

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL
CUSCO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA MINAS Y
METALÚRGICA**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



PROYECTO DE TESIS

**“ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA RECARGA DE ACUÍFEROS
EN LA MICROCUENCA TAMBUQUE, DISTRITO PARURO, REGION
CUSCO - 2018”**

PRESENTADO POR:

Bach. Víctor Manuel Blas Herrera
Bach. Aldo Raúl Canahui Cruz

Para optar al Título Profesional de
Ingenieros Geólogos

ASESOR:

ING. VICENTE ENRIQUE BLAS ABREGÚ

Cusco, octubre del 2018

Introducción

La presente tesis se enfoca principalmente al potenciamiento de unidades hidrogeológicas, recargándolas de distintas maneras, utilizando métodos y técnicas apropiadas para el óptimo aprovechamiento del agua de lluvia de la zona de estudio; el análisis principal de este acuífero son las estructuras que a lo largo de la microcuenca están distribuidas posibilitando el almacenamiento y la transmisibilidad del recurso hídrico a toda la microcuenca Tambuque.

Para analizar la problemática de la escasez del recurso hídrico, es necesario mencionar sus causas. Una de ellas es el gradiente hidráulico principal que es causado gracias a la dirección de las capas litológicas o del buzamiento de estratos, fallas regionales inversas con buzamiento contrario a las vertientes de la microcuenca y las pendientes pronunciadas que imposibilitan la retención hídrica a lo largo de la microcuenca Tambuque.

Para ello preliminarmente se deben realizar estudios geológicos, estructurales, hidrológicos, hidrogeológicos, de hidrometría, balance hídrico y por último un análisis de las acciones y propuestas de recarga de los acuíferos fisurados.

El fin principal de este proyecto de tesis es poder ayudar a mejorar el caudal de su recurso hídrico, por ende a mejorar la calidad de vida de los pobladores de las comunidades de Rocacancha, Vervenavoco, Limacpata, Tambuque Cosqocasa, Huatacalla y Pucapuca para su aprovechamiento agrícola – pecuario ya que se ven afectadas por el cambio en el régimen de la disminución del caudal de los manantes en estos sectores y nos hemos visto en la necesidad de potenciar la distribución subterránea del flujo hídrico, con la finalidad de la recarga hídrica al acuífero fisurado en la cabecera de la microcuenca Tambuque, ubicada en el distrito de Paruro, Provincia Paruro, Región Cusco.

Resumen

El presente trabajo de investigación está basado en información propia, de fuentes bibliográficas y de antecedentes que permitieron la elaboración de la presente tesis. La microcuenca Tambuque ubicada en la cuenca media del Apurímac, en el distrito de Paruro, se estudió, sondeo y recopiló información sobre la problemática existente en los pobladores dentro y alrededores de la microcuenca en relación a la continua disminución del recurso hídrico para consumo humano y agrícola se plantearon objetivos como la determinación de parámetros climáticos, condiciones geológicas - estructurales, identificación de fuentes de agua superficial y su análisis fisicoquímico, identificación y delimitación de unidades hidrogeológicas, realizar un balance hídrico y la identificación de la recarga, costo y presupuestos que demandara la aplicación de acciones de recarga para poder llegar a un objetivo general que es el de realizar el estudio hidrogeológico para poder recargar los acuíferos de la microcuenca Tambuque, por lo que se planteó la hipótesis que si ¿El conocimiento del comportamiento geológico, estructural, hidrológico e hidrogeológico en el ámbito de las comunidades de Huatacalla - Pucapuca, garantizara la correcta aplicación de las acciones de retención hídrica y por ende la sostenibilidad del recurso hídrico a través del tiempo?.

La microcuenca Tambuque presenta una precipitación media anual de 773.85 mm/año y una temperatura media anual de 9.94 °C, geomorfológicamente se ubica en el altiplano en montañas estructurales de rocas sedimentarias predominando pendientes del tipo empinadas ocupando un área de 506.77 Ha. Del área total de la microcuenca.

Geológicamente se ha identificado 12 unidades geológicas desde la formación Maras hasta los depósitos cuaternarios afectados por las fallas regionales Miska – Araipallpa y Yaurisque – Pappres con dirección predominante NW – SE.

Se tiene 72 manantes dentro y fuera de la microcuenca donde el manante de más caudal es el de Tirina 1 con 4lts/seg. Que alimenta a la represa Tirina el cual tiene una capacidad de almacenamiento de 20,000m³.

Por alto grado de fracturamiento se tienen unidades hidrogeológicas como acuíferos fisurados de las formaciones Kayra, Soncco y Puquin que ocupan un área total de 792.71 Ha. Del área total de la microcuenca Tambuque.

De acuerdo a los análisis fisicoquímicos de los manantes Tirina 1, Collpapata 2 y Ñayqui 2 de rocas areniscosas son de tipo Cálctica Bicarbonatada y el manante Collpaunupata

de rocas calcáreas es de tipo Sódica Clorurada, microbiológicamente en el manante Tirina 1 se tiene 0.2×10^2 ufc/ml. De coliformes fecales.

En la microcuenca Tambuque se tiene una descarga anual de $527,936.56 \text{ m}^3/\text{año}$ con un déficit anual de $363,566.81 \text{ m}^3/\text{año}$ teniendo el mes de mayo con el mayor déficit de 35.87 ltrs/seg .

Se ha propuesto la implementación de zanjas de infiltración y forestación en un área total de 684.68 Ha . demandando éstas propuestas un costo total de S/. $811,502.23$.

Índice

1	CAPITULO I ASPECTOS GENERALES	1
1.1	Ubicación.....	1
1.1.1	Ubicación política.....	1
1.1.2	Ubicación geográfica.....	1
1.1.3	Ubicación hidrográfica	3
1.2	Accesibilidad.....	3
1.3	Metodología de trabajo.....	6
1.3.1	Diseño de la investigación	6
1.3.2	Fases de la investigación.....	6
1.3.3	Recopilación de información básica	7
1.3.3.1	Antecedentes.....	7
1.3.3.2	Información Cartográfica	8
1.3.3.3	Procesamiento de Información – SIG.....	8
1.3.3.4	Actividades preliminares de campo.	9
1.3.3.5	Trabajos de campo.....	9
1.4	Objetivos	13
1.4.1	Objetivo general.	13
1.4.2	Objetivos específicos	13
1.5	Justificación:.....	14
1.6	Hipótesis.....	14
1.6.1	Hipótesis general	14
1.6.2	Hipótesis específica	14
2	CAPITULO II GEOMORFOLOGÍA.....	15
2.1	Geomorfología regional	15
2.2	Geomorfología local	17
2.2.1	Pendientes	17
2.2.2	Fisiografía.....	19
2.2.1	Unidades de gran paisaje y sub unidades geomorfológicas	21
2.2.1.1	Altiplanicies.....	21
2.2.1.1.1	Altiplanicies Allanadas (A_a).....	21
2.2.1.2	Planicies.	22
2.2.1.2.1	Fondo de valle aluvial (Fv_al).....	23
2.2.1.3	Montañas.....	24
2.2.1.3.1	Vertientes de montañas allanadas (Vm_a).....	24
2.2.1.3.1	Vertientes de montaña empinadas (Vm_e).....	25
2.2.1.3.2	Vertientes de montaña muy empinadas (Vm_me).....	26
3	CAPITULO III GEOLOGÍA	27
3.1	Geología regional:	27
3.1.1	Descripción de unidades geológicas regionales.....	27
3.1.1.1	FORMACIÓN MARAS (Ki-ma): Albiano medio	27
3.1.1.2	FORMACIÓN AYABACAS (Kis-ay): Albiano superior - Turoniano	28
3.1.1.3	FORMACIÓN PUQUIN (Ks-pu): Coniaciano- Maestrichtiano	28
3.1.1.4	FORMACIÓN QUILQUE (Pp-qu): Paleoceno inferior.....	29
3.1.1.5	FORMACION CHILCA (Pp-ch): Paleoceno superior- Eoceno basal.....	29
3.1.1.6	GRUPO SAN JERÓNIMO	30
3.1.1.6.1	FORMACION KAYRA (Peo-ky): Eoceno inferior.	30
3.1.1.6.2	FORMACIÓN SONCCO (Peo-so): Eoceno superior - Oligoceno inferior	30
3.1.1.7	FORMACIÓN ANTA (Peo-an): Eoceno superior-Oligoceno inferior	31
3.1.1.8	GRUPO TACAZA(No-ta): Oligoceno superior.....	31
3.1.1.9	FORMACIÓN PUNACANCHA(Nom-pu): Oligoceno superior-Mioceno inferior	32
3.1.1.10	FORMACIÓN PACCARITAMBO (Nm-pac): Mioceno inferior.....	32
3.1.1.11	FORMACIÓN PARURO(Nm-pa): Mioceno superior	33
3.1.1.12	FORMACIÓN SAN SEBASTIÁN(Q-sa): Pleistoceno	33

3.2	Marco geológico local	35
3.2.1	Distribucion estadística de la geología local en la microcuenca Tambuque.....	35
3.2.2	Descripción de unidades geológicas.....	36
3.2.2.1	Formación Maras: Albiano medio (Ki-ma).....	36
3.2.2.2	Formación Ayabacas: albiano superior - turoniano (Kis-ay).....	37
3.2.2.1	Formación Puquín: Coniaciano Maestrichtiano (Ks-pu).....	39
3.2.2.2	Formación Quilque: paleoceno inferior (Pp-qu).....	40
3.2.2.3	Formación Kayra: eoceno medio (Peo-ky).....	41
3.2.2.4	Formación Sonco II: oligoceno inferior (Peo-so II).....	43
3.2.2.5	Formación Tacaza: oligoceno superior (No-ta).....	44
3.2.2.6	Formación Paruro: Mioceno superior (Nm-pa).....	44
3.2.2.7	Depósitos Cuaternarios.....	46
3.2.2.7.1	Depósitos coluviales. (Q-co).....	46
3.2.2.7.2	Depósitos aluviales (Q-al).....	46
3.2.2.7.3	Depósitos fluviales. (Q-fl).....	46
4	CAPITULO IV GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....	49
4.1	Introducción	49
4.2	Análisis tectónico estructural	49
4.2.1	Fracturas.....	49
4.2.2	Fallas.....	54
4.2.3	Pliegues.....	57
4.3	Evolución tectónica	59
5	CAPITULO V HIDROLOGÍA.....	61
5.1	Introducción	61
5.2	Información hidrometeorológica	61
5.3	Análisis de precipitaciones	62
5.3.1	Análisis de consistencia	62
5.3.2	Análisis del salto.....	62
5.3.2.1	Identificación del Salto.....	63
5.3.2.2	Evaluación y cuantificación.....	63
5.3.2.2.1	Consistencia en la media – estación Sicuani (t).....	64
5.3.2.2.2	Análisis de consistencia en la desviación estándar – estación Sicuani (F).....	67
5.3.2.2.3	Corrección y/o eliminación del salto.....	69
5.3.3	Análisis de tendencias.....	71
5.3.3.1	Tendencia en la desviación estándar.....	74
5.3.4	Completación y extensión de registros.....	77
5.3.4.1	Completación de datos por R.L.S.....	78
5.3.5	Regionalización de parámetros climáticos	81
5.3.5.1	Precipitación.....	81
5.3.5.2	Temperaturas.....	84
5.3.5.3	Humedad relativa (%).	87
5.3.5.4	Horas y decimas de sol.....	88
5.3.5.5	Evapotranspiración de referencia.....	88
5.4	Disponibilidad hídrica superficial	89
5.4.1	Riachuelo	92
6	CAPITULO VI HIDROGEOLOGÍA.....	94
6.1	Introducción	94
6.2	Inventario de manantes	94
6.3	Hidrometría	98
6.3.1	Uso y régimen de los manantes.....	100
6.4	Unidades hidrogeológicas	105
6.4.1	Clasificación de acuíferos.....	105
6.4.1.1	Sistema fisurado.....	105
6.4.1.2	Almacenamiento de agua en función del tipo tectónico.....	106

6.4.1.1	Interconexión de fracturas.....	107
6.4.2	Modelo conceptual de la microcuenca Tambuque	109
6.4.3	Parametros hidrodinámicos.....	110
6.4.3.1	La permeabilidad	110
6.4.3.2	La transmisibilidad (T).....	122
6.4.4	Identificación de unidades hidrogeológicas.	123
6.4.4.1	Descripción de unidades hidrogeológicas.....	124
6.4.4.1.1	Acuíferos.....	124
6.4.4.1.2	Acuitardo.	128
6.4.4.1.3	Acuícludo.	130
6.5	Dirección de flujo	132
7	CAPITULO VII HIDROQUÍMICA	134
7.1	Análisis de la calidad de agua	134
7.1.1	Técnica del muestreo.....	134
7.1.1.1	Parámetros de Medición en Campo	134
7.1.1.1.1	Oxígeno Disuelto.....	135
7.1.1.1.2	Conductividad.....	135
7.1.1.1.3	pH	135
7.1.1.1.4	Temperatura	135
7.1.1.1.5	Turbiedad	135
7.1.1.2	Parámetros Determinados en el Laboratorio	136
7.1.1.3	Muestreo, preservación, conservación y envío de las muestras al laboratorio de análisis	136
7.1.1.4	Actividades Previas al Muestreo	136
7.1.1.4.1	Preparativos para el muestreo	136
7.1.1.4.2	Procedimiento de Muestreo.....	137
7.1.1.4.3	Resultados e interpretación según tablas de la SUNASS	138
7.2	Composición química de las aguas	139
7.2.1	Conversión de (mg/l) a unidades absolutas (meq/l).....	140
7.2.2	Clasificación de las aguas por iones predominantes	142
7.2.3	Relaciones entre parámetros fisicoquímicos.	143
7.2.3.1	Conductividad eléctrica (C.E.).....	143
7.2.3.2	Relación conductividad eléctrica vs dureza	144
7.2.3.3	Temperatura.	147
7.2.3.4	Relaciones entre componentes químicos elementales.....	147
8	CAPITULO VIII BALANCE HIDRICO	166
8.1	Aspectos generales.....	166
8.1.1	Justificación.....	166
8.2	Demanda de agua	166
8.2.1	Demanda de agua para consumo humano y doméstico.	166
8.2.1.1	Población futura.....	167
8.2.1.2	Consumo promedio diario (qm).....	167
8.2.1.3	Consumo máximo diario (Qmd) y consumo máximo horario (Qmh)	167
8.2.2	Demanda de agua para animales.....	168
8.2.3	Demanda agrícola	170
8.2.3.1	Determinación de coeficiente de cultivo (kc)	170
8.3	Disponibilidad de agua en la cuenca.	172
8.4	Balance hídrico entre oferta y demanda de agua.	173
9	CAPITULO IX ACCIONES DE RECARGA.....	175
9.1	Estimación de la recarga y descarga.....	175
9.1.1	Recarga directa.	175
9.1.2	Recarga indirecta.	176
9.1.2.1	Capacidad de retención hídrica en laguna Tirina	176
9.1.2.2	Planteamiento.....	178
9.1.3	Recarga artificial.	178

9.2	Acciones de recarga de acuíferos.....	178
9.2.1	Zanjas de infiltración.....	178
9.2.1.1	Criterios técnicos para su construcción y mantenimiento	179
9.2.1.2	Diseño de la zanja de infiltración.	179
9.2.1.2.1	Aplicación de modelo Mauco.	180
9.2.1.2.2	Diseño de zanja de infiltración para zonas de pendiente	182
9.2.1.2.3	Costos de construcción de zanjas de infiltración	185
9.2.2	Forestación con plantas nativas.....	188
9.2.2.1	Propósitos de la forestación i/o reforestación.....	188
9.2.2.2	Consideraciones edafoclimáticas de las principales especies nativas.....	189
9.2.2.3	Costos de la Forestación.	189
10	CONCLUSIONES.....	191
11	RECOMENDACIONES.....	194
12	BIBLIOGRAFÍA.....	195

Tabla de ilustraciones

Tabla 1 <i>Ubicación política</i>	1
Tabla 2 <i>Ubicación geográfica de la microcuenca Tambuque</i>	1
Tabla 3 <i>Ubicación Hidrográfica</i>	3
Tabla 4 <i>Distribución porcentual de la pendiente microcuenca Tambuque</i>	17
Tabla 5 <i>Distribución espacial de Unidades de gran paisaje y Sub Unidades Geomorfológicas</i>	19
Tabla 6 <i>Columna estratigráfica local de la microcuenca Tambuque</i>	35
Tabla 7 <i>Distribución areal y porcentual de las unidades geológicas</i>	36
Tabla 8 <i>Medidas de las fracturas en los macizos rocosos Kayra, Soncco, Puquin y Ayabacas</i>	52
Tabla 9 <i>Medida del rumbo y buzamiento de fallas de orden local</i>	54
Tabla 10 <i>Estaciones meteorológicas usadas para el presente estudio</i>	62
Tabla 11 <i>Selección de periodos a comparar por la media registro Sicuani</i>	64
Tabla 12 <i>Desviación estándar del promedio y ponderada</i>	65
Tabla 13 <i>Prueba de bondad al 95 % método de Studens o prueba de "t"</i>	66
Tabla 14 <i>Grados de libertad</i>	67
Tabla 15 <i>Prueba de bondad al 95 % método de Fisher o prueba de "F"</i>	68
Tabla 16 <i>Periodos de registro de precipitación a ser corregido estación Sicuani</i>	69
Tabla 17 <i>Comprobación de pruebas de bondad al 95 % confianza</i>	69
Tabla 18 <i>Prueba de bondad al 95 % método de Studens o prueba de "t"</i>	70
Tabla 19 <i>Prueba de bondad al 95 % método de Fisher o prueba de "f"</i>	70
Tabla 20 <i>Datos meteorológicos del primer periodo corregido</i>	70
Tabla 21 <i>Valores de "t" e "y"; para la ecuación de regresión lineal en la media y desviación estándar</i>	72
Tabla 22 <i>Variables para la corrección por tendencias</i>	72
Tabla 23 <i>Prueba de bondad al 95 % método de Student o prueba de "t"</i>	73
Tabla 24 <i>Coefficientes dimensionales de regresión lineal</i>	74
Tabla 25 <i>Variables para la corrección por Tendencias</i>	74
Tabla 26 <i>Prueba de bondad al 95 % método de Studens o prueba de "t"</i>	74
Tabla 27 <i>Corrección de la desviación estándar</i>	75
Tabla 28 <i>Datos Meteorológicos Corregidos Por Tendencias</i>	76
Tabla 29 <i>Registro libre de saltos y tendencias listo para completado de datos</i>	77
Tabla 30 <i>Registro de precipitación mensual completado y extendido estación -Sicuani</i>	80
Tabla 31 <i>Regionalización regresión lineal múltiple</i>	81
Tabla 32 <i>Coefficientes de ajuste regional de la precipitación</i>	83
Tabla 33 <i>Regionalización de la precipitación mensual según la altitud</i>	84
Tabla 34 <i>Planilla de regionalización regresión lineal múltiple</i>	85
Tabla 35 <i>Coefficientes de corrección por influencia</i>	86
Tabla 36 <i>Registro de temperatura regionalizada de la microcuenca Tambuque</i>	87
Tabla 37 <i>Ecuación de regionalización por regresión lineal para la humedad relativa</i>	87
Tabla 38 <i>Regionalización de horas y decimas de sol de la microcuenca Tambuque</i>	88
Tabla 39 <i>Cálculo de la evapotranspiración de referencia microcuenca Tambuque</i>	88
Tabla 40 <i>Aforos en río de Tirina (l/s)</i>	92
Tabla 41 <i>Inventario de manantes microcuencas Tambuque</i>	94
Tabla 42 <i>Medida de caudales en puntos de manantes</i>	98
Tabla 43 <i>Uso y régimen de los manantes inventariados</i>	101
Tabla 44 <i>Variación porcentual de régimen de manantes</i>	103

Tabla 45 <i>Resumen de las pruebas de permeabilidad por porosidad secundaria.</i>	112
Tabla 46 <i>Permeabilidad del pozo 01(carga constante).</i>	113
Tabla 47 <i>Permeabilidad del pozo 02 (carga constante).</i>	114
Tabla 48 <i>Permeabilidad del pozo 03 (carga constante).</i>	115
Tabla 49 <i>Permeabilidad del pozo 04 (carga constante).</i>	116
Tabla 50 <i>Permeabilidad del pozo 05 (carga constante).</i>	117
Tabla 51 <i>Permeabilidad del pozo 06 (carga constante).</i>	118
Tabla 52 <i>Permeabilidad del pozo 07 (carga variable).</i>	119
Tabla 53 <i>Permeabilidad del pozo 08 (carga variable).</i>	120
Tabla 54 <i>Comparativo de permeabilidad según métodos varios en unidades geológicas.</i>	121
Tabla 55 <i>"Soil Conservation Service" de los Estados Unidos, la permeabilidad se clasifica de la siguiente forma.</i>	121
Tabla 56 <i>"Soil Conservation Service" de los Estados Unidos, por la permeabilidad de los materiales, los acuíferos se clasifican en:</i>	122
Tabla 57 <i>Conductividad hidráulica.</i>	122
Tabla 58 <i>Identificación de tipo de acuífero por permeabilidad.</i>	123
Tabla 59 <i>Clasificación de acuíferos por productividad.</i>	124
Tabla 60 <i>Índice de calidad de las rocas, para areniscas de la formación Kayra.</i>	125
Tabla 61. <i>Caracterización del macizo rocoso (Bieniawski, 1989) del acuífero fisurado Kayra.</i>	126
Tabla 62 <i>Índice de calidad de las rocas, para conglomerados de la formación Paruro.</i>	127
Tabla 63. <i>Caracterización del macizo rocoso (Bieniawski, 1989) del acuífero Paruro.</i>	127
Tabla 64 <i>Índice de calidad de las rocas, para lutitas de la formación Puquín.</i>	129
Tabla 65 <i>Caracterización del macizo rocoso (Bieniawski, 1989) del acuífero fisurado Puquín.</i>	130
Tabla 66 <i>Interpretación según SUNASS.</i>	138
Tabla 67 <i>Resumen de resultados físico químico de manantes sector Huatacalla – Pucapuca.</i>	140
Tabla 68 <i>Peso equivalente de aniones y cationes.</i>	141
Tabla 69 <i>Concentración de las aguas en miliequivalente/litro (meq/l).</i>	141
Tabla 70 <i>Concentración porcentual de iones predominantes.</i>	142
Tabla 71 <i>Clasificación de las aguas por iones dominantes.</i>	143
Tabla 72 <i>Relación conductividad eléctrica vs dureza de manantes de la microcuenca Tambuque.</i>	145
Tabla 73 <i>Conductividad y dureza del agua.</i>	145
Tabla 74 <i>Cationes y aniones con sus respectivas valencias.</i>	154
Tabla 75 <i>Riesgo de producirse problemas de salinidad por contenido de sales.</i>	155
Tabla 76 <i>Contenido de sales en los manantes de la microcuenca Tambuque.</i>	155
Tabla 77 <i>Relación de absorción de sodio (RAS).</i>	158
Tabla 78 <i>Clasificación de las aguas según las normas Riverside.</i>	162
Tabla 79 <i>Límites Máximos permisibles agua de consumo humano (OMS).</i>	164
Tabla 80 <i>Límites Máximos permisibles agua de consumo humano (OMS).</i>	165
Tabla 81 <i>Volumen de agua para el consumo humano y doméstico de la microcuenca Tambuque.</i>	168
Tabla 82 <i>Consumo de agua diaria por especie animal.</i>	169
Tabla 83 <i>Consumo de agua por grupo animal</i>	169
Tabla 84 <i>Consumo de agua pecuaria mensual</i>	169
Tabla 85 <i>Demanda de agua para riego microcuenca Tambuque, área a regar 197.00 ha.</i>	171

Tabla 86 Disponibilidad de información de inventario caudal.	172
Tabla 87 Disponibilidad de agua en la microcuenca Tambuque.	172
Tabla 88 Balance hidrico de la microcuenca Tambuque.	173
Tabla 89 Resumen de balance hídrico.	174
Tabla 90 Valores estimados de la Porosidad (%) Según Sanders (1998).....	175
Tabla 91 Estimación del volumen de recarga directa.	176
Tabla 92 Criterios constructivos de zanja de infiltracion (MINAGRI).	179
Tabla 93 Registro de intensidades de precipitación.	180
Tabla 94 Método de Gumbel para estimación de valores de Yn y Sn.....	181
Tabla 95 Estadística de Gumbel.	181
Tabla 96 Test de Kolmogorov Smirnov.....	181
Tabla 97 Precipitación máximas (mm) según el periodo y duración.	181
Tabla 98 Intensidades máximas (mm) según el periodo y duración estimada (Espildora)...	182
Tabla 99 Coeficiente de escorrentía.	183
Tabla 100 Características geométricas de la zanja de infiltración.	183
Tabla 101 Características del ángulo de Talud de las paredes.....	184
Tabla 102 Capacidad del volumen de almacenamiento de la zanja de infiltración.	185
Tabla 103 Balance infiltración escorrentía.	185
Tabla 104 Resumen de costos acción 01.....	185
Tabla 105 Consideraciones edafoclimaticas de las principales especies nativas.	189
Tabla 106 Componente 2: forestación en zonas de acuíferos para 171 ha.	190

Figura 1. Unidades morfoestructurales regionales y ubicación de la zona de estudio.	15
Figura 2. Ubicación de la microcuenca Tambuque en las montañas estructurales en rocas sedimentarias (RME-rs).	15
Figura 3 Estratigrafía de los dominios morfoestructurales regionales (INGEMMET)	27
Figura 4. Distribución estadística de las unidades geológicas	36
Figura 5. Diagrama de rosetas de fracturas de los macizos rocosos donde se observa el trend principal N35°	54
Figura 6. Diagrama de rosetas de fallas de los macizos rocosos donde se observa el trend principal N325°	55
Figura 7. Histograma de precipitación para la estación de SICUANI	63
Figura 8. Serie histórica de precipitación de los años 1978 al 2017.	65
Figura 9. Tendencia regional de la precipitación.	82
Figura 10. Tendencia regionalizada de la temperatura	85
Figura 11. Niveles de productividad de manantes.	100
Figura 13. Modelo conceptual de la microcuenca Tambuque.	109
Figura 14. Diagrama del comportamiento de la conductividad eléctrica.	144
Figura 15 Conductividad vs dureza de manates.	145
Figura 16 Diagrama de Piper-Hill-Langelier.	148
Figura 17. Diagrama de Piper-Hill-Langelier aplicada a los manantes de estudio.	149
Figura 18. Diagrama radial manante A1 TIRINA 1	150
Figura 19. Diagrama radial manante A2 Collpa Unupata.	150
Figura 20. Diagrama radial manante Collpapata 2	151
Figura 21. Diagrama radial manante A4 Nayqui 2.	151
Figura 22. Distribución de aguas en el diagrama de SCHOELLER-BERKALOFF.	152
Figura 23 Manantes con riesgo de contenido de sales.	156
Figura 24. Ubicación de datos de problemas de infiltración según índice RAS.	159
Figura 25. Clasificación de las aguas para riego.	160
Figura 26. Clasificación de las aguas para riego.	161
Figura 27. Diagram de demanda vs oferta de agua (balance hídrico).	174
Figura 28. Curva de duración intensidad frecuencia	182
Figura 29. Diseño de zanja de infiltración	184
Figura 30. Sección transversal de zanja de infiltración	184

Foto 1. Vista de acceso a la comunidad de Huatacalla.....	1
Foto 2. Parte alta de la microcuenca Tambuque.....	3
Foto 3. Acceso por la parte alta de la microcuenca Tambuque.....	4
Foto 4. Consulta a pobladores del lugar. Preguntas relacionadas a: Número de familias, formas de uso de agua, épocas de siembra, tipos de cultivos, meses de escasez de agua.....	9
Foto 5. Interpretación del paisaje geomorfológico del lugar según manuales del MINAM.....	10
Foto 6. Inventario, hidrometría y muestreo de fuentes de agua, con equipos y herramientas propias. (izq.). Identificación a detalle de fuentes de agua. (der.).....	11
Foto 7. Prueba de carga constante en la formación Puquín, lutitas fracturadas (izq.). Pruebas de infiltración en la formación Kayra, en las fracturas del macizo rocoso (der.).....	11
Foto 8. Identificación de actividades socioeconómicas de la microcuenca Tambuque.....	12
Foto 9. Toma de datos fisicoquímicos con el multiparámetro.....	12
Foto 10. toma de muestras para análisis hidroquímicos. (izq.). toma de muestras para análisis microbiológicos (der).....	13
Foto 11. Vista general de altiplanicie (4100 msnm).....	21
Foto 12. Vista de altiplanicie allanada (4100 msnm).....	22
Foto 13. Vista de altiplanicie allanada (4100 msnm).....	22
Foto 14. Vista panorámica fondo de valle aluvial.....	23
Foto 15. Vista panorámica fondo de valle aluvial parte baja.....	23
Foto 16. Vista panorámica unidad de gran paisaje montaña.....	24
Foto 17. Vertientes de montaña en pie de montaña allanada.....	25
Foto 18. Vertientes de montaña empinada.....	26
Foto 19. vertientes de montaña muy empinada en afloramiento rocoso.....	26
Foto 20. Margas de la formación Maras ubicadas al borde NW de la microcuenca Tambuque.....	37
Foto 21. Afloramiento de calizas de la formación Maras (miembro superior), ubicadas al borde NW de la microcuenca Tambuque.....	37
Foto 22. Calizas gris con presencia de bioclastos.....	38
Foto 23. Vista panorámica del afloramiento de la caliza Ayabacas.....	38
Foto 24. Afloramiento de la formación Puquín borde norte de la laguna Tirina.....	40
Foto 25. Afloramiento de lutitas rojas de la formación Puquín.....	40
Foto 26. Vista panorámica de la formación Quilque.....	41
Foto 27. Vista panorámica de la formación Kayra.....	41
Foto 28. Vista al Sur de la microcuenca (afloramiento de la formación Kayra).....	42
Foto 29. Areniscas de la formación Sonco.....	43
Foto 30. Afloramientos de la formación Sonco.....	43
Foto 31. Conglomerados de conos aluviales (parte superior de la foto).....	44
Foto 32. Conglomerados polimícticos de conos aluviales.....	45
Foto 33. Conglomerado de conos aluviales.....	45
Foto 34. Contacto entre conglomerados y areniscas de la formación Paruro.....	46
Foto 35. Sistemas de fracturas con aperturas de hasta 4 cm.....	50
Foto 36. Estructuras de diaclasas que atraviesan el macizo rocoso.....	51
Foto 37. Apertura de fracturas en el macizo rocoso de la formación Kayra.....	51
Foto 38. Persistencia o longitud de las diaclasas.....	52
Foto 39. Falla Yaurisque entre la formación Soncco y formación Paruro.....	55
Foto 40. Falla Miska en contacto con la formación Puquín y la formación Kayra.....	56
Foto 41. Dirección de movimiento de falla Normal con apertura de la misma.....	56

Foto 42. Presencia de estrías que indican la dirección del desplazamiento de la falla inversa en la formación Ayabacas.	57
Foto 43. Muestra los ejes, sinclinal y anticlinal, que se encuentra al NE de la microcuenca Tambuque con dirección NNW - SSE, respectivamente en la formación Paruro.	58
Foto 44. Muestra la dirección del buzamiento hacia el SW en la Formación Soncco II.	58
Foto 45. Medida de rumbo (N40°) y buzamiento (74°SE) de fracturas en la Formación Kayra.	59
Foto 46. Laguna artificial o represa Tirina.	89
Foto 47. Vista panorámica del seccionamiento de la laguna Tirina.	90
Foto 48. Estado de conservación precaria de la estructura del represamiento laguna Tirina.	91
Foto 49. Vista del rip – rap de protección en estado de asentamiento aguas abajo.	91
Foto 50. Filtración de agua del pie de talud aguas abajo del dique de represamiento.	91
Foto 51. Aforando riachuelos.	92
Foto 52. Aforo de manantes.	98
Foto 53. Registro de manante Tirina 1 de régimen permanente.	104
Foto 54. Presa Tirina usada como abrevadero de animales.	104
Foto 55. Uso agrícola de la fuentes de agua.	105
Foto 56. Diaclasas de tensión bien cerradas en la formación Quilque.	106
Foto 57. Diaclasas de distensión $a=2$ en la formación Soncco.	107
Foto 58. Familia de fracturas para ingreso de agua en la formación Kayra.	108
Foto 59. Buena apertura y presencia de fracturas en el macizo rocoso de la formación Kayra.	108
Foto 60. Pruebas de permeabilidad en la formación Kayra.	111
Foto 61. Pruebas de permeabilidad en la formación Soncco.	111
Foto 62. Prueba de permeabilidad en la formación Puquin.	112
Foto 64. Transmisibilidad alta en la formación Kayra producto de fracturas de distensión de hasta 20 cm (izq.). Formación Kayra con fracturas cerradas y macizo compacto (der).	123
Foto 65. Acuífero hidromórfico en la parte alta de la microcuenca Tambuque.	125
Foto 66. Presencia de afloramiento de cuerpo de caliza de la formación Ayabacas cerca de la laguna Tirina.	128
Foto 67. Conservación de muestra con geles refrigerantes (izq) y Muestreo de agua(der).	139
Foto 68. Etiquetado de muestras (Izq). Toma de muestra (der).	139
Foto 69. Muestras de agua listas para el laboratorio BIOTEC.	140
Foto 70. Vista panorámica a la represa Tirina.	177
Foto 71. Deterioro de infraestructura de la represa Tirina.	177
Foto 72. Estado de deterioro de canal de aliviadero de la represa Tirina.	178

MAPA N° 1. Ubicación de la zona de estudio.	2
MAPA N° 2 Accesibilidad a la zona de estudio.	5
MAPA N° 3 Geomorfología regional	16
MAPA N° 4 Pendientes.	18
MAPA N° 5 Geomorfología local.	20
MAPA N° 6 Geología regional.....	34
MAPA N° 7 Geológico local.	47
MAPA N° 8 Estructural.	60
MAPA N° 9 Hidrológico.	93
MAPA N° 10 Inventario de manantes.	97
MAPA N° 11 Hidrogeológico.	131
MAPA N° 12 Direcciones de flujo.	133
MAPA N° 13 Isoconductividad.....	146

CAPITULO I ASPECTOS GENERALES

1.1 Ubicación

1.1.1 Ubicación política

La microcuenca de Tambuque políticamente se encuentra ubicada en:

Tabla 1

Ubicación política.

REGIÓN	PROVINCIA	DISTRITO	COMUNIDAD CAMPESINA
CUSCO	PARURO	PARURO	HUATACALLA – PUCAPUCA

Esta microcuenca abarca una superficie de 1171.56 ha, que equivale a 11.72 km².



Foto 1. Vista de acceso a la comunidad de Huatacalla.

1.1.2 Ubicación geográfica.

Así mismo la microcuenca Tambuque tiene como coordenadas geográficas y UTM siguientes:

Tabla 2

Ubicación geográfica de la microcuenca Tambuque.

MICROCUEENCA	COORDENADAS GEOGRÁFICAS		COORDENADAS UTM.		ALTITUD
	LATITUD SUR	LONGITUD OESTE	ESTE	NORTE	(m.s.n.m.)
TAMBUQUE	13° 45' 9.33''	71° 53' 15.04''	187714	8477746	3642

Fuente: Elaboración Propia.

Pertenciente al datum UTM WGS84', zona 19L.

MAPA N° 1. Ubicación de la zona de estudio.



1.1.3 Ubicación hidrográfica

La microcuenca Tambuque pertenece a la red hidrográfica siguiente:

Tabla 3

Ubicación Hidrográfica

Cuenca	Subcuenca	Microcuenca
Apurímac	Rio Paruro	Tambuque

Fuente: Elaboración Propia.



Foto 2. Parte alta de la microcuenca Tambuque.

1.2 Accesibilidad

Se accede a la zona de estudio desde la carretera asfaltada Cusco- Paruro, del cual a la altura del Poblado de Ranraq'asa, se prosigue a través de carretera afirmada hacia el distrito de Paccarectambo, para finalmente sobre esta vía tomar el ramal Retamapata de trocha carrozable en mal estado de conservación a la comunidad de Retamapata y de allí a la comunidad de Huatacalla - Pucapuca pertenecientes a la microcuenca de Tambuque.

Cabe resaltar también que para acceder solo a la parte alta de la microcuenca Tambuque se puede realizar por trocha carrozable desde el centro poblado de Huanimpampa en la vía a Paccarectambo.

Por la configuración de su topografía agreste de esta microcuenca la mayor interconexión se realiza por caminos de herradura.



Foto 3. Acceso por la parte alta de la microcuenca Tambuque.

MAPA N° 2 Accesibilidad a la zona de estudio.



1.3 Metodología de trabajo.

1.3.1 Diseño de la investigación

El tipo diseño de investigación del presente trabajo de tesis es No Experimental, de tipo Transversal, Correlacional.

- Se dice que es Transversal porque la toma de variables e indicadores, se da en un momento determinado de tiempo.
- Es Correlacional, porque nos permite analizar y estudiar la relación que hay entre los hechos y las variables con el fin de conocer su nivel de influencia que podría tener en las comunidades campesinas beneficiarias.

1.3.2 Fases de la investigación

A. FASE DE PLANEAMIENTO Y ORGANIZACIÓN.

Primeramente, una vez teniendo el tema apropiado para la realización de la presente tesis de investigación, se ha programado las fechas del cronograma a cumplir y se ha establecido las fechas de salida de campo a la zona de trabajo.

B. FASE DE TRABAJO DE CAMPO.

Esta etapa estuvo dividida en cuatro fases diversas:

La primera fase, estuvo destinada a la descripción de unidades Geológicas Regionales e identificación de formas fisiográficas de relieve, seguido de un re-mapeo Geológico, a través del ajuste de contactos, características de deformación estructural y posicionamiento de estratificación.

La segunda fase, estuvo destinada a realizar la toma del inventario de Fuentes de Agua, con la toma de medidas del caudal y obtener los manantes registrados en el campo mismo.

La tercera fase, estuvo destinada a determinar la Litopermeabilidad de las formaciones geológicas que sirven de conductores por donde atraviesa las aguas meteóricas y recarga el acuífero.

La cuarta fase, estuvo destinada a ubicar los métodos apropiados frente a fenómenos de erosión, para incrementar la cantidad de infiltración en la cabecera de cuenca de la comunidad de Pucapuca.

C. FASE DE GABINETE.

Sistematización de datos:

En esta fase se sistematización de la información primaria y secundaria a través de los datos obtenidos por bibliografías la data de imágenes de Google Earth, ArcGIS imagery y Raster, se dividieron en dos fases:

- Fase A, es la más importante de todo el estudio, en esta fase se elaboraron todos los shapets que nos son fundamentales en la posterior elaboración del informe.
- Fase B, se procedió a la elaboración del informe preliminar, que, siendo sujeto a varios ajustes y correcciones hechas por el asesor, finalmente se logró obtener el informe final el cual es presentado para la exposición.

1.3.3 Recopilación de información básica

1.3.3.1 Antecedentes.

- El instituto de manejo de agua y medio ambiente IMA, ha realizado un estudio referente a “Cosecha de agua en microcuencas lacustres con enfoque familiar en la cuenca media del Apurímac”, realizado año 2012; en ella menciona varias microcuencas entre las cuales también habla de la microcuenca Tambuque; como finalidad de ese estudio se menciona la reconstrucción de una represa denominada Tirina, la construcción de zanjas de infiltración y forestación.

Comentario: A 8 años de realizado este expediente por el IMA, nosotros los tesisas comprobamos que hasta la fecha no se ha realizado ninguna acción de intervención, razón por lo cual ha generado en la población una decepción y malestar a las promesas hechas en ese entonces. Sin embargo, cabe agradecer a los pobladores de las comunidades de Tambuque y Huatacalla por su apoyo y predisposición a brindarnos información y permitirnos el acceso a sus fuentes de agua, que para ellos son su única fuente de vida; cabe recalcar que por parte nuestra se les hizo entrega de una planilla con datos de los manantes, así como su mapa de la ubicación de sus fuentes de agua (Manantes).

- La municipalidad de Paruro, a través de la Gerencia de Desarrollo Económico, cuenta con estudios para intervenir esta zona con forestación y zanjas de infiltración, pero aun en perfil.

Comentario: Revisando el contenido de estos documentos se puede apreciar que no fundamente estas acciones desde el punto de vista hidrogeológico, es decir solo tiene una visión agronómica y medioambiental.

- Como información geológica, se cuenta con estudios a nivel regional realizado por el INGEMMET, a través del boletín 28 S, del año 2011.

Comentario: esta información es relevante, pues nos da a conocer las unidades geológicas preliminares que podríamos encontrar en la microcuenca, así como la posible existencia de fallas y contactos en esos lugares; sin embargo, en la visita de campo como es de nivel detallado, pudimos encontrar afloramientos de rocas, y contactos de formaciones en otros lugares, así como pequeñas fallas no identificadas en ese estudio.

1.3.3.2 Información Cartográfica.

- Se cuenta con información base de cartas topográficas del Instituto Geográfico Nacional (IGN).
- Base de datos espacial del SIGMED.
- Se cuenta con Imagen satelital del Sasplanet, del año 2017,
- Se cuenta con imagen satelital DEM, del Aster Global DEM. V2, en formato GEOTIFF.
- Se cuenta con topografías a diferentes escalas obtenidas con el software GLOBAL MAPPER v16.
- Se ha contado con información hidrometeorológica, como precipitación, temperatura, radiación solar, comprada del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología – SENAMHI.

1.3.3.3 Procesamiento de Información – SIG.

Este programa por su naturaleza es interactivo, que cuenta con una base de datos los cuales posibilitan la integración de información en tiempo real.

Todos los mapas son resultados del procesamiento de campo y superposición de los mismos, están en una proyección UTM (Universal Transverse Mercator) y el datum utilizado es WGS84.

Modelamiento geológico utilizando el software de manejo de datos LEAPFROG 4.0 GEO, obteniéndose de este programa las secciones geológicas – estructurales, también se obtuvo un modelo en 3D de la geología de la microcuenca Tambuque.

1.3.3.4 Actividades preliminares de campo.

Para empezar el trabajo de campo propiamente dicho fue necesario entrevistarnos con los pobladores de la comunidad de Huatacalla-Pucapuca para manifestarles la intención de realizar una tesis con enfoque al recurso hídrico, esta fase consideramos importante para no generar malos entendidos con los pobladores en primer lugar de ver personas extrañas, y en segundo lugar que sepan que somos estudiantes universitarios y no trabajadores de alguna empresa (minera), así permitir el apoyo de ellos en las zonas de visita.



Foto 4. Consulta a pobladores del lugar. Preguntas relacionadas a: Número de familias, formas de uso de agua, épocas de siembra, tipos de cultivos, meses de escasez de agua.

1.3.3.5 Trabajos de campo

En esta fase se realizaron los cartografiados o mapeo de unidades geológicas, la toma de medidas de rumbo y buzamiento de la estratificación y deformaciones estructurales, así mismo en esta etapa se procedieron a la toma de muestras de mano para la descripción

petrológica en gabinete; desde el punto de vista hidrogeológico, en esta fase se realizaron los inventarios de manantes, georreferenciación de las mismas y toma de muestras siguiendo el protocolo de la norma “protocolo de monitoreo de la calidad de agua sanitaria de recursos hídricos superficiales” según DIGESA; se realizaron las pruebas de permeabilidad según modelo de carga constante; se identificaron las formas de unidades fisiográficas para su correspondiente mapa. Y finalmente con ayuda de los pobladores se identificaron los principales tipos de cultivo, periodos de siembras y áreas que ocupan para el correspondiente análisis de demanda de agua agrícola.

