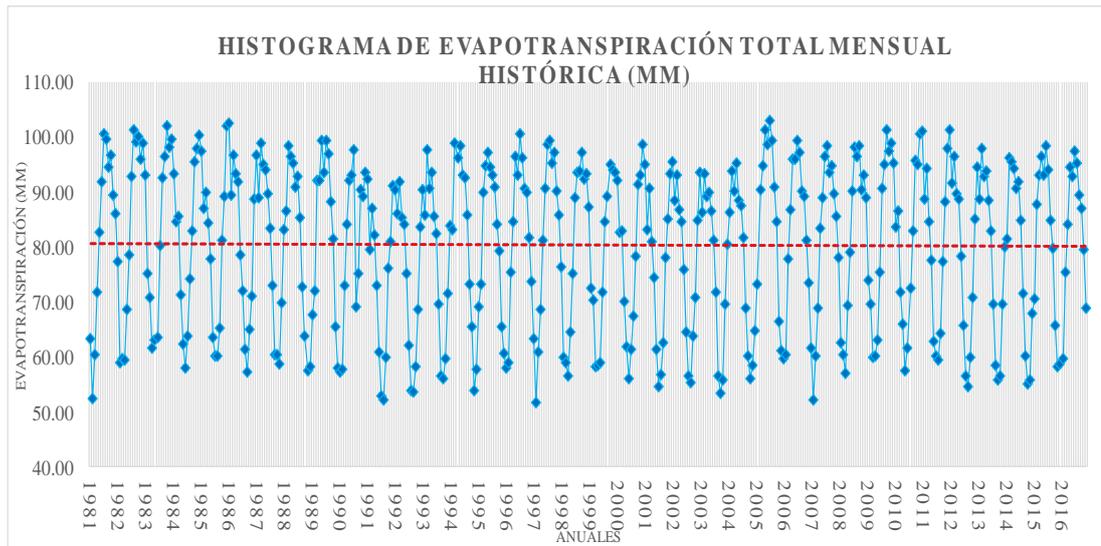
Fuente: Elaboración propia

Figura 112: ETP mensual de la estación Huayllapampa



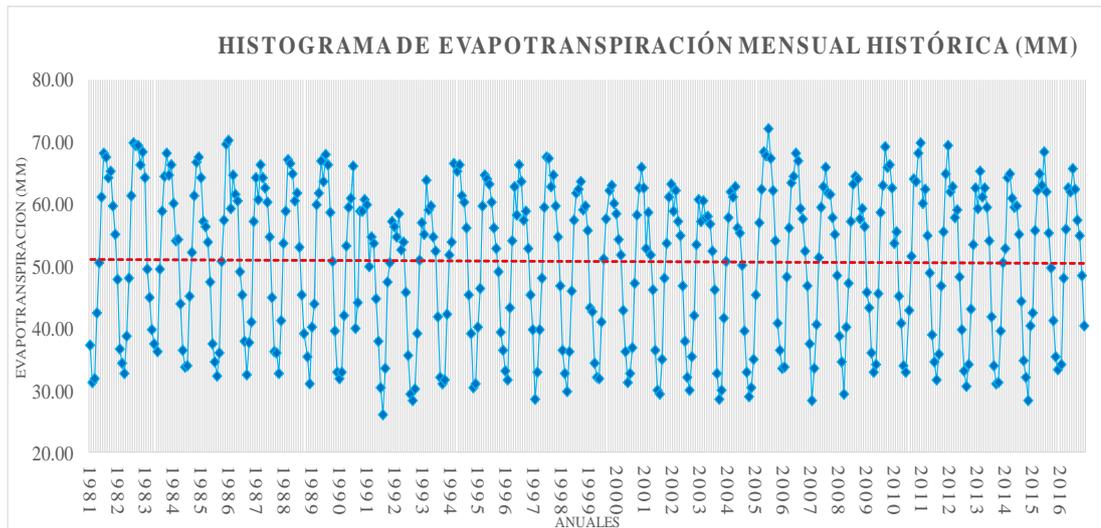
Fuente: Elaboración propia

Figura 113: ETP mensual de la estación Ccatca



Fuente: Elaboración propia

Figura 114: ETP mensual de la estación Aymaña

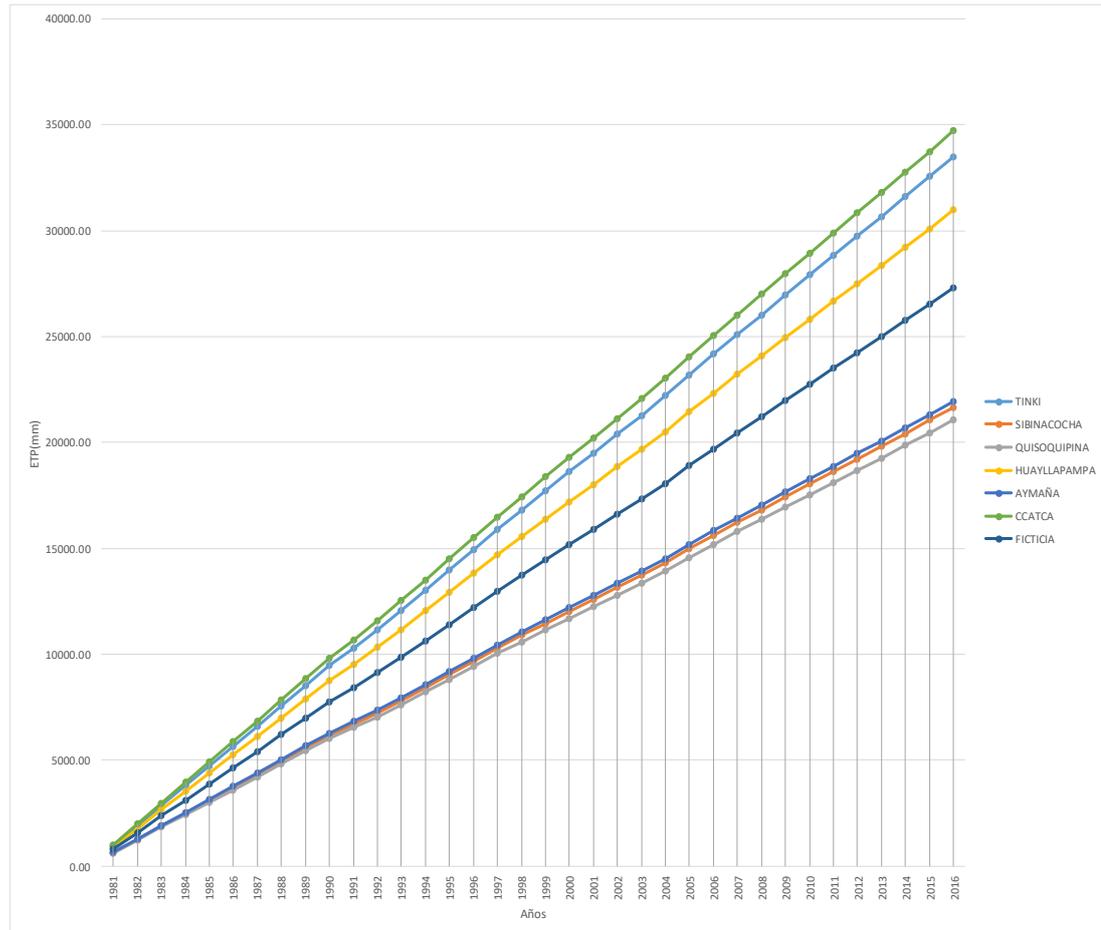


Fuente: Elaboración propia

Con la información obtenida y vista la distribución de los datos, procedemos al análisis de doble masa correspondiente para determinar qué criterios de análisis estadístico ejecutaremos.

Así, se muestra la figura 115 respecto al análisis de doble masa para el ETP de la cuenca Tinki.

Figura 115: Análisis de doble masa para ETP en la cuenca Tinki



Fuente: Elaboración propia

Con ello podemos observar que no existe mayores quiebres en la distribución por lo que podemos afirmar que estos datos están listos para su uso.

○ Análisis estadístico de ETP.

- Estación Sibinacocha.

Realizado el análisis de doble masa, procedemos al análisis estadístico de la temperatura máxima histórica mensual por las cuales empezamos el análisis tomando en cuenta el periodo de datos de 36 años establecidos.

Para ello, tomamos en cuenta el pico máximo de registro que se dio en el año 2013 por lo que procedemos por medio de lo establecido en el marco teórico a empezar a realizar el análisis correspondiente.

Para ello, desde el año 1981 hacia 2006 los clasificaremos como DATOS DUDOSOS mientras que desde el 2007 hacia adelante procederemos a determinarlos como DATOS CONFIABLES.

Se muestra la tabla 58 para la clasificación de datos de la estación Sibinacocha.

Tabla 58: Clasificación de datos de la estación Sibinacocha



DATOS DUDOSOS Periodos Muestrales ENTRE LOS AÑOS 1981 - 2013	DATOS CONFIABLE Periodos Muestrales ENTRE LOS AÑOS 2014 - 2016
---	---

Fuente: Elaboración propia

Por lo ya estipulado en el análisis estadístico de las ETP, tomaremos en cuenta los conceptos ya mencionados y efectuaremos el análisis estadístico directamente.

- Para el análisis de consistencia de la media

Se establece lo siguiente:

Tabla 59: Resultados estadísticos analíticos de la estación Sibinacocha.

Tamaño de la muestra(n1)=	396	Tamaño de la muestra (n2)=	36
Media de la muestra $\bar{X}_1 =$	50.05	Media de la muestra $\bar{X}_2 =$	51.38
Desviación Stand.(S1) =	14.90	Desviación Stand.(S2)=	14.02
Grados de libertad(GL1)=	395	Grados de libertad(GL2)=	35

Fuente: Elaboración propia

- m) Desviación estándar ponderada:

$$S_p = 14.83$$

- n) Desviación de las diferencias de los promedios.

$$S_d = 2.58$$

- o) Cálculo del T calculado (Tc).

$$|T_c| = 0.52$$

Tómese en cuenta que el cálculo establecido se basa en el valor absoluto que se pueda dar como resultado.

- p) Cálculo del valor crítico de t.

$$GL = GL_1 + GL_2$$

$$GL = 430$$

De la misma manera, realizaremos una comparación del Tc con Tt

$$T_t = 1.9655$$

Notamos que Tc es menor que Tt, por lo que la temperatura no ha de corregirse mediante las fórmulas 2.54 y 2.55.

- Para el análisis de consistencia en la desviación estándar.



Haciendo el cálculo de F basándonos en las fórmulas desde la ecuación 52 hasta la ecuación 59, según Fc calculado se tiene de referencia los datos de la tabla de clasificación de datos para la aplicación correspondiente.

g) Cálculo de Fc

$$F_c = \frac{221.88}{196.51} = 1.13$$

h) Cálculo de Ft

Para una probabilidad del 95% con un nivel de significación $\alpha=5\%$ y basándonos en las fórmulas ya establecidas se tiene:

$$\begin{aligned} GL1 &= 395 \\ GL2 &= 35 \\ \alpha &= 5\% \\ &= 1.58 \\ Ft &= 1.58 \end{aligned}$$

Aplicando las fórmulas establecidas de las ecuaciones 2.52-2.53 al 95% de confiabilidad determinamos que al ser Ft mayor que Fc determinamos una homogeneidad en la desviación ratificando que los datos están listos a usarse.

Tomándose de referencia el proceso del análisis de consistencia en esta estación, se tomará el mismo criterio con las estaciones siguientes.

- Estación Tinki

Realizado el análisis de doble masa, procedemos al análisis estadístico de la temperatura máxima histórica mensual por las cuales empezamos el análisis tomando en cuenta el periodo de datos de 36 años establecidos.

Para ello, tomamos en cuenta el pico máximo de registro que se dio en el año 2012 por lo que procedemos por medio de lo establecido en el marco teórico a empezar a realizar el análisis correspondiente.

Para ello, desde el año 1981 hacia 2012 los clasificaremos como DATOS DUDOSOS mientras que desde el 2013 hacia adelante procederemos a determinarlos como DATOS CONFIABLES.

- Estación Quisoquipina.

Realizado el análisis de doble masa, procedemos al análisis estadístico de la temperatura máxima histórica mensual por las cuales empezamos el análisis tomando en cuenta el periodo de datos de 36 años establecidos.



Para ello, tomamos en cuenta el pico máximo de registro que se dio en el año 2013 por lo que procedemos por medio de lo establecido en el marco teórico a empezar a realizar el análisis correspondiente.

Para ello, desde el año 1981 hacia 2014 los clasificaremos como DATOS DUDOSOS mientras que desde el 2015 hacia adelante procederemos a determinarlos como DATOS CONFIABLES.

- Estación Huayllapampa

Realizado el análisis de doble masa, procedemos al análisis estadístico de la temperatura máxima histórica mensual por las cuales empezamos el análisis tomando en cuenta el periodo de datos de 36 años establecidos.

Para ello, tomamos en cuenta el pico máximo de registro que se dio en el año 2013 por lo que procedemos por medio de lo establecido en el marco teórico a empezar a realizar el análisis correspondiente.

Para ello, desde el año 1981 hacia 2006 los clasificaremos como DATOS DUDOSOS mientras que desde el 2007 hacia adelante procederemos a determinarlos como DATOS CONFIABLES.

- Estación Ccatca

Realizado el análisis de doble masa, procedemos al análisis estadístico de la temperatura máxima histórica mensual por las cuales empezamos el análisis tomando en cuenta el periodo de datos de 36 años establecidos.

Para ello, tomamos en cuenta el pico máximo de registro que se dio en el año 2001 por lo que procedemos por medio de lo establecido en el marco teórico a empezar a realizar el análisis correspondiente.

Para ello, desde el año 1981 hacia 2001 los clasificaremos como DATOS DUDOSOS mientras que desde el 2002 hacia adelante procederemos a determinarlos como DATOS CONFIABLES.

- Estación Aymaña.

Realizado el análisis de doble masa, procedemos al análisis estadístico de la temperatura máxima histórica mensual por las cuales empezamos el análisis tomando en cuenta el periodo de datos de 36 años establecidos.

Para ello, tomamos en cuenta el pico máximo de registro que se dio en el año 2013 por lo que procedemos por medio de lo establecido en el marco teórico a empezar a realizar el análisis correspondiente.



Para ello, desde el año 1981 hacia 2013 los clasificaremos como DATOS DUDOSOS mientras que desde el 2014 hacia adelante procederemos a determinarlos como DATOS CONFIABLES.

Con lo estipulado en los anteriores párrafos, se muestra la tabla 60 con el análisis de consistencia correspondiente a la evapotranspiración potencial.

Tabla 60: Análisis de consistencia de evapotranspiración

Parámetros	ESTACION					
	SIBINACOCHA	TINKI	QUISOQUIPINA	HUAYLLAPAMPA	CCATCA	AYMAÑA
	<u>Prueba T de Student</u>					
Desviación estándar	14.83	14.99	13.39	14.87	14.68	12.22
Desviación de las	2.58	2.30	2.81	1.45	1.43	2.13
Cálculo de Tc	0.52	0.33	0.72	0.32	0.22	0.62
Grados de libertad	430.00	430.00	430.00	430.00	430.00	430.00
Cálculo de Tt	1.9655	1.9655	1.9655	1.9655	1.9655	1.9655
	<u>Prueba F de Fisher</u>					
Cálculo de Fc	1.13	1.04	1.24	1.00	1.01	1.14
Cálculo de Ft	1.58	1.48	1.77	1.26	1.26	1.58

Fuente: Elaboración propia

3.6.2.6.6. Aforamientos.

Según el Plan MERISS(1980) El análisis de consistencia de los datos de aforamiento tiene una particularidad respecto a que la línea de tendencia que tiene que seguir, esto a que es una tendencia polinomial de segundo grado, asemejándose a una curva.

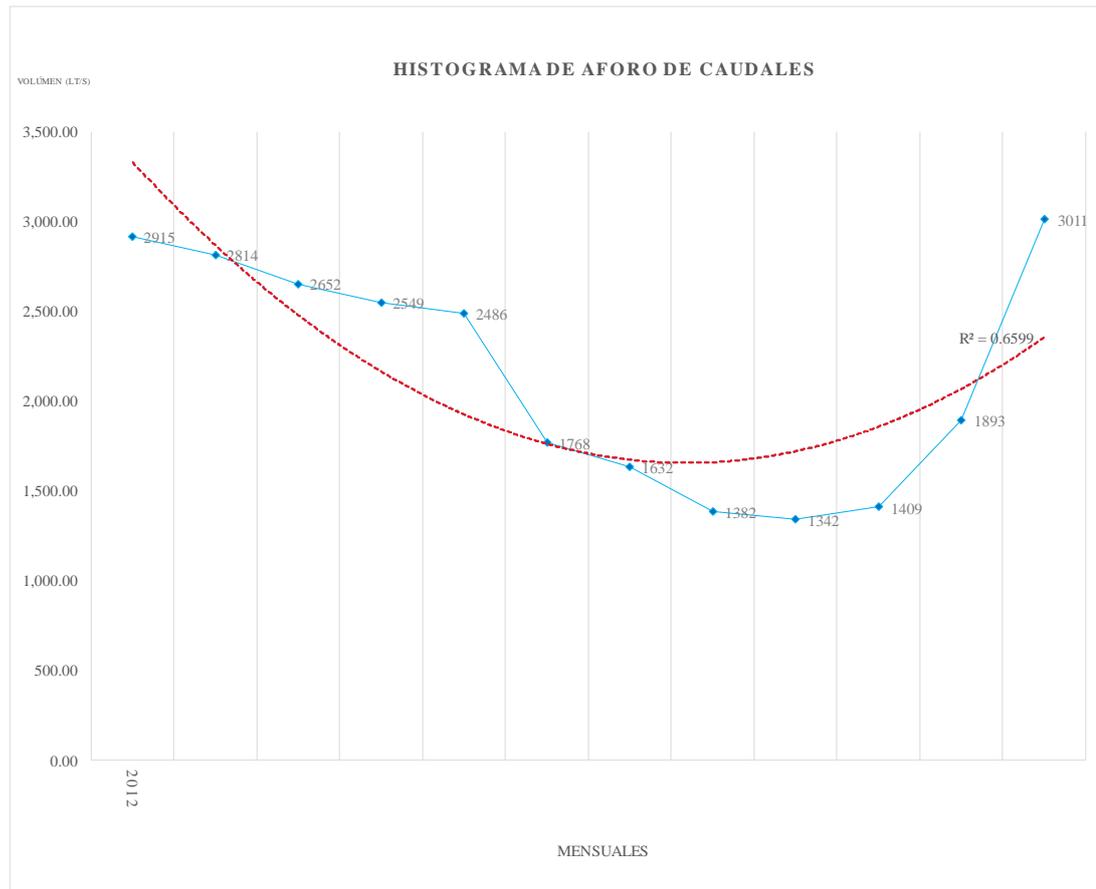
Esto de una manera más empírica y mejor explicada, se debe a que los meses de estiaje en la sierra peruana se dan a medio año mientras que tanto a inicios como a finales de año ocurre una crecida.

○ *Histograma de aforamientos.*

- *Ingreso a Singrinacocha*

Es el punto en donde se obtiene un registro de entrada a la laguna Singrinacocha, de esta manera se visualiza en la imagen 116 el histograma de aforo.

Figura 116: Histograma de aforo de ingreso a Singrinacocha



Fuente: Elaboración propia

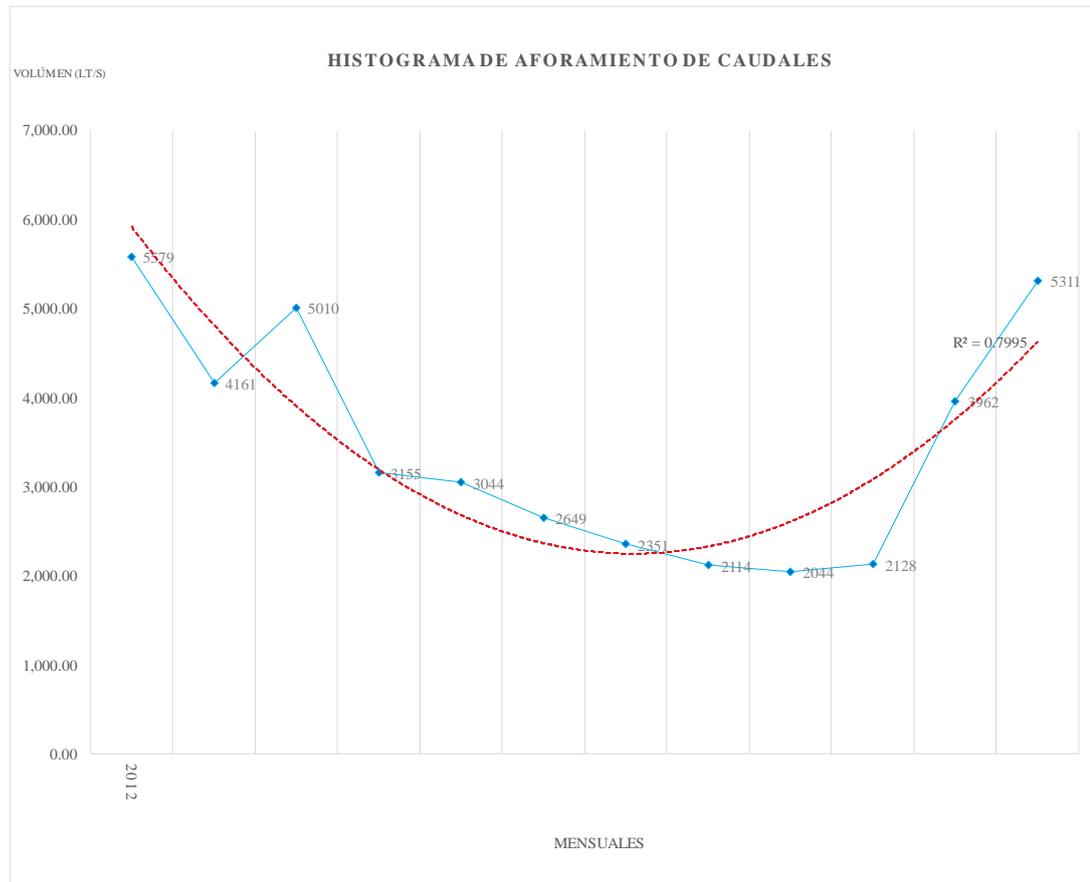
Se observa por la línea de tendencia que hay un comportamiento aceptable de los datos, sin embargo, surgen puntos en donde el aforamiento no es uniforme mostrando particularidades en las cuales es mucho mayor que sus equivalentes en otros meses tomando los datos en un año.

Por lo que se deberá corroborar su uso según el análisis estadístico.

- Desfogue de Singrinacocha

Es el punto en donde se obtiene un registro en el desfogue de Singrinacocha, de esta manera se visualiza en la imagen N°117 lo siguiente:

Figura 117: Histograma de aforo de desfogue de Singrinacocha



Fuente: Elaboración propia

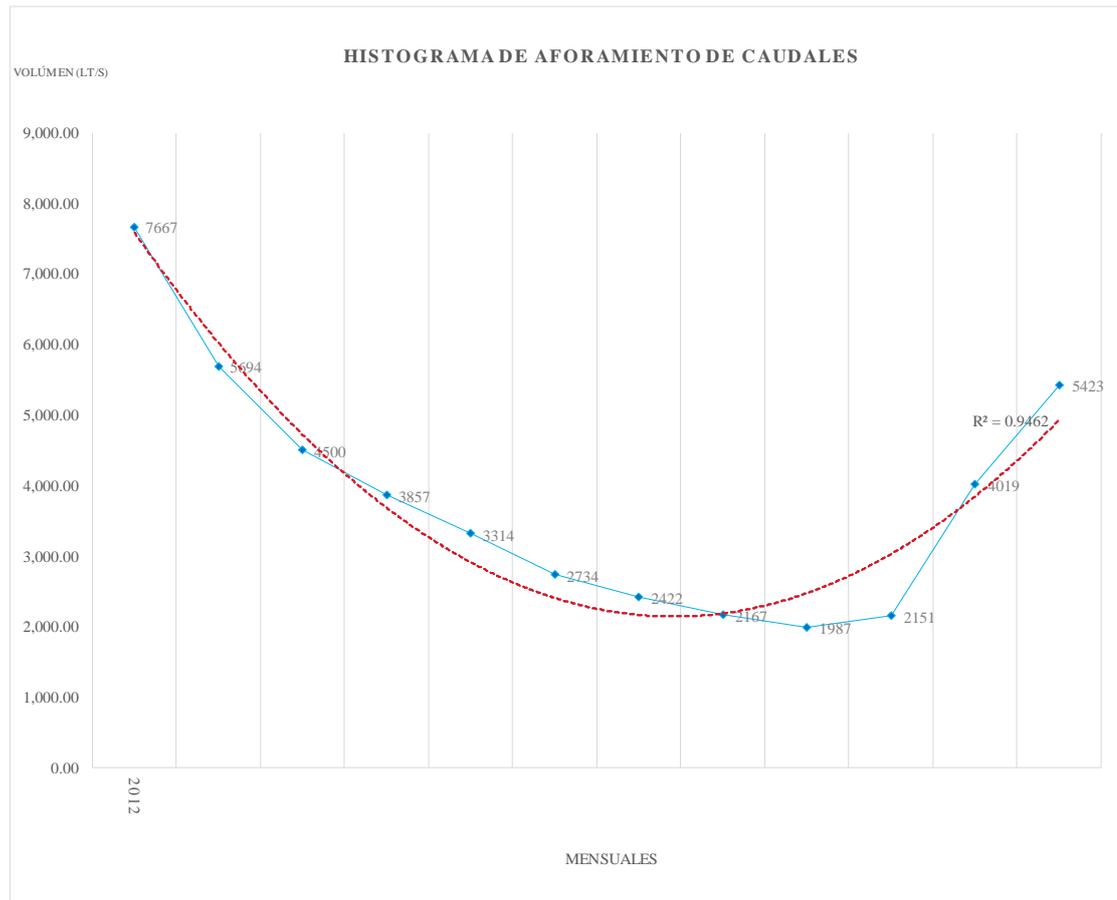
Se observa por la línea de tendencia que hay un comportamiento aceptable de los datos, sin embargo, surgen puntos en donde el aforamiento no es uniforme mostrando particularidades en las cuales es mucho mayor que sus equivalentes en otros meses tomando los datos en un año.

Por lo que se deberá corroborar su uso según el análisis estadístico.

- Rio Singrina

Es el punto en donde se obtiene un registro en el transcurso del rio Singrinacocha, de esta manera se visualiza en la figura 118 el histograma de aforo.

Figura 118: Histograma de aforo del rio Singrina



Fuente: Elaboración propia

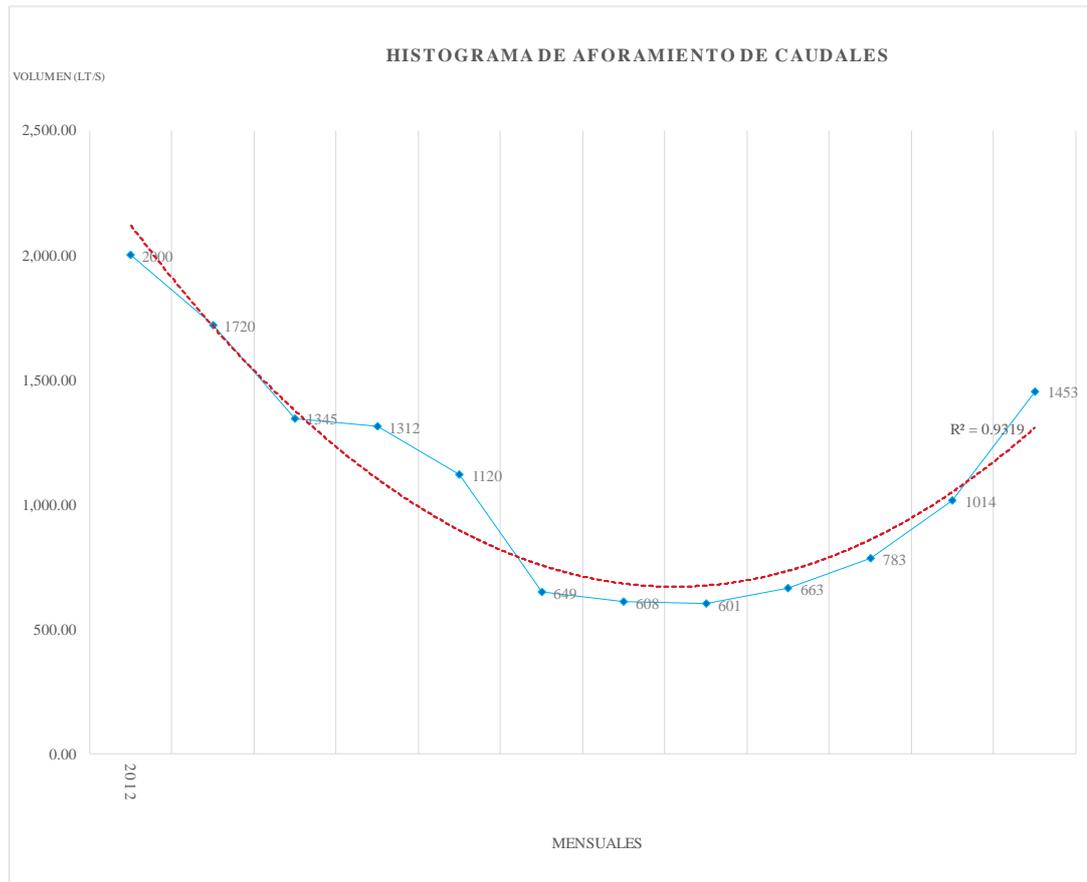
Se observa por la línea de tendencia que hay un comportamiento aceptable de los datos, sin embargo, surgen puntos en donde el aforamiento no es uniforme mostrando particularidades en las cuales es mucho mayor que sus equivalentes en otros meses tomando los datos en un año.

Por lo que se deberá corroborar su uso según el análisis estadístico.

- Yanancancha

Es el punto en donde se obtiene un registro en el transcurso del río Yanancancha, de esta manera se visualiza en la imagen 119 lo siguiente:

Figura 119: Histograma de aforo del río Yanancancha



Fuente: Elaboración propia

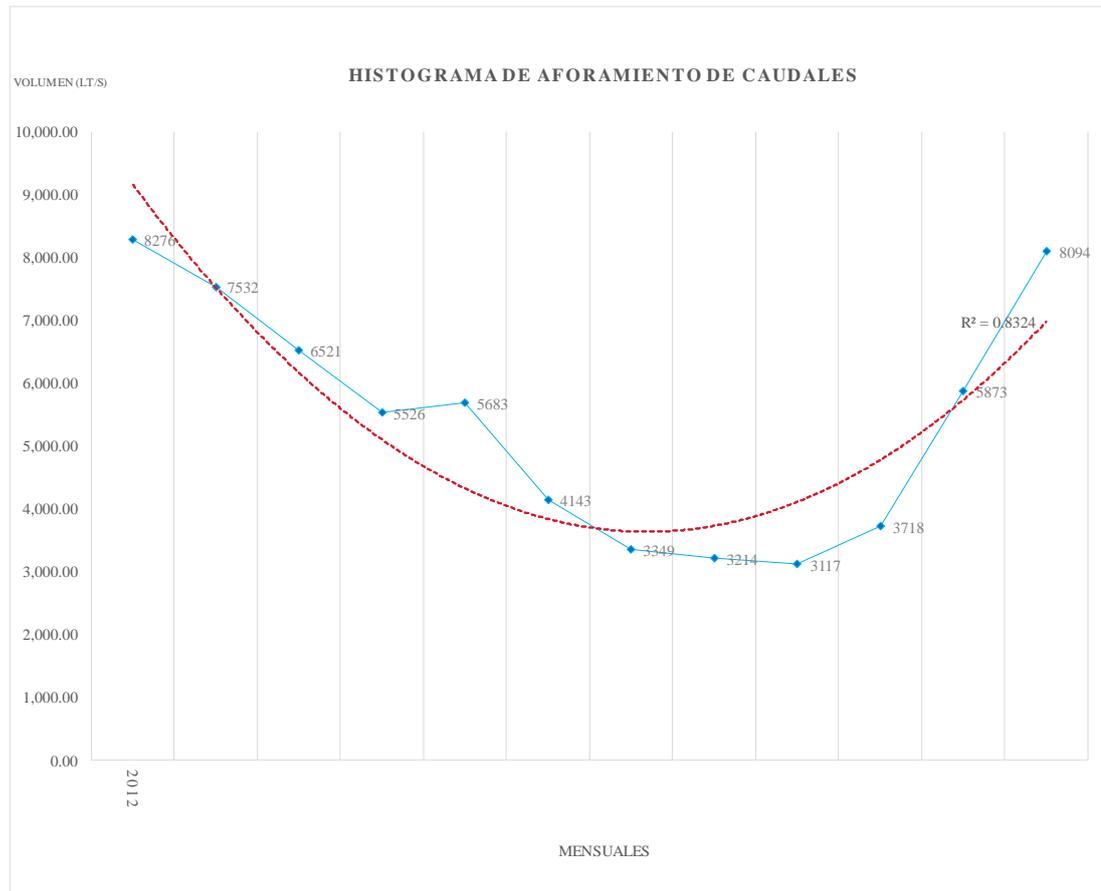
Se observa por la línea de tendencia que hay un comportamiento aceptable de los datos, sin embargo, surgen puntos en donde el aforamiento no es uniforme mostrando particularidades en las cuales es mucho mayor que sus equivalentes en otros meses tomando los datos en un año.

Por lo que se deberá corroborar su uso según el análisis estadístico.

- Rio Mapacho

Es el punto en donde se obtiene un registro en el transcurso del rio Mapacho, de esta manera se visualiza en la imagen N° 120 lo siguiente:

Figura 120: Histograma de aforo del rio Mapacho



Fuente: Elaboración propia

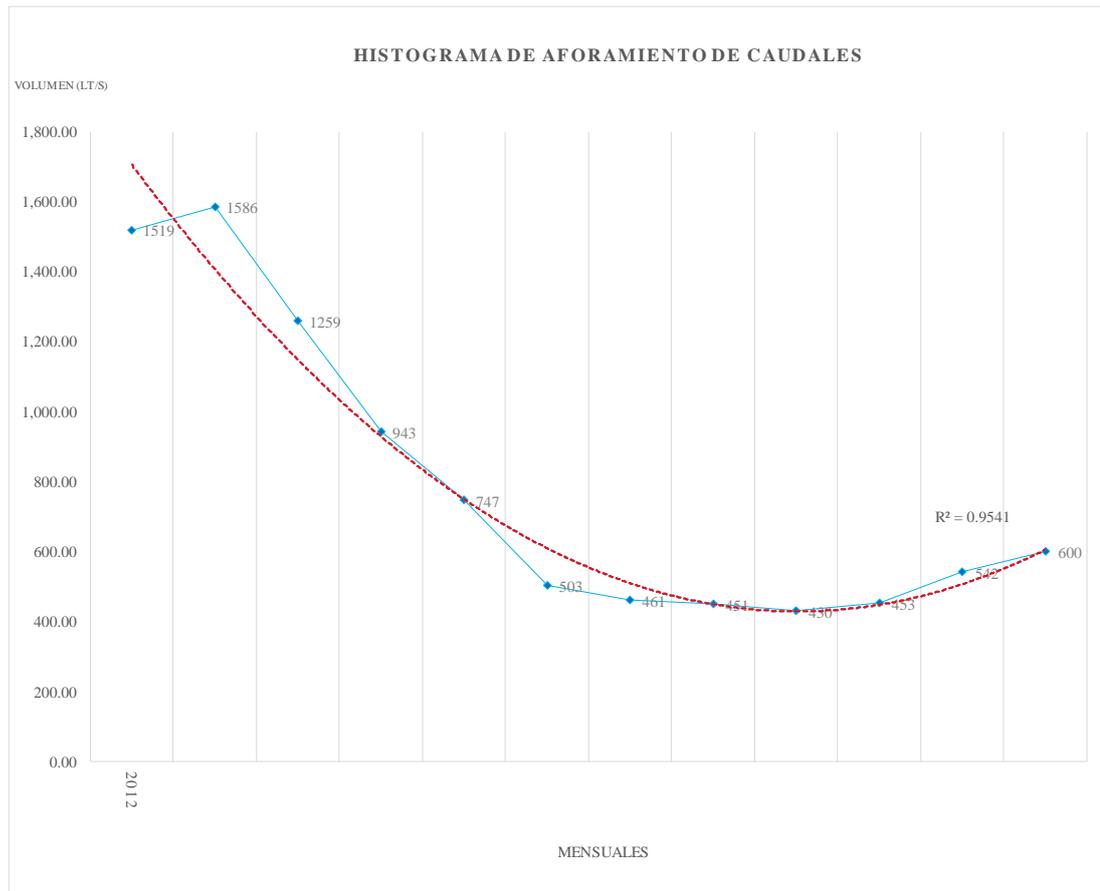
Se observa por la línea de tendencia que hay un comportamiento aceptable de los datos, sin embargo, surgen puntos en donde el aforamiento no es uniforme mostrando particularidades en las cuales es mucho mayor que sus equivalentes en otros meses tomando los datos en un año.

Por lo que se deberá corroborar su uso según el análisis estadístico.

