

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



TITULO:

**ESTUDIO DEL POTENCIAL HÍDRICO DE LA CUENCA
DE SIHUA - COYA, CUSCO**

TESIS PARA OPTAR AL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO AGRONOMO

PRESENTADO POR:

Bach. PAUL CORNEJO RIVERO.

ASESOR:

DR. CARLOS JESUS BACA GARCIA.

K'AYRA - CUSCO - PERU

2019

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco que me brindó sus instalaciones y servicios durante mi formación profesional.

A todos mis Docentes de la Carrera Profesional de Agronomía, de la Facultad de Agronomía y Zootecnia por haberme impartido sus conocimientos y experiencias durante mi vida universitaria.

Con profundo reconocimiento y agradecimiento a mi asesor Dr. **Carlos Jesús Baca García**, por sus acertadas sugerencias y orientaciones durante el desarrollo del presente trabajo de tesis.

A la comunidad neo catecumenal, a la Scala Coral, a la Tuna Universitaria UNSAAC, al círculo de estudios Imperio Verde, a todas estas instituciones gracias por todas las enseñanzas, a la Tuna de Ciencias Agrarias de la cual me honro de ser fundador y amigo de todos.

A mis amigos y todas las personas que con su estímulo contribuyeron al logro de este propósito.

El Autor.

DEDICATORIA

Gracias a Dios por su inmenso amor,
que toda mi vida el guía e inspira

A mis padres Mario Cornejo Ortiz,
Greta Rivero Delgado, por todos los
sacrificios que hicieron por mi
formación personal y estudiantil

A mi esposa Ingrid a mis hijos y
suegros gracias por su constante
apoyo y comprensión

A mis hermanos Jeffrid y Mario,
amigos Jhon, Pavel, Eric, Edison,
Manolo, Fausto, Edgar, con mucho
cariño por su apoyo incondicional

PAUL CORNEJO RIVERO

CONTENIDO

AGRADECIMIENTO	I
DEDICATORIA	II
CONTENIDO	III
I. PROBLEMA OBJETO DE LA INVESTIGACIÓN.....	1
1.1 Identificación del Problema.....	4
1.2 Planteamiento del Problema:.....	4
II. OBJETIVOS	5
2.1 Objetivo General.....	5
2.3 Justificación:.....	5
2.4 Hipótesis:.....	6
2.4.1 Hipótesis General.....	6
2.4.2 Hipótesis Específicas.....	6
III. MARCO TEÓRICO	7
3.1 Marco legal sobre el agua. Ley de Recursos Hídricos N° 29338 (Artículos de interés)	7
3.2 Manantial.....	10
3.3 Aforos.....	11
3.4 La cuenca.....	11
3.5 Partes de una cuenca.....	12
3.6 Parámetros morfométricos de la cuenca.....	14
3.6.1 Índice de la cuenca.....	14
3.6.2 Coeficiente de compacidad (kc).....	14
3.6.3 Curva hipsométrica.....	14
3.7 Hidrología de cuencas.....	15
3.7.1 El ciclo hidrológico:.....	15
3.7.2 La cuenca hidrográfica y la cuenca hidrológica.....	16

3.8	Relación agua suelo planta.....	17
3.9	Infiltración de agua en el suelo	18
3.10	Factores que intervienen en la infiltración.....	19
3.11	Métodos para determinar la infiltración	20
3.12	Tipos de Infiltrómetro	20
3.13	Unidades de infiltración	21
3.14	Hidrología	22
3.15	La precipitación	22
3.15.1	Clasificación de la precipitación	22
3.15.2	Medición de la lluvia.....	23
3.15.3	Registro de los datos de lluvia.....	23
3.15.4	Análisis estadístico de los datos de lluvia.....	24
3.16	Evaporación	26
3.17	Transpiración.....	26
3.18	Evapotranspiración (et).....	27
3.18.1	Evapotranspiración de referencia (Eto)	27
3.18.2	Evapotranspiración de cultivo (etc).....	28
3.18.3	Coefficiente del cultivo (kc).....	28
3.18.4	Factor de suelo (ks).....	29
3.18.5	Métodos empleados para el cálculo de evapotranspiración de referencia	29
3.19	Aspectos climáticos.	30
3.19.1	La meteorología	30
3.19.2	El clima	30
	Elementos del clima.....	31
	Radiación solar.	31
	La temperatura.....	32
	La humedad atmosférica.....	32
	Humedad relativa (HR)	32

Los Vientos	33
3.19.3 Modelo climático de Thornthwaite	34
3.20 Uso sostenible de las aguas subterráneas	42
3.21 Los sistemas de información geográfica (gis)	43
3.21.1 El GPS (global positioning system).	43
3.22 Generación de caudales mensuales para períodos extendidos	59
3.23 Demanda hídrica poblacional.	60
3.24 Acuífero, acuitardo, acuícludo y acuífugo.	62
3.24.1 Acuífero.....	62
3.24.2 Acuitardo.....	63
3.24.3 Acuícludo	63
3.24.4 Acuífugo.....	63
3.25 Potencial Hídrico	63
IV. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	65
4.1 Tipo de Investigación:.....	65
4.2 Aspectos generales:	65
4.2.1 Ubicación.....	65
4.2.2 Límite de la comunidad.....	66
4.2.3 Accesibilidad.....	68
4.3 Materiales y equipos y herramientas utilizadas.	69
4.4 Metodología de trabajo.	72
4.4.1 Recopilación de información básica:.....	72
4.4.2 Actividades preliminares de campo.	73
4.4.3 Trabajos de campo.....	74
4.5 Aspectos climáticos de la cuenca.	77
4.6 Análisis, interpretación y evaluación de los datos meteorológicos	78
4.6.1 Análisis y tratamiento de la información meteorológica.....	78
4.6.2 Análisis de la precipitación.....	80

4.6.3	Análisis de consistencia.....	81
4.6.4	Análisis del salto.....	81
4.6.5	Análisis de tendencias.....	93
4.7	Completación y extensión de registros.....	100
4.7.1	Completación de datos por regresión lineal simple.....	100
4.8	Regionalización de parámetros climáticos.....	103
4.8.1	Precipitación.....	103
4.8.2	Temperaturas.....	110
4.8.3	Evapotranspiración de referencia:.....	124
4.9	Modelo climático de Thornthwaite.....	128
4.9.1	Evapotranspiración Referencial.....	128
4.9.2	Calculo de los índices de Thornthwaite.....	131
4.10	Clasificación climática de la cuenca de Sihua.....	132
4.10.1	Clima Semiárido Seco – Templado frío (DB'2da').....	132
4.10.2	Clima Subhúmedo Seco – Templada fría (C1B'2da').....	133
4.10.3	Clima Subhúmedo seco – Semifrío (C1B'1sa').....	134
4.10.4	Subhúmedo Húmedo - Semifrío (C2B'1w2a').....	135
4.10.5	Clima Ligeramente Húmedo – Semifrío (B1B'1w2a').....	136
4.10.6	Clima Moderadamente húmedo y semifrío, (B2 B'1 w2 a').....	137
4.10.7	Clima Húmedo – Frío Moderado (B3C'2w2a').....	138
4.11	Recursos hídricos.....	139
4.11.1	Inventario de fuentes de agua.....	139
4.11.2	Tipo de Fuentes Inventariadas.....	140
4.12	Inventario de sistemas de aprovechamiento.....	158
4.13	Oferta hidrológica generada.....	159
4.13.1	Caudales medios mensuales para periodos extendidos: datos de entrada al programa Lutz Scholz:.....	159
4.13.2	Generación de caudales mensuales para períodos extendidos.....	164

4.14	Demanda hídrica.	176
4.14.1	Demanda de Agua Poblacional:	177
4.14.2	Demanda agrícola:	180
4.15	Balance hídrico.	186
4.16	Identificación de unidades parentales almacenadoras de agua subterránea.	188
4.16.1	Variables evaluadas para identificación de acuíferos.	188
4.16.2	Parámetros que definen a una unidad geológica como acuífero.	189
4.16.3	Delimitación y reservas probables de agua en los acuíferos.	201
4.16.4	Unidades hidrogeológicas.	202
4.16.5	Identificación de las causas y efectos naturales y antrópicas que afectan el manejo y conservación del recurso hídrico.	210
4.16.6	Causas:	211
4.17	Alternativas de recarga artificial	217
4.17.1	Zanjas de infiltración:	217
4.17.2	Zonas de clausura:	223
4.17.3	Forestación con plantas nativas:	223
4.17.4	Estrategias de conservación	227
VI.	BIBLIOGRAFÍA.....	234
	ANEXOS.....	238

RESUMEN

Identificación del contexto: El estudio del Potencial Hídrico de la Cuenca de Sihua, ámbito perteneciente a la comunidad campesina de Sihua, distrito de Coya, provincia de Calca y departamento del Cusco; está ubicada entre las coordenadas 13° 25' 12.06" Latitud Sur, 71° 56' 26.95" Longitud Oeste, altitud promedio de 3500 msnm, abarca un área de 797.239 ha, ámbito territorial importante donde se localizan fuentes hídricas importantes, elemento fundamental para la supervivencia de las especies, incluida la humana, fuentes que se han alterado en estos últimos 20 años de manera drástica influenciando en el ciclo hidrológico de la recarga natural de los acuíferos, por el uso inadecuado del recurso hídrico, inadecuada forestación, malas prácticas antrópicas, pérdida de la cobertura vegetal e insuficientes embalses.

Solución al problema: Esta investigación exploratoria – descriptiva, comprende un desarrollo progresivo de diferentes etapas de investigación que inicia con la recopilación de información in situ y revisión bibliográfica hasta el procesamiento de los datos hídricos obtenidos en campo, elaboración de inventarios de manantes, correlaciones y análisis de los resultados que permiten integrar todas las variables en intervenciones para dar un uso eficiente y sostenible al recurso hídrico.

Procedimientos realizados: Se realizó el cálculo del régimen, frecuencia, severidad, calidad del agua para llegar a la precipitación utilizando modelos climáticos, y generar caudales. La cuenca de Sihua es pequeña, se encontraron como inventario un total de 33 manantiales, verificando su calidad con el conductivímetro eléctrico. Se hizo también encuestas a los pobladores quienes a través de ella ayudaron a determinar su nivel de conocimiento sobre el uso sostenible del agua, así como en

la obtención de datos epidemiológicos. También se realizó pruebas de permeabilidad y el estudio de la Precipitación que indico un módulo pluviométrico 673.22 mm con una precipitación máxima 140.07 mm en enero y una mínima de 10.35 mm en junio. Se obtuvo así mismo una temperatura promedio anual 9.49 °C.

Aspectos a resaltar: Cabe indicar que el desconocimiento por parte de los pobladores sobre la ubicación, tipo y características de los manantes, influyeron negativamente sobre el estudio, ya que retrasó el análisis de los datos.

Resultado: El área de estudio posee como fuentes hídricas el almacenamiento subterráneo y las aguas meteóricas o lluvias estacionales, que de generarse un uso eficiente del mismo, por medio de una gestión integral de recursos hídricos, edáficos y vegetales en zonas de almacenamiento superficial y acuíferos, favorecerían a la recarga hídrica natural. La construcción de zanjas infiltración puede ayudar a interceptar el agua de escorrentía.

INTRODUCCIÓN

La presente investigación compila los datos hidrológicos necesarios para llevar a cabo un balance hídrico, el cual brinda una aproximación sobre el porcentaje de lluvia que implica el caudal de agua superficial, el caudal del flujo base y el valor de la evapotranspiración. Además, se espera contribuir a la explotación racional de los recursos hídricos de la cuenca de Sihua.

La característica principal de este tipo de estudio es dar solución a la necesidad hídrica y poder conservar este recurso, volviéndolo auto sostenible.

Para analizar esta problemática es necesario mencionar sus causas:

El área de investigación se ubica en la Comunidad Campesina de Sihua del Distrito de Coya y abarca una porción de la cuenca media del río Vilcanota, al Norte de la ciudad del Cusco. La cuenca tiene un área de 797.239 ha, morfológicamente es casi homogénea: las vertientes de ladera presentan pendientes mayoritariamente que van desde 15% hasta menores a 75%, con dirección todas hacia el río Vilcanota. La diferencia de altura entre el punto más bajo ubicado en la confluencia con el río Vilcanota a una altitud de 2920 msnm, hasta la elevación mayor en el Cerro Campanaurco a 4180 msnm, alcanzando una diferencia de 1260 m.

De acuerdo a las entrevistas con pobladores del lugar, en los últimos 20 años, la fluctuación de los caudales de descarga de sus manantes han registrado un decremento considerable generando una escasez de agua, en épocas de secas, producto del cambio en los usos de esta fuentes, por aumento demográfico de los poblados al interior de la cuenca y por aumento en las necesidades de agua (agrícola, pecuario, entre otros). Este problema se ha agudizado aún más por el actual fenómeno del niño que produjo niveles mínimos de lluvia durante los meses

de enero, febrero y marzo de este año, contribuye a ello el proceso de cambio climático que desde los últimos 20 años ha alterado el ciclo hidrológico de la recarga natural de los acuíferos en estas zonas.

Esta tendencia general, ha hecho que en los últimos años existan conflictos por la propiedad de manantes entre sectores al interior de la comunidad, y que algunos proyectos de riego tomaron como fuente éstos manantes, no cumpliendo en la actualidad con su fin planteado al momento de su configuración. Es por ello que continuamente se busca áreas de reserva de agua superficial como represamientos o embalses, sin embargo en muchas cuencas como la presente, no cuentan con reservas de agua superficial, por lo que la recarga de acuíferos es una buena alternativa, buscando aumentar o mantener las reservas de agua subterránea y dar sostenibilidad a la vida útil de los manantes. Esta actividad tiene algunas ventajas como las pérdidas por evaporación que son nulas y de bajo costo, lo que la convierte en una alternativa muy interesante.

En la cuenca de Sihua como más adelante se observará, existen unidades litológicas de origen que presentan un gran potencial para el almacenamiento y filtración de agua subterránea.

El Autor.

I. PROBLEMA OBJETO DE LA INVESTIGACIÓN

A nivel mundial el agua es fundamental para la supervivencia humana, esto demuestra que el estrés hídrico y la falta de trabajo digno pueden exacerbar los problemas de seguridad nacional, por la escasez de agua, el agua de mala calidad y los ecosistemas afectados o inestables que pueden impulsar la migración forzada. Es el momento de fomentar las inversiones en la protección y rehabilitación de los recursos hídricos, incluida el agua potable, así como en saneamiento.

A nivel nacional dado que la competencia por los recursos de agua dulce aumenta y que el cambio climático afecta a los suministros, es cada vez más urgente que los gobiernos desarrollen y adopten políticas que tengan en cuenta las limitaciones impuestas por la disponibilidad de agua. El Perú ha sido reconocido como uno de los diecisiete países llamados megadiversos, por ser poseedores en conjunto de más del 70% de la biodiversidad del planeta. Nuestra biodiversidad está representada por una gran variedad de ecosistemas, especies de flora y fauna, además de la diversidad genética, que vienen contribuyendo al desarrollo y la sostenibilidad mundial. Se puede decir que el agua es uno de los recursos naturales renovables más preciados para la existencia de todo ser vivo, sin él no se garantiza la existencia de plantas, animales y del hombre, por lo que cuando hay escasez de agua los conflictos sociales por él aumentan y la producción de alimentos disminuye.

A nivel regional, la situación ambiental relacionado con el recurso agua es muy diferente a lo que acontece en las localidades que se encuentran en la vertiente del Pacífico que cuentan con un reducido potencial y oferta hídrica. En cambio la región Cusco pertenece a la vertiente del Atlántico, donde existe una abundante oferta

hídrica, aunque esta no sea sinónimo de acceso y disponibilidad por requerir de medios materiales e infraestructura. Así mismo, la vasta cantidad y variedad de recursos naturales que cuenta la región se ve amenazada por la contaminación, el deterioro ambiental, la deforestación, las quemas e incendios de formaciones vegetales y la erosión como principales problemas socio-ambientales que reducen la disponibilidad de agua para sus habitantes.

Así mismo según el ANA (2010), menciona que, para superar el problema de la escasez, es necesario comprender sus causas y orígenes, de esta manera se entenderá la importancia de la actitud personal, la necesidad de organizarse, la participación activa y consciente de todas las instituciones además del rol fundamental que deben jugar para lograr los consensos y compromisos necesarios para revertir el proceso de disminución de la oferta hídrica en las cuencas; rol que también atañe a la UNSAAC y aún más a la Facultad de Ciencias Agrarias por estar ligado estrechamente a este recurso. En ese entender, la presente tesis titulada **“Estudio del Potencial Hídrico de la Cuenca de Sihua – Coya - Cusco”**, contribuye al estudio hidrológico determinando el inventario de las fuentes de agua superficial y subterránea, con el propósito de conocer el estado situacional de las fuentes de agua, realizar el balance hídrico para ver la relación oferta - demanda, identificación y delimitación de acuíferos; para con todo ello, promover la gestión sostenible del recurso hídrico en la zona de estudio.

El alcance de la presente tesis, busca que, a través de la realización de las propuestas de conservación con un enfoque metodológico participativo, permita una recarga eficiente de acuíferos con un flujo sostenible de los volúmenes de descarga de las fuentes hídricas (manantiales), finalmente toda esta información se almacenará en una base de datos alfanumérica y cartográfica digital manteniendo

las diferentes características físicas y de ubicación espacial de dichas fuentes, así como información del estado actual, del tipo y derecho de uso, disponible para optimizar la planificación actual y futura de su uso potencial.

1.1 Identificación del Problema.

En la actualidad el uso ineficiente del recurso hídrico, la inadecuada forestación, las malas prácticas antrópicas y el número insuficiente de embalses, fomenta la escasez hídrica de forma permanente que afectaría gradualmente en un futuro próximo a la cuenca de Sihua – Coya, por ser este recurso necesario para la actividad agrícola y para el consumo humano.

1.2 Planteamiento del Problema:

- a. ¿Cuáles son las características climáticas en la cuenca Sihua – Coya?
- b. ¿Cuál es el comportamiento de los manantiales en el lugar?
- c. ¿Cuál es la relación de oferta y demanda hídrica?
- d. ¿Qué intervenciones son necesarias para el mantenimiento del recurso hídrico de la cuenca de Sihua – Coya?

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo General.

Identificar las características del potencial hídrico para la realización de acciones de conservación y recuperación de las fuentes hídricas que mejorarán con el uso eficiente y sostenible del agua en la cuenca de Sihua, distrito de Coya.

2.2 Objetivos Específicos.

- a. Determinar las características climáticas de la cuenca Sihua – Coya.
- b. Describir las características de comportamiento de los manantiales.
- c. Identificar la relación que existe entre la oferta y demanda hídrica.
- d. Definir las acciones de recarga hídrica más adecuadas.

2.3 Justificación:

Analizando el problema expuesto en este estudio se puede observar:

- a. El desconocimiento sobre el potencial hídrico, la cantidad de manantes, el cambio de la precipitación, humedad, temperatura, el régimen de los manantiales, incluso los nombres verdaderos y la calidad de sus fuentes por parte de los pobladores, que no ha permitido una planificación sobre el uso eficiente de este recurso ni actividades de recarga para darle sostenibilidad.
- b. Falta de iniciativa en acciones de recarga hídrica para un uso sostenible.
- c. Inexistentes estudios de oferta y demanda hídrica que conllevan a un uso ineficaz y desigual en esta comunidad.
- d. Hasta el momento se han llevado a cabo intervenciones sin sostenibilidad en el tiempo, lo que las hace insuficientes.

2.4 Hipótesis:

2.4.1 Hipótesis General.

La conservación del recurso hídrico se ve afectada por la mala gestión hídrica y el uso ineficiente del mismo, dado que no se tiene identificado el potencial hídrico de la cuenca de Sihua – Coya.

2.4.2 Hipótesis Específicas.

- a.** Las condiciones climáticas de la cuenca presentan cambios drásticos en cuanto al régimen, frecuencia y severidad que no favorece la recarga de los acuíferos.
- b.** La principal fuente de disponibilidad hídrica en la cuenca es a través de manantes, pero con cambios severos de régimen producto de los cambios climáticos actuales. Así mismo por estar ubicados en unidades líticas de arenisca el agua es de buena calidad para su uso en la agricultura.
- c.** El desequilibrio entre la oferta y la demanda hídrica genera una disminución radical en la cantidad del recurso hídrico.
- d.** Acciones factibles: la forestación, la construcción de zanjas de infiltración y represamiento de lagunas, coadyuvando a la recarga de los acuíferos, así como capacitación y supervisión de los comuneros.

III. MARCO TEÓRICO

3.1 Marco legal sobre el agua. Ley de Recursos Hídricos N° 29338 (Artículos de interés)

Disposiciones Generales

El agua es considerada como recurso natural renovable, imprescindible para la vida, vulnerable y vital para el desarrollo sostenible, el sostenimiento de los sistemas y ciclos naturales que la sustentan, y la seguridad de la Nación.

El agua comprendida en la Ley. El agua cuya regulación es materia de la presente Ley comprende lo siguiente:

1. La de los ríos y sus afluentes, desde su origen natural;

2. la que discurre por cauces artificiales;

3. la acumulada en forma natural o artificial;

4. la que se encuentra en las ensenadas y esteros;

5. la que se encuentra en los humedales y manglares;

6. la que se encuentra en los manantiales;

7. la de los nevados y glaciares;

8. la residual;

9. la subterránea;

10. la de origen minero medicinal;

11. la geotermal;

12. la atmosférica; y

13. la proveniente de la desalación.

Título III: Usos de los Recursos Hídricos

Condiciones generales para el uso de los recursos hídricos. El uso de los recursos hídricos se encuentra condicionado a su disponibilidad. El uso del agua debe realizarse en forma eficiente y con respeto a los derechos de terceros, de acuerdo con lo establecido en la ley, promoviendo que se mantengan o mejoren las características físico-químicas del agua, el régimen hidrológico en beneficio del ambiente, la salud pública y la seguridad nacional.

Clases de usos de agua y orden de prioridad. La ley reconoce las siguientes clases de uso de agua:

1. Uso primario.
2. Uso poblacional.
3. Uso productivo.

La prioridad para el otorgamiento y el ejercicio de los usos anteriormente señalados sigue el orden que han sido enunciados.

Uso primario del agua. El uso primario consiste en la utilización directa y efectiva de la misma, en las fuentes naturales y cauces públicos de agua, con el fin de satisfacer necesidades humanas primarias. Comprende el uso de agua para la preparación de alimentos, el consumo directo y el aseo personal; así como su uso en ceremonias culturales, religiosas y rituales.

Características del uso primario. El uso primario del agua no requiere autorización administrativa y se ejerce por la sola disposición de la ley. Es inocuo al ambiente y a

terceros, no tiene fin lucrativo y se ejerce en forma gratuita por las personas, bajo su propia responsabilidad, restringido solo a medios manuales y condicionados a que:

1. No altere las fuentes de agua en su cantidad y calidad
2. no afecte los bienes asociados al agua.

Zonas de libre acceso para el uso primario. El estado garantiza el libre acceso a las fuentes naturales y cauces artificiales públicos, sin alterarlos y evitando su contaminación, para satisfacer directamente las necesidades primarias de la población. La Autoridad Nacional fija, cuando sea necesario, lugares o zonas de libre acceso.

Uso productivo del agua. El uso productivo del agua consiste en la utilización de la misma en procesos de producción o previos a los mismos. Se ejerce mediante derechos de uso de agua otorgados por la Autoridad Nacional.

Tipos de uso productivo del agua. Son tipos de uso productivo los siguientes:

1. Agrario: pecuario y agrícola;
2. Acuícola y pesquero;
3. Energético;
4. Industrial;
5. Medicinal;
6. Minero;
7. Recreativo;
8. Turístico; y
9. De transporte.

Se podrá otorgar agua para usos no previstos, respetando las disposiciones de la presente Ley.

3.2 Manantial

- a. Manantial;** lugar donde el agua aflora naturalmente de una roca o del suelo a la tierra o a una masa de agua superficial natural o artificial. Denominado también manante, y en nuestro medio andino como puquio.
- b. Manantial de filtración;** manantial que se presenta en forma difusa, siendo necesario realizar obras de drenaje superficial para hacer factible una captación de agua acumulada.
- c. Manantial de fisura;** manantial que emana de una formación rocosa estructuralmente fisurada.
- d. Manantial de ladera;** manantial ubicado en una vertiente de un determinado valle.
- e. Manantial de piso;** manantial ubicado en una zona o terreno de morfología tipo planicie.
- f. Manantial de fondo de valle;** manantial ubicado en la zona más baja de un valle, inicio del talud de una vertiente.
- g. Nombre de Fuente;** es la denominación que tiene la fuente de agua, la misma que se obtiene de la Carta Nacional, por indicación del guía de campo o por versión de los habitantes del lugar. ejemplo: río “Sihua”.

3.3 Aforos

- a. **Aforo de caudal**; conjunto de operaciones para determinar el caudal de un curso de agua para un nivel (tirante) observado, a un cierto nivel o porcentaje de exactitud.
- b. **Tipo de Aforo**; metodología de aforo o medición de la disponibilidad hídrica de una fuente hídrica, puede ser el método área-velocidad con correntómetro o flotador, método de la carga hidráulica con vertedero, método volumétrico (con depósito graduado y cronómetro) u otras técnicas de medición del caudal.

Caudal continuo (l/s); corriente de agua o manantial que fluye durante todo un año hidrológico, en época de estiaje es alimentado por el flujo del acuífero de su cuenca receptora.

Caudal Esporádico (l/s); corriente de agua o manantial que fluye solamente durante el periodo hidrológico de precipitaciones, o mientras tenga una fuente base de alimentación.

3.4 La cuenca

- a. **Cuenca** Es un área que no recibe drenaje de ninguna otra área, pero si contribuye con flujo a otra unidad de drenaje, a través del flujo, considerado como principal, con el cual confluye.
- b. **Intercuenca**; Es un área que recibe drenaje de otra unidad aguas arriba, exclusivamente, del flujo que es considerado como río principal, y permite el paso de este hacia la unidad de drenaje vecina aguas abajo. En otras palabras, una intercuenca, es una unidad de drenaje de tránsito del río principal.

- c. **Cuenca interna;** es un área de drenaje que no contribuye con flujo de agua a otra unidad de drenaje o cuerpo de agua, tales como un océano o lago.
- d. **Cuenca hidrográfica;** territorio cuyas aguas afluyen todas a un mismo río, lago o mar. (**Ley general de aguas D. L. 17752**)

3.5 Partes de una cuenca

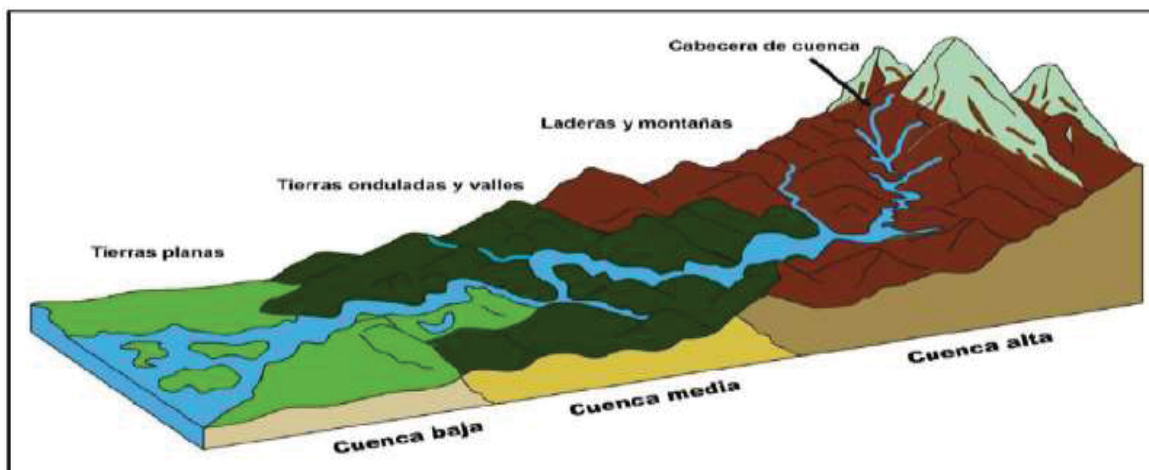
Una cuenca hidrográfica alto andina normalmente consta de tres partes:

a) Partes altas.- Estas partes comprenden altitudes superiores a los 3,000 msnm, llegando en algunos casos hasta los 6,500 msnm. En tales áreas se concentra el mayor volumen de agua ya sea en forma de nevados o de lluvia, dado que allí la precipitación pluvial es intensa y abundante; es frecuente asimismo la formación de nevados. La topografía de estas zonas es sumamente accidentada y escarpada; en consecuencia, su potencial erosivo es sumamente alto, pero al mismo tiempo su potencial para la producción hidroenergética también es alto. La precipitación total anual promedio alcanza los 800 hasta 1,600 mm por año. En esta parte es frecuente observar lagos y lagunas con abundante actividad biológica. Aquí se ubican los pastores y campesinos pobres que normalmente desarrollan una economía de autoconsumo y subsistencia; pero al mismo tiempo en estas zonas se encuentra un gran potencial con recursos mineros. A estas partes altas también se le llama “cabecera de cuenca”, que son las zonas de mayor disponibilidad de agua y de muy buena calidad y que a partir de allí fluyen hacia las partes medias y bajas de las cuencas, ya sea en forma superficial o subterránea. Estas partes altas son claves para su preservación y protección por ser abastecedoras de agua para el resto de la cuenca.

b) Partes medias.- Son las comprendidas entre los 800 y 3,000 msnm. Las precipitaciones promedio que caen en estas zonas varían entre los 100 – 800 mm/año. En estas zonas están los valles interandinos, caracterizados por el clima benigno y variado. La función de estas partes de la cuenca está relacionada fundamentalmente con el escurrimiento del agua, siendo frecuente en dicho ámbito la presencia de pequeñas ciudades que la circundan, dándose además como característica, una gran actividad económica.

c) Partes bajas.- Abarcan desde el nivel del mar hasta los 800 msnm. La precipitación promedio que cae en la zona es muy escasa (< 100 mm/año), su pendiente es igualmente baja. En este ámbito están los amplios valles costeros, donde se desarrolla una intensa actividad agropecuaria, así como también se ubican las medianas y grandes ciudades consumidoras. En estas zonas se ubican los grandes proyectos de irrigación con importantes sistemas de embalse. El potencial de aguas subterráneas de estas zonas es alto. (Vásquez. A, 2000).

Gráfico 1. Esquema de las partes de la cuenca hidrográfica



Fuente: Manejo de cuencas altoandinas, 2000.

3.6 Parámetros morfométricos de la cuenca.

3.6.1 Índice de la cuenca

Es la relación del perímetro de la cuenca entre el perímetro que tendría un círculo con el mismo valor de área. Con este parámetro se determina cuanto se aleja la forma de la cuenca de un círculo. La forma de la cuenca interviene de manera importante y las características de descarga de un río, en especial en los eventos de avenidas máximas. Para caracterizar este parámetro se utiliza el coeficiente de compacidad (K_c) La relación de circularidad (R_{ci}) y la relación de elongación que son definidos a continuación:

3.6.2 Coeficiente de compacidad (k_c)

Es la correspondencia entre el perímetro de la cuenca y la circunferencia del círculo de la superficie de la misma cuenca. Su magnitud se obtiene con la expresión:

$$K_c = 0.282P/\sqrt{A}$$

Dónde:

K_c es el coeficiente de compacidad, adimensional

P es el perímetro de la cuenca, en m

A es la superficie de la cuenca, en m^2

3.6.3 Curva hipsométrica.

Es una curva que representa la correlación entre la altitud y la superficie que queda sobre diferentes alturas de una cuenca. Esta se representa en un eje de coordenadas.

La distribución espacial de la altitud en la cuenca es fundamental para caracterizar su condición morfológica, es decir; saber qué porcentaje de la cuenca corresponde a zonas de montaña, lomeríos, planicies, entre otros. Primero se requiere obtener un diagrama de frecuencias que se asocie área-altitud; es decir, determinar el valor del área correspondiente a un intervalo de altitud, abarcando el rango comprendido a un intervalo de altitud, abarcando el rango comprendido entre las elevaciones de terreno mínima y máxima. La marca de clase, por intervalo de la altitud, se define a partir de las condiciones topográficas de cada cuenca. Una vez más obtenida la relación área-altitud se puede obtener la curva hipsométrica de la cuenca, que no es otra cosa que una curva acumulada que parte de la elevación mínima del terreno localizada en la descarga o salida de la cuenca hidrológica del análisis. **(Remenieras, 1974)**

3.7 Hidrología de cuencas.

3.7.1 El ciclo hidrológico:

Se considera el concepto fundamental de la hidrología, y como todo ciclo no tiene principio ni fin, su descripción puede comenzar en cualquier punto. El agua que se encuentra sobre la superficie terrestre o muy cerca de ella se evapora bajo el efecto de la radiación solar y el viento. El vapor de agua, que así se forma, se eleva y se transporta por la atmósfera en forma de nubes hasta que se condensa y cae hacia la tierra en forma de precipitación, durante su trayecto hacia la superficie de la tierra, el área precipitada puede volver a evaporarse o ser interceptada por plantas o las construcciones, luego fluye por la superficie hasta las corrientes o se infiltra. El agua interceptada una parte de la infiltrada y de la que corre por la superficie se evapora nuevamente. De la precipitación que llega a las corrientes, una parte se infiltra y otra

llega hasta los océanos y otros grandes cuerpos de agua, como presas y lagos. El agua infiltrada, una parte es absorbida por las plantas y posteriormente es transpirada, casi en su totalidad, hacia la atmósfera y otra parte incluye bajo la superficie de la tierra hacia las corrientes, el mar u otros cuerpos de agua, o bien hacia las zonas profundas del suelo (percolación) para ser almacenada como agua subterránea y después aflorar en manantiales, ríos o el mar.

3.7.2 La cuenca hidrográfica y la cuenca hidrológica

Según la noción del ciclo hidrológico, toda gota de lluvia que cae al suelo, continúa en forma de escurrimiento e infiltración, luego va a lugares de concentración, posteriormente una parte se evapora y se vuelve al espacio para formar el ciclo, más tarde la gota de lluvia se infiltra, satura al suelo, pasa a percolación profunda y recarga de acuíferos. En este desplazamiento vertical, el agua se puede encontrar con estratos impermeables (rocas duras) que moverán las partículas de agua dependiendo de la forma y tipo de rasgos geológicos.

Cuando el relieve y fisiografía, tienen una forma y simetría diferente a la disposición geológica de la cuenca, se puede decir que existe una cuenca subterránea, que cambia la dirección del flujo sub superficial para alimentar a otra cuenca hidrográfica. A esta configuración se denomina cuenca hidrológica, la cual adquiere trascendencia cuando se realice el balance hidrológico, como se puede apreciar en la figura.

Gráfico 2. Diferencia de divisorias (hidrográfica e hidrológica)



Fuente: <http://www.fundesyram.info/biblioteca.php?id=3678>

Es así como se presentan los flujos sub superficiales y el movimiento del agua del suelo cuando la divisoria de la cuenca hidrográfica es distinta a la divisoria de la cuenca hidrográfica.

Es muy trascendente conocer esta característica interna de la cuenca, porque en algunos casos se realiza el balance hidrológico sin reparar en los aportes o fugas de una cuenca vecina a otra. Un caso específico son las cuencas ubicadas en terrenos kársticos.

3.8 Relación agua suelo planta

El agua es una fuente de vida, es una propiedad muy dinámica de cantidad, y el tiempo de permanencia en el suelo puede ser benéfico o actuar negativamente en relación al crecimiento de las plantas. Cuando hay exceso de agua que se pierden los nutrientes por lavaje, cuando la evaporación es alta y el agua es escasa hay acumulación de sales disueltas en la capa superficial en concentración dañinas para las plantas. (Buol S., 1991)

El agua no solo es de importancia directa para las plantas sino que juega muchos papeles en el suelo, actuando como disolvente, reactivo hidrolizante, amortiguador

de temperatura, agente dilatador y debilitador, de la estructura del suelo, etc. Un alto contenido de humedad facilita el movimiento del oxígeno en el suelo.

El comportamiento del agua en el suelo depende de sus particulares propiedades y de las fuerzas que actúan sobre ella, incluyendo aquellas que se oponen al movimiento que dependen, a su vez de la geometría de los poros y de la interacción entre el agua y las superficies sólidas con las que está en contacto. El espacio de poros del suelo puede contemplarse como un sistema de tubos irregulares interconectados, dentro de los cuales el agua puede ser retenida por fuerzas capilares (tensión superficial y adhesión) y por los que puede ser arrastrada de la misma forma que dentro de un tubo capilar. (Russell E. J., 1989)

3.9 Infiltración de agua en el suelo

Se entiende como tal el paso del agua a través de la superficie del suelo y tiene gran importancia en el proceso de riego.

La velocidad de infiltración que normalmente se mide en mm/h. limita el ritmo de aplicación de agua al terreno para que no haya escorrentía y depende principalmente de:

- a. El tiempo de infiltración.
- b. El contenido inicial de agua en el suelo.
- c. La conductividad hidráulica saturada.
- d. El estado de la superficie del suelo.
- e. La presencia de estratos de diferente textura.

La infiltración acumulada, que normalmente se mide en mm, representa la cantidad total de agua que ha pasado a través de la superficie del suelo en un tiempo

determinado, y se deduce por tanto a partir de la infiltración. La variación de ambos con el tiempo determinado. (Tarjuelo. M., 1995)

3.10 Factores que intervienen en la infiltración

El suelo

El suelo actúa esencialmente como un medio poroso que proporciona gran número de canales para que el agua penetre a través de la superficie.

El aumento del contenido de materia orgánica en el suelo (textura ligera), tiende a aumentar la capacidad de infiltración, debido a su incremento de la porosidad.

En suelos pesados (arcillosos) la velocidad de infiltración es pequeña, por eso suelen realizarse aplicaciones ligeras y frecuentes de agua durante el riego. (Glen. O. y Richard. K.; 1990)

Vegetación

En general la cubierta vegetal y las condiciones en que se encuentra la superficie del suelo, tienen mayor importancia sobre la infiltración que el tipo y textura del suelo.

Pendiente del terreno

El efecto de la pendiente determina la velocidad de infiltración de los suelos son menores. Parámetro que se toma en cuenta para los diseños del sistema de riego. Razón por el cual la necesidad de ajustar la intensidad de aplicación del riego. (Tarjuelo. M., 1995)

3.11 Métodos para determinar la infiltración

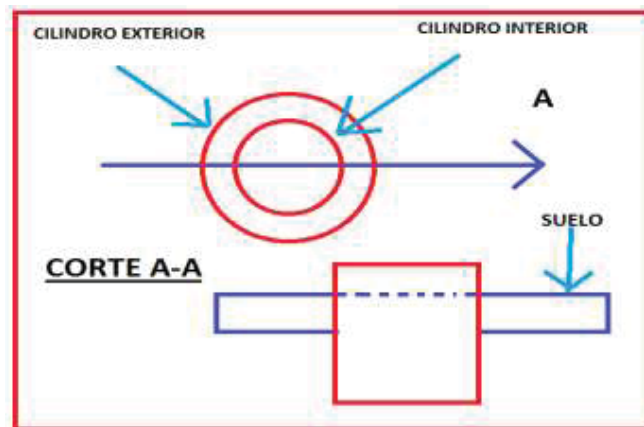
Existen varios métodos para medir la infiltración y así determinar la capacidad de infiltración de un suelo, entre los que tenemos:

- a. Método basado en el análisis de los registros de precipitación y esorrentía de una cuenca natural.
- b. Medida con Infiltrómetro
- c. Análisis de infiltración por surco
- d. Método consistente en uso de Radioisótopos

3.12 Tipos de Infiltrómetro

- a. Infiltrómetro de Muntz
- b. Infiltrómetro de Kohnke
- c. Infiltrómetro de anillos concéntricos. (**Olarte W., 2002**)
- d. Infiltrómetro de anillos concéntricos. Consta de cilindros, uno exterior de 40 cm de diámetro y otro interior de 30 cm normalmente son de 40 cm de alto, de acero o fierro galvanizado de 2 mm de espesor (**Benitez C., 2001**)

Gráfico 3. Esquema general de un infiltrómetro.



Fuente: Castañon G., 2000.

3.13 Unidades de infiltración

Velocidad de infiltración instantánea

Llamado también velocidad de infiltración parcial, es la velocidad de infiltración que alcanza el agua en un momento dado. Este hecho indica que la velocidad, de infiltración de un suelo no es dato puntual, si no que varía con el tiempo, siendo elevado al inicio del proceso cuando el suelo se humedece, hasta hacerse constante en el tiempo cuando este se satura. Muchos estudios se han efectuado alrededor de la infiltración del agua del suelo. El más simple y que se mantiene vigente es el efectuado por Kostiakov, Lens y Cridle, el cual manifiesta que la función que describe la velocidad de infiltración en un momento cualquiera del proceso describe una curva cuya ecuación es la forma exponencial siguiente: **(Olarde. W., 2002)**

$$I=a*t^b$$

Dónde:

I = Velocidad de infiltración instantánea (cm/hr)

a = Es un parámetro que depende de las características intrínsecas del suelo tales como la textura, estructural, porosidad.

b = Es un parámetro que depende de las características intrínsecas del suelo como: la carga hidráulica aplicada, la pendiente, la rugosidad. Este parámetro describe la pendiente de la curva, la misma que varía entre 0 y -1 porque la velocidad disminuye conforme que pasa el tiempo. Al descender la curva de infiltración su valor es siempre negativo.

t₀ = Tiempo de oportunidad que tiene el suelo de estar en contacto con el agua en minutos. **(Olarde. W., 2002)**.

3.14 Hidrología

La hidrología es la ciencia del agua en la tierra, por lo cual tiene relación preponderante con la agricultura, permite cuantificar su volumen y sus movimientos.

(Benites. C., 2001)

3.15 La precipitación

Es el término general que abarca todas las formas de humedad que emanan de las nubes que caen a la tierra. La humedad está siempre presente en la atmosfera incluso en días despejados, para que tenga lugar de precipitación se requiere de algún mecanismo que eleva la masa húmeda a estratos superiores a que al perder presión se expande consumiendo energía, ocasionando un descenso en su temperatura, enfriándose hasta llegar al punto de saturación. **(Benites. C., 2001)**

3.15.1 Clasificación de la precipitación

Para la formación de la precipitación, a partir de las nubes, se requiere la elevación de una masa de agua en la atmosfera para que produzca su enfriamiento y parte de ella se convence para que posteriormente, se precipite a la superficie terrestre. De acuerdo al mecanismo de elevación de esta masa de agua, existen tres **tipos de precipitación**: conectiva, orográfica, ciclónica. **(Vásquez, 2000)**

La **precipitación conectiva** se origina cuando el aire es arrastrado hacia arriba por la acción convectiva, hasta llegar a la altura en que encuentre condiciones favorables para la condensación, y luego ocurra la precipitación.

La **precipitación orográfica** se produce cuando una masa de aire se eleva por una cadena montañosa hacia grandes alturas hasta encontrar condiciones de condensación del agua para luego originarse la precipitación.

La **precipitación ciclónica** se origina por el encuentro de dos masas de agua de diferentes temperaturas, como resultado del cual la caliente es impulsada hacia las partes más altas, donde se produce la condensación del agua y luego ocurre la precipitación.

3.15.2 Medición de la lluvia

El instrumento para medir la cantidad y la intensidad de la precipitación se llama pluviómetro. Todas las formas de precipitación se miden sobre la base de una columna vertical de agua que se acumularía sobre una superficie a nivel si la precipitación permanece en el lugar donde cae. En el sistema métrico. La precipitación se mide en milímetro y décimos de milímetros. (**Chereque. M., 1993**)

3.15.3 Registro de los datos de lluvia

Las mediciones de las lluvias obtenidas de los pluviómetros o pluviógrafos constituye la información básica para los estudios hidrológicos. Para el análisis ideológico es tas información, se sistematizan u ordenan en función del tiempo, para obtener las denominadas **series de tiempo de lluvia**.

Así se tiene:

Lluvia diaria, es la cantidad de lluvia caída durante un día o 24 horas en un lugar determinado.

Lluvia mensual, es la cantidad de lluvia caída durante todos los días del mes.

Lluvia anual, es la cantidad de lluvia caída durante todos los días de un año.

3.15.4 Análisis estadístico de los datos de lluvia

Los datos diarios, mensuales o anuales son presentados en cuadros para su análisis, recurriéndose para esto a la estadística como herramienta auxiliar.

Parámetros estadísticos. Los parámetros estadísticos más importantes que se deben evaluar de los datos de lluvia son:

- a. Media o promedio.**
- b. Desviación estándar.**

También es importante el coeficiente de variabilidad, que es un parámetro muy analizado para hacer comparaciones de la variabilidad de la lluvia mensual de la estación de análisis, de la cual se determinan los valores de la media y desviación estándar respectiva.

Análisis probabilísticos

La lluvia es una variable hidrológica netamente aleatoria, y como tal está dentro del campo aleatorio. Por lo tanto el valor de la lluvia puede definirse como una distribución de probabilidades. Las distribuciones que más se adaptan son la normal, log-normal y log-Pearson tipo III. Dependiendo la elección de cualquiera de ellas el tipo de series de tiempo o si se trata de una tormenta.

Relación precipitación-altitud

Desde el punto de vista estrictamente físico (meteorológica) existen factores que afectan la magnitud de la lluvia pero que es muy difícil de evaluar. Para fines prácticos (aunque no es estrictamente correcto) se relaciona o correlaciona a la

lluvia con factores tales como la altitud. Este caso es muy frecuente en el sistema de las cadenas montañosas que se levantan desde los contrafuertes andinos que llegan a la costa hasta las montañas de la cordillera, donde se observa una típica formación de lluvia orográfica.

Lluvia media

En general, la altura de lluvia que cae en un sitio dado que difiere de la que cae en los alrededores aunque sea en sitios cercanos. Los aparatos descritos anteriormente registran la lluvia puntual, es decir la que se produce en el punto en el que está instalado el aparato y, para los cálculos de ingeniería, es necesario conocer la lluvia media en una zona dada, como puede ser una Cuenca. Para calcular la lluvia media de una tormenta dada, existen varias formas entre las que se tiene:

a) Método aritmético

Consiste simplemente en obtener el promedio aritmético de las alturas de precipitación registradas en cada estación usada en el análisis:

$$H_p = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n H_{pi}$$

Dónde:

H_p = es la altura de precipitación media

H_{pi} = es la altura de precipitación registrada en la estación i

n = es el número de estaciones bajo análisis

b) Método de las isoyetas

El método consiste en delinear, con los datos registrados en las estaciones, líneas que unen puntos de igual altura de precipitación llamadas isoyetas, de modo análogo al trazado de las curvas de nivel topográfico. La precipitación media se calcula en forma similar a la descrita anteriormente pero ahora el peso es el área a entre cada dos isoyetas y el límite de la cuenca y la cantidad que se pesa es la altura de precipitación promedio entre las dos isoyetas.

3.16 Evaporación

La evaporación es el proceso por el cual el agua en estado líquido se convierte en vapor (vaporización) y se retira de la superficie evaporante (remoción de vapor) El agua se evapora de una variedad de superficies, tales como lagos, ríos, caminos, suelos y la vegetación mojada. (Villa. A., 1997)

3.17 Transpiración

La transpiración consiste en la vaporización del agua líquida contenida en los tejidos de la planta y su posterior remoción hacia la atmosfera. Los cultivos pierden agua predominantemente a través de los estomas. Estos son pequeñas aberturas en la hoja de la planta a través de las cuales atraviesan los gases y el vapor de agua de la planta hacia la atmosfera. El agua. Junto con algunos nutrientes, es absorbida por las raíces y transportada a través de la planta. La vaporización ocurre dentro de la hoja, en los espacios intercelulares, y el intercambio del vapor con la atmosfera es controlada por la abertura estomática. Casi toda el agua absorbida del suelo se pierde por transpiración y solamente una pequeña fracción se convierte en parte de los tejidos vegetales. (Estudio FAO Riego y Drenaje 56, 1998)

3.18 Evapotranspiración (et)

La evaporación y la transpiración ocurren simultáneamente y no hay manera sencilla de distinguir entre estos dos procesos. Aparte de la disponibilidad de agua en los horizontes superficiales, la evaporación de un suelo cultivado es determinada principalmente por la fracción de radiación solar que llega a la superficie del suelo.

Proyecta más y más sombra sobre el suelo. En las primeras etapas del cultivo, el agua se pierde principalmente por evaporación directa del suelo, pero con el desarrollo del cultivo y finalmente cuando este cubre totalmente el suelo, la transpiración se convierte en el proceso principal. (**Estudio FAO Riego y Drenaje 56, 1998**)

3.18.1 Evapotranspiración de referencia (Eto)

La tasa de evapotranspiración de una superficie de referencia, que ocurre, sin restricciones de agua se conoce como evapotranspiración del cultivo de referencia y se denomina ETo. La superficie de referencia corresponde a un cultivo hipotético de pasto con características específicas. No se recomienda el uso de otras denominadas como ET potencial, debido a las ambigüedades que se encuentran en su definición. El concepto de evapotranspiración de referencia se introdujo para estudiar la demanda de la evapotranspiración de la atmósfera, independientemente del tipo y desarrollo del cultivo, y de las prácticas de manejo. El término de evapotranspiración referencial ETo, que es la pérdida de agua de una cubierta vegetal abundante, sin suelo desnudo, sin limitaciones de suministro hídrico, cuando los factores meteorológicos son los únicos que condicionan dicha evapotranspiración. (**Castañón. G., 2000**)

3.18.2 Evapotranspiración de cultivo (etc).

Es la cantidad de agua por el complejo suelo – planta en las condiciones meteorológicas (en las que influye contenido de humedad y la fuerza con que esta humedad es mantenida), biológicas (en las que se incluyen tipo de cultivo y su fase de crecimiento y desarrollo) existentes. (**Castañon. G., 2000**)

La ETc está dada por la siguiente formula:

$$ETc = ET_o * Kc$$

Dónde:

ETc= Evapotranspiración de cultivo o Uso consuntivo (mm)

ETo= Evapotranspiración de referencia (mm)

Kc= Coeficiente de cultivo

3.18.3 Coeficiente del cultivo (kc)

El valor de Kc representa la evapotranspiración de un cultivo en condiciones óptimas y que produzca rendimientos óptimos. La información necesaria de los cultivos es la siguiente; la fecha de siembra, la duración de la estación vegetativa total incluyendo, la duración de la fase inicial, (desde la germinación hasta el 10% de la cobertura de terreno): la duración de la fase mediados del periodo (Desde el 80% de cobertura del terreno hasta el comienzo de la maduración) y la maduración de la fase mediados del periodo (desde el comienzo de la maduración hasta la recolección). Estudio FAO riego y drenaje 56 (1998). El Kc tendrá una variación estacional en función de las fases de desarrollo del cultivo que son las siguientes:

Fase I: Llamado también fase inicial, corresponde a la germinación y crecimiento inicial cuando existe aproximadamente un 10% de cobertura vegetal.

