



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**EVALUACIÓN DE LA CONTRIBUCIÓN Y RESPUESTA
HIDROLÓGICA DE LAS CABECERAS DE CUENCA EN LA
UNIDAD HIDROGRÁFICA COATA**

TESIS

PRESENTADA POR:

DERLY RONALD VILCA VELASQUEZ

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGRÍCOLA

PUNO – PERÚ

2024



Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

EVALUACIÓN DE LA CONTRIBUCIÓN Y RESPUESTA HIDROLÓGICA DE LAS CABECERAS DE CUENCA EN LA UNIDAD HIDROGRÁFICA COATA

AUTOR

DERLY RONALD VILCA VELASQUEZ

RECuento de palabras

57875 Words

RECuento de caracteres

226682 Characters

RECuento de páginas

190 Pages

Tamaño del archivo

9.7MB

Fecha de entrega

May 20, 2024 11:41 PM GMT-5

Fecha del informe

May 20, 2024 11:46 PM GMT-5

● **9% de similitud general**

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

- 9% Base de datos de Internet.
- Base de datos de Crossref
- 6% Base de datos de trabajos entregados
- 3% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 12 palabras)


VILCA VELASQUEZ
DERLY RONALD VILCA
INGENIERO AGRÍCOLA
D.C. D.P. 38623



Resumen



DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis padres Nilo Vilca Cruz y Basilia Velásquez Morales, por haberme forjado como persona que soy en la actualidad, muchos de mis logros se los debo a ellos, en los que se incluyen este trabajo.

A mi hermana Daniela por el cariño, compañía y apoyo moral brindado durante toda mi vida, espero ser de ejemplo a que continúe con su camino de vida siempre de manera resiliente y consecuente.

A Magda Qquenta por todo su apoyo, paciencia y fortaleza a lo largo de todos estos años en cada aspecto de mi vida y además de ser la ideadora de la concepción inicial de esta tesis.

A todos mis familiares que estuvieron involucrados en el proceso de mi formación académica en especial a mis abuelos Clotilde Morales Borda, Bernardino Velásquez Contreras, Angela Cruz Ramos, mis tíos Mario Velásquez Morales y Alex Vilca Cruz por brindarme las enseñanzas necesarias en la etapa inicial de este camino inculcándome esmero en la obtención de mis objetivos.

Derly Ronald Vilca Velásquez



AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por brindarme sabiduría, fortaleza y ser guía en mi camino de vida.

A la Universidad Nacional del Altiplano mi alma mater.

A la Facultad de Ingeniería Agrícola donde adquirí los conocimientos, valores y principios en mi formación profesional.

A mi director de tesis M. Sc. Wilber Fermín Laqui Vilca, por las enseñanzas dadas, su orientación y guía a lo largo de todo el desarrollo de la presente tesis de investigación.

Derly Ronald Vilca Velásquez



ÍNDICE GENERAL

Pág.

DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE ANEXOS	
ACRÓNIMOS	16
RESUMEN	17
ABSTRACT.....	18
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1. GENERALIDADES.....	19
1.2. JUSTIFICACIÓN	23
1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	24
1.3.1. Objetivo general.....	24
1.3.2. Objetivos específicos	24
CAPÍTULO II	
REVISIÓN DE LITERATURA	
2.1. ANTECEDENTES	25
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	25
2.1.2. Antecedentes nacionales	26
2.1.3. Antecedentes locales	28



2.2.	CUENCA HIDROGRÁFICA.....	29
2.3.	CABECERAS DE CUENCA.....	30
	2.3.1. Delimitación de cuencas método Pfaffstetter	31
	2.3.2. Orden de ríos por clasificación Strahler	32
2.4.	PRECIPITACIÓN	33
2.5.	RETENCIÓN HÍDRICA	34
2.6.	RENDIMIENTO HÍDRICO	35
2.7.	DEGRADACIÓN DE SUELO	36
2.8.	MODELAMIENTO HIDROLÓGICO	37
2.9.	MODELO DE LUTZ SCHOLZ.....	38
	2.9.1. Ecuación del balance hídrico	39
	2.9.2. Coeficiente de escorrentía.....	39
	2.9.3. Evapotranspiración potencial.....	40
	2.9.4. Precipitación efectiva.....	40
	2.9.5. Retención de la cuenca	41
	2.9.6. Relación entre descargas y retención	42
	2.9.7. Coeficiente de agotamiento	43
	2.9.8. Almacenamiento hídrico	44
	2.9.9. Abastecimiento de la retención.....	44
	2.9.10. Determinación del caudal mensual para el año promedio	45
	2.9.11. Generación de caudales mensuales para periodos extendidos	46
	2.9.12. Medidas de bondad de ajuste	47
	2.9.13. Restricciones del modelo	50
2.10.	ANÁLISIS ESPACIAL.....	50
2.11.	ZONIFICACIÓN DE CUENCA	51



2.12.	SUPERPOSICION GEOESPACIAL	51
2.13.	POTENCIAL HÍDRICO	53
2.14.	UNIDADES DE RESPUESTA HIDROLÓGICA	53

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1.	DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	54
3.1.1.	Ubicación geográfica	54
3.1.2.	Ubicación política	55
3.1.3.	Ubicación hidrográfica	55
3.1.4.	Caracterización climatológica.....	55
3.1.5.	Caracterización ecológica	55
3.1.6.	Caracterización geomorfología de la Unidad Hidrográfica Coata.....	56
3.2.	MATERIALES.....	57
3.2.1.	Softwares utilizados	57
3.2.2.	Equipos de gabinete	59
3.2.3.	Servicios.....	59
3.3.	BASE DE DATOS UTILIZADA.....	59
3.3.1.	Información cartográfica.....	59
3.3.2.	Información meteorológica.....	60
3.3.3.	Información hidrométrica	61
3.4.	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	64
3.4.1.	Identificación y delimitación de cabeceras de cuenca	65
3.4.1.1.	Procesamiento del DEM de la Unidad Hidrográfica Coata	65
3.4.1.2.	Delimitación de cabeceras de cuenca.....	67



3.4.2. Estimación del rendimiento hídrico con el modelo hidrológico Lutz Scholz	69
3.4.2.1. Análisis y procesamiento de la información meteorológica	69
3.4.2.2. Generación de la precipitación media areal	73
3.4.2.3. Cálculo de los parámetros geomorfológicos de la cuenca de calibración rio verde	73
3.4.2.3.1. Parámetros fisiográficos	73
3.4.2.3.2. Parámetros de relieve	75
3.4.2.3.3. Parámetros de la red hídrica	75
3.4.2.4. Calibración y validación del modelo hidrológico Lutz Schulz	77
3.4.2.4.1. Calibración del modelo	78
3.4.2.4.2. Validación del modelo	91
3.4.2.4.3. Caudales generados por cabecera de cuenca	94
3.4.2.5. Cálculo de los aportes hídricos de las cabeceras de cuenca	95
3.4.3. Determinación y Delimitación de las variables e indicadores hidro ecológicos	95
3.4.3.1. Indicadores climatológicos	96
3.4.3.2. Indicadores hidrológicos	98
3.4.3.3. Indicadores ecológicos	99
3.4.3.4. Asignación de ponderación de las variables de indicadores	99
3.4.4. Unidades de respuesta hidrológicas	101
3.4.4.1. Acondicionamiento de las tablas de atributos	101
3.4.4.2. Superposición geoespacial	101



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. DELIMITACIÓN DE CABECERAS DE CUENCA DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA COATA	103
4.1.1. Procesamiento del modelo digital de elevación (DEM)	103
4.1.2. Delimitación de cabeceras de cuenca	104
4.2. MODELACIÓN HIDROLÓGICA PARA LA ESTIMACIÓN DEL RENDIMIENTO HÍDRICO	108
4.2.1. Calibración del modelo estocástico determinístico de Lutz Schulz	108
4.2.1.1. Coeficiente de escurrimiento	108
4.2.1.2. Precipitación efectiva	108
4.2.1.3. Retención de la cuenca.....	111
4.2.1.4. Coeficiente de agotamiento.....	111
4.2.1.5. Relación descarga – retención.....	112
4.2.1.6. Abastecimiento de la retención	112
4.2.1.7. Gasto de la retención.....	113
4.2.1.8. Generación de caudales mensuales para un año promedio.	114
4.2.2. Validación del modelo	117
4.2.3. Descargas medias mensuales generadas	119
4.3 DETERMINACIÓN Y DELIMITACIÓN DE LAS VARIABLES DE INDICADORES HIDROLÓGICOS ECOLÓGICOS Y CLIMÁTICOS ..	131
4.3.1. Generación del mapa de isoyetas	131
4.3.2. Mapa de ecosistemas	133
4.3.3. Mapa de degradación	136
4.3.4. Ponderación de variables	138



4.3.4.1. Ponderación para la variable climatológica	138
4.3.4.2. Ponderación para la variable hidrológica.....	139
4.3.4.2.1. Rendimiento del ecosistema	139
4.3.4.2.2. Retención del ecosistema.....	140
4.3.4.3. Ponderación para la variable ecológica.....	144
4.3.4.3.1. Degradación del ecosistema	144
4.4. GENERACION DE UNIDADES DE RESPUESTA HIDROLÓGICA.....	146
V. CONCLUSIONES.....	155
VI. RECOMENDACIONES	158
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	161
ANEXOS.....	168

Área: Ingeniería y Tecnología

Línea: Recursos Hídricos

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 27 de mayo del 2024



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1	Área de influencia de ecosistemas a nivel de UH..... 56
Tabla 2	Parámetros geomorfológicos de la cuenca Coata. 57
Tabla 3	Detalle de la estaciones meteorológicas seleccionadas. 60
Tabla 4	Caudal medio mensual histórico río Verde..... 62
Tabla 5	Caudal medio mensual histórico puente Unocolla..... 63
Tabla 6	Parámetros geomorfológicos de la cuenca de calibración. 77
Tabla 7	Límites de curva para la precipitación efectiva. 83
Tabla 8	Coefficientes para el cálculo de la precipitación efectiva. 83
Tabla 9	Coefficiente de agotamiento por tipo de cuenca. 87
Tabla 10	Almacenamiento hídrico en época de lluvias (%). 89
Tabla 11	Valores referenciales del criterio de Nash - Sutcliffe 92
Tabla 12	Valores referenciales del Criterio Shultz 93
Tabla 13	Estaciones met. para la generación de isoyetas de precipitación..... 97
Tabla 14	Matriz de ponderación de indicadores 100
Tabla 15	Escala de normalización de variables 100
Tabla 16	Parámetros geomorfológicos de las cabeceras de cuenca..... 105
Tabla 17	Valores estimados del coeficiente de escorrentía - metodología misión alemana 108
Tabla 18	Precipitación efectiva según USBR..... 109
Tabla 19	Resultados obtenidos de precipitación efectiva mensual (mm)..... 111
Tabla 20	Abastecimiento de la retención mensual (mm/mes) 113
Tabla 21	Gasto de la retención mensual (mm/mes) 114
Tabla 22	Caudales generados y aforados para el año promedio (m ³ /s) 115



Tabla 23	Resultados de medidas de bondad de ajuste para la calibración del modelo.....	116
Tabla 24	Medidas de bondad de ajuste para la validación del modelo.....	118
Tabla 25	Descargas medias mensuales generadas para la cuenca de calibración Verde	120
Tabla 26	Resumen de caudales generados para las cabeceras de cuenca identificadas	122
Tabla 27	Caudal total anual generado para las cabeceras de cuenca	130
Tabla 28	Área de influencia de ecosistemas a nivel de cabeceras de cuenca.	134
Tabla 29	Área de influencia de la degradación a nivel de la UH Coata	137
Tabla 30	Área de influencia de la degradación a nivel de las cabeceras de cuenca .	137
Tabla 31	Ponderaciones asignadas para los ecosistemas de la UH Coata	139
Tabla 32	Clases generadas a partir de la data de caudales generados.....	140
Tabla 33	Ponderación asignada para la variable de retención hídrica	140
Tabla 34	Ponderaciones asignadas para los resultados de áreas degradada.	144
Tabla 35	Unidades de respuesta hidrológica.....	148
Tabla 36	Unidades de respuesta hidrológica en función de los ecosistemas	150



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Delimitación de cuencas por Pfafstetter	31
Figura 2 Cursos de agua Strahler	33
Figura 3 Capas temáticas para superposición geoespacial.	52
Figura 4 Capa temática de salida generada.	52
Figura 5 Ubicación geográfica de la Unidad Hidrográfica Coata.	54
Figura 6 Mapa de estaciones hidrometeorológicas seleccionadas.	61
Figura 7 Diagrama de flujo metodológico.	64
Figura 8 Índices anuales del vector regional.	72
Figura 9 Índices acumulados del vector regional.	72
Figura 10 Cuenca del rio Verde.	78
Figura 11 Ubicación de estaciones meteorológicas para la elaboración de isoyetas de precipitación.....	98
Figura 12 Delimitación final de la UH Coata.....	103
Figura 13 Mapa de cabeceras de cuenca identificas.....	107
Figura 14 Curvas de precipitación efectivas según USBR.....	110
Figura 15 Caudal generado vs. caudal observado.	116
Figura 16 Diagrama de dispersión de los caudales generados vs. los caudales observados.	119
Figura 17 Caudales generados y aforados - periodo extendido.....	121
Figura 18 Hidrograma de caudales generados para las cabeceras 001 - 010.	124
Figura 19 Hidrograma de caudales generados para las cabeceras 011 - 020.	125
Figura 20 Hidrograma de caudales generados para las cabeceras 021 - 030.	125
Figura 21 Hidrograma de caudales generados para las cabeceras 031 - 040.	126



Figura 22	Hidrograma de caudales generados para las cabeceras 041 - 050.	126
Figura 23	Hidrograma de caudales generados para las cabeceras 051 - 060.	127
Figura 24	Hidrograma de caudales generados para las cabeceras 061 - 070.	127
Figura 25	Hidrograma de caudales generados para las cabeceras 071 - 080.	128
Figura 26	Hidrograma de caudales generados para las cabeceras 081 - 090.	128
Figura 27	Hidrograma de caudales generados para las cabeceras 091 - 100.	129
Figura 28	Hidrograma de caudales generados para las cabeceras 100 - 106.	129
Figura 29	Isoyetas de precipitación total anual.	132
Figura 30	Mapa de ecosistemas de la UH Coata.	134
Figura 31	Mapa de áreas degradadas de la UH Coata.	137
Figura 32	Aportes hídricos de cabeceras de cuenca.	142
Figura 33	Relación del caudal vs. área de cabeceras de cuenca.	143
Figura 34	Degradación de cabeceras de cuenca.	145
Figura 35	Mapa de unidades de respuesta hidrológica.	147



ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO 1 Series históricas de precipitación total mensual.	169
ANEXO 2 Serie histórica caudales medios (m ³ /s).	177
ANEXO 3 Modelo conceptual de zonificación de cabeceras de cuenca.	179
ANEXO 4 Matriz de caudales específicos referenciales para ecosistemas.	180
ANEXO 5 Mapas generados.....	182



ACRÓNIMOS

ALA:	Administración Local del Agua
ALOS:	Advanced Land Observing Satellite
ANDREA:	Análisis de Datos y Recursos Estadísticos del Agua
ASF:	Alaska Satellite Search
DEM:	Modelo de Elevación Digital
INRENA:	Instituto Nacional de Recursos Naturales
MIDAGRI:	Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego
MINAM:	Ministerio del Ambiente
MMC:	Millones de Metros Cúbicos
MVR:	Método del Vector Regional
PALSAR:	Phased Array Type L-band Synthetic Aperture Radar
SENAMHI:	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú
SIG:	Sistemas de Información Geográfica
SNIRH:	Sistema Nacional de Información de Recursos Hídricos
TDPS:	Titicaca, Desaguadero, Poopó, Salar de Coipasa
UEE:	Unidades Ecológicas Económicas
UH:	Unidad Hidrográfica
URH:	Unidades de Respuesta Hidrológica
USBR:	United States Bureau of Reclamation
UTM:	Universal Transverse Mercator
WGS84:	World Geodetic System 1984
ZEE:	Zonificación Ecológica y Económica



RESUMEN

La conservación de los Recursos Hídricos es fundamental debido al cambio climático, degradación de ecosistemas y desarrollo urbano progresivo, para esto es necesario tener una mejor comprensión de las alteraciones en el flujo y gestionar de manera sostenible el recurso hídrico. El objetivo principal de la presente investigación fue realizar la evaluación, estimación de la contribución hídrica y el análisis de la respuesta hidrológica de las cabeceras de cuenca de la Unidad Hidrográfica Coata. La metodología inició con la identificación de las cabeceras de cuenca utilizando modelos de digitales de elevación, en consiguiente se estimó el rendimiento y retención hídrica mediante el modelo hidrológico de Lutz Scholz, posteriormente se estimaron las variables de los indicadores meteorológicos, hidrológicos y ecológicos normalizando y homogeneizando cada variable en función a las cabeceras de cuenca, finalmente se zonificaron las variables antes delimitadas mediante superposición geoespacial para así obtener las Unidades de Respuesta Hidrológica. Como resultados principales se identificaron 106 cabeceras de cuenca con un área total acumulada de 559.66 km² que corresponde al 11.10% del total de superficie de la cuenca Coata, además se determinó que los caudales generados corresponden a 6.42 % del caudal aportante total, en cuanto a la zonificación se hallaron ecosistemas con características de retención hídrica alta, así mismo una reducida degradación, esto influyó en que se cuente con una respuesta hidrológica predominante de nivel “alto” con un porcentaje de representación de 56.01%, nivel “medio” con un porcentaje de influencia de 35.23%, y “muy alto” con un porcentaje de representación de 8.74%, siendo los grados de respuesta hidrológica “bajos” a “muy bajos” casi nulos.

Palabras Clave: Cabeceras de cuenca, Identificación, Respuesta hidrológica, Zonificación.



ABSTRACT

The conservation of Water Resources is essential due to climate change, ecosystem degradation and progressive urban development. For this, it is necessary to have a better understanding of the alterations in the flow and sustainably manage the water resource. The main objective of this research was to carry out the evaluation, estimation of the water contribution and analysis of the hydrological response of the basin headwaters of the Coata basin. The methodology began with the identification of the basin headwaters using digital elevation models, consequently the yield and water retention were estimated using the Lutz Scholz hydrological model, subsequently the variables of the meteorological, hydrological and ecological indicators were estimated by normalizing and Homogenizing each variable based on the basin headwaters, the variables previously delimited were finally zoned by means of geospatial superposition in order to obtain the Hydrological Response Units. As main results, 106 basin headwaters were identified with a total accumulated area of 559.66 km², which corresponds to 11.10% of the total surface area of the Coata basin. It was also determined that the flows generated correspond to 6.42% of the total contributing flow, in terms of zoning, ecosystems with high water retention characteristics were found, as well as reduced degradation, this influenced the predominant hydrological response of a “high” level with a percentage of representation of 56.01%, a “medium” level with a percentage of influence of 35.23%, and “very high” with a representation percentage of 8.74%, with the degrees of hydrological response being “low” to “very low” almost zero.

Keywords: Head waters, Hydrological response, Identification, Zoning.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. GENERALIDADES

La definición de una metodología para la identificación de cabeceras de cuenca se considera que proviene de un antecedente de conflicto social como lo fue Conga en el 2011 donde poblaciones involucradas en el área de influencia del proyecto minero se opusieron a la viabilidad del mismo, alegando impactos negativos perjudiciales al medio ambiente y a su calidad de vida, esto corroborado gracias al informe realizado por Giesecke (2011), donde se reveló que dos lagunas serian utilizadas de vertedero de desechos contaminados de los procesos minero, y que según la Ley N° 29338 “Ley de Recursos Hídricos” exactamente en el artículo 75°, se reconoce a los territorios de cabeceras de cuenca como zonas ambientalmente vulnerables, pudiendo inclusive declararse su intangibilidad; por ende el proyecto que se desarrollaría sobre una cabecera de cuenca que abastece a 5 microcuencas, conllevaría a una grave afectación a los ecosistemas presentes en estos ámbitos así como a la calidad del recurso hídrico (IDL, 2012), este informe fue determinante para potenciar los reclamos contra el proyecto minero y su posterior suspensión. Esto dio indicios a que era necesario tener una clara concepción de lo que es una cabecera de cuenca por lo que era imprescindible tener alguna reglamentación o metodología para su correcta identificación.

Por lo mismo en el año 2021 se puso en vigencia el “Marco metodológico de criterios técnicos para la identificación, delimitación y zonificación de cabeceras de cuenca” elaborado por el MIDAGRI en conjunto con la ANA, el cual está orientado hacia la protección ambiental de estos ecosistemas y todos los bienes naturales asociados al agua, esta herramienta sigue los lineamientos de nuestra legislación y las políticas de



estado vigentes, busca evaluar la implementación de medidas especiales para la adecuada gestión, protección y conservación de estos hábitats según la vulnerabilidad que presenten; por lo mismo en la presente investigación se busca implementar dicho marco metodológico y darle mayores aportes.

Contemplado el contexto motivacional a esta investigación se entiende que la conservación de los recursos hídricos es de prioridad en la actualidad debido al acrecentamiento del proceso de globalización a partir de la década de los años de 1990 este caracterizado por un desarrollo urbano progresivo, el cambio climático y la degradación de ecosistemas vulnerables, estas transiciones ambientales afectan las cuencas hidrográficas y su equilibrio natural (Meléndez de la Cruz, 2019). Así mismo la alta intensidad de actividades económicas como las labores de extracción de recursos e intervención humana requiere una adecuada comprensión clara de las funciones y valores de los ecosistemas, ya que estos afectan las actividades operativas tales como, la gestión del paisaje, recursos hídricos y la recuperación de los mismos (Wells et al., 2017), de acuerdo a lo anterior parte la significancia de las cabeceras de cuenca, en su gestión e identificación como ecosistemas esenciales en una cuenca; en términos generales las denominadas cabeceras de cuenca se encuentran ubicadas en las zonas de mayor altura de las cuencas, donde se teoriza que las precipitaciones son proporcionalmente mayores, cuyos territorios están expuestos a heladas y granizadas (D. S. N° 014-2021-MIDAGRI, 2021), lo que nos da a entender que el aporte hídrico está garantizado, por ende se necesita tener una mejor comprensión de las alteraciones en el flujo ya que esto es de suma importancia para gestionar y administrar de manera efectiva y sostenible los recursos hídricos (Augusto de Oliveira et al., 2019) y recursos naturales, entre los cuales, el agua es quizás el de mayor relevancia dados sus usos potenciales en términos de demandas doméstica, industrial, agrícola y generación hidroeléctrica (Quichimbo y Vázquez, 2015),



para tener un panorama amplio de estos impactos negativos, será necesario conocer los aportes hídricos de cada cabecera de cuenca ya que existirán cabeceras de cuenca las cuales provean de un mínimo caudal a la red hidrográfica, por lo mismo se deberá zonificar estos ecosistemas y verificar si existe alguna desnaturalización en términos de protección ambiental y ecosistémicos se conoce que si se vinculan los cauces de las nacientes en las cabeceras de cuenca con los ecosistemas encontramos que los orígenes de esas corrientes están involucrados en hábitats naturales tales como: lagunas, pastizales, matorrales, bofedales, bosques, etc. (Meléndez de la Cruz, 2019) y estas juegan un papel importante en la producción del componente de flujo terrestre de la escorrentía (Roulet, 1991).

La Unidad Hidrográfica Coata fue establecida como zona de estudio; según el MINAM (2014) se ha identificado de modo preliminar la existencia de puntos de vertimientos de aguas residuales en el ámbito de la ALA Juliaca y según los resultados al menos 4 de ellos están afectando directamente lo que podrían considerarse cabeceras de cuenca así como también la calidad de sus recursos hídricos presentes tanto superficiales como subterráneos, por lo antes mencionado es necesario conocer y cuantificar el aporte hídrico generado por estos hábitats mediante técnicas de modelamiento hidrológico, conocer los grados de respuesta hidrológica que puedan presentar, además de identificarlos y zonificarlos de acuerdo a variables que caractericen estas cabeceras de cuenca, y así delimitar nuevos espacios geográficos homogéneos que muestren la importancia de cada cabecera de cuenca para solventar el vacío de información que en la actualidad se tiene referente a estos ecosistemas.

Teniendo en cuenta este contexto, surgen las siguientes interrogantes: ¿Cuál es la contribución hídrica de las cabeceras de cuenca en la Unidad Hidrográfica Coata?, ¿Cómo se identifican y delimitan las cabeceras de cuenca?, ¿Qué variables son las indicadas a



considerar para una zonificación de cabeceras de cuenca?, ¿Cómo determinar el aporte hídrico de las cabeceras de cuenca con el uso de SIG?, ¿Qué método usar para generar los nuevos límites geográficos que contemplen características homogéneas?



1.2. JUSTIFICACIÓN

Es imprescindible conocer el aporte hídrico de las cabeceras de cuenca con el fin de optimizar la gestión de los recursos hídricos a nivel de toda la cuenca y establecer así una línea base a investigaciones posteriores.

Las cabeceras de cuenca son espacios geográficos que en teoría desempeñan mejor las principales funciones de una cuenca (hidrológica, ecológica, ambiental y socioeconómica); estos procesos en las zonas altas constantemente tienen efectos en las partes medias y bajas de la cuenca, además, que proveen casi la totalidad del recurso hídrico en una cuenca, por ello es importante identificar adecuadamente las cabeceras de cuenca y considerar a detalle cada aspecto que comprenden estos ecosistemas para una evaluación óptima del aporte hídrico.

Implementar el nuevo Marco metodológico de criterios técnicos para la identificación, delimitación y zonificación de cabeceras de cuenca el cual se encuentra en vigencia para determinar los grados de respuesta hidrológica y establecer un antecedente a investigaciones relacionadas al tema.

Es necesario determinar la respuesta hidrológica que las cabeceras de cuenca presentan esto a partir de los resultados obtenidos de las variables de precipitación, rendimiento hídrico, retención hídrica y degradación de ecosistemas, esto con el fin de solventar el vacío de conocimiento existente en este ámbito de estudio.

Es esencial cuantificar el aporte hídrico generado a partir del modelamiento hidrológico de todas las cabeceras de cuenca identificadas y determinar el porcentaje acumulado que estas contribuyen en relación al caudal medio total de toda cuenca para verificar la influencia hidrológica de estos ecosistemas en relación a la Unidad Hidrográfica mayor.



1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Objetivo general

- Evaluar la contribución y respuesta hidrológica de las áreas de cabecera de cuenca en la Unidad Hidrográfica Coata.

1.3.2. Objetivos específicos

- Identificar y delimitar las cabeceras de cuenca utilizando modelos de elevación digital en la cuenca del río Coata.
- Calcular el rendimiento hídrico y retención hídrica para determinar los aportes hídricos de cada cabecera de cuenca en la zona de estudio.
- Zonificar las cabeceras de cuenca considerando variables hidrológicas, climatológicas y ecológicas, para normalizar y homogeneizar cada parámetro.
- Superponer geo espacialmente los mapas de variables temáticas y generar nuevos límites geográficos en la cuenca de estudio.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES

2.1.1. Antecedentes internacionales

En cuanto al ámbito internacional, Kavka (2021), define que la similitud hidrológica de las cuencas constituye una base para generalizar su respuesta hidrológica y permite clasificar las cuencas desde numerosas perspectivas, donde un grupo específico lo forman las “cuencas de primer orden”, que corresponden a pequeñas cabeceras de cuenca de hasta 5 km² de superficie, donde su delimitación se basó en un modelo digital del terreno, la red hídrica y los embalses de agua. Los resultados mencionan que las cuencas obtenidas cubren el 80% del país, así mismo seleccionaron cinco parámetros independientes apoyados en el Análisis de Componentes Principales (PCA) e índices de validez de agrupamiento (CVI) para evaluar el riesgo potencial de ocurrencia de escorrentía directa. Donde finalmente determinaron que el 17% del territorio se encuentra en una zona de alto riesgo, el 39% en una zona de riesgo medio y el 24% en una zona de riesgo inferior.

Por otro lado Lopes-Simedo et al. (2020) realizó la evaluación de la disponibilidad hídrica en subcuencas de una cuenca de cabecera, para ello evaluaron las descargas del caudal en cabeceras de primer orden, las mediciones se realizaron al inicio de cada mes de manera periódica, estos datos fueron sometidos a procesos estadísticos que analizaron los datos temporales y espaciales relacionados con las características morfométricas de las subcuencas. Entre los resultados mencionan que los flujos de descarga mostraron variaciones espacio-



temporales en magnitud entre las subcuencas de cabecera y la disponibilidad de agua, evaluada con base en las descargas netas promedio, así mismo mencionan que los procesos ecológicos dados en los bosques son fundamentales para controlar, preservar, recargar los acuíferos y el volumen de agua en las cabeceras. Además, sugieren que las cabeceras no deben considerarse como una unidad única y homogénea, ya que esto puede ser fuente de conflictos hídricos.

Hernandez-Guerra (2015) utilizó SWAT para determinar parámetros morfométricos y determinar Unidades de Respuesta Hidrológica – URH de la cuenca del río Ráquira, todo esto con parámetros que relacionan el tipo de suelo uso de la cobertura vegetal y la pendiente, donde una vez generadas las URH se realizó un ejercicio de priorización cualitativa para seleccionar aquellas zonas con mayor potencial en la producción de sedimentos donde determinaron 170 URH de las cuales fueron priorizadas 14 como resultado de la ponderación de los criterios de priorización desarrollados.

Quichimbo y Vázquez (2015), en sus resultados indican que el DBM (Modelo mecanicista basado en datos) en conjunto con el filtro de Kalman, como técnica de asimilación de datos, mejora la capacidad predictiva de la modelación y genera mejores resultados, además que funciona adecuadamente en cuencas Andinas ya que el caudal observado en el período de calibración se ajustó correctamente al del período de validación sin reducir severamente su rendimiento.

2.1.2. Antecedentes nacionales

En el ámbito nacional Meléndez de la Cruz (2019), concluyó que el criterio de la determinación de cuencas de drenaje mediante el empleo del orden de cauces



es el método idóneo para delimitar cabeceras de cuenca. Sin embargo, cuando se trata de objetivos de planificación se podría hacer adecuaciones, por ejemplo, identificar las partes de las cabeceras de cuencas que tienen mayor disponibilidad de agua. Además, que el criterio de “cuenca húmeda” se basa en aspectos climáticos y si puede complementar considerando ciertos ecosistemas que están relacionados con el agua en tierra, como son las áreas con lagunas y bofedales.

Además Gutiérrez-Huamán (2013), identificó cabeceras de cuenca para esto se apoyó en las ZEE (Zonificación Ecológica y Económica), desarrollado durante el 2009 y 2010 en el departamento de Piura y utilizo variables temáticas tales como: temperatura, precipitación, fisiografía, cobertura vegetal, geomorfología, uso de suelo, hidrogeología, servicios ambientales, potencialidades socioeconómicas, etc., donde finalmente dimensionó gráficamente los espacios territoriales en mapas, que representan fiablemente los componentes multisectoriales que permiten identificar las potencialidades y limitaciones de los mismos utilizando criterios físicos, biológicos, sociales, económicos y culturales; caracterizando así las unidades que son relativamente homogéneas que comprenden las Unidades Ecológicas Económicas (UEE).

Finalmente, el MIDAGRI (2021), puso en vigencia el nuevo “Marco Metodológico de Criterios Técnicos para la Identificación, Delimitación y Zonificación de Cabeceras de Cuenca” elaborado la Autoridad Nacional del Agua (ANA), cuyo fin busca identificar todas las zonas de cabeceras de cuenca vulnerables para que posteriormente estas sean declaradas bajo protección ambiental, esto basado en un análisis y determinación de Unidades de Respuesta Hidrológica.



2.1.3. Antecedentes locales

Mamani-Mamani (2024), evaluó la alteración hidrológica a partir de un análisis exploratorio de datos de precipitación, temperatura máxima y mínima, para así estimar la evapotranspiración mediante Hargreaves, con el fin de generar caudales mediante el modelo GR4J. Posteriormente estimó la alteración hidrológica por eco flujos e indicadores de alteración hidrológica (IAH) y cruzó anomalías de precipitación con los eco flujos. Respecto a la modelación hidrológica los valores alcanzados para el coeficiente de Nash fueron de 0.853 y 0.9 en calibración y validación respectivamente, en cuanto a los resultados de alteración hidrología se clasificaron como moderado dando evidencias que los caudales mínimos se incrementaron en un 22.24 % y los máximos disminuyeron un 9.58%.

Mayta-Condori (2015), determinó la relación entre el método IPRH y las exigencias de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos, esto a partir de una adecuada caracterización del área de estudio con datos de precipitación hidrología, clima, humedad, así mismo realizaron fichas IPRH con información de manantiales, cauces naturales, lagunas, vasos inundables, proyectos y sistemas de aprovechamiento hidráulico, riesgos ambientales, información agropecuaria, entre los resultados menciona que no existió una concertación eficaz no permitiendo un acceso equitativo a la población de estudio al acceso al recurso hídrico por lo que la metodología IPRH no arroja resultados para una planificación en gestión del agua en la cuenca, bajo el enfoque de la GIRH sino que hace una continuación de la administración tradicional o convencional sin innovaciones que se le pueda catalogar como Gestión Integrada del recurso agua. Así mismo algunos aportes importantes referidos al ámbito de cabeceras de cuenca fueron los de la



implementación de una ley de Pago por Servicios Ambientales (PSA) para que los beneficiarios puedan apoyar en la conservación del mismo, ya que el ámbito de las cabeceras de cuenca implica condiciones favorables de oferta, demanda, institucionalidad y gobernabilidad para el establecimiento de un mecanismo de PSA.

Quispe-Machaca y Caprio (2016), caracterizaron la hidrogeología en la cabecera de cuenca del río Azángaro identificando acuíferos, para este objetivo utilizaron el diagrama de Scartter, determinando que los manantiales presentan una composición química de recorrido corto, lo cual en conclusión garantiza que en las cabeceras de cuenca no solo se abastecen de escorrentía superficial sino también de aguas subterráneas, cabe mencionar que para su delimitación de cabeceras de cuenca no utilizaron criterios hidrológicos y climáticos.

2.2. CUENCA HIDROGRÁFICA

En el estudio de la hidrología, la unidad espacial común a considerar es la cuenca hidrográfica, esta se puede definir como el área de tierra desde la cual el agua fluye hacia un río que posteriormente puede desembocar hacia el mar o un lago (cuerpos de agua) en el caso de un sistema arreico y endorreico respectivamente, la terminología sugiere que el área es análoga a una cuenca donde toda el agua se mueve hacia un punto central (desembocadura del río). El denominador común de cualquier punto de una cuenca es que donde llueva mediante escorrentía el flujo terminará en el mismo lugar: donde el río se encuentra con el mar o algún cuerpo de agua presentando pérdidas por evaporación.

El tamaño de una cuenca puede variar desde unas pocas hectáreas hasta millones de kilómetros cuadrados. Una cuenca fluvial se puede definir en términos de su topografía asumiendo que toda el agua que cae sobre la superficie fluye cuesta abajo. De esta manera



se puede trazar un límite de cuenca que define el área de captación real de una cuenca fluvial (Davie, 2008).

2.3. CABECERAS DE CUENCA

Las cabeceras de cuenca son áreas territoriales en donde se pueden originar los cursos de agua de una red hidrográfica, estas pueden aportar el recurso hídrico al flujo base de la cuenca que se produce en los periodos de estiaje, esto puede variar dependiendo del tipo de red hídrica que la conforma además de las características climatológicas que se presentan en la zona, tales como la ubicación geográfica, el tamaño y la forma de la cuenca; esto se refuerza cuando se relacionan los cauces de las cabeceras de cuencas con los ecosistemas, podemos encontrar que los orígenes de esas corrientes están vinculados a ecosistemas como: lagunas, pastizales, matorrales, bosques, bofedales, etc. Es síntesis, el agua y relieve son los dos elementos primordiales del ecosistema por su característica de soporte, ya que las geoformas habituales relacionadas con el agua superficial en las cabeceras de cuencas son, laderas de montañas con diferentes pendientes, glaciares con diferentes espesores, circos glaciares, morrenas, afloramientos rocosos, mesetas, entre otros (Meléndez de la Cruz, 2019).

Asimismo pueden existir cabeceras de cuenca que, por las condiciones naturales de retención hídrica, constituyen ecosistemas únicos de vital importancia, así como muchas áreas de drenaje especialmente de la vertiente del Pacífico que técnicamente pueden ser consideradas como cabeceras de cuenca, no aportan agua al cauce principal, esto a consecuencia de un déficit hídrico de precipitación durante largas temporadas a lo largo del año, caso contrario las cabeceras de cuenca que drenan hacia la vertiente del Atlántico, la intensidad de la lluvia en ellas no es mayor que en el resto de la cuenca, evidenciándose poca diferenciación durante el año, finalmente en las cuencas de la

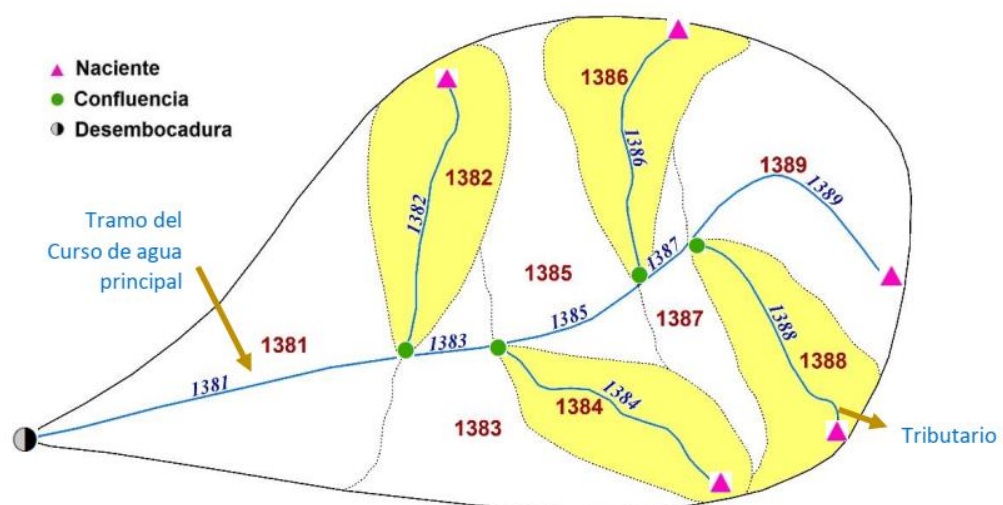
vertiente del Titicaca, la precipitación es proporcionalmente más intensa respecto a la altura, incluyendo las cabeceras de cuenca, que normalmente están periódicamente expuestas a eventos como heladas y granizadas (ANA, 2021).

2.3.1. Delimitación de cuencas método Pfaffstetter

La delimitación según Pfaffstetter, consiste en una subdivisión interna de las cuencas hidrográficas, donde se identifican los cuatro mayores afluentes en relación al área y longitud respecto al río principal y las cinco intercuenas que perciben a los afluentes, la codificación correspondiente a las cuencas tributarias es enumerada con valores pares (2, 4, 6 y 8), iniciando en la desembocadura y siguiendo el cauce principal aguas arriba hasta la naciente del mismo. Los tributarios del río principal son agrupados como áreas restantes y denominadas intercuenas, cuya numeración es asignada con valores impares (1, 3, 5, 7 y 9) (Zambrano Ramirez et al., 2011).

Figura 1

Delimitación de cuencas por Pfaffstetter



Nota: La figura muestra la metodología Pfaffstetter para la delimitación de cuencas mostrando 5 intercuenas y 4 subcuencas tributarias. Tomado de ANA (2021).



2.3.2. Orden de ríos por clasificación Strahler

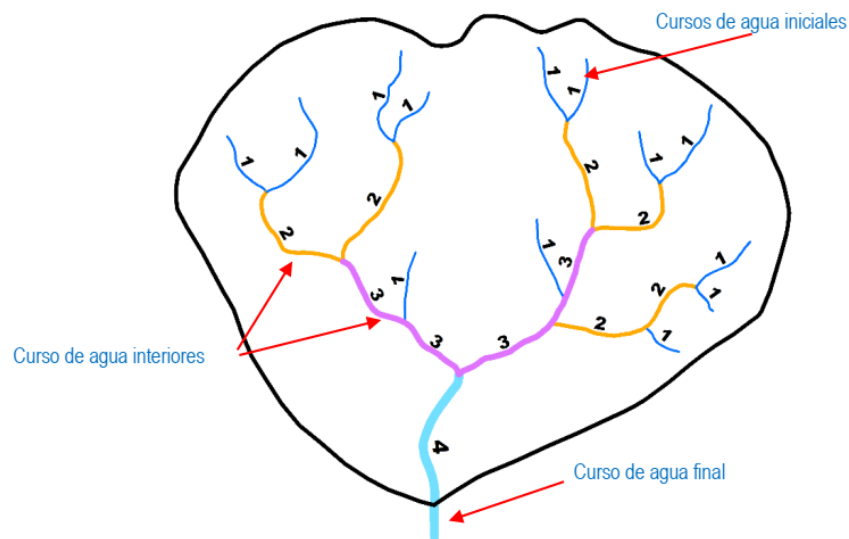
El número de Horton-Strahler, es una forma numérica que expresa la complejidad de una ramificación de una red hídrica. Esta se obtiene a partir de un modelo de elevación digital mediante información sobre los flujos acumulados, para posteriormente asignar un orden jerárquico a los distintos cursos que conforman la red de una cuenca dada (estos ordenes son del 8 al 1, pero puede variar dependiendo de la cuenca), el producto es una capa que indica hacia donde drena la red hídrica en cada punto específico (Zambrano Ramirez et al., 2011).

La metodología de jerarquización de ríos Strahler en matemática se le conoce como un árbol matemático que da una medida numérica de la complejidad de la ramificación, el orden de corrientes es una clasificación que refleja el grado de ramificación o bifurcación dentro de una cuenca donde los ríos de orden 1 corresponderían a lo que vienen ser cabeceras de cuenca (Vega Segarra, 2020). Su clasificación es de la siguiente manera:

- Orden 1: Cauces pequeños sin tributarios.
- Orden 2: Donde dos corrientes de primer orden se unen.
- Orden 3: Donde dos corrientes de segundo orden se unen.
- Orden $n + 1$: Donde dos corrientes de orden n se unen.

Figura 2

Cursos de agua Strahler



Nota: La figura muestra la ordenación de ríos por metodología Strahler donde las cabeceras corresponden a la zona periferal de orden 1. Tomado de ANA (2021).

2.4. PRECIPITACIÓN

Se puede definir a la precipitación como la caída del agua en estado líquido (lluvia) o sólido (nieve y granizo) hacia la superficie terrestre, que de acuerdo a su comportamiento en la superficie puede desarrollar procesos como: intercepción, infiltración, percolación y escorrentía; la precipitación viaja en modo de flujo por la superficie del terreno hacia los cauces durante y después de ocurrido el evento y está determinado por las propiedades hidro físicas de los suelos (Gámez Morales, 2010).

La precipitación se desarrolla por el levantamiento de masas de aire húmedo en la atmósfera lo cual provoca el enfriamiento y la condensación, que da como resultado la precipitación de vapor de agua de la atmósfera en forma de lluvia, nieve, granizo y aguanieve. Tras el enfriamiento de las masas de aire, se forman gotas de nubes sobre núcleos de condensación compuestos de partículas de polvo o aerosoles. Cuando la gota de humedad condensada es mayor de 0,1 mm, cae en forma de precipitación y estas gotas



crecen a medida que chocan y se fusionan para formar gotas más grandes, existen tres mecanismos principales que contribuyen al levantamiento de masas de aire tales como: El levantamiento frontal que ocurre cuando el aire cálido se eleva sobre el aire más frío mediante un paso frontal, lo que resulta en tormentas ciclónicas o frontales. En un frente cálido, el aire cálido avanza sobre una masa de aire más fría con un ritmo de ascenso relativamente lento, lo que provoca precipitaciones en áreas extensas. En un frente frío, el aire cálido es empujado hacia arriba en una pendiente relativamente pronunciada por el aire frío que avanza, lo que genera áreas de precipitación más pequeñas antes del frente frío. A menudo, el aire caliente se eleva cuando es empujado sobre colinas o montañas debido al levantamiento orográfico, La precipitación orográfica es un factor importante en la mayoría de las zonas montañosas y exhibe un alto grado de variabilidad espacial (Salas et al., 2014).

2.5. RETENCIÓN HÍDRICA

La definición de retención hídrica fue introducida por Lutz Scholz al desarrollar un modelo estocástico - determinístico que lleva su nombre, la retención hídrica se define como la reserva hídrica que se estima a partir de la diferencia de los caudales medios mensuales y la precipitación efectiva, esta reserva hídrica es almacenada en la cuenca en el suelo, acuíferos, lagos, bofedales, nevados, etc., en los meses de mayores intensidades de precipitación que abastecen a la escorrentía de la cuenca (caudal base) en las temporadas de estiaje. El almacenamiento del agua en la cuenca para Lutz Scholz, específicamente referido al modelo se le denomina *Gasto* y el abastecimiento superficial se llama *Abastecimiento*.

En términos de retención hídrica cada ecosistema tiene asociado un tipo determinado de cobertura vegetal, que posee características específicas respecto a su



idoneidad de retención o almacenamiento del recurso hídrico, por ejemplo, los componentes o territorios de vegetación de mayor tamaño tienen la capacidad de almacenar y retener más agua que los de menor envergadura. Así, la aptitud de retención de un arbusto será menor que la de un árbol y por encima a la de un hierbajo, a esta característica, se le debe de adicionar consideraciones geomorfológicas y climáticas pertenecientes a la zona, que en agregado pueden desarrollar ambientes especiales de retención de agua (ANA, 2021).

2.6. RENDIMIENTO HÍDRICO

El rendimiento hídrico se define como porcentaje de la precipitación que abandona las cuencas mediante escurrimiento en forma líquida, esto se manifiesta como la cantidad de agua por superficie, en un intervalo de tiempo establecido, además que está relacionado al caudal específico, el cual es el caudal expresado en litros por segundo que produce una determinada área en kilómetros cuadrados ($l/s/km^2$), que generalmente se usa para estimar el rendimiento hídrico por unidad de área, o escorrentía por unidad de área (coeficiente de escorrentía específico) donde más alto el valor del coeficiente de escorrentía, existe un mayor rendimiento (cuyo valor máximo es 1). La variación del coeficiente de escorrentía implica aumento o disminución de los procesos de precipitación, caudal y evapotranspiración (Célleri et al., 2012).

El rendimiento hídrico en microcuencas es por lo general superior al de cuencas mayores, por lo que al hacer una extrapolación directa se podría llegar a una sobrestimación de la disponibilidad hídrica real de todo el ecosistema (Célleri et al., 2012). Los rendimientos hídricos más altos se ubican por lo general en zonas de mayor recarga, tales como: lagos, lagunas, nevados, cochas, cursos de agua, bofedales y acuíferos altoandinos. Estos son cuerpos de agua de mayor rendimiento hídrico, según



refiere Lutz Scholz. Los rendimientos hídricos intermedios según sus condiciones fitológicas y su ubicación latitudinal y altitudinal permiten conservar el agua en el suelo, estas zonas de vida están comprendidos por los bosques secos, bosques húmedos, bosques altoandinos, pastos naturales, páramos, zonas agrícolas y matorrales. Finalmente, las zonas de cobertura que poseen menor rendimiento hídrico se encuentran en hábitats deforestados, áridas costeras, sin vegetación o desnudas y erosionadas, debido a que estas zonas poseen características hidrológicas no optimas, ya que permiten la escorrentía superficial mas no permiten la recarga hídrica (ANA, 2021).

2.7. DEGRADACIÓN DE SUELO

La degradación del suelo está definida como la pérdida del suelo o de su calidad para funciones específicas, el riesgo de degradación del suelo puede derivar de fenómenos naturales extremos, como lluvias torrenciales prolongadas, que provocan, por ejemplo, erosión, inundaciones, deslizamientos de tierra y otros efectos adversos. Esas formas de degradación son bastante raras, en comparación con los riesgos causados por las interacciones humanas por diferentes formas de uso intensivo de la tierra, las actividades humanas pueden considerarse como las principales causas del riesgo de degradación del suelo. El riesgo de degradación del suelo es el resultado de la competencia entre los usos de diferentes funciones del suelo y el uso excesivo de funciones singulares sin un control suficiente (Blum, 2008).

La degradación se desenvuelve como indicador para determinar indirectamente la cantidad y calidad del agua. La alteración de la vegetación primaria en consecuencia de la deforestación desencadena procesos erosivos en suelos descubiertos. Por lo tanto, estas áreas degradadas afectan directamente a los ecosistemas, ocasionando pérdidas totales o parciales de algunos de sus componentes esenciales (agua, suelo y especies), alterando su



infraestructura natural y su funcionamiento, reduciendo la capacidad de mantener a los diferentes organismos vivos que interactúan en el ecosistema (MINAM, 2019).

2.8. MODELAMIENTO HIDROLÓGICO

Un modelo es una representación simplificada de un sistema del mundo real, los modelos predicen el comportamiento del sistema y comprender diversos procesos hidrológicos. Un modelo utiliza varios parámetros que definen las características del modelo, un modelo de escorrentía se puede definir como un conjunto de ecuaciones que ayudan a estimar la escorrentía en función de varios parámetros utilizados para describir las características de la cuenca, los dos insumos importantes necesarios para todos los modelos son los datos de lluvia y el área de drenaje, también se consideran las características de la cuenca, como las propiedades del suelo, la cubierta vegetal, la topografía de la cuenca, el contenido de humedad del suelo y las características del acuífero subterráneo. Los modelos hidrológicos se consideran hoy en día una herramienta importante y necesaria para la gestión de los recursos hídricos y ambientales (Devi et al., 2015).

Un modelo consta de un conjunto de ecuaciones simultáneas o un conjunto lógico de operaciones contenidas en un programa de computadora. Los modelos tienen parámetros, que son medidas numéricas de una propiedad o características que son constantes bajo condiciones específicas. Un modelo concentrado es aquel en el que los parámetros, entradas y salidas se promedian espacialmente y toman un valor único para toda la cuenca. Un modelo distribuido es aquel en el que los parámetros, entradas y salidas varían espacialmente. Un modelo semi distribuido puede adoptar una representación agrupada para subcuencas individuales. Un modelo es determinista si un conjunto de valores de entrada siempre producirá exactamente los mismos valores de salida, y



estocástico si, debido a componentes aleatorios, un conjunto de valores de entrada no necesita producir los mismos valores de salida. Un modelo basado en eventos produce resultados solo durante períodos de tiempo específicos, mientras que un modelo continuo produce resultados continuos (Wheater, 2007).

2.9. MODELO DE LUTZ SCHOLZ

El modelo hidrológico Lutz Scholz de característica estocástico y Markoviano fue desarrollado para las cuencas pertenecientes a la sierra peruana, desarrollado entre los años 1979 – 1980, en el marco de la cooperación técnica de la República de Alemania con el Perú a través del Plan Meris II. Este modelo hidrológico mixto agrega una configuración determinística que permite el cálculo de los caudales medios mensuales para el año promedio, fundamentado en el balance hídrico de los modelos determinísticos y una estructura estocástica para la generación de las series extendidas del caudal mediante los procesos Markovianos (Linsley et al., 1977).