- Rio Kellhuapata

Es el punto en donde se obtiene un registro en la bocatoma del canal Marampaqui, de esta manera se visualiza en la figura 121 lo siguiente

Figura 121: Histograma de aforo del rio Kellhuapata



Fuente: Elaboración propia

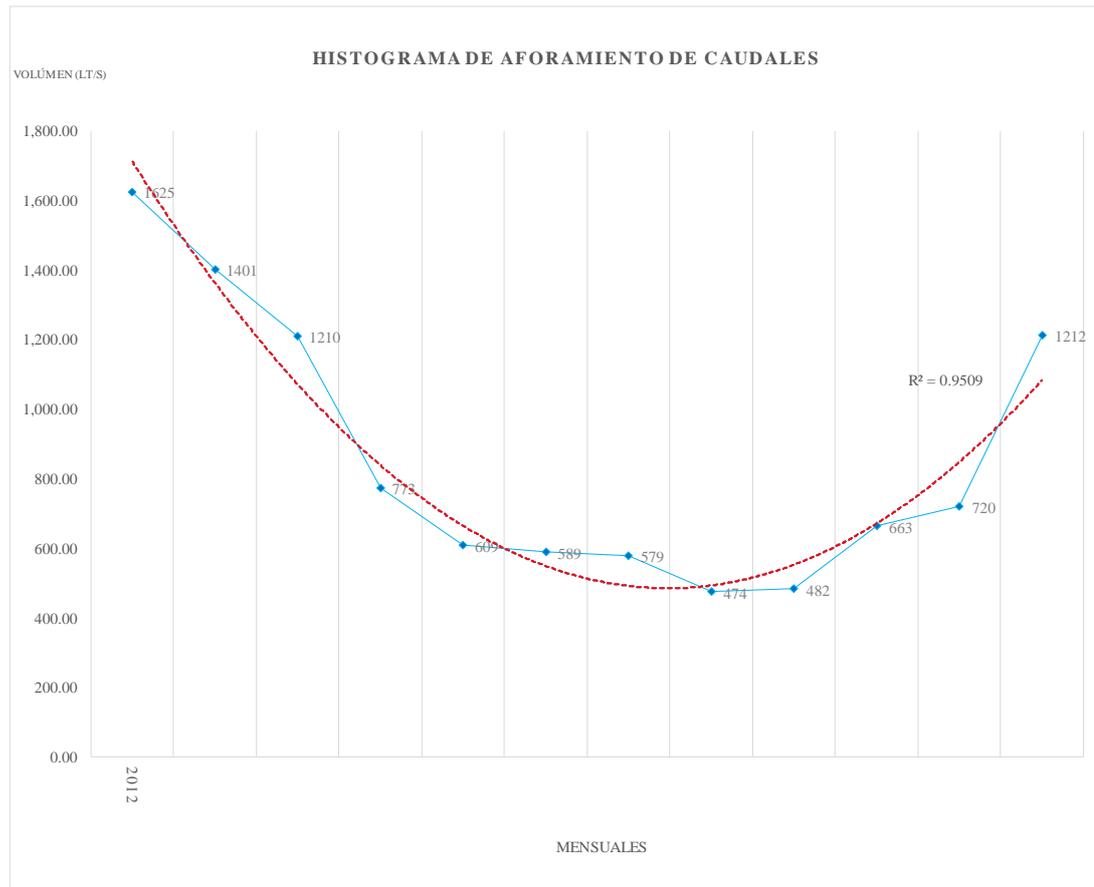
Se observa por la línea de tendencia que hay un comportamiento aceptable de los datos, sin embargo, surgen puntos en donde el aforamiento no es uniforme mostrando particularidades en las cuales es mucho mayor que sus equivalentes en otros meses tomando los datos en un año.

Por lo que se deberá corroborar su uso según el análisis estadístico.

- Kellhuacocho

Es el punto en donde se obtiene un registro en el río Pachanta en la bocatoma del canal Kellhuacocho, así, de esta manera se visualiza en la figura 122 lo siguiente:

Figura 122: Histograma de aforo del punto Kellhuacocho



Fuente: Elaboración propia

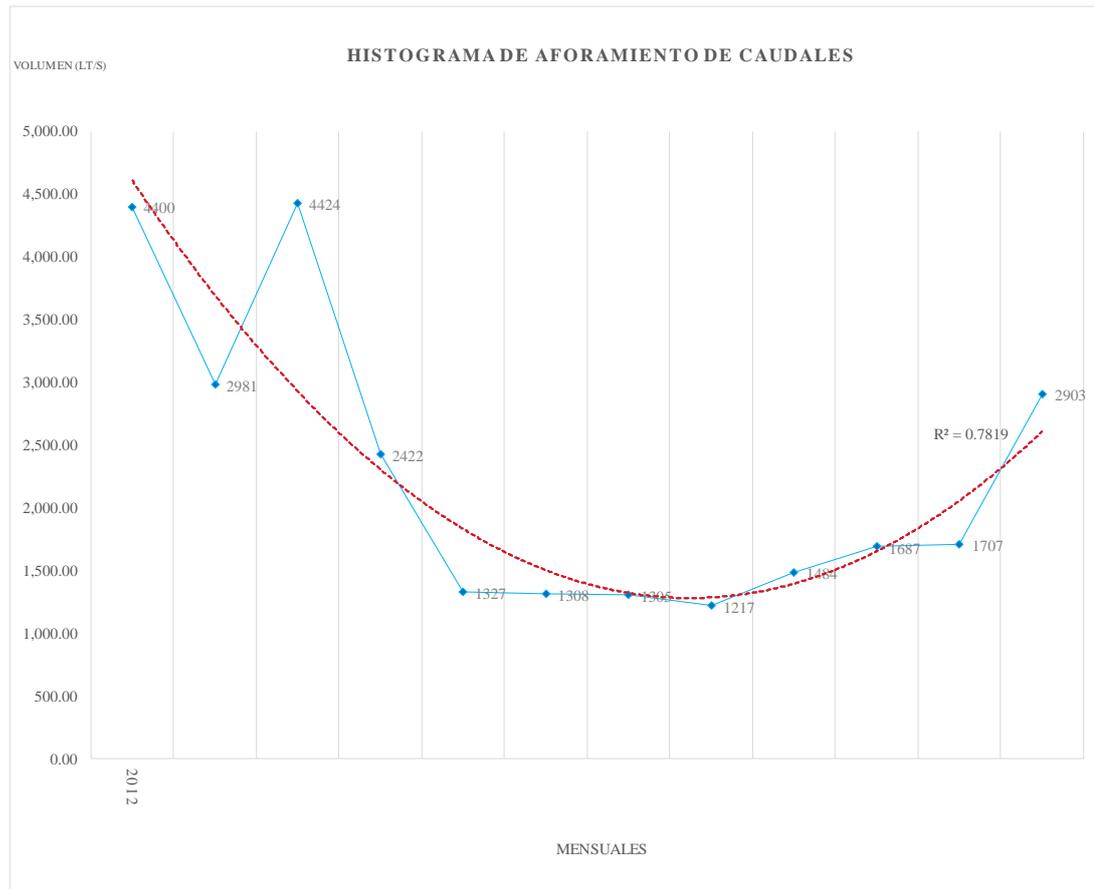
Se observa por la línea de tendencia que hay un comportamiento aceptable de los datos, sin embargo, surgen puntos en donde el aforamiento no es uniforme mostrando particularidades en las cuales es mucho mayor que sus equivalentes en otros meses tomando los datos en un año.

Por lo que se deberá corroborar su uso según el análisis estadístico.

- Pucarumi

Es el punto en donde se obtiene un registro en el río Pacchanta en la bocatoma del canal Pucarumi, así, de esta manera se visualiza en la figura 123 lo siguiente:

Figura 123: Histograma de aforo del punto Pucarumi



Fuente: Elaboración propia

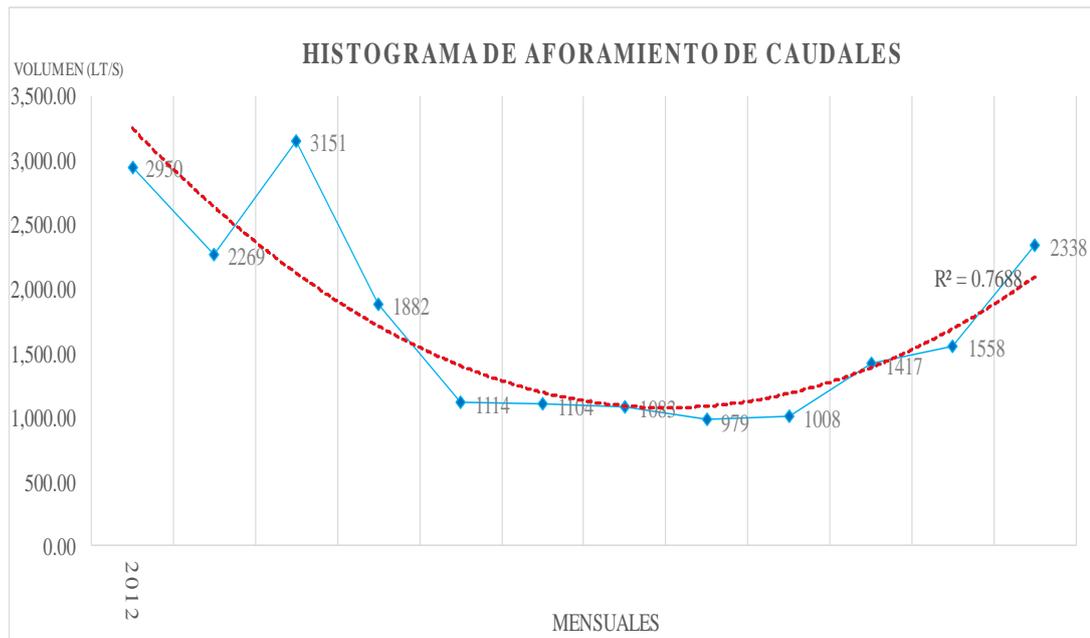
Se observa por la línea de tendencia que hay un comportamiento aceptable de los datos, sin embargo, surgen puntos en donde el aforamiento no es uniforme mostrando particularidades en las cuales es mucho mayor que sus equivalentes en otros meses tomando los datos en un año.

Por lo que se deberá corroborar su uso según el análisis estadístico.

- Pinchimuro

Es el punto en donde se obtiene un registro en el río Pachanta en la bocatoma del canal Pinchimuro, así, de esta manera se visualiza en la figura 124 lo siguiente:

Figura 124: Histograma de aforo del punto Pinchimuro



Fuente: Elaboración propia

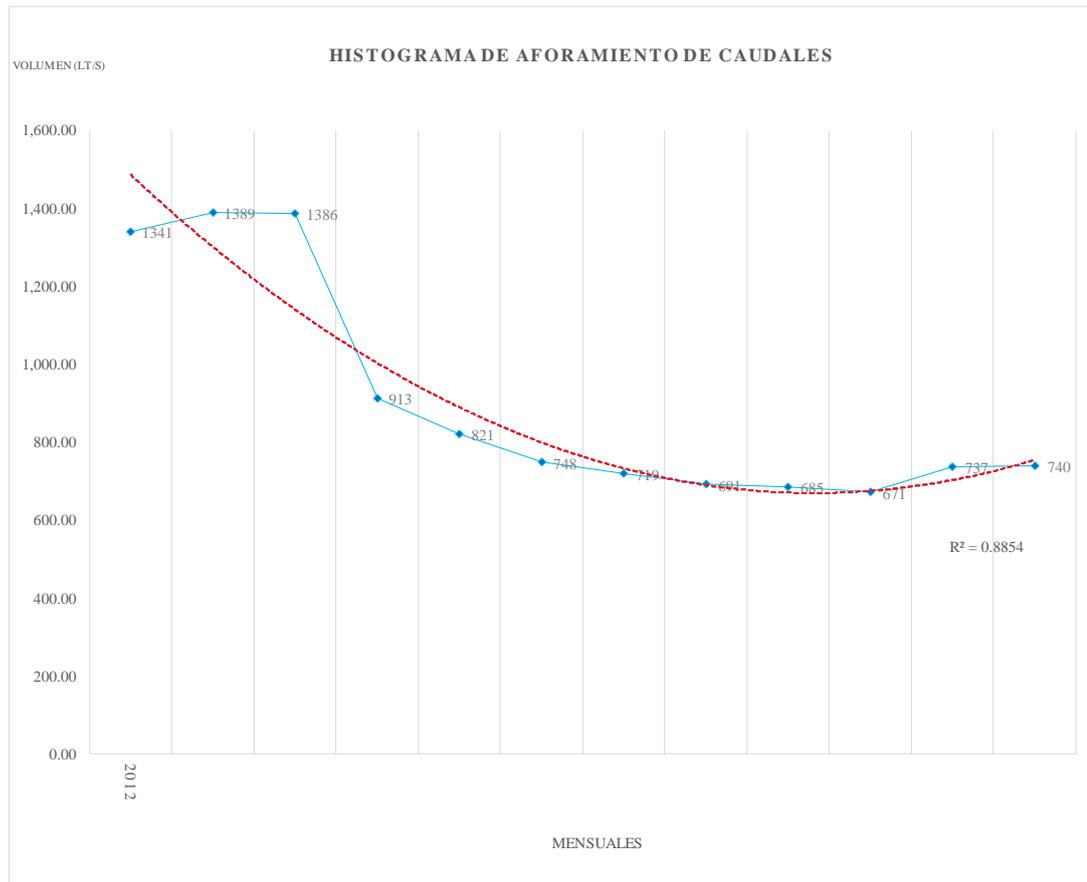
Se observa por la línea de tendencia que hay un comportamiento aceptable de los datos, sin embargo, surgen puntos en donde el aforamiento no es uniforme mostrando particularidades en las cuales es mucho mayor que sus equivalentes en otros meses tomando los datos en un año.

Por lo que se deberá corroborar su uso según el análisis estadístico.

- Jamarca

Es el punto en donde se obtiene un registro en el río Jamarca en la bocatoma del canal Marampaqui, así, de esta manera se visualiza en la imagen N°125 lo siguiente:

Figura 125: Histograma de aforo del punto Jamarca



Fuente: Elaboración propia

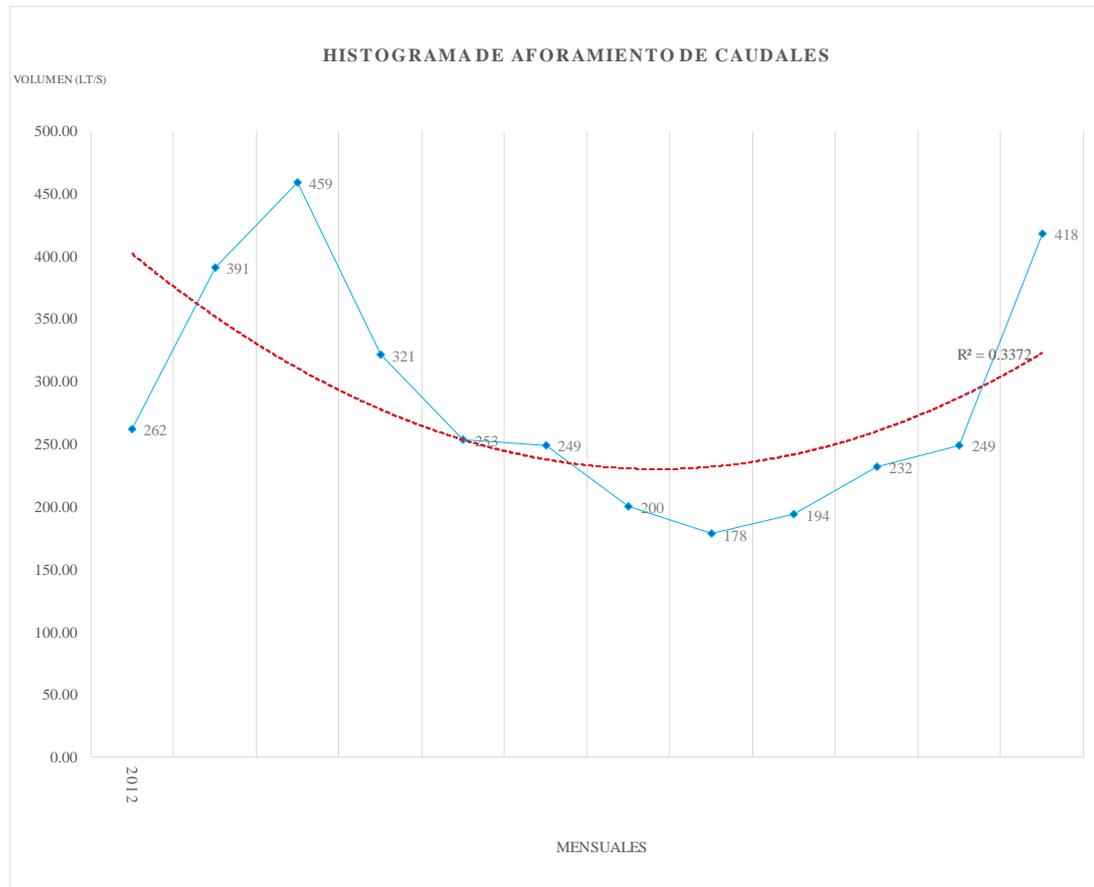
Se observa por la línea de tendencia que hay un comportamiento aceptable de los datos, sin embargo, surgen puntos en donde el aforamiento no es uniforme mostrando particularidades en las cuales es mucho mayor que sus equivalentes en otros meses tomando los datos en un año.

Por lo que se deberá corroborar su uso según el análisis estadístico.

- Ccomercocha

Es el punto en donde se obtiene un registro en la quebrada Ccomercocha, así, de esta manera se visualiza en la imagen N°126 lo siguiente:

Figura 126: Histograma de aforo del punto Ccomercocha



Fuente: Elaboración propia

Se observa por la línea de tendencia que hay un comportamiento poco aceptable de los datos, sin embargo, surgen puntos en donde el aforamiento no es uniforme mostrando particularidades en las cuales es mucho mayor que sus equivalentes en otros meses tomando los datos en un año.

Por lo que se deberá corroborar su uso según el análisis estadístico.

Con la información obtenida y vista la distribución de los datos, procedemos al análisis estadístico correspondiente.

Cabe resaltar que solo se tiene 1 año completo de cada punto de aforo por lo que un análisis de doble masa correspondería a ser lineal sin bifurcaciones.

○ Análisis estadístico de aforamiento

- Ingreso a la laguna Singrinacocha

Procedemos al análisis estadístico del aforamiento por puntos de recolección por las cuales empezamos el análisis tomando en cuenta el periodo 1 año establecido.

Para ello, tomamos en cuenta el pico máximo de registro que se dio en el mes de Julio por lo que procedemos por medio de lo establecido en el marco teórico a empezar a realizar el análisis correspondiente.



Para ello, desde el mes de enero hasta julio los clasificaremos como DATOS DUDOSOS mientras que desde agosto hacia adelante procederemos a determinarlos como DATOS CONFIABLES.

Tabla 61: Clasificación de datos del ingreso a la laguna Singrinacocha

DATOS DUDOSOS Periodos Muestrales	DATOS CONFIABLE Periodos Muestrales
ENTRE LOS AÑOS 2012	

Fuente: Elaboración propia

Por lo ya estipulado en el análisis estadístico de las ETP, tomaremos en cuenta los conceptos ya mencionados y efectuaremos el análisis estadístico directamente.

- o Para el análisis de consistencia de la media

Se establece lo siguiente:

Tabla 62: Resultados estadísticos analíticos del ingreso a la laguna Singrinacocha.

Tamaño de la muestra(n1)=	7	Tamaño de la muestra (n2)=	5
Media de la muestra $\bar{X}_1 =$	2402.29	Media de la muestra $\bar{X}_2 =$	1807.40
Desviación Stand.(S1) =	503.15	Desviación Stand(S2)=	709.27
Grados de libertad(GL1)=	6	Grados de libertad(GL2)=	4

Fuente: Elaboración propia

- q) Desviación estándar ponderada:

$$S_p = 594.24$$

- r) Desviación de las diferencias de los promedios.

$$S_d = 347.95$$

- s) Cálculo del T calculado (Tc).

$$|T_c| = 1.71$$

Tómese en cuenta que el cálculo establecido se basa en el valor absoluto que se pueda dar como resultado.

- t) Cálculo del valor crítico de t.

$$GL = GL_1 + GL_2$$

$$GL = 10$$

De la misma manera, realizaremos una comparación del Tc con Tt

$$T_t = 2.2281$$

Notamos que Tc es menor que Tt, por lo que el aforamiento no ha de corregirse mediante las fórmulas 2.54 y 2.55.

- o Para el análisis de consistencia en la desviación estándar.



Haciendo el cálculo de F basándonos en las fórmulas desde la ecuación 50-59, según Fc calculado se tiene de referencia los datos de la tabla de clasificación de datos correspondiente para ello.

i) Cálculo de Fc

$$F_c = \frac{503066.30}{253155.57} = 1.99$$

j) Cálculo de Ft

Para una probabilidad del 95% con un nivel de significación $\alpha=5\%$ y basándonos en las fórmulas ya establecidas se tiene:

$$\begin{aligned} GL1 &= 6 \\ GL2 &= 4 \\ \alpha &= 5\% \\ &6.16 \\ Ft &= 6.16 \end{aligned}$$

Aplicando las fórmulas establecidas de las ecuaciones 2.52-2.53 al 95% de confiabilidad determinamos que al ser Ft mayor que Fc determinamos una homogeneidad en la desviación ratificando que los datos están listos a usarse.

- Ingreso a la laguna Singrinacocha

Procedemos al análisis estadístico del aforamiento por puntos de recolección por las cuales empezamos el análisis tomando en cuenta el periodo 1 año establecido.

Para ello, tomamos en cuenta el pico máximo de registro que se dio en el mes de Julio por lo que procedemos por medio de lo establecido en el marco teórico a empezar a realizar el análisis correspondiente.

Para ello, desde el mes de enero hasta julio los clasificaremos como DATOS DUDOSOS mientras que desde agosto hacia adelante procederemos a determinarlos como DATOS CONFIABLES.

- Desfogue de la laguna Singrinacocha

Procedemos al análisis estadístico del aforamiento por puntos de recolección por las cuales empezamos el análisis tomando en cuenta el periodo 1 año establecido.

Para ello, tomamos en cuenta el pico máximo de registro que se dio en el mes de marzo por lo que procedemos por medio de lo establecido en el marco teórico a empezar a realizar el análisis correspondiente.

Para ello, desde el mes de enero hasta marzo los clasificaremos como DATOS DUDOSOS mientras que desde abril hacia adelante procederemos a determinarlos como DATOS CONFIABLES.



- Rio Singrina

Procedemos al análisis estadístico del aforamiento por puntos de recolección por las cuales empezamos el análisis tomando en cuenta el periodo 1 año establecido.

Para ello, tomamos en cuenta el pico máximo de registro que se dio en el mes de septiembre por lo que procedemos por medio de lo establecido en el marco teórico a empezar a realizar el análisis correspondiente.

Para ello, desde el mes de enero hasta septiembre los clasificaremos como DATOS DUDOSOS mientras que desde agosto hacia adelante procederemos a determinarlos como DATOS CONFIABLES.

- Pucarumi

Procedemos al análisis estadístico del aforamiento por puntos de recolección por las cuales empezamos el análisis tomando en cuenta el periodo 1 año establecido.

Para ello, tomamos en cuenta el pico máximo de registro que se dio en el mes de febrero por lo que procedemos por medio de lo establecido en el marco teórico a empezar a realizar el análisis correspondiente.

Para ello, desde el mes de enero hasta febrero los clasificaremos como DATOS DUDOSOS mientras que desde agosto hacia adelante procederemos a determinarlos como DATOS CONFIABLES.

- Jamarca

Procedemos al análisis estadístico del aforamiento por puntos de recolección por las cuales empezamos el análisis tomando en cuenta el periodo 1 año establecido.

Para ello, tomamos en cuenta el pico máximo de registro que se dio en el mes de septiembre por lo que procedemos por medio de lo establecido en el marco teórico a empezar a realizar el análisis correspondiente.

Para ello, desde el mes de enero hasta septiembre los clasificaremos como DATOS DUDOSOS mientras que desde agosto hacia adelante procederemos a determinarlos como DATOS CONFIABLES.

- Kellhuaco

Procedemos al análisis estadístico del aforamiento por puntos de recolección por las cuales empezamos el análisis tomando en cuenta el periodo 1 año establecido.

Para ello, tomamos en cuenta el pico máximo de registro que se dio en el mes de agosto por lo que procedemos por medio de lo establecido en el marco teórico a empezar a realizar el análisis correspondiente.



Para ello, desde el mes de enero hasta agosto los clasificaremos como DATOS DUDOSOS mientras que desde agosto hacia adelante procederemos a determinarlos como DATOS CONFIABLES.

- Yanancancha

Procedemos al análisis estadístico del aforamiento por puntos de recolección por las cuales empezamos el análisis tomando en cuenta el periodo 1 año establecido.

Para ello, tomamos en cuenta el pico máximo de registro que se dio en el mes de junio por lo que procedemos por medio de lo establecido en el marco teórico a empezar a realizar el análisis correspondiente.

Para ello, desde el mes de enero hasta junio los clasificaremos como DATOS DUDOSOS mientras que desde agosto hacia adelante procederemos a determinarlos como DATOS CONFIABLES.

- Ccomercocha

Procedemos al análisis estadístico del aforamiento por puntos de recolección por las cuales empezamos el análisis tomando en cuenta el periodo 1 año establecido.

Para ello, tomamos en cuenta el pico máximo de registro que se dio en el mes de marzo por lo que procedemos por medio de lo establecido en el marco teórico a empezar a realizar el análisis correspondiente.

Para ello, desde el mes de enero hasta marzo los clasificaremos como DATOS DUDOSOS mientras que desde agosto hacia adelante procederemos a determinarlos como DATOS CONFIABLES.

- Rio Mapacho

Procedemos al análisis estadístico del aforamiento por puntos de recolección por las cuales empezamos el análisis tomando en cuenta el periodo 1 año establecido.

Para ello, tomamos en cuenta el pico máximo de registro que se dio en el mes de agosto por lo que procedemos por medio de lo establecido en el marco teórico a empezar a realizar el análisis correspondiente.

Para ello, desde el mes de enero hasta agosto los clasificaremos como DATOS DUDOSOS mientras que desde agosto hacia adelante procederemos a determinarlos como DATOS CONFIABLES.

- Kellhuapata

Procedemos al análisis estadístico del aforamiento por puntos de recolección por las cuales empezamos el análisis tomando en cuenta el periodo 1 año establecido.



Para ello, tomamos en cuenta el pico máximo de registro que se dio en el mes de octubre por lo que procedemos por medio de lo establecido en el marco teórico a empezar a realizar el análisis correspondiente.

Para ello, desde el mes de enero hasta octubre los clasificaremos como DATOS DUDOSOS mientras que desde agosto hacia adelante procederemos a determinarlos como DATOS CONFIABLES.

- Pinchimuro

Procedemos al análisis estadístico del aforamiento por puntos de recolección por las cuales empezamos el análisis tomando en cuenta el periodo 1 año establecido.

Para ello, tomamos en cuenta el pico máximo de registro que se dio en el mes de agosto por lo que procedemos por medio de lo establecido en el marco teórico a empezar a realizar el análisis correspondiente.

Para ello, desde el mes de enero hasta agosto los clasificaremos como DATOS DUDOSOS mientras que desde agosto hacia adelante procederemos a determinarlos como DATOS CONFIABLES.

Con el criterio de procesamiento para el análisis de consistencia que se mostró al principio de este ítem, se tiene la tabla 63 y 64 respecto a los aforamientos proporcionados.

Tabla 63: Análisis de consistencia de aforamientos I

Parámetros	PUNTO DE AFORO					
	INGR. SINGRINACocha	DESF. SINGRINACocha	RIO SINGRINA	YANANCANCHA	RIO MAPACHO	RIO KELLHUAPATA
	<u>Prueba T de Student</u>					
Desviación estándar ponderada	594.24	1165.63	1834.28	406.85	1999.04	440.48
Desviación de las diferencias de los promedios	347.95	777.09	1222.85	234.89	1224.16	341.19
Cálculo de Tc	1.71	2.18	0.04	2.15	0.27	0.77
Grados de libertad	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
Cálculo de Tt	2.2281	2.2281	2.2281	2.2281	2.2281	2.2281
	<u>Prueba F de Fisher</u>					
Cálculo de Fc	1.99	1.44	1.31	2.01	1.46	128.06
Cálculo de Ft	6.16	4.46	19.37	5.05	8.89	240.54

Fuente: Elaboración propia



Tabla 64: Análisis de consistencia de aforamientos II

Parámetros	PUNTO DE AFORO				
	RIO KELLHUACOCHA	PUCARUMI	PINCHIMURO	JAMARCOCHA	CCOMERCOCHA
	<u>Prueba T de Student</u>				
Desviación estándar ponderada	405.78	1017.32	802.75	280.35	80.14
Desviación de las diferencias de los promedios	248.49	788.01	491.58	186.90	53.43
Cálculo de Tc	0.56	2.17	0.48	1.34	2.17
Grados de libertad	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
Cálculo de Tt	2.2281	2.2281	2.2281	2.2281	2.2281
	<u>Prueba F de Fisher</u>				
Cálculo de Fc	1.99	1.03	2.54	64.34	1.81
Cálculo de Ft	8.89	5.12	8.89	19.37	4.46

Fuente:Elaboración propia

3.6.2.7. Extensión de datos

Empleando el software Easyfit, aplicaremos la extensión de datos por medio de una distribución de muestras no paramétricas Kolgomorov-Smirnov Así, tendremos según al promedio de valor en las muestras de precipitación y ETP para usarlos en nuestros modelos hidrológicos.

Por medio del promedio de estos parámetros, extenderemos los datos correspondientes en el programa.

Al ejecutar el programa, ponemos nuestros datos en las celdas que nos permite el programa y procederemos a ajustar los datos.

Con ello, podemos aplicar una extensión en la opción “números aleatorios” poniendo como semilla el promedio de los datos a través de los años en meses según corresponda y aparte, según la distribución que se presente deberemos configurar los coeficientes correspondientes.

Por ello, se extendieron los datos de manera mensual por un periodo de 4 años.



Tabla 65: Precipitación de datos de las estaciones meteorológicas extendidas - Tinki

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1981	204.77	218.02	138.87	85.42	23.68	2.41	3.27	40.65	44.95	99.44	112.73	124.64	1098.85
1982	193.03	129.34	133.25	60.86	6.28	2.53	6.31	21.43	80.09	82.12	115.49	80.21	910.94
1983	70.96	110.78	62.87	33.12	23.57	2.39	4.33	19.55	14.01	34.13	38.19	88.95	502.84
1984	172.07	210.61	108.21	89.64	9.18	5.92	13.95	47.97	18.39	162.40	110.01	130.72	1079.07
1985	157.23	214.66	94.58	62.09	51.38	13.68	8.47	4.04	109.23	57.55	124.70	142.12	1039.73
1986	110.51	139.97	148.34	68.64	21.28	0.75	14.30	13.11	54.20	23.71	46.24	97.57	738.62
1987	209.34	137.21	76.25	28.50	11.18	4.89	67.26	6.87	28.64	81.20	106.03	141.91	899.28
1988	127.99	148.57	169.92	136.58	38.72	0.42	0.40	3.98	29.92	68.86	49.67	120.22	895.25
1989	166.77	177.06	150.50	76.04	29.42	9.23	3.50	44.44	81.17	55.77	79.92	87.77	961.59
1990	162.13	170.54	74.49	58.53	20.85	53.47	0.30	13.46	34.09	93.93	83.91	134.30	899.99
1991	107.77	233.37	83.31	49.18	37.67	26.26	1.36	3.01	43.76	53.92	72.27	88.42	800.31
1992	130.30	145.39	63.41	22.04	7.45	14.17	4.30	75.47	14.85	56.66	92.01	64.41	690.47
1993	157.72	169.98	111.13	57.77	5.34	5.02	11.00	48.11	52.00	62.15	96.21	176.58	953.02
1994	140.15	240.42	125.48	83.65	32.48	0.45	2.49	7.47	49.08	65.86	61.23	153.57	962.32
1995	108.61	126.28	159.34	54.95	17.42	1.94	9.26	5.58	42.14	42.62	88.40	104.37	760.92
1996	153.40	239.59	78.55	57.28	28.94	0.31	4.70	67.18	58.77	75.32	64.45	146.60	975.09
1997	132.70	277.43	133.83	28.24	24.04	0.22	2.27	38.95	27.87	57.51	133.54	110.05	966.65
1998	122.98	212.81	92.45	23.48	3.24	7.27	0.30	5.95	6.61	81.21	71.99	89.60	717.89
1999	147.08	232.70	102.64	89.71	10.52	2.69	6.66	0.87	97.72	45.38	44.27	153.88	934.11
2000	159.08	209.80	122.60	40.64	17.55	11.14	13.09	26.03	44.49	105.52	24.82	108.00	882.76
2001	237.40	250.62	163.19	79.68	47.54	3.52	45.35	62.28	49.55	109.08	95.04	107.48	1250.73
2002	117.15	304.85	150.13	96.03	39.17	4.87	77.20	15.64	95.48	80.08	108.06	137.96	1226.62
2003	160.72	229.95	129.04	41.80	28.05	13.30	4.13	43.24	20.23	43.36	41.31	153.99	909.12
2004	178.90	189.47	91.28	52.97	21.53	22.30	39.97	59.54	61.82	64.24	72.95	145.11	1000.09
2005	93.51	206.78	110.70	38.31	13.92	0.78	6.06	13.90	16.57	66.73	76.76	107.15	751.16
2006	182.92	207.87	145.95	100.08	5.45	10.35	3.25	35.67	28.23	85.90	102.98	144.61	1053.25
2007	161.75	168.37	144.25	69.87	16.20	1.41	19.78	6.87	10.80	80.26	75.01	103.65	858.21
2008	177.38	213.73	88.56	36.38	30.93	10.34	3.50	16.60	24.32	90.78	64.40	156.79	913.72
2009	137.74	192.10	99.73	52.92	10.65	0.99	20.22	8.65	40.45	32.29	162.30	119.58	877.63
2010	229.06	175.17	119.20	18.21	10.73	2.61	8.53	23.22	19.86	80.94	45.59	159.53	892.54
2011	140.91	275.27	120.43	96.73	14.60	8.41	33.79	5.49	98.87	65.15	45.65	163.09	1068.39
2012	153.61	313.78	92.42	29.86	8.67	7.91	7.33	7.90	65.17	44.17	100.57	180.01	1011.40
2013	194.24	271.17	113.66	39.33	29.79	7.33	12.95	55.13	25.61	115.76	96.70	194.25	1155.92
2014	184.08	195.00	89.48	58.16	42.89	2.15	7.88	15.00	31.30	84.98	47.99	157.18	916.08
2015	186.02	208.45	109.96	118.82	42.40	4.51	36.20	38.23	30.14	50.06	88.66	124.65	1038.11
2016	134.56	237.47	62.44	54.80	16.20	4.56	32.88	11.34	43.66	87.23	28.35	93.05	806.55
2017	147.54	213.10	96.34	121.05	12.69	2.46	6.54	33.93	39.63	71.61	3.32	117.39	865.60
2018	159.05	175.60	130.69	61.63	29.06	4.24	7.68	0.32	25.74	98.40	80.85	141.57	914.83
2019	131.85	220.79	111.82	17.49	40.29	1.13	16.31	9.60	12.66	86.89	97.04	103.92	849.78
2020	187.22	214.64	112.68	42.26	38.02	1.66	7.19	20.00	56.88	75.85	82.88	142.71	982.00
Media	155.76	205.22	112.80	60.82	22.97	7.00	14.36	24.42	43.22	72.97	78.31	127.44	925.29
Desviación	35.540825	47.5529386	28.76409664	29.4368648	13.1225433	9.53818227	17.6197837	20.7156885	26.367618	26.150603	32.4829923	30.1440989	144.183315
C.V	0.2281839	0.23171879	0.25500123	0.48401108	0.57118888	1.36263201	1.22734329	0.84840643	0.61002365	0.35836412	0.41479136	0.23653836	0.1558258
MAX	237.40224	313.77625	169.919554	136.579017	51.375447	53.466174	77.198781	75.467244	109.233358	162.397318	162.302401	194.254453	1250.72722
MIN	70.960582	110.77795	62.436918	18.211491	3.244669	0.224293	0.297197	0.866829	6.610786	23.710343	24.824364	64.408796	502.841609

Fuente: Elaboración propia



Tabla 66: Precipitación de datos de las estaciones meteorológicas extendidas – Sibinacochoa