Fase II: Se denomina a la fase de desarrollo del cultivo, es al final de la fase inicial cuando existe aproximadamente un 70 a 80 % de cobertura vegetal.

Fase III: Se le denomina a la fase de mediados del periodo (periodo de maduración). En esta fase la cobertura es completa y se caracteriza porque existe decoloración y caída de hojas en la planta, viene a ser el inicio de la maduración

Fase VI: Es la fase del periodo corresponde a la cosecha del cultivo y este se encuentra en plena maduración. Viene a ser la fase de los cultivos. (**Vásquez. V. y CHANG L., 1997**)

3.18.4 Factor de suelo (ks)

También llamado coeficiente Ks, depende de las condiciones de humedad del suelo. Esto quiere decir que en un cultivo bajo riego nunca debe faltar agua. Por consiguiente su valor Ks= 1, en un cultivo de secano o cuando el suelo se está secando el valor Ks, va disminuyendo. (**Vásquez. V. y CHANG L., 1997**)

3.18.5 Métodos empleados para el cálculo de evapotranspiración de referencia

Todos los procedimientos de cálculo, se han basado en las directrices de la FAO tal como se establece en la publicación No 56 de la Serie Riego y Drenaje de la FAO "Evapotranspiración del Cultivo - Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos"; utilizando para ello el programa CROPWAT 8.0 que utiliza los valores de temperatura máxima, temperatura mínima, humedad relativa, velocidad del viento e insolación, para la estimación de la Evapotranspiración de referencia aplicando el enfoque FAO Penman-Monteith.

3.19 Aspectos climáticos.

3.19.1 La meteorología

Es la ciencia, que más contribuye al conocimiento del comportamiento del agua en el planeta mediante el registro de las precipitaciones, que originan las descargas de los ríos, de la temperatura que condiciona la evapotranspiración y del fenómeno de la evaporación y de la fluctuación del clima. (**Rosell C., 1998**)

3.19.2 El clima

Es un promedio temporal del estado de la atmosfera para una región concreta porque, a pesar de la variabilidad y carácter caótico del movimiento de la atmosfera, hay estructuras que se repiten, que cambian dentro de unos determinados rangos, presentan unos valores extremos y se puede estudiar su distribución espacial y temporal. La definición de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) del mismo: es el conjunto fluctuante de condiciones atmosféricas caracterizadas por los estados y la evolución del tiempo, a lo largo de un periodo suficientemente largo y de un dominio espacial determinado. (**Sendiña Nadal, I., 2006**)

Factores que influyen en el clima.

La latitud, la altitud y la distancia al mar son factores que influyen en el clima, cuanto mayor sea la altitud de una región, podremos decir que el clima será más frío. A más latitud se suele corresponder menor temperatura y mayores precipitaciones. El mar actúa de moderador térmico del medio ambiente, y que el agua pierde y gana calor de forma muy lenta. Por eso, las regiones próximas al mar tienen pequeñas diferencias de temperatura del día a la noche, e incluso entre las distintas estaciones las variaciones térmicas no son tan acusadas como en el interior. En la

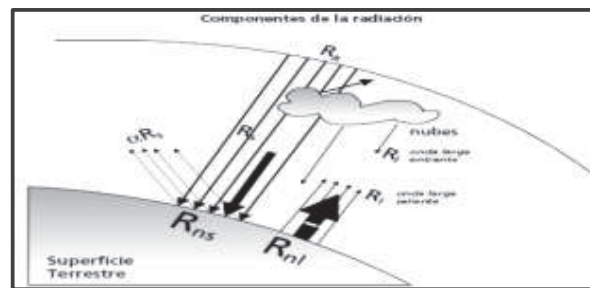
actualidad se empieza a considerar la contaminación como un cuarto factor que influye en el clima. (Blanco Sánchez, M., 1997)

Elementos del clima

Radiación solar.

En base a los datos climáticos disponibles, CROPWAT estima la radiación solar que llega la superficie del suelo

Gráfico 4. Radiación Solar que llega a la superficie del suelo



Fuente: Manual CROPWAT.

La radiación extraterrestre (R_a) representa a la radiación recibida en la parte externa de la atmósfera terrestre sobre una superficie horizontal, en función de la latitud, fecha y hora del día. La radiación solar (R_s), calculada en CROPWAT, representa la cantidad de radiación extraterrestre que llega a un plano horizontal sobre la superficie del suelo, que se calcula incluyendo la parte de la radiación extraterrestre que es dispersada, reflejada o absorbida por los gases atmosféricos, las nubes y el polvo. Parte de la radiación solar se refleja desde la superficie del suelo (αR_s) y otra parte es absorbida (R_{ns}). La radiación se expresa en MJ/m²/día.

La temperatura

Se registra en termómetros con el objeto de conocer el grado de calor que ostenta la atmosfera en un área geográfica, es decir la temperatura del medio ambiente. Igualmente para conocer la variación de la temperatura en el suelo se instalan termómetros a diferentes profundidades. Los registros se efectúan en termómetros llamados de máximas y mínimas, leyendo diariamente las temperaturas más altas y las más bajas. (Rosell. C., 1998)

La humedad atmosférica

Con la teoría de Bergeron – Findeisen se explica el mecanismo de crecimiento de las gotas de lluvia actualmente aceptada, se basa en el hecho de que la humedad relativa del aire es mayor con respecto a una superficie de hielo que con respecto a una superficie de agua (Barry, R. y Chorley, R. 1999). Cuando la temperatura de aire baja por debajo de los 0°C la presión de vapor atmosférica disminuye más rápidamente sobre una superficie de hielo que sobre el agua. Esto hace que la presión de vapor de saturación sobre el agua sea mayor que sobre el hielo, sobre todo entre las temperaturas de -5°C y -25°C, en que la diferencia sobrepasa los 0.2 mb. Si coexisten en una nube de cristales de hielo y gotas de agua subenfriadas, estas tienden a evaporarse y el vapor se deposita directamente sobre cristales de hielo.

Humedad relativa (HR)

Igual a la relación en porcentaje, de la tensión de vapor de saturación del aire a la misma temperatura. Cuando la tensión para saturar la masa de aire, se dice que existe un 100% de humedad relativa. La humedad relativa se registra en

higrómetros y su lectura se efectúa a las 7:00 hrs, 13:00 hrs y 18:00 hrs. (Rosell. C., 1998)

Los Vientos

La evaporación del agua es más intensa cuando hay circulación de aire o cuando los vientos son secos y cálidos y disminuye en caso contrario. La disponibilidad de agua, las prácticas de riego y la eficiencia de aplicación del agua tienen influencia en el uso consuntivo. (Rosell. C., 1998)

Velocidad del viento

Viento es el desplazamiento de las masas del aire desde las zonas de alta presión hacia las zonas de baja presión. Los vientos son más fuertes cuando es mayor la diferencia de presiones entre dos áreas geográficas. La importancia de los vientos es grande pues regulan la temperatura del aire y transportan la humedad atmosférica, La velocidad del viento es igual a la longitud recorrida por el componente horizontal del movimiento del aire en una unidad de tiempo. (Rosell. C., 1998)

Cuadro 1. Porcentaje de reducción del diámetro efectivo del aspersor en función al viento.

Velocidad del viento (m/s)	Porcentaje de reducción (%)
4 a 6	10 a 12
6 a 9	18 a 20
10 a 11	25 a 30

Fuente: Riego por aspersión y tecnología. (Tarjuelo. M. J., 1998)

3.19.3 Modelo climático de Thornthwaite

Introducción del modelo

En 1948, Thornthwaite propuso una clasificación climática cuya principal característica fue la utilización de la evapotranspiración potencial como parámetro fundamental para la delimitación de los distintos tipos climáticos (THORNTHWAITE, 1948). Al igual que habían hecho anteriormente otros climatólogos, Thornthwaite buscaba una clasificación climática basada en la distribución de las especies vegetales, al considerar que en ellas se conjugan los diversos efectos de los elementos del clima. Las clasificaciones anteriores empleaban generalmente medidas directas de elementos meteorológicos (fundamentalmente temperatura del aire y precipitación) para establecer una correspondencia entre los valores de estas variables y el tipo de vegetación. Una ventaja evidente de utilizar dichas variables es que son fácilmente medibles; sin embargo, en opinión de Thornthwaite, el empleo de cifras directas de temperatura y precipitación para definir las fronteras entre tipos climáticos era un procedimiento excesivamente rudimentario, y los valores de temperatura y precipitación observados en los límites de vegetación de una región difícilmente coincidían con los valores correspondientes en regiones distantes. Thornthwaite consideró necesario emplear variables más complejas, que permitieran resumir la acción recíproca entre la vegetación y la atmósfera. Consideró la evapotranspiración como el proceso principal de intercambio de energía, humedad y momento entre la superficie terrestre y la atmósfera, y su medida como variable fundamental para su clasificación climática. (**Thornthwaite y Hare, 1955**)

Objetivos de Thornthwaite

- Que el estudiante conozca que es una clasificación climática.
- Que el estudiante conozca cuales son las variables que toman en cuenta las clasificaciones climáticas de Thornthwaite y Holdridge.
- Que el estudiante aprenda a aplicar los conocimientos de clasificación climática para cualquier región.

Clasificación de los climas

El agrupamiento sistemático de los elementos del clima en clases, según sus relaciones comunes, se puede fundamentar en gran número de parámetros; la dificultad reside en establecer criterios generales partiendo de los componentes climáticos que consideramos representativos. La primera y más generalizada regionalización se debe a los griegos, que dividían la Tierra en tres grandes zonas climáticas, basándose en la distribución de las temperaturas: tropical, templada y polar. Desde entonces pueden observarse dos tendencias principales en la clasificación, clasificaciones genéticas, basadas en los factores que generan la diversidad climática (circulación de la atmósfera, masas de aire, tipos de tiempo), y las llamadas empíricas, basadas en elementos del clima combinados en índices (grado de aridez y temperaturas). Se basa en el concepto de evapotranspiración potencial y en el balance de vapor de agua, y contiene cuatro criterios básicos: índice global de humedad, variación estacional de la humedad efectiva, índice de eficiencia térmica y concentración estival de la eficacia térmica. La evapotranspiración potencial (ETP) se determina a partir de la temperatura media mensual, corregida según la duración del día; y el exceso o déficit se calcula a partir del balance de vapor de agua, considerando la humedad (I_m), que junto con la ETP

permite definir los tipos de clima, que se subdividen en otros en función del momento del año con exceso o falta de agua y de la concentración estacional de la eficacia térmica.

Cuadro 2. Clasificación por índice de humedad según Thornthwaite

CLIMAS HÚMEDOS		
Símbolos	Tipo de clima	Índice hídrico
A	Súper húmedo	Mayor a 100
B4	Muy húmedo	80 a 100
B3	Húmedo	60 a 80
B2	Moderadamente húmedo	40 a 60
B1	Ligeramente húmedo	20 a 40
C2	Sub húmedo húmedo	0 a 20
CLIMAS SECOS		
C1	Sub húmedo seco	0 a -20
D	Semiárido o seco	-20 a -40
E	Árido	-40 a -60

Fuente: Thornthwaite y Hare, 1955.

Cuadro 3. Clasificación por eficacia térmica según Thornthwaite

SÍMBOLO	REGION TÉRMICA	ETP (mm)
A´	Megatérmica o cálida	1140 y mas
B´4	Mesotérmica semi cálida	997 a 1140
B´3	Mesotérmica Templada cálida	855 a 997
B´2	Mesotérmica Templada Fría	712 a 855
B´1	Mesotérmica Semi fría	570 a 712
C´2	Microtérmica Fría moderada	427 a 570
C´1	Microtérmica fría acentuada	285 a 427
D´	Tundra	142 a 285
E´	Helado o glacial	Menos de 142

Fuente: Thornthwaite y Hare, 1955.

La fórmula utilizada para caracterizar un clima, según Thornthwaite, está compuesta por cuatro letras y unos subíndices. Las dos primeras letras, mayúsculas, se refieren

al “Índice de humedad” y a la “Eficacia térmica” de la zona, respectivamente. Las letras tercera y cuarta, minúsculas, corresponden a la “Variación estacional de la humedad” y a la “Concentración térmica en verano” respectivamente. El proceso de clasificación permite desarrollar modelos que presenten objetos en un esquema ordenado. El objetivo general de la clasificaciones desarrollar inventarios y diagnósticos de objeto de clasificación. Por medio de la clasificación se puede organizar el conocimiento y recordar sus propiedades, determinadas relaciones y principios. En el caso de la clasificación climática se pretende agrupar a los climas de acuerdo a factores que puedan ser cuantificados y registrados, y que tengan una relación directa con la vegetación. Luego de varios años de investigación se ha establecido que los factores más importantes para el desarrollo vegetal son el calor (medido por la temperatura) la precipitación y la humedad. En función de estos factores se han desarrollado diferentes clasificaciones, algunas más funcionales que otras, y con mayor aplicabilidad para determinadas regiones.

Metodología:

La clasificación de Thornthwaite está desarrollada para cuatro dígitos o índices que en su conjunto expresan las características del clima de un lugar. El primer y segundo dígito indican el régimen de humedad del lugar; y los dígitos restantes conforman el régimen térmico.

Procedimiento de cálculo:

Paso 1. Determinación de la evapotranspiración de referencia según Thornthwaite.

El método de cálculo de Thornthwaite para obtener la evapotranspiración, utiliza como variable fundamental la temperatura media de cada mes, según el siguiente procedimiento:

Cálculo del índice de calor mensual:

$$i = (t/5)^{1.514}$$

Siendo t, la temperatura media mensual en °C.

Cálculo del índice de calor anual (I):

$$I = \sum i$$

Considerando meses teóricos de 30 días con 12 horas diarias de sol, se calcula la evapotranspiración potencial media en mm/día:

$$\varepsilon = 16x (10 x t / I) a$$

Dónde:

ε = evapotranspiración potencial media en mm/día

t = temperatura media diaria del mes en °C

I = índice de calor mensual

$$a = (675 \times 10^{-9} \times I^3) - (771 \times 10^{-7} \times I^2) + (1972 \times 10^{-5} \times I) + 0.49239$$

Se corrige la ETP, considerando la duración real del mes y el número máximo de horas de sol según la latitud del lugar se obtiene la ETP en mm/mes:

$$ETP = f \times \varepsilon \text{ siendo } f = N / 12 \times d / 30 \times d$$

Dónde:

N = Número máximo de horas de sol según la latitud

d = Número de días del mes.

Paso 2: Cálculo del régimen de humedad: (im)

Es el primer dígito de la clasificación de Thornthwaite, está representado por una letra mayúscula y expresa el grado de humedad de un lugar. El régimen de humedad viene dado por la siguiente fórmula:

$$Im = (100 E - 60 P)/ETP$$

Donde tras realizar el balance hídrico:

E = exceso de humedad en el año

P = deficiencia de humedad en el año

ETP = evapotranspiración potencial anual.

En la formula se le otorga mayor importancia al excedente que al déficit puesto que se supone que los excesos pueden aportar humedad a posteriores períodos sin lluvia. Una vez calculado el régimen de humedad podemos escoger entre nueve tipos o categorías climáticas que donen el grado de humedad del lugar. Estas 9 categorías se dividen en 6 para climas húmedos y 3 para climas secos.

Paso 3: variación estacional de la humedad

Una vez conocido el grado de humedad (primer dígito) procedemos a determinar el segundo dígito. Está representado por una letra minúscula que indica como es la variación estacional de la humedad en el lugar que se está clasificando. Si dicho lugar presenta un clima húmedo se emplea la fórmula de Índice de Aridez (Ia), ya que nos interesa caracterizar la magnitud y distribución de los períodos secos en el

lugar estudiado. Por el contrario si el lugar tiene un clima seco, utilizamos el Índice de Humedad (Ih), para saber cómo está distribuida la posible humedad que exista en el lugar y qué importancia tiene esta estación húmeda.

Índice de aridez

$$Ia = (100 D) / ETP$$

Índice de humedad

$$Ih = (100 E) / ETP$$

Dónde:

D = deficiencia en el año

E =excedente en el año Como se puede observar los índices nos dicen a qué porcentaje de la ETP anual corresponden el déficit o el exceso.

Cuadro 4. Índices de variación estacional de la humedad

Símbolo	Tipo de variación	Índice de variación
Para climas húmedos (Índice de Aridez (Ia))		
r	Nula o pequeña deficiencia de agua	0 a 16.7
s	Moderada deficiencia en verano	16.7 a 33.3
w	Moderada deficiencia en invierno	16.7 a 33.3
s ₂	Gran deficiencia en verano	Más de 33.3
w ₂	Gran deficiencia en invierno	Más de 33.3
Para climas secos (Índice de Humedad (Ih))		
d	Nulo o pequeño exceso de agua	0 a 10
s	Moderado exceso en verano	10 a 20
w	Moderado exceso en invierno	10 a 20
s ₂	Gran exceso en verano	Más de 20
w ₂	Gran exceso en invierno	Más de 20

Fuente: Thorntwaite y Hare, 1955.

En un lugar muy árido el déficit puede llegar a igualarse con la ETP, ser igual al 100% de la ETP.

Los términos verano e invierno se refieren a las estaciones astronómicas de cada hemisferio.

Paso 4: Tipos de clima según el índice de eficiencia térmica

El tercer dígito lo constituye una letra mayúscula con apóstrofe que indica la eficiencia térmica, del lugar considerado. Este se determina entrando directamente con el valor de la evapotranspiración anual en milímetros. Thornthwaite utiliza el valor de la evapotranspiración como índice de la eficiencia térmica, ya que considera que ésta es función de la temperatura y la duración del día.

Paso 5: tipos de clima según la concentración de la eficiencia térmica en verano

El índice de la concentración de la eficiencia térmica en verano es el cuarto y último dígito de la clasificación de Thornthwaite. Se expresa con una letra minúscula con apostrofe e indica como es el régimen térmico durante el verano en relación al resto del año, o lo que es similar, cual es el nivel de concentración de las temperaturas altas durante esa época del año. Dicho índice se determina sumando los valores de ETP de los tres meses de verano (junio, julio y agosto para el hemisferio norte) y relacionándolos luego con la sumatoria de la ETP anual (12 meses) Eficiencia térmica = $(\text{ETP meses de verano} / \text{ETP anual}) * 100$ Obteniendo el valor en porcentaje se busca entre que límites se encuentra y que letra le corresponde.

Cuadro 5. Tipos de Clima Según Concentración de la Eficiencia Térmica en Verano

Tipo de clima	% verano / año
a'	Menos del 48
b'4	48 a 51.9
b'3	51.9 a 56.3
b'2	56.3 a 61.6
b'1	61.6 a 68.0
c'2	68.0 a 76.3
c'1	76.3 a 88.0
d'	Mas de 88%

Fuente: Thornthwaite y Hare, 1955.

3.20 Uso sostenible de las aguas subterráneas

Las aguas subterráneas tienen gran importancia en el mantenimiento de los equilibrios ambientales. Son elementos fundamentales en los aportes hídricos a los humedales, lagunas y otros entornos naturales; suministran caudales imprescindibles para el abastecimiento de muchas poblaciones e industrias, así como a extensas áreas de riego de alta productividad. El uso sostenible del agua subterránea debe estar basado en la protección a largo plazo de los recursos hídricos disponibles, y en la prevención del deterioro del estado actual de las masas de agua. **(Fernández, 2002)**

En el Perú, las aguas subterráneas aun no tienen un manejo adecuado. El mal uso de este recurso puede desencadenar un estado de sobreexplotación, y en caso contrario, un mal drenaje podría devenir en la sobresaturación de los suelos, produciéndose inundaciones por la elevación del nivel freático por encima de la superficie de los suelos cultivados, entre otros. **(ANA, 2009)**

Para utilizar las aguas subterráneas de forma sostenible, la extracción del acuífero no debe rebasar los recursos disponibles. En este aspecto, debe considerarse que la definición de recursos disponibles hace referencia al valor medio interanual de la tasa de recarga total de la masa de agua subterránea, menos el flujo interanual medio requerido para conseguir los objetivos de calidad ecológica para el agua superficial asociada, para así evitar cualquier daño significativo a los ecosistemas asociados. De esta manera, el límite explotable de un acuífero ya no se sitúa en una tasa de renovación, sino en que se tiene que tener en cuenta los flujos salientes, necesarios para mantener un buen estado las aguas superficiales y los ecosistemas asociados al acuífero también, es importante considerar la toma de medidas de protección y control para prevenir deterioros del estado del acuífero. Entre ellas, se menciona la implantación de perímetros de protección en las masas de agua subterránea utilizables para la captación de agua potable, el control de las captaciones de agua subterránea, el control de operaciones de recarga artificial, la prohibición de vertimientos directos contaminantes al recurso hídrico, establecimiento de programas de seguimiento del estado de las masas de agua subterránea.

3.21 Los sistemas de información geográfica (gis)

3.21.1 El GPS (global positioning system).

Para capturar información geográfica e incorporarla a un GIS se requiere el sistema GPS. El término GPS procede de la expresión inglesa “Global Positioning System” (sistema de posicionamiento global). Se trata de un sistema que permite calcular las coordenadas de cualquier punto de la superficie terrestre a partir de la recepción de señales emitidas desde una constelación de satélites en órbita. Básicamente, su principal funcionalidad es que permite al usuario conocer, mediante un receptor, su

posición en cualquier parte del planeta. Los diferentes métodos e instrumentos existentes condicionan la precisión de las mediciones realizadas, abriendo un amplio abanico de posibilidades en cuanto a resolución.

Componentes del sistema GPS

El sistema GPS está constituido por tres segmentos fundamentales:

Segmento espacial

El segmento espacial está constituido por los satélites que soportan el sistema y las señales de radio que emiten. Estos satélites conforman la llamada constelación NAVSTAR (Navigation Satellite Timing and Ranging), constituida por 24 satélites operativos más de 4 de reserva, mantenidos por la fuerza aérea estadounidense. No hay que olvidar, que el origen de este sistema es militar, cuya financiación corre íntegramente a cargo del gobierno de los estados unidos.

Existe también una versión rusa del sistema de posicionamiento global. Se trata de un intento completa que inicio el gobierno ruso (constelación Glonass)

Metodología pfafstetter;

Denominación hecha al sistema de delimitación y codificación de Pfafstetter de cuencas hidrográficas, desarrollado por el Ingeniero Brasileño Otto Pfafstetter en 1989. Es una metodología para asignar jerárquicamente identificadores “IDS” a unidades de drenaje basado en la topología de la superficie del terreno; dicho de otro modo asigna “IDS” a una cuenca para relacionarla con sus cuencas vecinas, locales o internas, de tal forma que no exista área del territorio sin codificar y hace

que la cuenca o intercuenca sea única dentro de un continente. La metodología tiene las siguientes características:

- El sistema es jerárquico y las unidades son delimitadas desde las uniones de los ríos.
- A cada unidad hidrográfica se le asigna un específico código Pfafstetter, basado en su ubicación dentro del sistema total de drenaje que ocupa, de tal forma que éste sea único dentro de un continente.
- Este método hace un uso mínimo de la cantidad de dígitos en los códigos, cuyas cantidades, solamente dependen del nivel que se está codificando.

Modelamiento hidrológico

Generalidades

Para la presente tesis de investigación, se ha utilizado como Modelamiento Hidrológico el método de relación Lluvia –Escurrimiento.

Las relaciones lluvia – escurrimiento se utilizan principalmente para el diseño, los pronósticos y la evaluación. Si los datos de escurrimientos no están disponibles o son insuficientes para una interpretación o extrapolación fiables, las relaciones lluvia - escurrimiento pueden ser muy útiles porque permiten extraer la información de escurrimiento a partir de los registros de precipitación. Como los datos de lluvia son relativamente fáciles y poco costosos de recoger, son generalmente más abundantes que los datos de escurrimiento. Si se puede establecer una relación estrecha entre lluvia y escurrimiento para una cuenca determinada, la relación lluvia-escurrimiento, aplicada a los datos de lluvia, puede dar estimaciones más fiables de la frecuencia de grandes caudales que los que puede dar una relación regional entre

las crecidas o una extrapolación basada en los datos de escurrimientos de la cuenca.

Las relaciones lluvia-escurrimiento usualmente se establecen en dos etapas: la determinación del volumen de escurrimiento que resulta de un volumen de lluvia producido durante un período de tiempo dado, y la distribución del volumen de escurrimiento en función del tiempo. La primera etapa es necesaria debido a la división de la lluvia en evapotranspiración, infiltración y escurrimiento. La segunda se requiere para tomar en cuenta el tiempo de recorrido y la atenuación de la onda de escurrimiento que se genera por la lluvia.

Para el modelamiento hidrológico y la generación de caudales medios mensuales para los ríos en estudio, se emplea el Modelo Hidrológico de **LUTZ SCHOLZ**.

Importancia del Modelamiento

- a. La necesidad de la aplicación de modelos matemáticos – hidrológicos de generación de caudales medios mensuales está sustentada en aspectos de sustancial importancia, como los que en seguida mencionamos.
- b. La necesidad de contar con información hidrológica en puntos específicos de la cuenca y que en realidad en dichos puntos no existe información observada de caudales.
- c. La información histórica disponible de caudales medios mensuales en la estaciones de aforo existentes no es totalmente confiable, puesto que en los periodos de lluvia no se efectúan mediciones hidrológicas estandarizadas, y en muchos casos se tiene conocimiento que se han realizado “estimaciones subjetivas” de datos de caudal, además de extrapolar en los periodos de máximo escurrimiento la curva altura-caudal.

- d. El hecho de no contar con ninguna estación de aforo dentro de nuestra cuenca, nos sitúa en un punto de incertidumbre por contar solamente con información localizada y a veces discontinuas mediciones de caudal realizada en este mes, no existiendo la real posibilidad de contrastar y validar la información disponible.
- e. Considerando la directa dependencia o relación de la escorrentía respecto a la precipitación en la cuenca, es importante distinguir que la información de precipitación es más confiable que la hidrométrica, aspecto que nos impulsa a realizar modelaciones matemáticas que simulen dicha relación, es decir se emplee modelos de transformación lluvia-escorrentía.
- f. Los modelos Precipitación-Escorrentía más extendidos en hidrología son aquellos que estiman el balance entre las entradas (precipitación) de agua al sistema y las salidas del mismo (evaporación, transpiración, escorrentía superficial y aporte a los acuíferos) reproduciendo simplifícadamente el proceso del ciclo hidrológico.

Modelo Hidrológico de LUTZ SCHOLZ

El modelo hidrológico de Lutz Scholz, ha sido estudiado y calibrado en 19 cuencas de la sierra peruana, ubicadas en las regiones de Cuzco, Huancavelica, Junín y Cajamarca, y es aplicable generalmente para pequeñas y medianas cuencas con escasa información hidrométrica.

El modelo de precipitación – escorrentía de Lutz Scholz fue propuesta por la **Misión Técnica Alemana en 1980** para el Ex-Programa Nacional de Pequeñas y Medianas Irrigaciones – Plan Meris II.

El modelo se basa fundamentalmente en el balance hídrico y en parámetros parciales de tipo determinístico. Este método permite combinar los factores que producen e influyen en los caudales, tales como, la precipitación, evaporación, el

almacenamiento y la función de agotamiento natural de la cuenca, para el cálculo de las descargas en forma de un modelo matemático.

El método es completo es su determinación final, vale decir analiza los acuíferos, los pantanos, los nevados, las lagunas, ríos, manantes, es decir todo el recurso hídrico que interviene en la cuenca, además de manera sustancial de la precipitación efectiva que cae en la cuenca. Para la determinación del balance hídrico en un año promedio, se debe tener en cuenta, el ciclo hidrológico de la cuenca. Se establece para el desarrollo del presente modelo, que la sierra del Perú, específicamente la sierra altiplánica cuenta con dos épocas: época de avenidas o de lluvias y época de estiaje o de sequía; por lo que los componentes del balance hídrico a nivel mensual serán diferentes para cada una de las épocas mencionadas, mostrándose el mismo en la ecuación de balance hídrico.

Descripción general del modelo

El elemento constitutivo del modelo es el cálculo en base a la precipitación mensual teniendo en cuenta las características de la cuenca. En base a los datos disponibles se ha establecido y calibrado modelos parciales para las influencias de mayor importancia al escurrimiento y la retención de la cuenca. El modelo comprende dos etapas:

- **Primero** se establece el balance hídrico, para determinar la influencia de los parámetros meteorológicos de la cuenca durante el año promedio.
- **Posteriormente** se determina los caudales para el periodo extendido, mediante un proceso **Markoviano** (de regresión triple) teniendo en cuenta la precipitación efectiva como variable de impulso para determinar los parámetros

estadísticos de la distribución empírica tales como el promedio, la desviación estándar y sesgo.

Modelamiento hidrológico para el año promedio

Precipitación areal de la cuenca

Es aquella precipitación hidrológica que cae sobre una cuenca. Esta precipitación se puede calcular mediante los métodos de polígono de Thiessen, las Isoyetas y el aritmético, los más usados en hidrología.

En este caso la precipitación areal mensual en la cuenca se determina por el método de Thiessen, por polígonos de influencia de las estaciones meteorológicas dentro y alrededor de la cuenca, teniendo en cuenta la gradiente de la lluviosidad calculada a partir de datos de las mismas estaciones.

Precipitación efectiva

Desde el punto de vista hidrológico, es aquella precipitación que genera el escurrimiento superficial de las aguas de lluvia a través de cuencas naturales llamados ríos. Para llegar a este tipo de escurrimiento la precipitación total sufre un decremento por evapotranspiración, infiltración, retención en acuíferos o abastecimiento de acuíferos, para finalmente la diferencia llegar al escurrimiento superficial.

La precipitación efectiva se calcula mediante la ecuación de un polinomio de quinto grado, elaborado por la Misión Técnica Alemana en 1980 para el Ex - Programa Nacional de Pequeñas y Medianas Irrigaciones – Plan Meris II.

$$PE = a_0 + a_1P + a_2P^2 + a_3P^3 + a_4P^4 + a_5P^5 \quad (1)$$

Dónde:

PE = precipitación efectiva mensual (mm/mes).

P = precipitación total mensual (mm/mes).

a_i = coeficiente del polinomio.

$$a_0 = 0$$

Cuadro 6. Coeficientes para el cálculo de la precipitación efectiva

a_i	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

Fuente: Generación de caudales mensuales en la sierra peruana – Programa nacional de pequeñas y medianas irrigaciones – Plan Meris II, Marzo 1980.

Para el cálculo de la precipitación efectiva mensual en la cuenca, se selecciona las curvas tipo I y II ó tipo II y III, siempre verificando que la curva PE este dentro de estos límites (no debe separarse mucho de las curvas). Escogiendo las curvas tipo I y II, la ecuación es la siguiente:

$$PE = C_1PEI + C_2PEII \quad (2)$$

Dónde:

PE = precipitación efectiva mensual.

PEI = precipitación efectiva mensual de la curva I.

PEII = precipitación efectiva mensual de la curva II.

C_1 y C_2 = coeficientes ($C_1 + C_2 = 1$).

Luego se establecen los coeficientes C_1 y C_2 de forma que la adición de ambas precipitaciones anuales multiplicadas por sus coeficientes recíprocos sea igual al producto del coeficiente de escurrimiento C y de la precipitación total anual P.

$$PE = C.P \quad (3)$$

Dónde:

C = coeficiente de escurrimiento.

P = precipitación total anual.

Igualando las ecuaciones (2) y (3), se tiene las ecuaciones correspondientes de C_1 y C_2

$$C_1 = \frac{C \cdot \sum P - \sum PEII}{\sum PEI - \sum PEII} \quad (4)$$

$$C_2 = \frac{C \cdot \sum P - \sum PEI}{\sum PEII - \sum PEI} \quad (5)$$

Límite superior para la precipitación efectiva es:

Curva I : $P > 177.8$ mm/mes

Curva II : $127.0 < P < 177.8$ mm/mes

Curva III : P < 127.0 mm/mes

Condición de ajuste a la precipitación efectiva

$C1=(C_e \times P_c - PE_{II}) / (PE_I - PE_{II})$	$C2=(C_e \times P_c - PE_I) / (PE_{II} - PE_I)$	SUMA
$C2=(C_e \times P_c - PE_{III}) / (PE_{II} - PE_{III})$	$C3=(C_e \times P_c - PE_{II}) / (PE_{III} - PE_{II})$	

Retención en la cuenca (contribución de la retención)

Suponiendo que para el año promedio existe una moderación entre el gasto y el abastecimiento de la reserva de la cuenca y asintiendo que el caudal total sea igual a la precipitación efectiva anual, se puede calcular la contribución de la reserva hídrica al caudal según la fórmula siguiente:

$$R_i = CM_i - PE_i \tag{6}$$

$$CM_i = PE_i + G_i - A_i \tag{7}$$

Dónde:

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 de la cuenca (mm/mes).

A_i = abastecimiento de la retención de la cuenca (mm/mes).

$R_i = G_i$ para valores mayores de cero (mm/mes).

$R_i = A_i$ para valores menores de cero (mm/mes).

Sumando todos los valores de gasto o abastecimiento, se obtiene la retención total R de la cuenca para el año promedio en (mm/año). Siendo R igual al gasto total G durante la estación seca y además igual al abastecimiento total A durante la estación lluviosa. Al inicio de la estación lluviosa el proceso de agotamiento de la reserva termina y parte de las lluvias más copiosas entra en los almacenes hídricos. El proceso de abastecimiento se muestra por un déficit entre la precipitación efectiva y el caudal real. Analizando los hidrogramas de la contribución de la retención a los caudales, se evidencia que el abastecimiento es más fuerte al comienzo de la estación lluviosa y cuando los almacenes naturales (lagunas, pantanos, nevados y los acuíferos) ya están recargados parcialmente, la reposición acaba poco a poco.

Almacén Hídrico

Este sale de la delimitación en el plano de las siguientes características:

Retención de la Cuenca:

Gasto de la retención de la cuenca (G)

Es el volumen de agua que descarga la cuenca durante la época de estiaje, llamado también agotamiento de la cuenca y alimenta al río en forma de caudal natural. Los parámetros para calcular el gasto de la retención de la cuenca se describe a continuación:

Coefficiente de agotamiento (a)

Para el cálculo del coeficiente de agotamiento de la cuenca, hay cuatro ecuaciones para cuatro clases de cuencas según el modelo. Las ecuaciones se eligen según las características de la cuenca. Agotamiento muy rápido, cuencas con temperatura

elevada mayor de 10°C y retención reducida (50 mm/año) hasta retención mediana (80 mm/año).

$$a = -0.00252 \text{Ln}(\text{AR}) + 0.034 \quad (8)$$

Agotamiento rápido, por la retención en 50 y 80 mm/año y vegetación poco desarrollada (puna).

$$a = -0.00252 \text{Ln}(\text{AR}) + 0.030 \quad (9)$$

Agotamiento mediano, por retención mediana (alrededor de 80 mm/año) y vegetación mezclada (pastos, bosques y terrenos cultivados).

$$a = -0.00252 \text{Ln}(\text{AR}) + 0.026 \quad (10)$$

Agotamiento reducido, por alta retención (más de 100 mm/año) y vegetación mezclada.

$$a = -0.00252 \text{Ln}(\text{AR}) + 0.023 \quad (11)$$

Dónde:

a = coeficiente de agotamiento por día.

AR = área de la cuenca (Km²).

Ln = logaritmo natural o neperiano.

Se puede determinar el coeficiente de agotamiento real de la cuenca mediante varios aforos en el río durante la estación seca. Pero cuando no exista ningún aforo o solamente una observación, se utiliza una de las ecuaciones empíricas (8-11) según la predominancia de los criterios anteriormente mencionados.

Definido el coeficiente de agotamiento de la cuenca en base de los datos hidrométricos. Se comprueba que el coeficiente de agotamiento no es constante

durante toda la estación seca sino que se reduce poco a poco. Para los ríos en la Sierra que han sido investigados, el valor del coeficiente de agotamiento “a” inicial es hasta el doble del “a” final. Este fenómeno se explica por el agotamiento más rápido de los almacenes hídricos a corto plazo.

Cuadro 7. Índices de agotamiento de la cuenca.

DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE AGOTAMIENTO (a)		
$a1 = -0.00252 \times \ln(Ar) + 0.034$	a1 =	0,02651
$a2 = -0.00252 \times \ln(Ar) + 0.030$	a2 =	0,02251
$a3 = -0.00252 \times \ln(Ar) + 0.026$	a3 =	0,01851
$a4 = -0.00252 \times \ln(Ar) + 0.023$	a4 =	0,01551
$a5 = 3.1249E67 \times A^{(-0.1144)} \times ETP^{(-19.336)} \times TD^{(-3.369)} \times R^{(-1.429)}$ a5=		4564,85900

Fuente: Generación de caudales mensuales en la sierra peruana – Programa nacional de pequeñas y medianas irrigaciones – Plan Meris II, Marzo 1980.

Coefficiente de gasto de la retención (b_i)

Analogía entre la descarga del mes actual y del mes anterior:

$$b_0 = \frac{Q_t}{Q_0} = e^{-a \cdot t} \tag{12}$$

Dónde:

Q_t = descarga en el tiempo t.

Q_0 = descarga inicial.

a = coeficiente de agotamiento.

t = tiempo (número de días del mes).

Por lo tanto el coeficiente de gasto de la retención de la cuenca b_i , es igual a:

$$b_i = b_0$$

$$b_i = e^{-a \cdot t} \quad (13)$$

Dónde:

t = tiempo (número de días del mes, es acumulativo mensualmente).

e = base del logaritmo neperiano.

Cuadro 8. Coeficiente de gasto de retención.

Abr	$b_1 =$	$(e^{-a \cdot 30})^1 =$
May	$b_2 =$	$(e^{-a \cdot 30})^2 =$
Jun	$b_3 =$	$(e^{-a \cdot 30})^3 =$
Jul	$b_4 =$	$(e^{-a \cdot 30})^4 =$
Ago	$b_5 =$	$(e^{-a \cdot 30})^5 =$
Sep	$b_6 =$	$(e^{-a \cdot 30})^6 =$
Oct	$b_7 =$	$(e^{-a \cdot 30})^7 =$

Fuente: Generación de caudales mensuales en la sierra peruana – Programa nacional de pequeñas y medianas irrigaciones – Plan Meris II, Marzo 1980.

Cálculo de gasto de la retención (G)

La contribución mensual de la retención durante la estación seca se calcula por medio de la siguiente relación:

$$G_i = \left(\frac{b_i}{\sum_{i=1}^m b_i} \right) \times R \quad (14)$$

Dónde:

G_i = gasto de la retención para el mes i (mm/mes).

R = retención de la cuenca (mm/año)

m = número de meses de estiaje.

b_i = coeficiente de gasto de la retención.

Abastecimiento de la retención de la cuenca (A)

Es el volumen de agua que retiene la cuenca durante la época de lluvias, almacenando naturalmente en acuíferos, lagunas, pantanos y nevados como reserva hídrica. Para posteriormente alimentar al río en época de estiaje.

La lámina de agua A_i que ingresa en la reserva de la cuenca se presenta en forma de un déficit mensual de la precipitación efectiva mensual. Se calcula a través de la siguiente ecuación:

$$A_i = a_i R \quad (15)$$

Dónde:

A_i = abastecimiento de la retención en el mes i (mm/mes).

a_i = coeficiente de abastecimiento.

R = retención de la cuenca (mm/año).

i = mes del año, de 1 a 12.

El coeficiente de abastecimiento de la retención, es la proporción de retención hídrica de la cuenca durante la época de lluvias. Se puede estimar con la siguiente relación:

$$a_i = \frac{PE_i}{PE_T} \quad (16)$$

Dónde:

a_i = coeficiente de abastecimiento.

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

PE_T = precipitación efectiva total de la cuenca (mm/mes).

Se puede determinar el coeficiente de abastecimiento real de la cuenca mediante aforo de descargas en el río durante la estación lluviosa. Pero cuando no exista ningún aforo, se utiliza como referencia los valores obtenidos en las cuencas de las regiones de Cuzco, Huancavelica, Junín y Cajamarca, obtenido en el modelo.

Cuadro 9. Coeficientes de almacenamiento hídrico durante la época de lluvias
(Valores de " a_i " en %)

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

Fuente: Generación de caudales mensuales en la sierra peruana – Programa nacional de pequeñas y medianas irrigaciones – Plan Meris II, Marzo 1980.

La suma de los valores relativos del abastecimiento " a_i " es igual a 1 (100%) correspondiente a la restitución total de la retención R de la cuenca.

Caudal mensual para el año promedio

La lámina de agua que corresponde al caudal mensual para el año promedio se calcula según la ecuación del balance hídrico a partir de los componentes descritos anteriormente.

$$CM_i = PE_i + G_i - A_i \quad (17)$$

Dónde:

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

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

G_i = gasto de la retención en el mes i (mm/mes).

A_i = abastecimiento de la retención en el mes i (mm/mes).

3.22 Generación de caudales mensuales para períodos extendidos

El método hidrológico presentado anteriormente permite determinar los caudales mensuales del año promedio con una precisión satisfactoria. Para determinar, además de los promedios, otros parámetros estadísticos, sobre todo la desviación tipo que se necesita para el cálculo de descargas sobre un nivel de probabilidad predeterminado, se requiere generar datos para un período extendido. Un método apropiado para la generación de descargas consiste en una combinación de un proceso Markoviano de primer orden.

$$Q_t = b_1 + b_2 Q_{t-1} + b_3 PE_t + S Z_t \sqrt{1-R^2} \quad (18)$$

Dónde:

Q_t = caudal del mes t.

Q_{t-1} = caudal del mes anterior (t-1).

PE_t = precipitación efectiva del mes t.

S = error estándar del estimado.

Z_t = variable aleatoria normal independiente (0,1) del mes t.

R^2 = coeficiente de determinación múltiple.

b_1, b_2, b_3 = coeficientes de regresión lineal múltiple.

b_1 = factor constante (caudal básico).

Procedimiento para la generación de descargas medias mensuales para períodos extendidos es la siguiente:

- a. Cálculo de los parámetros del modelo b_1 , b_2 , b_3 , S y R^2 ; con el resultado de la generación de caudales mensuales para el año promedio, efectuando la regresión lineal múltiple entre el caudal del mes t (Q_t) como variable dependiente, caudal del mes anterior (Q_{t-1}) y la precipitación efectiva del mes t (PE_t) como variables independientes.
- b. Cálculo de la precipitación efectiva mensual para el registro de la precipitación mensual de la cuenca.
- c. Generación de números aleatorios normales independientes con distribución normal con media cero y variancia unitaria (0,1).
- d. Generación de descargas medias mensuales para períodos extendidos con la información de los pasos anteriores mediante la ecuación (18).

3.23 Demanda hídrica poblacional.

Método racional.

En este caso para determinar la población, se un estudio socioeconómico del lugar considerado el crecimiento vegetativo que es función de los nacimientos, defunciones, inmigraciones, emigraciones y población flotante.

El método más utilizado para el cálculo de la población futura en las zonas rurales es el analítico y con más frecuencia el de crecimiento aritmético. Este método se utiliza para el cálculo de poblaciones bajo la consideración de que estas van

cambiando en la forma de una progresión aritmética y que se encuentran cerca del límite de saturación.

La fórmula de crecimiento aritmético es:

$$Pf = Pa * (1 + \frac{r * t}{1000})$$

Dónde:

Pf = Población futura

Pa = Población actual.

r = Coeficiente de crecimiento anual por 1000 habitantes.

t = Tiempo en años

Para la aplicación de esta fórmula es necesario conocer el coeficiente de crecimiento (r) pudiéndose presentar 2 casos. En el primer caso, además de contar con los datos recopilados en el estudio de campo, se considera la información censal de periodos anteriores.

$$r = (\frac{Total\ r * t}{Total\ t})$$

Consumo promedio diario (qm).

El consumo promedio diario anual, se define como el resultado de una estimación del consumo per-cápita poblacional futura para el periodo de diseño, expresada en litros por segundo (l/s) y se concretiza mediante la siguiente relación.

$$Qm = \frac{Pf * dotacion\ (d)}{86400}$$

Dónde:

Q_m = Consumo promedio diario (l/s).

P_f = Población futura (hab.).

d = Dotación (l/hab./día).

Consumo máximo diario (qmd) y horario (qmh)

El consumo máximo diario se define como el día de máximo consumo de una serie de registros observados durante los 365 días del año; mientras que el consumo máximo horario, se define como la hora del consumo mayor en el día de máximo consumo. Para el consumo máximo diario (Q_{md}) se considerará entre el 120% y 150% del consumo promedio diario anual (Q_m), recomendándose el valor promedio de 130%. Los coeficientes recomendados y más utilizados son del 130% para el consumo máximo diario (Q_{md}) y del 150%, para el consumo máximo horario (Q_{mh}).

Consumo máximo diario (Q_{md}) = $1.3 Q_m$ (l/s).

Consumo máximo horario (Q_{rn}) = $1.5 Q_m$ (l/s).

3.24 Acuífero, acuitardo, acuicludo y acuífugo.

3.24.1 Acuífero.

Es un volumen subterráneo de roca y arena que contiene agua, el agua subterránea que se halla almacenada en los acuíferos es una parte importante del ciclo hidrológico. Se han realizado estudios que permiten calcular que aproximadamente 30% del caudal de la superficie proviene de agua subterránea.

Es una formación geológica capaz de absorber, contener y transmitir agua en cantidades significativas, por ejemplo las terrazas fluviales, las calizas del páramo, etc.

3.24.2 Acuitardo

Formación geológica capaz de contener agua y transmitirla lentamente, por ejemplo los limos arenosos.

3.24.3 Acuícludo

Formación geológica capaz de contener agua pero no transmitirla, por ejemplo las formaciones arcillosas, de hecho se consideran como impermeables.

3.24.4 Acuífugo

Formación geológica que no contiene ni transmite agua, por ejemplo las rocas ígneas no fracturadas ni meteorizadas

3.25 Potencial Hídrico

Es la capacidad o necesidad de conocer el potencial de las aguas subterráneas para ser explotadas como conlleva a estimar la recarga de los acuíferos en proyectos de evaluación con base en la distribución de la precipitación y coeficientes de infiltración en los suelos del país.

Para evaluar la infiltración de lluvia que penetra el suelo de una zona se determina la precipitación mensual de la zona, la diferencia de valores de infiltración básica, cobertura vegetal y pendiente.

Conocida la infiltración se puede realizar un balance hídrico para estimar el agua que queda libre para recargar el acuífero. SCHOSINSKY, G. Revista geológica de América. 2006.

IV. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 Tipo de Investigación:

El presente estudio es exploratorio – descriptivo; porque la información referida al tema de la investigación se realizó in situ, con el acompañamiento de los pobladores para la ubicación del inventario hídrico, además adjunto a ello se hace la descripción de la situación actual del ámbito y su proyección de acciones a futuro.

4.2 Aspectos generales:

4.2.1 Ubicación

Ubicación política.

Políticamente la cuenca de Sihua se halla comprendida en la región Cusco, provincia de Calca, distrito de Coya, comunidad campesina de Sihua. Con una extensión superficial de 797.24 ha = 7.97 Km²

Ubicación geográfica.

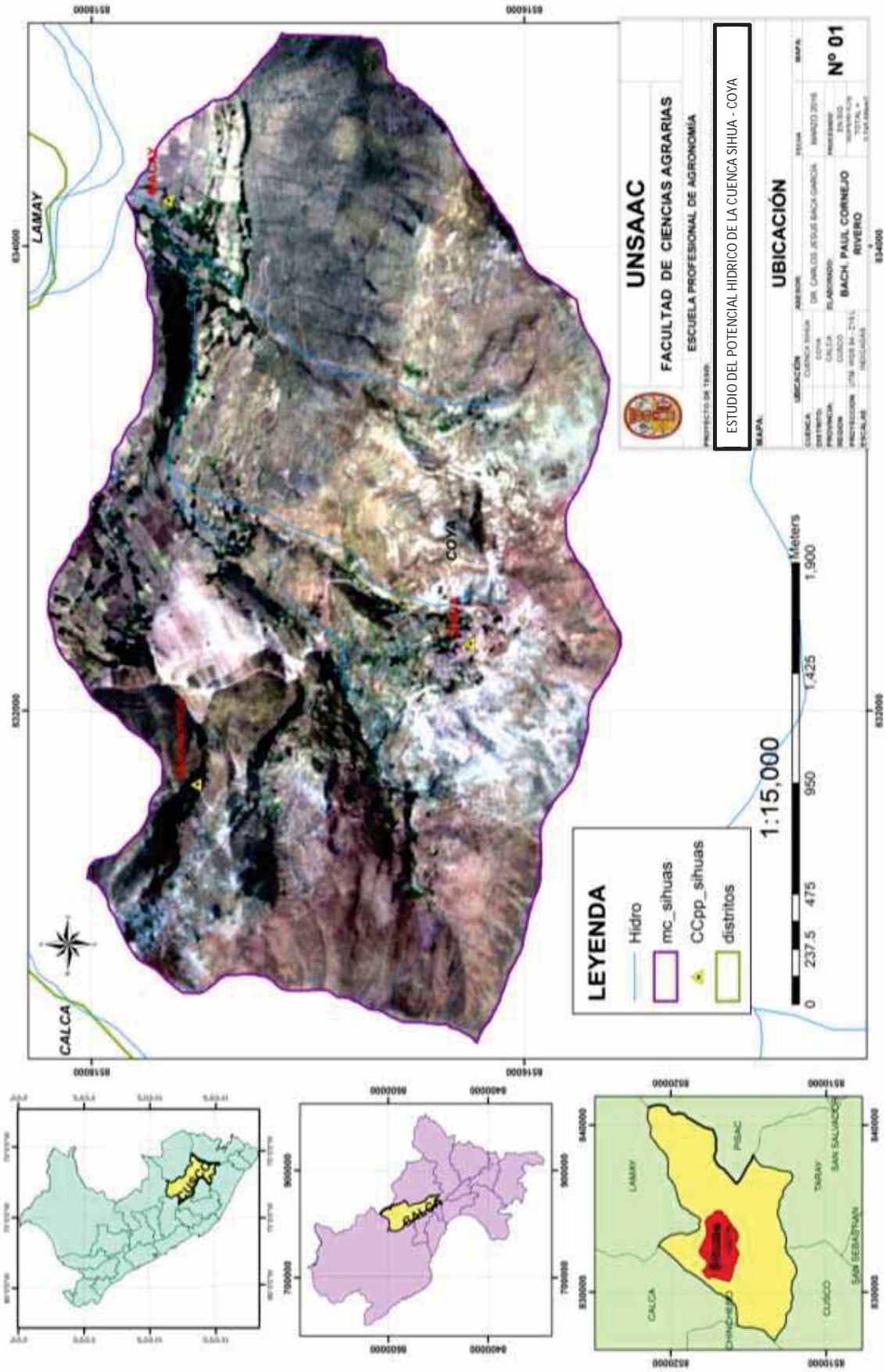
Los datos de la cuenca de Sihua están registrados en WG84S, Franja 19L, con las coordenadas UTM Latitud sur 13° 25' 12.06", Longitud oeste 71° 56' 26.95".