El modelo utiliza consideraciones de parámetros físicos y meteorológicos de las cuencas, estos pueden ser obtenidos a través de mediciones generalmente cartográficas. Los parámetros más importantes del modelo son el análisis de la precipitación efectiva, la retención hídrica, el agotamiento de las cuencas y el déficit de escurrimiento.

La secuencia de procedimientos que se deben cumplir para la implementación del modelo son: (a) la estimación de los parámetros necesarios para la descripción de los fenómenos de escorrenría promedio, (b) la definición de un conjunto de modelos parciales de los parámetros para el cálculo de los caudales, (c) la calibración del modelo y la generación de los caudales extendidos por un proceso Markoviano combinando la precipitación efectiva del mes con el caudal del mes anterior (Sarango et al., 2012).

2.9.1. Ecuación del balance hídrico

La ecuación elemental que especifica el balance hídrico mensual (mm/mes) es la siguiente (Soto Najarro, 2015):

$$CM_i = P_i - D_i + G_i - A_i \quad (1)$$

Donde:

CM_i = Caudal mensual (mm/mes).

P_i = Precipitación mensual en la cuenca (mm/mes).

D_i = Déficit de escurrimiento (mm/mes).

G_i = Gasto de la retención de la cuenca (mm/mes).

A_i = Abastecimiento de la retención (mm/mes).

2.9.2. Coeficiente de escorrentía

Para representar el coeficiente de escorrentía se considera la fórmula propuesta por L. Turc, en cuencas que no disponen de registros hidrométricos es aceptado un cálculo del coeficiente de escorrentía de manera directa (Sarango et al., 2012):

$$C = \frac{P - D}{P} \quad (2)$$

Donde:

C = Coeficiente de escorrentía.

P = Precipitación total anual (mm/año).

D = Déficit de escurrimiento (mm/año).

2.9.3. Evapotranspiración potencial

La evapotranspiración es la estimación conjunta de la pérdida de agua en una cuenca, este parámetro toma en cuenta la evaporación del suelo y la transpiración de las plantas (vegetación). Para obtener la evapotranspiración potencial se consideró el cálculo por el modelo empírico establecido por Hargreaves, el cual está expresado por la siguiente fórmula (Soto Najarro, 2015):

$$EP = 0.0075(RSM)(TF)(FA) \quad (3)$$

Donde:

EP = Evapotranspiración potencial.

RSM = Radiación solar media.

TF = Temperatura media anual (°F)

FA = Coeficiente de corrección por elevación.

2.9.4. Precipitación efectiva

Mediante se efectúa el proceso de almacenamiento hídrico en la superficie, la precipitación llega a constituir un porcentaje alto del contenido del agua en el suelo, una fracción mínima de esta precipitación es aprovechable para las plantas, la parte restante se pierde por efectos de la evaporación, infiltración y demás procesos de escorrentía, por ende, el volumen de lluvia parcial aprovechado por las plantas para cumplir sus necesidades hídricas y consolidar un normal desarrollo vegetativo es denominado como precipitación efectiva (Vasquez & Chang-Navarro, 1988).

La estimación de la Precipitación Efectiva, entiende que los caudales promedios observados en la cuenca están referidos a un estado de equilibrio entre

el gasto y abastecimiento de la retención, esta precipitación efectiva fue calculada de acuerdo al coeficiente de escurrimiento promedio, haciendo que la relación entre precipitación efectiva y total resulta igual al coeficiente de esorrentía (Soto Najarro, 2015).

El cálculo de la precipitación efectiva se ha determinado de la siguiente forma:

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

Donde:

PE = Precipitación efectiva (mm/mes).

P = Precipitación total mensual (mm/mes).

a_i = Coeficiente del polinomio.

2.9.5. Retención de la cuenca

Teniendo en cuenta que para un año promedio exista un balance entre el gasto y el abastecimiento de la reserva de la cuenca, además que el caudal total sea similar a la precipitación efectiva anual, el aporte de la reserva hídrica al caudal se puede estimar a partir de la siguiente expresión (Soto Najarro, 2015):

$$R_i = CM_i - P_i \quad (5)$$

$$CM_i = PE_i + G_i - A_i \quad (6)$$

Donde:

R_i = Retención de la cuenca (mm/mes).

CM_i = Caudal mensual (mm/mes).

PE_i = Precipitación efectiva mensual (mm/mes).



- G_i = Gasto de la retención (mm/mes).
- A_i = Abastecimiento de la retención (mm/mes).
- $R_i = G_i$ = Para valores mayores a cero (mm/mes).
- $R_i = A_i$ = Para valores menores a cero (mm/mes).

Al sumar los valores de G_i y A_i respectivamente se puede hallar la retención total de la cuenca para el año promedio, específicamente para las cuencas de la sierra varía entre 43 a 188 (mm/año).

2.9.6. Relación entre descargas y retención

Al iniciar la estación lluviosa los procesos de agotamiento de la reserva concluyen, para dar paso al abastecimiento de los almacenes hídricos. El mencionado proceso está representado por un déficit entre la precipitación efectiva y el caudal real, en base a los hidrogramas se tiene en conocimiento que el abastecimiento es más intenso al iniciar la estación lluviosa continuando progresivamente, pero a su vez menos pronunciada, hasta la culminación de dicha estación (INRENA, 2003).

Mediante transcurre la estación seca el gasto de la retención abastece a los ríos, que en consecuencia constituye el caudal base. La reserva de la cuenca se agota al finalizar la estación seca; en el transcurso de esta estación la descarga se puede calcular en base a la ecuación a continuación presentada (Soto Najarro, 2015):

$$Q_t = Q_0 e^{-a(t)} \quad (7)$$

Donde:

Q_t = Descarga en el tiempo t .

Q_0 = Descarga inicial.

a = Coeficiente de agotamiento.

t = Tiempo.

2.9.7. Coeficiente de agotamiento

El coeficiente de agotamiento es un valor no constante durante la estación seca, se caracteriza por una disminución gradual, pero para objetivos prácticos se puede subestimar la variación del coeficiente "a" durante el desarrollo de la estación seca empleando un promedio.

El coeficiente de agotamiento de la cuenca tiene una supeditación logarítmica del área en relación al área de la cuenca, expresada mediante la siguiente expresión (SENAMHI, 2010):

$$a = f(\ln(AR)) \quad (8)$$

Donde:

a = Coeficiente de agotamiento por día.

AR = Área de la cuenca (km^2).

De acuerdo al análisis de las observaciones disponibles se denota que existe una cierta influencia del clima, geología y la cobertura vegetal, por lo mismo se aplica la utilización de la siguiente ecuación empírica para la zona de la sierra peruana (Soto Najarro, 2015) misma ecuación que se expresa a continuación:



$$a = 3.1249(E)(67)(AR)^{-0.1144}(EP)^{-19.336}(T)^{-3.369}(R)^{-1.429} \quad (9)$$

Donde:

a	=	Coficiente de agotamiento por día.
AR	=	Área de la cuenca (km ²).
EP	=	Evaporación potencial anual (mm/año).
T	=	Duración de la temporada seca (días).
R	=	Retención total de la cuenca (mm/año).

2.9.8. Almacenamiento hídrico

Se consideran tres tipos de almacenamientos hídricos naturales que afectan directamente la retención de la cuenca, los cuales son: nevados, lagunas y acuíferos, ante esto es necesaria la lámina L que almacena cada tipo de bioma cuya expresión está dada por:

- Acuíferos
- Lagunas y pantanos
- Nevados

2.9.9. Abastecimiento de la retención

El abastecimiento en la estación lluviosa es parejo para las cuencas que comparten la misma región climática. Se tomo en referencia la región del Cuzco por la cercanía a las cuencas del altiplano, dicho esto el abastecimiento en la mencionada región comienza en el mes de noviembre con un 5%, alcanzando hasta el mes de enero el valor del 80% del volumen final, las precipitaciones altas correspondientes al mes de febrero completan el 20 % restante y finalmente las

precipitaciones efectivas del mes de marzo escurren directamente sin contribuir a la retención (SENAMHI, 2010).

La lámina de agua A_i que entra en la reserva de la cuenca se denota en forma de déficit mensual de la Precipitación Efectiva PE_i y se calcula mediante la expresión:

$$A_i = a_i \left(\frac{R}{100} \right) \quad (10)$$

Donde:

A_i = Abastecimiento mensual (mm/mes).

a_i = Coeficiente de abastecimiento (%).

R = Retención de la cuenca (mm/año).

2.9.10. Determinación del caudal mensual para el año promedio

El caudal mensual para el año promedio está basado en la ecuación elemental que describe el balance hídrico mensual a partir de los componentes descritos con anterioridad:

$$CM_i = PE_i + G_i - A_i \quad (11)$$

Donde:

CM_i = Caudal del mes i (mm/mes).

PE_i = Precipitación efectiva del mes i (mm/mes).

G_i = Gasto de la retención del mes i (mm/mes).

A_i = Abastecimiento del mes i (mm/mes).

2.9.11. Generación de caudales mensuales para periodos extendidos

Obtenidos los caudales para el año promedio, la serie debe ser extendida en el tiempo, para la generación sintética de caudales se utilizan los modelos estocásticos que consiste en una combinación de un proceso Markoviano de primer orden con una variable de impulso, que en este caso es la precipitación efectiva presente en la ecuación. Lo antes dicho se muestran en las siguientes ecuaciones:

$$Q_t = f(Q_{t-1}) \quad (12)$$

$$Q = g(PE_t) \quad (13)$$

Además, se debe de utilizar una variable aleatoria con el fin de ampliar el rango de valores generados y obtener una adecuada aproximación a la realidad.

$$Z = z(S)\sqrt{1 - r^2} \quad (14)$$

Concluyendo así que la ecuación integral para la generación de caudales mensuales es la siguiente:

$$Q_t = B1 + B2(Q_{t-1}) + B3(PE_t) + z(S)\sqrt{1 - r^2} \quad (15)$$

Donde:

Q_t = Caudal del mes t .

Q_{t-1} = Caudal del mes anterior.

PE_t = Precipitación efectiva del mes.

$B1$ = Factor constante o caudal base.

2.9.12. Medidas de bondad de ajuste

Para determinar la calidad de la coincidencia de los caudales generados con los observados, se realiza la comparación de los promedios y desviaciones tipo de los valores generados e históricos (Soto Najarro, 2015).

- *Eficiencia de Nash – Sutcliffe (e)*

El criterio de Nash – Sutcliffe es uno de los más presentes en hidrología. Se define como:

$$E = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n [Q_{SIM,i} - Q_{OBS,i}]^2}{\sum_{i=1}^n [Q_{OBS,i} - \bar{Q}_{OBS}]^2} \quad (16)$$

Este criterio es medido cuando la variabilidad de las observaciones es referenciada por la simulación. Si la simulación es perfecta (poco probable), $E=1$; si se intentase ajustar las observaciones con el valor promedio, entonces E va disminuyendo.

Este indicador puede ser utilizado para cualquier escala de tiempo propuesta. Cuando los valores de la variable simulada son grandes, se suele utilizar la “eficiencia logarítmica de Nash-Sutcliffe” (J. Cabrera, 2009) (Albuja & Tenelanda, 2014):

$$E_{log} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n [\log(Q_{SIM,i}) - \log(Q_{OBS,i})]^2}{\sum_{i=1}^n [\log(Q_{OBS,i}) - \bar{\log(Q_{OBS})}]^2} \quad (17)$$

Donde:

$Q_{SIM,i}$ = Caudal simulado para el mes “i”.

$Q_{OBS,i}$ = Caudal observado para el mes “i”.

$\overline{Q_{OBS}}$ = Promedio de los caudales mensuales observados.

- **Criterio de Schultz (D)**

El criterio de Schultz representa la desviación de los caudales simulados respecto a los observados. Se calcula con la siguiente expresión:

$$D = 200 \frac{\sum_{i=1}^n |Q_{SIM,i} - Q_{OBS,i}| Q_{OBS,i}}{n(Q_{MAX})^2} \quad (18)$$

Donde:

$Q_{SIM,i}$ = Caudal simulado para el mes “i”.

$Q_{OBS,i}$ = Caudal observado para el mes “i”.

Q_{MAX} = Caudal máximo observado en el periodo de estudio.

El uso de este criterio es recomendado para análisis de eventos de alta resolución temporal. (J. Cabrera, 2009).

- **Raíz del error cuadrático medio (RMSE)**

La raíz del error cuadrático medio permite cuantificar la magnitud de la desviación de los valores simulados respecto a los observados. Se formula de la siguiente manera:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_{SIM,i} - Q_{OBS,i})^2}{n}} \quad (19)$$



Donde:

$Q_{SIM,i}$ = Caudal simulado para el mes “i”.

$Q_{OBS,i}$ = Caudal observado para el mes “i”.

n = Numero de datos del periodo de estudio.

El rango de valores que puede tomar el RMSE va desde cero “0”, hasta el infinito (positivo). El valor cero “0” corresponde a un ajuste perfecto, mientras que valores más grandes indican en menor ajuste (J. Cabrera, 2009) (Albuja & Tenelanda, 2014).

- ***Desviación media acumulada (MAD)***

La desviación media acumulada se define como:

$$MAD = \frac{\sum_{i=1}^n |Q_{SIM,i} - Q_{OBS,i}|}{n} \quad (20)$$

Donde:

$Q_{SIM,i}$ = Caudal simulado para el mes “i”.

$Q_{OBS,i}$ = Caudal observado para el mes “i”.

n = Numero de datos del periodo de estudio.

La desviación media acumulada debe ser minimizada en el proceso de calibración para obtener un mejor ajuste de la variable simulada respecto a la observada (J. Cabrera, 2009).



2.9.13. Restricciones del modelo

El modelo presenta ciertas restricciones de uso o aplicación tales como:

- Utiliza modelos parciales, únicamente dentro del rango de calibración delimitado.
- Su uso es exclusivo para la estimación de caudales mensuales promedio.
- Los registros generados en el período de estiaje presentan una mayor fiabilidad que los generados para la época de avenidas.
- La aplicación del modelo está restringida únicamente a las cuencas en las que se ha calibrado sus parámetros (Cusco, Huancavelica, Junín, Cajamarca) (Scholz, 1980).

2.10. ANALISIS ESPACIAL

El análisis espacial constituye un conjunto de técnicas matemáticas y estadísticas, que son aplicadas a los datos distribuidos sobre el espacio de un territorio, se hace operativa al sustentarse en cinco conceptos fundamentales (localización, distribución, asociación, interacción y evolución espacial) que surgen de los principios de la geografía hacia la realización de una síntesis. Desde el punto de vista tecnológico de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se considera como subsistema de tratamiento que aparece como un núcleo de especificidad que contiene herramientas que permitirán la aplicación de procedimientos específicos, estas herramientas son resultado de la estandarización digital de diferentes técnicas que en conjunto concurren a una aplicación tecnológica y científica (Baxendale & Buzai, 2010).



2.11. ZONIFICACIÓN DE CUENCA

Los conceptos ambientales que dan orientación al proceso de zonificación son los de oferta, demanda y conflictos, los cuales conducen a la determinación de las pautas esenciales de manejo de las cuencas, que son guía, a su vez, para el desarrollo sostenible de las mismas (Torres Muñoz, 1998). Analizar la oferta y demanda además de su confrontación para establecer conflictos ambientales permite determinar lo siguiente:

- Características intrínsecas de los ecosistemas en la cuenca, así como sus debilidades y valor potencial.
- El uso de los recursos presentes por parte de las poblaciones asentadas en la cuenca.
- Las incompatibilidades de manifiestos entre la oferta y demanda, a causa de conflictos ambientales
- Priorización del manejo ambiental, con el objetivo de resolver, controlar o minimizar los conflictos existentes.
- Plantear estrategias de manejo ambiental para las diferentes unidades de la cuenca, que constituirán base para la formulación de programas y proyectos específicos contemplando el desarrollo sostenible.

2.12. SUPERPOSICION GEOESPACIAL

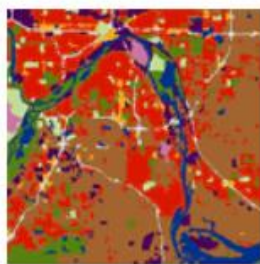
Es un análisis que se realiza mediante un procedimiento denominado Overlay, llamado de esta manera porque es idéntico en sus características a la superposición de entidades geográficas mediante mapas confeccionados en transparencias y superpuestos uno sobre otro (Pueyo E. & Larraz D., 2002).

Esta técnica superposición ponderada puede definirse como una herramienta para desarrollar un mapa utilizando superposiciones de varias capas ráster dando peso a cada capa ráster según su importancia, la superposición ponderada es una técnica confiable ya

que los pesos se asignan a cada capa ráster, ya sea interna o externamente, de acuerdo con su importancia relativa determinada por la opinión de expertos. Generalmente para este propósito se usan softwares como ArcGIS o QGIS ya que estas cuentan con la herramienta de superposición ponderada (Basharat et al., 2016).

Figura 3

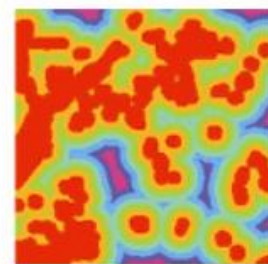
Capas temáticas para superposición geoespacial.



Entrada de uso del
suelo



Entrada de densidad
de población

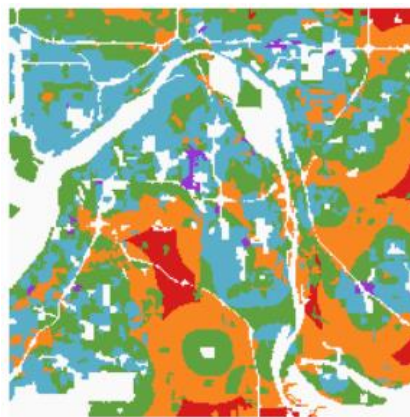


Entrada de distancia a
parques

Nota: La figura muestra las capas temáticas de entrada para un ejemplo de superposición geoespacial. Tomado de ESRI (2018).

Figura 4

Capa temática de salida generada.



Ráster de adecuación de salida

Nota: La figura muestra un ejemplo del resultado obtenido a partir de técnicas de superposición geoespacial. Tomado de ESRI (2018).



2.13. POTENCIAL HÍDRICO

El potencial hídrico se refiere a la capacidad del paisaje para desacelerar y detener la precipitación y la capacidad del agua para infiltrarse en el suelo, este término también se puede entender como la detención temporal de agua sobre la vegetación, en la capa de humus, tierra y lecho rocoso. Además, este es influenciado por diversos elementos y componentes del paisaje sobre la cantidad, calidad, distribución y accesibilidad de los recursos hídricos (Lepeška, 2013). El Potencial Hídrico se puede estimar a partir de las hipótesis eco hidrológicas y mediante una evaluación de los atributos y características de las cuencas hidrográficas (Lepeška, 2010).

2.14. UNIDADES DE RESPUESTA HIDROLÓGICA

Las unidades de respuesta hidrológica son áreas homogéneas de una cuenca en términos de su respuesta hidrológica y con características geo-climáticas, una URH está conformada usualmente por áreas distintas o diferentes entre sí, pero que mantienen propiedades similares de especial importancia hidrológica, como pueden ser: pendiente (que refiere a la velocidad de la escorrentía superficial), elevación (generalmente varía según la altitud), aspecto (pueden ser cuencas con glaciares o nieve), tipo de suelo, uso de suelo, cobertura vegetal (J. W. Cabrera, 2012).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

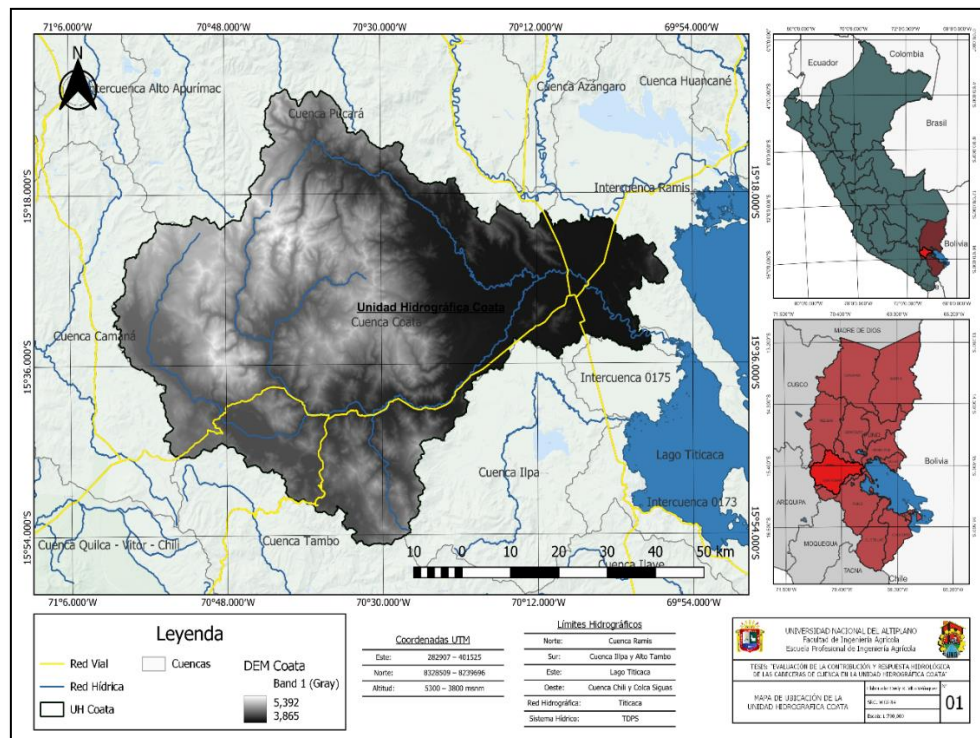
3.1. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

3.1.1. Ubicación geográfica

La zona delimitada para el desarrollo de la presente investigación corresponde a la Unidad Hidrográfica Coata, la cual está ubicada en la región Puno, altitudinalmente abarca los 3810 m.s.n.m. hasta los 5300 m.s.n.m. Respecto a sus coordenadas según la proyección UTM (WGS84) corresponden a: Este 282907 – 401525 y Norte 8328509 – 8239696.

Figura 5

Ubicación geográfica de la Unidad Hidrográfica Coata.



Nota: La figura muestra la delimitación de la UH Coata a partir de un DEM Alos PALSAR donde muestra rangos altitudinales.



3.1.2. Ubicación política

Políticamente la Unidad Hidrográfica Coata se ubica íntegramente en la región Puno, ocupa las superficies de las provincias de San Román, Lampa y parte de las provincias de Puno y Huancané.

3.1.3. Ubicación hidrográfica

La zona de estudio pertenece a la cuenca hidrográfica del lago Titicaca y así mismo al sistema hídrico TDPS (Titicaca, Desaguadero, Poopo y Salar de Coipasa). Referente a los límites hidrográficos la Unidad Hidrográfica Coata limita por el norte con la cuenca Ramis, por el sur con las cuencas Illpa y Alto Tambo, por el este el Lago Titicaca y por el oeste las cuencas Chilli y Colca Siguas.

3.1.4. Caracterización climatológica

La Unidad Hidrográfica Coata respecto a la variable de precipitación total anual oscila entre los 626 mm – 1000 mm anuales, en cuanto a la temperatura media anual corresponde a rangos que varían de los -2 °C hasta los 10 °C, además cuenta con una evaporación anual de 126 mm – 155 mm, con una humedad relativa anual que va desde los 51% – 60% y finalmente una evapotranspiración potencial anual de 94 mm – 110 mm.

3.1.5. Caracterización ecológica

La UH Coata presenta ecosistemas característicos de la región altiplánica del Perú, se observa que el ecosistema predominante y con mayor área es el de pajonal de puna seca con un área de 2473.78 km² que corresponde al 48.69% del área total de la UH Coata, a su vez el ecosistema de menor influencia corresponde

al Bosque relicto altoandino con un área de 20.41 km² y un porcentaje equivalente de 0.40%.

Tabla 1

Área de influencia de ecosistemas a nivel de UH.

Ecosistema	Área (km²)	Porcentaje
Zona urbana	53.95	1.06
Zona agrícola	908.21	17.88
Pajonal de puna seca	2473.78	48.69
Pajonal de puna húmeda	722.38	14.22
Bosque relicto altoandino (Queñoal y otros)	20.41	0.40
Bofedal	86.32	1.70
Lago y laguna	167.27	3.29
Río	11.94	0.24
Glaciar - Peri glaciar	636.13	12.52
Total	5080.39	100.00

Nota: La tabla indica las áreas correspondientes a cada exosistema encontrado en la UH Coata, así también el porcentaje de influencia de lo antes mencionado.

3.1.6. Caracterización geomorfología de la Unidad Hidrográfica Coata

A continuación, en la Tabla 2 se presentan los parámetros geomorfológicos característicos estimados de la UH Coata,

Tabla 2*Parámetros geomorfológicos de la cuenca Coata.*

Parámetros	Simbología	Valor	Unidad
Fisiográficos			
Área de la Cuenca	A	5040.80	km ²
Perímetro de la Cuenca	P	505.75	km
Longitud de Cauce Principal	L	209.37	km
Longitud de la Cuenca	Lb	166.32	km
Ancho Promedio de la Cuenca	Ap	24.08	km
Rectángulo Equivalente	Le+	231.05	
	Le-	21.81	
Factor de Horton	Kf	0.18	
Coefficiente de Compacidad	Kc	1.99	
Factor de Forma	Sf	5.48	
Radio de Elongación	Er	0.48	
Relación de Circularidad	Cr	0.24	
Relieve			
Altura Máxima	Hmax	5300.00	msnm
Altura Mínima	Hmin	3810.00	msnm
Relieve de la Cuenca	R	480.00	
Pendiente del Cauce Principal	S	0.06	m/m
Red Hídrica			
Longitud Total de Ríos	Ltr	2975.84	km
Densidad de Drenaje	Dd	0.59	
Extensión Media del Escurrimiento Superficial	E	1.75	
Tiempo de Concentración	Tc	268.40	h

Nota: La tabla muestra los parámetros geomorfológicos obtenidos de la UH Coata resaltado los principales parámetros físicos, teniendo un área de 5040.80 km² y una longitud del río principal de 209.37 km; así mismo en cuanto al relieve esta cuenca cuenta con una pendiente de 0.06 m/m; finalmente presenta una densidad de drenaje de 0.59 y un tiempo de concentración aproximado de 268.40 h.

3.2. MATERIALES

3.2.1. Softwares utilizados

Para el desarrollo de la metodología correspondiente a cálculos y procesamiento de los datos e información recopiladas se utilizaron los siguientes softwares:



- Google Earth Pro: Permitió visualizar mediante su interfaz la zona de estudio, así también tomar decisiones al momento de identificar las cabeceras de cuenca (McClendon, 2011).
- Hydraccess: Software el cual nos permitió importar y almacenar datos meteorológicos de precipitación en una base de datos del Microsoft Access, y así obtener la precipitación media areal de la cuenca de calibración y cabeceras de cuenca mediante el módulo integrado Spatial (Vauchel, 2018).
- Microsoft Excel: Cuya interfaz apoyó en la organización de los datos numéricos y realizar gran parte de los cálculos de las distintas fases de la investigación.
- Microsoft Word: Permitió redactar el documento de tesis ya en la fase final de la investigación (Microsoft, 2023).
- QGIS 3.32.: Utilizado para modelar los parámetros de entrada espaciales, identificar y delimitar las cabeceras de cuenca, superponer geo espacialmente los indicadores y obtener las unidades de respuesta hidrológicas finales (Trojan, 2010).
- SAS Planet: Encargado de descargar imágenes satelitales de la zona de estudio para referencia (Morales, 2016).
- Plataformas Web “Análisis de Datos y Recursos Estadísticos del Agua (ANDREA): Mediante esta plataforma que cuenta con un apartado de aplicación de modelos como GR2M y Lutz Scholz, donde se realizó la calibración y validación del modelo hidrológico (ANA, 2023) (<https://snirh.ana.gob.pe/ANDREA/Integrado.aspx?M=MOD>).



3.2.2. Equipos de gabinete

Los equipos, herramientas y servicios utilizados para el desarrollo de la presente investigación son los siguientes: Computadora Portátil con procesador Core I7 de 7ma generación, Memoria USB de 32 GB, cuaderno de apuntes y lapiceros.

3.2.3. Servicios

Los servicios necesarios requeridos fueron los de impresión, fotocopias, adquisición de libros especializados en la materia y servicio de internet.

3.3. BASE DE DATOS UTILIZADA

3.3.1. Información cartográfica

Como insumos se utilizó la siguiente información:

- Modelos de Elevación Digital (DEM), obtenidos por la plataforma ASF Data Search – VERTEX (<https://search.asf.alaska.edu/#/>), que permite la extracción y descarga de imágenes del satélite ALOS – PALSAR cuyo formato corresponde al GeoTIFF y se encuentra en coordenadas de latitud y longitud, su resolución de pixel es de 12.5 m x 12.5 m.
- Imágenes satelitales extraídos mediante el software SAS Planet cuya visualización y descarga provienen de servidores como: Google, ESRI, Nokia, BING entre otros.
- Cartografía específica en formato Shapefile correspondiente al Mapa Nacional de Ecosistemas elaborado por el MINAM (2018) <https://sinia.minam.gob.pe/mapas/mapa-nacional-ecosistemas-peru>, además

del Mapa de Áreas Degradadas elaborado por el MINAM (2018) (<https://repositoriodigital.minam.gob.pe/handle/123456789/653>).

- Cartografía base en formato Shapefile extraída de distintas plataformas oficiales como MINAM, ANA, SENAMHI.

3.3.2. Información meteorológica

La información meteorológica usada para la elaboración de la presente investigación, fue extraída de la plataforma web del SENAMHI (<https://www.senamhi.gob.pe/?p=estaciones>), corresponden a estaciones con influencia en la UH Coata cuyo detalle se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3

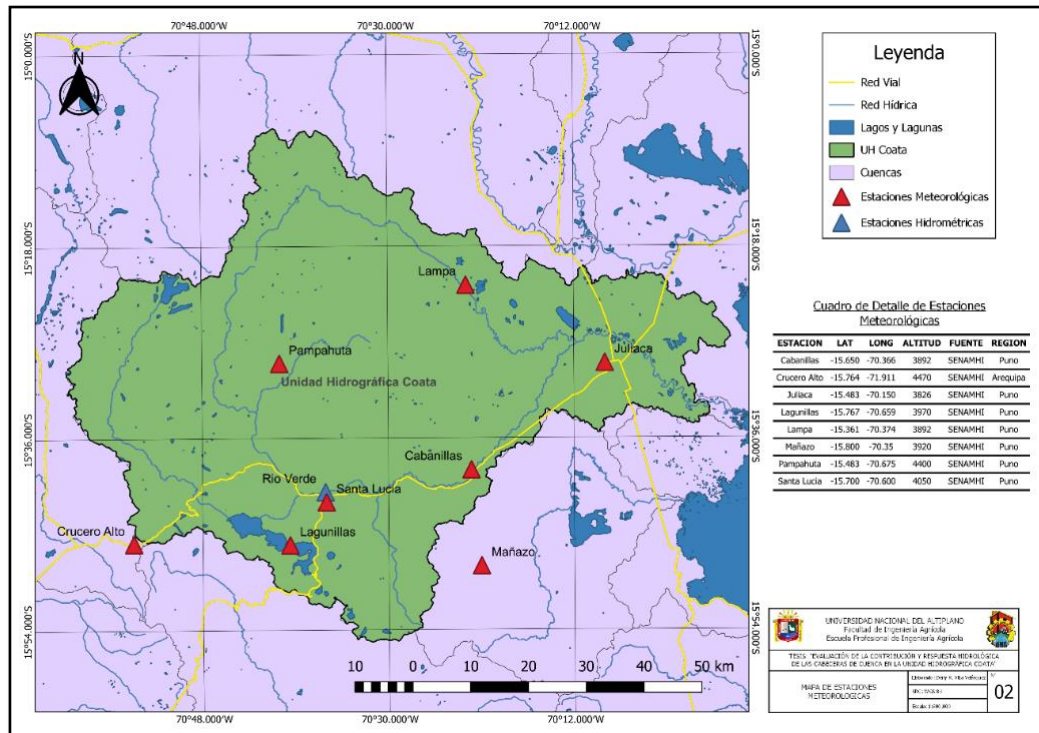
Detalle de las estaciones meteorológicas seleccionadas.

Estación	Lat.	Long.	Altitud (msnm)	Fuente	Tipo	Región	Variable Climática
Cabanillas	-15.65	-70.36	3892	SENAMHI	Convencional Meteorológica	Puno	Precipitación Total Mensual
Crucero Alto	-15.76	-71.91	4470	SENAMHI	Convencional Meteorológica	Arequipa	Precipitación Total Mensual
Juliaca	-15.48	-70.15	3826	SENAMHI	Convencional Meteorológica	Puno	Precipitación Total Mensual
Lagunillas	-15.76	-70.65	3970	SENAMHI	Convencional Meteorológica	Puno	Precipitación Total Mensual
Lampa	-15.36	-70.37	3892	SENAMHI	Convencional Meteorológica	Puno	Precipitación Total Mensual
Mañazo	-15.80	-70.35	3920	SENAMHI	Convencional Meteorológica	Puno	Precipitación Total Mensual
Pampahuta	-15.48	-70.67	4400	SENAMHI	Convencional Meteorológica	Puno	Precipitación Total Mensual
Santa Lucía	-15.70	-70.60	4050	SENAMHI	Convencional Meteorológica	Puno	Precipitación Total Mensual

Nota: La tabla muestra las estaciones meteorológicas escogidas para todo el desarrollo del trabajo.

Figura 6

Mapa de estaciones hidrometeorológicas seleccionadas.



Nota: La figura muestra las estaciones meteorológicas distribuidas espacialmente en la Unidad Hidrográfica Coata.

3.3.3. Información hidrométrica

La información hidrométrica que se utilizó para la validación del modelamiento hidrológica corresponde a la estación hidrométrica del Río Verde, recopilada a través de la plataforma del SENAMHI. Además, se utilizó la data de la estación Puente Unocolla para cuantificar el porcentaje de influencia de los caudales generados por cabecera de cuenca.

Tabla 4

Caudal medio mensual histórico río Verde.

CAUDAL MEDIO MENSUAL HISTÓRICO RIO VERDE (M³/S)

Estación	:	RIO VERDE	Tipo	:	CO
Longitud	:	-70.60	Región	:	PUNO
Latitud	:	-15.69	Provincia	:	LAMPA
Altitud	:	4041 msnm	UH	:	COATA

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM.
1964	11.1	36.6	21.7	7.4	3.0	1.5	1.0	1.0	1.1	1.0	1.6	3.7	7.5
1965	10.0	25.1	25.2	8.2	3.0	1.4	1.1	0.8	1.0	1.4	1.5	15.5	7.8
1966	12.2	27.6	18.9	2.8	2.0	1.2	1.0	0.8	0.8	1.9	4.7	9.3	6.9
1967	5.2	12.5	48.1	5.2	2.2	1.4	1.2	1.0	1.3	2.2	1.6	5.0	7.2
1968	17.6	43.2	22.5	5.8	2.7	1.6	1.3	1.1	1.2	2.1	8.1	8.4	9.6
1969	19.6	20.5	5.8	9.6	3.0	1.8	1.7	1.6	0.8	1.1	2.1	5.8	6.1
1970	20.7	42.0	26.8	9.6	3.2	1.6	1.2	1.0	1.0	1.3	1.0	11.2	10.1
1971	23.4	71.1	29.4	4.8	2.0	1.3	1.0	0.9	0.9	0.8	1.0	11.9	12.4
1972	44.3	15.6	21.1	13.8	2.6	1.5	1.2	1.1	1.3	1.6	3.4	7.1	9.6
1973	36.7	54.3	35.0	18.2	5.9	2.5	2.0	1.7	1.9	1.9	2.1	13.7	14.7
1974	45.0	68.5	25.1	9.7	2.2	1.6	1.2	1.7	1.7	1.9	1.6	12.3	14.4
1975	26.6	59.3	33.8	9.3	6.3	2.0	1.3	1.2	1.5	1.5	1.9	14.7	13.3
1976	46.0	36.6	39.6	11.1	2.8	1.8	1.3	1.1	6.0	2.4	1.4	3.0	12.7
1977	12.5	41.0	56.6	8.0	1.9	1.2	1.0	0.8	0.9	1.1	4.5	3.4	11.1
1978	44.2	27.8	9.3	8.6	2.8	1.2	0.9	0.8	0.9	0.9	5.7	23.5	10.5
1979	36.8	34.2	24.7	8.1	2.4	1.4	1.1	0.9	0.9	1.5	3.7	10.4	10.5
1980	12.3	10.1	24.0	9.8	1.9	1.2	1.1	1.0	1.1	4.4	4.3	3.5	6.2
1981	26.1	35.7	37.7	16.1	2.9	1.5	1.2	1.3	1.4	1.7	0.4	1.1	10.6
1982	35.4	10.1	24.8	2.4	0.6	0.3	0.2	0.2	0.2	0.3	19.7	7.4	8.5
1983	3.8	5.3	5.1	4.5	1.9	1.3	1.2	1.1	1.3	1.9	1.2	2.4	2.6
1984	35.2	78.3	40.9	16.4	3.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.6	1.3	3.3	15.1
1985	26.3	47.8	30.4	28.1	12.4	4.5	1.8	1.3	2.1	2.1	13.5	41.5	17.7
1986	43.1	44.8	3.9	35.1	13.5	2.4	1.9	1.8	2.4	2.5	3.0	8.6	13.6
1987	64.1	12.6	6.4	2.9	1.4	1.2	1.2	1.0	0.9	1.0	3.0	2.4	8.2
1988	24.1	18.7	28.5	21.8	4.4	1.7	1.2	1.0	0.9	0.9	0.7	1.8	8.8
1989	29.1	14.8	37.5	45.2	4.2	2.1	1.5	1.5	0.8	0.9	4.7	4.7	12.2
1990	17.2	11.0	7.3	3.5	1.2	2.3	1.1	0.9	0.7	3.8	15.8	9.3	6.2
1991	28.9	22.8	29.2	12.1	2.6	2.0	1.2	1.1	1.1	1.2	1.8	3.5	8.9
1992	14.4	4.1	5.0	1.4	0.6	0.6	0.6	1.2	0.6	1.6	3.6	9.0	3.6
1993	51.2	4.8	11.5	8.3	1.9	0.9	0.8	0.6	0.9	2.0	16.2	15.0	9.5
1994	14.5	23.9	26.3	18.5	3.6	1.3	0.8	0.7	0.6	0.6	4.4	9.9	8.8
1995	13.2	17.5	24.7	6.9	1.7	1.0	0.8	0.7	0.7	0.6	1.2	6.8	6.3
1996	15.1	29.3	17.2	14.5	2.3	1.1	1.0	1.1	0.9	0.8	2.6	31.1	9.8
1997	59.4	39.5	15.5	9.6	3.1	1.5	1.2	1.9	1.6	1.8	4.9	5.1	12.1
1998	23.9	30.2	14.8	6.3	1.4	1.1	0.9	0.7	0.5	0.6	2.3	2.2	7.1
1999	7.1	35.9	46.7	26.8	5.1	1.8	1.8	0.9	0.9	4.6	2.2	3.6	11.4
2000	28.9	57.6	34.4	5.2	2.4	1.4	0.9	0.9	0.6	2.4	0.8	4.8	11.7
2001	52.7	46.5	35.2	25.0	4.3	1.6	1.0	1.0	1.1	1.4	1.4	3.1	14.5
2002	37.2	95.1	60.6	23.5	4.5	1.5	1.5	1.1	1.0	3.2	5.6	18.3	21.1
2003	23.8	57.4	37.0	14.6	3.1	2.1	1.8	1.4	1.4	1.1	1.1	14.1	13.2
2004	33.1	51.0	13.3	7.8	2.0	1.2	1.2	1.3	1.2	0.9	1.5	6.4	10.1
2005	10.7	63.6	20.1	10.1	2.5	1.1	0.9	0.8	1.0	0.9	2.7	13.7	10.7
2006	30.3	59.4	60.2	47.3	5.2	1.9	1.4	1.3	1.1	1.5	3.8	9.9	18.6
2007	37.6	15.3	49.9	18.8	5.4	1.8	1.4	1.0	0.9	1.8	4.6	6.5	12.1
2008	51.4	25.7	36.5	4.2	1.8	1.5	1.1	1.0	0.9	1.2	1.1	19.3	12.1
2009	11.8	26.2	34.7	12.7	2.7	1.7	1.3	1.2	1.3	2.1	9.4	20.2	10.4
2010	31.7	44.8	38.7	14.7	5.9	4.6	3.0	2.3	1.9	1.9	3.8	10.4	13.6
2011	28.1	35.3	34.0	25.3	4.0	1.9	1.6	1.5	1.4	1.3	1.5	14.5	12.5
2012	29.5	49.0	45.9	17.6	6.9	1.4	1.0	0.8	1.3	3.8	4.3	23.1	15.4
2013	37.2	33.9	18.6	9.7	9.9	8.2	5.5	6.7	8.9	8.7	8.5	22.6	14.9
2014	31.1	14.5	14.2	13.3	3.6	1.7	1.3	1.2	1.3	1.8	4.1	10.4	8.2



Tabla 5

Caudal medio mensual histórico puente Unocola.

CAUDAL MEDIO MENSUAL HISTÓRICO PUENTE UNOCOLLA (M³/S)

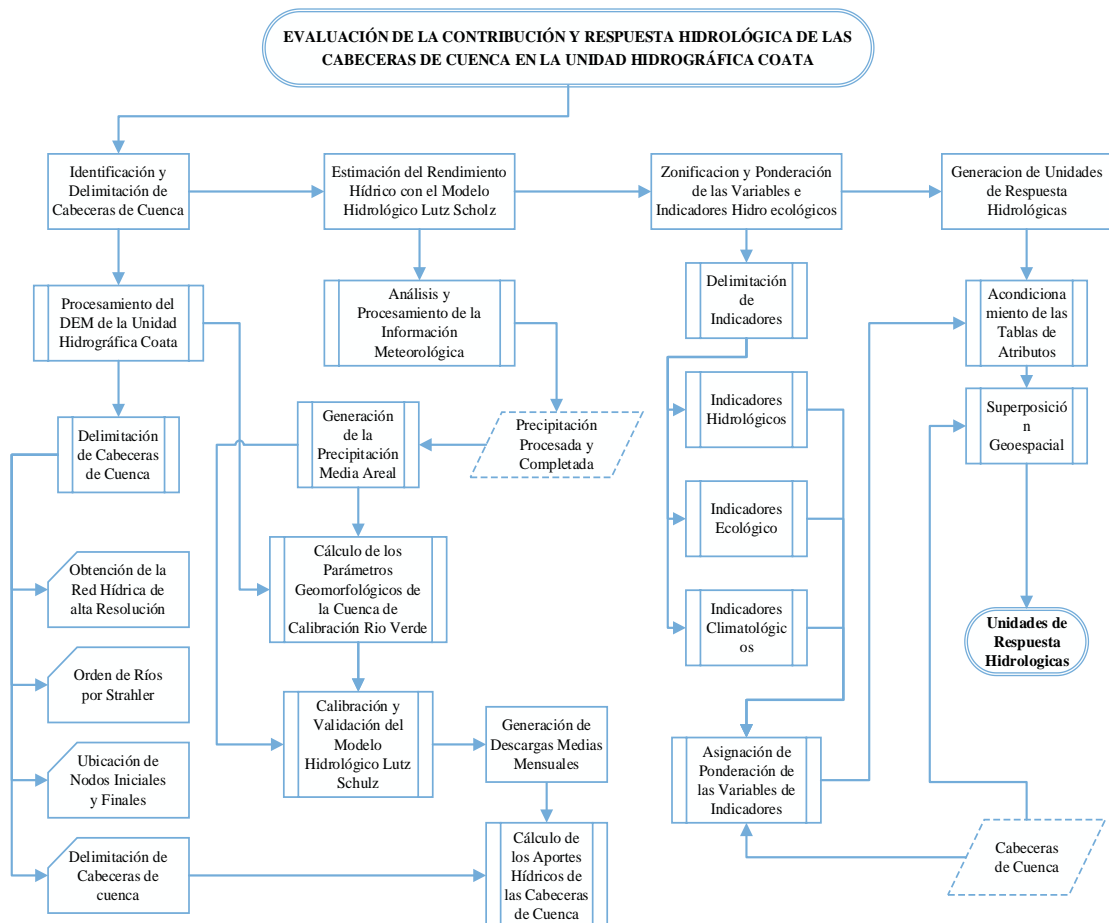
Estación	:	PTE. UNOCOLLA COATA	Tipo	:	CO
Longitud	:	-70.18	Región	:	PUNO
Latitud	:	-15.45	Provincia	:	SAN ROMAN
Altitud	:	3835 msnm	UH	:	COATA

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM.
1967	10.2	31.7	151.0	31.9	12.5	7.2	4.9	3.5	3.4	6.5	2.6	14.6	23.3
1968	45.3	162.0	90.6	32.8	14.6	8.0	4.5	3.6	2.2	2.5	18.5	22.7	33.9
1969	60.6	81.3	26.3	24.8	7.8	3.6	2.1	1.3	1.2	1.8	1.6	14.5	18.9
1970	59.7	197.7	140.2	54.9	21.8	8.3	4.3	2.9	2.1	2.0	1.7	15.8	42.6
1971	59.9	396.5	171.1	47.5	17.6	8.5	4.2	3.1	1.9	1.5	1.6	27.5	61.7
1972	174.0	82.6	96.9	91.2	25.8	13.7	5.5	3.1	2.4	1.6	5.3	41.4	45.3
1973	101.6	200.9	172.6	86.9	36.4	14.7	8.3	3.4	4.1	7.6	4.1	18.2	54.9
1974	146.1	312.9	147.6	73.4	37.3	18.5	12.8	13.4	12.8	6.2	5.7	17.6	67.0
1975	115.0	294.2	243.1	74.3	35.7	18.7	10.5	4.4	2.4	4.0	2.1	32.2	69.7
1976	186.2	160.6	195.9	89.7	28.2	17.2	10.6	6.4	14.4	17.1	5.4	3.6	61.3
1977	43.7	59.2	275.2	96.2	22.6	10.4	5.4	2.4	1.9	1.3	4.4	6.5	44.1
1978	242.9	167.8	151.9	105.1	43.7	20.6	6.7	2.7	1.5	1.1	1.5	23.9	64.1
1979	153.9	117.3	132.6	22.1	7.9	4.0	2.2	1.3	1.5	2.1	3.3	7.6	38.0
1980	36.4	41.3	131.7	63.3	20.1	14.4	10.4	7.4	6.4	32.0	15.5	16.2	32.9
1981	98.3	164.7	177.2	86.5	24.5	15.8	11.0	8.7	6.9	8.9	1.2	10.7	51.2
1982	140.1	41.3	134.4	36.0	14.4	10.0	5.4	4.1	4.6	0.0	72.2	25.2	40.6
1983	139.6	18.2	69.0	43.7	20.1	14.9	11.0	7.9	6.7	9.7	4.1	13.4	29.9
1984	139.2	370.2	187.8	87.6	27.1	11.0	6.5	4.9	5.0	0.0	4.1	15.7	71.6
1985	99.2	223.1	152.9	130.8	66.3	30.5	14.4	8.7	8.3	12.3	49.4	104.0	75.0
1986	174.6	208.6	65.1	156.6	71.1	20.2	14.9	10.8	8.9	15.7	10.8	28.0	65.4
1987	268.8	53.4	73.3	37.8	17.9	14.4	11.0	7.4	6.0	2.9	10.8	13.7	43.1
1988	15.6	22.2	20.1	11.5	6.6	5.3	11.0	11.0	11.5	11.5	6.5	8.7	11.8
1989	202.1	155.7	170.3	168.7	39.2	24.0	18.3	19.1	10.9	6.8	7.1	7.4	69.1
1990	139.7	84.6	74.9	39.3	12.4	20.2	13.7	7.9	5.3	15.3	96.3	72.3	48.5
1991	142.5	148.5	121.9	83.0	35.2	23.2	13.6	9.0	8.2	6.0	6.3	8.5	50.5
1992	20.3	15.0	30.7	8.7	6.7	6.0	5.7	6.7	6.2	5.2	21.0	67.8	16.7
1993	160.4	44.8	142.5	50.4	35.8	23.4	10.7	6.5	6.4	10.6	37.3	83.9	51.1
1994	46.3	107.8	139.3	95.4	27.6	14.9	8.8	6.2	5.4	0.0	15.9	31.0	41.5
1995	40.5	77.0	134.0	52.6	19.2	13.4	8.8	6.2	5.6	0.0	4.1	23.8	32.1
1996	21.1	30.9	167.1	143.7	40.4	20.7	14.4	7.2	6.2	5.9	15.1	119.4	49.3
1997	280.0	491.0	254.8	108.8	44.1	24.8	19.7	7.2	13.6	13.0	19.2	14.7	107.6
1998	72.7	142.0	81.8	37.7	13.6	7.9	7.2	5.4	7.6	24.3	32.8	43.3	39.7
1999	30.6	130.8	260.2	197.3	47.5	14.2	7.6	6.5	24.2	57.4	49.3	46.9	72.7
2000	110.9	270.3	166.2	46.3	22.3	15.4	9.3	7.0	5.4	14.9	2.7	19.2	57.5
2001	217.7	216.8	168.9	119.4	30.7	16.3	9.9	7.4	6.4	6.3	4.9	15.3	68.3
2002	148.1	451.2	253.1	113.8	31.5	15.8	12.7	7.9	6.2	21.7	20.3	50.4	94.4
2003	88.0	269.4	174.8	81.0	25.4	18.8	14.4	9.1	6.9	3.7	3.8	40.7	61.3
2004	129.7	238.5	96.2	55.9	20.5	14.4	11.0	8.7	6.6	2.0	5.2	22.9	51.0
2005	29.2	299.3	118.8	64.4	22.7	13.9	9.3	6.6	6.2	2.0	9.7	39.8	51.8
2006	116.7	279.0	251.8	201.6	34.6	17.3	12.1	8.7	6.4	7.2	13.7	31.0	81.7

3.4. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Figura 7

Diagrama de flujo metodológico.



Nota: La figura muestra el diagrama de flujo con el que se desarrolló la presente investigación.

La metodología se desarrolló en función de los objetivos planteados, esta consta de cuatro fases: Iniciando con la identificación y delimitación de las cabeceras de cuenca de la UH Coata apoyado en modelos de elevación digital, posteriormente se realizó el cálculo del rendimiento y retención hídrica de las cabeceras de cuenca para poder determinar los aportes hídricos de las mismas, para la tercera fase se zonifico las cabeceras de cuenca utilizando las variables climatológicas y ecológicas para así establecer una homogeneidad para el análisis posterior y finalmente se hizo la superposición geo espacial de las variables temáticas generadas y así obtener los nuevos



límites geográficos correspondientes a las cabeceras de cuenca de la zona de estudio concibiendo así las URH (Unidades de Respuesta Hidrológica).

3.4.1. Identificación y delimitación de cabeceras de cuenca

3.4.1.1. Procesamiento del DEM de la Unidad Hidrográfica Coata

El modelo digital de elevación (DEM) fue insumo base para la identificación y delimitación de cabeceras de cuenca, obtención de los parámetros geomorfológicos, así también para el modelamiento hidrológico por Lutz Scholz y generación de descargas medias mensuales de las cabeceras de cuenca. Por lo mismo fue insumo base el DEM ALOS PALSAR de resolución 12.5*12.5 m por pixel, cuya disponibilidad se obtiene a partir de los productos del satélite ALOS perteneciente a la Agencia Japonesa de Exploración Aeroespacial (JAXA).