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1981	249.11	147.28	157.72	99.84	16.66	2.17	0.28	17.61	35.54	61.31	93.82	198.21	1079.54
1982	243.73	82.49	159.51	71.46	3.04	1.92	2.32	6.23	48.95	62.85	112.61	148.08	943.20
1983	122.33	80.67	115.75	48.12	21.97	2.26	1.60	3.28	7.56	21.63	34.55	160.35	620.05
1984	207.00	150.75	180.12	55.98	13.50	6.48	4.93	12.21	8.82	111.71	157.56	223.37	1132.45
1985	193.17	140.62	162.40	97.96	39.40	9.91	1.79	1.39	72.47	28.29	119.30	243.54	1110.25
1986	168.24	115.10	193.83	105.06	14.59	1.00	3.50	6.07	43.78	12.69	55.14	205.37	924.37
1987	235.90	106.64	106.87	43.04	6.87	3.47	35.45	4.04	18.55	41.68	110.08	218.78	931.37
1988	165.01	98.03	229.77	166.65	38.57	0.74	0.20	0.70	18.12	39.84	25.68	174.84	958.15
1989	198.93	114.66	182.77	97.02	22.65	8.95	1.24	24.86	47.30	32.57	57.40	148.86	937.20
1990	182.19	110.51	129.60	67.93	16.74	44.35	0.12	4.65	22.16	61.16	72.65	148.19	860.24
1991	166.42	109.05	122.09	52.27	33.68	24.76	0.39	0.57	19.11	37.48	49.07	147.16	762.04
1992	163.87	95.95	89.45	29.38	3.08	10.39	1.24	31.18	9.92	29.70	85.37	102.49	652.02
1993	174.61	96.09	161.10	85.15	3.73	5.95	5.26	17.70	31.45	49.45	103.52	265.07	999.09
1994	232.49	152.38	165.84	98.67	20.20	2.18	0.60	3.20	22.92	40.22	64.96	245.62	1049.27
1995	142.16	97.52	216.31	66.27	11.83	2.38	3.47	0.89	29.37	30.25	82.41	172.18	855.05
1996	194.36	127.93	125.72	64.22	25.63	0.28	3.71	18.31	32.76	45.25	64.39	245.50	948.06
1997	180.62	170.68	221.37	51.73	15.10	0.75	2.32	19.15	21.41	41.11	116.25	181.09	1021.58
1998	197.74	137.12	160.97	25.40	1.50	4.47	0.50	4.06	5.98	67.41	72.73	125.84	803.70
1999	203.72	135.28	125.45	112.82	15.39	4.31	1.97	0.26	52.44	31.95	44.22	222.48	950.28
2000	175.62	143.56	159.02	37.43	11.13	12.63	5.70	7.81	22.22	79.03	26.41	186.24	866.80
2001	296.74	155.33	230.62	80.99	37.42	3.11	13.22	18.95	29.05	67.89	74.51	142.68	1150.51
2002	136.94	195.97	222.18	86.53	32.31	7.13	34.14	8.66	60.65	56.75	89.83	215.04	1146.11
2003	220.23	144.78	190.94	55.14	25.35	11.71	2.23	15.86	12.97	28.34	33.33	235.38	976.27
2004	212.26	125.88	130.38	59.64	12.16	13.62	12.15	26.02	42.74	36.61	68.23	237.90	977.59
2005	125.38	149.45	142.17	38.78	9.71	0.56	2.56	3.30	10.85	55.63	74.10	168.30	780.80
2006	248.06	121.17	149.40	104.52	5.61	10.07	1.20	12.31	23.95	43.54	99.07	226.96	1045.84
2007	204.57	98.70	218.18	77.49	11.73	1.89	8.74	2.45	15.85	51.63	69.19	159.90	920.32
2008	247.03	129.50	143.07	34.64	16.42	7.14	1.41	4.30	13.10	62.71	56.67	249.18	965.16
2009	164.11	130.84	123.76	50.20	8.22	0.76	8.83	2.40	25.72	27.77	128.53	213.87	885.01
2010	280.63	126.10	161.19	44.07	11.14	3.10	2.70	8.16	10.44	47.75	42.69	224.50	962.49
2011	171.06	162.15	159.04	115.82	13.36	8.17	11.59	3.63	57.61	37.15	37.56	254.66	1031.80
2012	213.40	202.69	159.47	70.37	4.79	9.04	3.05	2.34	38.09	36.58	75.55	313.90	1129.29
2013	358.36	169.30	157.60	42.47	23.93	10.99	3.02	14.40	8.48	56.23	89.58	322.02	1256.37
2014	277.00	127.59	133.62	72.18	21.06	2.36	3.32	8.20	42.40	55.96	52.22	305.78	1101.70
2015	278.74	130.44	173.69	133.26	27.80	4.69	13.53	11.72	23.10	32.27	82.81	266.58	1178.63
2016	237.92	171.49	113.15	86.64	9.29	3.27	12.66	6.74	35.59	68.32	33.37	170.06	948.50
2017	193.82	145.66	212.25	59.36	27.86	1.28	21.30	6.71	13.65	49.57	46.24	223.27	1000.97
2018	195.77	171.96	149.27	68.01	8.55	3.43	7.15	2.85	24.13	40.74	68.10	240.34	980.30
2019	214.17	97.98	186.45	108.98	27.61	3.63	20.21	8.64	56.42	34.79	87.43	223.24	1069.58
2020	208.34	180.30	152.74	41.71	21.68	5.22	6.63	26.93	44.88	64.07	75.37	271.71	1099.57
Media	207.04	133.74	161.87	72.68	17.28	6.51	6.66	9.47	29.01	47.00	73.31	210.71	975.29
Desviación	51.333383	29.414975	36.876501	31.501089	10.486209	8.1819882	8.174957	8.0834055	16.798757	18.888518	31.244707	53.220142	140.61774
C.V	0.2479353	0.2199419	0.2278138	0.4334214	0.6067817	1.2562258	1.228245	0.8537843	0.5790236	0.4019063	0.426185	0.2525723	0.1441807
MAX	358.35811	202.69068	230.62217	166.65255	39.401815	44.350918	35.448592	31.179659	72.471141	111.71476	157.5623	322.01514	1256.366
MIN	122.32514	80.665662	89.450938	25.402151	1.495909	0.280631	0.11653	0.255487	5.978288	12.686214	25.678464	102.48543	620.05485

Fuente: Elaboración propia



Tabla 67: Precipitación de datos de las estaciones meteorológicas extendidas - Quisoquipina

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1981	135.76	96.17	58.73	101.38	10.50	1.71	2.14	22.31	34.46	38.63	81.28	145.01	728.09
1982	130.19	69.92	71.88	67.89	1.20	1.68	5.46	6.80	41.92	34.18	98.22	95.08	624.40
1983	79.13	66.24	53.01	49.82	18.30	1.90	4.66	3.37	6.71	12.56	33.72	119.37	448.79
1984	117.00	115.33	85.25	58.32	7.92	5.35	10.94	13.94	10.27	59.56	120.38	150.86	755.13
1985	114.54	98.29	78.69	89.06	22.39	6.12	4.72	1.67	67.85	15.42	89.20	158.97	746.92
1986	99.94	88.24	77.73	98.76	10.72	0.81	6.50	8.26	42.12	6.39	52.48	127.42	619.36
1987	136.36	81.56	51.91	43.30	4.98	3.06	73.71	5.95	19.02	24.93	91.36	150.57	686.71
1988	94.10	67.14	100.59	147.27	24.90	0.60	2.68	0.81	15.91	24.22	20.62	114.38	613.21
1989	114.70	83.51	78.19	92.30	14.76	8.14	3.07	29.22	50.82	20.91	53.96	110.75	660.33
1990	102.29	92.23	59.22	68.30	10.77	40.47	0.51	6.63	23.29	41.90	59.17	87.82	592.60
1991	105.09	75.65	57.16	55.86	19.82	21.39	1.14	0.84	18.53	26.18	45.86	96.54	524.06
1992	91.53	77.91	38.92	28.49	1.93	8.43	3.45	37.44	12.25	22.61	80.91	81.82	485.69
1993	93.60	73.30	63.91	81.24	3.61	6.05	13.58	27.44	29.23	35.56	86.69	174.93	689.13
1994	127.42	99.59	67.33	96.85	12.93	1.29	2.13	4.71	21.47	23.44	53.76	173.79	684.71
1995	87.58	74.66	94.80	55.66	6.83	2.14	8.24	1.36	30.23	19.38	71.25	103.87	556.00
1996	102.84	99.22	61.48	69.07	15.75	0.30	10.88	22.94	31.88	28.27	58.51	171.37	672.50
1997	87.68	127.95	93.37	51.41	11.43	0.74	3.75	22.10	27.62	25.09	93.70	120.48	665.31
1998	93.39	103.93	72.97	25.13	0.76	5.41	2.62	4.86	6.29	43.38	65.17	83.94	507.86
1999	107.25	107.77	55.97	100.94	9.94	3.61	6.40	1.16	49.28	21.28	41.69	141.35	646.65
2000	96.65	100.94	70.82	39.62	7.46	11.58	12.81	10.45	22.74	51.60	24.01	117.19	565.86
2001	160.32	124.38	101.39	83.37	24.45	2.47	24.33	23.80	26.97	43.73	64.63	87.96	767.80
2002	67.47	152.61	90.35	89.57	17.78	7.30	78.74	11.39	56.16	34.97	79.06	138.60	824.00
2003	120.36	101.26	77.96	51.67	15.37	9.90	7.25	19.29	15.52	17.76	30.23	154.51	621.07
2004	118.16	86.62	59.92	53.00	8.82	11.75	27.47	27.24	37.25	23.39	54.60	151.21	659.42
2005	73.15	113.75	55.62	31.48	5.87	0.56	6.36	4.29	14.81	35.73	65.44	110.34	517.39
2006	137.16	91.35	69.12	97.43	4.21	8.87	4.23	14.62	23.70	28.88	82.12	139.14	700.84
2007	115.34	71.53	86.31	80.20	7.26	2.11	18.57	3.80	16.61	31.27	60.19	107.65	600.85
2008	142.38	101.16	62.05	40.29	10.33	6.68	4.10	6.22	12.97	42.20	48.22	170.68	647.27
2009	97.95	102.34	60.60	52.59	5.51	0.78	19.98	3.88	25.60	18.28	108.46	131.85	627.82
2010	144.09	104.20	68.89	46.30	8.40	3.60	8.39	9.10	12.30	31.40	35.13	153.55	625.36
2011	99.93	130.72	61.76	113.89	8.58	7.94	24.47	5.32	50.59	26.67	33.02	154.35	717.25
2012	114.66	154.43	63.79	67.22	2.54	9.21	9.26	3.95	38.37	23.31	63.73	212.34	762.82
2013	185.08	122.97	72.67	40.39	16.30	9.01	7.03	16.01	7.29	37.62	78.58	222.11	815.07
2014	141.97	92.04	64.49	74.28	13.89	1.77	8.81	10.12	38.69	35.25	51.66	205.65	738.61
2015	143.26	101.17	83.84	132.79	18.21	4.02	23.34	12.23	20.44	17.73	80.92	162.99	800.96
2016	117.86	112.66	52.38	86.94	6.23	2.74	27.69	7.45	31.95	39.59	27.59	119.12	632.20
2017	130.67	93.35	77.20	68.79	15.22	3.37	17.87	13.45	23.76	28.39	52.81	161.42	686.30
2018	126.17	75.19	51.23	48.12	16.20	1.60	4.64	8.61	22.96	12.91	66.36	158.38	592.37
2019	89.07	150.03	57.58	55.47	24.96	3.62	3.55	8.33	30.35	39.43	45.82	120.34	628.55
2020	108.58	120.20	64.65	50.47	13.69	5.02	8.07	2.91	25.51	21.34	51.66	172.52	644.62
Media	113.77	100.04	69.34	69.62	11.52	5.83	12.84	11.11	27.34	29.13	62.55	139.01	652.10
Desviacion	25.131815	21.872149	14.817451	28.986413	6.4846455	7.3540083	17.347727	9.549593	15.094502	11.25665	24.595786	35.778794	92.72552
C.V	0.2209073	0.2186371	0.2136832	0.4163323	0.5629701	1.2620657	1.35124	0.859769	0.5520598	0.3863911	0.3931897	0.2573913	0.1421958
MAX	185.08227	154.43293	101.39008	147.27015	24.898266	40.469499	78.744541	37.442343	67.851649	59.561431	120.38031	222.10606	823.99569
MIN	67.469573	66.243962	38.917096	25.129269	0.764173	0.302864	0.506492	0.806299	6.292823	6.389427	20.618341	81.823495	448.7923

Fuente: Elaboración propia



Tabla 68: Precipitación de datos de las estaciones meteorológicas extendidas - Huayllapampa

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1981	157.29	115.87	156.20	62.42	9.11	0.78	0.36	19.25	16.46	58.04	95.77	114.41	805.97
1982	153.42	71.68	144.96	39.82	1.22	1.93	2.98	9.59	38.17	49.44	83.93	73.22	670.35
1983	65.02	57.58	46.88	15.23	9.83	0.95	1.52	10.42	6.66	18.72	26.91	76.49	336.21
1984	150.86	131.39	92.78	67.93	1.66	3.65	4.63	27.81	10.23	82.94	74.28	102.53	750.69
1985	115.60	112.13	86.32	40.77	18.95	11.23	3.03	1.18	64.14	40.18	89.18	125.53	708.23
1986	95.95	73.09	150.07	39.60	7.48	0.19	7.49	5.50	23.23	16.39	33.11	73.50	525.60
1987	183.98	79.48	69.34	17.59	4.18	3.97	31.59	0.75	9.65	45.16	85.86	127.06	658.62
1988	101.84	73.14	167.58	98.75	13.57	0.10	0.05	0.47	16.64	45.99	41.34	111.32	670.80
1989	123.60	113.21	157.25	57.63	9.69	6.86	0.75	16.25	42.62	28.30	60.23	70.42	686.80
1990	122.03	91.44	71.01	42.97	5.69	38.91	0.04	7.91	11.08	46.13	77.24	127.79	642.24
1991	83.70	136.09	76.34	32.54	8.97	20.15	0.34	0.64	25.21	28.66	59.77	94.30	566.74
1992	114.63	89.68	58.53	15.94	2.84	12.86	0.75	36.88	5.81	36.75	78.38	51.04	504.09
1993	139.66	97.07	102.69	34.86	1.93	3.17	3.00	32.04	22.59	32.42	75.51	168.25	713.19
1994	104.08	146.87	122.85	53.73	9.11	0.10	0.14	3.48	28.95	38.01	41.04	147.26	695.63
1995	81.47	70.76	171.59	38.54	6.70	0.29	1.23	2.22	21.84	20.68	68.36	85.11	568.82
1996	114.59	131.09	75.32	36.99	6.33	0.07	0.29	32.89	26.48	37.37	47.58	129.31	638.30
1997	99.13	145.74	120.29	15.54	8.44	0.06	0.42	14.46	14.49	27.85	89.83	77.30	613.55
1998	86.00	119.24	82.16	15.28	0.30	8.96	0.04	1.24	2.16	41.41	53.95	72.71	483.46
1999	123.07	129.85	108.62	50.76	2.34	0.67	3.16	0.19	54.26	20.58	28.47	132.60	654.56
2000	145.80	113.58	123.76	25.06	5.12	6.40	5.76	13.12	30.49	56.67	17.75	78.82	622.34
2001	207.93	152.79	154.98	60.86	18.28	1.65	20.46	33.48	27.36	66.77	70.00	89.34	903.90
2002	95.03	176.99	154.80	71.54	10.97	2.07	38.89	4.44	43.12	46.66	80.72	130.61	855.84
2003	123.06	128.82	136.04	24.30	7.26	9.34	1.23	24.96	10.28	22.72	27.63	140.11	655.75
2004	139.34	101.51	94.18	31.99	8.29	19.82	22.92	26.76	28.87	38.31	56.96	115.63	684.57
2005	67.99	119.63	109.26	26.72	3.81	0.23	2.23	7.51	12.72	31.88	62.26	97.71	541.96
2006	145.21	110.40	172.15	67.74	1.09	6.22	0.65	18.88	13.74	58.65	76.37	121.05	792.16
2007	120.74	97.25	139.13	43.87	6.48	0.54	8.11	3.48	3.04	44.93	54.81	86.81	609.20
2008	135.34	121.04	79.38	24.70	11.45	8.11	0.80	9.90	12.99	50.08	57.27	149.52	660.58
2009	103.65	106.17	99.78	35.75	3.39	0.25	8.49	4.89	22.31	14.60	134.66	104.49	638.43
2010	180.32	99.43	133.62	6.29	2.11	1.35	4.90	8.77	11.01	49.42	33.62	151.52	682.36
2011	118.29	169.93	139.52	68.79	2.71	5.86	14.25	1.47	53.96	38.62	35.52	141.51	790.43
2012	109.69	173.04	77.97	11.08	2.73	3.84	3.68	4.29	33.83	20.05	79.05	168.44	687.69
2013	141.58	152.70	111.97	27.57	8.29	3.13	6.75	23.71	13.38	71.53	70.25	156.28	787.13
2014	150.96	106.81	75.58	40.56	14.49	0.55	1.82	4.07	6.36	39.31	34.47	116.35	591.31
2015	140.04	126.87	98.14	88.71	13.79	2.21	14.24	16.66	11.35	23.24	65.68	104.14	705.07
2016	97.35	116.44	49.11	36.22	6.92	3.07	13.55	2.81	19.11	41.20	19.68	70.85	476.32
2017	83.71	93.41	121.72	55.12	24.09	1.43	11.82	34.60	18.52	30.86	35.07	96.03	606.38
2018	121.35	157.27	143.26	59.26	5.90	1.49	2.65	14.41	43.36	42.16	39.35	114.52	744.98
2019	71.18	107.11	146.26	37.47	3.07	1.20	6.63	10.10	13.22	36.86	26.54	138.38	598.02
2020	136.64	126.54	112.08	15.45	2.03	1.80	16.78	16.58	28.79	25.49	24.61	90.98	597.77
Media	121.28	116.08	113.34	40.90	7.26	4.89	6.71	12.70	22.46	39.13	57.83	110.58	653.15
Desviacion	31.877606	29.747186	36.539145	21.943084	4.7469393	7.7350251	9.1848656	11.171416	15.16562	15.946621	25.313635	31.075146	112.58081
C.V	0.2628478	0.2562671	0.3223951	0.5365205	0.6534009	1.5828557	1.3686707	0.8794926	0.67517	0.4075728	0.437758	0.2810161	0.1723655
MAX	207.92528	176.98887	172.14776	98.748798	18.950707	38.908843	38.894976	36.882975	64.136306	82.937112	134.65706	168.43646	903.90245
MIN	65.018903	57.584348	46.879503	6.294487	0.296671	0.055628	0.039458	0.191653	2.157932	14.59755	17.749194	51.038124	336.21459

Fuente: Elaboración propia



Tabla 69: Precipitación de datos de las estaciones meteorológicas extendidas - Ccatca

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1981	211.54	138.41	143.29	42.13	6.18	0.60	0.00	7.51	12.87	78.15	78.20	91.89	810.78
1982	180.42	88.73	122.29	26.21	0.38	1.28	1.65	3.78	18.98	64.61	65.55	55.76	629.63
1983	78.66	67.24	47.17	14.19	5.73	0.51	0.42	4.23	3.31	25.76	22.72	56.37	326.30
1984	169.05	155.03	70.74	53.06	0.28	1.44	2.33	11.12	3.87	115.52	45.93	76.10	704.47
1985	135.30	128.75	68.39	27.41	19.23	8.00	1.92	0.00	33.20	75.14	69.01	99.33	665.66
1986	98.19	89.58	126.03	30.81	5.34	0.00	5.14	1.58	10.30	27.12	27.61	52.35	474.05
1987	206.76	97.04	52.92	13.00	3.11	1.71	21.91	0.00	7.23	55.16	66.12	85.94	610.89
1988	120.21	98.58	157.42	72.01	12.56	0.00	0.00	0.06	9.43	53.84	30.24	78.19	632.54
1989	150.50	126.97	129.55	38.32	7.53	3.93	0.00	4.89	19.88	37.86	45.25	51.91	616.58
1990	141.68	98.17	55.94	32.01	4.87	29.28	0.00	2.92	7.28	76.65	68.53	83.78	601.11
1991	95.57	161.75	84.48	21.39	7.04	10.58	0.39	0.00	16.66	40.67	49.90	64.80	553.22
1992	115.65	105.30	61.13	9.51	1.94	8.96	0.03	13.78	3.38	56.25	60.42	40.78	477.13
1993	182.97	111.29	87.38	23.47	1.21	1.01	2.46	12.93	14.46	44.36	58.99	111.27	651.81
1994	114.30	150.49	118.03	35.56	8.57	0.00	0.00	0.51	14.60	51.73	34.95	98.03	626.76
1995	104.15	95.44	117.95	22.09	6.58	0.00	1.07	0.32	13.42	24.50	49.00	70.00	504.52
1996	161.17	130.26	69.08	25.50	5.91	0.00	0.04	14.25	15.09	57.67	35.98	84.86	599.82
1997	134.06	142.05	111.13	15.03	7.19	0.00	0.03	6.16	7.27	36.14	68.27	79.11	606.44
1998	109.66	128.85	63.87	11.14	0.22	4.27	0.00	0.17	1.30	52.24	43.17	54.42	469.30
1999	137.50	146.34	101.79	37.83	1.55	0.31	1.32	0.01	29.41	30.94	21.71	97.14	605.84
2000	154.28	148.04	95.56	16.78	5.50	4.03	3.49	5.11	14.76	74.08	14.49	63.37	599.49
2001	271.97	153.31	128.75	29.08	16.36	0.06	16.07	14.48	16.71	96.11	51.95	62.57	857.44
2002	108.30	203.51	119.98	28.74	8.43	0.00	26.31	0.66	19.68	55.41	53.33	90.84	715.20
2003	158.71	161.73	168.92	20.23	3.99	4.86	0.02	11.74	6.75	30.13	17.46	108.31	692.85
2004	159.67	121.24	77.90	18.66	6.93	16.60	16.21	8.29	15.28	45.47	46.44	68.99	601.69
2005	76.92	141.60	91.13	23.07	3.00	0.00	1.48	3.19	6.56	38.55	45.49	74.65	505.63
2006	197.83	109.48	121.20	50.25	0.09	3.99	0.00	6.64	5.59	85.14	58.37	72.98	711.55
2007	157.94	108.90	142.68	30.62	5.40	0.00	5.39	0.62	0.44	55.52	43.70	55.27	606.49
2008	151.01	125.45	49.92	13.83	12.27	6.31	0.00	3.93	8.84	67.42	51.22	115.44	605.65
2009	121.06	110.15	71.38	27.34	4.03	0.00	4.93	1.12	9.75	12.54	85.75	73.59	521.62
2010	218.08	103.02	99.12	2.03	1.47	0.00	1.98	4.80	5.70	67.57	21.29	121.92	646.98
2011	135.68	214.55	117.06	53.92	1.22	2.86	7.30	0.00	26.29	56.85	34.74	92.82	743.30
2012	108.91	186.04	40.29	4.78	2.19	1.11	2.26	0.86	15.40	15.18	65.23	124.06	566.31
2013	155.42	163.18	80.98	18.15	5.54	1.78	4.82	8.50	7.56	117.09	49.35	111.70	724.06
2014	169.90	126.71	56.97	31.67	10.27	0.00	1.55	0.42	5.00	54.37	17.94	77.94	552.74
2015	171.13	137.30	74.44	65.30	11.93	0.25	8.89	6.00	6.78	25.89	40.27	88.68	636.88
2016	97.18	108.86	48.02	20.67	6.27	1.15	7.53	0.71	13.37	65.96	19.37	46.99	436.05
2017	258.91	148.65	128.90	25.22	11.50	19.60	4.41	8.64	25.78	68.41	59.15	64.51	823.68
2018	95.34	154.09	59.57	39.45	16.96	7.17	0.55	3.35	43.43	65.97	32.50	64.74	583.12
2019	125.03	174.72	99.57	72.05	38.33	8.75	2.63	13.84	28.37	96.46	61.77	79.66	801.18
2020	147.17	143.48	88.51	73.72	7.04	6.43	1.07	15.03	22.05	38.78	36.65	91.65	671.58
Media	147.19	132.61	93.74	30.41	7.10	3.92	3.89	5.05	13.65	55.93	46.20	79.57	619.26
Desviación	42.426948	32.278835	34.278629	15.867931	4.5159008	5.7921496	6.3973056	4.6905489	7.5899053	24.939653	18.529265	22.085768	104.5876
C.V	0.288239	0.2434179	0.3656936	0.5218667	0.6356942	1.4775279	1.6443903	0.9282032	0.5560054	0.4459064	0.401063	0.277572	0.1688915
MAX	271.97043	214.55316	168.92072	72.014	19.23088	29.281059	26.308401	14.482284	33.195259	117.0857	85.748211	124.06168	857.44419
MIN	76.921627	67.242224	40.289487	2.031665	0.085999	0	0	0	0.438315	12.539908	14.493373	40.777076	326.30387

Fuente: Elaboración propia



Tabla 70: Precipitación de datos de las estaciones meteorológicas extendidas - Aymaña

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1981	187.14	107.46	102.15	82.14	30.44	2.69	1.87	42.01	45.06	59.78	91.11	155.41	907.24
1982	208.53	71.10	103.03	56.51	4.63	2.65	3.51	7.95	41.49	46.13	130.59	94.66	770.79
1983	137.32	73.33	81.76	46.99	51.79	2.57	3.65	3.37	5.56	16.79	36.08	104.94	564.15
1984	175.84	99.67	134.73	42.04	35.71	10.57	9.94	20.86	11.85	86.47	163.95	159.01	950.64
1985	169.99	97.24	131.08	87.58	64.51	8.02	2.45	2.39	76.27	19.47	134.98	167.80	961.78
1986	168.61	102.56	120.40	87.78	43.42	1.53	3.03	17.12	55.96	7.67	66.85	149.82	824.76
1987	176.89	80.28	83.05	32.86	16.31	4.82	74.81	11.49	16.89	32.06	125.73	140.98	796.15
1988	151.24	76.07	126.66	116.70	91.62	0.86	1.33	0.67	18.25	32.35	19.50	109.99	745.23
1989	169.90	105.79	98.18	69.36	48.97	14.40	2.34	60.03	65.28	30.74	55.00	107.21	827.21
1990	172.91	97.99	85.72	67.45	37.90	75.86	0.29	11.37	17.99	60.50	59.05	83.39	770.42
1991	166.24	75.99	81.42	42.30	63.71	37.07	0.66	1.31	15.99	37.70	50.40	98.31	671.11
1992	132.60	76.83	48.80	20.29	5.56	12.82	1.91	72.67	12.30	35.57	86.03	84.93	590.31
1993	172.87	80.26	100.96	75.66	15.79	13.17	13.03	43.19	29.78	53.54	101.29	160.36	859.90
1994	210.84	106.41	94.71	78.82	47.00	3.41	1.07	9.50	22.35	32.68	77.83	165.82	850.43
1995	127.51	84.91	122.91	44.11	24.12	3.10	6.52	2.15	29.38	25.09	94.46	111.09	675.34
1996	190.64	100.60	95.42	53.85	61.25	1.09	11.03	35.47	32.35	39.58	79.33	180.13	880.75
1997	147.58	121.06	141.37	47.38	39.97	1.62	3.05	38.68	37.53	36.94	131.04	127.82	874.05
1998	157.49	108.65	101.86	21.76	3.77	10.19	1.37	8.89	7.07	81.09	90.04	69.37	661.57
1999	150.71	103.23	95.19	95.22	43.21	7.13	4.29	0.58	47.79	30.81	49.67	132.80	760.62
2000	171.75	106.00	89.44	31.12	26.84	21.65	10.79	17.20	22.78	82.04	29.21	121.89	730.72
2001	253.76	146.56	142.27	68.97	97.58	3.51	15.34	35.07	32.08	63.15	70.06	75.79	1004.13
2002	111.96	158.85	128.67	73.82	61.46	12.86	71.57	22.22	61.86	55.94	92.77	135.43	987.42
2003	187.69	111.98	120.70	44.81	55.45	16.00	7.35	30.59	20.65	26.47	34.79	145.07	801.55
2004	186.29	94.49	92.52	45.27	29.68	16.48	23.84	48.20	40.01	32.04	63.58	142.79	815.18
2005	112.98	119.40	78.09	25.52	17.92	0.71	4.81	6.76	16.90	53.77	86.24	106.13	629.24
2006	214.27	87.13	83.99	74.56	18.46	15.13	3.45	23.30	28.14	48.45	110.90	143.10	850.89
2007	184.33	71.23	112.47	68.60	36.41	4.40	14.53	6.01	24.52	44.79	69.60	99.34	736.23
2008	222.71	93.94	75.33	31.01	32.94	11.61	2.93	10.14	14.78	57.26	54.11	169.86	776.62
2009	159.78	115.64	77.44	39.42	21.83	0.82	16.28	6.60	27.20	29.94	136.07	127.06	758.07
2010	233.08	113.86	91.74	39.67	39.52	7.16	6.98	12.96	12.77	40.86	39.57	158.18	796.36
2011	153.86	149.41	88.02	90.68	33.48	14.17	20.56	11.72	50.86	38.70	40.38	153.32	845.15
2012	184.47	157.65	94.77	56.09	7.69	17.39	8.53	7.24	45.16	33.71	71.48	196.21	880.38
2013	261.88	111.44	93.16	29.13	66.54	19.47	4.09	22.69	7.40	56.75	82.86	200.26	955.66
2014	216.03	93.92	88.88	61.01	46.91	3.39	7.61	22.21	51.68	48.59	59.18	196.07	895.50
2015	223.86	90.27	123.05	116.09	64.26	7.80	17.96	20.00	25.73	22.90	96.63	169.05	977.61
2016	168.01	110.96	72.64	75.47	18.86	5.09	24.79	14.86	32.38	55.61	32.86	109.70	721.24
2017	199.73	111.25	124.94	77.34	9.05	3.37	2.42	13.44	15.48	31.30	87.81	138.67	814.80
2018	182.64	108.17	99.87	50.99	23.96	1.60	2.88	8.61	37.99	72.14	84.84	94.92	768.61
2019	190.24	92.16	116.44	151.01	24.43	3.62	24.39	8.33	25.32	33.05	104.32	115.82	889.13
2020	163.09	96.70	105.04	41.43	17.67	5.02	8.37	2.91	18.25	29.86	93.68	133.82	715.84
Media	178.38	102.84	100.07	59.45	39.04	10.87	11.32	19.65	30.67	43.22	78.15	134.81	808.45
Desviación	35.575072	22.965124	21.596041	25.215229	22.874144	13.539268	16.624093	17.442433	17.668329	18.154331	35.068111	35.063357	111.36021
C.V	0.1994385	0.2233153	0.2158067	0.4241698	0.5858855	1.2459405	1.4684826	0.8875762	0.5761137	0.4200337	0.4487531	0.2600981	0.1377445
MAX	261.87649	158.85338	142.2691	116.70136	97.584722	75.860248	74.805053	72.672488	76.265712	86.471135	163.95315	200.26305	1004.1302

Fuente: Elaboración propia



3.6.2.8. Modelo hidrológico de Lutz Scholz.

Tomando en cuenta la calibración del modelo respecto a la serranía sur del país, el modelo es ampliamente usado por entidades públicas para el estudio adecuado de caudales.

3.6.2.8.1. Temperatura media

Se realizó un cuadro con la información de temperatura media mensual promedio de cada estación para el estudio correspondiente.

Así, se muestra la tabla 71 respecto a la temperatura media mensual.

Tabla 71: Temperatura media mensual

Temperatura Media Mensual (°C)													
Estación	Altitud	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Sibinacocha	4,880	8.34	7.89	8.16	7.40	5.18	2.73	1.75	3.01	5.37	7.31	8.32	8.84
Quisoquipina	5,157	7.99	7.54	7.71	6.82	4.99	3.41	2.38	3.86	5.72	7.32	8.07	8.51
Aymaña	4,175	7.83	7.48	7.52	6.70	5.53	4.43	3.43	4.91	6.60	7.96	8.36	8.27
Ccatca	3,681	14.07	13.94	13.93	13.71	12.20	11.12	10.96	12.09	13.48	14.55	14.75	14.63
Huayllapampa	3,358	12.79	12.70	12.64	12.20	10.39	8.70	8.39	9.55	11.27	12.33	13.07	13.13

Fuente: Elaboración propia

Determinando el promedio anual se tendrá la tabla 72 respecto al promedio anual.

Tabla 72: Promedio anual de temperatura media

Estación	Prom. Anual
Sibinacocha	6.19
Quisoquipina	6.19
Aymaña	6.59
Ccatca	13.29
Huayllapampa	11.43

Fuente: Elaboración propia

Debido a que hemos realizado una adecuada regionalización y corregimos los datos meteorológicos, no requeriremos una corrección de dichos datos.

3.6.2.8.2. Cálculo de ETP

Para poder calcular la evapotranspiración por Hargreaves se recopilan los siguientes datos:

- RA = Radicación acumulada
- RSM = Radiación Solar Media



- n/N = Relación entre horas sol
- T ($^{\circ}F$) = Temperatura en grados Fahrenheit
- AL = Altitud
- FA = Factor de Altura
- ETP = evapotranspiración

De la misma manera, aplicaremos el cálculo correspondiente según formulación para Hergreaves-Sanamhi.

La evapotranspiración se calcula como:

$$ETP = 0.0075 * RSM^{*0} * F * FA$$

donde:

RSM = radiación solar incidente mensual en su equivalente a evaporación (mm/mes)

$$RSM = 0.075 * RMM * S^{1/2}$$

- RMM = radiación solar mensual al tope de la atmósfera extraterrestre en su equivalente a evaporación (mm/mes)
- S = porcentaje horas de sol mensual observado, referido al total probable mensual. (n/N)
- $^{\circ}F$ = temperatura en $^{\circ}F$.
- FA = factor de altura (Alt. en Km)

$$FA = 1 + 0.06 * Alt$$

Aplicando el método de Hergreaves-Sanamhi, se muestra la tabla 73

Tabla 73: Cálculo de ETP según Hergreaves- Sanamhi

EVAPOTRANSPIRACION POR HARGREAVES III														
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
Temperatura por meses	T ($^{\circ}C$)	9.95	9.64	9.74	9.08	7.36	5.76	5.02	6.34	8.16	9.60	10.24	10.43	
	T ($^{\circ}F$)	49.91	49.35	49.53	48.35	45.25	42.36	41.04	43.40	46.69	49.29	50.43	50.77	
Horas de Sol Media Mensual	n	141.89	132.53	155.88	187.85	227.98	227.27	245.60	241.52	209.28	202.82	180.88	157.59	2,311.09
Horas de Sol Media Mensual Pt	N	397.64	351.44	377.45	354.00	354.91	338.19	352.56	361.11	360.00	385.99	382.54	400.74	4,416.56
Radiación Media Mensual (mm)	RM	517.36	458.90	474.64	411.98	376.44	337.30	360.94	400.91	435.65	489.80	494.68	511.50	5,270.09
Radiación Solar Incidente (mm)	RSM	231.79	211.35	228.76	225.08	226.28	207.38	225.94	245.90	249.12	266.29	255.12	240.57	2,813.59
Evapotranspiración	EP	109.30	98.55	107.04	102.82	96.74	83.00	87.61	100.84	109.90	124.00	121.56	115.39	1,256.75



Fuente: Elaboración propia

En esta investigación, será más relevante el cálculo de ETP por Hergreaves-Sanamhi

3.6.2.8.3. Retención de la cuenca.

La sostenibilidad de la cuenca depende de la pendiente de los distintos cuerpos de agua, así como de los acuíferos. Según INAIGEM en su documento “Las cordilleras glaciares del Perú” (2018) La siguiente tabla muestra el número total de lagos y lagunas de nieve respecto al punto de interés Tinki.

La tabla 74 muestra el área de lagos/lagunas en la cuenca de la laguna Singrinacocha

Tabla 74: Área de lagos/lagunas en la cuenca Singrinacocha.

NOMBRE	ÁREAS (KM)
	0.008
Laguna Pucacocha	0.16455
Laguna Minaparayoc	0.05073
Laguna Comercocha	0.13669
	0.00856
Laguna Caycocha	0.07865
	0.03941
Laguna Chullompiococha	0.00913
Laguna Quilhuacocha	0.01008
Laguna Quilhuacocha	0.01015
	0.01098
TOTAL	0.52693

Fuente: Elaboración propia

Según lo estipulado por (Plan MERISS, 1980) definimos para el cálculo de retención la tabla 75:

Tabla 75: Lámina acumulada por año

<u>TIPO</u>	<u>LAMINA ACUMULADA MM/AÑO</u>		
Napa freatica	Pendiente de la cuenca		
	2%	8%	15%
	300	250	200
Laguna pantanos	500		
Nevados	500		

Fuente: Plan MERISS



Usando el software ArcGis, discretizamos la cuenca en las pendientes correspondientes a la cuenca y de esta manera, poder hallar la clasificación correspondiente respecto a los acuíferos de la cuenca mostrados en la tabla 76.

Tabla 76: Tabla de discretización de pendientes

PENDIENTE (%)	AREA (km2)
2%	9.671203
4%	8.175794
6%	34.14701
8%	85.45613
15%	119.4291
20%	182.2345
25%	64.49877
>25%	29.60756

Fuente: Elaboración propia

De la misma manera y se muestra la tabla 77:

Tabla 77: Cálculo de retención

TIPO		FACTOR	ÁREAS	ÁREA TOTAL CUENCA (km2)
NAPA FREÁTICA	2%	300	5.503	87.21
	8%	250	7.66	
	15%	200	9.65	
LAGUNAS		500	3.38	
NEVADOS		500	30.16587	

Fuente: Plan Meriss (1980)

Esto quiere decir que, según la discretización de la cuenca por las pendientes ya establecidas, se multiplicará un factor por cada área encontrada en la napa freática correspondiente.

Con la retención correspondiente y la aplicación de la ecuación 2 se obtiene:

$$\text{RETENCIÓN} = 255.35$$



3.6.2.8.4. *Coficiente de escurrimiento.*

$$C_1 = 0.914 - 2.36 * 10^{-4} * P_C - 0.0581 * T_C$$

Ecuación 99

$$C_2 = 0.682 - 0.0526 * T_C - 1.36 * 10^{-4} * T_C^2$$

Ecuación 100

$$C_3 = 1.813 - 1.87 * 10^{10-4} * P_C - 1.12^{-3}$$

Ecuación 101

$$C_4 = 5.21 - 7.31 * 10^{-3} * ETP + 2.68 * 10^{-6}$$

Ecuación 102

$$C_5 = 3.16 * 10^{12} * P_C^{-0.571} * ETP^{-3.686}$$

Ecuación 103

$$C_6 = 6.47 - 0.0691 * \ln(P_C) - 0.8 * \ln(ETP)$$

Ecuación 104

$$C_7 = \frac{P_C - D_1}{P_C}$$

Ecuación 105

$$C_8(\text{TURC}) = \frac{P_C - D_2}{P_C}$$

Ecuación 106

De esta manera, se aplica desde la ecuación 99 hasta la ecuación 106 para la conformación de la tabla 78 en el cálculo del coeficiente de escurrimiento.