Ubicación hidrográfica.

La cuenca Sihua se encuentra en la margen izquierda de la cuenca media y alta del río Vilcanota.

4.2.2 Límite de la comunidad.

La comunidad de Sihua limita con las comunidades de Quencco, Patabamba, Macay, Quillhuay.



4.2.3 Accesibilidad.

Para llegar a la comunidad de Sihua se accede por trocha carrozable, por un lado desde el poblado de Corao, y por el otro, por el poblado de Coya, detallándose estas formas de acceso en el cuadro siguiente:

Cuadro 10. Accesibilidad a la cuenca Sihua.

ORIGEN	DISTRITO	Tipo de vía	RECORRIDO (KM)	TIEMPO DE VIAJE	COMUNIDAD	Tipo de vía	RECORRIDO (KM)	TIEMPO DE VIAJE
CUSCO	CORAO	CARRETERA ASFALTADA	35	30 min.	Sihua	TROCHA	20	1 h
CUSCO	COYA	CARRETERA ASFALTADA	50	45 min.	Sihua	TROCHA	12	40 min.

Fuente: Elaboración Propia.



Fotografía 1. Vía de acceso por la ruta Corao – Sihua



Fotografía 2. Vía de acceso ruta Coya- Sihua

4.3 Materiales y equipos y herramientas utilizadas.

En el proceso de la tesis se ha utilizado los materiales equipos y herramientas siguientes:

Materiales.

a. Material gabinete.

- Papeles de impresión A4, A3.
- Materiales de escritorio.

b. Material campo.

- Imágenes satelitales
- Libreta de campo.
- Fichas de campo para el inventario de manantes.
- Tablero
- Flexómetro de mano de 5 m.

Equipos.

a. Equipos de gabinete:

- Computadora.
- Impresora.
- Escaners.
- Plotters.

b. Equipos de campo:

- Equipo de GPS
- Computadora Personal
- Conductivímetro portátil
- Infiltrómetro anillo concéntrico.
- Tubo pvc de 50cm de altura x 2plg de diámetro.
- Aforadores: RBC 5.0 l/s,
- Cámara fotográfica
- Nivel de mano.
- Cronómetro de mano.

Herramientas.

a. Herramientas de plataforma informática:

Software de SIG.- Describe, categoriza la tierra con mapas, geoprocesos diseño de mapas, que opera con arcGIS. **ARC GIS 10.1.** Es un editor muy versátil del ARC INFO desarrollado en entorno Windows y que facilita la manipulación de datos y la obtención del producto final. Desarrollado por ESRI (Environmental Systems Research Institute) USA.

- **Arc Hidro**.- Conjunto de herramientas y modelos de datos, para delinear y caracterizar cuencas, módulo hidráulico.
- **HecHMS**.- Simula procesos de lluvia, escurrimiento en el sistema dentritico de una cuenca y simula la respuesta de una cuenca
- **Programa LUTZ SCHOLZ**.- Hace un Modelo hidrológico con datos del SENAHMI. Útil para el estudio de avenidas en la cuenca, así como para generación de caudales en el balance hídrico.
- **Cropwat 8.4**.- Programa informático de la FAO, para cálculo de las necesidades hídricas de los cultivos, sacando diseño agronómico de riego, calculo previo al cálculo hidráulico de riego
- **Programas en Excel**.- Hoja de cálculo de office
- **Autocad 2014**.- Facilita el ingreso gráfico de planos digitales.
- **LEFRANG**.- Es un estudio de permeabilidad in situ que utiliza coeficientes de permeabilidad haciendo de la investigación geotécnica una fácil formulación para acuíferos libres, útil para medir coeficiente de permeabilidad.
- **Mauco 4.3**.- Programa útil para estudio de conservación de suelos mediante zanjas de infiltración.

b. Herramientas de Campo:

- Pala y pico
- Baldes de 18 l, 4 l.
- Comba de 10 lb.
- Cincel.

4.4 Metodología de trabajo.

4.4.1 Recopilación de información básica:

Recopilación de Expedientes Técnicos y Antecedentes

La recopilación de información semejante al tipo de estudio fue a través de la revisión de tesis de la Facultad de Agronomía y Zootecnia, revisión del Internet, así como por solicitud de alcance de información a AGRORURAL y Municipio distrital de Coya de trabajos realizados en la zona, la cual no estuvo disponible por estas instituciones debido a los años transcurridos y por pérdida de información, así como por cambio de personal técnico nuevo que desconoce la ubicación de la data de estos trabajos.

Se ha generado la data cartográfica base que comprende: imagen satélite del SATPLANET año 2015, detalle topográfico a escala 1: 25000 para los trabajos de campo, los cuales contienen la siguiente información: delimitación y código Pfafstetter nivel 3, delimitación política (distrital, provincial), límite de cuenca; hidrografía, toponimia o nombres de los ríos y cerros; vías: caminos de herradura, carreteras afirmadas y sin afirmar además de la ubicación de centros poblados.

Adquisición de Información Cartográfica

Adquisición de cartas nacionales con curvas de nivel cada 25 metros; pertenecientes a la hoja 27 S-I elaborada por el Instituto Geográfico Nacional (IGN).

Se ha adquirido información hidrometeorológica, correspondiente a precipitación, temperatura, radiación solar, velocidad de viento, humedad relativa, del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología – SENAMHI.

Automatización y depuración de información a través del Sistema de Información Geográfica – SIG.

La utilización de una herramienta SIG en el inventario de fuentes de agua superficial en el ámbito de la cuenca, hace posible que la actualización y digitalización de información se haga de forma rápida y eficaz.

La digitalización de las fichas obtenidas de campo hizo posible la actualización de la información y de igual manera ésta se vio reflejada en los mapas y cuadros finales.

Todos los mapas están en una proyección UTM (Universal Transverse Mercator) y el datum utilizado es WGS84.

4.4.2 Actividades preliminares de campo.

Las actividades preliminares a la ejecución de salida de campo se indican a continuación:

1. Se realizó coordinaciones con los directivos de las juntas de usuarios y comisiones de regantes de la cuenca de Sihua, con la finalidad de hacer conocer los fines de la presente tesis, así como la correspondiente coordinación para las fases de campo según cronograma.



Fotografía 3. Reunión con directivos de comunidad campesina de Sihua en ambientes de la municipalidad de Coya 24/01/15

2. Se sostuvieron reuniones con los directivos, con la finalidad de solicitarle información sobre trabajos similares realizados anteriormente en el lugar, donde se me informó que instituciones como CEDEP AYLLU en el año 1995 hizo un inventario de manantes; el EX PRONAMACHS hoy AGRORURAL en el año 2007 a través de una campaña se inventarió los manantes; así mismo el PER-IMA en el año 2010, hizo un estudio denominado Cosecha de aguas, con fines de traer agua por represamiento de lagunas de cuencas vecinas con fines de riego. Cabe indicar que esta información fue recabada de las personas mayores de la comunidad en un taller de trabajo en la municipalidad de Coya, dado que en todos los casos ninguna institución dejó información impresa y/o detallada, información que los actuales directivos desconocían por ser mucho más jóvenes.

4.4.3 Trabajos de campo

El trabajo de campo comprendió:

1. La evaluación, inventario y recolección in-situ de información de todas las fuentes de agua de la cuenca (manantiales), para lo cual se empleó formatos preestablecidos de consignación de datos propuestos para esta actividad. Estos datos comprenden básicamente la ubicación de la fuente, la cantidad de agua, el tipo de uso, origen, régimen y calidad. Para el trabajo de campo fue necesario utilizar GPS y mapas de campo para ubicar las fuentes de agua. Las estimaciones de los aportes de las fuentes inventariadas se realizaron mediante aforos por el método volumétrico y de RBC, para la pruebas de calidad se utilizó un conductivímetro eléctrico (salinidad y conductividad eléctrica).



Fotografía 4. Inventariado volumétrico de manantes

2. Pruebas de permeabilidad; ésta prueba se realizó en roca madre cavando una altura de 20 cm igual al diámetro del tubo, sellando el espacio entre la roca y el tubo con arcilla de lugar fuertemente apisonado. La selección del lugar de la prueba fue en base a criterios como número de manantes y el método utilizado fue el de LEFRANG de carga constante, recomendado para afloramientos rocosos.



Fotografía 5. Toma de pruebas de infiltración

3. Se recabó información de la parte agrológica, referente al tipo de cultivos de la zona épocas de siembra y periodos vegetativos para elaborar el calendario agrícola y la demanda de agua correspondiente.



Fotografía 6. Encuesta de la parte agrológica.

4. Así mismo se revisó el padrón de usuarios para determinar el número de familias y calcular el número de población aproximada, para la proyección futura y la demanda de agua correspondiente.



Fotografía 7. Población de la Comunidad campesina de Sihua.

La mayor parte de la información recabada en campo, se analizó en el Sistema de Información Geográfica, para su procesamiento y georeferenciación dentro del mismo

4.5 Aspectos climáticos de la cuenca.

Para ello se ha utilizado las estaciones meteorológicas siguientes:

Cuadro 11. Estaciones meteorológicas usadas para el presente estudio

Nombre de la Estación	Latitud Sur	Longitud Oeste	Altitud	Precipitación Pluvial	T° Máx.	T° Mín.	Horas y decimas	Velocidad del viento
	(°)	(°)	Msnm	Mm	(°C)	(°C)	sol	(m/s)
GRANJA K'AYRA	13°33'24,7'	71°52'29,8'	3219	X	x	x	x	x
PISAQ	13°24'58"	71°50'59"	2950	X	x	x		x
COLQUEPATA	13°21'47"	71°40'23"	3729	X	x	x		x
CAICAY	13°36'01"	71°42'01"	3150	X	x	x		
LA RAYA	14° 29'	70° 59'	4150	X				
CCATCCA	13°36'36'	71°33'37'	3729	X	x	x		

Fuente: Elaboración Propia.

4.6 Análisis, interpretación y evaluación de los datos meteorológicos

4.6.1 Análisis y tratamiento de la información meteorológica.

Cuadro 12. Ubicación de estaciones meteorológicas empleadas en el estudio de precipitación

Nombre	Tipo (**)	Ubicación			latitud	Long.	Altitud (msnm)	Periodo
		Dpto.	Prov.	Dist.				
PISAC	CO	Cusco	Calca	Pisac	13°24'58"	71°50'59"	2950	1,980- 2014
COLQUEPATA	CO	Cusco	Paucartambo	Colquepata	13°21'47"	71°40'23"	3729	1,980- 2014
CAICAY	CO	Cusco	Paucartambo	Caicay	13°36'01"	71°42'01"	3150	1,980- 2014
GRANJA KAYRA	MAP	Cusco	Cusco	S. Jerónimo	13°33'24,7"	71°52'29,8"	3219	1,976- 2015
LA RAYA	CO	Cusco	Canchis	Marangani	14° 29'	70° 59'	4150	1,980- 2014

Fuente: SENAMHI y Proyecto. Procesado por el tesista

En el siguiente cuadro podemos ver detalladamente la disponibilidad de datos pluviométricos encontrados en la base de datos de SENAMHI, en color celeste son los años completos, en turquesa los datos incompletos y el número de datos faltantes en el periodo, y finalmente en color azul los datos donde no hay datos.

Los registros de precipitación corresponden a las estaciones de K'ayra, Pisac, Colquepata, Caicay y La Raya; que hacen un total de 5 estaciones. Debido a la carencia y/o falta de registros en algunos meses y años en las estaciones, se realizó un análisis gráfico, análisis estadístico y un proceso de completación y extensión de los registros pluviométricos, concluyendo con pruebas de bondad de ajuste por el método de Smirnov - Kolmogorov.

4.6.3 Análisis de consistencia

El análisis de consistencia de la información pluviométrica es una técnica que permite detectar, identificar, cuantificar, corregir y eliminar los errores sistemáticos de la no homogeneidad e inconsistencia de una serie meteorológica. Antes de proceder a efectuar el modelamiento matemático de cualquier serie hidrometeorológica es necesario efectuar el análisis de consistencia respectivo a fin de obtener una serie homogénea, consistente y confiable; porque la inconsistencia de datos puede producir un error en la determinación de los tipos de climas y sus variaciones.

El análisis de consistencia se realiza con tres métodos, tales como son:

- Análisis visual de hidrogramas.
- Análisis de doble masa.
- Análisis estadístico de saltos y tendencias.

4.6.4 Análisis del salto

Este método, analiza el cambio súbito de los datos fuera de los años normales, por lo que a nivel gráfico se puede identificar a través de histogramas, cuyo

análisis se da a través de la media y la desviación estándar, siendo éstos los que nos interesan desde el punto de vista práctico.

El procedimiento de análisis se realiza en tres fases:

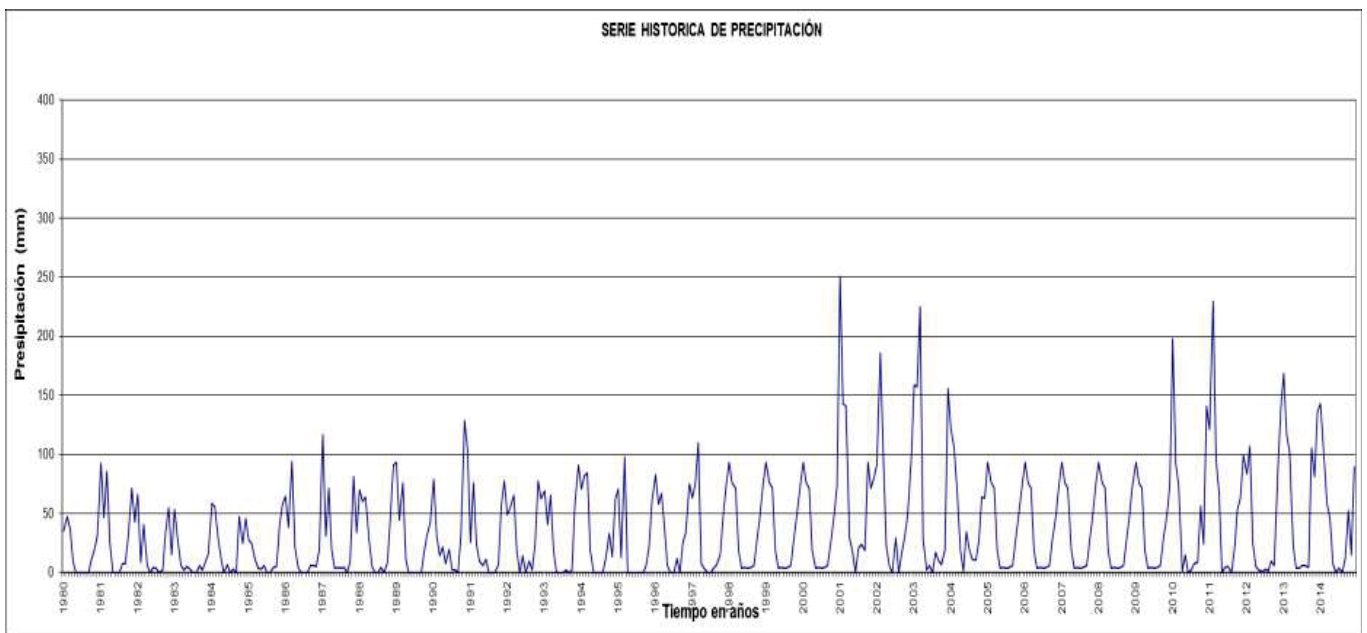
- Identificación del salto.
- Evaluación y cuantificación del salto.
- Corrección y/o eliminación del salto.

Identificación del salto.

El análisis de las series hidrológicas (hidrográmas), este análisis se realiza para detectar e identificar la inconsistencia de la información meteorológica en forma visual, e indicar el período o los períodos en los cuales los datos son dudosos, lo cual se puede reflejar como “picos” muy altos o valores muy bajos, “saltos” y/o “tendencias”, los cuales se deben comprobarse si son fenómenos naturales que efectivamente han ocurrido o son producidos por errores sistemáticos, mediante un gráfico o hidrograma de las series de análisis, en coordenadas cartesianas transcribiendo la información histórica de la variable meteorológica a nivel anual y mensual; en las ordenadas se ubica los valores anuales o mensuales de la serie meteorológica en unidades respectivas y en las abscisas el tiempo en años.

De las estaciones consideradas en el presente estudio, mediante este análisis se puede decir que no existe un período dudoso significativo en las series mensuales y anuales de las precipitaciones totales mensuales, tal como se muestra en los hidrogramas respectivos.

Gráfico 5. Histograma de precipitación para la estación de Caicay



Fuente: Elaboración propia.

Evaluación y cuantificación del salto.

La evaluación y cuantificación de los errores detectados en la forma de saltos, se realiza mediante un análisis estadístico mediante las pruebas T y F, para la media y la variancia respectivamente, comprobando si sus valores están dentro de los niveles de significación, según las hipótesis planteadas.

Consistencia en la media – estación Caicay (t).

Mediante la prueba estadística T de Student se analiza si los valores promedio son estadísticamente iguales, vale decir, probar que ambos valores provienen de la misma población de la forma que a continuación se describe.

$$\begin{aligned}\bar{X}_1 &= \frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^n (x_i) \\ \bar{X}_2 &= \frac{1}{n_2} \sum_{i=1}^n (x_i) \\ S_1 &= \left[\frac{1}{n_1 - 1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X}_1)^2 \right]^{0.5} \\ S_2 &= \left[\frac{1}{n_2 - 1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X}_2)^2 \right]^{0.5}\end{aligned}$$

Dónde:

- x_i = información en análisis.
- X_1, X_2 = medias del periodo 1 y 2.
- S_1, S_2 = desviación estándar del periodo 1 y 2.
- n_1, n_2 = tamaño del periodo 1 y 2 ($n_1+n_2 = n$).

Selección de periodos a comparar por la media

		Nro. Datos	Media	Desv. est.	Varianza
1er periodo	1980-2000	21.00	332.45	92.98	8645.38
2do periodo	2001-2014	14.00	582.22	159.81	25540.71

1- Prueba de medias:

Para su determinación se procede de la siguiente forma:

a.- establecer la hipótesis y las alternativas posibles así como el nivel de significación:

$$H_p: u_1 = u_2 \text{ (media poblacional).}$$

$$H_a: u_1 \neq u_2.$$

$$\alpha = 0.05.$$

b.- cálculo de la desviación estándar de la diferencia de los promedios según:

Caso de variaciones iguales.

$$S_d = S_p \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)^{0.5}$$
$$S_p = \left[\frac{(n_1 - 1) * S_1^2 + (n_2 - 1) * S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \right]^{0.5}$$

Dónde:

S_d : desviación estándar de los promedios.

S_p : desviación estándar ponderada.

Desviación estándar del promedio $S_d =$	42.68
Desviación estándar Ponderada $S_p =$	123.70

c.- Selección de la prueba.- Para probar si las dos medias muestrales provienen de la misma población, se realiza la prueba de hipótesis de 2 medias, presentándose dos casos:

Cuando se tiene homogeneidad de variancias, entonces se aplica la prueba estadística T.

Cuando se tiene variancias heterogéneas (desiguales) entonces se utiliza la prueba T' que es la media ponderada de los valores críticos de T. Del análisis realizado en el presente estudio la información presenta variancias homogéneas por lo que las expresiones anteriormente señaladas han sido utilizadas.

d.- cálculo del valor estadístico T según:

$$T_c = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{S_d}$$

Dónde:

- $\mu_1 = \mu_2$ (por hipótesis).
- $T_c =$ es el valor del T calculado.

Luego calcula el valor de T_t de tablas con:

- $\alpha = 0.05$.
- G.L = $(n_1 + n_2 - 2)$

Donde:

G.L = grados de libertad.

Grados de libertad GL =	(23+12-2) = 33
-------------------------	----------------

$T_t = T$ tabulado.

Criterios de decisión:

$$|T_c| \leq T_t (95\%) \Rightarrow \bar{X}_1 = \bar{X}_2 \text{ (estadísticamente)}$$

$$\text{Si } |T_c| > T_t (95\%) \Rightarrow \bar{X}_1 \neq \bar{X}_2 \text{ (estadísticamente)}$$

Prueba de bondad al 95% método T student o prueba de “t”

GL	Sd	Sp	Tc	Tt	Significancia
33	92.25	259.06	0.08	1.687	NO SIGNIFICA Ho

2 Consistencia en la Desviación Estándar – Estación Caicay (F).

El análisis de consistencia en la desviación estándar se realiza mediante la prueba F según:

a.- Cálculo de las variancias de ambos periodos que serán:

$$S_1^2 = \left[\frac{1}{n_1 - 1} \right] \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X}_1)^2$$

$$S_2^2 = \left[\frac{1}{n_2 - 1} \right] \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X}_2)^2$$

b.- cálculo del estadístico F:

1.- Establecer la hipótesis y las alternativas posibles así como el nivel de significación:

Hp: $(u_1)^2 = (u_2)^2$ (variancias poblacionales).

Ha: $(u_1)^2 \neq (u_2)^2$

a = 0.05.

2.- Cálculo de Fc.

$$F_c = \frac{S_1^2}{S_2^2}, \text{ si } \dots S_1^2 > S_2^2 \quad F_c = \frac{S_2^2}{S_1^2}, \text{ si } \dots S_2^2 > S_1^2$$

3.- Hallar el valor de Ft en tablas1 con:

a = 0.05.

G.L.N = n1-1.

G.L.D = n2-1.

Grado de libertad del numerador G.L.N =	21- 1 =20
Grado de libertad del denominador G.L.D =	14 - 1 =13

Donde:

Fc = valor del estadístico F calculado.

Ft = valor de F tabular o teórico (tabla F).

G.L.N = Grados de libertad del numerador.

G.L.D = Grados de libertad del denominador.

a = nivel de significación.

4.- criterios de decisión:

$$\text{Si } |F_c| \leq F_t(95\%) \Rightarrow S_1 = S_2 (\text{estadísticamente})$$
$$|F_c| > F_t(95\%) \Rightarrow S_1 \neq S_2 (\text{estadísticamente})$$

GL	Fc	Ft	Significancia
20	2.95	2.66	SI SIGNIFICA Ho

Como los parámetros en la media y desviación estándar resultan estadísticamente diferentes (Significativos), la información se corregirá por no ser consistente al 95% de probabilidad, aun cuando en el gráfico de doble masa no se aprecian pequeños quiebres. Utilizando para las correcciones las siguientes relaciones matemáticas:

Cuando el periodo a corregir corresponda al primero se utilizara la ecuación:

$$X't = \left[\frac{x - \bar{X}_1}{S_1} \right] * S_2 + \bar{X}_2$$

Dónde:

X = valor corregido de la información.

x = valor a ser corregido.

Cuando el periodo a corregir corresponda al primero se utilizara la ecuación:

$$X't = \left[\frac{x - \bar{X}_2}{S_2} \right] * S_1 - \bar{X}_1$$

Siendo la primera ecuación a ser utilizada, con la que se deriva la ecuación de

corrección siguiente:

$$Enero = X't * Xi / \sum_{i=1980}^n (\text{año}1980)$$

Cuadro 14. Datos meteorológicos del primer periodo corregido

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2001	144.15	82.30	80.69	17.01	10.17	0.00	11.84	14.02	10.92	53.74	40.92	45.98
2002	52.08	106.34	56.26	12.98	3.43	0.00	16.58	0.00	9.32	17.04	27.84	54.83
2003	91.24	90.21	129.11	16.41	1.43	3.56	0.00	9.93	5.97	4.02	11.19	89.35
2004	68.96	60.97	41.18	10.67	0.91	19.85	11.18	6.50	5.93	14.83	36.39	36.05
2005	53.05	43.18	40.73	10.81	2.15	2.50	2.08	2.47	3.32	15.72	27.23	42.02
2006	53.05	43.18	40.73	10.81	2.15	2.50	2.08	2.47	3.32	15.72	27.23	42.02
2007	53.05	43.18	40.73	10.81	2.15	2.50	2.08	2.47	3.32	15.72	27.23	42.02
2008	53.05	43.18	40.73	10.81	2.15	2.50	2.08	2.47	3.32	15.72	27.23	42.02
2009	53.05	43.18	40.73	10.81	2.15	2.50	2.08	2.47	3.32	15.72	27.23	42.02
2010	113.02	52.93	41.79	0.74	8.52	0.00	1.14	4.46	4.97	32.41	13.72	80.32
2011	69.57	131.80	54.77	39.00	0.17	2.58	3.15	0.00	11.30	30.45	36.13	57.12
2012	47.34	60.75	13.98	3.01	1.08	0.45	1.70	0.97	5.51	3.41	47.91	78.42
2013	96.75	67.04	58.90	12.73	2.24	2.06	3.44	3.27	2.58	60.22	46.74	78.11
2014	81.63	59.97	33.46	26.17	4.45	0.00	2.17	0.46	7.13	29.93	8.72	50.96

Fuente: Elaboración Propia.

3 Pruebas de bondad al 95% de confianza.

Para determinar la bondad de la información corregida se efectúa nuevamente un análisis de saltos en la media y desviación estándar entre el periodo confiable y el periodo con la información corregida aplicando las pruebas T y F.

		Nro. Datos	Media	Desviación est.	Varianza
Primer periodo	1980-2000	21	332.45	92.98	8645.38
Segundo periodo	2001-2014	14	332.45	92.98	8645.38

3.1 Consistencia en la Media - Estación Caicay (T).

Siguiendo el mismo procedimiento anterior observamos que los dos periodos analizados son estadísticamente iguales al 95% de consistencia por lo que se acepta la hipótesis planteada para la media.

GL	Sd	Sp	Tc	Tt	Significancia
33.00	32.08	92.98	0.00	1.694	SE ACEPTA Ho

3.2 Consistencia en la Desviación Estándar -Estación Caicay (F).

Siguiendo el mismo procedimiento anterior para la desviación estándar, observamos que los dos periodos analizados son estadísticamente iguales al 95% de consistencia por lo que se acepta la hipótesis planteada.

GL	Fc	Ft	Significancia
20.00	1.00	2.40	SE ACEPTA Ho

Cuadro 15. Datos corregidos. Obteniéndose una nueva planilla de datos pluviométricos corregidos.

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1980	120.64	142.80	190.31	18.96	4.92	0.00	1.23	2.71	2.95	94.54	113.25	115.47	807.79
1981	163.43	106.10	155.07	118.52	5.95	2.09	0.00	11.17	25.58	90.12	82.39	110.38	870.82
1982	214.75	127.74	138.14	35.62	7.20	91.27	7.40	8.47	18.59	63.69	82.72	148.57	944.15
1983	164.69	162.97	151.44	39.05	7.89	6.56	8.11	9.28	20.38	69.82	90.69	162.87	893.76
1984	168.71	166.94	155.12	40.00	8.08	0.00	8.31	9.51	20.88	71.52	66.23	166.84	882.13
1985	64.78	117.14	80.45	23.29	0.00	0.00	0.00	0.00	32.46	74.52	181.08	194.34	768.06
1986	135.14	201.72	154.24	59.41	24.80	0.00	0.00	0.00	0.00	32.89	69.63	107.16	784.98
1987	230.15	101.06	88.08	0.00	0.00	0.00	40.52	0.00	0.00	30.57	122.05	200.18	812.61
1988	227.05	140.83	258.98	95.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.24	43.72	109.10	883.09
1989	246.29	125.65	175.61	38.88	35.15	0.00	0.00	5.66	7.85	34.37	70.55	53.69	793.70
1990	182.30	87.87	33.62	43.73	0.00	50.02	0.00	22.68	20.50	167.27	118.62	50.02	776.61
1991	61.79	234.58	159.68	35.70	0.00	27.91	0.00	0.00	5.71	57.90	118.36	89.57	791.21
1992	153.92	160.29	48.09	22.16	0.00	19.80	0.00	11.00	24.15	82.73	107.46	192.99	822.59
1993	122.09	108.29	89.52	30.21	5.72	0.00	0.00	19.18	49.14	161.88	183.76	224.32	994.11
1994	198.98	262.00	275.54	33.92	22.45	0.00	0.00	0.21	27.29	56.10	128.51	176.67	1181.67
1995	188.00	45.87	217.16	19.22	1.74	5.02	0.58	0.00	22.02	15.06	91.34	302.91	908.91
1996	104.60	328.41	112.18	26.67	4.38	0.55	0.18	12.15	17.17	40.20	79.75	213.76	940.02
1997	167.84	133.45	167.10	27.24	9.25	0.00	0.00	16.30	7.47	70.98	95.88	172.20	867.70
1998	165.48	163.74	152.16	39.24	7.93	0.00	8.15	9.33	20.48	70.15	91.12	163.65	891.42
1999	165.48	163.74	152.16	39.24	7.93	0.00	8.15	9.33	20.48	70.15	91.12	163.65	891.42
2000	165.48	163.74	152.16	39.24	7.93	0.00	8.15	9.33	20.48	70.15	91.12	163.65	891.42
2001	155.13	134.88	292.84	24.37	8.24	0.00	28.93	26.76	14.03	108.56	64.59	270.13	1128.47
2002	144.13	230.66	171.11	61.03	19.90	13.14	59.08	7.70	46.49	82.25	89.25	132.78	1057.53
2003	170.30	180.40	215.10	23.90	7.00	7.50	0.00	31.20	10.80	65.10	39.10	173.00	923.40
2004	251.70	182.50	53.10	47.80	2.50	26.90	25.70	11.10	35.20	51.90	63.80	122.80	875.00
2005	165.58	163.85	152.25	39.26	7.93	0.00	8.16	9.33	20.49	70.20	91.18	163.75	891.99
2006	165.58	163.85	152.25	39.26	7.93	0.00	8.16	9.33	20.49	70.20	91.18	163.75	891.99
2007	165.58	163.85	152.25	39.26	7.93	0.00	8.16	9.33	20.49	70.20	91.18	163.75	891.99
2008	165.58	163.85	152.25	39.26	7.93	0.00	8.16	9.33	20.49	70.20	91.18	163.75	891.99
2009	165.58	163.85	152.25	39.26	7.93	0.00	8.16	9.33	20.49	70.20	91.18	163.75	891.99
2010	289.00	194.20	148.50	26.40	1.20	5.20	3.40	3.50	12.10	89.60	54.70	184.90	1012.70
2011	139.50	269.30	214.80	78.90	13.60	10.30	11.00	16.60	52.20	89.40	72.80	152.50	1120.90
2012	136.30	177.80	110.60	47.50	1.80	2.80	4.40	0.00	45.10	26.80	135.30	197.70	886.10
2013	161.60	151.10	75.60	7.00	7.93	6.10	0.10	18.30	3.20	104.50	110.30	158.90	804.63
2014	134.50	122.00	71.10	46.30	8.90	0.00	0.00	1.30	11.50	62.90	37.60	160.80	656.90

Fuente: Elaboración propia.

4.6.5 Análisis de tendencias.

Se define como tendencia al cambio sistemático y continuo sobre una muestra. El procedimiento de análisis se realiza tanto para la media y la desviación estándar si la información es mensual tal como la que se analizó en el presente estudio.

1. Previamente se ha analizado y corregido los saltos existentes para luego analizar las tendencias.
2. Se analiza en los dos primeros parámetros de una serie en la media y la desviación estándar.

Evaluación y cuantificación.

Tendencia en la media.

1. Puede ser expresada por la ecuación de regresión lineal simple:

$$T_m = A_m + B_m * t$$

Dónde:

- T_m = Tendencia en la media.
- A_m, B_m = Coeficientes de los polinomios de la regresión lineal simple.
- t = Es el tiempo tomado como la variable independiente y su valor se determina por: $t = (p - 1) * w + \tau$
- $p = 1, 2, 3, \dots, n$; número de años del registro.
- $\mu = 1, 2, 3, \dots, \mu$ es igual a la variación de los periodos de análisis con w igual al periodo básico ($w = 12$) por ser mensual.

Valores de "t" y "y" para la ecuación de regresión lineal en la media y desviación estándar

	T	Y	y*t	Tm=Am+Bm*t
Media	210.50	27.704	5992.98	29.96
Desv. St	121.388	30.675		

Para 420 Meses de Análisis

Variables para la corrección por tendencias

Numero de meses de registro	n	420
Media de los datos	.y	30.675
Desviación estándar de los datos	Sy	210.50
Media del tiempo en orden cronológico	.t	121.388
Desviación del tiempo en orden cronológico	St	5992.98
Promedio del producto de los datos y el tiempo	.y * t	0.043
Coefficiente de correlación	.r	30.675

2. - Estimación de los parámetros de la ecuación:

$$A_m = \overline{T_m} - B_m * \bar{t}$$

$$B_m = \frac{(R * S_{T_m})}{S_t}$$

$$R = \frac{\bar{t} * \overline{T_m} - \bar{t} * \overline{T_m}}{S_t * S_{T_m}}$$

Donde:

- T_m = media de la tendencia.
- t = media del tiempo cronológico t .
- S_{Tm} = desviación estándar de la tendencia en la media.

- S_t = desviación estándar del tiempo t .
- R = coeficiente de correlación lineal simple entre la tendencia en la media y el tiempo en consideración.
- $t.T_m$ = promedio del producto de la tendencia por el tiempo, su valor será:

$$\overline{t.T_m} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (T_m)_i * t_i$$

3. - para realizar la evaluación de los datos se utiliza el estadístico T de Student desarrollando los siguientes pasos:

a.- hipótesis:

$H_p : \mu = 0$ (coeficiente de correlación poblacional)

$H_a : \mu \neq 0$

$\mu = 0.05$

b.- cálculo del estadístico T_c según:

$$T_c = \frac{R * (n - 2)^{0.5}}{(1 - R^2)^{0.5}}$$

Dónde:

- T_c = estadístico T calculado.
- n = número total de información.
- R = coeficiente de correlación muestral.

c.- se determinan los valores teóricos T según tablas (ya descrita):

- $\mu = 0.05$
- G.L = $n - 2$ (grados de libertad).

d.- criterios de decisión. Se sintetizan en la forma siguiente:

$$\begin{aligned} \text{Si } |T_c| \leq T_t(95\%) &\Rightarrow \bar{X}_1 = \bar{X}_2 \text{ (estadísticamente)} \\ |T_c| > T_t(95\%) &\Rightarrow \bar{X}_1 \neq \bar{X}_2 \text{ (estadísticamente)} \end{aligned}$$

Gl	Tc	Tt	Significancia
33	0.886	1.645	se acepta la Ho

Si se cumple la primera condición entonces la información no se corrige, caso contrario será necesario realizar la corrección de la tendencia según la ecuación:

$$Y_t = X_t - (A_m + B_m * t) + \bar{X}$$

Dónde:

- X_t = serie hidro-meteorológica analizada.
- Y_t = es la serie corregida (sin tendencia en la media).
- $t = 1, 2, \dots, n$ con n igual al tamaño muestral.

Coeficientes dimensionales de regresión lineal

Tm =	Am	+	Bm	*t
Tm =	25.401	+	0.0109	*t

1.2 Tendencia en la desviación estándar.

Una vez corregida la tendencia en la media, se realiza el análisis en la desviación estándar tal como se describe a continuación:

1. - puede ser aproximada con la ecuación.

$$T_s = A_s + B_s * t$$

Esta ecuación es similar a la utilizada en el análisis de la tendencia en la media.

Variables para la corrección de tendencias

Número de mese de registro	n	29.96
Media de los datos	.y	8.17
Desviación estándar de los datos	Sy	18
Media del tiempo en orden cronológico	.t	10.25
Desviación del tiempo en orden cronológico	St	547.15
Promedio del producto de los datos y el tiempo	.y * t	0.095
Coefficiente de correlación	.r	29.96

Prueba de bondad al 95% método T student o prueba de "t"

GI	Tc	Tt	Significancia
33	0.546	1.687	se acepta la Ho

Si bien Tc es menor a Tt, pero aun Tc es relativamente alto por lo que procederemos a corregir por la desviación estándar.

Tendencia de la desviación estándar

Ts =As+B_s*t			
Ts = 60.65 + 0.08452*t			
T	D	t*d	Ts=As+B_s*T
1	17.47	17.47	28.67
2	33.91	67.81	28.75
3	23.35	70.04	28.83
4	15.21	60.85	28.90
5	23.02	115.09	28.98
6	18.37	110.25	29.05
7	29.88	209.18	29.13
8	38.25	306.03	29.20
9	33.19	298.67	29.28
10	32.15	321.51	29.35
11	43.03	473.38	29.43
12	29.26	351.08	29.50
13	28.32	368.19	29.58
14	33.89	474.50	29.66
15	33.97	509.59	29.73
16	34.27	548.26	29.81
17	31.06	528.07	29.88
18	38.31	689.62	29.96
19	34.57	656.75	30.03
20	34.57	691.32	30.11
21	34.57	725.88	30.18
22	42.39	932.55	30.26
23	31.90	733.80	30.33
24	47.31	1135.37	30.41
25	22.44	560.90	30.49
26	19.61	509.81	30.56
27	19.61	529.41	30.64
28	19.61	549.02	30.71
29	19.61	568.63	30.79
30	19.61	588.24	30.86
31	36.54	1132.67	30.94
32	38.76	1240.36	31.01
33	28.28	933.23	31.09
34	35.34	1201.40	31.16
35	26.89	941.22	31.24

La ecuación de Corrección es:

$$\text{Enero}_{1980} = X_i * Tsp / Ts_1$$

Cuadro 16. Datos Meteorológicos corregidos por tendencias.

AÑO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1980	36.59	49.23	38.47	9.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.81	20.17	32.61
1981	96.12	48.58	89.45	26.38	0.00	0.00	0.00	8.03	7.92	31.80	74.33	44.83
1982	68.83	9.05	42.53	6.24	0.00	4.37		0.00	2.08	35.77	57.29	15.91
1983	55.38	25.51	6.22	2.49	5.50	3.11	0.00	0.00		2.39	9.33	16.18
1984	60.40	57.61	31.96	14.17	0.00	7.24	0.00	2.90	0.00	49.02	25.96	47.27
1985	28.47	25.69	13.41	3.51	3.40	5.88	0.00	0.00	4.33	5.26	40.75	59.62
1986	66.77	39.40	96.61	22.22	5.04	0.00	0.00	0.00		5.97	5.56	20.37
1987	119.86	31.30							0.00	8.93	83.73	34.38
1988	71.95	61.31	65.71	28.45	5.63	0.00	0.00		0.00	8.70		93.03
1989		45.32	77.58	11.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	18.17	33.28	42.98
1990	80.23	31.16	14.56	22.09	7.94	19.55	2.24	2.24	0.00	33.60	131.04	105.58
1991	26.20		24.58	10.16	5.89	11.07	0.00	0.00	0.00	6.80	57.89	78.91
1992	49.73	55.61	66.04		0.00	14.69	0.00	10.13	2.33	24.92	78.30	63.00
1993	70.11	40.92	65.87	18.79	0.00	0.00	0.00	2.02	0.00	2.22	58.50	91.63
1994	71.14	82.93	85.25	18.14	0.00	0.00	0.00	0.00	12.09	33.46	13.70	62.18
1995	71.16	12.77	98.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.23	21.71	61.51
1996	83.21	58.05	67.47	38.50	6.22	0.00	0.00	11.73	0.00	25.87	33.89	75.59
1997	63.30	74.90	110.20	7.50	3.00	0.00	0.00	3.50	6.80	15.00		
1998												
1999												
2000												
2001	97.39	131.05	102.39	24.49	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	31.44	53.70	86.81
2002	88.18	44.57	82.06	24.20	0.00	0.00	0.00	7.36	7.27	29.17	68.19	41.13
2003	132.62	17.43	81.94	12.02	0.00	8.41	7.15	0.00	4.01	68.92	110.39	30.65
2004	149.43	68.84	16.79	6.72	14.83	8.39	0.00	0.00	12.73	6.44	25.18	43.65
2005												
2006												
2007												
2008												
2009												
2010	109.43	51.26	40.46	0.72	8.25	0.00	1.11	4.32	4.82	31.39	13.28	77.77
2011	67.20	127.31	52.91	37.67	0.17	2.49	3.05	0.00	10.91	29.42	34.90	55.18
2012	45.62	58.54	13.47	2.90	1.04	0.44	1.64	0.93	5.31	3.29	46.16	75.57
2013	93.00	64.45	56.62	12.24	2.15	1.98	3.31	3.14	2.48	57.89	44.93	75.09
2014	78.28	57.51	32.09	25.09	4.26	0.00	2.08	0.44	6.83	28.70	8.36	48.87

Fuente: Centro meteorológico K'ayra.

4.7 Completación y extensión de registros

Uno de los problemas más comunes al realizar estudios hidrológicos, es la falta de algunos datos en los registros históricos, o de un periodo considerable de información, perdidos por diferentes razones.

4.7.1 Completación de datos por regresión lineal simple

El procedimiento de completación de datos es como se describe a continuación:

1. Selección del modelo matemático de correlación, en nuestro caso es regresión lineal simple
2. Selección de la estación base en función a la cual se va a realizar la completación.
3. Plotéo de los pares regresibles de los datos completos e incompletos para analizar la relación existente.
4. Estimación del coeficiente de correlación entre X e Y, utilizando la siguiente ecuación:

$$r = \frac{\overline{XY} - \overline{X} \cdot \overline{Y}}{S_x \cdot S_y}$$

5. Prueba de significación del coeficiente de correlación, para lo cual se desarrollan los siguientes pasos:

$$H_p : \rho = 0 ; H_a : \rho \neq 0 ; \alpha = 0.05$$

Cálculo de “T” calculado (Tc) mediante la ecuación:

$$Tc = r \sqrt{\frac{n-2}{1-r^2}}$$

Cálculo de “T” tabular (Tt) de las tablas, y en función a los siguientes criterios:

$\alpha = 0.05$, y (n-2) grados de libertad

Criterio de decisión, en el que el valor absoluto de Tc es menor e igual que el valor de Tt, entonces se acepta Hp, en consecuencia no procede a la completación porque r no es significativo; pero si el valor absoluto de Tc es mayor que Tt, entonces r sí es significativo al 95% de probabilidades y sí procederemos a la completación. Si r no es significativo se debe probar con datos de otra estación.

6. Estimación de los parámetros de la ecuación de regresión. Los parámetros de la ecuación se determinan por:

$$a = \bar{y} - b\bar{x}$$
$$b = r \frac{S_y}{S_x}$$

7. Relleno de los datos faltantes del registro Y, en función de los datos correspondientes del registro X.

Ejemplo **Enero 1983 = a + b * X_{caicay}**

Cuadro 17. Registro de precipitación mensual (mm) para la estación meteorológica de Caicay libre de saltos, tendencias, completo y extendido

Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1980	36.59	49.23	38.47	9.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.81	20.17	32.61	198.08
1981	96.12	48.58	89.45	26.38	0.00	0.00	0.00	8.03	7.92	31.80	74.33	44.83	427.43
1982	68.83	9.05	42.53	6.24	0.00	4.37	0.83	0.00	2.08	35.77	57.29	15.91	242.88
1983	55.38	25.51	6.22	2.49	5.50	3.11	0.00	0.00	2.18	2.39	9.33	16.18	128.29
1984	60.40	57.61	31.96	14.17	0.00	7.24	0.00	2.90	0.00	49.02	25.96	47.27	296.53
1985	28.47	25.69	13.41	3.51	3.40	5.88	0.00	0.00	4.33	5.26	40.75	59.62	190.32
1986	66.77	39.40	96.61	22.22	5.04	0.00	0.00	0.00	2.41	5.97	5.56	20.37	264.35
1987	119.86	31.30	31.85	10.14	2.78	1.20	0.60	0.92	0.00	8.93	83.73	34.38	325.69
1988	71.95	61.31	65.71	28.45	5.63	0.00	0.00	0.92	0.00	8.70	34.36	93.03	370.06
1989	74.68	45.32	77.58	11.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	18.17	33.28	42.98	303.25
1990	80.23	31.16	14.56	22.09	7.94	19.55	2.24	2.24	0.00	33.60	131.04	105.58	450.23
1991	26.20	71.70	24.58	10.16	5.89	11.07	0.00	0.00	0.00	6.80	57.89	78.91	293.19
1992	49.73	55.61	66.04	10.47	0.00	14.69	0.00	10.13	2.33	24.92	78.30	63.00	375.22
1993	70.11	40.92	65.87	18.79	0.00	0.00	0.00	2.02	0.00	2.22	58.50	91.63	350.07
1994	71.14	82.93	85.25	18.14	0.00	0.00	0.00	0.00	12.09	33.46	13.70	62.18	378.90
1995	71.16	12.77	98.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.23	21.71	61.51	271.79
1996	83.21	58.05	67.47	38.50	6.22	0.00	0.00	11.73	0.00	25.87	33.89	75.59	400.52
1997	63.30	74.90	110.20	7.50	3.00	0.00	0.00	3.50	6.80	15.00	92.80	61.93	438.94
1998	62.70	68.13	20.00	13.39	2.78	1.53	0.96	1.27	2.05	22.17	35.15	47.51	277.63
1999	53.48	37.25	51.64	15.53	2.77	2.34	0.92	0.92	6.34	11.62	31.36	57.28	271.45
2000	90.39	59.01	64.18	9.75	2.79	3.65	0.85	1.90	2.76	22.00	27.41	51.23	335.92
2001	97.39	131.05	102.39	24.49	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	31.44	53.70	86.81	527.27
2002	88.18	44.57	82.06	24.20	0.00	0.00	0.00	7.36	7.27	29.17	68.19	41.13	392.14
2003	132.62	17.43	81.94	12.02	0.00	8.41	7.15	0.00	4.01	68.92	110.39	30.65	473.54
2004	149.43	68.84	16.79	6.72	14.83	8.39	0.00	0.00	12.73	6.44	25.18	43.65	353.01
2005	71.06	55.77	64.50	13.77	2.79	0.71	0.91	1.80	2.07	18.53	38.80	54.54	325.26
2006	92.44	67.79	76.22	15.19	2.76	3.16	0.96	3.22	2.41	29.89	42.03	61.74	397.81
2007	71.06	21.08	58.62	24.75	2.81	0.49	0.80	0.92	1.69	20.98	42.62	52.26	298.10
2008	60.14	45.45	39.06	9.15	2.84	1.63	0.96	1.77	3.11	22.81	50.53	59.28	296.74
2009	61.40	45.01	45.76	11.63	2.81	0.49	0.83	1.07	3.25	8.04	49.97	51.38	281.64
2010	109.43	51.26	40.46	0.72	8.25	0.00	1.11	4.32	4.82	31.39	13.28	77.77	342.80
2011	67.20	127.31	52.91	37.67	0.17	2.49	3.05	0.00	10.91	29.42	34.90	55.18	421.21
2012	45.62	58.54	13.47	2.90	1.04	0.44	1.64	0.93	5.31	3.29	46.16	75.57	254.92
2013	93.00	64.45	56.62	12.24	2.15	1.98	3.31	3.14	2.48	57.89	44.93	75.09	417.27
2014	78.28	57.51	32.09	25.09	4.26	0.00	2.08	0.44	6.83	28.70	8.36	48.87	292.52

Fuente: Elaboración propia.

Del mismo modo, todo el procedimiento realizado anteriormente, se hizo para las estaciones meteorológicas de Colquepata, Pisac y La Raya; teniendo como estaciones base a la estación de K'ayra.

4.8 Regionalización de parámetros climáticos

4.8.1 Precipitación

Mediante la técnica determinística (regresión lineal, exponencial, logarítmico, polinómica etc.) entre dos variables (Precipitación y Altitud) nos permitirá predecir los valores de $P=f(A)$ con un cierto grado de aproximación. El análisis de la precipitación en relación a la altitud nos conlleva a generar precipitaciones en zonas y/o puntos requeridos con una determinada altitud. En el cuadro y gráfico siguiente se puede apreciar a las estaciones utilizadas en el análisis regional, donde se muestran las constantes y el coeficiente de correlación (r) obtenido.

Cuadro 18. Análisis regional de precipitación. Ecuación de regresión precipitación – altitud

NOMBRE DE LA ESTACIÓN	ALTITUD	PRECIPITACIÓN	PRECIPITACIÓN
	MEDIA	MEDIA ANUAL	MEDIA ANUAL
	msnm	Mm	CORREGIDA
			mm
LA RAYA	4150	1.004,4	921,20
PISAC	2950	620,6	463,40
CAICAY	3150	333,3	539,70
COLQUEPATA	3729	663,2	760,58
KAYRA	3219	628,6	566,02
SUMA	17.198	3.250,1	3.250,89
N	5	5	5
PROMEDIO	3.439,60	650,0	650,18

Fuente: elaboración propia

Cuadro 19. Selección de ecuación de regresión por precipitación que se ajusta a la zona de estudio

Variables	1	2	3	4	5
	LINEAL	EXPONENCIAL	LOGARÍTMICO	POLINÓMICA	POTENCIAL
	$y = a x - b$	$y = a e^{bx}$	$y = a \ln(x) - b$	$y = a x^2 - b x + c$	$y = a x^b$
A	0,3815	89,161	1313,9	6,00E-04	9,00E-05
B	-662,03	0,0006	-10039	-4,2247	1,9322
C				7402,2	
Parámetros de Regresión					
R	0,7840	0,6966	0,7654	0,8820	0,6805
R²	0,6147	0,4852	0,5859	0,778	0,4631

Fuente: elaboración propia.

ECUACIÓN SELECCIONADA:	1
------------------------	---

Cuadro 20. Regionalización de la precipitación anual para la cuenca

PRECIP. MEDIA ANUAL EN LA CUENCA DE SIHUA		
ALTITUD MEDIA	ALTURA	PRECIPITACIÓN
CUENCA SIHUA	3.500,00	673,22
ALTITUD MÍNIMA	2.900,00	444,32
ALTITUD MÁXIMA	4.100,00	902,12

Fuente: elaboración propia.