La obtención y descarga del DEM ALOS PALSAR correspondiente a la zona de estudio de la UH Coata fue realizada de la plataforma web EARTH DATA, se adjunta link de la web: <https://search.asf.alaska.edu/#/>.

Para iniciar el procesamiento del DEM se utilizó el módulo Arc Hydro Tools del software ArcGIS, la versatilidad de este programa nos permitió delimitar la UH Coata de forma sencilla mediante análisis y procesos geoespaciales, para llevar a cabo todos estos procesos se procedió con la siguiente secuencia:

- **Fill (DEM Sin Depresiones):** Consistió en corregir los errores correspondientes a las depresiones que existan, modificando los valores



de elevaciones sobre los que posiblemente pueda haber acumulaciones de agua que impidan que esta fluyera alterando los resultados del DEM para posteriores procesos.

- **Flow Direction (Dirección de flujo):** En este parámetro se definió la dirección de la pendiente mayor de cada celda que comprende la zona de estudio, evaluando las cotas de todas las celdas alrededor de una misma.
- **Flow Accumulation (Acumulación de flujo):** Donde se determinó la cantidad de celdas que pueden llegar a drenar a partir de una celda. El cálculo del área de drenaje de una celda se calcula obteniendo el producto del número de celda y el área que estas ocupan unitariamente.
- **Stream Definition (Definición de la red hídrica):** Con esta herramienta se clasifico las celdas con flujo derivado de un umbral mayor al definido por el modelador como pertenecientes a la red de drenaje. Para esto se determinó un área de drenaje de 300 km^2 .
- **Stream Segmentation (Segmentación de la corriente):** Se agrupo los cauces anteriormente establecidos en segmentos de tramos que están situados entre dos uniones de cauces sucesivas.
- **Catchment Grid Delineation (Delimitación de las subcuencas):** Se delimito las subcuencas a partir de la Segmentación de la Corriente anteriormente estimada. Ajustándose así a la metodología Pfafstetter con 4 cuencas afluentes y 5 Inter Cuencas.
- **Drainage Line Processing (Generación de red hídrica principal):** Se obtuvo el Shape de la línea de drenaje principal perteneciente a la UH Coata.



- **Point Delineation con Watershed (Delimitación de la UH mayor):**

Con esta herramienta se delimito la UH mayor estableciendo un punto de desfogue en la parte baja de la cuenca.

3.4.1.2. Delimitación de cabeceras de cuenca

Para la culminación del primer objetivo establecido, se realizó la delimitación de las cabeceras de cuenca siguiendo los direccionamientos publicados en el “Marco Metodológico de Criterios Técnicos para la Identificación, Delimitación y Zonificación de Cabeceras de Cuenca”, que fue elaborado por la ANA (2021) (Autoridad Nacional del Agua). Donde se menciona que las cabeceras de cuenca pueden ser identificadas a partir de los cursos de agua de orden 1 según la metodología Strahler, solo si estos son perimetrales a la UH mayor. Para lo cual se siguieron los siguientes pasos:

- **Obtención de la red hídrica de alta resolución:** Para desarrollar esta fase se obtuvo una red hídrica con un alto grado de definición, con el objetivo de mostrar los cursos de agua más cercanos al perímetro de la UH mayor notándose todas las ramificaciones generadas a partir del DEM.
- **Orden de ríos por Strahler:** Este método permitió asignar el orden de ríos a cada línea vectorial que representaban las ramificaciones de la red hídrica.
- **Ubicación de nodos iniciales y finales:** Se seleccionaron los nodos iniciales de los ríos de orden 1 perimetrales a la UH mayor.



- **Delimitación de cabeceras de cuenca:** A partir del nodo antes seleccionado correspondiente al desfogue de cada río de orden 1 se delimitaron las microcuencas obteniendo así los territorios que abarcan las cabeceras de cuenca.

Con mayor detalle se presenta a continuación los pasos secuenciales detallados realizados para la delimitación de Cabeceras de Cuenca a partir de los ráster ya obtenidos de Dirección de Flujo y la Acumulación de Flujo procediendo con lo siguiente:

- Definir la red hídrica con la herramienta Ráster Calculator (Calculadora Ráster), donde se introdujo la formula $\text{Log}_{10}(\text{FlowAccumulation})$. El ráster obtenido de este procesamiento se le nombro como “LOG”.
- De igual forma se tuvo que estimar los Condicionales para ello se utilizó la herramienta calculadora Ráster introduciendo la ecuación: $\text{Con}(\text{LOG} > \text{LOG})$, este Raster resultante fue nombrado como “CON”.
- Posteriormente se definió la red principal con la herramienta Stream Link, siendo los insumos para el resultado los Ráster de Condicional (“CON”) y el de dirección de flujo. Resultando así el Ráster de “STREAM”.
- Como se menciona en la metodología lo más importante para una delimitación de cabeceras de cuenca fue el asignar un orden de ríos por la metodología Strahler, ArGIS tiene entre sus herramientas el apartado de Stream Order (Orden de Ríos), el cual fue utilizado y siendo los insumos los Ráster de “STREAM” y el de dirección de flujo.
- Como penúltimo paso el Ráster de “orden de ríos” calculado anteriormente fue necesario asignarles los números correspondientes a

las corrientes, donde los ríos de orden 1 que estén en el perímetro de la UH mayor corresponderían a las cabeceras de cuenca, por ello se utilizó la herramienta Stream Features, siendo insumos los Ráster de orden de ríos y dirección de flujo.

- Finalmente se procedió a delimitar las cabeceras de cuenca que corresponden a los ríos de orden 1, que estaban en la zona perimetral de la UH Coata, cabe aclarar que adicionalmente fue necesario apoyarse en imágenes satelitales para que en casos como por ejemplo el Raster indicara que existe un río de orden 1 en algún poblado este sea descartado por la condición real en la que se encuentra el territorio.

3.4.2. Estimación del rendimiento hídrico con el modelo hidrológico Lutz Scholz

Siguiendo con la metodología del segundo objetivo se estimaron los caudales medios mensuales de cada cabecera de cuenca para posteriormente estos sean ponderados y adicionalmente ver el porcentaje de aporte hídrico de estos territorios a nivel de la UH mayor.

3.4.2.1. Análisis y procesamiento de la información meteorológica

La descarga de datos climáticos, específicamente datos de precipitación mensual fueron extraídos de la plataforma web del SENAMHI y SNIRH, los registros fueron entre los años de 1964 – 2015.

El análisis de datos de precipitación se realizó a escala mensual, se completó y corrigió la data de 8 estaciones mediante el método de Vector Regional, el cual es un método de cálculo orientado a tareas tales como: la crítica de datos, homogeneización y extender, completar datos de

precipitación, su desarrollo consiste en asumir que los totales pluviométricos anuales son semi proporcionales con una variación aleatoria de cada año en una zona influenciada bajo un mismo régimen de precipitaciones, por lo tanto en lugar de comparar estaciones por correlación o doble masa, el software crea una estación ficticia que represente un promedio de todas las estaciones estudiadas y que a su vez se comparen con las estaciones seleccionadas, esto amortigua los problemas de peso de estaciones lluviosas con las menos lluviosas además de la existencia de datos faltantes o diferentes periodos de funcionamiento (Espinoza, 2005).

Por lo mismo se emplea el método de mínimos cuadrados para poder encontrar los Índices Pluviométricos Regionales Anuales “ Z_i ” y la precipitación media extendida “ P_j ”, este procedimiento puede ser logrado mediante la minimización de la sumatoria de la siguiente expresión:

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \left(\frac{P_{ij}}{P_i} - Z_i \right) \quad (21)$$

Donde:

P_{ij} = Precipitación Anual en la estación.

P_j = Precipitación Media Extendida al Periodo N Años.

Z_i = Índice Pluviométrico Regional del Año i .

i = Índice del Año.

j = Índice de Estación.

N = Número de Años.

M = Número de Estaciones.

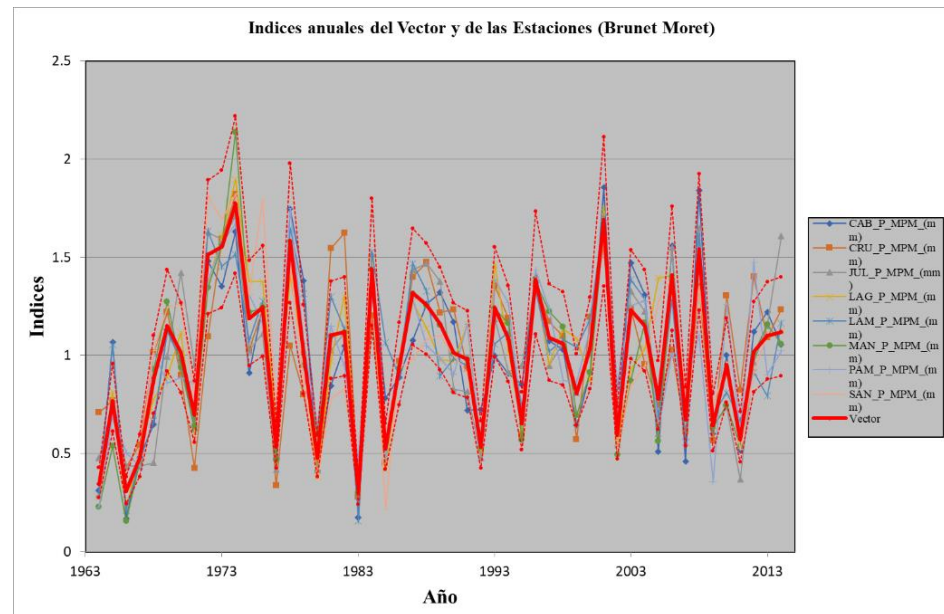


Los pasos secuenciales para el uso del Hydraccess son los siguiente:

- **Carga de datos de multi estaciones:** Para este procedimiento se ingresó la data de precipitación total mensual de las ocho estaciones seleccionadas en el formato requerido para el software.
- **Análisis de saltos:** Se analizó e identifico mes a mes los saltos de tendencia bruscos para su posterior corrección, la corrección no siempre debe ser estricta es decir que el dato se encuentre siempre dentro de los límites del vector regional; por ende, los datos de precipitación que se encontraban por fuera, pero con una tendencia similar a los de otras estaciones se mantuvieron intactos para evitar inconsistencias.
- **Completar datos faltantes:** Se completaron los datos faltantes de la precipitación total mensual una vez ya corregidos los saltos atípicos, esto se generó del ajuste de los datos realizado por el método de vector regional, copiando el valor generado a los datos faltantes.
- **Generación del archivo multiestaciones:** una vez ya completados y corregidos los datos se generó un archivo multi estaciones, el cual nos permitirá generar la precipitación media areal de las cuencas necesarias.

Figura 8

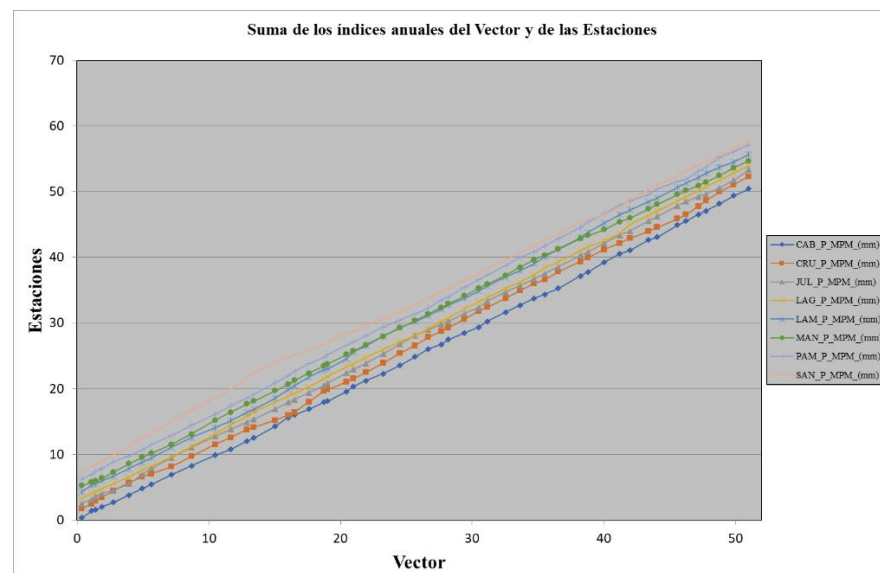
Índices anuales del vector regional.



Nota: La figura muestra la corrección y completación de datos meteorológicos por el método del Vector Regional. Presentando una relativa homogeneidad de datos los cuales ya están listos para el modelamiento hidrológico.

Figura 9

Índices Acumulados del Vector Regional.



Nota: En la figura se observa que los datos mensuales de precipitación convergen por el límite de los percentiles del vector regional corroborando que la data esta tratada, corregida y completada.

3.4.2.2. Generación de la precipitación media areal

La estimación de este parámetro estuvo a cargo del módulo Spatial del software Hydraccess, donde se cargó el archivo multi estaciones antes generado y también el Shape de la cuenca necesaria en coordenadas UTM.

Este proceso fue realizado para la cuenca de calibración que corresponde a la cuenca del río Verde, además de generar la precipitación media areal para todas las cabeceras de cuenca, insumo necesario para su posterior generación de caudales por el modelo hidrológico Lutz Scholz.

3.4.2.3. Cálculo de los parámetros geomorfológicos de la cuenca de calibración río verde

3.4.2.3.1. Parámetros fisiográficos

- **Área de la cuenca (A):**

Referida al área correspondiente sobre un plano en sentido horizontal, estimada a partir de los límites de alturas perimetrales de la cuenca siguiendo el divortum aquarum (Divisora de Aguas).

- **Perímetro de la cuenca (P):**

Corresponde al contorno que delimita la divisoria de aguas y que está relacionado al área de la cuenca.

- **Longitud de cauce principal (L):**

Este parámetro corresponde a la longitud que es medida a partir de todo el transcurso del curso fluvial de mayor orden, iniciando en la naciente del cauce hasta el punto de desfogue.



- **Ancho promedio de la cuenca (A_p):**

Se puede estimar en la relación que tiene el área total de la cuenca y la longitud del río principal.

$$A_p = \frac{A}{L} \quad (22)$$

Donde:

A_p = Ancho Promedio de la Cuenca (km).

A = Área de la Cuenca (km²).

L = Longitud de Cauce Principal (km).

- **Rectángulo equivalente:**

Representa la cuenca de una forma rectangular, tal que su geometría característica queda reducida a un rectángulo que equivale a la misma área y perímetro de la cuenca.

- **Coefficiente de compacidad (Kc):**

También llamado Índice de Gravelius, representa la relación que existe entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de la circunferencia, que a su vez se expresa como el área de un círculo equivalente al área de la cuenca mayor.

$$Kc = \frac{P}{2 * \sqrt{\pi(A)}} \quad (23)$$

Donde:

Kc = Coeficiente de Compacidad.

P = Perímetro de la Cuenca (km).

A = Área de la Cuenca (km²).



3.4.2.3.2. Parámetros de relieve

- Curva característica:

Relaciona las áreas que existen entre las curvas de nivel, con este parámetro podemos estimar la pendiente mínima, pendiente máxima y pendiente media de la cuenca.

3.4.2.3.3. Parámetros de la red hídrica

- Densidad de drenaje (Dd):

Corresponde a la relación de la relación entre la longitud total de todos los ríos y el área total de la cuenca.

$$Dd = \frac{LtR}{A} \quad (24)$$

Donde:

Dd = Densidad de Drenaje.

LtR = Longitud Total de Ríos (km).

A = Área de la Cuenca (km^2).

- Extensión media del escurrimiento superficial (E):

Este parámetro corresponde a la inversa de la frecuencia de densidad de ríos, nos refleja la distancia media del agua proveniente de la precipitación tendrá que transportarse hacia algún curso de agua cercano.

$$E = \frac{A}{LtR} \quad (25)$$



Donde:

E = Extensión Media del Escurrimiento Superficial.

LtR = Longitud Total de Rios (km).

A = Área de la Cuenca (km²).

- **Tiempo de concentración (T_c):**

Es el tiempo que demora en llegar el flujo del agua del límite de la cabecera de cuenca hasta el punto de desfogue de la cuenca, para ello se usara la expresión establecida por Kirpich:

$$T_c = 0.06628 \left(\frac{L}{S^{0.25}} \right)^{0.77} \quad (26)$$

Donde:

T_c = Tiempo de Concentración.

L = Longitud del Cauce Principal (km).

S = Pendiente del Cauce Principal.

Tabla 6*Parámetros geomorfológicos de la cuenca de calibración.*

Parámetros	Simbología	Valor	Unidad
Fisiográficos			
Área de la Cuenca	A	1849.65	km ²
Perímetro de la Cuenca	P	266.45	km
Longitud de Cauce Principal	L	88.75	km
Longitud de la Cuenca	Lb	94.11	km
Ancho Promedio de la Cuenca	Ap	20.89	km
Rectángulo Equivalente	Le+	117.48	
	Le-	15.74	
Factor de Horton	Kf	0.21	
Coefficiente de Compacidad	Kc	1.75	
Factor de Forma	Sf	4.79	
Radio de Elongación	Er	0.52	
Relación de Circularidad	Cr	0.33	
Relieve			
Altura Máxima	Hmax	4954.00	msnm
Altura Mínima	Hmin	4081.00	msnm
Relieve de la Cuenca	R	873.00	
Relación de Relieve	Rr	0.06	
Pendiente del Cauce Principal	S	0.01	m/m
Red Hídrica			
Longitud Total de Ríos	Ltr	1054.27	km
Densidad de Drenaje	Dd	0.05	
Extensión Media del Escurrimiento Superficial	E	1.75	
Tiempo de Concentración	Tc	12.42	hr

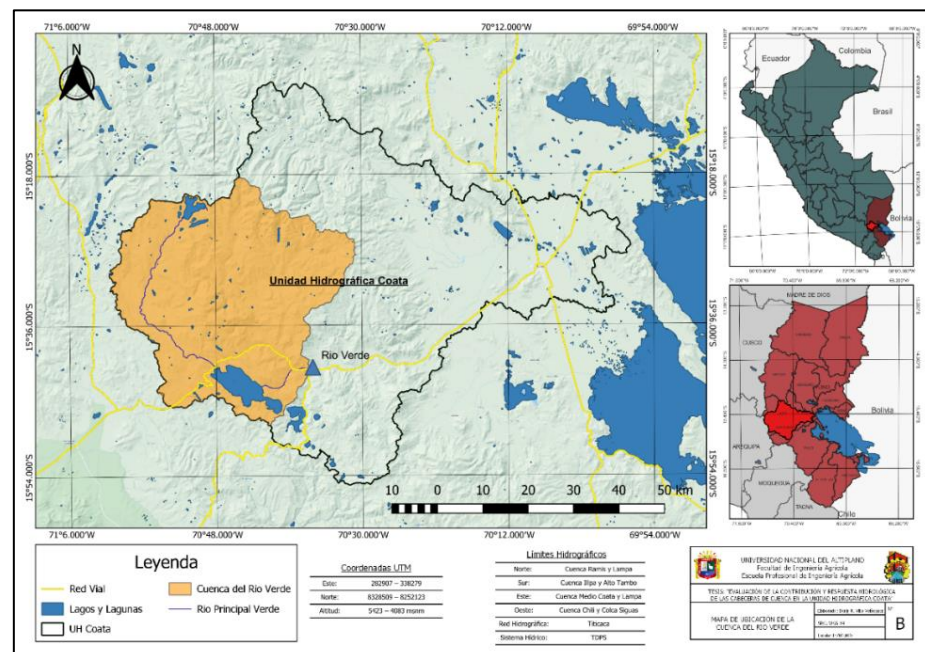
Nota: La tabla muestra los parámetros geomorfológicos obtenidos de la cuenca de calibración Verde resaltado los principales parámetros físicos, teniendo un área de 1849.65 km² y una longitud del río principal de 88.75 km; así mismo en cuanto al relieve esta cuenca cuenta con una pendiente de 0.01 m/m; finalmente presenta una densidad de drenaje de 0.05 y un tiempo de concentración aproximado de 12.42 h.

3.4.2.4. Calibración y validación del modelo hidrológico Lutz Schulz

La cuenca de calibración seleccionada fue la cuenca del río Verde, esta se encuentra en la UH Coata la razón de su elección radica en la necesidad de los registros de caudales medios de aforo para poder validar dicho modelo. Los periodos definidos para la calibración son 1964 – 1998 y para la validación fueron de 1999 – 2014.

Figura 10

Cuenca del río Verde.



Nota: La figura presenta la cuenca de calibración delimitada a partir del punto de aforo del río Verde.

Para evaluar el desempeño del modelo se utilizaron métricas tales como: Eficiencia de Nash – Sutcliffe (e), Criterio de Schultz (D), Raíz del Error Cuadrático Medio (RMSE) y Desviación Media Acumulada (MAD), en el apartado correspondiente a la validación del modelo se muestra mayor detalle a dichas métricas.

3.4.2.4.1. Calibración del modelo

La calibración fue realizada mediante la plataforma virtual ANDREA (Análisis de Datos y Recursos Estadísticos del Agua) perteneciente al SNIRH (Sistema Nacional de Información de Recursos Hídricos), su interfaz es de fácil uso, requiriendo principalmente datos de precipitación media areal (Cuenca Verde) y datos de caudales observados (Punto de aforo de la Cuenca Verde). La calibración se realizó con el 70%

de los valores de Precipitación media areal y los Caudales aforados de la cuenca del Rio Verde, la validación se realizó con el 30% restante de datos, para corroborar una correcta calibración y validación se utilizaron métricas de bondad de ajuste que permitieron ver el desenvolvimiento del modelo.

- Coeficiente de escorrentía

Para representar el coeficiente de escorrentía se considera la fórmula propuesta por L. Turc, en cuencas que no disponen de registros hidrométricos es aceptado un cálculo del coeficiente de escorrentía de manera directa (Sarango et al., 2012):

$$C = \frac{P - D}{P} \quad (27)$$

Donde:

C = Coeficiente de escorrentía.

P = Precipitación total anual (mm/año).

D = Déficit de escurrimiento (mm/año).

Posteriormente para la obtención del parámetro D (Déficit de escurrimiento) se utiliza la siguiente expresión:

$$D = P \frac{1}{\left(0.9 + \frac{P^2}{L^2}\right)^{\frac{1}{2}}} \quad (28)$$

Donde:

L = Coeficiente de temperatura.

P = Precipitación total anual (mm/año).

Referente al parámetro L (Coeficiente de temperatura) puede representarse por:

$$L = 300 + 25(T) + 0.05(T)^3 \quad (29)$$

Donde:

L = Coeficiente de temperatura.

T = Temperatura media anual ($^{\circ}\text{C}$).

El coeficiente de escorrentía no es aplicable para toda la sierra peruana de manera homogénea, por lo cual se puede aplicar la siguiente expresión para su representación en la región sur del Perú (Soto Najarro, 2015).

$$C = 3.16(E)(12)(P^{-0.571})(EP^{-3.686}), r = 0.96 \quad (30)$$

$$D = -1380 + 0.872(P) + 1.032(EP), r = 0.96 \quad (31)$$

Donde:

C = Coeficiente de escorrentía.

D = Déficit de escurrimiento (mm/año).

P = Precipitación total anual (mm/año).

EP = Evapotranspiración total anual (mm/año).

r = Coeficiente de correlación.

- Evapotranspiración potencial

La evapotranspiración es la estimación conjunta de la pérdida de agua en una cuenca, este parámetro toma en cuenta la evaporación del suelo y la transpiración de las plantas (vegetación). Para obtener la evapotranspiración potencial se consideró el cálculo por el modelo empírico establecido por Hargreaves, el cual está expresado por la siguiente fórmula (Soto Najarro, 2015):



$$EP = 0.0075(RSM)(TF)(FA) \quad (32)$$

Donde:

EP = Evapotranspiración potencial.

RSM = Radiación solar media.

TF = Temperatura media anual (°F).

FA = Coeficiente de corrección por elevación.

Para el cálculo de la RMS (Radiación solar media) se aplica la siguiente relación:

$$RSM = 0.075(RA) \sqrt{\left(\frac{n}{N}\right)} \quad (33)$$

Donde:

RSM = Radiación solar media.

RA = Radiación extraterrestre (mm H₂O/año).

(n/N) = Relación entre la insolación actual y posible (%).

Finalmente es necesario estimar el FA (Coeficiente de corrección por elevación), cuya formula es la siguiente:

$$FA = 1 + 0.06(AL) \quad (34)$$

Donde:

FA = Coeficiente de corrección por elevación.

AL = Elevación media de la cuenca (km).

Para estimar la temperatura anual se considera el valor de los registros de las estaciones y el gradiente de temperatura de -5.3°C 1/ 1000 m, determinado para la región sierra.

- Precipitación efectiva

Mediante se efectúa el proceso de almacenamiento hídrico en la superficie, la precipitación llega a constituir un porcentaje alto del contenido del agua en el suelo, una fracción mínima de esta precipitación es aprovechable para las plantas, la parte restante se pierde por efectos de la evaporación, infiltración y demás procesos de escorrentía, por ende, el volumen de lluvia parcial aprovechado por las plantas para cumplir sus necesidades hídricas y consolidar un normal desarrollo vegetativo es denominado como precipitación efectiva (Vasquez & Chang-Navarro, 1988).

La estimación de la Precipitación Efectiva, entiende que los caudales promedios observados en la cuenca están referidos a un estado de equilibrio entre el gasto y abastecimiento de la retención, esta precipitación efectiva fue calculada de acuerdo al coeficiente de escurrimiento promedio, haciendo que la relación entre precipitación efectiva y total resulta igual al coeficiente de escorrentía (Soto Najarro, 2015).

El cálculo de la precipitación efectiva se ha determinado de la siguiente forma:

$$PE = a_0 + a_1P + a_2P^2 + a_3P^3 + a_4P^4 + a_5P^5 \quad (35)$$

Donde:

PE = Precipitación efectiva (mm/mes).

P = Precipitación total mensual (mm/mes).

a_i = Coeficiente del polinomio.

La siguiente Tabla 7 muestra los valores límite de la precipitación efectiva:

Tabla 7

Límites de curva para la precipitación efectiva.

Límite Superior para la Precipitación Efectiva	
Curva I	$PE = P - 120.6$, para $P > 177.8$ mm/mes
Curva II	$PE = P - 86.4$, para $P > 152.4$ mm/mes
Curva III	$PE = P - 59.7$, para $P > 127.0$ mm/mes

Nota: La tabla presenta los valores de límites para la curva de precipitación efectiva. Tomado de Scholz (1980).

Posteriormente la Tabla 8 presenta los coeficientes a_i para cada tipo de curva, esto permitirá alcanzar los valores de C que están entre el intervalo de 0.15 y 0.45.

Tabla 8

Coefficientes para el cálculo de la precipitación efectiva.

	Curva I	Curva II	Curva III
a_0	-0.018	-0.021	-0.028
a_1	-0.01850	+0.1358	+0.2756
a_2	+0.001105	-0.002296	-0.004103
a_3	-1204 E-8	+4349 E-8	+5534 E-8
a_4	+144 E-9	- 89.0 E-9	+124 E-9
a_5	-285 E-12	-879 E-13	-142 E-11

Nota: La tabla presenta los coeficientes establecidos para el cálculo de la precipitación efectiva según la metodología. Tomado de Scholz (1980).

Finalmente se teniendo en cuenta las consideraciones anteriores se llega a la relación entre la precipitación efectiva y precipitación total descrita en la siguiente formula:

$$C = \frac{Q}{P} = \sum_{i=1}^{12} \frac{PE_i}{P} \quad (36)$$



Donde:

C = Coeficiente de escurrimiento.

Q = Caudal anual.

P = Precipitación total anual.

$\sum_{i=1}^{12} \frac{PE_i}{P}$ = Suma de la precipitación efectiva mensual.

- Retención de la cuenca

Teniendo en cuenta que para un año promedio exista un balance entre el gasto y el abastecimiento de la reserva de la cuenca, además que el caudal total sea similar a la precipitación efectiva anual, el aporte de la reserva hídrica al caudal se puede estimar a partir de la siguiente expresión (Soto Najarro, 2015):

$$R_i = CM_i - P_i \quad (37)$$

$$CM_i = PE_i + G_i - A_i \quad (38)$$

Donde:

R_i = Retención de la cuenca (mm/mes).

CM_i = Caudal mensual (mm/mes).

PE_i = Precipitación efectiva mensual (mm/mes).

G_i = Gasto de la retención (mm/mes).

A_i = Abastecimiento de la retención (mm/mes).

$R_i = G_i$ = Para valores mayores a cero (mm/mes).

$R_i = A_i$ = Para valores menores a cero (mm/mes).

Al sumar los valores de G_i y A_i respectivamente se puede hallar la retención total de la cuenca para el año promedio.

- **Relación entre descargas y retención**

Al iniciar la estación lluviosa los procesos de agotamiento de la reserva concluyen, para dar paso al abastecimiento de los almacenes hídricos. El mencionado proceso está representado por un déficit entre la precipitación efectiva y el caudal real, en base a los hidrogramas se tiene en conocimiento que el abastecimiento es más intenso al iniciar la estación lluviosa continuando progresivamente, pero a su vez menos pronunciada, hasta la culminación de dicha estación (INRENA, 2003).

Mediante transcurre la estación seca el gasto de la retención abastece a los ríos, que en consecuencia constituye el caudal base. La reserva de la cuenca se agota al finalizar la estación seca; en el transcurso de esta estación la descarga se puede calcular en base a la ecuación a continuación presentada (Soto Najarro, 2015):

$$Q_t = Q_0 e^{-a(t)} \quad (39)$$

Donde:

Q_t = Descarga en el tiempo t .

Q_0 = Descarga inicial.

a = Coeficiente de agotamiento.

t = Tiempo.

- **Coeficiente de Agotamiento**

El coeficiente de agotamiento es un valor no constante durante la estación seca, se caracteriza por una disminución gradual, pero para objetivos prácticos se puede subestimar la variación del coeficiente "a" durante el desarrollo de la estación seca empleando un promedio.

El coeficiente de agotamiento de la cuenca tiene una supeditación logarítmica del área en relación al área de la cuenca, expresada mediante la siguiente expresión (SENAMHI, 2010):

$$a = f(\ln(AR)) \quad (40)$$

Donde:

a = Coeficiente de agotamiento por día.

AR = Área de la cuenca (km²).

De acuerdo al análisis de las observaciones disponibles se denota que existe una cierta influencia del clima, geología y la cobertura vegetal, por lo mismo se aplica la utilización de la siguiente ecuación empírica para la zona de la sierra peruana (Soto Najarro, 2015), misma ecuación que se expresa a continuación:

$$a = 3.1249(E)(67)(AR)^{-0.1144}(EP)^{-19.336}(T)^{-3.369}(R)^{-1.429} \quad (40)$$

$$r = 0.86$$

Donde:

a = Coeficiente de agotamiento por día.

AR = Área de la cuenca (km²).

EP = Evaporación potencial anual (mm/año).

T = Duración de la temporada seca (días).

R = Retención total de la cuenca (mm/año).

Para estimar el valor del coeficiente de agotamiento puede determinarse en base a cuatro ecuaciones según los tipos de cuencas, que se detallan en la Tabla 9 a continuación:

Tabla 9*Coefficiente de agotamiento por tipo de cuenca.*

Coeficiente de Agotamiento (a) de Acuerdo al Tipo de Cuenca		
Tipo de Agotamiento	Característica de Retención	Ecuación (a)
Muy Rápido	Temperaturas elevadas ($>10^\circ$), retención de 50 – 80 mm/año	$a = -0.00252(\ln AR) + 0.034$
Rápido	Vegetación poco desarrollada (puna), retención entre 50 – 80 mm/año	$a = -0.00252(\ln AR) + 0.030$
Mediano	Vegetación mezclada (Pastos, Bosques, Cultivos), retención alrededor de 80 mm/año	$a = -0.00252(\ln AR) + 0.026$
Reducido	Alta retención y vegetación mezclada, retención mayor a 100 mm/año	$a = -0.00252(\ln AR) + 0.023$

Nota: La tabla presenta los coeficientes de agotamiento respecto al tipo de cuenca por ejemplo la característica de la UH Coata corresponde a una cuenca de agotamiento mediana. Tomado de Scholz (1980).

- Almacenamiento hídrico

Se consideran tres tipos de almacenamientos hídricos naturales que afectan directamente la retención de la cuenca, los cuales son: nevados, lagunas y acuíferos, ante esto es necesaria la lámina L que almacena cada tipo de bioma cuya expresión esta dada por:

- Acuíferos

$$L_A = -7.50(I) + 315 \quad (41)$$

Donde:

L_A = Lamina específica de acuíferos (mm/año).

I = Pendiente de desagüe, $I \leq 15\%$

- **Lagunas y pantanos**

$$L_L = 500 \quad (42)$$

Donde:

L_L = Lamina especifica de lagunas y pantanos (mm/año).

- **Nevados**

$$L_N = 500 \quad (43)$$

Donde:

L_N = Lamina especifica de nevados (mm/año).

- **Abastecimiento de la retención**

El abastecimiento en la estación lluviosa es parejo para las cuencas que comparten la misma región climática. Se tomo en referencia la región del Cuzco por la cercanía a las cuencas del altiplano, dicho esto el abastecimiento en la mencionada región comienza en el mes de noviembre con un 5%, alcanzando hasta el mes de enero el valor del 80% del volumen final, las precipitaciones altas correspondientes al mes de febrero completan el 20 % restante y finalmente las precipitaciones efectivas del mes de marzo escurren directamente sin contribuir a la retención (SENAMHI, 2010). Los coeficientes mensuales expresados en porcentaje del almacenamiento total anual de las regiones de referencia se muestran en la siguiente Tabla 10:

Tabla 10*Almacenamiento hídrico en época de lluvias (%).*

Almacenamiento Hídrico en Época de Lluvias (%)							
Región	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Total
Cusco	0	5	35	40	20	0	100
Huancavelica	10	0	35	30	20	5	100
Junín	10	0	25	30	30	5	100
Cajamarca	25	-5	0	20	25	35	100

Nota: La tabla presenta el almacenamiento hídrico en época de lluvias para las regiones distintas regiones de la sierra, para el presente trabajo se tomó los valores de Cusco debido a la cercanía de este a la UH Coata. Tomado de Scholz (1980).

La lámina de agua A_i que entra en la reserva de la cuenca se denota en forma de déficit mensual de la Precipitación Efectiva PE_i y se calcula mediante la expresión:

$$A_i = a_i \left(\frac{R}{100} \right) \quad (44)$$

Donde:

A_i = Abastecimiento mensual (mm/mes).

a_i = Coeficiente de abastecimiento (%).

R = Retención de la cuenca (mm/año).

- **Determinación del caudal mensual para el año promedio**

El caudal mensual para el año promedio está basado en la ecuación elemental que describe el balance hídrico mensual a partir de los componentes descritos con anterioridad:

$$CM_i = PE_i + G_i - A_i \quad (45)$$

Donde:



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

- **Generación de caudales mensuales para periodos extendidos**

Una vez obtenidos los caudales para el año promedio, la serie debe ser extendida en el tiempo, para la generación sintética de caudales se utilizan los modelos estocásticos que consiste en una combinación de un proceso Markoviano de primer orden con una variable de impulso, que en este caso es la precipitación efectiva presente en la ecuación. Lo antes dicho se muestran en las siguientes ecuaciones:

$$Q_t = f(Q_{t-1}) \quad (46)$$

$$Q = g(PE_t) \quad (47)$$

Además, se debe de utilizar una variable aleatoria con el fin de ampliar el rango de valores generados y obtener una adecuada aproximación a la realidad.

$$Z = z(S)\sqrt{1 - r^2} \quad (48)$$

Concluyendo así que la ecuación integral para la generación de caudales mensuales es la siguiente:

$$Q_t = B1 + B2(Q_{t-1}) + B3(PE_t) + z(S)\sqrt{1 - r^2} \quad (49)$$

Donde:

Q_t = Caudal del mes t .

Q_{t-1} = Caudal del mes anterior.

PE_t = Precipitación efectiva del mes.

$B1$ = Factor constante o caudal base.

Se calculan los parámetros $B1, B2, B3, r, S$ en la base de los resultados del modelo para el año promedio por un cálculo de regresión lineal con Q_t como valor dependiente y Q_{t-1} y PE_t como valores independientes (Soto Najarro, 2015).

3.4.2.4.2. Validación del modelo

Para evaluar la eficiencia del modelo se estimaron los valores de medidas de bondad de ajuste, este cálculo se realizó tanto para el periodo de calibración y el de validación mediante las siguientes métricas:

- Eficiencia de Nash – Sutcliffe (e)

El criterio de Nash – Sutcliffe es uno de los más presentes en hidrología. Se define como:

$$E = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n [Q_{SIM,i} - Q_{OBS,i}]^2}{\sum_{i=1}^n [Q_{OBS,i} - \overline{Q_{OBS}}]^2} \quad (50)$$

Este criterio es medido cuando la variabilidad de las observaciones es referenciada por la simulación. Si la simulación es perfecta (poco probable), $E=1$; si se intentase ajustar las observaciones con el valor promedio, entonces E va disminuyendo. La escala de normalización de los

valores sugeridos para la toma de decisiones es resumida en la siguiente

Tabla 11:

Tabla 11

Valores referenciales del criterio de Nash - Sutcliffe.

E	Ajuste
< 0.2	Insuficiente
0.2 – 0.4	Satisfactorio
0.4 – 0.6	Bueno
0.6 – 0.8	Muy bueno
> 0.8	Excelente

Nota: La tabla muestra los rangos respecto a la eficiencia calculada de los datos, ponderado en cinco categorías.

Este indicador puede ser utilizado para cualquier escala de tiempo propuesta. Cuando los valores de la variable simulada son grandes, se suele utilizar la “eficiencia logarítmica de Nash-Sutcliffe” (J. Cabrera, 2009) (Albuja & Tenelanda, 2014):

$$E_{log} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n [\log(Q_{SIM,i}) - \log(Q_{OBS,i})]^2}{\sum_{i=1}^n [\log(Q_{OBS,i}) - \overline{\log(Q_{OBS})}]^2} \quad (51)$$

Donde:

$Q_{SIM,i}$ = Caudal simulado para el mes “i”.

$Q_{OBS,i}$ = Caudal observado para el mes “i”.

$\overline{Q_{OBS}}$ = Promedio de los caudales mensuales observados.

- **Criterio de Schultz (D)**

El criterio de Schultz representa la desviación de los caudales simulados respecto a los observados. Se calcula con la siguiente expresión:

$$D = 200 \frac{\sum_{i=1}^n |Q_{SIM,i} - Q_{OBS,i}| Q_{OBS,i}}{n(Q_{MAX})^2} \quad (52)$$

Donde:

$Q_{SIM,i}$ = Caudal simulado para el mes “i”.

$Q_{OBS,i}$ = Caudal observado para el mes “i”.

Q_{MAX} = Caudal máximo observado en el periodo de estudio.

El uso de este criterio es recomendado para análisis de eventos de alta resolución temporal. A continuación, se presentan los valores referenciales del criterio de Schultz (J. Cabrera, 2009b).

Tabla 12

Valores referenciales del criterio Shultz.

D	Ajuste
0 - 3	Muy bueno
3 - 10	Bueno
10 - 18	Suficiente
> 18	Insuficiente

Nota: La tabla muestra los rangos respecto a la eficiencia de Schultz calculada a partir de los datos, ponderado en cuatro categorías.

- **Raíz del error cuadrático medio (RMSE)**

La raíz del error cuadrático medio permite cuantificar la magnitud de la desviación de los valores simulados respecto a los observados. Se formula de la siguiente manera:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_{SIM,i} - Q_{OBS,i})^2}{n}} \quad (53)$$

Donde:

$Q_{SIM,i}$ = Caudal simulado para el mes “i”.

$Q_{OBS,i}$ = Caudal observado para el mes “i”.

n = Numero de datos del periodo de estudio.

El rango de valores que puede tomar el RMSE va desde cero “0”, hasta el infinito (positivo). El valor cero “0” corresponde a un ajuste perfecto, mientras que valores más grandes indican en menor ajuste (J. Cabrera, 2009) (Albuja & Tenelanda, 2014).

- **Desviación media acumulada (MAD)**

La desviación media acumulada se define como:

$$MAD = \frac{\sum_{i=1}^n |Q_{SIM,i} - Q_{OBS,i}|}{n} \quad (54)$$

Donde:

$Q_{SIM,i}$ = Caudal simulado para el mes “i”.

$Q_{OBS,i}$ = Caudal observado para el mes “i”.

n = Numero de datos del periodo de estudio.

La desviación media acumulada debe ser minimizada en el proceso de calibración para obtener un mejor ajuste de la variable simulada respecto a la observada (J. Cabrera, 2009).

3.4.2.4.3. Caudales generados por cabecera de cuenca

La generación de caudales medios mensuales para las cabeceras de cuenca se realizó una vez validado el modelo hidrológico tomando como parámetros permanentes los de gasto y abastecimiento de la retención de



forma mensual, además de la retención de la cuenca y el coeficiente de escurrimiento ya calibrados.

El procedimiento además necesitó del área de cada cabecera de cuenca y su respectiva precipitación media areal antes estimada por el módulo Spatial del software Hydraccess.

3.4.2.5. Cálculo de los aportes hídricos de las cabeceras de cuenca

Finalmente una vez obtenidos todos los caudales generados por cabecera de cuenca estos se promediaron de forma mensual y posteriormente de forma acumulada, esto con el objetivo de realizar una sumatoria del caudal total anual de cada cabecera de cuenca, obteniendo así un valor en m^3/s del total de aporte de este a la UH mayor, para esta comparación se realizó el mismo procedimiento con la data de la estación hidrométrico Puente Coata – Unocolla, calculando el porcentaje real que las cabeceras de cuenca representan con su caudal generado.

3.4.3. Determinación y delimitación de las variables e indicadores hidro ecológicos

Para la zonificación de las cabeceras de cuenca que consiste en identificar áreas territoriales de características similares, como ambientales, sociales o económicas; con el fin de definir e implementar los mecanismos en materias de gestión, prevención y regulación adecuados para cada zona (Torres Muñoz, 1998). Para lograr este objetivo se tuvo en cuenta según el “Marco Metodológico de Criterios Técnicos para la Identificación, Delimitación y Zonificación de Cabecera de Cuenca” los siguientes indicadores:



3.4.3.1. Indicadores climatológicos

El cual considerara a la precipitación, ya que este es el que abastece de agua a la zona de estudio. Para este indicador se generó el mapa de isoyetas con datos de precipitación total anual. El método de isoyetas tiene la ventaja de considerar efectos territoriales, y por ello concibe la mejor representación a la verdadera precipitación promedio de la región (Munive Garcia et al., 2020).

Se utilizaron datos de precipitación total anual de 24 estaciones hidrometeorológicas de acuerdo al manual de generación de mapa de isoyetas de la Autoridad Nacional del Agua, para posteriormente ser interpoladas generando el temático final.

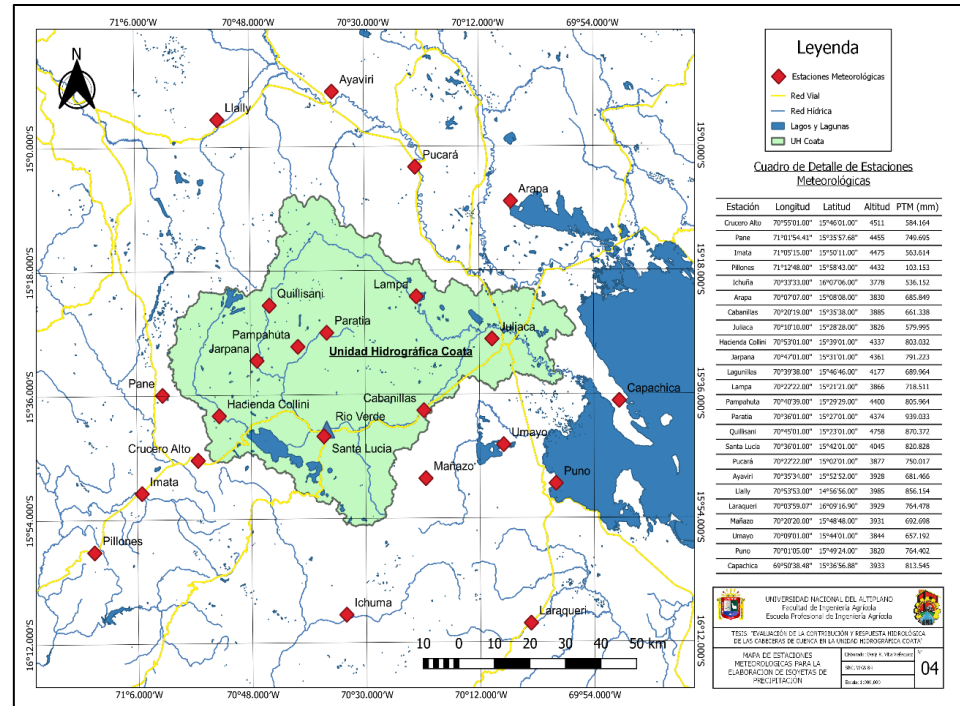
Tabla 13*Estaciones met. para la generación de isoyetas de precipitación.*

Estación	UH	Longitud	Latitud	Altitud (msnm)	Precipitación Total Anual (mm)
Crucero Alto	Camaná	70°55'01.00"	15°46'01.00"	4511	584.164
Pane	Camaná	71°01'54.41"	15°35'57.68"	4455	749.695
Imata	Quilca - Vitor - Chili	71°05'15.00"	15°50'11.00"	4475	563.614
Pillones	Quilca - Vitor - Chili	71°12'48.00"	15°58'43.00"	4432	103.153
Ichuña	Tambo	70°33'33.00"	16°07'06.00"	3778	536.152
Arapa	Intercuenca Ramis	70°07'07.00"	15°08'08.00"	3830	685.849
Cabanillas	Coata	70°20'19.00"	15°35'38.00"	3885	661.338
Juliaca	Coata	70°10'10.00"	15°28'28.00"	3826	579.995
Hacienda Collini	Coata	70°53'01.00"	15°39'01.00"	4337	803.032
Jarpana	Coata	70°47'01.00"	15°31'01.00"	4361	791.223
Lagunillas	Coata	70°39'38.00"	15°46'46.00"	4177	689.964
Lampa	Coata	70°22'22.00"	15°21'21.00"	3866	718.511
Pampahuta	Coata	70°40'39.00"	15°29'29.00"	4400	805.964
Paratia	Coata	70°36'01.00"	15°27'01.00"	4374	939.033
Quillisani	Coata	70°45'01.00"	15°23'01.00"	4758	870.372
Santa Lucia	Coata	70°36'01.00"	15°42'01.00"	4045	820.828
Pucará	Pucará	70°22'22.00"	15°02'01.00"	3877	750.017
Ayaviri	Pucará	70°35'34.00"	15°52'52.00"	3928	681.466
Llally	Pucará	70°53'53.00"	14°56'56.00"	3985	856.154
Laraqueri	Ilave	70°03'59.07"	16°09'16.90"	3929	764.478
Mañazo	Illpa	70°20'20.00"	15°48'48.00"	3931	692.698
Umayo	Illpa	70°09'01.00"	15°44'01.00"	3844	657.192
Puno	Intercuenca 0173	70°01'05.00"	15°49'24.00"	3820	764.402
Capachica	Intercuenca Ramis	69°50'38.48"	15°36'56.88"	3933	813.545

Nota: La tabla detalla las 24 estaciones seleccionadas para la elaboración de las isoyetas de precipitación, cuyo principal insumo necesario fue el de la precipitación total anual.

Figura 11

Ubicación de estaciones meteorológicas para la elaboración de isoyetas de precipitación.



Nota: La figura muestra las 24 estaciones seleccionadas distribuidas espacialmente sobre el territorio de la UH Coata.

3.4.3.2. Indicadores hidrológicos

Cuyos indicadores considerados son el rendimiento hídrico o caudal específico para cada ecosistema contemplado en la zona de estudio, el cual está basado en la matriz de Lutz Scholz (1980), ONERN (1980) y Bernal (1955). El rendimiento hídrico utiliza mapas con las características biofísicas para cada cobertura vegetal presente en determinada zona que resultara en un caudal específico referencial respecto al ecosistema (Lovera Pons et al., 2018). Respecto a la Retención Hídrica se ponderaron en una escala los valores de caudales generados por el modelo hidrológico



Lutz Scholz en un rango de 1 – 5, donde 5 es afiliado a un caudal generado muy alto.

3.4.3.3. Indicadores ecológicos

Para este indicador se utilizaron los DEM's de áreas degradadas elaborados por el MINAM en el 2018, la degradación de tierras está definida como un proceso de cambios negativos en la idoneidad del ecosistema para prestar bienes y servicios producto de causas naturales o antrópicas (Córdoba & Camardelli, 2020), lo cual altera el funcionamiento de los ecosistemas en la regulación hídrica y erosión.

3.4.3.4. Asignación de ponderación de las variables de indicadores

Cada variable de indicador ya mencionada fue procesada en software SIG y adecuada a la zona de estudio de las cabeceras de cuenca, además de ser ponderada de acuerdo a la Tabla 14 “Matriz de Ponderación de Indicadores” con ayuda de la tabla de atributos del software SIG, estableciendo sus valores en función de los grados de respuesta hidrológica.

Tabla 14

Matriz de ponderación de indicadores.

Variable	Indicador	Evaluación de la Respuesta Hidrológica	Métrica	Unidad	Respuesta Hidrológica				
					Muy Baja	Baja	Media	Alta	Muy Alta
Climatológica	Precipitación	Mayor precipitación, mayor RH	Cantidad de lluvia por ecosistema	Mm	<250	250-500	500-1000	1000-2000	>2000
	Rendimiento del Ecosistema	Mayor rendimiento hídrico, mayor RH	Caudal específico	l/s/km ²	<3.9	3.9-4.9	4.9-6.9	6.9-11.5	11.5-16
Hidrológica	Retención del ecosistema	Mayor retención hídrica, mayor RH	Grado de retención hídrica	Escala	1	2	3	4	5
Ecología	Degradación del Ecosistema	Mayor degradación, menor RH	Área degradada/Área del ecosistema	Porcentaje	>80	60-80	40-60	20-40	<20

Nota: La tabla muestra las ponderaciones asignadas a cada variable a estimar de acuerdo al grado de respuesta hidrológica que estos presenten. Tomado de ANA (2021).

Las ponderaciones asignadas fueron basadas en la escala de normalización planteada por la ANA (2021), que tiene un rango de 1 – 5 siendo 1 correspondiente a un grado de respuesta hidrológica bajo y 5 a un grado de respuesta hidrológica alto, como se muestra en la Tabla 15:

Tabla 15

Escala de normalización de variables.

Grado de Respuesta Hidrológica	Escala de Normalización
Muy Baja	1
Baja	2
Media	3
Alta	4
Muy Alta	5

Nota: La tabla muestra la escala de normalización a la cual serán sometidas las ponderaciones de la Tabla 14. Tomado de ANA (2021).



Con esta normalización se otorgó uniformidad al escalar los valores de los indicadores planteados para el análisis integral, no todos estos participaron con el mismo orden de prioridad, más bien fue según su importancia respecto a la estimación de la respuesta hidrológica, dicho esto se asumió pesos racionales y tomados con criterio durante el proceso de análisis.