Las siguientes fotografías muestran el trabajo de campo realizado:



Foto 5. Interpretación del paisaje geomorfológico del lugar según manuales del MINAM.



Foto 6. Inventario, hidrometría y muestreo de fuentes de agua, con equipos y herramientas propias. (izq.). Identificación a detalle de fuentes de agua. (der.).



Foto 7. Prueba de carga constante en la formación Puquín, lutitas fracturadas (izq.). Pruebas de infiltración en la formación Kayra, en las fracturas del macizo rocoso (der.).



Foto 8. Identificación de actividades socioeconómicas de la microcuenca Tambuque.



Foto 9. Toma de datos fisicoquímicos con el multiparámetro.



Foto 10. toma de muestras para análisis hidroquímicos. (izq.). toma de muestras para análisis microbiológicos (der)

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general.

Realizar el estudio hidrogeológico para la recarga de los acuíferos en la microcuenca Tambuque ubicados en los distritos de Paruro, región Cusco.

1.4.2 Objetivos específicos

1. Determinar los parámetros climáticos que interviene según altitud y su relación con el ciclo hidrológico de la microcuenca Tambuque.
2. Identificar las características geomorfológicas del área de estudio.
3. Determinar las condiciones geológicas y estructurales de la microcuenca Tambuque.
4. Identificar las fuentes de disponibilidad hídrica y su estado de conservación.
5. Identificar y delimitar las unidades hidrogeológicas.
6. Interpretar y relacionar la calidad de agua y su relación con el origen geológico.
7. Determinar el balance hídrico de la microcuenca Tambuque.
8. Identificar las actividades de recarga, diseño y costo-presupuesto que demandara la aplicación de esta propuesta de recarga.

1.5 Justificación:

Debido a la problemática existente en los poblados ubicados al interior de la microcuenca y alrededores, relacionada con la continua disminución del recurso hídrico para abastecimiento de agua para el consumo humano y agrícola, es que nos hemos planteado el desarrollo de este trabajo de investigación, que a la luz de los hechos, dará mucho aporte para la ubicación de las acciones de recarga y mitigará a corto, mediano y largo plazo los efectos producidos por la variabilidad climática y malas acciones antrópicas de la población del lugar.

1.6 Hipótesis

1.6.1 Hipótesis general

¿El conocimiento del comportamiento geológico, estructural, hidrológico e hidrogeológico en el ámbito de las comunidades de Huatacalla - Pucapuca, garantizara la correcta aplicación de las acciones de retención hídrica y por ende la sostenibilidad del recurso hídrico a través del tiempo?

1.6.2 Hipótesis específica

1. Los elementos del clima a lo largo de los 39 años de evaluación muestran cambios sustanciales que intervienen negativamente en el proceso de recarga.
2. La recarga de los acuíferos está supeditado al control estructural y litológico.
3. La presencia de unidades geológicas marinas y continentales permite la variación de la calidad fisicoquímica de las aguas.
4. Se espera que producto de las acciones de recarga hídrica en los acuíferos identificados tenga efecto positivo en los volúmenes de descarga anual de las fuentes subterráneas y mayor volumen de almacenamiento de las lagunas naturales.

MAPA N° 3 Geomorfología regional



2.2 Geomorfología local

Para la elaboración de la geomorfología local, existe un modelo propuesto por el MINAM, para estudios de medio físico, a través del cual primero se necesita determinar el mapa de pendientes, seguido del mapa de unidades fisiográficas y finalmente con ayuda del mapa geológico determinar las unidades geomorfológicas.

2.2.1 Pendientes

Para determinar el rango de pendientes, primero se obtuvo un DEM (imagen de modelo de elevación digital), seguidamente se ha creado un TIN (red de triangulación irregular), para luego extraer un SLOPE (pendiente), y finalmente reclasificar las clases de pendiente según el modelo del MINAM que presenta la zona de estudio, todo ello se ha obtenido a través del software ArcGIS.

En el siguiente cuadro se presenta la distribución de las clases de pendientes (según MINAM) que existe en la microcuenca Tambuque.

Tabla 4

Distribución porcentual de la pendiente microcuenca Tambuque.

RANGO	PENDIENTE	ÁREA (Ha.)
0-2 %	Plano o allanado	61,43
2-4 %	Ligeramente inclinada	6,53
4-8 %	Moderadamente inclinada	11,18
8-15 %	Fuertemente inclinada	60,37
15-25 %	Moderadamente empinada	225,66
25-50 %	Empinada	541,16
50-75 %	Muy empinada	213,11
>75 %	Escarpado	49,59
TOTAL, ÁREA		1171,56

Fuente: Propia

MAPA N° 4 Pendientes.



2.2.2 Fisiografía

Es parte de geografía física, que interpreta el relieve terrestre a través del paisaje fisonómico a nivel macro, esta unidad se divide en las unidades de gran paisaje siguientes:

- **Altiplanicie**
- **Planicie**
- **Montañas**

La combinación de estas unidades macro con las unidades de pendiente forman las subunidades de paisaje, en el cuadro siguiente, se resumen la forma como se distribuye porcentualmente cada unidad fisiográfica en el ámbito de la microcuenca de Tambuque:

Tabla 5

Distribución espacial de Unidades de gran paisaje y Sub Unidades Geomorfológicas.

UNIDAD DE GRAN PAISAJE	SUB-UNIDAD GEOMORFOLÓGICA	Tambuque	
		Ha	%
ALTIPLANICIE	Altiplanicie allanada	4.45	0,38
PLANICIE	Fondo de valle aluvial	53.35	4,56
MONTAÑOSO	Vertientes de montaña allanada	281.95	24,10
	Vertientes de montaña Empinadas	323.27	27,64
	Vertientes de montaña Muy empinadas	506.77	43,32
TOTAL, SUPERFICIE		1171,56	100,00

Fuente: Propia

MAPA N° 5 Geomorfología local.



2.2.1 Unidades de gran paisaje y sub unidades geomorfológicas

2.2.1.1 *Altiplanicies.*

Son geoformas de relieve plano inclinadas, ubicadas por lo general por encima de los 3800m en cabecera de la microcuenca, está conformado por superficies de erosión y sedimentación con pendientes entre 0% a 15% y ocupa el 0.38% de la superficie total de la microcuenca; conformada por zonas depresionadas allanadas en la microcuenca, esta unidad de gran paisaje se subdivide en las siguiente sub unidades fisiográficas. A nivel de cobertura vegetal es el dominio de pastos naturales espinosos.



Foto 11. Vista general de altiplanicie (4100 msnm).

2.2.1.1.1 **Altiplanicies Allanadas (A_a).**

Están constituidas por sectores de peneplanicies con pendientes predominantes de 0 a 15%, que se ubican en la parte alta, generalmente sobre los 3 800 y los 4 200 m.s.n.m. En general, están compuestas por formas plano onduladas suaves producto de relleno glaciárica cuaternarias. La forma del relieve de esta unidad se debe principalmente a procesos de deposición y erosión de antiguas glaciaciones que han dejado superficies plano onduladas.

Un rasgo fisiográfico común a estas formas de relieve, es el desarrollo de **humedales**, en los sectores planos o depresionados a consecuencia de la concentración de la escorrentía superficial y subterránea (manantes) de acuíferos cercanos, con el desarrollo de suelos orgánico-arcillosos y profundos. Ocupa el 0.38% de la superficie total de la microcuenca.



Foto 12. Vista de altiplanicie allanada (4100 msnm)



Foto 13. Vista de altiplanicie allanada (4100 msnm)

2.2.1.2 Planicies.

Son geoformas de relieve inclinadas, ubicadas por lo general en los fondos de valle, está conformado por superficies de erosión, por zonas depresionadas y allanadas; en la microcuenca Tambuque, esta unidad de gran paisaje se subdivide en las siguiente sub unidad fisiográfica (Fondo de valle aluvial).

2.2.1.2.1 Fondo de valle aluvial (Fv_al).

Es una geoforma caracterizada por tener un relieve plano inclinado, con pendientes de 0 a 25 %, originado por acumulaciones sucesivas de depósitos de arrastre aluvial, fluvio-glaciar o de antiguos lechos fluviales. Litológicamente está constituido por fragmentos angulosos a subredondeados de fragmentos rocosos (dependiendo del material parental), envueltos en una matriz limo arcillo arenosos. Esta unidad fisiográfica ocupa el 4.56 % del área total de la microcuenca.



Foto 14. Vista panorámica fondo de valle aluvial.



Foto 15. Vista panorámica fondo de valle aluvial parte baja.

2.2.1.3 Montañas.

En forma general, esta unidad es la que predomina en la zona de estudio y ocupan el 95.06 % del área de estudio; las montañas se consideran como las culminaciones altitudinales del sistema cordillerano andino o áreas de mayor levantamiento orogénico con vertientes que van desde moderadamente empinadas a escarpadas (15 a+50 %) y alturas que superan los 1000 m del nivel base (río Paruro).

El paisaje montañoso se puede subdividir en diversas geoformas de acuerdo a su grado de inclinación y disección, de acuerdo a esto se tiene:

Esta unidad de gran paisaje se divide en:

- Vertiente de montaña allanada.
- Vertiente de montaña empinada.
- Vertiente de montaña muy empinada



Foto 16. Vista panorámica unidad de gran paisaje montaña.

2.2.1.3.1 Vertientes de montañas allanadas (Vm_a)

Son estructuras fisiográficas moderadamente empinadas menores a 25 % que conforman parte del pie de montaña, se dice que es allanada por la ausencia de sistemas de cárcavas comunes, dando una forma de relieve allanada producto de la sedimentación y erosión glacio fluvial que ha modelado su vertiente. Esta unidad, ocupa el 24.10 % de la superficie total de la microcuenca. En la parte baja media y baja de la microcuenca esta unidad es eminente

agrícola. Litológicamente esta unidad está conformada por suelos coluviales y aluviales de conos de deyección.



Foto 17. Vertientes de montaña en pie de montaña allanada.

2.2.1.3.1 Vertientes de montaña empinadas (Vm_e)

Estas geoformas poseen una topografía moderadamente accidentada, con pendientes predominantes mayores a 25% hasta los 50%, se distribuyen de manera amplia y dispersa en toda la microcuenca especialmente en la parte media. Conformado por unidades rocosas expuestas a factores de meteorización e intemperismo fuerte, por lo que la cubierta suelo es muy superficial y la cubierta vegetal es escasa. Esta unidad fisiográfica ocupa el 27.64% de la superficie de la microcuenca.



Foto 18. Vertientes de montaña empinada.

2.2.1.3.2 Vertientes de montaña muy empinadas (Vm_me)

Estas geoformas poseen una topografía accidentada, con pendientes predominantes mayores a 50%, se distribuyen de manera considerable y dispersa en toda la microcuenca especialmente en zonas cercanas a las cimas de montaña agrestes. Conformado por unidades rocosas expuestas a factores de meteorización e intemperismo fuerte, por lo que la cubierta suelo es muy superficial y la cubierta vegetal es escasa. Esta unidad fisiográfica ocupa el 43.32% de la superficie de la microcuenca.



Foto 19. vertientes de montaña muy empinada en afloramiento rocoso.

CAPITULO III GEOLOGÍA

3.1 Geología regional:

Regionalmente la zona de estudio está comprendida dentro de la hoja 28sIII y 28sIV, del cuadrángulo del Cusco, boletín N° 138 serie A - 2011.

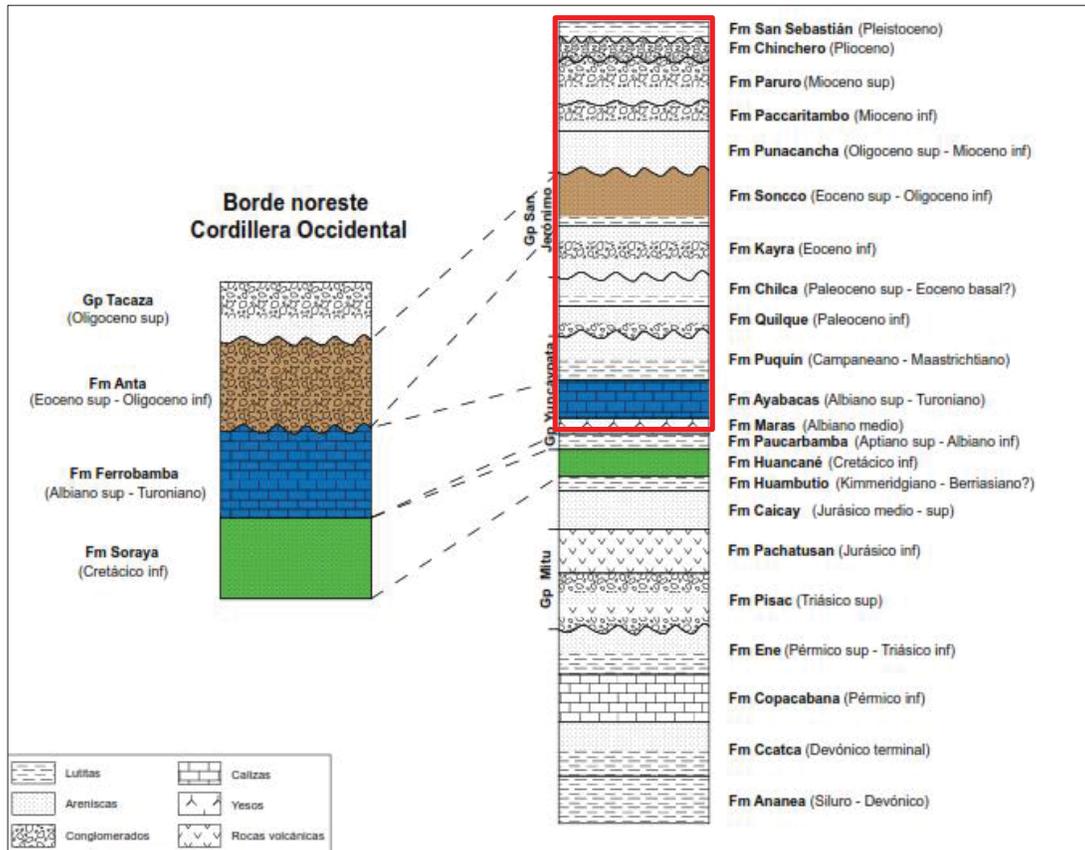


Figura 3 Estratigrafía de los dominios morfoestructurales regionales (INGEMMET)

Dentro de la microcuenca Tambuque regionalmente se han identificado las siguientes formaciones geológicas que van desde el Albiano medio representado por la formación Maras, hasta los más recientes depósitos Cuaternarios como material coluvial, aluvial y fluvial.

3.1.1 Descripción de unidades geológicas regionales

3.1.1.1 FORMACIÓN MARAS (Ki-ma): Albiano medio

Se ha considerado como Formación Maras a todos los afloramientos sean estratificados o caóticos de yesos y lutitas que aparecen dentro del Grupo Yuncaypata, incluidos los yesos que han sufrido removilizaciones por efectos tectónicos y diapíricos. Es por esta razón que en el

mapa geológico esta unidad aparece cartografiada cortando de manera irregular a rocas de edades más jóvenes. Aflora en Paccarectambo, donde corta a la Formación Anta del Eoceno.

Edad. La edad Albiana media de la Formación Maras es asumida en base a su posición estratigráfica y por correlaciones; ya que sobreyace a la Formación Paucarbamba de posible edad Aptiana superior-Albiana inferior e infrayace a las Calizas Ayabacas del Albiano-Turoniano.

3.1.1.2 FORMACIÓN AYABACAS (Kis-ay): Albiano superior - Turoniano

Definición y relaciones estratigráficas. La Formación Ayabacas o Calizas Yuncaypata (Kalafatovich, 1957) aflora también de manera disarmónica o caótica. Estas calizas no aparecen en muchas secciones estratigráficas del Grupo Yuncaypata, mientras que en otras lo hacen de manera abundante como resultado de deslizamientos sinsedimentarios, tal como se observa al norte de Acomayo y de Cusco.

Edad. En Qenqo y Saqsaywaman, justo cerca del límite con el cuadrángulo de Calca, Kalafatovich (1957) encontró el ammonites de la especie *Neolobites* sp., que indica una edad Cenomaniana. Por correlación con las calizas Arcurquina, la edad de la formación va desde el Albiano superior hasta el Turoniano.

3.1.1.3 FORMACIÓN PUQUÍN (Ks-pu): Coniaciano- Maestrichtiano

Definición y relaciones estratigráficas. La Formación Puquín (Carlotto, 1992; Carlotto et al., 1992) sobreyace a la Formación Ayabacas, pero en general, el contacto corresponde a un nivel de despegue. La Formación Puquín, está dividida en tres miembros llamados M1, M2 y M3, y aflora ampliamente en el núcleo del anticlinal de Puquín, en el anticlinal de Saylla, al norte de Saylla, entre **Rondocan y San Juan de Quihuares**.

Edad. El Miembro M1 no ha reportado fósiles, pero por comparaciones regionales se le asigna una edad Coniaciana- Santoniana. Las secuencias basales de AM2 y BM2 del Miembro M2 son asignadas al Santoniano y Campaniano medio respectivamente a partir de correlaciones regionales. En Puquín, la parte lacustre de BM2 contiene *Platychara perlata* y *Feistiella ovalis* (Carlotto et al., 1992; Jaillard et al., 1994), que indican una edad Campaniana media-Maestrichtiana. En la misma sección de Puquín, en el Miembro M3 la presencia de carofitas *Feistiella gildemeisteri* y *Platychara grambastii* (Carlotto et al, 1992; Jaillard et al, 1994) indicaría el Maestrichtiano.

PALEÓGENO

El Paleógeno de Cusco fue puesto en evidencia por Carlotto (1992-1998) en base a estudios sedimentológicos, paleontológicos y dataciones radiométricas. Este autor define y separa las Series Rojas Superiores conformadas por las formaciones Quilque y Chilca del Paleoceno, de la Formación Puquín (Cretácico superior) y de las Capas Rojas del Grupo San Jerónimo del (Eoceno- Oligoceno).

3.1.1.4 FORMACIÓN QUILQUE (Pp-qu): Paleoceno inferior

Definición y relaciones estratigráficas. Definida por Gregory (1916), quien le atribuyó una edad pérmica. Carlotto (1992) hace un estudio sedimentológico y estratigráfico determinando la edad paleocena. Estas capas rojas reposan en discordancia erosional sobre la Formación Puquín (Foto 23). La Formación Quilque aflora al oeste de la ciudad de Cusco en los flancos del anticlinal de Puquín, y en los flancos de los anticlinales de Saylla, Occopata y Sondor. Igualmente lo hace de manera amplia al norte de Accha, entre San Juan de Quihuares y Rondocan, en Acomayo y en la zona de la laguna de Pomacanchi en el extremo sureste del cuadrante II.

Edad. La presencia de carofitas, de la especie *Nitellopsis supraplana* (Carlotto et al., 1992; Jaillard et al., 1994), indicaría una edad Paleocena inferior.

La discordancia de base de la Formación Quilque sobre la Formación Puquín, pone en evidencia la existencia de eventos tectónicos en el límite Maestrichtiano-Paleoceno.

La Formación Quilque puede ser correlacionable con la Formación Santa Lucía (Paleoceno) de Bolivia (Sempere et al., 1997).

3.1.1.5 FORMACION CHILCA (Pp-ch): Paleoceno superior- Eoceno basal

Definición y relaciones estratigráficas. Para la región de Cusco, Carlotto, (1992) indica que esta unidad se encuentra en los mismos lugares donde aflora la Formación Quilque, aunque en la mayoría de los casos se halla erosionada parcialmente. Esta formación se encuentra en discordancia erosional sobre la Formación Quilque (Paleoceno inferior) y bajo la Formación Kayra (Eoceno inferior).

Edad. En vista que las formaciones Quilque y Chilca tienen el mismo contenido fósil, se ha recurrido a las observaciones de campo (discordancias) y las correlaciones estratigráficas, de donde podemos asumir una edad Paleocena inferior para la Formación Quilque, en tanto que la Formación Chilca sería del Paleoceno superior-Eoceno inferior.

3.1.1.6 GRUPO SAN JERÓNIMO

Una potente serie roja de origen continental de más de 6000 m de espesor conocido como Grupo San Jerónimo (Córdova, 1986), aflora ampliamente en la región de Cusco y Sicuani. El Grupo San Jerónimo originalmente ha sido dividido en tres formaciones (Córdova, 1986): Kayra (3000 m), Soncco (1600 m) y Punacancha (1700 m). Actualmente solo las formaciones Kayra y Soncco se han redefinido como parte del Grupo San Jerónimo (Carlotto et al., 1997b; Carlotto, 1998-2002; Carlotto et al., 2005) que sobreyace en discordancia erosional a las formaciones Quilque y Chilca (Foto 23). Las formaciones Kayra y Soncco forman un conjunto que está principalmente constituido por areniscas feldespáticas intercaladas con limolitas y algunos bancos de conglomerados, todos de origen fluvial y de edad eocena inferior oligocena inferior (Carlotto, 1998, 2002, 2006a).

3.1.1.6.1 FORMACION KAYRA (Peo-ky): Eoceno inferior.

Definición y relaciones estratigráficas. La Formación Kayra (Córdova, 1986) aflora ampliamente al sur de la ciudad del Cusco, donde forma parte del sinclinal de Anahuarqui y anticlinal de Puquín, al oeste. Igualmente lo hace en el sinclinal de Ancaschaca, en Yaurisque-Paruro, en el sinclinal de San Lorenzo y en el sector de Cusibamba-Sanka.

Edad. Estudios anteriores habían considerado a las Capas Rojas del Grupo San Jerónimo como de edad cretácica superior-terciaria (Marocco, 1978; Córdova, 1986). Estudios recientes (Carlotto et al., 1995a; Carlotto, 1998, 2002, 2006a) han mostrado que el Grupo San Jerónimo reposa sobre secuencias datadas paleontológicamente como del Paleoceno-Eoceno inferior? (Formación Chilca). Nuevas edades trazas de fisión FT en apatitos de la base de la Formación Kayra indican una edad de 52.6 ± 8.7 Ma (Eoceno basal) hasta 43 a 42 Ma. En consecuencia, la edad de la Formación Kayra es eocena inferior.

3.1.1.6.2 FORMACIÓN SONCCO (Peo-so): Eoceno superior - Oligoceno inferior

Definición y relaciones estratigráficas. La Formación Soncco (Córdova, 1986) sobreyace concordantemente o en discordancia progresiva a la Formación Kayra, como se aprecia en Ancaschaca. Aflora en los mismos lugares donde lo hace la Formación Kayra y además al oeste de Yaurisque.

Edad. Al suroeste de la ciudad de Cusco, en el flanco suroeste del anticlinal Saylla-Lucre, cerca al techo de la Formación Soncco, tobas volcánicas dieron una edad K/Ar en plagioclasas de 29.9 ± 1.4 Ma (Carlotto et al, 1995a) y una edad Ar/Ar 30.84 ± 0.83 (Fornari et al., 2002). Esto permite asignarle a esta unidad una edad del Eoceno superior-

ligoceno inferior. Nuevas edades FT indican que la sedimentación de la Formación Soncco comienza en 43 Ma y va hasta 30 Ma, es decir Eoceno superior-Oligoceno inferior.

NEÓGENO

Igualmente, en el Neógeno distinguimos dos unidades paleogeográficas: el borde NE de la Cordillera Occidental donde se depositó los conglomerados y volcánicos del Grupo Tacaza, y el Altiplano donde se han depositado las areniscas y conglomerados de la Formación Punacancha y de la Formación Paccaritambo.

3.1.1.7 FORMACIÓN ANTA (*Peo-an*): Eoceno superior-Oligoceno inferior

Definición y relaciones estratigráficas. La Formación Anta (Carlotto et al., 1996, 1997b) aflora ampliamente en el borde norte de la Cordillera Occidental, entre Huanquite, Paccaritambo, Coyabama, Accha y Acomayo-Pomacanchi. Desde el punto de vista paleogeográfico es el equivalente proximal de la Formación Soncco (Carlotto, 1998).

Edad. La edad de esta unidad es conocida porque sobreyace a unidades paleocenas-eocenas y por tener dataciones radiométricas. En Limatambo (Cuadrángulo de Urubamba, 27-r) esta unidad reposa en discordancia sobre rocas intrusivas datadas por el método K/Ar sobre hornblendas en 43.3 ± 1.9 Ma (Carlotto, 1998). Los plutones de Pomacanchi y Acopia infrayacentes a la Formación Anta han sido datadas en 42 Ma (Bonhomme et al., 1985; Carlier et al., 1996). Estos datos permiten atribuir a la Formación Anta una edad comprendida entre el Eoceno medio al Oligoceno inferior (42 a 30 Ma).

3.1.1.8 GRUPO TACAZA (*No-ta*): Oligoceno superior

Definición y relaciones estratigráficas. Una unidad que aflora al borde noreste de la Cordillera Occidental, al sur de Coyabamba, sobrepasando el límite sur del cuadrante III, es denominada provisionalmente como Grupo Tacaza sedimentario. Sobreyace en leve discordancia angular a la Formación Anta, estructura que se ve nítidamente en la carretera Cusco-Santo Tomás, en el desvío a Ccapi. Igualmente, sobreyace a los cuerpos intrusivos presentes en la zona, como el macizo de Quepuro y sobre las cuarcitas de la Formación Hualhuani y las calizas de la Formación Ferrobamba, rellenando paleorelieves.

Edad. Es difícil determinar su edad por la falta de niveles volcánicos o restos fósiles, sin embargo, por sobreyacer a la Formación Anta cuyo techo es de 29 Ma, se le estima una edad Oligoceno superior-Mioceno inferior, y en parte correlacionable con la Formación Punacancha del Altiplano.

3.1.1.9 FORMACIÓN PUNACANCHA (Nom-pu): Oligoceno superior-Mioceno inferior

Definición y relaciones estratigráficas. La Formación Punacancha (Córdova, 1986; Chávez et al., 1994, Carlotto et al., 1997b) reposa en concordancia o en ligera discordancia angular sobre la Formación Soncco. Aflora al SE de la ciudad del Cusco, en los cuadrantes II, III y IV donde forma el sinclinorio del mismo nombre entre Punacancha y el norte de Acomayo (cuenca Punacancha). La formación está recubierta en discordancia angular por la Formación Paruro (Mioceno superior).

Edad. La Formación Punacancha es posterior a la Formación Soncco (Eoceno superior-Oligoceno inferior) y anterior a la Formación Paruro (Mioceno superior).

En un mismo corte donde afloran estas tres unidades, los piroclastos del techo de la Formación Soncco están datados por K/Ar en 29.9 ± 1.4 Ma (Carlotto et al., 1995a) y 30.84 ± 8.83 Ma (Fornari et al., 2002), las tobas de la base de la Formación Paruro dan una edad K/Ar de 10.1 ± 1.1 Ma (Carlotto, 1998). Nuevos datos FT en apatitos son concordantes ya que se tiene una edad que parece corresponder al inicio de la sedimentación de 29.3 ± 2.5 Ma (este trabajo). Por otro lado, en la parte media del Miembro I otra datación FT en apatitos indica una edad de 24.6 ± 2.1 Ma. En consecuencia, la edad de la Formación Punacancha está comprendida entre el Oligoceno superior y el Mioceno inferior.

3.1.1.10 FORMACIÓN PACCARITAMBO (Nm-pac): Mioceno inferior

Definición y relaciones estratigráficas. La Formación Paccaritambo es puesta en evidencia en la cartografía actualizada del cuadrángulo de Cusco. Esta unidad aflora en el cuadrante III, en el Altiplano y en el límite de la Cordillera Occidental-Altiplano, todo en el distrito de Paccaritambo y alrededores. Sobreyace en discordancia angular al Grupo Yuncaypata. Esta unidad tiene edades FT variables (Van Heiningen et al., 2004 y 2005), pero son interpretadas ahora como del Mioceno inferior, entre 22 y 13 Ma.

Edad. Dataciones radiométricas FT (Van Heiningen et al., 2004, 2005) dan edades variables, sin embargo, su posición estratigráfica sobreyaciendo a la Formación Anta (Eoceno superior-Oligoceno inferior) y las interpretaciones de estas edades permiten sugerir que la Formación Paccaritambo varía entre 20.8 ± 4.1 Ma y 13.3 Ma, siendo equivalente de la parte superior de la Formación Punacancha.

3.1.1.11 FORMACIÓN PARURO (Nm-pa): Mioceno superior

Definición y relaciones estratigráficas. La Formación Paruro fue definida por Córdova (1986), luego Jaimes y Romero (1996), Carlotto et al. (1997b) y Carlotto (1998) fueron precisando la estratigrafía y la evolución sedimentaria de esta unidad litoestratigráfica.

Aflora en los alrededores del poblado de Paruro y se prolonga al norte hasta Yaurisque y al sur hasta Cusibamba y el noroeste de Acomayo. Los sedimentos de esta unidad se han depositado en la cuenca Paruro que es alargada en dirección NNO-SSE y de dimensiones de 35 por 3 km (cuadrantes III y IV). Esta cuenca está controlada por las fallas NO-SE y NNO-SSE de Colcha-Coyabamba-Acomayo y Yaurisque-Papres-Acomayo.

Edad. En la base del Miembro I se observa un nivel de tobas volcánicas que han sido datadas por K/Ar sobre biotitas en 10.1 ± 1.1 Ma (Carlotto, 1998). En la parte basal también se han encontrado carofitas determinadas como *Chara* sp. y *Rhabdochara* gr. *Langeri*, que indican el Mioceno superior (Carlotto, 1998). El Miembro II puede tener una edad de 8 a 5 Ma. (Mioceno terminal) ya que la discordancia progresiva podría estar en relación con el evento que se inicia en esa época.

3.1.1.12 FORMACIÓN SAN SEBASTIÁN (Q-sa): Pleistoceno

Definición y relaciones estratigráficas. La Formación San Sebastián fue definida por Gregory (1916) en la Depresión de Cusco, donde sobreyace al basamento Cretácico y Terciario. Esta unidad también se presenta en Ayusbamba (Cuadrante III). Por razones de escala incluye los conglomerados de conos aluviales (50 a 70 m) del Plioceno de la Formación Chincheros de las cuencas de Cusco y Ccatca.

Edad. La presencia de una gran variedad de fósiles vertebrados y de palinomorfos ha permitido datar esta formación como del Pleistoceno (Kalafatovich, 1955; Ramírez, 1958; De Muizon, en Cabrera, 1988).

MAPA N° 6 Geología regional.



3.2 Marco geológico local

Las unidades geológicas identificadas en la microcuenca Tambuque van desde el Cretácico inferior (± 135 m.a) representado por la formación Maras hasta el Cuaternario actual representado por depósitos fluviales. Cuya secuencia en orden de sedimentación se detalla en la siguiente columna estratigráfica.

Tabla 6

Columna estratigráfica local de la microcuenca Tambuque.

ERA	SISTEMA	SERIE		GRUP/ FORM.	+M.A	LEY/SIMB	Potencia (Km)
CENOZOICO	CUATERNARIO	Holoceno	Recien.	Fluvial	0.01	Q-fl	0.001 – 0.003
				Aluvial	0.1	Q-al	0.01 – 0.03
				Coluvial	0.1	Q-co	0.01 – 0.03
	NEÓGENO	Mioceno	Sup.	Fm. Paruro II	7	Nm-Pa II	0.8 - 1
			Inf	Fm Paruro I	20	Nm-Pa I	0.37 – 0.7
	PALEÓGENO	Oligoceno	Sup.	Fm. Tacaza	23	No-Ta	0.8 – 1
			Inf.	Fm. Soncco II	34	Peo-So II	1 – 2
		Eoceno	Inf.	Fm. Kayra	53	Peo-ky	1 – 2
		Paleoceno	Inf.	Fm. Quilque	65	Pp-qu	0.15 – 0.2
MESOZOICO	CRETÁCICO	Sup.	Fm. Puquín	84	Ks-pu	0.38 – 0.4	
		Med.	Fm. Ayabacas	94	Kis-ay	0.1 – 0.15	
		Inf.	Fm. Maras	112	Ki_ma	0.1 – 0.4	

Fuente: INGEMMET.

3.2.1 Distribución estadística de la geología local en la microcuenca Tambuque.

En la tabla 7 se muestra la distribución areal y porcentual de las unidades geológicas dentro de la microcuenca Tambuque, ocupando el mayor porcentaje del área total de la microcuenca la formación Soncco II con un 29.28% y el menor porcentaje del área total de la microcuenca la formación Maras con un 0.03%.

Tabla 7

Distribución areal y porcentual de las unidades geológicas

UNIDAD GEOLOGICA	SIMBOLO	AREA(Ha)	%
Depósito Fluvial	Q-fl	16.76	1.43
Depósitos Aluviales	Q-al	36.60	3.13
Deposito Coluvial	Q-co	4.45	0.38
Formación Paruro I	Nm-pa I	40.62	3.47
Formación Paruro II	Nm-pa II	230.37	19.70
Grupo Tacaza	PN-ta	57.88	4.95
Formación Soncco - II	Peo-so II	341.91	29.24
Formación Kayra	Peo-ky	266.18	22.76
Formación Quilque	Pp-qu	47.59	4.07
Formación Puquín	Ks-pu	122.20	10.45
Formación Ayabacas	Kis-ay	4.54	0.39
Formación Maras	Ki-ma	0.35	0.03
TOTAL		1171.56	100

Fuente. Elaboración propia.

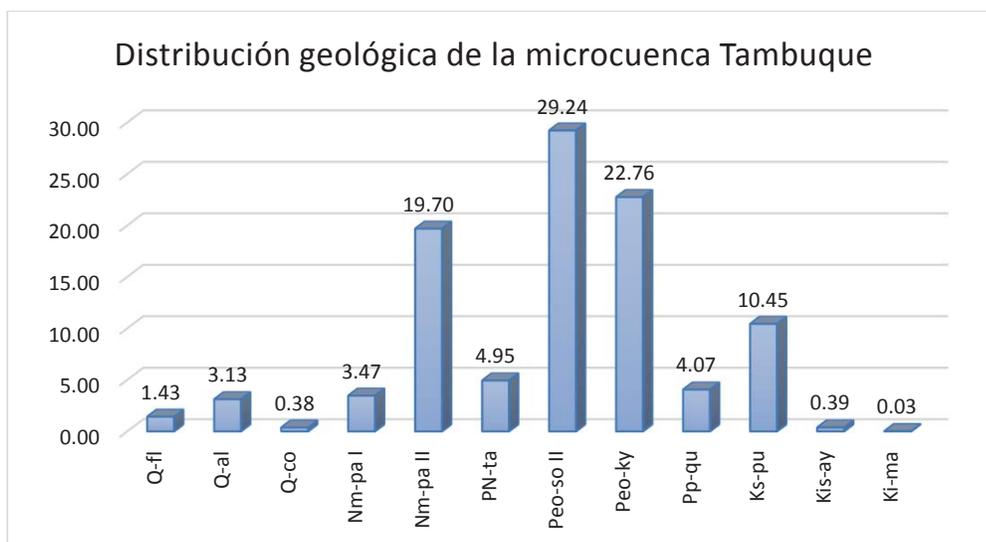


Figura 4. Distribución estadística de las unidades geológicas

3.2.2 Descripción de unidades geológicas.

3.2.2.1 Formación Maras: Albiano medio (Ki-ma).

Aflora en la parte NW de la microcuenca Tambuque, ocupando un área pequeña de 0.04 Ha. Conformar un afloramiento caótico de yeso, lutitas rojas, lutitas verdes de origen lacustre o marinos poco profundos con escasa presencia de calizas de origen transgresivo y yesos.

El espesor total de esta unidad es difícil calcular por la morfología caótica de su potencia, pero podemos estimar entre 50 metros aproximadamente por el afloramiento en la microcuenca.



Foto 20. Margas de la formación Maras ubicadas al borde NW de la microcuenca Tambuque.



Foto 21. Afloramiento de calizas de la formación Maras (miembro superior), ubicadas al borde NW de la microcuenca Tambuque.

3.2.2.2 *Formación Ayabacas: albiano superior - turoniano (Kis-ay).*

Aflora también de manera disarmónica en la microcuenca de Tambuque, alrededor de la laguna de Tirina (parte alta de la microcuenca).

Estas calizas se hallan frecuentemente dolomitizadas por poseer una textura mudstone bioturbadas. Sin embargo, se ha podido reconocer facies margosas gris oscuras o calizas sucias, estas calizas presentan bioclastos hacia el techo de la formación, así como presencia de brechas. (Kalafatovich, 1957).

Las diferencias de espesores, la presencia de fallas normales sinsedimentarias, slumps y los niveles de brechas sugieren que el relieve era ligeramente accidentado (Carlotto, 1992) y que durante la sedimentación ocurrían deslizamientos importantes. Esto explicaría por qué las calizas se hallan concentradas solamente en algunos lugares, aflorando aleatoriamente dentro y fuera de la microcuenca Tambuque con espesores variables.



Foto 22. Calizas gris con presencia de bioclastos.



Foto 23. Vista panorámica del afloramiento de la caliza Ayabacas

DESCRIPCION PETROLOGICA		
Datos de referencia		
nombre petrológico	Caliza Mudstone Bioclástica	fotografia 
fuelle	SEGÚN DUNHAM 1962	
coordenadas UTM	N: 8477470 y E: 186760	
altura	3975 msnm	
código	Clz - Gr Os - Bio	
fecha	01-08-2018	
Descripción general		
edad	Albiano superior Turoniano	
formación geológica	Formación Ayabacas	
estructura	Macizo rocoso	
Descripción macroscópica		
textura	cristalina	
tamaño de grano	Φ 0.1mm y Φ 2cm	
matriz	calcárea	
color	Gris Oscuro	
alteración	media	
compacidad	dura	
Descripción mineralógica		
minerales principales	El principal mineral es la calcita emplazada en venillas de grosor promedio 2mm. Con material Bioclástico en forma de nódulos y conchas de moluscos.	
minerales accesorios	Presenta óxidos de hierro en pequeñas cantidades y eso se demuestra en el análisis de aguas de esta formación.	

3.2.2.1 Formación Puquín: Coniaciano Maestrichtiano (Ks-pu).

La Formación Puquín sobreyace a la Formación Ayabacas, pero en general, el contacto corresponde a un nivel de despegue. Aflora en dirección NW – SE a lo ancho de la microcuenca Tambuque ocupando un área de 122.20 Ha.

Litológicamente comienza con bancos arenosos fluviales, seguidos por intercalaciones de lutitas rojas y margas, en tanto que la parte media y superior grano-estrato creciente está representado por areniscas feldespáticas de color rojo y de origen fluvial.

Las lutitas rojas, brechas con elementos pelíticos, indican un medio de *sabkha* continental. hacia la parte superior se observan dolomitas laminadas y margas.



Foto 24. Afloramiento de la formación Puquín borde norte de la laguna Tirina.



Foto 25. Afloramiento de lutitas rojas de la formación Puquín.

3.2.2.2 *Formación Quilque: paleoceno inferior (Pp-qu).*

Reposa en discordancia erosional sobre la Formación Puquín, emplazándose de manera muy restringida al SE, en el extremo inferior de la microcuenca Tambuque, ocupando un área de 47.59 Ha.

Está conformado por un conjunto de grano-estrato creciente de lutitas, areniscas de color rojo y conglomerados, estos últimos formados por la erosión de costras calcáreas y calizas. Los bancos areno-conglomerádicos son canalizados y presentan laminaciones oblicuas curvas. La evolución vertical indica que las facies pelíticas lacustres y de llanura de inundación, pasan gradualmente a las facies areno-conglomerádicas de un sistema fluvial débilmente entrelazado. (Carlotto, 1992)



Foto 26. Vista panorámica de la formación Quilque.

3.2.2.3 *Formación Kayra: eoceno medio (Peo-ky)*

Está conformado por areniscas feldespáticas arcósicas de color gris claro, intercaladas con niveles de lutitas rojas con limolitas y algunos bancos de conglomerados, todos de origen fluvial.

En la microcuenca Tambuque aflora de manera significativa en la cabecera de cuenca con dirección NW - SE ocupando un área de 266.18 Ha. Del área total de la microcuenca.

Este conjunto se desarrolló en un medio fluvial entrelazado y llanura de inundación. La parte media-superior es más gruesa y está compuesta por areniscas y microconglomerados de un medio fluvial altamente entrelazado.



Foto 27. Vista panorámica de la formación Kayra.



Foto 28. Vista al Sur de la microcuenca (afloramiento de la formación Kayra).

DESCRIPCION PETROLOGICA		
Datos de referencia		
nombre petrológico	Arenisca feldespática (arcosa)	
fuelle	Pettijohn, 1975; Pettijohn et al. 1987; Boggs, 1992	
coordenadas UTM	N: 8477598 y E: 187391	
altura	3893 msnm	
código	Aca m Gcl, feld, > cem. http://www.logemin.com/eng/Download/pdf/Codigo_alfabetico_sedimentos_1997.pdf	
fecha	01-08-2018	
Descripción general		
edad	eoceno medio.	
formación geológica	Formación Kayra	
estructura	Macizo rocoso	
Descripción macroscópica		
textura	Textura clástica	
tamaño de grano	Φ 1mm	
matriz	Feldespática lítica	
color	Gris claro	
alteración	media	
compacidad	dura	
Descripción mineralógica		
minerales principales	El principal mineral para poder clasificar esta arenisca es el Feldespato como la plagioclasa, albita y ortosa, en un 50%, en cantidad de cuarzo se tiene un 25% y material lítico o fragmentos de rocas un 25%.	
minerales accesorios	En ciertas muestras se tiene pequeñas cantidades de pirita (Py)	

3.2.2.4 *Formación Sonco II: oligoceno inferior (Peo-so II)*

Está compuesto por areniscas con clastos blandos y conglomerados con clastos volcánicos de un sistema fluvial altamente entrelazado con lutitas rojas de llanura de inundación e intercaladas con niveles de areniscas finas. Perteneciendo estas al grupo San Jerónimo o capas rojas.

En la microcuenca Tambuque aflora en la parte central de ésta con una dirección de NW - SE, entre las fallas regionales de Yaurisque – Pappres y Miska – Araipallpa, ocupando un área de 341.91 Ha. Siendo esta la formación más potente del área de estudio.



Foto 29. Areniscas de la formación Sonco.



Foto 30. Afloramientos de la formación Sonco

3.2.2.5 *Formación Tacaza: oligoceno superior (No-ta)*

Esta unidad geológica aflora en el extremo Sur de la microcuenca Tambuque, ocupando un área de 57.88 Ha. Del área total de la microcuenca, posicionándose en contacto a la formación Kayra hipotéticamente por un fallamiento normal inferido.

Litológicamente se trata esencialmente de conglomerados de conos aluviales con matriz arcillo limosa compacta, intercalados con areniscas feldespáticas fluviales y limolitas de llanura de inundación. El espesor es variable, pero sobrepasa los 200 m.



Foto 31. Conglomerados de conos aluviales (parte superior de la foto).