Gráfico 6. Línea de tendencia regional precipitación anual lineal;

Gráfico 7. Línea de tendencia regional precipitación anual exponencial

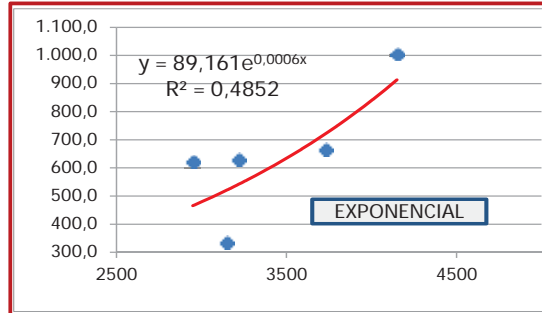
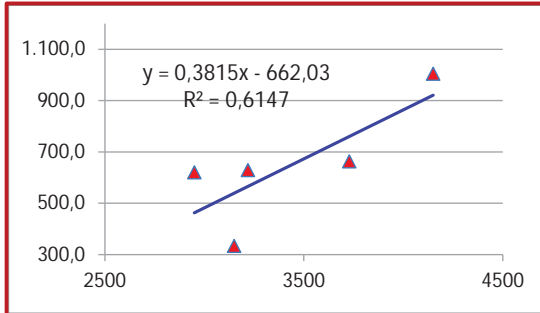


Gráfico 8. Línea de tendencia regional precipitación anual logarítmica;

Gráfico 9. Línea de tendencia regional precipitación anual Polinómica

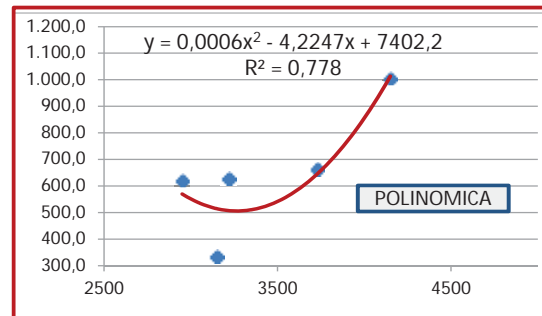
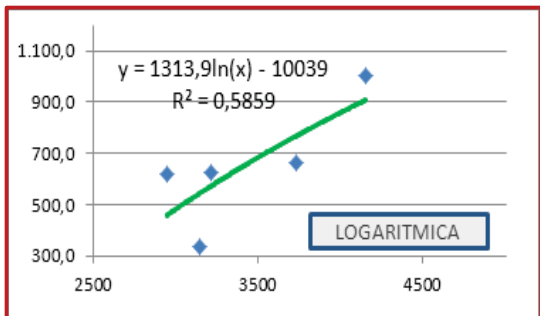


Gráfico 10. Línea de tendencia regional precipitación anual Potencial.

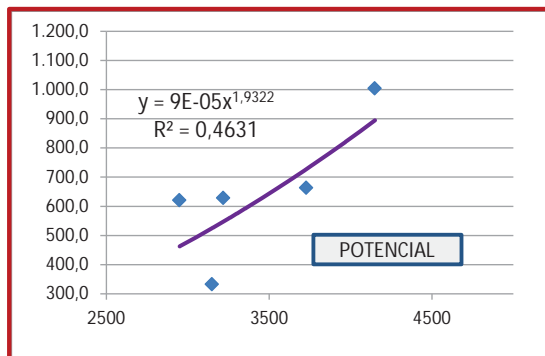
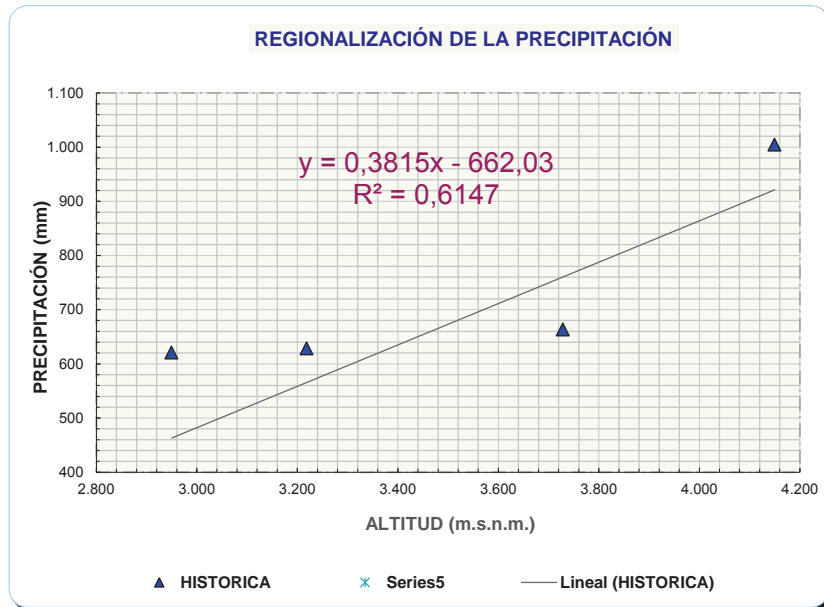


Gráfico 11. Comportamiento regional de la precipitación anual por regresión lineal



Cuadro 21. Coeficientes para generación de precipitación mensual cuenca Sihua

ESTACIÓN	ALTITUD	COORDENADAS UTM		PRECIPITACIÓN HISTÓRICA (mm/año)	DIST. HORIZ. CUENCA- ESTACION d_i (m)	DIFERENCIA DE ALTITUD ENTRE PUNTO INTERES - ESTACIONES h_i (m)	FACTOR DE INFLUENCIA POR TRANSPORTE DE PRECIPITACION POR ALTITUD $F_p = \frac{P_{correg. Cuenca.}}{P_{correg. Estac.}}$	FACTORES DE INFLUENCIA POR DISTANCIA Y ALTITUD DE ESTACIONES A PUNTO INTEREZ					FACTOR DE INFLUENCIA TOTAL $F_t = F_p \cdot F_{dh}$
		X	Y	$P_{hist.}$				Proporcion Inversa Distancia		Proporcion Inversa diferencia de alturas		FACTOR INFLUENCIA POR DIST. Y ALTITUD $F_{dh} = (F_d + F_h)/2$	
								$f_{d1} = \sum (d_i)/d_i$	$F_d = (f_{d1}/\sum f_{d1})$	$f_{h1} = \sum (h_i)/h_i$	$F_h = (f_{h1}/\sum f_{h1})$		
LA RAYA	4.150,00	286.236,00	8.397.893,00	1.004,42	156.738,07	650,00	0,670	1,57	0,0276	3,1692	0,1088	0,0682	0,046
PISAC	2.950,00	191.381,00	8.515.066,00	620,61	9.897,20	550,00	1,085	24,85	0,4369	3,7455	0,1286	0,2827	0,307
CAICAY	3.150,00	207.801,00	8.494.860,00	333,28	32.824,87	350,00	2,020	7,49	0,1317	5,8857	0,2021	0,1669	0,337
COLQUEPATA	3.729,00	210.463,00	8.521.153,00	663,25	29.717,30	229,00	1,015	8,28	0,1455	8,9956	0,3088	0,2272	0,231
KAYRA	3.219,00	188.830,00	8.499.451,00	628,56	16.739,21	281,00	1,071	14,69	0,2583	7,3310	0,2517	0,2550	0,273
					245.916,65	2.060,00		56,87	1,00	29,13	1,0000	1,0000	1,193

DATOS:

ZONAS DE ESTUDIO	ALTITUD	COORDENADAS UTM		PRECIPITACIÓN HISTÓRICA
		X	Y	
CUENCA SIHUA	3.500,00	181.500,00	8.514.500,00	673,22

Cuadro 22. Precipitación media mensual cuenca Sihua (mm)

SIHUA				Latitud : 13°25'12,06" S			Departamento : CUSCO			Provincia : CALCA			Distrito : COYA		
				Longitud : 71°56'26,95" W											
				Altitud : 2.700 msnm											
N° REG.	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL	
1	1980	113,0	130,8	130,7	47,5	4,7	1,9	5,2	7,3	26,0	48,4	47,8	82,2	645,5	
2	1981	130,8	142,0	97,0	36,8	16,1	2,6	5,9	8,7	32,8	64,2	114,4	86,4	737,6	
3	1982	181,3	79,6	134,5	66,7	11,3	5,9	16,6	9,1	19,4	41,1	83,4	56,0	704,9	
4	1983	71,3	93,8	65,2	35,5	7,4	11,5	16,6	7,7	20,8	29,6	67,3	57,6	484,1	
5	1984	188,8	139,2	91,1	53,4	7,3	11,1	15,7	9,7	16,1	42,8	63,2	59,1	697,5	
6	1985	109,4	114,4	119,6	56,3	14,4	21,6	6,9	4,2	27,2	49,6	69,9	116,2	709,8	
7	1986	104,2	141,0	159,4	67,3	12,6	7,9	8,3	6,0	14,3	16,0	19,5	63,2	619,9	
8	1987	202,0	67,8	85,0	29,6	12,5	11,1	9,6	6,0	9,0	17,7	76,9	86,4	613,5	
9	1988	158,0	114,9	151,1	73,6	14,3	2,8	5,5	4,4	9,8	17,0	30,8	108,0	690,3	
10	1989	145,8	150,6	111,9	42,6	9,5	10,6	2,6	27,3	6,3	25,9	30,4	62,6	626,1	
11	1990	100,6	67,7	46,8	45,5	12,8	25,9	8,7	5,4	12,2	47,4	116,3	151,0	640,2	
12	1991	93,9	107,4	102,4	34,8	26,1	12,8	2,4	6,1	13,9	29,5	65,4	86,4	581,0	
13	1992	93,9	99,8	83,3	37,5	7,6	23,5	10,7	23,3	15,8	38,0	105,1	55,7	594,3	
14	1993	167,2	85,0	57,6	43,5	13,3	7,0	12,3	18,6	16,7	17,1	74,4	119,3	632,0	
15	1994	138,3	112,0	133,3	46,0	10,4	3,8	4,9	3,0	15,3	38,9	34,7	103,7	644,3	
16	1995	134,9	108,8	119,5	16,4	9,2	4,1	5,1	5,1	14,2	46,5	50,5	84,9	599,4	
17	1996	145,6	95,6	77,9	63,8	15,5	4,1	4,2	19,2	28,0	54,4	68,7	106,0	682,9	
18	1997	151,5	118,4	126,5	27,6	8,7	4,6	14,4	16,3	24,0	63,4	142,9	94,8	793,0	
19	1998	89,9	111,8	46,6	34,5	8,4	7,6	7,0	6,9	12,2	34,5	37,0	55,0	451,6	
20	1999	193,3	109,0	113,3	45,2	10,8	9,1	15,1	6,1	22,8	24,1	41,0	87,8	677,5	
21	2000	167,1	131,5	150,7	67,2	24,9	39,9	9,0	9,1	20,1	41,5	60,3	90,5	811,9	
22	2001	174,4	159,8	149,9	57,8	16,0	9,8	18,3	14,7	22,2	52,5	79,9	108,9	864,2	
23	2002	142,9	131,0	104,4	48,4	17,6	12,1	29,9	11,3	19,2	46,9	84,1	125,4	773,2	
24	2003	178,4	139,1	134,7	61,9	11,6	10,0	4,8	15,7	10,0	42,1	52,4	111,2	771,7	
25	2004	216,1	178,4	98,8	46,4	21,7	14,1	11,4	12,9	30,9	28,3	42,5	88,3	789,8	
26	2005	112,1	94,7	94,8	30,7	12,8	12,9	13,0	10,3	11,9	51,8	77,6	123,4	645,9	
27	2006	159,0	128,0	132,5	38,1	26,3	15,7	5,4	12,1	15,3	50,9	58,6	104,3	746,3	
28	2007	109,7	61,1	101,7	62,7	13,5	10,4	15,9	18,0	11,2	43,6	68,4	70,2	586,4	
29	2008	126,4	88,5	76,9	38,1	16,1	11,1	15,0	23,9	22,7	44,1	79,3	111,3	653,5	
30	2009	113,8	105,6	98,8	43,8	12,3	7,4	11,1	5,1	17,9	21,5	66,9	76,6	580,8	
31	2010	187,8	116,5	123,3	26,8	10,2	3,4	7,7	6,6	14,3	62,1	55,3	176,6	790,7	
32	2011	120,4	161,3	104,7	41,7	6,5	7,9	10,4	8,7	29,1	36,5	42,2	117,3	686,8	
33	2012	109,7	155,7	75,9	38,7	13,0	4,4	4,7	6,3	21,5	13,9	90,6	126,7	661,0	
34	2013	129,9	178,8	90,7	25,2	14,4	11,6	5,6	16,1	9,6	98,7	62,0	143,9	786,6	
35	2014	141,1	99,7	93,7	40,1	13,0	2,1	4,9	8,5	20,1	33,6	18,6	113,1	588,4	
N° Datos		35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	
Media		140,07	117,69	105,26	44,91	13,22	10,35	9,85	10,85	18,08	40,40	65,10	97,43	673,22	
Desv. Estandar		35,95	30,00	29,29	13,83	5,20	7,73	5,73	6,21	6,73	17,22	27,49	29,07	91,66	
Coef. Variacion		0,26	0,25	0,28	0,31	0,39	0,75	0,58	0,57	0,37	0,43	0,42	0,30	0,14	
Prec. Max.		216,1	178,8	159,4	73,6	26,3	39,9	29,9	27,3	32,8	98,7	142,9	176,6	216,1	
Prec. Min.		71,3	61,1	46,6	16,4	4,7	1,9	2,4	3,0	6,3	13,9	18,6	55,0	1,9	

Fuente: elaboración propia.

De igual manera se ha regionalizado para cada altitud del distrito tal como se observa en cuadro siguiente:

Cuadro 23. Regionalización de la precipitación mensual según la altitud

ALTITUD	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
2900	91,7	79,9	72,3	29,7	7,1	5,7	5,2	6,4	10,5	27,4	43,2	65,4	444,32
3000	99,76	86,23	78,22	31,93	7,75	6,26	5,66	6,97	11,40	29,67	47,43	71,20	482,47
3100	109,19	90,15	83,18	32,54	8,57	7,11	5,95	7,16	11,82	31,98	54,71	78,26	520,62
3200	114,34	97,86	86,50	37,74	11,62	9,48	8,59	9,37	15,52	32,99	54,31	80,45	558,77
3300	122,99	104,48	93,21	39,87	11,83	9,55	8,70	9,65	16,02	35,62	58,49	86,53	596,92
3400	131,61	111,05	99,53	42,21	12,32	9,79	9,07	10,11	16,83	38,12	62,18	92,24	635,07
3500	140,07	117,69	105,26	44,91	13,22	10,35	9,85	10,85	18,08	40,40	65,10	97,43	673,22
3600	148,81	124,37	110,44	47,73	14,38	11,12	10,96	11,77	19,58	42,56	67,30	102,35	711,37
3700	158,52	131,26	114,40	50,65	15,96	12,34	12,79	13,06	21,47	44,47	67,74	106,86	749,52
3800	165,56	137,63	121,40	53,23	16,45	12,54	12,78	13,41	22,32	46,95	72,87	112,52	787,67
3900	171,89	143,65	129,15	56,00	16,88	12,43	12,42	13,62	23,24	49,57	78,96	118,03	825,82
4000	178,32	149,42	136,66	59,08	17,64	12,36	12,29	14,00	24,59	52,12	84,53	122,96	863,97
4100	184,21	154,60	144,58	62,66	18,68	12,04	12,10	14,45	26,46	54,71	90,44	127,17	902,12

Fuente: Elaboración propia.

4.8.2 Temperaturas

El comportamiento térmico en la cuenca de Sihua es variable y está influenciado principalmente por la altitud, la fisiografía y orientación de sus vertientes.

Para el presente análisis de temperatura se ha contado con información proveniente de SENAMHI desde los años 2010 al 2014. Habiéndose elegido para este proceso de regionalización las estaciones circundantes al distrito como son: Granja Kayra, Pisac, Colquepata, Caicay, Ccatcca. Generado para la cuenca las temperaturas máximas, mínimas y medias mensuales respectivamente. La metodología utilizada fue de regresión lineal múltiple y regresión lineal simple según sea el caso.

Regionalización de la temperatura máxima

Para este propósito, se ha utilizado registros de precipitación máxima proporcionados por el SENAMHI, para los periodos 2010 al 2014, como se detalla en anexos. Siendo las estaciones seleccionadas Granja Kayra, Pisac, Colquepata, Caica y Ccatcca, como estación de altura de corrección para este distrito.

**Cuadro 24. Análisis regional de temperatura máxima. Ecuación de regresión
temperatura – altitud**

NOMBRE DE LA ESTACIÓN	ALTITUD MEDIA	TEMPERATURA MAX. MEDIA ANUAL	TEMPERATURA MAX. MEDIA ANUAL CORREGIDA
	msnm	°C	°C
KAYRA	3219	21.7	20.08
PISAC	2950	23.1	22.97
CAICAY	3150	22.4	20.79
COLQUEPATA	3729	17.0	15.56
SUMA	16,777	99.8	94.96
n	5	5	5
PROMEDIO	3,355.40	20.0	18.99

Fuente: elaboración propia.

**Cuadro 25. Selección de ecuación de regresión por temperatura máxima que
ajuste a la zona de estudio**

Variable s	1	2	3	4	5
	LINEA L	EXPONENCIA L	LOGARÍTMIC O	POLINÓMICA	POTENCIA L
	$y = -a x + b$	$y = a e^{-bx}$	$y = -a \ln(x) + b$	$y = -a x^2 + b x + c$	$y = a x^{-b}$
A	-0.0093	100.41	-31.34	-7.00E-06	1.00E+07
B	51.314	-0.0005	274.21	0.0411	-1.626
C				-33.242	
Parámetros de Regresión					
R	0.9788	0.9717	0.9745	0.9885	0.9670
R ²	0.958	0.9442	0.9497	0.9772	0.935

Fuente: elaboración propia.

Se seleccione la ecuación que mejor se ajusta a la zona de estudio.

ECUACIÓN SELECCIONADA :	2
-------------------------	---

Se procedió a verificar el cambio de variación de la temperatura máxima a altitudes extremas del distrito para ver su consistencia.

Cuadro 26. Regionalización de la temperatura media anual máxima para la cuenca Sihua.

TEMP. MEDIA MÁXIMA ANUAL		
ALTITUD MEDIA DE LA CUENCA SIHUA	ALTURA	TEMPERATURA MÁXIMA
	3500	17.45
ZONA BAJA	2950	22.97
ZONA ALTA	4800,00	12.93

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 12. Líneas de tendencia regional temperatura máxima media anual vs altitud; Gráfico 13. Líneas de tendencia regional temperatura máxima media anual vs altitud exponencial

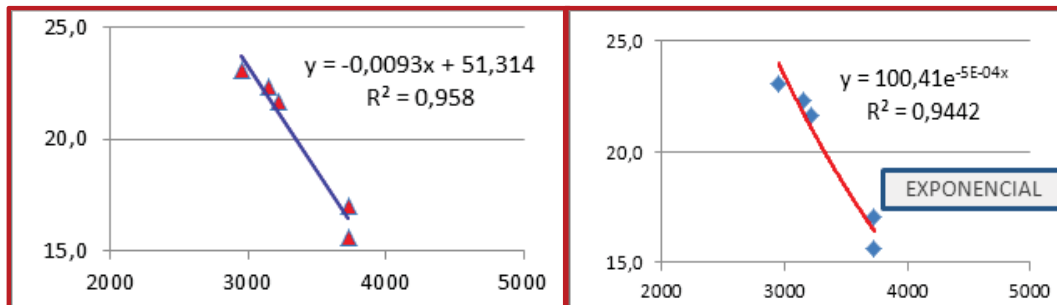


Gráfico 14. Línea de tendencia regional temperatura máxima media anual vs altitud logarítmica; Gráfico 15. Línea de tendencia regional temperatura máxima media anual vs altitud polinómica.

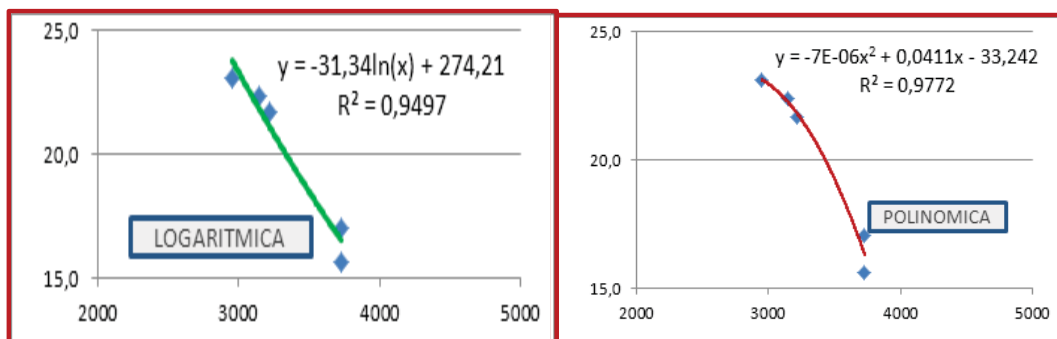


Gráfico 16. Línea de tendencia regional temperatura máxima media anual vs altitud potencial.

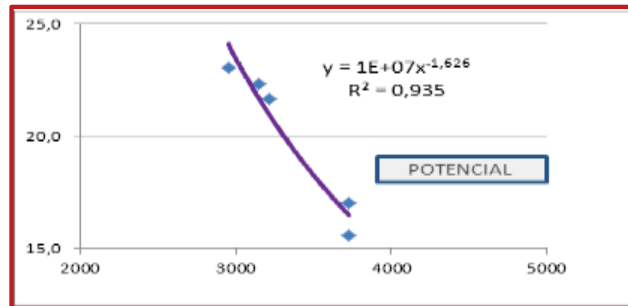
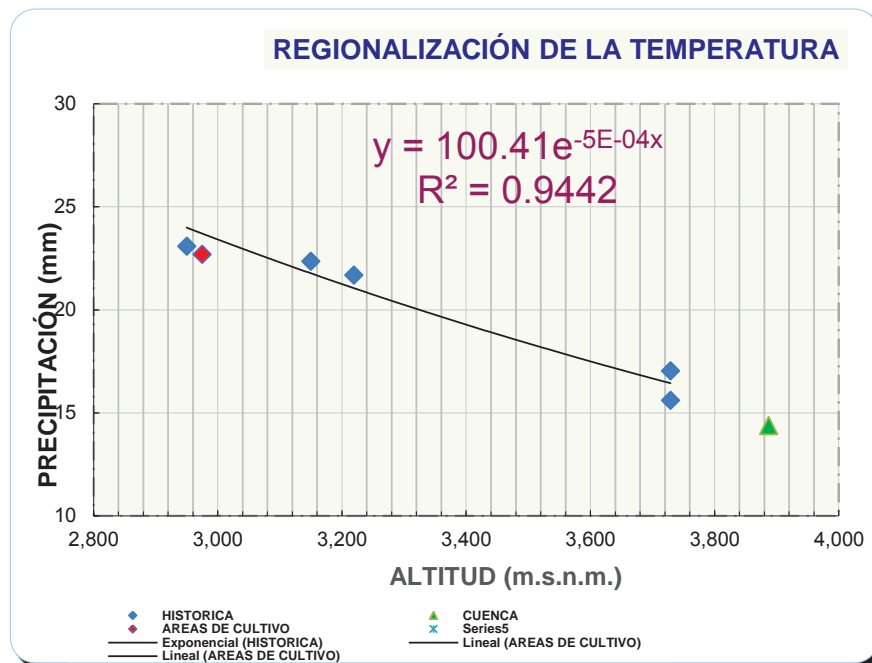


Gráfico 17. Comportamiento regional de temperatura máxima por regresión exponencial



Cuadro 27. Coeficientes para generación de temperatura máxima mensual cuenca Sihua

ESTACIÓN	ALTITUD	COORDENADAS UTM		PRECIPITACIÓN HISTÓRICA (mm/año) $P_{hist.}$	DIST. HORIZ. CUENCA- ESTACION d_i (m)	DIFERENCIA DE ALTITUD ENTRE PUNTO INTERES - ESTACIONES h_i (m)	FACTOR DE INFLUENCIA POR TRANSPORTE DE PRECIPITACION POR ALTITUD $F_p = \frac{P_{correg. Cuenca.}}{P_{correg. Estac.}}$	FACTORES DE INFLUENCIA POR DISTANCIA Y ALTITUD DE ESTACIONES A PUNTO INTEREZ					FACTOR DE INFLUENCIA TOTAL $F_t = F_p \cdot F_{dh}$
		X	Y					Proporción Inversa Distancia		Proporción Inversa diferencia de alturas		FACTOR INFLUENCIA POR DIST. Y ALTITUD $F_{dh} = (F_d + F_h)/2$	
								$f_{d1} = \sum (d_i)/d_i$	$F_d = (f_{d1}/\sum f_{d1})$	$f_{h1} = \sum (h_i)/h_i$	$F_h = (f_{h1}/\sum f_{h1})$		
KAYRA	3,219.00	188,830.00	8,499,451.00	21.68	13,274.63	668.00	0.663	6.33	0.2321	3.9790	0.0903	0.1612	0.107
PISAC	2,950.00	191,381.00	8,515,066.00	23.08	11,379.93	937.00	0.623	7.38	0.2708	2.8367	0.0644	0.1676	0.104
CAICAY	3,150.00	207,801.00	8,494,860.00	22.36	14,814.65	737.00	0.643	5.67	0.2080	3.6065	0.0818	0.1449	0.093
COLOQUEPATA	3,729.00	210,463.00	8,521,153.00	17.03	17,677.33	158.00	0.844	4.75	0.1743	16.8228	0.3817	0.2780	0.235
CCATCCA	3,729.00	222,971.00	8,493,948.00	15.60	26,861.92	158.00	0.921	3.13	0.1147	16.8228	0.3817	0.2482	0.229
					84,008.47	2,658.00		27.26	1.00	44.07	1.0000	1.0000	0.768

REGIONALIZACION DE TEMPERATURA MAXIMA PARA LA ALTITUD MEDIA ANUAL DE LA CUENCA

DATOS:				
ZONAS DE ESTUDIO	ALTITUD	COORDENADAS UTM		TEMPERATURA HISTÓRICA
		X	Y	
Cuenca Sihua	3.500,00	181.500,00	8.514.500,00	17,45

Cuadro 28. Registro regionalizado de temperatura máxima para la cuenca Sihua (mm)

CUENCA SIHUA		Latitud : 13°25'12,06" S			Longitud : 71°56'26,95" W			Altitud : 3.700 msnm			Departamento : CUSCO		Provincia : CALCA		Distrito : COYA	
N° REG.	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL		
1	1.980	16,4	17,1	17,3	18,3	18,3	18,4	18,7	18,9	18,6	18,1	18,4	17,1	215,5		
2	1.981	16,6	15,2	15,9	17,1	17,8	17,9	16,8	18,1	17,3	17,8	18,7	16,1	205,4		
3	1.982	16,2	15,4	16,2	16,8	17,6	17,5	18,0	18,4	18,1	18,8	18,7	16,3	208,0		
4	1.983	16,3	16,3	17,2	18,1	17,8	16,6	16,7	17,8	18,6	18,0	17,8	16,7	208,0		
5	1.984	16,5	16,8	17,3	17,3	17,4	18,7	17,4	17,3	17,3	17,7	18,7	17,7	210,1		
N° Datos		5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5		
Media		16,4	16,1	16,8	17,5	17,8	17,8	17,5	18,1	18,0	18,1	18,5	16,7	17,45		
Desv. Estandar		0,17	0,82	0,67	0,65	0,32	0,83	0,85	0,59	0,65	0,44	0,38	0,64	3,83		
Coef. Variacion		0,01	0,05	0,04	0,04	0,02	0,05	0,05	0,03	0,04	0,02	0,02	0,04	0,22		
Prec. Max.		16,6	17,1	17,3	18,3	18,3	18,7	18,7	18,9	18,6	18,8	18,7	17,7	18,9		
Prec. Min.		16,2	15,2	15,9	16,8	17,4	16,6	16,7	17,3	17,3	17,7	17,8	16,1	15,2		

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 29. Valores de temperatura máxima mensual regionalizados para cada altitud.

ALTITUD	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
2900	22,2	21,8	22,7	23,6	23,9	24,1	23,7	24,4	24,2	24,4	25,0	22,7	23,55
3000	21,12	20,78	21,58	22,46	22,76	22,87	22,53	23,20	23,00	23,22	23,76	21,57	22,40
3100	20,18	19,84	20,55	21,47	21,68	21,73	21,39	22,07	21,92	21,96	22,50	20,46	21,31
3200	19,23	18,87	19,60	20,36	20,50	20,52	20,26	20,99	20,99	21,01	21,47	19,46	20,27
3300	18,24	17,92	18,61	19,37	19,55	19,59	19,32	19,98	19,92	19,98	20,42	18,51	19,28
3400	17,29	17,01	17,67	18,42	18,64	18,70	18,41	19,02	18,92	19,01	19,42	17,61	18,34
3500	16,39	16,15	16,78	17,52	17,76	17,83	17,54	18,11	17,99	18,09	18,47	16,75	17,45
3600	15,54	15,33	15,94	16,65	16,92	17,00	16,70	17,25	17,11	17,23	17,57	15,93	16,60
3700	14,72	14,54	15,13	15,83	16,12	16,22	15,91	16,43	16,27	16,41	16,72	15,15	15,79
3800	14,02	13,84	14,40	15,06	15,33	15,41	15,13	15,62	15,47	15,60	15,90	14,41	15,02
3900	13,36	13,18	13,71	14,33	14,57	14,64	14,38	14,85	14,72	14,83	15,13	13,71	14,29
4000	12,73	12,55	13,05	13,64	13,85	13,92	13,68	14,12	14,00	14,10	14,39	13,04	13,59
4100	12,11	11,94	12,42	12,97	13,17	13,23	13,01	13,43	13,32	13,41	13,69	12,41	12,93

Fuente: Elaboración propia.

Regionalización temperatura mínima:

Para el presente caso la ecuación que más se ajusta para la regionalización es la de regresión lineal simple, como el observado en el cuadro siguiente:

Cuadro 30. Modelo de regionalización temperatura mínima vs altitud por regresión lineal simple.

NOMBRE DE LA ESTACION	ALTITUD msnm.	MES / TEMPERATURA MINIMA MEDIA												
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	MEDIA
		C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°
KAYRA	3219	7,1	7,4	6,7	4,0	1,1	-0,5	-1,1	0,0	3,2	5,7	6,1	7,2	3,9
PISAC	2950	10,2	10,2	10,0	8,0	6,1	4,8	4,3	5,4	7,9	9,6	9,9	10,1	8,1
CAICAY	3150	7,8	8,2	8,0	6,4	4,4	3,3	1,9	3,2	6,1	7,4	7,8	8,0	6,0
COLQUEPATA	3729	5,2	5,5	5,4	4,6	3,6	2,1	1,3	1,5	3,2	4,2	4,7	5,3	3,9
CCATCCA	3729	4,9	5,1	4,9	3,1	0,6	-1,4	-2,2	-1,6	1,4	3,4	4,1	5,0	2,3
Promedio	3355,4	7,0	7,3	7,0	5,2	3,2	1,6	0,8	1,7	4,3	6,1	6,5	7,1	4,8
Desv. Estándar	355,1	2,2	2,1	2,1	2,0	2,3	2,6	2,6	2,7	2,6	2,5	2,4	2,1	2,2
Coefic. a		26,6304	26,4442	25,5272	19,9330	16,4072	16,9523	16,3023	20,6521	25,5272	28,0913	27,5938	26,6018	23,0552
Coefic. b		-0,0058	-0,0057	-0,0055	-0,0044	-0,0039	-0,0046	-0,0046	-0,0056	-0,0063	-0,0066	-0,0063	-0,0058	-0,0054
Coefic. r		-0,959	-0,970	-0,943	-0,795	-0,606	-0,625	-0,634	-0,741	-0,858	-0,943	-0,940	-0,970	-0,860

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 31. valores de temperatura mínima mensual regionalizados para cada altitud.

ALTITUD	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM.
2900	9,71	9,90	9,52	7,21	4,96	3,72	2,93	4,28	7,22	9,05	9,38	9,77	7,30
3000	9,12	9,33	8,97	6,77	4,56	3,27	2,47	3,71	6,59	8,39	8,76	9,19	6,76
3100	8,54	8,76	8,41	6,33	4,17	2,81	2,01	3,15	5,96	7,74	8,13	8,61	6,22
3200	7,95	8,19	7,86	5,89	3,77	2,35	1,54	2,58	5,33	7,08	7,50	8,03	5,67
3300	7,37	7,62	7,31	5,45	3,38	1,90	1,08	2,02	4,70	6,42	6,87	7,45	5,13
3400	6,79	7,05	6,76	5,01	2,98	1,44	0,62	1,45	4,07	5,77	6,24	6,87	4,59
3500	6,20	6,48	6,21	4,57	2,59	0,98	0,16	0,89	3,44	5,11	5,62	6,28	4,04
3600	5,62	5,91	5,65	4,13	2,19	0,53	-0,30	0,32	2,80	4,45	4,99	5,70	3,50
3700	5,04	5,34	5,10	3,70	1,80	0,07	-0,76	-0,24	2,17	3,80	4,36	5,12	2,96
3800	4,45	4,77	4,55	3,26	1,40	-0,38	-1,22	-0,81	1,54	3,14	3,73	4,54	2,41
3900	3,87	4,20	4,00	2,82	1,01	-0,84	-1,68	-1,37	0,91	2,48	3,10	3,96	1,87
4000	3,29	3,63	3,45	2,38	0,62	-1,30	-2,14	-1,94	0,28	1,83	2,48	3,38	1,33
4100	2,70	3,06	2,89	1,94	0,22	-1,75	-2,61	-2,50	-0,35	1,17	1,85	2,80	0,79

Fuente: Elaboración propia.

Regionalización temperatura media.

Para este parámetro se ha generado a partir del promedio de: temperatura máxima y mínima de los registros de Kayra, Pisac, Caicay, Colquepata y Ccatcca; para los periodos 2010 al 2014, como se detalla en anexos.

Cuadro 32. Análisis regional de temperatura media ecuación de regresión temperatura – altitud.

NOMBRE DE LA ESTACIÓN	ALTITUD	TEMPERATURA	TEMPERATURA MEDIA ANUAL CORREGIDA
	MEDIA	MEDIA ANUAL	
	msnm	Mm	Mm
KAYRA	3219	12.8	13.88
PISAC	2950	15.6	16.31
CAICAY	3150	14.2	14.46
COLQUEPATA	3729	10.5	10.22
CCATCCA	3729	8.9	10.22
SUMA	16,777	62.0	65.09
n	5	5	5
PROMEDIO	3,355.40	12.4	13.02

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 33. Selección de ecuación de regresión por temperatura media mensual que se ajusta a la zona de estudio

Variables	1	2	3	4	5
	LINEAL	EXPONENCIAL	LOGARÍTMICO	POLINÓMICO	POTENCIAL
	$y = a x - b$	$y = a e^{bx}$	$y = a \ln(x) - b$	$y = a x^2 - b x + c$	$y = a x^b$
A	-0.0074	95.743	-24.92	-3.00E-06	2.00E+08
B	37.185	-0.0006	214.6	0.0285	-2.072
C				72.489	
Parámetros de Regresión					
R	0.9713	0.9645	0.9729	0.9740	0.9646
R ²	0.9434	0.9303	0.9466	0.9487	0.9304
ECUACIÓN SELECCIONADA :			4		

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 34. Regionalización de la temperatura media anual para la cuenca.

TEMP. MEDIA ANUAL EN LA CUENCA SIHUA		
ALTITUD MEDIA DE LA CUENCA SIHUA	ALTURA	TEMPERATURA MEDIA
CUENCA SIHUA	3500	9.49
ZONA BAJA	2900	15.07
ZONA ALTA	4100	6.07

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 18. Gráfico 19.gráfico 20.gráfico 21. Líneas de tendencia temperatura media anual vs la altitud.

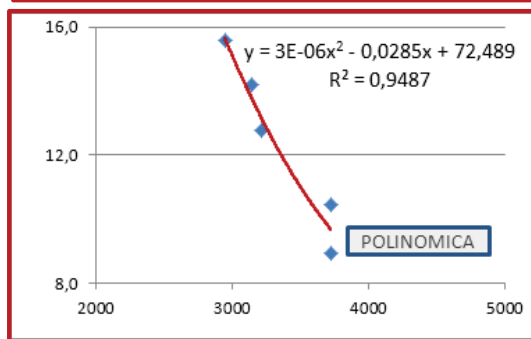
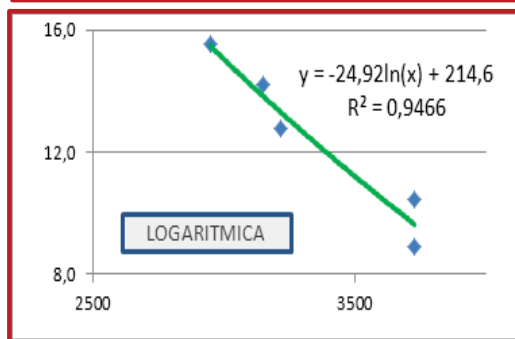
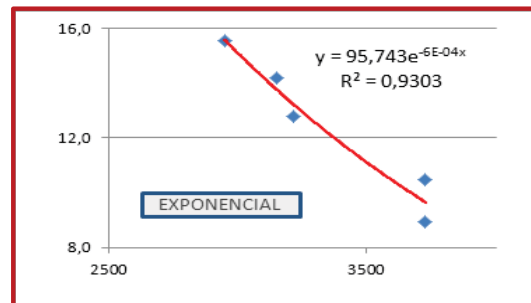
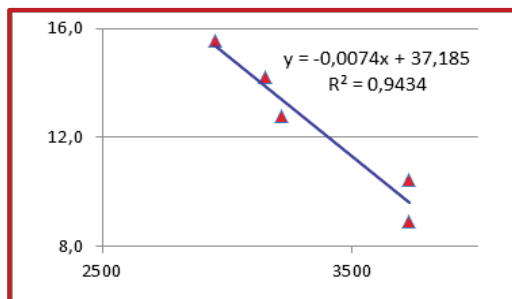


Gráfico 22. Línea de tendencia temperatura media anual vs la altitud.

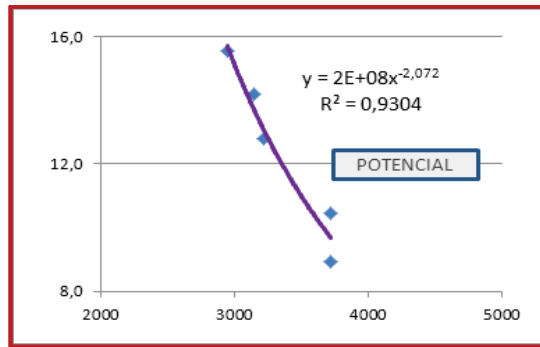
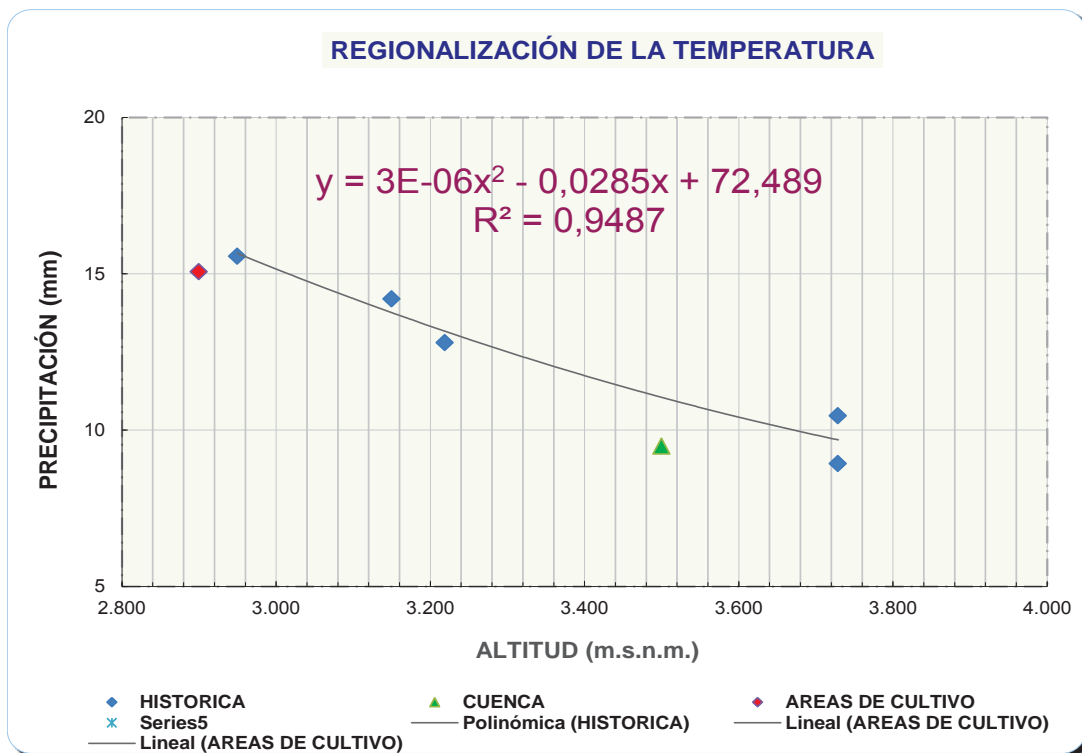


Gráfico 23. Comportamiento regional de temperatura media anual por regresión polinómica.



Con la finalidad de obtener curvas de igual temperatura media anual y mensual de la cuenca de Sihua se construyó los mapas de comportamiento anual de isotermas.

Cuadro 35. Coeficientes para generación de temperatura media mensual cuenca Sihua.

ESTACIÓN	ALTITUD	COORDENADAS UTM		PRECIPITACIÓN HISTÓRICA (mm/año)	DIST. HORIZ. CUENCA- ESTACION d_i (m)	DIFERENCIA DE ALTITUD ENTRE PUNTO INTERES - ESTACIONES h_i (m)	FACTOR DE INFLUENCIA POR TRANSPORTE DE PRECIPITACION POR ALTITUD $F_p = \frac{P_{correg. Cuenca.}}{P_{correg. Estac.}}$	FACTORES DE INFLUENCIA POR DISTANCIA Y ALTITUD DE ESTACIONES A PUNTO INTEREZ					FACTOR DE INFLUENCIA TOTAL $F_t = F_p \cdot F_{dh}$
		X	Y	$P_{hist.}$				Proporción Inversa Distancia		Proporción Inversa diferencia de alturas		FACTOR INFLUENCIA POR DIST. Y ALTITUD $F_{dh} = (F_d + F_h)/2$	
								$f_{d1} = \sum (d_i)/d_i$	$F_d = (f_{d1}/\sum f_{d1})$	$f_{h1} = \sum (h_i)/h_i$	$F_h = (f_{h1}/\sum f_{h1})$		
KAYRA	3.219,00	188.830,00	8.499.451,00	12,80	16.739,21	281,00	0,742	8,09	0,2424	5,8327	0,2097	0,2260	0,168
PISAC	2.950,00	191.381,00	8.515.066,00	15,57	9.897,20	550,00	0,610	13,69	0,4099	2,9800	0,1072	0,2585	0,158
CAICAY	3.150,00	207.801,00	8.494.860,00	14,20	32.824,87	350,00	0,668	4,13	0,1236	4,6829	0,1684	0,1460	0,098
COLQUEPATA	3.729,00	210.463,00	8.521.153,00	10,46	29.717,30	229,00	0,907	4,56	0,1365	7,1572	0,2574	0,1969	0,179
CCATCCA	3.729,00	222.971,00	8.493.948,00	8,93	46.284,21	229,00	1,062	2,93	0,0876	7,1572	0,2574	0,1725	0,183
					135.462,80	1.639,00		33,39	1,00	27,81	1,0000	1,0000	0,785

DATOS:

ZONA DE ESTUDIO	ALTITUD	COORDENADAS UTM		TEMPERATURA MEDIA HISTÓRICA
		X	Y	
Cuenca: SIHUA	3.500,00	181.500,00	8.514.500,00	9,49

Fuente: elaboración propia.

**Cuadro 36. Registro regionalizado de temperatura media mensual para la
cuenca Sihua (C°)**

SIHUA		Latitud : 13°25'12,06" S Longitud : 71°56'26,95" W Altitud : 3.500 msnm								Departamento : Cusco Provincia : CALCA Distrito : COYA				
N° REG.	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1	1.980	10,1	10,4	10,5	10,2	9,7	8,9	8,7	8,8	9,9	10,3	10,5	10,2	118,3
2	1.981	10,0	9,5	9,7	9,6	8,7	8,4	7,9	9,0	9,5	10,2	10,6	9,7	112,9
3	1.982	9,7	9,5	9,6	9,5	8,6	8,1	7,8	8,3	9,4	10,4	10,8	10,0	111,7
4	1.983	9,7	10,0	10,4	9,5	8,9	7,9	7,4	8,5	9,4	10,3	10,4	10,0	112,4
5	1.984	10,0	10,0	10,1	9,5	8,9	8,8	8,0	8,2	9,4	10,0	10,7	10,6	114,1
N° Datos		5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Media		9,91	9,90	10,06	9,68	8,98	8,40	7,96	8,54	9,51	10,25	10,60	10,09	9,49
Desv. Estandar		0,20	0,38	0,39	0,32	0,42	0,46	0,48	0,36	0,22	0,17	0,17	0,33	2,62
Coef. Variacion		0,02	0,04	0,04	0,03	0,05	0,05	0,06	0,04	0,02	0,02	0,02	0,03	0,28
Prec. Max.		10,1	10,4	10,5	10,2	9,7	8,9	8,7	9,0	9,9	10,4	10,8	10,6	10,8
Prec. Min.		9,7	9,5	9,6	9,5	8,6	7,9	7,4	8,2	9,4	10,0	10,4	9,7	7,4

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 37. Valores de temperatura media mensual regionalizado por altitud

ALTITUD	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
2900	15,6	15,6	15,8	15,2	14,2	13,5	12,9	13,8	15,2	16,3	16,8	15,9	15,07
3000	14,53	14,46	14,70	14,12	13,21	12,52	11,99	12,82	14,10	15,10	15,58	14,76	13,99
3100	13,52	13,48	13,67	13,17	12,25	11,57	10,99	11,82	13,10	13,95	14,42	13,69	12,97
3200	12,68	12,62	12,78	12,15	11,15	10,46	9,99	10,82	12,13	13,04	13,46	12,82	12,01
3300	11,67	11,63	11,79	11,26	10,39	9,76	9,30	10,03	11,20	12,03	12,43	11,83	11,11
3400	10,74	10,72	10,88	10,44	9,67	9,07	8,62	9,27	10,32	11,10	11,47	10,92	10,27
3500	9,91	9,90	10,06	9,68	8,98	8,40	7,96	8,54	9,51	10,25	10,60	10,09	9,49
3600	9,14	9,14	9,30	8,97	8,33	7,77	7,35	7,87	8,77	9,47	9,80	9,33	8,77
3700	8,44	8,45	8,61	8,32	7,74	7,19	6,78	7,25	8,08	8,75	9,06	8,64	8,11
3800	7,82	7,83	7,97	7,70	7,16	6,66	6,29	6,72	7,49	8,10	8,39	7,99	7,51
3900	7,26	7,26	7,39	7,13	6,63	6,18	5,84	6,25	6,96	7,52	7,78	7,42	6,97
4000	6,76	6,76	6,88	6,63	6,16	5,75	5,44	5,83	6,49	7,00	7,25	6,90	6,49
4100	6,33	6,32	6,43	6,20	5,76	5,38	5,10	5,46	6,07	6,55	6,78	6,45	6,07

Fuente: Elaboración propia.

4.8.3 Evapotranspiración de referencia:

Para la elaboración del mapa de evapotranspiración de referencia, se ha utilizado el programa **CROPWAT 8.0**, para el cual habiendo ya regionalizado las temperaturas máximas y mínimas para diversas altitudes, procedemos a regionalizar los parámetros de Humedad relativa, velocidad de viento por el método de inversa de la distancia como se observa en el cuadro siguiente:

A.) Regionalización de la humedad relativa (%)

Para el presente parámetro se ha utilizado información proveniente del SENAMHI, de las estaciones de Pisac, Colquepata, Ccatcca y Caycay; utilizando el método de inversa por la distancia se ha procedido a regionalizar para la altitud media del distrito.

Cuadro 38. Ecuación de regionalización por inverso de la distancia.

Estación	Altitud	H.R %	ESTE	NORTE	distancia	d2	1/d2	peso
PISAC	2.950	66,3	191381	8.515.066,00	11379,9334	129502885	7,72184E-09	0,45788364
CAYCAY	3.150	80,5	207801	8.494.860,00	14814,6543	219473983	4,55635E-09	0,27017896
COLQUEPATA	3.729	86,8	210463	8.521.153,00	17677,3321	312488070	3,20012E-09	0,18975845
CCATCCA	3.729	76,8	222971	8.493.948,00	26861,9164	721562553	1,38588E-09	0,08217895
						SUMA	1,68642E-08	1
CUENCA SIHUA	3887.5		181500,00	8514500,00				

Fuente: Elaboración propia.

Ecuación de regionalización:

$$P1 \cdot E1 + P2 \cdot E2 + P3 \cdot E3 + P4 \cdot E4$$

Humedad relativa regionalizada para la altitud media de la cuenca de Sihua.

Cuadro 39. Registro de humedad relativa (%) regionalizada por inverso de la distancia para la cuenca.

Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	PROM.
2001	83,5	77,1	76,6	74,6	73,8	70,6	72,1	71,4	74,3	77,6	77,1	77,9	75,5
2002	82,9	87,1	78,2	78,1	76,5	74,0	73,2	70,9	71,3	71,8	72,8	76,7	76,1
2003	77,3	78,1	80,2	80,2	73,1	70,3	71,7	72,5	71,6	74,4	73,2	81,3	75,3
2004	84,4	76,6	74,6	76,6	70,5	69,9	66,3	70,8	69,9	73,1	67,6	69,8	72,5
PROMEDIO	82,0	79,7	77,4	77,4	73,5	71,2	70,8	71,4	71,8	74,2	72,7	76,4	74,9

Fuente: Elaboración propia.

B.) Regionalización de la velocidad del viento (m/s).

Se ha utilizado el método de inversa de la distancia, también para esta variable climática se ha procedido a regionalizar por el método de inversa de la distancia, tal como se detalla a continuación.

Cuadro 40. Ecuación de regionalización por inverso de la distancia para velocidad del viento (m/s)

Estación	Altitud	V.V	ESTE	NORTE	distancia	d2	1/d2	peso
COLQUEPATA	3.729	4,3	210463	8.521.153,00	17677,33209	312488069,9	3,20012E-09	0,999167248
URUBAMBA	2.863	3,1	811615	8.526.719,00	612319,4478	3,74935E+11	2,66713E-12	0,000832752
						SUMA	3,20279E-09	1
CUENCA SIHUA	3887.5		181500,00	8514500,00				

Fuente: Elaboración propia.

Ecuación de regionalización:

$$P1 \cdot E1 + P2 \cdot E2$$

Cuadro 41. Registro de velocidad del viento (m/s) regionalizada para la altitud media de la cuenca de por inverso de la distancia.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
2001	3,92	3,72	3,86	4,13	4,34	4,97	4,64	5,14	4,39	4,27	4,03	4,03	4,3

Fuente: Elaboración propia.

C.) Horas y decimas de sol.

Esta información ha sido adquirida del SENAMHI, para la estación de K'ayra teniéndose los datos siguientes:

Cuadro 42. Registro de resumen de horas y decimas de sol de la estación de K'ayra.