3.4.4. Unidades de respuesta hidrológicas

Para el cumplimiento del último objetivo de la investigación correspondiente al análisis espacial para la obtención de las nuevas URH de la UH Coata se realizaron los siguientes procedimientos:

3.4.4.1. Acondicionamiento de las tablas de atributos

Los resultados obtenidos de los procesos antecesores de normalización y ponderación de los indicadores climáticos, hidrológicos y ecológicos, fueron introducidos en las tablas de atributos de las capas temáticas con indicadores para su análisis espacial que abarcan las cabeceras de cuenca en su totalidad.

3.4.4.2. Superposición geoespacial

Este proceso consistió en combinar geo espacialmente las capas temáticas y sus atributos o valores calculados, para así generar nuevas áreas geográficas con características distintas, esto fue realizado bajo criterios y consideraciones del modelo de zonificación planteado por el “Marco Metodológico de Criterios Técnicos para la Identificación, Delimitación y Zonificación de Cabecera de Cuenca”.



Los nuevos espacios geográficos integrados y procesados son analizados mediante los indicadores combinados sustentados en una ecuación matemática establecida a criterio para el modelo, definiendo así finalmente las Unidades de Respuesta Hidrológica. A continuación, se muestra la ecuación de las URH:

$$URH = P(0.25) + ReE(0.25) + ReT(0.25) + De(0.25) \quad (55)$$

Donde:

URH = Valor de Unidad de Respuesta Hidrológica.

P = Precipitación.

ReE = Rendimiento del Ecosistema.

ReT = Retención del Ecosistema.

De = Degradación del Ecosistema.

Con el resultado de esta fórmula se concluyó la definición de los valores de las Unidades de Respuesta Hidrológica por significancia, que también están regidas bajo la escala de normalización de la Tabla 15. Finalmente se disolvió el Shape resultante bajo la nueva columna de ponderaciones calculada mediante la formula antes mostrada, y se procedió a realizar el mapa final de la zonificación de cabeceras de cuenca y sus unidades de respuesta hidrológica, en la zona de estudio de la Unidad Hidrográfica Coata.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para el presente capítulo se presentan los resultados obtenidos, los cuales están en función a la metodología mostrada con anterioridad.

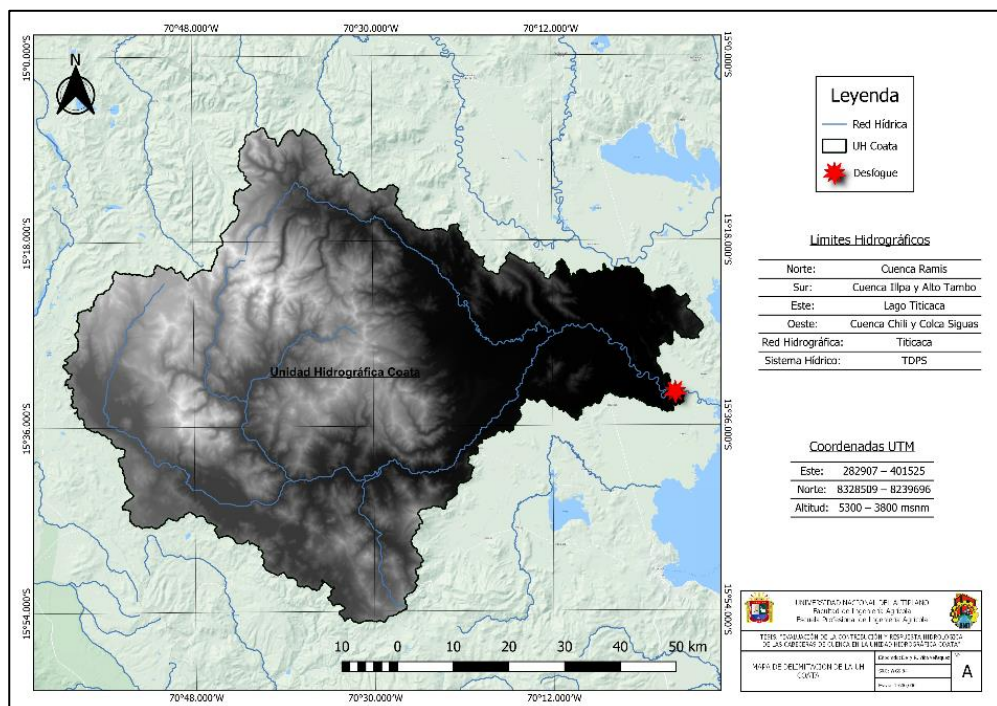
4.1. DELIMITACIÓN DE CABECERAS DE CUENCA DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA COATA

4.1.1. Procesamiento del modelo digital de elevación (DEM)

Para el último procedimiento antes señalado se estableció como punto de desfogue el río Coata que está entre las coordenadas UTM (WGS84) a Este 282907 – 401525 y Norte 8328509 – 8239696, en la siguiente figura se puede ver la delimitación final de la UH mayor.

Figura 12

Delimitación final de la UH Coata.





4.1.2. Delimitación de cabeceras de cuenca

Se delimitaron las 106 cabeceras de cuenca identificadas, sus áreas varían desde los 1.45 km² hasta los 28.96 km², en total el área acumulada de las cabeceras de cuenca es de 559.66 km² respecto al área de la Unidad Hidrográfica Coata, esto corresponde al 11.10% de equivalencia, además se estimaron los principales parámetros geomorfológicos de las cabeceras de cuenca; en cuanto a la longitud de ríos pertenecientes a estos ámbitos varían desde los 0.20 km hasta los 8.05 km, esta estimación se obtuvo a partir de un DEM, por lo que para algunos casos puede no mostrar la realidad del río, parámetros como densidad de drenaje quizá no sean tan relevantes debido a que el río principal tomado en cuenta corresponde a uno de orden 1 por metodología Strahler, según lo estimado para el coeficiente de Gravelius (Kc) se observa que todas las cuencas superan el valor de 1 lo que refleja en cuanto a su forma una menor circularidad.

Así mismo reafirmando la hipótesis planteada y en concordancia a lo mencionado por Kavka (2021), las denominadas “cuencas de primer orden” corresponden a pequeñas cabeceras de cuenca con áreas reducidas, donde su delimitación se puede realizar a partir de un modelo digital del terreno, la red hídrica y los embalses de agua en el caso estén presentes en estos ámbitos; referente al porcentaje de influencia se considera que las cabeceras de cuenca pueden obtener mayor influencia al ser analizadas a nivel de UH menor como en el caso de Kavka (2021), caso contrario al de la presente investigación donde se trabaja a nivel de UH mayor por lo que la influencia en cuanto a área es menor.

A continuación, en la Tabla 16 se presentan los resultados obtenidos de los principales parámetros geomorfológicos de las 106 cabeceras de cuenca.

Tabla 16

Parámetros geomorfológicos de las cabeceras de cuenca.

CC ID	Área (km ²)	Perim. (km)	Longitud Río (km)	Ancho Prom. (B)	Longitud Cuenca (Lb)	Densidad Drenaje (Dd)	Factor Forma (F)	Coef. Gravel. (Kc)	Rectángulo Equivalente (Le,+,-)	Circularity Ratio (Cr)	Elongation Ratio (Er)	
001	21.75	22.79	7.53	2.89	7.54	0.35	0.38	1.38	8.97	2.42	11.99	0.70
002	4.29	9.58	1.93	2.22	3.00	0.45	0.74	1.30	3.60	1.19	5.63	0.78
003	7.66	14.15	3.84	1.99	4.17	0.50	0.48	1.44	5.74	1.33	6.80	0.75
004	5.67	10.15	1.50	3.79	3.52	0.26	1.08	1.20	3.41	1.66	7.02	0.76
005	5.61	12.01	3.62	1.55	3.49	0.65	0.44	1.43	4.85	1.16	5.87	0.76
006	2.88	8.09	0.28	10.25	2.39	0.10	4.28	1.35	3.13	0.92	4.47	0.80
007	2.04	5.90	0.28	7.29	1.97	0.14	3.71	1.16	1.84	1.11	4.35	0.82
008	2.24	7.63	1.39	1.61	2.07	0.62	0.78	1.44	3.09	0.72	3.68	0.81
009	9.50	15.35	4.26	2.23	4.71	0.45	0.47	1.40	6.12	1.55	7.78	0.74
010	2.06	7.03	0.32	6.41	1.98	0.16	3.24	1.38	2.78	0.74	3.67	0.82
011	2.11	7.45	0.65	3.26	2.00	0.31	1.63	1.45	3.03	0.70	3.56	0.82
012	3.89	8.55	1.33	2.94	2.84	0.34	1.03	1.22	2.95	1.32	5.73	0.78
013	5.08	11.67	2.52	2.02	3.30	0.50	0.61	1.46	4.77	1.07	5.47	0.77
014	6.11	13.11	2.96	2.07	3.67	0.48	0.56	1.50	5.43	1.13	5.86	0.76
015	2.49	9.09	1.83	1.36	2.20	0.73	0.62	1.63	3.91	0.64	3.44	0.81
016	3.06	10.13	1.84	1.67	2.48	0.60	0.67	1.63	4.36	0.70	3.80	0.80
017	9.77	15.59	4.38	2.23	4.79	0.45	0.47	1.41	6.23	1.57	7.88	0.74
018	2.65	8.18	1.29	2.06	2.28	0.48	0.90	1.42	3.28	0.81	4.07	0.80
019	6.05	12.20	2.86	2.11	3.65	0.47	0.58	1.40	4.85	1.25	6.23	0.76
020	3.01	8.75	1.50	2.00	2.45	0.50	0.82	1.42	3.52	0.85	4.32	0.80
021	4.78	9.81	2.54	1.88	3.19	0.53	0.59	1.27	3.56	1.34	6.12	0.77
022	1.97	6.80	0.46	4.25	1.93	0.24	2.20	1.36	2.65	0.74	3.65	0.82
023	6.45	12.64	3.25	1.99	3.78	0.50	0.53	1.40	5.04	1.28	6.41	0.76
024	6.48	12.29	2.93	2.21	3.79	0.45	0.58	1.36	4.80	1.35	6.62	0.76
025	2.61	8.56	1.40	1.87	2.26	0.54	0.83	1.50	3.55	0.74	3.83	0.81
026	3.63	11.82	2.74	1.33	2.73	0.75	0.49	1.75	5.21	0.70	3.86	0.79
027	4.48	9.50	1.12	4.01	3.08	0.25	1.31	1.27	3.45	1.30	5.92	0.78
028	3.75	9.93	1.59	2.37	2.78	0.42	0.85	1.45	4.03	0.93	4.75	0.79
029	8.31	14.33	4.05	2.05	4.37	0.49	0.47	1.40	5.71	1.46	7.29	0.74
030	4.72	9.20	1.50	3.14	3.17	0.32	0.99	1.20	3.06	1.54	6.44	0.77
031	19.54	22.15	7.79	2.51	7.10	0.40	0.35	1.41	8.87	2.20	11.09	0.70
032	11.15	15.02	4.03	2.77	5.16	0.36	0.54	1.27	5.47	2.04	9.33	0.73
033	2.94	8.57	1.43	2.05	2.42	0.49	0.85	1.41	3.43	0.86	4.31	0.80
034	6.50	14.40	3.59	1.81	3.80	0.55	0.48	1.59	6.14	1.06	5.67	0.76
035	4.20	9.17	1.92	2.19	2.96	0.46	0.74	1.26	3.32	1.27	5.76	0.78
036	1.89	6.22	0.33	5.82	1.88	0.17	3.09	1.28	2.28	0.83	3.82	0.82
037	1.45	6.81	0.56	2.58	1.62	0.39	1.59	1.60	2.91	0.50	2.67	0.84
038	6.67	11.26	2.48	2.69	3.86	0.37	0.70	1.23	3.93	1.70	7.45	0.76
039	1.60	6.11	0.55	2.90	1.71	0.34	1.70	1.36	2.39	0.67	3.28	0.83
040	2.18	7.26	0.88	2.48	2.04	0.40	1.22	1.39	2.87	0.76	3.76	0.82
041	1.83	6.75	0.61	2.99	1.85	0.33	1.62	1.41	2.70	0.68	3.40	0.83
042	10.73	14.58	3.00	3.58	5.05	0.28	0.71	1.26	5.24	2.05	9.25	0.73
043	4.31	11.30	3.12	1.38	3.01	0.72	0.46	1.54	4.74	0.91	4.79	0.78
044	8.77	13.75	3.95	2.22	4.50	0.45	0.49	1.31	5.19	1.69	8.01	0.74
045	3.71	8.39	1.06	3.50	2.76	0.29	1.27	1.23	2.93	1.27	5.56	0.79
046	28.96	25.06	5.49	5.27	8.88	0.19	0.59	1.31	9.47	3.06	14.53	0.68
047	5.53	11.35	3.04	1.82	3.46	0.55	0.52	1.36	4.43	1.25	6.12	0.77
048	8.23	14.10	2.86	2.88	4.34	0.35	0.66	1.39	5.57	1.48	7.34	0.75
049	6.29	13.53	3.13	2.01	3.73	0.50	0.54	1.52	5.65	1.11	5.84	0.76
050	8.25	15.68	5.57	1.48	4.35	0.67	0.34	1.54	6.59	1.25	6.61	0.75
051	10.82	20.08	8.05	1.35	5.08	0.74	0.27	1.72	8.81	1.23	6.77	0.73
052	11.48	18.06	5.88	1.95	5.25	0.51	0.37	1.50	7.50	1.53	7.98	0.73
053	6.25	12.39	3.10	2.02	3.72	0.50	0.54	1.40	4.93	1.27	6.34	0.76
054	3.57	8.99	0.84	4.26	2.70	0.23	1.58	1.34	3.47	1.03	4.98	0.79
055	2.65	8.45	1.37	1.94	2.28	0.52	0.85	1.46	3.45	0.77	3.95	0.80
056	2.23	7.95	0.75	2.99	2.07	0.33	1.44	1.50	3.30	0.67	3.52	0.81
057	2.43	6.63	0.57	4.24	2.17	0.24	1.95	1.20	2.22	1.09	4.60	0.81
058	3.91	10.08	0.82	4.78	2.85	0.21	1.68	1.44	4.08	0.96	4.88	0.78
059	3.25	9.18	1.58	2.05	2.56	0.49	0.80	1.44	3.71	0.88	4.45	0.79
060	2.72	9.66	1.88	1.45	2.32	0.69	0.63	1.65	4.18	0.65	3.54	0.80
061	2.78	10.66	2.40	1.16	2.35	0.86	0.50	1.80	4.74	0.59	3.28	0.80
062	1.90	5.97	0.20	9.50	1.89	0.11	5.03	1.22	2.07	0.92	3.99	0.82
063	1.97	6.76	0.25	7.88	1.93	0.13	4.09	1.36	2.63	0.75	3.66	0.82
064	3.06	10.49	2.16	1.42	2.47	0.71	0.57	1.69	4.58	0.67	3.66	0.80

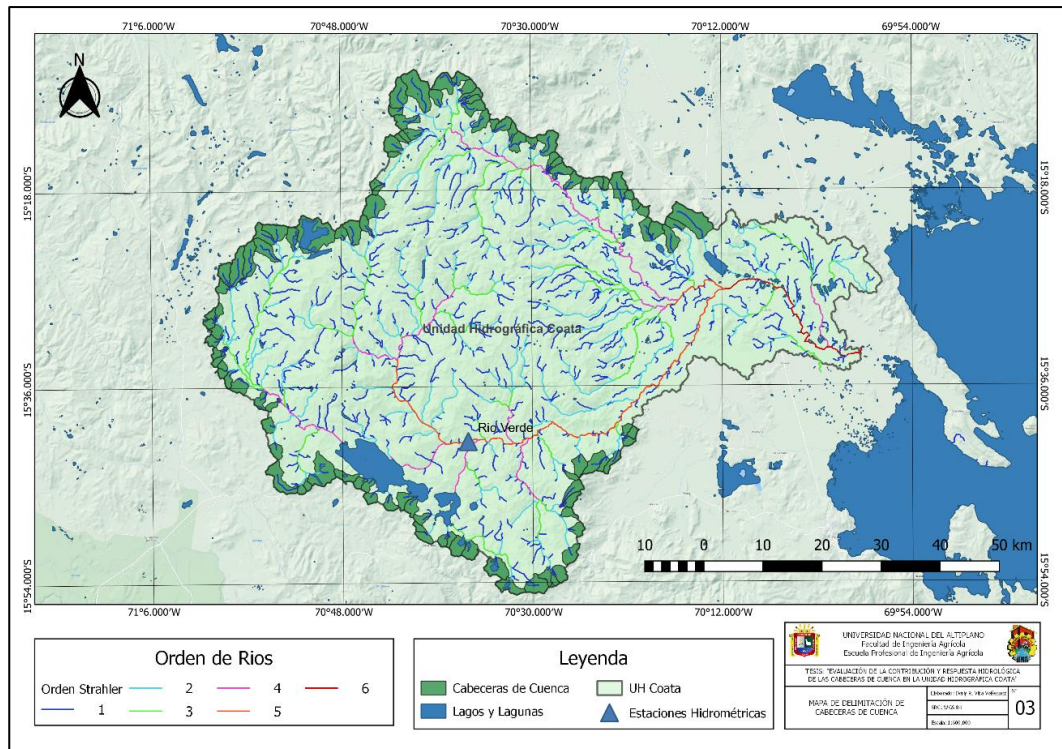


CC ID	Área (km2)	Perim. (km)	Longitud Rio (km)	Ancho Prom. (B)	Longitud Cuenca (Lb)	Densidad Drenaje (Dd)	Factor Forma (F)	Coef. Gravel. (Kc)	Rectángulo Equivalente (Le,+,-)	Circularity Ratio (Cr)	Elongation Ratio (Er)	
065	5.73	10.73	3.16	1.81	3.54	0.55	0.51	1.26	3.89	1.47	6.71	0.76
066	3.93	10.49	2.14	1.83	2.85	0.55	0.64	1.49	4.34	0.90	4.70	0.78
067	2.34	8.63	0.75	3.12	2.13	0.32	1.47	1.59	3.68	0.64	3.41	0.81
068	4.49	9.50	1.21	3.71	3.08	0.27	1.20	1.27	3.45	1.30	5.93	0.78
069	4.33	9.07	1.48	2.92	3.01	0.34	0.97	1.23	3.17	1.36	5.99	0.78
070	11.75	21.35	5.99	1.96	5.32	0.51	0.37	1.76	9.43	1.25	6.92	0.73
071	1.86	5.51	0.41	4.58	1.87	0.22	2.45	1.14	1.58	1.18	4.24	0.82
072	1.81	6.49	0.30	5.94	1.84	0.17	3.24	1.36	2.53	0.71	3.50	0.83
073	16.14	19.54	3.37	4.78	6.37	0.21	0.75	1.37	7.67	2.11	10.38	0.71
074	4.91	11.71	0.70	7.00	3.24	0.14	2.16	1.49	4.84	1.01	5.27	0.77
075	2.91	7.81	0.86	3.40	2.41	0.29	1.41	1.29	2.90	1.00	4.69	0.80
076	3.21	8.18	1.06	3.03	2.55	0.33	1.19	1.29	3.03	1.06	4.94	0.79
077	3.51	7.62	1.89	1.86	2.68	0.54	0.69	1.15	2.26	1.55	5.78	0.79
078	3.82	8.81	1.57	2.44	2.81	0.41	0.87	1.27	3.22	1.19	5.45	0.79
079	5.04	11.18	0.82	6.17	3.29	0.16	1.88	1.40	4.46	1.13	5.67	0.77
080	5.35	10.74	1.99	2.69	3.40	0.37	0.79	1.31	4.05	1.32	6.26	0.77
081	3.51	9.26	1.83	1.92	2.68	0.52	0.72	1.39	3.67	0.96	4.77	0.79
082	2.24	7.72	0.75	2.99	2.07	0.33	1.44	1.46	3.15	0.71	3.64	0.81
083	3.67	8.64	0.33	10.99	2.75	0.09	4.00	1.27	3.16	1.16	5.34	0.79
084	2.76	7.49	1.38	2.00	2.34	0.50	0.86	1.27	2.73	1.01	4.64	0.80
085	2.55	7.94	0.99	2.58	2.23	0.39	1.16	1.40	3.16	0.80	4.03	0.81
086	6.87	10.74	1.51	4.56	3.92	0.22	1.16	1.16	3.27	2.10	8.03	0.75
087	6.46	11.27	2.23	2.90	3.79	0.35	0.77	1.25	4.04	1.60	7.20	0.76
088	10.13	14.77	1.93	5.24	4.89	0.19	1.07	1.31	5.57	1.82	8.62	0.73
089	7.41	14.62	2.26	3.29	4.09	0.30	0.80	1.52	6.10	1.22	6.37	0.75
090	8.91	13.46	1.98	4.51	4.55	0.22	0.99	1.27	4.92	1.81	8.32	0.74
091	3.68	10.71	0.69	5.31	2.75	0.19	1.93	1.57	4.54	0.81	4.32	0.79
092	2.33	8.34	1.14	2.03	2.12	0.49	0.96	1.54	3.51	0.66	3.51	0.81
093	5.27	9.92	1.39	3.80	3.37	0.26	1.13	1.22	3.42	1.54	6.67	0.77
094	6.53	11.84	1.50	4.35	3.81	0.23	1.14	1.31	4.45	1.47	6.93	0.76
095	3.97	9.44	1.59	2.50	2.87	0.40	0.87	1.34	3.63	1.09	5.28	0.78
096	3.37	9.64	0.49	6.88	2.62	0.15	2.63	1.48	3.97	0.85	4.39	0.79
097	4.21	11.20	1.65	2.56	2.97	0.39	0.86	1.54	4.71	0.90	4.73	0.78
098	5.72	13.38	4.27	1.34	3.53	0.75	0.38	1.58	5.68	1.01	5.37	0.76
099	2.32	8.95	1.71	1.35	2.11	0.74	0.64	1.66	3.88	0.60	3.25	0.81
100	6.17	10.95	1.63	3.79	3.69	0.26	1.03	1.24	3.89	1.59	7.08	0.76
101	7.60	14.90	3.27	2.32	4.15	0.43	0.56	1.52	6.23	1.22	6.41	0.75
102	2.39	7.52	0.61	3.93	2.15	0.25	1.83	1.37	2.95	0.81	3.99	0.81
103	4.09	12.01	2.41	1.70	2.92	0.59	0.58	1.67	5.22	0.78	4.28	0.78
104	2.46	7.07	0.49	4.98	2.19	0.20	2.28	1.27	2.59	0.95	4.36	0.81
105	2.70	9.08	1.29	2.09	2.30	0.48	0.90	1.56	3.84	0.70	3.73	0.80
106	2.38	7.84	0.80	2.97	2.15	0.34	1.38	1.43	3.17	0.75	3.82	0.81
559.66	km2			Área Total de Cabeceras de Cuenca								

Nota: La tabla 16 detalla los principales parámetros geomorfológicos de cada cabecera de cuenca, generalmente estos varían de acuerdo al área que abarcan.

Figura 13

Mapa de Cabeceras de cuenca identificas.



Nota: La figura muestra las cabeceras de cuenca delimitadas de color verde oscuro, nótese que no toda el área perimetral es cabecera de cuenca porque existen casos en los que ríos de orden 2 colindan con el divortium aquarum.

De acuerdo a la figura anterior correspondiente al mapa de cabeceras de cuenca delimitadas se observa que se tomaron en cuenta los ríos de orden 1 de la zona perimetral de la UH mayor, pero a su vez se descartaron aquellas que en su territorio están influenciadas por centros urbanos y otros, debido a que existe intervención, estas ya no actúan de forma natural en sus procesos hidrológicos, al igual que con los sistemas ecosistémicos. Así mismo se observa que en la zona norte de la cuenca se encuentran las cabeceras de cuenca con mayores áreas a su contraparte de la zona sur.

4.2. MODELACIÓN HIDROLÓGICA PARA LA ESTIMACIÓN DEL RENDIMIENTO HÍDRICO

4.2.1. Calibración del modelo estocástico determinístico de Lutz Schulz

4.2.1.1. Coeficiente de escurrimiento

Se estimaron los valores correspondientes al Coeficiente de Escorrentía y el Déficit, estos fueron calculados mediante la fórmula de L. Turc, los valores obtenidos fueron de 0.40 y 431.20 mm/año respectivamente, estos valores sirvieron para iniciar con la calibración del modelo.

Tabla 17

Valores estimados del coeficiente de escorrentía - metodología misión alemana.

Parámetro		Valor	Unidad
Precipitación Media Anual	P	715.44	mm/año
Temperatura Media Anual	T	8.00	°C
Coeficiente de Temperatura	L	525.60	
Déficit de Escurrimiento	D	431.20	mm/año
Coeficiente de Escorrentía	C	0.40	

Nota: La tabla muestra los resultados obtenidos para el coeficiente de escorrentía y los parámetros usados para su cálculo.

4.2.1.2. Precipitación efectiva

Para determinar la precipitación efectiva se tomaron en cuenta las tres curvas tipo de precipitación efectiva en función de la precipitación total planteados por el USBR (US Bureau of Reclamation).

Tabla 18*Precipitación efectiva según USBR.*

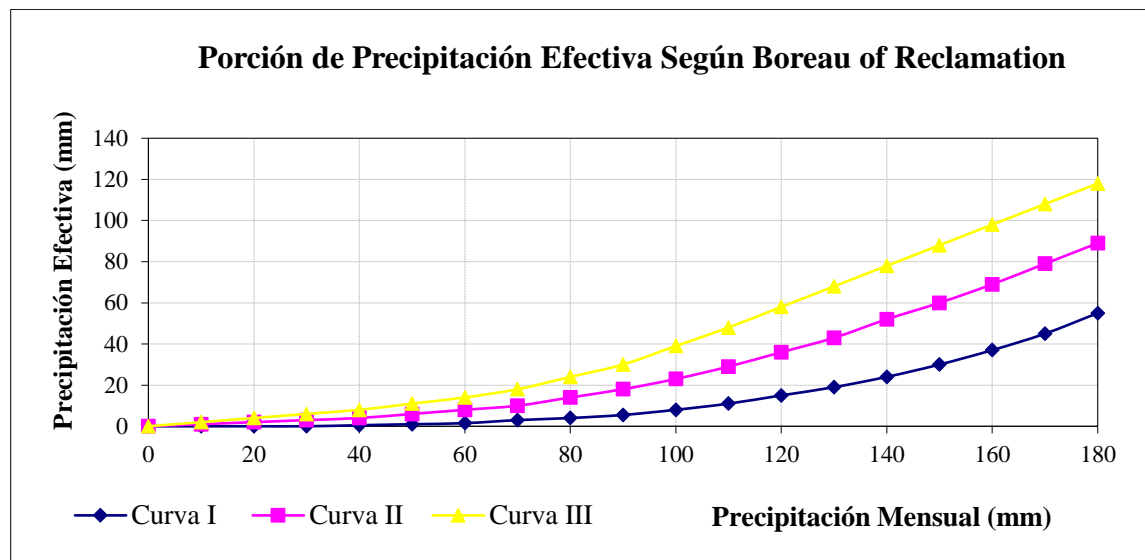
P (mm)	P. Efectiva: PE (mm)		
	Curva I	Curva II	Curva III
0.0	0.0	0.0	0.0
10.0	0.0	1.0	2.0
20.0	0.0	2.0	4.0
30.0	0.0	3.0	6.0
40.0	0.5	4.0	8.0
50.0	1.0	6.0	11.0
60.0	1.5	8.0	14.0
70.0	3.0	10.0	18.0
80.0	4.0	14.0	24.0
90.0	5.5	18.0	30.0
100.0	8.0	23.0	39.0
110.0	11.0	29.0	48.0
120.0	15.0	36.0	58.0
130.0	19.0	43.0	68.0
140.0	24.0	52.0	78.0
150.0	30.0	60.0	88.0
160.0	37.0	69.0	98.0
170.0	45.0	79.0	108.0
180.0	55.0	89.0	118.0

Nota: La tabla muestra los valores de precipitación efectiva según el USBR estos son valores fijos. Tomado de Scholz (1980).

La estimación de la Precipitación Efectiva a partir de la lluvia real para la cuenca de calibración fue interpolada mediante regresión polinomial. La Figura 14 muestra las curvas que relacionan la precipitación efectiva y la precipitación total. Los valores de los coeficientes se obtuvieron de la correlación entre la precipitación total y la precipitación efectiva por cada curva.

Figura 14

Curvas de precipitación efectiva según USBR.



Nota: La figura muestra las curvas de precipitación efectiva según el USBR a partir de los valores de la Tabla 18. Tomado de Scholz (1980).

Los datos calculados de la Precipitación Efectiva se detallan en la Tabla 19, donde se observa que los valores se encuentran en un intervalo de 0.416 mm/mes a 93.817 mm/mes, que corresponde a los meses de julio y enero, además que la precipitación efectiva anual corresponde a 284.233 mm/año.

Tabla 19*Resultados obtenidos de precipitación efectiva mensual (mm).*

Mes	Precipitación mensual			
	P Total mm/mes	Efectiva		
		PE - II mm/mes	PE - III mm/mes	PE mm/mes
Ene	166.728	80.233	109.628	93.817
Feb	138.711	53.229	81.64	66.359
Mar	123.806	40.648	67.147	52.894
Abr	43.249	4.748	9.86	7.11
May	14.17	1.561	2.762	2.116
Jun	3.603	0.44	0.79	0.602
Jul	2.458	0.299	0.553	0.416
Ago	8.627	1.006	1.759	1.354
Set	13.597	1.506	2.659	2.039
Oct	29.857	3.07	5.944	4.398
Nov	62.7	8.722	18.532	13.255
Dic	107.931	29.194	52.302	39.873
Total	715.437	224.656	353.576	284.233

Nota: La tabla muestra los resultados obtenidos de precipitación efectiva mensual para las curvas II y III.

4.2.1.3. Retención de la cuenca

Para la estimación de este parámetro se consideraron las áreas que abarcan los lagos o lagunas los cuales tienen una extensión de 47.95 km², así también los nevados con una extensión de 63.08 km², no se encontró data oficial de acuíferos en el territorio de la cuenca de calibración, finalmente en primera instancia se obtuvo el valor de la Retención de la Cuenca que corresponde a 30.02 mm/año.

4.2.1.4. Coeficiente de agotamiento

Considerando las características de la cuenca de calibración y a su pertenencia a la ecorregión altiplánica de la Puna, se considera que esta pertenece a una cuenca con un agotamiento mediano y una retención



mediana, y siguiendo con la metodología planteada se determinó un valor del coeficiente de agotamiento de $a = 0.007$.

4.2.1.5. Relación descarga – retención

Se estimó a partir del valor calculado del Coeficiente de Agotamiento en relación a los días del mes, se obtiene un valor de 0.72 para la relación de caudales.

4.2.1.6. Abastecimiento de la retención

Los cálculos estimados que corresponden a la lámina de abastecimiento de las épocas de estiaje y avenidas son detallados en la Tabla 10, donde los valores de la región Cusco se encuentra más cerca de la cuenca de calibración seleccionada. Posteriormente en la calibración estos valores de (%) fueron modificados para obtener un mejor ajuste, obteniendo así un valor final de abastecimiento de la retención anual de 30.02 mm/año.

Tabla 20*Abastecimiento de la retención mensual (mm/mes).*

Mes	Abastecimiento	
	ai	Ai (mm/mes)
Ene	1.09	32.59
Feb	-0.06	-1.74
Mar	-0.25	-7.54
Abr	0.00	0.00
May	0.00	0.00
Jun	0.00	0.00
Jul	0.00	0.00
Ago	0.00	0.00
Set	0.00	0.00
Oct	-0.03	-0.82
Nov	-0.03	-0.86
Dic	0.28	8.38
Total	1.00	30.02

Nota: La tabla muestra los resultados obtenidos para el abastecimiento de la cuenca de calibración en porcentaje.

4.2.1.7. Gasto de la retención

Los valores calibrados de la contribución mensual de la época seca del año que corresponde a los meses de abril, mayo, junio, julio, agosto y septiembre, fueron calculados por la Fórmula 37 y cuyos resultados calibrados se detallan en la siguiente Tabla 21.

Tabla 21*Gasto de la retención mensual (mm/mes).*

Mes	Gasto	
	bi	Gi mm/mes
Ene	0.00	0.00
Feb	0.00	0.00
Mar	0.00	0.00
Abr	0.59	17.60
May	0.17	5.18
Jun	0.09	2.56
Jul	0.07	1.97
Ago	0.05	1.41
Set	0.04	1.30
Oct	0.00	0.00
Nov	0.00	0.00
Dic	0.00	0.00
Total	1.00	30.02

Nota: La tabla muestra los resultados obtenidos para el gasto de la retención de la cuenca de calibración en porcentaje.

4.2.1.8. Generación de caudales mensuales para un año promedio.

Mediante la interfaz de la plataforma ANDREA se logró calibrar los valores de Abastecimiento y Gasto de la retención que se detallaron en los ítems anteriores, además se calibro el valor de Gasto anual de Retención con un valor de 22.96 mm/año y el Coeficiente de Escorrentía con un valor de 0.227.

A continuación, se presenta la tabla resumen de todos los parámetros calibrados para la generación de caudales medios mensuales para el año promedio, tenido en cuenta los resultados obtenidos estos son similares a los estimados por el (INRENA, 2007), donde determinaron el valor de 24.0 mm/año para el gasto de retención para la misma cuenca de calibración del río Verde, en cuanto a los caudales generados el promedio anual que determinaron fue de 11.78 m³/s a comparación del desarrollado

en esta investigación con un valor de $10.63 \text{ m}^3/\text{s}$, a su vez el valor generado es superior al promedio anual observado de $9.72 \text{ m}^3/\text{s}$ para el periodo de 1964 – 2014.

Tabla 22

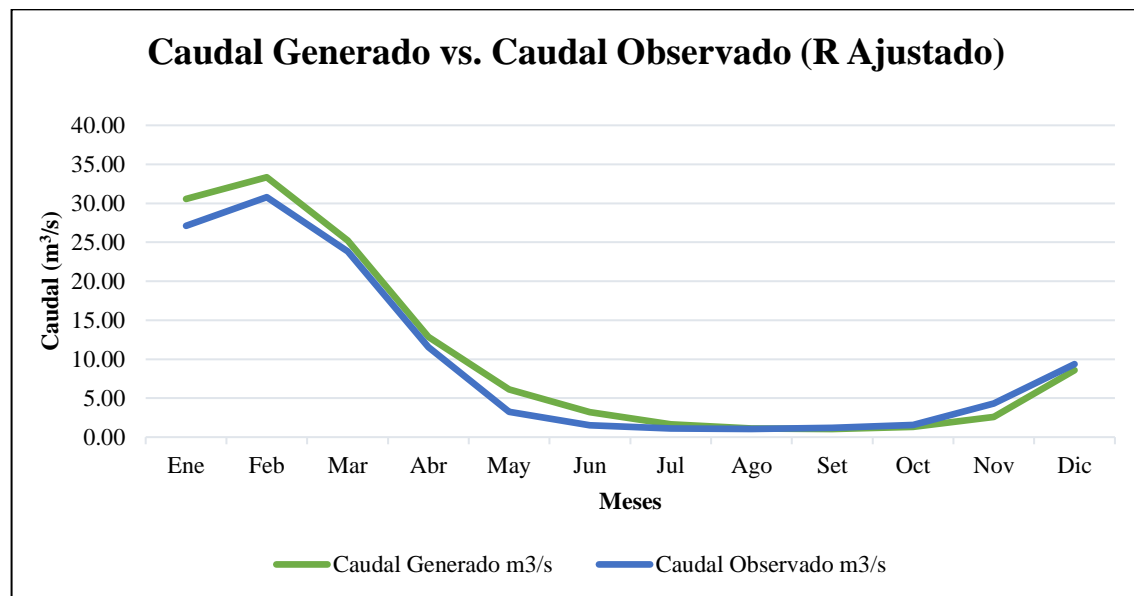
Caudales generados y aforados para el año promedio (m^3/s).

Mes	Precipitación mensual				Retención				Caudales Generados	
	P Total mm/m es	Efectiva			Gasto bi	Abastecimiento			Caudal Generad o m^3/s	Caudal Observad o m^3/s
		PE - II mm/me s	PE - III mm/mes	PE mm/ mes		Gi mm/m es	ai	Ai (mm/me s)		
Ene	166.73	80.23	109.63	93.82	0.00	0.00	1.09	24.93	30.55	27.12
Feb	138.71	53.23	81.64	66.36	0.00	0.00	-0.06	-1.33	33.34	30.78
Mar	123.81	40.65	67.15	52.89	0.00	0.00	-0.25	-5.77	25.20	23.83
Abr	43.25	4.75	9.86	7.11	0.59	13.46	0.00	0.00	12.86	11.53
May	14.17	1.56	2.76	2.12	0.17	3.96	0.00	0.00	6.14	3.23
Jun	3.60	0.44	0.79	0.60	0.09	1.96	0.00	0.00	3.19	1.53
Jul	2.46	0.30	0.55	0.42	0.07	1.51	0.00	0.00	1.66	1.12
Ago	8.63	1.01	1.76	1.35	0.05	1.08	0.00	0.00	1.11	1.05
Set	13.60	1.51	2.66	2.04	0.04	0.99	0.00	0.00	1.04	1.20
Oct	29.86	3.07	5.94	4.40	0.00	0.00	-0.03	-0.63	1.30	1.54
Nov	62.70	8.72	18.53	13.26	0.00	0.00	-0.03	-0.65	2.60	4.30
Dic	107.93	29.19	52.30	39.87	0.00	0.00	0.28	6.41	8.57	9.35
Tota l	715.44	224.66	353.58	284.23	1.00	22.96	1.00	22.96	127.56	116.59

Nota: La tabla muestra los resultados finales de calibración por el modelo de Lutz Scholz para la cuenca de calibración, a partir de esta data se generarán los caudales medios mensuales de todas las cabeceras de cuenca.

Figura 15

Caudal generado vs. caudal observado.



Se puede observar la gran similitud gráfica de los datos de caudales generados y observados, al realizar las pruebas estadísticas de bondad de ajuste nos indican que la calibración es la adecuada y cuyos resultados se detallan en la Tabla 23:

Tabla 23

Resultados de medidas de bondad de ajuste para la calibración del modelo.

Medidas de Bondad de Ajuste	Denominación	Calificación	
		Cuantitativa	Cualitativa
Coefficiente de suficiencia de Nash-Sutcliffe	E	0.75	Muy Buena
Schulz	E log	0.68	Muy Buena
Raíz del Error Cuadrático Medio	D	2.75	Muy Buena
Desviación Media Acumulada	RMSE	6.98	
	MAD	4.03	

Nota: La tabla muestra los resultados de las métricas de las medidas de bondad de ajuste para la calibración del modelo.

Se verifica que el valor de Nash Sutcliffe es de 0.75 lo que nos da a entender que el modelo calibrado es muy bueno, así mismo el valor de Schulz de 2.75 que corrobora la correcta calibración, teniendo la certeza del buen desenvolvimiento del modelo se procedió a validar el modelo de



la misma forma. El SENAMHI (2016), realizó un modelamiento hidrológico para estimar de igual forma los caudales medios mensuales pero a diferencia de la presente investigación fue desarrollada con el modelo GR2M donde obtuvieron mejores resultados en cuanto a las métricas por ejemplo el coeficiente de Nash Sutcliffe para calibración de 0.85 lo que da a entender el mejor desenvolvimiento del modelo GR2M a comparación del modelo Lutz Scholz, así mismo en cuanto a la métrica del RMSE el obtenido por el SENAMHI es de 15.50 en cuanto a su calibración a comparación del 6.98 estimado en la presente investigación que difiere ya que existe un mejor ajuste al calculado por el SENAMHI (2016), cabe mencionar que utilizaron la data de precipitación de modelos bajo escenarios del cambio climático. Por otro lado, (Herrera Velasquez, 2015), estimó un valor de Nash Sutcliffe de 0.70 utilizando también el modelo GR2M, se tiene la hipótesis del bajo puntaje a comparación del desarrollado por el SENMAHI la baja calidad de datos de precipitación total mensual con la que se desarrolló. Finalmente, las métricas adicionales evaluadas en la presente investigación tales como el criterio de Lutz con un valor de 2.75 corrobora el buen comportamiento del modelo con una calificación de muy bueno, los valores de RMSE y Desviación Media Acumulada con valores de 6.98 y 4.03 respectivamente tienen una cierta aproximación al mínimo valor siendo consideradas como buenas.

4.2.2. Validación del modelo

Se utilizó el 30% de los valores de precipitación media areal y los caudales aforados en el punto de desfogue de la cuenca del río Verde, para ello se

introdujeron los valores antes calculados de Gasto Mensual de Retención con un valor de 22.9601 mm/año y el Coeficiente de Escorrentía con un valor de 0.227.

Finalmente, para corroborar la eficiencia del modelo se volvieron a estimar las medidas de bondad de ajuste para la nueva serie observada y generada teniendo los siguientes resultados detallados en la Tabla 24.

Tabla 24

Medidas de bondad de ajuste para la validación del modelo.

Medidas de Bondad de Ajuste	Denominación	Calificación	
		Calibración	Validación
Coeficiente de suficiencia de Nash Sutcliffe	E	0.75	0.77
	E log	0.68	0.79
	D	2.75	3.33
Raíz del Error Cuadrático Medio	RMSE	6.98	8.28
Desviación Media Acumulada	MAD	4.03	4.85

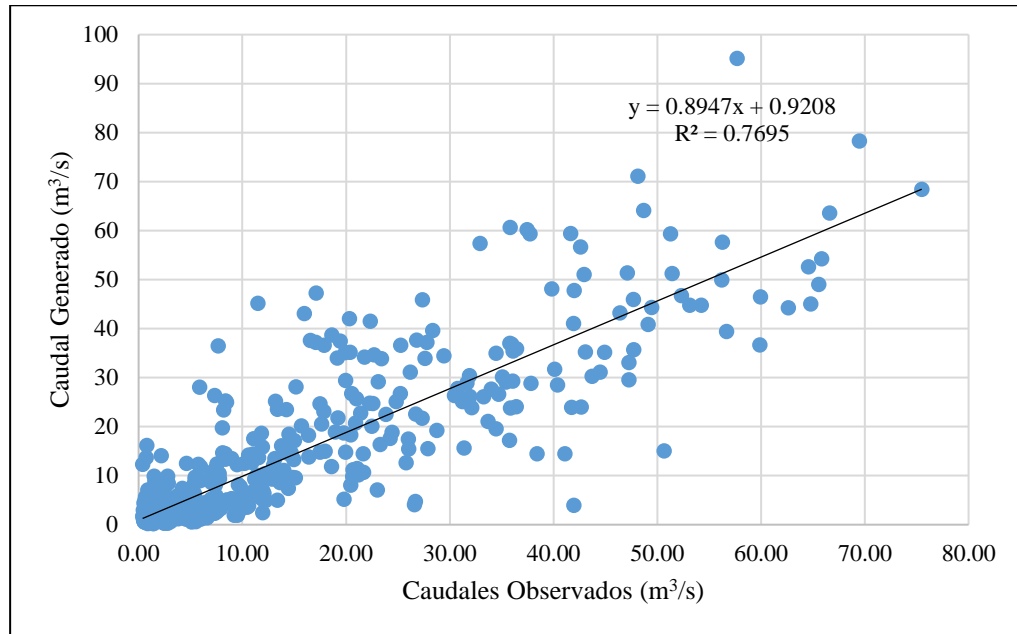
Nota: La tabla muestra los resultados de las métricas de las medidas de bondad de ajuste para la validación del modelo.

Se observa que el valor de Nash Sutcliffe es de 0.77 con una calificación de muy buena, que finalmente valida que el modelo realizado es óptimo para una generación de caudales en otros puntos de interés de la cuenca. En cuanto a lo desarrollado por el SENAMHI (2016), obtuvieron un valor de Nash Sutcliffe de 0.64 y a su vez Herrera Velasquez (2015) obtuvo un valor de 0.66 donde para la fase de validación el modelo de Lutz Scholz tuvo mejor comportamiento respecto al modelo GR2M. Comparando los valores obtenidos de la fase de calibración y validación la métrica de Nash Sutcliffe obtuvo un mejor valor a comparación de la calibración. Por otro lado, las métricas adicionales evaluadas en la presente investigación tales como el criterio de Lutz con un valor de 3.33 corrobora el buen comportamiento del modelo con una calificación de bueno a comparación de la calibración la puntuación fue reducida, los valores de RMSE y Desviación Media

Acumulada con valores de 8.28 y 4.85 respectivamente tienen una cierta aproximación al mínimo valor siendo consideradas como buenas.

Figura 16

Diagrama de dispersión de los caudales generados vs. los caudales observados.



Nota: La figura muestra el diagrama de dispersión de la data de caudales generados versus los observados.

En la Figura 16 se muestra el diagrama de dispersión de los datos observados con los generados donde se aprecia que el coeficiente de correlación (R^2) es de 0.7695 siendo este un valor considerado bueno habiendo una correlación positiva.

4.2.3. Descargas medias mensuales generadas

Se genero la serie de descargas medias mensuales para la cuenca de calibración cuyo resultado fue el siguiente:

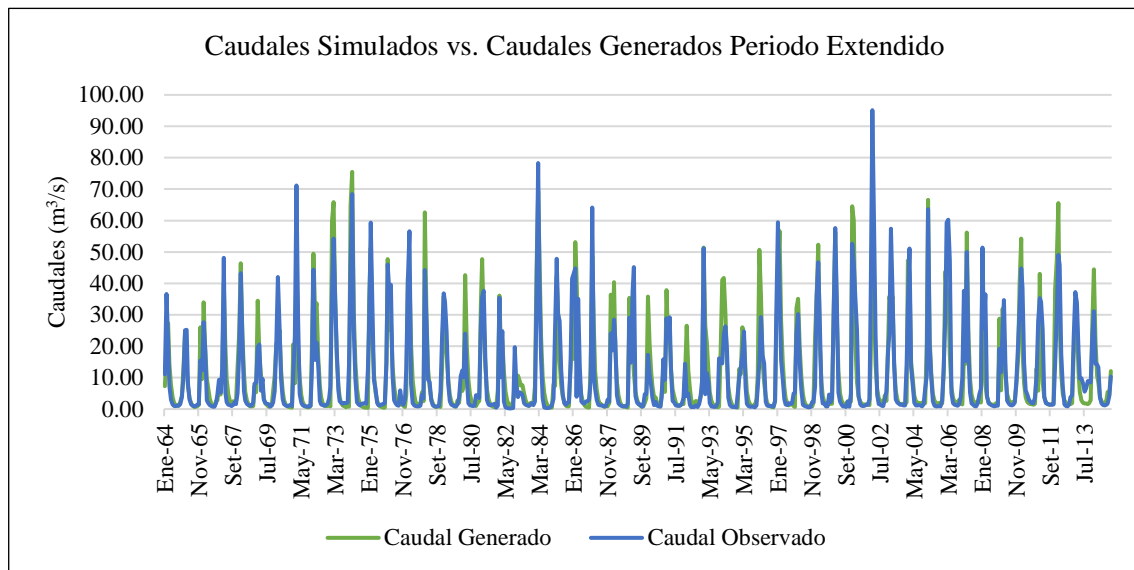
Tabla 25*Descargas medias mensuales generadas para la cuenca de calibración Verde.*

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Promedio
1964	7.28	17.88	27.33	14.43	7.66	3.82	1.88	1.15	1.08	1.03	2.25	4.21	7.50
1965	13.20	24.82	13.20	7.30	3.48	1.84	1.08	0.67	0.75	0.83	1.32	26.05	7.88
1966	9.50	33.99	18.96	9.71	6.82	3.40	1.69	0.97	1.00	2.60	2.84	7.07	8.21
1967	4.60	10.19	39.83	19.81	9.50	4.69	2.58	1.62	2.49	2.35	1.94	13.38	9.42
1968	24.23	46.41	23.84	11.58	5.42	2.75	1.46	0.90	0.85	0.95	7.40	5.35	10.93
1969	34.44	17.65	11.03	7.16	3.35	1.80	1.23	0.77	1.01	1.52	5.64	10.59	8.02
1970	20.91	20.32	25.23	12.31	5.64	2.85	1.45	0.86	0.61	0.55	0.48	20.65	9.32
1971	8.20	48.13	19.96	9.85	4.53	2.35	1.22	0.75	0.56	0.52	0.95	18.58	9.64
1972	49.44	31.36	33.69	16.42	7.56	3.77	1.85	1.03	0.97	0.98	1.54	0.88	12.46
1973	59.87	65.84	34.47	16.38	7.47	3.69	1.83	1.02	0.91	0.59	1.13	0.72	16.16
1974	64.78	75.49	31.21	14.86	6.74	3.38	1.67	1.01	0.66	0.49	0.42	0.39	16.76
1975	34.70	51.27	23.41	11.19	5.38	2.74	1.39	0.85	0.62	0.46	0.42	14.72	12.26
1976	47.71	25.27	28.34	13.99	7.31	3.66	1.98	1.51	2.66	1.42	1.07	0.69	11.30
1977	4.62	41.93	42.59	20.44	9.23	4.54	2.32	1.41	1.36	1.57	5.33	2.53	11.49
1978	62.63	30.74	12.84	6.99	3.28	1.76	0.98	0.64	0.76	1.00	0.67	13.37	11.31
1979	35.96	21.77	17.48	9.63	4.48	2.29	1.30	1.08	0.73	2.65	2.00	7.77	8.93
1980	5.75	7.02	42.68	20.62	9.52	4.67	2.45	1.53	1.75	0.96	2.01	2.63	8.47
1981	33.26	47.73	26.81	13.77	6.27	3.16	1.59	1.13	0.74	0.54	0.90	6.01	11.83
1982	36.08	21.18	22.28	11.96	5.51	2.79	1.44	0.89	1.41	2.44	8.06	4.21	9.85
1983	10.61	8.97	7.47	7.54	4.93	2.77	1.40	0.94	1.93	2.03	1.46	7.33	4.78
1984	44.90	69.48	49.11	23.28	10.44	5.12	2.45	1.31	0.83	0.54	0.46	7.91	17.99
1985	7.33	41.98	31.88	15.17	7.56	3.92	1.94	1.10	0.89	0.84	13.14	22.34	12.34
1986	15.97	53.11	41.95	19.91	8.96	4.41	2.14	1.17	0.77	0.53	0.45	13.64	13.58
1987	48.67	25.80	12.09	6.12	2.90	1.61	1.47	0.92	0.66	1.23	0.81	1.91	8.68
1988	36.41	19.78	40.39	19.20	8.71	4.31	2.10	1.17	0.80	0.83	0.63	0.49	11.24
1989	35.42	17.48	19.42	11.48	5.40	2.98	1.66	1.10	0.78	0.88	1.85	3.44	8.49
1990	35.76	21.01	11.87	7.31	3.82	3.73	1.83	1.49	1.01	5.49	11.93	5.46	9.23
1991	37.82	21.40	23.09	13.01	6.30	4.05	2.05	1.14	1.00	1.38	1.70	1.53	9.54
1992	11.03	26.57	12.25	6.59	3.09	1.78	1.01	2.59	1.44	2.48	3.78	5.94	6.55
1993	51.42	26.67	21.05	11.64	5.40	2.76	1.41	1.16	0.81	0.55	0.80	17.98	11.80
1994	41.10	41.72	30.46	14.50	6.99	3.50	1.74	1.00	0.69	0.62	0.50	12.74	12.96
1995	11.05	26.00	22.59	11.95	5.48	2.76	1.42	0.93	1.12	1.11	3.16	11.03	8.22
1996	50.66	36.07	15.01	8.35	4.01	2.09	1.11	0.86	0.66	0.52	2.38	26.19	12.33
1997	41.64	56.69	27.89	15.11	7.08	3.53	1.76	1.17	1.70	1.59	0.95	0.63	13.31
1998	32.10	35.07	19.96	10.43	4.79	2.58	1.33	0.82	0.59	1.32	0.81	1.95	9.31
1999	22.99	36.43	52.32	20.53	8.50	4.11	2.25	1.66	1.94	1.60	1.92	1.67	13.00
2000	31.64	56.28	29.43	11.92	5.07	2.72	1.77	1.62	1.63	2.46	1.82	2.39	12.40
2001	64.57	59.94	20.38	8.46	3.85	2.47	1.67	1.48	1.51	1.44	1.36	1.28	14.04
2002	17.07	57.69	35.80	14.26	6.36	3.40	2.78	1.92	1.81	4.30	2.55	20.44	14.03
2003	35.85	32.91	35.78	14.34	5.94	3.15	1.90	1.54	1.71	1.53	1.38	2.17	11.52
2004	47.27	42.95	14.96	9.81	4.19	2.46	2.02	2.01	1.66	1.84	2.43	1.85	11.12
2005	21.69	66.60	22.49	11.40	4.79	2.66	1.88	1.54	1.85	2.13	1.76	11.57	12.53
2006	43.72	37.74	37.44	17.10	6.96	3.59	2.14	1.84	2.30	2.90	1.99	1.51	13.27
2007	16.57	14.36	56.22	24.44	9.69	4.53	2.69	1.86	2.05	2.15	3.49	2.07	11.68
2008	47.11	21.00	7.69	3.78	2.24	1.70	1.42	1.34	1.33	1.86	1.76	28.74	10.00
2009	5.96	31.92	22.69	10.92	4.85	2.86	2.17	1.73	2.33	2.69	7.81	15.69	9.30
2010	40.09	54.24	18.62	8.11	3.75	2.34	1.80	1.54	1.59	1.40	1.70	12.92	12.34
2011	5.89	43.08	19.16	8.38	3.76	2.15	1.59	1.41	1.47	1.45	1.88	38.40	10.72
2012	47.26	65.55	27.36	11.09	4.73	2.75	1.86	1.59	1.59	1.55	1.85	17.85	15.42
2013	27.79	27.62	11.83	5.46	2.78	1.96	1.79	1.79	1.58	1.92	2.85	26.72	9.51
2014	44.49	21.66	10.61	8.36	3.85	2.39	1.91	1.84	2.84	5.40	4.36	12.10	9.98

Nota: La tabla presenta los caudales generados para la cuenca de calibración del río verde cuyo rango de promedios anuales oscilan entre los 4.78 m³/s hasta los 16.76 m³/s.