Tabla 78: Cálculo del coeficiente de escurrimiento

DESCRIPCION	VARIABLE	FORMULA	PARAMETRO
Temperatura media	T_{MED}		11.3
Evapotranspiracion	EP	$75 * 0.075 * Ra * ((n/N * 100)^{0.5}) * T_{MED} * (1 + 0.06 * H)$	1124
Precipitación Media	P_{MED}		793
Déficit de Escurrimiento f(EI)	D	$0.872 * P_{MED} + 1.032 * EP - 1380$	472.4
Coeficiente de Escorrentía	C_1	$0.914 - 0.000236 * P_{MED} - 0.0581 * T_{MED}$	0.071
	C_2	$0.682 - 0.0526 * T_{MED} - 0.000136 * T_{MED}^2$	0.071
	C_3	$1.813 - 0.000187 * P_{MED} - 0.00112 * EP$	0.405
	C_4	$5.21 - 0.00731 * EP + 0.00000268 * EP^2$	0.379
	C_5	$3.16E12 * P_{MED}^{\wedge} - 0.571 * EP^{\wedge} - 3.688$	0.391
	C_6	$6.47 - 0.0691 * Ln(P_{MED}) - 0.8 * Ln(EP)$	0.389
	C_7	$(P_{MED} - D) / P_{MED}$	0.405
	C_{PROM}		0.323
	C	Coeficiente de Escorrentía adoptado	0.391
Coeficientes de PE	C_{I-II}	$(C * P_{MED} - PE_{II}) / (PE_I - PE_{II})$	-0.47
Curva USBR (I y II)	C_{II-I}	$(C * P_{MED} - PE_I) / (PE_{II} - PE_I)$	1.47
Coeficientes de PE	C_{II-III}	$(C * P_{MED} - PE_{III}) / (PE_{II} - PE_{III})$	0.49
Curva USBR (II y III)	C_{III-II}	$(C * P_{MED} - PE_{II}) / (PE_{III} - PE_{II})$	0.51

Fuente: Elaboración propia

3.6.2.8.5. Cálculo del coeficiente de agotamiento.

Este coeficiente se encuentra en función a determinadas cualidades de la cuenca. Así, según lo estipulado en Plan MERISS en “Generación de caudales mensuales en la sierra peruana Meriss II” (p.30, 1980) se tiene la tabla 79.

Tabla 79: Panorama del coeficiente de agotamiento

PANORAMA	FORMULA
1. Sea una cuenca de agotamiento muy rápido por temperatura elevada $> 10^{\circ}C$ 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	$a = -0.00252 * \ln(AR) + 0.026$



y vegetación mezclada (pastos bosques o terrenos	
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°C y retención R reducida a mediana (50 a 80 mm/año)	$a = -0.00252 * \ln(AR) + 0.032$

Fuente: Frisancho&Luna (2018)

De esta manera, se obtiene según a la zona en la cual se centra nuestra cuenca y zona de estudio lo siguiente:

Coefficiente de Agotamiento	a	$E67*AR^-0.1144*EP^-19.336*DTS^-3.369*R^-$	0.002
		$-0.00252 * \ln AR + 0.023$	0.007

Tomando en cuenta el promedio de los dos resultados, se obtiene un promedio de 0.04.

3.6.2.8.6. Generación de caudales

3.6.2.8.6.1. 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.

Así, según lo estipulado en Plan MERISS en “Generación de caudales mensuales en la sierra peruana Meriss II” (p.26, 1980) se tienen las tablas 80,81 y 82.

Tabla 80: 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

Si no se cumplen las anteriores condicionales se generan las siguientes:

$$PE = a0 + a1 * P + a2 * P^2 + a3 * P^3 + a4 * P^4 + a5 * P^5$$



De esta manera se obtiene:

Tabla 81: Valores obtenidos de los coeficientes

	CURVA I	CURVA II	CURVA III
a0	-0.018	-0.021	-0.028
a1	-0.0185	0.1358	0.2756
a2	0.001105	-0.002296	-0.004103
a3	-1.20E-05	4.35E-05	5.53E-05
a4	1.44E-07	-8.90E-08	1.24E-07
a5	-2.85E-10	-8.79E-11	-1.42E-09

Fuente: Elaboración propia

Obteniendo valores vistos en la tabla 82:

Tabla 82: Valores contrastados con la fórmula

COEFICIENTES DE PRECIPITACIÓN EFECTIVA					
ENTRE I Y II			ENTRE II Y III		
$C * P_c - PEII$	C1 =	0.70503	$C * P_c - PEIII$	C1 =	0.2510459
$CI = \dots\dots\dots$			$CI = \dots\dots\dots$		
$PEI - PEII$		043	$PEII - PEIII$		0
$C * P_c - PEI$	C2 =	1.70503	$C * P_c - PEII$	C2 =	0.7489541
$C2 = \dots\dots\dots$			$C2 = \dots\dots\dots$		
$PEII - PEI$		043	$PEIII - PEII$		0

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 mostrada anteriormente para que el cálculo se efectuó, en caso salga negativo, el valor de la precipitación será 0. Así, se tiene la tabla 83 respecto al cálculo de las curvas de precipitación correspondientes a la presente investigación.

Tabla 83: Cálculo de las curvas de precipitación

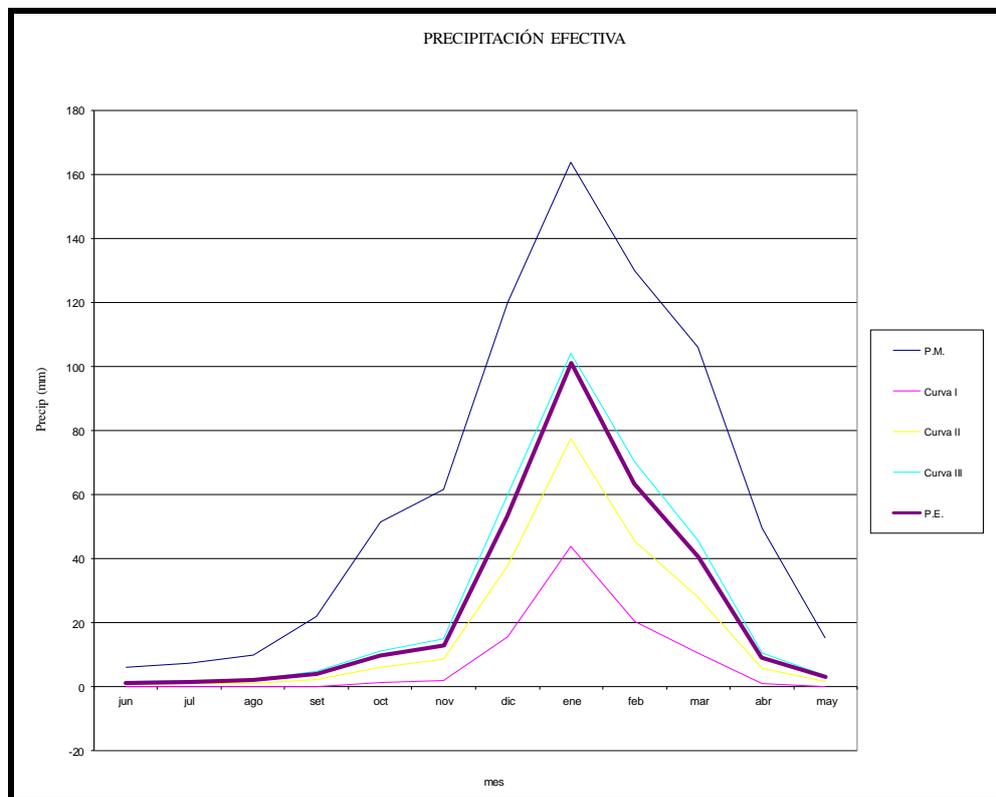


MES	P.M. (mm)	P.E.(i)				
		CURVA I	CURVA II	CURVA III	PE(I-II)	PE(II-III)
jun	6.0	-0.1	0.7	1.5	1.3	1.3
jul	7.3	-0.1	0.9	1.8	1.5	1.6
ago	9.8	-0.1	1.1	2.3	2.0	2.0
set	21.9	0.0	2.3	4.6	3.9	4.0
oct	51.4	1.2	6.1	11.2	9.6	9.9
nov	61.8	2.1	8.5	14.9	13.0	13.3
dic	120.0	15.6	37.7	60.0	53.3	54.4
ene	163.9	43.8	77.5	104.2	101.2	97.5
feb	129.8	20.2	45.5	70.1	63.3	63.9
mar	106.1	10.5	28.0	45.7	40.4	41.3
abr	49.5	1.1	5.8	10.6	9.1	9.4
may	15.4	-0.1	1.7	3.5	2.9	3.0
	742.8	94.2	215.8	330.3	301.6	301.6

Fuente: Elaboración propia

Realizando el gráfico correspondiente se tiene:

Figura 127: Gráfica de curvas de precipitación efectiva



Fuente: Elaboración propia

- Cálculo de gasto

Para proceder con el cálculo correcto de la generación de caudales correspondiente, deberemos de resaltar que requerimos un cálculo de gasto según el Plan MERISS (1980) que se describe a continuación.



$$b_i = (e^{-a*t})^i$$

Ecuación 108

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 debido a la condición crítica en la cual una cuenca genera sus caudales medios mensuales, para el cálculo de gasto adicionalmente se deberá aplicar la siguiente fórmula.

$$G_i = b_i * \frac{R}{\sum b_i}$$

Ecuación 109

Donde:

- R = Retención de la cuenca

A su vez para calcular el abastecimiento se aplica la fórmula establecida en “Generación de caudales mensuales en la sierra peruana del Plan MERISS (p.46, 1980)

$$A_i = a_i * R$$

Ecuación 110

Donde:

- R = Retención de la cuenca Aplicando las anteriores fórmulas calculamos tanto el gasto como el abastecimiento de los meses del año,

De esta manera se tiene la tabla 84 respecto al gasto y abastecimiento efectuado en la cuenca referencial Tinki. Como se especifica en la ecuación 108 solo se toma de referencia los meses de estiaje al tener coeficiente de abastecimiento.



Tabla 84: Gasto y abastecimiento de la cuenca Tinki

mes	días	P.M. mm	P.E. mm	b	G mm/mes	a	A mm/mes
abr	30	52.75	9.07	0.88	28.68		
may	31	16.48	2.74	0.77	25.12		
jun	30	6.42	1.19	0.67	22.00		
jul	31	8.03	1.46	0.59	19.27		
ago	31	11.01	1.94	0.52	16.88		
set	30	24.07	3.80	0.45	14.78		
oct	31	55.07	9.71	0.40	12.94	0.00	0.00
nov	30	66.12	13.35	0.35	11.34	0.05	7.55
dic	31	127.49	56.03			0.35	52.85
ene	31	172.68	99.99			0.40	60.40
feb	28	140.34	68.03			0.20	30.20
mar	31	113.04	42.93			0.00	
TOTAL		793.48	310.23	4.61	151.00		151.00

Fuente: Elaboración propia

3.6.2.8.6.2. Caudales generados

Aplicando la fórmula propuesta “Generación de caudales mensuales en la sierra peruana del Plan MERISS (p.48, 1980) se tiene:

$$Q = PE + G_i - A_i$$

Ecuación 111

Se genera la tabla 85 para los caudales generados y aforados correspondientes.

Tabla 85: Caudales generados y aforados

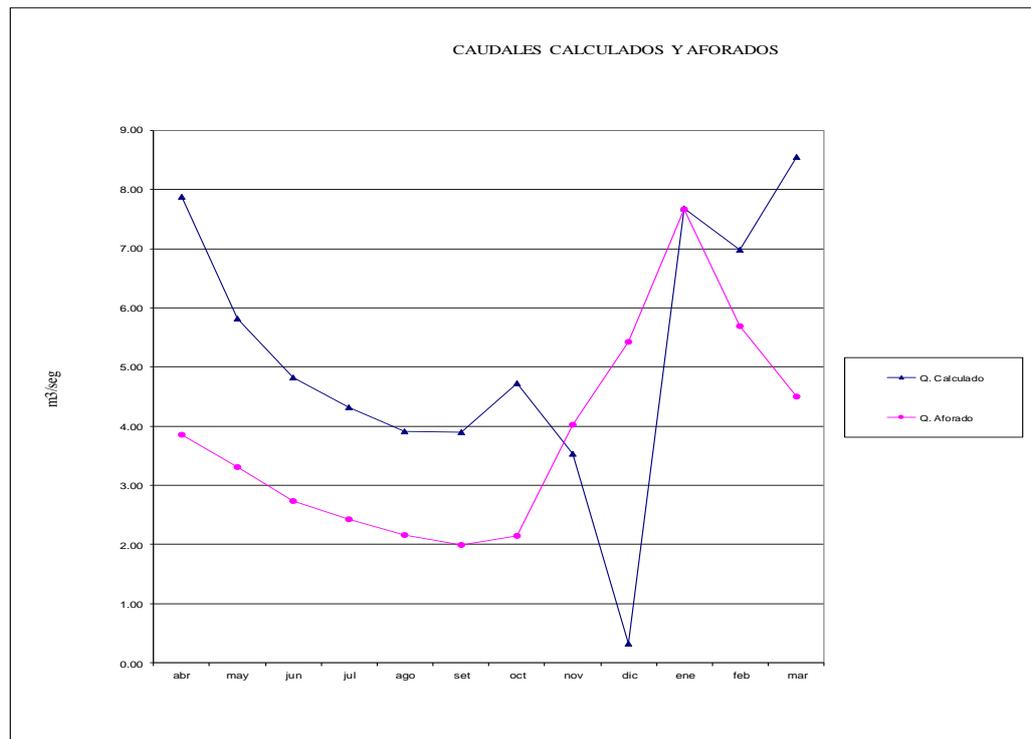


mes	Q't mm/mes	Q m3/seg	Qa (mm/mes)	Qaforado m3/seg
abr	37.75	7.81	37.75	5.53
may	27.86	5.77	28.79	5.68
jun	23.19	4.80	23.19	4.14
jul	20.73	4.29	21.42	3.35
ago	18.81	3.89	19.44	3.21
set	18.58	3.84	18.58	3.12
oct	22.65	4.69	23.40	3.72
nov	17.14	3.55	17.14	5.87
dic	3.18	0.66	3.28	8.09
ene	39.59	8.19	40.91	8.28
feb	37.83	7.83	35.31	7.53
mar	42.93	8.89	44.36	6.52
TOTAL	310.23	64.21		65.05

Fuente: Elaboración propia

Asimismo, para una mejor visión de retratado, se observa la figura 128 con la cual observamos cierta tendencia del caudal aforado y el caudal calculado.

Figura 128: Distribución de caudales aforados y generados



Fuente: Elaboración propia

Para realizar la validación correspondiente se aplica la comparativa mostrada en la tabla 86.

Tabla 86: Comparativa entre los caudales aforados y calculados



mes	dias	Q't mm/mes	Q m3/seg	Qa (mm/mes)	Qaforado m3/seg
abr	30	37.75	7.81	37.75	5.53
may	31	27.86	5.77	28.79	5.68
jun	30	23.19	4.80	23.19	4.14
jul	31	20.73	4.29	21.42	3.35
ago	31	18.81	3.89	19.44	3.21
set	30	18.58	3.84	18.58	3.12
oct	31	22.65	4.69	23.40	3.72
nov	30	17.14	3.55	17.14	5.87
dic	31	3.18	0.66	3.28	8.09
ene	31	39.59	8.19	40.91	8.28
feb	28	37.83	7.83	35.31	7.53
mar	31	42.93	8.89	44.36	6.52
TOTAL		310.23	64.21		65.05

Fuente: Elaboración propia

3.6.2.8.6.3. Calibración y validación

Realizamos el análisis mediante la prueba T para medias emparejadas. El cálculo para los valores de la anterior tabla 86 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 116
- ▀ Columna 8: Col 2 – Col 7
- ▀ Columna 9: (Col 8)²
- ▀ Columna 10: Aplicamos la fórmula 117

Adicionalmente se calcularon valores mediante las siguientes fórmulas:

$$a = \frac{\sum y * \sum x^2 - \sum x * y * \sum x}{n * \sum x^2 - (\sum x)^2}$$

Ecuación 112



$$b = \frac{n * \sum x * y - \sum y * \sum x}{n * \sum x^2 - (\sum x)^2}$$

Ecuación 113

$$\text{Coeficiente 1} = \frac{n * \sum x * y - \sum y \sum x}{\sqrt{(n * \sum x^2 - (\sum x)^2) * (n * \sum y^2 - (\sum y)^2)}}$$

Ecuación 114

$$\text{Coeficiente 2} = 1 - \frac{\text{Col 9}}{\text{Col 10}}$$

Ecuación 115

$$\text{Col 7} = \text{Col 3} * b + a$$

Ecuación 116

$$\text{Col 10} = (\text{Col 2} - \text{Prom}_{\text{Col 2}})^2$$

Ecuación 117

Donde:

- a = Intercepción
- b = x1
- Coeficiente 1 = Coeficiente de correlación simple
- Coeficiente 2 = Coeficiente de determinación.

3.6.2.8.6.3.1. Calibración del modelo Lutz Scholz.

Generando el análisis de regresión lineal se obtiene en la tabla 87 lo siguiente:

Tabla 87: Regresión múltiple en la calibración del modelo Lutz Scholz



ANÁLISIS DE REGRESIÓN MÚLTIPLE									
n	y	x	x*y	x^2	y^2	Y Calculada	(y-Y)	e^2	y-Yprom
1	3.35	4.26	14.28	18.18	11.22	4.09	-0.74	0.55	4.29
2	3.21	3.54	11.37	12.52	10.33	3.72	-0.51	0.26	4.87
3	3.12	3.55	11.06	12.59	9.72	3.73	-0.61	0.37	5.31
4	3.72	4.15	15.42	17.20	13.82	4.03	-0.31	0.10	2.90
5	5.87	4.69	27.52	21.95	34.49	4.30	1.57	2.46	0.20
6	8.09	7.53	60.95	56.70	65.51	5.74	2.35	5.53	7.15
7	8.28	10.82	89.53	117.02	68.49	7.40	0.87	0.76	8.15
8	7.53	12.07	90.90	145.65	56.73	8.04	-0.50	0.25	4.46
9	6.52	10.31	67.24	106.33	42.52	7.15	-0.63	0.39	1.21
10	5.53	9.79	54.12	95.93	30.54	6.89	-1.36	1.85	0.01
11	5.68	6.69	38.04	44.80	32.30	5.32	0.36	0.13	0.07
12	4.14	5.33	22.09	28.42	17.16	4.63	-0.49	0.24	1.63
Sumatoria	65.05	82.73	502.51	677.28	392.83	65.05	0.00	12.91	40.25
Promedio	5.42	i	41.88	56.44	32.74	5.42	0.00	1.08	3.35

Fuente: Elaboración propia

Tomando en cuenta los datos de la tabla 87 se requerirá una posterior comprobación estadística mediante la prueba T de student mostrada en la tabla 88.

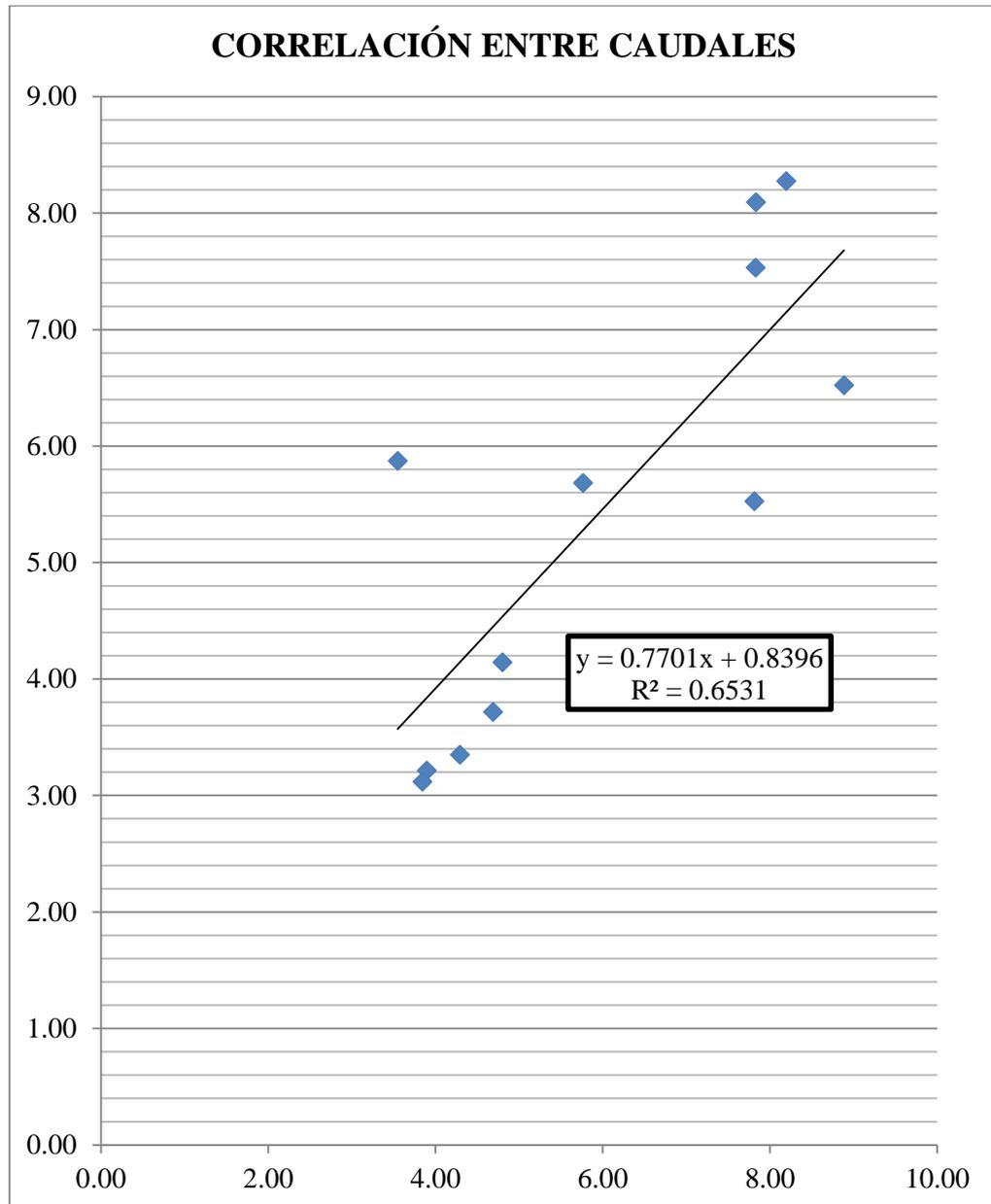
Tabla 88: Estadísticas de regresión

Estadísticas de la regresión	
n	12
a (intercepción)	0.840
b (x1)	0.770
Coefficiente de correlación simple	0.808
Coefficiente de determinación R^2	0.653

Fuente: Elaboración propia

De esta manera se tendrá la figura 129 mostrando la correlación existente entre los caudales generados y las estadísticas de regresión ya mostradas.

Figura 129: Correlación de caudales generados



Fuente: Elaboración propia

Según a la tabla 89 se obtiene la prueba T para los caudales generados y aforados generando los resultados de correlación al 82%

Tabla 89: Prueba T de medias



	<i>Qobservados</i>	<i>Qsimulados</i>
Media	5.4205	5.94844204
Varianza	3.659289727	4.029916407
Observaciones	12	12
Coeficiente de correlación de Pearson	0.808166023	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	11	
Estadístico t	-1.502147679	
P(T<=t) una cola	0.080605198	
Valor crítico de t (una cola)	1.795884819	
P(T<=t) dos colas	0.161210396	
Valor crítico de t (dos colas)	2.20098516	

Fuente: Elaboración propia

3.6.2.8.6.3.2. Validación del modelo Lutz Scholz.

Aplicando el mismo método a la validación se tiene tanto su propio cuadro comparativo como su análisis de regresión en la tabla 90.

Tabla 90: Regresión múltiple en la validación del modelo Lutz Scholz

ANÁLISIS DE REGRESIÓN MÚLTIPLE									
n	y	x	x*y	x^2	y^2	Y Calculada	(y-Y)	e^2	y-Yprom
1	3.35	4.26	14.28	18.18	11.22	4.09	-0.74	0.55	4.29
2	3.21	3.54	11.37	12.52	10.33	3.72	-0.51	0.26	4.87
3	3.12	3.55	11.06	12.59	9.72	3.73	-0.61	0.37	5.31
4	3.72	4.15	15.42	17.20	13.82	4.03	-0.31	0.10	2.90
5	5.87	4.69	27.52	21.95	34.49	4.30	1.57	2.46	0.20
6	8.09	7.53	60.95	56.70	65.51	5.74	2.35	5.53	7.15
7	8.28	10.82	89.53	117.02	68.49	7.40	0.87	0.76	8.15
8	7.53	12.07	90.90	145.65	56.73	8.04	-0.50	0.25	4.46
9	6.52	10.31	67.24	106.33	42.52	7.15	-0.63	0.39	1.21
10	5.53	9.79	54.12	95.93	30.54	6.89	-1.36	1.85	0.01
11	5.68	6.69	38.04	44.80	32.30	5.32	0.36	0.13	0.07
12	4.14	5.33	22.09	28.42	17.16	4.63	-0.49	0.24	1.63
Sumatoria	65.05	82.73	502.51	677.28	392.83	65.05	0.00	12.91	40.25
Promedio	5.42	6.89	41.88	56.44	32.74	5.42	0.00	1.08	3.35

Fuente: Elaboración propia

Tabla 91: Estadísticas de regresión

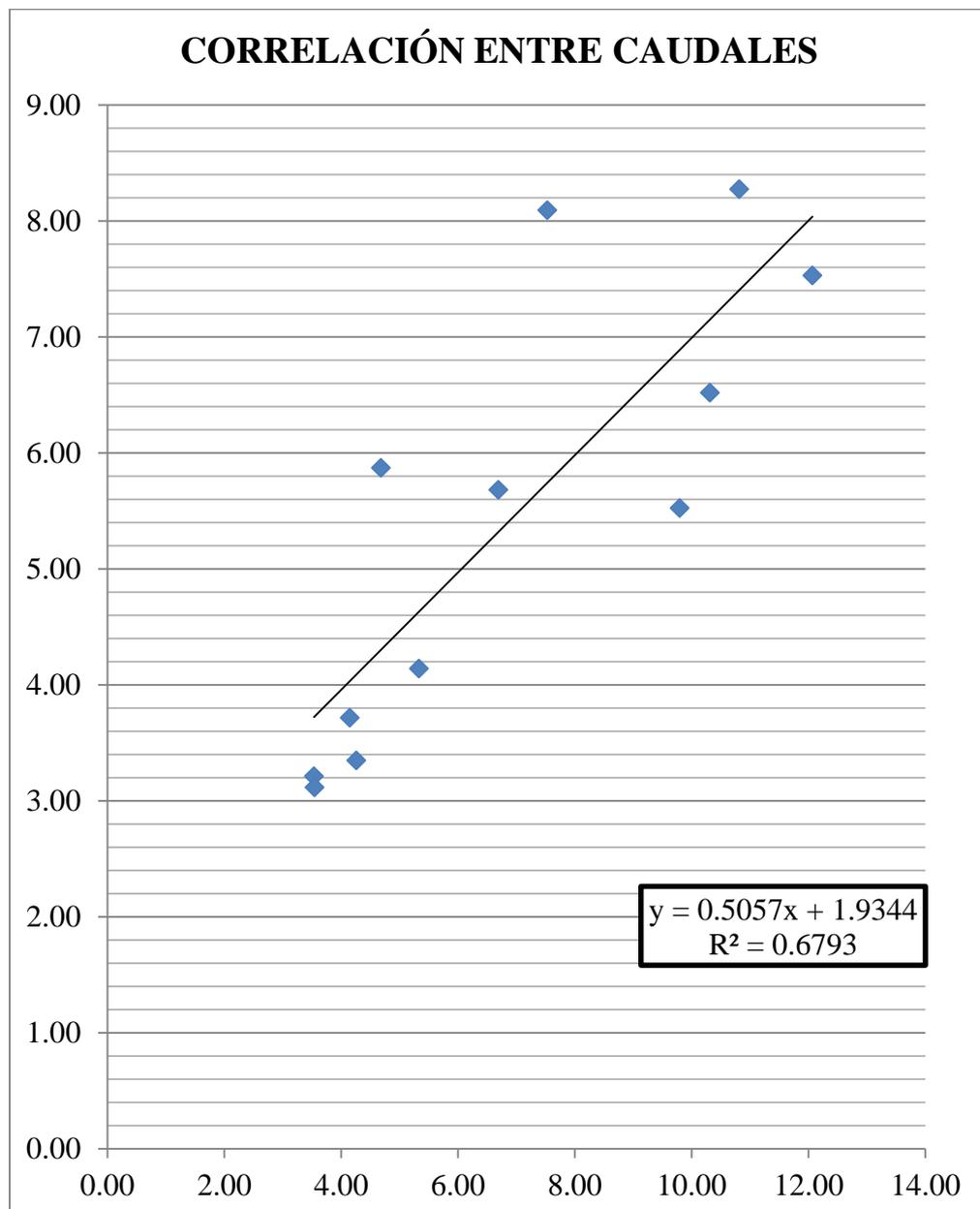


Estadísticas de la regresión	
n	12
a (intercepción)	1.934
b (x1)	0.506
Coefficiente de correlación simple	0.824
Coefficiente de determinación R ²	0.679

Fuente: Elaboración propia

La figura 130 muestra la correlación de caudales en la validación del modelo hidrológico.

Figura 130: Correlación de caudales generados





Fuente: Elaboración propia

Hallando la prueba T se muestra la tabla 92.

Tabla 92: Prueba T de medias

	<i>Qobservados</i>	<i>Qsimulados</i>
Media	5.4205	6.894049741
Varianza	3.659289727	9.722060866
Observaciones	12	12
Coefficiente de correlación de Pearson	0.824214749	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	11	
Estadístico t	-2.70950144	
P(T<=t) una cola	0.010154486	
Valor crítico de t (una cola)	1.795884819	
P(T<=t) dos colas	0.020308972	
Valor crítico de t (dos colas)	2.20098516	

Fuente: Elaboración propia

3.6.2.9. Modelo hidrológico GR2M

El uso del modelo hidrológico es usado por las entidades públicas como (SENAMHI, 2016) en la aplicación del producto PISCO (2016).

El modelo trata principalmente a tomar en cuenta que, el modelo tiene como relevante a 2 parámetros y que según sea el comportamiento del modelo según el cálculo podrán ser optimizados según a la consistencia de información por la cual se ejecutará.

En la tabla 93 se observa con mejor detenimiento y descripción estos parámetros.

Tabla 93: Parámetros del modelo GR2M

Nombre	Descripción	Unidades
X1	Capacidad del reservorio suelo	mm
X2	Coefficiente de intercambios subterráneos	adim

Fuente: Elaboración propia



Por lo que de la misma manera se aplicarán valores iniciales, siendo las variables X1 Y X2 la que definen la capacidad máxima del estanque de producción y el intercambio de agua entre la superficie y aguas subterráneas para el funcionamiento del modelo, como se muestra en la tabla 94.

Tabla 94: Valores iniciales del modelo GR2M

Nombre	Descripción	Unidades	Rango
S0	Nivel inicial de llenado del suelo	mm	X1/2 - X1
R0	Nivel inicial de llenado gravitacional	mm	30-60

Fuente: Elaboración propia

- **Función de producción.**

Una parte de la precipitación es absorbida por el reservorio suelo y otra (P1) se dirige al reservorio de agua gravitacional (Agua que contiene el suelo entre el punto de saturación y la capacidad de campo, que se drena por gravedad).

El nuevo volumen de agua en el reservorio suelo (S1) se calcula con la ecuación 118.

$$S_1 = \frac{S + X_1 \varphi}{1 + \varphi \frac{S}{X_1}}$$

Ecuación 118

Dónde:

X1: Capacidad del reservorio suelo.

$$\varphi = \tan^{-1}\left(\frac{P}{X_1}\right)$$

Ecuación 119

φ : Coeficiente de producción

Según lo estipulado por SENAMHI (2019), al ser una cuenca de origen glaciar y usando en esta investigación la evapotranspiración potencial, el volumen de agua



antes de la infiltración debe ser el mismo después de ésta; por lo que se asume una modelación sin pérdidas, entonces:

$$P_1 = P + S + S_1$$

Ecuación 120

En este último caso, el suelo-reservorio se ve afectado por la evaporación y su volumen se reduce a S_2 : el nuevo volumen se calcula de la siguiente manera:

$$S_2 = \frac{S_1(1 - \psi)}{1 + \psi(1 - \frac{S}{X_1})}$$

Ecuación 121

Donde:

$$\psi = \tan^{-1}\left(\frac{E}{X_1}\right)$$

Ecuación 122

Ψ : Coeficiente de transferencia

Parte de este nuevo volumen S_2 será transferido reservorio gravitacional y el resto será el volumen original S para el siguiente ciclo de análisis. El nuevo valor de S será:

$$S = \frac{S_2}{\left(1 + \left(\frac{S_2}{X_1}\right)^3\right)^{\frac{1}{3}}}$$

Ecuación 123

Luego, el volumen de agua que se filtra de P_2 se estimará como la diferencia entre S_2 y S :

$$P_2 = S_2 - S$$



Ecuación 124

Función de Transferencia:

Según SENAMHI (2019) la función de transferencia del modelo está controlada por el reservorio gravitacional, la toma es instantánea al comienzo del paso de tiempo y luego el tanque se vacía gradualmente.

El nivel de este reservorio determina el caudal que se puede liberar. Conociendo la cantidad de fuga de agua, la cantidad efectiva de lluvia que ingresa al tanque de agua por gravedad (P_3) es:

$$P_3 = P_1 + P_2$$

Ecuación 125

Debido a que el reservorio de agua gravitacional contaba con un volumen inicial R , su nuevo volumen será:

$$R_1 = R + P_3$$

Ecuación 126

Debido a que existe un intercambio de volúmenes a nivel subsuperficial, el volumen del reservorio se corrige por el factor X_2 :

$$R_2 = X_2 R_1$$

Ecuación 127

Por lo que estipula SENAMHI (2019) el reservorio gravitacional se vacía siguiendo una función cuadrática, dándonos como resultado el caudal de salida:

$$Q = \frac{R_2^2}{R_2 + 60}$$

Ecuación 128



3.6.2.9.1. Precipitación

Se usan los datos extendidos por medio del programa Easyfit para el uso del modelo hidrológico mostrándose las tablas 95 y 96. Al ser datos puramente extraídos hasta 2016 por el producto PISCOp y PISCOetp.