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
96,65	84,9	127,16	183,275	217,12	219,94	243,5	234,12	197,34	178,52	162,58	86,325	2031.43

Fuente: Elaboración propia.

Con los datos anteriormente procesados de temperatura máxima, temperatura mínima, humedad relativa, velocidad del viento y horas de sol, se ha estimado la Evapotranspiración de Referencia, para los cual se ha utilizado el método de Penman Monteith a través del programa CROPWAT.

Cuadro 43. Procesamiento de la evapotranspiración de referencia por el método de penman monteith para cada altitud.

ALTITUD	2975						
Mes	Temp Min	Temp Max	Humedad	Viento	Insolación	Rad	ETo
	°C	°C	%	m/s	horas	MJ/m ² /día	mm/mes
Enero	9,3	21,4	82	3,9	3,1	15	99,19
Febrero	9,5	21	80	3,7	3	14,7	88,81
Marzo	9,1	21,8	77	3,9	4,1	15,7	107,11
Abril	6,9	22,7	77	4,1	6,1	17,1	109,44
Mayo	4,7	23,1	74	4,3	7	16,5	114,26
Junio	3,4	23,2	71	5	7,3	15,8	115,21
Julio	2,6	22,8	71	4,6	7,9	17	118,74
Agosto	3,9	23,5	71	5,1	7,6	18,3	130,49
Septiembre	6,8	23,3	72	4,4	6,6	18,8	124,65
Octubre	8,6	23,5	74	4,3	5,8	18,8	129,05
Noviembre	8,9	24,1	73	4	5,4	18,6	128,5
Diciembre	9,3	21,8	76	4	2,8	14,5	107,29
Promedio	6,9	22,7	75	4,3	5,6	16,7	1372,74

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 44. Resumen de evapotranspiración de referencia para las diversas altitudes.

ALTITUD	ET_o
msnm	(mm/año)
2975	1372,74
3000	1360,85
3100	1322,31
3200	1284,64
3300	1360,85
3400	1217,58
3500	1197,01
3600	1139,25
3700	1111,28
3800	1085,09
3900	1060,91
4000	1038,11
4100	1033,88

Fuente: Elaboración propia.

4.9 Modelo climático de Thornthwaite

Se ha seguido con los pasos siguientes:

4.9.1 Evapotranspiración Referencial.

Para ello se ha utilizado el programa de hoja de cálculo CLIMATIC 4.0 de la Universidad de Córdoba (Argentina), cuyo resultado se presenta a continuación:

Cuadro 45. Calculo de et por el método de Thornthwaite

Calculo de ETP por el método de THORNTHWAITE										CUENCA SIHUA				
										Altitud	4275	msnm		
										Latitud	13	25	12.06	
VARIABLE	UNID	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Temperatura media mensual (T)	°C	7.68	7.68	7.81	7.54	7	6.53	6.17	6.61	7.37	7.94	8.22	7.83	
Índice de calor mensual (i)		1.92	1.92	1.96	1.86	1.66	1.50	1.37	1.53	1.80	2.01	2.12	1.97	
Índice de calor anual (I)		21.63	21.63	21.63	21.63	21.63	21.63	21.63	21.63	21.63	21.63	21.63	21.63	
Coefficiente experimental de ajuste (a)		0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	
Evapotranspiración sin ajuste (Ej)	mm/mes	46.88	46.88	47.55	46.15	43.33	40.85	38.93	41.28	45.27	48.22	49.66	47.66	
n° máximo de horas de sol según latitud (n)		12.85	12.55	12.20	11.80	11.50	11.35	11.40	11.65	12.00	12.40	12.75	12.90	
Número de días del mes (N)	Día	31.00	28.00	31.00	30.00	31.00	30.00	31.00	31.00	30.00	31.00	30.00	31.00	
Coefficiente de corrección (fc)		1.11	0.98	1.05	0.98	0.99	0.95	0.98	1.00	1.00	1.07	1.06	1.11	
EVAPOTRANSPIRACIÓN REFERENCIAL (ETO)	mm/mes	51.87	5.76	49.96	45.39	42.91	38.64	38.22	41.41	45.27	51.49	52.76	52.94	
EVAPOTRANSPIRACIÓN REFERENCIAL SIN AJUSTE = ETo =										933.52	mm/año			
EVAPOTRANSPIRACIÓN REFERENCIAL AJUSTADO = ETo =										955.41	mm/año			

Fuente: Elaboración propia.

Como resultado se tiene la estimación de la evapotranspiración para cada altitud de la cuenca desde los 2975 msnm hasta los 4225 msnm, observándose un cambio en descenso de la evapotranspiración a mayor altitud.

Cuadro 46. Evapotranspiración de referencia regionalizada para cada altitud según Thornthwaite.

ALTITUD	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2975	70.16	61.89	68.56	59.96	54.52	47.75	46.28	52.35	60.98	72.35	76.03	72.49
3000	69.957	61.356	67.704	59.686	54.008	47.307	45.587	51.862	60.22	71.509	74.872	71.997
3100	67.539	59.408	65.231	57.979	52.349	45.864	43.886	50.059	58.216	68.118	71.248	69.103
3200	66.279	58.193	63.703	55.72	49.743	43.363	42.006	48.048	56.276	66.382	69.089	67.609
3300	63.728	56.057	61.371	54.237	49.079	43.039	41.753	47.206	54.51	63.9	66.341	65.074
3400	61.583	54.221	59.426	53.011	48.458	42.638	41.362	46.301	52.907	61.771	64.09	63.013
3500	59.801	52.753	57.881	51.867	47.731	42.072	40.841	45.387	51.5	59.95	62.167	61.376
3600	58.285	51.466	56.48	50.89	47.094	41.484	40.336	44.557	50.264	58.4	60.419	59.893
3700	56.911	50.353	55.272	49.978	46.553	40.976	39.806	43.714	49.093	56.997	58.942	58.614
3800	55.841	49.358	54.088	48.98	45.71	40.456	39.455	43.265	48.237	55.789	57.56	57.361
3900	54.842	48.427	53.031	48.043	44.966	40.022	39.188	42.806	47.539	54.711	56.318	56.186
4000	53.923	47.617	52.053	47.225	44.332	39.591	38.87	42.403	46.856	53.718	55.221	55.208
4100	53.122	46.861	51.242	46.459	43.743	39.197	38.639	42.041	46.224	52.843	54.248	54.296
4200	52.357	46.237	50.469	45.824	43.227	38.871	38.375	41.701	45.673	52.007	53.372	53.478
4225	52.182	46.082	50.304	45.667	43.111	38.801	38.295	41.577	45.562	51.841	53.156	53.304

Fuente: Elaboración propia.

4.9.2 Calculo de los índices de Thornthwaite.

Para ello se ha utilizado el programa **Climatic 4.5** en versión hoja de cálculo Excel. En el que se estiman los índice hídrico anual (Im), índice de humedad (Ih), índice de aridez (Ia), eficiencia térmica (Ic).

Cuadro 47. Índices de la cuenca de Sihua según Thornthwaite.

Altitud m	INDICES CLIMATICOS DE THORNHWAITE						REGION CLIMÁTICA									
	Ih	Ia	Im	Ic %	ETo cm	FORMULA CLIMÁTICA						REGION DE HUMEDAD	REGION DE EFICIENCIA TÉRMICA	CLIMA		
2975	5.895.047	4.633.412	-219.054	3.674.092	7.433.187	D	B'2	d			a'	Semi Árido o Seco	MESOTERMICO	TEMPLADO FRIO		
3000	6.982.639	455.084	-203.224	3.681.933	7.360.645	C1	B'2	d			a'	Sub - Húmedo Seco		SEMIFRÍO		
3100	1.216.668	4.283.815	-135.362	3.685.206	709.001	C1	B'1	s			a'					
3200	1.736.163	4.006.261	-667.593	37.264	6.864.123	C1	B'1	s			a'					
3300	2.315.709	376.633	0.559109	369.551	666.294	C1	B'1	s2			a'	Subhúmedo Húmedo	MESOTERMICO		SEMIFRÍO	
3400	2.901.324	3.519.278	7.897.573	3.672.163	6.487.817	C2	B'1		W2		a'					
3500	3.553.781	3.326.185	155.807	3.660.218	6.333.258	C2	B'1		w2		a'	Ligeramente Húmedo		MESOTERMICO		SEMIFRÍO
3600	4.217.239	3.132.264	2.337.881	3.649.716	6.195.684	B1	B'1		w2		a'					
3700	4.882.765	292.908	3.125.317	3.642.074	6.072.103	B1	B'1		w2		a'	Moderadamente húmedo	MICROTERMICO		FRIO MODERADO	
3800	5.601.079	2.769.499	3.939.379	3.634.432	5.960.996	B1	B'1		w2		a'					
3900	6.361.512	2.644.281	4.774.944	3.625.537	5.860.804	B2	B'1		w2		a'	Húmedo		MICROTERMICO		FRIO MODERADO
4000	713.539	2.525.896	5.619.852	3.618.629	5.770.152	B2	B'1		w2		a'					
4100	7.936.347	2.432.457	6.476.873	3.612.505	5.689.153	B3	C'2		w2		a'	Húmedo	MICROTERMICO		FRIO MODERADO	
4200	8.770.748	2.369.326	7.349.152	3.606.552	5.615.916	B3	C'2		w2		a'					

Fuente: Elaboración propia.

4.10 Clasificación climática de la cuenca de Sihua.

Con los resultados obtenidos por altitud, se ha agrupado como se puede apreciar en el cuadro N° 49 para la cuenca de Sihua, en la cual se identificó 7 tipos de clima por el índice hídrico, y 3 tipos climáticos según la eficiencia térmica.

Cuadro 48. Clasificación climática de la cuenca de Sihua.

N°	Variación de altitud	Régimen de Humedad	Formula climática
1	2975 - 3000	Semiárido Seco - Templado frio	DB'₂da'
2	3000 - 3100	Subhúmedo Seco - Templado frio	C₁B'₂da'
3	3100 - 3400	Subhúmedo Seco - Semifrío	C₁B'₁sa'
4	3400 - 3600	Subhúmedo Húmedo - Semifrío	C₂B'₁w₂a'
5	3600 - 3900	Ligeramente Húmedo - Semifrío	B₁B'₁w₂a'
6	3900 - 4100	Moderadamente Húmedo – Semifrío	B₂B'₁w₂a'
7	4100 - 4200	Húmedo – Frio moderado	B₃B'₁w₂a'

Fuente: Elaboración propia.

4.10.1 Clima Semiárido Seco – Templado frio (DB'₂da').

Este tipo de clima se encuentra entre las altitudes de 2975 msnm a 3000 msnm, se caracteriza por presentar una temperatura media que va entre los 15.95°C, con una precipitación media anual entre los 447.61 mm. Fisiográficamente se encuentra conformando el piso de valle entre las terrazas bajas y medias e la márgenes izquierda del rio Vilcanota a la altura delos poblados de Coya, donde predomina el sembrío del maíz gigante blanco de Urubamba, seguido de la Papa y todo tipo de hortalizas, a nivel de cultivos permanentes, los más comunes tenemos durazno, pera, manzano, capulí.



Fotografía 8. Vista panorámica al sur de la cuenca de Sihua parte baja, piso de valle de clima (DB₂'da'), hábitat del maíz gigante blanco Urubamba y cultivo de papa



Fotografía 9. Piso de valle de clima (DB₂'da'),

4.10.2 Clima Subhúmedo Seco – Templada fría (C₁B₂'da')

Este tipo de clima se encuentra entre las altitudes de 3000 msnm a 3100 msnm, se caracteriza por presentar una temperatura media que va entre los 15.37 °C, con una precipitación media anual entre los 472.02 mm. Fisiográficamente se encuentra conformando el piso de valle entre las terrazas altas y vertientes de

ladera ligeramente inclinadas en la margen izquierda del río Vilcanota, predomina el sembrío de maíz Amarillo, Chullpi, Chec'che, etc, papa y todo tipo de hortalizas; a nivel de cultivos permanentes, los más comunes tenemos durazno, peras, manzana, capulí.



Fotografía 10. Vista panorámica al sur, vertientes de ladera ligeramente inclinadas de clima (C₁B'₁da'), sembríos de papa.

4.10.3 Clima Subhúmedo seco – Semifrío (C₁B'₁sa')

Este tipo de clima se encuentra entre las altitudes de 3100 msnm a 3400 msnm, se caracteriza por presentar una temperatura media que va entre los 14.37 °C, con una precipitación media anual entre los 535.47 mm. Fisiográficamente esta unidad climática se encuentra limitada por estar ubicada en laderas moderadamente empinadas de material parental coluvial, la actividad agrícola solo se limita a piso de quebradas donde los cultivos se limitan a papa y maíz, predomina especies forestales como ciprés y eucalipto.



Fotografía 11. Vista panorámica parte media baja de la cuenca



Fotografía 12. Producción agrícola en la parte media baja de la cuenca

4.10.4 Subhúmedo Húmedo - Semifrío ($C_2B'_1w_2a'$)

Este tipo de clima se encuentra entre las altitudes de 3400 msnm a 3600 msnm, se caracteriza por presentar una temperatura media que va entre los 12.52 °C, con una precipitación media anual entre los 628.215 mm. Este piso climático se caracteriza por presentar actividad agrícola limitada por la pendiente, los cultivos anuales predomina la papa, maíz, haba, arveja, trigo cebada.



Fotografía 13. Vista panorámica al norte, parte baja poblado de Sihuá, cultivo de papa y arveja



Fotografía 14. Vista panorámica al oeste, poblado de Sihuá, cultivos de cebolla

4.10.5 Clima Ligeramente Húmedo – Semifrío (B₁B'₁w2a').

Este tipo de clima se encuentra entre las altitudes de 3600 msnm a 3900 msnm, se caracteriza por presentar una temperatura media que va entre los 10.43 °C, con una precipitación media anual entre los 725.84 mm. Agrícolamente esta zona es límite de los cultivos de trigo, cebada, los cultivos de papa nativa se desarrollan extensamente en este piso climático.



Fotografía 15. Comunidad campesina de Sihua con cultivos de cebolla, papa, haba, arvejas, cebada y trigo

4.10.6 Clima Moderadamente húmedo y semifrío, (B₂ B'₁ w₂ a')

Este tipo de clima se encuentra entre las altitudes de 3900 msnm a 4100 msnm, se caracteriza por presentar una temperatura media que va entre los 9.04°C, con una precipitación media anual entre los 818.59 mm.



Fotografía 16. Vista panorámica de la entrada a la comunidad campesina de Sihua

4.10.7 Clima Húmedo – Frio Moderado (B3C'2w2a').

Este tipo de clima se encuentra entre las altitudes de 4100 msnm a 4200 msnm, se caracteriza por presentar una temperatura media que va entre los 8.31 °C, con una precipitación media anual entre los 872.28 mm. Fisiográficamente esta unidad climática se encuentra ocupando la parte alta del el poblado Sihua. Limitada a zonas conforman laderas de montaña baja desde fuertemente inclinadas a fuertemente empinadas, la actividad agrícola está conformada por cultivos de papa nativa.



Fotografía 17. Vista al norte, se observa áreas agrícolas de papa nativa

4.11 Recursos hídricos

4.11.1 Inventario de fuentes de agua.

Generalidades:

Como su nombre lo indica, está basado a la cuantificación del volumen de agua que genera la cuenca a través de fuentes como: lagunas, manantes, riachuelos, nevados, humedales, y acuíferos, el cual se denominara como potencialidad hídrica de la cuenca Sihua.

En la primera etapa se ha realizado el inventario de fuentes de agua superficial de la cuenca de Sihua, que involucra un área de 797 ha. El inventario de fuentes de agua se ha realizado en una sola campaña realizado el mes de febrero del año 2015, con participación y acompañamiento de los dirigentes, comités de riego y población de la comunidad campesina de Sihua así como de sus anexos quienes antes fueron sensibilizados en talleres y reuniones de coordinación.



Fotografía 18. Reuniones de coordinación con comunidad Sihua previo al inventario de fuentes de agua superficial y subterráneo.

4.11.2 Tipo de Fuentes Inventariadas

Manantiales

Estas fuentes de agua son las más utilizadas en el área de estudio, registrándose 33 manantiales, observándose que la mayor concentración se da hacia la cabecera de la cuenca.

La calidad de sus aguas en general está en el rango de buena y alimentan a riachuelos; se utilizan mayormente con fines agrícolas y poblacionales. En el cuadro 73 se muestran un resumen de la distribución de manantiales según su tipo de uso y calidad.



Fotografía 19. Inventario de manante

INVENTARIADO DE MANANTES

CUENCA SIHUA	Nº DE MANANTES	CAUDAL TOTAL l/s.
Total manantes	33	47.71

Fecha de evaluación Febrero 2015.

Hidrometría

La medición de los caudales, se ha realizado por dos métodos directos como el Volumétrico, que consiste en medir el tiempo que tarda en llenarse un recipiente de volumen conocido; el segundo método es el de aforador tipo RBC de 10 l. Esta recolección de información, se ha realizado directamente en los puntos de surgencia y cuyo resumen se presenta en cuadro y mapa correspondiente.



Fotografía 20. Fase de campo de inventario de manantes con delegados comunales de la comunidad campesina Sihua



Fotografía 21. Aforo volumétrico

Clasificación por tipo y rendimiento hídrico

En la cuenca de Sihua, se ha podido determinar que el máximo rendimiento en manantiales es de 5,0 l/s, caudal explotado en el manantial Corcor Chico, de tipo acuífero Kárstico, y un mínimo de ubicado en el sector Santa Rita, también se ha registrado un caso puntual de 0.03 l/s, correspondiente al manantial Ocoruyoc Qucho.

RENDIMIENTO DE MANANTES (l/s)

MENORES a 0,5 (l/s)	DE 0,5 a 1 (l/s)	DE 1 a 2 (l/s)	MAYORES a 2 (l/s)
11	5	12	5

Calidad de Agua:

Para determinar la calidad de agua se ha hecho uso de un conductivímetro eléctrico portátil el cual muestra valores de conductividad eléctrica en ($\mu\text{S}/\text{cm}$) así como salinidad en (ppm). Estos datos y la metodología es recomendada por el INGEMMET para identificar el tipo de acuífero (unidad geológica con capacidad de almacenar y distribuirá agua).



Fotografía 22. Conductivímetro eléctrico para calidad de agua

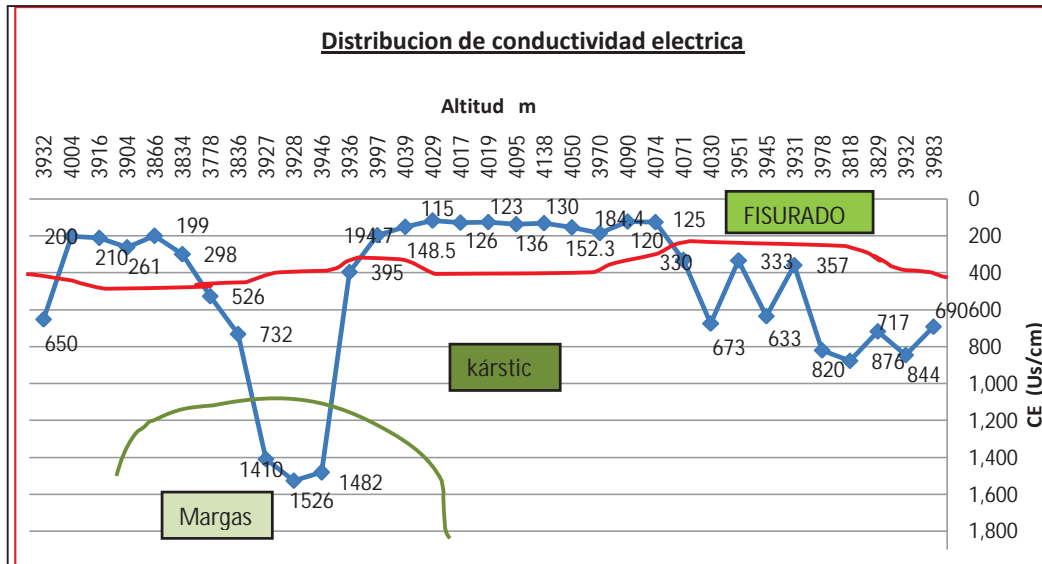


Fotografía 23. Medida de calidad de agua

La conductividad es un parámetro que indica la cantidad de sales disueltas en el agua. Los manantes de la cuenca Sihua se caracterizan por tener una alta variabilidad en concentración de cantidades de sales, ello se evidencia en los resultados obtenidos del muestreo en campo donde se observa que los manantes provenientes del acuífero fisurado, presenta valores entre 115 a 298 $\mu\text{s}/\text{cm}$; en los de tipo calcáreo o caliza Ayabacas, sus valores varían entre 330 a 876 $\mu\text{s}/\text{cm}$ mientras que en fuentes procedentes de margas con yesos de la formación Maras, ha registrado valores de conductividad eléctrica entre 1410 a 1526 $\mu\text{s}/\text{cm}$ considerados como altos manantes Cachiuno 1, 2 y 3.

En la presente gráfica, se puede observar como la conductividad eléctrica varía en función al tipo de unidad geológica por el que atraviesa el agua del acuífero.

Gráfico 24. Diagrama del comportamiento de la Conductividad Eléctrica.



Cuadro 49. Dureza del agua.

Tabla de Dureza del Agua			
ppm	µS/cm	°f	Dureza
0-70	0-140	0-7	Muy blanda
70-150	140-300	7-15	Blanda
150-250	300-500	15-25	Ligeramente dura
250-320	500-640	25-32	Moderadamente dura
320-420	640-840	32-42	Dura
Superior a 420	Superior a 840	Superior a 42	Muy dura

De acuerdo a la tabla de dureza, la calidad de agua, va de agua Muy blanda a aguas Muy duras.

Uso de las Fuentes De Agua

En la primera etapa del inventario de fuentes de agua se ha registrado 33 fuentes de agua, las cuales tienen diferentes usos: agrícolas, piscícolas, pecuarios, y

poblacionales, predominando el primero de los nombrados con 11 fuentes destinadas a la agricultura; seguido en importancia por uso pecuario y piscícola.

Cuadro 50. Distribución de fuentes de agua utilizados según su uso.

Cuenc a	Códig o	Uso de las Fuentes de agua superficial							
		Poblacion al	Pecuari o	Piscícol a	Agrícola		Energéti co	Miner o	Sin uso
	USG S				Con proyecto	Sin proyecto			
Sihua		5	6	2	6	5	0	0	9
TOTAL		5	6	2	6	5	0	0	9

Fuente: Elaboración propia.

Características de usos en los manantiales:

a. Consumo Humano.

Casi todas las Infraestructuras de aprovechamiento para el consumo humano, consisten desde la captación hasta la distribución de agua por medio de piletas domiciliarias en toda la población de Sihua. Muchas de estas obras, en la actualidad alguna se encuentran descuidadas en su manejo, operación y mantenimiento de las infraestructuras de aprovechamiento.



Fotografía 24. Hidrante en uso e hidrante colmatado

b. Riego.

Principalmente contempla canales de irrigación, reservorios y algunos sistemas de riego por aspersión, de acuerdo al caudal disponible, con la participación de la comunidad consistente en el aporte de su mano de obra no calificada, aunque en algunos de los canales de irrigación construidos por Instituciones Estatales y Privadas, el aporte de mano de obra si fue remunerado. Las Instituciones que ejecutaron estas obras son CEDEF AYLLU y también el municipio Distrital de Coya. Debiendo en la actualidad hacer el manteniendo y las reparaciones necesarias para un normal aprovechamiento. Los cálculos que se realizaron para el dimensionamiento de esta infraestructura (Reservorios) tomando como partida el número de población actual y su proyección a 20 años, se basa en el caudal de la fuente de agua y el tiempo de almacenamiento que en la mayoría de los casos es 12 horas a 36 horas. Casi todos los Sistemas de aprovechamiento para el riego que presenten un reservorio mejorado con capacidades de almacenamientos mayores a 100 m³, es administrado por un **Tomero**, quien se encarga de distribuir el agua según los turnos establecidos en asamblea de la organización de regantes.



Fotografía 25. Reservorio ubicado en la parte baja.



Fotografía 26. Reservorio de la parte media

c. Bebedero para animales.

Lamentablemente dentro de toda el área de estudio se tiene tres bebederos construido por CEDEP AYLLU en la comunidad de Sihua, y por ser esta cuenca más agrícola que ganadera no se necesita construir muchas de estas infraestructuras.

d. Uso Múltiple.

El caudal proveniente de este tipo de fuente de agua, se caracteriza por ser aprovechado para los siguientes fines: Consumo humano, bebedero de animales, riego de los cultivos.

Generalmente se presenta esta forma mixta de aprovechamiento en los Sectores o anexos denominados por los pobladores como estancias, donde solamente viven una o dos familias, también posesionando parcelas familiares y algunas cabezas de ganado el cual se presenta en la parte alta de la cuenca.

Cuadro 51. Ejemplo de planilla de inventario de manantes.

CUENCA DE SIHUA FECHA: 25/02/2015

REGISTRO Nº 1			
INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA			
Nombre de la Fuente:	LAYAPAMPA		
UBICACIÓN			
UBICACIÓN POLÍTICA		COORDENADAS UTM	
Lugar:		Longitud:	181884
Sector:		Latitud:	8516848
Comunidad:	SIHUA	Cota:	P 563
Distrito:	COYA	Zona:	19
Provincia:	CALCA	Uso:	WG 84s
REGISTRO DE CAMPO			
PROP. FÍSICAS	HIDROQUIMICA	Ambiente Geológico de la Surgencia	
T° del Agua (C°):	Conduct. Eléctrica μS/cm:	Volcánico sedimentario	
	820	Metamórfico.	
Color: Transparente limpia No presenta turbidez	Salinidad (ppm):	Sedimentario continental	SI
	0.41	Sedimentario marino	
Sabor:	.pH:	Cuaternario:	
Olor: inodoro	6.5	MATERIAL PARENTAL:	
CAUDAL (l/s):	Método de Aforo:	Form. Maras: lutitas, limoarcillitas rojas, yesos. Form. Ayabacas: Calizas	
0.52	VOLUMÉTRICO		
Foto 28			OBSERVACIONES
		Uso Consuntivo: Riego no tecnificado y pecuario. Tipo de Acuífero: FISURADO. Régimen: Permanente: Dura todo el año, pero baja considerablemente en el transcurso del año. Beneficiarios: Comunidad de Sihua	

Fuente: Elaboración propia.

A continuación se presenta un resumen de los manantes inventariados en la cuenca de Sihua.

Cuadro 52. Inventario de manantes de la comunidad de Sihua.

INVENTARIO DE MANANTES: CUENCA SIHUA									
SECTOR:	SIHUA								
DISTRITO:	COYA								
PROVINCIA:	CALCA								
FECHA	17/02/2015								
NOMBRE DE LA FUENTE	TIPO DE FUENTE	RÉGIMEN	CAUDAL DE SALIDA (l/s)	PROP. QUÍMICAS		UBICACIÓN GEOGRÁFICA			USO
				C.E	S	COORDENADAS		ALTITUD	
				Us/cm	Ppm	ESTE (X)	NORTE (Y)	MSNM	
MACAYPUGIO	Manante	Permanente	1.32	650	0.32	182560	8516175	3932	riego
ASNAPUJUYOC	Manante	temporal	0.38	200	0.08	182511	8516014	4004	bebedero
CAHUAYNA HUAYCCO	Manante	temporal	0.44	210	0.08	183168	8516204	3916	bebedero
ALPACANCHA HUAYCCO	Manante	temporal	0.94	261	0.12	183026	8516239	3904	libre
HUAYLLACO HUAYCCO	Manante	permanente	0.76	199	0.09	183224	8516307	3866	libre
LLUTTUPUJO	Manante	permanente	1.80	298	0.14	183418	8516337	3834	libre
MUTUYCOCHAYOC	Manante	permanente	1.10	526	0.26	182598	8516733	3778	riego
ESTRANGERICHAYOC	Manante	permanente	2.90	732	0.36	182367	8516715	3836	riego
CACHIUNO 1 Y 2	Manante	permanente	2.00	1410, Y 1526	0.72, Y 0.76	181821	8516594	3927	Riego Asper
CACHIUNO 3	Manante	permanente	3.00	1482	0.76	181846	8516555	3946	riego
MORMINQUICHAYOC	Manante	permanente	0.40	395	0.19	181795	8516545	3936	piscícola
ACOHAYOC	Manante	temporal	0.14	194.7	0.08	181579	8516583	3997	Cons. hum.
MACHUCORCOR PRINCIPAL	Manante	permanente	4.50	148.5	0.06	181349	8516597	4039	riego
MACHUCORCOR 2	Manante	permanente	1.20	115	0.04	181374	8516593	4029	riego
MACHUCORCOR 3	Manante	permanente	1.30	126	0.05	181375	8516656	4017	riego
MACHUCORCOR 4	Manante	permanente	1.18	123	0.04	181378	8516687	4019	riego
CORCOR CHICO	Manante	permanente	5.00	136	0.05	181290	8516780	4095	Consumo hum.
MAMACCACCA	Manante	permanente	0.43	130	0.05	181043	8517590	4138	bebedero
ALPASONDOR	Manante	permanente	2.00	152.3	0.07	181377	8517251	4050	libre
HUAYNA CORCOR	Manante	permanente	4.00	184.4	0.08	181572	8516769	3970	riego
OCORUYOC QUCHO1	Manante	temporal	0.03	120	0.05	201210	8512062	4090	Libre
OCORUYOC QUCHO2	Manante	permanente	0.90	125	0.05	201028	8512145	4074	riego
PERHUARA	Manante	temporal	0.04	330	0.15	181086	8518018	4071	bebedero
CHACAHUAYCO	Manante	permanente	0.40	673	0.35	181239	8517867	4030	bebedero
CONDOR PUGIO	Manante	permanente	0.07	333	0.15	181586	8517591	3951	bebedero
CONCHAYOC	Manante	permanente	0.40	633	0.31	181652	8517470	3945	riego
HUACACANCHA	Manante	permanente	3.50	357	0.17	181612	8517222	3931	riego
LAYAPAMPA	Manante	permanente	0.52	820	0.41	181884	8516847	3830	piscícola
ATOCLLAHUAYCO	Manante	permanente	0.70	876	0.43	182151	8516806	3814	riego
CHILCAPUJUYOC	Manante	permanente	2.00	717	0.35	182369	8516723	3837	riego
SURYINNIOC JATA	Manante	permanente	1.20	844	0.37	181867	8516908	3851	riego
SELCOHUAYCO 1	Manante	permanente	1.20	689	0.34	181674	8517314	3898	riego
SELCOHUAYCO 2	Manante	permanente	2.00	693	0.51	181674	8517314	3898	riego
TOTAL CAUDAL			47.71						

Cabe recalcar que esta fase se ha desarrollado en la época de recarga (25 de enero al 20 de marzo del 2015). Así mismo se cuenta para la cuenca de Sihua, con información histórica de época de secas, cuyo inventario fue realizado por el ex-PRONAMACHCS el 08 de julio del año 2007 y cuyo resultado se aprecia en el cuadro anterior; así mismo los directivos de la comunidad de Sihua cuentan con un documento entregado por la ONG de CEDEF AYLLU del año 1995 en que se muestra un caudal total inventariado de 21.68 l/s para el mes de diciembre de ese mismo año.

Cuadro 53. Relación de inventario de manantes de la cuenca

NOMBRE DE LA FUENTE	CÓDIGO	CAUDAL	UBICACIÓN (UTM/WGS 84)			OBSERVACIÓN
			COORDENADAS		ALTITUD	USO
		l/seg	ESTE (X)	NORTE (Y)	MSNM	ACTUAL
CACHIUNO	SIHU-01	0.54	181823	8516594	3937	RIEGO/ASP
SELQO	SIHU-01	0.62	181734	8517319	3891	RIEGO
CORCOR 01	SIHU-02	1.9	181441	8516597	4038	CONSUMO
CORCOR 02	SIHU-03	0.37	181462	8516580	4038	CONSUMO
MORMILQUISCHAYOC	SIHU-04	0.82	181663	8516659	3965	CONSUMO
MORMILQUISCHAYOC	SIHU-05	0.23	181626	8516674	3950	CONSUMO
MORMILQUISCHAYOC	SIHU-06	0.18	181636	8516667	3946	CONSUMO
PACCHA	SIHU-07	0.017	182344	8516427	3918	RIEGO
NOTOYCOCHAYOC 01	SIHU-08	0.038	182618	8516735	3768	RIEGO
NOTOYCOCHAYOC 02	SIHU-09	0.048	182616	8516738	3769	RIEGO
NOTOYCOCHAYOC 03	SIHU-10	0.048	182603	8516732	3772	RIEGO
MACAYPUJIO	SIHU-11	0.11	182563	8516180	3957	RIEGO

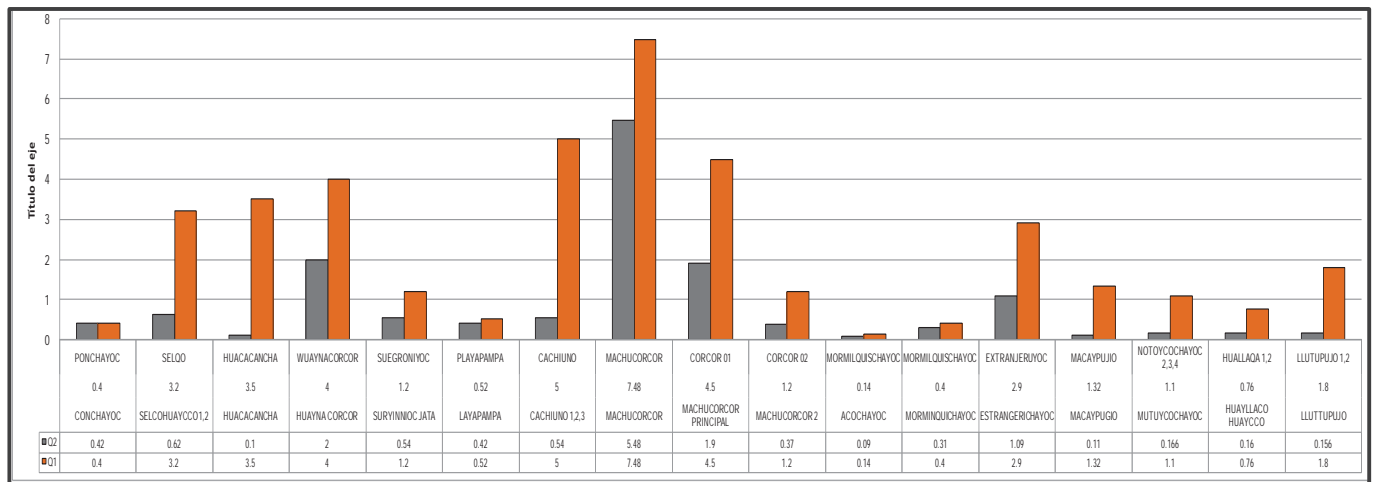
NINRIPUJIO	SIHU-12	0.12	182556	8516403	3876	RIEGO
EXTRANJERUYOC	SIHU-13	1.09	182374	8516718	3839	RIEGO
PLAYAPAMPA	SHIU-14	0.8	181911	8516820	3860	SIN USO
PLAYAPAMPA	SHIU-15	0.22	181883	8516847	3847	SIN USO
PLAYAPAMPA	SHIU-16	0.44	181842	8516810	3856	SIN USO
SUEGRONIYOC	SHIU-17	0.54	181882	8516912	3851	SIN USO
PONCHAYOC	SHIU-18	0.42	181650	8517471	3950	SIN USO
HUACACANCHA	SHIU-19	0.1	181590	8517204	3944	SIN USO
WUAYNACORCOR	SHIU-20	2	181561	8516773	3969	SIN USO
MACHUCORCOR	SHIU-21	6.48	181457	8516657	4024	SIN USO
HUALLAQA 01	SHIU-22	0.14	183205	8516316	3858	SIN USO
HUALLAQA 02	SHIU-23	0.02	183198	8516315	3859	SIN USO
LLUTOPUJIO 01	SHIU-24	0.016	183381	8516341	3849	SIN USO
LLUTUPUJIO 02	SHIU-25	0.14	183396	8516314	3848	SIN USO
NOTOYCOCHAYOC 04	SHIU-26	0.07	182610	8516751	3767	SIN USO
TOTAL	"27"	17.517				

Fuente: Elaboración propia.

Fluctuación de los volúmenes de descarga.

Es el movimiento subterráneo del agua en el cuerpo del acuífero expresado por la cantidad de agua que el acuífero vierte libremente por un punto de surgencia.

Gráfico 25. Diagrama de variación de caudales en manantes en época de lluvias vs época de secas.



La cuenca de Sihua genera un volumen de descarga de **47.75 l/s**, entre los meses de enero a abril, generando un volumen de descarga de **495072.00 m³/120 días**, así mismo del inventario realizado por el ex-PRONAMACHCS el año 2007, para el mes de

junio se tiene un caudal total continuo de 18.81, lo que hace un volumen total de descarga de 398212.416 m³/s. De todo ello la cuenca genera un volumen de descarga anual de 893284.42 m³/año.

Cuadro 54. Comparación de Caudales de descarga en época de lluvias vs época de secas.

Manante	ÉPOCA LLUVIAS		ÉPOCA DE SECA		
	Campaña de Febrero 2015		PRONAMCHCS Junio 2007		
	caudal	Volumen	FUENTE	caudal	Volumen
	l/s	m ³ /año	Disminuye	l/s	m ³ /año
CONCHAYOC	0.4	4147.20	PONCHAYOC	0.42	8890.56
SELCOHUAYCCO 1,2	3.2	33177.60	SELQO	0.62	13124.16
HUACACANCHA	3.5	36288.00	HUACACANCHA	0.10	2116.8
HUAYNA CORCOR	4	41472.00	WUAYNACORCOR	2.00	42336
SURYINNIOC JATA	1.2	12441.60	SUEGRONIYOC	0.54	11430.72
LAYAPAMPA	0.52	5391.36	PLAYAPAMPA	0.42	8890.56
CACHIUNO 1,2,3	5	51840.00	CACHIUNO	0.54	11430.72
MACHUCORCOR	7.48	77552.64	MACHUCORCOR	5.48	116000.64
MACHUCORCOR PRINCIPAL	4.5	46656.00	CORCOR 01	1.90	40219.2
MACHUCORCOR 2	1.2	12441.60	CORCOR 02	0.37	7832.16
ACOHAYOC	0.14	1451.52	MORMILQUISCHAYO C	0.09	1905.12
MORMINQUICHAYOC	0.4	4147.20	MORMILQUISCHAYO C	0.31	6562.08
ESTRANGERICHAYOC	2.9	30067.20	EXTRANJERUYOC	1.09	23073.12
MACAYPUGIO	1.32	13685.76	MACAYPUJIO	0.11	2328.48
MUTUYCOCHAYOC	1.1	11404.80	NOTOYCOCHAYOC 2,3,4	0.17	3513.888
HUAYLLACO HUAYCCO	0.76	7879.68	HUALLAQA 1,2	0.16	3386.88

LLUTTUPUJO	1.8	18662.40	LLUTUPUJO 1,2	0.16	3302.208
ASNAPUJUYOC	0.38	3939.84	ASNAPUJUYOC	0.19	4021.92
CAHUAYNA HUAYCCO	0.44	4561.92	CAHUAYNA HUAYCCO	0.22	4656.96
ALPACANCHA HUAYCCO	0.94	9745.92	ALPACANCHA HUAYCCO	0.47	9948.96
MAMACCACCA	0.43	4458.24	MAMACCACCA	0.22	4551.12
ALPASONDOR	2	20736.00	ALPASONDOR	1.00	21168
OCORUYOC QUCHO1	0.03	311.04	OCORUYOC QUCHO1	0.02	317.52
OCORUYOC QUCHO2	0.9	9331.20	OCORUYOC QUCHO2	0.45	9525.6
PERHUARA	0.04	414.72	PERHUARA	0.02	423.36
CHACAHUAYCO	0.4	4147.20	CHACAHUAYCO	0.20	4233.6
CONDOR PUGIO	0.07	725.76	CONDOR PUGIO	0.04	740.88
ATOCLLAHUAYCO	0.7	7257.60	ATOCLLAHUAYCO	0.35	7408.8
CHILCAPUJUYOC	2	20736.00	CHILCAPUJUYOC	1.00	21168
			PACCHA	0.017	359.856
			NOTOYCOCHAYOC 01	0.038	804.384
			NINRIPUJIO	0.120	2540.16
TOTAL	47.75	495072.00		18.81	398212.4 16

Fuente: Elaboración propia.

De los datos obtenidos en campo y registros históricos, se ha estimado los caudales que descarga en total los diversos acuíferos durante el año a nivel de cuenca:

Cuadro 55. Variación de volúmenes de descarga de épocas de lluvia y estío.

Volumen de descarga Anual	v = m3/Año
Volumen de descarga en época de Lluvias	495072.00
Volumen de descarga en época de Estío	398212.42
TOTAL VOLUMEN ANUAL	893284.42

Fuente: Elaboración propia.

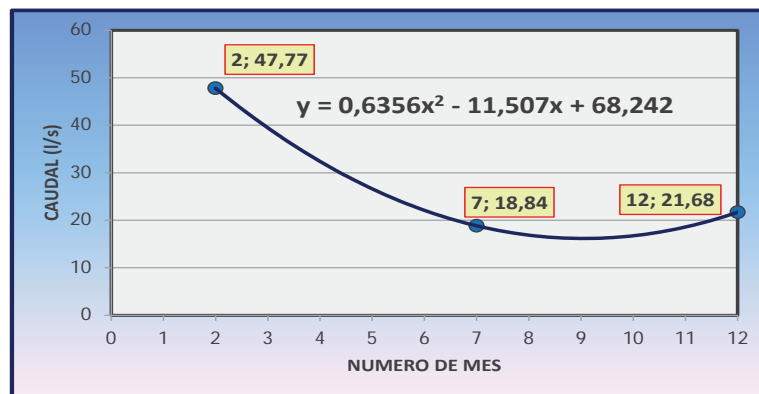
Generación del Volumen de Descarga Mensual.

Para determinar la proyección mensual de los caudales de descarga total mensual se ha utilizado los datos del inventario de manantes realizado por CEDEP AYLLU en diciembre del año 1990 con 21.68 l/s para esta zona; dato de PRONAMACHCS en julio del año 2007 con un caudal de 18.84 l/s y el inventario actual realizado para la presente tesis el mes de febrero del año 2015 con un caudal de 47.77 l/s. Con lo cual se generó la ecuación de tendencia polinómica siguiente:

$$Q_{\text{mes } i} = 0.6356 (X^2) - 11.507 (X) + 68.242$$

Teniendo como resultado la gráfica de tendencia de los caudales de descarga mensual a nivel de la cuenca de Sihua.

Gráfico 26. Tendencia de los caudales de descarga mensual.

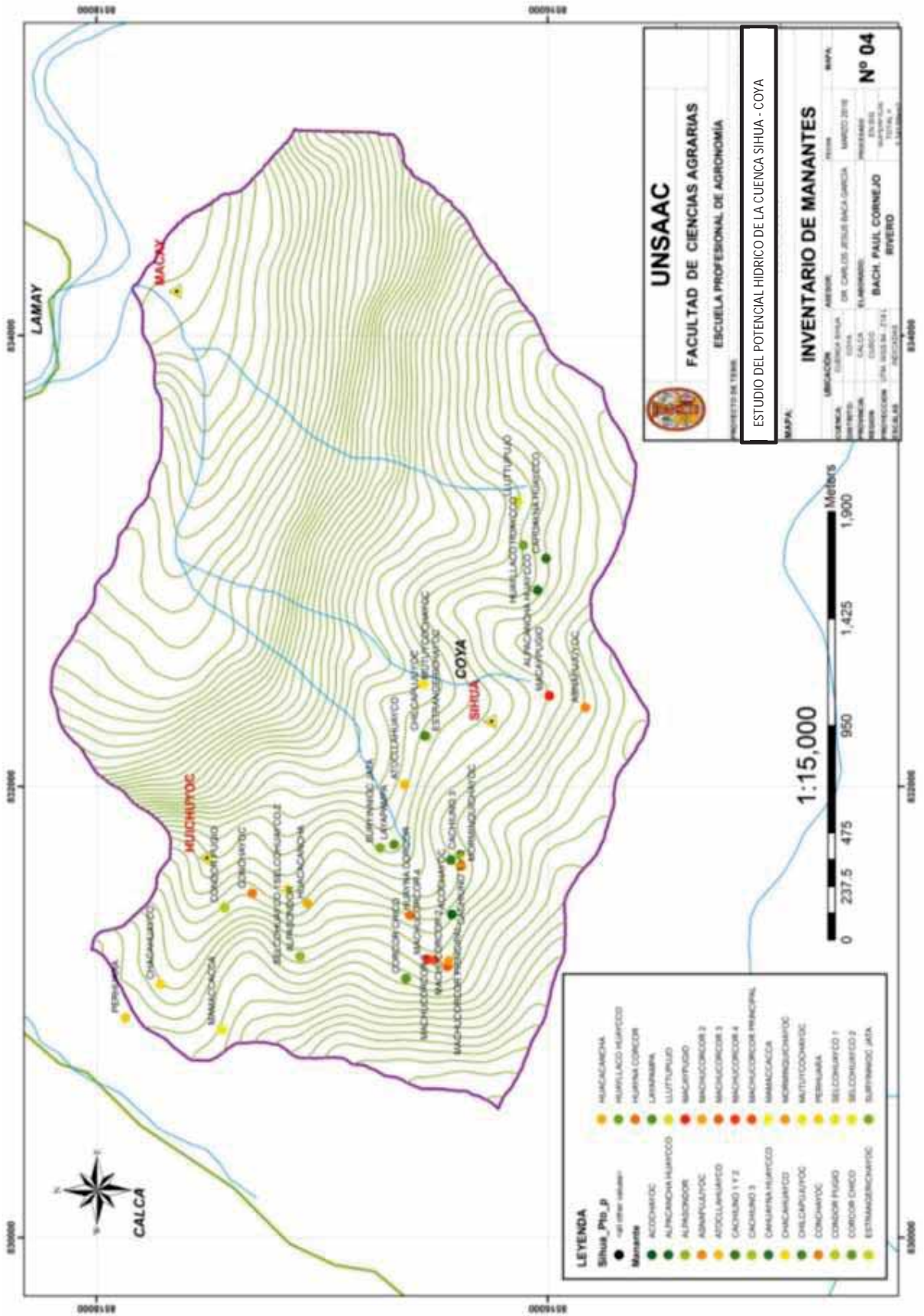


Finalmente, utilizando la ecuación de tendencia polinómica, se ha generado los posibles caudales de descarga mensual para los meses faltantes como los observados en el cuadro siguiente:

Cuadro 56. Fluctuación del volumen de descarga mensual.

MES	NUMERO DE MES	POLINÓMICA	DESCARGA MENSUAL
		(l/s)	m ³ /mes
ENERO	1	57,37	153 661,42
FEBRERO	2	47,77	115 566,15
MARZO	3	39,44	105 639,85
ABRIL	4	32,38	83 938,29
MAYO	5	26,60	71 237,40
JUNIO	6	22,08	57 235,51
JULIO	7	18,84	50 454,09
AGOSTO	8	16,86	45 169,61
SETIEMBRE	9	16,16	41 893,46
OCTUBRE	10	16,73	44 814,99
NOVIEMBRE	11	18,57	48 140,18
DICIEMBRE	12	21,68	58 079,50
TOTAL VOLUMEN ANUAL			875 830,44

Fuente: Elaboración propia.



4.12 Inventario de sistemas de aprovechamiento

En esta cuenca encontramos 11 sistemas de aprovechamiento en las comunidades pertenecientes a esta, encontrándose (5) sistemas para consumo humano, (6) sistemas de riego, (2) sistemas de canales revestidos y a tajo abierto de irrigación, (4) sistemas de riego por aspersion, 4 sistemas de almacenamiento/reservorio.

Si bien en esta cuenca el sistema de riego por aspersion es la que tiene mayor aceptación por los beneficiarios los caudales de aporte hacen insuficiente satisfacer la demanda en época de estío.

En la mayor parte de todos los sistemas de aprovechamiento se vio la falta de mantenimiento, en algunos casos por falta de capacitaciones en el uso y mantenimiento de los mismos, pero mayormente se debe a la desorganización de la mayoría de las comunidades pertenecientes a esta cuenca.



Fotografía 27. Reservorio de la parte media falta de mantenimiento

4.13 Oferta hidrológica generada

Para estimar la oferta hídrica generada para periodos extendidos, se ha usado el modelamiento hidrológico “**luvia – escurrimiento**” y la generación de caudales medios mensuales para la cuenca en estudio, se ha empleado el Modelo Hidrológico de Lutz Scholz.

4.13.1 Caudales medios mensuales para periodos extendidos: datos de entrada al programa Lutz Scholz:

Cuadro 57. Parámetros geomorfológicos.

Área de la cuenca en Km ² =	A =	7.9724	Km ²
Altura media de la Cuenca msnm =	Hm =	3500	msnm.
Temp. Med. anual Est Referen °C =	Te =	9,49	°C
Lat. Sur C.G. cuenca ° ' " =	LS =	13° 25' 12.06"	
Long. Oeste C.G. de la cuenca ° ' " =	LW =	71° 56' 26.95"	
Precipitación media cuenca mm/año =	Pc =	673,2	mm/año.
Radiación extraterrestre cuenca mm/año =	Ra =	2031,4	mm/año
Duración de la temporada seca días =	TD =	214,0	días
Evapotranspiración de Referencia	ETo	1197,0	mm/año

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 58. Calculo de lámina de retención de la cuenca (r): tabla de cálculo

TIPO DE LAMINA	
Acuíferos	300
Lagunas	500
Nevados	500

Fuente: LUTZ Scholz.

Así mismo, según el mapa de acuíferos, se ha obtenido el dato siguiente en el que: los acuíferos de **Muy buena, buena y regular productividad**, cubren un área de 410.07 ha; y los acuíferos de **Pobre productividad** y los **no acuíferos** miden 387.17 ha con respecto al área de la cuenca:

Cuadro 59. Lámina de Retención (R)

NOMBRE DE CUENCA	ÁREA CUENCA (Km ²)	ÁREA			TOTAL	TOTAL
		Acuíferos (mm/m ²)	Lagunas (mm/m ²)	Nevados (mm/m ²)	Lamina (mm/m ²)	Retención (mm/año)
SIHUA	7,972	1230,21	0,00	0,00	1230,2	154,3

Fuente: Elaboración propia.

Determinación del coeficiente de escurrimiento

a) Déficit de Escurrimiento (Do, D1)

$Do = 0.872 \times Pc + 1.032 \times ETP - 1380 =$	442,4	mm/año
$D1 = Pc / (0.9 + Pc^2/Ct^2)^{1/2} =$	449,1	mm/año

Para la estimación del coeficiente de escurrimiento, se ha utilizado el criterio de selección en base diversas fórmulas generadas por el mismo programa.