Figura 17

Caudales generados y aforados - periodo extendido.



Nota: La figura muestra el hidrograma de los caudales generados y observados para el periodo completo de 1964 - 2014.

Se generaron las descargas medias mensuales para las 106 cabeceras de cuenca identificadas cuyos resultados fueron promediados y divididos en clases para la asignación de la ponderación correspondiente, a continuación, se muestra la tabla resumen de los caudales medios generados por cada Cabecera de Cuenca:



CC ID	Área (km ²)	Mes												Q Total Anual (m ³ /s)
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
059	3.216	0.011	0.010	0.007	0.010	0.018	0.025	0.027	0.028	0.028	0.022	0.018	0.010	0.214
060	2.707	0.037	0.043	0.036	0.020	0.010	0.005	0.003	0.001	0.001	0.002	0.002	0.008	0.168
061	2.771	0.038	0.044	0.037	0.020	0.010	0.005	0.003	0.001	0.001	0.002	0.003	0.008	0.172
062	1.900	0.023	0.027	0.023	0.013	0.008	0.007	0.006	0.006	0.005	0.003	0.003	0.008	0.132
063	1.950	0.027	0.031	0.026	0.014	0.007	0.004	0.002	0.001	0.001	0.001	0.002	0.006	0.122
064	3.000	0.041	0.047	0.040	0.022	0.011	0.006	0.003	0.001	0.001	0.002	0.003	0.009	0.186
065	5.753	0.078	0.091	0.076	0.042	0.021	0.011	0.005	0.003	0.002	0.003	0.005	0.016	0.353
066	3.900	0.013	0.012	0.008	0.012	0.021	0.030	0.033	0.033	0.033	0.027	0.021	0.012	0.255
067	2.346	0.032	0.037	0.031	0.017	0.009	0.004	0.002	0.001	0.001	0.001	0.002	0.006	0.143
068	4.574	0.061	0.071	0.060	0.033	0.017	0.009	0.004	0.002	0.002	0.002	0.004	0.011	0.276
069	4.282	0.013	0.013	0.009	0.013	0.022	0.032	0.034	0.035	0.035	0.029	0.023	0.013	0.271
070	10.277	0.032	0.030	0.021	0.031	0.053	0.075	0.081	0.083	0.082	0.068	0.055	0.032	0.643
071	1.870	0.024	0.028	0.024	0.013	0.007	0.003	0.002	0.001	0.001	0.001	0.002	0.004	0.110
072	1.811	0.024	0.027	0.023	0.013	0.007	0.003	0.002	0.001	0.000	0.001	0.002	0.004	0.107
073	16.153	0.053	0.049	0.033	0.050	0.085	0.120	0.131	0.134	0.132	0.108	0.087	0.049	1.031
074	4.919	0.068	0.080	0.063	0.034	0.017	0.009	0.004	0.002	0.002	0.002	0.004	0.013	0.298
075	2.912	0.036	0.044	0.033	0.017	0.012	0.011	0.010	0.009	0.008	0.006	0.006	0.013	0.205
076	3.218	0.040	0.049	0.036	0.019	0.013	0.012	0.011	0.011	0.009	0.007	0.007	0.014	0.228
077	3.542	0.044	0.053	0.039	0.021	0.014	0.014	0.013	0.012	0.010	0.007	0.008	0.015	0.250
078	3.829	0.060	0.072	0.048	0.024	0.011	0.006	0.003	0.002	0.002	0.003	0.005	0.013	0.249
079	5.056	0.022	0.021	0.013	0.018	0.031	0.041	0.043	0.043	0.043	0.034	0.026	0.015	0.350
080	5.325	0.023	0.023	0.014	0.019	0.032	0.043	0.046	0.046	0.045	0.036	0.028	0.016	0.371
081	3.516	0.056	0.067	0.044	0.022	0.010	0.005	0.003	0.002	0.002	0.003	0.005	0.012	0.231
082	2.213	0.035	0.042	0.028	0.014	0.006	0.003	0.002	0.001	0.001	0.002	0.003	0.007	0.144
083	3.631	0.016	0.015	0.009	0.013	0.022	0.029	0.031	0.031	0.031	0.024	0.019	0.011	0.251
084	2.756	0.044	0.053	0.035	0.017	0.008	0.004	0.002	0.002	0.001	0.002	0.004	0.010	0.182
085	2.536	0.033	0.039	0.028	0.014	0.010	0.010	0.009	0.009	0.008	0.006	0.006	0.012	0.184
086	6.840	0.108	0.130	0.086	0.043	0.020	0.011	0.006	0.004	0.004	0.005	0.009	0.025	0.451
087	6.504	0.029	0.027	0.017	0.023	0.040	0.053	0.057	0.057	0.055	0.044	0.034	0.019	0.455
088	10.126	0.158	0.189	0.127	0.065	0.031	0.016	0.009	0.006	0.006	0.008	0.013	0.038	0.666
089	7.030	0.089	0.106	0.077	0.041	0.028	0.028	0.026	0.024	0.021	0.015	0.016	0.033	0.504
090	8.919	0.110	0.132	0.098	0.054	0.037	0.036	0.033	0.030	0.026	0.019	0.021	0.044	0.640
091	3.670	0.054	0.065	0.046	0.025	0.012	0.007	0.004	0.003	0.003	0.004	0.006	0.015	0.244
092	2.332	0.029	0.035	0.026	0.014	0.010	0.009	0.009	0.008	0.007	0.005	0.006	0.012	0.170
093	5.288	0.065	0.078	0.058	0.032	0.022	0.021	0.020	0.018	0.015	0.011	0.013	0.027	0.380
094	6.480	0.080	0.096	0.071	0.040	0.027	0.026	0.024	0.022	0.019	0.014	0.016	0.033	0.468
095	3.989	0.018	0.016	0.010	0.015	0.025	0.033	0.035	0.036	0.034	0.027	0.021	0.013	0.283
096	3.372	0.015	0.014	0.009	0.013	0.021	0.028	0.030	0.030	0.029	0.023	0.018	0.011	0.241
097	4.221	0.061	0.074	0.052	0.028	0.014	0.008	0.005	0.003	0.003	0.005	0.007	0.019	0.279
098	5.720	0.084	0.101	0.071	0.038	0.019	0.011	0.007	0.005	0.005	0.006	0.010	0.026	0.383
099	2.316	0.029	0.035	0.026	0.015	0.010	0.009	0.009	0.008	0.007	0.005	0.006	0.013	0.172
100	6.168	0.089	0.105	0.075	0.042	0.022	0.013	0.008	0.006	0.006	0.008	0.012	0.032	0.418
101	7.608	0.108	0.128	0.092	0.052	0.027	0.016	0.010	0.008	0.008	0.010	0.015	0.039	0.513
102	2.396	0.034	0.040	0.029	0.016	0.009	0.005	0.003	0.002	0.002	0.003	0.005	0.012	0.160
103	4.098	0.051	0.061	0.046	0.027	0.018	0.017	0.015	0.014	0.011	0.009	0.011	0.024	0.304
104	2.461	0.012	0.010	0.007	0.010	0.016	0.021	0.023	0.022	0.021	0.017	0.014	0.009	0.182
105	2.715	0.013	0.011	0.007	0.011	0.018	0.024	0.025	0.025	0.024	0.018	0.015	0.010	0.201
106	2.384	0.011	0.010	0.006	0.009	0.016	0.021	0.022	0.022	0.021	0.016	0.014	0.009	0.177
Total, Acumulado													40.265	

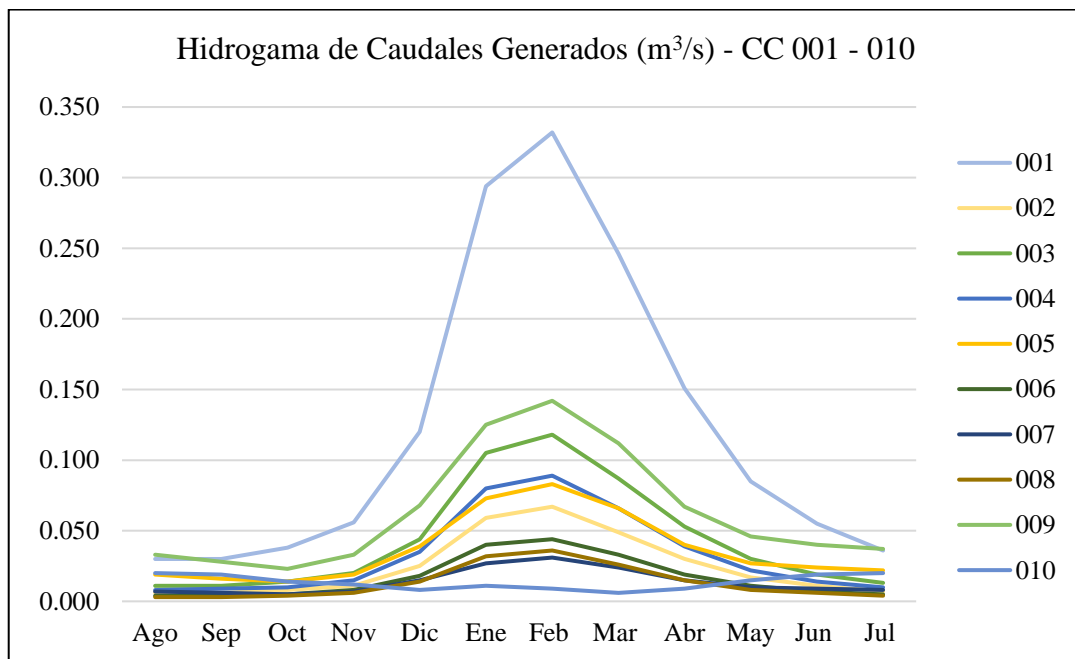
Nota: La tabla muestra los caudales acumulados anuales para las 106 cabeceras de cuenca teniendo una sumatoria de 40.265 m³/s.

A continuación, se presenta los hidrogramas de caudales generados por cabecera de cuenca agrupados de 10 en 10 para una mejor observación, teniendo esto en cuenta se verifica que todos los hidrogramas cumplen con un patrón tendencial, las cabeceras de cuenca más grandes generan caudales mayores esto

se notó con mayor claridad en la zona norte de la cuenca al contrario de la zona sur donde las cabeceras de cuenca en su mayoría tienen pequeñas áreas. Por lo que los hidrogramas de las Figura 18 a la Figura 23 tienen mayores caudales generados a los de las Figura 24 a la Figura 28.

Figura 18

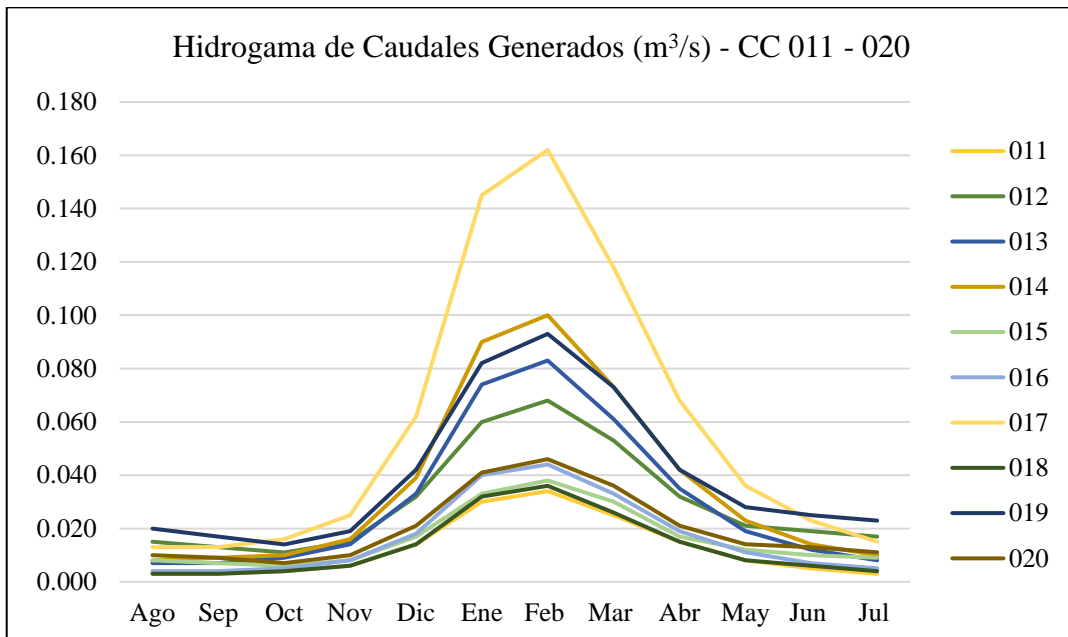
Hidrograma de caudales generados para las cabeceras 001 - 010.



Nota: La figura los hidrogramas de caudales medios generados en m³/s.

Figura 19

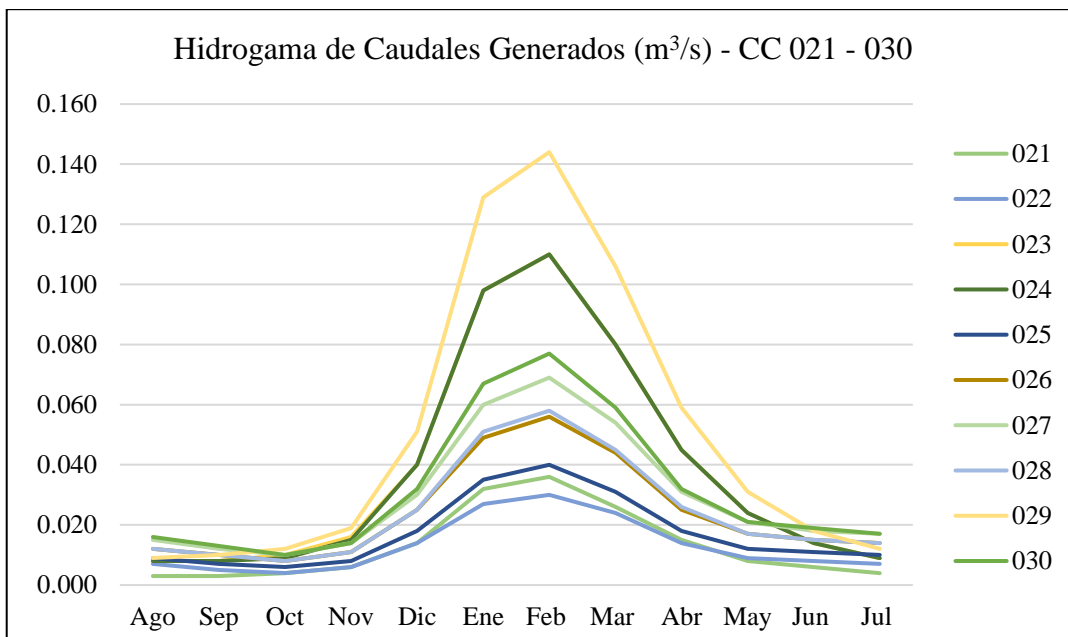
Hidrograma de caudales generados para las cabeceras 011 - 020.



Nota: La figura los hidrogramas de caudales medios generados en m³/s.

Figura 20

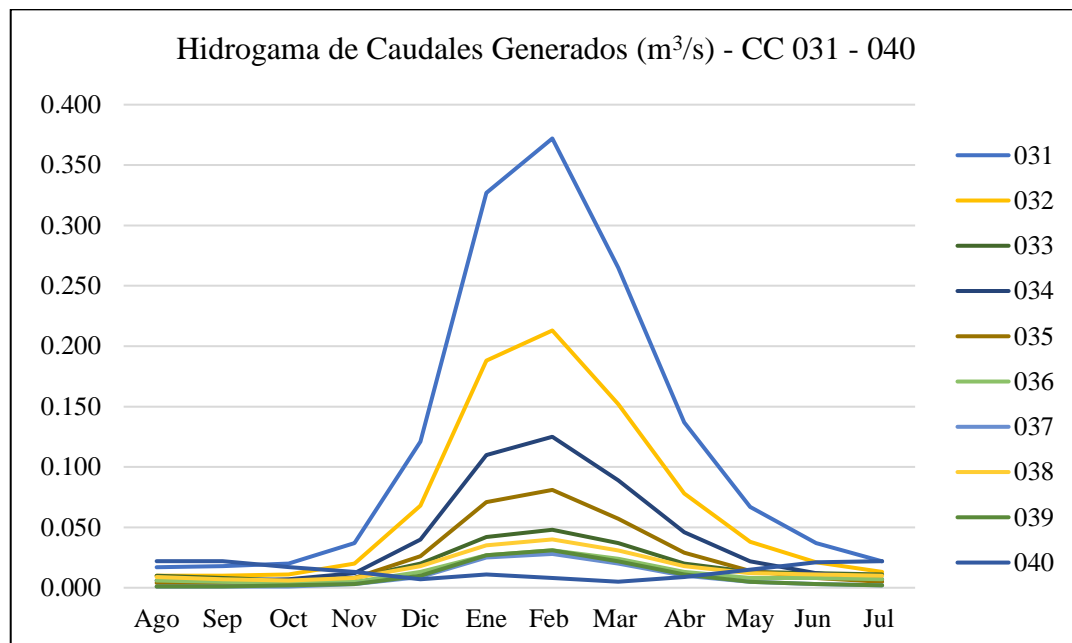
Hidrograma de caudales generados para las cabeceras 021 - 030.



Nota: La figura los hidrogramas de caudales medios generados en m³/s.

Figura 21

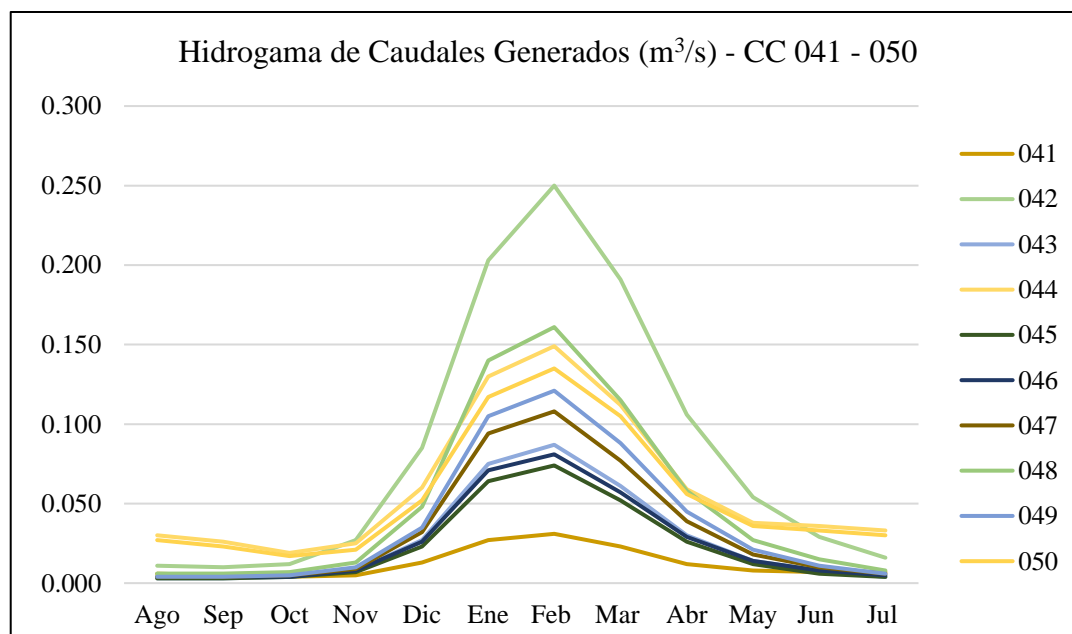
Hidrograma de caudales generados para las cabeceras 031 - 040.



Nota: La figura los hidrogramas de caudales medios generados en m³/s.

Figura 22

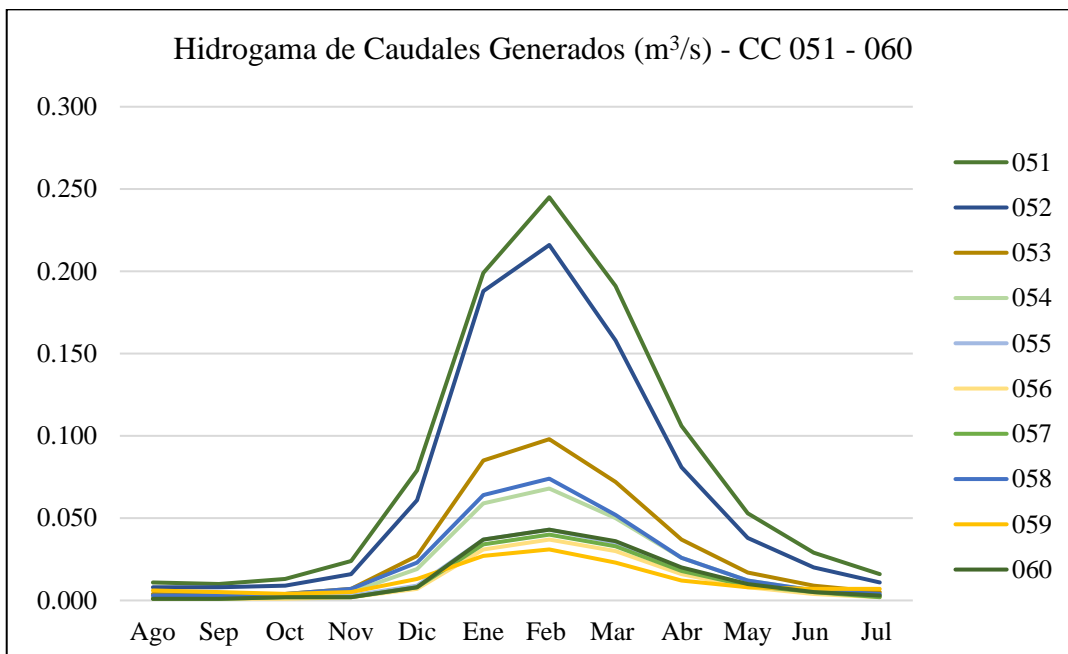
Hidrograma de caudales generados para las cabeceras 041 - 050.



Nota: La figura los hidrogramas de caudales medios generados en m³/s.

Figura 23

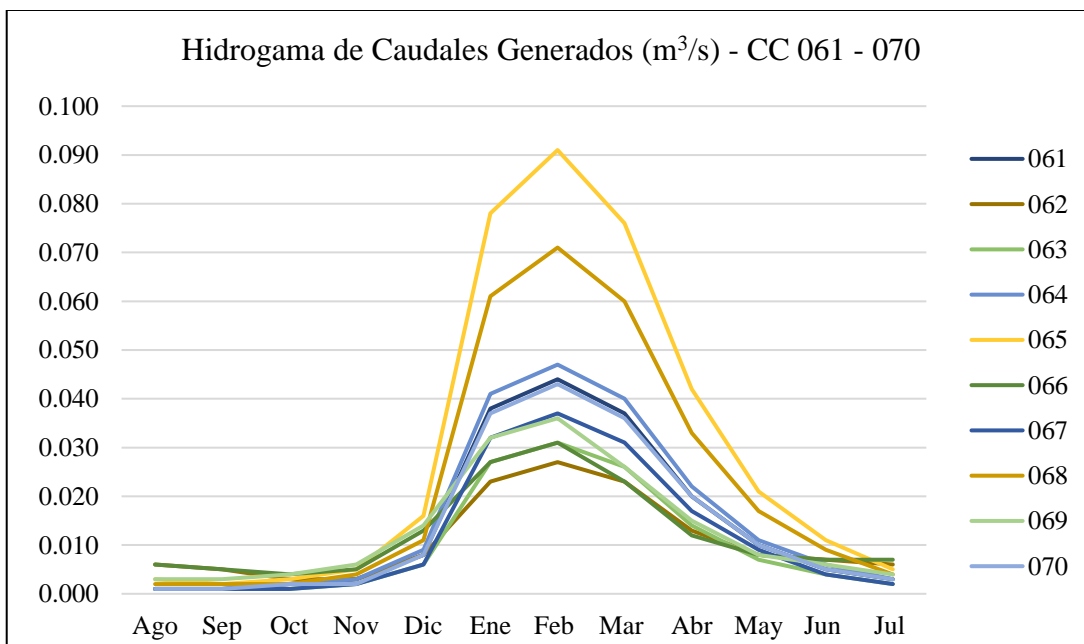
Hidrograma de caudales generados para las cabeceras 051 - 060.



Nota: La figura los hidrogramas de caudales medios generados en m³/s.

Figura 24

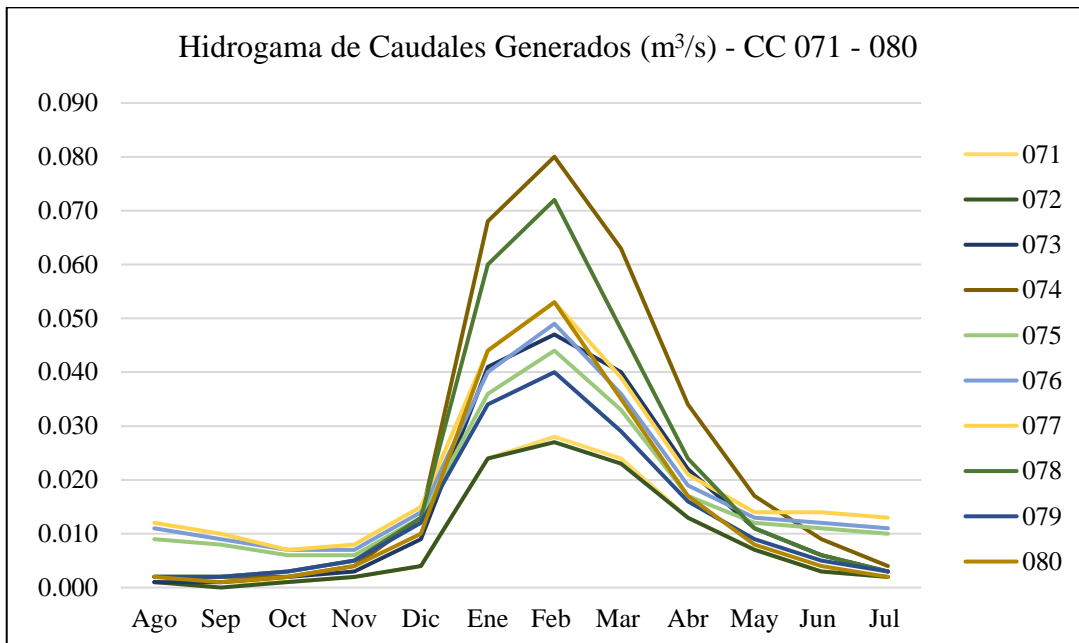
Hidrograma de caudales generados para las cabeceras 061 - 070.



Nota: La figura los hidrogramas de caudales medios generados en m³/s.

Figura 25

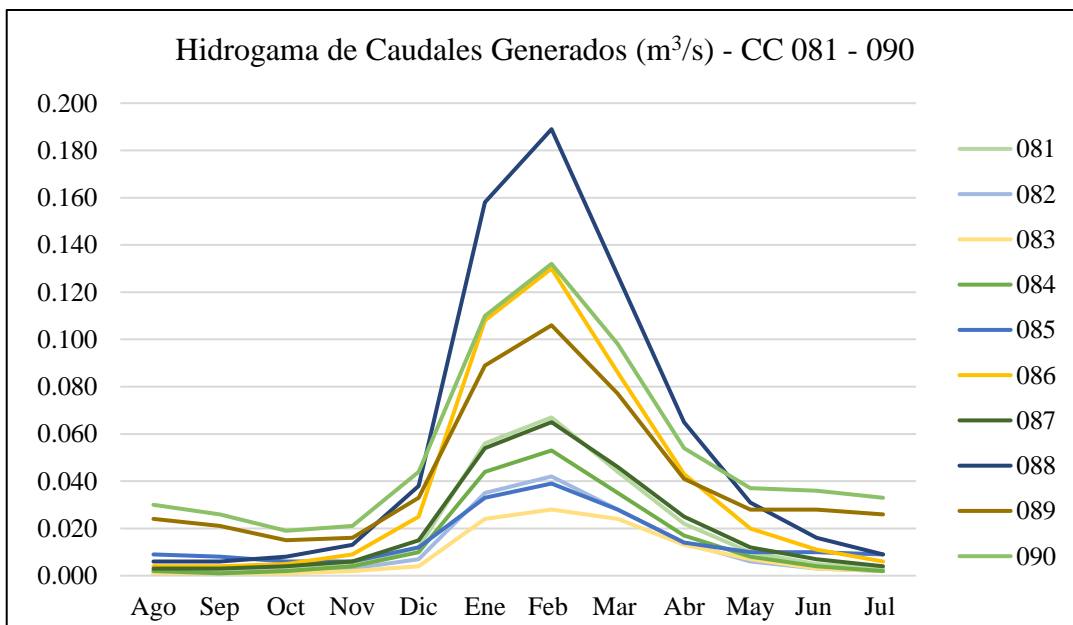
Hidrograma de caudales generados para las cabeceras 071 - 080.



Nota: La figura los hidrogramas de caudales medios generados en m³/s.

Figura 26

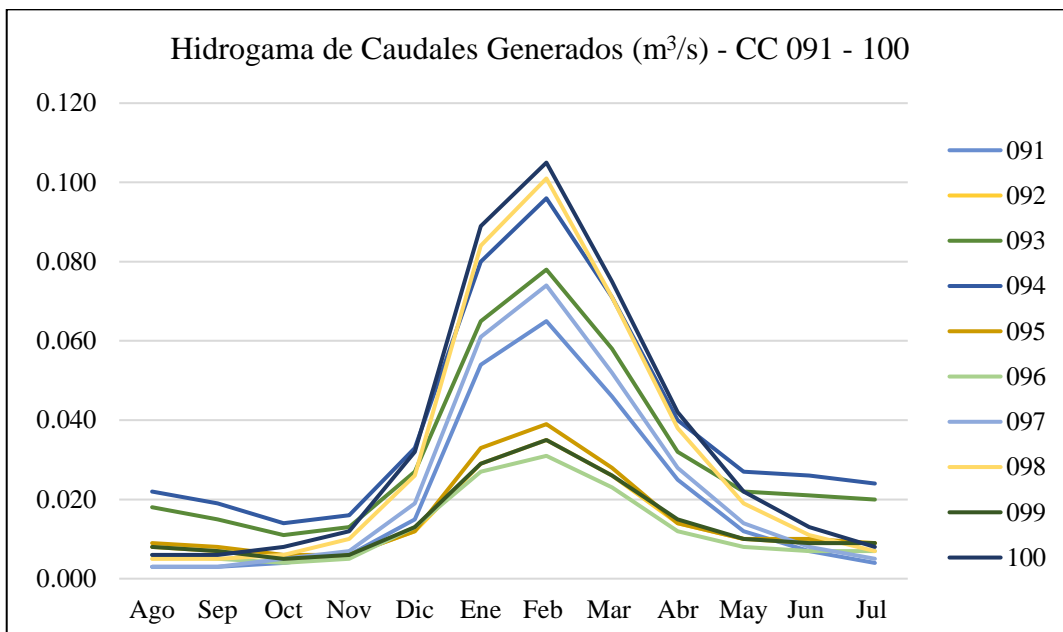
Hidrograma de caudales generados para las cabeceras 081 - 090.



Nota: La figura los hidrogramas de caudales medios generados en m³/s.

Figura 27

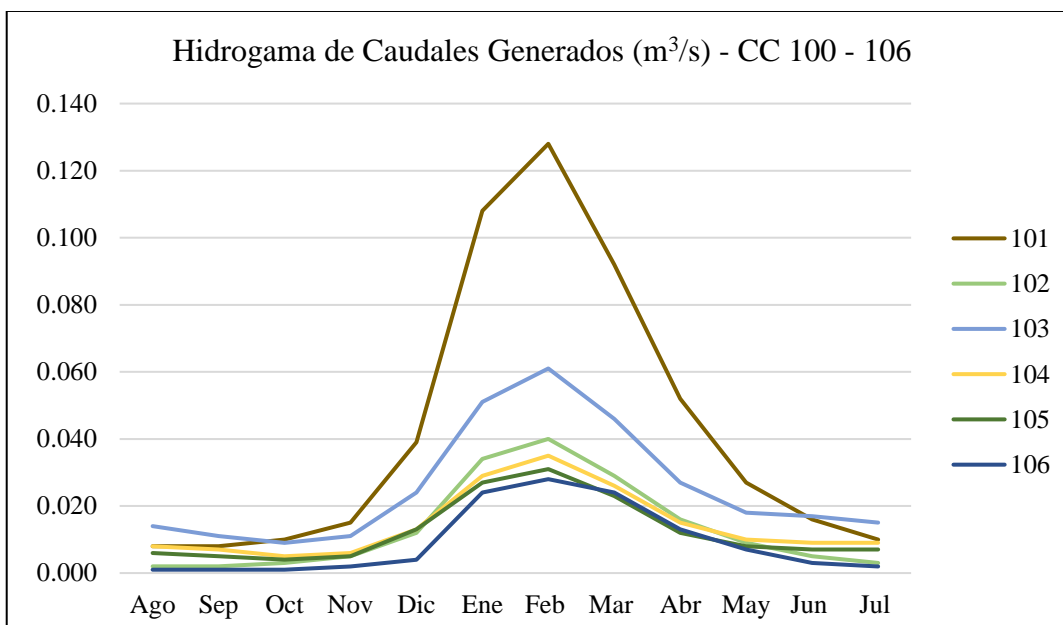
Hidrograma de caudales generados para las cabeceras 091 - 100.



Nota: La figura los hidrogramas de caudales medios generados en m³/s.

Figura 28

Hidrograma de caudales generados para las cabeceras 100 - 106.



Nota: Todas las figuras antes mostradas presentan similitud en la forma de la distribución grafica de los caudales generados principalmente variando por las áreas de influencia de cada cabecera de cuenca.

Tabla 27

Caudal Total anual generado para las cabeceras de cuenca.

Cabecera ID	Q Total (m³/s)	Cabecera ID	Q Total (m³/s)	Cabecera ID	Q Total (m³/s)
001	1.47	037	0.11	073	1.03
002	0.30	038	0.53	074	0.30
003	0.53	039	0.12	075	0.21
004	0.40	040	0.17	076	0.23
005	0.44	041	0.15	077	0.25
006	0.20	042	0.99	078	0.25
007	0.16	043	0.32	079	0.35
008	0.16	044	0.72	080	0.37
009	0.75	045	0.28	081	0.23
010	0.16	046	2.28	082	0.14
011	0.15	047	0.41	083	0.25
012	0.36	048	0.60	084	0.18
013	0.36	049	0.46	085	0.18
014	0.43	050	0.65	086	0.45
015	0.20	051	0.98	087	0.46
016	0.24	052	0.81	088	0.67
017	0.70	053	0.37	089	0.50
018	0.21	054	0.26	090	0.64
019	0.48	055	0.17	091	0.24
020	0.24	056	0.14	092	0.17
021	0.37	057	0.16	093	0.38
022	0.16	058	0.26	094	0.47
023	0.46	059	0.21	095	0.28
024	0.46	060	0.17	096	0.24
025	0.21	061	0.17	097	0.28
026	0.29	062	0.13	098	0.38
027	0.35	063	0.12	099	0.17
028	0.29	064	0.19	100	0.42
029	0.60	065	0.35	101	0.51
030	0.38	066	0.26	102	0.16
031	1.44	067	0.14	103	0.30
032	0.82	068	0.28	104	0.18
033	0.24	069	0.27	105	0.20
034	0.48	070	0.64	106	0.18
035	0.31	071	0.11	Total	40.265
036	0.15	072	0.11		

Nota: La tabla muestra el resumen de los caudales medios totales a escala anual esto con el fin de estimar el porcentaje generado de flujo de las cabeceras de cuenca.

Se puede observar en la Tabla 27 que en su totalidad las 106 cabeceras de cuenca proveen de 40.265 m³/s de agua a la Unidad Hidrográfica Coata, por otro



lado, el caudal aforado en el Puente Coata - Unocolla cuenta con un valor de estos de $627.37 \text{ m}^3/\text{s}$.

Si sometemos estos valores a una equivalencia en porcentaje, el aporte de las 106 cabeceras de cuenca en conjunto, es decir la sumatoria de todos sus totales anuales corresponden solo al 6.42 % del total, siendo este un valor muy bajo de aporte hídrico al momento de ser comparado al aporte general de la cuenca, lo que nos indica que la metodología debe ser replanteada en el caso de identificación de cabeceras de cuenca porque si en teoría las cabeceras de cuenca son ecosistemas que deberían de proveer la mayor parte de agua a la cuenca por que estas se encuentran en ríos de orden 1 que corresponden a las nacientes de la red hídrica, es decir a partir de estos puntos escurre el agua hacia las zonas más bajas de la cuenca y con lo desarrollado y determinado el 6.42% es un valor cuasi despreciable de aporte hídrico, esto debe ser analizado para rectificar una metodología que mejor se adecue a la identificación y delimitación de cabeceras de cuenca.

4.3 DETERMINACIÓN Y DELIMITACIÓN DE LAS VARIABLES DE INDICADORES HIDROLÓGICOS ECOLÓGICOS Y CLIMÁTICOS

Para esta segunda fase se realizó la delimitación de las variables que corresponden a los indicadores hidrológicos, ecológicos y climáticos, para zonificarlas en función de las cabeceras de cuenca.

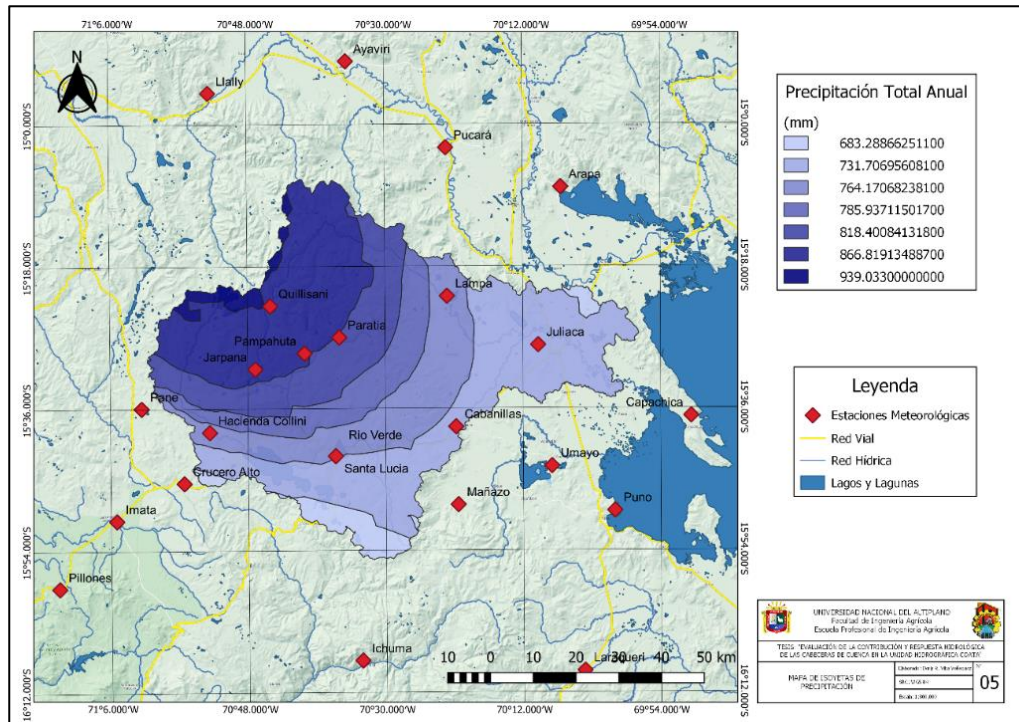
4.3.1. Generación del mapa de isoyetas

Este mapa temático se realizó con la información disponible de las estaciones hidrometeorológicas con información disponible de precipitación proporcionada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología

(SENAMHI). Para la generación de las isolíneas se realizó por interpolación Kriging en el software SIG teniendo así los siguientes resultados:

Figura 29

Isoyetas de precipitación total anual.



Se observa que, una vez interpolados los datos de las estaciones meteorológicas, los resultados generados de precipitación total anual para la UH Coata varían desde los 683.28 mm/año hasta los 939.03 mm/año, cuyos valores fueron ponderados. Según el estudio de "Evaluación de los recursos hídricos en las cuencas de los ríos Cabanillas y Lampa" los rangos que ostentan las precipitaciones totales mensuales varían en un rango de 526.6 mm - 870.8 mm, estos valores son similares a los obtenidos anteriormente; los valores más altos se desarrollan en la zona más alta de la cuenca, esta particularidad puede ser a consecuencia de la alta radiación por la altitud, vientos fuertes que a niveles más bajos, originan una alta evaporación del Lago Titicaca, favoreciendo la formación de nubes que precipitarán en el Lago o en zonas cercanas (INRENA, 2007).

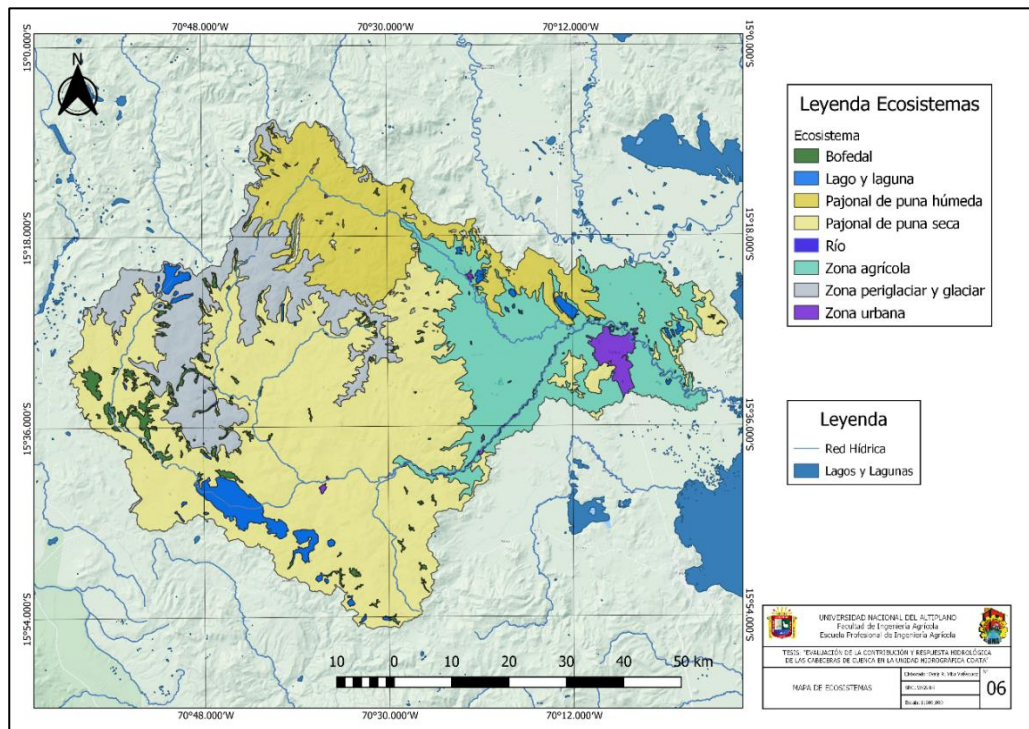


4.3.2. Mapa de ecosistemas

El mapa temático de ecosistemas fue generado a partir de la información disponible del mapa nacional de ecosistemas, donde se sabe que a nivel nacional existen 36 tipos de ecosistemas de los cuales en la UH Coata están presentes 9 como se detalla en la figura siguiente, dentro de los mismos el más predominante es el de pajonal de puna seca con una superficie total de 2473.78 km² con un porcentaje representativo del 48.69% del total, la zona de la cuenca baja presenta en su mayoría territorios de uso agrícola con una superficie de 908.21 km² con un porcentaje de representación de 17.88%, la UH Coata cuenta con una gran extensión de zonas glaciares y peri glaciares tales como el nevado Hatun Pastu, Quillca, Yanahuara entre otros, esto debido a la altitud en la que estas se encuentran, con una superficie de 636.13 km² correspondiente al 12.52% del total; también es importante mencionar los cuerpos de agua existentes en el interior de la cuenca, en total existe una superficie de 167.27 km² de estos que corresponden al 3.29% de la superficie de la UH, esto debido a la predominancia de depresiones de terreno donde se formaron estas, según INRENA (2007) se han inventariado un total de 121 cuerpos de agua en su mayoría en estado natural, representado estos el gran potencial hídrico de la cuenca que a futuro satisficieran las demandas necesitadas.

Figura 30

Mapa de ecosistemas de la UH Coata.



Nota: La figura mostrada presenta la distribución de los ecosistemas presentes en la UH Coata.

Tabla 28

Área de influencia de ecosistemas a nivel de cabeceras de cuenca.

Ecosistema	Área (km ²)	Porcentaje
Lago y laguna	21.62	3.86
Bosque relicto altoandino (Queñoal y otros)	4.36	0.78
Pajonal de puna seca	229.92	41.08
Peri glaciar - Glaciar	121.30	21.67
Pajonal de puna húmeda	163.45	29.21
Bofedal	7.69	1.37
Zona agrícola	11.31	2.02
Total	559.656	100.00

Nota: La tabla presenta los porcentajes de influencia de cada ecosistema encontrado en la UH Coata.

Delimitadas las cabeceras de cuenca se observó que los mencionados 9 ecosistemas existentes en la UH Coata se reducen a 7 de los cuales el ecosistema de pajonal de puna seca es el de mayor influencia con un área de 229.92 km²



correspondiente a un 41.08% del área total de cabeceras de cuenca, que según el (MINAM, 2019) presenta un clima estacional con épocas de sequía intensas este ecosistema altoandino además expone una vegetación herbácea, que ocupa terrenos planos, ondulados y colinas con pendientes suaves a moderada; en cuanto a su suelo predomina una textura limo - arenosa con bajo contenido de materia orgánica.

El ecosistema de menor influencia es el de bosque relicto altoandino con un área de 4.36 km² y un porcentaje respecto al total de 0.78%, cuyo territorio predominan las laderas rocosas y quebradas; además en estos territorios se encuentra la “queñua” (*Polylepis spp.*) con árboles de más de 2 metros.

Además, se encontró la presencia del ecosistema de pajonal de puna húmeda con una superficie de 163.45 km² que representa un 29.21% del total, este ocupa terrenos planos y ondulados, así como también colinas con pendientes de suaves a moderadas, además que está constituido por una vegetación herbácea con césped, pajonales y una presencia notable de rodales de la Puya de Raimondi.

Otro ecosistema presente en las cabeceras de cuenca de la UH Coata y de mayor importancia son las zonas glaciares y peri glaciares con una superficie de 121.30 que representa un 21.67% del total, cuenta con una vegetación baja y dispersa generalmente este ecosistema altoandino está ubicado por encima de los 4500 msnm. Además, que se existe presencia de glaciares en las zonas más altas de la cordillera por encima de los 5000 msnm. Estas zonas netamente glaciares son caracterizadas por la presencia de la dinámica entre acumulación y fusión de nieve y hielo.

En cuanto a la zona de bofedales o también considerados como humedales andinos cuentan con una extensión de 7.69 km² que corresponde a un 1.37 % del total, la principal característica de este ecosistema es la presencia de vegetación herbácea sobre suelos planos, estos permanecen permanentemente inundados o saturados de agua corriente con una vegetación densa y compacta que se mantiene verde.

Las zonas agrícolas también están presentes en las cabeceras de cuenca con una superficie de 11.31 km² lo que equivale a un 2.02% de la superficie total de la UH, estas son dedicadas a los cultivos agrícolas ya sean perennes o estacionales.