3.2.2.6 *Formación Paruro: Mioceno superior (Nm-pa)*

Aflora ampliamente en la Microcuenca Tambuque, sobreyace en discordancia angular a la formación Kayra, Soncco y al Grupo Yuncaypata. Esta formación está dividida en dos miembros.

El Miembro I, está compuesto por lutitas y limolitas lacustre, areniscas fluviales y algunos conglomerados fluviales. Formando secuencias grano-estrato decrecientes que indican la apertura de la cuenca. En la microcuenca Tambuque ocupa un área de 40.62 Ha. Del área total de estudio, en dirección NW – SE hacia la parte baja de la microcuenca.



Foto 32. Conglomerados polimícticos de conos aluviales.



Foto 33. Conglomerado de conos aluviales.

El **miembro II**, está en discordancia progresiva sobre el miembro I, conformado por conglomerados de conos aluviales, ocupando un área de 230.37 Ha. Del área total de la microcuenca. Emplazado en una dirección NW – SE.



Foto 34. Contacto entre conglomerados y areniscas de la formación Paruro.

3.2.2.7 Depósitos Cuaternarios.

3.2.2.7.1 Depósitos coluviales. (Q-co)

Son acumulaciones esencialmente finas de arcillas, limos, arenas con gravas y clastos angulosos, acumuladas sobre las laderas y formaciones rocosas pre-cuaternarias, a consecuencia de intensa meteorización in situ ocurrida en determinados sectores.

En la microcuenca Tambuque se encuentra material coluvial en cabecera de cuenca de manera más significativa ocupando un área de 4.47 Ha.

Estos depósitos son poco competentes y favorecen la ocurrencia de deslizamientos cuando se hallan en fuertes pendientes, o cuando son aperturados en taludes para la construcción de vías. En cambio, son mayoritariamente buenos componentes en cuanto a calidad de suelos.

3.2.2.7.2 Depósitos aluviales (Q-al)

Estos depósitos son del tipo cono aluvial y de deyección están adosados principalmente a las desembocaduras de las quebradas adyacentes a los principales flujos de agua, los conos están conformados por bloques de diferentes materiales con una matriz areno arcillosa.

En la microcuenca Tambuque se encuentran en vertiente sobre las formaciones Quilque y Paruro, ocupando un área de 36.30 Ha.

3.2.2.7.3 Depósitos fluviales. (Q-fl)

Son depósitos inconsolidados que se hallan en el curso de los ríos o drenajes de la microcuenca, constituido por gravas, limos, arenas y arcilla, ocupando un área de 16.76 Ha. Del área total de la microcuenca Tambuque.

MAPA N° 7 Geologico local.



Perfil Geológico -----

CAPITULO IV GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.

4.1 Introducción

Con el desarrollo de este tema, se pudo conocer aproximadamente como están dispuestas las formaciones geológicas, así como también pudimos saber cuál es el grado de influencia de las fallas regionales en la presencia de la distribución de fracturas o diaclasas y su relación con la presencia de agua.

Para el procesamiento de los datos de campo (rumbos, buzamientos y estructuras) se hizo uso de programas como el Dips5.1, GEOrient v9.4.5, y hojas de cálculo del Excel.

Se ha mantenido un solo criterio para el levantamiento del rumbo y buzamiento, a través de la regla de mano derecha, razón por que los diferentes programas implícitamente ya procesa data de información con esta regla (Dips5.1).

Para el presente acápite el análisis estructural se ha dividido en el estudio de fracturas, fallas y pliegues, tal como sigue a continuación.

4.2 Análisis tectónico estructural

4.2.1 Fracturas.

Son discontinuidades que no presentan desplazamiento o rozamiento entre sus paredes, pero si apertura producto de esfuerzos tectónicos de distensión y compresión. A nivel local, las unidades geológicas presentan en mayor o menor grado estas discontinuidades, que aparentemente están ligadas a la presencia de fallas regionales que atraviesan la microcuenca en dirección NW a SE, así mismo pueden estar ligadas a la presencia de pliegues producto de la tectónica Inca Cero de régimen de compresión; esto ha hecho que las formaciones geológicas se expongan de manera intercalada, a través de contactos de falla.

- **Sistema de fracturas.**

Como la perspectiva del estudio tiene un enfoque hidrogeológico, este indicador permitirá caracterizar las fracturas a través de su persistencia (longitudes), frecuencias y aperturas, ello finalmente ayudara a calificar a las unidades geológicas si tienen condiciones de acuífero o no. Finalmente, estos datos, se han representado en diagramas tipo "rosa de vientos" que permitieron expresar adecuadamente el sentido del esfuerzo principal de deformación.

Como ejemplo podemos decir que el manante Tirina 1 presenta un control estructural de tipo fractura. En los macizos rocosos que comprende la mayoría de la microcuenca Tambuque, se han identificado tres sistemas de fracturas predominantes tal como se aprecia en la foto N° 35.

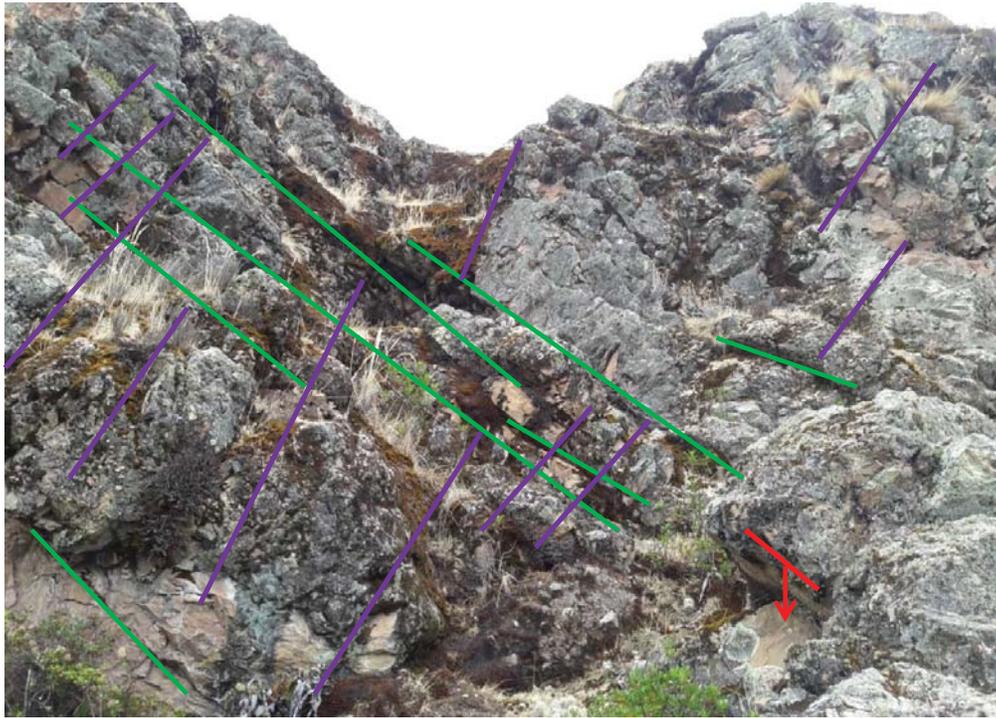


Foto 35. Sistemas de fracturas con aperturas de hasta 4 cm.

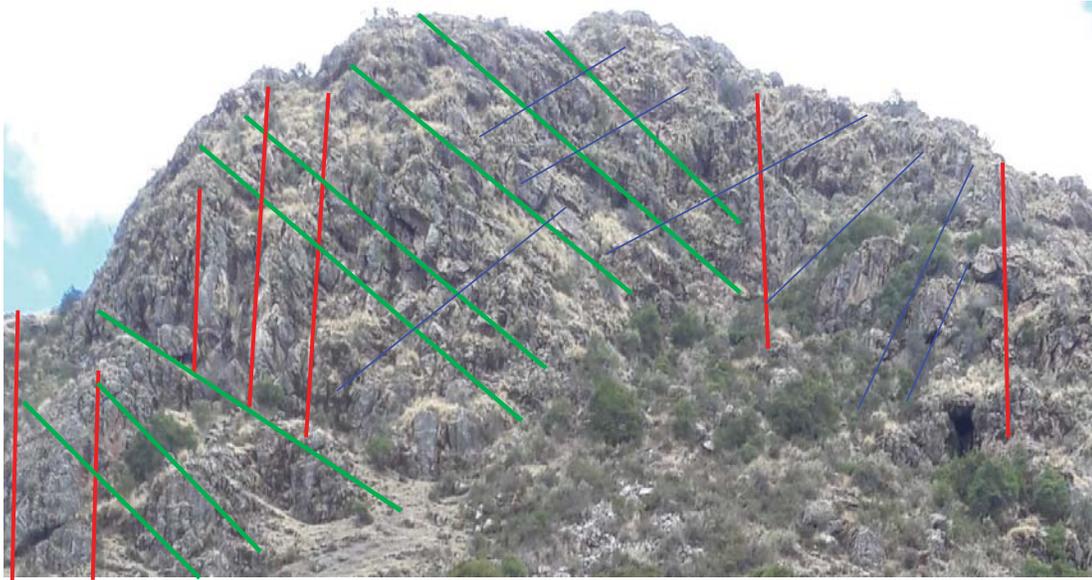


Foto 36. Estructuras de diaclasas que atraviesan el macizo rocoso.

El evento orogénico de deformación de compresión y distensión, producto de la deformación tectónica del Terciario y cuaternario, han generado deformaciones en régimen dúctil - rúptil. La dirección principal de este fenómeno es NW a SE y de N a S.

- **Apertura.**

Producto de los esfuerzos tectónicos, en el cual el relajamiento de los esfuerzos permite la aparición de apertura de las fracturas, que van desde milimétricas a varios centímetros que permiten el ingreso y circulación de agua meteórica a los niveles inferiores de los acuíferos.



Foto 37. Apertura de fracturas en el macizo rocoso de la formación Kayra.

- **Persistencia.**

Viene a ser la medida de la prolongación de fractura a través del macizo rocoso, la familia de orientación de NW a SE, es la fractura que tiende a cortar con mayor persistencia a los macizos rocosos en la microcuenca Tambuque, que coincidentemente es paralelo a la dirección de las fallas inversas regionales que atraviesan la cuenca.



Foto 38. Persistencia o longitud de las diaclasas

Tabla 8

Medidas de las fracturas en los macizos rocosos Kayra, Soncco, Puquin y Ayabacas.

ESTACIÓN	NORTE	ESTE	AZIMUT	BUZAMIENTO	DESCRIPCIÓN
1	8477424	186044	N 205°	25°NW	Fractura
2	8477378	186032	N 210°	90°NW	Fractura
			N 32°	81°SE	Fractura
3	8477373	186118	N 326°	88°NE	Fractura
			N 230°	41°NW	Fractura
			N 200°	64°NW	Fractura
			N 40°	84°SE	Fractura
			N 10°	86°SE	Fractura
			N 235°	80°NW	Fractura
4	8477304	186149	N 210°	84°NW	Fractura
			N 280°	60°NE	Fractura
			N 340°	32°NE	Fractura
5	8477185	186198	N 20°	75°SE	Fractura
6	8477449	187171	N 248°	73°NW	Fractura
			N 264°	55°NW	Fractura
			N 58°	18°SE	Fractura
			N 212°	81°NW	Fractura
7	8477414	187211	N 0°	88°E	Fractura
8	8477331	187279	N 202°	90°NW	Fractura

9	8477402	187280	N 173°	46°SW	Fractura
10	8477490	187231	N 215°	88°NW	Fractura
11	8477586	187434	N 212°	55°NW	Fractura
			N 102°	46°SW	Fractura
			N 35°	37°SE	Fractura
			N 176°	70°SW	Fractura
12	8477695	187400	N 220°	79°NW	Fractura
			N 220°	71°NW	Fractura
13	8477809	187337	N 45°	50°SE	Fractura
			N 245°	76°NW	Fractura
			N 275°	52°NE	Fractura
			N 326°	65°NE	Fractura
14	8477983	187290	N 205°	66°NW	Fractura
			N 204°	62°NW	Fractura
			N 230°	51°NW	Fractura
			N 250°	32°NW	Fractura
			N 205°	88°NW	Fractura
15	8477469	186760	N 39°	83°SE	Fractura
			N 35°	61°SE	Fractura
			N 85°	30°SE	Fractura
16	8477468	186968	N 180°	71°W	Fractura
			N 252°	63°NW	Fractura
			N 228°	89°NW	Fractura
			N 187°	73°NW	Fractura
			N 290°	85°NE	Fractura
			N 217°	82°NW	Fractura
			N 205°	75°NW	Fractura
			N 10°	82°SE	Fractura
			N 32°	85°SE	Fractura
N 241°	32°NW	Fractura			
17	8477994	188911	N 55°	72°SE	Fractura
			N 205°	82°NW	Fractura
			N 280°	61°NE	Fractura
			N 50°	58°SE	Fractura
			N 23°	89°SE	Fractura
18	8478351	186917	N 269°	51°NW	Fractura
			N 303°	81°NE	Fractura
			N 106°	23°SW	Fractura

Fuente propia

Se hizo un análisis estructural de las fracturas, estas con una tendencia NE – SW, siguiendo un trend N 35, estas fracturas suponemos que se originaron como sistemas casi perpendiculares a la estratificación, estas serían fracturas posteriores al esfuerzo Principal.

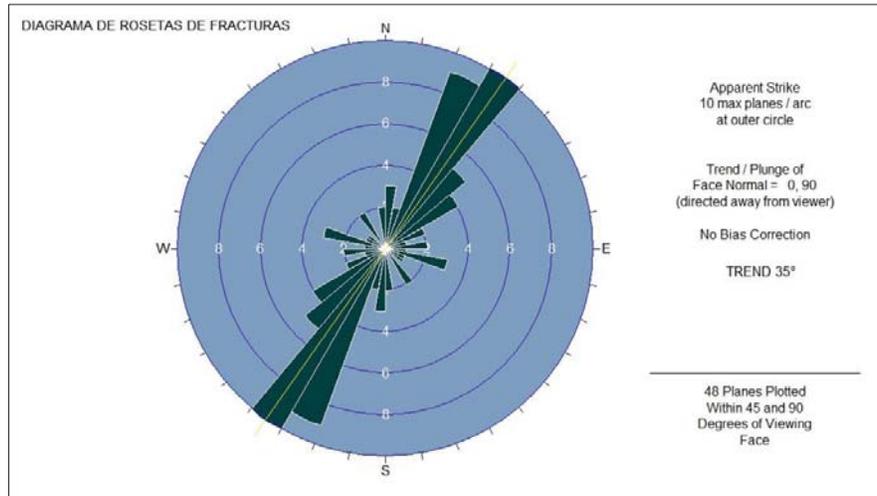


Figura 5. Diagrama de rosetas de fracturas de los macizos rocosos donde se observa el trend principal N35°

4.2.2 Fallas

El registro tectónico de la zona presenta varias etapas de deformación como el de carácter compresivo que la evidencia las fallas inversas de tipo regional Miska - Araipallpa y Yaurisque –Pappres, que atraviesa la zona de estudio en dirección NW - SE. Dicho evento afectó preponderantemente la calidad de los macizos rocosos del basamento, controlando los procesos de deformación como son pliegues en anticlinal y sinclinal observados en la parte baja de la microcuenca (extremo NE) en la formación Paruro.

Tabla 9

Medida del rumbo y buzamiento de fallas de orden local.

ESTACIÓN	AZIMUT	BUZAMIENTO	DESCRIPCIÓN
6	N 126°	41°SW	Falla local
	N 179°	86°SW	Falla local
9	N 285°	50°NE	Falla local
10	N 222°	88°NW	Falla local
12	N 315°	68°NE	Falla local

Fuente propia.

Se hizo un análisis estructural de las fallas, éstas arrojando 2 familias con una tendencia NW – SE, la primera familia siguiendo un trend N 325°, y otra de N 355°, estas fallas

suponemos que se originaron como sistemas paralelos a la falla principal Miska - Araipallpa y Yaurisque -Pappres, así mismo se observan fallas locales de corta longitud tensional o normales con tendencia al Norte, estas serían fallas posteriores al esfuerzo Principal.

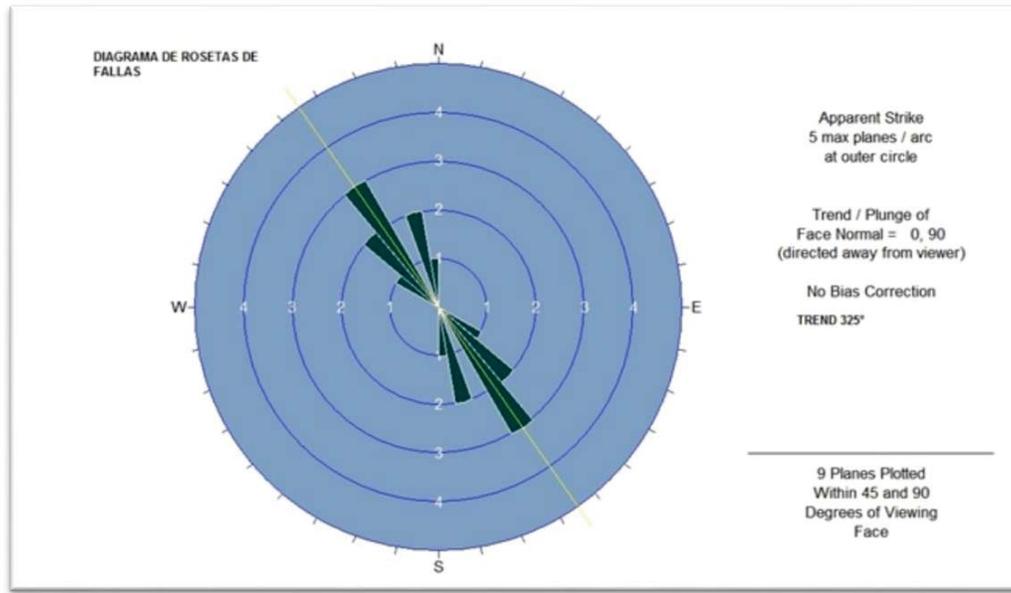


Figura 6. Diagrama de rosetas de fallas de los macizos rocosos donde se observa el trend principal N325°.

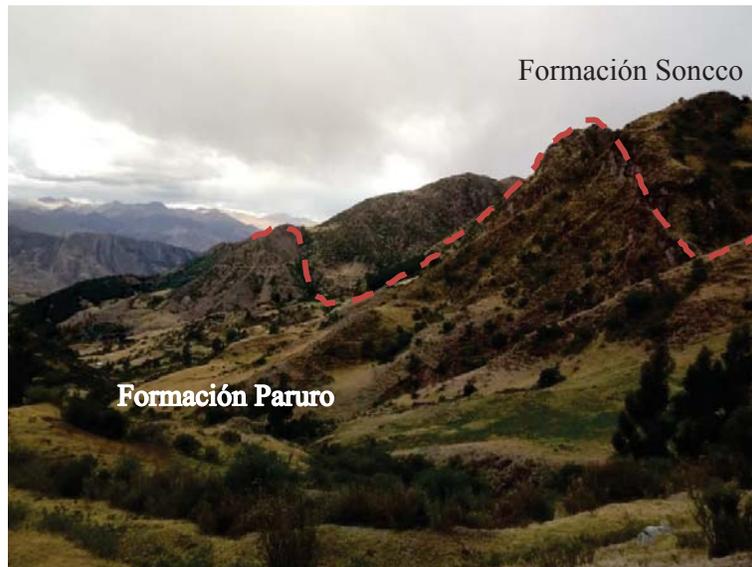


Foto 39. Falla Yaurisque entre la formación Soncco y formación Paruro.



Foto 40. Falla Miska en contacto con la formación Puquín y la formación Kayra.



Foto 41. Dirección de movimiento de falla Normal con apertura de la misma



Foto 42. Presencia de estrías que indican la dirección del desplazamiento de la falla inversa en la formación Ayabacas.

4.2.3 Pliegues.

Este tipo de estructuras se encuentra en el sector inferior Norte Este de la microcuenca de Tambuque en la que afecta a la formación Paruro, es un sistema de anticlinal y sinclinal con eje de charnela en dirección de NNW y de SSE respectivamente producto de discordancias progresivas. Son pliegues que guardan un pseudo paralelismo entre el anticlinal y el sinclinal. Estos pliegues dan ejes de acortamientos de $N 60^\circ$ y $N 75^\circ$, la edad y el origen de estos pliegues no son claros, pero podrían estar relacionados a movimientos de rumbo sinistral a lo largo de la falla Yaurisque - Pappres, la que a su vez es responsable de la apertura de la cuenca Paruro para posibilitar su sedimentación.

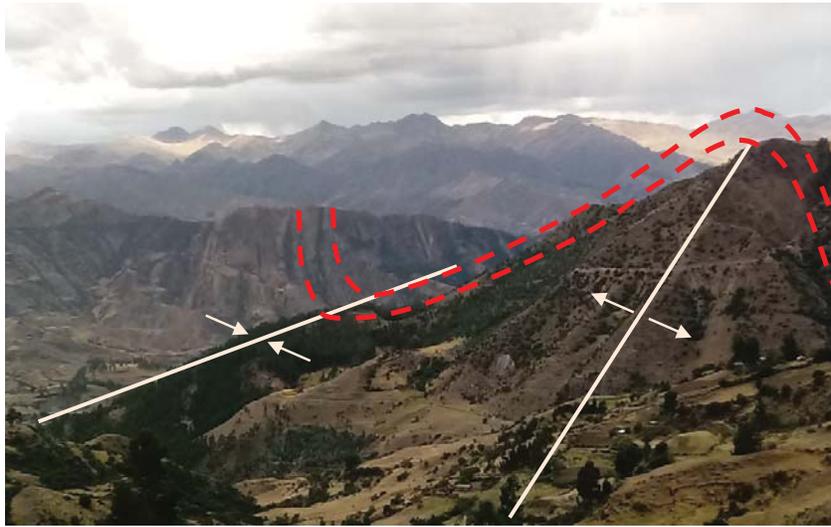


Foto 43. Muestra los ejes, sinclinal y anticlinal, que se encuentra al NE de la microcuenca Tambuque con dirección NNW - SSE, respectivamente en la formación Paruro.

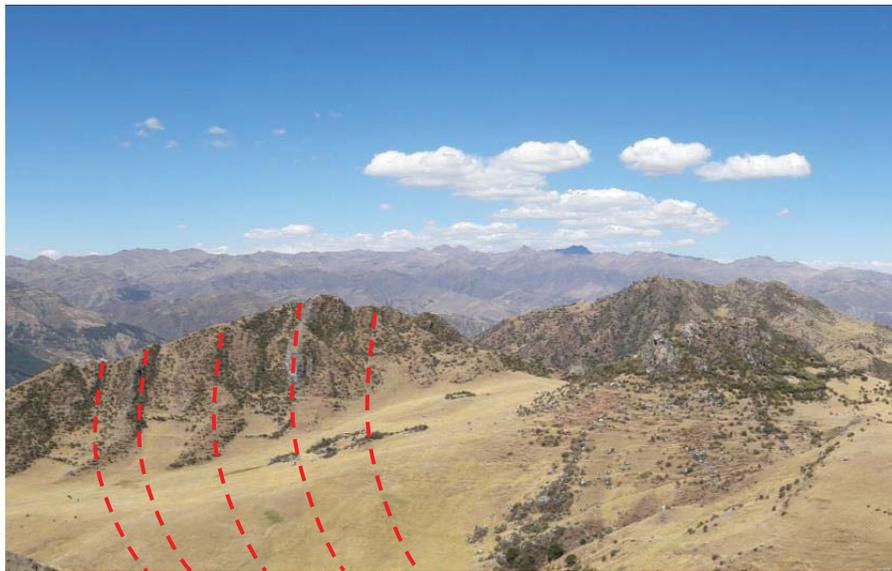


Foto 44. Muestra la dirección del buzamiento hacia el SW en la Formación Soncco II.



Foto 45. Medida de rumbo ($N40^{\circ}$) y buzamiento ($74^{\circ}SE$) de fracturas en la Formación Kayra.

4.3 Evolución tectónica

La presencia de Fallas de corte regional como las fallas principales Miska - Araipallpa y Yaurisque – Pappres, marca la evidencia de dos periodos tectónicos, el primero y más antiguo de característica de movimiento de rumbo - sinestral, a lo largo de estas fallas regionales; particularmente la falla Yaurisque - Pappres está ligada a la crisis tectónica quechua 2 que generó y reactivó fallas. La segunda fase tectónica denominada quechua 3, (7-6 Ma.), generó un juego inverso de esta falla, el cual produce el cierre final de la secuencia sedimentaria de la cuenca Paruro

MAPA N° 8 Estructural.



CAPITULO V HIDROLOGÍA

5.1 Introducción

Hidrología: Según **Kavasel**, indica que la hidrología es la ciencia que versa sobre el agua en la tierra, su distribución sus propiedades físicas y químicas y su influencia sobre el medio ambiente, incluyendo su relación con los seres vivos.

Así mismo, **Vázquez v. A:** Menciona que el manejo de cuencas y los proyectos relacionados al recurso hídrico, implica la ejecución de actividades interdisciplinarias que tiene como eje principal de acción, al recurso agua y como ámbito de planificación la cuenca hidrográfica. Desde este punto de vista, la hidrología juega un rol importante en la planificación de cuencas y formulación de proyectos hidráulicos, principalmente en el aspecto que tiene relación con el dimensionamiento de estructuras de uso y control de agua, así como estudios de gestión del medio ambiente. Su aplicación directa se evidencia en los estudios de conservación de suelos, (análisis de lluvias para el diseño de estructuras de control de escorrentía en zonas de montaña), abastecimiento de agua poblacional y agrícola (disponibilidad de agua en los ríos, quebradas, y lagunas), así como el control de avenidas (defensa ribereña).

Por lo tanto, nosotros los tesisistas hemos visto la necesidad prioritaria de desarrollar este acápite con suma amplitud tal y como hemos desarrollado en clases, para conocer aproximadamente las condiciones climáticas del lugar de estudio. Para ello se ha seguido el siguiente procedimiento:

- ✓ Adquisición de información meteorológica del SENAMHI a través de su página Web.
- ✓ Tratamiento estadístico de datos (pruebas de consistencia).
- ✓ Completado y extendido de información.
- ✓ Y finalmente la fase más importante la regionalización de datos climáticos a la zona de estudio.

5.2 Información hidrometeorológica

Se ha contado con datos de las estaciones de Kayra, Corpac, Yauri, Sicuani, Ancachuro, Urcos y Perayoc, con la salvedad que no todas fueron utilizadas para el análisis de la misma

variable climática esto por falta de información climática de SENAMHI; tal como se puede observar en el cuadro siguiente:

Tabla 10

Estaciones meteorológicas usadas para el presente estudio.

Nombre de la estación	Latitud Sur (°)	Longitud Oeste (°)	Altitud (msnm)	PP mm	T° Máx. (°C)	T° Min. (°C)	Horas decimas	Velocidad del viento
KAYRA	13°34'	71° 54'	3219	x	x	x	x	x
CORPAC	13°32'	71°56"	3248	x	x	x		x
YAURI	14°48'	71°25'	3927	x	x	x		x
SICUANI	13°17'	71°41'	3574	x	x	x		
ANCACHURO	13° 30'	72° 10'	3400	x				
URCOS	13°48'	71°38'	3100	x	x	x		

Fuente propia.

5.3 Análisis de precipitaciones

En el marco de la hidrología, sabemos que es rigor realizar una supervisión de la información meteorológica para que éste sea continua, tenga la extensión de información ideal para el tipo de estudio (mínimo 20 años OMM) y sobre todo esté libre de saltos y tendencias. Para lo cual se realizaron pruebas estadísticas de validación y corrección de información, utilizando tablas de Student (“T”), y Fisher (“F”); para finalmente realizar las pruebas de completado y extendido de la información faltante.

5.3.1 Análisis de consistencia

Según Mejía J.A. (2001), una manera de analizar la consistencia y homogeneidad de la información pluviométrica es a través de la técnica de identificación de los saltos en un histograma de precipitación.

5.3.2 Análisis del salto

Este método, analiza el cambio súbito de los datos fuera de los años normales y ello, por lo que a nivel grafico se pudo identificar a través de histogramas, cuyo análisis se realiza 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 realizó en tres fases:

- Identificación del salto.

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

5.3.2.1 Identificación del Salto.

Esta identificación se realiza mediante la combinación de tres criterios:

- análisis de información de campo
- análisis de las series hidrológicas (hidrogramas)
- análisis de doble masa.

El análisis de hidrogramas, 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, se ha tomado como ejemplo la estación de Sicuani cuyo procedimiento de indica a continuación.

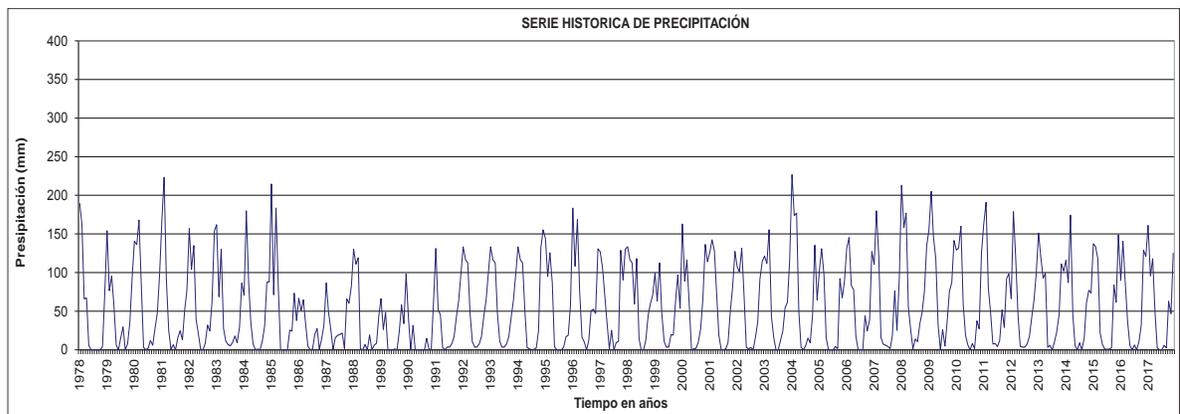


Figura 7. Histograma de precipitación para la estación de SICUANI

5.3.2.2 Evaluación y cuantificación.

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.

5.3.2.2.1 Consistencia en la media – estación Sicuani (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.

$$\bar{X}_1 = \frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^n (x_i)$$

$$\bar{X}_2 = \frac{1}{n_2} \sum_{i=1}^n (x_i)$$

$$S_1 = \left[\frac{1}{n_1 - 1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X}_1)^2 \right]^{0.5}$$

$$S_2 = \left[\frac{1}{n_2 - 1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X}_2)^2 \right]^{0.5}$$

Donde:

- 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 ($n_1+n_2 = n$).

Tabla 11
Selección de periodos a comparar por la media registro Sicuani.

Periodos	Años	Nro. de datos	Media	Desv. est.	Varianza
Primer periodo	1978-2004	27	618.94	170.69	29134.17
Segundo periodo	2005-2017	13	733.87	123.79	15324.70

Fuente propia.

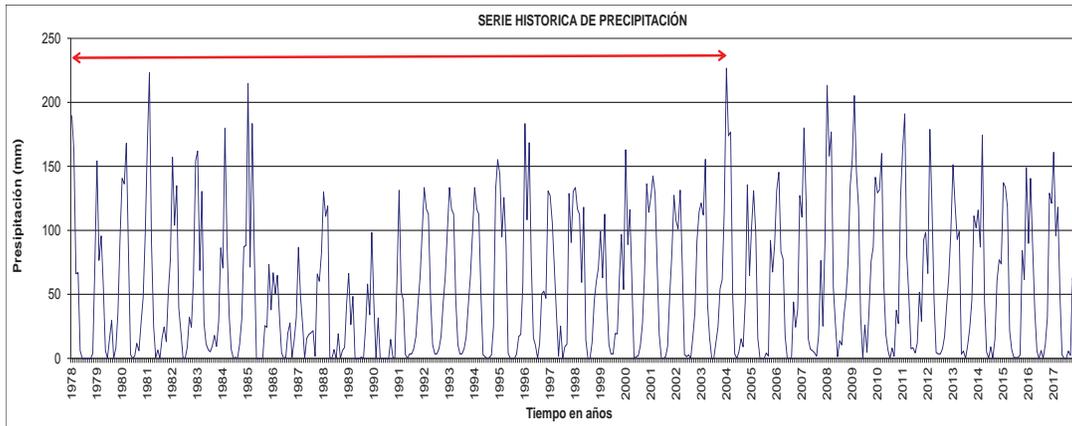


Figura 8. Serie histórica de precipitación de los años 1978 al 2017.

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:

$H_p: u_1 = u_2$ (media poblacional).

$H_a: u_1 < u_2$

$\alpha = 0.05$.

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.

Tabla 12

Desviación estándar del promedio y ponderada

Desviación estándar del promedio $S_d =$	53.13
Desviación estándar Ponderada $S_p =$	157.40

Fuente: propia

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 $GL = (27+13-2) = 38$
- $T_t = T$ tabulado.

Criterios de decisión:

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

Tabla 13

Prueba de bondad al 95 % método de Studens o prueba de “t”.

GL	Sd	Sp	Tc	Tt	Significancia
38	53.13	157.40	2.16	1.687	SIGNIFICATIVO H_0

Fuente propia.

Resultado: Quiere decir que hay diferencias estadísticas entre la comparación de medias de los bloques analizados y por tanto amerita la corrección del registro.

5.3.2.2.2 Análisis de consistencia en la desviación estándar – estación Sicuani (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:

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

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

$\alpha = 0.05$.

2.- Cálculo de F_c .

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

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

$\alpha = 0.05$.

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

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

Tabla 14
Grados de libertad

Grado de libertad del numerador G.L.N =	27- 1 =26
Grado de libertad del denominador G.L.D =	13 – 1 =12

Fuente propia.

Dónde:

- F_c = valor del estadístico F calculado.
- F_t = valor de F tabular o teórico (tabla F).
- G.L.N = Grados de libertad del numerador.
- G.L.D = Grados de libertad del denominador.
- α = nivel de significación.

4.- criterios de decisión:

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

Tabla 15

Prueba de bondad al 95 % método de Fisher o prueba de “F”.

GLn	GLd	Fc	Ft	Significancia
26	12	1.90	2.66	NO SIGNIFICATIVO Ho

Fuente propia.

Resultados: Como los parámetros en la desviación estándar resultan estadísticamente NO diferentes (o no significativos), la información no necesita corrección a través de la desviación estándar.

Se corregirá por tanto solo a través de la comparación de medias al 95% de probabilidad, utilizando para las correcciones, las siguientes relaciones matemáticas:

Condición 1. Cuando el periodo a corregir corresponda al primero se utilizará 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.

Condición 2. Cuando el periodo a corregir corresponda al primero se utilizará la ecuación:

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

Siendo la primera ecuación que corresponde a ser utilizada para esta estación de Sicuani, con la que se deriva la ecuación de corrección siguiente:

$$Enero = X't * Xi / \sum_{i=1978}^n (\text{año}2004)$$

Tabla 16

Periodos de registro de precipitación a ser corregido estación Sicuani.

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1978	189,50	162,00	66,10	66,90	6,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,80	71,60
1979	154,20	76,50	95,60	58,10	6,30	0,00	15,90	29,60	0,00	8,00	35,20	94,40
1980	140,70	136,20	168,00	82,50	3,10	0,00	2,00	11,80	5,90	27,00	47,60	96,20
1981	168,50	223,30	91,10	25,10	0,80	6,50	0,00	16,00	24,50	13,00	51,50	77,00
1982	157,00	103,90	134,90	39,40	20,30	0,70	0,00	8,40	32,10	24,40	62,40	154,20
1983	161,90	68,70	130,40	27,50	11,40	6,70	5,10	9,60	17,90	9,30	29,00	86,30
1984	70,50	179,90	87,00	33,90	7,20	0,00	0,80	0,00	11,00	30,70	87,30	88,10
1985	214,60	71,30	183,40	83,00	0,00	0,00	0,00	0,00	25,50	24,20	73,40	37,90
1986	66,80	50,50	64,80	31,80	4,40	0,00	0,90	19,80	27,60	0,80	14,30	31,70
1987	86,60	49,30	26,10	0,00	15,60	18,60	19,90	21,60	1,60	65,90	60,20	82,60
1988	130,10	110,90	119,00	0,80	0,00	6,90	0,00	19,20	0,00	6,00	8,60	43,30
1989	66,30	26,30	48,40	0,00	0,00	0,00	0,90	0,00	24,00	58,10	34,00	98,3
1990	41,20	0,00	31,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14,80	1,00	0,00	63,10
1991	131,20	52,10	45,30	3,00	0,00	3,5	3,4	7,6	17,1	42,2	63,8	98,3
1992	133,4	116,7	112,6	47,0	10,7	3,5	3,4	7,6	17,1	42,2	63,8	98,3
1993	133,4	116,7	112,6	47,0	10,7	3,5	3,4	7,6	17,1	42,2	63,8	98,3
1994	133,4	116,7	112,6	49,80	2,90	1,30	0,00	0,50	2,50	24,90	132,10	155,30
1995	143,80	94,90	125,60	87,40	4,00	0,00	0,00	0,00	3,40	17,00	18,70	57,20
1996	183,40	108,20	168,50	76,50	16,10	10,20	0,00	12,00	50,30	52,50	46,90	130,80
1997	127,10	106,10	71,20	33,80	1,50	25,20	0,00	9,00	11,20	128,80	90,50	130,30
1998	133,4	116,7	112,6	59,30	118,10	14,40	0,00	0,00	12,70	44,90	59,90	70,40
1999	99,20	63,00	112,6	47,0	10,7	3,5	3,4	19,50	19,10	62,80	96,80	53,70
2000	163,00	88,90	116,20	57,40	0,00	1,20	2,00	9,80	27,10	66,00	136,40	114,10
2001	126,40	142,40	128,40	72,90	18,80	0,30	0,00	1,20	9,30	50,50	81,00	127,40
2002	107,40	101,10	131,30	72,50	3,10	1,20	2,80	0,00	16,60	36,00	91,70	114,60
2003	121,30	112,00	155,50	42,70	16,30	0,00	0,00	12,00	24,50	54,20	61,60	115,70
2004	226,70	173,80	176,90	49,90	3,50	0,00	5,20	15,20	8,90	45,10	135,50	64,60

Fuente propia.

5.3.2.2.3 Corrección y/o eliminación del salto.

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.

Tabla 17

Comprobación de pruebas de bondad al 95 % confianza.

Periodo	Años	Nro. Datos	Media	Desviación est.	Varianza
Primer periodo	1978-2004	27	733.87	123.79	15324.70
Segundo periodo	2005-2017	13	733.87	123.79	15324.70

Fuente propia.

A. Consistencia en la media - estación Sicuani (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.

Tabla 18

Prueba de bondad al 95 % método de Studens o prueba de “t”.

GL	Sd	Sp	Tc	Tt	Significancia
38	41.79	123.79	0.00	1.694	SE ACEPTA Ho

FUENTE: PROPIA

B. Consistencia en la desviación estándar -estación Sicuani (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.

Tabla 19

Prueba de bondad al 95 % método de Fisher o prueba de “f”.

GLn	GLd	Fc	Ft	Significancia
26	12	1.00	2.40	SE ACEPTA Ho

Tabla 20

Datos meteorológicos del primer periodo corregido.

Año	x _t	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1978	695,40	232,87	199,07	81,23	82,21	7,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,67	87,99
1979	701,13	188,42	93,48	116,81	70,99	7,70	0,00	19,43	36,17	0,00	9,78	43,01	115,35
1980	807,89	157,66	152,61	188,25	92,44	3,47	0,00	2,24	13,22	6,61	30,25	53,34	107,79
1981	790,70	191,07	253,21	103,30	28,46	0,91	7,37	0,00	18,14	27,78	14,74	58,40	87,31
1982	820,00	174,52	115,49	149,95	43,80	22,56	0,78	0,00	9,34	35,68	27,12	69,36	171,40
1983	693,88	199,25	84,55	160,49	33,84	14,03	8,25	6,28	11,81	22,03	11,45	35,69	106,21
1984	717,52	84,82	216,44	104,67	40,78	8,66	0,00	0,96	0,00	13,23	36,93	105,03	105,99
1985	802,30	241,38	80,20	206,28	93,36	0,00	0,00	0,00	0,00	28,68	27,22	82,56	42,63
1986	512,27	109,19	82,55	105,92	51,98	7,19	0,00	1,47	32,36	45,11	1,31	23,37	51,82
1987	609,89	117,89	67,12	35,53	0,00	21,24	25,32	27,09	29,41	2,18	89,71	81,95	112,45
1988	607,57	177,71	151,48	162,55	1,09	0,00	9,43	0,00	26,23	0,00	8,20	11,75	59,15
1989	543,38	101,11	40,11	73,81	0,00	0,00	0,00	1,37	0,00	36,60	88,61	51,85	149,90
1990	395,00	107,28	0,00	82,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	38,54	2,60	0,00	164,30

1991	624,02	175,13	69,55	60,47	4,00	0,00	4,64	4,58	10,12	22,76	56,36	85,20	131,21
1992	760,96	154,68	135,28	130,54	54,50	12,46	4,03	3,98	8,79	19,77	48,95	74,00	113,97
1993	760,96	154,68	135,28	130,54	54,50	12,46	4,03	3,98	8,79	19,77	48,95	74,00	113,97
1994	815,84	148,69	130,04	125,49	55,51	3,23	1,45	0,00	0,56	2,79	27,75	147,24	173,10
1995	685,32	178,53	117,82	155,94	108,51	4,97	0,00	0,00	0,00	4,22	21,11	23,22	71,02
1996	905,36	194,11	114,52	178,34	80,97	17,04	10,80	0,00	12,70	53,24	55,57	49,64	138,44
1997	817,83	141,48	118,10	79,26	37,62	1,67	28,05	0,00	10,02	12,47	143,37	100,74	145,04
1998	823,38	147,96	129,41	124,88	65,77	130,99	15,97	0,00	0,00	14,09	49,80	66,44	78,08
1999	713,86	119,75	76,05	135,91	56,74	12,98	4,19	4,15	23,54	23,06	75,81	116,85	64,82
2000	852,20	177,61	96,87	126,62	62,54	0,00	1,31	2,18	10,68	29,53	71,92	148,63	124,33
2001	835,16	139,16	156,77	141,36	80,26	20,70	0,33	0,00	1,32	10,24	55,60	89,17	140,26
2002	776,92	123,02	115,80	150,39	83,04	3,55	1,37	3,21	0,00	19,01	41,23	105,03	131,26
2003	804,12	136,27	125,82	174,69	47,97	18,31	0,00	0,00	13,48	27,52	60,89	69,20	129,98
2004	941,55	235,78	180,76	183,98	51,90	3,64	0,00	5,41	15,81	9,26	46,91	140,93	67,19

Fuente propia.

5.3.3 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.

1 Evaluación Y Cuantificación.

1.1 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 R.L.S.
- t = Es el tiempo tomado como la variable independiente y su valor se determina por:
- ✓ p = 1,2,3,...,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.

Tabla 21

Valores de “t” e “y”; para la ecuación de regresión lineal en la media y desviación estándar.

	t	y	y*t	Tm=Am+Bm*t
Media	20.5	61.4	1230.22	61.40
Desv. St	11.69	10.17		
Para 480 Meses de Análisis				

Fuente propia.