Coeficiente de escurrimiento (C)

$C5 = 3.16E12 \times Pc^{0.571} \times ETP^{-3.686}$	C =	0,35
$C1 = 0.914 - 2.35E-4 \times Pc - 0.0581 \times Tc$	C1	0,20
$C2 = 0.682 - 0.0526 \times TC - 1.36E-4 \times Tc^2$	C2	0,17
$C3 = 1.813 - 1.87E-4 \times Pc - 1.12E-3 \times ETP$	C3	0,35
$C4 = 5.21 - 7.31E-3 \times ETP + 2.68E-6 \times ETP^2$	C4	0,30
$C7 = (Pc - Do) / Pc$	C7	0,34
$C8 = (Pc - D1) / Pc$	C8	0,33
CRITERIO DE SELECCIÓN	C =	0,17

Dónde:

Pc = Precipitación anual de la cuenca

Tc = Temperatura media anual de la cuenca

ETP = Evapotranspiración de referencia.

Do, D1 = Déficit de escurrimiento.

Determinación del Coeficiente de Agotamiento (A)

Coeficiente de Agotamiento.

$a1 = -0.00252 \times \ln(Ar) + 0.034$	a1 =	0,02877
$a2 = -0.00252 \times \ln(Ar) + 0.030$	a2 =	0,02477
$a3 = -0.00252 \times \ln(Ar) + 0.026$	a3 =	0,02077
$a4 = -0.00252 \times \ln(Ar) + 0.023$	a4 =	0,01777
Decisión para hallar el coeficiente de agotamiento =	a1 =	0,01777

Estimación de la Precipitación Efectiva PEI, PEII, PEIII.

La precipitación efectiva se calcula mediante la ecuación de un polinomio de quinto grado, elaborado por la Misión Técnica Alemana en 1980 para el Ex - Programa Nacional de pequeñas y medianas irrigaciones – Plan Meris II.

$$PE = a_0 + a_1P + a_2P^2 + a_3P^3 + a_4P^4 + a_5P^5 \quad (1)$$

Dónde:

PE = precipitación efectiva mensual (mm/mes).

P = precipitación total mensual (mm/mes).

a_i = coeficiente del polinomio.

$a_0 = 0$

Coeficientes de precipitación efectiva.

CUENCA	Cv entre C1 Y C2	Valores	Comprobación
SIHUA	C1 = (Ce*Pc - PE II)/(PI - PII) C2 = (Ce*Pc - PE I)/(PII - PI)	0.497 0.503	1

Cuadro 60. Condición que debe cumplir la precipitación para el cálculo de la precipitación efectiva.

CURVA P.E	CONDICIÓN		
Cv I	SI P >= 177.8 m.m	PE = P -	120.6
Cv II	SI P >= 152.4 m.m	PE = P -	86.4
Cv III	SI P >= 127.0. m.m	PE = P -	59.7
Cv IV	SI P >= 101.6 m.m.	PE = P -	54.6
Cv V	SI P >= 76.2 m.m.	PE = P -	39.4

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 61. Precipitación mensual Efectiva.

MES	TOTAL	Precipitación Mensual Efectiva			
	P	PE I	PE II	PE III	PE
	Mm	mm/mes	mm/mes	mm/mes	mm/mes
JUL	9,9	0	1,1	2,3	0,6
AGO	10,8	0	1,2	2,6	0,6
SET	18,1	0	1,9	4	1
OCT	40,4	0,6	4,3	8,2	2,5
NOV	65,1	2,4	9,4	16,4	5,9
DIC	97,4	8	22,8	37,8	15,4
ENE	140,1	26	54,5	80,4	40,3
FEB	117,7	14,7	36	57,5	25,4
MAR	105,3	10,2	27,5	44,9	18,9
ABR	44,9	0,8	5	9,3	2,9
MAY	13,2	0	1,5	3	0,8
JUN	10,3	0	1,2	2,4	0,6
TOT.	673,2	62,7	166,4	268,8	114,9

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 62. Caudales mensuales y parámetros de regresión triple.

CONTRIBUCIÓN * RETENCIÓN				CAUDALES			PARÁMETROS		
GASTO		ABASTO		MENSUALES			REGRESIÓN		
Bi	Gi	ai	Ai	GENERADOS		AFOR	Qt	Qt - 1	PE t
mm/me	mm/me	mm/me	mm/me	mm/me	m³/s	m³/s	mm/me	mm/me	mm/me
s	s	s	s	s			s	s	s
0,11	12,57			13,2	0,039	0,018	13,2	23,5	0,6
0,07	8,00			8,6	0,026		8,6	13,2	0,6
0,04	4,57			5,6	0,017		5,6	8,6	1,0
		0,00	0,00	2,5	0,007		2,5	5,6	2,5
		-0,05	-7,72	13,6	0,042		13,6	2,5	5,9

		-0,35	-54,01	69,4	0,207		69,4	13,6	15,4
		-0,40	-61,72	102,0	0,304		102,0	69,4	40,3
		-0,20	-30,86	56,3	0,186	0,048	56,3	102,0	25,4
		0,00	0,00	18,9	0,056		18,9	56,3	18,9
0,59	67,44			70,3	0,216		70,3	18,9	2,9
0,34	38,86			39,7	0,118		39,7	70,3	0,8
0,20	22,86			23,5	0,072		23,5	39,7	0,6
1,35	154,3	-1,00	-154,31	423,6	0,108	0,033	423,6	423,6	114,9

Fuente: Elaboración propia.

4.13.2 Generación de caudales mensuales para períodos extendidos.

El método hidrológico presentado anteriormente permite determinar los caudales mensuales del año promedio con una precisión satisfactoria. Para determinar, además de los promedios, otros parámetros estadísticos, sobre todo la desviación tipo que se necesita para el cálculo de descargas sobre un nivel de probabilidad predeterminado, se requiere generar datos para un período extendido. Un método apropiado para la generación de descargas consiste en una combinación de un proceso Markoviano de primer orden.

$$Q_t = b_1 + b_2 Q_{t-1} + b_3 PE_t + S Z_t \sqrt{1 - R^2} \quad (18)$$

Dónde:

Q_t = caudal del mes t.

Q_{t-1} = caudal del mes anterior (t-1).

PE_t = precipitación efectiva del mes t.

S = error estándar del estimado.

Z_t = variable aleatoria normal independiente (0,1) del mes t.

R^2 = coeficiente de determinación múltiple.

b_1, b_2, b_3 = coeficientes de regresión lineal múltiple.

b_1 = factor constante (caudal básico).

Procedimiento para la generación de descargas medias mensuales para períodos extendidos es la siguiente:

- Cálculo de los parámetros del modelo b_1, b_2, b_3, S y R^2 ; con el resultado de la generación de caudales mensuales para el año promedio, efectuando la regresión lineal múltiple entre el caudal del mes t (Q_t) como variable dependiente, caudal del mes anterior (Q_{t-1}) y la precipitación efectiva del mes t (PE_t) como variables independientes.

Estadísticos de regresión triple.

Resumen					
<i>Estadísticas de la regresión</i>					
Coefficiente de correlación múltiple	0,72130532				
Coefficiente de determinación R ²	0,52028136				
R ² ajustado	0,41367722				
Error típico	24,5804644				
Observaciones	12				
ANÁLISIS DE VARIANZA					
	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	2	5897,58694	2948,793472	4,88049857	0,036680873
Residuos	9	5437,79306	604,1992285		
Total	11	11335,38			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>	<i>Inferior 95,0%</i>	<i>Superior 95,0%</i>
Intercepción	16,868236	10,824234	1,558377	0,153573	-7,617884	41,354356	-7,617884	41,354356
Variable X 1	0,058950	0,293391	0,200928	0,845222	-0,604745	0,722646	-0,604745	0,722646
Variable X 2	1,707657	0,733076	2,329439	0,044788	0,049323	3,365990	0,049323	3,365990
Análisis de los residuales								
<i>Observación</i>	<i>Pronóstico para y</i>	<i>Residuos</i>	<i>Residuos estándares</i>					
1	19,27817	-6,07817	-0,27337					
2	18,67098	-10,07098	-0,45296					
3	19,08287	-13,48287	-0,60641					
4	21,46750	-18,96750	-0,85309					
5	27,09079	-13,49079	-0,60677					
6	43,96788	25,43212	1,14385					
7	89,77796	12,22204	0,54970					
8	66,25566	-9,95566	-0,44777					
9	52,46186	-33,56186	-1,50949					
10	22,93460	47,36540	2,13033					
11	22,37858	17,32142	0,77906					
12	20,23316	3,26684	0,14693					

Estadísticos de Regresión

b1= 16,868	b2= 0,059	b3= 1,708	r= 0,721	S= 24,580
-------------------	------------------	------------------	-----------------	------------------

$$S(1-r^2)^{1/2} = 17,025$$

Ecuación regresión múltiple tipo Markoviano para la cuenca SIHUA

$$CM_t = 16.868 + 0.059*CM_{t-1} + 1.708*PE_t + 17.025*Z$$

- Cálculo de la precipitación efectiva mensual para el registro de la precipitación mensual de cada cuenca.
- Generación de números aleatorios normales independientes con distribución normal con media cero y variancia unitaria (0,1). (ver en anexos)
- Generación de descargas medias mensuales para períodos extendidos con la información de los pasos anteriores mediante la ecuación (18).

Generación de caudales para periodos extendidos.

Cuadro 63. Precipitación efectiva extendida entre I y II.

Nº	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1	1980	52,7	71,1	71	10	1,2	0,5	1,3	1,8	5,4	10,3	10,1	26
2	1981	71,1	82,3	37,4	7,4	3,6	0,7	1,5	2,1	6,6	16	54	29
3	1982	121,6	24,3	74,8	17,1	2,6	1,5	3,7	2,2	4,2	8,4	26,8	12,7
4	1983	19,4	34,7	16,4	7,2	1,8	2,7	3,7	1,9	4,4	6	17,4	13,3
5	1984	129,1	79,5	32,5	11,8	1,8	2,6	3,5	2,3	3,6	8,8	15,5	13,8
6	1985	49	54,1	59,5	12,8	3,3	4,6	1,7	1,1	5,6	10,6	18,7	56
7	1986	44	81,3	99,7	17,4	2,9	1,9	2	1,5	3,2	3,6	4,2	15,5
8	1987	142,3	17,6	27,9	6	2,9	2,6	2,3	1,5	2,2	3,9	22,6	29
9	1988	98,3	54,6	91,4	20,7	3,2	0,7	1,4	1,1	2,3	3,8	6,3	47,6
10	1989	86,1	90,9	51,5	8,8	2,3	2,5	0,7	5,6	1,6	5,4	6,2	15,2
11	1990	40,6	17,6	9,8	9,5	2,9	5,4	2,1	1,4	2,8	10	56,1	91,3
12	1991	34,7	47	42,3	7	5,4	2,9	0,6	1,5	3,2	6	16,5	28,9
13	1992	34,7	39,8	26,7	7,6	1,9	4,9	2,5	4,9	3,5	7,7	44,8	12,6
14	1993	107,5	27,9	13,3	9	3,1	1,7	2,9	4	3,7	3,8	21,1	59,2
15	1994	78,6	51,6	73,6	9,6	2,5	1	1,2	0,8	3,4	7,9	7	43,5
16	1995	75,2	48,4	59,4	3,6	2,2	1	1,3	1,3	3,2	9,7	10,9	27,9
17	1996	85,9	36,2	23,2	15,8	3,5	1	1	4,2	5,7	12,2	18,1	45,6
18	1997	91,8	58,2	66,9	5,7	2,1	1,2	3,3	3,6	5	15,6	83,2	35,5
19	1998	31,6	51,4	9,8	7	2	1,9	1,7	1,7	2,8	7	7,5	12,3
20	1999	133,6	48,6	52,9	9,4	2,5	2,2	3,4	1,5	4,8	5	8,4	30
21	2000	107,4	71,8	91	17,4	5,2	8,1	2,2	2,2	4,3	8,5	14,3	32
22	2001	114,7	100,1	90,2	13,3	3,6	2,3	4	3,3	4,7	11,5	24,5	48,5
23	2002	83,2	71,3	44,1	10,3	3,9	2,8	6,1	2,6	4,2	9,9	27,3	65,8
24	2003	118,7	79,4	75	15	2,7	2,4	1,2	3,5	2,4	8,6	11,5	50,8
25	2004	156,4	118,7	38,9	9,7	4,6	3,2	2,7	3	6,3	5,8	8,7	30,4
26	2005	51,7	35,5	35,5	6,2	2,9	3	3	2,4	2,8	11,3	23	63,6
27	2006	99,3	68,3	72,8	7,7	5,4	3,5	1,3	2,8	3,4	11	13,7	44
28	2007	49,3	14,6	41,6	15,3	3,1	2,5	3,5	3,9	2,6	9	17,9	18,8
29	2008	66,9	30,5	22,6	7,7	3,6	2,6	3,4	5	4,8	9,1	24	50,9
30	2009	53,5	45,2	39	9	2,8	1,8	2,6	1,3	3,9	4,6	17,2	22,4
31	2010	128,1	56,3	63,5	5,5	2,4	0,9	1,9	1,6	3,2	15,1	12,5	116,9
32	2011	60,4	101,6	44,4	8,5	1,6	1,9	2,5	2,1	5,9	7,4	8,7	57,1
33	2012	49,3	96	22	7,9	3	1,1	1,2	1,5	4,6	3,2	32,1	67,2
34	2013	70,2	119,1	32,2	5,2	3,3	2,7	1,4	3,6	2,3	38,9	15	84,2
35	2014	81,4	39,7	34,6	8,2	3	0,5	1,2	2,1	4,3	6,8	4	52,8

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 64. Determinación del modelo para periodos extendidos.

Caudales Generados para la Cuenca En mm.													
		b1 =	16,868										
		b2 =	0,059										
		b3 =	1,70766	$S \cdot (1 - r^2)^{1/2} =$		17,025							
		S =	24,5805	Q. Anterior =		13,6 mm.							
		r =	0,721	16,868	+	0,059 *	CM_{t-1} +	1,708*	PE_t +	17,02 *	Z		
Nº	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1	1980	94,2	132,8	135,4	41,1	23,1	36,8	20,1	17,8	32,4	57,6	39,1	35,3
2	1981	125,9	139,1	86,4	45,9	41,6	16,5	2,3	19,4	17,1	39,5	86,6	63,6
3	1982	209,5	65,7	142,8	48,1	2,5	20,3	4,6	32,3	31,8	32,2	32,9	11,6
4	1983	37,8	73,4	26,0	24,8	9,5	47,1	40,4	16,4	12,0	35,7	52,4	17,8
5	1984	241,2	153,4	90,9	22,3	5,4	12,5	45,8	62,2	12,6	25,3	51,0	11,1
6	1985	90,8	116,3	108,1	60,3	57,9	-1,9	15,3	20,1	-8,6	39,2	62,3	124,8
7	1986	69,6	180,9	182,9	22,8	14,7	22,1	38,1	10,2	39,8	-1,0	27,2	33,7
8	1987	292,9	64,7	53,9	32,8	13,1	40,5	7,2	56,6	39,3	10,1	78,8	51,3
9	1988	200,0	105,3	177,6	70,2	35,6	3,3	4,2	24,5	5,0	-11,0	8,7	109,4
10	1989	183,9	196,0	124,2	53,7	15,1	12,8	-2,9	24,2	31,1	48,2	43,1	43,3
11	1990	108,6	53,2	16,2	29,2	-5,1	50,1	0,3	31,7	45,3	28,4	100,5	179,7
12	1991	102,3	75,7	121,6	21,6	35,1	41,9	11,1	33,4	41,8	4,4	29,4	77,4
13	1992	110,6	102,3	74,5	12,7	10,3	18,8	5,0	5,9	41,9	32,9	125,7	14,1
14	1993	209,7	67,6	54,8	6,1	11,2	17,9	10,2	14,7	29,5	11,5	62,2	118,7
15	1994	108,3	113,3	151,5	30,8	50,8	11,8	1,7	38,0	33,9	52,1	12,0	100,4
16	1995	102,2	76,6	133,4	13,2	-0,2	-3,6	22,5	24,6	11,6	58,0	52,3	80,1

17	1996	186,1	83,0	94,2	69,7	28,9	20,0	32,9	-0,9	33,1	19,6	38,5	101,6
18	1997	172,5	147,3	109,5	34,7	34,9	4,5	18,1	3,1	-1,4	20,8	140,3	117,5
19	1998	81,3	92,7	21,1	24,4	40,3	38,3	46,7	-28,6	3,2	19,7	18,9	39,6
20	1999	239,1	124,2	112,6	20,3	9,5	22,0	28,1	5,1	18,5	19,0	18,7	81,2
21	2000	200,2	175,5	195,6	35,4	9,9	23,7	19,1	26,7	52,3	31,4	48,0	73,6
22	2001	206,9	174,2	185,3	64,6	16,8	24,1	10,0	36,4	46,3	34,5	55,8	97,2
23	2002	165,3	143,5	96,3	40,1	10,7	38,7	33,5	-1,3	15,4	9,0	69,2	138,6
24	2003	232,0	168,5	176,8	56,5	7,4	43,8	43,6	69,0	2,9	51,8	64,1	85,2
25	2004	262,8	252,3	80,6	20,4	60,4	1,0	16,5	20,5	42,8	35,8	32,2	57,3
26	2005	100,2	96,3	70,8	44,4	41,2	35,0	36,0	39,9	43,1	41,3	71,7	120,4
27	2006	147,3	108,8	145,6	30,4	19,6	37,8	39,0	21,0	3,9	40,9	62,4	70,1
28	2007	68,2	72,9	90,4	35,9	43,1	27,9	-1,5	7,6	33,1	50,9	37,2	48,8
29	2008	181,8	94,4	34,8	53,8	14,5	34,0	64,5	28,4	5,4	9,9	60,5	105,0
30	2009	118,6	119,5	111,2	6,4	13,3	-3,5	-11,1	19,6	-0,5	5,8	69,5	50,3
31	2010	219,8	129,5	123,2	17,1	45,6	10,2	8,7	34,8	29,7	69,5	46,9	232,4
32	2011	114,2	186,4	91,4	46,6	14,9	25,3	2,5	13,8	36,3	18,9	30,2	106,8
33	2012	108,2	183,4	60,0	20,4	39,3	28,5	13,3	5,6	3,3	5,4	51,2	121,2
34	2013	120,2	229,8	130,6	43,5	48,7	31,8	-18,6	14,7	-0,9	90,1	8,2	179,6
35	2014	172,0	99,0	50,4	-8,6	16,0	32,5	22,6	44,0	19,0	37,1	42,5	75,8

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 65. Estimación de números aleatorios.

NÚMEROS ALEATORIOS CONSIDERADOS ENTRE (Z) =										(MEDIA, D.STD)		-0,1	1,0
Nº	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1	1964	0,079527	-1,65964	-1,27578	-0,75293	-0,73628	1,281501	1,14678	-0,24852	0,770931	-0,4438	-0,14312	1,231474
2	1965	-0,13516	0,722503	-0,49281	-0,53524	0,200655	-0,88996	1,94058	-0,39568	1,029139	0,062962	-0,45761	0,862894
3	1966	-1,12002	-1,17134	1,323667	0,948678	-1,34813	-1,10511	-0,47192	1,295359	1,610156	-0,46842	0,018705	-1,6539
4	1967	0,059053	-1,5426	-0,56532	-0,17286	-1,7737	-1,33889	0,885766	-1,97328	0,570444	0,758836	-0,42631	0,018169
5	1968	0,641222	-0,23505	2,039669	-1,83073	0,164794	-0,34862	1,051612	-1,84439	-1,06662	0,223894	-0,64188	0,528451
6	1969	-1,53188	-0,63204	-0,54293	-0,40521	-0,95735	-1,29377	0,248989	-0,82779	0,43319	-1,11645	0,20581	1,962671
7	1970	-0,65661	-0,07868	1,032261	0,256414	-0,48815	0,955056	-1,02383	0,162004	0,454464	-0,37016	0,332484	-0,54089
8	1971	-1,8336	0,094885	0,287453	1,085045	-0,05921	0,555385	0,818774	0,272257	-0,7698	2,380839	-2,01519	1,158974
9	1972	-1,64318	-1,38311	0,055911	-0,01465	0,00241	1,025767	0,856915	-1,0215	-0,46356	-1,67717	-1,60681	-0,32925
10	1973	-0,70886	-0,95	-0,56846	-1,00185	0,164484	0,669576	-1,90418	-1,45469	0,435376	-1,65812	1,031478	0,84965
11	1974	1,029528	0,217153	-0,10119	1,523276	0,36631	-0,44938	0,602149	-1,36638	-1,30821	-2,41896	-0,42815	-2,57336
12	1975	-2,09404	-0,06411	-0,2441	1,117592	0,774023	-0,15302	0,96903	-0,34732	0,395512	0,184601	0,40355	0,708962
13	1976	-0,69438	-0,43218	-0,90772	0,241027	-1,71855	-0,17962	-0,79536	-1,04314	0,337986	-0,40023	-1,18235	-0,36084
14	1977	0,166112	0,87663	-1,79627	-0,43244	-0,08237	0,343093	2,615416	-1,2643	-0,33256	0,88181	-0,72181	0,848224
15	1978	0,971113	-0,54835	0,001874	1,240173	1,131268	-0,40538	0,255465	0,319334	-0,83807	1,212429	-2,55895	-0,33629
16	1979	1,204173	0,648663	0,7228	1,929639	1,07028	-1,04631	0,090353	0,948678	-0,29847	0,030336	2,218057	0,709356
17	1980	2,146917	0,696039	-0,32288	-0,16146	1,092101	-0,89019	0,153871	-0,20518	-0,41161	-0,57902	-0,60041	0,123283

18	1981	-0,35325	-0,478	1,060832	0,792738	0,211674	-0,7662	-0,47132	-0,91328	-1,39253	0,208702	1,87455	-1,12132
19	1982	-0,80484	-0,88452	-0,29464	0,197379	0,364184	-1,79054	-2,06352	-0,537	-1,16982	-0,8384	-0,70112	1,49415
20	1983	1,749868	-0,0955	-1,64971	1,801673	0,887806	-1,19428	-0,58545	-0,81333	0,686423	1,093074	0,166035	-1,56563
21	1984	-0,85902	-0,92589	1,032913	-1,27302	0,447351	-1,42071	0,518626	-0,64885	-1,84523	0,495571	-0,702	-1,16062
22	1985	-1,64822	0,043885	2,111492	0,366801	-2,3605	0,928242	-0,58255	0,852287	-0,57983	-1,90091	0,754965	-0,08836
23	1986	-0,19816	0,090199	0,11866	-1,96058	0,953851	1,183735	-0,5745	-1,74669	-0,01427	0,321509	-0,73979	-0,04519
24	1987	1,060564	1,197095	-0,74574	0,744831	-0,46169	1,327903	0,233395	-0,64706	-0,08321	0,304876	-1,12592	-0,55075
25	1988	-0,16193	0,029954	-1,43943	0,097652	0,257442	0,877753	-0,77951	0,608213	2,464167	-0,49229	-2,14082	-0,15952
26	1989	0,075461	0,856032	1,792828	-1,2318	0,244809	-0,07071	3,401074	1,68598	2,150755	-0,87304	-0,69594	1,127937
27	1990	0,624865	-1,13345	0,945324	-1,52818	1,350027	0,100574	-1,16318	0,019622	1,012395	-0,89281	-1,18081	1,359413
28	1991	1,051346	-0,64301	-0,62654	-0,40081	-2,31579	-0,69302	0,075154	-0,99029	1,646736	0,23206	1,903709	-0,19114
29	1992	-0,60068	0,383299	0,26504	-0,17356	0,173408	0,578746	0,970133	0,084056	0,198627	0,43849	-0,69059	1,253152
30	1993	0,144973	-2,50609	-1,94159	-0,40181	-0,42648	0,826822	0,878765	2,036613	-1,15137	-0,34569	-0,80315	0,474918
31	1994	0,284265	-0,96269	0,989667	-0,85075	-0,40571	0,638499	-1,42788	1,45073	1,688522	-1,15315	-0,26338	-1,23902
32	1995	-0,5962	0,57513	-0,00868	0,056065	0,928712	1,173012	-1,67375	-0,26964	0,629988	-0,59173	-0,4841	0,33313
33	1996	0,421959	-0,45871	-0,11535	-1,45712	0,412444	0,360591	0,68623	1,253657	0,235518	1,615772	0,251515	0,940076
34	1997	-1,19851	-0,61698	-0,11319	-0,41803	0,588359	1,252315	0,338634	-0,10142	1,453145	1,883491	-1,11034	-0,30792
35	1998	-1,3318	-1,08477	-0,40164	-0,04825	1,49159	-1,06676	1,106519	2,055858	-0,69838	0,775882	-0,63841	0,876967

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 66. Caudales medios mensuales generado.

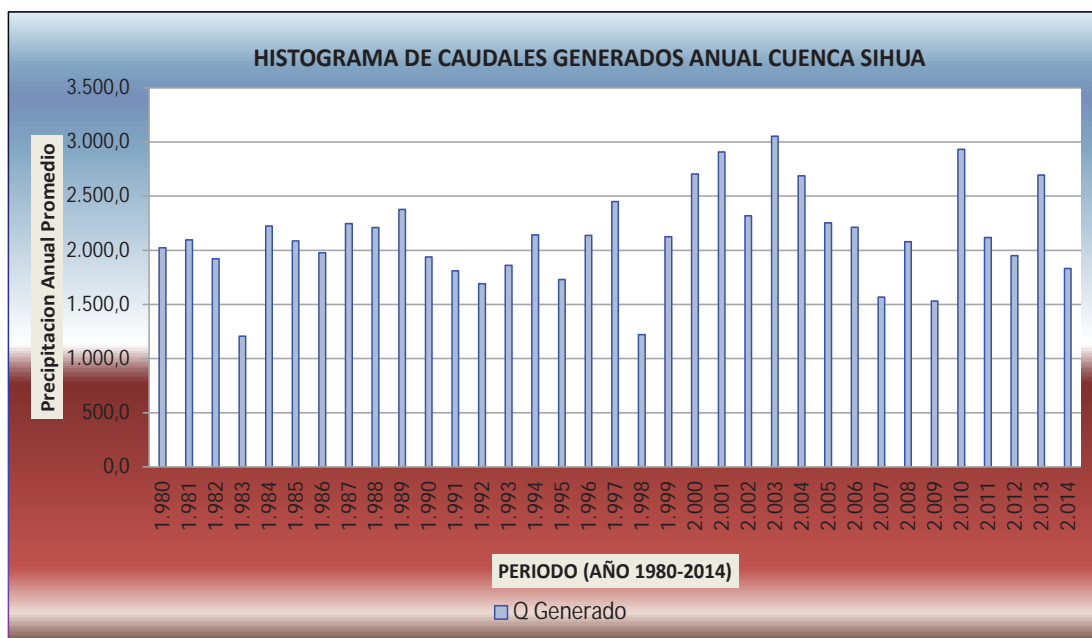
SECTOR : SIHUA Latitud 13°25'12,06" S Departamento : CUSCO
 Longitud 71°56'26,95" W Provincia : CALCA
 RIO : SIHUA Altitud 3.500 msnm Distrito : COYA
 AREA : 7,97 Km2

N° REG.	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1	1.980	374,9	458,3	257,2	141,1	123,9	50,8	6,8	57,7	52,5	117,4	266,4	189,3	2096,3
2	1.981	623,7	216,5	425,2	148	7,3	62,5	13,7	96,1	97,8	95,9	101,1	34,6	1922,4
3	1.982	112,5	242	77,2	76,1	28,2	145	120,2	48,9	36,9	106,2	161,3	53	1207,5
4	1.983	718,1	488,2	270,7	68,4	16	38,4	136,5	185,1	38,8	75,3	156,8	33	2225,3
5	1.984	270,2	383,4	321,9	185,6	172,4	0	45,6	59,8	0	116,6	191,5	371,6	2086,4
6	1.985	207,1	596,1	544,4	70,2	43,9	68,1	113,3	30,4	122,6	0	83,5	100,2	1976,7
7	1.986	871,9	213,3	160,4	100,9	39,1	124,6	21,4	168,3	120,8	30	242,2	152,7	2245,6
8	1.987	595,2	335	528,8	215,9	105,9	10,2	12,4	72,8	15,3	0	26,8	325,7	2211,1
9	1.988	547,4	646	369,7	165,1	44,9	39,4	0	71,9	95,8	143,6	132,5	128,8	2376,5
10	1.989	323,4	175,2	48,2	89,8	0	154,2	0,8	94,3	139,3	84,6	309,1	534,9	1938,5
11	1.990	304,6	249,6	361,9	66,4	104,6	129	33,2	99,4	128,5	13,1	90,4	230,3	1811
12	1.991	329,3	325,6	221,8	39	30,6	57,8	14,9	17,7	128,9	98,1	386,6	42,1	1692,4
13	1.992	624,1	222,6	163	18,8	33,2	55,1	30,4	43,8	90,7	34,3	191,2	353,3	1860,5
14	1.993	322,4	373,3	450,9	94,6	151,2	36,2	5,1	113,1	104,4	155	36,8	298,8	2141,8
15	1.994	304,1	252,3	397,2	40,6	0	0	67,1	73,3	35,8	172,7	161	238,3	1730,6
16	1.995	554	264,2	280,4	214,4	86,2	61,4	97,8	0	101,9	58,3	118,5	302,3	2136,7
17	1.996	513,6	485,4	326	106,8	103,7	13,8	53,8	9,1	0	61,9	431,5	349,7	2450,9
18	1.997	242,1	305,5	62,9	75	120,1	117,7	138,9	0	9,8	58,7	58,1	117,8	1221,4
19	1.998	711,8	409,1	335,3	62,3	28,2	67,7	83,7	15,2	57	56,6	57,5	241,7	2126,1
20	1.999	595,8	558,3	582,2	108,9	29,5	73	56,8	79,5	160,8	93,6	147,6	219,1	2705,1
21	2.000	615,9	574,2	551,6	198,6	50	74	29,9	108,4	142,3	102,7	171,5	289,2	2908,3

22	2.001	492,1	472,7	286,5	123,3	31,7	119	99,6	0	47,3	26,7	212,7	412,4	2320,1
23	2.002	690,6	555,3	526,2	173,8	22	134,9	129,8	205,5	8,8	154,3	197,3	253,6	3052,1
24	2.003	782,2	802,6	239,8	62,7	179,8	3	49	60,9	131,6	106,7	99	170,5	2687,8
25	2.004	298,3	317,2	210,8	136,4	122,7	107,7	107,1	118,8	132,5	122,9	220,6	358,4	2253,4
26	2.005	438,6	358,4	433,3	93,6	58,2	116,2	116,1	62,6	11,9	121,8	192	208,6	2211,3
27	2.006	203	240,2	268,9	110,5	128,3	85,8	0	22,6	101,7	151,4	114,4	145,4	1567,9
28	2.007	541	300,3	103,6	165,5	43,2	104,5	192	84,6	16,5	29,5	186,2	312,6	2079,5
29	2.008	353	393,8	331	19,8	39,6	0	0	58,4	0	17,2	213,7	149,8	1531
30	2.009	654,2	426,8	366,7	52,7	135,7	31,4	25,9	103,5	91,5	206,9	144,4	691,7	2931,4
31	2.010	339,9	614,3	272	143,5	44,5	77,7	7,3	41	111,5	56,3	93	317,8	2118,8
32	2.011	322,1	583,5	178,5	62,8	116,9	87,8	39,5	16,7	10,1	16	157,4	360,7	1952
33	2.012	357,7	757,3	388,6	133,9	145,1	97,8	0	43,8	0	268,3	25,1	534,7	2694,2
34	2.013	511,9	326,1	150,1	0	47,8	100	67,2	131	58,6	110,4	130,8	225,5	1833
35	2.014	374,9	458,3	257,2	141,1	123,9	50,8	6,8	57,7	52,5	117,4	266,4	189,3	2096,3
N° Datos		35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
Media		457,91	409,86	311,31	105,47	71,52	73,08	56,45	69,92	71,47	92,41	160,82	252,95	2123,63
Desv. Estándar		187,67	160,62	144,34	56,21	51,66	44,73	50,97	51,04	51,57	62,08	91,02	149,42	434,70
Q. al 75%		331,3	301,5	214,0	67,6	36,7	42,9	22,1	35,5	36,7	50,5	99,4	152,2	1.830,4
Q. Max.		871,9	802,6	582,2	215,9	179,8	154,2	192,0	205,5	160,8	268,3	431,5	691,7	3.052,1
Q. Min.		112,5	175,2	48,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	25,1	33,0	1.207,5

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 27. Histograma de caudales



Fuente: Elaboración propia.

Determinación de la Disponibilidad Hídrica Generada.

La cuenca Sihua con una superficie de 7.147 Km², presenta buenas áreas potenciales de riego, por consiguiente existen grandes demandas hídricas. Esta cuenca a su vez, aloja importantes reservas hídricas naturales como son acuíferos, que en época de estío son los principales aportantes del recurso al sistema cuenca.

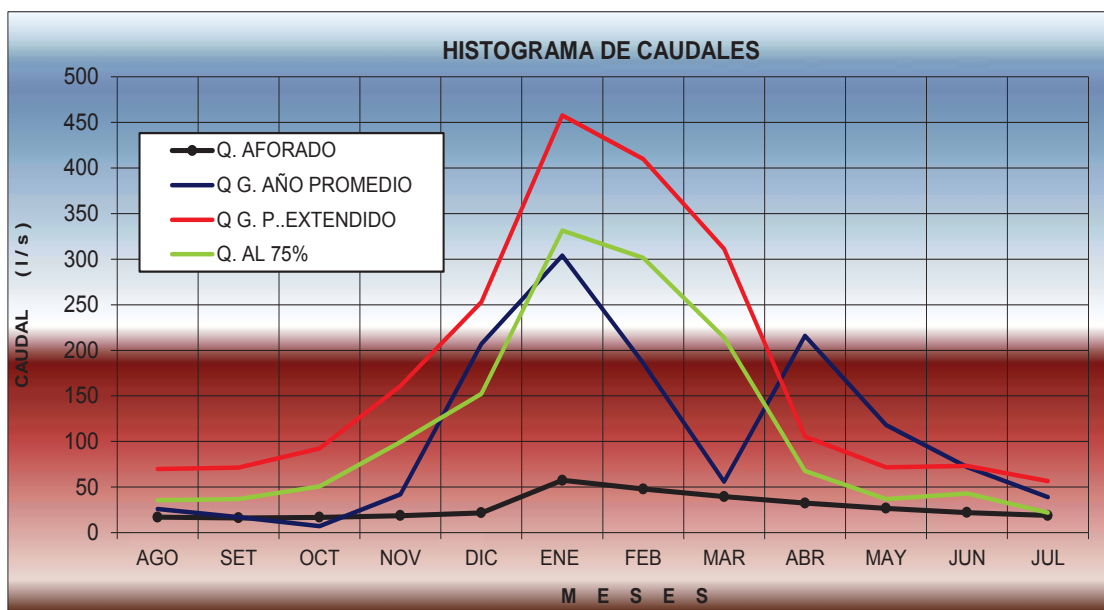
La disponibilidad hídrica de esta cuenca, fue generada a través del modelamiento hídrico de LUTZ SCHOLZ, en el que se hace una comparación entre los caudales aforados versus los caudales generados para el año promedio, año extendido y caudal al 75% de persistencia.

Cuadro 67. Caudales Generados Para el Año Promedio (l/s), Periodos Extendidos, y al 75% de Persistencia y Aforados

MESES	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL
Q. AFORADO	17	16	17	19	22	57	48	39	32	27	22	19
Q G. AÑO PROMEDIO	26	17	7	42	207	304	186	56	216	118	72	39
Q G. P. EXTENDIDO	70	71	92	161	253	458	410	311	105	72	73	56
Q. AL 75%	35	37	51	99	152	331	302	214	68	37	43	22

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 28. Variación mensual de caudales medios cuenca Sihua.



Fuente: Elaboración propia.

4.14 Demanda hídrica.

Esta dada por la cantidad de agua que se necesita para satisfacer las diversas actividades socioeconómicas que se da en la cuenca, en especial la de consumo humano y agrícola. Para el presente estudio se ha dividido en:

4.14.1 Demanda de Agua Poblacional:

Población Actual:

Según el padrón general de la población, en la comunidad se Sihua existe 98 familias con un promedio de 04 miembros por familia lo que hace un aproximado de 392 habitantes.

Cuadro 68. Población actual en la cuenca de Sihua.

UBICACIÓN POLÍTICA				Cuenca	POBLACIÓN
Región	Provincia	Distrito	Comunidad Campesina		
Cusco	CALCA	COYA	Sihua	SIHUA	392

Fuente: Padrón General de la C.C de Sihua 2015.

Población Futura.

Esta se ha determinado en base a una proyección de 20 años de crecimiento poblacional, cuyo cuadro de análisis se presenta a continuación.

La tasa de crecimiento según el INEI para el área rural del distrito de Coya esta entre 1.43%.

Cuadro 69. Tasa de crecimiento poblacional para la zona rural, distrito Coya.

Años	r
1940-1961	0,7
1961-1972	1.4
1972-1981	1.7
1981-1993	1.7
1993-2005	1.3
2005-2014	1.8
Promedio	1.43

Fuente: INEI (www.inei.gob.pe) Junio 2014.

Siendo la población futura de 403 habitantes.

a. Consumo promedio diario (Qm).

Para ello se ha considerado como dotación de agua por habitante por día, la propuesta del Ministerio de Salud para zonas rurales que es de 50 l/hab/día (Manual de Procedimientos técnicos en saneamiento Serie 4 MINSA pág. 17)

$$Qm = \frac{Pf * dotacion (d)}{86400}$$

Dónde:

Qm = Consumo promedio diario (l/s).

Pf = Población futura (hab.).

d = Dotación (l/hab./día).

Remplazando valores se tiene que el consumo promedio diario llega a:

$$Qm_{SIHUA} = 0.233 \text{ l/s.}$$

b. Consumo máximo diario (Qmd) y horario (Qmh)

Según este método propuesto, el consumo máximo diario (Qmd) debe estar entre el 120% y 150% del consumo promedio diario anual (Qm), recomendándose para este caso el valor promedio de 130%.

- Consumo máximo diario (Qmd) = 1.3 Qm (l/s).

En cambio el consumo máxima horario (Qmh) debe ser el 150%, del consumo promedio diario anual (Qm)

- Consumo máximo horario (Qrnh)= 1.5 Qm (l/s).

Reemplazando la información en el ejemplo anterior, se tiene para la cuenca de Sihua:

$$Qmd = 1.3 \times 0.346 = 0.30 \text{ l/s.}$$

$$Q_{mh} = 1.5 \times 0.346 = 0.35 \text{ l/s.}$$

El consumo máximo diario $Q_{md} = 0.30 \text{ l/s}$, serán conducidos por la línea de conducción y el consumo máximo horario $Q_{mh} = 0.35 \text{ l/s}$ ingresarán mediante la línea de aducción a la red de distribución, lo que significa un consumo anual de:

Cuadro 70. Proyección mensual y anual de consumo de agua poblacional en la cuenca Sihua.

Und	Pf	Dotación de Agua Poblacional												TOTAL
	hb	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	m3/año
días		31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365
m3/mes	403	624,98	564,50	624,98	604,82	624,98	604,82	624,98	624,98	604,82	624,98	604,82	624,98	7358,60
m3/mes	Qm	624,98	564,50	624,98	604,82	624,98	604,82	624,98	624,98	604,82	624,98	604,82	624,98	7358,60
m3/mes	Qmd	812,47	733,84	812,47	786,26	812,47	786,26	812,47	812,47	786,26	812,47	786,26	812,47	9566,19
m3/mes	Qmh	937,47	846,74	937,47	907,23	937,47	907,23	937,47	937,47	907,23	937,47	907,23	937,47	11037,91
l/s	Qmh/s	0,26	0,24	0,26	0,25	0,26	0,25	0,26	0,26	0,25	0,26	0,25	0,26	

Fuente: Elaboración propia.

Siendo la demanda anual de $11\,037.91 \text{ m}^3/\text{año}$ para la cuenca de Sihua.

4.14.2 Demanda agrícola:

Está representado por la necesidad de agua que requiere un cultivo para completar su ciclo vegetativo y sigue los ítems siguientes:

Cedula de Cultivo:

Para la elaboración de la cédula de cultivo representativo de los diferentes sectores de la cuenca, se procedió a la verificación en campo y a las encuestas realizadas a los productores de los diferentes sectores de la cuenca, contrastándose con información estadística de la Dirección Regional de Agricultura. Esta información fue consolidada en cuadros resumen con el cual se elaboró la cedula de cultivos y la distribución espacial de los mismos que está conformado predominantemente por el cultivo de maíz y papa como cultivos destinados al autoconsumo en su mayoría, y en muy poca cantidad cultivos como los pastos mejorados de alta demanda hídrica pero muy necesarios para la creciente demanda pecuaria.



Fotografía 28. Cultivo de papa

Cuadro 71. Cedula de cultivo

Cultivos	ÁREA (ha y %)		MODALIDAD DE CULTIVO											
			Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
Papa bajo riego	15,48	5,96%	x	X	x	X	x	x						x
Papa en seco	84,47	32,53%			x	x	x	x	x	x	x	X		
Haba en seco	18,14	6,99%					x	x	x	x	x	X		
Trigo en seco	6,48	2,50%						x	x	x	x	X	x	x
Hortalizas bajo riego	2,34	0,90%	x	X	x	x	x	x	x					
Cebada avena en seco	10,18	3,92%					x	x	x	x	x	X	x	
Maíz bajo riego	14,24	5,48%	x	X	x	x	x	x	x	x				x
Maíz en seco	21,35	8,22%			x	x	x	x	x	x	x	X		
Alfalfa + Dactylis glomerata	87	33,50%	x	X	x	x	x	x	x	x	x	X	x	x
Total área cultivada	259,68	100.0%												

Fuente: Delimitación por imagen satélite y ajustado en campo.

Determinación de coeficiente de cultivo (Kc).

Los coeficientes de cultivo Kc se han determinado a través de tablas pre diseñadas por el PLANMERIS para la zona andina en función a periodos vegetativos.

Cuadro 72. Coeficiente de cultivos Kc.

Cultivos	ÁREA (ha y %)		MODALIDAD DE CULTIVO											
			Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
Papa bajo riego	15,48	5,96%	0,27	0,70	0,93	0,97	0,80	0,33						1,00
Papa en seco	84,47	32,53%			1,00	0,59	0,85	0,97	0,99	0,94	0,74	0,29		
Haba en seco	18,14	6,99%					1,00	0,19	0,69	0,70	0,70	0,29		
Trigo en seco	6,48	2,50%						1,00	0,10	0,31	0,53	0,75	0,84	0,42
Hortalizas bajo riego	2,34	0,90%	1,00	0,16	0,42	0,55	0,59	0,48	0,20					
Cebada avena en seco	10,18	3,92%					1,00	0,10	0,31	0,53	0,75	0,84	0,42	
Maíz bajo riego	14,24	5,48%	0,54	0,79	0,94	0,99	1,00	0,94	0,76	0,32				1,00
Maíz en seco	21,35	8,22%			1,00	0,24	0,65	0,90	0,99	0,94	0,74	0,29		
Alfalfa + Dactylis glomerata	87	33,50%	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	1,00	1,00	1,00	0,70	0,70	0,70
Total área cultivada	259,68	100,0%												

Fuente: Elaboración propia.

Calculo de la demanda agrícola.

Para estimar la demanda de agua que requieren los diversos cultivos existentes en la cuenca, es necesario a más ya de conocer la cédula de cultivo estimar:

A) Requerimiento y módulo de Riego

Para cuantificar el requerimiento de riego, se ha considerado la cédula de cultivos planteado, propuesto para pleno desarrollo. Por otra parte, se han considerado los aportes naturales de agua en términos de precipitación al 75% de probabilidades de ocurrencia. Los coeficientes de cultivo K_c se han determinado a través de tablas pre diseñadas por el PLANMERIS para la zona andina. Así mismo, se ha estimado una eficiencia de riego por aspersión para la zona del estudio en 75% de acuerdo a las condiciones climáticas predominantes, finalmente se ha estimado requerimientos de riego para periodos mensuales, como se muestra en el cuadro. El área agrícola de la cuenca de Sihua es de 259.68 ha, que representa el 32.57 % de área total de la cuenca.

Cuadro 73. Demanda de agua para riego cuenca Sihua.

Descripción	Cédula de Cultivos		Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
			Papa bajo riego	15,48	5,96%	0,27	0,70	0,93	0,97	0,80	0,33			
Papa en seco	84,47	32,53%			1,00	0,59	0,85	0,97	0,99	0,94	0,74	0,29		
Haba en seco	18,14	6,99%					1,00	0,19	0,69	0,70	0,70	0,29		
Trigo en seco	6,48	2,50%						1,00	0,10	0,31	0,53	0,75	0,84	0,42
Hortalizas bajo riego	2,34	0,90%	1,00	0,16	0,42	0,55	0,59	0,48	0,20					
Cebada avena en seco	10,18	3,92%					1,00	0,10	0,31	0,53	0,75	0,84	0,42	
Maíz bajo riego	14,24	5,48%	0,54	0,79	0,94	0,99	1,00	0,94	0,76	0,32				1,00
Maíz en seco	21,35	8,22%			1,00	0,24	0,65	0,90	0,99	0,94	0,74	0,29		
Alfalfa + Dactylis glomerata	87,00	33,50%	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	1,00	1,00	1,00	0,70	0,70	0,70
ÁREA TOTAL	259,68	100%												
ÁREA CULTIVADA	ha		119	119	225	225	253	259,68	244	242	228	228	104	123
	%		46%	46%	87%	87%	98%	100%	94%	93%	88%	88%	40%	47%

Kc ponderado		0,63	0,70	0,87	0,65	0,80	0,74	0,90	0,87	0,83	0,48	0,68	0,76
ETP	Mm	118,74	130,49	124,65	129,05	128,5	107,29	99,19	88,81	107,11	109,44	114,26	115,21
ETR (Consumo Teórico)	Mm	74,91	91,36	108,36	83,93	102,97	79,58	89,11	77,53	88,97	53,01	77,84	87,29
PE 75 %	Mm	5,99	6,66	13,54	28,79	46,56	77,83	115,83	97,45	85,51	35,58	9,71	5,13
Demanda unitaria neta	m³/ha	689,22	847,05	948,16	551,45	564,10	17,52	-267,19	-199,26	34,66	174,37	681,27	821,54
Eficiencia del Sistema	%	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Demanda bruta de agua	m³/ha	918,95	1129,40	1264,22	735,27	752,13	23,36	-356,26	-265,68	46,21	232,50	908,35	1095,39
Días por mes	Días	31	31	30	31	30	31	31	28	31	30	31	30
Jornada de riego	Horas	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Módulo De Riego	l/s/ha	0,69	0,84	0,98	0,55	0,58	0,02	0,00	0,00	0,03	0,18	0,68	0,85
Volumen Req. Por Mes	m³	109410,68	134466,72	284297,58	165347,63	190439,07	6065,32	0,00	0,00	10518,63	52920,98	94159,93	134951,85

Fuente: Elaboración propia.

4.15 Balance hídrico.

Al comparar de una parte la demanda hídrica, resultado de las necesidades mensuales de agua que demandará las áreas agrícolas y planteada en la cédula de cultivos propuesta a pleno desarrollo y por otra parte la oferta hídrica de las fuentes de agua, se concluye que para la cuenca de Sihua la demanda crítica de agua para el mes de junio cultivada con 89.90 ha, son satisfechas con los 87.0 l/s aportados por todas las fuentes. Los volúmenes deficitarios del mes crítico se muestran en el cuadro respectivo

Cuadro 74. Balance hídrico cuenca en estudio.

DESCRIPCIÓN	BALANCE HÍDRICO MENSUALIZADA EN (m³)												TOTAL
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
OFERTA													
TOTAL 75% PERSISTENCIA	152.668,800	116.121,600	104.457,600	82.944,000	72.316,800	57.024,000	50.889,600	45.532,800	41.472,000	45.532,800	49.248,000	58.924,800	877.132,80
DEMANDA HÍDRICA	0,000	0,000	10.518,630	52.920,980	94.159,930	134.951,850	109.410,680	134.466,720	284.297,580	165.347,630	190.439,070	6.065,320	1.182.578,39
BALANCE HÍDRICO	152.668,800	116.121,600	93.938,970	30.023,020	-21.843,130	-77.927,850	-58.521,080	-88.933,920	-242.825,580	-119.814,830	-141.191,070	52.859,480	-305.445,59
SUPERÁVIT	152.668,8000	116.121,6000	93.938,9700	30.023,0200								52.859,4800	445.611,87
DÉFICIT					21.843,13	77.927,85	58.521,08	88.933,92	242.825,58	119.814,83	141.191,07		751.057,46

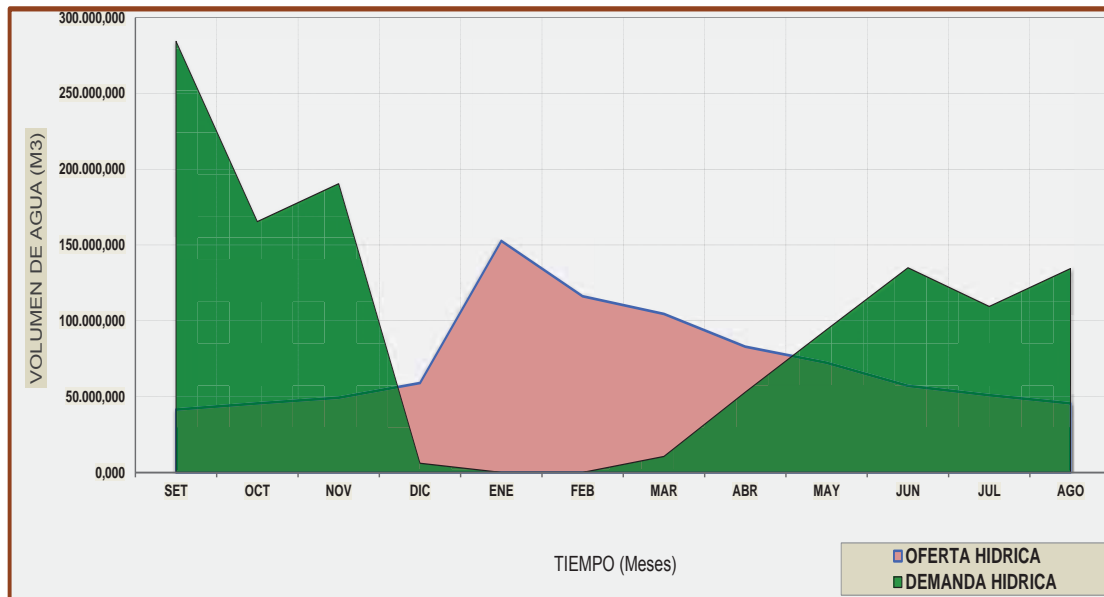
Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 75. Balance hídrico de la cuenca en estudio.