Tabla 95: Tabla de precipitaciones en la cuenca Singrinacocha

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1981	83.10	94.66	40.61	71.36	19.11	2.64	5.79	39.29	19.33	30.73	77.28	87.04	570.92
1982	80.47	77.71	54.06	53.12	3.23	2.70	11.58	15.62	22.72	26.23	76.21	61.60	485.25
1983	51.28	84.72	40.51	33.96	22.72	2.98	8.03	10.81	4.30	10.18	28.77	60.88	359.14
1984	70.21	114.51	56.07	58.58	9.23	6.49	16.15	29.10	6.17	38.07	84.23	76.67	565.49
1985	73.40	103.42	51.02	56.97	23.84	6.93	10.62	4.39	37.77	12.09	78.30	86.94	545.70
1986	57.30	86.39	54.59	65.07	19.50	1.54	13.29	15.22	21.72	5.99	44.75	72.94	458.30
1987	75.88	83.77	34.67	26.30	9.69	4.37	91.52	11.15	11.44	20.50	78.87	96.69	544.86
1988	55.79	72.75	67.97	110.07	27.16	1.30	5.79	5.10	11.59	17.94	21.92	63.31	460.68
1989	70.80	86.06	54.40	69.87	20.42	9.82	5.83	50.26	29.40	13.45	48.73	67.16	526.21
1990	61.70	98.79	35.00	55.71	17.79	41.95	5.12	16.23	14.11	28.76	51.04	57.74	483.93
1991	52.74	90.26	34.75	41.46	23.69	24.35	6.69	3.54	12.35	17.48	48.16	63.38	418.85
1992	54.80	78.98	29.21	24.08	4.55	11.84	7.13	70.09	7.20	15.14	64.32	57.13	424.48
1993	53.43	81.36	45.00	58.67	7.36	6.60	19.69	62.81	19.53	25.40	61.92	110.76	552.52
1994	72.45	118.02	45.21	70.01	21.07	3.42	5.10	11.89	14.61	19.41	44.88	108.92	535.00
1995	46.31	77.90	70.66	44.56	13.26	2.55	14.02	5.75	18.67	15.02	58.16	67.32	434.17
1996	57.81	89.23	36.43	47.59	26.62	1.50	13.24	58.47	18.69	20.21	48.77	103.22	521.79
1997	54.93	126.73	52.97	36.85	20.28	1.40	12.68	33.77	13.08	17.50	77.62	65.66	513.49
1998	46.27	111.00	40.44	25.07	2.67	8.62	5.09	7.78	3.91	24.47	54.85	57.90	388.07
1999	63.63	151.46	49.45	74.18	13.90	4.22	13.92	3.53	33.92	15.04	36.50	90.41	550.14
2000	69.01	112.44	52.86	36.51	14.52	12.43	18.67	26.81	14.89	32.61	21.89	72.56	485.18
2001	85.99	133.16	70.50	64.36	34.04	3.50	41.73	48.95	17.04	32.35	62.23	56.91	650.76
2002	47.87	161.69	58.50	77.72	24.52	8.37	119.44	20.62	31.28	24.29	72.65	87.02	733.96
2003	71.35	101.60	51.72	35.88	21.48	11.11	11.58	35.53	10.60	14.28	30.80	104.30	500.24
2004	74.55	100.32	41.37	39.31	16.40	15.11	44.59	53.40	21.08	19.94	49.50	92.64	568.19
2005	44.24	119.90	38.19	25.63	10.90	1.40	10.80	10.63	11.08	24.43	53.67	66.93	417.80
2006	78.74	110.55	57.50	70.09	6.32	11.51	7.85	35.89	14.01	21.37	68.43	84.55	566.81
2007	77.19	88.30	55.77	63.20	11.99	3.33	29.18	11.44	8.05	24.08	58.05	75.23	505.81
2008	86.21	122.85	44.37	35.53	18.19	8.85	7.91	15.94	8.25	30.66	43.85	108.61	531.23
2009	65.10	111.11	50.08	43.18	8.96	1.60	31.70	10.19	15.48	13.05	101.81	83.69	535.94
2010	90.26	116.67	45.52	29.59	12.03	4.93	16.83	17.37	8.84	23.28	34.64	100.72	500.68
2011	63.53	147.04	38.27	83.85	15.05	9.40	40.13	11.33	29.63	21.35	31.32	101.05	591.94
2012	63.98	151.74	33.93	47.58	5.71	10.07	16.91	9.40	23.76	17.45	67.29	142.99	590.82
2013	112.40	153.21	57.06	33.00	24.50	9.15	15.89	43.78	5.98	30.81	70.61	154.65	711.06
2014	94.91	113.91	46.90	57.86	26.14	2.58	15.19	22.44	19.53	23.02	49.59	141.59	613.66
2015	91.58	126.85	54.59	107.00	28.66	5.69	35.32	24.82	11.13	13.96	77.94	104.46	682.00
2016	76.05	137.47	32.80	66.43	11.36	4.38	43.24	14.16	17.68	27.78	25.26	78.86	535.49
2017	90.88	127.94	55.40	70.53	17.00	5.92	35.41	50.86	14.52	14.11	24.58	120.36	627.49
2018	57.62	93.31	45.74	27.75	16.22	2.12	5.09	5.92	3.47	14.86	56.47	58.86	387.40
2019	44.07	123.70	41.83	62.92	21.78	11.31	8.70	4.93	26.62	28.57	36.39	114.41	525.22
2020	51.05	116.05	40.49	40.04	13.27	5.08	7.26	5.36	25.55	27.30	57.67	82.92	472.04
Media	67.97	109.94	47.66	53.54	16.63	7.33	20.87	23.36	16.47	21.33	54.50	87.22	526.82
Desviacion	16.151198	23.765938	10.248261	21.076305	7.6147425	7.3398083	23.12801	18.781252	8.5455683	7.1907503	19.418691	25.108771	84.732243
C.V	0.2376151	0.216175	0.2150266	0.3936833	0.4579332	1.0019296	1.1083893	0.8038366	0.5187086	0.3371336	0.3563231	0.2878638	0.1608378
MAX	112.40	161.69	70.66	110.07	34.04	41.95	119.44	70.09	37.77	38.07	101.81	154.65	733.96
MIN	44.07	72.75	29.21	24.08	2.67	1.30	5.09	3.53	3.47	5.99	21.89	56.91	359.14

Fuente: Elaboración propia



3.6.2.9.2. ETP

Tabla 96: Evapotranspiración total de la cuenca Singrinacochoa

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1981	46.29	38.89	41.80	51.70	59.83	69.36	77.24	77.88	74.27	76.25	69.88	65.24	748.63
1982	57.57	44.14	43.47	41.83	48.68	57.50	70.03	78.78	79.03	80.10	77.09	79.18	757.40
1983	75.01	58.44	53.34	47.60	46.32	45.33	58.57	68.10	72.38	77.39	75.03	77.15	754.66
1984	70.72	63.66	64.24	52.70	45.21	42.27	43.58	54.69	61.07	69.76	75.86	77.94	721.69
1985	75.46	67.31	67.59	64.06	56.94	46.08	43.90	42.45	46.33	60.43	66.16	78.64	715.34
1986	80.16	69.19	76.46	71.99	70.73	58.93	53.42	46.53	41.54	47.10	50.40	66.15	732.59
1987	72.93	69.30	77.34	75.01	73.28	70.35	64.72	53.98	44.26	44.56	41.82	50.29	737.84
1988	62.34	67.19	76.44	76.54	76.11	71.32	72.19	63.28	54.58	47.23	43.82	40.57	751.63
1989	49.99	52.73	68.93	70.89	77.85	75.00	79.53	77.29	68.86	61.02	47.79	41.45	771.33
1990	40.92	41.57	51.68	62.15	68.75	70.85	76.83	49.32	53.02	67.35	67.76	71.17	721.38
1991	71.01	60.03	65.33	63.29	54.05	45.66	38.74	35.43	42.76	56.46	59.23	66.63	658.61
1992	67.15	64.91	69.37	63.14	64.05	55.50	44.56	38.21	37.32	39.91	48.07	60.17	652.36
1993	65.96	64.11	74.66	69.47	70.69	65.14	62.77	51.00	40.42	39.88	41.46	51.83	697.38
1994	60.82	61.76	76.08	75.16	77.38	71.56	70.94	66.35	54.54	47.68	38.94	40.58	741.80
1995	49.55	54.33	68.51	73.57	74.35	73.34	71.39	66.94	62.98	58.89	47.49	44.59	745.92
1996	41.93	40.42	52.82	62.60	71.52	68.44	77.42	74.71	68.66	69.73	63.00	54.73	745.99
1997	47.98	36.65	42.45	49.42	57.66	68.12	77.08	77.96	73.64	75.53	70.48	65.25	742.23
1998	56.65	44.22	42.02	39.41	46.04	55.28	66.28	71.48	72.63	75.11	70.73	71.14	711.01
1999	67.04	52.91	51.90	42.80	41.46	41.08	50.77	60.54	66.65	72.51	73.67	71.74	693.08
2000	69.76	64.56	62.06	51.78	44.52	40.18	42.53	46.29	55.87	66.91	71.69	76.10	692.24
2001	73.49	62.47	69.38	61.85	55.42	44.67	39.07	38.91	44.26	57.73	62.62	70.48	680.34
2002	73.53	68.40	73.29	67.83	65.39	56.57	46.68	41.05	39.39	44.91	51.94	62.65	691.63
2003	69.88	66.26	71.87	68.06	68.69	66.53	61.91	54.64	40.85	37.54	39.29	51.03	696.54
2004	60.06	65.71	71.76	71.04	73.66	66.69	66.37	60.46	49.48	41.74	38.47	40.63	706.08
2005	44.33	53.73	65.57	71.17	78.51	78.29	82.60	77.50	71.75	63.80	49.07	45.04	781.36
2006	42.36	42.19	56.87	64.47	72.44	73.85	78.55	77.45	69.87	67.67	61.90	55.53	763.16
2007	45.47	36.33	43.08	49.77	60.77	68.22	72.63	76.49	72.16	72.36	67.99	65.21	730.49
2008	57.89	46.14	43.27	38.36	49.76	56.26	66.75	72.98	74.95	75.53	68.66	70.66	721.21
2009	66.73	55.21	51.69	44.15	42.51	43.92	55.63	67.88	71.83	79.38	77.29	77.93	734.14
2010	73.77	63.64	65.58	54.39	48.94	42.78	42.67	53.21	60.59	73.15	73.34	79.26	731.31
2011	81.21	70.64	73.17	65.04	58.55	47.05	43.84	41.21	45.27	56.04	64.52	74.81	721.34
2012	79.69	72.21	74.29	68.67	69.68	57.84	48.16	41.77	39.68	43.67	52.02	62.58	710.27
2013	71.20	68.05	75.99	72.19	73.78	69.61	64.06	51.15	42.11	40.17	40.32	49.56	718.19
2014	59.21	60.44	73.95	74.61	72.04	70.45	70.40	65.31	53.51	43.32	40.77	38.96	722.97
2015	49.75	50.86	64.82	71.01	75.33	73.77	79.33	72.88	65.42	59.59	48.64	43.79	755.19
2016	42.19	42.79	56.65	64.54	71.27	71.48	76.31	73.30	67.68	65.57	58.06	49.35	739.19
2017	50.92	64.75	72.92	46.38	71.18	61.22	80.74	58.94	52.13	39.74	74.59	73.31	746.82
2018	72.16	35.79	55.09	75.92	67.23	70.91	81.10	40.48	70.04	42.69	44.62	78.74	734.76
2019	60.29	36.90	64.80	59.74	77.35	64.89	65.31	39.39	74.30	57.84	56.91	76.50	734.22
2020	74.16	68.10	62.88	67.54	68.00	72.05	49.78	79.16	45.97	67.05	71.11	73.39	799.20
Media	61.94	56.17	62.84	61.55	63.65	61.21	62.86	59.63	58.05	59.08	58.56	62.25	727.79
Desviacion	12.29774	11.689637	11.485466	11.408081	11.574861	11.65154	14.020358	14.42755	13.162946	13.619436	13.028096	13.605856	30.463676
C.V	0.1985451	0.2081013	0.1827866	0.1853579	0.181858	0.1903573	0.2230455	0.2419326	0.226747	0.2305194	0.2224654	0.2185715	0.0418579
MAX	81.21	72.21	77.34	76.54	78.51	78.29	82.60	79.16	79.03	80.10	77.29	79.26	799.20
MIN	40.92	35.79	41.80	38.36	41.46	40.18	38.74	35.43	37.32	37.54	38.47	38.96	652.36

Fuente: Elaboración propia



De la misma forma tendremos los datos de promedios vistos en la tabla 97 observamos el resumen de procesos en los datos de precipitación y ETP.

Tabla 97: Promedios de datos meteorológicos para el modelo GR2M

Promedios		
Promedio de precipitaciones observadas (mm/mes)	=	42.5
Promedio de ETP observadas (mm/mes)	=	60.3
Promedio de caudales observados (mm/mois)	=	12.9
Promedio de las raíces de los caudales observados	=	1.0
Registro promedio de los caudales observados	=	12.9

Fuente: Elaboración propia

3.6.2.9.3. *Correlación de caudales aforados.*

En vista del poco aforamiento y la poca correlación que se presenta en la cuenca respecto al tiempo en el cual se llevó un registro de datos de caudales, se realizó una correlación según a los aforamientos ya registrados en los puntos registrados según las UDH mostradas anteriormente.

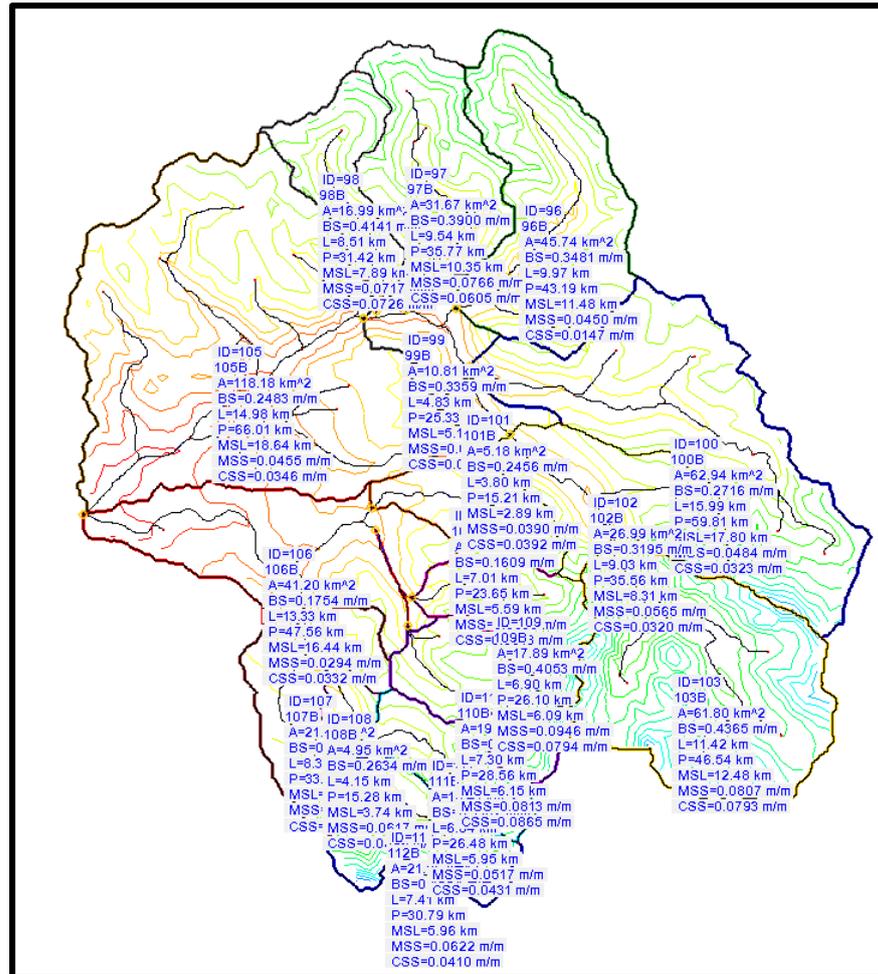
Por lo que se llevará a cabo una correlación de caudales para proporcionar al modelo la información correspondiente y posterior generación de caudales.

Así que según a los registros de caudales, se llevará a cabo una correlación según 4 parámetros establecidos en:

Haciendo uso del software WMS 11.0 además del ArcGIS, se discretizó de mejor manera los puntos de interés en donde se realizaron los aforamientos además de correlacionar el área de cada UDRH, la precipitación y su pendiente respecto al caudal aforado y obtener caudales bajo una fórmula logarítmica.

Así, se muestra la figura 131 con dichos parámetros geomorfológicos.

Figura 131:Discretización de áreas con parámetros geomorfológicos



Fuente: Elaboración propia

Por medio del programa Rstudio y con el código ya anteriormente especificado, se extrae los datos de precipitación en cada UDRH.

De esta manera, tendremos desde la tabla 98 hasta la tabla 104 donde se muestran las precipitaciones de cada UDRH.

Figura 132: Leyenda de parámetros

PARÁMETROS	IDENTIFICADOR
ID	ID de cuenca
A	Area de la cuenca
BS	Pendiente de cuenca
L	Longitudes de la cuenca
P	Perímetro de la cuenca
MSL	Longitud del río máxima
MSS	Pendiente del río máxima
CSS	Pendiente al centroide

Fuente: Elaboración propia



Tabla 98: Datos de precipitación de la UDRH Jamarcocha

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1981	164.66	152.69	103.02	113.47	29.46	4.12	4.48	63.10	29.73	86.47	123.33	93.99	968.53
1982	158.74	113.02	105.04	79.77	6.19	4.19	9.83	32.80	50.13	76.34	120.14	65.83	822.01
1983	82.75	108.98	65.05	49.16	31.65	4.38	6.64	25.22	8.59	31.02	41.77	71.34	526.54
1984	137.19	173.27	96.37	106.96	12.81	9.04	15.87	62.43	11.59	123.86	127.82	94.44	971.65
1985	140.33	159.35	90.48	84.16	49.65	15.07	10.16	7.80	67.23	42.11	131.16	103.88	901.40
1986	102.00	116.13	122.50	96.86	26.52	2.34	15.72	24.49	38.02	18.14	58.35	79.92	701.00
1987	156.56	109.50	65.53	40.46	13.94	6.97	85.98	15.06	19.71	61.28	114.04	108.99	798.02
1988	102.67	110.96	137.27	173.30	48.37	2.21	4.41	10.68	19.15	61.58	45.57	81.23	797.40
1989	132.05	134.53	116.41	100.22	33.73	13.94	5.25	85.45	51.74	45.22	80.40	71.01	869.95
1990	126.39	132.42	67.38	82.22	25.52	66.51	4.26	26.64	23.44	79.42	87.38	78.37	799.96
1991	94.45	157.97	63.29	65.95	42.63	37.22	5.95	6.24	25.76	50.84	75.45	66.20	691.94
1992	102.86	115.43	53.22	35.74	7.68	18.82	6.28	121.91	10.86	42.60	96.58	54.16	666.13
1993	116.97	129.09	87.70	85.71	8.44	8.62	15.55	94.79	34.64	65.86	98.93	131.15	877.45
1994	129.87	184.73	95.12	107.53	35.88	4.62	4.08	16.47	29.22	56.72	65.59	116.73	846.58
1995	83.58	105.29	146.34	74.43	21.07	3.89	12.62	10.77	30.70	43.29	93.17	77.78	702.93
1996	120.49	166.90	67.03	77.59	38.85	2.38	9.86	110.85	39.14	64.94	72.86	115.53	886.43
1997	108.07	208.09	106.66	47.62	29.64	2.08	9.28	63.82	23.42	52.12	133.23	80.63	864.65
1998	93.35	168.57	79.81	35.12	4.35	11.60	4.21	11.97	5.71	75.23	85.28	63.48	638.68
1999	121.92	190.78	84.11	119.22	18.51	5.33	10.34	6.45	63.66	42.01	55.11	107.14	824.59
2000	126.64	163.47	103.58	55.89	19.92	17.33	16.96	42.56	27.80	94.00	29.79	81.52	779.42
2001	173.39	199.32	137.72	104.11	52.56	5.44	46.67	96.40	30.12	98.11	101.49	72.87	1118.19
2002	97.15	231.35	122.01	127.01	42.89	10.39	106.70	29.79	61.28	71.06	111.12	101.56	1112.31
2003	134.05	164.31	103.93	55.18	32.02	17.84	8.12	66.33	16.27	38.61	45.87	117.61	800.14
2004	146.11	143.40	78.25	69.35	23.51	26.24	44.89	95.38	38.73	58.01	79.74	108.75	912.35
2005	83.27	167.88	83.07	44.40	17.20	2.22	8.83	20.84	15.66	64.31	82.51	77.76	667.93
2006	149.96	158.96	115.55	118.52	8.26	15.66	5.64	60.82	24.50	65.37	107.41	104.67	935.32
2007	138.76	128.58	115.09	95.01	17.52	3.62	24.66	16.14	10.36	72.25	83.72	81.30	787.01
2008	150.10	175.05	83.43	50.13	32.04	13.88	6.10	28.44	15.41	88.27	68.74	121.93	833.52
2009	120.11	152.64	91.00	66.76	13.18	2.45	27.32	16.45	29.81	33.54	163.82	93.70	810.79
2010	179.10	148.12	94.22	35.17	15.07	5.82	13.44	33.94	14.48	70.56	53.16	112.23	775.32
2011	116.21	214.65	87.13	129.46	19.38	12.83	39.63	14.50	60.01	58.68	49.41	121.51	923.40
2012	123.94	223.61	80.45	55.67	9.05	13.03	12.29	15.33	42.18	45.57	100.83	139.14	861.09
2013	185.24	209.81	104.28	52.93	34.64	11.73	14.88	76.64	13.26	88.42	102.37	156.86	1051.06
2014	166.04	156.87	80.82	81.38	41.13	3.67	11.23	31.53	27.06	69.84	61.32	138.90	869.80
2015	160.31	168.13	93.63	156.77	46.05	7.18	37.90	49.13	19.10	42.28	104.17	105.14	989.79
2016	129.43	192.89	56.79	86.57	17.99	6.46	38.95	20.29	30.47	76.36	33.11	78.65	767.95
Meda	129.30	159.35	93.98	82.22	25.76	11.09	19.58	41.98	29.42	62.62	85.69	96.55	837.53
Desviación	27.916377	34.776945	23.001778	34.249097	13.705145	12.138446	22.584151	33.044513	16.403066	21.619788	31.571443	24.497076	127.20929
C.V	0.2159068	0.2182378	0.2447532	0.4165727	0.5320603	1.0948316	1.153224	0.7870678	0.5576419	0.3452612	0.3684501	0.2537179	0.1518855
MAX	185.24341	231.34721	146.33954	173.29703	52.560296	66.513361	106.69679	121.90903	67.229826	123.85555	163.81694	156.86256	1118.1911
MIN	82.746826	105.29446	53.217359	35.123409	4.3526199	2.0775436	4.0848727	6.2365359	5.7099767	18.138344	29.786521	54.162254	526.53533

Fuente: Elaboración propia



Tabla 99: Datos de precipitación de la UDRH Kellhuapata

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1981	198.01	178.14	127.23	119.68	36.26	5.37	4.69	68.01	33.88	102.28	134.59	106.05	1114.17
1982	190.81	124.46	125.41	83.92	8.10	5.32	9.87	35.59	57.34	93.55	135.97	71.03	941.36
1983	95.51	119.07	78.13	52.14	39.41	5.68	6.92	26.00	9.92	37.47	46.52	82.62	599.39
1984	167.59	195.84	119.00	107.01	16.93	11.74	17.94	66.00	12.57	157.10	147.79	111.60	1131.10
1985	167.77	182.93	107.49	89.69	67.65	19.94	10.49	7.87	73.18	49.36	146.97	121.31	1044.63
1986	120.95	132.68	148.33	103.81	31.30	3.10	16.38	25.85	42.57	21.25	64.31	90.26	800.78
1987	191.44	124.65	79.24	43.22	16.86	8.89	93.98	16.08	22.53	75.23	127.16	121.14	920.41
1988	126.12	131.89	167.20	180.88	63.25	3.05	4.50	10.94	20.76	72.53	49.99	92.37	923.47
1989	159.43	151.60	140.75	101.94	43.41	17.74	5.35	89.23	57.40	55.12	88.97	77.75	988.68
1990	154.48	150.61	83.64	84.22	32.10	88.68	4.43	26.19	26.32	96.84	97.81	86.69	932.00
1991	113.14	177.17	78.20	68.82	57.32	48.26	6.19	6.28	28.43	60.88	80.46	72.43	797.58
1992	123.37	128.76	65.50	36.27	9.38	23.78	6.59	128.31	12.15	50.39	107.25	58.62	750.39
1993	144.30	144.60	108.61	89.72	10.14	11.09	16.65	88.13	38.52	78.09	113.11	146.26	989.23
1994	155.59	205.78	117.93	114.06	46.79	6.09	4.16	15.84	31.66	67.01	73.96	127.32	966.19
1995	102.50	115.81	171.94	77.77	25.80	5.08	13.26	10.73	34.21	53.13	105.33	89.25	804.80
1996	145.95	198.59	81.51	84.67	47.40	3.19	10.76	111.65	44.41	80.28	84.49	129.59	1022.48
1997	129.92	235.54	137.64	51.94	35.48	2.78	10.01	71.73	24.41	63.11	155.16	93.92	1011.64
1998	116.61	190.42	100.55	36.20	5.23	13.61	4.37	12.81	6.08	92.10	93.20	69.18	740.35
1999	145.64	208.22	99.33	129.40	22.85	7.02	10.16	6.51	68.52	50.75	59.66	124.28	932.35
2000	145.47	183.09	124.44	57.41	24.69	22.53	18.43	42.50	30.61	115.35	32.85	93.79	891.16
2001	208.07	222.16	167.31	107.64	66.91	7.17	51.30	98.13	33.58	117.90	112.08	83.59	1275.84
2002	115.16	258.97	148.34	129.13	56.09	13.19	111.65	31.71	70.43	86.03	124.03	115.04	1259.79
2003	163.67	189.39	126.30	59.46	41.63	23.32	8.23	68.95	17.37	45.74	51.15	130.11	925.30
2004	177.14	163.12	95.10	75.36	28.59	33.78	46.89	100.97	44.45	68.48	89.65	121.54	1045.08
2005	99.32	191.43	102.19	48.06	21.65	2.96	9.25	21.24	15.26	78.28	92.07	87.23	768.95
2006	181.90	178.61	136.56	128.05	10.35	20.09	5.80	60.88	26.39	78.37	121.20	119.83	1068.04
2007	165.95	142.24	141.31	99.55	22.07	4.54	26.52	14.89	11.62	86.55	92.53	90.78	898.56
2008	180.46	190.57	101.23	51.37	40.88	17.62	6.22	28.56	16.98	105.16	75.83	135.85	950.72
2009	142.70	171.93	106.47	69.56	16.47	3.27	28.82	16.14	32.57	40.57	178.24	105.60	912.33
2010	216.83	162.59	115.14	37.14	18.86	7.34	12.99	36.74	14.98	83.50	58.04	123.90	888.04
2011	139.01	237.98	106.72	136.48	23.88	16.45	42.14	14.80	67.10	69.04	53.55	136.92	1044.06
2012	151.53	255.13	101.77	59.33	11.43	16.99	12.01	15.15	46.65	55.53	110.86	154.77	991.14
2013	227.70	235.85	125.98	55.43	44.10	15.57	15.05	79.56	14.37	103.57	114.89	172.83	1204.91
2014	200.85	174.71	99.02	84.82	51.56	4.94	11.77	31.83	31.90	87.05	66.94	156.15	1001.55
2015	196.84	184.26	116.01	162.58	58.38	9.26	42.77	53.22	21.96	52.09	110.32	118.88	1126.56
2016	157.61	216.74	72.42	88.64	21.70	8.26	41.98	22.38	35.16	93.48	37.06	87.81	883.23
Media	156.09	179.32	114.55	86.26	32.64	14.38	20.79	43.37	32.67	75.64	95.39	108.51	959.62
Desviación	34.320754	39.021604	27.311185	35.691889	18.004156	16.032738	24.222465	34.115373	18.38266	26.783053	35.6175	27.317416	145.11009
C.V	0.2198743	0.217608	0.2384133	0.4137711	0.5516742	1.114967	1.16499	0.786585	0.5626344	0.3540718	0.3733914	0.2517535	0.1512164
MAX	227.70133	258.97334	171.94022	180.88061	67.645082	88.682026	111.64938	128.31427	73.175436	157.09844	178.23838	172.83251	1275.837
MIN	95.507107	115.80862	65.500559	36.195687	5.2308722	2.7783632	4.1634663	6.279238	6.0841472	21.245469	32.852964	58.620413	599.3921

Fuente: Elaboración propia



Tabla 100: Datos de precipitación de la UDRH Moyoccocha

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1981	117.94	110.95	64.72	87.67	23.34	3.28	4.88	51.02	24.36	56.28	99.06	89.21	732.71
1982	115.94	86.27	74.41	62.15	4.12	3.30	10.25	24.08	33.57	50.11	99.07	61.14	624.41
1983	67.31	88.91	51.94	39.55	28.09	3.60	7.11	16.56	6.06	20.02	35.52	66.24	430.93
1984	100.90	132.33	75.06	71.71	11.44	7.58	15.49	43.38	8.28	77.38	110.41	85.58	739.54
1985	104.06	115.39	68.95	66.12	35.70	10.33	9.96	6.10	49.57	24.71	102.42	93.99	687.30
1986	78.54	90.73	82.18	76.95	21.71	1.89	13.36	20.38	29.04	11.30	52.15	73.83	552.06
1987	111.22	88.26	48.26	32.29	11.39	5.44	88.31	13.84	15.36	38.40	96.52	99.17	648.46
1988	77.77	83.21	98.02	130.00	39.25	1.72	4.90	7.56	14.62	37.23	31.53	70.28	596.09
1989	97.24	97.69	80.03	77.47	27.11	11.72	5.30	70.71	38.65	28.17	63.68	67.25	665.02
1990	90.25	104.86	50.61	65.39	21.32	54.84	4.50	21.14	18.41	53.03	68.65	61.85	614.83
1991	73.43	105.56	46.11	49.21	33.92	29.91	6.04	4.95	17.37	33.80	60.74	62.66	523.69
1992	75.68	86.63	40.39	27.58	5.62	14.73	6.41	96.13	9.10	27.13	80.38	53.16	522.94
1993	82.52	92.79	63.42	67.88	7.72	7.67	17.39	78.24	26.08	46.34	82.46	116.52	689.01
1994	99.57	128.77	65.98	83.03	26.62	4.06	4.36	14.28	20.44	35.70	55.73	108.98	647.53
1995	64.32	82.22	100.91	54.79	16.73	3.22	12.86	8.07	24.43	28.95	75.22	70.22	541.95
1996	85.20	111.33	50.40	58.91	31.51	1.88	11.77	82.96	27.56	41.18	62.15	106.38	671.25
1997	80.11	146.74	79.05	41.50	24.42	1.67	11.10	50.44	17.90	34.51	104.90	71.79	664.13
1998	69.58	124.78	59.95	27.25	3.26	9.54	4.46	10.45	4.80	49.03	70.37	57.87	491.32
1999	91.67	151.29	62.92	89.73	16.78	4.87	11.38	4.94	45.02	28.41	45.23	95.22	647.48
2000	93.21	123.59	73.78	42.02	16.39	14.96	17.54	33.87	20.04	62.89	26.08	75.09	599.46
2001	124.32	146.77	99.65	76.69	42.52	4.35	42.06	71.04	21.91	63.04	80.26	61.91	834.50
2002	68.34	174.49	86.34	92.30	32.53	9.60	110.94	26.32	44.77	46.20	90.57	91.50	873.91
2003	100.56	116.62	73.82	42.76	26.47	14.21	9.67	50.94	13.01	25.54	38.32	106.77	618.69
2004	107.74	107.90	57.64	49.89	18.92	19.62	42.05	73.99	28.80	37.18	64.91	96.55	705.19
2005	62.20	130.87	56.27	31.55	13.73	1.74	9.44	15.09	12.66	44.92	68.76	69.47	516.70
2006	112.01	118.80	80.23	86.61	7.26	13.39	6.53	47.72	19.09	40.07	87.74	90.66	710.12
2007	105.63	95.01	81.20	73.28	14.40	3.42	25.92	13.74	9.70	46.30	71.62	75.57	615.79
2008	116.54	131.68	62.35	39.36	23.97	10.86	6.74	21.90	10.85	59.27	55.84	111.09	650.45
2009	89.59	118.07	66.93	50.44	10.91	1.97	28.65	13.14	21.48	23.53	128.37	86.80	639.88
2010	129.58	118.00	66.04	32.37	13.53	5.41	14.28	25.78	10.92	44.58	43.63	101.17	605.28
2011	87.25	159.79	57.85	99.46	16.67	11.04	37.87	13.60	41.64	38.65	40.00	107.01	710.83
2012	91.33	166.66	55.93	51.05	6.93	11.71	14.04	12.29	31.51	31.83	82.89	138.62	694.79
2013	157.03	162.88	78.58	40.03	28.93	10.65	14.27	58.45	8.33	55.40	88.15	152.16	854.84
2014	132.88	122.30	63.13	65.93	31.05	3.07	12.87	27.71	24.57	45.50	57.55	139.78	726.34
2015	128.35	132.86	73.68	122.98	36.13	6.34	35.06	35.58	14.76	26.60	91.75	105.87	809.96
2016	106.48	149.48	45.30	73.45	13.98	5.09	39.75	17.95	24.65	51.54	30.46	78.52	636.66
Media	97.12	119.57	67.83	63.32	20.68	9.13	19.93	32.90	21.93	40.69	70.64	88.89	652.61
Desviación	22.044622	25.657244	15.225226	25.40151	10.629014	9.8732273	22.786634	25.53153	11.635653	13.982243	25.219359	24.248181	99.201019
C.V	0.2269843	0.2145811	0.2244473	0.4011917	0.5140677	1.0813261	1.1433005	0.7760668	0.5306978	0.3436536	0.3570095	0.2728023	0.152006
MAX	157.02744	174.49412	100.91156	129.99501	42.516389	54.839064	110.93917	96.13434	49.565731	77.38235	128.37129	152.15804	873.91292
MIN	62.202646	82.222191	40.388551	27.246638	3.2576026	1.6740197	4.3578428	4.9441952	4.7956623	11.303705	26.076141	53.157143	430.92791

Fuente: Elaboración propia



Tabla 101: Datos de precipitación de la UDRH Singrina

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1981	113.91	113.79	63.94	101.66	24.78	2.88	4.85	57.49	22.75	59.02	109.98	78.13	753.18
1982	111.44	92.20	73.56	71.44	4.65	3.01	10.59	28.83	32.10	49.55	103.67	57.77	638.79
1983	65.57	92.90	50.42	44.70	27.90	3.16	7.08	22.11	5.75	20.42	37.60	56.14	433.77
1984	92.22	135.20	69.18	92.91	10.46	6.24	14.88	54.31	8.37	74.16	109.82	70.70	738.45
1985	100.38	119.89	67.20	74.62	31.47	9.06	10.78	7.83	48.42	26.89	112.63	80.76	689.94
1986	74.35	91.90	81.23	86.20	23.82	1.63	14.77	23.58	27.09	12.19	54.84	66.61	558.19
1987	103.66	87.38	46.27	36.63	12.18	4.88	83.78	15.36	14.64	38.51	102.66	91.16	637.10
1988	70.13	80.79	94.57	152.38	37.38	1.38	5.03	10.04	14.90	39.33	36.68	62.39	605.01
1989	92.12	103.12	78.28	90.01	26.12	10.14	5.52	83.30	37.28	27.92	68.67	60.99	683.47
1990	84.23	104.75	46.51	75.97	21.40	43.78	4.61	26.71	17.49	52.38	72.52	60.11	610.43
1991	67.38	114.75	42.83	57.47	30.95	25.46	6.26	6.54	17.74	33.72	67.94	55.69	526.71
1992	70.80	89.28	38.03	33.22	6.50	13.31	6.57	114.76	8.32	27.79	85.08	48.74	542.39
1993	74.88	98.88	58.98	77.41	8.03	6.39	16.41	104.43	25.42	47.54	83.29	105.84	707.49
1994	92.95	139.68	62.23	95.31	26.95	3.34	4.54	18.07	20.57	37.48	58.11	99.62	658.85
1995	58.40	87.69	105.43	65.61	18.22	2.76	13.01	10.70	23.31	28.63	79.62	62.56	555.94
1996	81.69	112.63	46.87	65.08	34.01	1.61	10.57	105.55	26.15	40.77	62.61	94.95	682.51
1997	76.40	157.07	66.30	43.58	26.36	1.43	10.07	56.11	18.17	34.40	108.55	63.58	662.02
1998	60.67	130.12	52.09	32.94	3.89	9.22	4.56	11.77	4.77	47.61	77.33	54.51	489.49
1999	86.13	160.61	62.45	101.49	16.79	3.89	12.08	6.39	46.10	28.46	50.51	84.98	659.88
2000	92.48	129.17	72.79	50.77	17.20	12.39	16.89	42.70	19.73	60.82	27.60	65.67	608.22
2001	117.10	155.51	95.83	91.15	42.09	3.73	42.73	90.13	21.30	64.20	88.15	56.15	868.06
2002	68.29	180.69	83.74	113.10	31.98	8.09	109.27	30.02	42.03	46.23	97.46	81.42	892.32
2003	92.57	122.23	71.23	48.17	25.35	12.06	9.32	61.32	12.88	26.78	41.52	98.35	621.78
2004	100.77	112.37	54.71	57.69	20.44	17.48	43.43	88.28	26.96	39.24	69.66	88.55	719.57
2005	59.51	130.87	53.93	36.80	14.41	1.51	9.33	19.39	13.41	44.20	72.64	63.06	519.06
2006	103.91	124.73	80.76	99.10	7.27	11.47	6.38	60.71	18.85	40.90	93.03	82.17	729.29
2007	101.06	102.03	77.23	85.18	14.80	2.93	24.86	18.30	8.52	47.71	77.14	67.99	627.75
2008	108.35	142.05	59.79	46.57	24.96	9.76	6.79	27.97	10.90	60.79	60.86	101.06	659.85
2009	86.95	120.84	67.95	59.21	11.06	1.69	28.35	16.68	21.56	23.36	144.77	77.88	660.30
2010	122.78	122.07	62.25	34.91	13.23	4.63	15.15	30.58	11.28	46.74	48.52	92.79	604.93
2011	82.45	169.94	55.67	114.76	17.46	9.38	39.18	15.89	40.56	40.48	44.88	97.83	728.48
2012	84.86	169.64	50.72	55.07	7.44	9.54	14.25	15.49	30.79	31.25	91.06	119.66	679.80
2013	135.25	167.18	75.07	46.48	28.25	8.06	15.09	71.37	8.83	57.64	92.02	136.38	841.63
2014	120.26	127.42	57.74	74.19	31.91	2.40	11.81	32.60	20.58	43.32	59.72	121.33	703.28
2015	114.12	139.28	65.12	140.69	36.42	5.20	33.38	41.39	13.28	25.82	101.59	90.75	807.04
2016	95.11	155.90	39.37	83.03	14.87	4.36	38.02	19.39	21.63	49.55	31.13	67.86	620.22
Media	90.64	124.57	64.73	73.21	20.86	7.73	19.73	40.17	21.18	40.99	75.66	79.56	659.03
Desviacion	19.633587	27.207912	15.935181	29.796105	10.207212	8.065801	22.208587	31.465866	11.254763	13.707051	27.07182	21.303353	100.76337
C.V	0.2166061	0.218414	0.2461821	0.4070056	0.4892835	1.0436353	1.1257569	0.7833372	0.5314223	0.334362	0.3577947	0.2677651	0.1528959
MAX	135.25269	180.69014	105.42782	152.38307	42.087055	43.780193	109.26682	114.76133	48.420238	74.156059	144.77184	136.38496	892.32244
MIN	58.39592	80.792038	38.026611	32.94492	3.8862205	1.3771454	4.5447507	6.3885865	4.7677422	12.188041	27.602802	48.744904	433.76784