Tabla 22

Variables para la corrección por tendencias.

Numero de meses de registro	n	480
Media de los datos	.y	61.156
Desviación estándar de los datos	Sy	60.471
Media del tiempo en orden cronológico	.t	240.5
Desviación del tiempo en orden cronológico	St	138.71
Promedio del producto de los datos y el tiempo	.y * t	14851.78
Coefficiente de correlación	.r	0.017

Fuente propia.

2. - Estimación de los parámetros de la ecuación:

$$A_m = \bar{T}_m - B_m * \bar{t}$$

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

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

Donde:

- Tm = media de la tendencia.
- t = media del tiempo cronológico t.
- STm = desviación estándar de la tendencia en la media.
- St = desviación estándar del tiempo t.
- R = coeficiente de correlación lineal simple entre la tendencia en la media y el tiempo en consideración.
- tTm = 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 Tc 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:

$$\text{Si, } \begin{cases} |T_c| \leq T_t(95\%) \Rightarrow \overline{X}_1 = \overline{X}_2 \text{ (estadisticamente)} \\ |T_c| > T_t(95\%) \Rightarrow \overline{X}_1 \neq \overline{X}_2 \text{ (estadisticamente)} \end{cases}$$

Tabla 23

Prueba de bondad al 95 % método de Student o prueba de “t”.

Gl	Tc	Tt	Significancia
38	1.52	1.645	se acepta la Ho

Fuente propia.

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:

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

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.

Tabla 24

Coefficientes dimensionales de regresión lineal.

Tm =	Am	+	Bm	*t
Tm =	59.357	+	0.0075	*t

Fuente propia.

5.3.3.1 *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.

Tabla 25

Variables para la corrección por Tendencias.

Numero de mese de registro	n	40
Media de los datos	.y	61.40
Desviación estándar de los datos	Sy	10.17
Media del tiempo en orden cronológico	.t	20.5
Desviación del tiempo en orden cronológico	St	11.69
Promedio del producto de los datos y el tiempo	.y * t	1230.22
Coefficiente de correlación	.r	0.239

Fuente propia.

Tabla 26

Prueba de bondad al 95 % método de Studens o prueba de “t”.

Gl	Tc	Tt	Significancia
38	1.52	1.687	se acepta la Ho

Fuente propia.

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

Tabla 27

Corrección de la desviación estándar.

$T_s = A_s + B_s * t$			
$T_s = 65.66 - 0.208 * t$			
t	d	t*d	$T_s = A_s + B_s * T$
1	82,42	82,42	65,45
2	59,51	119,02	65,25
3	69,64	208,93	65,04
4	81,13	324,54	64,83
5	66,71	333,57	64,62
6	65,54	393,21	64,41
7	65,81	460,64	64,21
8	81,20	649,56	64,00
9	39,49	355,45	63,79
10	41,31	413,13	63,58
11	70,50	775,47	63,37
12	49,57	594,84	63,17
13	55,40	720,22	62,96
14	56,44	790,21	62,75
15	56,81	852,13	62,54
16	56,81	908,94	62,33
17	70,59	1200,04	62,13
18	66,59	1198,62	61,92
19	66,72	1267,71	61,71
20	59,32	1186,48	61,50
21	54,49	1144,35	61,29
22	46,95	1032,81	61,09
23	63,29	1455,69	60,88
24	62,88	1509,09	60,67
25	58,85	1471,37	60,46
26	60,30	1567,77	60,25
27	84,15	2271,93	60,05
28	50,74	1420,77	59,84
29	54,14	1569,93	59,63
30	59,46	1783,88	59,42
31	72,76	2255,54	59,21
32	67,05	2145,64	59,01
33	60,36	1991,74	58,80
34	62,04	2109,32	58,59

35	55,17	1930,96	58,38
36	54,46	1960,73	58,17
37	54,07	2000,43	57,96
38	61,34	2330,82	57,76
39	54,73	2134,30	57,55
40	57,16	2286,59	57,34

Fuente propia.

La ecuación de Corrección es:

$$\text{Enero}_{2004} = X_i * T_{sp} / T_{s1}$$

Tabla 28

Datos Meteorológicos Corregidos Por Tendencias.

AÑO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
1978	218,43	186,73	76,19	77,11	6,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,38	82,53	652,30
1979	177,30	87,96	109,92	66,81	7,24	0,00	18,28	34,03	0,00	9,20	40,47	108,54	659,77
1980	148,83	144,07	177,71	87,27	3,28	0,00	2,12	12,48	6,24	28,56	50,35	101,76	762,66
1981	180,95	239,80	97,83	26,95	0,86	6,98	0,00	17,18	26,31	13,96	55,31	82,69	748,83
1982	165,81	109,73	142,47	41,61	21,44	0,74	0,00	8,87	33,90	25,77	65,90	162,85	779,08
1983	189,92	80,59	152,97	32,26	13,37	7,86	5,98	11,26	21,00	10,91	34,02	101,24	661,38
1984	81,11	206,97	100,09	39,00	8,28	0,00	0,92	0,00	12,66	35,32	100,44	101,36	686,13
1985	231,57	76,94	197,90	89,56	0,00	0,00	0,00	0,00	27,52	26,11	79,20	40,90	769,70
1986	105,09	79,45	101,95	50,03	6,92	0,00	1,42	31,15	43,42	1,26	22,50	49,87	493,06
1987	113,84	64,81	34,31	0,00	20,51	24,45	26,16	28,40	2,10	86,63	79,14	108,59	588,94
1988	172,17	146,76	157,48	1,06	0,00	9,13	0,00	25,41	0,00	7,94	11,38	57,30	588,62
1989	98,28	38,99	71,75	0,00	0,00	0,00	1,33	0,00	35,58	86,13	50,40	145,71	528,17
1990	104,62	0,00	80,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	37,58	2,54	0,00	160,23	385,21
1991	171,36	68,05	59,17	3,92	0,00	4,54	4,49	9,90	22,27	55,14	83,36	128,38	610,57
1992	151,85	132,80	128,16	53,50	12,23	3,95	3,91	8,63	19,41	48,06	72,65	111,88	747,04
1993	152,35	133,25	128,58	53,68	12,28	3,97	3,92	8,66	19,47	48,22	72,89	112,26	749,53
1994	146,94	128,52	124,02	54,86	3,19	1,43	0,00	0,55	2,75	27,43	145,51	171,07	806,28
1995	177,03	116,83	154,63	107,60	4,92	0,00	0,00	0,00	4,19	20,93	23,02	70,42	679,56
1996	193,13	113,94	177,44	80,56	16,95	10,74	0,00	12,64	52,97	55,29	49,39	137,74	900,79
1997	141,24	117,90	79,12	37,56	1,67	28,00	0,00	10,00	12,45	143,13	100,57	144,80	816,44
1998	148,21	129,63	125,09	65,88	131,21	16,00	0,00	0,00	14,11	49,88	66,55	78,22	824,78
1999	120,36	76,44	136,61	57,03	13,04	4,22	4,17	23,66	23,17	76,20	117,45	65,16	717,51
2000	179,13	97,70	127,70	63,08	0,00	1,32	2,20	10,77	29,78	72,53	149,90	125,39	859,48
2001	140,83	158,65	143,05	81,22	20,95	0,33	0,00	1,34	10,36	56,26	90,24	141,94	845,18

2002	124,92	117,59	152,72	84,33	3,61	1,40	3,26	0,00	19,31	41,87	106,66	133,29	788,95
2003	138,85	128,21	178,00	48,88	18,66	0,00	0,00	13,74	28,05	62,04	70,51	132,44	819,39
2004	241,09	184,83	188,13	53,07	3,72	0,00	5,53	16,16	9,46	47,96	144,10	68,70	962,76
2005	104,97	134,42	100,35	15,90	0,00	0,00	0,00	4,31	1,74	94,60	69,16	91,53	616,98
2006	135,30	149,71	85,87	80,00	18,12	0,00	0,31	0,00	45,41	25,12	39,64	130,97	710,46
2007	114,07	185,99	125,95	16,12	7,44	6,20	4,55	1,76	19,22	78,94	26,04	95,68	681,95
2008	220,86	163,93	183,43	57,34	26,86	1,24	14,41	10,89	34,94	50,08	79,01	139,36	982,35
2009	160,97	213,52	151,61	122,47	34,23	0,00	27,16	4,89	38,92	78,98	90,42	147,24	1070,41
2010	134,91	137,63	167,08	62,24	19,53	6,89	0,00	8,35	1,67	39,16	28,40	131,05	736,91
2011	170,39	200,16	84,25	49,25	7,96	8,59	4,40	12,58	54,07	30,29	96,83	103,12	821,90
2012	69,73	188,04	126,52	47,22	4,73	3,65	3,61	7,97	17,93	44,40	67,12	103,37	684,30
2013	159,58	127,50	97,94	104,49	3,48	6,02	0,00	10,87	24,59	47,92	117,47	107,65	807,51
2014	122,66	92,05	184,73	47,77	5,61	0,00	9,53	0,00	16,10	64,29	81,56	78,06	702,37
2015	145,95	141,92	125,33	22,96	7,44	0,74	0,64	0,64	2,76	89,40	65,48	158,39	761,67
2016	95,81	150,00	91,54	40,11	6,08	0,00	6,61	0,00	11,84	34,35	137,63	129,20	703,18
2017	172,39	102,58	126,35	51,82	2,78	0,00	0,00	6,10	2,57	67,24	49,90	133,95	715,69

Fuente propia.

5.3.4 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.

Tabla 29

Registro libre de saltos y tendencias listo para completado de datos.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
218,43	186,73	76,19	77,11	6,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,38	82,53
177,30	87,96	109,92	66,81	7,24	0,00	18,28	34,03	0,00	9,20	40,47	108,54
148,83	144,07	177,71	87,27	3,28	0,00	2,12	12,48	6,24	28,56	50,35	101,76
180,95	239,80	97,83	26,95	0,86	6,98	0,00	17,18	26,31	13,96	55,31	82,69
165,81	109,73	142,47	41,61	21,44	0,74	0,00	8,87	33,90	25,77	65,90	162,85
189,92	80,59	152,97	32,26	13,37	7,86	5,98	11,26	21,00	10,91	34,02	101,24
81,11	206,97	100,09	39,00	8,28	0,00	0,92	0,00	12,66	35,32	100,44	101,36
231,57	76,94	197,90	89,56	0,00	0,00	0,00	0,00	27,52	26,11	79,20	40,90
105,09	79,45	101,95	50,03	6,92	0,00	1,42	31,15	43,42	1,26	22,50	49,87
113,84	64,81	34,31	0,00	20,51	24,45	26,16	28,40	2,10	86,63	79,14	108,59
172,17	146,76	157,48	1,06	0,00	9,13	0,00	25,41	0,00	7,94	11,38	57,30

98,28	38,99	71,75	0,00	0,00	0,00	1,33	0,00	35,58	86,13	50,40	
104,62	0,00	80,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	37,58	2,54	0,00	160,23
171,36	68,05	59,17	3,92	0,00							
			54,86	3,19	1,43	0,00	0,55	2,75	27,43	145,51	171,07
177,03	116,83	154,63	107,60	4,92	0,00	0,00	0,00	4,19	20,93	23,02	70,42
193,13	113,94	177,44	80,56	16,95	10,74	0,00	12,64	52,97	55,29	49,39	137,74
141,24	117,90	79,12	37,56	1,67	28,00	0,00	10,00	12,45	143,13	100,57	144,80
			65,88	131,21	16,00	0,00	0,00	14,11	49,88	66,55	78,22
120,36	76,44						23,66	23,17	76,20	117,45	65,16
179,13	97,70	127,70	63,08	0,00	1,32	2,20	10,77	29,78	72,53	149,90	125,39
140,83	158,65	143,05	81,22	20,95	0,33	0,00	1,34	10,36	56,26	90,24	141,94
124,92	117,59	152,72	84,33	3,61	1,40	3,26	0,00	19,31	41,87	106,66	133,29
138,85	128,21	178,00	48,88	18,66	0,00	0,00	13,74	28,05	62,04	70,51	132,44
241,09	184,83	188,13	53,07	3,72	0,00	5,53	16,16	9,46	47,96	144,10	68,70
104,97	134,42	100,35	15,90	0,00	0,00	0,00	4,31	1,74	94,60	69,16	91,53
135,30	149,71	85,87	80,00	18,12	0,00	0,31	0,00	45,41	25,12	39,64	130,97
114,07	185,99	125,95	16,12	7,44	6,20	4,55	1,76	19,22	78,94	26,04	95,68
220,86	163,93	183,43	57,34	26,86	1,24	14,41	10,89	34,94	50,08	79,01	139,36
160,97	213,52	151,61	122,47	34,23	0,00	27,16	4,89	38,92	78,98	90,42	147,24
134,91	137,63	167,08	62,24	19,53	6,89	0,00	8,35	1,67	39,16	28,40	131,05
170,39	200,16	84,25	49,25	7,96	8,59	4,40	12,58	54,07	30,29	96,83	103,12
69,73	188,04	126,52	47,22	4,73							
159,58	127,50	97,94	104,49	3,48	6,02	0,00	10,87	24,59	47,92	117,47	107,65
122,66	92,05	184,73	47,77	5,61	0,00	9,53	0,00	16,10	64,29	81,56	78,06
145,95	141,92	125,33	22,96	7,44	0,74	0,64	0,64	2,76	89,40	65,48	158,39
95,81	150,00	91,54	40,11	6,08	0,00	6,61	0,00	11,84	34,35	137,63	129,20
172,39	102,58	126,35	51,82	2,78	0,00	0,00	6,10	2,57	67,24	49,90	133,95

Fuente propia.

5.3.4.1 Completación de datos por R.L.S.

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

1. Selección del modelo matemático de correlación, en nuestro caso es R.L.S.
2. Selección de la estación base en función a la cual se va a realizar la completación.

3. Ploteo 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:

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

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

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

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

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

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

$$\alpha = 0.05, \quad \text{y} \quad (n-2) \text{ grados de libertad}$$

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: $\text{Enero 2004} = a + b * X_{\text{Sicuani}}$

Tabla 30

Registro de precipitación mensual completado y extendido estación -Sicuani.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1978	218,43	186,73	76,19	77,11	6,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,38	82,53	652,30
1979	177,30	87,96	109,92	66,81	7,24	0,00	18,28	34,03	0,00	9,20	40,47	108,54	659,77
1980	148,83	144,07	177,71	87,27	3,28	0,00	2,12	12,48	6,24	28,56	50,35	101,76	762,66
1981	180,95	239,80	97,83	26,95	0,86	6,98	0,00	17,18	26,31	13,96	55,31	82,69	748,83
1982	165,81	109,73	142,47	41,61	21,44	0,74	0,00	8,87	33,90	25,77	65,90	162,85	779,08
1983	189,92	80,59	152,97	32,26	13,37	7,86	5,98	11,26	21,00	10,91	34,02	101,24	661,38
1984	81,11	206,97	100,09	39,00	8,28	0,00	0,92	0,00	12,66	35,32	100,44	101,36	686,13
1985	231,57	76,94	197,90	89,56	0,00	0,00	0,00	0,00	27,52	26,11	79,20	40,90	769,70
1986	105,09	79,45	101,95	50,03	6,92	0,00	1,42	31,15	43,42	1,26	22,50	49,87	493,06
1987	113,84	64,81	34,31	0,00	20,51	24,45	26,16	28,40	2,10	86,63	79,14	108,59	588,94
1988	172,17	146,76	157,48	1,06	0,00	9,13	0,00	25,41	0,00	7,94	11,38	57,30	588,62
1989	98,28	38,99	71,75	0,00	0,00	0,00	1,33	0,00	35,58	86,13	50,40	109,35	491,81
1990	104,62	0,00	80,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	37,58	2,54	0,00	160,23	385,21
1991	171,36	68,05	59,17	3,92	0,00	2,30	2,14	12,37	15,27	81,38	68,77	110,01	594,74
1992	143,26	129,10	119,50	50,64	25,88	9,40	1,82	4,35	29,11	54,98	95,46	113,30	776,79
1993	125,43	103,77	132,92	55,00	12,36	1,41	2,54	7,28	16,42	33,77	68,61	109,81	669,32
1994	174,36	105,19	112,68	54,86	3,19	1,43	0,00	0,55	2,75	27,43	145,51	171,07	799,03
1995	177,03	116,83	154,63	107,60	4,92	0,00	0,00	0,00	4,19	20,93	23,02	70,42	679,56
1996	193,13	113,94	177,44	80,56	16,95	10,74	0,00	12,64	52,97	55,29	49,39	137,74	900,79
1997	141,24	117,90	79,12	37,56	1,67	28,00	0,00	10,00	12,45	143,13	100,57	144,80	816,44
1998	131,99	159,93	127,07	65,88	131,21	16,00	0,00	0,00	14,11	49,88	66,55	78,22	840,85
1999	120,36	76,44	126,67	48,10	3,49	14,45	1,09	23,66	23,17	76,20	117,45	65,16	696,24
2000	179,13	97,70	127,70	63,08	0,00	1,32	2,20	10,77	29,78	72,53	149,90	125,39	859,48
2001	140,83	158,65	143,05	81,22	20,95	0,33	0,00	1,34	10,36	56,26	90,24	141,94	845,18
2002	124,92	117,59	152,72	84,33	3,61	1,40	3,26	0,00	19,31	41,87	106,66	133,29	788,95
2003	138,85	128,21	178,00	48,88	18,66	0,00	0,00	13,74	28,05	62,04	70,51	132,44	819,39
2004	241,09	184,83	188,13	53,07	3,72	0,00	5,53	16,16	9,46	47,96	144,10	68,70	962,76
2005	104,97	134,42	100,35	15,90	0,00	0,00	0,00	4,31	1,74	94,60	69,16	91,53	616,98
2006	135,30	149,71	85,87	80,00	18,12	0,00	0,31	0,00	45,41	25,12	39,64	130,97	710,46
2007	114,07	185,99	125,95	16,12	7,44	6,20	4,55	1,76	19,22	78,94	26,04	95,68	681,95
2008	220,86	163,93	183,43	57,34	26,86	1,24	14,41	10,89	34,94	50,08	79,01	139,36	982,35
2009	160,97	213,52	151,61	122,47	34,23	0,00	27,16	4,89	38,92	78,98	90,42	147,24	1070,41
2010	134,91	137,63	167,08	62,24	19,53	6,89	0,00	8,35	1,67	39,16	28,40	131,05	736,91
2011	170,39	200,16	84,25	49,25	7,96	8,59	4,40	12,58	54,07	30,29	96,83	103,12	821,90
2012	69,73	188,04	126,52	47,22	4,73	1,66	2,00	6,97	15,26	43,15	60,64	108,66	674,58
2013	159,58	127,50	97,94	104,49	3,48	6,02	0,00	10,87	24,59	47,92	117,47	107,65	807,51
2014	122,66	92,05	184,73	47,77	5,61	0,00	9,53	0,00	16,10	64,29	81,56	78,06	702,37

2015	145,95	141,92	125,33	22,96	7,44	0,74	0,64	0,64	2,76	89,40	65,48	158,39	761,67
2016	95,81	150,00	91,54	40,11	6,08	0,00	6,61	0,00	11,84	34,35	137,63	129,20	703,18
2017	172,39	102,58	126,35	51,82	2,78	0,00	0,00	6,10	2,57	67,24	49,90	133,95	715,69
PROM	149,96	128,21	125,76	51,60	11,99	4,18	3,61	8,72	19,57	47,54	70,81	110,61	732,58

Fuente propia.

NOTA: Como corresponde para cada estación meteorológica se ha procedido con el mismo procedimiento cuyos registros se observan en los anexos correspondientes.

5.3.5 Regionalización de parámetros climáticos

5.3.5.1 Precipitación.

Mediante la técnica determinística (regresión lineal) 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 grafico siguiente se puede apreciar a las estaciones utilizadas en el análisis regional, donde se muestran las constantes y el coeficiente de correlación (r) obtenido.

Tabla 31

Regionalización regresión lineal múltiple.

NOMBRE DE LA ESTACIÓN	ALTITUD	PRECIPITACIÓN	ECUACIÓN DE REGRESIÓN				PRECIPITACIÓN
	MEDIA	MEDIA ANUAL	$P^2 = B_0 + B_1 * H$				MEDIA ANUAL CORR.
	msnm	mm	MÍNIMOS CUADRADOS				
			X ²	Y ²	X*Y ²	Y ⁴	mm
K'AYRA	3.219,00	679,98	1,04E+07	4,62E+05	1,49E+09	2,14E+11	668,46
CORPAC	3.248,00	715,76	1,05E+07	5,12E+05	1,66E+09	2,62E+11	676,21
YAURI	3.927,00	812,4	1,54E+07	6,60E+05	2,59E+09	4,36E+11	837,41
SICUANI	3.574,00	732,58	1,28E+07	5,37E+05	1,92E+09	2,88E+11	757,89
ANCACHURO	3.400,00	807,4	1,16E+07	6,52E+05	2,22E+09	4,25E+11	715,46
URCOS	3.100,00	521,96	9,61E+06	2,72E+05	8,45E+08	7,42E+10	635,67
SUMA	20.468,00	4.270,08	7,03E+07	3,10E+06	1,07E+10	1,70E+12	4.291,09
N	6	6	6	6	6	6	6
PROMEDIO	3.411,33	711,68	1,17E+07	5,16E+05	1,79E+09	2,83E+11	715,18
FORMULAS PARA EL CALCULO DE PARÁMETROS DE REGRESIÓN							
A= SUM X	2,05E+04	D= SUM Y ²	3,10E+06	G	4,53E+05	J	3,59E+02
B= SUM Y	4,27E+03	E= SUM X*Y ²	1,07E+10	H	1,63E+08	K	-7,10E+05
C= SUM X ²	7,03E+07	F= SUM Y ⁴	1,70E+12	I	1,02E+11		

VALORES DE PARÁMETROS DE REGRESIÓN					
COEF. INDEPENDIENTE	Bo =	-7,10E+05	COEF. DEPENDIENTE	B1 =	3,59E+02
COEF. DE CORRELACIÓN	r =	0,76			

Fuente propia.

Ecuación de regionalización anual:

$$P^2 = B_0 + B_1 * H$$

$$P^2 = -7,10E+05 + 3,59E+02x H$$

$$r = 0,76$$

Siendo:

- P = Precipitación total anual (mm)
- H = Altitud (msnm.)
- r = Coeficiente de correlación

El coeficiente de correlación $r = 0,76$, nos indica una REGULAR correlación y dependencia entre la altitud con la precipitación.

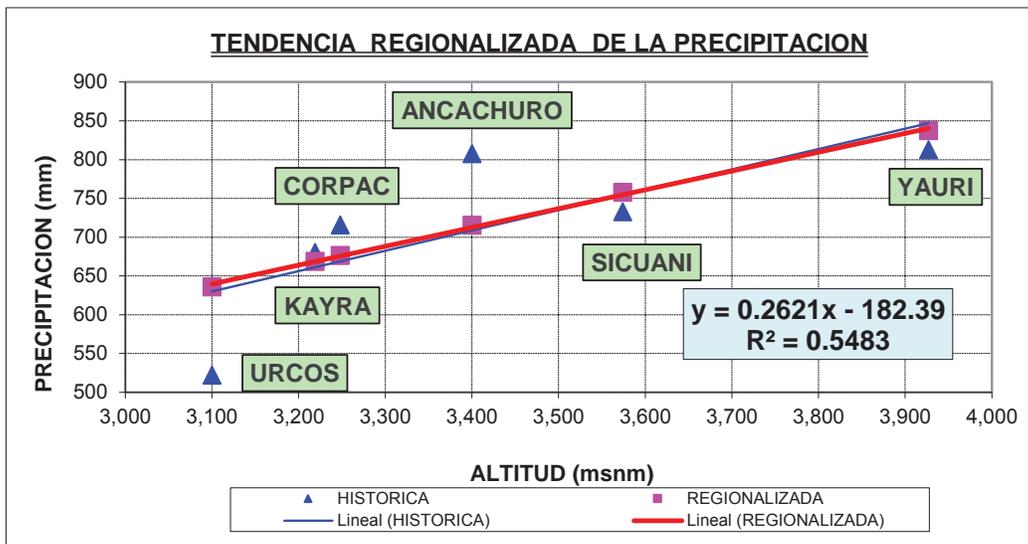


Figura 9. Tendencia regional de la precipitación.

La figura 9, nos indica que existe a nivel regional, una relación directa entre la precipitación y la altitud.

Este método a su vez, permite corregir la precipitación anual por elementos de ajuste por distancia (di), altitud (ai), y posición geográfica (gi); de la zona de estudio vs las estaciones base, obteniéndose los coeficientes de ajuste siguientes:

Tabla 32

Coefficientes de ajuste regional de la precipitación.

Estaciones	Coeficientes de corrección por influencia		
	ai	gi	di
K'AYRA	1,14	0,28	0,19
CORPAC	1,08	0,23	0,22
YAURI	0,95	0,05	1,15
SICUANI	1,06	0,09	0,57
ANCACHURO	0,96	0,14	0,38
URCOS	1,48	0,21	0,26
Valor ponderado			19,00

Fuente Propia

Dónde:

- ai = Coeficiente de corrección por altitud.
- gi = coeficiente de corrección por ubicación geográfica.
- di = coeficiente de corrección por distancia

Obteniéndose la ecuación de regionalización mensual (ERM) para la altitud media de la microcuenca de Tambuque tal como se observa a continuación:

$$ERM = 0.311 * E1 + 0.2533 * E2 + 0.0437 * E3 + 0.0980 * E4 + 0.1332 * E5 + 0.3054 * E6$$

Dónde:

- E1 = Estación Kayra
- E2 = Estación Corpac
- E3 = Estación Yauri
- E4 = Estación Sicuani
- E5 = Estación Ancachuro
- E6 = Estación Urcos

Finalmente aplicando la ecuación anterior se ha obtenido el registro pluviométrico para la altitud media de la microcuenca Tambuque:

Tabla 33
Regionalización de la precipitación mensual según la altitud.

REGISTRO REGIONALIZADO DE PRECIPITACION MENSUAL ACUMULADA														
MICROCUENCA DE TAMBUQUE														
Estacion :		Latitud : 13° 45' 9,33" S			Departamento : Cusco									
		Longitud : 71° 53' 15,04" W			Provincia : PARURO									
		Altitud : 3.642,00 msnm			Distrito : PARURO									
ALTITUD MEDIA														
OBSV.	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1	1978	150,31	192,32	83,53	54,35	1,45	0,52	0,76	2,66	4,87	50,36	49,00	128,07	718,21
2	1979	206,50	93,19	81,65	37,35	4,59	0,26	9,59	29,00	15,43	15,05	63,78	132,83	689,22
3	1980	235,77	147,59	153,72	85,00	13,10	0,76	7,66	13,16	24,18	47,84	83,57	103,32	915,68
4	1981	152,18	201,73	168,09	56,26	3,85	10,45	0,59	42,52	10,65	35,53	55,47	106,96	844,28
5	1982	156,60	183,75	112,67	77,88	25,30	2,72	0,10	3,94	30,42	43,54	64,78	180,57	882,27
6	1983	166,76	150,77	126,53	44,92	13,38	9,90	2,05	4,24	43,09	22,04	45,75	96,20	725,63
7	1984	122,40	198,84	91,59	53,83	3,96	0,00	2,31	0,00	34,60	65,68	91,21	76,04	740,45
8	1985	199,57	95,86	134,87	57,74	10,44	1,15	1,14	0,00	18,33	21,53	106,93	140,51	788,08
9	1986	156,87	135,15	135,44	49,38	9,41	0,37	2,73	10,45	18,41	15,31	93,32	123,63	750,47
10	1987	133,97	156,11	126,50	19,77	5,55	2,40	5,57	3,11	6,32	61,36	70,06	105,76	696,49
11	1988	216,38	115,30	160,27	38,19	1,15	4,03	0,20	11,85	30,30	82,30	89,81	128,33	878,12
12	1989	164,72	131,47	144,69	42,17	0,19	5,91	2,65	7,94	22,46	52,68	109,44	106,64	790,94
13	1990	152,14	97,99	78,56	27,62	2,83	5,00	0,69	0,59	11,96	25,64	51,05	126,10	580,18
14	1991	210,40	161,30	94,67	74,33	0,95	2,11	1,54	12,98	11,78	99,97	73,59	120,78	864,40
15	1992	154,47	146,56	103,73	42,13	16,58	10,64	1,26	1,27	35,18	58,43	108,94	135,84	815,03
16	1993	114,81	115,09	143,79	66,64	7,30	0,91	2,13	5,33	11,58	20,19	71,72	126,77	686,26
17	1994	237,60	105,47	77,99	30,44	2,45	2,21	10,94	0,45	11,43	27,77	113,96	135,41	756,11
18	1995	184,20	110,94	165,63	98,77	4,82	0,69	0,51	0,37	11,32	30,87	49,17	111,61	788,91
19	1996	181,01	148,01	150,20	43,40	9,02	9,39	0,13	8,44	28,67	48,42	63,72	109,83	800,24
20	1997	172,89	117,13	86,57	61,79	7,09	27,94	0,71	7,11	18,65	85,18	89,73	91,15	765,94
21	1998	125,04	175,70	116,68	50,27	22,11	8,98	1,81	0,16	23,67	48,32	87,02	108,84	768,60
22	1999	128,49	127,01	115,14	30,55	0,73	12,66	1,21	23,09	18,64	62,51	118,44	107,64	746,11
23	2000	223,95	120,88	95,36	31,13	4,49	0,50	2,65	7,34	17,38	59,49	109,48	199,06	871,70
24	2001	191,37	195,01	180,87	60,89	12,54	0,35	0,26	0,26	22,22	46,86	66,46	137,02	914,11
25	2002	149,05	110,28	128,25	29,57	0,66	0,46	1,68	0,50	26,18	28,80	67,30	124,50	667,22
26	2003	163,55	125,38	98,39	44,94	14,95	0,32	0,13	11,83	23,09	53,23	62,01	153,97	751,79
27	2004	171,49	151,95	136,17	46,76	5,87	0,57	0,80	10,32	15,42	43,00	159,23	152,53	894,11
28	2005	148,21	173,80	69,31	35,67	3,46	2,25	0,13	2,48	5,98	58,63	53,77	76,60	630,28
29	2006	134,13	117,56	111,63	58,65	4,77	3,17	0,82	0,04	39,43	24,95	41,75	137,65	674,54
30	2007	179,74	167,52	135,78	16,04	4,05	6,59	3,78	5,79	13,23	56,62	34,02	99,14	722,30
31	2008	270,22	186,51	168,42	39,21	12,24	0,95	18,45	10,27	19,95	47,63	83,49	100,80	958,13
32	2009	150,30	223,06	135,08	40,48	17,09	2,64	28,09	5,60	21,52	74,44	97,69	144,61	940,59
33	2010	173,26	161,21	157,55	60,86	5,24	5,86	0,18	19,24	9,28	35,54	33,50	130,60	792,30
34	2011	184,60	161,60	82,80	31,66	4,81	17,68	13,09	8,86	26,77	32,52	60,37	106,40	731,15
35	2012	129,67	142,09	119,35	32,90	2,82	0,72	1,68	3,75	8,16	38,05	58,92	109,24	647,36
36	2013	210,86	147,77	140,92	61,00	0,68	6,27	0,15	9,86	11,73	66,92	71,09	151,83	879,10
37	2014	140,74	83,16	139,18	74,87	6,07	0,32	3,99	0,02	8,40	46,21	79,93	96,54	679,43
38	2015	139,08	138,44	90,54	15,72	10,44	2,79	0,64	3,41	19,21	56,05	68,94	140,38	685,63
39	2016	132,20	128,29	92,67	28,78	4,48	0,32	3,70	1,34	15,73	20,14	117,41	110,74	655,79
40	2017	251,51	169,78	133,28	27,33	2,86	0,37	1,43	4,11	9,95	63,13	44,03	178,97	886,74
N° Datos		40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
Media		171,68	145,29	121,70	46,98	7,09	4,28	3,45	7,34	18,89	46,82	76,49	123,83	773,85
Desv. Estandar		38,12	33,73	29,89	18,96	6,01	5,69	5,61	8,70	9,43	20,01	27,23	26,47	94,53
Coef. Variacion		22,20	23,22	24,56	40,36	84,76	133,02	162,72	118,45	49,90	42,75	35,59	21,38	12,22
Prec. Max.		270,22	223,06	180,87	98,77	25,30	27,94	28,09	42,52	43,09	99,97	159,23	199,06	958,13
Prec. Min.		114,81	83,16	69,31	15,72	0,19	0,00	0,10	0,00	4,87	15,05	33,50	76,04	580,18
Prec. 75% PERST..		145,95	122,52	101,53	34,18	3,04	0,44	-0,34	1,47	12,53	33,31	58,12	105,97	618,71

Fuente propia.

5.3.5.2 Temperaturas.

Para el presente análisis de temperatura en la zona se ha contado con información proveniente de SENAMHI desde los años 1965 al 2017. Habiéndose elegido para este proceso de regionalización las estaciones circundantes a la zona de estudio como son: Granja Kayra,

Perayoc, Yauri, Ancachuro y Urcos. Para el análisis de la temperatura se han analizado 5 estaciones que cuentan con la mayor información, La información histórica por estación se presenta en anexos.

Tabla 34
Planilla de regionalización regresión lineal múltiple.

NOMBRE DE LA ESTACIÓN	ALTITUD	TEMPER.	ECUACIÓN DE REGRESIÓN				TEMPER.
	MEDIA	MEDIA ANUAL	T2 = BO + B1 * H				MED. AN. CORRE.
	msnm	°c	X2	Y2	X*Y2	Y4	°C
KAYRA	3219	12,07070132	10361961	145,7018303	469014,1918	21229,02336	12,38706959
PERAYOC	3365	11,26983323	11323225	127,0091409	427385,7592	16131,32188	11,51919032
YAURI	3927	7,638916824	15421329	58,35305025	229152,4283	3405,078474	7,268227353
ANCACHURO	3390	10,89223389	11492100	118,6407592	402192,1737	14075,62974	11,36393634
URCOS	3149	13,48256944	9916201	181,7796788	572424,2086	33043,85163	12,78229412
SUMA	17050	55,35425471	58514816	631,4844595	2100168,762	87884,90509	55,32071772
n	5	5	5	5	5	5	5
PROMEDIO	3410	11,07085094	11702963,2	126,2968919	420033,7523	17576,98102	11,06414354
FORMULAS PARA EL CALCULO DE PARÁMETROS DE REGRESIÓN							
A =	17050	D =	631,4844595	G =	374316	J =	-0,142107859
B =	55,35425471	E =	2100168,762	H =	-53193,24531	K =	610,8846907
C =	58514816	F =	87884,90509	I =	8130,380564		
VALORES DE PARÁMETROS DE REGRESIÓN							
COEF. INDEPENDIENTE	Bo =	610,88469	COEF. DEPENDIENTE	B1 =	-0,14211		
COEF. DE CORRELACIÓN	r =	-0,96					

Fuente propia.

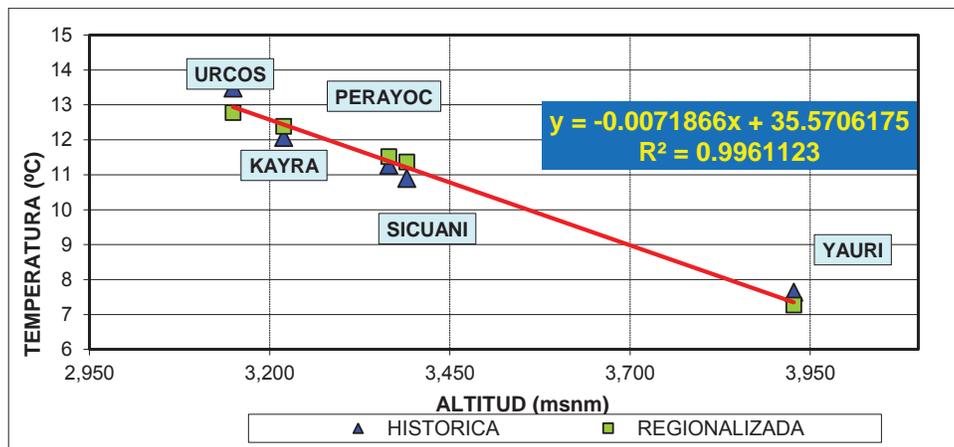


Figura 10. Tendencia regionalizada de la temperatura

La figura 10, nos indica que existe a nivel regional, una relación inversa entre la temperatura y la altitud.

Este método a su vez, permite corregir la temperatura anual por elementos de ajuste por distancia (di), altitud (ai), y posición geográfica (gi); de la zona de estudio vs las estaciones base, obteniéndose los coeficientes de ajuste siguientes:

Tabla 35

Coefficientes de corrección por influencia.

ESTACIONES	ALTITUD MEDIA		
	ai	gi	di
KAYRA	0,82	0,32	0,19
PERAYOC	0,88	0,24	0,24
YAURI	1,30	0,05	1,15
ANCACHURO	0,91	0,16	0,38
URCOS	0,74	0,23	0,26
Valor ponderado			16,86

Fuente Propia.

Obteniéndose la ecuación de regionalización mensual (ERM) para la altitud media de la microcuenca de Tambuque (3642 msnm) tal como se observa a continuación:

$$ERM = 0.262 * E1 + 0.214 * E2 + 0.067 * E3 + 0.141 * E4 + 0.169 * E5$$

Dónde:

- E1 = Estación Kayra
- E2 = Estación Perayoc
- E3 = Estación Yauri
- E4 = Estación Ancachuro
- E5 = Estación Urcos

Finalmente aplicando la ecuación anterior se ha obtenido el registro de temperatura para la altitud media de la microcuenca Tambuque:

Tabla 36

Registro de temperatura regionalizada de la microcuenca Tambuque.

ESTACIÓN	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MEDIA
KAYRA	13,43	13,51	13,18	12,22	10,67	9,49	9,21	10,53	12,09	13,31	13,68	13,53	12,07
PERAYOC	12,06	11,82	11,83	11,43	10,55	9,44	9,15	10,19	11,28	12,33	12,70	12,45	11,27
YAURI	9,61	9,36	9,27	8,42	6,28	4,77	4,58	5,45	6,98	8,60	9,08	9,29	7,64
ANCACHURO	12,13	12,14	12,00	11,40	9,77	8,55	8,34	9,32	10,84	11,98	12,40	11,84	10,89
URCOS	13,98	13,81	13,81	13,67	12,79	11,81	11,43	12,44	13,71	14,88	15,09	14,39	13,48
MICROCUENCA TAMBUQUE													
ALTITUD MEDIA	10,86	10,79	10,67	10,17	9,05	8,06	7,81	8,75	9,93	10,95	11,25	10,97	9,94

Fuente: procesado por los tesisistas.

5.3.5.3 Humedad relativa (%).

Para el presente parámetro se ha utilizado información proveniente del SENAMHI, de las estaciones de Kayra, Perayoc, Yauri, Anta y Sicuani; para lo cual se utilizó el método de regresión lineal con el que se procedió a regionalizar para la altitud media del distrito.

Tabla 37

Ecuación de regionalización por regresión lineal para la humedad relativa.

ESTACIONES	ALTITUD	MESES												MEDIA
	msnm	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	
KAYRA	3219	80,00	77,75	77,50	76,00	77,50	80,00	81,25	81,00	79,75	79,75	79,25	80,75	79,21
PEROYOC	3365	58,40	59,10	60,60	59,60	61,40	63,40	66,95	66,97	66,90	63,39	59,57	58,20	62,04
YAURI	3927	71,46	68,22	65,47	68,39	65,82	75,48	80,81	84,45	84,45	80,89	75,55	73,51	74,54
ANTA	3390	77,00	74,75	72,50	73,75	74,50	78,25	79,25	78,00	79,50	75,00	74,00	74,33	75,90
SICUANI	3574	59,50	55,75	57,00	56,00	58,75	67,75	82,25	83,25	75,75	74,25	68,00	63,50	66,81
Parámetros de Regresión	a	94,99	103,78	114,83	96,18	116,07	79,81	55,05	33,93	37,14	43,10	63,95	80,50	76,61
	b	-0,007	-0,010	-0,014	-0,008	-0,014	-0,002	0,007	0,013	0,011	0,009	0,002	-0,003	-0,0014
COEF. DE CORRELACIÓN	r	0,04	0,09	0,20	0,07	0,22	0,01	0,08	0,25	0,23	0,13	0,01	0,01	0,110
MICROCUENCA TAMBUQUE														
Altitud media	3642	68,19	65,57	64,59	65,51	65,56	72,69	79,07	80,62	78,96	75,98	71,58	69,62	71,49

Fuente elaborado por los tesisistas.

5.3.5.4 Horas y decimas de sol.

Esta información ha sido adquirida del SENAMHI, para la estación de Kayra, Perayoc y Yauri con el cual se ha procedido a regionalizar por el método de regresión lineal tal como se observa en el cuadro siguiente:

Tabla 38

Regionalización de horas y decimas de sol de la microcuenca Tambuque.

EST.	ALT.	MESES												
	msnm	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	MEDIA
KAYRA	3219	254,43	236,86	193,65	204,58	185,55	145,60	124,03	128,02	138,36	183,65	241,94	241,39	189,84
PERAYOC	3365	252,74	244,34	210,89	205,00	184,81	165,09	144,08	133,82	160,81	191,63	239,73	238,85	197,65
YAURI	3927	261,50	265,75	239,50	255,00	249,00	212,80	175,33	160,35	186,00	191,25	263,33	255,00	226,23
Param. Regresión	a	215,8	108,7	1,3	-45,3	-131,5	-148,3	-89,6	-20,8	-52,1	162,4	130,9	168,4	25,0
	b	0,01	0,04	0,06	0,08	0,10	0,09	0,07	0,05	0,06	0,01	0,03	0,02	0,05
Coef. Correl	r	0,86	1,00	0,97	0,96	0,96	0,99	0,96	1,00	0,92	0,39	0,92	0,89	1,00
MICROCUENCA DE TAMBUQUE														
ALT.MEDIA	3642	257,8	254,5	223,1	232,1	219,8	187,2	157,2	147,1	170,2	189,9	253,0	248,1	211,66

5.3.5.5 Evapotranspiración de referencia.

Para el presente caso se ha utilizado el modelo de Hargreaves III modificado que tiene buena confiabilidad en la sierra del Perú, en el cuadro siguiente se presenta el procesamiento de la evapotranspiración de referencia:

Tabla 39

Cálculo de la evapotranspiración de referencia microcuenca Tambuque.