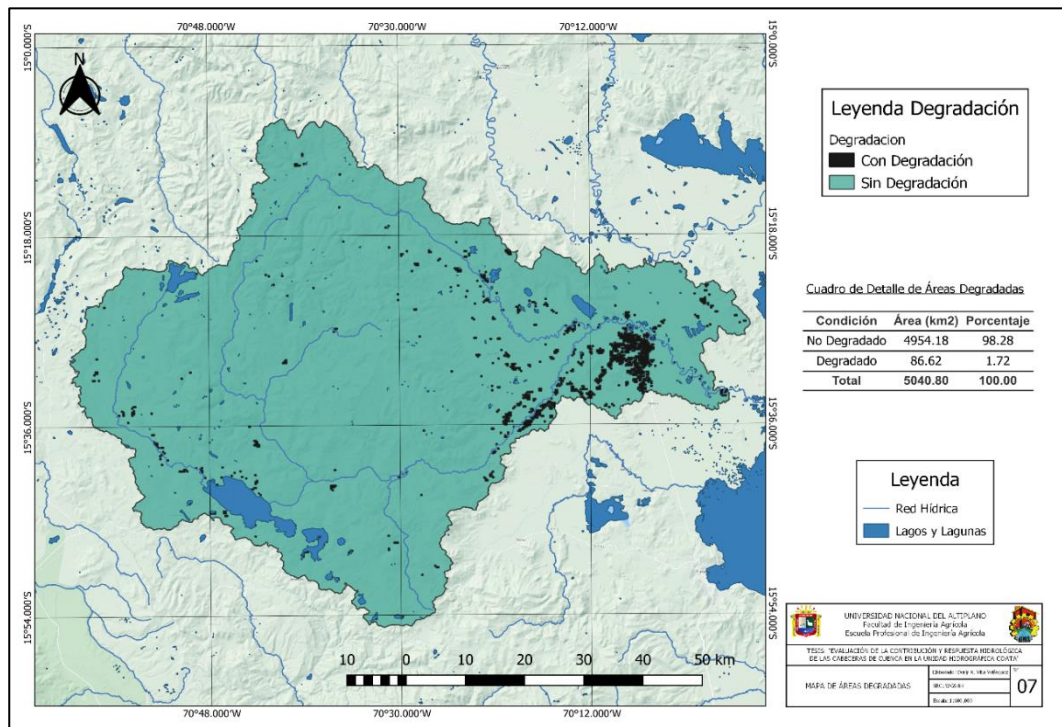
Finalmente existen ecosistemas de lagos y lagunas los cuales se diferencian generalmente por la profundidad que presentan, la menor profundidad correspondiente a lagunas y las de mayor profundidad a lagos, estos cuerpos comprenden a las aguas que no tienen una corriente continua y se encuentran en estado léntico, en estos territorios de lagos y lagunas en cabeceras de cuenca corresponden a 21.62 km² de superficie siendo el cuerpo de agua más importante en las cabeceras de cuenca el de la laguna Ananta.

4.3.3. Mapa de degradación

El mapa temático de degradación fue elaborado a partir del DEM de Áreas degradadas que fue elaborado por el MINAM (2018), siendo esta convertida a formato vectorial y recortada al nivel de la UH Coata como se observa en la Figura 31.

Figura 31

Mapa de áreas degradadas de la UH Coata.



Nota: La figura muestra la distribución espacial de las áreas degradadas donde se observa una mayor incidencia en la zona baja de la cuenca precisamente por la presencia de urbes.

Tabla 29

Área de influencia de la degradación a nivel de la UH Coata.

Condición	Área (km ²)	Porcentaje
No Degradado	4954.18	98.28
Degradado	86.62	1.72
Total	5040.80	100.00

Tabla 30

Área de influencia de la degradación a nivel de las cabeceras de cuenca.

Condición	Área (km ²)	Porcentaje
No Degradado	557.51	99.62
Degradado	2.15	0.38
Total	559.66	100.00

Nota: Las Tablas 29 y 30 presentan las condiciones de degradación a nivel de UH y cabeceras de cuenca respectivamente.



El resultado a nivel de UH muestra que existe un área de 86.62 km² que corresponde al 1.72% del área total de la UH Coata bajo degradación, lo que es un valor ínfimo que en su mayoría se encuentra en la parte baja de la cuenca específicamente relacionado a los grandes centros urbanos. Mientras que en cuanto a nivel de cabeceras de cuenca este porcentaje se reduce en mayor medida como se muestra en la Tabla 29 donde refiere que el área degradada es de 2.15 km² que equivale al 0.38% del total de área de las cabeceras de cuenca, concluyendo que esta variable no tiene mayor influencia en el resultado de la generación de las URH.

4.3.4. Ponderación de variables

Culminada la fase de modelación de indicadores se procedió a ponderar los mismos, es decir darle una calificación de acuerdo al grado de respuesta hidrológica de cada variable.

4.3.4.1. Ponderación para la variable climatológica

Como anteriormente se mencionó anteriormente y siguiendo lo propuesto de acuerdo a la Tabla 14 el rango resultante para el indicador de precipitación varia de 683.28 mm/año hasta los 939.03 mm/año este se encuentra en el rango de Respuesta Hidrológica “Media”, por lo que uniformemente se asignó el valor de 3 a todas las cabeceras contempladas inicialmente.

4.3.4.2. Ponderación para la variable hidrológica

4.3.4.2.1. Rendimiento del ecosistema

Para la ponderación de este indicador se trabajó en función al ecosistema existente, donde se le asignó el valor de un caudal específico a cada determinado ecosistema como se muestra en la Tabla 31 y siguiendo los rangos establecidos de la Tabla 14. Se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 31

Ponderaciones asignadas para los ecosistemas de la UH Coata.

Ecosistema	Área (km ²)	Porcentaje	Caudal Específico l/s/km ²	Ponderación
Zona urbana	53.95	1.06	2.0	1
Zona agrícola	908.21	17.88	3.0	1
Pajonal de puna seca	2473.78	48.69	4.5	2
Pajonal de puna húmeda	722.38	14.22	5.0	3
Bosque relictos altoandino (Queñoal y otros)	20.41	0.40	7.0	4
Bofedal	86.32	1.70	12.0	5
Lago y laguna	167.27	3.29	16.0	5
Río	11.94	0.24	16.0	5
Peri glaciar	636.13	12.52	16.0	5
Total	5080.39	100.00		

Nota: La tabla presenta la ponderación asignada de acuerdo al resultado de caudal específico por ecosistema.

Se observa que los cuerpos de agua como lagos, lagunas y ríos además de zonas glaciares y nivales son las que mayor caudal específico asociado tiene, así como también un mayor grado de respuesta hidrológica, caso contrario ocurre en las zonas urbanas donde existe un mínimo grado de respuesta hidrológica debido a su característica de zona intervenida (población).

4.3.4.2.2. Retención del ecosistema

Esta variable fue ponderada en función de los caudales medios generados por el modelo de Lutz Scholz, donde los resultados obtenidos fueron organizados en 5 clases y calificados en función de la Tabla 14, donde se da la relación de que a menor caudal medio mensual generado habrá menos grado de respuesta hidrológica y viceversa.

Tabla 32

Clases generadas a partir de la data de caudales generados.

Intervalo Generado (m ³ /s)		Condición	Ponderación
0.107	0.542	Muy Baja	1
0.542	0.977	Baja	2
0.977	1.412	Media	3
1.412	1.847	Alta	4
1.847	2.282	Muy Alta	5

Nota: La tabla muestra los intervalos hallados y formados en clases para posteriormente asignar ponderaciones respecto al grado de respuesta hidrológica.

Tabla 33

Ponderación asignada para la variable de retención hídrica.

Cabecera ID	Q Total (m ³ /s)	Ponderación	Cabecera ID	Q Total (m ³ /s)	Ponderación
001	1.47	4	054	0.26	1
002	0.30	1	055	0.17	1
003	0.53	1	056	0.14	1
004	0.40	1	057	0.16	1
005	0.44	1	058	0.26	1
006	0.20	1	059	0.21	1
007	0.16	1	060	0.17	1
008	0.16	1	061	0.17	1
009	0.75	2	062	0.13	1
010	0.16	1	063	0.12	1
011	0.15	1	064	0.19	1
012	0.36	1	065	0.35	1
013	0.36	1	066	0.26	1
014	0.43	1	067	0.14	1
015	0.20	1	068	0.28	1
016	0.24	1	069	0.27	1
017	0.70	2	070	0.64	2
018	0.21	1	071	0.11	1

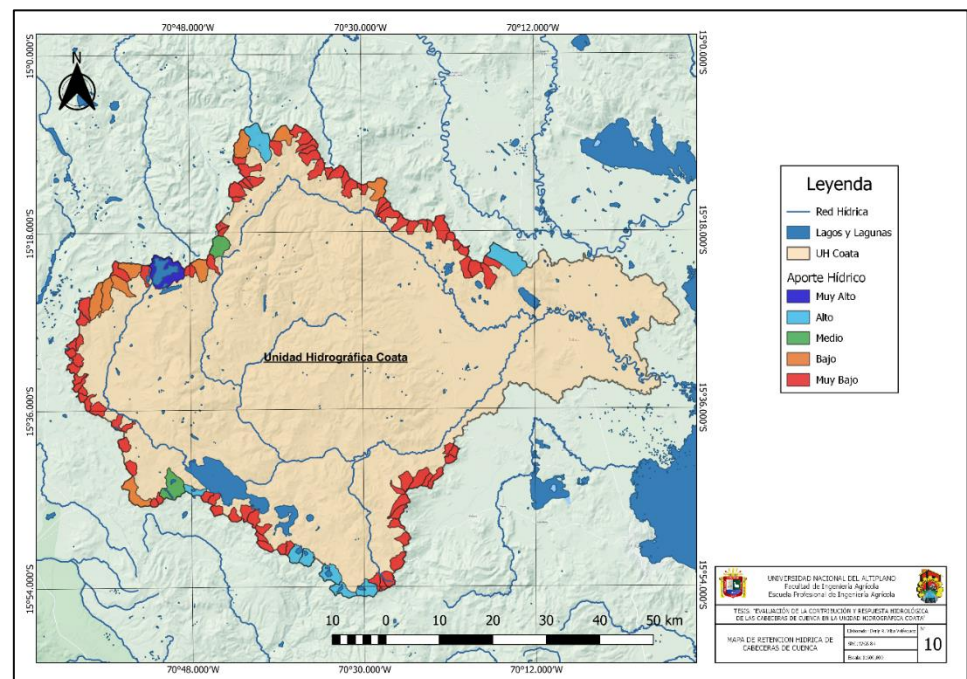


Cabecera ID	Q Total (m ³ /s)	Ponderación	Cabecera ID	Q Total (m ³ /s)	Ponderación
019	0.48	1	072	0.11	1
020	0.24	1	073	1.03	3
021	0.37	1	074	0.30	1
022	0.16	1	075	0.21	1
023	0.46	1	076	0.23	1
024	0.46	1	077	0.25	1
025	0.21	1	078	0.25	1
026	0.29	1	079	0.35	1
027	0.35	1	080	0.37	1
028	0.29	1	081	0.23	1
029	0.60	2	082	0.14	1
030	0.38	1	083	0.25	1
031	1.44	4	084	0.18	1
032	0.82	2	085	0.18	1
033	0.24	1	086	0.45	1
034	0.48	1	087	0.46	1
035	0.31	1	088	0.67	2
036	0.15	1	089	0.50	1
037	0.11	1	090	0.64	2
038	0.53	1	091	0.24	1
039	0.12	1	092	0.17	1
040	0.17	1	093	0.38	1
041	0.15	1	094	0.47	1
042	0.99	3	095	0.28	1
043	0.32	1	096	0.24	1
044	0.72	2	097	0.28	1
045	0.28	1	098	0.38	1
046	2.28	5	099	0.17	1
047	0.41	1	100	0.42	1
048	0.60	2	101	0.51	1
049	0.46	1	102	0.16	1
050	0.65	2	103	0.30	1
051	0.98	2	104	0.18	1
052	0.81	2	105	0.20	1
053	0.37	1	106	0.18	1

Nota: La tabla muestra las ponderaciones asignadas para la variable de retención hídrica en función de los caudales medios generados.

Figura 32

Aportes hídricos de cabeceras de cuenca.



Nota: La figura muestra la distribución espacial de los aportes hídricos de las cabeceras de cuenca que en la escala de normalización asignada muestra una predominancia calificativa de muy baja, que en general no incide en el análisis final debido a que los rangos fueron establecidos en función de los valores máximos y mínimos.

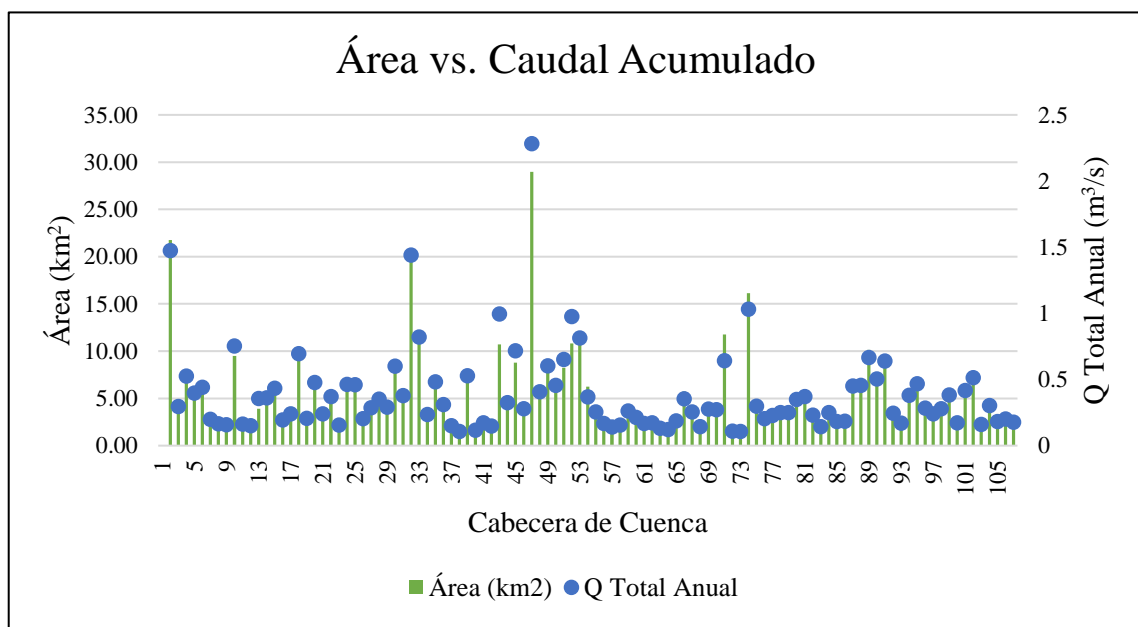
Como se menciona anteriormente los caudales generados en su mayoría varían de acuerdo al área que abarca cada cabecera de cuenca, siguiendo la relación de que a mayor área mayor caudal medio generado como se muestra en la Figura 32; además se observa que las cabeceras de cuenca en las cuales se encuentran cuerpos de agua son aquellas que mayor grado de respuesta hidrológica tienen por las condiciones mismas del territorio.

En cuanto a lo mencionado por Lopes Simedo et al. (2020) se corrobora que los flujos de descarga tienden a presentar variaciones espacio-temporales que varían en magnitud a la disponibilidad del recurso y el área que este abarca, esto incide en el tipo de cobertura existente

evaluada con base en las descargas netas promedio, como se realizó en la presente investigación, así mismo esto corrobora que dependiendo al ecosistema y su cobertura característica incide la retención que esta tenga, por otro lado las cabeceras de cuenca pueden ser considerados como territorios heterogéneos donde cada una puede presentar características distintas a la otra iniciando desde su aporte hídrico hasta el tipo de cobertura que está presente.

Figura 33

Relación del caudal vs. área de cabeceras de cuenca.



Nota: La figura muestra el principio de la generación de caudales medios que a mayor área mayor caudal generado.



4.3.4.3. Ponderación para la variable ecológica

4.3.4.3.1. Degradación del ecosistema

Para el desarrollo de la ponderación de este apartado se dividió el área degradada entre el área total de la cabecera de cuenca, lo cual resulta en un porcentaje que representa la influencia de degradación de determinado territorio.

Tabla 34

Ponderaciones asignadas para los resultados de áreas degradadas.

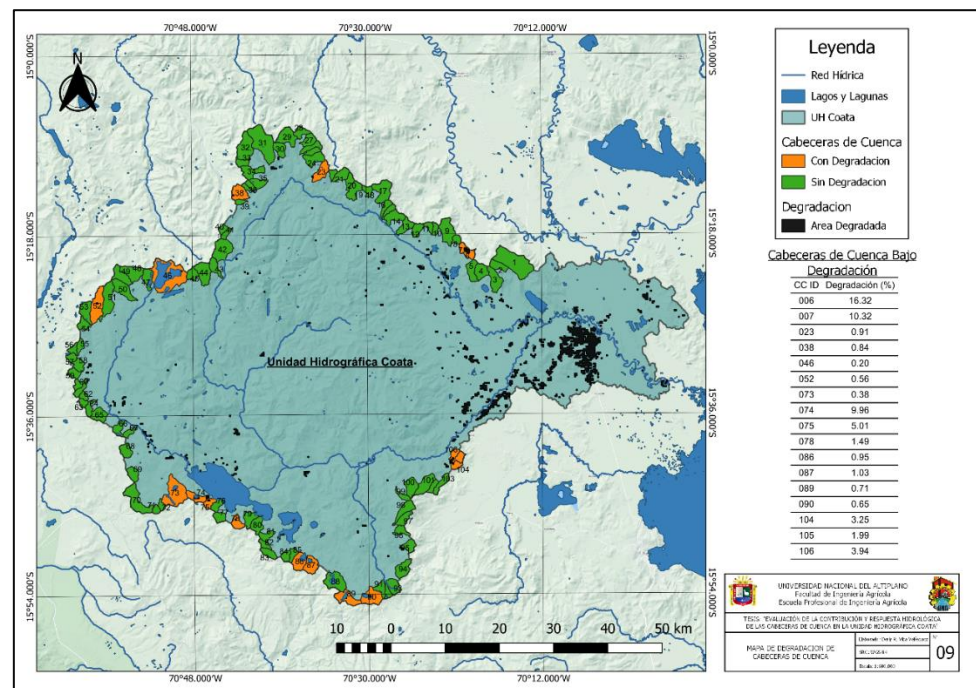
Cabecera ID	Porcentaje de Degradación	Ponderación	Cabecera ID	Porcentaje de Degradación	Ponderación
001	0.00	5	054	0.00	5
002	0.00	5	055	0.00	5
003	0.00	5	056	0.00	5
004	0.00	5	057	0.00	5
005	0.00	5	058	0.00	5
006	16.32	5	059	0.00	5
007	10.32	5	060	0.00	5
008	0.00	5	061	0.00	5
009	0.00	5	062	0.00	5
010	0.00	5	063	0.00	5
011	0.00	5	064	0.00	5
012	0.00	5	065	0.00	5
013	0.00	5	066	0.00	5
014	0.00	5	067	0.00	5
015	0.00	5	068	0.00	5
016	0.00	5	069	0.00	5
017	0.00	5	070	0.00	5
018	0.00	5	071	0.00	5
019	0.00	5	072	0.00	5
020	0.00	5	073	0.38	5
021	0.00	5	074	9.96	5
022	0.00	5	075	5.01	5
023	0.91	5	076	0.00	5
024	0.00	5	077	0.00	5
025	0.00	5	078	1.49	5
026	0.00	5	079	0.00	5
027	0.00	5	080	0.00	5
028	0.00	5	081	0.00	5
029	0.00	5	082	0.00	5
030	0.00	5	083	0.00	5
031	0.00	5	084	0.00	5
032	0.00	5	085	0.00	5
033	0.00	5	086	0.95	5

Cabecera ID	Porcentaje de Degradación	Ponderación	Cabecera ID	Porcentaje de Degradación	Ponderación
034	0.00	5	087	1.03	5
035	0.00	5	088	0.00	5
036	0.00	5	089	0.71	5
037	0.00	5	090	0.65	5
038	0.84	5	091	0.00	5
039	0.00	5	092	0.00	5
040	0.00	5	093	0.00	5
041	0.00	5	094	0.00	5
042	0.00	5	095	0.00	5
043	0.00	5	096	0.00	5
044	0.00	5	097	0.00	5
045	0.00	5	098	0.00	5
046	0.20	5	099	0.00	5
047	0.00	5	100	0.00	5
048	0.00	5	101	0.00	5
049	0.00	5	102	0.00	5
050	0.00	5	103	0.00	5
051	0.00	5	104	3.25	5
052	0.56	5	105	1.99	5
053	0.00	5	106	3.94	5

Nota: La tabla muestra las ponderaciones asignadas a los valores de degradación encontrados en las cabeceras de cuenca.

Figura 34

Degradación de cabeceras de cuenca.



Nota: La figura muestra la influencia de la degradación a nivel de cabeceras de cuenca donde solo 17 de estas presentan esta característica.

Se observa que la cabecera de cuenca con mayor porcentaje de degradación es la del código 006 que corresponde a un 16.32% de área degradada, y a partir de la misma los porcentajes de degradación van disminuyendo hasta un 0.20% como en el caso de la cabecera de código 046. Estos resultados indican que las ponderaciones asignadas no superan el 20% por lo que su nivel de respuesta hidrológica es alto y por ende las ponderaciones son de 5 para todos los casos.

4.4. GENERACION DE UNIDADES DE RESPUESTA HIDROLÓGICA

Una vez ponderadas las variables anteriores se procedió superponer geo espacialmente las capas temáticas usando la formula siguiente, obteniendo finalmente el mapa temático de Unidades de Respuesta Hidrológica mostrado en la Figura 33.

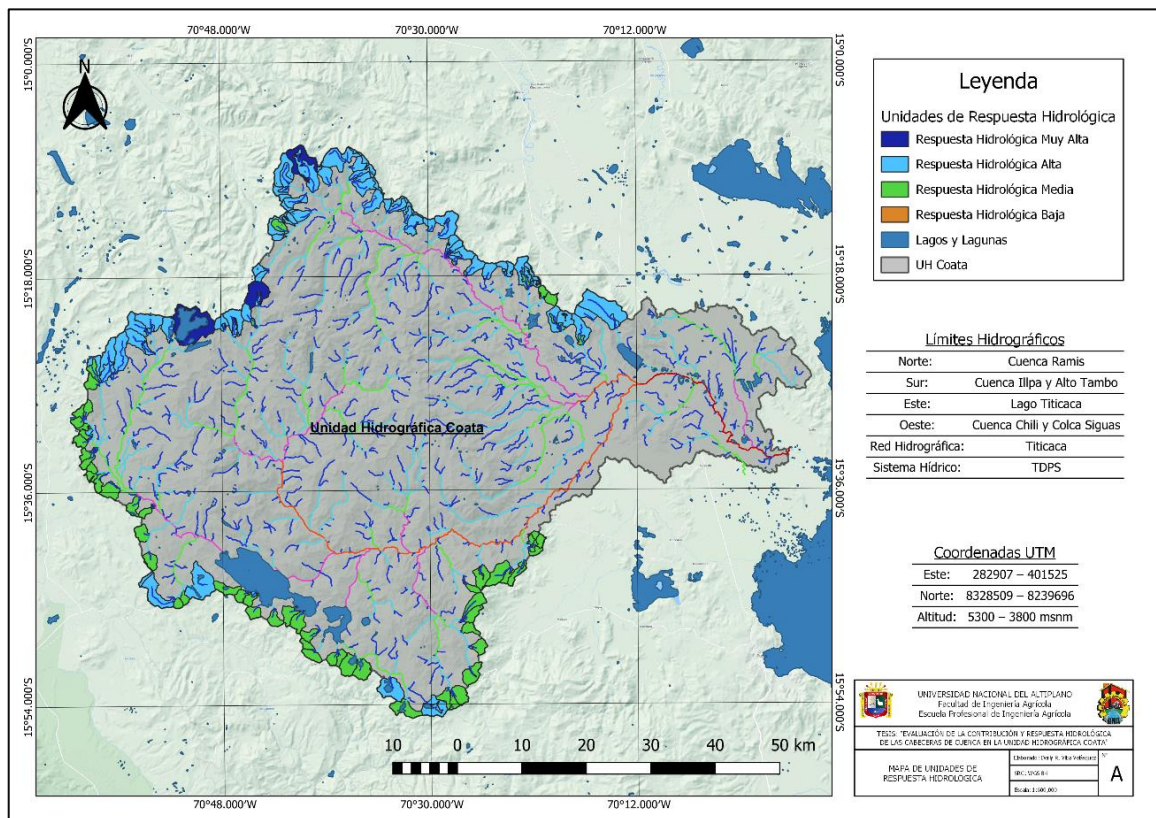
$$URH = P(0.25) + ReE(0.25) + ReT(0.25) + De(0.25) \quad (56)$$

Donde:

<i>URH</i>	=	Valor de Unidad de Respuesta Hidrológica.
<i>P</i>	=	Precipitación.
<i>ReE</i>	=	Rendimiento del Ecosistema.
<i>ReT</i>	=	Retención del Ecosistema.
<i>De</i>	=	Degradación del Ecosistema.

Figura 35

Mapa de unidades de respuesta hidrológica.



Nota: La figura muestra el mapa final de la generación de URH de las cabeceras de cuenca cuya metodología para su elaboración de detalle en la presente investigación siendo esta a su vez el producto final.

Tabla 35

Unidades de Respuesta Hidrológica.

Unidad	Respuesta Hidrológica	Área (km ²)	Significancia (%)	Descripción
1	Muy Baja	0.00	0.00	No se generaron URH de calificación "Muy Baja" para las cabeceras de cuenca proyectadas de la UH Coata.
2	Baja	0.11	0.02	Predominan precipitaciones desde los 683.28 mm/año hasta los 731.70 mm/año. Además, se presentan caudales específicos de 3 l/s/km ² a 5 l/s/km ² , en ecosistemas como pajonal de puna húmeda y zonas agrícolas con capacidades de retención bajas y superficie de degradación nula.
3	Media	197.15	35.23	Se presentan precipitaciones desde los 683.28 mm/año hasta los 866.81 mm/año. Además de presentar caudales específicos de 3 l/s/km ² a 16 l/s/km ² , en ecosistemas como pajonal de puna húmeda, pajonal de puna seca, bofedales, bosque relicto altoandino, lagos y lagunas, zonas peri glaciares y zonas agrícolas con capacidades de retención medias a altas y superficie de degradación menores al 20% siendo estas mínimas.
4	Alta	313.47	56.01	Se presentan precipitaciones desde los 611.07 mm/año hasta los 939.03 mm/año. Además de presentar caudales específicos de 3 l/s/km ² a 16 l/s/km ² , en ecosistemas como pajonal de puna húmeda, pajonal de puna seca, bofedales, bosque relicto altoandino, lagos y lagunas, zonas peri glaciares y zonas agrícolas con capacidades de retención medias a altas y superficie de degradación ínfimas.
5	Muy Alta	48.93	8.74	Se presentan precipitaciones desde los 611.07 mm/año hasta los 939.03 mm/año. Además de presentar caudales específicos de 4.5 l/s/km ² a 16 l/s/km ² , en ecosistemas como pajonal de puna húmeda, pajonal de puna seca, bofedales, bosque relicto altoandino, lagos y lagunas, zonas peri glaciares y glaciares con capacidades de retención altas y superficie de degradación bajos.
Total		559.66		



En la Figura 35 se observan las unidades de respuesta hidrológica delimitadas y sus respectivas áreas de influencia, donde el 35.23% de la superficie total de las cabeceras de cuenca proyectadas tiene un una respuesta hidrológica considerada Media, un 56.01% de respuesta hidrológica alta, un 8.74% de calificación muy alta presente en zonas glaciares y peri glaciares, además de que en algunos casos se encuentran lagunas, que influyen a que estas cabeceras de cuenca tengan un grado de retención hídrica alta y sean ecosistemas en los cuales se tengan mayor análisis al momento de gestionar los recursos hídricos; una característica importante de las cabeceras de cuenca de la UH Coata es que presenta tan solo un 0.02% de superficie considerada de un grado de respuesta hidrológica baja y un 0% en calificación muy baja, esto debido a la constante presencia de precipitaciones en toda la UH y la característica de los ecosistemas presentes, a comparación de cuencas que puedan pertenecer a la vertiente del pacifico con precipitaciones generalmente baja y la presencia de ecosistemas desérticos y de baja retención hídrica.

Tabla 36

Unidades de Respuesta Hidrológica en Función de los Ecosistemas.

Unidad de Respuesta Hidrológica	Ecosistema	Cantidad	Área (km ²)	%
Muy baja	No presenta	No presenta	No presenta	No presenta
			-	-
Baja	Zona agrícola	1	0.11	100.00
			0.11	100.00
Media	Pajonal de puna seca	54	179.00	90.79
	Pajonal de puna húmeda	3	8.16	4.14
	Zona agrícola	18	10.01	5.08
			197.16	100.00
Alto	Bofedal	20	6.47	2.07
	Lago y Laguna	12	6.44	2.06
	Pajonal de puna seca	10	50.92	16.24
	Pajonal de puna húmeda	38	155.29	49.54
	Bosque relicto altoandino (Queñoal y otros)	11	4.16	1.33
	Zona agrícola	1	1.20	0.38
	Zona peri glaciar y glaciar	35	88.98	28.38
			313.46	100.00
Muy Alto	Bofedal	2	1.21	2.48
	Lago y Laguna	1	15.18	31.03
	Bosque relicto altoandino (Queñoal y otros)	2	0.20	0.41
	Zona peri glaciar y glaciar	3	32.33	66.08
			48.93	100.00

Nota: La tabla muestra las URH detalladas respecto a sus ecosistemas.

Finalmente se presentan las URH de acuerdo a cada ecosistema existente en su territorio y en función a su respuesta hidrológica, se observa que los ecosistemas predominantes en las URH alta y muy alta son bofedales, lagos, lagunas, zonas peri glaciares y glaciares, esto debido a las altas capacidades de retención hídrica con las que cuentan, el ecosistema que más territorio abarca a nivel de todas las cabeceras de cuenca son los pajonales de puna seca con un total de 229.92 km² que corresponden a un 41% de la superficie total, este ecosistema en teoría se dice que presenta estaciones secas intensas



pero debido a su característica de encontrarse en zonas de altas precipitaciones se considera que no afectan en gran medida al grado de respuesta hidrológica presente.

Algo importante a resaltar es que los caudales generados por las cabeceras de cuenca de manera independiente están estrictamente relacionadas al área de la cabecera de cuenca similar a lo realizado por Lopes Simedo et al. (2020); como se observa en la Figura 33 las cabeceras de cuenca de la zona norte de la UH Coata tienen en proporción mayor área que las de la zona sur, esto refleja entonces un mayor caudal generado; además que en la zona norte se encuentran ecosistemas de mayor grado de retención hídrica tales como pajonales de puna húmeda, zonas glaciares y peri glaciares, bofedales, estos ecosistemas aportan a que el grado de respuesta hidrológica sea de alto a muy alto ya que en las ponderaciones estos ecosistemas son los que mayor puntaje tienen, lo que en consecuencia y adicionalmente al análisis de los caudales generados sean ecosistemas o territorios de gran importancia hídrica reflejada en el mapa final de URH, caso contrario en la zona sur el ecosistema predominante de pajonal de puna seca produce una disminución en cuando al grado de respuesta hidrológica debido a la característica que en época de sequías estas sean de alta intensidad lo que hace que este ecosistema tenga un menor grado de retención hídrica y que solo por los caudales generados y la presencia de precipitaciones en época de avenidas se mantengan como unidades de respuesta hidrológica de calificación media. Adicionalmente se tiene la presencia de la presa Lagunillas cuyo embalse directamente aporta a la retención hídrica de manera artificial a toda la cuenca alta, para esta investigación no se le dio mayor incidencia a este aspecto ya que el principal objetivo es evaluar las cabeceras de cuenca.

La variable de degradación de ecosistemas no incide en el resultado final de la generación de URH de las cabeceras de cuenca debido al mínimo porcentaje de influencia lo que es reflejado en su baja ponderación respecto a la respuesta hidrológica, lo que



evidencia que muchas de las cabeceras de cuenca de la UH Coata se encuentran en estado natural y que en consecuencia no existiría intervención humana que altere el ciclo natural de las mismas, por lo mismo aún se conservan y presentan una cuasi nula degradación ecosistémica.

Reafirmado a lo desarrollado por Hernandez-Guerra (2015) la determinación de URH utiliza parámetros morfométricos, así mismo parámetros que relacionan el tipo de suelo, uso de la cobertura vegetal, ecosistemas, datos hidrometeorológicos, etc., donde aplicando criterios ponderativos se pueden determinar nuevas áreas homogéneas y así determinar Unidades de Respuesta Hidrológica, se considera que a mayores variables a considerar se pueden obtener mejores resultados, se propone adicionar análisis de vulnerabilidad considerándose esta muy importante al momento de evaluar una cabecera de cuenca.

Así mismo yendo al plano económico social el cual no se ahonda en la presente tesis por la temática estrictamente técnica es de consideración la vital importancia de estos ecosistemas en la dinámica económica y social de estos territorios; referente a los rubros extractivos es de conocimiento público que estas actividades muchas veces se desarrollan en estos ámbitos que para el caso de la cuenca Coata el MINAM (2014) menciona que existen al menos 4 pasivos ambientales en zonas que podrían encontrarse en cabeceras de cuenca, es decir que estos ecosistemas podrían sufrir afectaciones en cuanto a los servicios ecosistémicos presentes así como a la calidad de agua disponible por lo que es necesario realizar una adecuada identificación de estos territorios y fuentes de agua, por lo mismo se propone reestructurar la metodología en cuanto a la identificación de cabeceras de cuenca, es decir la identificación de ríos de orden 1 debería trabajarse a nivel de UH menor, esto debido a que se observa que en la zona media de la UH Coata hay presencia de zonas glaciares, lagunas, bofedales, etc., estos ecosistemas antes



mencionados no están siendo tomados en cuenta y esto denota las falencias en cuando a la metodología de identificación de estos ecosistemas, a su vez también es importante mantener actualizada el inventariado de las fuentes de agua existentes en la cuenca; una alternativa importante que aporte en la conservación de estos territorios así como también en su gestión integral es la implementación del pago por servicios ambientales (PSA) propuesto por Mayta Condori (2015) el cual es un incentivo económico, que reconoce acciones, prácticas asociadas avocadas a la preservación y restauración de ecosistemas, esto permite minimizar conflictos en el uso del suelo para favorecer el mantenimiento y generación de servicios ambientales.

Por otro lado, el tema de protección de cabeceras de cuenca y la intangibilidad como se menciona en la Ley N° 30640 ley que modifica el artículo 75 de la ley de Recursos Hídricos donde se menciona textualmente que “El Estado reconoce como zonas ambientalmente vulnerables las cabeceras de cuenca donde se originan los cursos de agua de una red hidrográfica. La Autoridad Nacional, con opinión del Ministerio del Ambiente, puede declarar zonas intangibles en las que no se otorga ningún derecho para uso, disposición o vertimiento de agua. Asimismo, debe elaborar un Marco Metodológico de Criterios Técnicos para la Identificación, Delimitación y Zonificación de las Cabeceras de Cuenca de las Vertientes Hidrográficas del Pacífico, Atlántico y Lago Titicaca”; se considera que la declaración de intangibilidad propuesta es desmesurada debido a que el recurso hídrico disponible en estos territorios no serán aprovechables esto conlleva a un retroceso en el ámbito económico minero ya que esto afectaría cerca del 80% de las actividades mineras que se desarrollan sobre “las llamadas cabeceras de cuenca”, lo mismo ocurriría con las comunidades campesinas ya que sus pobladores también perderían los derechos a realizar sus actividades agropecuarias en dicha jurisdicción, este tema es controversial por lo que la análisis para la identificación y generación de URH



en estos territorios debe ser más robusto en cuanto a variables consideradas reafirmando el punto anterior. Finalmente es imprescindible que los entes encargados de la administración de estos territorios promuevan políticas conservacionistas por lo que existe la necesidad de construir una adecuada gestión del agua, del territorio y del ambiente basada en sólidos principios de sostenibilidad ambiental, y la implementación de la gobernabilidad y una nueva cultura del agua que recupere la vieja sabiduría de las culturas ancestrales de prudencia y respeto de la naturaleza y sirva de marco para una gestión integrada y equitativa del recurso.



V. CONCLUSIONES

- Se identificaron y delimitaron un total 106 cabeceras de cuenca en la UH Coata, con un área total acumulada de 559.66 km² que corresponde al 11.10% del total de superficie de la UH, sus áreas varían desde los 1.45 km² hasta los 28.96 km², la identificación se realizó según Strahler con la selección de ríos de orden 1 y que a su vez se encuentre en la zona perimetral de la UH respetando el divortium aquarum; posteriormente se delimitó manualmente cada cabecera de cuenca siendo estas identificadas con el apoyo de imágenes satelitales donde se descartaron las que se encontraron en centros urbanos debido a que son consideradas de casi nula retención hídrica por la intervención a la que están sometidas.
- Se determinaron los aportes hídricos de cada cabecera de cuenca mediante la modelación hidrológica por la metodología de Lutz Scholz, estimando un caudal promedio anual de 0.032 m³/s, a su vez de determino que el caudal generado por todas las cabeceras en conjunto solo representan el 6.42% del total generado en la UH Coata corroborado esto con los datos de la estación de aforo Puente Coata - Unocolla; las variables usadas fueron las de precipitación media areal que en combinación con el cálculo de la retención del ecosistema, temperatura media anual y demás parámetros geomorfológicos de la cuenca se logró calibrar el modelo con un coeficiente de Nash Sutcliffe de 0.75 siendo este de calificación muy buena, así mismo la validación obtuvo un coeficiente de Nash Sutcliffe de 0.76 precisando el buen desempeño del modelo.
- Se zonificaron y homogeneizaron las cabeceras de cuenca utilizando las variables hidrológicas tales como el rendimiento del ecosistema a partir del mapa de ecosistemas del Perú y su asignación de caudales específicos donde se encontraron 7



ecosistemas presentes (pajonal de puna seca con un área de 229.92 km², bosque relicto altoandino con un área de 4.36 km², pajonal de puna húmeda con una superficie de 163.45 km², zonas glaciares y peri glaciares con una superficie de 121.30 km², bofedales con un área de 7.69 km², zonas agrícolas con una superficie de 11.31 km² y lagos y lagunas con un área de 21.62 km²); así mismo la retención del ecosistema con el modelamiento hidrológico para la generación de caudales medios mensuales cuyos caudales promediados varían de 0.009 m³/s – 0.19 m³/s; para las variables climatológicas se realizó la modelación de isoyetas con precipitaciones totales anuales que varían desde los 683.28 mm/año hasta los 939.03 mm/año; finalmente la estimación de degradación de ecosistemas resultó que existe solo 2.15 km² equivalente al 0.38% de la superficie total de cabeceras de cuenca bajo esta influencia y que para la asignación de ponderaciones esta variable no influyó al resultado final.

- Se realizó la superposición geoespacial de las variables temáticas generadas tales como: mapa de isoyetas, mapa de degradación, mapa de ecosistemas en función a su caudal específico y un mapa de retención hídrica a partir de los caudales medios generados por el modelo Lutz Schulz, obteniendo así el mapa final de zonificación donde se observa que la cuenca cuenta con una respuesta hidrológica predominante de nivel “medio” con un porcentaje de influencia de 35.23% exactamente en la zona sur de la cuenca debido a la predominancia del ecosistema de pajonal de puna seca, este provoca una disminución del grado de respuesta hidrológica debido a que en época de sequías presenta una alta intensidad lo que hace que haya un menor grado de retención hídrica y que debido presencia de constantes precipitaciones en época de avenidas mantengan un nivel de respuesta hidrológica medio; el grado de respuesta hidrológica de nivel “alto” con un porcentaje de representación de 56.01%



y “muy alto” con un porcentaje de representación de 8.74% predominan en la zona norte de la cuenca debido a que las cabeceras de cuenca tienen mayor área y por ende generan mayores caudales, así mismo se encuentran ecosistemas de mayor grado de retención hídrica tales como pajonales de puna húmeda, zonas glaciares, peri glaciares y bofedales, estos ecosistemas inciden en que el grado de respuesta hidrológica sea de alto a muy alto; finalmente los grados de respuesta hidrológica “bajos” son casi nulos y están influenciados a la degradación de ecosistemas aunque ínfima redujo el grado de respuesta hidrológica existente.



VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda inicialmente trabajar con un DEM de alta resolución para la delimitación de cabeceras de cuenca, para el caso de estudio se trabajó con un DEM Alos PALSAR de 12.5 m de pixel teniendo este una mejor representación de la superficie de la zona de estudio a comparación del DEM SRTM de 30 m de pixel.
- Se recomienda que para la identificación de cabeceras de cuenca, no solo sean tomadas en cuenta las que se encuentren en la zona perimetral de la UH mayor tal como lo propuso la ANA (2019), se considera que ese análisis no es el más adecuado debido a las características de la UH Coata que muestra en las partes internas de la cuenca ecosistemas como lagunas, zonas de glaciares, etc., que no se están considerando y que debido a sus características estos son ecosistemas únicos con alto nivel de retención hídrica y de aporte hídrico, por ende la delimitación de cabeceras de cuenca se debería trabajar a nivel de cuenca interna o UH menor mas no a nivel de UH mayor.
- Reafirmando la recomendación anterior se observa que la sumatoria de los caudales generados de las cabeceras de cuenca en comparación con el punto de desfogue aforado del puente Coata – Unocolla los caudales aportantes a la UH Coata solo representan un 6.42% del total, pudiéndose mejorar el resultado si es que las cabeceras de cuenca identificadas sean consideradas a nivel de UH menor como en el punto anterior se propuso, por ello se considera que la metodología establecida por la ANA (2019) no es la más adecuada en cuanto a la identificación de cabeceras de cuenca ya que el aporte hídrico generado y comprobado es ínfimo a comparación del total aforado de la UH mayor y en consecuencia esta metodología presenta falencias en su identificación obviando las cabeceras de cuenca de mayor potencial hídrico



influenciadas por glaciares, bofedales y otros; y solo se limitaría a un pequeño porcentaje de territorios que puedan considerarse vulnerables en materia de recursos hídricos.

- Es necesario implementar una zonificación de cabeceras de cuenca a nivel nacional para promover una conservación integral de los recursos hídricos presentes en estos territorios, esto aportaría en una mejor toma de decisiones por parte de los entes encargados, esto debido a la actual importancia del agua y la vulnerabilidad que esta presenta por el cambio climático y otros factores, así mismo la implementación a nivel nacional necesita de una mejora en la metodología ya existente quizá adecuando y cambiando algunas variables en función al clima, ecosistemas y vulnerabilidad presente de cada zona de nuestro país, tales como seleccionar mejores modelos hidrológicos con mejores desempeños de acuerdo a la zona y realizar un análisis detallado de vulnerabilidad del territorio.
- El modelo hidrológico semi distribuido de Lutz Scholz muestra algunas deficiencias en su comportamiento en la zona altiplánica que para el caso de la zona de estudio claro si se llegó a un valor óptimo de métricas, se considera que esto no es suficiente, pudiendo haber otros modelos que tengan mejor desempeño en esta zona geográfica de nuestro país, se propone utilizar un modelo más simple tal como lo es el GR2M, el cual se desarrolló en otras investigaciones de la zona altiplánica presentado un mejor desenvolvimiento, pudiendo obtener mejores resultados en cuanto a la generación de caudales medios en las cabeceras de cuenca.
- Se recomienda para futuras investigaciones realizar una naturalización de caudales específicamente en la UH Coata debido a que en esta se encuentra la presa Lagunillas



la cual regula diariamente MMC de agua alterando así los caudales naturales de la UH e influyendo en la calibración del modelo hidrológico.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albuja, E., & Tenelanda, D. (2014). Desarrollo De Un Modelo Conceptual De Lluvia-Escorrentía Para Interpretación De Procesos Hidrológicos En La Cuenca Altoandina Del Río Zhurucay. *Universidad de Cuenca*, 1–58.
- ANA. (2021). Marco Metodológico: Criterios Técnicos Para La Identificación, Delimitación Y Zonificación De Cabeceras De Cuenca. En *Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego* (p. 59).
- ANA. (2023). *PLATAFORMA ANDREA Manual de Usuario*. Sistema Nacional de Información de Recursos Hídricos.
- Basharat, M., Shah, H. R., & Hameed, N. (2016). Landslide susceptibility mapping using GIS and weighted overlay method: a case study from NW Himalayas, Pakistan. *Arabian Journal of Geosciences*, 9(4). <https://doi.org/10.1007/s12517-016-2308-y>
- Baxendale, C., & Buzai, G. D. (2010). Análisis Espacial con Sistemas de Información Geográfica. Aportes de la Geografía para la elaboración del Diagnóstico en el Ordenamiento Territorial. *Actas I Congreso Internacional sobre Ordenamiento Territorial y Tecnologías de la Información Geográfica*, octubre, 24.
- Blum, W. E. H. (2008). Characterization of soil degradation risk: an overview. *Threats to Soil Quality in Europe*, 1, 87–100. <https://doi.org/10.2788/8647>
- Cabrera, J. (2009). Calibración de Modelos Hidrológicos. *Universidad Nacional de Ingeniería*, 1, 1–7.



- Cabrera, J. W. (2012). Unidad de Respuesta Hidrológica (H.R.U.). *Instituto para la Mitigación de los Efectos del Fenómeno El Niño - Universidad Nacional de Ingeniería*, 1–2.
- Célleri, R., De Bievre, B., & Ochoa, B. (2012). Guía Metodológica para el Monitoreo Hidrológico de Ecosistemas Andinos. *Consortio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina – CONDESAN*, 1–17.
- Córdoba, G. S., & Camardelli, M. C. (2020). Propuesta conceptual y metodológica para evaluar la degradación de tierras secas desde la perspectiva de los servicios ecosistémicos Propuesta conceptual y metodológica para evaluar la degradación de tierras secas desde la perspectiva de los servicios eco. *Jornada Nacional de la Evaluación Integrada de la Desertificación: Enfoques y Metodologías Socioambientales 25 y 26 de septiembre, Mendoza, septiembre 2018*.
- Davie, T. (2008). *Fundamentals of Hydrology* (J. Gerrard, Ed.; Vol. 48). Routledge Taylor & Francis Group.
- DECRETO SUPREMO N° 014-2021-MIDAGRI, Pub. L. No. DECRETO SUPREMO N° 014-2021-MIDAGRI, Diario oficial El Peruano 40 (2021).
- Devi, G. K., Ganasri, B. P., & Dwarakish, G. S. (2015). A Review on Hydrological Models. *Aquatic Procedia*, 4 (Icwrcoe), 1001–1007.
<https://doi.org/10.1016/j.aqpro.2015.02.126>
- Espinoza, J. C. (2005). *El Método del Vector Regional de Índices Pluviométricos* (Número 1).
- Gámez Morales, W. R. (2010). *Texto Básico de Hidrología*. Dirección de Investigación Extensión y Posgrado (DIEP).



- Gutiérrez Huamán, N. (2013). *Delimitación de la cabecera de cuenca del río Piura*.
Universidad de Piura.
- Hernández Guerra, D. A. (2015). Estimación de los Parámetros Morfométricos y la
Unidades de Respuesta Hidrológica de la Cuenca del Río Raquira Departamento
de Boyacá a Través del Programa SWAT. En *Programa de Especialización en
Recursos Hídricos*. Universidad Católica de Colombia.
- Herrera Velasquez, J. (2015). Generación y calibración de caudales medios mensuales
mediante el modelo GR2M, en la cuenca del río Coata. En *Universidad Nacional
del Altiplano* (Vol. 0, Número 0). Universidad Nacional del Altiplano.
- IDL (2012, abril). El origen: ¿En qué momento se jodió Conga? *Revista Ideele*.
- INRENA. (2003). *Estudio de Inventario de Fuentes de Agua Superficiales en la Cuenca
del Río Yauca*.
- INRENA. (2007). Evaluación de los recursos hídricos de las cuencas Cabanilla y Lampa.
En *Ministerio de Agricultura: Vol. I*.
- Kavka, P. (2021). Spatial delimitation of small headwater catchments and their
classification in terms of runoff risks. *Water (Switzerland)*, 13(23).
<https://doi.org/10.3390/w13233458>
- Lepeška, T. (2010). Hydric potential of landscape and integrated river basin management
in mountain and submontane regions. *Ecohydrology and Hydrobiology*, 10(1),
13–24. <https://doi.org/10.2478/v10104-010-0017-9>
- Lepeška, T. (2013). Hydric potential of selected river basins in Slovakia. *Ecohydrology
and Hydrobiology*, 13(3), 201–209. <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2013.08.004>



- Linsley, R. K., Kohler, M. A., & Paulhus, J. L. H. (1977). *Hidrología para Ingenieros* (G. Silva, Ed.; McGraw-Hil). Editorial McGraw-Hill Latinoamericana S.A.
- Lopes Simedo, M. B., Tarlé Pissarra, T. C., Mello Martins, A. L., Conceição Lopes, M., Araújo Costa, R. C., Zanata, M., Leal Pacheco, F. A., & Sanches Fernandes, L. F. (2020). The Assessment of Hydrological Availability and the Payment for Ecosystem Services: A Pilot Study in a Brazilian Headwater Catchment. En *Water (Switzerland)* (Vol. 12, Número 10). <https://doi.org/10.3390/w12102726>
- Lovera Pons, V., Roldán Aragón, I. E., Sanchez Robles, J., & Torres Lima, P. (2018). Evaluación del servicio ecosistémico de rendimiento hídrico entre los años de 1994 y 2016 en el municipio de Valle de Bravo, estado de México. *Papeles de Geografía*, 0(64), 93–113.
- Mamani Mamani, F. J. (2024). *Evaluación de las Alteraciones Hidrológicas por Factores Climáticos y Antropogénicos en la cuenca del Río Coata* [Tesis]. Universidad Nacional del Altiplano.
- Mayta Condori, E. I. (2015). *Método de Cuantificación IPRH para la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos Aplicación Cuenca del Rio Cabanillas* [Tesis]. Universidad Nacional del Altiplano.
- McClendon, B. (2011). *Google Earth downloaded more than one billion times*. Google Official Blog. <http://googleblog.blogspot.com/2011/10/google-earth-downloaded-more-than-one.html>
- Meléndez de la Cruz, J. F. (2019). La identificación de las cabeceras de cuencas hidrográficas: métodos y aplicaciones. *Investigaciones Sociales*, 22(40), 111–120. <https://doi.org/10.15381/is.v22i40.15890>



- Microsoft. (2023). *Detalles de aplicaciones de Office*. Microsoft 365 Learn.
<https://www.microsoft.com/es-ar/microsoft-365/products-apps-services>
- MINAM. (2019). Mapa Nacional de Ecosistemas del Perú - Memoria Descriptiva. En
Ministerio del Ambiente.
- Morales, A. (2016). *SAS Planet: descarga imágenes de Google, Bing*. MappingGIS.
<https://mappinggis.com/2014/09/como-descargar-imagenes-de-google-bing-etc/>
- Munive Garcia, M., Camacho Morúa, M. I., & Domínguez Morales, L. (2020).
*Actualización del Mapa Nacional de Peligro por Inestabilidad de Laderas,
Asociado a Umbrales de lluvias: Región Norte (Nuevo León, San Luis Potosí y
Tamaulipas)*.
- Pueyo E., J., & Larraz D., C. (2002). Imagen y ortofoto, elementos clave en la
representación de eventos en el territorio, mediante la utilización de técnicas gis.
Universidad del País Vasco, España, 1, 11.
- Quichimbo, A., & Vázquez, R. F. (2015). Predicción de caudales en la cabecera de la
cuenca del Paute mediante el modelo DBM. *Maskana, 0(0)*, 125–134.
- Salas, J. D., Govindaraju, R. S., Anderson, M., Arabi, M., Frances, F., Suarez, W.,
Lavado-Casimiro, W. S., & Green, T. R. (2014). Modern water resources
engineering. *Modern Water Resources Engineering, November*, 1–866.
<https://doi.org/10.1007/978-1-62703-595-8>
- Sarango, D. D., Rozas, G. A., Salvador, B., Velásquez, T. O., Sullca, J., & Mansilla, J. J.
(2012). Determinación del rendimiento hídrico en la cuenca alta del río Grande en
Puno. *Revista de Investigación de Física, 15(02)*, 1–8.
<https://doi.org/10.15381/rif.v15i02.8688>



- Scholz, L. (1980). *Generación de Caudales mensuales en la Sierra Peruana Meriss II*.
- SENAMHI. (2010). Caracterización de la Oferta Hídrica Superficial. En *Ministerio del Ambiente* (Vol. 3, Número 1).
- SENAMHI. (2016). *Oferta hídrica superficial del río Coata - Puno bajo escenarios de cambio climático*.
- Soto Najarro, D. (2015). Calibración del Modelo Lutz Scholtz y Generación de Caudales Extendidos Aplicado a la Cuenca del Rio Chacco. En *Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga*.
- Torres Muñoz, M. S. (1998). *Zonificación ambiental de una cuenca hidrográfica*. (pp. 41–105). SENA.
- Trojan, J. (2010). *QGIS es un software SIG principal en el Laboratorio de Geografía Experimental y Aplicada*. QGIS 3.36.1.
https://www.qgis.org/es/site/about/case_studies/czech_brno.html
- Vasquez, A., & Chang-Navarro, L. (1988). *El Riego, Principios Básicos* (CONCYTEC). Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Vauchel, P. (2018). *Presentación de Hydraccess (Escribir a Philippe Vauchel)*. HyBAm.
<https://hybam.obs-mip.fr/es/hydraccess-3/>
- Vega Segarra, X. (2020). Diferentes soluciones para la delimitación y codificación de cuencas superficiales cubanas. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, *XLI*(2), 75–84.
- Wheater, H. S. (2007). Modelling hydrological processes in arid and semi-arid areas: An introduction to the workshop. *Hydrological Modelling in Arid and Semi-Arid*



Areas, 9780521869(2000), 1–20.