DESCRIPCIÓN	VOLUMEN DE AGUA MENSUALIZADA EN (m³)												TOTAL
	SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	
OFERTA HÍDRICA	41.472,000	45.532,800	49.248,000	58.924,800	152.668,800	116.121,600	104.457,600	82.944,000	72.316,800	57.024,000	50.889,600	45.532,800	877.132,800
TOTAL	41.472,000	45.532,800	49.248,000	58.924,800	152.668,800	116.121,600	104.457,600	82.944,000	72.316,800	57.024,000	50.889,600	45.532,800	877.132,800
DEMANDA HÍDRICA	284.297,580	165.347,630	190.439,070	6.065,320	0,000	0,000	10.518,630	52.920,980	94.159,930	134.951,850	109.410,680	134.466,720	1.182.578,390
TOTAL	284.297,580	165.347,630	190.439,070	6.065,320	0,000	0,000	10.518,630	52.920,980	94.159,930	134.951,850	109.410,680	134.466,720	1.182.578,390

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 29. Oferta hídrica versus Demanda.



4.16 Identificación de unidades parentales almacenadoras de agua subterránea.

Como unidad parental se conoce así a la roca madre, pero que tiene condiciones de almacenar el agua en su interior; por lo tanto lo denominaremos a partir de ahora como **acuífero**.

4.16.1 Variables evaluadas para identificación de acuíferos.

El conjunto de datos evaluados para realizar el modelo conceptual de los acuíferos presentes en la cuenca de Sihuá, ha seguido los pasos siguientes:

- Identificación de la litología a través de las unidades geológicas presentes en la cuenca. Este acápite ya fue realizado anteriormente por lo que podemos decir que en las cuencas existen desde Areniscas (roca sedimentaria) etc.

- Características de porosidad primaria (intergranular) secundaria (fisuras y fracturas), así como sus deformaciones globales de las formaciones geológicas. Estos datos nos han servido para clasificar los tipos de acuíferos desde su grado de fisuración y saber la gradiente hidráulica general y local.
- Inventario de manantes con su respectivo posicionamiento global y su hidroquímica correspondiente. Estos datos nos permitieron conocer el nivel freático, dirección de flujo y origen del agua para recarga en las cuencas.
- Pruebas de permeabilidad en roca. Con estos datos nos ha permitido clasificar mejor el tipo de unidad geohídrica (acuífero, acuitardo, acuífugo, acuicludo) siguiendo la metodología de Custodio.

4.16.2 Parámetros que definen a una unidad geológica como acuífero.

Permeabilidad.

Permeabilidad es la capacidad de un material para permitir que un fluido lo atraviese sin alterar su estructura interna. Para ser permeable, un material debe ser poroso, es decir, debe contener espacios vacíos o poros que le permitan absorber el fluido. A su vez, tales espacios deben estar interconectados para que el fluido disponga de caminos para pasar a través del material. Esta prueba fue realizada en afloramientos rocosos viendo la alta frecuencia de fracturas, la metodología seguida es el de LEFRANC para carga constante.



Fotografía 29. Cima cerro Machu corcor



Fotografía 30. Alado de M. Huayllaco Huaycco



Fotografía 31. Pruebas de permeabilidad en roca.



Fotografía 32. Pruebas de permeabilidad método de LEFRANC.

Cuadro 76. “Soil Conservation Service” de los Estados Unidos.

Permeabilidad m/día	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	1	10	10^2	10^3	10^4
Calificación	Impermeable		Poco permeable			Algo permeable		Permeable		Muy permeable	
Tipo de materiales	Arcilla compacta Pizarra Granito		Limo arenosa Limo Arcilla limosa		Arena fina Arena limosa		Arena limpia Grava y arena		Grava limpia		
Calificación del acuífero	Acuífero		Acuitardo			Acuífero pobre		Acuífero de regular a buena		Acuífero excelente	

Fuente: Hidrología Subterránea E. Custodio. R.Llamas Pág. 473. Tomo-I.

Cuadro 77. Según recomendación del "Soil Conservation Service de los Estados Unidos la permeabilidad se clasifica en.

P Permeab.	Muy lenta	Lenta	Moderadamente Lenta	Moderada	Moderadamente elevada	Elevada	Muy elevada
K (cm/h)	< 0,1	0,1 – 0,5	0,5 – 2,0	2,0 – 6,5	6,5 – 12,5	12,5 – 25,0	> 25,0

Cuadro 78. Valores de Permeabilidad de rocas en la cuenca de Sihua.

Cuenca	Sector	FORMACIÓN	LITOLOGÍA	K			ACUÍFERO
		GEOLÓGICA		cm/s	mm/hr	m/día	
SIHUA	Sur alto de Poblado	Form. Ayabacas	Calizas	2.367E-04	8.52	0.20	POBRE K=Moder. Lento
	Huayllaco Huaycco 1	Auzangate	Lutitas pizarrosas negras	3.374E-03	121.46	2.91	REGUAR K= Moeder Elevada
	Huayllaco Huaycco 2	Auzangate	Lutitas pizarrosas negras	3.679E-03	132.44	3.18	BUENO K= Elevada
	Encima Manante Mamacocha	Vilquechico	arenisca compacta	3.936E-04	14.17	0.34	POBRE K=Moder. Lento
	Encima Manante Mamacocha	Vilquechico	Lutitas verdosas	2.013E-03	72.47	1.74	REGULAR K= Moeder Elevada

Gráfico 30. Diagrama del comportamiento permeabilidad por Carga variable.

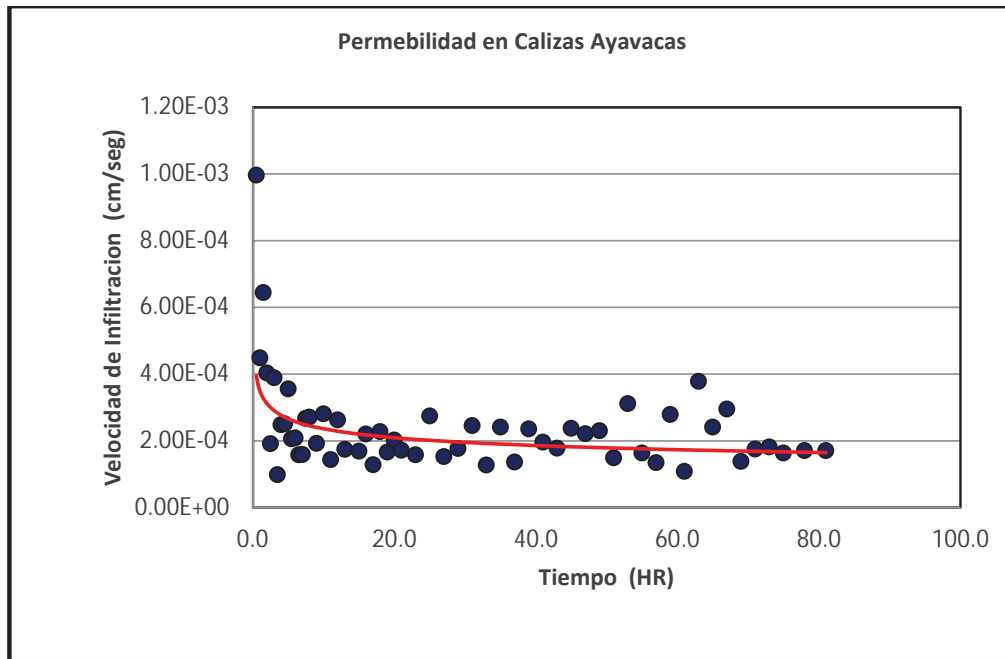


Gráfico 31. Diagrama del comportamiento permeabilidad por Carga variable.

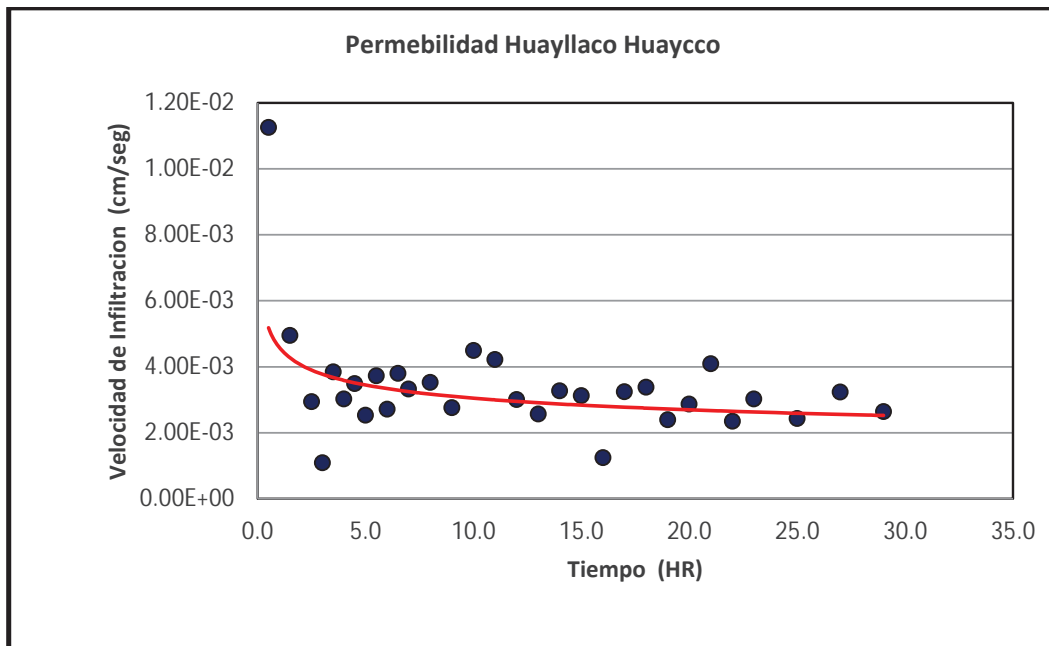


Gráfico 32. Diagrama del comportamiento permeabilidad por Carga variable.

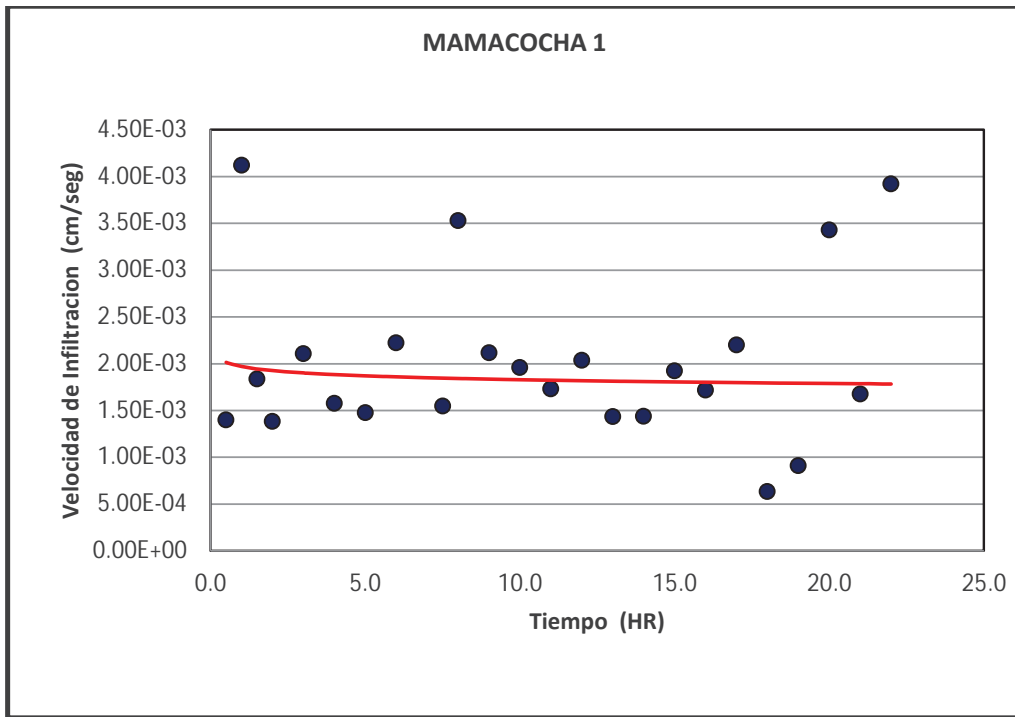


Gráfico 33. Diagrama del comportamiento permeabilidad por Carga variable.

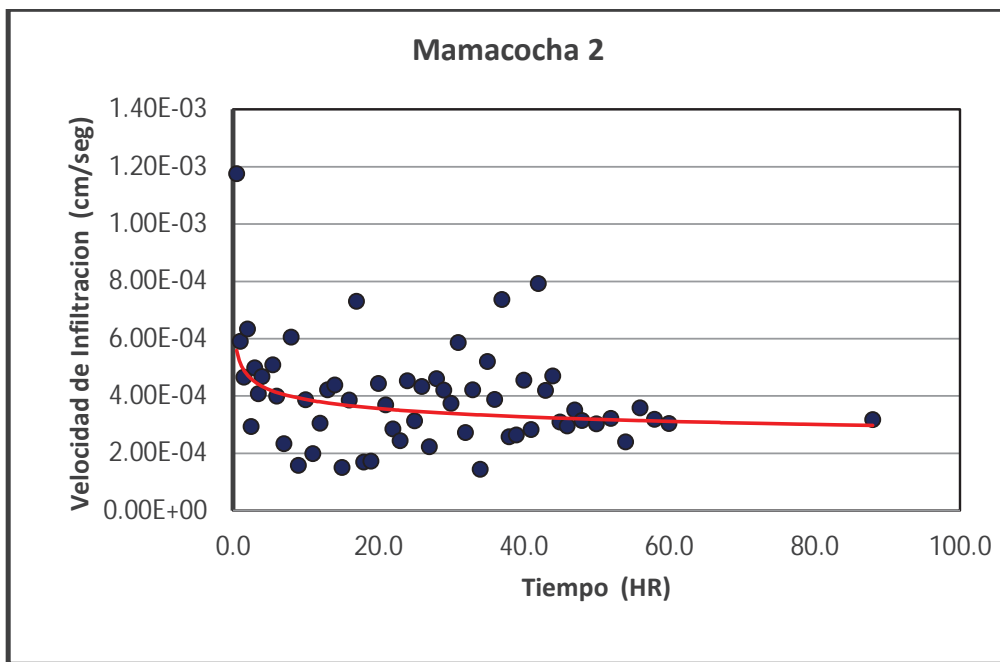
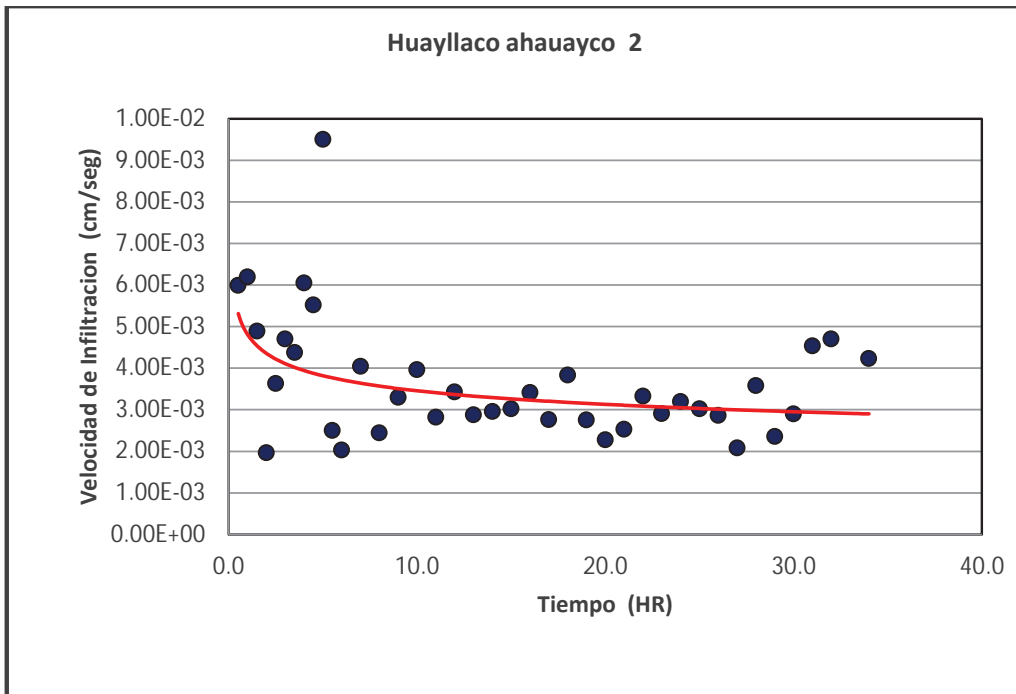


Gráfico 34. Diagrama del comportamiento permeabilidad por Carga variable.



Cuadro 79. Ejemplo de prueba de permeabilidad.

Cuenca de Sihua									
SECTOR:	MAMACOCHA								
Fecha:	12/03/2015								
Ubicación:	Parte alta manante Mama Cocha								
Longitud del tubo (cm)=	50								
Diámetro (pulg)=	2								
Penetración en el terreno (cm)=	20								
Material:	lutitas verdes compactas								
Hora		Hora decimal	Nivel	Observ.	H	DH	DT	Hm	K=rDH/8DTH m
Horas	Minutos	(horas)	(cm)		(cm)	(cm)	(seg)	(cm)	(cm/seg)
0	00		0.00		50.00				
0	0.50	0.0083	3.2		46.80	3.20	30	48.40	1.40E-03
0	1.00	0.0167	11.5		38.50	8.30	30	42.65	4.12E-03
0	1.50	0.0250	14.7		35.30	3.20	30	36.90	1.84E-03
0	2.00	0.0333	17.4		32.60	2.70	30	41.30	1.38E-03
0	3.00	0.0500	23.3		26.70	5.90	60	29.65	2.11E-03
0	4.00	0.0667	27		23.00	3.70	60	24.85	1.58E-03
0	5.00	0.0833	30		20.00	3.00	60	21.50	1.48E-03
0	6.00	0.1000	33.8		16.20	3.80	60	18.10	2.22E-03
0	7.50	0.1250	37		13.00	3.20	90	14.60	1.55E-03
0	8.00	0.1333	39		11.00	2.00	30	12.00	3.53E-03
0	9.00	0.1500	41	Llenado	9.00	2.00	60	10.00	2.12E-03

0	10.00	0.1667	5		45.00	5.00	60	27.00	1.96E-03
0	11.00	0.1833	11.8		38.20	6.80	60	41.60	1.73E-03
0	12.00	0.2000	18.5		31.50	6.70	60	34.85	2.03E-03
0	13.00	0.2167	22.5		27.50	4.00	60	29.50	1.44E-03
0	14.00	0.2333	26		24.00	3.50	60	25.75	1.44E-03
0	15.00	0.2500	30		20.00	4.00	60	22.00	1.92E-03
0	16.00	0.2667	33		17.00	3.00	60	18.50	1.72E-03
0	17.00	0.2833	36.2		13.80	3.20	60	15.40	2.20E-03
0	18.00	0.3000	37		13.00	0.80	60	13.40	6.32E-04
0	19.00	0.3167	39.6		10.40	2.60	60	30.20	9.11E-04
0	20.00	0.3333	42.5		7.50	2.90	60	8.95	3.43E-03
0	21.00	0.3500	43.6		6.40	1.10	60	6.95	1.68E-03
0	22.00	0.3667	45.6		4.40	2.00	60	5.40	3.92E-03
								K =	2.01E-03

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 80. Pruebas de permeabilidad carga constante.

Cod. Pozo	Tipo de Material	Interv. Tiempo min.	Descenso cm.	V=AxDesc cm ³	Q (infil) cm ³ /seg	Q (infil) lt/seg	K = cm/seg	K = mm/dia	m/dia
1	Roca arenisca grises de grano grueso de poca cohesión.	2	0.7	17.24	0.1437	0.0001	0.0058	5011.2	5.01
2	Afloramiento rocoso de caliza masiva fracturada.	2	0.7	17.24	0.1437	0.0001	0.0058	5011.2	5.01
3	Afloramiento rocoso de areniscas feldespáticas de grano medio a grueso, con débil fracturamiento.	2	0.9	22.17	0.1847	0.0002	0.0075	6480	6.48
4	Material cuaternario de pastos naturales rodeados por bloques de arenisca cuarcítico.	2	0.8	19.7	0.1642	0.0002	0.0067	5788.8	5.79
5	Roca arenisca cuarzosa con presencia de niveles de conglomerado de moderada potencia.	2	1.3	26.35	0.2196	0.0002	0.0108	9331.2	9.33
6	Afloramiento de lutitas rojas con niveles de arenisca de grano fino; las lutitas se muestran con una potencia de 1.2 metros promedio.	2	1.1	22.29	0.1858	0.0002	0.0092	7948.8	7.95
7	Afloramiento rocoso de areniscas feldespáticas de grano medio a grueso, en superficie se encuentra alterado.	2	2.1	42.56	0.3547	0.0004	0.0175	15120	15.12
8	Afloramiento rocoso de caliza fracturada.	3	0.7	14.19	0.0788	0.0001	0.0039	3369.6	3.37
9	Material cuaternario de mastos naturales.	3	0.7	17.24	0.0958	0.0001	0.0039	3369.6	3.37

Cuadro 81. Pruebas de permeabilidad carga constante.

Cod. pozo	Tipo de Material	Interv. Tiempo min.	Descenso cm.	V=AxDesc cm3	Q (infil) cm3/seg	Q (infil) lt/seg	K = cm/seg	K = mm/dia	m/dia
10	Afloramiento de arenisca cuarzosa de grano medio muy resistente	2	1.9	46.8	0.39	0.0004	0.0158	13651.2	13.65
11	Afloramiento rocoso de caliza masiva fracturada.	2	0.7	17.24	0.1437	0.0001	0.0058	5011.2	5.01
12	Afloramiento rocoso de areniscas feldespáticas de grano medio a grueso, con débil fracturamiento.	2	0.9	22.17	0.1847	0.0002	0.0075	6480	6.48
13	Material cuaternario de pastos naturales rodeados por bloques de arenisca cuarcítica.	2	0.8	19.7	0.1642	0.0002	0.0067	5788.8	5.79
14	Material cuaternario de pastos naturales.	2	1.7	41.87	0.3489	0.0003	0.0142	12268.8	12.27
15	Roca arenisca cuarzosa con presencia de niveles de conglomerado de moderada potencia.	2	1.3	26.35	0.2196	0.0002	0.0108	9331.2	9.33
16	Afloramiento de lutitas rojas con niveles de arenisca de grano fino; las lutitas se muestran con una potencia de 1.2 metros promedio.	2	1.1	22.29	0.1858	0.0002	0.0092	7948.8	7.95
17	Afloramiento rocoso de areniscas feldespáticas de grano medio a grueso, en superficie se encuentra alterado.	2	2.1	42.56	0.3547	0.0004	0.0175	15120	15.12
18	Afloramiento rocoso de Arenisca fracturada.	3	0.7	14.19	0.0788	0.0001	0.0039	3369.6	3.37

Porosidad

Esta propiedad está gobernada más que por la porosidad primaria (espacio entre granos) por la porosidad secundaria (fracturas o disoluciones kársticas). Los primeros están ocupados en su gran parte por agua retenida por las fuerzas capilares y los segundos presentan notables dimensiones, y están generalmente llenos de aire, en efecto, el agua los atraviesa rápidamente, impulsada por la fuerza de la gravedad.

Los acuíferos se pueden clasificar en función del tipo de materiales que los constituyen o según sus circunstancias hidráulicas y estructurales.



Fotografía 33. Porosidad en macizos rocosos de caliza



Fotografía 34. Porosidad secundaria en macizo rocoso de arenisca de la formación geológica Vilquechico

En líneas generales la porosidad varía dentro de los siguientes límites:

Cuadro 82. Valores estimados de la Porosidad (%) Según Sender (1998).

MATERIAL	Total	Eficaz
Arcilla	40 a 50	0 a 5
Limos	35 a 50	3 a 19
Arenas Finas Arenas Limosas	20 a 50	10 a 28
Arenas Gruesas o bien clasificadas	21 a 50	10 a 35
Grava	25 a 40	13 a 26
Lutita intacta	1 a 10	0.5 a 5
Lutita fracturada/alterada	30 a 50	
Areniscas	5 a 35	0.5 a 10
Calizas, dolomías No carstificadas.	0.1 a 25	0.1 a 5
Calizas, dolomías carstificadas	5 a 50	5 a 40
Rocas ígneas y metamórficas sin fracturar	0.01 a 1	0.0005
Rocas ígneas y metamórficas sin fracturadas	1 a 10	0.05 01

Fuente: Elaboración propia.

4.16.3 Delimitación y reservas probables de agua en los acuíferos.

Una vez procesado y analizado los datos como permeabilidad, manantes, calidad de agua, dirección de flujo subterráneo, etc., se ha procedido a delimitar los tipos

de acuíferos y su productividad correspondiente, para lo cual con fines de propuesta de recarga y conservación nos enfocaremos a los acuíferos calificados como de Muy Buena productividad, por ser los de mayor importancia y resultados esperados a mediano plazo:

Superficie:

Se aprecia en el cuadro siguiente:

Superficie de Acuíferos potenciales de Muy buena productividad.

Cuenca Sihua	Acuífero Muy Bueno (ha)
SUPERFICIE TOTAL	156.14

4.16.4 Unidades hidrogeológicas.

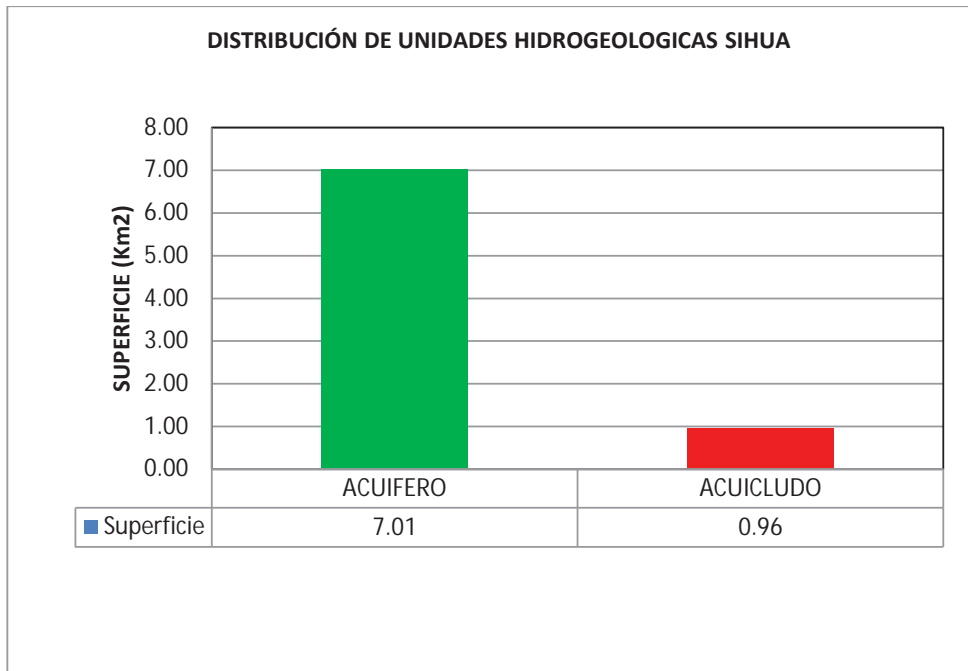
En el ámbito de la cuenca de Sihua, las unidades hidrogeológicas se distribuye de la siguiente manera en ha:

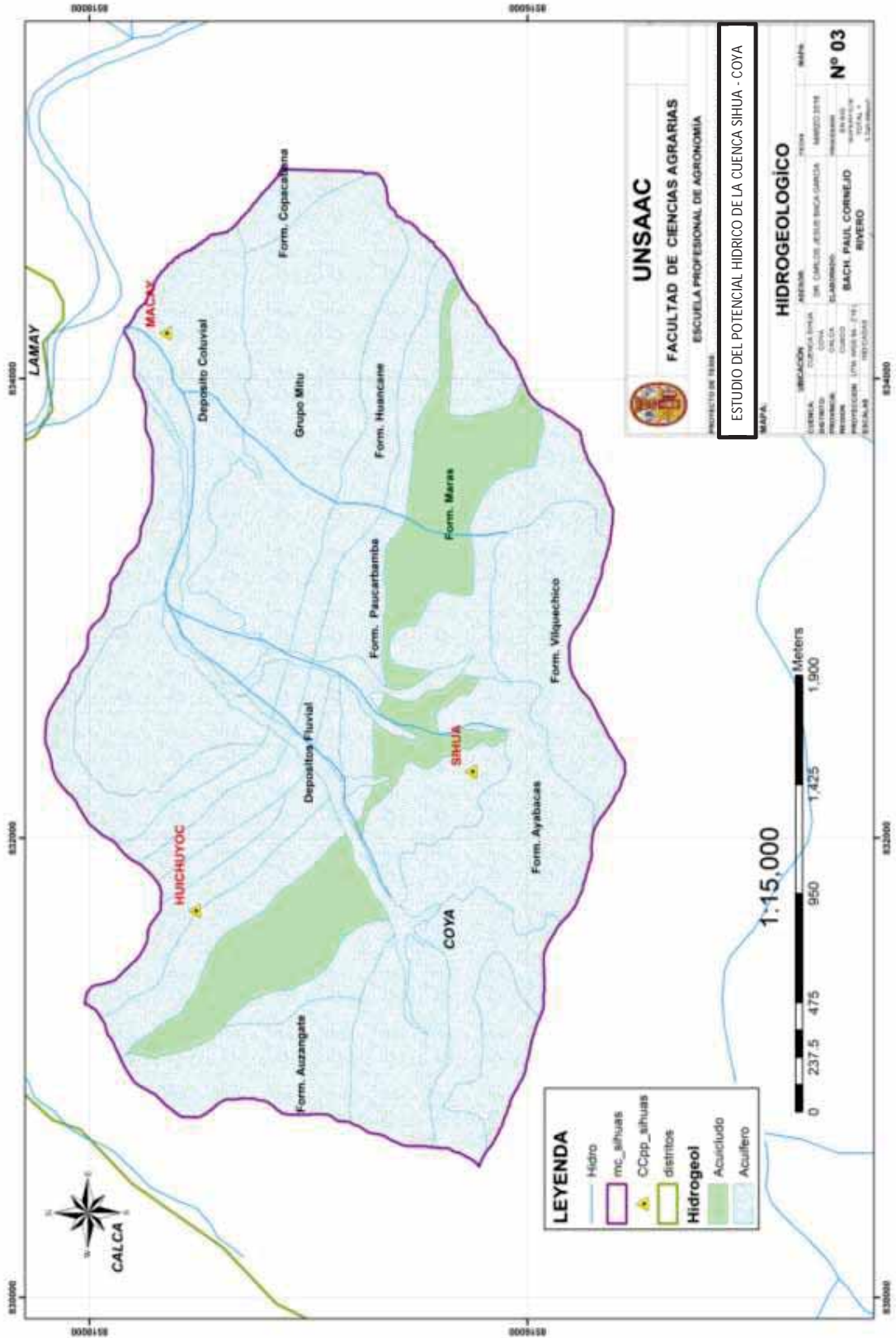
Cuadro 83. Distribución espacial de acuíferos en la cuenca de Sihua.

Unidad Hidrogeológica	Tipo de Acuífero	Unidad	SIHUA	
		Productiva	ha	%
Acuíferos	Fisurado Vilquechico	Muy Bueno	105,99	13,29
		Regular	32,59	4,09
	Fisurado capas rojas Ausangate	Muy Bueno	51,16	6,42
		Bueno	11,2	1,40
	Fisurado cuarcítico	Pobre	66,49	8,34
	Fisurado Mitu	Bueno	145,72	18,28
	Kárstico	Bueno	63,41	7,95
	Kárstico masivo	Pobre	79,58	9,98
	Poroso no consolidado	Pobre	26,86	3,37
Detrítico	Pobre	117,97	14,80	
Acuícludo	No acuífero	Mediocres	96,27	12,08
TOTAL SUPERFICIE			797,24	100,00

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 35. Distribución espacial de acuíferos en la cuenca de Sihua.





Acuíferos:

Acuífero Fisurado Mitu:

Esta unidad acuífera en el ámbito de la cuenca, aflora ampliamente desde el borde Norte al Noreste; por deformación estructural que ella presenta, no aporta directamente a la cuenca bajo ningún mamante, pero si aportaría hacia la cuenca de Pucamarca. A nivel subterráneo en contacto con unidades de Huancané esta unidad lo realimenta siendo responsable quizá de la recarga de los manantes de Conchayoc y Selcohuaycco.

Por esta razón se ha dado una categoría de productividad **BUENA**.

Acuífero Fisurado Cuarcítico:

Está ligado a la formación Huancané, que aflora de forma restringida en la cuenca. Es un paquete que se halla limitado hacia el sur por sedimentos finos de la formación Ayabacas, que al parecer serviría de aporte subterráneo a estas calizas. También puede ser responsable indirectamente de la formación de los manantes de Selcohuaycco y conchayoc. Este acuífero, está constituido por areniscas cuarzosas masivas compactas.

Por lo que se ha clasificado **POBRE** en productividad.

Acuífero Fisurado Auzangate:

Está ligado a la formación del mismo nombre, constituido por lutitas rojas, verdes, y areniscas cuarzosas, todo ello fuertemente fracturado el cual favorece la infiltración de agua meteórica i el aporte subterráneo de otros acuíferos, esta unidad es responsable de la presencia de fuentes de agua en la cuenca, está constituido por areniscas limolíticas y feldespáticas, intercaladas con lutitas

fuertemente fracturadas, esta formación directamente no presenta fuentes hídricas en la cuenca, pero por su constitución litológica y deformación estructural, favorece la recarga subterránea de otros cuerpos geológicos que están en contacto con él.

Por lo que se ha clasificado como un acuífero Fisurado de productividad **BUENO a MUY BUENO**.

Acuífero Fisurado Vilquechico:

Esta unidad hidrogeológica, está conformada por Lutitas rojas, moradas y verdes, con niveles escasos de areniscas limolíticas fuertemente fracturadas, aflora en el parte media de la cuenca, es responsable de la recarga de otras unidades hidrogeológicas en contacto con ella.

Por lo que se asigna un valor de productividad de **REGULAR a MUY BUENO**.

Acuífero Poroso No Consolidado:

Esta unidad hidrogeológica está conformada por depósitos fluviales, como los ubicados en los lechos de los cauces, este paquete por ser de espesor variable no presenta buenas condiciones de retener volúmenes importantes de agua.

Por los que ha clasificado como **POBRE** en productividad.

Acuífero Detrítico.

Esta unidad hidrogeológica está conformada por depósitos Coluviales, ubicados en las laderas, esta cuerpos acuíferos por su constitución de elementos finos retienen agua de manera temporal generando en época de lluvias puntos de

surgencia que al finalizar la temporada de lluvias se secan, indirectamente sirven para recargar acuíferos ubicados debajo de ellas, tiene baja productividad.

Por lo que se le ha clasificado como **POBRE**.

Acuífero Kárstico Masivo:

Está representado por la formación Copacabana ubicada en la parte inferior de la cuenca, este paquete de naturaleza calcárea esta compacta con presencia de fisuras cortas y poco comunicativas entre ellas.

Tiene productividad **POBRE**, pues no aflora ningún manante de esta unidad.

Acuífero Kárstico:

Este cuerpo acuífero reviste importancia en la cuenca, aflora ampliamente al Sur del poblado de Sihua, este cuerpo acuífero genera importantes volúmenes de descarga a través de manantes como los de Cachiuno, selcohuaycco, suyunniojata, Layapampa, macaypujio, estarngerichayoc, etc.

Teniendo por tanto un valor de productividad **BUENO**.

Acuícludo.

Contienen agua en su interior, incluso hasta llegar a saturarse pero que no las transmiten.

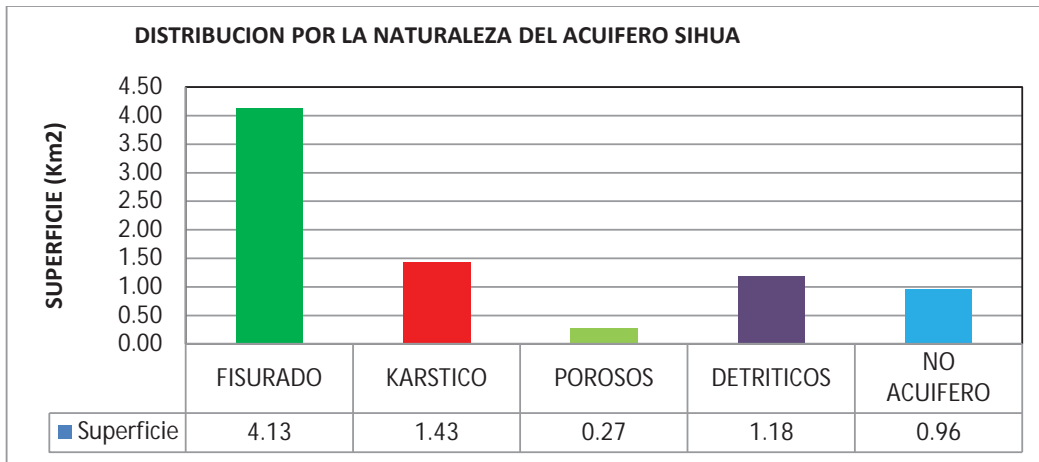
Acuícludo Maras:

Este acuífero está representado por la formación Maras, constituido por elementos caóticos de carbonatos sulfatos, limo arcillitas rojas, lutitas, etc, es una unidad higroscópica que acumula agua pero lo transmite muy lentamente ayuda a

realimentar a calizas Ayabacas pero haciendo que las aguas provenientes de esta tengan valores altos de Conductividad eléctrica de hasta 1500 uS/cm .

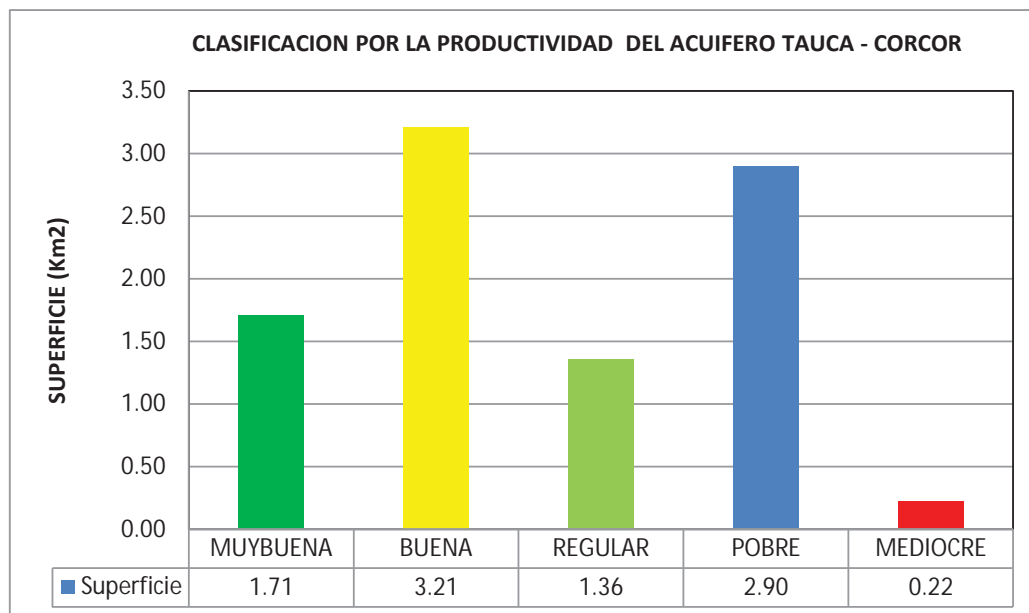
Tiene una capacidad productiva **MEDIOCRE**.

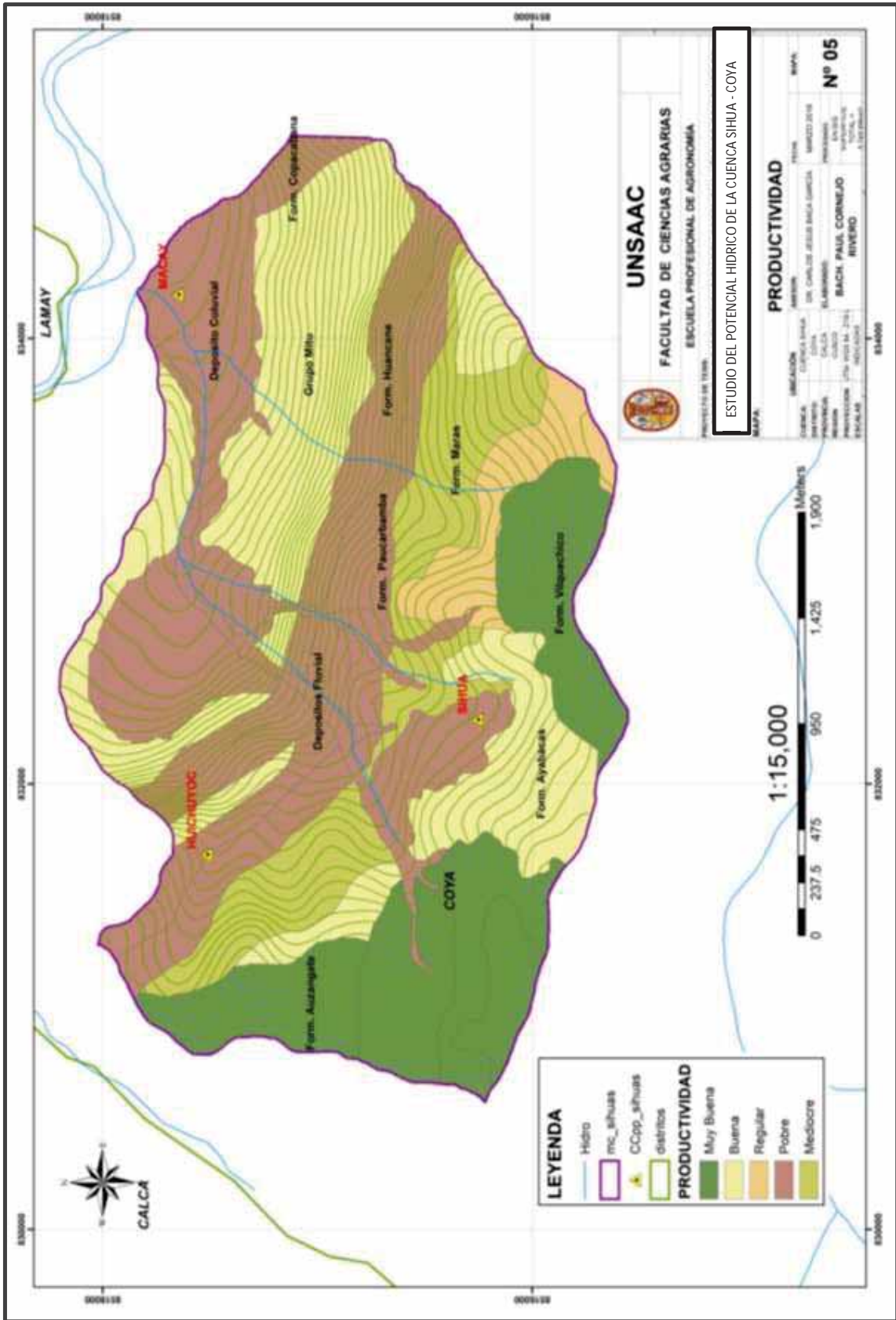
Gráfico 36. Distribución espacial por la Naturaleza de Acuífero.



Por el grado de productividad, los acuíferos se han clasificado en:

Gráfico 37. Distribución espacial por el grado de productividad del Acuífero de la cuenca Sihua.





4.16.5 Identificación de las causas y efectos naturales y antrópicas que afectan el manejo y conservación del recurso hídrico.

Debido a la configuración topográfica muy accidentada de la cuenca Sihua, ha generado desde el fondo de valle aluvial hasta la zona de alta cumbre, variados tipos climáticos y zonas de vida, lo que ha permitido, marcados y limitados usos del territorio. Hacia las partes altas por ejemplo destaca más por su vocación pecuaria de camélidos y ovinos, hacia la parte media si bien tiene vocación agrícola, esta presenta limitaciones de orden climático y edáfico, y hacia la parte baja su vocación es eminentemente agrícola por las condiciones climáticas favorables para ello, pero presenta limitadas áreas de aptitud agrícola lo que no permite un uso intensivo de sistemas de aprovechamiento hídrico. Sin embargo, todas estas actividades presentan limitaciones y deficiencias por una serie de factores negativos relacionados al manejo y conservación del recurso natural que interactúa directamente con el recurso hídrico, al cual coadyuva la baja presencia del estado para superar estas limitaciones. En los talleres participativos llevados a cabo con los pobladores inmersos en el ámbito de la cuenca, en la sede del municipio de Coya, se vio que la escasez de agua para la actividad agropecuaria en época de estiaje, resultó relevante y uno de los factores más limitantes en la producción agrícola, le sigue en orden la presencia de factores climáticos adversos (heladas y granizadas) etc

4.16.6 Causas:

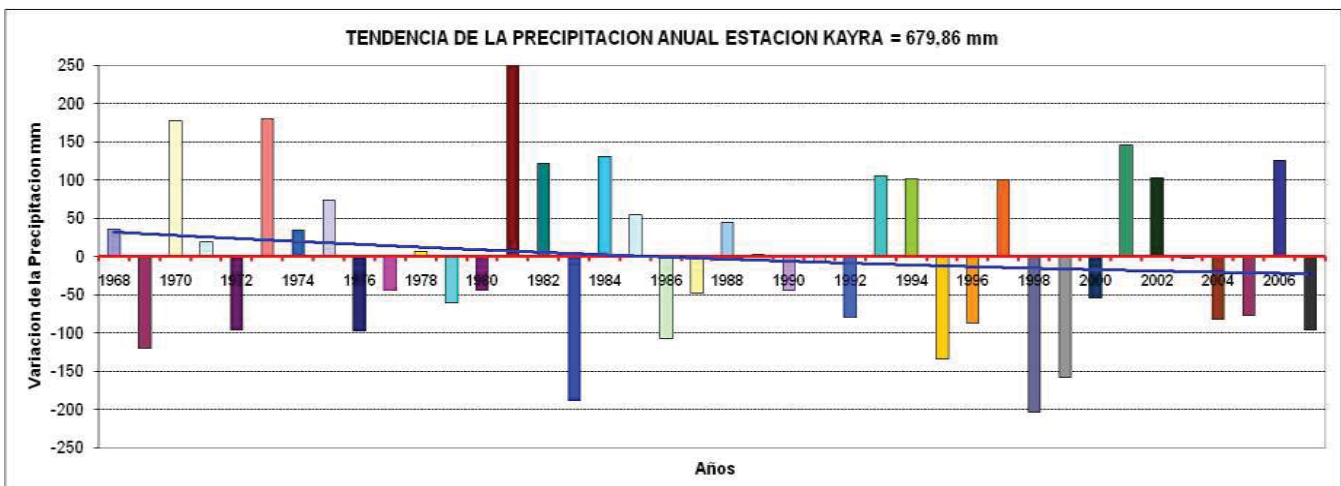
Causas de orden climático:

Este análisis se ha realizado sobre los registros de 40 años de la estación meteorológica de Kayra desde el año 1971 – 2010, por poseer datos más confiables.

De acuerdo a ello, para el caso de la precipitación, el diagrama observado indica que las precipitaciones tienen amplitudes de 5 a 10 años entre alteraciones, especialmente en cuanto a su distribución, frecuencia e intensidad; manifestándose en el retraso de las lluvias, con presencia de sequías o veranillos frecuentes y prolongados.

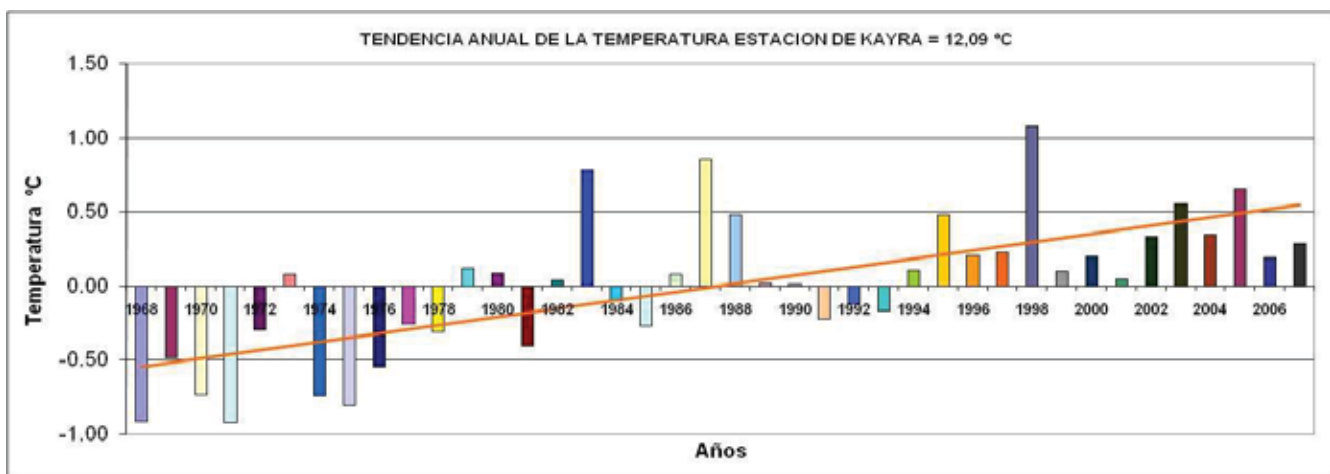
Así mismo se puede observar que durante estos últimos 40 años, la tendencia anual de la precipitación tiende a disminuir con respecto a la media anual, mostrando periodos de sequía como en los años 1969, 1983, 1995, 1998, 1999 cuya precipitación anual ha llegado hasta 200 mm (1998) por debajo de la media anual.

Gráfico 38. Histograma de Tendencia de la precipitación en la estación de Kayra.



En el caso de la temperatura media anual, de la misma estación, se observa una tendencia al incremento de hasta de 1.2 °C de la media anual en el año 1998, coincidentemente con el año de mayor sequía. Pero del análisis de los 40 años en general, muestra un incremento anual de 0.5 °C el cual explica el proceso de efecto invernadero que actualmente vamos pasando.

Gráfico 39. Histograma de Tendencia de la Temperatura en la estación de Kayra.



Combinando estos dos efectos, desde los últimos 40 años los acuíferos han tenido menor frecuencia de lluvias y mayor periodo de sol, provocando una mayor evapotranspiración de los cuerpos acuíferos, manifestado en la desecación de los manantes.