CALCULO DE ETP POR EL METODO DE HARGREAVES III MODIFICADO											MIC. TAMBUQUE			
											Altitud: 3642 msnm.			
											3,642 Km			
											Latitud: 13 45 9,33			
VARIABLE	UNIDAD	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nob	Dic	
Temperatura Promedio Mensual	°F	51,54	51,41	51,21	50,31	48,28	46,51	46,06	47,76	49,88	51,70	52,26	51,75	
Temperatura Promedio Mensual	°C	10,86	10,79	10,67	10,17	9,05	8,06	7,81	8,75	9,93	10,95	11,25	10,97	
Nº de horas de sol real mensual (SM)	n	157,18	147,11	170,17	189,89	252,97	248,11	257,82	254,52	223,10	232,06	219,80	187,24	
Numero de dias del mes (DM)		31,00	28,00	31,00	30,00	31,00	30,00	31,00	31,00	30,00	31,00	30,00	31,00	
Horas de sol max media diaria (DL)	N	12,83	12,55	12,18	11,80	11,45	11,27	11,37	11,65	12,00	12,45	12,75	12,93	
Radiacion extraterrestre diaria (RMD)	mm/dia	16,69	16,39	15,31	13,74	12,15	11,25	11,65	12,94	14,52	15,80	16,49	16,50	
Factor Corrección de Altura (FA)		1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	
% de horas de sol mensual (S)		39,53	41,86	45,09	53,64	71,27	73,35	73,12	70,48	61,97	60,13	57,46	46,73	
Radiacion extraterrestre Media diaria (RMD)		16,69	16,39	15,31	13,74	12,15	11,25	11,65	12,94	14,52	15,80	16,49	16,50	
Radiacion Extraterrestre por Mes (RMM)		517,32	458,85	474,68	412,11	376,63	337,48	361,13	401,05	435,74	489,80	494,63	511,50	
Radiacion Indice por mes (RSM)		243,95	222,66	239,05	226,37	238,47	216,78	231,60	252,51	257,27	284,85	281,22	262,24	
ETP mensual	mm/mes	114,91	104,62	111,88	104,07	105,23	92,14	97,50	110,21	117,28	134,60	134,30	124,03	
											EVAPOTRANSPIRACION REFERENCIAL = ETO = 1350,77 mm/año			

Fuente: elaborado por los tesisistas.

5.4 Disponibilidad hídrica superficial

En la presente campaña de campo, se ha tomado muy en cuenta la información de los pobladores que mejor que nadie conoce su realidad, a través del inventario realizado se ha identificado una laguna denominada Tirina ubicada en cabecera de cuenca, así como riachuelos de régimen variable que nacen de la acumulación de manantes. Entre ellos se tiene en más detalle:

LAGUNA TIRINA:

Esta fuente de agua de acumulación artificial, cuenta con un área de espejo de agua de 1.42 ha, y una profundidad promedio de 1.4 m. almacenando un volumen total de agua de 20,000 m³.



Foto 46. Laguna artificial o represa Tirina.

Volumen de embalse:

Para el presente acápite se ha realizado el seccionamiento de la laguna con GPS, eclímetro y cinta métrica de 50 m.



Foto 47. Vista panorámica del seccionamiento de la laguna Tirina.

Estado de conservación:

El dique de represamiento es una estructura de tierra, recubierta con una loza de piedra con mortero de cemento a ambas caras de la presa y corona del mismo. El estado de conservación es muy malo, presenta asentamiento de parte del talud aguas abajo, así mismo en la corona, se observan agrietamientos de hasta 15 cm, en la corona e incluso la pérdida de la pared de recubrimiento de concreto generando oquedades por tubificación por donde llega a salir el agua al momento de subir el volumen de embalse. Por las condiciones de conservación, esta estructura podría generar riesgo muy alto a la seguridad de las poblaciones de Huatacalla ubicadas en la parte media baja de la microcuenca.



Foto 48. Estado de conservación precaria de la estructura del represamiento laguna Tirina.



Foto 49. Vista del rip – rap de protección en estado de asentamiento aguas abajo.



Foto 50. Filtración de agua del pie de talud aguas abajo del dique de represamiento.

5.4.1 Riachuelo

El proceso hidrométrico se ha realizado por el método volumétrico que a continuación se ve en la foto 51 y los datos obtenidos en la tabla 40 del manante más abundante en la microcuenca Tambuque como es el de Tirina 1.

Tabla 40

Aforos en río de Tirina (l/s).

Punto	Norte	Este	Altitud	Caudal(L/s)	Fecha
1	8477371,63	186413,24	3916	4	27-08-2018

Fuente: elaborado por los tesisistas.



Foto 51. Aforando riachuelos.

MAPA N° 9 Hidrológico.



CAPITULO VI HIDROGEOLOGÍA

6.1 Introducción

La Hidrogeología se puede definir como la ciencia que estudia las aguas subterráneas en la Naturaleza y sus relaciones con las aguas superficiales y con otras partes del ciclo hidrológico. La designación Hidrogeología se puede tomar como sinónima de la de Hidrología Subterránea, si bien cabría matizar que en la primera se pone mayor énfasis en los aspectos relacionados con la geología y en la segunda en los de ingeniería y cuantificación, y así se tiende a utilizar en el presente capítulo. Además de los aspectos hidrológicos de flujo y transporte de solutos, la Hidrogeología considera las relaciones con las aguas superficiales y marinas, la composición química e isotópica del agua, la relación roca – agua y la existencia de paleo - aguas en el terreno. Además, tiene en cuenta los aspectos económicos, de gestión, sociales y éticos de la explotación de las aguas subterráneas, además de su conservación y de su papel ecológico.

6.2 Inventario de manantes

Esta fase es importante porque nos ha permitido determinar la importancia del acuífero en su fase de productividad; como resultado de este inventario se tiene un total de 72 puntos de manante con las características siguientes pertenecientes a la comunidad Huatacalla – Pucapuca en la microcuenca de Tambuque:

Tabla 41
Inventario de manantes microcuencas Tambuque.

Nº	Sector	Nombre Manante	Norte	Este	Cota
1	Nayquehuayco	Tirina 1	186300	8477350	3933
2	Nayquehuayco	Tirina 2	186634	8477478	3933
3	Nayquehuayco	Tirina 3	186556	8477607	3973
4	Tambuque	Ccollpa Ccasa	186592	8476594	3959
5	Tambuque	Yanañan Pujo 1	186605	8476923	3932
6	Tambuque	Yanañan Pujo 2	186703	8476978	3925
7	Tambuque	Curo Pujo	187005	8477064	3892
8	Tambuque	Chitapampa pugio	187033	8476853	3881
9	Huatacalla	Llutupugio	188096	8475445	4170
10	Huatacalla	Yanaccacca	187454	8476106	4068
11	Incacona	Tancarcancha 1	186659	8478601	3795
12	Incacona	Tancarcancha 2	186610	8478617	3804

13	Incacona	Tancarcancha 3	186566	8478555	3819
14	Incacona	Tancarcancha 5	186653	8478583	3796
15	Incacona	Tancarcancha 6	186813	8478600	3751
16	Incacona	Pulpulpugio	187016	8478684	3702
17	Incacona	Collpahuaycco	186910	8477580	3896
18	Incacona	Ajaypata 1	186873	8477720	3900
19	Incacona	Ajaypata 2	186855	8477720	3912
20	Incacona	Ajaypata 3	186834	8477669	3921
21	Incacona	Rocca Pujo	186749	8477677	3967
22	Incacona	Ajaypata Pujo1	186880	8477986	3865
23	Incacona	Ajaypata Pujo2	186954	8478201	3822
24	Incacona	Checcta huaycco	186734	8478280	3816
25	Pacarectambo	Checcta 1	186630	8478309	3829
26	Pacarectambo	Checcta 2	186414	8478287	3922
27	Pacarectambo	Checcta 3	186423	8478266	3908
28	Pacarectambo	Pujuñawi	186411	8478057	3929
29	Pacarectambo	Checcta 4	186268	8478470	3956
30	Pacarectambo	Checcta 5	186264	8478511	3954
31	Huatacalla	Arellano	187490	8476420	3894
32	Huatacalla	Choquepujo	187465	8476438	3888
33	Huatacalla	Ciprian	187425	8476611	3867
34	Huatacalla	zarate	187818	8476535	3881
35	Huatacalla	Ccorccorpampa pujo	187869	8476659	3829
36	Huatacalla	Q´echapujio	188020	8476620	3846
37	Huatacalla	Llalliyoc Puju	188293	8476388	3838
38	Huatacalla	Llallicancha pujo	185445	8476285	3839
39	Pucapuca	Churupujio	189106	8475730	3815
40	Pucapuca	Collpapata 1	188930	8476146	3868
41	Pucapuca	Collpapata 2	188895	8476141	3895
42	Pucapuca	Collpapata 3	188729	8476217	3878
43	Pucapuca	Collpa 1	187243	8476932	3837
44	Pucapuca	Collpa 2	187321	8476996	3835
45	Pucapuca	Collpa 3	187309	8477074	3844
46	Pucapuca	Collpa 4	187286	8477130	3850
47	Pucapuca	Collpa 5	187265	8477149	3856
48	Pucapuca	Collpa 6	187283	8477205	3863
49	Pucapuca	Collpa unu pata	187403	8477258	3837
50	Pucapuca	Ñayqui 1	187635	8477318	3784
51	Pucapuca	Ñayqui 2	187724	8477379	3776
52	Pucapuca	Paquiñan	187836	8477108	3787
53	Pucapuca	P´aqui 1	188686	8477078	3674

54	Pucapuca	P'aqui 2	189184	8477416	3631
55	Pucapuca	Pozopaki	188985	8477457	3542
56	Tambuque	Tambuquihuaycco	188542	8477510	3485
57	Tambuque	Tambuquihuaycco 2	188481	8477719	3493
58	Pucapuca	Quinsa pujo 1	189450	8475208	3728
59	Pucapuca	Quinsa pujo 2	189465	8475190	3722
60	Pucapuca	Quinsa pujo 3	189480	8475186	3721
61	Pucapuca	Era huaycco	189531	8475390	3679
62	Pucapuca	Era pata pujo	189683	8475394	3701
63	Pucapuca	Sincercocha	189955	8475597	3708
64	Pucapuca	Cachipujo	189794	8475642	3745
65	Pucapuca	Huarmihuañusca Chura1	189483	8475666	3767
66	Pucapuca	Huarmihuañusca Chura2	189440	8475681	3781
67	Pucapuca	Huarmihuañusca Chura3	189527	8475769	3789
68	Pucapuca	Canchayoy pata	189117	8476024	3840
69	Pucapuca	Lluchapujo1	189194	8476102	3780
70	Pucapuca	Lluchapujo2	189136	8476128	3875
71	Pucapuca	Hatunchura	189242	8476190	3871
72	Huatacalla	Huancallusa	189729	8476992	3641

Fuente. Elaboración propia

MAPA N° 10 Inventario de manantes.



6.3 Hidrometría

Esta etapa constituye en la medición del caudal de aporte de las fuentes de agua de origen subterráneo como son los manantes, para el cual se han utilizado el método de volumétrico.



Foto 52. Aforo de manantes

Tabla 42
Medida de caudales en puntos de manantes.

SECTOR	NOMBRE	CAUDAL Q = L/S
Nayquehuayco	Tirina 1	4
Nayquehuayco	Tirina 2	0.02
Nayquehuayco	Tirina 3	0.011
Tambuque	Ccollpa Ccasa	0.008
Tambuque	Yañañan Pujo 1	0.1
Tambuque	Yañañan Pujo 2	0.095
Tambuque	Curo Pujo	0.08
Tambuque	Chitapampa pugio	0.018
Huatacalla	Llutupugio	0.005
Huatacalla	Yanaccacca	EXTINTO
Incacona	Tancarcancha 1	0.21
Incacona	Tancarcancha 2	0.04
Incacona	Tancarcancha 3	SECO
Incacona	Tancarcancha 5	0.002
Incacona	Tancarcancha 6	0.004
Incacona	Pulpulpugio	0.083
Incacona	Collpahuaycco	0.056
Incacona	Ajaypata 1	SECO
Incacona	Ajaypata 2	SECO
Incacona	Ajaypata 3	SECO

Incacona	Rocca Pujo	0.012
Incacona	Ajaypata Pujo1	0.004
Incacona	Ajaypata Pujo2	SECO
Incacona	Checcta huaycco	0.12
Pacarectambo	Checcta 1	0.031
Pacarectambo	Checcta 2	0.014
Pacarectambo	Checcta 3	0.011
Pacarectambo	Pujuñawi	0.072
Pacarectambo	Checcta 4	0.011
Pacarectambo	Checcta 5	0.067
Huatacalla	Arellano	SECO
Huatacalla	Choquepujo	0.008
Huatacalla	Ciprian	0.024
Huatacalla	zarate	0.273
Huatacalla	Ccorcorpampa pujo	EXTINTO
Huatacalla	Q'echapujio	0.01
Huatacalla	Llaulliyoc Puju	0.25
Huatacalla	Llaullicancha pujo	SECO
pucapuca	Churupujio	SECO
Pucapuca	Collpapata 1	0.2
Pucapuca	Collpapata 2	0.35
Pucapuca	Collpapata 3	0.006
Pucapuca	Collpa 1	SECO
Pucapuca	Collpa 2	SECO
Pucapuca	Collpa 3	SECO
Pucapuca	Collpa 4	SECO
Pucapuca	Collpa 5	SECO
Pucapuca	Collpa 6	SECO
Pucapuca	Collpa unu pata	0.075
Pucapuca	Ñayqui 1	0.07
Pucapuca	Ñayqui 2	0.6
Pucapuca	Paquiñan	SECO
Pucapuca	P' aqui 1	0.168
Pucapuca	P' aqui 2	0.025
Pucapuca	Pozopaki	0.005
Tambuque	Tambuquihuaycco	0.8
Tambuque	Tambuquihuaycco 2	0.014
Pucapuca	Quinsa pujo 1	0.231
Pucapuca	Quinsa pujo 2	0.049
Pucapuca	Quinsa pujo 3	0.03
Pucapuca	Era huaycco	0.007
Pucapuca	Era pata pujo	0.009
Pucapuca	Sincercocha	SECO
Pucapuca	Cachipujo	EXTINTO

Pucapuca	Huarmihuañusca Chura1	SECO
Pucapuca	Huarmihuañusca Chura2	0.025
Pucapuca	Huarmihuañusca Chura3	0.025
Pucapuca	Canchayoy pata	EXTINTO
Pucapuca	Lluchapujo1	0.008
Pucapuca	Lluchapujo2	SECO
Pucapuca	Hatunchura	0.07
Huatacalla	Huancallusa	0.007

Fuente. Elaboración propia.

Como se puede observar de tienen inventariados 72 manantes que aportan caudales desde 4 l/s conocido como Tirina 1, hasta 0.002 l/s conocido como Tancarcancha 5 en el sector de Inacaona.

En la figura 10 vemos que en la formación Puquín aflora un considerable número de manantes de muy baja y baja Productividad, esto se debe al fracturamiento de este tipo de lutitas con porosidad primaria muy baja pero una porosidad secundaria buena.

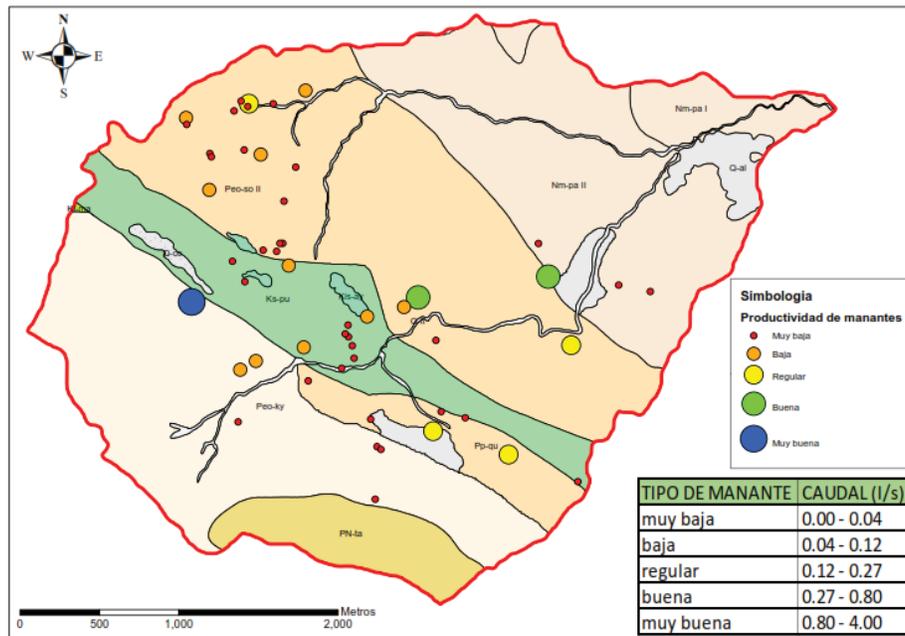


Figura 11. Niveles de productividad de manantes.

6.3.1 Uso y régimen de los manantes.

Esta referido al uso consuntivo que la población le da a la fuente de agua, con la finalidad de satisfacer sus propias necesidades socioeconómicas. El régimen está referido a la temporalidad o estacionalidad de la permanencia del manante en el año.

Tabla 43

Uso y régimen de los manantes inventariados.

NOMBRE	APROVECHAMIENTO	RÉGIMEN
Tirina 1	Para riego de pastos y recarga de represa Tirina	Permanente
Tirina 2	Para riego de pastos y recarga de represa Tirina	Intermitente
Tirina 3	Para riego de pastos y recarga de represa Tirina	Permanente
Ccollpa Ccasa	Consumo humano	Permanente
Yanañan Pujo 1	Abrevadero para animales y riego de pastos	Permanente
Yanañan Pujo 2	Abrevadero para animales y riego de pastos	Permanente
Curo Pujo	Abrevadero para animales y riego de pastos	Permanente
Chitapampa pugio	Abrevadero para animales y riego de pastos	Permanente
Llutupugio	Abrevadero para animales y riego de pastos	Intermitente
Yanaccacca	Extinto	Extinto
Tancarcancha 1	Uso agrícola y riego de pastos	Permanente
Tancarcancha 2	Uso agrícola y riego de pastos	Permanente
Tancarcancha 3	Solo Humedecimiento	Temporal
Tancarcancha 5	Sin uso	Permanente
Tancarcancha 6	Sin uso	Permanente
Pulpulpugio	Sin uso	Permanente
Collpahuaycco	Libre	Permanente
Ajaypata 1	Abrevadero de animales.	Temporal
Ajaypata 2	Abrevadero de animales.	Temporal
Ajaypata 3	Abrevadero de animales.	Temporal
Rocca Pujo	Abrevadero para animales y riego de pastos	Intermitente
Ajaypata Pujo1	Sin uso	Intermitente
Ajaypata Pujo2	Abrevadero de animales.	Temporal
Checta huaycco	Abrevadero para animales y riego de pastos	Intermitente
Checcta 1	Sin uso	Permanente
Checcta 2	Sin uso	Permanente
Checcta 3	Sin uso	Intermitente
Pujuñawi	Abrevadero para animales y riego de pastos	Permanente

Checcta 4	Sin uso	Permanente
Checcta 5	Abrevadero para animales y riego de pastos	Permanente
Arellano	Abrevadero de animales.	Temporal
Choquepujo	Sin uso	Intermitente
Ciprian	Sin uso	Permanente
zarate	Uso agrícola y riego de pastos	Permanente
Ccorccorpampa pujo	Extinto	Extinto
Q'echapujio	Sin uso	Permanente
Llaulliyoc Puju	Uso agrícola y riego de pastos	Permanente
Llaullicancha pujo	Abrevadero de animales.	Temporal
Churupujio	Abrevadero de animales.	Temporal
Collpapata 1	Consumo humano	Permanente
Collpapata 2	Consumo humano	Permanente
Collpapata 3	Abrevadero para animales y riego de pastos	Intermitente
Collpa 1	Abrevadero de animales.	Temporal
Collpa 2	Abrevadero de animales.	Temporal
Collpa 3	Abrevadero de animales.	Temporal
Collpa 4	Abrevadero de animales.	Temporal
Collpa 5	Abrevadero de animales.	Temporal
Collpa 6	Abrevadero de animales.	Temporal
Collpa unu pata	Abrevadero de animales.	Permanente
Ñayqui 1	Abrevadero para animales y riego de pastos	Permanente
Ñayqui 2	Uso agrícola y riego de pastos	Permanente
Paquiñan	Abrevadero de animales.	Temporal
P'aqui 1	Uso agrícola y riego de pastos	Permanente
P'aqui 2	Sin uso	Permanente
Pozopaki	Sin uso	Intermitente
Tambuquihuaycco	Uso agrícola y riego de pastos	Permanente
Tambuquihuaycco 2	Sin uso	Permanente
Quinsa pujo 1	Uso agrícola y riego de pastos	Permanente

Quinsa pujo 2	Uso agrícola y riego de pastos	Permanente
Quinsa pujo 3	Abrevadero para animales y riego de pastos	Permanente
Era huaycco	Sin uso	Intermitente
Era pata pujo	Sin uso	Intermitente
Sincercocha	Sin uso	Temporal
Cachipujo	Extinto	Extinto
Huarmihuañusca Chura1	Sin uso	Temporal
Huarmihuañusca Chura2	Abrevadero para animales y riego de pastos	Permanente
Huarmihuañusca Chura3	Abrevadero para animales y riego de pastos	Permanente
Canchayoy pata	Extinto	Extinto
Lluchapujo1	Sin uso	Intermitente
Lluchapujo2	Abrevadero de animales.	Temporal
Hatunchura	Abrevadero para animales y riego de pastos	Permanente
Huancallusa	Sin uso	Permanente

Fuente Propia.

En cuanto al régimen, analizando los resultados del cuadro anterior, se tiene que, de los 72 manantes identificados, 38 de ellos que representa el 52.78% conservan su régimen permanente (dura su régimen todo el año), aunque el caudal se dice que ha venido bajando mucho en los últimos 20 años; 16.67% cambiaron de régimen de permanentes a intermitentes (se dice a los manantes que mantiene su régimen de agua hasta por lo menos el mes de octubre) y el 25 % de los manantes, cambiaron de régimen de intermitentes a temporales (pasando la época de lluvia, duran solo hasta mayo), y el 5.56 % de los manantes inventariados, pasaron a la extinción.

Tabla 44

Variación porcentual de régimen de manantes.

RÉGIMEN	Nº MANANTES	% DE CAMBIO
PERMANENTES	38	52,78
INTERMITENTES	12	16,67
TEMPORALES	18	25,00
EXTINTOS	4	5,56
TOTAL	72	100,00

Fuente: Propia



Foto 53. Registro de manante Tirina 1 de régimen permanente.

Así mismo en cuanto al uso que la comunidad hace del recurso hídrico, mayoritariamente está destinada al riego y abrevadero de animales, sin embargo, existe un porcentaje de las fuentes de manante sin uso aparente.

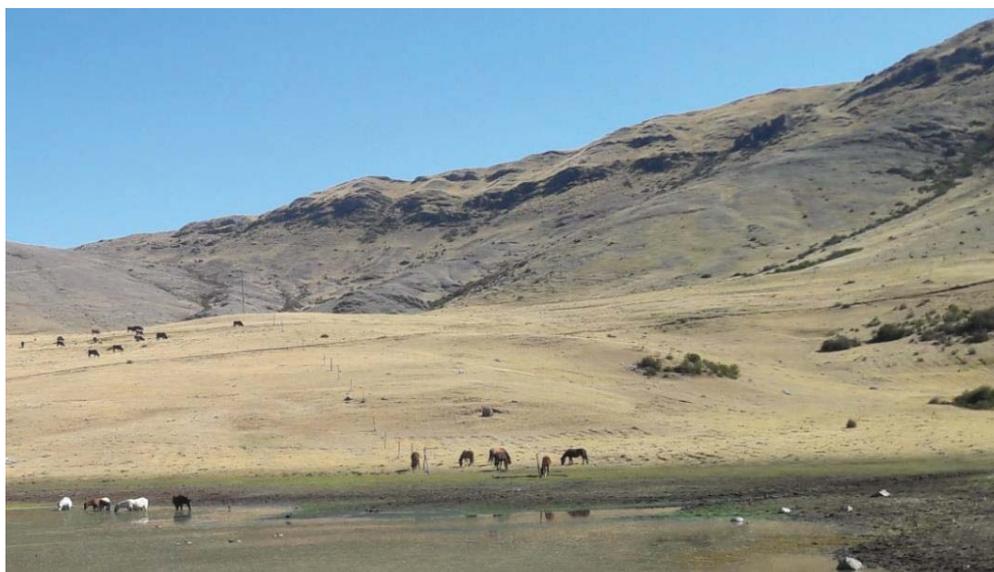


Foto 54. Presa Tirina usada como abrevadero de animales.



Foto 55. Uso agrícola de la fuentes de agua.

6.4 Unidades hidrogeológicas

6.4.1 Clasificación de acuíferos.

En líneas generales los acuíferos se clasifican desde el punto de vista de su porosidad primaria.

La zona de estudio está constituida por rocas sedimentarias como areniscas, conglomerados, que para el caso de acuíferos está clasificada como Acuífero propiamente dicho; reiterando desde el punto de vista de **porosidad primaria intergranular**.

Para el caso de la presencia de lutitas y calizas está clasificada como Acuífugo; reiterando desde el punto de vista de **porosidad primaria intergranular**.

Pero por la presencia de alto grado de fracturamiento en especial de rocas sedimentarias, esta unidad geohídrica se convierte en permeable por fisuración o porosidad secundaria (fracturas), se califica a este como un **ACUÍFERO FISURADO**.

6.4.1.1 Sistema fisurado.

Como ya se ha analizado en el ítem de geología estructural, la mayoría del agua subterránea se almacena y circula principalmente en medios fisurados y en porosidad primaria. Los niveles alterados son de poco espesor, no mayor a los cinco metros, sin importancia hidrogeológica pero que sirven de acopiador de humedad.

Debido a que la mayoría del Basamento sedimentario, están cubierto por sedimentos de media a alta permeabilidad (acuíferos hidromórficos), la recarga se da principalmente por

retención e infiltración en suelos superficiales, como en zonas de acumulación temporal de agua ubicada en la parte alta de la microcuenca Tambuque.

6.4.1.2 Almacenamiento de agua en función del tipo tectónico.

Desde el punto de vista hidrogeológico se pueden distinguir tres tipos de fracturas que marcan la magnitud del almacenamiento de un medio discontinuo, éstas son:

Diaclasas de Tensión ($a=1$), debidas a deformación plástica.

Estos tipos de fracturación producen una **escasa o nula interconexión** entre diaclasas o fracturas limitando la capacidad de almacenamiento. Este tipo de tectónica desarrolla acuíferos pobres como los de la formación Quilque.



Foto 56. Diaclasas de tension bien cerradas en la formacion Quilque.

Fracturas de Distención ($a=2$)

Este tipo de fracturación tiene generalmente gran capacidad de almacenamiento debido a su origen tensil.

Forma redes de fracturas **interconectadas** que constituyen grandes espacios para la circulación y almacenamiento de agua, formando buenos acuíferos.

Estas fracturas son las más frecuentes dentro del área de intervención que dan origen a puntos de surgencia de agua como en la formación Puquín y Sonco.



Foto 57. Diaclasas de distención $a=2$ en la formación Soncco.

6.4.1.1 *Interconexión de fracturas.*

La importancia de una buena interconexión entre las fracturas es fundamental para desarrollar un buen acuífero, al generar un sistema continuo, comunicando familias de fracturas desarrolladas por uno o varios eventos tectónicos.

Se ha observado el descenso de la porosidad de fractura en función del número de eventos tectónicos que sufre un bloque rocoso. En la zona se ha detectado esta relación por ser el escenario de movimientos continuos que ha producido el desarrollo de fracturas rellenas de materiales arcillosos y con sílice que limitan la circulación de agua.

Realizando un resumen de las características hidrogeológicas del Basamento rocoso Kayra podemos establecer que:



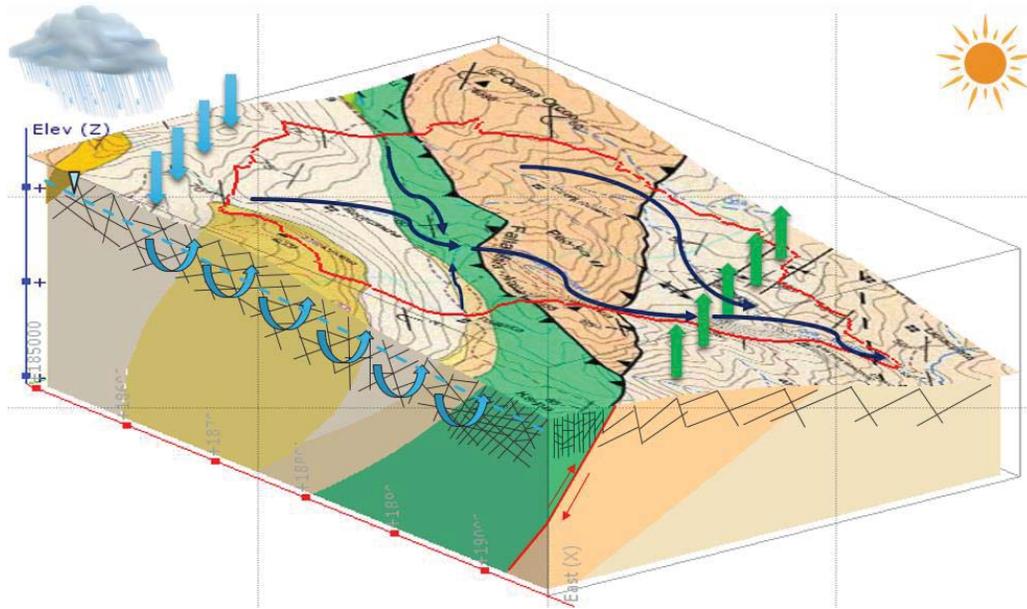
Foto 58. Familia de fracturas para ingreso de agua en la formación Kayra.

Por el grado de fracturamiento, estados de apertura, persistencia de las mismas, poco relleno de fracturas o en su defecto, el material de relleno es gravoso y arenoso generando una buena "permeabilidad de fractura", lo que facilita el almacenamiento y circulación del agua desde la superficie hacia el interior de la misma, convirtiéndolo en un buen acuífero fisurado.



Foto 59. Buena apertura y presencia de fracturas en el macizo rocoso de la formación Kayra.

6.4.2 Modelo conceptual de la microcuenca Tambuque



UNIDAD GEOLOGICA	SIMBOLO	UNIDAD GEOLOGICA	SIMBOLO
Deposito Fluvial	Q-fl	Formación Soncco - II	Peo-so II
Depósitos Aluviales	Q-al	Formación Kayra	Peo-ky
Deposito Coluvial	Q-co	Formación Quilque	Pp-qu
Formación Paruro I	Nm-pa I	Formación Puquín	Ks-pu
Formación Paruro II	Nm-pa II	Formación Ayabacas	Kis-ay
Grupo Tacaza	PN-ta	Formación Maras	Ki-ma

Figura 12. Modelo conceptual de la microcuenca Tambuque.

Según la sección estructural, los indicadores de direcciones de fractura, la evolución tectónica de la zona de estudio, se observa la presencia de un gradiente regional producto de un antiguo plegamiento en dirección contraria al perfil de la ladera, (dirección SW), sin embargo la presencia de manantes nos indica que existen unidades recargadoras ubicadas en la parte superior como la formación Kayra, que presentan alto grado de fracturamiento el cual permite la realimentación de unidades lutíticas ubicadas en la parte media de la microcuenca como la formación Puquín, explicando el por qué en esta formación existe el mayor número de manantes, así mismo en los sistemas de fallas inversas regionales sirven como controles estructurales. Podemos indicar q entre las dos fallas regionales permite que la formación sonco gracias a su porosidad secundaria genera la presencia también de un gran número de manantes de buena calidad. Hacia la parte inferior se aprecia ausencia de afloramientos de agua en la

formación Paruro, esto se explica por la falla Yaurisque que impide que el agua de las formaciones que están superpuestas a ella, pueda ingresar libremente a través de las fracturas, así mismo en la formación Paruro se puede apreciar pliegues de compresión los cuales han permitido que esta unidad geológica tenga baja transmisividad y casi nula presencia de agua.

La microcuenca de Tambuque, engloba una pequeña parte del mayor sistema acuífero circundante a ello, con aproximadamente 684.68 ha, con una altitud máxima de 4200 msnm, asociada a eventos estructurales relacionados a la cordillera Occidental en la cuenca del Apurímac, con precipitaciones anuales que bordean los 773.85 mm/año, los materiales constituyentes de la microcuenca esta relacionadas a rocas sedimentarias del Eoceno conformados por areniscas, lutitas y conglomerados todos ellos fuertemente fracturados y con presencia de Fallas regionales de naturaleza inversa que controlan la dirección de flujo de las aguas subterráneas.

La recarga natural del sistema acuífero parte desde la cabecera de cuenca donde predominan las altiplanicies allanadas permitiendo que el escurrimiento se lentifique propiciando la primera etapa de infiltración natural inicial, así mismo hacia la cabecera de cuenca existe un vaso lacustre represado de aproximadamente 20 000 m³, que también interviene en la infiltración y recarga natural de los acuíferos. Toda la parte media y baja de la microcuenca presenta un relieve muy inclinado que no permite fácilmente la retención natural del escurrimiento perdiéndose gran cantidad de agua por los sistemas de drenaje hasta el tributario mayor que es el río Paruro y de allí al río Apurímac.

6.4.3 Parametros hidrodinámicos.

Tal como se ha expuesto, las condiciones físicas en el proceso de la sedimentación de estas formaciones (Kayra, Sonco, y Paruro) espacialmente, han dado lugar a una importante heterogeneidad en la distribución de los poros y fracturas que finalmente almacenan y dejan circular con mayor y menor facilidad el agua.

Uno de los parámetros hidráulicos intrínsecamente relacionados con los acuíferos fisurados entre los varios existentes, es la permeabilidad.

6.4.3.1 La permeabilidad

En medios fisurados es el medio por donde circula y almacena la mayor gran cantidad de agua, tal como se ha evidenciado en los procesos de inventario de manantes, en el que la salida de agua del sistema acuífero es a través de las fracturas y en algunos casos de fallas

locales. En los siguientes cuadros se aprecia el procedimiento de cálculo en hoja de cálculo Excel según el método de carga constante.



Foto 60. Pruebas de permeabilidad en la formación Kayra.



Foto 61. Pruebas de permeabilidad en la formación Soncco.



Foto 62. Prueba de permeabilidad en la formación Puquín.

Tabla 45

Resumen de las pruebas de permeabilidad por porosidad secundaria.

Cod. pozo	Formación Geológica	Tipo de Material	Interv. Tiempo min.	Descenso cm.	V=AxDesc cm3	Q (infil) cm3/seg	Q (infil) lt/seg	K = cm/seg	K = m/día
1	Fm. Kayra	Areniscas grano fino pero fracturados	3	3,0	60,80	0,3378	0,0003	0,0167	14,40
2	Fm. Puquín	Lutitas rojas fracturadas	2	4,0	81,07	0,6756	0,0007	0,0333	28,80
3	Fm. Sonco II	Roca arenisca cuarzosa con presencia de niveles de conglomerado de moderada potencia.	2	1,3	26,35	0,2196	0,0002	0,0108	9,36
4	Fm. Sonco II	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	7,92
5	Fm. Sonco II	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	15,12
6	Fm. Ayabacas	Afloramiento rocoso de caliza fracturada.	3	0,7	14,19	0,0788	0,0001	0,0039	3,36
							PROMEDIO K=m/día		13,16

Fuente propia.

Tabla 48
Permeabilidad del pozo 03 (carga constante).

PRUEBA DE PERMEABILIDAD N° 03							
UBICACION				Coordenadas UTM:			
SECTOR				PROYECCION		WG 84	
Lugar:	MC. TAMBUQUE			ESTE	186774		
Dist	PARURO			NORTE	8476424		
Prov:	PARURO			ALTITUD	3997	msnm	
Form. Geológica:	FORMACION SONCO						
Descripción:	Roca arenisca cuarzosa con presencia de niveles de conglomerado de moderada potencia.						
Conductividad hidráulica: $K = Q / S$							
Donde:	Q = Caudal (cm ³ /seg)			S = Sección (cm ²)			
Fecha de ensayo:	15-08-2018						
	Interv. Tien	Descenso	V=AxDesc	Q (infil)	Q (infil)	K	K
	min.	cm.	cm ³	cm ³ /seg	lt/seg	cm/seg	m/dia
1	2	2,8	68,96	0,5747	0,0006	0,0233	20,16
2	2	2,2	54,19	0,4516	0,0005	0,0183	15,84
3	2	1,8	44,33	0,3695	0,0001	0,0150	12,96
4	2	1,5	36,95	0,3079	0,0001	0,0125	10,80
5	2	1,3	32,02	0,2668	0,0001	0,0108	9,36
6	2	1,3	32,02	0,2668	0,0001	0,0108	9,36
7	2	1,3	32,02	0,2668	0,0001	0,0108	9,36
8	2	1,3	32,02	0,2668	0,0001	0,0108	9,36
					0,0002		9,36

Grafico: CAUDAL DE INFILTRACION

Intervalo de tiempo (min)	Q (cm³/seg)
1	0,5747
2	0,4516
3	0,3695
4	0,3079
5	0,2668
6	0,2668
7	0,2668
8	0,2668

Tabla 49
Permeabilidad del pozo 04 (carga constante).

CALCULO DE PERMEABILIDAD POZO N° 04							
UBICACION				Coordenadas UTM:			
SECTOR				PROYECCION		WG 84	
Lugar:	MC. TAMBUQUE			ESTE	186700		
Dist	PARURO			NORTE	8476418		
Prov:	PARURO			ALTITUD	3997 msnm		
Form. Geológica:	FORMACION SONCO						
Descripción:	Afloramiento de lutitas rojas con niveles de arenisca de grano fino; las lutitas se muestran con una potencia de 1.2 metros promedio.						
Conductividad hidráulica: $K = Q / S$							
Donde:	Q = Caudal (cm ³ /seg)				S = Sección (cm ²)		
Fecha de ensayo:	15-08-2018						
	Interv. Tiem.	Descenso	V=AxDesc	Q (infil)	Q (infil)	K	K
	min.	cm.	cm ³	cm ³ /seg	lt/seg	cm/seg	m/día
	1	2,7	54,72	0,4560	0,0005	0,0225	19,44
	2	2,2	44,59	0,3716	0,0004	0,0183	15,84
	3	1,8	36,48	0,3040	0,0003	0,0150	12,96
	4	1,3	26,35	0,2196	0,0002	0,0108	9,36
	5	1,2	24,32	0,2027	0,0002	0,0100	8,64
	6	1,1	22,29	0,1858	0,0002	0,0092	7,92
	7	1,1	22,29	0,1858	0,0002	0,0092	7,92
	8	1,1	22,29	0,1858	0,0002	0,0092	7,92
					0,0003		7,92

Grafico: CAUDAL DE INFILTRACION

Intervalo de tiempo (min)	Q (cm ³ / seg)
1	0,4560
2	0,3716
3	0,3040
4	0,2196
5	0,2027
6	0,1858
7	0,1858
8	0,1858

Tabla 50
Permeabilidad del pozo 05 (carga constante).

CALCULO DE PERMEABILIDAD POZO N° 05							
UBICACION				Coordenadas UTM:			
SECTOR				PROYECCION		WG 84	
Lugar:	MC. TAMBUQUE			ESTE	186450		
Dist	PARURO			NORTE	8476732		
Prov:	PARURO			ALTITUD	3970		msnm
Form. Geológica:	FORMACION SONCO						
Descripción:	Afloramiento rocoso de areniscas feldespaticas de grano medio a greso, en superficie se encuentra alterado.						
Conductividad hidráulica: $K = Q / S$							
Donde:	Q = Caudal (cm ³ /seg)			S = Sección (cm ²)			
Fecha de ensayo:	15-08-2018						
	Interv. Tien	Descenso	V=AxDesc	Q (infil)	Q (infil)	K	K
	min.	cm.	cm3	cm3/seg	lt/seg	cm/seg	m/día
1	2	4,1	83,09	0,6925	0,0007	0,0342	29,52
2	2	3,4	68,91	0,5742	0,0006	0,0283	24,48
3	2	2,5	50,67	0,4222	0,0004	0,0208	18,00
4	2	2,2	44,59	0,3716	0,0004	0,0183	15,84
5	2	2,1	42,56	0,3547	0,0004	0,0175	15,12
6	2	2,1	42,56	0,3547	0,0004	0,0175	15,12
7	2	2,1	42,56	0,3547	0,0004	0,0175	15,12
8	2	2,1	42,56	0,3547	0,0004	0,0175	15,12
					0,0004		15,12

Grafico: CAUDAL DE INFILTRACION

Intervalo de tiempo (min)	Q (cm³ / seg)
1	0,6925
2	0,5742
3	0,4222
4	0,3716
5	0,3547
6	0,3547
7	0,3547
8	0,3547

Tabla 51
Permeabilidad del pozo 06 (carga constante).

CALCULO DE PERMEABILIDAD POZO N° 06							
UBICACION				Coordenadas UTM:			
SECTOR				PROYECCION		WG 84	
Lugar:	MC. TAMBUQUE			ESTE	187010		
Dist	PARURO			NORTE	8478981		
Prov:	PARURO			ALTITUD	3795		msnm
Form. Geológica:	FORMACION AYAVACAS						
Descripción:	Afloramiento rocoso de caliza fracturada.						
Conductividad hidráulica: $K = Q / S$							
Donde:	Q = Caudal (cm ³ /seg)				S = Sección (cm ²)		
Fecha de ensayo:	15-08-2018						
	Interv. Tiempo min.	Descenso cm.	V=AxDesc cm3	Q (infil) cm3/seg	Q (infil) lt/seg	K cm/seg	K m/día
	1	3	1,5	30,40	0,1689	0,0002	0,0083
	2	3	1,2	24,32	0,1351	0,0001	0,0067
	3	3	0,8	16,21	0,0901	0,0001	0,0044
	4	3	0,7	14,19	0,0788	0,0001	0,0039
	5	3	0,7	14,19	0,0788	0,0001	0,0039
	6	3	0,7	14,19	0,0788	0,0001	0,0039
	7	3	0,7	14,19	0,0788	0,0001	0,0039
	8	3	0,7	14,19	0,0788	0,0001	0,0039
						0,0001	3,36
Grafico: CAUDAL DE INFILTRACION							
<p>The graph plots the infiltration rate (Q) in cm³/seg on the y-axis against the interval of time (Interv. Tiempo) in minutes on the x-axis. The y-axis ranges from 0,0000 to 0,1800 with increments of 0,0200. The x-axis ranges from 1 to 8. The data points are: (1, 0,1689), (2, 0,1351), (3, 0,0901), (4, 0,0788), (5, 0,0788), (6, 0,0788), (7, 0,0788), (8, 0,0788). The curve shows a sharp initial decline followed by a horizontal line indicating a constant infiltration rate.</p>							

Tabla 52
Permeabilidad del pozo 07 (carga variable).