Fuente: Elaboración propia



Tabla 102: Datos de precipitación de la UDRH Pacchanta

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1981	198.01	178.14	127.23	119.68	36.26	5.37	4.69	68.01	33.88	102.28	134.59	106.05	1114.17
1982	190.81	124.46	125.41	83.92	8.10	5.32	9.87	35.59	57.34	93.55	135.97	71.03	941.36
1983	95.51	119.07	78.13	52.14	39.41	5.68	6.92	26.00	9.92	37.47	46.52	82.62	599.39
1984	167.59	195.84	119.00	107.01	16.93	11.74	17.94	66.00	12.57	157.10	147.79	111.60	1131.10
1985	167.77	182.93	107.49	89.69	67.65	19.94	10.49	7.87	73.18	49.36	146.97	121.31	1044.63
1986	120.95	132.68	148.33	103.81	31.30	3.10	16.38	25.85	42.57	21.25	64.31	90.26	800.78
1987	191.44	124.65	79.24	43.22	16.86	8.89	93.98	16.08	22.53	75.23	127.16	121.14	920.41
1988	126.12	131.89	167.20	180.88	63.25	3.05	4.50	10.94	20.76	72.53	49.99	92.37	923.47
1989	159.43	151.60	140.75	101.94	43.41	17.74	5.35	89.23	57.40	55.12	88.97	77.75	988.68
1990	154.48	150.61	83.64	84.22	32.10	88.68	4.43	26.19	26.32	96.84	97.81	86.69	932.00
1991	113.14	177.17	78.20	68.82	57.32	48.26	6.19	6.28	28.43	60.88	80.46	72.43	797.58
1992	123.37	128.76	65.50	36.27	9.38	23.78	6.59	128.31	12.15	50.39	107.25	58.62	750.39
1993	144.30	144.60	108.61	89.72	10.14	11.09	16.65	88.13	38.52	78.09	113.11	146.26	989.23
1994	155.59	205.78	117.93	114.06	46.79	6.09	4.16	15.84	31.66	67.01	73.96	127.32	966.19
1995	102.50	115.81	171.94	77.77	25.80	5.08	13.26	10.73	34.21	53.13	105.33	89.25	804.80
1996	145.95	198.59	81.51	84.67	47.40	3.19	10.76	111.65	44.41	80.28	84.49	129.59	1022.48
1997	129.92	235.54	137.64	51.94	35.48	2.78	10.01	71.73	24.41	63.11	155.16	93.92	1011.64
1998	116.61	190.42	100.55	36.20	5.23	13.61	4.37	12.81	6.08	92.10	93.20	69.18	740.35
1999	145.64	208.22	99.33	129.40	22.85	7.02	10.16	6.51	68.52	50.75	59.66	124.28	932.35
2000	145.47	183.09	124.44	57.41	24.69	22.53	18.43	42.50	30.61	115.35	32.85	93.79	891.16
2001	208.07	222.16	167.31	107.64	66.91	7.17	51.30	98.13	33.58	117.90	112.08	83.59	1275.84
2002	115.16	258.97	148.34	129.13	56.09	13.19	111.65	31.71	70.43	86.03	124.03	115.04	1259.79
2003	163.67	189.39	126.30	59.46	41.63	23.32	8.23	68.95	17.37	45.74	51.15	130.11	925.30
2004	177.14	163.12	95.10	75.36	28.59	33.78	46.89	100.97	44.45	68.48	89.65	121.54	1045.08
2005	99.32	191.43	102.19	48.06	21.65	2.96	9.25	21.24	15.26	78.28	92.07	87.23	768.95
2006	181.90	178.61	136.56	128.05	10.35	20.09	5.80	60.88	26.39	78.37	121.20	119.83	1068.04
2007	165.95	142.24	141.31	99.55	22.07	4.54	26.52	14.89	11.62	86.55	92.53	90.78	898.56
2008	180.46	190.57	101.23	51.37	40.88	17.62	6.22	28.56	16.98	105.16	75.83	135.85	950.72
2009	142.70	171.93	106.47	69.56	16.47	3.27	28.82	16.14	32.57	40.57	178.24	105.60	912.33
2010	216.83	162.59	115.14	37.14	18.86	7.34	12.99	36.74	14.98	83.50	58.04	123.90	888.04
2011	139.01	237.98	106.72	136.48	23.88	16.45	42.14	14.80	67.10	69.04	53.55	136.92	1044.06
2012	151.53	255.13	101.77	59.33	11.43	16.99	12.01	15.15	46.65	55.53	110.86	154.77	991.14
2013	227.70	235.85	125.98	55.43	44.10	15.57	15.05	79.56	14.37	103.57	114.89	172.83	1204.91
2014	200.85	174.71	99.02	84.82	51.56	4.94	11.77	31.83	31.90	87.05	66.94	156.15	1001.55
2015	196.84	184.26	116.01	162.58	58.38	9.26	42.77	53.22	21.96	52.09	110.32	118.88	1126.56
2016	157.61	216.74	72.42	88.64	21.70	8.26	41.98	22.38	35.16	93.48	37.06	87.81	883.23
Media	156.09	179.32	114.55	86.26	32.64	14.38	20.79	43.37	32.67	75.64	95.39	108.51	959.62
Desviación	34.320754	39.021604	27.311185	35.691889	18.004156	16.032738	24.222465	34.115373	18.38266	26.783053	35.6175	27.317416	145.11009
C.V	0.2198743	0.217608	0.2384133	0.4137711	0.5516742	1.114967	1.16499	0.786585	0.5626344	0.3540718	0.3733914	0.2517535	0.1512164
MAX	227.70133	258.97334	171.94022	180.88061	67.645082	88.682026	111.64938	128.31427	73.175436	157.09844	178.23838	172.83251	1275.837
MIN	95.507107	115.80862	65.500559	36.195687	5.2308722	2.7783632	4.1634663	6.279238	6.0841472	21.245469	32.852964	58.620413	599.3921

Fuente: Elaboración propia



Tabla 103: Datos de precipitación de la UDRH Singrina Rio

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1981	113.91	113.79	63.94	101.66	24.78	2.88	4.85	57.49	22.75	59.02	109.98	78.13	753.18
1982	111.44	92.20	73.56	71.44	4.65	3.01	10.59	28.83	32.10	49.55	103.67	57.77	638.79
1983	65.57	92.90	50.42	44.70	27.90	3.16	7.08	22.11	5.75	20.42	37.60	56.14	433.77
1984	92.22	135.20	69.18	92.91	10.46	6.24	14.88	54.31	8.37	74.16	109.82	70.70	738.45
1985	100.38	119.89	67.20	74.62	31.47	9.06	10.78	7.83	48.42	26.89	112.63	80.76	689.94
1986	74.35	91.90	81.23	86.20	23.82	1.63	14.77	23.58	27.09	12.19	54.84	66.61	558.19
1987	103.66	87.38	46.27	36.63	12.18	4.88	83.78	15.36	14.64	38.51	102.66	91.16	637.10
1988	70.13	80.79	94.57	152.38	37.38	1.38	5.03	10.04	14.90	39.33	36.68	62.39	605.01
1989	92.12	103.12	78.28	90.01	26.12	10.14	5.52	83.30	37.28	27.92	68.67	60.99	683.47
1990	84.23	104.75	46.51	75.97	21.40	43.78	4.61	26.71	17.49	52.38	72.52	60.11	610.43
1991	67.38	114.75	42.83	57.47	30.95	25.46	6.26	6.54	17.74	33.72	67.94	55.69	526.71
1992	70.80	89.28	38.03	33.22	6.50	13.31	6.57	114.76	8.32	27.79	85.08	48.74	542.39
1993	74.88	98.88	58.98	77.41	8.03	6.39	16.41	104.43	25.42	47.54	83.29	105.84	707.49
1994	92.95	139.68	62.23	95.31	26.95	3.34	4.54	18.07	20.57	37.48	58.11	99.62	658.85
1995	58.40	87.69	105.43	65.61	18.22	2.76	13.01	10.70	23.31	28.63	79.62	62.56	555.94
1996	81.69	112.63	46.87	65.08	34.01	1.61	10.57	105.55	26.15	40.77	62.61	94.95	682.51
1997	76.40	157.07	66.30	43.58	26.36	1.43	10.07	56.11	18.17	34.40	108.55	63.58	662.02
1998	60.67	130.12	52.09	32.94	3.89	9.22	4.56	11.77	4.77	47.61	77.33	54.51	489.49
1999	86.13	160.61	62.45	101.49	16.79	3.89	12.08	6.39	46.10	28.46	50.51	84.98	659.88
2000	92.48	129.17	72.79	50.77	17.20	12.39	16.89	42.70	19.73	60.82	27.60	65.67	608.22
2001	117.10	155.51	95.83	91.15	42.09	3.73	42.73	90.13	21.30	64.20	88.15	56.15	868.06
2002	68.29	180.69	83.74	113.10	31.98	8.09	109.27	30.02	42.03	46.23	97.46	81.42	892.32
2003	92.57	122.23	71.23	48.17	25.35	12.06	9.32	61.32	12.88	26.78	41.52	98.35	621.78
2004	100.77	112.37	54.71	57.69	20.44	17.48	43.43	88.28	26.96	39.24	69.66	88.55	719.57
2005	59.51	130.87	53.93	36.80	14.41	1.51	9.33	19.39	13.41	44.20	72.64	63.06	519.06
2006	103.91	124.73	80.76	99.10	7.27	11.47	6.38	60.71	18.85	40.90	93.03	82.17	729.29
2007	101.06	102.03	77.23	85.18	14.80	2.93	24.86	18.30	8.52	47.71	77.14	67.99	627.75
2008	108.35	142.05	59.79	46.57	24.96	9.76	6.79	27.97	10.90	60.79	60.86	101.06	659.85
2009	86.95	120.84	67.95	59.21	11.06	1.69	28.35	16.68	21.56	23.36	144.77	77.88	660.30
2010	122.78	122.07	62.25	34.91	13.23	4.63	15.15	30.58	11.28	46.74	48.52	92.79	604.93
2011	82.45	169.94	55.67	114.76	17.46	9.38	39.18	15.89	40.56	40.48	44.88	97.83	728.48
2012	84.86	169.64	50.72	55.07	7.44	9.54	14.25	15.49	30.79	31.25	91.06	119.66	679.80
2013	135.25	167.18	75.07	46.48	28.25	8.06	15.09	71.37	8.83	57.64	92.02	136.38	841.63
2014	120.26	127.42	57.74	74.19	31.91	2.40	11.81	32.60	20.58	43.32	59.72	121.33	703.28
2015	114.12	139.28	65.12	140.69	36.42	5.20	33.38	41.39	13.28	25.82	101.59	90.75	807.04
2016	95.11	155.90	39.37	83.03	14.87	4.36	38.02	19.39	21.63	49.55	31.13	67.86	620.22
Media	90.64	124.57	64.73	73.21	20.86	7.73	19.73	40.17	21.18	40.99	75.66	79.56	659.03
Desviacion	19.633587	27.207912	15.935181	29.796105	10.207212	8.065801	22.208587	31.465866	11.254763	13.707051	27.07182	21.303353	100.76337
C.V	0.2166061	0.218414	0.2461821	0.4070056	0.4892835	1.0436353	1.1257569	0.7833372	0.5314223	0.334362	0.3577947	0.2677651	0.1528959
MAX	135.25269	180.69014	105.42782	152.38307	42.087055	43.780193	109.26682	114.76133	48.420238	74.156059	144.77184	136.38496	892.32244
MIN	58.39592	80.792038	38.026611	32.94492	3.8862205	1.3771454	4.5447507	6.3885865	4.7677422	12.188041	27.602802	48.744904	433.76784

Fuente: Elaboración propia



Tabla 104: Datos de precipitación de la UDRH Mapacho

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1981	83.10	94.66	40.61	71.36	19.11	2.64	5.79	39.29	19.33	30.73	77.28	87.04	570.92
1982	80.47	77.71	54.06	53.12	3.23	2.70	11.58	15.62	22.72	26.23	76.21	61.60	485.25
1983	51.28	84.72	40.51	33.96	22.72	2.98	8.03	10.81	4.30	10.18	28.77	60.88	359.14
1984	70.21	114.51	56.07	58.58	9.23	6.49	16.15	29.10	6.17	38.07	84.23	76.67	565.49
1985	73.40	103.42	51.02	56.97	23.84	6.93	10.62	4.39	37.77	12.09	78.30	86.94	545.70
1986	57.30	86.39	54.59	65.07	19.50	1.54	13.29	15.22	21.72	5.99	44.75	72.94	458.30
1987	75.88	83.77	34.67	26.30	9.69	4.37	91.52	11.15	11.44	20.50	78.87	96.69	544.86
1988	55.79	72.75	67.97	110.07	27.16	1.30	5.79	5.10	11.59	17.94	21.92	63.31	460.68
1989	70.80	86.06	54.40	69.87	20.42	9.82	5.83	50.26	29.40	13.45	48.73	67.16	526.21
1990	61.70	98.79	35.00	55.71	17.79	41.95	5.12	16.23	14.11	28.76	51.04	57.74	483.93
1991	52.74	90.26	34.75	41.46	23.69	24.35	6.69	3.54	12.35	17.48	48.16	63.38	418.85
1992	54.80	78.98	29.21	24.08	4.55	11.84	7.13	70.09	7.20	15.14	64.32	57.13	424.48
1993	53.43	81.36	45.00	58.67	7.36	6.60	19.69	62.81	19.53	25.40	61.92	110.76	552.52
1994	72.45	118.02	45.21	70.01	21.07	3.42	5.10	11.89	14.61	19.41	44.88	108.92	535.00
1995	46.31	77.90	70.66	44.56	13.26	2.55	14.02	5.75	18.67	15.02	58.16	67.32	434.17
1996	57.81	89.23	36.43	47.59	26.62	1.50	13.24	58.47	18.69	20.21	48.77	103.22	521.79
1997	54.93	126.73	52.97	36.85	20.28	1.40	12.68	33.77	13.08	17.50	77.62	65.66	513.49
1998	46.27	111.00	40.44	25.07	2.67	8.62	5.09	7.78	3.91	24.47	54.85	57.90	388.07
1999	63.63	151.46	49.45	74.18	13.90	4.22	13.92	3.53	33.92	15.04	36.50	90.41	550.14
2000	69.01	112.44	52.86	36.51	14.52	12.43	18.67	26.81	14.89	32.61	21.89	72.56	485.18
2001	85.99	133.16	70.50	64.36	34.04	3.50	41.73	48.95	17.04	32.35	62.23	56.91	650.76
2002	47.87	161.69	58.50	77.72	24.52	8.37	119.44	20.62	31.28	24.29	72.65	87.02	733.96
2003	71.35	101.60	51.72	35.88	21.48	11.11	11.58	35.53	10.60	14.28	30.80	104.30	500.24
2004	74.55	100.32	41.37	39.31	16.40	15.11	44.59	53.40	21.08	19.94	49.50	92.64	568.19
2005	44.24	119.90	38.19	25.63	10.90	1.40	10.80	10.63	11.08	24.43	53.67	66.93	417.80
2006	78.74	110.55	57.50	70.09	6.32	11.51	7.85	35.89	14.01	21.37	68.43	84.55	566.81
2007	77.19	88.30	55.77	63.20	11.99	3.33	29.18	11.44	8.05	24.08	58.05	75.23	505.81
2008	86.21	122.85	44.37	35.53	18.19	8.85	7.91	15.94	8.25	30.66	43.85	108.61	531.23
2009	65.10	111.11	50.08	43.18	8.96	1.60	31.70	10.19	15.48	13.05	101.81	83.69	535.94
2010	90.26	116.67	45.52	29.59	12.03	4.93	16.83	17.37	8.84	23.28	34.64	100.72	500.68
2011	63.53	147.04	38.27	83.85	15.05	9.40	40.13	11.33	29.63	21.35	31.32	101.05	591.94
2012	63.98	151.74	33.93	47.58	5.71	10.07	16.91	9.40	23.76	17.45	67.29	142.99	590.82
2013	112.40	153.21	57.06	33.00	24.50	9.15	15.89	43.78	5.98	30.81	70.61	154.65	711.06
2014	94.91	113.91	46.90	57.86	26.14	2.58	15.19	22.44	19.53	23.02	49.59	141.59	613.66
2015	91.58	126.85	54.59	107.00	28.66	5.69	35.32	24.82	11.13	13.96	77.94	104.46	682.00
2016	76.05	137.47	32.80	66.43	11.36	4.38	43.24	14.16	17.68	27.78	25.26	78.86	535.49
Media	68.76	109.35	47.86	53.89	16.58	7.46	21.62	24.10	16.36	21.34	55.69	86.46	529.46
Desviación	15.73133	24.604418	10.617376	21.444648	7.9700001	7.653822	23.932804	18.526743	8.4331429	7.2397334	19.580086	25.017805	84.036403
C.V	0.2287942	0.2250097	0.2218415	0.3978986	0.4807022	1.0257931	1.1071396	0.7688219	0.5155891	0.3392221	0.3515988	0.2893693	0.158721
MAX	112.40105	161.68814	70.655128	110.06998	34.035477	41.948292	119.44342	70.091553	37.769768	38.072498	101.80517	154.65257	733.95612
MIN	44.239937	72.749626	29.214231	24.082489	2.6735215	1.2960237	5.0914798	3.5261955	3.9126749	5.9916587	21.890541	56.911976	359.14325

Fuente: Elaboración propia



Acoplado los datos correspondientes se tiene la tabla 105:

Tabla 105: Tabla de parámetros para la correlación de caudales en la cuenca
Tinki.



FUENTE RIO NOMBRE	PUNTO DE CONTROL	ITEM	y Caudal Q (m³/s)	x1 Área Km²	x2 Precip. P (mm)	x3 Pend. S (m/m)
JAMARCOCHA	B.C.MARAMP AQUI	1	1.341	17.9	150.1	0.07940
		2	1.389	17.9	175.0	0.07940
		3	1.386	17.9	83.4	0.07940
		4	0.913	17.9	50.1	0.07940
		5	0.821	17.9	32.0	0.07940
		6	0.748	17.9	13.9	0.07940
		7	0.719	17.9	6.1	0.07940
		8	0.691	17.9	28.4	0.07940
		9	0.685	17.9	15.4	0.07940
		10	0.671	17.9	88.3	0.07940
		11	0.737	17.9	68.7	0.07940
		12	0.740	17.9	121.9	0.07940
KELLHUAPATA	B.C.MARAMP AQUI	13	1.519	19.1	180.5	0.08050
		14	1.586	19.1	190.6	0.08050
		15	1.259	19.1	101.2	0.08050
		16	0.943	19.1	51.4	0.08050
		17	0.747	19.1	40.9	0.08050
		18	0.503	19.1	17.6	0.08050
		19	0.461	19.1	6.2	0.08050
		20	0.451	19.1	28.6	0.08050
		21	0.430	19.1	17.0	0.08050
		22	0.453	19.1	105.2	0.08050
		23	0.542	19.1	75.8	0.08050
		24	0.600	19.1	135.9	0.08050
MOYOCOCOCHA	INGRESO A LA LAGUNA	25	2.915	61.8	116.5	0.07930
		26	2.814	61.8	131.7	0.07930
		27	2.652	61.8	62.4	0.07930
		28	2.549	61.8	39.4	0.07930
		29	2.486	61.8	24.0	0.07930
		30	1.768	61.8	10.9	0.07930
		31	1.632	61.8	6.7	0.07930
		32	1.382	61.8	21.9	0.07930
		33	1.342	61.8	10.9	0.07930
		34	1.409	61.8	59.3	0.07930
		35	1.893	61.8	55.8	0.07930
		36	3.011	61.8	111.1	0.07930
SINGRINA	DESFOGUE SINGRINA	37	4.812	88.8	108.4	0.03200
		38	4.513	88.8	142.0	0.03200
		39	3.800	88.8	59.8	0.03200
		40	3.155	88.8	46.6	0.03200
		41	3.044	88.8	25.0	0.03200
		42	2.649	88.8	9.8	0.03200
		43	2.351	88.8	6.8	0.03200
		44	2.114	88.8	28.0	0.03200
		45	2.044	88.8	10.9	0.03200
		46	2.128	88.8	60.8	0.03200
		47	3.962	88.8	60.9	0.03200
		48	5.311	88.8	101.1	0.03200
PACCHANTA	KELLHUACO CHA	49	1.625	21.9	180.5	0.04100
		50	1.401	21.9	190.6	0.04100
		51	1.210	21.9	101.2	0.04100
		52	0.773	21.9	51.4	0.04100
		53	0.609	21.9	40.9	0.04100
		54	0.589	21.9	17.6	0.04100
		55	0.579	21.9	6.2	0.04100
		56	0.474	21.9	28.6	0.04100
		57	0.482	21.9	17.0	0.04100
		58	0.663	21.9	105.2	0.04100
		59	0.720	21.9	75.8	0.04100
		60	1.212	21.9	135.9	0.04100
SINGRINA RIO	PARTE BAJA	61	7.667	94.0	84.9	0.03920
		62	5.694	94.0	169.6	0.03920
		63	4.500	94.0	50.7	0.03920
		64	3.857	94.0	55.1	0.03920
		65	3.314	94.0	7.4	0.03920
		66	2.734	94.0	9.5	0.03920
		67	2.422	94.0	14.2	0.03920
		68	2.167	94.0	15.5	0.03920
		69	1.987	94.0	30.8	0.03920
		70	2.151	94.0	31.3	0.03920
		71	4.019	94.0	91.1	0.03920
		72	5.423	94.0	119.7	0.03920
MAPACHO	RIO	73	8.276	260.0	64.0	0.02430
		74	7.532	260.0	151.7	0.02430
		75	6.521	260.0	33.9	0.02430
		76	5.526	260.0	47.6	0.02430
		77	5.683	260.0	5.7	0.02430
		78	4.143	260.0	10.1	0.02430
		79	3.349	260.0	16.9	0.02430
		80	3.214	260.0	9.4	0.02430
		81	3.117	260.0	23.8	0.02430
		82	3.718	260.0	17.5	0.02430
		83	5.873	260.0	67.3	0.02430
		84	8.094	260.0	143.0	0.02430



Fuente: Elaboración propia

Aplicando una correlación múltiple se obtendrá por medio del programa Statgraphics la fórmula correspondiente de correlación.

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \dots + \beta_n x_{in}$$

Ecuación 129

Sin embargo, para la mejor correlación posible entre variables, es recomendable que se aplique logaritmo (LOG(X)) en cada uno de los datos para poder así uniformizarlos y procesarlos de la mejor manera.

De esa forma observamos la tabla 106 para el análisis correspondiente de aplicación.

Tabla 106: Parámetros linealizados de la cuenca Tinki



		Caudal Q (m³/s)	Área Km²	Precip. P (mm)	Pend. S (m/m)
		LOG10 Q	LOG10 A	LOG10 P	LOG10 S
JAMARCOCHA	B.C.MARAMPACQUI	0.1274288	1.2526103	2.1763849	-1.100179
		0.1427022	1.2526103	2.2431543	-1.100179
		0.1417632	1.2526103	1.9213003	-1.100179
		-0.039529	1.2526103	1.7001093	-1.100179
		-0.085657	1.2526103	1.5057103	-1.100179
		-0.126098	1.2526103	1.1425315	-1.100179
		-0.143271	1.2526103	0.7852482	-1.100179
		-0.160522	1.2526103	1.4538622	-1.100179
		-0.164309	1.2526103	1.1879387	-1.100179
		-0.173277	1.2526103	1.9457979	-1.100179
		-0.132533	1.2526103	1.8372283	-1.100179
		-0.130768	1.2526103	2.0861127	-1.100179
KELLHUAPATA	B.C.MARAMPACQUI	0.1815578	1.2810334	2.2563837	-1.094204
		0.2003032	1.2810334	2.2800516	-1.094204
		0.1000257	1.2810334	2.0052918	-1.094204
		-0.025488	1.2810334	1.7107444	-1.094204
		-0.126679	1.2810334	1.6114858	-1.094204
		-0.298432	1.2810334	1.2459754	-1.094204
		-0.336299	1.2810334	0.7939936	-1.094204
		-0.345823	1.2810334	1.4556861	-1.094204
		-0.366532	1.2810334	1.2298241	-1.094204
		-0.343902	1.2810334	2.0218318	-1.094204
		-0.266001	1.2810334	1.8798548	-1.094204
		-0.221849	1.2810334	2.1330641	-1.094204
MOYOCCHOCHA	INGRESO A LA LAGUNA	0.4646386	1.7909885	2.0664929	-1.100727
		0.4493241	1.7909885	2.1195063	-1.100727
		0.4235735	1.7909885	1.7948377	-1.100727
		0.4063698	1.7909885	1.5950443	-1.100727
		0.3955011	1.7909885	1.3796897	-1.100727
		0.2474823	1.7909885	1.0358634	-1.100727
		0.2127202	1.7909885	0.82847	-1.100727
		0.140508	1.7909885	1.3403964	-1.100727
		0.1277525	1.7909885	1.0355858	-1.100727
		0.148911	1.7909885	1.7728064	-1.100727
		0.2771506	1.7909885	1.7469436	-1.100727
		0.4787108	1.7909885	2.0456763	-1.100727
SINGRINA	DESFOGUE SINGRINA	0.6823256	1.948413	2.0348402	-1.49485
		0.6544653	1.948413	2.1524275	-1.49485
		0.5797836	1.948413	1.7766255	-1.49485
		0.4989994	1.948413	1.6681017	-1.49485
		0.4834446	1.948413	1.3972877	-1.49485
		0.423082	1.948413	0.9893971	-1.49485
		0.3712526	1.948413	0.8319058	-1.49485
		0.325105	1.948413	1.4466491	-1.49485
		0.3104809	1.948413	1.0374489	-1.49485
		0.3279716	1.948413	1.783843	-1.49485
		0.5979145	1.948413	1.7843076	-1.49485
		0.7251763	1.948413	2.0045819	-1.49485
PACCHANTA	KELLHUACOCHA	0.2108534	1.3396502	2.2563837	-1.387216
		0.1464381	1.3396502	2.2800516	-1.387216
		0.0827854	1.3396502	2.0052918	-1.387216
		-0.111821	1.3396502	1.7107444	-1.387216
		-0.215383	1.3396502	1.6114858	-1.387216
		-0.229885	1.3396502	1.2459754	-1.387216
		-0.237321	1.3396502	0.7939936	-1.387216
		-0.324222	1.3396502	1.4556861	-1.387216
		-0.316953	1.3396502	1.2298241	-1.387216
		-0.178486	1.3396502	2.0218318	-1.387216
		-0.142668	1.3396502	1.8798548	-1.387216
		0.0835026	1.3396502	2.1330641	-1.387216
SINGRINARIO	PARTE BAJA	0.8846255	1.9729892	1.9287085	-1.406714
		0.7554175	1.9729892	2.2295353	-1.406714
		0.6532125	1.9729892	1.7052157	-1.406714
		0.5862496	1.9729892	1.740954	-1.406714
		0.5203525	1.9729892	0.8718558	-1.406714
		0.4367985	1.9729892	0.9795979	-1.406714
		0.3841741	1.9729892	1.1538008	-1.406714
		0.3358589	1.9729892	1.190178	-1.406714
		0.2981979	1.9729892	1.4884653	-1.406714
		0.3326404	1.9729892	1.4949186	-1.406714
		0.604118	1.9729892	1.9593406	-1.406714
		0.7342396	1.9729892	2.077949	-1.406714
MAPACHO	RIO	0.9178205	2.4149733	1.8060227	-1.614394
		0.8769103	2.4149733	2.181094	-1.614394
		0.8143142	2.4149733	1.5306398	-1.614394
		0.7424109	2.4149733	1.6773825	-1.614394
		0.7545777	2.4149733	0.7569439	-1.614394
		0.6173149	2.4149733	1.0029176	-1.614394
		0.5249151	2.4149733	1.2281061	-1.614394
		0.5070459	2.4149733	0.9731094	-1.614394
		0.4937368	2.4149733	1.3759319	-1.614394
		0.5703094	2.4149733	1.2418719	-1.614394
		0.76886	2.4149733	1.8279433	-1.614394
		0.9081632	2.4149733	2.1553198	-1.614394



Fuente: Elaboración propia

De esta forma, la regresión múltiple se da de la siguiente manera:

- **Regresión lineal múltiple**

Tomando en cuenta lo estipulado por Villón Bejar (2006) y Linsley Kohler (1975), se aplicó un análisis de varianza y se describe una tabla de parámetros.

De esta manera, se muestran las tablas 107 y 108 respecto a la descripción ya dada.

Variable dependiente: Caudal

Variabes independientes:

- Área
- Precipitación
- Pendiente

Tabla 107: Tabla de parámetros

		<i>Error</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimación</i>	<i>Estándar</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
CONSTANTE	-1.5178	0.120057	-12.6423	0.0000
ÁREA	0.879308	0.0566152	15.5313	0.0000
PRECIPITACIÓN	0.256817	0.0344886	7.44643	0.0000
PENDIENTE	0.117571	0.114751	1.02457	0.3087

Fuente: Elaboración propia

○ **Análisis de Varianza**

Tabla 108: Análisis de varianza

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>de Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	9.64522	3	3.21507	170.95	0.0000
Residuo	1.50461	80	0.0188076		
Total (Corr.)	11.1498	83			

Fuente: Elaboración propia

R-cuadrada = 86.5055 por ciento



R-cuadrado (ajustado para Gl.) = 85.9995 por ciento

Error estándar del est. = 0.137141

Error absoluto medio = 0.113446

Estadístico Durbin-Watson = 0.829613 (P=0.0000)

Auto correlación de residuos en retraso 1 = 0.579612

Así, la salida muestra los resultados de ajustar un modelo de regresión lineal múltiple para describir la relación entre el caudal y las 3 variables independientes. La ecuación del modelo ajustado es:

$$\text{Log}(Q) = -1.5178 + 0.879308 * \text{Área} + 0.256817 * \text{Precipitación} + 0.117571 * \text{Pendiente}$$

Ecuación 130

Según Linsley Kohler (1975) puesto que el valor-P en la tabla ANOVA es menor que 0.05, existe una relación estadísticamente significativa entre las variables con un nivel de confianza del 95.0%.

○ **Matriz de Correlación para las estimaciones de los coeficientes**

Se obtiene la tabla 109, siendo la matriz de correlación de variables tanto de área, precipitación y pendiente para la regresión múltiple correspondiente.

Tabla 109: Matriz de correlación de variables

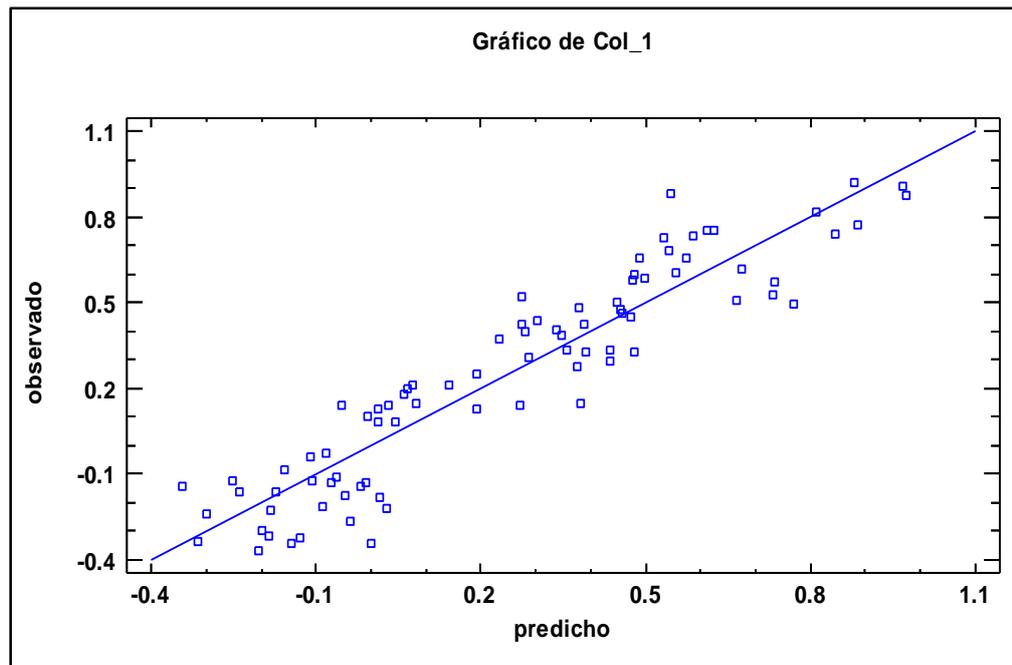
	<i>CONSTANTE</i>	<i>ÁREA</i>	<i>PRECIPITACIÓN</i>	<i>PENDIENTE</i>
<i>CONSTANTE</i>	1.0000	0.0653	-0.5325	0.6294
<i>ÁREA</i>	0.0653	1.0000	0.1503	0.7511
<i>PRECIPITACIÓN</i>	-0.5325	0.1503	1.0000	0.0417
<i>PENDIENTE</i>	0.6294	0.7511	0.0417	1.0000

Fuente: Elaboración propia

Esta tabla muestra las correlaciones estimadas entre los coeficientes en el modelo ajustado.

En este caso, hay 1 correlación con valor absoluto mayor que 0.5 (sin incluir el término constante).

Figura 133: Gráfico de distribución de variables



Fuente: Elaboración propia.

Transformando la ecuación 130 se tendrá la ecuación de la siguiente forma:

$$Q = 10^{\wedge} (a + b * \text{Log} (A) + c * \text{Log} (P) + d * \text{Log} (S)) \quad \text{Ec. (3.6.2.9.3.2.)}$$

Tabla 110: Ecuación generada para la cuenca Tinki

ECUACIÓN GENERADA PARA LA CUENCA EN ESTUDIO:		CUENCA DEL RÍO TINKI
$Q = 10^{\wedge} (-1.5178 + 0.8793 * \text{Log} (536.48) + 0.2568 * \text{Log} (P) + 0.1176 * \text{Log} (0.0346))$		
Donde:	a =	-1.5178
	b =	0.8793
	c =	0.2568
	d =	0.1176
	A =	536.480 Km ²
	P =	P mm
	S =	0.03460 m/m

Fuente: Elaboración propia

De esta manera se podrá registrar un control de caudales medios mensuales según a la fórmula ya estipulada en la tabla N°164.

Dichos caudales se muestran en la tabla N°165, que según a los coeficientes ya calculados, se aplican en la fórmula ya estipulada.



3.6.2.9.4. Calibración del modelo GR2M.

Con ello, determinamos que los caudales generados están listos para su uso, pero al presentarse ciertas desviaciones del caudal, se disgregará los años a utilizarse vistos en la tabla 111 con la respectiva precipitación y ETP ya obtenida y estipulada anteriormente.

Tabla 111: Caudales a usarse en el modelo GR2M - calibración

MES	PRECIPITACIÓN	ETP (mm)	Q OBS (m ³ /s)
Ene-84	70.21	70.72	15.30
Feb-84	114.51	63.66	17.35
Mar-84	56.07	64.24	14.44
Abr-84	58.58	52.70	14.61
May-84	9.23	45.21	9.09
Jun-84	6.49	42.27	8.30
Jul-84	16.15	43.58	10.49
Ago-84	29.10	54.69	12.20
Set-84	6.17	61.07	8.19
Oct-84	38.07	69.76	13.08
Nov-84	84.23	75.86	16.03
Dic-84	76.67	77.94	15.65
Ene-85	73.40	75.46	15.48
Feb-85	103.42	67.31	16.90
Mar-85	51.02	67.59	14.10
Abr-85	56.97	64.06	14.50
May-85	23.84	56.94	11.59
Jun-85	6.93	46.08	8.44
Jul-85	10.62	43.90	9.42
Ago-85	4.39	42.45	7.51
Set-85	37.77	46.33	13.05
Oct-85	12.09	60.43	9.74
Nov-85	78.30	66.16	15.74
Dic-85	86.94	78.64	16.17
Ene-86	57.30	80.16	14.52
Feb-86	86.39	69.19	16.14
Mar-86	54.59	76.46	14.34
Abr-86	65.07	71.99	15.01
May-86	19.50	70.73	11.01
Jun-86	1.54	58.93	5.74
Jul-86	13.29	53.42	9.98
Ago-86	15.22	46.53	10.33
Set-86	21.72	41.54	11.32
Oct-86	5.99	47.10	8.13
Nov-86	44.75	50.40	13.63
Dic-86	72.94	66.15	15.45
Ene-87	75.88	72.93	15.61
Feb-87	83.77	69.30	16.01
Mar-87	34.67	77.34	12.77
Abr-87	26.30	75.01	11.89
May-87	9.69	73.28	9.20
Jun-87	4.37	70.35	7.50
Jul-87	91.52	64.72	16.38
Ago-87	11.15	53.98	9.54
Set-87	11.44	44.26	9.60
Oct-87	20.50	44.56	11.15
Nov-87	78.87	41.82	15.77
Dic-87	96.69	50.29	16.61
Ene-89	70.80	49.99	15.33
Feb-89	86.06	52.73	16.12
Mar-89	54.40	68.93	14.33
Abr-89	69.87	70.89	15.28
May-89	20.42	77.85	11.14
Jun-89	9.82	75.00	9.23
Jul-89	5.83	79.53	8.08
Ago-89	50.26	77.29	14.04
Set-89	29.40	68.86	12.24
Oct-89	13.45	61.02	10.01



Nov-89	48.73	47.79	13.93
Dic-89	67.16	41.45	15.13
Ene-91	52.74	71.01	14.22
Feb-91	90.26	60.03	16.32
Mar-91	34.75	65.33	12.77
Abr-91	41.46	63.29	13.37
May-91	23.69	54.05	11.58
Jun-91	24.35	45.66	11.66
Jul-91	6.69	38.74	8.37
Ago-91	3.54	35.43	7.10
Set-91	12.35	42.76	9.79
Oct-91	17.48	56.46	10.71
Nov-91	48.16	59.23	13.89
Dic-91	63.38	66.63	14.90
Ene-94	72.45	60.82	15.43
Feb-94	118.02	61.76	17.49
Mar-94	45.21	76.08	13.67
Abr-94	70.01	75.16	15.29
May-94	21.07	77.38	11.23
Jun-94	3.42	71.56	7.04
Jul-94	5.10	70.94	7.80
Ago-94	11.89	66.35	9.70
Set-94	14.61	54.54	10.22
Oct-94	19.41	47.68	11.00
Nov-94	44.88	38.94	13.64
Dic-94	108.92	40.58	17.13
Ene-01	85.99	73.49	16.12
Feb-01	133.16	62.47	18.04
Mar-01	70.50	69.38	15.32
Abr-01	64.36	61.85	14.96
May-01	34.04	55.42	12.71
Jun-01	3.50	44.67	7.08
Jul-01	41.73	39.07	13.39
Ago-01	48.95	38.91	13.95
Set-01	17.04	44.26	10.64
Oct-01	32.35	57.73	12.54
Nov-01	62.23	62.62	14.83
Dic-01	56.91	70.48	14.50
Ene-02	47.87	73.53	13.87
Feb-02	161.69	68.40	18.96
Mar-02	58.50	73.29	14.60
Abr-02	77.72	67.83	15.71
May-02	24.52	65.39	11.68
Jun-02	8.37	56.57	8.86
Jul-02	119.44	46.68	17.54
Ago-02	20.62	41.05	11.17
Set-02	31.28	39.39	12.43
Oct-02	24.29	44.91	11.65
Nov-02	72.65	51.94	15.44
Dic-02	87.02	62.65	16.17
Ene-04	74.55	60.06	15.54
Feb-04	100.32	65.71	16.77
Mar-04	41.37	71.76	13.36
Abr-04	39.31	71.04	13.18
May-04	16.40	73.66	10.53
Jun-04	15.11	66.69	10.31
Jul-04	44.59	66.37	13.62
Ago-04	53.40	60.46	14.26
Set-04	21.08	49.48	11.23
Oct-04	19.94	41.74	11.07
Nov-04	49.50	38.47	13.99
Dic-04	92.64	40.63	16.43



Fuente: Elaboración propia

Así según SENAMHI (2019) determinaremos un periodo de tiempo en el cual habrá una puesta en marcha, tomando en cuenta que se usarán 2/3 de todos los datos a usarse para la calibración y 1/3 para la validación.