<https://doi.org/10.1017/CBO9780511535734.002>

Zambrano Ramirez, A., Torres Castillo, J., & Ibarra Gonzales, J. (2011). Delimitación, codificación de las cuencas hidrográficas según los métodos de Pfasftetter y Strahler utilizando Modelos de Elevación Digital y técnicas de Teledetección. XV *Simposio Brasileiro de Sensoria miento Remoto - SBSR*, 1105–1112.



ANEXOS



ANEXO 1: Series Históricas de Precipitación Total Mensual.

PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL HISTÓRICA (MM)

Estación	CABANILLAS												Tipo	CO
Longitud	-70.37												Región	PUNO
Latitud	-15.65												Provincia	SAN ROMAN
Altitud	3892 msnm												UH	COATA
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL	
1964	46.0	94.3	139.7	41.0	13.0	0.0	0.0	0.0	11.8	27.4	29.0	77.1	479.3	
1965	157.6	105.5	88.2	37.8	5.0	0.0	0.0	0.0	12.2	12.0	13.2	144.6	576.1	
1966	25.1	156.2	81.5	3.1	31.0	0.0	0.0	1.0	9.5	21.9	49.0	60.7	439.0	
1967	71.2	92.8	148.9	7.3	13.7	0.6	9.5	15.6	40.0	31.8	4.2	131.0	566.6	
1968	95.7	168.5	103.8	8.7	8.1	0.0	2.2	0.0	21.6	29.8	135.7	44.1	618.2	
1969	166.9	94.3	60.2	46.5	0.0	0.0	0.0	0.0	4.4	16.1	54.3	41.3	484.0	
1970	143.9	121.4	144.9	25.7	3.6	0.0	0.0	0.0	14.2	24.8	11.9	124.4	614.8	
1971	91.5	218.3	68.2	15.2	2.6	0.0	0.0	4.0	0.0	11.8	56.8	142.0	610.4	
1972	218.4	85.9	181.9	36.3	6.2	0.0	0.0	0.6	32.0	32.2	33.8	92.9	720.2	
1973	199.4	128.8	124.8	85.0	12.4	0.0	2.1	1.3	46.1	12.9	24.0	93.3	730.1	
1974	240.5	232.3	76.5	53.6	0.0	0.0	0.0	53.2	27.6	20.5	20.7	87.4	812.3	
1975	134.3	193.5	107.4	22.1	23.5	0.0	0.0	0.0	13.1	34.1	17.0	180.6	725.6	
1976	184.0	136.6	130.6	18.4	17.4	1.9	1.3	3.9	41.8	4.3	9.7	65.1	615.0	
1977	70.3	166.6	173.2	28.5	0.0	0.0	0.0	0.0	16.2	33.4	118.5	118.9	725.6	
1978	257.8	148.5	117.8	37.7	0.0	0.0	0.0	0.0	6.3	14.2	72.5	160.8	815.6	
1979	203.6	76.0	71.9	52.0	0.9	0.0	0.6	1.2	3.1	33.9	42.4	122.4	608.0	
1980	60.8	84.5	168.4	8.1	4.9	0.0	1.0	32.7	38.6	99.0	57.0	46.3	601.3	
1981	124.7	148.8	161.2	47.9	0.0	0.0	1.0	22.2	10.0	18.6	36.7	116.7	687.8	
1982	154.6	44.2	119.8	65.5	5.0	1.0	2.5	4.0	48.2	61.0	113.9	23.0	642.7	
1983	26.0	52.1	32.8	34.4	14.0	2.8	0.0	3.0	6.5	15.0	30.5	69.0	286.1	
1984	212.8	237.1	126.0	33.5	21.4	0.0	3.0	9.0	7.5	112.9	89.4	131.3	983.9	
1985	115.5	180.6	97.5	97.7	6.0	22.0	0.0	3.0	31.5	38.0	100.0	142.5	834.3	
1986	131.2	234.1	168.7	95.7	1.3	0.0	11.0	1.5	26.0	6.5	31.4	134.1	841.5	
1987	158.8	79.1	54.6	9.7	0.0	0.9	7.6	1.5	9.0	27.7	111.6	69.6	530.1	
1988	186.3	93.2	155.4	67.2	6.3	0.0	0.0	0.0	6.2	36.2	0.0	102.5	653.3	
1989	194.9	57.8	89.6	88.4	0.0	1.4	0.0	4.8	6.0	3.3	40.0	53.6	539.8	
1990	172.5	23.4	49.2	13.5	2.4	34.3	0.0	9.8	1.0	80.1	130.0	101.9	618.1	
1991	106.4	94.2	115.2	70.1	5.8	35.6	0.0	0.0	6.3	13.8	27.4	86.9	561.7	
1992	106.8	75.1	28.5	8.5	0.0	2.7	2.2	31.1	0.0	47.5	27.2	64.9	394.5	
1993	147.2	67.8	96.3	69.5	3.0	0.0	0.0	26.3	9.5	113.4	83.0	117.4	733.4	
1994	133.8	105.2	162.1	110.2	12.3	0.0	0.0	0.0	6.5	14.3	51.2	98.0	693.6	
1995	125.8	116.1	100.2	5.0	0.0	0.0	0.0	0.2	16.6	9.9	32.8	98.9	505.5	
1996	206.3	102.8	56.4	37.7	1.9	0.0	2.0	17.6	10.3	14.3	57.8	165.6	672.7	
1997	158.5	238.3	111.3	75.1	3.7	0.0	0.0	0.0	46.5	38.0	103.3	88.4	863.1	
1998	151.8	168.4	110.3	16.9	0.0	0.0	0.0	5.5	0.0	31.6	58.6	37.7	580.8	
1999	95.0	116.9	112.3	104.4	5.4	0.0	1.8	1.8	21.9	104.0	3.0	95.3	661.8	
2000	134.6	221.9	133.3	31.7	6.6	0.0	0.0	6.9	15.8	118.3	13.5	110.4	793.0	
2001	273.9	224.6	78.2	63.9	11.5	0.8	0.4	52.6	9.4	71.3	21.6	67.3	875.5	
2002	93.7	166.9	160.5	125.7	28.7	6.2	16.0	22.9	8.8	116.3	78.0	105.3	929.0	
2003	217.2	92.5	116.7	22.1	10.8	2.6	0.0	0.9	16.9	14.0	21.4	136.2	651.3	
2004	193.0	100.1	81.6	34.2	0.5	0.5	7.7	18.4	12.8	2.9	27.4	58.2	537.3	
2005	75.3	265.7	84.0	49.7	0.0	0.0	0.0	0.5	5.8	30.6	70.6	79.9	662.1	
2006	230.2	107.3	141.3	49.9	0.0	0.7	0.0	2.8	44.2	38.0	60.2	69.0	743.6	
2007	68.1	105.4	168.6	67.5	2.4	0.0	0.8	0.0	26.4	40.6	69.3	83.9	633.0	
2008	271.6	74.5	65.1	6.3	0.0	0.2	0.0	0.6	1.8	34.9	25.8	153.5	634.3	
2009	88.8	119.7	111.4	24.6	0.0	0.0	1.6	0.5	1.4	28.4	89.3	91.2	556.9	
2010	147.8	125.3	66.7	28.4	9.6	0.0	0.5	0.0	2.4	21.2	35.8	183.0	620.7	
2011	76.1	182.5	134.0	41.3	1.7	0.0	5.1	4.3	32.1	29.8	76.2	260.4	843.5	
2012	165.2	216.1	165.0	49.8	0.0	0.0	0.0	2.9	3.2	45.4	46.5	190.5	884.6	
2013	180.2	170.5	53.0	10.7	7.6	9.0	7.9	5.0	8.0	50.1	52.1	137.5	691.6	
2014	155.6	65.0	53.4	43.7	0.0	0.0	2.6	36.0	30.2	94.2	42.1	134.6	657.4	
MEDIA	146.0	132.9	108.8	43.7	6.1	2.4	1.8	8.0	16.2	38.9	51.1	105.7	661.6	
DESV. STD.	61.6	59.9	40.8	30.5	7.6	7.5	3.4	13.2	14.1	32.3	34.7	45.6	138.9	



PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL HISTÓRICA (MM)

Estación : CRUCERO ALTO **Tipo** : CO
Longitud : -70.91 **Región** : AREQUIPA
Latitud : -15.76 **Provincia** : CAYLLOMA
Altitud : 4511 msnm **UH** : CAMANÁ

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1964	102.9	102.8	141.3	34.7	39.1	0.0	0.0	0.0	9.4	12.6	24.9	43.7	511.4
1965	111.6	132.6	99.2	35.7	1.8	0.0	4.7	0.0	10.9	6.9	23.0	132.1	558.5
1966	62.2	97.6	81.9	8.8	68.0	0.5	0.0	0.0	8.1	43.5	50.2	68.8	489.6
1967	79.1	132.5	126.6	33.9	20.6	0.0	8.5	2.8	44.0	24.8	30.4	113.3	616.5
1968	147.2	138.1	118.7	15.1	17.5	0.0	8.5	0.0	15.9	27.5	63.4	39.1	591.0
1969	177.1	68.8	72.0	19.1	0.0	0.0	3.1	0.0	16.1	9.7	68.2	89.2	523.4
1970	130.5	105.5	170.0	15.2	13.1	0.0	0.9	0.0	3.4	13.9	28.8	110.3	591.6
1971	62.0	97.4	87.0	23.5	0.0	0.0	0.0	0.0	2.1	5.5	14.0	121.3	412.8
1972	158.8	75.3	159.3	31.7	18.1	0.0	0.8	0.0	32.3	19.9	24.6	94.1	614.9
1973	231.0	209.2	135.5	64.6	31.1	0.0	5.2	11.2	31.0	9.1	23.8	43.6	795.3
1974	264.2	169.8	97.6	42.4	0.0	19.7	1.8	77.0	14.6	13.1	14.4	60.4	775.0
1975	148.8	156.0	115.7	27.8	67.2	0.0	0.0	0.0	16.9	29.5	19.9	135.3	717.1
1976	178.9	72.7	135.7	12.1	37.6	0.0	15.0	16.6	53.7	3.0	6.3	63.0	594.6
1977	48.9	166.6	190.9	2.0	0.0	0.0	10.2	34.5	26.7	31.1	80.6	99.7	691.2
1978	152.2	86.9	69.0	15.9	0.0	0.0	0.0	0.0	13.0	16.7	68.6	114.0	536.3
1979	116.2	51.9	123.1	25.6	0.0	0.0	3.4	16.0	0.0	33.7	60.8	71.9	502.6
1980	66.8	33.3	129.5	0.5	11.3	0.0	11.3	2.0	22.7	83.5	38.8	30.1	429.8
1981	224.2	165.1	113.5	40.0	0.0	0.0	0.0	17.8	0.1	7.6	25.8	89.4	683.5
1982	235.7	63.7	136.9	36.8	0.0	0.0	0.0	0.0	37.0	40.8	79.9	9.7	640.5
1983	40.5	28.3	42.0	59.7	23.6	0.0	0.0	0.0	20.8	0.0	0.0	39.5	254.4
1984	174.4	218.4	180.8	35.6	50.1	1.3	3.1	6.4	0.3	89.5	93.3	84.1	937.3
1985	66.0	196.6	138.1	73.0	20.0	11.2	0.6	5.3	14.2	14.6	82.8	115.2	737.6
1986	140.8	164.0	181.8	62.4	3.9	0.0	2.5	10.0	16.3	0.6	9.4	90.7	682.4
1987	203.2	38.6	40.7	0.0	0.8	0.0	21.2	1.8	0.0	15.3	59.0	36.5	417.1
1988	213.8	52.0	183.5	79.2	10.1	0.0	0.0	0.0	1.1	22.7	3.2	82.4	648.0
1989	176.7	91.8	116.2	34.9	6.2	4.0	11.8	3.7	0.0	3.7	19.3	33.6	501.9
1990	179.1	30.2	85.7	41.7	15.9	45.6	0.0	12.5	0.0	56.8	91.8	82.6	641.9
1991	135.5	81.0	138.3	40.6	16.4	27.2	0.0	0.0	2.1	16.9	23.5	80.2	561.7
1992	74.7	102.0	12.9	7.8	0.0	0.9	1.4	18.0	0.0	35.6	19.5	82.4	355.3
1993	196.5	27.7	116.4	53.9	1.3	0.0	0.1	15.6	4.6	61.8	75.9	102.0	655.8
1994	172.6	126.5	167.8	90.8	20.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	67.7	87.1	732.6
1995	86.1	135.1	127.4	31.5	0.1	0.0	0.0	0.5	8.7	9.3	49.1	67.8	515.7
1996	198.3	117.2	92.7	49.9	13.7	0.0	0.0	11.1	0.4	4.1	41.2	121.3	649.9
1997	170.2	165.1	127.3	55.9	4.8	0.0	0.0	21.5	24.1	17.2	48.6	41.4	676.3
1998	159.3	69.8	93.1	16.7	0.0	11.4	0.0	2.6	1.7	20.5	39.7	28.3	443.2
1999	83.1	128.1	172.9	44.4	6.2	0.0	0.0	7.1	2.8	72.2	0.0	54.6	571.6
2000	173.3	129.0	118.9	10.2	12.5	4.3	0.0	1.7	0.2	41.3	10.0	97.2	598.8
2001	226.0	185.0	100.6	50.1	6.6	0.7	0.0	5.4	0.6	13.9	29.3	50.4	668.5
2002	88.3	179.4	192.5	79.2	9.0	3.4	20.6	0.3	7.3	57.7	53.5	94.1	785.4
2003	179.7	124.9	161.9	27.6	6.4	0.5	0.0	6.6	2.9	0.4	5.8	68.3	585.2
2004	138.6	108.9	87.8	53.7	0.0	0.0	13.3	7.1	5.1	2.3	8.4	38.8	464.2
2005	108.6	121.7	57.7	53.7	0.0	0.0	0.0	0.0	10.5	19.1	46.8	96.7	514.8
2006	148.8	119.1	152.0	39.3	0.2	0.1	0.0	2.7	20.9	22.4	53.4	55.4	614.4
2007	89.1	78.0	162.5	36.3	4.6	0.2	2.1	0.0	21.0	17.6	32.1	50.3	494.0
2008	196.3	53.6	74.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	25.0	10.6	103.9	464.5
2009	82.1	147.9	113.5	33.4	0.0	0.0	8.8	0.0	13.5	15.8	56.8	74.3	546.3
2010	189.2	192.6	64.4	46.0	4.8	1.3	0.1	0.3	3.4	14.6	19.3	125.1	661.2
2011	119.6	175.8	100.0	12.3	1.4	0.0	15.1	1.4	15.1	17.4	28.1	129.3	615.7
2012	203.3	220.0	105.5	83.8	8.9	0.0	0.0	0.0	8.8	28.5	29.2	103.0	791.2
2013	158.5	123.3	78.7	4.4	11.8	11.5	6.8	8.4	0.0	35.9	31.2	105.2	575.7
2014	178.9	46.1	87.3	44.6	0.0	0.0	0.0	0.0	32.7	53.4	26.5	83.5	553.0
N° DATOS	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51
MEDIA	146.1	115.8	117.2	36.1	11.5	2.8	3.6	6.4	11.7	24.3	37.5	79.1	592.0
DESV. STD.	55.5	53.0	41.5	22.9	16.2	8.0	5.7	12.4	12.8	21.3	25.4	31.5	124.3
MIN	40.5	27.7	12.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.7	254.4
MAX	264.2	220.0	192.5	90.8	68.0	45.6	21.2	77.0	53.7	89.5	93.3	135.3	937.3
MEDIANA	152.2	119.1	116.4	35.6	6.2	0.0	0.1	1.7	8.7	17.4	29.3	82.6	591.6



PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL HISTÓRICA (MM)

Estación : JULIACA **Tipo** : CO
Longitud : -70.15 **Región** : PUNO
Latitud : -15.48 **Provincia** : SAN ROMAN
Altitud : 3826 msnm **UH** : COATA

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1964	64.2	108.6	120.8	24.7	15.7	0.0	2.7	0.0	9.8	39.6	56.7	57.9	500.7
1965	92.5	97.7	77.0	30.0	1.0	0.0	1.0	0.0	9.0	11.9	51.5	141.4	513.0
1966	58.4	71.7	54.9	18.9	43.5	0.0	0.0	0.0	21.8	34.8	54.5	53.9	412.4
1967	58.3	79.4	146.6	21.3	9.7	2.2	5.0	12.4	43.6	49.9	7.3	105.9	541.6
1968	60.6	164.9	53.5	15.1	9.3	4.0	7.0	2.1	29.8	33.3	116.9	28.3	524.8
1969	133.4	46.5	29.7	55.7	0.0	3.2	14.2	0.0	8.1	29.2	45.2	31.6	396.8
1970	190.4	98.1	115.3	27.0	3.2	0.0	0.0	0.0	22.9	34.1	42.2	114.8	648.0
1971	127.2	125.7	90.0	43.3	0.8	0.0	0.7	5.7	10.8	30.8	47.4	103.3	585.7
1972	217.7	97.9	109.9	18.8	11.4	0.0	0.0	0.8	29.0	34.5	45.8	74.2	640.0
1973	212.8	107.4	108.5	80.3	15.7	1.2	5.4	9.2	49.5	45.0	14.2	44.4	693.6
1974	228.6	167.6	69.9	19.9	1.8	8.4	0.0	44.8	10.7	40.9	39.9	69.4	701.9
1975	137.1	126.8	100.5	16.6	33.9	0.2	0.0	1.5	21.0	74.3	25.9	124.6	662.4
1976	148.7	83.0	99.5	11.9	23.3	1.0	0.0	4.1	71.3	0.0	6.3	70.3	519.4
1977	56.1	180.8	104.6	5.0	1.4	0.0	0.0	0.0	27.4	49.2	92.2	88.9	605.6
1978	208.2	127.9	78.1	42.1	0.0	0.0	0.0	0.0	16.3	11.6	83.0	160.7	727.9
1979	137.7	56.6	103.0	23.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	81.1	52.0	76.2	530.2
1980	55.7	60.0	174.4	15.1	1.6	0.0	0.0	21.6	31.2	72.3	47.2	40.0	519.1
1981	137.3	173.5	103.7	71.3	0.0	0.0	0.0	25.8	26.1	72.5	70.5	59.9	740.6
1982	149.3	61.1	101.1	59.4	0.0	0.0	0.0	4.0	46.4	48.7	118.9	17.5	606.4
1983	52.4	102.8	24.9	40.0	12.0	0.0	0.0	0.0	21.0	23.4	26.3	57.4	360.2
1984	203.2	189.8	106.1	77.1	19.8	20.8	4.0	15.5	1.0	109.7	117.2	95.8	960.0
1985	70.3	190.7	93.3	80.1	12.6	33.4	0.0	2.3	28.9	59.4	159.5	149.3	879.8
1986	127.6	134.7	112.7	104.8	3.0	0.0	3.3	7.5	20.4	2.9	17.4	131.9	666.2
1987	192.3	33.7	53.2	10.4	0.0	29.9	0.0	6.4	4.7	37.8	86.2	36.8	491.4
1988	196.6	48.9	174.5	86.8	8.6	0.0	0.0	0.0	6.1	33.0	1.5	80.0	636.0
1989	184.2	99.3	83.3	30.8	0.0	4.4	0.0	4.0	2.5	13.0	14.8	58.8	495.1
1990	110.8	35.8	20.5	25.4	7.0	36.5	0.0	7.0	12.0	89.6	60.6	88.1	493.3
1991	109.2	47.8	86.6	46.0	13.0	51.0	4.0	1.0	13.7	27.3	36.5	55.7	491.8
1992	64.1	80.8	12.0	30.5	0.0	0.0	6.5	39.6	0.0	58.0	37.6	68.0	397.1
1993	158.8	45.8	105.2	54.5	1.5	0.0	0.0	28.0	16.0	71.0	113.0	89.5	683.3
1994	122.4	98.0	105.0	60.0	16.8	0.0	0.0	0.0	1.4	0.2	76.1	92.4	572.3
1995	127.0	98.0	88.0	19.2	0.0	0.0	0.0	0.0	17.1	12.8	47.9	79.8	489.8
1996	185.6	95.7	45.0	29.0	7.0	0.0	0.0	2.5	2.0	21.0	50.0	69.0	506.8
1997	127.0	140.0	101.5	81.0	6.6	4.7	0.0	7.5	48.5	33.3	75.1	61.7	686.9
1998	142.0	110.3	79.4	19.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	35.1	58.7	29.8	475.2
1999	108.3	107.9	138.1	91.8	14.1	4.7	2.3	7.5	17.5	107.8	7.6	68.6	676.2
2000	138.8	161.2	97.1	22.5	9.9	4.7	2.3	0.0	3.0	91.0	13.1	94.0	637.6
2001	231.2	166.8	98.1	43.3	5.5	2.6	0.6	18.5	4.3	71.5	27.5	63.1	733.0
2002	73.0	158.4	119.5	54.2	24.0	3.4	19.4	16.7	15.1	97.0	75.5	99.9	756.1
2003	177.5	80.1	121.3	10.7	4.3	4.4	1.1	0.6	19.4	16.9	28.1	97.2	561.6
2004	163.9	96.3	69.4	28.2	0.0	0.2	1.5	24.3	1.5	7.2	17.6	59.5	469.6
2005	80.6	180.3	64.0	46.7	0.0	0.0	0.0	1.8	16.0	32.5	57.2	92.6	571.7
2006	207.4	82.4	101.3	20.7	0.8	2.0	0.0	1.5	23.8	39.8	77.6	73.8	631.1
2007	92.4	73.2	178.5	66.1	3.6	0.2	6.5	0.8	18.2	30.1	84.6	66.6	620.8
2008	220.8	69.1	58.5	6.2	0.6	1.0	0.0	1.1	1.8	44.5	37.1	136.6	577.3
2009	85.9	120.6	95.9	13.7	0.0	0.0	1.0	0.2	8.1	28.1	83.8	89.5	526.8
2010	98.7	127.6	48.0	28.0	13.8	0.4	0.4	0.0	0.4	25.6	19.9	98.6	461.4
2011	49.2	184.0	74.0	12.7	5.8	0.0	5.9	4.7	18.5	32.0	56.7	157.4	600.9
2012	129.2	147.8	121.4	62.7	0.0	0.2	0.0	20.3	6.2	49.7	47.1	132.7	717.3
2013	154.4	133.7	50.0	9.6	5.0	7.0	2.5	7.9	9.6	38.0	38.8	141.3	597.8
2014	215.1	53.7	82.3	33.2	0.4	0.1	6.8	8.9	47.8	88.5	24.2	79.8	640.8
N° DATOS	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51
MEDIA	134.8	108.4	91.2	38.2	7.2	4.5	2.0	7.2	17.5	43.6	52.8	83.5	590.9
DESV. STD.	55.5	44.6	36.5	25.6	9.3	10.6	3.8	10.5	15.7	27.8	34.0	34.8	118.3
MIN	49.2	33.7	12.0	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	17.5	360.2
MAX	231.2	190.7	178.5	104.8	43.5	51.0	19.4	44.8	71.3	109.7	159.5	160.7	960.0
MEDIANA	133.4	99.3	97.1	29.0	3.6	0.2	0.0	2.3	16.0	35.1	47.4	79.8	585.7



PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL HISTÓRICA (MM)

Estación	:	LAGUNILLAS	Tipo	:	CO
Longitud	:	-70.659	Región	:	PUNO
Latitud	:	-15.76725	Provincia	:	LAMPA
Altitud	:	4177 msnm	UH	:	COATA

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1964	46.1	142.4	90.7	46.2	22.4	0.0	0.0	4.5	4.6	3.0	37.1	50.3	447.3
1965	134.8	131.5	81.6	30.5	0.7	0.6	2.2	1.1	8.3	2.3	8.8	146.7	549.1
1966	36.6	134.2	59.7	5.8	37.5	0.0	0.0	0.0	6.3	51.6	68.7	75.9	476.3
1967	84.5	129.4	197.8	29.1	9.3	0.0	4.9	3.1	32.0	33.4	2.3	91.3	617.1
1968	129.0	134.1	158.0	5.4	9.9	2.0	3.5	2.3	7.4	26.8	129.2	46.9	654.5
1969	147.4	90.5	71.6	41.1	0.0	1.6	2.1	0.0	5.7	28.0	55.5	108.9	552.4
1970	184.9	149.7	146.2	24.2	13.5	0.0	0.0	1.1	3.6	22.2	1.9	148.4	695.7
1971	100.5	213.9	52.3	25.8	0.5	1.1	0.0	0.0	0.0	5.5	30.9	97.3	527.8
1972	225.8	134.7	138.5	13.7	12.9	0.0	0.0	0.0	25.5	21.3	50.5	84.7	707.6
1973	266.4	229.2	173.4	78.4	17.0	0.0	2.5	10.1	28.0	17.2	21.6	108.5	952.3
1974	313.5	246.4	87.5	43.5	2.9	12.4	0.1	76.8	13.1	15.5	12.2	76.3	900.2
1975	228.2	206.9	122.7	25.5	48.0	0.0	0.0	1.0	5.6	18.0	21.3	159.6	836.8
1976	227.5	105.3	112.3	17.6	26.8	0.0	8.3	16.0	45.7	0.0	8.5	80.1	648.1
1977	108.8	229.0	119.9	10.5	1.9	0.0	3.5	0.0	9.9	31.4	115.0	73.7	703.6
1978	231.9	125.8	94.2	16.2	0.0	0.0	0.8	0.2	7.6	22.8	116.3	136.6	752.4
1979	164.8	53.9	88.3	13.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	44.0	96.5	123.5	584.9
1980	63.1	96.5	148.4	24.2	4.6	0.3	2.2	6.6	18.2	74.7	28.4	38.4	505.6
1981	160.3	231.3	128.4	75.0	0.0	0.0	0.0	48.5	0.9	8.6	36.9	110.1	800.0
1982	215.6	76.6	161.6	59.3	2.3	0.4	0.0	0.2	37.0	53.5	83.2	30.1	719.8
1983	54.3	32.2	38.7	42.6	13.3	1.4	0.0	3.8	5.9	7.5	1.0	66.4	267.1
1984	246.0	246.5	150.5	34.2	35.7	2.4	1.2	4.6	0.0	95.0	125.0	133.9	1075.0
1985	69.2	222.5	129.6	63.8	16.6	9.3	0.8	1.3	17.9	17.3	141.5	142.1	831.9
1986	157.2	243.4	165.8	95.0	6.0	0.0	7.2	13.7	11.9	3.0	23.5	154.1	880.8
1987	210.6	51.6	41.6	15.4	0.4	1.8	14.4	5.1	0.8	19.5	59.5	43.5	464.2
1988	188.0	59.3	156.7	94.5	8.1	0.0	0.2	0.0	5.1	33.5	5.4	93.0	643.8
1989	161.6	76.7	124.6	51.0	2.8	5.7	6.7	4.3	0.5	5.0	28.1	32.0	499.0
1990	160.7	47.7	42.3	39.6	5.3	54.6	0.0	9.4	0.0	63.2	96.0	59.5	578.3
1991	191.4	88.6	128.6	22.3	8.4	27.6	0.0	0.0	8.9	8.2	19.8	82.0	585.8
1992	84.8	109.4	18.8	4.7	0.0	4.6	1.3	39.1	0.0	32.2	34.3	70.2	399.4
1993	242.0	44.5	116.4	55.4	0.0	0.0	0.0	8.9	2.3	58.3	99.6	140.8	768.2
1994	169.0	163.5	128.7	94.8	14.7	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	48.7	111.1	731.2
1995	103.0	121.6	121.7	13.2	0.0	0.0	0.0	0.0	8.4	4.4	36.6	91.4	500.3
1996	231.8	107.6	47.2	45.9	16.0	0.0	0.0	37.1	4.4	3.0	58.1	113.7	664.8
1997	158.4	208.6	72.3	24.4	7.4	0.0	0.0	0.0	30.3	13.8	65.2	59.7	640.1
1998	187.8	140.6	124.6	17.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.6	56.2	27.1	569.1
1999	180.1	203.5	203.0	95.9	12.7	0.0	0.0	4.2	4.0	57.1	4.2	74.9	839.6
2000	143.8	208.3	77.0	19.8	7.5	0.0	0.0	1.2	0.0	74.8	22.9	130.1	685.4
2001	289.8	171.1	114.4	67.3	4.8	1.5	4.0	13.9	2.4	17.3	9.5	100.5	796.5
2002	92.3	163.8	134.7	87.7	15.1	0.0	24.3	5.6	5.3	29.4	98.6	119.0	775.8
2003	153.7	151.0	151.4	27.2	9.7	6.3	0.0	0.0	2.7	7.6	2.0	102.3	613.9
2004	171.1	155.0	86.2	60.8	0.0	0.0	12.2	12.9	0.0	10.0	29.0	69.9	607.1
2005	230.8	215.0	53.9	43.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.5	21.7	89.3	112.5	779.7
2006	232.6	121.5	131.9	43.6	0.0	0.0	0.0	0.0	19.7	24.9	71.0	74.6	719.8
2007	111.2	101.8	208.5	63.3	14.3	0.0	0.0	0.0	12.9	19.9	67.7	80.9	680.5
2008	254.4	77.4	71.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6	29.3	19.5	149.6	603.1
2009	106.2	158.8	111.1	27.8	0.0	0.0	0.0	0.0	6.9	18.2	86.1	95.4	610.5
2010	157.3	178.6	69.2	31.2	16.5	0.0	0.0	0.0	0.0	16.4	30.9	127.7	627.8
2011	94.4	217.2	95.8	32.7	7.2	0.0	0.0	0.0	13.7	18.6	56.3	188.5	724.4
2012	167.8	241.8	141.0	72.8	0.0	0.0	0.0	0.0	3.7	32.3	47.0	155.2	861.6
2013	181.7	167.8	67.3	9.1	8.6	0.0	0.0	0.0	0.1	28.3	47.0	139.4	649.3
2014	185.8	66.9	82.3	51.0	0.0	0.0	0.0	0.0	26.6	55.3	38.2	105.4	611.5
N° DATOS	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51
MEDIA	165.5	145.6	110.6	39.9	8.7	2.6	2.0	6.6	9.2	25.9	49.9	98.7	665.0
DESV. STD.	65.1	62.3	44.8	26.6	10.6	8.7	4.5	14.3	10.8	21.5	37.8	38.2	148.6
MIN	36.6	32.2	18.8	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	27.1	267.1
MAX	313.5	246.5	208.5	95.9	48.0	54.6	24.3	76.8	45.7	95.0	141.5	188.5	1075.0
MEDIANA	164.8	140.6	116.4	32.7	6.0	0.0	0.0	1.0	5.6	19.9	38.2	97.3	649.3



PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL HISTÓRICA (MM)

Estación : LAMPA **Tipo** : CO
Longitud : -70.37 **Región** : PUNO
Latitud : -15.36 **Provincia** : LAMPA
Altitud : 3866 msnm **UH** : COATA

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1964	43.0	118.4	127.6	0.0	16.5	0.0	0.0	0.0	15.9	20.9	63.5	50.1	455.9
1965	154.8	97.5	99.1	31.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16.4	23.0	45.0	155.0	621.8
1966	31.0	107.0	53.0	14.0	49.4	0.0	0.0	0.0	18.3	31.7	61.2	97.1	462.7
1967	67.6	111.7	128.6	14.3	13.5	0.6	4.9	5.2	61.6	58.5	11.8	168.5	646.8
1968	97.9	199.4	73.4	19.7	4.4	2.2	5.8	3.0	27.0	53.1	145.5	67.6	699.0
1969	164.4	75.7	57.3	45.5	0.0	2.8	3.2	0.0	5.8	41.0	58.7	63.4	517.8
1970	142.9	107.6	126.3	39.2	8.6	0.0	0.0	0.0	5.9	27.7	21.4	112.7	592.3
1971	97.8	184.4	72.5	19.4	0.0	0.0	0.0	8.4	0.5	32.6	42.9	144.4	602.9
1972	239.3	89.0	149.6	17.6	11.7	0.0	0.0	0.0	23.1	11.1	77.5	101.8	720.7
1973	213.1	158.1	121.1	89.8	20.0	0.0	2.0	3.3	43.8	43.2	38.1	108.1	840.6
1974	222.4	218.3	60.6	36.4	0.0	8.7	1.3	71.1	18.2	24.0	44.7	78.9	784.6
1975	157.7	178.1	113.8	18.1	30.5	0.8	0.0	3.8	14.8	43.6	34.5	82.9	678.6
1976	187.2	68.5	122.4	15.0	19.1	4.0	0.3	9.3	88.2	0.0	11.0	111.3	636.3
1977	71.0	170.0	208.5	11.5	0.0	0.0	1.0	0.0	29.0	75.2	124.0	163.7	853.9
1978	241.6	176.0	142.5	20.8	0.0	1.5	0.0	3.5	22.0	28.7	123.0	209.6	969.2
1979	192.5	76.9	161.9	45.7	3.3	0.0	0.0	6.2	0.0	38.8	57.9	136.5	719.7
1980	86.5	95.5	176.5	5.0	5.9	0.0	0.0	5.5	42.9	65.0	73.5	54.0	610.3
1981	190.5	145.5	136.1	48.5	0.0	0.0	0.0	28.0	11.8	0.0	56.5	173.5	790.4
1982	166.5	101.5	140.0	76.5	0.0	2.5	0.0	6.5	77.5	48.2	131.0	39.5	789.7
1983	23.0	50.4	24.5	40.2	8.5	4.5	0.0	4.5	32.5	44.0	26.5	47.5	306.1
1984	223.8	233.8	149.5	83.0	25.5	0.0	0.0	13.0	0.0	137.3	161.6	154.9	1182.4
1985	156.1	220.7	146.5	104.6	11.0	37.0	0.0	9.5	33.7	56.0	145.4	158.4	1078.9
1986	131.3	186.7	142.4	64.2	3.6	0.0	1.4	15.1	23.5	10.4	38.9	122.0	739.5
1987	215.5	76.3	17.1	25.8	4.0	1.8	19.2	0.0	4.2	29.6	146.6	57.9	598.0
1988	194.5	56.5	160.5	117.3	8.8	0.0	0.1	0.0	11.9	39.7	2.9	146.2	738.4
1989	131.4	82.0	111.5	63.2	0.5	2.6	0.8	4.9	2.6	9.1	41.9	49.7	500.2
1990	144.5	61.7	31.3	18.9	5.4	43.1	0.0	9.0	2.9	92.7	96.7	91.8	598.0
1991	138.7	107.0	90.5	38.2	10.5	40.0	0.8	0.0	8.5	59.4	26.6	82.9	603.1
1992	86.4	76.2	33.5	31.4	0.0	2.8	1.4	63.4	0.5	49.2	61.0	111.1	516.9
1993	155.3	18.2	140.1	72.4	4.2	0.2	0.0	26.9	13.4	66.0	121.9	135.7	754.3
1994	164.0	148.2	105.0	119.0	1.5	0.7	0.0	0.0	4.5	17.6	83.7	129.6	773.8
1995	107.8	94.9	94.2	23.7	0.8	0.0	0.0	5.8	19.7	18.7	55.3	107.0	527.9
1996	196.0	100.6	108.4	23.6	16.5	0.0	1.8	2.5	22.1	13.5	74.1	149.3	708.4
1997	149.4	177.8	147.1	68.9	3.9	0.0	0.0	19.0	42.9	39.9	113.2	95.6	857.7
1998	158.4	154.4	104.0	25.8	0.0	2.0	0.0	0.0	0.2	44.9	69.9	62.1	621.7
1999	152.7	97.8	143.4	123.0	5.3	1.8	0.0	0.8	32.7	105.5	17.6	63.5	744.1
2000	173.7	191.3	130.3	52.7	7.1	6.2	0.0	7.4	14.5	57.1	9.9	114.2	764.4
2001	249.7	188.3	114.6	72.8	10.6	2.9	2.2	8.1	4.0	57.5	46.1	73.7	830.5
2002	121.8	167.2	139.4	67.6	21.7	4.0	18.7	9.1	16.4	83.3	92.6	177.4	919.2
2003	203.3	136.2	139.1	18.3	5.2	3.2	0.0	1.5	30.9	9.1	23.7	132.1	702.6
2004	188.7	144.1	101.0	38.9	0.0	2.0	2.3	19.2	1.8	21.6	16.8	100.0	636.4
2005	100.6	278.3	116.5	49.6	0.0	0.0	0.0	0.0	22.4	31.8	54.3	164.6	818.1
2006	188.2	109.5	122.9	46.7	0.7	3.3	0.0	0.2	31.6	52.1	79.7	95.7	730.6
2007	81.5	67.8	258.4	83.5	14.0	0.5	6.7	10.0	16.2	27.4	93.3	93.8	753.1
2008	236.8	71.8	74.6	3.4	0.0	1.2	0.0	1.4	3.3	54.6	23.4	168.3	638.8
2009	102.1	190.3	105.4	40.2	0.8	0.0	0.0	0.0	4.6	35.2	77.8	83.8	640.2
2010	118.9	144.2	71.6	26.8	12.4	0.0	0.0	0.0	0.0	28.4	14.0	136.3	552.6
2011	97.8	213.5	105.4	41.3	7.2	0.0	4.8	4.3	39.6	30.2	93.3	235.8	873.2
2012	134.0	238.1	97.6	80.4	0.0	0.0	1.7	8.3	2.9	49.5	61.5	212.2	886.2
2013	116.4	104.3	78.3	14.3	6.9	13.9	2.2	10.7	11.7	35.6	58.4	140.1	592.8
2014	170.8	92.4	88.5	45.8	0.0	0.0	4.7	11.3	53.5	84.1	41.0	93.0	685.1
N° DATOS	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51
MEDIA	148.6	132.5	113.0	45.0	7.4	3.9	1.7	8.2	20.2	42.3	64.5	115.8	703.3
DESV. STD.	55.8	57.8	44.8	31.1	9.6	9.5	3.9	13.8	19.7	26.7	40.9	46.2	157.3
MIN	23.0	18.2	17.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.9	39.5	306.1
MAX	249.7	278.3	258.4	123.0	49.4	43.1	19.2	71.1	88.2	137.3	161.6	235.8	1182.4
MEDIANA	154.8	111.7	114.6	39.2	4.4	0.6	0.0	4.5	16.2	39.7	58.4	111.1	702.6



PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL HISTÓRICA (MM)

Estación : MAÑAZO **Tipo** : CO
Longitud : -70.35 **Región** : PUNO
Latitud : -15.80 **Provincia** : PUNO
Altitud : 3931 msnm **UH** : ILLPA

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1964	35.9	111.3	124.7	48.6	16.6	0.0	0.0	0.4	8.9	16.6	28.6	48.1	439.7
1965	84.3	119.7	87.4	29.6	1.7	0.2	2.6	0.8	7.1	9.1	13.6	124.2	480.3
1966	24.3	95.5	58.6	3.6	20.6	0.0	0.0	0.0	6.5	52.8	44.5	73.1	379.5
1967	71.4	107.0	115.8	15.6	8.7	0.0	6.7	0.0	37.8	32.9	0.7	119.9	516.5
1968	145.7	88.0	91.9	6.4	9.9	9.0	0.4	0.0	15.8	35.0	96.9	41.0	540.0
1969	199.7	122.8	57.1	36.1	0.0	0.0	0.0	0.0	7.6	32.1	60.5	116.3	632.2
1970	147.5	106.6	133.1	24.8	5.8	0.0	0.0	0.0	5.4	26.6	7.2	176.6	633.6
1971	99.9	211.0	52.2	22.2	2.9	1.0	0.0	0.1	0.0	11.0	48.6	147.8	596.7
1972	210.8	147.4	147.4	25.7	8.4	0.0	0.0	0.0	34.4	24.5	28.9	80.6	708.1
1973	245.5	142.3	158.3	47.9	10.4	1.2	2.7	3.4	37.3	21.9	52.8	98.4	822.1
1974	335.3	222.0	80.8	40.7	0.3	9.2	1.0	57.2	15.5	19.1	31.6	71.0	883.7
1975	191.3	200.7	139.0	20.6	32.8	0.2	0.0	0.7	10.4	62.4	39.1	158.2	855.4
1976	195.3	147.1	166.0	17.5	21.2	0.2	5.1	14.4	48.7	0.0	20.4	93.3	729.2
1977	72.9	258.6	149.2	12.9	3.8	0.0	7.3	0.0	13.5	38.2	123.8	112.0	792.2
1978	247.6	130.5	99.0	25.3	0.0	0.0	0.0	0.0	12.9	7.4	94.7	141.5	758.9
1979	148.5	70.2	163.7	36.1	0.0	0.0	0.0	8.0	0.0	23.9	38.9	78.2	567.5
1980	93.6	54.9	122.8	2.1	0.0	0.0	0.0	2.4	28.9	100.2	62.6	27.1	494.6
1981	172.3	181.5	123.9	49.8	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	24.2	44.0	114.0	714.7
1982	175.3	73.3	121.1	48.4	3.2	1.3	0.0	0.0	38.5	56.3	116.5	21.6	655.5
1983	47.1	53.4	37.5	35.0	13.9	1.3	0.0	0.0	13.4	12.0	0.6	61.8	276.0
1984	225.3	239.5	146.8	41.6	35.4	1.3	0.0	0.0	0.0	104.0	127.8	125.4	1047.1
1985	82.3	212.3	123.3	69.6	14.1	1.3	0.0	4.7	20.1	32.0	137.6	143.9	841.2
1986	146.3	211.0	155.4	80.6	2.9	1.3	0.0	4.7	15.4	6.9	25.3	142.7	792.5
1987	206.2	50.9	40.1	8.5	0.0	0.0	0.0	0.0	2.1	28.6	88.4	46.9	471.7
1988	196.7	60.0	170.0	77.1	10.3	1.3	0.0	0.0	4.8	30.7	2.2	99.7	652.8
1989	181.3	84.0	106.7	42.6	3.4	1.3	0.0	0.0	0.1	11.2	30.5	48.1	509.2
1990	158.6	47.0	44.6	24.4	6.8	1.3	0.0	0.0	0.0	74.5	98.0	81.1	536.3
1991	153.6	90.5	116.1	40.9	11.0	1.3	0.0	4.7	7.4	23.4	26.4	76.8	552.1
1992	83.4	108.6	20.2	12.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	42.4	39.0	80.8	387.1
1993	194.4	46.5	105.0	52.3	0.9	0.0	0.0	13.7	7.6	71.3	113.5	132.5	737.7
1994	182.4	139.5	131.6	95.3	15.0	1.4	0.0	0.0	4.0	2.4	87.4	104.6	763.6
1995	89.6	114.0	131.8	5.1	0.0	0.0	0.0	0.0	14.7	6.8	50.6	95.1	507.7
1996	215.5	142.0	50.8	20.8	14.9	0.0	0.5	15.3	2.3	9.1	73.8	135.3	680.3
1997	192.1	197.1	152.1	52.9	1.3	0.0	0.0	23.5	47.9	22.6	68.5	44.6	802.6
1998	179.8	138.2	77.5	25.1	0.0	3.8	0.0	1.9	0.0	34.8	61.7	25.4	548.2
1999	109.1	134.4	179.0	83.8	9.3	0.0	0.0	4.8	21.4	90.2	8.3	103.9	744.2
2000	143.5	190.0	75.1	17.6	6.3	0.0	0.0	3.8	8.6	73.3	9.3	107.3	634.8
2001	257.0	231.4	151.8	72.1	5.4	0.0	1.2	10.5	1.9	31.7	34.3	69.8	867.1
2002	77.3	161.2	106.2	68.3	21.2	8.7	12.4	6.8	9.7	77.2	70.7	98.5	718.2
2003	136.7	128.2	139.4	23.4	14.1	3.7	0.0	1.6	20.1	9.1	35.3	96.8	608.4
2004	183.3	133.7	89.7	38.0	0.0	1.1	10.8	23.3	1.0	3.4	11.8	30.5	526.6
2005	88.5	220.3	63.0	34.1	0.0	0.0	0.0	0.0	5.5	22.1	71.5	114.6	619.6
2006	219.8	92.6	108.6	30.7	1.2	0.0	0.0	1.8	28.5	22.8	62.5	103.1	671.6
2007	111.7	100.1	224.1	71.9	11.4	0.0	2.5	6.7	22.4	30.8	77.6	113.6	772.8
2008	231.1	103.0	70.2	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	1.2	27.9	4.1	154.5	593.2
2009	99.7	137.3	109.3	33.5	1.5	0.0	3.0	0.0	4.1	21.2	86.9	136.2	632.7
2010	116.9	173.4	77.3	25.2	15.9	0.0	0.0	0.0	0.0	24.4	35.5	105.5	574.1
2011	84.3	190.3	89.2	41.6	5.2	0.0	4.2	0.0	13.0	22.8	92.8	209.4	752.8
2012	158.3	250.3	163.1	62.7	0.0	0.0	0.0	2.2	4.8	40.8	48.8	157.6	888.6
2013	181.5	174.9	85.1	8.2	2.9	10.8	15.4	2.1	6.2	38.9	42.3	136.6	704.9
2014	166.0	51.3	55.8	68.7	1.2	0.2	0.8	27.7	43.0	43.4	69.3	113.2	640.6
N° DATOS	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51
MEDIA	152.9	137.2	109.6	36.8	7.3	1.2	1.5	4.9	13.0	33.1	53.8	100.8	652.1
DESV. STD.	64.1	59.0	43.5	23.7	8.4	2.6	3.4	10.0	13.6	25.1	36.1	41.4	150.3
MIN	24.3	46.5	20.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	21.6	276.0
MAX	335.3	258.6	224.1	95.3	35.4	10.8	15.4	57.2	48.7	104.0	137.6	209.4	1047.1
MEDIANA	158.3	133.7	109.3	34.1	3.8	0.0	0.0	0.7	7.6	26.6	48.6	103.9	640.6



PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL HISTÓRICA (MM)

Estación : PAMPAHUTA
Longitud : -70.67
Latitud : -15.48
Altitud : 4400 msnm

Tipo : CO
Región : PUNO
Provincia : LAMPA
UH : COATA

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1964	40.9	126.2	152.0	35.2	29.0	0.0	0.0	4.5	6.1	8.2	45.7	72.0	519.8
1965	124.1	163.1	123.1	43.4	5.4	0.5	4.9	0.0	9.3	25.1	40.3	192.3	731.5
1966	89.4	178.5	63.5	13.0	40.0	0.0	0.0	0.0	3.7	0.0	98.7	103.4	590.2
1967	77.2	94.0	211.1	29.8	19.2	0.6	11.5	8.3	39.9	35.3	16.5	128.7	672.1
1968	179.5	213.3	112.8	19.2	12.0	3.4	5.8	3.9	24.1	0.0	147.2	83.9	805.1
1969	152.6	89.6	57.4	53.2	0.0	0.0	6.4	1.0	8.7	26.3	75.8	111.4	582.4
1970	157.4	140.5	169.6	49.7	15.6	3.4	0.0	5.4	14.2	31.8	7.5	209.1	804.2
1971	151.7	259.4	117.7	27.4	4.2	5.9	0.0	4.7	1.8	11.2	43.4	191.1	818.5
1972	244.3	137.3	168.0	39.6	19.8	0.0	0.0	1.9	23.7	44.3	61.2	93.2	833.3
1973	279.6	210.4	124.7	108.3	25.1	2.9	12.8	14.1	45.6	19.4	78.7	142.5	1064.1
1974	296.2	262.6	109.5	27.9	0.3	6.6	0.6	49.2	9.4	18.2	12.6	110.6	903.7
1975	232.5	237.2	144.7	47.1	73.5	1.4	0.0	1.8	10.4	31.0	50.5	171.3	1001.4
1976	207.2	110.4	162.5	22.0	41.0	1.5	2.3	20.0	51.2	2.2	5.7	72.8	698.8
1977	106.8	182.5	150.4	8.6	2.3	0.0	3.7	0.0	20.4	29.0	122.9	85.0	711.6
1978	310.2	98.7	83.6	50.4	0.3	1.9	0.6	0.4	13.0	30.5	117.0	145.7	852.3
1979	188.3	123.1	100.9	34.8	1.3	0.0	2.4	5.0	1.2	59.3	102.8	103.3	722.4
1980	115.1	73.7	245.5	10.4	2.5	0.2	3.9	5.9	21.3	89.3	28.6	41.4	637.8
1981	204.0	212.5	159.7	77.9	1.4	0.0	0.0	39.7	3.8	23.0	59.4	152.8	934.2
1982	168.2	81.8	139.8	51.7	5.2	0.5	0.0	1.4	31.0	68.4	145.4	28.7	722.1
1983	83.6	53.0	53.8	50.6	20.7	3.3	0.0	1.0	16.2	16.8	2.9	86.1	388.0
1984	259.1	254.3	201.3	50.3	54.8	0.8	0.9	23.4	0.0	105.3	141.8	181.4	1273.4
1985	81.8	210.0	168.1	101.2	62.5	14.3	0.0	0.8	3.2	16.8	162.9	162.5	984.1
1986	168.3	276.0	189.9	145.3	4.5	0.0	0.0	6.7	14.6	21.6	47.7	196.5	1071.1
1987	229.1	55.6	54.2	8.9	0.6	2.4	25.2	1.4	1.5	35.4	84.5	45.5	544.3
1988	186.0	69.9	214.0	110.3	6.5	0.0	0.0	0.0	6.0	19.1	4.5	105.5	721.8
1989	175.2	100.5	131.8	68.9	5.0	10.2	1.2	5.4	2.1	12.9	48.8	78.1	640.1
1990	160.5	75.2	59.9	36.8	7.1	31.5	0.0	7.5	4.1	93.5	116.7	91.4	684.2
1991	205.6	119.3	146.2	58.3	5.8	31.1	3.1	0.0	9.4	29.4	28.6	102.4	739.2
1992	96.5	142.3	23.4	9.4	0.0	2.2	0.0	51.5	0.0	30.3	55.0	81.6	492.2
1993	246.2	62.0	138.2	52.5	4.6	1.8	0.0	19.3	1.6	108.2	114.5	175.1	924.0
1994	224.8	168.1	127.6	86.3	23.4	1.1	0.0	0.0	1.9	12.9	108.3	165.4	919.8
1995	115.4	151.5	120.9	40.8	1.1	0.0	0.0	2.6	14.8	15.1	64.2	142.8	669.2
1996	254.5	164.2	73.5	73.0	21.5	0.0	0.0	27.9	18.8	3.0	93.2	228.3	957.9
1997	220.1	185.5	100.3	55.4	9.1	0.0	0.3	0.0	37.9	33.6	96.9	103.7	842.8
1998	154.6	159.8	103.4	29.7	0.0	0.9	0.0	0.0	0.0	31.8	104.3	45.0	629.5
1999	153.5	163.9	204.9	116.1	19.3	1.1	0.8	1.9	13.5	118.3	19.5	118.0	930.8
2000	202.1	258.8	181.6	23.3	9.4	3.9	0.4	7.7	5.1	89.7	9.9	136.1	928.0
2001	299.0	248.1	149.3	81.2	19.5	2.9	3.7	16.1	6.4	39.7	17.5	68.1	951.5
2002	152.6	240.7	111.0	75.2	17.0	2.0	27.4	4.3	10.1	76.8	92.9	170.5	980.5
2003	222.2	194.8	201.4	21.3	8.3	2.8	0.0	0.0	13.2	22.7	14.1	155.6	856.4
2004	226.8	162.8	103.2	75.3	0.0	0.6	11.7	13.2	1.0	14.7	32.3	102.1	743.7
2005	111.5	267.5	97.7	60.2	0.0	0.0	0.0	0.6	11.2	16.4	101.3	136.1	802.5
2006	179.4	165.0	163.7	65.3	1.8	0.0	0.0	9.1	31.4	46.7	110.3	89.4	862.1
2007	149.6	147.9	260.9	81.0	13.2	0.0	9.7	0.0	16.7	27.3	54.3	116.8	877.4
2008	196.3	68.2	84.2	5.8	0.5	3.9	0.0	0.2	3.3	42.2	27.2	212.2	644.0
2009	63.1	131.4	103.7	38.7	3.8	0.0	4.2	0.7	13.9	25.4	117.0	134.2	636.1
2010	223.1	215.7	113.9	36.4	7.8	0.0	0.0	0.0	0.0	23.2	49.2	151.9	821.2
2011	105.9	209.1	155.6	41.1	3.8	0.0	3.9	1.8	25.7	26.2	31.5	246.8	851.4
2012	261.5	230.7	142.8	94.5	1.5	0.7	0.0	3.2	4.9	55.7	61.6	179.4	1036.5
2013	160.0	149.2	63.6	6.5	9.4	11.2	8.0	14.1	0.0	36.0	72.7	210.7	741.4
2014	181.6	65.3	108.1	83.7	3.3	0.0	7.7	11.2	30.3	78.4	43.8	127.9	741.3
N° DATOS	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51
MEDIA	177.9	160.0	132.3	51.6	12.6	3.1	3.2	7.8	12.9	36.8	66.5	129.1	794.0
DESV. STD.	64.8	65.1	51.5	31.9	16.4	6.5	5.9	11.9	12.6	29.3	43.4	51.7	168.8
MIN	40.9	53.0	23.4	5.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.9	28.7	388.0
MAX	310.2	276.0	260.9	145.3	73.5	31.5	27.4	51.5	51.2	118.3	162.9	246.8	1273.4
MEDIANA	179.4	162.8	127.6	49.7	5.8	0.8	0.3	3.2	9.4	29.0	59.4	127.9	804.2



ANEXO 2: Serie Histórica Caudales Medios (m³/s).