CALCULO DE PERMEABILIDAD POZO N° 07									
UBICACION					Coordenadas UTM:				
SECTOR					PROYECCION	188756		WG 84	
Lugar:	MC. TAMBUQUE				ESTE	188756			
Dist	PARURO				NORTE	8478100			
Prov:	PARURO				ALTITUD	2954		msnm	
Form. Geológica:	DEPOSITO ALUVIAL								
Descripción:	Dep. aluviales : suelos arcillosos con gravas								
Conductividad hidráulica: $K = Q / S$									
Donde:	Q = Caudal (cm ³ /seg)				S = Sección (cm ²)				
Fecha de ensayo:	15-08-2018								
Longitud del tubo (cm)=	50		Diámetro (pulg)=	2		Penetración en el terreno (cm)=	20		
Hora		Hora decimal	Nivel	H	DH	DT	Hm	K=rDH/8DTHm	
Horas	Minutos	(horas)	(cm)	(cm)	(cm)	(seg)	(cm)	(cm/seg)	
15	35	15,5833	0,00	50,00					
15	40	15,6667	3,00	47,00	3,00	300	48,50	0,000131	
15	45	15,7500	4,50	45,50	1,50	300	46,25	0,000069	
15	50	15,8333	6,00	44,00	1,50	300	44,75	0,000071	
15	55	15,9167	7,50	42,50	1,50	300	43,25	0,000073	
16	00	16,0000	8,50	41,50	1,00	300	42,00	0,000050	
16	05	16,0833	9,50	40,50	1,00	300	41,00	0,000052	
16	10	16,1667	10,50	39,50	1,00	300	40,00	0,000053	
16	15	16,2500	11,50	38,50	1,00	300	39,00	0,000054	
16	20	16,3333	12,50	37,50	1,00	300	38,00	0,000056	
16	25	16,4167	13,50	36,50	1,00	300	37,00	0,000057	
16	30	16,5000	14,50	35,50	1,00	300	36,00	0,000059	
16	35	16,5833	15,50	34,50	1,00	300	35,00	0,000060	
16	40	16,6667	16,10	33,90	0,60	300	34,20	0,000037	
16	45	16,7500	16,90	33,10	0,80	300	33,50	0,000051	
16	50	16,8333	17,50	32,50	0,60	300	32,80	0,000039	
16	55	16,9167	18,50	31,50	1,00	300	32,00	0,000066	
17	00	17,0000	19,00	31,00	0,50	300	31,25	0,000034	
17	05	17,0833	19,80	30,20	0,80	300	30,60	0,000055	
17	10	17,1667	20,50	29,50	0,70	300	29,85	0,000050	
17	15	17,2500	21,10	28,90	0,60	300	29,20	0,000043	
17	20	17,3333	21,70	28,30	0,60	300	28,60	0,000044	
17	25	17,4167	22,30	27,70	0,60	300	28,00	0,000045	
17	30	17,5000	22,90	27,10	0,60	300	27,40	0,000046	
17	35	17,5833	23,50	26,50	0,60	300	26,80	0,000047	
								0,000056	cm/seg
								0,003	Ccm/hr
								0,001	m/día

Tabla 53
Permeabilidad del pozo 08 (carga variable).

CALCULO DE PERMEABILIDAD POZO N° 08									
UBICACION					Coordenadas UTM:				
SECTOR					PROYECCION	WG 84			
Lugar:	MC. TAMBUQUE				ESTE	188367			
Dist	PARURO				NORTE	8478401			
Prov:	PARURO				ALTITUD	3489		msnm	
Form. Geológica:	FORMACION PARURO								
Descripción:	ARENISCAS COMPACTAS Fracturas cerradas								
Conductividad hidráulica: $K = Q / S$									
Donde:	$Q = \text{Caudal (cm}^3/\text{seg)}$				$S = \text{Sección (cm}^2)$				
Fecha de ensayo:	15-08-2018								
Longitud del tubo (cm)=	50		dámetro (pulg)	2		Penetración en el terreno (cm)= 20			
Hora		Hora decimal	Nivel	Observaciones	H	DH	DT	Hm	$K=rDH/8DTHm$
Horas	Minutos	(horas)	(cm)		(cm)	(cm)	(seg)	(cm)	(cm/seg)
0	0		0,00		50,00				
0	1	0,0167	12,3		37,70	12,30	60	43,85	0,002969
0	2	0,0333	19		31,00	6,70	60	34,35	0,002064
0	3	0,0500	22,3		27,70	3,30	60	29,35	0,001190
0	4	0,0667	26,6		23,40	4,30	60	11,70	0,003890
0	5	0,0833	29,6		20,40	3,00	60	21,90	0,001450
0	6	0,1000	31,7		18,30	2,10	60	19,35	0,001149
0	7	0,1167	34		16,00	2,30	60	17,15	0,001419
0	8	0,1333	36,3		13,70	2,30	60	14,85	0,001639
0	9	0,1500	37,8		12,20	1,50	60	12,95	0,001226
0	10	0,1667	39,8		10,20	2,00	60	11,20	0,001890
0	11	0,1833	40,5	Llenado	9,50	0,70	60	9,85	0,000752
0	12	0,2000	6,8		43,20	-43,20	60	26,35	-0,017351
0	13	0,2167	14,3		35,70	7,50	60	39,45	0,002012
0	14	0,2333	18,2		31,80	3,90	60	33,75	0,001223
0	15	0,2500	21,2		28,80	3,00	60	30,30	0,001048
0	16	0,2667	24,1		25,90	2,90	60	27,35	0,001122
0	17	0,2833	27		23,00	2,90	60	24,45	0,001255
0	18	0,3000	29,4		20,60	2,40	60	21,80	0,001165
0	19	0,3167	31,7		18,30	2,30	60	19,45	0,001251
0	20	0,3333	34		16,00	2,30	60	17,15	0,001419
0	21	0,3500	35,6		14,40	1,60	60	7,20	0,002352
0	22	0,3667	38		12,00	2,40	60	13,20	0,001924
0	24	0,4000	39,8	Llenado	10,20	1,80	120	11,10	0,000858
0	26	0,4333	10,3		39,70	-39,70	120	24,95	-0,008420
0	28	0,4667	19,5		30,50	9,20	120	35,10	0,001387
0	30	0,5000	26,8		23,20	7,30	120	26,85	0,001439
0	32	0,5333	31		19,00	4,20	120	21,10	0,001053
0	34	0,5667	35,3		14,70	4,30	120	16,85	0,001350
0	37	0,6167	39,7		10,30	4,40	180	12,50	0,001242
0	39	0,6500	41,5	Llenado	8,50	1,80	120	9,40	0,001013
0	41	0,6833	8,8		41,20	-41,20	120	24,85	-0,008773
0	43	0,7167	17,2		32,80	8,40	120	37,00	0,001201
0	45	0,7500	24,7		25,30	7,50	120	29,05	0,001366
0	47	0,7833	29,5		20,50	4,80	120	22,90	0,001109
0	49	0,8167	33,3		16,70	3,80	120	18,60	0,001081
0	51	0,8500	36		14,00	2,70	120	15,35	0,000931
0	53	0,8833	38,2		11,80	2,20	120	12,90	0,000902
0	55	0,9167	40		10,00	1,80	120	10,90	0,000874
									0,0009 cm/seg
									0,052 cm/hr
									0,013 m/día

Interpretación de Resultados de Permeabilidad.

Finalmente, con los datos procesados de permeabilidad, podemos decir que las permeabilidades de las unidades geológicas en la microcuenca de Tambuque varían de la siguiente manera:

Según E. Custodio. R. Llamas Pág. 473. Tomo-I, las permeabilidades en las unidades geológicas varían desde unidades permeables a impermeables con 28.8 m/día a 0,00081 m/día respectivamente.

Según la “Soil Conservation Service” de los Estados Unidos la por la permeabilidad de los materiales, la permeabilidad de las formaciones va de lenta a muy lenta con valores de 2 cm/hr a 0,003 cm/hr.

Y comparando con la tabla 54 de permeabilidad, la permeabilidad de los suelos y rocas varían de alta a muy baja, con valores de 28.8 m/día a 0,00081 m/día respectivamente. Cuyo resumen se aprecia en la tabla siguiente:

Tabla 54
Comparativo de permeabilidad según métodos varios en unidades geológicas.

Cod. pozo	Form.	Tipo de Material	K = cm/seg	K = m/día	K = cm/hr	Tabla 55	Tabla 56	Tabla 57
1	Kayra	Areniscas grano fino pero fracturados	0,0167	14,40	1,00	Lenta	Permeable	Alta
2	Puquín	Lutitas rojas	0,0333	28,80	2,00	Lenta	Permeable	Alta
3	Sonco	Roca arenisca cuarzosa con presencia de niveles de conglomerado de moderada potencia.	0,0108	9,36	0,65	Moderadamente lenta	Algo permeable	Media
4	Sonco	Afloramiento de lutitas rojas con niveles de arenisca de grano fino; las lutitas se muestran con una potencia de 1.2 metros promedio.	0,0092	7,92	0,55	Moderadamente lenta	Algo permeable	Media
5	Sonco	Afloramiento rocoso de areniscas feldespáticas de grano medio a grueso, en superficie se encuentra alterado.	0,0175	15,12	1,05	Moderadamente lenta	Permeable	Alta
6	Ayabacas	Afloramiento rocoso de caliza fracturada.	0,0039	3,36	0,23	Lenta	Algo permeable	Media
7	Aluvial	Suelo arcilloso gravoso	0,000056	0,00081	0,003	Muy lenta	Impermeable	Muy baja
8	Paruro	Areniscas compactas	0,00087	0,013	0,052	Muy lenta	Poco permeable	Muy baja

Fuente Propia

Tabla 55
“Soil Conservation Service” de los Estados Unidos, la permeabilidad se clasifica de la siguiente forma.

Permeabilidad	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

Fuente: Hidrología Subterránea E. Custodio. R. Llamas

Tabla 56

“Soil Conservation Service” de los Estados Unidos, por la permeabilidad de los materiales, los acuíferos se clasifican en:

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 arenoso Limo Arcilla limosa			Arena fina Arena limosa		Arena limpia Grava y arena		Grava limpia	
Calificación del acuífero	Acuífugo		Acuitardo			Acuífero pobre		Acuífero de regular a buena		Acuífero excelente	

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

Tabla 57

Conductividad hidráulica.

K (m/día)	Calificación	Comportamiento	$K_h > k_v$ (kh 10 a 20 veces mayor)
$K < 10^{-2}$	Muy baja	Impermeables	
$10^{-2} < K < 1$	Baja	Acuíferos Pobres	
$1 < k < 10$	Media	Buenos acuíferos	
$10 < k < 100$	Alta		
$K > 100$	Muy alta		

Fuente: Hidrología Subterránea E. Custodio. R. Llamas

6.4.3.2 La transmisibilidad (T).

Se define como el caudal que se filtra a través de una franja vertical del terreno. De ancho, unidad y altura igual a la del manto permeable saturado, bajo un gradiente; este parámetro se expresa en cm²/día. En sistemas acuíferos de tipo fisurado, al ser un medio anisotrópico, la transmisibilidad se da a través de fracturas y fallas, influenciadas estas por condiciones tectónicas, nivel de alteración del macizo rocoso, etc.



Foto 63. Transmisibilidad alta en la formación Kayra producto de fracturas de distensión de hasta 20 cm (izq.). Formación Kayra con fracturas cerradas y macizo compacto (der).

6.4.4 Identificación de unidades hidrogeológicas.

Teniendo en cuenta los valores de litología, índices de permeabilidad, características de fracturas, y presencia de manantes, se ha podido caracterizar los tipos de acuífero según la permeabilidad.

Tabla 58

Identificación de tipo de acuífero por permeabilidad.

Cód. pozo	Formación.	$K = \text{cm/seg}$	$K = \text{m/día}$	$K = \text{cm/hr}$	Tabla 55	Tabla 56	Tabla 57	Tipo de acuífero
1	Kayra	0,0167	14,40	1,00	Lenta	Permeable	Alta	ACUÍFERO DE REGULAR A BUENA
2	Puquín	0,0333	28,80	2,00	Lenta	Permeable	Alta	ACUÍFERO DE REGULAR A BUENA
5	Sonco	0,0175	15,12	1,05	Moderadamente lenta	Permeable	Alta	ACUÍFERO DE REGULAR A BUENA
6	Ayabacas	0,0039	3,36	0,23	Lenta	Algo permeable	Media	ACUÍFERO POBRE
3	Sonco	0,0108	9,36	0,65	Moderadamente lenta	Algo permeable	Media	ACUÍFERO POBRE
4	Sonco	0,0092	7,92	0,55	Moderadamente lenta	Algo permeable	Media	ACUÍFERO POBRE

7	Aluvial	0,000056	0,00081	0,003	Muy lenta	Impermeable	Muy baja	ACUÍFUGO
8	Paruro	0,00087	0,013	0,052	Muy lenta	Poco permeable	Muy baja	ACUITARDO

Tabla 59
Clasificación de acuíferos por productividad.

Unidad Hidrogeológica	Tipo de Acuífero	Unidad Productiva	Tambuque	
			Ha	%
Acuífero	Acuífero fisurado areniscoso	Muy Buena	626,81	53,50
	Acuífero kárstico		2,1	0,18
	Acuífero Hidromórficos	Bueno	4,45	0,38
	Acuífero poroso no consolidado	Regular	53,42	4,56
Acuitardo	Acuitardo limo areniscoso	Pobre	359,86	30,72
Acuícludo	No Acuífero	Mediocre	124,92	10,66
SUPERFICIE TOTAL			1171,56	100

Fuente: Elaborado por los testistas.

6.4.4.1 Descripción de unidades hidrogeológicas

6.4.4.1.1 Acuíferos

Es una formación geológica subterránea permeable, susceptible de almacenar y transmitir el agua.

a.- ACUÍFEROS HIDROMÓRFICOS.

Está constituido por acumulaciones orgánicas constituyendo humedales alto andinos los cuales son altamente higroscópicos asentados sobre suelos fluvio-glaciares a alturas superiores a los 4000 m. Estos cuerpos acuíferos en la actualidad descargan caudales hasta los 0.1 l/s, como los ubicados en la cabecera de la microcuenca Tambuque



Foto 64. Acuífero hidromórfico en la parte alta de la microcuenca Tambuque.

b.- Fisurados y Fisurados Areniscosos.

Son aquellos acuíferos constituidos por Areniscas, lutitas, limonitas rojas, de las Formaciones Kayra, Soncco y Puquín.

Este acuífero, presenta un alto grado de micro fisuramiento entre sus niveles de lutitas, y areniscas, sumado también a la porosidad intergranular de las areniscas feldespáticas como la formación Soncco. Por su productividad, estos acuíferos son calificados entre Muy buenos, Buenos (tomando en cuenta número de manantes y caudales que generan).

Para hallar el índice de la calidad de la roca (RQD) se ha usado la fórmula de Deree et al. (1967) y el RMR (valoración del macizo rocoso) según Bieniawski (1989), en las siguientes tablas.

$$RQD = 115 - 3.3 * J_v ; para J_v > 4.5$$

$$RQD = 115 - 3.3 * 17$$

$$\therefore RQD = 58.9 \%$$

Tabla 60

Indice de calidad de las rocas, para areniscas de la formación Kayra.

RQD (%)	Calidad de la roca
< 25	Muy mala
25 – 50	Mala
50 - 75	Regular
75 – 90	Buena
90 – 100	Excelente

Fuente: “rock quality designation” Deere et al. (1967).

Tabla 61.

Caracterización del macizo rocoso (Bieniawski, 1989) del acuífero fisurado Kayra.

CARACTERÍSTICAS GEOMECANICAS DEL MACIZO ROCOSO 1 (ARENISCA)																
ESTACION GEOMECANICA	1	LOCALIDAD	HUATACALLA - PUCAPUCA	COORDENADAS	N: 8477318.10 ; E: 186210.05	ALTURA	3968									
34																
PARÁMETRO	RANGO DE VALORES Y VALORACIONES										VALORACIÓN					
RESIST. COMP. UNIAXIAL (MPa)	> 250	15	100 - 250	12	50 - 100	7	25 - 50	4	< 25	2	< 5	1	< 1	0	50 - 100	7
RQD %	90 - 100	20	75 - 90	17	50 - 75	13	25 - 50	8	< 25			3	50 - 75	13		
ESPACIAMIENTO (m.)	> 2 (m)	20	0.6 - 2 (m)	15	0.2 - 0.6 (m)	10	0.06 - 0.2 (m)	8	< 0.06 (m)			5	0.06 - 0.2 (m)	8		
CONDICIÓN DE JUNTAS	PERSISTENCIA	< 1m.	6	1 - 3m.	4	3 - 10mm.	2	10 - 20m.	1	> 20mm.			0	1 - 3m.	4	
	APERTURA	Cerrada	6	< 0.1mm.	5	0.1 - 1.0mm.	4	1 - 5mm.	1	> 5mm.			0	1 - 5mm.	1	
	RUGOSIDAD	Muy rugosa	6	Rugosa	5	Lig. Rugosa	3	Lisa	1	Espejo de falla			0	Rugosa	5	
	RELLENO	Limpia	6	Duro < 5mm.	4	Dura > 5mm.	2	Suave < 5mm.	1	Suave > 5mm.			0	Limpia	6	
ALTERACIÓN	Sana	6	Lig. Alterada	5	Mod. Alterada	3	Muy Alterada	2	Descompuesta			0	Lig. Alterada	5		
AGUA SUBTERRÁNEA	Seco	15	Húmedo	10	Mojado	7	Goteo	4	Flujo			0	Húmedo	10		
VALOR RMR (Suma de valoración 1 a 5) =											59					
CLASE DE MACIZO ROCOSO																
RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0							III				
DESCRIPCIÓN	I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA							REGULAR				
PARAMETROS PARA CALCULAR EL RMR SEGÚN LA ORIENTACION DE LAS DISCONTINUIDADES (Rb y Bz)																
Rumbo perpendicular al eje/ dirección a favor del buzamiento 20° - 45°											RANGO RMR					
FAVORABLE											-5					
VALOR RMR (Corregido) =											54					
CLASE DE MACIZO ROCOSO																
RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0							III				
DESCRIPCIÓN	I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA							REGULAR				

Fuente: Procesado por tesis.

De acuerdo a los valores de RQD y RMR, esta formación es de clase III **REGULAR**

c.- Fisurado Conglomerádico:

Este acuífero tiene una particularidad espacial pues su porosidad PRIMARIA el cual está conformado por areniscas conglomerádicas de origen fluvial con clastos poco compactos los cuales al ser polimicticos deja oquedades por alteración de clastos areniscosos. Conforman esta unidad, formaciones como Tacaza, Paruro II.

Este acuífero genera gran número de manantes y caudales por los que se han clasificado como de Muy buenos a Buenos acuíferos productivos.

$$RQD = 115 - 3.3 * J_v ; \text{para } J_v > 4.5$$

$$RQD = 115 - 3.3 * 12$$

$$\therefore RQD = 75.4 \%$$

Tabla 62

Índice de calidad de las rocas, para conglomerados de la formación Paruro.

RQD (%)	Calidad de la roca
< 25	Muy mala
25 – 50	Mala
50 - 75	Regular
75 – 90	Buena
90 – 100	Excelente

Fuente: “rock quality designation” Deere et al. (1967).

Tabla 63.

Caracterización del macizo rocoso (Bieniawski, 1989) del acuitardo Paruro.

CARACTERÍSTICAS GEOMECÁNICAS DEL MACIZO ROCOSO 2 (CONGLOMERADO)																	
ESTACION GEOMECÁNICA	2	LOCALIDAD	HUATACALLA - PUCAPUCA	COORDENADAS	N: 8478510.26 ; E: 188577.05	ALTURA	3414										
VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO - Clasificación RMR de Bieniawski (1989)																	
PARÁMETRO	RANGO DE VALORES Y VALORACIONES											VALORACIÓN					
RESIST. COMP. UNIAXIAL (MPa)	> 250	15	100 - 250	12	50 - 100	7	25 - 50	4	< 25	2	< 5	1	< 1	0	50 - 100	7	
RQD %	90 - 100	20	75 - 90	17	50 - 75	13	25 - 50	8	< 25					3	75 - 90	17	
ESPACIAMIENTO (m.)	> 2 (m)	20	0.6 - 2 (m)	15	0.2 - 0.6 (m)	10	0.06 - 0.2 (m)	8	< 0.06 (m)					5	0.2 - 0.6 (m)	10	
CONDICIÓN DE JUNTAS	PERSISTENCIA	< 1m.	6	1 - 3m.	4	3 - 10mm.	2	10 - 20m.	1	> 20mm.					0	1 - 3m.	4
	APERTURA	Cerrada	6	< 0.1mm.	5	0.1 - 1.0mm.	4	1 - 5mm.	1	> 5mm.					0	1 - 5mm.	1
	RUGOSIDAD	Muy rugosa	6	Rugosa	5	Lig. Rugosa	3	Lisa	1	Espejo de falla					0	Rugosa	5
	RELLENO	Limpia	6	Duro < 5mm.	4	Dura > 5mm.	2	Suave < 5mm.	1	Suave > 5mm.					0	Duro < 5mm.	4
ALTERACIÓN	Sana	6	Lig. Alterada	5	Mod. Alterada	3	Muy Alterada	2	Descompuesta					0	Lig. Alterada	5	
AGUA SUBTERRÁNEA	Seco	15	Húmedo	10	Mojado	7	Goteo	4	Flujo					0	Húmedo	10	
VALOR RMR (Suma de valoración 1 a 5) =											63						
CLASE DE MACIZO ROCOSO																	
RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0					II							
DESCRIPCIÓN	I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA					BUENA							
PARAMETROS PARA CALCULAR EL RMR SEGÚN LA ORIENTACION DE LAS DISCONTINUIDADES (Rb y Bz)																	
Rumbo perpendicular al eje/ dirrección a favor del buzamiento 20° - 45°											RANGO RMR						
FAVORABLE											-5						
VALOR RMR (Corregido) =											58						
CLASE DE MACIZO ROCOSO																	
RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0					III							
DESCRIPCIÓN	I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA					REGULAR							

Fuente: Procesado por los tesisistas

De acuerdo a los valores de RQD y RMR, esta formación es de clase III **REGULAR**.

d.- Acuíferos Kársticos

Son aquellos acuíferos cuya permeabilidad es debida a grietas y fisuras, tanto de origen mecánico como de disolución. Está constituido por cuerpos de caliza de la formación Ayabacas, cuyo nivel de productividad está dentro de muy bueno y regulares. Se le puede observar en la cabecera de la microcuenca.



Foto 65. Presencia de afloramiento de cuerpo de caliza de la formación Ayabacas cerca de la laguna Tirina.

POROSOS.

Está constituido por depósitos cuaternarios recientes en su mayor parte dividiéndose en:

A. Porosos no Consolidados.

Son aquellos acuíferos conformados por depósitos transportados Aluviales y Fluviales de espesor variable, ubicadas en la parte baja de la microcuenca, constituidos por acumulaciones de clastos angulosos, envueltos en una matriz limo arcillo arenosa para el primer caso y de gravas sub-redondeadas con matriz areno limosa para el segundo caso. Son acuíferos que almacenan agua en sus intersticios, pero de manera temporal.

B. Porosos No Consolidados Detríticos.

Son aquellos acuíferos conformados por depósitos Coluviales de espesor variable, ubicados en las vertientes de montaña, constituidos por acumulaciones de Fragmentos angulosos heterométricos, envueltos en una matriz arcillo limo arenoso. Son acuíferos que almacenan agua en sus intersticios, pero de manera temporal y que sirven de colchón o alimentadores para acuíferos ubicados debajo de ellos.

6.4.4.1.2 Acuitardo.

Se denominan así, a las rocas que almacenan y transmiten agua en su interior muy lentamente o en forma muy localizada. La acumulación y descarga de aguas subterráneas en este tipo de acuíferos es local, debido a su baja transmisibilidad que es función del grado de

heterogeneidad de sus componentes (alta arcillosidad), localmente puede tener importancia más en el control de escurrimiento superficial. Dentro de este grupo se ha clasificado en:

Acuitardo limo arenoso.

Está conformado por sedimentos pelíticos finos como los de la formación Quilque, y Puquín. Por tener baja porosidad primaria y buena porosidad secundaria.

$$RQD = 115 - 3.3 * J_v ; para J_v > 4.5$$

$$RQD = 115 - 3.3 * 25$$

$$\therefore RQD = 32.5 \%$$

Tabla 64

Indice de calidad de las rocas, para lutitas de la formacion Puquin.

RQD (%)	Calidad de la roca
< 25	Muy mala
25 – 50	Mala
50 - 75	Regular
75 – 90	Buena
90 – 100	Excelente

Fuente: “rock quality designation” Deere et al. (1967).

Tabla 65

Caracterización del macizo rocoso (Bieniawski, 1989) del acuífero fisurado Puquín.

CARACTERÍSTICAS GEOMECÁNICAS DEL MACIZO ROCOSO 3 (LUTITA)																
ESTACION GEOMECÁNICA																
		3	LOCALIDAD	HUATACALLA - PUCAPUCA	COORDENADAS	N: 8477465.85 ; E: 186967.04			ALTURA	3891						
VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO - Clasificación RMR de Bieniawski (1989)																
PARÁMETRO	RANGO DE VALORES Y VALORACIONES										VALORACIÓN					
COMP. UNIAXIAL (MPa)	> 250	15	100 - 250	12	50 - 100	7	25 - 50	4	< 25	2	< 5	1	< 1	0	< 25	2
RQD %	90 - 100	20	75 - 90	17	50 - 75	13	25 - 50	8	< 25			3	< 25	3		
ESPACIAMIENTO (m.)	> 2 (m)	20	0.6 - 2 (m)	15	0.2 - 0.6 (m)	10	0.06 - 0.2 (m)	8	< 0.06 (m)			5	< 0.06 (m)	5		
CONDICIÓN DE JUNTAS	PERSISTENCIA	< 1m.	6	1 - 3m.	4	3 - 10mm.	2	10 - 20m.	1	> 20mm.			0	< 1m.	6	
	APERTURA	Cerrada	6	< 0.1mm.	5	0.1 - 1.0mm.	4	1 - 5mm.	1	> 5mm.			0	1 - 5mm.	1	
	RUGOSIDAD	Muy rugosa	6	Rugosa	5	Lig. Rugosa	3	Lisa	1	Espejo de falla			0	Lisa	1	
	RELLENO	Limpia	6	Duro < 5mm.	4	Dura > 5mm.	2	Suave < 5mm.	1	Suave > 5mm.			0	Suave < 5mm.	1	
	ALTERACIÓN	Sana	6	Lig. Alterada	5	Mod. Alterada	3	Muy Alterada	2	Descompuesta			0	Mod. Alterada	3	
AGUA SUBTERRÁNEA	Seco	15	Húmedo	10	Mojado	7	Goteo	4	Flujo			0	Húmedo	10		
VALOR RMR (Suma de valoración 1 a 5) =														32		
CLASE DE MACIZO ROCOSO																
RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0				IV							
DESCRIPCIÓN	I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA				MALA							
PARAMETROS PARA CALCULAR EL RMR SEGÚN LA ORIENTACION DE LAS DISCONTINUIDADES (Rb y Bz)																
Rumbo perpendicular al eje/ dirección a favor del buzamiento 20° - 45°										RANGO RMR						
FAVORABLE										-5						
VALOR RMR (Corregido) =														27		
CLASE DE MACIZO ROCOSO																
RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0				IV							
DESCRIPCIÓN	I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA				MALA							

Fuente: Procesado por los testistas.

De acuerdo a los valores de RQD y RMR, esta formación es de clase IV **MALA**.

6.4.4.1.3 Acuífudo.

a.- Feldespático

Dentro de esta clase de acuíferos han sido asociados a niveles de areniscas feldespáticas compactas de la formación Paruro, los cuales presentan poca incidencia de manantes.

b.- No Acuífero.

Conformado por la unidad del miembro inferior de la formación Puquín y Maras, compactas de baja transmisibilidad. Desde el punto de vista productivo se les ha calificado como mediocres.

MAPA N° 11 Hidrogeologico.



6.5 Dirección de flujo

A través del mapa de inventario de manantes se ha generado el mapa de isopiezas utilizando el modelo de Kriging, se ha generado la tendencia de dirección de flujo del agua subterránea tal como se observa en el mapa N°14; del mapa analizado se observa un gradiente general de flujo en dirección que va de SW a NE analizado por medio de la gravedad y del gradiente hidráulico de nuestro modelo conceptual – geológico.

MAPA N° 12 Direcciones de flujo.



CAPITULO VII HIDROQUÍMICA

7.1 Análisis de la calidad de agua

La identificación de la calidad de agua, en su origen manante, representa la oferta de agua subterránea cuyas condiciones de calidad fisicoquímica depende mucho de su naturaleza geológica por la que circula, así como por la velocidad de circulación y de las leyes del movimiento de las sustancias transportadas por el agua.

El presente estudio y resultados de laboratorio permitirán conocer los principales cationes y aniones mayoritarios fundamentales del agua subterránea de los manantes, a fin de determinar el tipo de uso apropiado que se la pueda dar a estas aguas. Así mismo se ha podido identificar la calidad de agua desde el punto de vista microbiológico global, se han identificado la existencia o no de Coliformes y poder evaluar un posible origen de contaminación antrópica; en dicho estudio la toma de muestras se realizó en cuatro manantes que expresan los más representativos. Esta forma de muestro ha seguido las recomendaciones y protocolos según la Norma “Protocolo de Monitoreo de la Calidad Sanitaria de Recursos Hídricos Superficiales” según la DIGESA y Decreto Ley N° 17752 “Ley General de Aguas”, en envases de vidrio de 1 l de capacidad debidamente esterilizado.

7.1.1 Técnica del muestreo

Al mandato establecido por el Decreto Ley N° 17752 “Ley General de Aguas” y de acuerdo a las exigencias de la Dirección General de Salud Ambiental - DIGESA, en el adecuado monitoreo de los recursos hídricos, como requisito indispensable para la planificación y ejecución de proyectos públicos o privados, o para la realización de la investigación científica, garantizamos y aseguramos la preservación sanitaria y ambiental de la calidad de los recursos hídricos a fin de lograr la salud de la población, asegurar la calidad de las aguas en beneficio de las actividades productivas y mantener el equilibrio ecológico en los hábitat acuáticos.

7.1.1.1 Parámetros de Medición en Campo

Son parámetros que por su naturaleza cambiante deben ser medidos in situ, los cuales nos permiten hacer un pre diagnóstico de la calidad del agua, estos son: pH, Temperatura, Conductividad, Oxígeno Disuelto, la medición de estos se realiza con el equipo multiparámetro, también debe ser medido la turbidez

7.1.1.1.1 Oxígeno Disuelto

Este parámetro proporciona una medida de la cantidad de oxígeno disuelto en el agua. Mantener una concentración adecuada de oxígeno disuelto en el agua es importante para la supervivencia de los peces y otros organismos de vida acuática. La temperatura, el material orgánico disuelto, los oxidantes inorgánicos, etc. afectan sus niveles. La baja concentración de oxígeno disuelto puede ser un indicador de que el agua tiene una alta carga orgánica provocada por aguas residuales. Las fuentes de oxígeno en el agua son la aireación y la fotosíntesis de las algas, su concentración depende fundamentalmente de la temperatura, presión y salinidad.

7.1.1.1.2 Conductividad

La conductividad de una muestra de agua es una medida de la capacidad que tiene la solución para transmitir corriente eléctrica. Esta capacidad depende de la presencia, movilidad, valencia y concentración de iones, así como de la temperatura del agua. Se debe tener en cuenta que las sales minerales son buenas conductoras y que las materias orgánicas y coloidales tienen poca conductividad.

7.1.1.1.3 pH

El pH es una medida de la concentración de iones de hidrógeno en el agua. Aguas fuera del rango normal de 6 a 9 pueden ser dañinas para la vida acuática. Estos niveles de pH pueden causar perturbaciones celulares y la eventual destrucción de la flora y fauna acuática. En el campo de abastecimiento de agua el pH tiene importancia en la coagulación química, desinfección, ablandamiento del agua y control de corrosión.

7.1.1.1.4 Temperatura

La temperatura juega un papel muy importante en la solubilidad de los gases, en la disolución de las sales y por lo tanto en la conductividad eléctrica, en la determinación de pH, en el conocimiento del origen de agua y de las eventuales mezclas, etc. Las descargas de agua a altas temperaturas pueden causar daños a la flora y fauna de las aguas receptoras al interferir con la reproducción de las especies, incrementar el crecimiento de bacterias y otros organismos, acelerar las reacciones químicas, reducir los niveles de oxígeno y acelerar la eutrofización.

7.1.1.1.5 Turbiedad

La turbidez de un agua es provocada por la materia insoluble, en suspensión o dispersión coloidal. Es un fenómeno óptico que consiste esencialmente en una absorción de luz combinado con un proceso de difusión.

7.1.1.2 Parámetros Determinados en el Laboratorio

Dependerá de las actividades y usos que tenga el cuerpo de agua.

7.1.1.3 Muestreo, preservación, conservación y envío de las muestras al laboratorio de análisis

Muestra microbiológica: Deberá realizarse a una profundidad de 20 a 30 cm. Los frascos para las muestras deben ser de vidrio y esterilizados, no deben ser sometidos al enjuague, la toma de muestra es directa dejando un espacio para aireación y mezcla de 1/3 del frasco de muestreo.

Muestras para los parámetros Físicos e iones: Se utilizan frascos de plástico de boca ancha con cierre hermético, limpios y de 1 litro de capacidad, se enjuaga tres veces, no requiriendo preservación y conservándose en cajas protectoras de plástico a 4 °C aproximadamente.

Para el parámetro Dureza Total y Cálctica: Se utilizan frascos de plástico de boca ancha con cierre hermético, limpios y de 1/2 litro de capacidad se enjuaga tres veces y luego preservar y conservándose en cajas protectoras de plástico a 4 °C aproximadamente.

7.1.1.4 Actividades Previas al Muestreo

7.1.1.4.1 Preparativos para el muestreo

El personal de laboratorio deberá preparar todos los equipos y materiales con dos días de anticipación, realizando a su vez las gestiones para el traslado externo de los equipos y materiales (papeletas de salida, check list).

- Mapa de localización de las estaciones (si no se conociera el lugar)
- Instrucciones de muestreo
- Itinerario de muestreo

Revisión de equipos y material de muestreo

- Cámara digital
- GPS
- Linterna
- Cintas de embalaje
- Preservantes
- Formatos de campo

MATERIALES Y EQUIPOS

- Equipo Multiparamétrico.
- Turbidímetro
- Coolers
- Ice pack o bolsas de hielo
- Preservantes
- Frascos de vidrio transparente y/o ámbar
- Frascos de plástico
- Pisceta contenido agua destilada,
- Papel toalla
- Balde

EPP

- Chaleco, casaca impermeable
- Zapatos de seguridad y botas.
- Gorro, casco.
- Mascarillas
- Guantes de nitrilo
- Poncho para Agua (en caso de lluvia)

7.1.1.4.2 Procedimiento de Muestreo

- Rotular las muestras y colocar la hora exacta en que se está tomando la muestra.
- Colocarse los guantes de látex.
- Enjuagar 3 veces el frasco antes de tomar la muestra para los parámetros, a excepción para los parámetros biológicos que solo se toma la muestra.
- Para un análisis general se toma la muestra hasta el ras (que no contenga burbujas).
- Para los análisis biológicos se abre la tapa dentro del agua y se toma 1/3 de la muestra solo y se tapa dentro del agua.
- Para metales totales solo se toma hasta el ras (que no contenga burbujas).

7.1.1.4.3 Resultados e interpretación según tablas de la SUNASS

Tabla 66

Interpretación según SUNASS.

PARÁMETRO	LMP	Referencia
Coliformes totales, UFC/100 mL	0 (ausencia)	(1)
Coliformes termotolerantes, UFC/100 mL	0 (ausencia)	(1)
Bacterias heterotróficas, UFC/mL	500	(1)
pH	6,5 – 8,5	(1)
Turbiedad, UNT	5	(1)
Conductividad, 25°C uS/cm	1500	(3)
Color, UCV – Pt-Co	20	(2)
Cloruros, mg/L	250	(2)
Sulfatos, mg/L	250	(2)
Dureza, mg/L	500	(3)
Nitratos, mg NO ₃ /L (*)	50	(1)
Hierro, mg/L	0,3	0,3 (Fe + Mn = 0,5) (2)
Manganeso, mg/L	0,2	0,2 (Fe + Mn = 0,5) (2)
Aluminio, mg/L	0,2	(1)
Cobre, mg/L	3	(2)
Plomo, mg/L (*)	0,1	(2)
Cadmio, mg/L (*)	0,003	(1)
Arsénico, mg/L (*)	0,1	(2)
Mercurio, mg/L (*)	0,001	(1)
Cromo, mg/L (*)	0,05	(1)
Flúor, mg/L	2	(2)
Selenio, mg/L	0,05	(2)

Notas

(1) Valores tomados provisionalmente de los valores guía recomendados por la Organización Mundial de la Salud (1995)

(2) Valores establecidos en la norma nacional “Reglamento de Requisitos Oficiales físicos, químicos y bacteriológicos que deben reunir las aguas de bebida para ser consideradas potables”, aprobado por Resolución Suprema del 17 de diciembre de 1946

(3) En el caso de los parámetros de conductividad y dureza, considerando que son parámetros que afectan solamente la calidad estética del agua, tomar como referencia los valores indicados, los que han sido propuestos para la actualización de la norma de calidad de agua para consumo humano especialmente para aguas subterráneas.

(*) Compuestos tóxicos

(**) Oficio Circular No 677-2000/SUNASS-INF.

Mediante este oficio la SUNASS estableció los valores límite máximo permisibles referenciales de los parámetros de control; ello originado por la carencia de una norma nacional

actualizada, ya que la vigente data del año 1946 y no considera varios parámetros, como turbiedad, coliformes, pH, aluminio, nitratos, cadmio, mercurio, cromo, entre otros: para los cuales se ha tomado los valores guía que recomienda la Organización Mundial de la Salud, OMS.



Foto 66. Conservación de muestra con geles refrigerantes (izq) y Muestreo de agua(der).



Foto 67. Etiquetado de muestras (Izq). Toma de muestra (der).

7.2 Composición química de las aguas

La composición fisicoquímico del agua en las muestras analizadas tiene como elementos mayoritarios como: Ca^{2+} , Sales de Mg^{2+} , Na^{+} , K^{+} y NH_4^{+} ; entre los cationes, y entre los aniones tenemos: Cl^{-} , HCO_3^{-} , NO_3^{-} , SO_4^{-} y CaCO_3^{-} . Así mismo se han determinado algunos parámetros como: C.E, pH, STD.

En el cuadro siguiente se muestran los resultados de análisis fisicoquímico hecha a las cuatro muestras de agua, realizadas en el Laboratorio BIOTEC, de la Dra. Nora E. Ugarte Bustinza.

Tabla 67

Resumen de resultados físico químico de manantes sector Huatacalla – Pucapuca.

N° DE MUESTRA	NOMBRE DE MANANTE	pH	C.E	STD	CATIONES					ANIONES				
					Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	NH ₄ ⁺	Cl ⁻	Alcalinidad Total HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ⁼	Dureza Total CaCO ₃ ⁻
					(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)
M1	Tirina	7.80	130.00	178.2	24.32	5.50	5.50	0.92	0.80	6.60	52.30	22.70	19.80	85.80
M2	Collpa Unupata	7.15	7260.00	7588.00	684.00	161.00	1596	88.4	2.62	2625.0	340.00	190.10	1522.90	2340.00
M3	Collpapata 2	7.25	122.20	142.00	22.50	4.70	2.30	0.43	0.72	4.20	50.10	15.10	15.30	79.40
M4	Ñayqui 2	7.37	235.00	184.30	26.80	7.10	6.40	1.16	0.94	8.90	70.40	30.42	21.60	115.20

FUENTE: LAB. BIOTEC, PROCESADO POR LOS TESISISTAS.



Foto 68. Muestras de agua listas para el laboratorio BIOTEC.

7.2.1 Conversión de (mg/l) a unidades absolutas (meq/l).

Para este fin se transformaron los análisis químicos de miligramos por litro (mg/l) a miliequivalentes por litro (meq/l); por lo tanto, los cationes y aniones solo se pueden disociar o combinar entre ellos en una masa determinada llamada miliequivalente por millón. Matemáticamente es el cociente entre la masa atómica del elemento considerando y su valencia.

Tabla 68

Peso equivalente de aniones y cationes.

	Ion	Masa atómica	Valencia	Peso Equivalente
Cationes	Ca ⁺⁺	40.08	2	20.04
	Mg ⁺⁺	24.30	2	12.15
	Na ⁺	22.99	1	22.99
	K ⁺	39.10	1	39.10
Aniones	HCO ₃ ⁻	61	1	61
	SO ₄ ⁼	24	2	48
	NO ₃ ⁻	62	1	62
	Cl ⁻	35.45	1	35.45

FUENTE: Procesado por los tesisistas.

Tabla 69

Concentración de las aguas en miliequivalente/litro (meq/l).

	M1	M2	M3	M4
aniones (meq/l)	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l
HCO ₃ ⁻	0,86	5,57	0,82	1,15
SO ₄ ⁼	0,41	31,73	0,32	0,45
Cl ⁻	0,19	73,94	0,12	0,25
NO ₃ ⁻	0,37	3,07	0,24	0,49
Cl ⁻ +NO ₃ ⁻	0,55	77,01	0,36	0,74
sum aniones	1,82	114,31	1,50	2,35
cationes(meq/l)	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l
Na ⁺ + K ⁺	0,26	71,65	0,11	0,31
Na ⁺	0,24	69,39	0,10	0,28
K ⁺	0,02	2,26	0,01	0,03
Ca ⁺⁺	1,22	34,20	1,13	1,34
Mg ⁺⁺	0,45	13,31	0,39	0,59
sum cationes	1,93	119,16	1,62	2,23

Fuente: Procesado por los tesisistas

7.2.2 Clasificación de las aguas por iones predominantes

En la tabla N° 70, se determina la clasificación de las aguas subterráneas mediante los cationes y aniones más abundantes, estableciendo el porcentaje de cada relación con la concentración en equivalentes, obteniéndose las cantidades en relación porcentual, la que nos da como resultado los pesos de determinada sustancia analizada y predominancia en las aguas, por tanto, podemos distinguir dos tipos de aguas de dos sectores; acuíferos identificados.

Tabla 70
Concentración porcentual de iones predominantes.

IONES	M1	M2	M3	M4
	Tirina 1	Collpaunupata	Collpapata2	Ñayqui 2
Aniones (%)	%	%	%	%
HCO ₃ ⁻	47,06	4,88	54,68	49,21
SO ₄ ⁼	22,64	27,76	21,22	19,19
Cl ⁻	10,20	64,69	7,88	10,69
NO ₃ ⁻	20,10	2,68	16,22	20,92
Cl ⁻ +NO ₃ ⁻	30,30	67,37	24,09	31,61
sum aniones	100,00	100,00	100,00	100,00
Cationes (%)	%	%	%	%
Na ⁺ + K ⁺	13,59	60,13	6,83	13,78
Na ⁺	12,37	58,23	6,16	12,45
K ⁺	1,22	1,90	0,68	1,33
Ca ⁺⁺	62,90	28,70	69,26	59,96
Mg ⁺⁺	23,51	11,17	23,91	26,26
sum cationes	100,00	100,00	100,00	100,00

Fuente: Procesado por los tesisistas.

Para la clasificación de las aguas, se determinaron los cationes y aniones más abundantes, estableciendo el porcentaje de cada elemento en relación con la concentración en equivalentes, obteniéndose las cantidades en relación porcentual, la que nos da como resultado los pesos de determinada sustancia analizada y predominancia en las aguas, por tanto, podemos distinguir un solo tipo de agua en la cuenca de estudio.

En el cuadro siguiente se ha determinado los siguientes tipos de agua:

Tabla 71

Clasificación de las aguas por iones dominantes.