Es imprescindible mostrar lo que son los valores iniciales con los cuales se iniciará el modelo.

Teniendo en cuenta los datos ya obtenidos, se tienen las tablas 112, 113 y 114. La tabla 115 muestra los criterios de eficiencia por Nash-Sutcliffe.

Tabla 112: Valores iniciales – calibración

Valores Iniciales		
Nivel inicial de llenado S0 (max.: x1 mm)	=	2718.07
Nivel inicial de llenado R0 (max.: 60 mm)	=	60

Fuente: Elaboración propia

Tabla 113: Periodo de calibración

Periodo		
Duración del periodo de puesta en marcha (mes)	=	12
Duración del periodo de prueba (mes)	=	299
Fecha de inicio	=	1/01/1981
Fecha de fin	=	31/12/2006

Fuente: Elaboración propia

De la misma manera, aplicaremos los parámetros del modelo con los ya mencionados X1 Y X2.

Tabla 114. Parámetros del modelo.

Parametros del Modelo	Valor	Real
x1: Capacidad de Reservoirio Suelo (mm)	8.60	5436.14
x2: Coeficiente de Intercambio Subterraneo	1.92	1.92

Fuente: Elaboración propia

Luego de aplicar los parámetros y determinado el periodo de calibración, se presentan los coeficientes de eficiencia del modelo que acreditan el correcto funcionamiento de este.

Tabla 115: Criterios de eficiencia.

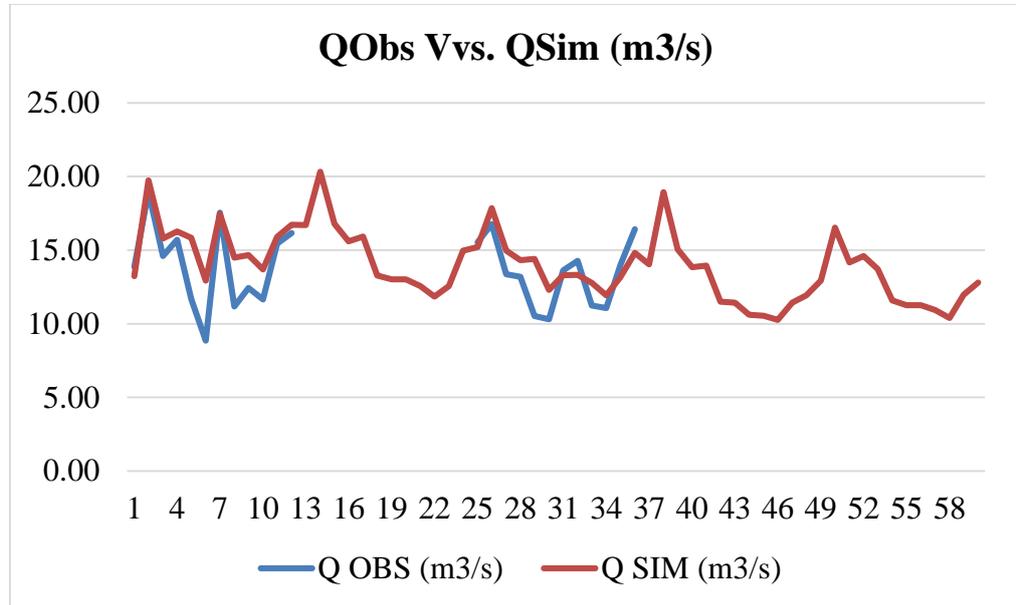
Criterios de Eficiencia (%)		
Nash (Q)	=	0.9
Balance	=	99.9

Fuente: Elaboración propia



Bajo lo que se estipula en los criterios de eficiencia, se clasifica la eficiencia de calibración en “satisfactoria”.

Figura 134: Caudales observados vs caudales simulados - calibración



Fuente: Elaboración propia

3.6.2.9.5. Validación del modelo GR2M.

Tomando en cuenta ya la calibración presentada, según SENAMHI (2019) procederemos a procesar el 1/3 de información restante, por lo que usamos los caudales seleccionados en la tabla 116.

Tabla 116: Caudales para validación



MES	PRECIPITACIÓN	ETP (mm)	Q OBS (m ³ /s)
Ene-07	77.19	45.47	15.68
Feb-07	88.30	36.33	16.23
Mar-07	55.77	43.08	14.42
Abr-07	63.20	49.77	14.89
May-07	11.99	60.77	9.72
Jun-07	3.33	68.22	6.99
Jul-07	29.18	72.63	12.21
Ago-07	11.44	76.49	9.60
Set-07	8.05	72.16	8.77
Oct-07	24.08	72.36	11.63
Nov-07	58.05	67.99	14.57
Dic-07	75.23	65.21	15.58
Ene-08	86.21	57.89	16.13
Feb-08	122.85	46.14	17.67
Mar-08	44.37	43.27	13.60
Abr-08	35.53	38.36	12.85
May-08	18.19	49.76	10.82
Jun-08	8.85	56.26	8.99
Jul-08	7.91	66.75	8.73
Ago-08	15.94	72.98	10.46
Set-08	8.25	74.95	8.83
Oct-08	30.66	75.53	12.37
Nov-08	43.85	68.66	13.56
Dic-08	108.61	70.66	17.12
Ene-09	65.10	66.73	15.01
Feb-09	111.11	55.21	17.22
Mar-09	50.08	51.69	14.03
Abr-09	43.18	44.15	13.51
May-09	8.96	42.51	9.02
Jun-09	1.60	43.92	5.79
Jul-09	31.70	55.63	12.48
Ago-09	10.19	67.88	9.32



Set-09	15.48	71.83	10.38
Oct-09	13.05	79.38	9.93
Nov-09	101.81	77.29	16.83
Dic-09	83.69	77.93	16.01
Ene-10	90.26	73.77	16.32
Feb-10	116.67	63.64	17.43
Mar-10	45.52	65.58	13.69
Abr-10	29.59	54.39	12.26
May-10	12.03	48.94	9.73
Jun-10	4.93	42.78	7.74
Jul-10	16.83	42.67	10.60
Ago-10	17.37	53.21	10.69
Set-10	8.84	60.59	8.99
Oct-10	23.28	73.15	11.52
Nov-10	34.64	73.34	12.76
Dic-10	100.72	79.26	16.79
Ene-11	63.53	81.21	14.91
Feb-11	147.04	70.64	18.50
Mar-11	38.27	73.17	13.09
Abr-11	83.85	65.04	16.02
May-11	15.05	58.55	10.30
Jun-11	9.40	47.05	9.13
Jul-11	40.13	43.84	13.25
Ago-11	11.33	41.21	9.58
Set-11	29.63	45.27	12.26
Oct-11	21.35	56.04	11.27
Nov-11	31.32	64.52	12.44
Dic-11	101.05	74.81	16.80
Ene-12	63.98	79.69	14.94
Feb-12	151.74	72.21	18.65
Mar-12	33.93	74.29	12.70
Abr-12	47.58	68.67	13.85
May-12	5.71	69.68	8.03
Jun-12	10.07	57.84	9.29
Jul-12	16.91	48.16	10.62
Ago-12	9.40	41.77	9.13
Set-12	23.76	39.68	11.59
Oct-12	17.45	43.67	10.70
Nov-12	67.29	52.02	15.14
Dic-12	142.99	62.58	18.37
Ene-13	112.40	71.20	17.27
Feb-13	153.21	68.05	18.70
Mar-13	57.06	75.99	14.51
Abr-13	33.00	72.19	12.60
May-13	24.50	73.78	11.68



Jun-13	9.15	69.61	9.07
Jul-13	15.89	64.06	10.45
Ago-13	43.78	51.15	13.55
Set-13	5.98	42.11	8.13
Oct-13	30.81	40.17	12.38
Nov-13	70.61	40.32	15.32
Dic-13	154.65	49.56	18.74
Ene-14	94.91	59.21	16.53
Feb-14	113.91	60.44	17.33
Mar-14	46.90	73.95	13.80
Abr-14	57.86	74.61	14.56
May-14	26.14	72.04	11.87
Jun-14	2.58	70.45	6.55
Jul-14	15.19	70.40	10.33
Ago-14	22.44	65.31	11.42
Set-14	19.53	53.51	11.02
Oct-14	23.02	43.32	11.49
Nov-14	49.59	40.77	13.99
Dic-14	141.59	38.96	18.32
Ene-15	91.58	49.75	16.38
Feb-15	126.85	50.86	17.81
Mar-15	54.59	64.82	14.34
Abr-15	107.00	71.01	17.05
May-15	28.66	75.33	12.16
Jun-15	5.69	73.77	8.03
Jul-15	35.32	79.33	12.83
Ago-15	24.82	72.88	11.72
Set-15	11.13	65.42	9.53
Oct-15	13.96	59.59	10.11
Nov-15	77.94	48.64	15.72
Dic-15	104.46	43.79	16.95
Ene-16	76.05	42.19	15.62
Feb-16	137.47	42.79	18.18
Mar-16	32.80	56.65	12.59
Abr-16	66.43	64.54	15.09
May-16	11.36	71.27	9.59
Jun-16	4.38	71.48	7.50
Jul-16	43.24	76.31	13.51
Ago-16	14.16	73.30	10.14
Set-16	17.68	67.68	10.74
Oct-16	27.78	65.57	12.06
Nov-16	25.26	58.06	11.77
Dic-16	78.86	49.35	15.77

Fuente: Elaboración propia



Así, determinaremos un periodo de tiempo de igual manera en el cual habrá una puesta en marcha, tomando en cuenta que se usará el resto de todos los datos a usarse. Se muestran la tabla 117,118,119,120.

Además, también se presentarán los valores iniciales.

Tabla 117: Valores iniciales estipulados – validación

Valores Iniciales		
Nivel inicial de llenado S0 (max.: x1 mm)	=	710.62
Nivel inicial de llenado R0 (max.: 60 mm)	=	60

Fuente: Elaboración propia

Tabla 118: Periodo de validación

Periodo		
Duración del periodo de puesta en marcha (mes)	=	0
Duración del periodo de prueba (mes)	=	120
Fecha de inicio	=	1/01/2007
Fecha de fin	=	31/12/2016

Fuente: Elaboración propia

De la misma manera, aplicaremos los parámetros del modelo con los ya mencionados X1 Y X2.

Tabla 119. Parámetros del modelo.

Parametros del Modelo	Valor	Real
x1: Capacidad de Reservorio Suelo (mm)	7.26	1421.24
x2: Coeficiente de Intercambio Subterráneo	1.87	1.87

Fuente: Elaboración propia

Luego de aplicar los parámetros y determinado el periodo de calibración, se presentan los coeficientes de eficiencia del modelo que acreditan el correcto funcionamiento de este.

Tabla 120: Criterios de eficiencia.

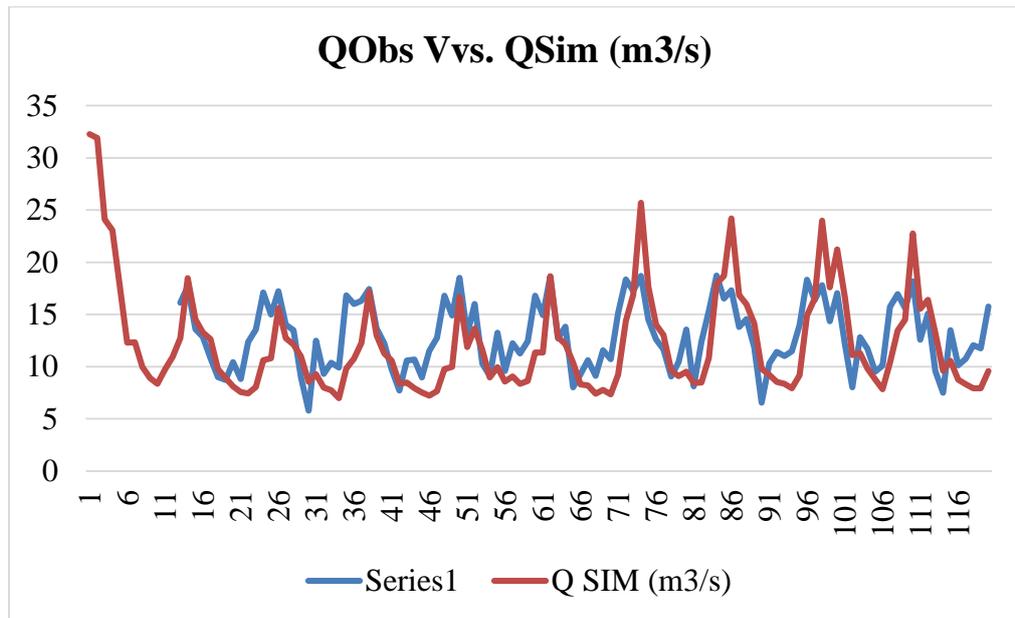
Criterios de Eficiencia (%)		
Nash (Q)	=	0.7
Balance	=	95.0

Fuente: Elaboración propia

Bajo lo que se estipula en los criterios de eficiencia, se clasifica la eficiencia de calibración en “muy satisfactoria”.



Figura 135: Distribución de caudales generados – validación



Fuente: Elaboración propia



4. 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.

Así, se muestra en la tabla N°121 dichos parámetros obtenidos.

Tabla 121: Parámetros geomorfológicos de la cuenca Singrinacocha

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO - ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL				
MODELACIÓN HIDROLÓGICA DE LA CUENCA DE LA LAGUNA SINGRINACOA DISTRITO DE MARCAPATA PROVINCIA DE QUISPICANCHIS DEPARTAMENTO DE CUSCO				
PARÁMETROS BÁSICOS DE LA CUENCA				
FECHA: 03/05/2022		DEPARTAMENTO: CUSCO PROVINCIA: QUISPICANCHIS DISTRITO: MARCAPATA		
ÍTEM	DESCRIPCION	UNIDAD	VARIABLE	PARAMETRO
01.	UBICACIÓN			0.00
	Centro de Gravedad de la Cuenca	m	Este (X)	195,584.82
	Coordenadas	m	Norte (Y)	8,549,872.80
		g° m' s"	Latitud S	13° 05' 48.99" S
		g° m' s"	Longitud W	48' 26.1570" W
02.	AREA Y PERIMETRO DE LA CUENCA			
	Area de la Cuenca	Km ²	AT	87.21
	Perímetro de la Cuenca	Km	P	49.03
03.	FRECUENCIA DE ALTITUDES			
	Altitud Media de la Cuenca	m.s.n.m.	ZMedia	5,200.000
	Altitud Media de la Cuenca (WMS)	m.s.n.m.	ZMedia1	5,089.000
	Altitud mas Frecuente	m.s.n.m.	ZFrec.	5,399.000
04.	INDICES REPRESENTATIVOS			
	Factor de Forma		F	0.214
	Indice de Compacidad o Indice de Gravelious:		K	1.470
05.	PENDIENTE DE LA CUENCA			
	Criterio del Rectangulo Equivalente	%	SC.1	12.546
	Criterio de Alvord	%	SC.2	107.015
	Pendiente de la Cuenca (WMS)	%	SC.3	40.730
	Índice de pendiente	adim	SC.4	8.810
06.	PERFIL LONGITUDINAL DEL CAUCE PRINCIPAL			
	Longitud del Cauce Principal	Km	LRIO	8.110
	Pendiente del Cauce Principal	%	D HRIO	0.140
	Pendiente del Cauce Principal (WMS)	%	D HRIO	0.140
	Longitud al Centroides	Km	LCG	1.366
07.	PENDIENTE DEL CAUCE PRINCIPAL			
	Metodo II : Ecuacion de Taylor y Schwarz	%	SRÍO.2	2.010
08.	TIEMPO DE CONCENTRAIÓN			3.96
	Kirpich	Hr	Tc	0.520

Fuente: Víctor Sebastián Pedraza Ramírez



El área de nuestra cuenca se determina en 87.21 km² y un perímetro de 49.03 km como se ha determinado anteriormente:

- Observando lo que es nuestras áreas parciales se determina que la altitud promedio por el método de la curva hipsométrica es entre los 4313-6050 m.s.n.m debido a que el porcentaje obtenido son, en su mayoría, entre esas 2 cotas, eso genera que el porcentaje encima de la curva sea mucho mayor desde 5200 m.s.n.m por lo que se determina como una altitud media.
- El método gráfico puede llegar a variar un poco respecto a las áreas parciales, pero mantiene credibilidad si no difiere de una manera trascendental entre las curvas de nivel.
- Las áreas parciales según las curvas de nivel no difieren tanto de la altitud media calculada por el método ya mencionado, lo que significa que es correcto.
- No se empleó el cálculo de altitud por el método de la media simple por la probabilidad de error en su resultado.

El índice de Gravelious de la cuenca es igual a 1.4699, lo cual nos indica lo siguiente:

- La cuenca se encuentra en el rango de 1.5 – 1.75, lo que significa que su clasificación es “Oval oblonga a rectangular oblonga”.
- Las cuencas ovas oblonga a rectangular oblongas son las que menos probable a que una tormenta oscurezca por completo, lo que sugiere a que el comportamiento sugiere una mayor velocidad de concentración.

El tiempo de concentración tiende a ser 0.520 horas lo cual corrobora el anterior ítem, esto según Kirpich indica a que menos velocidad mayor el periodo de concentración y al revés.

El índice de pendiente es de 8.81, que señala la relación entre pendiente y tramo recorrido, que señala:

- Se interpreta que en el lado más largo del rectángulo equivalente se encuentra una pendiente acumulativa de 8% de todos los tramos, de manera longitudinal.
- Las mayores pendientes se dan en los tramos establecidos de 5399-5616 m.s.n.m.
- Los tramos en donde hay menos pendiente son, si bien zonas en donde es bajo o mayor al promedio como el nivel de la laguna Singrinacocha o la zona de nevado correspondientemente, son zonas en donde los tramos no son tan continuos como los anteriores ya mencionados, por lo que se toma como un referente.



El siguiente parámetro analizado es el índice de forma, el mismo que tiene un valor numérico de 0.2139, 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 0.37.
- El valor de 0.37 nos da a entender que la cuenca no posee un buen sistema de drenaje.
- Para obtener la pendiente de la cuenca se dedujo por el criterio de Alvord anteriormente configurado en el software ARCGIS que nos arrojó un valor de 40.74%.

Tabla 122: Cálculo de pendiente media de la cuenca

N°	RANGO PENDIENTE		PROMEDIO	NÚMERO DE OCURRENCIA	PROMEDIO x OCURRENCIA
	INFERIOR	SUPERIOR			
1	0	5	2.5	5503	13757.5
2	5	12	8.5	7665	65152.5
3	12	18	15.0	9654	144810
4	18	24	21.0	9531	200151
5	24	32	28.0	10860	304080
6	32	44	38.0	13056	496128
7	44	100	72.0	34171	2460312
				90440	3684391

Pendiente media de la Cuenca:

40.739 %

Fuente: Elaboración propia

Tabla 123: Tipos de pendiente según el porcentaje

PENDIENTE (%)	TIPO
<5%	Plano
5%-12%	Ligeramente ondulado
12%-18%	Ondulado
18%-24%	Fuertemente ondulado
24%-32%	Escarpado
32%-44%	Fuertemente escarpado
>44%	Montañoso

Fuente: Saéñz (1999)

- La pendiente de cuenca nos señala que la respuesta a las precipitaciones es alta, condición por la cual se corrobora que el drenaje es bueno en la cuenca.

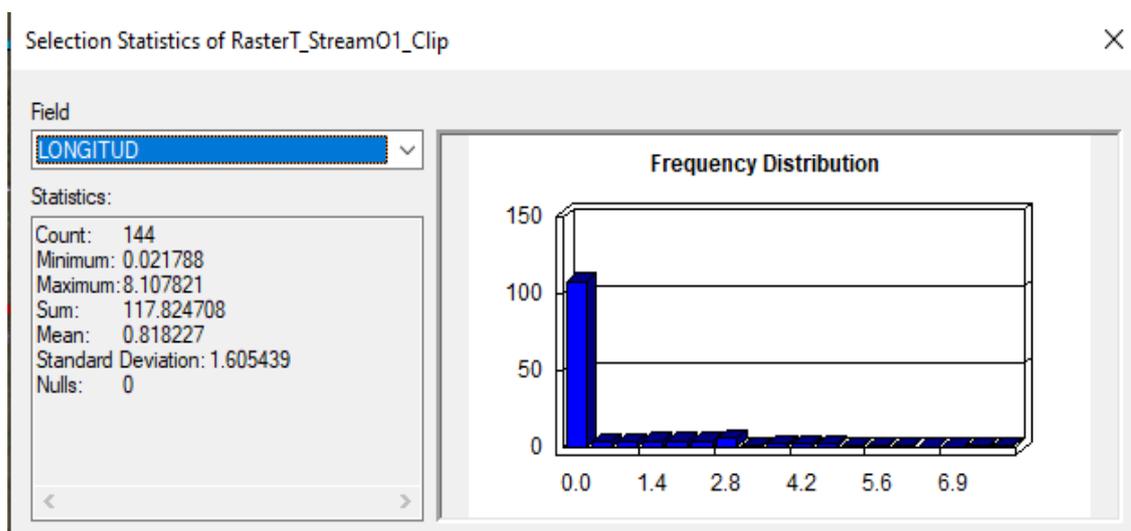


- La cuenca se dividió en 8 secciones en ArcGIS según las pendientes establecidas para su procesamiento visto en el ítem de fisiografía para el manejo adecuado de esta y su análisis teórico correcto.
- El software ArcGIS determina que hay 2 tipos de ríos principales en la cuenca delimitada, sin embargo, nosotros optamos por el análisis principal del río que contiene a nuestro lugar de estudio siendo esta la laguna de Singrinacocha.
- La altitud más frecuente según cálculo de histograma es 5399 m.s.n.m es la altitud en la cual se encuentra la mayor cantidad de área parcial de la cuenca disgregada según las áreas parciales.

La orden de río de la cuenca de la laguna Singrinacocha fue de orden 1, por consiguiente:

- Las longitudes totales de los ríos son de 32.64 km que nos muestra que por más extensión presentada en una cuenca no significa mayor cantidad de caudal.
- La pendiente del río principal tiende a ser 0.14% siendo este el río escogido como orden 1 final.

Tabla 124: Longitud de orden de río N°1 de la cuenca de la laguna Singrinacocha



Fuente: ArcGIS

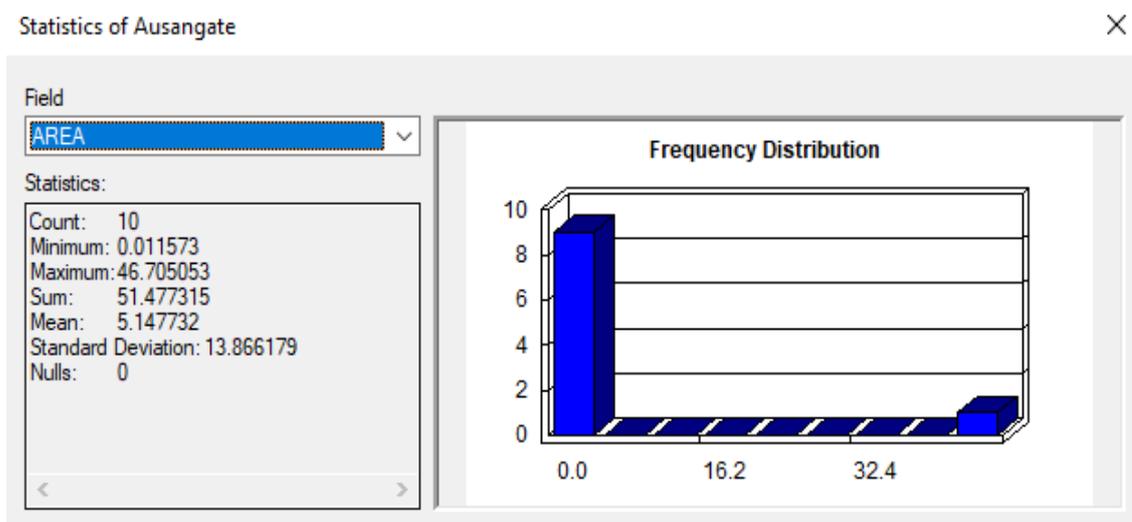


4.2. De los cuerpos de agua y manantes.

Posterior al análisis los Raster y Shapefiles correspondientes a cuenca de la laguna Singrinacocha pudimos obtener los siguientes resultados:

- Según a lo visto desde la ortofotos hasta la realidad, observamos que lo registrado respecto a los nevados es mucho menor en la realidad (Ausangate y Colquepunco) debido al impacto del calentamiento global, razón por la cual se procesa con esa área el shape correspondiente.
- El DEM procesado en ArcGIS suministrado del satélite GIOVANNI de la NASA muestra ciertos espacios vacíos, que para el objetivo de nuestra investigación han sido corregidos y complementados por lo suministrado por el MINAM.
- Las distintas corrientes que pueden producirse en la cuenca de la laguna Singrinacocha, partiendo desde nuestra cuenca hasta su final desembocan en el océano Atlántico.
- Existen 45 lagunas cuya sumatoria de área es 5.38 km² por lo cual consideramos importante agregar al cálculo de diversos parámetros como la retención para el correcto uso del modelo Lutz Scholz.
- La cuenca de la laguna Singrinacocha siendo esta la cuenca Tinki posee 60 km² de nevados entre el Ausangate.

Tabla 125: Área del nevado Ausangate en la cuenca Singrinacocha



Fuente: ArcGIS

- Podemos observar que el área del nevado Ausangate es de 51.47 km² influyentes en la cuenca de estudio.



- Los caudales aportados por los manantes (ingresos, desfogues, quebradas, ríos, etc.) fueron recopilados según a los puntos de interés en donde desemboca la escorrentía correspondiente por medio de los aforos en la correlación presentada en el modelo GR2M.

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 Sibinacocha es la que tiene la información más relevante y además del punto de interés es la estación referencial para su regionalización.
- Los datos de la precipitación total anual de la cuenca se encuentran plasmados en la Tabla 130.
- Las estaciones y los datos de precipitación y ETP bajas, medias y altas son fiables al procesarse un correcto análisis de consistencia.
- Tras realizar el análisis de doble masa, consistencia y tendencia, podemos ver que los datos de temperatura media poseen una correlación correcta y no es necesario realizar una mayor corrección y las que presentaron mayor incidencia de corrección fueron las ETP bajas.
- Las precipitaciones empleadas para la presente investigación de las 6 estaciones son las que no presentaron una acción de corrección de datos según a lo arrojado en el análisis de consistencia.
- Al regionalizar por medio del método de la inversa, observamos la incidencia de la altitud con los datos pluviométricos presentados siendo estas muy influyentes.

Tabla 126: Precipitaciones anuales de la cuenca de la laguna Singrinacocha

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL	MEDIA
Nro. datos	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
Sumatoria	3,263.1	4,484.5	2,330.3	2,635.5	751.0	278.2	710.2	1,446.1	762.4	1,475.8	2,723.9	2,864.2	23,725.2	1,977.1
Media	90.64	124.57	64.73	73.21	20.86	7.73	19.73	40.17	21.18	40.99	75.66	79.56	659.03	54.92
Máxima	135.25	180.69	105.43	152.38	42.09	43.78	109.27	114.76	48.42	74.16	144.77	136.38	892.32	74.36
Mínima	58.40	80.79	38.03	32.94	3.89	1.38	4.54	6.39	4.77	12.19	27.60	48.74	433.77	36.15
Mediana	92.17	122.15	63.19	72.81	20.92	5.04	11.94	28.40	20.15	40.63	74.89	78.01	659.86	54.99
Desviación	19.63	27.21	15.94	29.80	10.21	8.07	22.21	31.47	11.25	13.71	27.07	21.30	100.76	8.40
Varianza	385.48	740.27	253.93	887.81	104.19	65.06	493.22	990.10	126.67	187.88	732.88	453.83	10153.26	70.51
C.V.	0.22	0.22	0.25	0.41	0.49	1.04	1.13	0.78	0.53	0.33	0.36	0.27	0.15	0.15

Fuente: Elaboración propia



Tabla 127: Temperaturas mínimas de la cuenca de la laguna Singrinacocha

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL	MEDIA
Nro. datos	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
Sumatoria	119.9	92.4	97.8	29.9	(131.2)	(220.5)	(261.7)	(186.6)	(68.4)	17.4	54.7	114.2	(342.2)	(28.5)
Media	3.33	2.57	2.72	0.83	-3.64	-6.12	-7.27	-5.18	-1.90	0.48	1.52	3.17	-9.51	-0.79
Máxima	4.68	3.65	3.73	2.24	-1.79	-4.10	-5.64	-3.59	0.35	1.59	3.15	4.22	1.63	0.14
Mínima	2.33	0.79	0.80	-1.32	-5.53	-8.19	-8.70	-6.37	-3.79	-1.57	-1.04	1.81	-20.68	-1.72
Mediana	3.30	2.64	2.89	1.04	-3.47	-6.29	-7.32	-5.19	-1.93	0.53	1.67	3.23	-9.97	-0.83
Desviación	0.46	0.64	0.70	0.83	1.05	1.06	0.72	0.75	0.89	0.69	0.98	0.59	4.56	0.38
Varianza	0.22	0.42	0.50	0.69	1.10	1.12	0.51	0.57	0.79	0.47	0.96	0.35	20.76	0.14
C.V.	0.14	0.25	0.26	1.00	-0.29	-0.17	-0.10	-0.15	-0.47	1.43	0.64	0.19	-0.48	-0.48

Fuente: Elaboración propia

4.4. De los caudales aforados.

Tras haber realizado el aforo de caudales y procesado la información obtuvimos los siguientes resultados:

- Entre los datos más relevantes, los datos aforados del río Mapacho comprenden nuestro lugar de estudio que es la laguna Singrinacocha, sin embargo, al carecer de información se trabajó con el año correspondiente que alberga tanto el río Singrina, el desfogue de la laguna y el ingreso de la misma, generando una correlación adecuada mostrada en la calibración del modelo GR2M.

- Los datos de las quebradas fueron obsoletos y se obtuvo una mejor correlación de parámetros como los de precipitación en cada subcuenca.

Las precipitaciones empleadas para la presente investigación de las 6 estaciones son las que no presentaron una acción de corrección de datos según a lo arrojado en el análisis de consistencia.

- Los caudales aforados finales corresponden a lo que es a un periodo de 40 años tomándolos como aforamiento propio de la cuenca de la laguna Singrinacocha.

Tabla 128: Caudales aforados finales de la cuenca de la laguna Singrinacocha



CAUDALES AFORADOS	
MES	Q (m ³ /s)
ENE	15.09672119
FEB	17.09564246
MAR	13.79323598
ABR	14.06804707
MAY	10.30787674
JUN	8.015811442
JUL	10.41520484
AGO	10.82491876
SEP	10.25552373
OCT	11.13761601
NOV	14.1512096
DIC	16.06180445

Fuente: Elaboración propia

4.5. De los caudales generados de la cuenca.

- Para la presente investigación se hizo uso solo de la escorrentía superficial de misma manera que los aforos de la propia laguna y puntos de interés captados ya mencionados anteriormente.
- Los caudales que ingresaron a la cuenca fueron obtenidos mediante el modelamiento hidrológico GR2M, mediante el análisis de los coeficientes de correlación.
- De la misma manera, el modelo hidrológico Lutz Scholz, suministró mediante el procedimiento mostrado los caudales generados mediante la retención generada y los datos de precipitación ya estipulados.
- Los ingresos al sistema fueron comparados estadísticamente con los valores de aforados en campo, valores presentados en las tablas N°105 y N°106.
- Dentro de la validación de datos pudimos observar que el valor del coeficiente de correlación en Lutz Scholz según Nash-Sutcliffe es de 0.51 mientras que el coeficiente en GR2M representa el 0.69.
- El programa WMS 11.01 proporcionó lo que son las características morfológicas de cada subcuenca respecto a las áreas y pendientes se obtienen los valores de la tabla N°181

Tabla 129: Tabla de áreas y pendientes de las UDRH



UDH	Fuente (río)	Punto de control	Área (km)	Pendiente (m/m)
1	JAMARCOCHA	B.C.MARAMPAQUI	17.89	0.0794
2	KELLHUAPATA	B.C.MARAMPAQUI	19.1	0.0805
3	SINGRINA	DESFOGUE SINGRINA	88.8	0.032
4	PACCHANTA	KELLHUACocha	21.86	0.041
5	SINGRINA RIO	PARTE BAJA	93.97	0.0392
6	MAPACHO	RIO	260	0.0243
7	MOYOCCOCHA	INGRESO A LA LAGUNA	61.8	0.0793

Fuente: Elaboración propia

- Para los caudales generados por la fórmula para calibrar el modelo hidrológico de GR2M se obtuvieron los siguientes caudales totales como se muestra en la tabla N°188.



Tabla 130: Caudales medios mensuales con registros generados

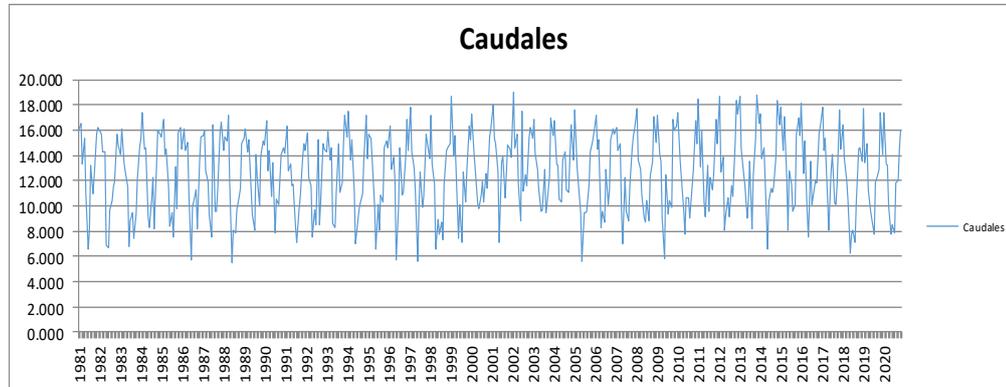
Nº REGIST	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1	1981	15.979	16.522	13.294	15.366	10.955	6.588	8.063	13.182	10.987	12.376	15.683	16.170	155.16
2	1982	15.847	15.706	14.308	14.244	6.940	6.624	9.632	10.402	11.452	11.883	15.628	14.796	147.46
3	1983	14.116	16.058	13.287	12.698	11.453	6.795	8.767	9.464	7.470	9.320	12.168	14.751	136.35
4	1984	15.302	17.350	14.443	14.606	9.089	8.303	10.491	12.204	8.195	13.076	16.034	15.652	154.74
5	1985	15.477	16.902	14.097	14.502	11.595	8.443	9.420	7.510	13.049	9.740	15.737	16.165	152.64
6	1986	14.524	16.139	14.344	15.006	11.012	5.742	9.979	10.332	11.322	8.133	13.630	15.453	145.61
7	1987	15.610	16.012	12.766	11.891	9.203	7.499	16.380	9.540	9.603	11.154	15.766	16.612	152.04
8	1988	14.425	15.442	15.175	17.175	11.990	5.489	8.061	7.804	9.634	10.779	11.348	14.900	142.22
9	1989	15.335	16.123	14.332	15.283	11.143	9.233	8.076	14.043	12.236	10.010	13.932	15.128	154.87
10	1990	14.803	16.704	12.797	14.419	10.755	13.406	7.810	10.505	10.133	12.168	14.098	14.552	152.15
11	1991	14.218	16.322	12.774	13.366	11.576	11.659	8.366	7.103	9.793	10.707	13.890	14.905	144.68
12	1992	14.358	15.771	12.216	11.625	7.576	9.688	8.504	15.295	8.527	10.319	14.962	14.513	143.35
13	1993	14.265	15.892	13.650	14.612	8.574	8.336	11.039	14.870	11.016	11.785	14.816	17.203	156.06
14	1994	15.426	17.485	13.666	15.291	11.233	7.043	7.801	9.698	10.225	10.999	13.640	17.129	149.64
15	1995	13.751	15.716	15.327	13.615	9.974	6.533	10.116	8.047	10.889	10.299	14.579	15.137	143.98
16	1996	14.557	16.274	12.929	13.848	11.929	5.700	9.970	14.599	10.893	11.113	13.935	16.894	152.64
17	1997	14.367	17.808	14.234	12.968	11.124	5.601	9.859	12.680	9.938	10.710	15.701	15.041	150.03
18	1998	13.748	17.212	13.280	11.745	6.611	8.928	7.800	8.697	7.290	11.672	14.362	14.562	135.91
19	1999	14.920	18.642	13.984	15.519	10.095	7.431	10.098	7.098	12.694	10.301	12.935	16.328	150.05
20	2000	15.234	17.269	14.226	12.936	10.209	9.808	10.889	11.950	10.275	12.566	11.344	15.431	152.14
21	2001	16.120	18.036	15.318	14.964	12.705	7.083	13.388	13.948	10.638	12.540	14.835	14.498	164.07
22	2002	13.868	18.958	14.601	15.706	11.680	8.861	17.539	11.171	12.433	11.651	15.436	16.169	168.07
23	2003	15.365	16.825	14.146	12.879	11.289	9.531	9.632	12.846	9.417	10.166	12.383	16.939	151.42
24	2004	15.540	16.770	13.358	13.184	10.532	10.313	13.618	14.263	11.234	11.075	13.988	16.431	160.31
25	2005	13.590	17.556	13.087	11.813	9.484	5.596	9.461	9.423	9.525	11.668	14.281	15.115	140.60
26	2006	15.759	17.194	14.537	15.295	8.246	9.618	8.717	12.879	10.115	11.274	15.201	16.050	154.89
27	2007	15.679	16.230	14.423	14.894	9.719	6.993	12.213	9.602	8.774	11.625	14.572	15.576	150.30
28	2008	16.130	17.666	13.601	12.847	10.817	8.990	8.733	10.457	8.830	12.369	13.560	17.116	151.11
29	2009	15.008	17.216	14.030	13.506	9.018	5.794	12.475	9.321	10.378	9.933	16.834	16.008	149.52
30	2010	16.322	17.434	13.690	12.256	9.728	7.736	10.603	10.689	8.987	11.524	12.762	16.787	148.52
31	2011	14.914	18.501	13.094	16.016	10.302	9.129	13.254	9.579	12.260	11.271	12.437	16.802	157.56
32	2012	14.941	18.651	12.696	13.846	8.034	9.292	10.616	9.130	11.586	10.703	15.136	18.369	153.00
33	2013	17.267	18.697	14.508	12.605	11.677	9.068	10.448	13.554	8.129	12.384	15.324	18.742	162.40
34	2014	16.534	17.327	13.795	14.560	11.873	6.550	10.327	11.416	11.016	11.491	13.995	18.322	157.21
35	2015	16.382	17.812	14.344	17.051	12.156	8.027	12.827	11.716	9.534	10.105	15.718	16.946	162.62
36	2016	15.619	18.184	12.586	15.086	9.585	7.503	13.511	10.144	10.739	12.059	11.769	15.765	152.55
37	2017	16.350	17.851	14.399	15.320	10.630	8.106	12.835	14.085	10.208	10.135	11.686	17.573	159.18
38	2018	14.544	16.461	13.707	12.056	10.502	6.224	7.798	8.107	7.067	10.269	14.469	14.624	135.83
39	2019	13.577	17.697	13.396	14.877	11.329	9.574	8.950	7.736	11.928	12.147	12.925	17.346	151.48
40	2020	14.099	17.410	13.284	13.247	9.976	7.795	8.543	7.905	11.804	12.006	14.548	15.970	146.59
Nº Datos		40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
Media		15.097	17.096	13.793	14.068	10.308	8.016	10.415	10.825	10.256	11.138	14.151	16.062	151.22
Desv. Estandar		0.916	0.946	0.764	1.437	1.456	1.752	2.335	2.396	1.494	1.037	1.397	1.147	7.41
Coef. Variacion		6.064	5.536	5.541	10.218	14.120	21.851	22.424	22.138	14.568	9.314	9.871	7.144	4.90
Máximo		17.267	18.958	15.327	17.175	12.705	13.406	17.539	15.295	13.049	13.076	16.834	18.742	168.07
Mínimo		13.577	15.442	12.216	11.625	6.611	5.489	7.798	7.098	7.067	8.133	11.344	14.498	135.83
10%		16.270	18.309	14.773	15.911	12.174	10.261	13.409	13.897	12.171	12.468	15.942	17.533	14.43
25%		15.715	17.734	14.309	15.038	11.290	9.198	11.992	12.442	11.264	11.838	15.094	16.836	13.56
75%		14.479	16.457	13.277	13.098	9.325	6.834	8.839	9.207	9.247	10.437	13.208	15.287	11.64
90%		13.923	15.882	12.813	12.225	8.442	5.770	7.421	7.753	8.340	9.808	12.360	14.591	10.78



Fuente: Elaboración propia

- De la misma manera, el gráfico correspondiente de distribuciones se observa una consistencia buena al no presenciarse un incremento abrupto de pendiente.