Causas de orden antrópico:

Dentro de los impactos o consecuencias producto de malas acciones o prácticas que la población directa e indirectamente ha realizado sobre los recursos naturales se tienen: baja cobertura vegetal; cambios de régimen, disminución y desecación de las fuentes de agua permanente; mayor erosión o pérdida de suelos; etc.

En los talleres participativos realizados con pobladores de las comunidades asentadas en la cuenca seleccionada, se identificaron las causas relacionadas por ejemplo a la baja retención hídrica de las cuencas y de prácticas que la afectan de orden antrópico; como las siguientes:



Fotografía 35. Forestación con eucalipto sobre áreas de acuíferos

Causas de malas prácticas que afectan la Retención Hídrica

DEFORESTACIÓN	PASTOREO CONTINUO Y EXTENSIVO	QUEMA DE PASTOS	SURCOS A FAVOR DE LA PENDIENTE
A	A	A	A

Grado de incidencia: A: Alta, M: Media, B: Baja, N: No presenta esta característica.

Quemas:

Una de las malas prácticas que el hombre hasta la fecha viene practicando son las quemas o roces el cual deja desprovisto de cobertura vegetal bajando la capacidad de retención de los acuíferos.



Fotografía 36. Área de pastos alto andinos recientemente quemada.

Sobre pastoreo.

El continuo crecimiento de la población rural, hace que nuevas familias cuenten con nuevos rebaños, conformados estos por orden de prioridad en ovinos, caprinos, hacia las partes altas. Genera que se dé el pastoreo en estas laderas aun con vegetación rala, sin planificación, generando una presión sobre la cobertura vegetal mayor a lo recomendado por unidad animal por hectárea (soportabilidad).



Fotografía 37. Áreas con sobrecarga animal en los cuerpos de humedales.

Deforestación

El nivel socioeconómico de la mayoría de la población tiene una economía de subsistencia, por lo que para satisfacer su demanda energética recurren al consumo de especies arbustivas y forestales sin planificación adecuada; lo que ha conllevado a deforestar importantes zonas que albergan acuíferos e incluso de zonas dedicadas a la conservación de especies nativas (queuñales) que sirven para retener el recurso hídrico, tanto en su follaje y corteza como en el colchón de materia orgánica que generan en el suelo.



Fotografía 36. Erosión de laderas por eliminación de cobertura vegetal

EFFECTOS:

Efectos de las malas prácticas en la Retención Hídrica

ALTERACIÓN DE REGIMENES DE LLUVIA	EROSIÓN DE SUELOS	LIMITADO NIVEL DE RETENCIÓN DEL SUELO	DESECAMIENTO DE LAGUNAS Y BOFEDALES	DESECAMIENTO DE MANANTES
A	M	M	A	A

Grado de incidencia: A: Alta, M: Media, B: Baja, N: No presenta esta característica

Fuente: Talleres participativos y trabajo de campo, 2014.

4.17 Alternativas de recarga artificial

4.17.1 Zanjas de infiltración:

Son estructuras hidráulicas emplazadas sobre las vertientes de los acuíferos manteniendo la curva de nivel. Cuyo distanciamiento y geometría depende de la precipitación máxima, pendiente y profundidad de suelo.

Diseño:

Para el diseño, se han tomado los valores históricos de precipitación máxima en 24 horas, de la estación meteorológica de Kayra, bajo el cual se ha procedido a regionalizar a la zona de estudio por un factor de corrección ($f_{c_{Kayra}} = 1.073$), obteniéndose los resultados siguientes:

Cuadro 84. Precipitación máxima de 24 horas promedio.

Nº de datos	AÑO	PP
1	1965	35.69
2	1966	35.32
3	1967	35.61
4	1970	37.53
5	1971	36.30
6	1972	62.61
7	1976	33.78
8	1977	36.04
9	1979	44.73
10	1980	43.03
11	1981	38.52
12	1982	31.05
13	1984	37.28
14	1987	37.20
15	1988	39.72
16	1989	37.06
17	1990	38.04
18	1991	36.08
19	1993	32.59
20	1994	34.63
21	1995	39.71
22	1997	35.29
23	1998	37.41
24	2006	30.10
Número de registros		24
Promedio		37.72
Desviación standard		6.22

Aplicando el Método de Gumbel, se obtiene los valores de Y_n y S_n , siendo su precipitación máxima:

Cuadro 85. Tabla de valores.

N	μ_y	δ_y	n	μ_y	δ_y	n	μ_y	δ_y
3	0.4286	0.6435	10	0.4952	0.9497	17	0.5181	1.0411
4	0.4458	0.7315	11	0.4996	0.9676	18	0.5202	1.0493
5	0.4558	0.7928	12	0.5035	0.9833	19	0.522	1.0566
6	0.469	0.8388	13	0.507	0.9972	20	0.5236	1.0628
7	0.4774	0.8749	14	0.51	1.0095	21	0.5252	1.0696
8	0.4843	0.9043	15	0.5128	1.0206	22	0.5268	1.0754
9	0.4902	0.9288	16	0.5157	1.0316	23	0.5283	1.0811

Fuente: Elaboración propia.

Estimación de máximas diarias para un Periodo de Retorno de 10 años, según Gumbel

Tabla de máximas diarias

μ_y	0.5283
δ_y	1.0811
En donde	
α	0.17
β	34.68
T	10

Máxima calculada 24 Horas = 52.38 mm.

Cuadro 86. Prueba de bondad *Kolmogorov Smirnov*.

BONDAD DE AJUSTE (Función de Gumbel)	
<i>Coeficiente de Correlación R2</i>	0.8965
<i>Test de Kolmogorov Smirnov</i>	
D supremo :	0.181
D tabla 95 :	0.269
	Significativo al 95 %

Fuente: Elaboración propia.

Seguidamente se ha procedido a calcular las Intensidades máximas (mm) según el periodo y duración estimada según Espildora.

Cuadro 87. Intensidades máximas según el periodo y duración.

Tiempo	5	10	15	30	45	60	120	24 Horas
Coef. de Duración	0.26	0.4	0.53	0.7	0.86	1	1.4	4.9
Periodo de retorno								
2	25.77	19.82	17.51	11.56	9.47	8.26	5.82	40.47
5	30.33	23.33	20.61	13.61	11.15	9.72	6.85	47.64
10	33.35	25.66	22.66	14.97	12.26	10.69	7.54	52.38
15	35.06	26.97	23.82	15.73	12.89	11.24	7.92	55.06
20	36.25	27.89	24.63	16.27	13.32	11.62	8.19	56.94

Fuente: Elaboración propia.

El coeficiente de escurrimiento, para el cuerpo acuífero en específico, se ha obtenido en base al cruce del mapa de pendientes, cobertura vegetal, y litología, el cual concuerda con la tabla siguiente:

Cuadro 88. Coeficientes de escurrimiento por pendiente, cobertura vegetal y tipo de suelo.

Cobertura Vegetal	Tipo de suelo	>50%	20-50 %	5-20%	1-5%	0-1%
	Impermeable	0.80	0.75	0.70	0.65	0.60
Sin Vegetación	Semipermeable	0.75	0.65	0.60	0.55	0.50
	Permeable	0.60	0.45	0.40	0.35	0.30
	Impermeable	0.70	0.55	0.60	0.55	0.50
Cultivos	Semipermeable	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40
	Permeable	0.40	0.35	0.30	0.25	0.20
	Impermeable	0.65	0.60	0.55	0.50	0.45
Pastos, Veg ligera	Semipermeable	0.55	0.50	0.45	0.40	0.35
	Permeable	0.35	0.30	0.25	0.20	0.15
	Impermeable	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40
Hierba, Grama	Semipermeable	0.50	0.45	0.40	0.35	0.30
	Permeable	0.30	0.25	0.20	0.15	0.10
	Impermeable	0.55	0.50	0.45	0.40	0.35
Bosque, Densa Veg.	Semipermeable	0.45	0.40	0.35	0.30	0.25
	Permeable	0.25	0.20	0.15	0.10	0.05

Fuente: Elaboración propia.

$$CE \text{ Ponderado} = \frac{0.75 * 450\text{Ha} + 0.55 * 300\text{Ha} + 0.80 * 193\text{Ha}}{450\text{Ha} + 300\text{Ha} + 193\text{Ha}} = 0.70$$

Obteniéndose la geometría de la zanja de infiltración siguiente:

Cuadro 89. Diseño de zanja de infiltración.

Número de Zanja	Longitud Zanja Individual (m)	Base (m)	Altura (m)	Ancho Superior (m)	Talud superior (aguas arriba)			Talud Inferior (aguas abajo)		
					1:Z	Angulo (grados)	Longitud	1:Z	Angulo (grados)	Longitud
1	5	0.40	0.30	0.67	0.45	24.228	0.329	0.45	24.228	0.329

Distancia entre zanjas = 20.00 m

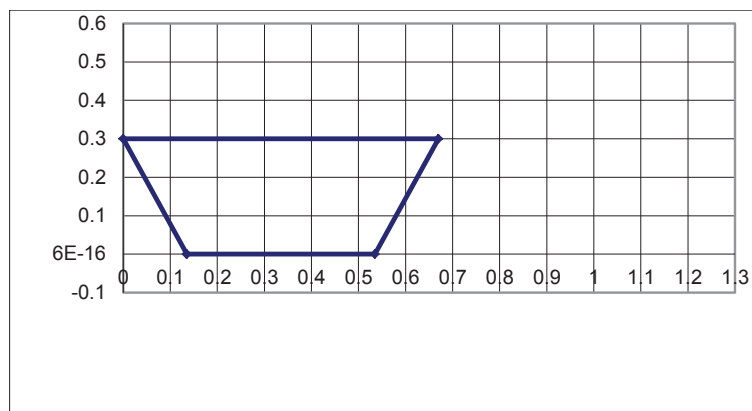
Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 90. Condiciones hidráulicas.

Área Zanja	0.161
Sección Transversal (m2)	
Volumen Total de Zanjas (m3)	0.803
Volumen Zanja Individual (m3)	0.803

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 40. Diseño de zanja de infiltración.



4.17.2 Zonas de clausura:

Consiste en delimitar zonas de no uso agrícola, con la finalidad de recuperar la cubierta vegetal especialmente pastos y arbustos naturales mediante cercos con alambrado para evitar el sobrepastoreo provocando la recuperación de cubierta vegetal y por ende la capacidad de retención del suelo. Se planifica su implementación en áreas con importancia como acuífero de Buena a Muy buena productividad.

4.17.3 Forestación con plantas nativas:

Esta acción es de gran importancia pues a mediano y largo plazo estas actúan como retenedores de suelo, incorporan gran cantidad de materia orgánica al suelo y mejoran la capacidad de retención de agua en suelos, arbustos y árboles. Así mismo por la densidad de follaje, evitan la evapotranspiración de los suelos rápidamente.



Fotografía 37. Camas de forestación

Objetivos de la forestación y/o reforestación.

Las acciones de forestación y/o reforestación propuestas en la presente tesis, tiene por objeto:

- Conservar y mejorar los servicios ambientales.
- Favorecer la retención de agua.
- Contribuir al control de la erosión.
- Crear condiciones favorables para la infiltración del agua en el suelo.
- Recuperar y/o incrementar la cobertura vegetal en los acuíferos y áreas de escurrimiento del vaso.

Características de las zonas a intervenir

a) Condiciones Climáticas

Como se ha visto anteriormente, las características climáticas de la cuenca de Sihua, han condicionado una diversidad de cobertura vegetal sobre el cuerpo acuífero, de tipo arbórea, arbustiva y pastizal compuesto por especies nativas

como el qolle, quishuar, queuña, chachacomo, llaulli, y variedades de gramíneas etc.

De acuerdo a lo observado en campo, muchas de las laderas de esta cuenca las especies nativas han sido remplazados erróneamente con especie de Eucalipto, ocasionando la disminución de la oferta hídrica de muchos manantes.

b) Forestación y/o reforestación con fines de conservación del agua

La formación de la cobertura vegetal, principalmente de especies arbóreas y arbustivas, mediante la revegetación natural o reforestación favorecen la acumulación de agua de las precipitaciones pluviales en las plantas, puesto que tanto las especies arbóreas como las arbustivas actúan como un reservorio de agua natural, ya que dichas especies actúan a manera de una esponja y mantienen por más tiempo el agua, tanto en la parte aérea como en el sistema radicular. La finalidad de las actividades de forestación planteadas para el presente proyecto de tesis, es la intercepción y/o captación de aguas, los escurrimientos, la reducción de su velocidad y su aprovechamiento; creando de esta manera condiciones que favorezcan, mejoren y aumenten la capacidad retentiva de agua en los acuíferos de cada cuenca.

c) Condiciones Edafoclimáticas de las Especies a Implementar

Las especies consideradas son Queuña, Qolle, Chachacomo, Mutuy, Quishuar. En el siguiente cuadro se muestran algunas consideraciones edafoclimáticas, de las especies nativas más relevantes para el proyecto:

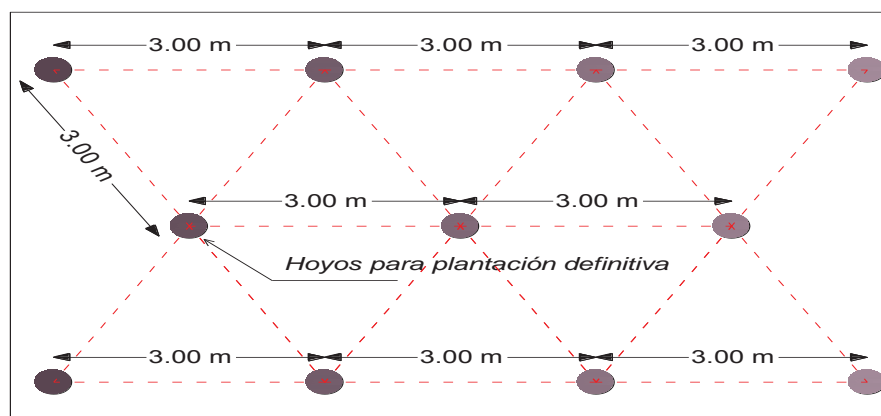
Cuadro 91. Consideraciones edafoclimaticas de las principales especies nativas.

Descripción	Especie Forestal				
	Queuña	Qolle	Quishuar	Chachacomo	Mutuy
Rango altitud (msnm)	2800 a 4700	3400 a 4500	2300 a 3900	2600 a 4000	2500 a 4000
Rango de T° media (°C)	3 – 12	3 – 10	9 – 17	6 – 14	3 – 10
Resistencia a heladas	Soporta	Soporta	Eventual	Soporta	Soporta
Tendencia del suelo	Alcalina	Alcalina	Alcalina	Variada	Variada
Profundidad Requerida	Media-Baja	Media	Media - Escasa	Escasa	Media
Tolerancia a la Pedregosidad	Alta	Media	Alta	Media – Alta	Media
Requerimiento de Agua	Bajo	Medio - Bajo	Medio	Bajo	Media

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a cálculos de producción, está recomendado que para cubrir **1.0 ha** de terreno, se requiere aproximadamente **1111** plantones de especies arbóreas nativas, teniendo en cuenta que existe una merma del **3%**. Para una plantación en tres bolillos, con un distanciamiento de 3 m entre árboles y 3 m entre surcos.

Gráfico 41. Diseño de plantación sistema tres bolillos.



Fuente: Elaboración Propia

La demanda de plántones para las plantaciones ubicadas en la cuenca serán atendidos desde los viveros comunales centralizados previamente instalados en cada comunidad campesina.

4.17.4 Estrategias de conservación

Estrategias de implementación

- Por la naturaleza de las propuestas de recarga, la participación de la población beneficiaria es vital, debiendo ser ésta activa y organizada, principalmente en la etapa de ejecución física del plantamiento, con el aporte de mano de obra no calificada. Por esto, la sensibilización y/o concientización será fundamental para conseguir los objetivos de la propuesta de recarga.
- Las acciones de Forestación y reforestación y zanjas de infiltración, están dirigidas completamente a la recarga de los acuíferos el cual influirá en el aumento del volumen de descarga y la sostenibilidad de los mismos con el tiempo de los manantes de la cuenca, es imprescindible la asesoría técnica a cargo de un personal técnico-profesional agrónomo.
- Es necesario la conformación de un Comité de Gestión de cuenca, para el programa de recarga de acuíferos, en caso que no exista, para la planificación y coordinación de las actividades inherentes a la construcción de represamientos en vasos secos para infiltración y pantallas impermeables en bofedales.
- Se fortalecerán capacidades locales y conocimientos ancestrales en el proceso de implementación, para la réplica de la práctica por otros pobladores de la cuenca mayor.

- Se deben realizar alianzas estratégicas con instituciones públicas y privadas, como con el Ministerio de Agricultura, AgroRural, UNSAAC y el municipio distrital, para la realización de acciones, metodologías y estrategias concertadas.
- Las responsabilidades y compromisos de la población frente al presente estudio, se plasmarán a través de talleres de concientización para garantizar la participación activa en el proceso constructivo, y mantenimiento de las acciones de recarga de acuíferos a implementar.

V. CONCLUSIONES

De las principales variables climáticas evaluadas se concluye, para una altitud de 3500 msnm:

PRECIPITACION	TEMPERATURA	HUMEDAD RELATIVA	VELOCIDAD DEL VIENTO	HORAS SOL	EVAPOTRANSPIRACION DE REFERENCIA (CROPWAT)	CALIFICACION CLIMATICA (THORNWAITE)
Precipitación: 673.22 mm Máx. media mensual (enero): 140.07 mm Mín. media mensual (junio): 10.35 mm	T° promedio anual: 9.49 °C T° máx. media mensual (noviembre): 17.45°C T° mín. media mensual (julio): 4.8°C	Humedad relativa prom. anual: 74.9% Humedad relativa mayor (enero): 82.0% Humedad relativa menor (julio): 70.8%	Veloc. del viento prom. anual: 4.3 m/s Mayor veloc. del viento (agosto): 5.14 m/s, Menor veloc. del viento (febrero): 3.72 m/s.	Total anual: 2031.43 hr.	Valor anual: 1197.01 mm/año	7 regiones de humedad climática: 2975 msnm – 4200 msnm 2 regiones por eficiencia térmica 3 tipos de clima

REGIONES CLIMATICAS DE LA CUENCA SEGÚN THORNWAITE			
N°	Variación de altitud	Régimen de Humedad	Formula Climática
1	2975 - 3000	Semiárido Seco - Templado frio	DB' ₂ da'
2	3000 - 3100	Subhúmedo Seco - Templado frio	C ₁ B' ₂ da'
3	3100 - 3400	Subhúmedo Seco - Semifrío	C ₁ B' ₁ sa'
4	3400 - 3600	Subhúmedo Húmedo - Semifrío	C ₂ B' ₁ w ₂ a'
5	3600 - 3900	Ligeramente Húmedo - Semifrío	B ₁ B' ₁ w ₂ a'
6	3900 - 4100	Moderadamente Húmedo – Semifrío	B ₂ B' ₁ w ₂ a'
7	4100 - 4200	Húmedo – Frio moderado	B ₃ B' ₁ w ₂ a'

5.1 Se identificaron las fuentes de almacenamiento hídrico superficial y subterráneo y se delimitó las unidades hidrogeológicas por capacidad de productividad, determinando que en la cuenca de Sihua la principal fuente de almacenamiento hídrico es subterránea, denominado como acuífero y acuitardos.

5.2 Se detectaron las características de comportamiento de los manantiales que a nivel de la cuenca de Sihua son 33, con propiedades y características siguientes:

Por el régimen: De los 33 manantes identificados, 6 han cambiado de régimen de permanentes a temporales, con duraciones de estos hasta los meses de junio y agosto; según refieren los pobladores, este proceso se ha dado con fuerza desde los últimos 20 años.

Por su Calidad: Se observa que los manantes provenientes de unidades líticas areniscas y lutitas, presenta valores entre 115 a 298 $\mu\text{s/cm}$ los cuales se consideran como aguas blandas; los manantes provenientes de calizas, sus valores varían entre 330 a 876 $\mu\text{s/cm}$ mientras que en fuentes procedentes de rocas margosas con yesos, ha registrado valores de conductividad eléctrica entre 1410 a 1526 $\mu\text{s/cm}$ considerados como altos como los de los manantes Cachiuno 1, 2 y 3. De acuerdo a la tabla de dureza, la calidad de agua de la cuenca de Sihua, va de agua Muy blanda a aguas Muy duras.

Por su uso: El uso que se le da a las fuentes de agua, están clasificadas de la siguiente manera, 5 manantes están destinadas a consumo humano; la actividad agrícola está dividida en 6 manantes destinadas a riego con proyecto y 5 manantes a riego sin proyecto; para uso pecuario se ha destinado 6 fuentes en especial los de caudal bajo y los temporales; para uso piscícola se han destinado 2 manantes y del total 9 manantes son de vertido libre sin uso específico.

Por la fluctuación de los volúmenes de descarga: La cuenca de Sihua genera un volumen de descarga de **47.75 l/s**, entre los meses de enero a abril, generando un volumen de descarga de **495072.00 m³/120 días**, así mismo del inventario realizado por el ex-PRONAMACHCS en el año 2007, para el mes de junio se tiene un caudal total continuo de 18.81 l/s, lo que hace un volumen total de descarga de **398212.416 m³/s**. De todo ello la cuenca genera un volumen de descarga anual de **893284.42 m³/año**. Cabe indicar también que CEDEP AYLLU el año 1990 registró un volumen total de descarga de 21.68 l/s para el mes de diciembre. Según el análisis de generación mensual de descarga, la fluctuación

de los caudales de los manantes sigue un comportamiento de tendencia polinómica; registrando por ejemplo para el mes de enero un caudal de 57.37 l/s y para el mes de setiembre de 16.16 l/s, haciendo un volumen proyectado de descarga anual de 875 830,44 m³.

5.3 Se determinó la relación que existe entre la oferta y demanda hídrica, que según a la disponibilidad hídrica generada por el modelo de Lutz Scholz, indica que la cuenca presenta el comportamiento de oferta hídrica siguiente: los caudales aforados versus los generados presentan altos coeficientes de variabilidad en los meses de lluvia, mientras que para los meses de sequedad presentan una buena correlación.

En cuanto a la demanda poblacional, se tiene que para satisfacer las necesidades de la población futura 403 hab, se necesita de 11,037.91 m³/año de agua con volumen máximo horario mensual promedio de 907.32 m³/mes, y que a su vez representa un caudal máximo horario de 0.26 l/s.

En cuanto a la demanda agrícola, esta está definida por cultivos como papa, haba, trigo, hortalizas, cebada, avena, maíz y alfalfa. Con un área total de 259.68 ha que representa el 32.57% de la superficie total de la cuenca. Según la demanda de agua agrícola, indica que el mes de setiembre requiere un volumen de 284 297.58 m³/mes, que representa un módulo de riego requerido de 0.98 l/s/ha.

De acuerdo al balance hídrico la oferta hídrica registra un volumen de 877 132.80 m³/año mientras que la demanda está entre 1'182 578.39 m³/año, lo que indica un déficit de 305 445.59 m³/año.

5.4 En la cuenca Sihua es posible la aplicación de las siguientes acciones:

Acción para conservación de manantes con forestación.

Acción 1. Forestación y reforestación en zonas de almacenamiento superficial y acuíferos

El objetivo principal de la propuesta es recuperar y/o Incrementar la cobertura vegetal en las zonas de almacenamiento superficial y en los acuíferos, favorecer la retención e infiltración de agua en el suelo y controlar los procesos erosivos, con la propuesta se pretende implementar en áreas de acuíferos un área de 58 ha.

Acción para conservación de manantes con Zanjas de Infiltración.

Acción 2. Construcción de zanjas de infiltración – en áreas de almacenamiento superficial y acuíferos

El objetivo principal de la propuesta es interceptar el agua de escorrentía que proviene de la parte alta de la ladera, reduciendo su velocidad y permitiendo una mayor infiltración en el suelo, bajar la erosión hídrica del suelo reteniendo los sedimentos removidos por el flujo hídrico y evitar el escurrimiento de agua por cárcavas aumentando la recarga o producción de agua en las zonas bajas. Se pretende implementar un área de 78 ha en la cuenca de Sihua.

VI. BIBLIOGRAFÍA

1. APARICIO MIJARES, FRANCISCO JAVIER. Fundamentos de la Hidrología de Superficie.
2. BROEKS VAN DEN BEERG, Alfonso.
3. CHEREQUE MORAN, WENDOR; “Hidrología para estudiantes de ingeniería civil” Pontificia Universidad Católica del Perú) Lima -1989
4. CHOW, VEN TE; MAIDMENT DAVID, R.; MAYS LARRY W. Hidrología Aplicada
5. CHUVIECO, EMILIO; “Fundamentos de (a Teledetección Espacial” Serié Geografía y Ecología, Ediciones RIALP S.A. España - 1990
6. COVRE, MARCOS, Seminario “Aplicaciones de Percepción Remota y Sistemas de Información Geográfica a los Recursos Naturales” IMAGEM-Brasil Cusco - 2000.
7. CUENCA SÁNCHEZ JORGE H. Investigación de la Actividad Sísmica en la Región Inca. Rol de Universidad en la investigación de desastres.
8. DICCIONARIO GEOLÓGICO
9. DIRECCIÓN DE PRESERVACIÓN Y CONSERVACIÓN DE MANEJO DE CUENCAS, “Estudio de los Parámetros Geomorfológicos de una Cuenca” Boletín Técnico Nro. 2, 1978.
10. ENTRO IDEAS, CCTA, CCAIJO, 1999 “La gestión de Microcuencas, una Estrategia para el Desarrollo Sostenible de las Montañas del Perú” Propuesta, Lima – Perú.

11. ESTUDIO FAO, “Planificación y Ordenación de Cuencas Hidrográficas con Ayuda de Computadora, Tecnologías para la planificación nacional”
Guía de Conservación 28/1. Roma - 1996.
12. ESTUDIO FAO, “Planificación y Ordenamiento de Cuencas Hidrográficas con ayuda de Computadora, Tecnologías para la Planificación Nacional”
Guía de Conservación 28/1. Roma – 1996.
13. GONZALES INCA, ANTONIA. Estudio Hidrológico de la Cuenca del río Huancayo
14. KESSLER, ADRIAN, “Plan de Gestión Ambiental de la microcuenca de Huancaro” 1998
15. LADRON DE GUEVARA, OSCAR. Agroclimatología y fenología aplicada 2005
16. LINSLEY KOHLER PAULHUS, “Hidrología Para Ingenieros” 2da Edición,
Editorial Mc Graw-Hill, 1977.
17. LINSLEY RAY, K. Hidrología para Ingenieros Linsley Ray K.
18. MOLINA, G. MEDARDO; “Hidrología”, Universidad Agraria la Molina,
Publicación Nro. 12. Lima — 1975.
19. MONSALVE SAENZ, GERMAN. Hidrológica en la Ingeniería 1999
20. MONSELVAN SAÉNZ, GERMAN; “Hidrología en la Ingeniería” 2da Edición,
Editorial: Escuela Colombiana de Ingeniería 1999 - Colombia.
21. REYES CARRASCO, LUIS V. Hidrología Básica.
22. SCHWAB GLENN, O.; FREVERT RICHARD, H. Ingeniería de conservaciones
de Suelos y Agua.
23. SENDIÑA NADAL IRMA. Fundamentos de Meteorología. 2006
24. VASQUEZ V., ABSALON. Manejo de cuencas alto andinas UNALM, 2000.

1. Revistas:

- a. **BOLETIN INGENMET, LIMA.** Geología de los Cuadrángulos Cusco y Livitaca.
- b. **Dourojeanni, A & Molina, M.** (1982). *“El poblador rural, el manejo del agua en las cuencas alto andinas y el rol del Estado”*. Seminario regional sobre políticas agrarias y sobrevivencia campesina en ecosistemas de altura. Comisión Económica para América Latina (CEPAL), el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la Secretaría de Desarrollo Rural Integral de la Presidencia de la República de Ecuador con la colaboración del Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador. Quito: Ecuador.

2. Publicaciones digitales:

- a. **Alfaro, J.C.** (n.d). Ponencia para el “Tercer Congreso Latinoamericano de manejo de cuencas”. FAO – Red Latinoamericana de Manejo de Cuencas - INRENA, *“Gestión de Cuencas, Descentralización y Desarrollo Sostenible en los Países Andinos”*. Visitado el de junio del 2015 de la pág. web: <http://ibcperu.nuxit.net/doc/isis/5696.pdf>
- b. **Franco, E.** (n.d.). *“Importancia del manejo del agua y del suelo en las cuencas altoandinas, beneficios directos y con relación a la provisión y manejo del agua”*. Visitado el 1 de noviembre del 2009 de la pág. web: http://www.infoagro.net/shared/docs/a2/AutAuton/II5_Franco.pdf
- c. **Instituto Nacional de Recursos Naturales** (n.d.). “Delimitación y codificación de cuencas hidrográficas del Perú. Visitado el 12 de

octubre del 2009 de la pág. web:
<http://ibcperu.nuxit.net/doc/isis/7518.pdf>

- d. **Ley de Recursos Hídricos** (31 de marzo 2009), obtenida el 05 de abril del 2009 de la 'pág. web del diario El Peruano:
<http://www.elperuano.com.pe>, pp 393473 – 393486
- e. **Ordoñez, J. & Vera, H.** (n.d.) “*Balance Hídrico Superficial Del Perú A Nivel Multianual*”. Dirección General de Hidrología y Recursos Hídricos Servicio Nacional De Meteorología E Hidrología, visitado el 15 de noviembre del 2009 de la pág. web:
http://www.senamhi.gob.pe/pdf/estudios/hidro_ArtiBHSMultianual.pdf
- f. **Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO)**, “*Informe del Taller Internacional sobre manejo de cuencas en zonas de Montaña*”
- g. **Zegarra, E.** (2004). “*Mercado de aguas: viabilidad y potencialidades de un instrumento para la reforma de la gestión hídrica en el Perú*”. Visitado el 15 de abril del 2009 de la pág. web:
<http://www.grade.org.pe/download/pubs/Articulo%20REGA%20EZM.pdf>

ANEXOS

ANEXOS N° 1: TABLAS DE INTERPRETACION HIDROGEOLOGICA

Punto de marchitez permanente y capacidad de campo en porcentaje por peso de suelo seco de diferentes texturas de suelos (Grassi, 1976).			
TEXTURA DEL SUELO	Porcentaje por peso de suelo seco		
	PMP%	CC%	Densidad aparente (g/cm ³)
Arenoso	2-6	6-12	1,55-1,80
Franco-arenoso	4-8	10-18	1,40-1,60
Franco	8-12	18-26	1,35-1,50
Franco- arcilloso	11-15	23-31	1,30-1,40
Arcillo-arenoso	13-17	27-31	1,25-1,35
Arcilloso	15-19	31-39	1,20-1,30

Componentes del coeficiente de infiltración (Schosinsky & Losilla, 2000).		
Por pendiente:	Pendiente	Kp
Muy plana	0,02%-0,06%	0,30
Plana	0,3%-0,4%	0,20
Algo plana	1%-2%	0,15
Promedio	2%-7%	0,10
Fuerte	mayor de 7%	0,06
Por cobertura vegetal:		Kv
Cobertura con zacate menos del 50%		0,09
Terrenos cultivados		0,10
Cobertura con pastizal		0,18
Bosques		0,20
Cobertura con zacate más del 75%		0,21

Cuadro 3

Profundidad de raíces de diferentes cultivos (Grassi, 1976).

PROFUNDIDAD DE RAÍCES	
Cultivo	Metros
Alfalfa (pastos)	1-2
Algodón	1-1,7
Banano	0,5-0,8
Caña de azúcar	1,20-2
Frijol	0,5-0,7
Cebolla	0,3-0,5
Cítricos	1,20-2,0
Zacate	0,3-0,5
Bosques	2,0-3,0

ANEXOS Nº 2: RELACION DE PRUEBAS DE INFILTRACION CON ANILLOS
CONCENTRICOS.

PRUEBA DE INFILTRACION					
Prov.: CALCA DIST: COYA Coordenadas UTM- WG 84 : Lugar: Prueba: I - 1		COMUNIDAD CAMPESINA Sihua Sector: Fecha: 01/02/2015	MÉTODO: Infiltrómetro anillos concéntricos Uso de suelo: Suelo agrícola en descanso TEXTURA: Areno - Arcilloso Calcáreo		
Tiempo (minutos)		Lámina Infiltrada (cm)		Veloci. Infiltración (cm/hora)	
Parcial	Acumulado (To)	Parcial	Acumulado (Icum)	Instantánea	Media
0	0				
5	5	1.00	1.00	12.0	12.0
5	10	0.50	1.50	6.0	9.0
5	15	0.63	2.13	7.6	8.5
5	20	0.47	2.60	5.6	7.8
5	25	0.40	3.00	4.8	7.2
5	30	0.50	3.50	6.0	7.0
5	35	0.40	3.90	4.8	6.7
5	40	0.60	4.50	7.2	6.8
5	45	0.40	4.90	4.8	6.5
5	50	0.50	5.40	6.0	6.5
5	55	0.40	5.80	4.8	6.3
5	60	0.40	6.20	4.8	6.2
5	65	0.40	6.60	4.8	6.1
5	70	0.40	7.00	4.8	6.0
5	75	0.30	7.30	3.6	5.8
5	80	0.30	7.60	3.6	5.7
5	85	0.30	7.90	3.6	5.6
5	90	0.50	8.40	6.0	5.6
5	95	0.50	8.90	6.0	5.6
5	100	0.40	9.30	4.8	5.6
5	105	0.20	9.50	2.4	5.4
5	110.00	0.60	10.10	7.2	5.5
5	115.00	0.40	10.50	4.8	5.5

b =	-0.24	
y =	1.12	
a =	13.06	
B =	0.76	
A =	0.29	
a' =	17.15	
Tb =	142.99	
lb =	4.00	cm/h
r2 =	0.38	

Mínimos cuadrados

log To = X Tiempo Acumulado	log I = Y Velocidad Infiltración	X*Y	X2	Y2
0.69897	1.07918	0.75432	0.48856	1.16463
1.00000	0.77815	0.77815	1.00000	0.60552
1.17609	0.87852	1.03322	1.38319	0.77180
1.30103	0.75128	0.97744	1.69268	0.56442
1.39794	0.68124	0.95233	1.95424	0.46409
1.47712	0.77815	1.14942	2.18189	0.60552
1.54407	0.68124	1.05188	2.38415	0.46409
1.60206	0.85733	1.37350	2.56660	0.73502
1.65321	0.68124	1.12624	2.73311	0.46409
1.69897	0.77815	1.32206	2.88650	0.60552
1.74036	0.68124	1.18561	3.02886	0.46409
1.77815	0.68124	1.21135	3.16182	0.46409
1.81291	0.68124	1.23503	3.28665	0.46409
1.84510	0.68124	1.25696	3.40439	0.46409
1.87506	0.55630	1.04310	3.51585	0.30947
1.90309	0.55630	1.05869	3.62175	0.30947
1.92942	0.55630	1.07334	3.72266	0.30947
1.95424	0.77815	1.52070	3.81906	0.60552
1.97772	0.77815	1.53897	3.91139	0.60552
2.00000	0.68124	1.36248	4.00000	0.46409
2.02119	0.38021	0.76848	4.08521	0.14456
2.04139	0.85733	1.75015	4.16728	0.73502
2.06070	0.68124	1.40383	4.24648	0.46409

Infiltración acumulada, instantánea y media vs Tiempo

PRUEBA DE INFILTRACION					
Prov.: CALCA DIST: COYA Coordenada UTM-WG 84 : Lugar: Prueba: I - 2		CC. SIHUA Sector:	MÉTODO: Infiltrómetro anillos concéntricos		
Fecha: 11/02/2015		Uso de suelo: sin uso Origen: Lacustre (Diatomita) TEXTURA: limo arenoso arcilloso			
Tiempo (minutos)		Lámina Infiltrada (cm)		Veloci. Infiltración (cm/hora)	
Parcial	Acumulado (To)	Parcial	Acumulado (Icum)	Instantánea	Media
0	0				
5	5	1.20	1.20	14.4	14.4
5	10	0.60	1.80	7.2	10.8
5	15	0.70	2.50	8.4	10.0
5	20	0.80	3.30	9.6	9.9
5	25	0.30	3.60	3.6	8.6
5	30	0.60	4.20	7.2	8.4
5	35	0.90	5.10	10.8	8.7
5	40	0.30	5.40	3.6	8.1
5	45	0.30	5.70	3.6	7.6
5	50	0.80	6.50	9.6	7.8
5	55	0.30	6.80	3.6	7.4
5	60	0.70	7.50	8.4	7.5
5	65	0.50	8.00	6.0	7.4
5	70	0.50	8.50	6.0	7.3
5	75	0.50	9.00	6.0	7.2

Tiempo	$I_{cum} = ATo^B$	$I = aTo^b$	$I_p = a'To^b$
min	cm/hora	cm/hora	cm/hora
1	0.29	13.06	17.15
10	1.65	7.54	9.91
20	2.80	6.40	8.40
30	3.81	5.81	7.62
40	4.75	5.42	7.12
50	5.62	5.14	6.75
60	6.46	4.92	6.46
70	7.27	4.75	6.23
80	8.05	4.60	6.03
90	8.80	4.47	5.87
100	9.54	4.36	5.72

b =	-0.27	
y =	1.22	
a =	16.6913	
B =	0.73	
A =	0.3800626	
a' =	22.8038	
Tb =	160.83	
lb =	4.28	cm/h
r2 =	0.22	

Mínimos cuadrados

log To = X Tiempo Acumulado	log I = Y Velocidad de Infiltración	X*Y	X2	Y2
0.69897	1.15836	0.80966	0.48856	1.34180
1.00000	0.85733	0.85733	1.00000	0.73502
1.17609	0.92428	1.08704	1.38319	0.85429
1.30103	0.98227	1.27796	1.69268	0.96486
1.39794	0.55630	0.77768	1.95424	0.30947
1.47712	0.85733	1.26638	2.18189	0.73502
1.54407	1.03342	1.59568	2.38415	1.06796
1.60206	0.55630	0.89123	2.56660	0.30947
1.65321	0.55630	0.91969	2.73311	0.30947
1.69897	0.98227	1.66885	2.88650	0.96486
1.74036	0.55630	0.96817	3.02886	0.30947
1.77815	0.92428	1.64351	3.16182	0.85429
1.81291	0.77815	1.41072	3.28665	0.60552
1.84510	0.77815	1.43577	3.40439	0.60552
1.87506	0.77815	1.45908	3.51585	0.60552

Infiltración acumulada, instantánea y media vs Tiempo

Tiempo	$I_{cum} = ATo^B$	$I = aTo^b$	$I_p = a' To^b$
Minuto	cm/hora	cm/hora	cm/hora
1	0.38	16.69	22.80
10	2.05	9.00	12.30
20	3.41	7.48	10.22
30	4.58	6.71	9.16
40	5.66	6.21	8.48
50	6.66	5.85	7.99
60	7.61	5.57	7.61
70	8.52	5.34	7.30
80	9.39	5.16	7.05
90	10.24	5.00	6.83
100	11.06	4.86	6.64

PRUEBA DE INFILTRACION					
Prov.: CALCA DIST: COYA Coordenadas UTM-WG 84 : Lugar: Prueba: I - 3		CC. Sector: Fecha:	SIHUA 15/02/2015	MÉTODO: Infiltrómetro anillos concéntricos Uso de suelo: Agrícola coluvial Origen: coluvial TEXTURA: Franco limo arcilloso - rojo	
Tiempo (minutos)		Lámina Infiltrada (cm)		Veloci. Infiltración (cm/hora)	
Parcial	Acumulado (To)	Parcial	Acumulado (Icum)	Instantánea	Media
0	0				
5	5	5.10	5.10	61.2	61.2
5	10	2.50	7.60	30.0	45.6
5	15	2.60	10.20	31.2	40.8
5	20	1.80	12.00	21.6	36.0
10	30	3.10	15.10	18.6	30.2
10	40	2.50	17.60	15.0	26.4
10	50	3.20	20.80	19.2	25.0
10	60	2.90	23.70	17.4	23.7
15	75	4.10	27.80	16.4	22.2
15	90	3.30	31.10	13.2	20.7
15	105	2.10	33.20	8.4	19.0
15	120	2.50	35.70	10.0	17.9
30	150	6.70	42.40	13.4	17.0
30	180	6.00	48.40	12.0	16.1
30	210	4.90	53.30	9.8	15.2
30	240	3.40	56.70	6.8	14.2

b =	-0.45	
y =	1.99	
a =	98.5643	
B =	0.55	
A =	2.995	
a' =	179.675	
Tb =	270.86	
lb =	7.86	cm/h
r2 =	0.88	

Mínimos cuadrados

log To = X Tiempo Acumulado	log I = Y Velocidad de Infiltración	X*Y	X2	Y2
0.69897	1.78675	1.24889	0.48856	3.19248
1.00000	1.47712	1.47712	1.00000	2.18189
1.17609	1.49415	1.75726	1.38319	2.23250
1.30103	1.33445	1.73616	1.69268	1.78077
1.47712	1.26951	1.87522	2.18189	1.61166
1.60206	1.17609	1.88417	2.56660	1.38319
1.69897	1.28330	2.18029	2.88650	1.64686
1.77815	1.24055	2.20588	3.16182	1.53896
1.87506	1.21484	2.27791	3.51585	1.47585
1.95424	1.12057	2.18987	3.81906	1.25569
2.02119	0.92428	1.86814	4.08521	0.85429
2.07918	1.00000	2.07918	4.32299	1.00000
2.17609	1.12710	2.45268	4.73537	1.27037
2.25527	1.07918	2.43385	5.08625	1.16463
2.32222	0.99123	2.30184	5.39270	0.98253
2.38021	0.83251	1.98155	5.66541	0.69307

Infiltración acumulada, instantánea y media vs Tiempo

Tiempo	$I_{cum} = ATo^B$	$I = aTo^b$	$I_p = a' To^b$
Minuto	cm/hora	cm/hora	cm/hora
1	2.99	98.56	179.67
10	10.59	34.86	63.54
20	15.49	25.49	46.47
30	19.35	21.23	38.70
40	22.66	18.64	33.98
50	25.61	16.86	30.73
60	28.30	15.52	28.30
70	30.80	14.48	26.40
80	33.14	13.63	24.85
90	35.35	12.93	23.57
100	37.45	12.33	22.47

PRUEBA DE INFILTRACION					
Prov.: CALCA		CC.	SIHUA		MÉTODO: Infiltrómetro anillos concéntricos
DIST: COYA		Sector:		Uso de suelo: Agrícola	
Coordenadas UTM- WG 84 :		Fecha:		Origen: Coluvial - margas	
Lugar: Prueba: I - 4		15/02/2015		TEXTURA: Franco limo arcilloso	
Tiempo (minutos)		Lámina Infiltrada (cm)		Veloci. Infiltración (cm/hora)	
Parcial	Acumulado (To)	Parcial	Acumulado (Icum)	Instantánea	Medi
0	0				
1	1	0.30	0.30	18.0	18.0
2	3	0.50	0.80	15.0	16.0
2	5	0.48	1.28	14.4	15.4
2	7	0.44	1.72	13.2	14.7
2	9	0.38	2.10	11.4	14.0
5	14	0.90	3.00	10.8	12.9
5	19	0.81	3.81	9.7	12.0
5	24	0.77	4.58	9.2	11.5
5	29	0.68	5.26	8.2	10.9
10	39	1.60	6.86	9.6	10.6
10	49	1.55	8.41	9.3	10.3
10	59	1.46	9.87	8.8	10.0
10	69	1.38	11.25	8.3	9.8
15	84	2.19	13.44	8.8	9.6
15	99	2.05	15.49	8.2	9.4
15	114	1.97	17.46	7.9	9.2
15	129	1.87	19.33	7.5	9.0
15	144	1.84	21.17	7.4	8.8
15	159	1.74	22.91	7.0	8.6

b =	-0.18
y =	1.25
a =	17.7377
B =	0.82
A =	0.360
a' =	21.5848
Tb =	106.94
lb =	7.71 cm/h
r2 =	0.94

Mínimos cuadrados

log To = X Tiempo Acumulado	log I = Y Velocidad de Infiltración	X*Y	X ²	Y ²
0.00000	1.25527	0.00000	0.00000	1.57571
0.47712	1.17609	0.56114	0.22764	1.38319
0.69897	1.15836	0.80966	0.48856	1.34180
0.84510	1.12057	0.94699	0.71419	1.25569
0.95424	1.05690	1.00854	0.91058	1.11705
1.14613	1.03342	1.18444	1.31361	1.06796
1.27875	0.98767	1.26298	1.63521	0.97548
1.38021	0.96567	1.33283	1.90498	0.93252
1.46240	0.91169	1.33325	2.13861	0.83118
1.59106	0.98227	1.56286	2.53149	0.96486
1.69020	0.96848	1.63693	2.85676	0.93796
1.77085	0.94250	1.66904	3.13592	0.88831
1.83885	0.91803	1.68812	3.38137	0.84278
1.92428	0.94250	1.81364	3.70285	0.88831
1.99564	0.91381	1.82364	3.98256	0.83506
2.05690	0.89653	1.84407	4.23086	0.80376
2.11059	0.87390	1.84445	4.45459	0.76370
2.15836	0.86688	1.87104	4.65853	0.75148
2.20140	0.84261	1.85492	4.84615	0.70999
27.58105	18.81318	26.04853	47.11445	18.86680

Infiltración acumulada, instantánea y media vs Tiempo

Tiempo	$I_{cum} = AT_0^B$	$I = aT_0^b$	$I_p = a' T_0^b$
Minuto	cm/hora	cm/hora	cm/hora
1	0.36	17.74	21.58
10	2.39	11.77	14.32
20	4.22	10.40	12.65
30	5.89	9.67	11.77
40	7.46	9.19	11.18
50	8.96	8.83	10.75
60	10.40	8.55	10.40
70	11.81	8.32	10.12
80	13.18	8.12	9.88
90	14.52	7.95	9.68
100	15.83	7.81	9.50

ANEXOS N°3: RELACION DE PRUEBAS DE INFILTRACION POR CARGA VARIABLE.

PRUEBA DE INFILTRACION								
Prov.:	CALCA		CC:	SIHUA				
DIST:	COYA		Sector:					
Coordenadas			Método:	Carga variable				
Lugar:			Norte:					
Prueba:	I-5		Este:					
Hora		Hora decimal	Nivel A	Ha	DHa	DT	Hma	Ka=rDH/8DTHm
Horas	Minutos	(horas)	(cm)	(cm)	(cm)	(seg)	(cm)	(cm/seg)
12	0.0	12.0000	0.00	50.00				
12	0.3	12.0056	17.30	32.70	17.30	20	41.35	0.01328
12	0.7	12.0111	22.00	28.00	4.70	20	30.35	0.00492
12	1.0	12.0167	28.10	21.90	6.10	20	24.95	0.00776
12	1.3	12.0222	33.00	17.00	4.90	20	19.45	0.00800
12	1.7	12.0278	36.50	13.50	3.50	20	15.25	0.00729
12	2.0	12.0333	39.50	10.50	3.00	20	12.00	0.00794
12	2.3	12.0389	41.80	8.20	2.30	20	9.35	0.00781
12	2.7	12.0444	43.20	6.80	1.40	20	7.50	0.00593
12	3.0	12.0500	44.60	5.40	1.40	20	6.10	0.00729
12	3.3	12.0556	45.80	4.20	1.20	20	4.80	0.00794
12	3.7	12.0611	46.70	3.30	0.90	20	3.75	0.00762
12	4.0	12.0667	47.40	2.60	0.70	20	2.95	0.00753
12	4.3	12.0722	48.00	2.00	0.60	20	2.30	0.00828
12	4.7	12.0778	48.20	1.80	0.20	20	1.90	0.00334

Velocidad de infiltración:

0.008	cm/seg
27.78	cm/hr.
6.67	m/día

PRUEBA DE INFILTRACION	
Prov.: CALCA	CC: SIHUA
DIST: COYA	Sector:
Coordenada	Método: Carga variable
Lugar:	Norte:
Prueba: I-6	Este:
Longitud del tubo (cm)= 50	
Diámetro (pulg)= 2	Litología: Arcilla – limo de la formación Maras
Penetración en el terreno (cm)= 20	

Hora	Minutos	Hora decimal (horas)	Nivel (cm)	H (cm)	DH (cm)	DT (seg)	Hm (cm)	K=rDH/8DTH m (cm/seg)
9	0.00	9.00	0.00	50.00				
9	5.00	9.08	0.60	49.40	0.60	300.00	49.70	2.55533E-05
9	10.00	9.17	1.20	48.80	0.60	300.00	49.10	2.58656E-05
9	15.00	9.25	1.80	48.20	0.60	300.00	48.50	2.61856E-05
9	20.00	9.33	2.20	47.80	0.40	300.00	48.00	1.76389E-05
9	25.00	9.42	2.60	47.40	0.40	300.00	47.60	1.77871E-05
9	30.00	9.50	3.00	47.00	0.40	300.00	47.20	1.79379E-05
9	35.00	9.58	3.40	46.60	0.40	300.00	46.80	1.80912E-05

9	40.00	9.67	3.70	46.30	0.30	300.00	46.45	1.36706E-05
9	45.00	9.75	4.00	46.00	0.30	300.00	46.15	1.37595E-05
9	50.00	9.83	4.30	45.70	0.30	300.00	45.85	1.38495E-05
9	55.00	9.92	4.60	45.40	0.30	300.00	45.55	1.39407E-05
10	0.00	10.00	4.90	45.10	0.30	300.00	45.25	1.40331E-05
10	5.00	10.08	5.20	44.80	0.30	300.00	44.95	1.41268E-05
10	10.00	10.17	5.60	44.40	0.40	300.00	44.60	1.89836E-05
10	15.00	10.25	5.90	44.10	0.30	300.00	44.25	1.43503E-05
10	20.00	10.33	6.20	43.80	0.30	300.00	43.95	1.44482E-05
10	25.00	10.42	6.50	43.50	0.30	300.00	43.65	1.45475E-05
10	30.00	10.50	6.90	43.10	0.40	300.00	43.30	1.95535E-05
10	35.00	10.58	7.20	42.80	0.30	300.00	42.95	1.47846E-05
10	40.00	10.67	7.50	42.50	0.30	300.00	42.65	1.48886E-05
10	45.00	10.75	7.80	42.20	0.30	300.00	42.35	1.49941E-05
10	50.00	10.83	8.10	41.90	0.30	300.00	42.05	1.51011E-05
10	55.00	10.92	8.40	41.60	0.30	300.00	41.75	1.52096E-05
10	60.00	11.00	8.70	41.30	0.30	300.00	41.45	1.53197E-05

la = infiltración instantánea.

0.0000169	cm/seg
0.0606931	cm/h
0.0145663	m/dia