Manantes	CatiónAnión	Tipo de agua
M1 Tirina 1	Ca ⁺⁺ > Mg ⁺⁺ >Na ⁺ > K ⁺HCO ₃ ⁻ >SO ₄ ⁼ >NO ₃ ⁻ >Cl ⁻	Cálcica Bicarbonatada
M2 Collpaunupata	Na ⁺ > Ca ⁺⁺ >Mg ⁺⁺ > K ⁺Cl ⁻ >SO ₄ ⁼ >HCO ₃ ⁻ >NO ₃ ⁻	Sódico clorurada
M3 Collpapata 2	Ca ⁺⁺ > Mg ⁺⁺ >Na ⁺ > K ⁺HCO ₃ ⁻ >SO ₄ ⁼ >NO ₃ ⁻ >Cl ⁻	Cálcica Bicarbonatada
M4 Ñayqui 2	Ca ⁺⁺ > Mg ⁺⁺ >Na ⁺ > K ⁺HCO ₃ ⁻ >NO ₃ ⁻ >SO ₄ ⁼ >Cl ⁻	Cálcica Bicarbonatada

Fuente: Procesado por los tesisistas

El alto contenido de calcio en la mayoría de las muestras, se debe al alto contenido de calcita en su matriz litológica de la formación Soncco, y la presencia de calizas de la formación Ayabacas, principalmente en los intersticios de las fisuras por donde circularon gases, a su vez por la circulación de las aguas se ionizan estos elementos lixiviando la misma.

7.2.3 Relaciones entre parámetros fisicoquímicos.

Los Parámetros físico químicos determinados se caracterizan por presentar un amplio rango de variabilidad en los distintos puntos de agua, así como asociado al periodo de muestreo de los mismos (variabilidad).

7.2.3.1 Conductividad eléctrica (C.E.).

La conductividad es un parámetro que indica la cantidad de sales disueltas en el agua. La unidad de medición utilizada comúnmente es el Siemens/cm (S/cm), con una magnitud de 10 elevado a -6, es decir micro Siemens/cm (μS/cm), o en 10 elevado a -3, es decir, mili Siemens (mS/cm).

Analizando los resultados se llegó a determinar que los manantes de la microcuenca de Tambuque se caracterizan por tener regular variación en concentración de cantidades de sales, este análisis de la CE. Fue elaborada con un Multiparámetro portátil en el cual se identificó los parámetros de Salinidad (ppm) y Conductividad eléctrica (μS/cm) 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.

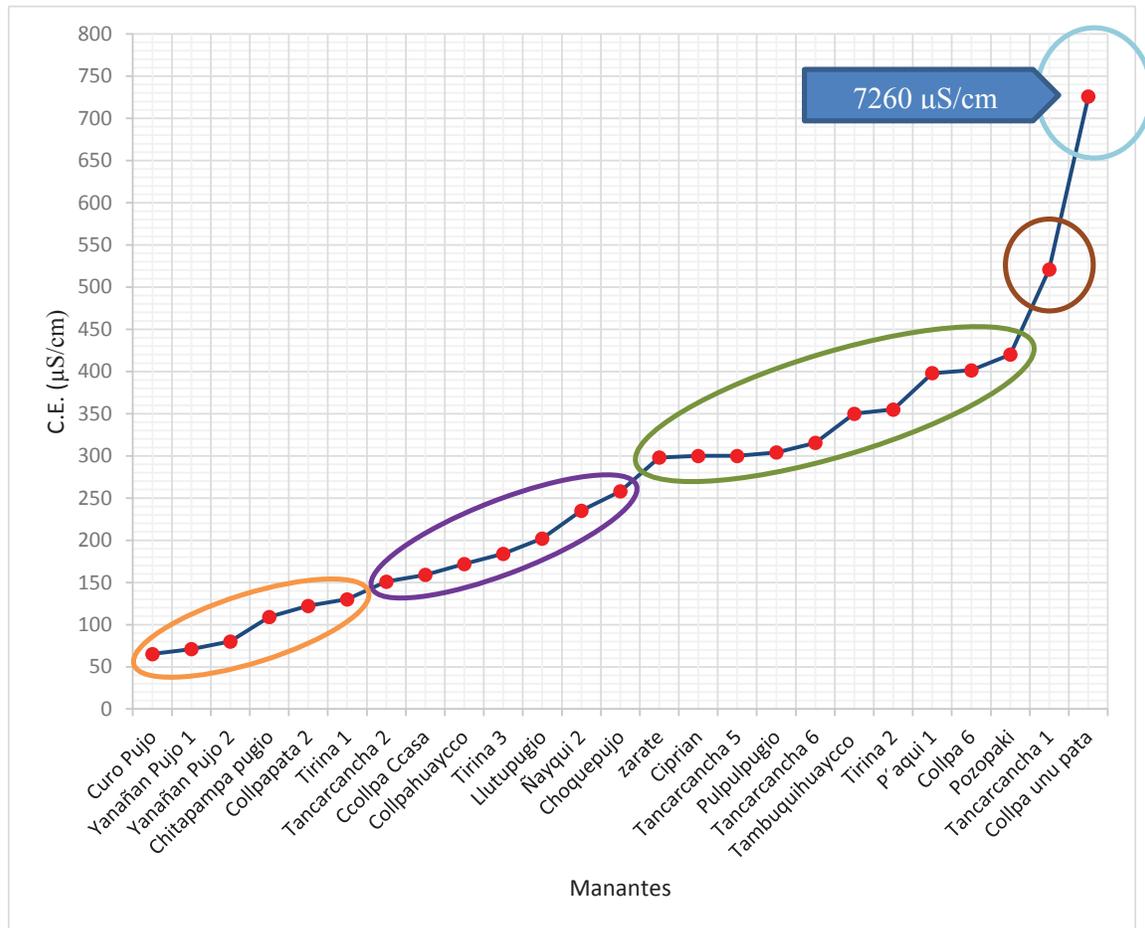


Figura 13. Diagrama del comportamiento de la conductividad eléctrica.

7.2.3.2 Relación conductividad eléctrica vs dureza

Comparando los valores de CE, con los parámetros de valores de la tabla N° 72, podemos decir que las aguas de la microcuenca Tambuque están dentro de la clasificación de aguas blandas, a muy duras.

Tabla 72

Relación conductividad eléctrica vs dureza de manantes de la microcuenca Tambuque.

CE	N°	%	DUREZA
µs/cm	Manantes	Manantes	
0- 140	6	24	Muy blanda
140 - 300	8	32	Blanda
300 - 500	9	36	Ligeramente dura
500 - 640	1	4	Moderadamente dura
Sup. 840	1	4	Muy dura

Fuente: Procesado por los tesisistas.

Tabla 73

Conductividad y dureza del agua.

Conductividad y 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 42	muy dura

Según la Tabla N° 73 podemos distinguir que las aguas de los manantes Collpapata 2, Tirina 1 y Ñayqui 2 niveles de Dureza (CaCO₃-) de **clase blanda**, mientras que el agua del manante Collpaunupata presenta niveles de dureza de 2340.0 mg/l de CaCO₃- de acuerdo al estudio fisicoquímico de éste, convirtiéndola en un agua de clase **muy dura**.

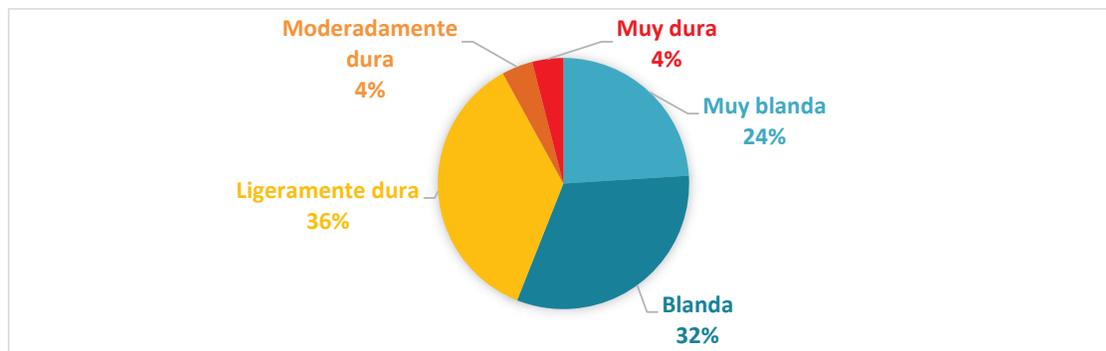


Figura 14 Conductividad vs dureza de manates.

MAPA N° 13 Isoconductividad



INTERPRETACION GEOQUIMICA DEL MAPA DE ISOCONDUCTIVIDADES.

La interpolación de las conductividades eléctricas de acuerdo a los resultados fisicoquímicos de los manantes representativos y de mayor importancia en la microcuenca Tambuque son Tirina 1, Collpapata 2, Ñayqui 2 que afloran en rocas areniscosas fracturadas del tipo cálcicas bicarbonatadas correspondiendo a una clasificación de dureza muy blanda a blanda, en cambio el manante Collpaunupata presenta una conductividad eléctrica muy alta de 7260 $\mu\text{S}/\text{cm}$ la cual corresponde a un agua de tipo muy dura, emanando de la formación Ayabacas de litología carbonatada, cabe resaltar que este manante no tiene influencia contaminante en un radio de 200 metros aproximadamente aguas abajo del punto de manante.

7.2.3.3 Temperatura.

La Temperatura del agua de las muestras de agua, fueron medidos atreves de un termómetro de mercurio, oscilando las temperaturas entre 13.3 y 16.4°.

7.2.3.4 Relaciones entre componentes químicos elementales.

En el conjunto del inventario de manantes ojos de agua, surgencia, y bofedales, los aniones mayoritarios son los de cloruro y sulfatos y los cationes el magnesio y sodio, lo que parece indicar la gran influencia de las inclusiones de calcita en las rocas huésped. (ver diagrama Hidroquímica).

A. Diagrama Triangular de Piper - Hill- Langelier

Los diagramas triangulares se utilizan para representar la proporción de tres componentes. La suma de los tres componentes debe representar el 100% de la composición de lo que se considera. En Hidroquímica se utiliza un triángulo para los cationes principales y otro para los aniones.

El diagrama de Piper está formado por dos triángulos con un rombo que recoge la información de ambos triángulos:

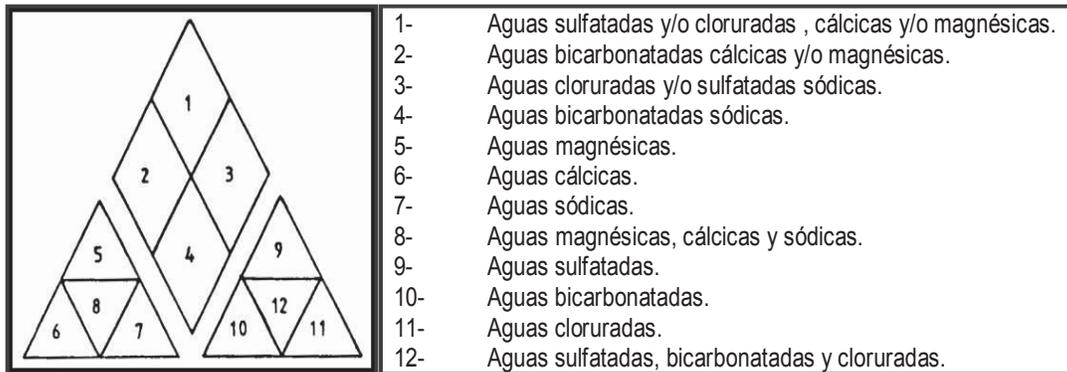


Figura 15 Diagrama de Piper-Hill-Langelier.

En uno de los triángulos se representan los cationes ($\text{Na}^{++} + \text{K}^{+}$ sumados) y en el otro los aniones principales. El paso desde ambos triángulos hasta el rombo es inmediato y muy simple, como se indica en la figura 14. Por tanto, cada análisis queda representado por tres puntos (los dos triángulos y el rombo).

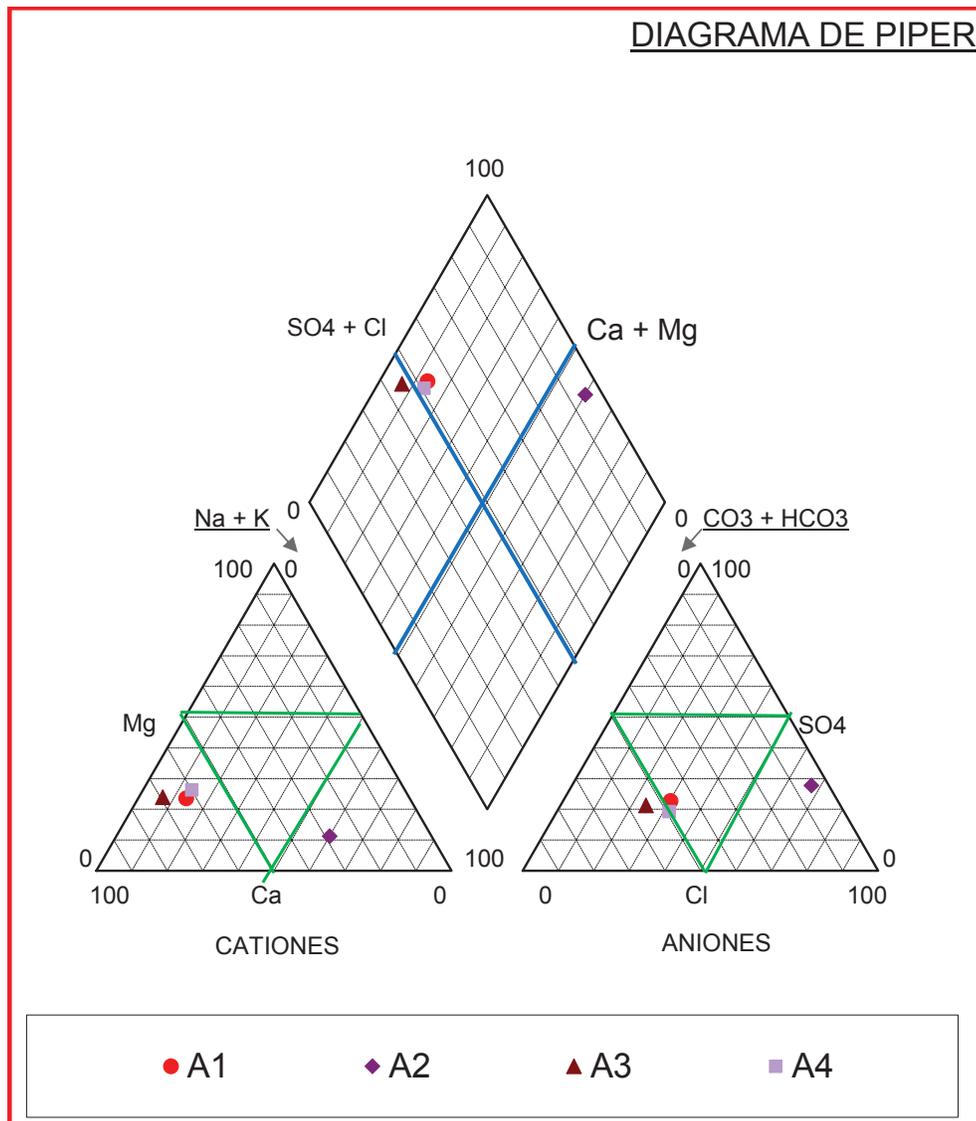


Figura 16. Diagrama de Piper-Hill-Langelier aplicada a los manantes de estudio.

Según el diagrama triangular, los manantes A1 (Tirina 1) y A3 (Collpapata 2), son aguas Cálcidas Sulfatadas bicarbonatadas, el agua del manante A4 (Ñayqui 2) presentan aguas de la clase: Cálcida bicarbonatada, y el agua del manante A2 (Collpa unupata) es agua de clase: Sódica Clorurada sulfatada:

B. Diagrama Radial de Stiff Modificado:

Expresa el tipo de agua en forma de polígonos (uno para cada análisis). En su forma más sencilla (y mejor) se forman con 3 ejes paralelos hacia la izquierda (cationes) y otros tres hacia la derecha (aniones) como puede verse en la figura. La distancia entre los ejes horizontales es arbitraria, simplemente estética, y la escala elegida en horizontal (1,2,3... o bien 5, 10, 15 ...) dependerá de la salinidad de las aguas de la zona de las comunidades Huatacalla y Pucapuca. La longitud y escala se establecerán a partir del análisis de concentraciones más elevadas.

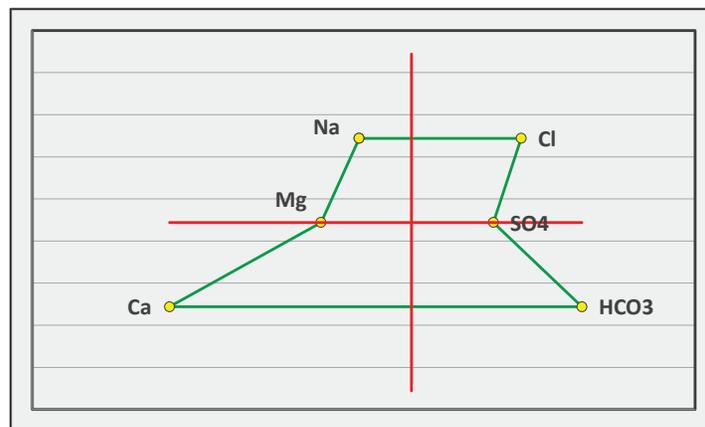


Figura 17. Diagrama radial manante A1 TIRINA 1

Comentario: De acuerdo al diagrama de iones dominantes el agua de esta manante es de tipo Cálcida bicarbonatada.

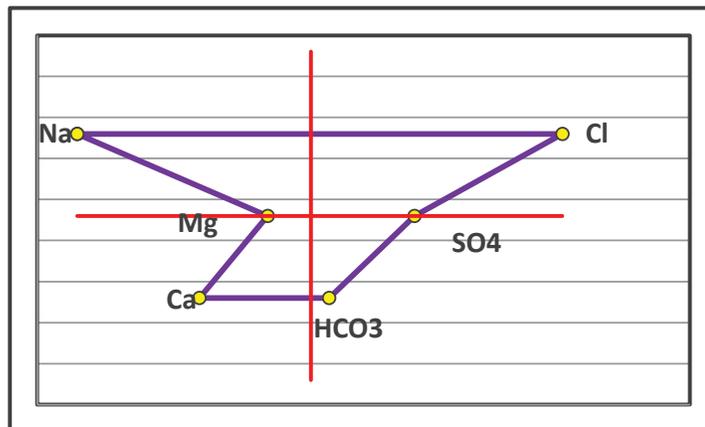


Figura 18. Diagrama radial manante A2 Collpa Unupata.

Comentario: De acuerdo al diagrama de iones dominantes el agua de esta manante es de tipo Sódica Clorurada con presencia de contracciones medias de calcio y carbonatos.

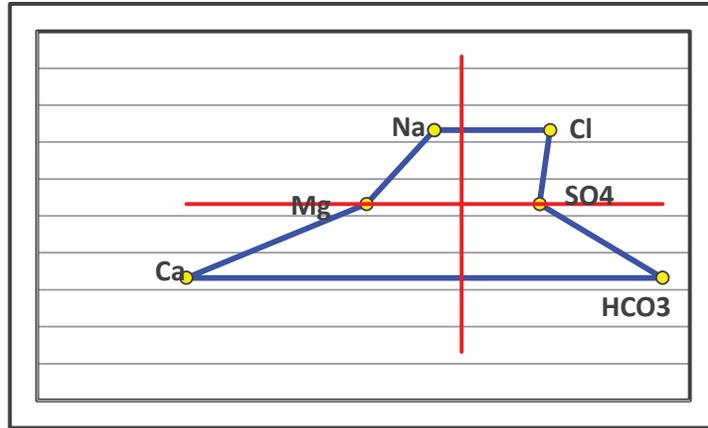


Figura 19. Diagrama radial manante Collpapata 2

Comentario: De acuerdo al diagrama de iones dominantes el agua de esta manante es de tipo Cálcida bicarbonatada con concentraciones importantes de sodio.

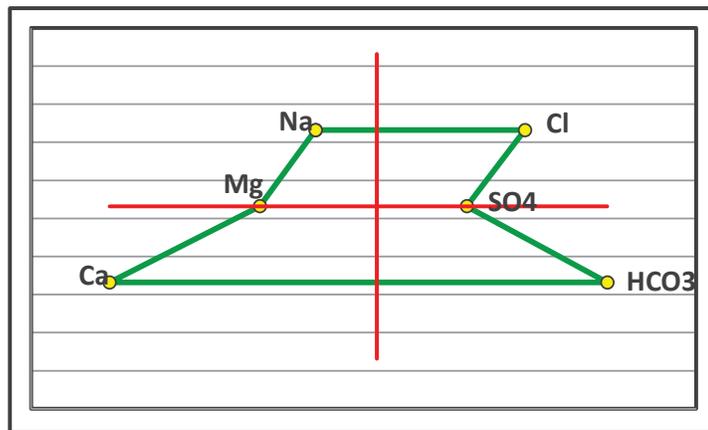


Figura 20. Diagrama radial manante A4 Ñayqui 2.

Comentario: De acuerdo al diagrama de iones dominantes el agua de esta manante es de tipo Cálcida bicarbonatada con presencia de contracciones medias de sodio y cloro.

C. Diagrama de Schoeller - Berkaloff

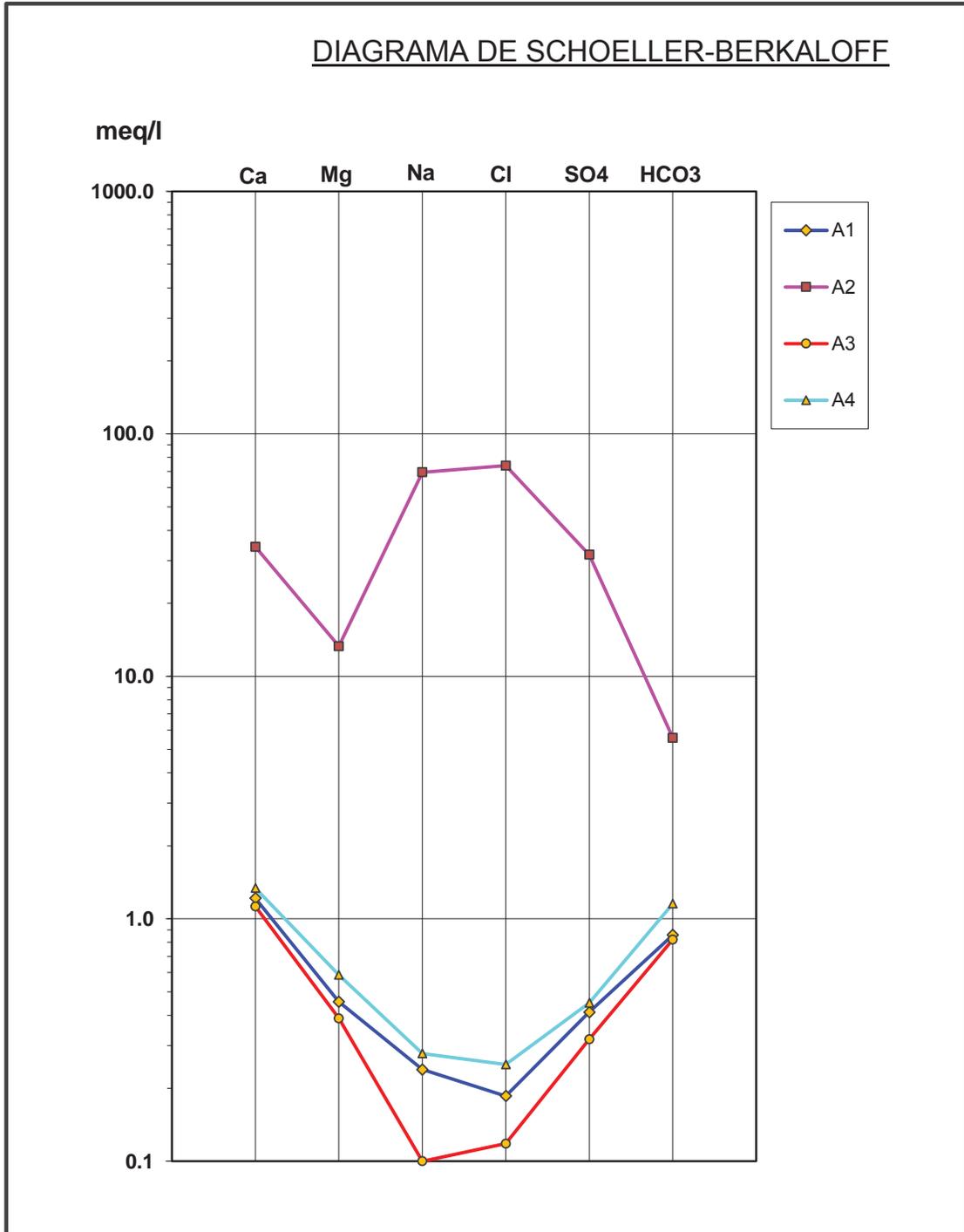


Figura 21. Distribución de aguas en el diagrama de SCHOELLER-BERKALOFF.

D. Calidad del agua de riego.

El conocimiento de la calidad del agua de riego es fundamental para la elección del método de riego, su manejo y el cultivo a implantar. Vendrá determinada por las sales que se encuentra en ella, y dependerá de la naturaleza de éstas y de sus concentraciones.

El uso de aguas de riego salinas supone el riesgo de salinizar el suelo, provocando en numerosos casos disminución en la producción del cultivo (la capacidad de la planta para absorber el agua disminuye a medida que aumenta el contenido de sales, teniendo la planta que realizar un mayor esfuerzo). Ocasionando, otros problemas como puede ser **toxicidad** (algunas sales cuando se acumulan en cantidad suficiente resultan tóxicas para los cultivos, u ocasionan desequilibrios en la absorción de los nutrientes), **problemas de infiltración** del agua en el suelo (un alto contenido de sodio y bajo de calcio en el suelo hace que sus partículas tiendan a disgregarse, lo que ocasiona disminución de la velocidad de infiltración del agua) y **obstrucciones** en los sistemas de riego localizado.

Mediante un análisis fiable del agua de riego se pueden determinar las estrategias de riego que deben llevarse a cabo, según la salinidad del agua y la tolerancia de los cultivos a esta salinidad.

- Salinidad
- Toxicidad
- Problemas de infiltración
- Riesgo de obstrucciones
- Análisis del agua
- Interpretación de los resultados. clasificación.

✓ **Salinidad**

El agua de riego contiene determinadas sales que se añaden a las ya existentes en el suelo. Las sales que nos interesan son aquellas que, además de ser solubles, se descomponen en iones:

Tabla 74

Cationes y aniones con sus respectivas valencias.

Cationes	Aniones
Calcio (Ca^{2+})	Cloruro (Cl^-)
Sodio (Na^+)	Sulfato (SO_4^{2-})
Magnesio (Mg^{2+})	Bicarbonato (CO_3H^-)
Potasio (K^+)	Carbonato (CO_3^{2-})

Fuente: https://portalacademico.cch.unam.mx/materiales/prof/matdidac/sitpro/exp/quim/quim2/quimicaII/T_CatioYAnion.pdf

La salinidad del agua de riego se puede determinar por dos procedimientos:

- a) Medida del contenido de sales.

Se realiza en laboratorio, evaporando en una estufa una muestra de agua y pesando el residuo sólido. Se suele expresar en miligramos por litro (mg/litro) o en miliequivalentes por litro (meq/litro).

- b) Medida de la conductividad eléctrica.

La concentración o el contenido total de sales se puede determinar midiendo la conductividad eléctrica (C.E). Esta se expresa en mili-ohmios por centímetro (mmho/cm) o en deciSiemens por metro (dS/m); ambos tienen el mismo valor.

El contenido de sales y la conductividad eléctrica están relacionadas mediante la fórmula:

$$C = 0.64 \times CE$$

Donde:

- C = Contenido salino (g/litro)
- CE = Conductividad eléctrica (dS/m)

✓ **Evaluación de la salinidad.**

Existen varios criterios que establecen si el agua puede usarse para el riego según la cantidad de sale disueltas en ella. La FAO (Organización para la Agricultura y Alimentación) indica el riesgo de producirse problemas de salinidad según los siguientes límites en contenido de sales:

Tabla 75

Riesgo de producirse problemas de salinidad por contenido de sales.

C(g/litro)	CE (dS/m)	Riesgo
< 0.45	< 0,7	Ninguno
0.45 < C < 2	0.7 < CE < 3	Ligero a moderado
> 2	> 3	Alto, severo

Tabla 76

Contenido de sales en los manantes de la microcuenca Tambuque.

MANANTE	CE (μ S/cm)	CE (dS/cm)	$C = 0.64 \times CE$	RIESGO
Curo Pujo	65,2	0,065	0,04	NINGUNO
Yanañan Pujo 1	71,0	0,071	0,05	NINGUNO
Yanañan Pujo 2	80,0	0,080	0,05	NINGUNO
Tirina 1	94,5	0,095	0,06	NINGUNO
Collpapata 2	122,2	0,122	0,08	NINGUNO
Chitapampa pugio	109,1	0,109	0,07	NINGUNO
Tancarcancha 2	151,0	0,151	0,10	NINGUNO
Ccollpa Ccasa	159,0	0,159	0,10	NINGUNO
Collpahuaycco	172,0	0,172	0,11	NINGUNO
Tirina 3	184,0	0,184	0,12	NINGUNO
Llutupugio	202,1	0,202	0,13	NINGUNO
Ñayqui 2	235	0.235	0,15	NINGUNO
Choquepujo	258,0	0,258	0,17	NINGUNO
zarate	298,0	0,298	0,19	NINGUNO

Tancarcancha 5	300,0	0,300	0,19	NINGUNO
Ciprian	300,0	0,300	0,19	NINGUNO
Pulpulpugio	304,0	0,304	0,19	NINGUNO
Tancarcancha 6	315,4	0,315	0,20	NINGUNO
Tambuquihuaycco	350,0	0,350	0,22	NINGUNO
Tirina 2	355,0	0,355	0,23	NINGUNO
P´aqui 1	398,0	0,398	0,25	NINGUNO
Collpa 6	401,5	0,402	0,26	NINGUNO
Pozopaki	420,0	0,420	0,27	NINGUNO
Tancarcancha 1	521,0	0,521	0,33	NINGUNO
Collpa unu pata	7260	7,260	4.64	ALTO A SEVERO

Fuente: Procesado por los tesisistas.

Como puede observarse, los manantes en la comunidad de Huatacalla, el 96 % no tiene ningún riesgo de salinidad, y el 4 % de sus manantes están con riesgo ALTO A SEVERO de tener problemas por salinidad a los cultivos.

Nota: si el contenido de sales es mayor de 2 g/L o la conductividad eléctrica mayor de 3 (dS/m), los problemas de salinidad pueden ser muy graves a menos que se establezcan una serie de tratamientos como lavado de sales frecuentemente o cambio de cultivo por otro u otros que resistan mejor las condiciones de salinidad.

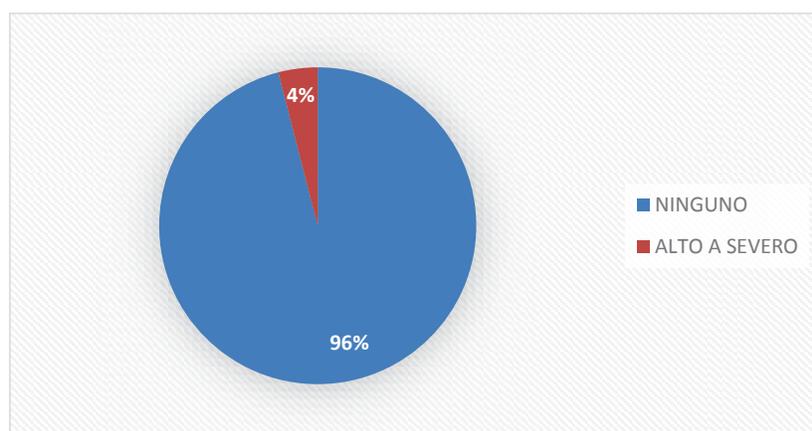


Figura 22 Manantes con riesgo de contenido de sales.

✓ Toxicidad

La presencia de determinadas sales en el suelo, incluso a bajas concentraciones, puede provocar efectos tóxicos en las plantas. El sodio, el boro y el cloruro son las que, en general, ocasionan más problemas para los cultivos:

- Un exceso de sodio produce sequedad o quemaduras en los bordes exteriores de las hojas.
- El exceso de cloruro suele manifestarse con quemaduras en la punta de las hojas y avanzar por los bordes.
- Los síntomas de toxicidad por boro suelen manifestarse por un amarillamiento de la punta de las hojas más antiguas que va desplazándose hasta el centro de las hojas entre los nervios y sequedad en algunas otras zonas de la planta.

Nota: Para solventar los problemas de toxicidad se recurre a tratamientos similares a los indicados para la salinidad: lavado de sales, enmiendas de calcio si la toxicidad es debida al sodio, utilizar cultivos más tolerantes.

✓ Problemas De Infiltración.

Cuando la velocidad de infiltración es muy baja, puede ocurrir que el agua infiltrada no baste para cubrir las necesidades del cultivo. Los problemas más frecuentes relacionados con una infiltración baja suelen producirse cuando el sodio se incorpora al suelo y deteriora su estructura; los agregados del suelo se dispersan en partículas pequeñas que tapan o sellan los poros y evitan que el agua pueda circular e infiltrarse con facilidad. El efecto contrario lo producen el calcio y el magnesio, por lo que para evaluar realmente el problema que puede generar un exceso de sodio hay que saber también la cantidad de calcio y magnesio que hay en el suelo.

Por eso, para evaluar los problemas de infiltración se ha establecido el índice RAS (Relación de absorción de sodio), que viene definido por la siguiente fórmula:

$$RAS = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}}$$

Donde Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} representan, respectivamente, las concentraciones de los iones de sodio, calcio y magnesio del agua de riego, expresado en meq/litro.

Así, a partir del RAS del agua de riego y de la salinidad podemos estimar la reducción de infiltración a partir de la siguiente tabla.

Tabla 77

Relación de absorción de sodio (RAS).

		A1 (Tirina 1)	A2 (Collpa unupata)	A3 (Collpapata 2)	A4 (Ñayqui 2)
ÍNDICE	RAS	0.3	14.2	0.1	0.3
	CE (dS/m)	0.13	7.26	0.12	0.24

Análisis: las aguas de los manantes A1 y A3 (Tirina 1 y Collpapata 2), presentan reducción severa de alterar la infiltración de suelos por presencia de iones de Sodio y Calcio., mientras los amantes A4 (Ñayqui 2) presenta reducción **ligera a moderada**, y el manante A2 (Collpa unupata), se halla al extremo es decir la aplicación de agua como riego **no favorece a la reducción** de salinidad es decir traerá problemas en la infiltración de microporos por presencia de iones de sodio y calcio.

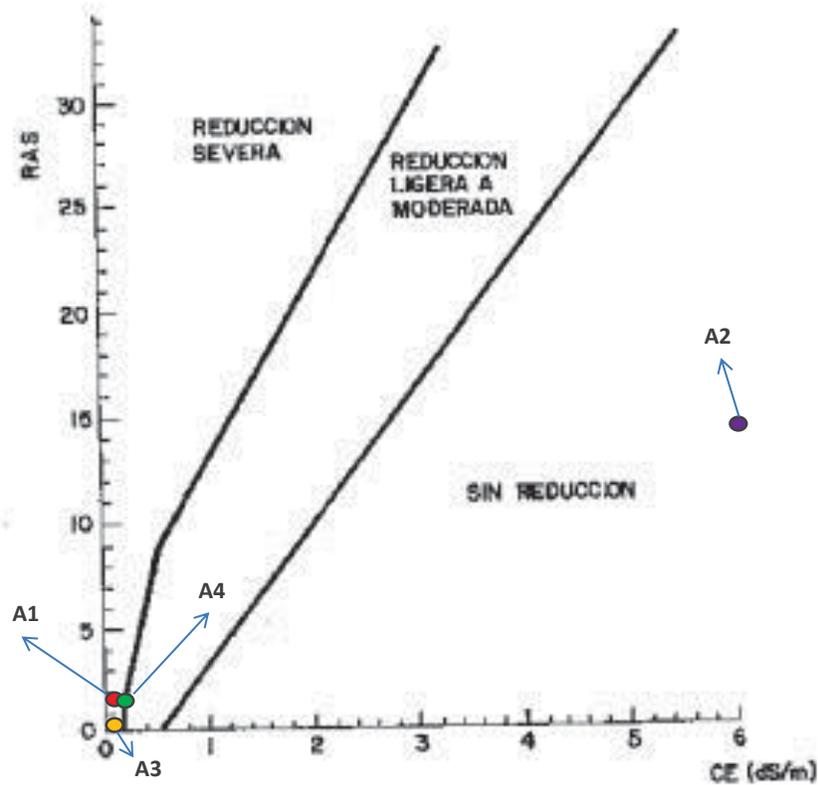


Figura 23. Ubicación de datos de problemas de infiltración según índice RAS

✓ **Interpretación de los Resultados Aptitud de Riego.**

A partir de los datos de CE y RAS se establece una clasificación del agua según las normas de Riverside para evaluar la calidad de aguas de riego (U.S. Soil Salinity Laboratory), que es un método fundamental para evaluar la calidad de las aguas de riego, se tiene los resultados siguientes:

CLASIFICACION DE LAS AGUAS PARA RIEGO

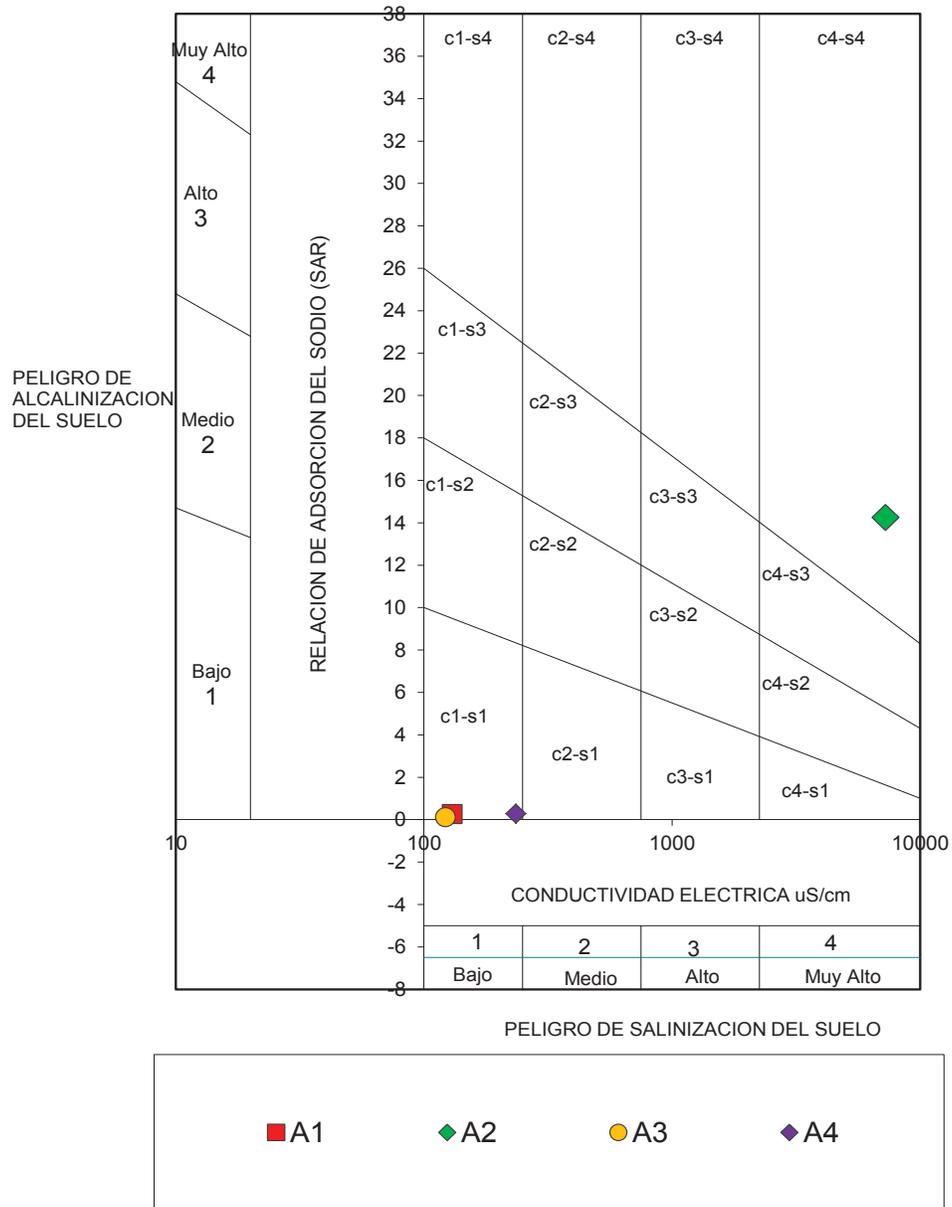


Figura 24. Clasificación de las aguas para riego.

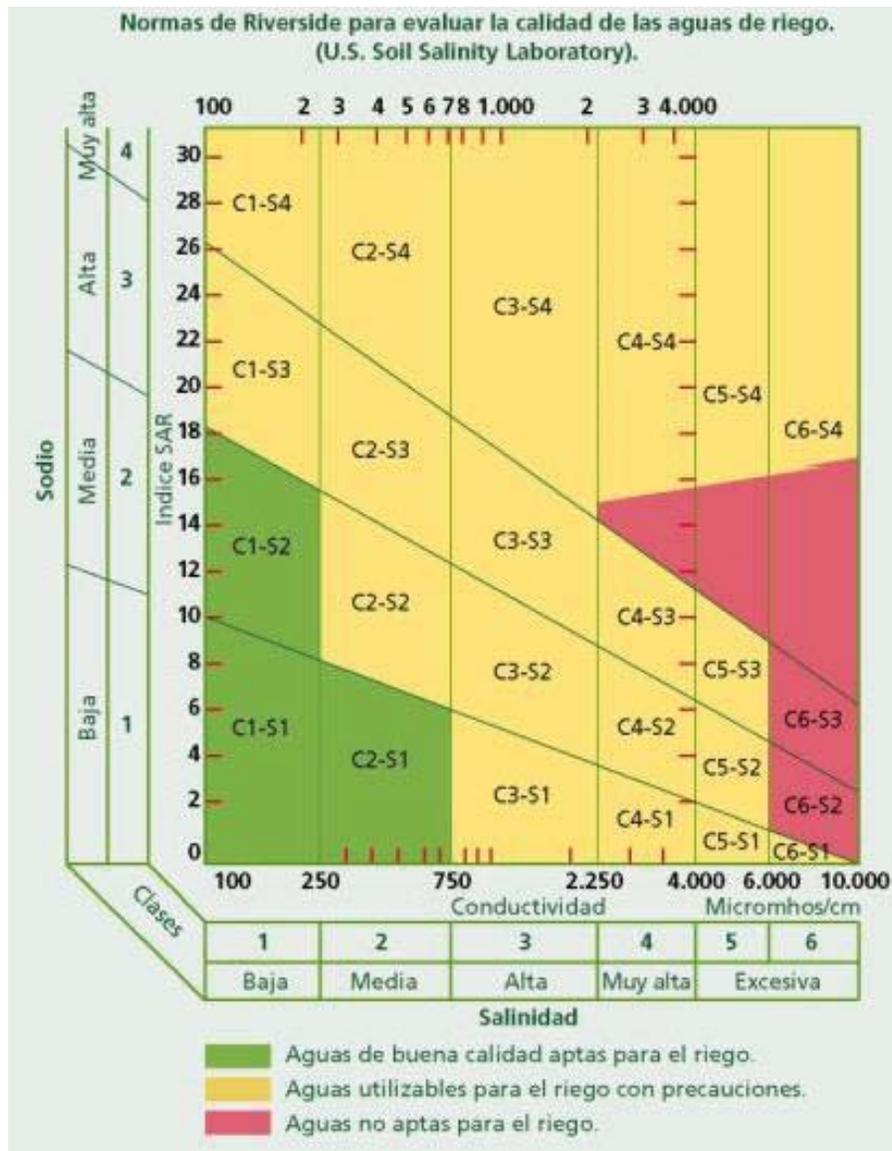


Figura 25. Clasificación de las aguas para riego.