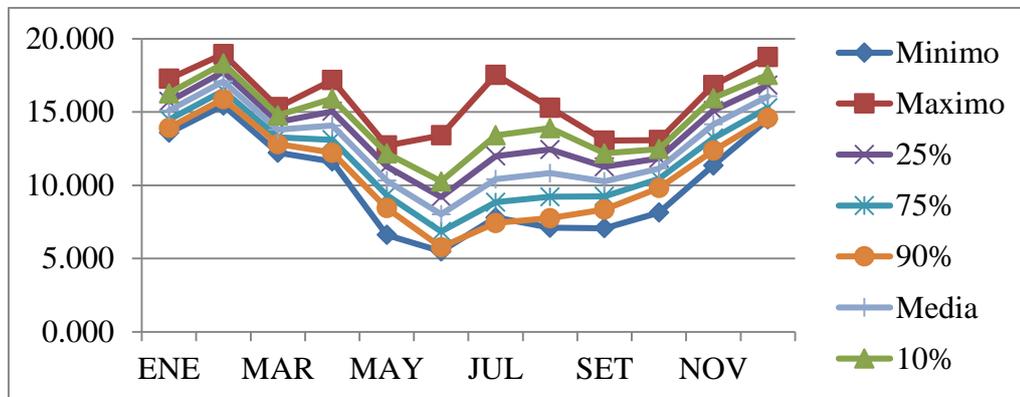
Figura 136: Distribución de caudales generados



Fuente: Elaboración propia

- Con ello, realizaremos un análisis comparativo de efectividad de dichos caudales para poder aplicarlos al modelo GR2M.
- Como se observa en la figura 137, entre todos los porcentajes de efectividad, se tomará de referencia el 75% como lo exhorta Plan MERISS (1980)

Figura 137: Análisis comparativo de caudales



Fuente: Elaboración propia

- Se muestran en la tabla 131 y 132 los caudales generados al año de los modelos hidrológicos Lutz Scholz y GR2M correspondientemente.



Tabla 131: Caudales generados por Lutz Scholz

CAUDALES GENERADOS	
MES	Q (m ³ /s)
ENE	6.977873715
FEB	7.452220698
MAR	7.248794351
ABR	5.683740016
MAY	4.778209056
JUN	4.013846714
JUL	3.745644748
AGO	3.835030483
SEP	3.653552316
OCT	3.997457109
NOV	4.184930685
DIC	5.541721832

Fuente: Elaboración propia

Tabla 132: Caudales generados por GR2M

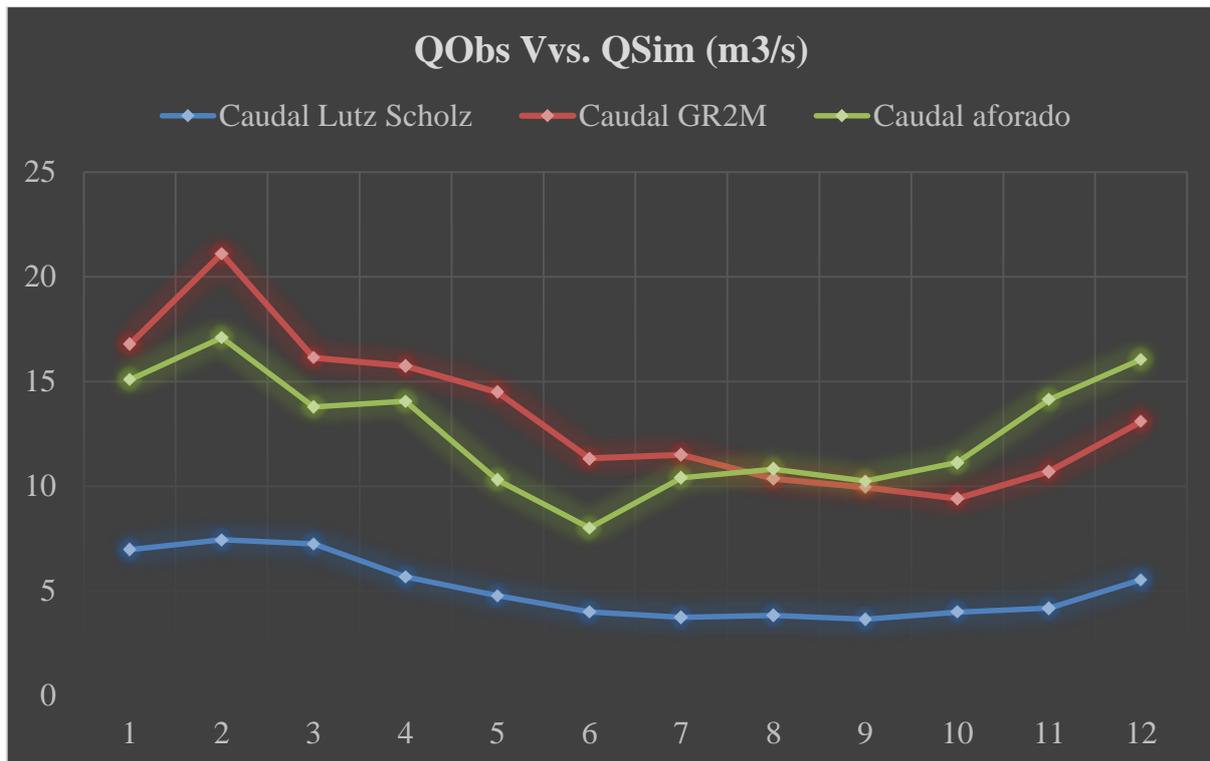
CAUDALES GENERADOS	
MES	Q (m ³ /s)
ENE	16.78682115
FEB	21.10510228
MAR	16.14761328
ABR	15.74954365
MAY	14.49578569
JUN	11.33722551
JUL	11.50920701
AGO	10.3689033
SEP	9.96021071
OCT	9.422356276
NOV	10.70822873
DIC	13.09775587

Fuente: Elaboración propia

Según la figura 138, podemos deducir que el modelo hidrológico más eficiente según a los caudales aforados en la cuenca de la laguna Singrinacocha es el modelo hidrológico de GR2M.



Figura 138: Distribución de los caudales estudiados



Fuente: Elaboración propia



5. CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

5.1. ¿Por qué se determinó emplear los métodos de generación de caudales GR2M y Lutz Scholz para realizar el estudio de la cuenca?

Para determinar el enfoque de modelado hidrológico, utilizamos información básica y modelos aplicados a cuencas cercanas al área de estudio y son parte de proyectos futuros y generalmente son desarrollados por el gobierno y el sector privado, Al usarse estos 2 tipos de modelos hidrológicos, decidimos aplicarlos a nuestra cuenca de estudio siendo de origen glaciar, respecto al modelo GR2M asumiendo que no habrá pérdidas y en Lutz Scholz usando los parámetros de la cuenca del río Vilcanota.

5.2. ¿Cuál fue la razón por la cual se hizo uso del modelo hidrológico Lutz Scholz?

Se utilizaron antecedentes y estudios realizados en cuencas cercanas al área de estudio para determinar el enfoque de modelado hidrológico.

Tomándose de referencia lo estipulado en “Generación de caudales en la sierra peruana” del Plan MERISS, observamos que se realizaron varios proyectos de irrigación y balance hídricos (requiriendo estas 10 años de aforos mínimamente) en las cuencas hidrográficas de la sierra del sur del Perú que incluían zona de nevado, sin embargo, en el documento de SENAMHI “Escenarios de cambio climático en la cuenca del río Urubamba para el año 2100” no se contempla la cuenca del río Yavero que es parte de la cuenca del río Urubamba y que abarca la cuenca de la laguna Singrinacocha. por lo que, el modelo de Lutz-Scholz que tiene sustento de aplicarse en la sierra peruana es aplicable en esta cuenca para complementar la información ya obtenida por el gobierno.

5.3. ¿Cuál fue la razón por la cual se hizo uso del modelo hidrológico GR2M?

Entre los enfoques más comunes, observamos que se realizaron varios proyectos modelación hidrológica en la región sur por medio del SENAMHI (2016) mediante el producto PISCO para la generación de caudales, por lo que decidí usar este método.

5.4. ¿Cuál fue el criterio para suponer que la pendiente de la cuenca sería muy empinada en la cuenca de estudio?

En la cuenca de la laguna Singrinacocha se establece que hay presencia de nevados y por lo tanto se considera a esta primera como una laguna de origen glaciar, en lo que se refiere a la teoría de se observa que la pendiente en su mayoría en la zonas glaciares llegan a establecerse con una pendiente en dicha clasificación.

Sin embargo, nuestros resultados respecto a áreas parciales muestran que la pendiente llega a clasificarse como “ligeramente ondulado” y esto es debido a que la mayor persistencia de dicha pendiente ocurre a lo largo de toda la cuenca y al llegar a



la zona del glaciar recién se observa una pendiente abrupta y por lo tanto, un área parcial menor respecto a pendientes pronunciadas (Ven Te Chow, et al.,1994; Villón Bejar et. Al.,2007), por lo que al momento de obtener la relación de promedio y ocurrencia llegamos a 9%.

5.5.¿En función al estudio realizado, de qué manera influye la precipitación y la temperatura en la cuenca de la laguna Singrinacocha?

En lo correspondiente a los datos meteorológicos que presenta la cuenca de la laguna Singrinacocha, se consideró que se caracterizaría por condiciones muy lluviosas y muy frías, en base a ello se estudió la hidrología de la cuenca (Aparicio Mijares et al.,1992; Villón Bejar et. Al.,2011;Ven Te Chow et. Al.,1994) quienes señalan que dentro del ciclo hidrológico se presentan para dichas características un promedio de entre 500-2000 mm anuales de precipitación y temperaturas menores a 0°C.

En los resultados, se ha obtenido en la tabla N°204 la precipitación que, por los mm acumulados anualmente, la cuenca se clasifica como tal y temperaturas registradas a menos 0°C se consideran muy frías ya que es la temperatura en la cual se congela el agua.

5.6.¿Qué relevancia hay en la orden de río de la cuenca respecto a los aforamientos y comportamiento de la cuenca?

Según lo estipulado por el método de Strahler, podemos observar que el orden de río de la cuenca es de orden 4, sin embargo, la red hídrica de esta ha llegado ser en el orden 1 de 144 aportantes en los resultados, que quiere decir que, aún con una red que pueda llegar a estratificarse de esta manera no significa que tendrá el mismo aporte de escorrentía aun cuando este en el mismo orden (como el caso de los puntos de aforamiento en quebradas) esto coincide con lo concebido por Aliaga & Araujo (2019) que sintetizan que los aforos son independientes de ello.

5.7.¿Por qué se realizó el análisis de consistencia de precipitación, temperatura, ETP y aforos?

Los datos de los parámetros ya mencionados son los que tienen mayor incidencia dentro de la cuenca siendo estas con las que los modelos hidrológicos llegan a calibrarse y aplicarse de la mejor manera, es por ello que decidimos realizar el método que ofrece los resultados más confiables, por lo cual aplicamos el análisis de consistencia de datos por medio de las pruebas T de student y Fisher según lo estipula Villón Bejar en Hidrología estadística (2006).



Esto con el objetivo de, que al momento de aparecer cierta incongruencia (visto en los análisis de doble masa), podamos corregirlo debido a que los datos son extraídos de un producto que emplea interpolación, corrigiéndolos nos permite adecuar la información más veraz a nuestro lugar de estudio como se ha realizado en la aplicación de los datos siendo estos confiables.

5.8.¿Fue efectivo aplicar los caudales generados por correlación, en las cuencas que componen la zona de estudio sin la necesidad de realizar aforos?

Los caudales generados por los modelos hidrológicos en esta investigación se encuentran en función a parámetros como pendientes, áreas de cuerpos de agua, entre otros valores que poseen una variación en cada subcuenca que conforma la cuenca total de Tinki según la concepción de Vito Aliaga (1985).

Sin embargo, los valores generados tienen una variación que solo se corroboran en su ajuste si es que hay aforamientos o datos, parámetro que en esta investigación no se tuvo en grandes proporciones debido a la escasez de estos en la zona de estudio.

Los parámetros a usarse en el modelo mencionado que tienen relevancia directa son los datos de precipitación, las ETP media, baja y alta junto con la retención que se calcula en el presente modelo (manantes o cuerpos de agua como nevados y lagunas) según a las pendientes en la cuales se discretiza la cuenca para localizar dichas características.

Además de los parámetros geomorfológicos, la presencia de la regionalización permitirá una correcta generación de estaciones sintéticas

5.9.¿En función a los resultados obtenidos en el presente estudio, que relevancia hay en los modelos hidrológicos usados respecto a los aforamientos de caudales obtenidos con los aforados?

Durante el estudio realizado en la cuenca de la laguna Singrinacocha 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 escorrentía subterránea. Sin embargo, respecto a anteriores estudios, se debe de tomar en cuenta que el periodo de tiempo con los que se pueden contar será relevante para la efectividad de dichos modelos hidrológicos.

El realizar un estudio y registro de aforos será necesario si es que se desea aplicar un proyecto en donde se puede aprovechar los caudales que se registran para usar la información más veraz y confiable.



6. GLOSARIO

- **Absorción:** La incorporación de agua y/o sustancias disueltas en la estructura de un sólido.
- **Aforo de caudales:** Conjunto de operaciones para determinar el caudal de un curso de agua para un nivel observado.

Absorber:

- **Capacidad de caudal:** Conjunto de operaciones utilizadas para determinar el caudal de una fuente de agua para un nivel observable.
- **Acuífero:** Las formaciones geológicas permeables tienen la capacidad de almacenar, transmitir y entregar cantidades utilizables de agua.
- **Área de drenaje:** Parte de la cuenca contribuye a la escorrentía directa.
- **Calibración:** El proceso de ajuste de los parámetros del modelo para lograr consistencia entre los resultados producidos por el modelo y los valores medidos de la variable.
- **Canal:** La superficie límite longitudinal incluye el fondo y los bordes donde el fluido fluye con la superficie límite.
- **Reclutamiento:** Descarga temporal o permanente de agua de cualquier fuente.
- **Escorrentía subterránea:** Una corriente de agua en movimiento que pasa a través de un gran espacio intersticial, como una cueva, caverna o un grupo de grandes grietas interconectadas.
- **Cuenca:** El área tiene una sola salida para su escorrentía superficial.
- **Caudal:** Una parte de la precipitación que fluye a través de la superficie terrestre hacia una fuente de agua (escorrentía superficial) o dentro de la tierra (escorrentía subterránea o escorrentía subterránea)
- **Estación hidrológica:** Lugar donde se realizan observaciones hidrológicas o climatológicas con fines hidrológicos.
- **Poca agua:** Época del año con poca o ninguna lluvia.
- **Evaporación real:** La cantidad de agua que se evapora de la superficie del agua abierta.
- **Evapotranspiración real:** Cantidad de agua que se evapora y transpira del suelo y la cubierta vegetal.
- **Frecuencia:** El tiempo medio a largo plazo transcurrido entre un evento hidrológico y otro de igual o mayor magnitud.
- **Humedad atmosférica:** Contenido de vapor de agua en el aire.



- Humedal: Las extensiones de marismas, pantanos y marismas, o superficies cubiertas por aguas, naturales o artificiales, permanentes o temporales, estáticas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua El mar tiene una profundidad inferior a 6 metros en marea baja.
- Nivel de agua: Elevación de la superficie libre de la masa de agua sobre el plano de referencia.
- Coacción: Flujo de un líquido a través de un medio poroso no saturado, por ejemplo, agua en el suelo bajo la influencia de la gravedad.
- Aguas subterráneas: Área de zona de saturación en un acuífero ilimitado, donde la presión hidrostática es igual a la presión atmosférica.
- Coacción: Flujo de un líquido a través de un medio poroso no saturado, por ejemplo, agua en el suelo bajo la influencia de la gravedad.
- Durabilidad: La tendencia de un proceso hidrológico o serie de tiempo a repetirse o continuar, produciendo una correlación positiva entre valores sucesivos de las variables observadas.
- Tiempo de enfoque: El tiempo requerido para que el flujo de la tormenta llegue a la salida desde el punto de la cuenca con el tiempo de viaje más largo.



7. CONCLUSIONES

7.1. Conclusión N°1:

Se ha logrado cumplir con la **HIPOTESIS GENERAL**, esto según lo ya explicado y calculado, se logró aplicar los modelos de Lutz Scholz y GR2M para la modelación hidrológica de la cuenca de la laguna Singrinacocha permitiendo generar caudales medios mensuales.

Observamos que hay una mejor correlación con el método de GR2M para el cálculo de la cuenca de la laguna Singrinacocha respecto a Lutz Scholz, tomando en cuenta los caudales aforados en las subcuencas de las mismas.

Por lo que deducimos que, el más efectivo es el modelo hidrológico GR2M que el de Lutz Scholz hasta el momento en que es realizada esta investigación.

7.2. Conclusión N°2:

Se ha comprobado la **Hipótesis específica N° 01** que se logró siendo que la mencionada hipótesis indica que el relieve de la cuenca de la laguna Singrinacocha vendría a ser un relieve muy empinado punto que se desestima al obtener una pendiente media de 40.739%, clasificándola como una “pendiente fuertemente escarpada” debido a que la ocurrencia de pendiente ente 32%-44% es la que más se presenta en la cuenca Singrinacocha y que se muestra en la tabla N°182.

7.3. Conclusión N°3:

Se ha comprobado la **Hipótesis Específica N° 02** de manera parcial, debido a que, según el IGP (2014) las temperaturas mínimas muy frías y las precipitaciones excesivas oscilan a menos 0°C y 2000 mm respectivamente; Como se ha observado en la presente investigación, la temperatura de la cuenca ha llegado a ser muy fría y de moderadamente lluviosa, siendo la temperatura a -20.68° y la precipitación de 892.32 mm.

7.4. Conclusión N°4:

Se ha comprobado la **Hipótesis Específica N° 03** y se logró cumplir de manera parcial. quien mostró mejor desempeño en la calibración y validación de modelo hidrológico con la información que se obtuvo fue el modelo GR2M a comparación del modelo Lutz Scholz, por lo que, determinamos, que el modelamiento por medio de GR2M es más eficiente.



8. RECOMENDACIONES

De la presente investigación para investigaciones futuras.

- Es fundamental hacer una comparación entre 2 o más modelamientos, esto con el fin de evaluar un modelo que se acomode más a la verdad de la cuenca y poder decidir caudales de forma más rigurosa.
- Si se desea hacer uso exclusivo del modelamiento Lutz Scholz, es necesario contar con registros de caudales mucho mayores con los que se trabajó la presente investigación avocándonos a la recomendación de 10 años de registro mínimo.
- Que se realicen los aforos por 2 o más procedimientos, puesto a que frecuentemente las averiguaciones optan por hacer uso del correntómetro y aunque los datos arrojados por dicho artefacto son más exactos que los logrados por otros procedimientos, frecuentemente la hélice no está de manera correcta calibrada y usar un procedimiento adicional de aforos posibilita identificar dicho error con facilidad.
- Un registro más actualizado de las lagunas y quebradas en la zona sur de la región podrá ayudar a simular caudales con mayor eficacia y contribuirá a prevenir o tener una gestión de riesgos más adecuada.
- Una manera más precisa de poder analizar los caudales medios de una cuenca de una laguna glaciar sería contando con información meteorológica diaria y sería recomendable usar el modelo hidrológico de Socont para su análisis.
- Para un mejor uso de modelos hidrológicos, sería mejor realizar un análisis comparativo entre modelos mensuales y diarios en futuras investigaciones.



9. REFERENCIAS

- Aliaga Araujo, S. (1983). *Tratamiento de datos hidrometeorológicos*. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Aliaga, I., & Araujo, J. (2019). *Modelación hidrológica de la cuenca del río Huallaga, aguas arriba del punto de control Santa Lorenza*. Lima: Universidad Agraria La Molina.
- ANA, A. N. (01 de 01 de 2021). *Observatorio del agua*. Obtenido de <https://snirh.ana.gob.pe/observatoriosnirh/>
- Aparicio Mijares, F. J. (1992). *Fundamentos de hidrología y superficie*. México D.F: LIMUSA S.A.
- AQUAveo. (2021). *WMS 11.01*. Pennsylvania: Aquaveo WMS (Watershed Modeling System) v11.1.2.
- Aybar, C., Lavado-Casimiro, W., Huerta, A., Fernández, C., & Vega, F. (2017). *USO DEL PRODUCTO "PISCO" DE PRECIPITACIÓN EN ESTUDIOS, INVESTIGACIONES Y SISTEMAS OPERACIONALES DE MONITOREO Y PRONÓSTICO HIDROMETEOROLÓGICO Nota*. Lima: SENAMHI.
- Baca Rueda, M. R. (2017). *Hidrología general*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería .
- Bateman, A. (14 de Marzo de 2015). *GITS*. Obtenido de <https://www.upct.es/~minaees/hidrologia.pdf>
- Bateman, A. (2017). *Hidrología básica*. Lima: UPC.
- Cabezas Calvo Rubio, F. (2015). *Análisis estructural de modelos hidrológicos y de sistemas de recursos hídricos en zonas áridas*. Murcia: Universidad de Murcia - departamento de ecología e hidrología.
- Cabrera, J. (2012). *Modelos agregados: GR2M*. Lima: UNI.
- Cabrera, J. (2012). *Modelos hidrológicos*. Lima: UNI.
- Cañari Quispe, G. (15 de 07 de 2020). *CÓDIGO PARA LA EXTRACCIÓN DEL PRODUCTO PISCO. CUSCO, CUSCO, PERU*.
- Carvajal, L. F. (15 de 02 de 2016). *Ingenieroambiental.com*. Obtenido de <http://www.ingenieroambiental.com/4018/hidrologia%20-%20caudales%28%29%282%29.pdf>
- CELEO. (11 de Marzo de 2018). *SCRIBD*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/373509996/Hietograma-o-Histograma>
- Cide@d. (02 de Febrero de 2018). *Recursostic*. Obtenido de Recursostic: http://recursostic.educacion.es/newton/web/materiales_didacticos/EDAD_1eso_05_la_atmosfera/contenido/1q5/pdf/quincena5.pdf



- Cordova, M. (30 de 04 de 2016). *Prontubeam*. Obtenido de https://www.prontubeam.com/articulos/articulos.php?Id_articulo=26
- Cruz Adrianzén, E. J., & Romero Callo, J. A. (2018). *Análisis comparativo de los modelos lluvia-escorrentía: GR2M, Temez y Lutz Scholz aplicados en la subcuenca del rio Callazas*. Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.
- Cuevas Hernandez, A. (2021). *La atmósfera, sus capas y propiedades*. Hidalgo: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- Dankhe, G. (1986). *Investigación y comunicación*. McGraw Hill.
- Dávila Newman, G. (2006). *El razonamiento inductivo y deductivo dentro del proceso investigativo en ciencias experimentales y sociales*. Caracas, Venezuela: Laurus.
- Faustino, J., & Jimenez, F. (2000). *Manejo de cuencas hidrográficas*. Turrialba: Centro agronómico tropical de investigación y enseñanza.
- Felipe del Angel, J. E. (21 de Abril de 2015). *Secretaria de educación pública - México*. Obtenido de <https://es2.slideshare.net/3duardoJose/3-escurrimiento-e-infiltracin>
- Gonzaga V., S. L. (2020). Infiltración. *Conferencia sobre hidrología e hidráulica* (págs. 9-43). Loja: Universidad Técnica Particular de Loja.
- Gonzalez Vallejo, L. (2002). *Ingeniería Geológica*. Madrid: Pearson.
- Guerra&Gonzalez, F. (2002). *Geoenseñanza*. Táchira: Universidad de los Andes, Táchira, Departamento de Ciencias Sociales.
- Hernandez Sampieri, R. (2014). *Metodología de la investigación*. Ciudad de Mexico D.F: McGraw Hill.
- Hernandez, N. (2019). *APLICACIÓN DE MODELOS HIDROLOGICOS PARA LA ESTIMACIÓN DE CAUDALES MENSUALES EN LA SUB-CUENCA DEL RIO BIGOTE*. Piura: Universidad de Piura.
- Horton. (1993). Managing agricultural research: an introduction. *Public administration and development Vol.III*, 189-193.
- <https://earthexplorer.usgs.gov/>, N. (19 de 10 de 2021). *Earth Explorer*. Obtenido de <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- Ibañez Asensio, S., Gisbert Blanquer, J., & Moreno Ramón, H. (1999). *Sistema de coordenadas geográficas*. Valencia: Universidad politécnica de Valencia.
- IGP. (2014). *Características geológicas del Perú*. Lima: IGP.
- INAIGEM, I. N. (2018). *Inventario nacional de glaciares - Las Cordilleras Glaciares del Perú*. Huaraz: Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña - biblioteca y publicaciones.



- Instituto PCE Ibérica. (01 de Abril de 2017). *Instituto PCE ibérica*. Obtenido de <https://www.pce-iberica.es/medidor-detalles-tecnicos/que-estacion-meteorologica.htm>
- J. Allaire, J. (2011). *R y Rstudio programation and development environment*. Boston: R.
- Linsley Kohler, P. (1975). *Hidrología para ingenieros*. Bogotá: McGraw-Hill.
- Llauca, H. (3 de Diciembre de 2019). *Modelamiento hidrológico a paso mensual para el monitoreo de sequías hidrológicas en cuencas de la vertiente del pacífico y del Titicaca*. Obtenido de <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01401SENA-82.pdf>
- Lohmar, F. (1984). *World geodetic system 1984 — geodetic reference system of GPS orbits*. Berlón: SpringerLink S.A.C.
- M.Ponce, V. (2004). *Escorrentía sostenible para el balance de sales*. San Diego: Universidad Estatal de San Diego.
- Mathwave. (01 de julio de 2004). *EasyFitSoft*. Obtenido de <https://easyfit.soft112.com/>
- MINAGRI. (2018). *Hidrología en el sector agrario*. Lima: Ministerio de desarrollo agrario y riego.
- Montoya, S. (1 de Enero de 2016). *Aplicaciones de NASA Giovanni en la evaluación de recursos hídricos / medio ambiente*. Obtenido de <https://gidahatari.com/ih-es/aplicaciones-de-nasa-giovanni-en-la-evaluacion-de-recursos-hdricos-medio-ambiente>
- Municipalidad Provincial de Marcapata, C. (01 de 12 de 2020). *LAGUNA SINGRENACOCHA - MARCAPATA*. Obtenido de <https://www.munimarcapata.gob.pe/Noticias.php?id=251>
- Murcia, U. d. (2012). *TEMA 5. DINÁMICA DE LA GEOSFERA*. Murcia: Universtaria.
- Novoa, Z. (18 de Marzo de 2011). *Sociedad Geográfica de Lima*. Obtenido de https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/cuenca_hidrologica.pdf
- Ofungwu, J. (2014). *Statistical applications for environmental analysis and risk assessment*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- Ordoñez Gálvez, J. J. (2011). *Cartilla técnica: Aguas subterráneas y acuíferos*. Lima: Sociedad geográfica de Lima.
- PACC-PERÚ & SENAMHI, P. d. (2019). *El clima de Cusco y Apurímac está cambiando*. Lima : Biblioteca y Publicaciones SENAMHI.
- Parizaca Perez, Y. M. (2012). *Regionalización de precipitaciones máximas en la cuenca del río Ramis*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.



- Plan MERISS. (1980). *Generación de caudales mensuales en la sierra peruana - MERISS II*. Cusco: Plan MERISS.
- Popper, K. (1980). La lógica de la investigación científica. En K. Popper, *La lógica de la investigación científica* (pág. 386). Madrid: Tecnos.
- Prieto & Velasquez, A. &. (23 de Marzo de 2016). *UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSE DE CALDAS*. Obtenido de repository.udistrital.edu.co › bitstream › PrietoAcostaAngieVelasquez
- Quichimbo M., E. A. (2019). *Estudio comparativo de los modelos NAM y DBM aplicado a pronóstico de caudales*. Cuenca: Universidad de Cuenca.
- Quintero Plaza, D. (2016). *Una breve historia de la atmósfera terrestre*. Canarias: AEMET.
- Revista Peruana Geo-Atmosférica, R. P. (2015). *Modelización hidrológica con un enfoque semidistribuido en la cuenca*. Revista Peruana Geo-Atmosférica, Lima. Lima: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú.
- Rodriguez & Pérez, A. &. (05 de Diciembre de 2020). *Scielo.org*. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/eand/n82/0120-8160-eand-82-00179.pdf>
- Saénz, G. (1999). *Hidrología en la ingeniería*. Bogotá: Alfaomega Grupo Editor.
- Salvatierra Seguel, C. (2018). *Determinación de la incertidumbre en la aplicación del modelo de simulación hidrológica GR4J en cuencas pluviales no controladas en Chile*. Santiago: Universidad de Chile.
- Sánchez San Román, F. J. (2016). Hidrología superficial (Relación precipitación-escorrentía). *Hidrología USAL*, 3.
- SENAMHI. (2017). *Regionalización de las precipitaciones máximas en el Perú*. Lima: SENAMHI.
- SENAMHI. (2019). *Glosario de términos meteorológicos*. Lima: SENAMHI.
- Sociedad Geográfica de Lima. (2011). *Aguas Subterráneas - acuíferos*. Lima: Sociedad Geográfica de Lima.
- Solera & Paredes, J. &. (2017). *Herramienta Evalhid para la evaluación de recursos hídricos*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- Statgraphics Technologies, I. (01 de 01 de 2015). *Statgraphics*. Obtenido de <https://www.statgraphics.com/>
- Systat Software, I. (01 de enero de 2004). *Systat Software Inc*. Obtenido de <http://www.sigmaplot.co.uk/products/tablecurve2d/tablecurve2d.php>



- Tarazona Santos, N. E. (2004). *Generación de descargas mensuales en subcuencas de la cuenca del río Santa utilizando el método de Lutz Scholz*. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina.
- The National Centers for Environmental Prediction (NCEP) & Climate Forecast System Reanalysis (CFSR). (01 de enero de 2014). *Global Weather Data for SWAT*. Obtenido de <https://globalweather.tamu.edu/>
- Torres Benites, E., Fernandez Reynoso, D., Oropeza Mota, J., & Mejía Saenz, E. (2001). *CALIBRACIÓN DEL MODELO HIDROLÓGICO SWAT EN LA CUENCA "EL TEJOCOTE", ATLACOMULCO, ESTADO DE MÉXICO*. Montecillo: Instituto de Recursos Naturales.
- UADY, U. A. (2021). *Morfometría de cuencas*. Mérida: UADY.
- Umaña Quirós, B. (2014). *Análisis Hidrológico De La Cuenca Del Río Toyogres Utilizando El Modelo Hec-Hms*. Cartago: Instituto Tecnológico de Costa Rica - Escuela de ingeniería en construcción.
- Universidad Nacional de la provincia de Buenos Aires, A. (23 de Febrero de 2016). *UNICEN.edu.ar*. Obtenido de <https://users.exa.unicen.edu.ar/~jdiez/files/cstierra/apuntes/unidad3.pdf>
- Ven Te Chow. (1994). *Hidrología aplicada*. Bogotá: McGraw Hill Interamericana.
- Vera Hernández, L. E. (14 de Junio de 2016). *Sistema de bibliotecas y biblioteca central del Perú*. Obtenido de https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/Tesis/Ingenie/Vera_H_L/Cap3.pdf
- Villón Bejar, M. (2006). *Hidrología estadística*. Lima: Instituto tecnológico de Costa Rica.
- Villón Bejar, M. (2011). Hidrología. En M. Villón Bejar, *Hidrología* (págs. 16-17). Lima: Villón.
- Vito Aliaga, S. (1985). *Hidrología estadística*. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- WaterPi. (26 de Abril de 2018). *WaterPi*. Obtenido de <https://waterpi.com/post-rsminerve/>
- Zapana Arpasi, J. (2019). *Estimación de caudales mediante la aplicación de modelos hidrológicos semidistribuidos con la plataforma RS Minerve en la cuenca del río Ramis*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.



10. ANEXOS

10.1. MATRIZ DE CONSISTENCIA

TÍTULO: MODELACIÓN HIDROLÓGICA DE LA CUENCA DE LA LAGUNA DE SINGRINACOCHA, DISTRITO DE MARCAPATA , PROVINCIA DE QUISPICANCHIS, DEPARTAMENTO DE CUSCO				
Problema	Objetivo	Hipótesis	Variables	Metodología
¿Permiten los modelos hidrológicos estimar eficientemente los caudales medios mensuales en la cuenca de la laguna de Singrinacocha del distrito de Marcata, provincia de Quispicanchis y departamento de Cusco?	Determinar los caudales medios mensuales de la cuenca de la laguna de Singrinacocha del distrito de Marcata, provincia de Quispicanchis y departamento de Cusco mediante modelos hidrológicos	Es posible predecir por medio de modelamientos hidrológicos los caudales medios mensuales de la cuenca de la laguna de Singrinacocha del distrito de Marcapata, provincia de Quispicanchis y departamento de Cusco.	Variables independientes: Caudales medios mensuales por los modelos hidrológicos GR2M, Socont y Lutz Scholz Variables dependientes: Caudales aforados, características fisiograficas, variables climatológicas	Tipo de investigación: Hipotético-deductivo Nivel de investigación: Básica Diseño de investigación: No experimental Técnica de recolección de datos: Observación
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Especificas		
¿Como serán los parámetros geomorfológicos de la cuenca de la laguna Singrinacocha del distrito de Marcapata, provincia de Quispicanchis y departamento de Cusco?	Caracterizar la cuenca de la laguna Singrinacocha del distrito de Marcata, provincia de Quispicanchis y departamento de Cusco biofísicamente	La cuenca de la laguna Singrinacocha sería de un relieve muy empinado originando un menor tiempo de concentración.	Unidad de análisis: Cuenca de la Laguna de Singrinacocha	
¿Cómo serán las variables meteorológicas de la cuenca de la laguna Singrinacocha distrito de Marcapata, provincia de Quispicanchis y departamento de Cusco determinadas estadísticamente?	Analizar las variables climáticas de la cuenca de la laguna Singrinacocha del distrito de Marcata, provincia de Quispicanchis y departamento de Cusco.	La cuenca Singrinacocha sería de características climáticas muy lluviosas y muy frías.		
¿Cuáles serán los modelos hidrológicos más eficientes aplicados a la cuenca de la laguna Singrinacocha del distrito de Marcapata, provincia de Quispicanchis y departamento de Cusco?	Modelar hidrológicamente la cuenca de la laguna Singrinacocha según los métodos GR2M, Lutz Scholz y Socont	Los modelos hidrológicos de GR2M y Lutz Scholz serían más eficientes en la cuenca de la laguna Singrinacocha con una eficiencia de Nash-Sutcliffe desde satisfactorio a muy bueno.		