CAUDAL MEDIO MENSUAL HISTÓRICO (M³/S)

Estación	:	RIO VERDE	Tipo	:	CO
Longitud	:	-70.60	Región	:	PUNO
Latitud	:	-15.69	Provincia	:	LAMPA
Altitud	:	4041 msnm	UH	:	COATA

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM.
1964	11.1	36.6	21.7	7.4	3.0	1.5	1.0	1.0	1.1	1.0	1.6	3.7	7.5
1965	10.0	25.1	25.2	8.2	3.0	1.4	1.1	0.8	1.0	1.4	1.5	15.5	7.8
1966	12.2	27.6	18.9	2.8	2.0	1.2	1.0	0.8	0.8	1.9	4.7	9.3	6.9
1967	5.2	12.5	48.1	5.2	2.2	1.4	1.2	1.0	1.3	2.2	1.6	5.0	7.2
1968	17.6	43.2	22.5	5.8	2.7	1.6	1.3	1.1	1.2	2.1	8.1	8.4	9.6
1969	19.6	20.5	5.8	9.6	3.0	1.8	1.7	1.6	0.8	1.1	2.1	5.8	6.1
1970	20.7	42.0	26.8	9.6	3.2	1.6	1.2	1.0	1.0	1.3	1.0	11.2	10.1
1971	23.4	71.1	29.4	4.8	2.0	1.3	1.0	0.9	0.9	0.8	1.0	11.9	12.4
1972	44.3	15.6	21.1	13.8	2.6	1.5	1.2	1.1	1.3	1.6	3.4	7.1	9.6
1973	36.7	54.3	35.0	18.2	5.9	2.5	2.0	1.7	1.9	1.9	2.1	13.7	14.7
1974	45.0	68.5	25.1	9.7	2.2	1.6	1.2	1.7	1.7	1.9	1.6	12.3	14.4
1975	26.6	59.3	33.8	9.3	6.3	2.0	1.3	1.2	1.5	1.5	1.9	14.7	13.3
1976	46.0	36.6	39.6	11.1	2.8	1.8	1.3	1.1	6.0	2.4	1.4	3.0	12.7
1977	12.5	41.0	56.6	8.0	1.9	1.2	1.0	0.8	0.9	1.1	4.5	3.4	11.1
1978	44.2	27.8	9.3	8.6	2.8	1.2	0.9	0.8	0.9	0.9	5.7	23.5	10.5
1979	36.8	34.2	24.7	8.1	2.4	1.4	1.1	0.9	0.9	1.5	3.7	10.4	10.5
1980	12.3	10.1	24.0	9.8	1.9	1.2	1.1	1.0	1.1	4.4	4.3	3.5	6.2
1981	26.1	35.7	37.7	16.1	2.9	1.5	1.2	1.3	1.4	1.7	0.4	1.1	10.6
1982	35.4	10.1	24.8	2.4	0.6	0.3	0.2	0.2	0.2	0.3	19.7	7.4	8.5
1983	3.8	5.3	5.1	4.5	1.9	1.3	1.2	1.1	1.3	1.9	1.2	2.4	2.6
1984	35.2	78.3	40.9	16.4	3.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.6	1.3	3.3	15.1
1985	26.3	47.8	30.4	28.1	12.4	4.5	1.8	1.3	2.1	2.1	13.5	41.5	17.7
1986	43.1	44.8	3.9	35.1	13.5	2.4	1.9	1.8	2.4	2.5	3.0	8.6	13.6
1987	64.1	12.6	6.4	2.9	1.4	1.2	1.2	1.0	0.9	1.0	3.0	2.4	8.2
1988	24.1	18.7	28.5	21.8	4.4	1.7	1.2	1.0	0.9	0.9	0.7	1.8	8.8
1989	29.1	14.8	37.5	45.2	4.2	2.1	1.5	1.5	0.8	0.9	4.7	4.7	12.2
1990	17.2	11.0	7.3	3.5	1.2	2.3	1.1	0.9	0.7	3.8	15.8	9.3	6.2
1991	28.9	22.8	29.2	12.1	2.6	2.0	1.2	1.1	1.1	1.2	1.8	3.5	8.9
1992	14.4	4.1	5.0	1.4	0.6	0.6	0.6	1.2	0.6	1.6	3.6	9.0	3.6
1993	51.2	4.8	11.5	8.3	1.9	0.9	0.8	0.6	0.9	2.0	16.2	15.0	9.5
1994	14.5	23.9	26.3	18.5	3.6	1.3	0.8	0.7	0.6	0.6	4.4	9.9	8.8
1995	13.2	17.5	24.7	6.9	1.7	1.0	0.8	0.7	0.7	0.6	1.2	6.8	6.3
1996	15.1	29.3	17.2	14.5	2.3	1.1	1.0	1.1	0.9	0.8	2.6	31.1	9.8
1997	59.4	39.5	15.5	9.6	3.1	1.5	1.2	1.9	1.6	1.8	4.9	5.1	12.1
1998	23.9	30.2	14.8	6.3	1.4	1.1	0.9	0.7	0.5	0.6	2.3	2.2	7.1
1999	7.1	35.9	46.7	26.8	5.1	1.8	1.8	0.9	0.9	4.6	2.2	3.6	11.4
2000	28.9	57.6	34.4	5.2	2.4	1.4	0.9	0.9	0.6	2.4	0.8	4.8	11.7
2001	52.7	46.5	35.2	25.0	4.3	1.6	1.0	1.0	1.1	1.4	1.4	3.1	14.5
2002	37.2	95.1	60.6	23.5	4.5	1.5	1.5	1.1	1.0	3.2	5.6	18.3	21.1
2003	23.8	57.4	37.0	14.6	3.1	2.1	1.8	1.4	1.4	1.1	1.1	14.1	13.2
2004	33.1	51.0	13.3	7.8	2.0	1.2	1.2	1.3	1.2	0.9	1.5	6.4	10.1
2005	10.7	63.6	20.1	10.1	2.5	1.1	0.9	0.8	1.0	0.9	2.7	13.7	10.7
2006	30.3	59.4	60.2	47.3	5.2	1.9	1.4	1.3	1.1	1.5	3.8	9.9	18.6
2007	37.6	15.3	49.9	18.8	5.4	1.8	1.4	1.0	0.9	1.8	4.6	6.5	12.1
2008	51.4	25.7	36.5	4.2	1.8	1.5	1.1	1.0	0.9	1.2	1.1	19.3	12.1
2009	11.8	26.2	34.7	12.7	2.7	1.7	1.3	1.2	1.3	2.1	9.4	20.2	10.4
2010	31.7	44.8	38.7	14.7	5.9	4.6	3.0	2.3	1.9	1.9	3.8	10.4	13.6
2011	28.1	35.3	34.0	25.3	4.0	1.9	1.6	1.5	1.4	1.3	1.5	14.5	12.5
2012	29.5	49.0	45.9	17.6	6.9	1.4	1.0	0.8	1.3	3.8	4.3	23.1	15.4
2013	37.2	33.9	18.6	9.7	9.9	8.2	5.5	6.7	8.9	8.7	8.5	22.6	14.9
2014	31.1	14.5	14.2	13.3	3.6	1.7	1.3	1.2	1.3	1.8	4.1	10.4	8.2
N° DATOS	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51
MEDIA	28.1	35.1	27.7	13.3	3.6	1.7	1.3	1.2	1.3	1.8	4.1	10.4	10.8
DESV. STD.	14.5	20.5	14.4	10.0	2.6	1.2	0.7	0.9	1.3	1.4	4.2	8.0	3.6
MIN	3.8	4.1	3.9	1.4	0.6	0.3	0.2	0.2	0.2	0.3	0.4	1.1	2.6
MAX	64.1	95.1	60.6	47.3	13.5	8.2	5.5	6.7	8.9	8.7	19.7	41.5	21.1
MEDIANA	28.1	34.2	26.3	9.7	2.8	1.5	1.2	1.0	1.0	1.5	2.7	9.0	10.5

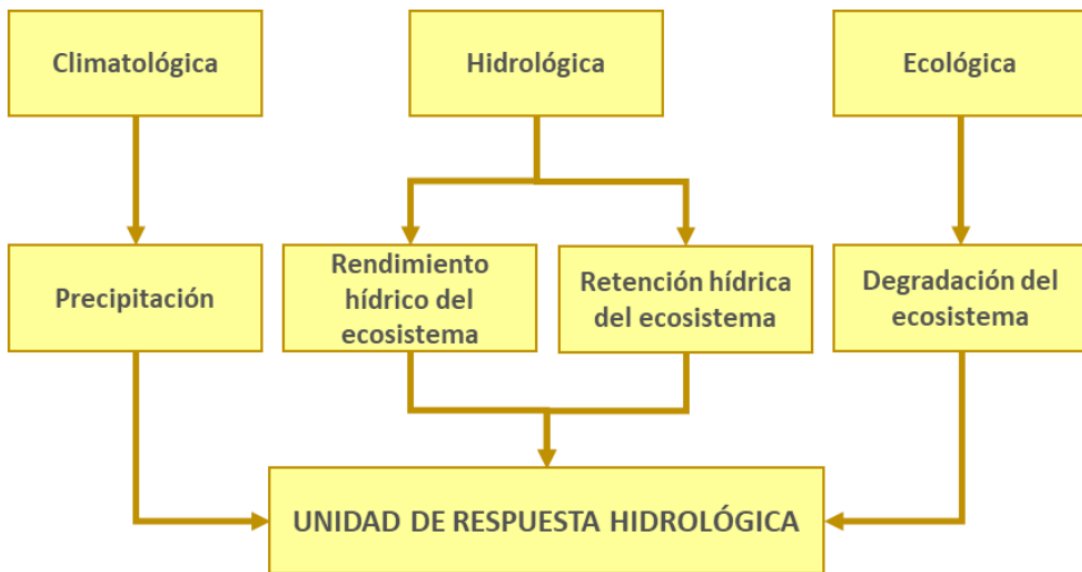


CAUDAL MEDIO MENSUAL HISTÓRICO (M³/S)

Estación : PTE. UNOCOLLA COATA Tipo : CO
 Longitud : -70.18 Región : PUNO
 Latitud : -15.45 Provincia : SAN ROMAN
 Altitud : 3835 msnm UH : COATA

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM.
1967	10.2	31.7	151.0	31.9	12.5	7.2	4.9	3.5	3.4	6.5	2.6	14.6	23.3
1968	45.3	162.0	90.6	32.8	14.6	8.0	4.5	3.6	2.2	2.5	18.5	22.7	33.9
1969	60.6	81.3	26.3	24.8	7.8	3.6	2.1	1.3	1.2	1.8	1.6	14.5	18.9
1970	59.7	197.7	140.2	54.9	21.8	8.3	4.3	2.9	2.1	2.0	1.7	15.8	42.6
1971	59.9	396.5	171.1	47.5	17.6	8.5	4.2	3.1	1.9	1.5	1.6	27.5	61.7
1972	174.0	82.6	96.9	91.2	25.8	13.7	5.5	3.1	2.4	1.6	5.3	41.4	45.3
1973	101.6	200.9	172.6	86.9	36.4	14.7	8.3	3.4	4.1	7.6	4.1	18.2	54.9
1974	146.1	312.9	147.6	73.4	37.3	18.5	12.8	13.4	12.8	6.2	5.7	17.6	67.0
1975	115.0	294.2	243.1	74.3	35.7	18.7	10.5	4.4	2.4	4.0	2.1	32.2	69.7
1976	186.2	160.6	195.9	89.7	28.2	17.2	10.6	6.4	14.4	17.1	5.4	3.6	61.3
1977	43.7	59.2	275.2	96.2	22.6	10.4	5.4	2.4	1.9	1.3	4.4	6.5	44.1
1978	242.9	167.8	151.9	105.1	43.7	20.6	6.7	2.7	1.5	1.1	1.5	23.9	64.1
1979	153.9	117.3	132.6	22.1	7.9	4.0	2.2	1.3	1.5	2.1	3.3	7.6	38.0
1980	36.4	41.3	131.7	63.3	20.1	14.4	10.4	7.4	6.4	32.0	15.5	16.2	32.9
1981	98.3	164.7	177.2	86.5	24.5	15.8	11.0	8.7	6.9	8.9	1.2	10.7	51.2
1982	140.1	41.3	134.4	36.0	14.4	10.0	5.4	4.1	4.6	0.0	72.2	25.2	40.6
1983	139.6	18.2	69.0	43.7	20.1	14.9	11.0	7.9	6.7	9.7	4.1	13.4	29.9
1984	139.2	370.2	187.8	87.6	27.1	11.0	6.5	4.9	5.0	0.0	4.1	15.7	71.6
1985	99.2	223.1	152.9	130.8	66.3	30.5	14.4	8.7	8.3	12.3	49.4	104.0	75.0
1986	174.6	208.6	65.1	156.6	71.1	20.2	14.9	10.8	8.9	15.7	10.8	28.0	65.4
1987	268.8	53.4	73.3	37.8	17.9	14.4	11.0	7.4	6.0	2.9	10.8	13.7	43.1
1988	15.6	22.2	20.1	11.5	6.6	5.3	11.0	11.0	11.5	11.5	6.5	8.7	11.8
1989	202.1	155.7	170.3	168.7	39.2	24.0	18.3	19.1	10.9	6.8	7.1	7.4	69.1
1990	139.7	84.6	74.9	39.3	12.4	20.2	13.7	7.9	5.3	15.3	96.3	72.3	48.5
1991	142.5	148.5	121.9	83.0	35.2	23.2	13.6	9.0	8.2	6.0	6.3	8.5	50.5
1992	20.3	15.0	30.7	8.7	6.7	6.0	5.7	6.7	6.2	5.2	21.0	67.8	16.7
1993	160.4	44.8	142.5	50.4	35.8	23.4	10.7	6.5	6.4	10.6	37.3	83.9	51.1
1994	46.3	107.8	139.3	95.4	27.6	14.9	8.8	6.2	5.4	0.0	15.9	31.0	41.5
1995	40.5	77.0	134.0	52.6	19.2	13.4	8.8	6.2	5.6	0.0	4.1	23.8	32.1
1996	21.1	30.9	167.1	143.7	40.4	20.7	14.4	7.2	6.2	5.9	15.1	119.4	49.3
1997	280.0	491.0	254.8	108.8	44.1	24.8	19.7	7.2	13.6	13.0	19.2	14.7	107.6
1998	72.7	142.0	81.8	37.7	13.6	7.9	7.2	5.4	7.6	24.3	32.8	43.3	39.7
1999	30.6	130.8	260.2	197.3	47.5	14.2	7.6	6.5	24.2	57.4	49.3	46.9	72.7
2000	110.9	270.3	166.2	46.3	22.3	15.4	9.3	7.0	5.4	14.9	2.7	19.2	57.5
2001	217.7	216.8	168.9	119.4	30.7	16.3	9.9	7.4	6.4	6.3	4.9	15.3	68.3
2002	148.1	451.2	253.1	113.8	31.5	15.8	12.7	7.9	6.2	21.7	20.3	50.4	94.4
2003	88.0	269.4	174.8	81.0	25.4	18.8	14.4	9.1	6.9	3.7	3.8	40.7	61.3
2004	129.7	238.5	96.2	55.9	20.5	14.4	11.0	8.7	6.6	2.0	5.2	22.9	51.0
2005	29.2	299.3	118.8	64.4	22.7	13.9	9.3	6.6	6.2	2.0	9.7	39.8	51.8
2006	116.7	279.0	251.8	201.6	34.6	17.3	12.1	8.7	6.4	7.2	13.7	31.0	81.7
N° DATOS	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
MEDIA	112.7	171.5	145.3	78.8	27.2	14.9	9.6	6.6	6.5	8.8	14.9	30.5	52.3
DESV. STD.	71.3	123.4	64.8	47.7	14.6	6.1	4.1	3.4	4.4	10.7	20.3	26.3	20.3
MIN	10.2	15.0	20.1	8.7	6.6	3.6	2.1	1.3	1.2	0.0	1.2	3.6	11.8
MAX	280.0	491.0	275.2	201.6	71.1	30.5	19.7	19.1	24.2	57.4	96.3	119.4	107.6
MEDIANA	113.0	158.2	145.1	73.9	24.9	14.8	10.2	6.6	6.2	6.1	6.0	22.8	51.0

ANEXO 3: Modelo Conceptual de Zonificación de Cabeceras de Cuenca.



ANEXO 4: Matriz de Caudales Específicos Referenciales para Ecosistemas.

Cobertura	Ecosistemas	Descripción	Superficie (km ²)	Caudal específico (l/s/km ²)
Nevado, lago, cocha y laguna represada	Glaciar y peri glaciar	Cuerpos de agua de mayor vulnerabilidad, puesto que tienen los mayores impactos al cambio climático.	29595.78	16.0
	Lago y laguna		8458.36	16.0
	Cuerpo de agua artificial		177.12	16.0
Curso de agua	Rio	Cuerpos de agua tipo rio, quebrada permanente o intermitente, que se necesita conservar en cabeceras de cuenca, puesto que estos alimentan a lagunas, bofedales y demás cuerpos de agua hacia aguas abajo.	12881.40	16.0
Humedal	Pantano de palmeras	Son ecosistemas de formaciones hidro mórficas que albergan una variedad de fauna y flora, debido que son puntos de descarga del flujo base e Inter flujo, provenientes de los acuíferos y del agua infiltrada, dan origen a riachuelos, que posteriormente se convierten en ríos.	55275.23	12.0
	Pantano herbáceo - arbustivo		7955.86	12.0
	Bofedal		5481.76	12.0
	Humedal costero		572.82	12.0
	Manglar		64.28	12.0
Bosque húmedo	Bosque aluvial inundable	Permite retener y conservar el agua en los suelos, dando origen en gran medida el Inter flujo y flujo base, son las fuentes de recarga natural de acuíferos.	90.374.22	8.00
	Bosque de colina alta		38621.37	8.00
	Bosque de colina baja		318009.47	8.00
	Bosque de colina de sierra del divisor		714.28	8.00
	Bosque de terraza no inundable		48057.12	8.00
	Bosque estacionalmente seco oriental		871.74	7.00
	Pacal		297.21	8.00
	Varillal		505.71	8.00
	Bosque altimontano (pluvial) de Yunga		23768.61	8.00
	Bosque basimontano de Yunga		82384.90	8.00
	Bosque montano de Yunga		45282.46	8.00
Paramo	Paramo	Herbazal con alta precipitación, ubicadas en el norte del país.	829.49	8.0
Bosque altoandino	Bosque estacionalmente seco interandino	Las mismas características del bosque húmedo, pero en menor grado.	5358.67	7.0
	Bosque relicto altoandino		1569.72	7.0
	Bosque relicto meso andino		249.65	7.0
	Bosque relicto montano de vertiente occidental		907.04	7.0
Bosque seco	Bosque estacionalmente seco de colina y montaña	Conserva pocas características del bosque húmedo.	18974.83	6.0

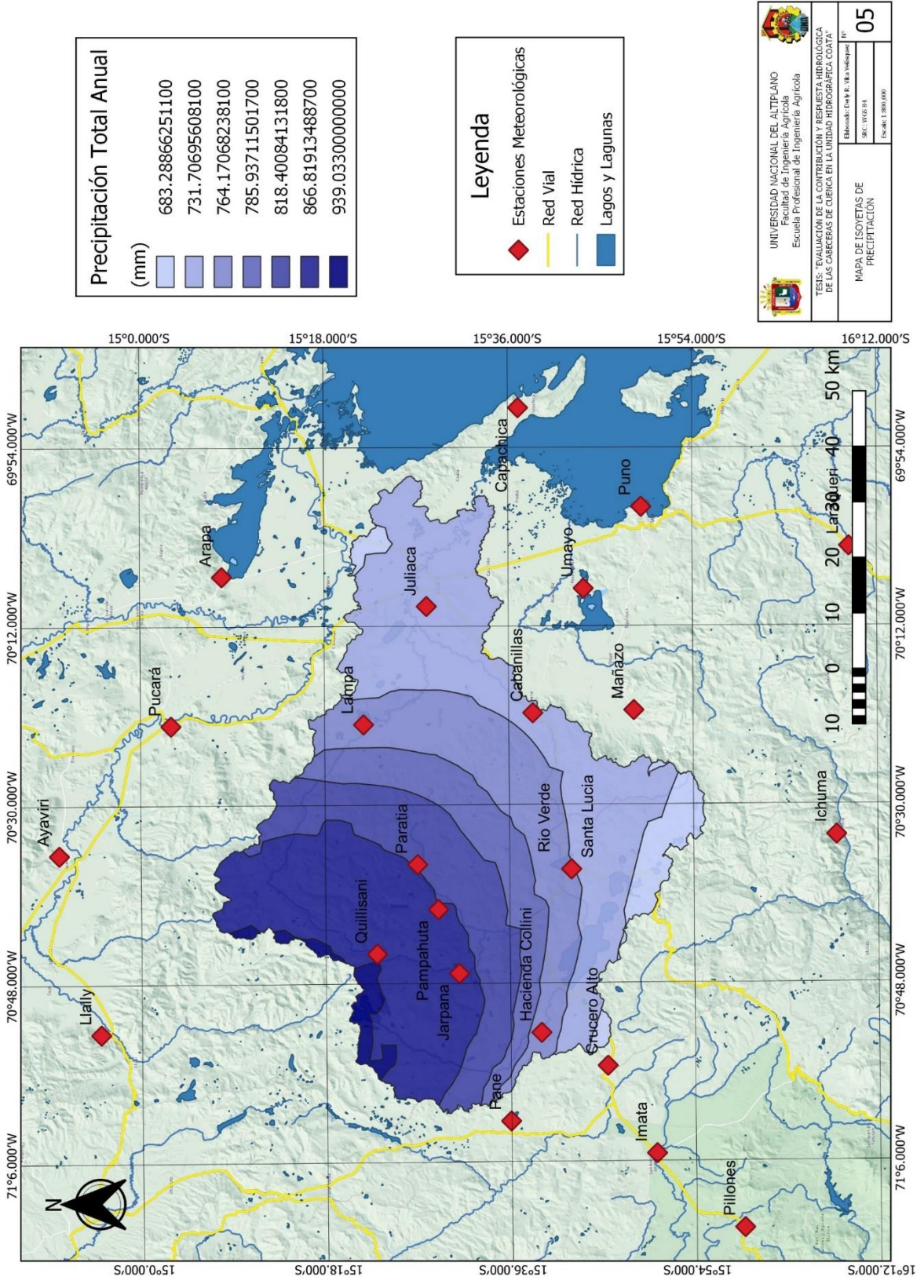


Cobertura	Ecosistemas	Descripción	Superficie (km ²)	Caudal específico (l/s/km ²)
	Bosque estacionalmente seco de llanura		14524.89	6.0
	Bosque estacionalmente seco ribereño		521.53	6.0
	Bosque tropical del Pacífico		206.92	6.0
	Sabana húmeda con palmeras		66.31	8.0
Pasto natural y prado	Jalca	Retienen el agua de forma superficial, no contribuye al flujo base, solo tendría influencia en el Inter flujo.	13403.21	4.5
	Pajonal de puna húmeda		119819.10	5.0
	Pajonal de puna seca		48871.84	4.5
	Loma costera		2940.33	4.5
	Pastizal/Herbazal		2980.78	3.0
	Vegetación secundaria		40152.07	3.0
Matorral	Matorral andino	La vegetación tiene pocas características retentivas del agua, estas servirán para protección del agua.	103040.36	4.0
	Matorral xerico		641.76	4.0
Área cultivada	Zona agrícola	Contribuye a la recarga artificial.	72524.75	3.0
	Plantación forestal		772.64	7.0
Suelo descubierto	Desierto costero	Suelo por lo general depredado, característica hidrológica no deseable, que no contribuyen a la escorrentía superficial, ni a la recarga.	71073.19	2.0
	Isla		1862.33	2.0
	Zona minera		807.32	2.0
	Zona urbana		2460.75	2.0

Fuente: ANA (2021).

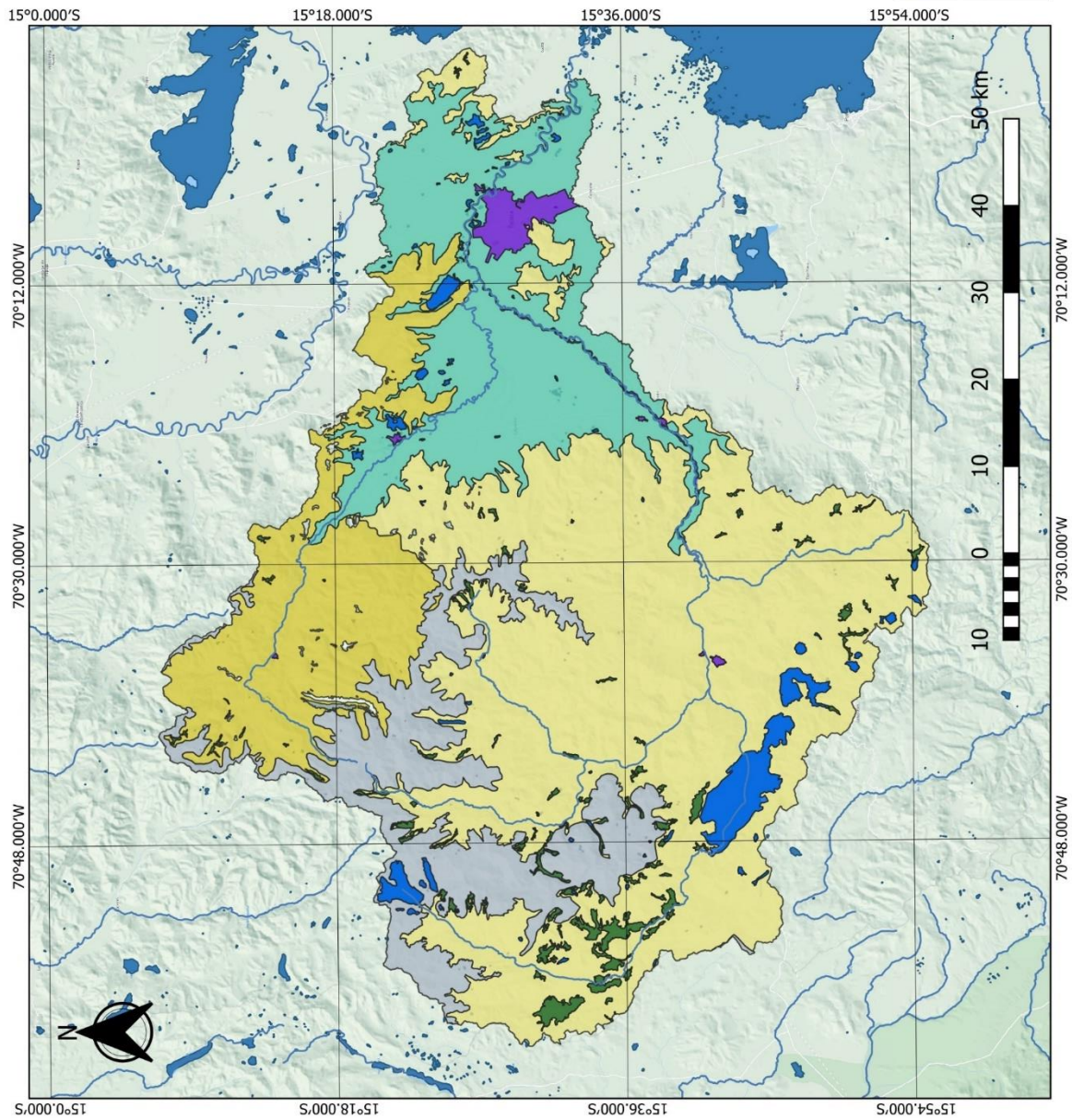


ANEXO 5: Mapas Generados.



Leyenda Ecosistemas	
Ecosistema	
Bofedal	
Lago y laguna	
Pajonal de puna húmeda	
Pajonal de puna seca	
Río	
Zona agrícola	
Zona periglacial y glaciar	
Zona urbana	

Leyenda	
Red Hídrica	
Lagos y Lagunas	



	UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO Facultad de Ingeniería Agrícola Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola
	TESIS: "EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN Y RESERVA HÍDRICA SECA DE LAS CABEZAS DE CUENCA EN LA UNIDAD HIDROGRÁFICA COATA"
MAPA DE ECOSISTEMAS	Elaborado: Darío R. Viza Velásquez IV N°C: 19102/014 Escala: 1:500,000
06	

Leyenda Degradación

Degradación

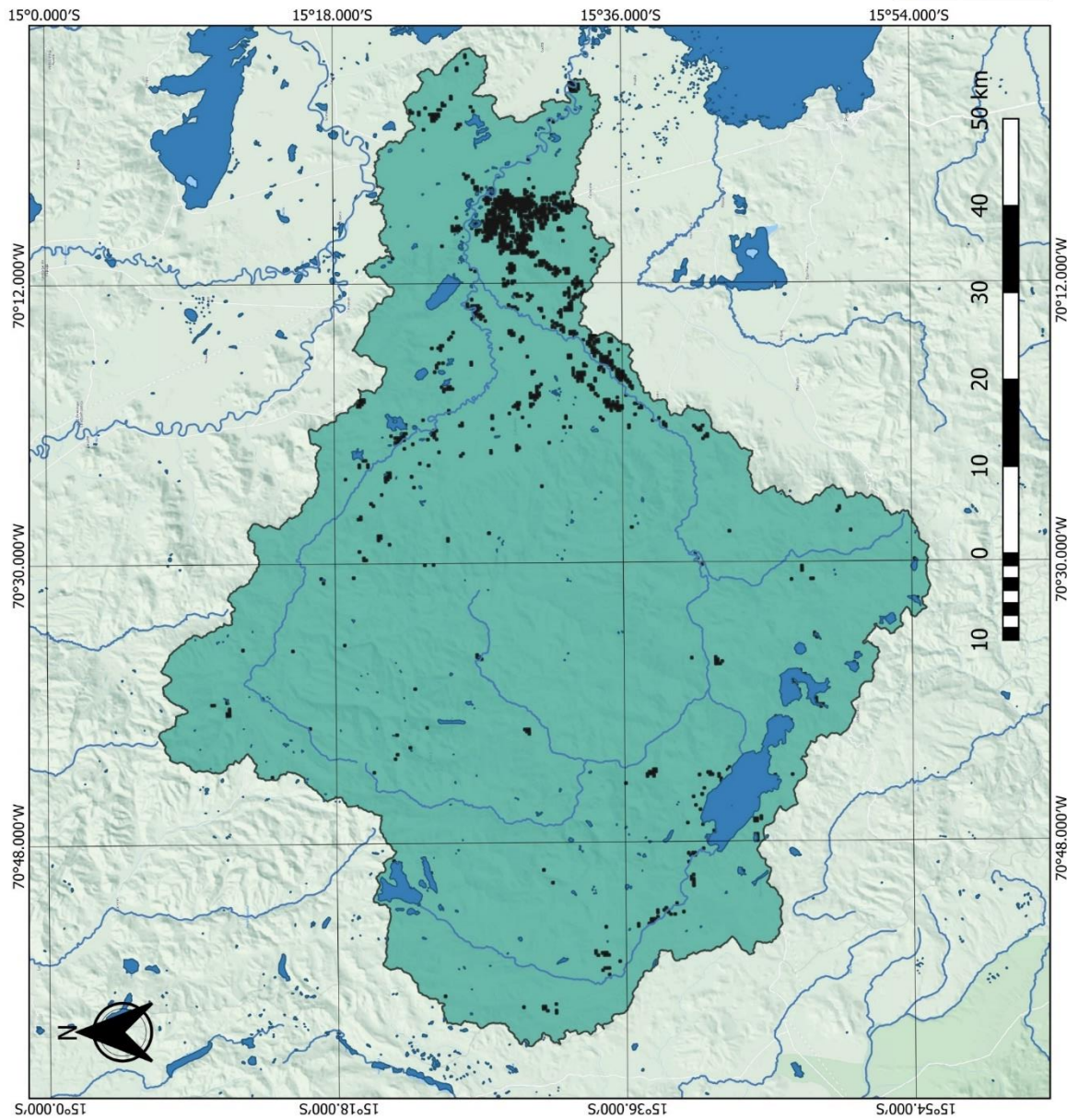
- Con Degradación
- Sin Degradación

Cuadro de Detalle de Áreas Degradadas

Condición	Área (km2)	Porcentaje
No Degradado	4954.18	98.28
Degradado	86.62	1.72
Total	5040.80	100.00

Leyenda

- Red Hidrónica
- Lagos y Lagunas



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
Facultad de Ingeniería Agrícola
Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola

TESIS: EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN Y RESERVA HIDROLÓGICA DE LAS CABEZAS DE CUENCA EN LA UNIDAD HIDROGRÁFICA UTIWASCA

MAPA DE ÁREAS DEGRADADAS

Elaborado: Darío R. Viza Velásquez '17'

REC: 10/02/2018

ESCALA: 1:500,000

07

Legenda

- Red Hidrica
- Lagos y Lagunas
- UH Coata

Cabeceras de Cuenca

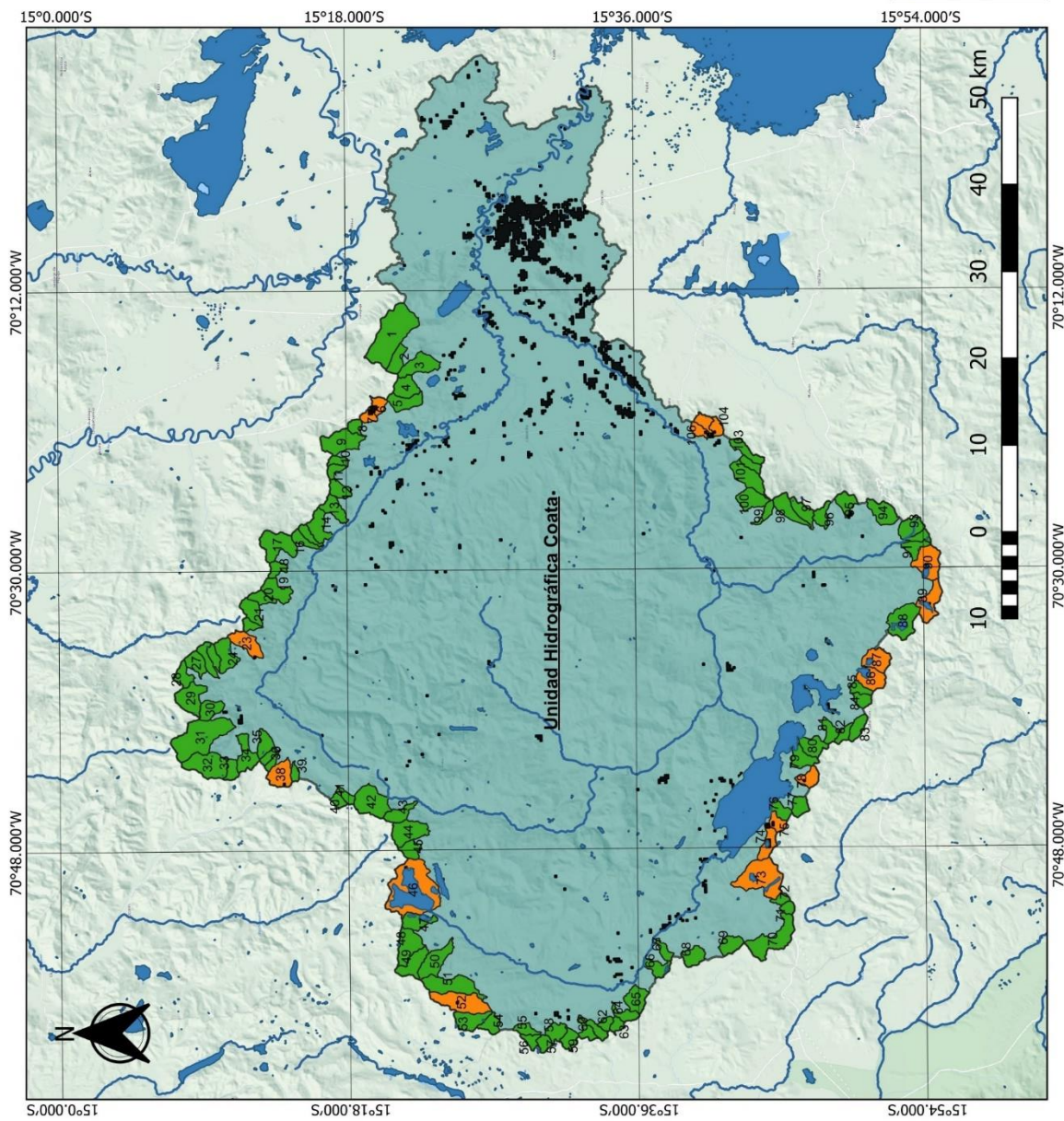
- Con Degradación
- Sin Degradación

Degradación

- Area Degradada

Cabeceras de Cuenca Bajo Degradación

CC ID	Degradación (%)
006	16.32
007	10.32
023	0.91
038	0.84
046	0.20
052	0.56
073	0.38
074	9.96
075	5.01
078	1.49
086	0.95
087	1.03
089	0.71
090	0.65
104	3.25
105	1.99
106	3.94



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
Facultad de Ingeniería Agrícola
Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola

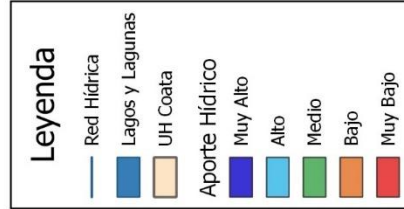
TESIS: EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN Y RESERVA DE TURBOSOLUCIÓN DE LAS CABECERAS DE CUENCA EN LA UNIDAD HIDROGRÁFICA COATA

MAPA DE DEGRADACION DE CABECERAS DE CUENCA

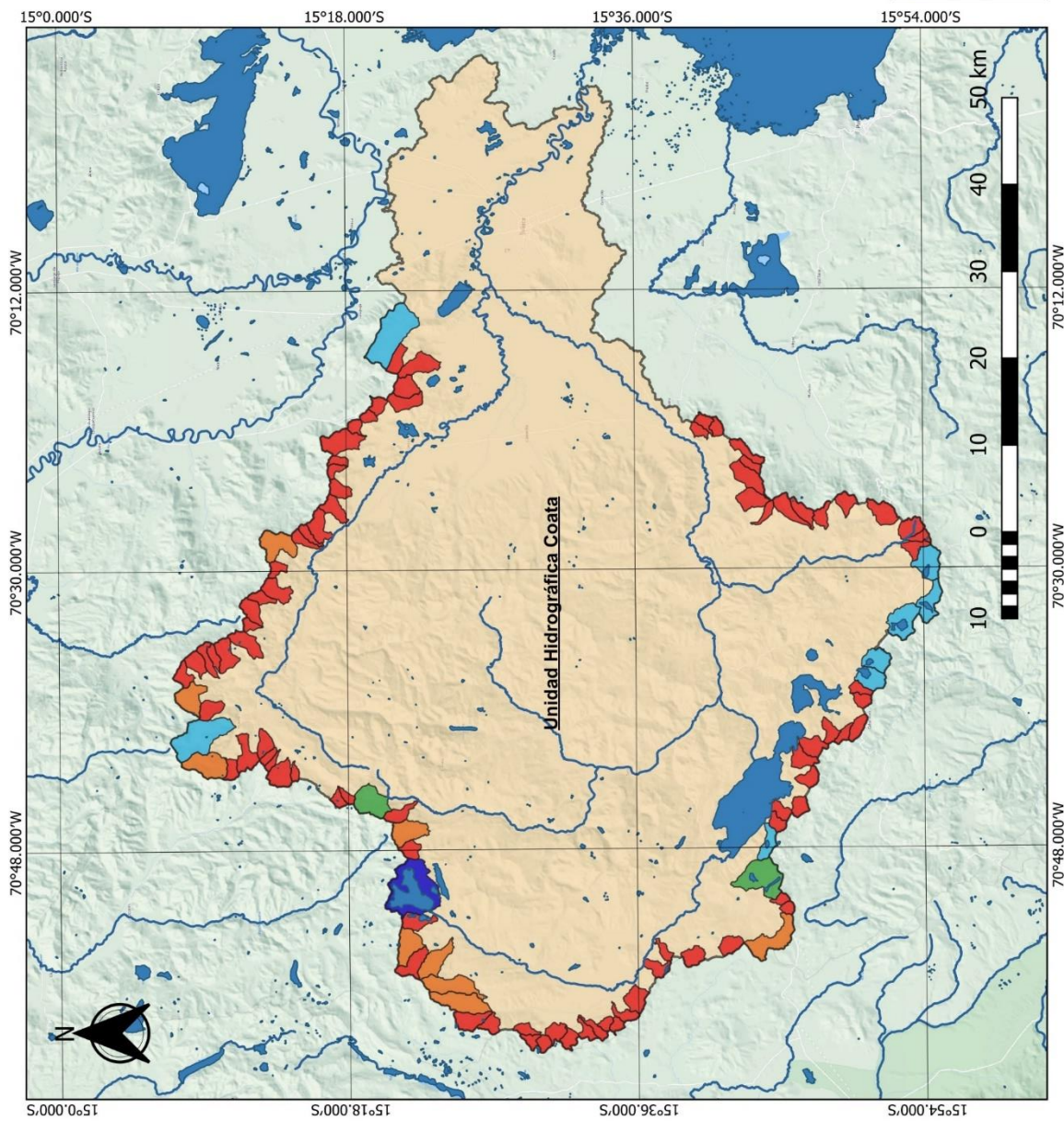
Elaborado: Dany E. Tito Velásquez | Tr

09

SRG: W05-01
Escala: 1:500,000



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO Facultad de Ingeniería Agrícola Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola	
TESIS: EVALUACIÓN Y RESERVA HIDROGRÁFICA DE LAS CABECERAS DE CUENCA EN LA UNIDAD HIDROGRÁFICA COATA	
MAPA DE RETENCIÓN HÍDRICA DE CABECERAS DE CUENCA	
Elaborado: Darío E. Ma. Velásquez Jr	10
SRG: WGS 84	Escala: 1:500,000



URH

Calificación

- Respuesta Hidrológica Muy Alta
- Respuesta Hidrológica Alta
- Respuesta Hidrológica Media
- Respuesta Hidrológica Baja

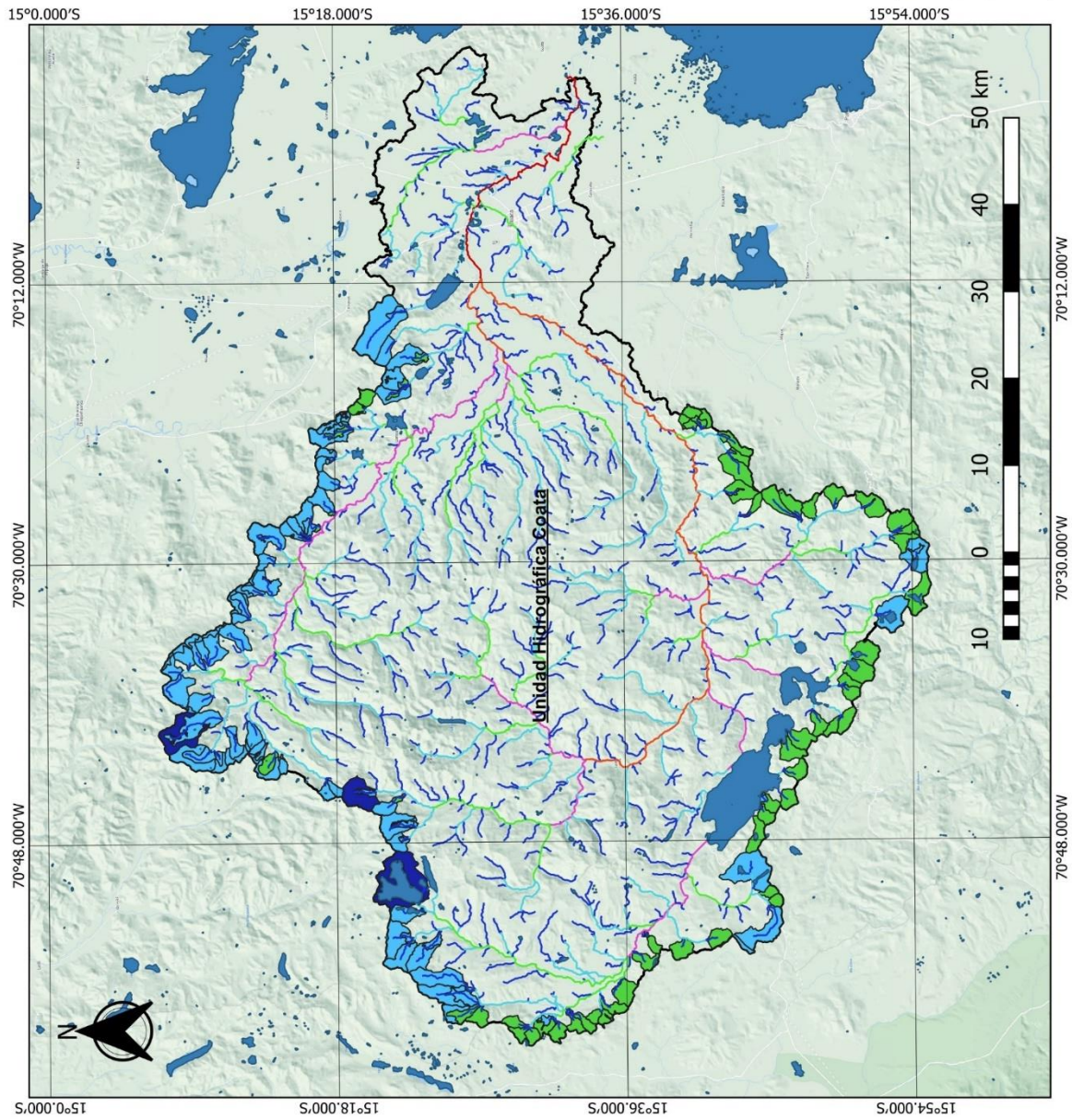
Leyenda

- Cuenca Coata
- Lagos y Lagunas

Orden de Rios

Strahler

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO Facultad de Ingeniería Agrícola Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola	UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO Facultad de Ingeniería Agrícola Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola
TESIS: EVALUACIÓN DE LA CONTINUIDAD Y RESPUESTA HIDROLÓGICA DE LAS CABECERAS DE CUENCA EN LA UNIDAD HIDROGRÁFICA COATA	
MAPA DE UNIDADES DE RESPUESTA HIDROLÓGICA	
Estrategia: Detección de Vulnerabilidad	08
RUC: 200284	Escuela: 1900/000



DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo DERLY RONALD VILCA VELÁSQUEZ
identificado con DNI 76551416 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERÍA AGRÍCOLA

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

“ EVALUACIÓN DE LA CONTRIBUCIÓN Y RESPUESTA HIDROLÓGICA
DE LAS CABECERAS DE CUENCA EN LA UNIDAD HIDROGRÁFICA
COATA ”

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 20 de MAYO del 2024

FIRMA (obligatoria)



Huella



AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo DERLY RONALD VILCA VELÁSQUEZ
identificado con DNI 76551416 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado
INGENIERÍA AGRICOLA

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

“ EVALUACIÓN DE LA CONTRIBUCIÓN Y RESPUESTA HIDROLÓGICA DE
LAS CABECERAS DE CUENCA EN LA UNIDAD HIDROGRÁFICA COATA ”

para la obtención de Grado, Título Profesional o Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los “Contenidos”) que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 20 de MAYO del 20 24

FIRMA (obligatoria)



Huella