Tabla 78

Clasificación de las aguas según las normas Riverside.

Tipos	Calidad y normas de uso
C 1	Agua de baja salinidad, apta para el riego en todos los casos. Pueden existir problemas solamente en suelos de muy baja permeabilidad.
C 2	Agua de salinidad media, apta para el riego. En ciertos casos puede ser necesario emplear volúmenes de agua en exceso y utilizar cultivos tolerantes a la salinidad.
C 3	Agua de salinidad alta que puede utilizarse para el riego en suelos con buen drenaje, empleando volúmenes en exceso para lavar el suelo y utilizando cultivos tolerantes a la salinidad.
C 4	Agua de salinidad muy alta que en muchos casos no es apta para el riego. Sólo debe usarse en suelos muy permeables y con buen drenaje, empleando volúmenes en exceso para lavar sales del suelo y utilizando cultivos muy tolerantes a la salinidad.
C 5	Agua de salinidad excesiva, que sólo debe emplearse en casos muy contados, extremando todas las precauciones apuntadas anteriormente.
C 6	Agua de salinidad excesiva, no aconsejable para riego.
S 1	Agua con bajo contenido en sodio, apta para el riego en la mayoría de los casos. Sin embargo, pueden presentarse problemas con cultivos muy sensibles al sodio.
S 2	Agua con contenido medio de sodio, y, por tanto, con cierto peligro de acumulación de sodio en el suelo, especialmente en suelos de textura fina (arcillosos y franco-arcillosos) y de baja permeabilidad. Deben vigilarse las condiciones físicas del suelo y especialmente el nivel de sodio cambiante del suelo, corrigiendo en caso necesario.
S 3	Agua con alto contenido de sodio y gran peligro de acumulación del sodio en el suelo. Son aconsejables

	aportaciones de materia orgánica y el empleo de yeso para corregir el posible exceso de sodio en el suelo. También se requiere un buen drenaje y el empleo de volúmenes copiosos de riego.
S 4	Agua con contenido muy alto de sodio. No es aconsejable para el riego en general, excepto en caso de baja salinidad y tomando todas las precauciones apuntadas.

Las aguas del manante A1 Tirina, A3 Collpapata 2 y A4 Ñayqui 2, son aguas de buena calidad, aptas para el riego de clase C1-S1, es decir agua con baja salinidad, apta para el riego en todos los casos. Pueden existir problemas solamente en suelos de muy baja permeabilidad; así mismo, es un agua con bajo contenido en sodio, apta para el riego en la mayoría de los casos.

La calidad de agua del manante A2 Collpa unupata, son aguas no aptas para el riego, de clase C6-S4, el cual es un agua de salinidad excesiva, por contenido muy alto de sodio. No es aconsejable para el riego en general, excepto en caso de baja salinidad y tomando todas las precauciones apuntadas. La aplicación de esta agua al suelo produce peligro de acumulación de sodio en el suelo, especialmente en suelos de textura media y fina (francos y franco-arcillosos) y de media a baja permeabilidad.

E. Calidad de Agua para Consumo Humano:

✓ **Análisis Físicoquímico**

El agua potable, también llamada para consumo humano, debe cumplir con las disposiciones legales nacionales, a falta de éstas, se toman en cuenta normas internacionales. Los límites máximo permisibles (LMP) referenciales, para el agua potable de los parámetros que se controlan actualmente, se indican en el cuadro siguiente. DS: 031-2010-SA también utiliza este mismo parámetro de la OMS.

Tabla 79

Límites Máximos permisibles agua de consumo humano (OMS).

PARÁMETRO	LMP	Referencia
Coliformes totales, UFC/100 mL	0 (ausencia)	(1)
Coliformes termotolerantes, UFC/100 mL	0 (ausencia)	(1)
Bacterias heterotróficas, UFC/mL	500	(1)
pH	6,5 – 8,5	(1)
Turbiedad, UNT	5	(1)
Conductividad, 25°C uS/cm	1500	(3)
Color, UCV – Pt-Co	20	(2)
Cloruros, mg/L	250	(2)
Sulfatos, mg/L	250	(2)
Dureza, mg/L	500	(3)
Nitratos, mg NO ₃ ⁻ /L (*)	50	(1)
Hierro, mg/L	0,3	0,3 (Fe + Mn = 0,5) (2)
Manganeso, mg/L	0,2	0,2 (Fe + Mn = 0,5) (2)
Aluminio, mg/L	0,2	(1)
Cobre, mg/L	3	(2)
Plomo, mg/L (*)	0,1	(2)
Cadmio, mg/L (*)	0,003	(1)
Arsénico, mg/L (*)	0,1	(2)
Mercurio, mg/L (*)	0,001	(1)
Cromo, mg/L (*)	0,05	(1)
Flúor, mg/L	2	(2)
Selenio, mg/L	0,05	(2)

Resultados: Comparando los resultados fisicoquímicos obtenidos de los 04 manantes con los valores de LMP de la OMS, la calidad de agua de los manantes A1, A3 y A4, no excede los límites máximos permisibles de la OMS que se establecen en la tabla N° 79, la calidad de agua del manante A2, Excede ampliamente los LMP, considerándose un agua **no apta para el consumo Humano**.

F. Calidad de Agua Micro Bacteriológico.

Para poder determinar si existe contaminación externa de la calidad del agua, se ha tomado una muestra del manante A1 Tirina 1 que tiene doble propósito (riego y Consumo humano) Esta fue realizado por el Laboratorio LAB BIOTEC el cual se visualiza mejor en anexos.

UFC= Unidad formadora de colonias.

LDM = Limite de detección de método

RESULTADOS

Recuento de Bacterias Mesófilas Viables	: 7.4 x 10 ² ufc/ml
Coliformes Totales	: NMP 36/100 ml
Coliformes Fecales	: 0.2 x 10 ² ufc/ml
Coliformes Termotolerantes	: Negativo
Escherichia coli	: Negativo
Shigella	: Negativo
Salmonella	: Negativo

EXAMEN MICROSCOPICO

Algas microscópicas	: No se observa
Protozoarios de Vida Libre	: Escasa cantidad
Detritos inorgánicos	: Regular cantidad

✓ **Parámetros De Calidad y Límites Máximo Permisibles**

Según las disposiciones legales nacionales para consumo de agua potable la OEFA, propone que debe cumplir que los límites máximo permisibles (LMP) referenciales, según el DS: 031-2010-SA también utiliza este mismo parámetro de la OMS.

Sin embargo, la OMS, plantea los valores máximos permisibles (ver tabla N° 80) siguientes:

Tabla 80

Límites Máximos permisibles agua de consumo humano (OMS).

PARÁMETRO	LMP	Referencia
Coliformes totales, UFC/100 mL	0 (ausencia)	(1)
Coliformes termotolerantes, UFC/100 mL	0 (ausencia)	(1)
Bacterias heterotróficas, UFC/mL	500	(1)

Resultados: Según los resultados obtenidos, el manante TIRINA 1, existe presencia de contaminación por **coliformes totales** en número de 36 NMP/ml, que excede al valor recomendado por la OMS de cero. Así mismo se ha identificado la presencia de **coliformes fecales** en 0.2 x 10² ufc/ml, con recuento de **bacterias mesófilas viables** en 7.4 x 10² ufc/ml, con presencia escasa de **protozoarios de vida libre** y regular cantidad de **detritos inorgánicos**. Con todo este resultado se recomienda un tratamiento de desinfección del agua de esta fuente con cloro en reservorio.

CAPITULO VIII BALANCE HIDRICO

8.1 Aspectos generales

Para la microcuenca Tambuque la poca disponibilidad de recurso hídrico proviene de agua superficial y subterráneo representado por la represa de Tirina y los manantes respectivamente. Al ser una zona rural, el mayor uso de agua está destinada a la agricultura, en segundo lugar, el agua disponible por la microcuenca es para el consumo humano y doméstico, finalmente se usa para fines pecuarios; no se ha evidenciado uso de agua para fines industriales ni mineros en el ámbito de estudio.

8.1.1 Justificación

El presente ítem, a más de conocer el nivel de escasez o no del recurso hídrico en volumen y el periodo más crítico, en la microcuenca de Tambuque, justificara para más adelante la realización o no de acciones de recarga y conservación del acuífero o la posible ampliación del vaso de almacenamiento de la represa Tirina.

Para realizar el balance hídrico, se ha dividido en:

- Demanda de agua para consumo humano y doméstico.
- Demanda de agua por actividad agrícola.
- Demanda de agua por actividad ganadera.

8.2 Demanda de agua

8.2.1 Demanda de agua para consumo humano y doméstico.

Para ello se ha utilizado como indicador el número de habitantes por centro poblado como Rocacancha, Ccohuiccane, Vervenayoc, Huatacalla – Pucapuca facilitado por los directivos de la comunidad en sus padrones de comunero, identificando la existencia de 105 familias con un promedio de 04 miembros por familia haciendo un promedio de 420 habitantes a nivel de toda la microcuenca.

Según el censo de población y vivienda realizado por el INEI en el año 2005, (porque aún no se ha publicado oficialmente el censo del 2017) la provincia de Paruro con una tasa de crecimiento poblacional de **1.41** (baja) está considerada en zona de extrema pobreza,

De acuerdo al **reglamento nacional de construcciones** (RNC), la proyección futura para estudio de demanda de agua poblacional debe proyectarse a 25 años.

8.2.1.1 Población futura

para ello se tiene la siguiente relación matemática:

$$PF = \left(1 + \left(\frac{tc * T}{1000}\right)\right)$$

Dónde:

Pf = Población futura

tc = tasa de crecimiento poblacional

T = Tiempo de proyección en años (25 años)

Reemplazando valores en la ecuación anterior se tiene una población futura de 435 hb.

8.2.1.2 Consumo promedio diario (qm).

Es el consumo promedio diario anual estimado del consumo per-cápita para la población futura en un supuesto periodo de diseño de obras de saneamiento básico, expresada en litros por segundo (l/s). Se determina mediante la siguiente relación.

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

Dónde:

Qm = Consumo promedio diario (l/s).

Pf = Población futura (hab.).

d = Dotación (l/hab./día). Para el caso nuestro 25 l/hab/día (MINSA)

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

$$Qm = 0.126 \text{ l/s.}$$

8.2.1.3 Consumo máximo diario (Qmd) y consumo máximo horario (Qmh)

El consumo máximo diario, es el máximo consumo de una serie histórica de registros observados durante un día “X” en el lapso de un año. El consumo máximo horario, se define como la hora de máximo consumo en un día “X”.

El RNC, ha propuesto la siguiente relación para el consumo máximo diario (Qmd) el cual considera un incremento del 120% y 150% más del consumo promedio diario anual (Qm), recomendándose el valor promedio de 130%.

Asumiendo estas recomendaciones podemos indicar que para consumo máximo diario (Qmd) un incremento del 130% en función del Qm y para consumo máximo horario (Qmh) un incremento del 150% más del Qm.

A partir de ello se tiene los resultados siguientes resultados:

- Consumo máximo diario (Qmd) = 1.3 Qm (l/s) = 1.3 x 0.126 = 0.164 l/s
- Consumo máximo horario (Qmh)= 1.5 Qm (l/s) = 1.5 x 0.126 = 0.189 l/s

Este resultado nos permite decir que para el diseño de la línea de conducción principal desde la captación al reservorio de tratamiento se necesita un caudal mínimo de 0.164 l/s, y para el diseño de las líneas de distribución a las viviendas se necesita un caudal de 0.189 l/s.

Para el propósito de balance hídrico a nivel de la microcuenca se ha proyectado la demanda de agua a volúmenes por mes tal como se observa en el cuadro siguiente:

En los siguientes cuadros se presenta resumidamente el proceso de cálculo de la demanda poblacional para ambas comunidades campesinas.

Tabla 81

Volumen de agua para el consumo humano y domestico de la microcuenca Tambuque.

Habitantes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	M3/AÑO
	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365
435	336,97	304,36	336,97	326,10	336,97	326,10	336,97	336,97	326,10	336,97	326,10	336,97	3967,60
Qm (m3/mes)	336,97	304,36	336,97	326,10	336,97	326,10	336,97	336,97	326,10	336,97	326,10	336,97	3967,60
Qmd (m3/mes)	438,07	395,67	438,07	423,93	438,07	423,93	438,07	438,07	423,93	438,07	423,93	438,07	5157,87
Qmh (m3/mes)	505,46	456,55	505,46	489,16	505,46	489,16	505,46	505,46	489,16	505,46	489,16	505,46	5951,39
Qmh/s	0,14	0,13	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	

El mes de máxima demanda necesita un volumen de 505.46 m³, para satisfacer la demanda poblacional.

8.2.2 Demanda de agua para animales.

El Reglamento Nacional de Construcciones (RNC), para el diseño de abrevaderos en zonas rurales, propone una demanda precipitada de agua por especie animal siguiente:

Tabla 82

Consumo de agua diaria por especie animal.

Especie ANIMAL	DOTACIÓN
Ganado lechero	120 l/día por animal
Bovino y equinos	40 l/día por animal
Ovinos y porcinos	10 l/día por animal
Aves	20 l/día por cada 100 aves

De acuerdo a versión de pobladores del lugar una familia a lo mucho tiene 2 ganados vacunos y un ato de 4 rebaños de ovinos, así como caballos en la parte alta o cabecera de cuenca.

Tabla 83

Consumo de agua por grupo animal

ESPECIE ANIMAL	VACUNOS	OVINOS	CAPRINOS	EQUINOS
Población Animal (unid)	60,0	150,0	100,0	20,0
Consumo (lit/animal/día)	120,0	10,0	10,0	40,0
Consumo total (lit/total animal/día)	7200.00	1500.00	1000.00	800.00

Finalmente, con los datos anteriores se ha proyectado el consumo de agua total de las especies animales en volumen mensual, tal como se observa en la Tabla 84.

Tabla 84

Consumo de agua pecuaria mensual

Und	Dotación de Agua para consumo Pecuario											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
días	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Volumen m3/mes	325,50	294,00	325,50	315,00	325,50	315,00	325,50	325,50	315,00	325,50	315,00	325,50

8.2.3 Demanda agrícola

8.2.3.1 Determinación de coeficiente de cultivo (*kc*).

Para estimar la demanda de agua que requieren los diversos cultivos existentes en la microcuenca, 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 aproximadamente los topos de cultivo de la zona y los periodos de su siembre, así como saber que lugares son áreas bajo riego y cuales no tiene riego o de secano. 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 por el método universal de la curva única.

Así mismo, se ha estimado una eficiencia de riego por aspersion 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:

Tabla 85
 Demanda de agua para riego microcuena Tambuique, área a regar 197.00 ha.

BAJO RIEGO	AREA	% Área	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
MAÍZ AMILÁCEO	12	6,09	0,73	0,30					0,22	0,59	0,90	1,02	0,99	0,92
MAÍZ CHOCLO	8	4,06							0,32	0,81	0,98	0,75	0,38	
HABA VERDE	2	1,02	0,87	0,38								0,32	0,81	0,98
PAPA	15,00	7,61							0,27	0,72	0,95	0,97	0,80	0,33
ARVEJA VERDE	4,00	2,03							0,32	0,81	0,98	0,87	0,38	
OLLUCO	2,00	1,02	0,87	0,38								0,32	0,81	0,98
	43,00													
EN SECAÑO														
PAPA	120,00	60,91	0,59	0,90	1,02	0,99	0,92	0,73	0,30					0,22
HABA	15,00	7,61	0,57	0,59	0,48	0,20							0,16	0,43
TRIGO	19,00	9,64	0,99	0,94	0,74	0,29						0,24	0,65	0,90
SUBTOTAL	197,00	100,00												
ÁREA A REGARSE POR MIES (ha)			106,00	106,00	90,00	90,00	56,00	56,00	95,00	39,00	39,00	62,00	77,00	121,00
Kc PONDERADO			0,68	0,77	0,87	0,71	0,92	0,73	0,25	0,44	0,84	0,62	0,60	0,46
ETo (mm) HARGREAVES			0,685	0,773	0,870	0,711	0,923	0,730	0,288	0,706	0,941	0,680	0,602	0,458
ETr (mm)			114,91	104,62	111,88	104,07	105,23	92,14	97,50	110,21	117,28	134,60	134,30	124,03
PRECIPITACIÓN PROMEDIO MENSUAL (mm)			78,67	80,87	97,35	74,02	97,07	67,26	24,08	48,72	98,57	83,92	80,80	56,80
DESVIACIÓN ESTÁNDAR (SD)			171,68	145,29	121,70	46,98	7,09	4,28	3,45	7,34	18,89	46,82	76,49	123,83
PRECIPITACIÓN CONFIABLE AL 75% (mm)			33,20	25,50	35,95	19,39	4,96	1,49	2,46	8,18	8,37	20,38	31,99	32,42
REQUERIMIENTO DE RIEGO NETO (mm)			149,28	128,09	97,45	33,90	3,75	3,28	1,79	1,82	13,25	33,07	54,92	101,97
REQUERIMIENTO DE RIEGO NETO (m ³ /ha)			0,00	0,00	0,00	40,12	93,32	63,98	22,29	46,90	85,33	50,85	25,88	0,00
REQUERIMIENTO DE RIEGO BRUTO (m ³ /ha)			0,00	0,00	0,00	401,24	933,23	639,85	222,90	468,96	853,27	508,49	258,82	0,00
NUMERO DÍAS DEL MES			31,00	28,00	31,00	30,00	31,00	30,00	31,00	31,00	30,00	31,00	30,00	31,00
JORNADA DE RIEGO (horas)			12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00
EFICIENCIA DE RIEGO POR ASPERSIÓN (%)			75,00	75,00	75,00	75,00	75,00	75,00	75,00	75,00	75,00	75,00	75,00	75,00
REQUERIMIENTO DE RIEGO BRUTO (m ³ /ha)			0,00	0,00	0,00	534,99	1244,31	853,13	297,20	625,28	1137,69	677,98	345,10	0,00
VOLUMEN DE DEMANDA REQUERIDA (m ³)			0,00	0,00	0,00	48149,26	69681,28	47775,32	28233,66	24385,90	44369,78	42034,98	26572,59	0,00
DEMANDA TOTAL DE AGUA DEL PY (l/seg)			0,00	0,00	0,00	37,15	52,03	36,86	21,08	18,21	34,24	31,39	20,50	0,00
AGUA DISPONIBLE EN LA FUENTE (l/seg)			30,62	23,42	20,02	17,91	16,43	15,31	14,42	13,69	13,08	12,56	12,11	11,70
SUPERAVIT DEL RECURSO HÍDRICO (l/seg)			30,62	23,42	20,02	-19,25	-35,61	-21,56	-6,66	-4,52	-21,15	-18,83	-8,40	11,70
MODULO DE RIEGO (lt./seg/ha)			0,00	0,00	0,00	0,41	0,93	0,66	0,22	0,47	0,88	0,51	0,27	0,00
DEMANDA UNITARIA TOTAL (lt./seg/ha)							0,93							

8.3 Disponibilidad de agua en la cuenca.

Del inventario manantes realizado por nosotros los tesisistas en el mes de agosto del presenta año, en total suman una disponibilidad de agua de 11.77 l/s, de los cuales destinados para consumo humano son 0.56 l/s. Por lo tanto, la disponibilidad de agua para uso agrícola seria solo de 11.21 l/s con lo cual se hará el balance hídrico a nivel de riego.

Así mismo se ha recopilado información de la Municipalidad Distrital de Paruro a través de la Gerencia de Desarrollo Económico, quienes nos proporcionaron información del año 1998 del inventario realizado en esta zona en el mes de Enero en que registran un caudal de 26.85 l/s así mismo en el año 2008 a través del programa de conservación de manantes, se ha registrado un caudal de 28.4 l/s; el proyecto de riego Tambuque - Incacona, registró un caudal de oferta hídrica de la microcuenca en los meses de octubre y noviembre con valores de registro de 11 y 14.78 l/s.

Tabla 86

Disponibilidad de información de inventario caudal.

ENE	FEB	AGO	OCT	NOV
26,85 l/s	28,4 l/s	11,21 l/s	11 l/s	14,78 l/s

Con los datos se ha obtenido la ecuación de proyección de manantes a través de una ecuación

$$Y = 30,206 * X^{-0,387}$$

Se ha obtenido la disponibilidad mensual de caudal de aporte del acuífero al uso agrícola.

Tabla 87

Disponibilidad de agua en la microcuenca Tambuque.

MES	POLINÓMICA	DESCARGA MENSUAL
	(l/s)	m ³ /mes
ENE	30,62	82014,22
FEB	23,42	56648,30
MAR	20,02	53609,68
ABR	17,91	46414,26
MAY	16,43	43993,42
JUN	15,31	39673,83
JUL	14,42	38622,13

AGO	13,69	36676,96
SEP	13,08	33912,27
OCT	12,56	33642,57
NOV	12,11	31378,32
DIC	11,70	31350,61
CAUDAL TOTAL		527936,56

Fuente: Procesado por los tesisistas.

8.4 Balance hídrico entre oferta y demanda de agua.

A nivel de la microcuenca Tambuque, se ha realizado el balance

Tabla 88

Balance hídrico de la microcuenca Tambuque.

MES	TOTAL, OFERTA	DEMANDA HÍDRICA (l/s)			TOTAL	SUPERAVIT Y/O
	GENERADA	CONSUMO	CONSUMO	DEMANDA RIEGO	DEMANDA	DÉFICIT
	l/s	HUMANO	PECUARIO	RIEGO	(l/s)	l/s
ENE	30,62	0,14	0,12	0,00	0,26	30,36
FEB	23,42	0,13	0,12	0,00	0,25	23,17
MAR	20,02	0,14	0,12	0,00	0,26	19,75
ABR	17,91	0,14	0,12	37,15	37,41	-19,50
MAY	16,43	0,14	0,12	52,03	52,29	-35,87
JUN	15,31	0,14	0,12	36,86	37,12	-21,81
JUL	14,42	0,14	0,12	21,08	21,34	-6,92
AGO	13,69	0,14	0,12	18,21	18,47	-4,78
SET	13,08	0,14	0,12	34,24	34,49	-21,41
OCT	12,56	0,14	0,12	31,39	31,65	-19,09
NOV	12,11	0,14	0,12	20,50	20,76	-8,66
DIC	11,70	0,14	0,12	0,00	0,26	11,44

Se observa un déficit de 35.87 l/s para el mes de mayo con el cual se pueda satisfacer mínimamente las actividades productivas en la microcuenca Tambuque.

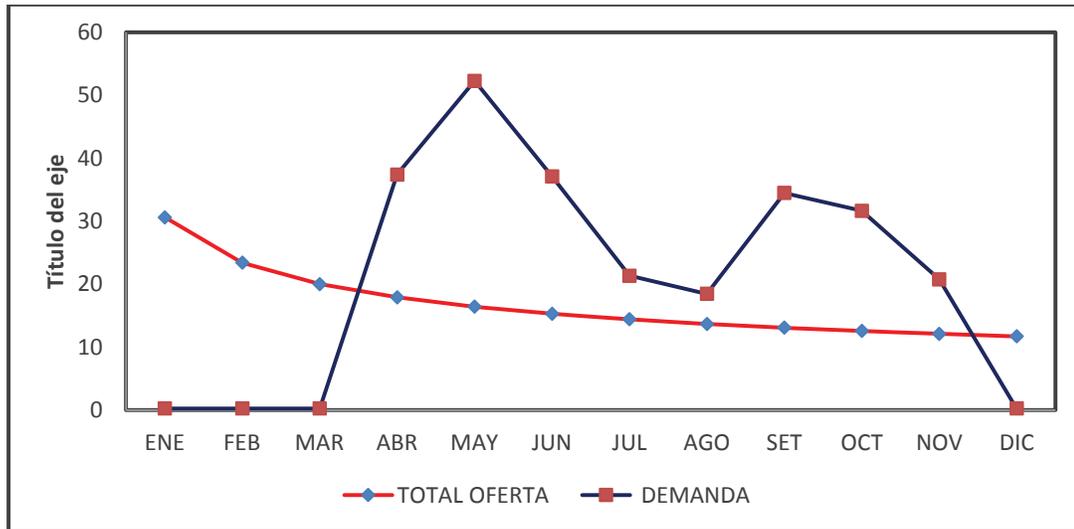


Figura 26. Diagram de demanda vs oferta de agua (balance hídrico).

INTERPRETACIÓN:

En la microcuenca Tambuque existe un déficit de 363 566.81 m³/año.

Tabla 89

Resumen de balance hídrico.

MES	SUPERÁVIT Y/O	
	DÉFICIT	
	m ³ /mes	
ENE	81312,65	
FEB	56047,50	
MAR	52908,12	
ABR	-50551,44	
MAY	-96070,71	
JUN	-56544,00	
JUL	-18546,76	
AGO	-12796,41	
SET	-55494,49	
OCT	-51128,95	-363566,81
NOV	-22434,05	220917,31
DIC	30649,05	

Total, al año se tiene un déficit de 363,566.81 m³ siendo el mes de mayo el mes con más requerimiento con 96,070.71 m³ para satisfacer su demanda hídrica.

CAPITULO IX ACCIONES DE RECARGA

9.1 Estimación de la recarga y descarga.

Debido al objeto final del estudio que es conocer las zonas de recarga de los acuíferos fisurados, se ha realizado la determinación expresa a través de un modelo numérico la recarga directa y recarga indirecta.

9.1.1 Recarga directa.

El acuífero se recarga directamente de la lluvia con un volumen de recarga directa mensual procedente de la lluvia son:

$$V = 131.704,19 \text{ m}^3/\text{año}$$

Tabla 90

Valores estimados de la Porosidad (%) Según Sanders (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	0.00005 a 0.01

Tabla 91

Estimación del volumen de recarga directa.

MES	PP (mm)	V= 1000*PP*Ce*Ac (m3)	RECARGA EFECTIVA porosidad eficaz (m3)
ENE	171,68	587.712,50	30.854,91
FEB	145,29	497.385,25	26.112,73
MAR	121,70	416.633,27	21.873,25
ABR	46,98	160.835,02	8.443,84
MAY	7,09	24.285,74	
JUN	4,28	14.643,09	
JUL	3,45	11.805,63	
AGO	7,34	25.136,53	
SEP	18,89	64.666,52	
OCT	46,82	160.276,91	8.414,54
NOV	76,49	261.871,75	13.748,27
DIC	123,83	423.936,49	22.256,67
	773,85	2'649.188,69	131.704,19

Esta recarga representa el 5 % del caudal circulante.

9.1.2 Recarga indirecta.

A las demandas detectadas y cuantificadas, se aplica que para este tipo de acuíferos no existe un flujo de retorno a los puntos de agua , debido a que las zonas de recarga se encuentran en la parte de cabecera de cuenca mientras que las zonas de regadío o de retorno directo se encuentran muy por debajo del acuífero; para el presente estudio no presenta retorno directo a excepción de la zona de embalse de la laguna Tirita el cual por infiltración genera un volumen constante de recarga que del orden del 2% del total de volumen almacenado.

9.1.2.1 Capacidad de retención hídrica en laguna Tirina.

Objetivo.

Mejorar la oferta hídrica en el ámbito de la microcuenca Tambuque e indirectamente la recarga también de los acuíferos emplazados en la parte inferior.

- Definir el cuerpo acuífero de buena productividad en base al volumen de descarga.

- Inventario y areado de vasos lacustres con posibilidades de Almacenamiento superficial y subterráneo sobre los acuíferos.
- Planteamiento de acciones de conservación a través de Pequeños represamientos en vasos secos y canales de trasvase para aumentar los volúmenes de almacenamiento.



Foto 69. Vista panorámica a la represa Tirina.



Foto 70. Deterioro de infraestructura de la represa Tirina



Foto 71. Estado de deterioro de canal de aliviadero de la represa Tirina

9.1.2.2 Planteamiento.

Con la finalidad de recuperar la potencialidad de estos acuíferos subyacentes a estos vasos lacustres, se ha recomendado que las autoridades gestionen a través de la municipalidad de Paruro la inmediata rehabilitación de esta infraestructura por que debido al estado actual la represa solo puede almacenar 2 000 m³ por seguridad, siendo su capacidad de almacenamiento máximo de 20 000 m³ que permitirían tranquilamente minimizar en parte la escasez de agua para el aspecto agrícola. Cada una de estas acciones se detalla a continuación:

9.1.3 Recarga artificial.

Por el momento no existe este tipo de recarga, pero al realizar las actividades de zanjás de infiltración y forestación se espera que estos incrementen un volumen sustancial al sistema acuífero.

9.2 Acciones de recarga de acuíferos

9.2.1 Zanjás de infiltración.

Estas acciones de retención hídrica sirven como reguladores hídricos al proceso de erosión de laderas, así como para el control de máximas avenidas en las cuencas, son obras que son construidas de forma manual o mecanizada, siguiendo las curvas de nivel y tiene por finalidad capturar y almacenar la esorrentía proveniente de las cotas superiores.

9.2.1.1 Criterios técnicos para su construcción y mantenimiento

Una de las instituciones que ha normado sobre las formas de implementación y diseño de estas obras hidráulicas es el ministerio de agricultura (MINAGRI), en la tabla 92 se presenta algunos criterios constructivos, es así que por ejemplo que la sección transversal de las zanjas puede variar en función al clima, la pendiente, el tipo de suelo y la vegetación. Tal como se observa a continuación.

Tabla 92

Criterios constructivos de zanja de infiltracion (MINAGRI).

Cobertura vegetal	Pendiente del terreno (%)	Distancia entre zanjas (m)
sin	10	30
	15	20
	20	15
	25	13
	30	11
con	10	45
	15	30
	20	23
	25	20
	30	17
	35	14
	40	12

Fuente: MINAGRI: Cartilla para la conservación de suelos.

Recomendaciones:

- Es muy importante que la base de la zanja esté bien nivelada, para evitar cualquier error se pueden dejar tabiques de tierra cada **5 a 8 m**.
- A cada 100 m de longitud de las zanjas se deben dejar accesos o caminos para el tránsito de personas y rebaños.
- Para evitar que las zanjas se llenen de tierra es necesario poner una barrera de pastos o plantas arbustivas en el borde superior de la zanja que ataje la tierra que arrastra el agua.
- Las zanjas de infiltración deben seguir las curvas de nivel.

9.2.1.2 Diseño de la zanja de infiltración.

A partir del mapa de pendientes, las zonas de acuífero de buena a muy buena productividad, se ha decidido implementar en las los diseños de zanjas para el cual nos hemos basado en el programa desarrollado por Mauricio Lemus Vera, elaboró en el año

2003 un programa computacional a Microsoft Excel, denominado «MAUCO» fuente recomendada por el Ing. Tedy Marocho)

9.2.1.2.1 Aplicación de modelo Mauco.

REQUISITOS:

- Mapa de pendientes:
- Determinar el coeficiente de escurrimiento.
- Información pluviométrica de intensidades de 24 horas.
- Criterios de diseño tabla de MINAGRI

1. Determinación de precipitación de diseño

Tabla 93

Registro de intensidades de precipitación.

PERIODO	AÑO	PPmax 24h
1	1994	23,61
2	1995	37,18
3	1996	32,46
4	1997	27,74
5	1998	36,59
6	1999	38,36
7	2000	57,25
8	2001	46,75
9	2002	40,84
10	2003	36,95
11	2004	55,48
12	2005	42,38
13	2006	22,78
14	2007	30,10
15	2008	36,59
16	2009	31,52
17	2010	46,16
18	2011	36,36
19	2012	32,82
20	2013	60,91
21	2014	38,84
22	2015	32,93
23	2016	32,82
24	2017	48,63
Número de registros		24
Promedio		38,59
Desviación standard		9,88

2. Calculo de Precipitaciones Máximas en 24 Horas con Periodo de Retorno Asociado

Método de Gumbel. Valores de Yn y Sn

Tabla 94

Método de Gumbel para estimación de valores de Yn y Sn.

n	my	sy	n	my	sy	n	my	sy
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

3. Estimación de máximas diarias para un Periodo de retorno T

Tabla 95

Estadística de Gumbel.

μy	0,5283
μy	1,0811
En donde	
α	0,11
β	33,76
Periodo de retorno T	10
Máxima 24 Horas	59,75

Bondad de ajuste (Función de Gumbel)

Coefficiente Correlación $R^2 = 0,9854$

Tabla 96

Test de Kolmogorov Smirnov

D supremo:	0,080	
D tabla 95 :	0,269	Significativo al 95 %

4. Calculo De Magnitudes e Intensidades

Magnitudes de precipitación máximas (mm) según el periodo y duración estimada según Espildora

Tabla 97

Precipitación máximas (mm) según el periodo y duración.

	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	1,41	4,9
Periodo de retorno								
2	2,17	3,33	4,42	5,83	7,16	8,33	11,75	40,82
5	2,77	4,26	5,65	7,46	9,16	10,65	15,02	52,21
10	3,17	4,88	6,46	8,54	10,49	12,19	17,19	59,75
15	3,40	5,22	6,92	9,14	11,23	13,06	18,42	64,01
20	3,55	5,47	7,25	9,57	11,76	13,67	19,28	66,98

Tabla 98

Intensidades máximas (mm) según el periodo y duración estimada (Espildora).

Tiempo min	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 años								
2	25,99	19,99	17,66	11,66	9,55	8,33	5,87	40,82
5	33,24	25,57	22,59	14,92	12,22	10,65	7,51	52,21
10	38,05	29,27	25,85	17,07	13,98	12,19	8,60	59,75
15	40,75	31,35	27,69	18,29	14,98	13,06	9,21	64,01
20	42,65	32,81	28,98	19,14	15,68	13,67	9,64	66,98

Intensidad de precipitación de Diseño = 12.19 mm/h

Así mismo se ha generado la Curva IDF, para la zona de intervención ubicada a 3990 msnm como altitud media.

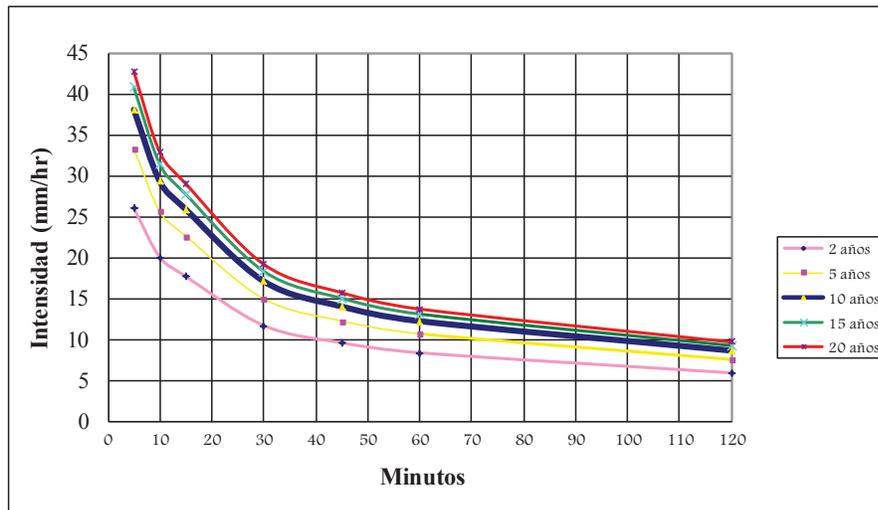


Figura 27. Curva de duración intensidad frecuencia

9.2.1.2.2 Diseño de zanja de infiltración para zonas de pendiente

a) Para laderas de pendiente entre 30 %

Según el programa MAUCO define el uso de la correspondiente en función de las variables: pendiente, cobertura vegetal y tipo de uso de suelo:

Tabla 99

Coefficiente de escorrentía.

Cobertura Vegetal	Tipo de suelo	PENDIENTE DE LADERA				
		>50%	20-50 %	5-20%	1-5%	0-1%
Sin Vegetación	Impermeable	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60
	Semipermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Permeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
Pastos, Vegetación ligera	Impermeable	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45
	Semipermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Permeable	0,35	0,30	0,25	0,20	0,15

Coefficiente de escurrimiento = 0.50

b) Dimensiones de Zanja de infiltración:

Tabla 100

Características geométricas de la zanja de infiltración.

Longitud Zanja Individual (m)	Base (m)	Altura (m)	Ancho superior (m)
6	0,35	0,40	0,55

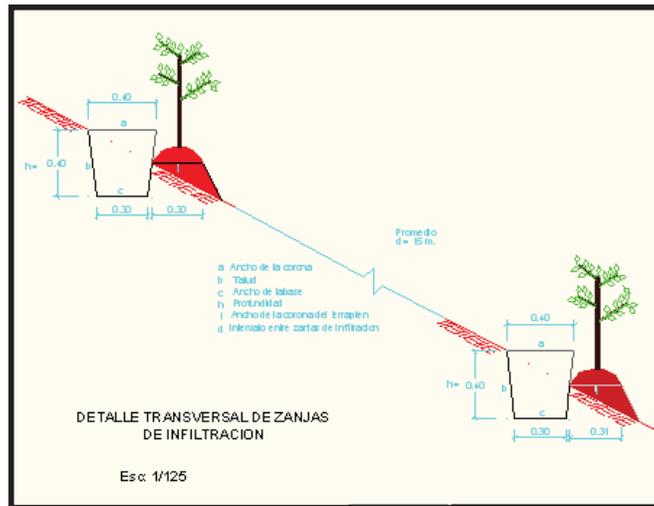


Figura 28. Diseño de zanja de infiltración

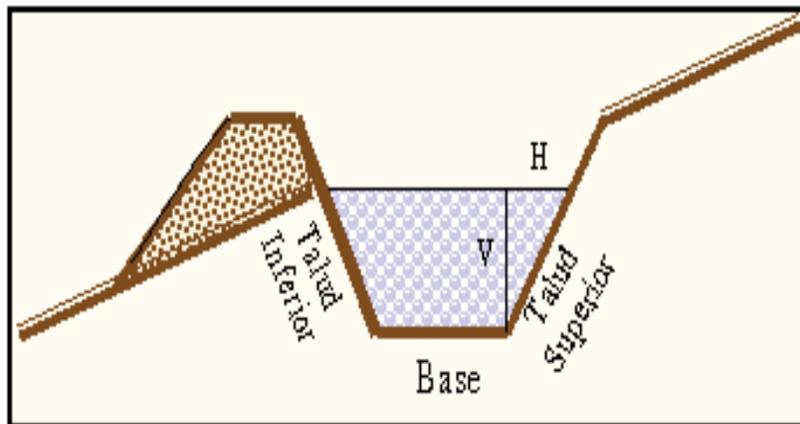


Figura 29. Sección transversal de zanja de infiltración

Tabla 101

Características del ángulo de Talud de las paredes.

Talud superior (aguas arriba)			Talud Inferior (aguas abajo)		
1:Z	Angulo (grados)	Longitud m	1:Z	Angulo (grados)	Longitud m
0,25	14,036	0,412	0,25	14,036	0,412

Tabla 102

Capacidad del volumen de almacenamiento de la zanja de infiltración.

Área Zanja Sección Transversal (m2)	0,180
Volumen Total de Zanjas (m3)	1,080
Volumen Zanja Individual (m3)	1,080

Tabla 103

Balance infiltración escorrentía.

Precipitación Máxima 1 Horas (mm) Periodo de retorno 10 años	12,19
Precipitación Infiltrada	6,10
Precipitación Escurrida (mm)	6,10

c) Distanciamiento entre zanjas de infiltración:

De acuerdo a los cálculos hechos nos recomienda una distancia entre zanja y zanja de infiltración una distancia de 29.52 m., pero por razones constructivas se hará a 30 mt.

9.2.1.2.3 Costos de construcción de zanjas de infiltración

Para el presente ítem, se ha propuesto la construcción de zanjas de infiltración en 684.68 ha. que son las hectáreas que corresponden a los acuíferos de muy buena productividad, buena y regular productividad, teniendo como actividades lo siguiente:

Tabla 104

Resumen de costos acción 01

M.F. 1	“Estudio hidrogeológico para recarga de acuíferos en la microcuenca Tambuque, distrito Paruro, región Cusco – 2018”	HA	684.68	S/. 403,461.39
ACCIÓN 01.	Construcción de zanjas de infiltración	HA	684.68	S/. 403,461.39
	Trazo y replanteo	HA	684.68	S/. 24,795.69
	Excavación de Zanjas de Infiltración	HA	684.68	S/. 300,862.09
	Consolidación de las Zanjas de infiltración	HA	684.68	S/. 77,803.61

El costo total para el desarrollo de la presente actividad será de S/ 403,461.39 ha, para cubrir una era de 684.68 ha.

ZANJAS DE INFILTRACIÓN

COSTOS UNITARIOS - ACCIÓN 01. CONSTRUCCIÓN DE ZANJAS DE INFILTRACIÓN

ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS						
Proyecto	“Estudio hidrogeológico para recarga de acuíferos en la microcuenca Tambuque, distrito Paruro, región Cusco – 2018”					
Acción	ZANJAS DE INFILTRACIÓN					
Actividad	Trazo y replanteo					
Unidad	ha					
Cantidad	1					
Partida	1					
Insumos	Unidad	Cantidad	P.U.	Total	Financiamiento	
					Municipalidad	Comunidad
Mano de obra						
Técnico Agropecuario	Mes	0.003	2500.000	8.350	8.35	
Peón comunal	Jornal	1.000	25.000	25.000	20.00	5.00
Insumos						
Yeso X 25kg	Bolsa	0.050	7.000	0.350	0.35	
Herramientas manuales						
Cordel *100m	Ovillo	0.010	14.000	0.140	0.14	
Zapapico con mango	Unid	0.010	30.000	0.300	0.30	
Nivel A	Unid	0.100	15.000	1.500	1.50	
Wincha de 50m	Unid	0.010	45.000	0.450	0.45	
Materiales de oficina						
Libreta de campo	Und	0.050	2.500	0.125	0.13	
Total				36.215	31.22	5.00
%				100.000	86	14

ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS						
ZANJAS DE INFILTRACIÓN						
Actividad						
Acción	EXCAVACIÓN DE ZANJAS DE INFILTRACIÓN					
Unidad	ha					
Cantidad	1					
Partida	2.00					
Insumos	Unidad	Cantidad	P.U.	Total	Financiamiento	
					Municipalidad	Comunidad
Mano de obra						
Técnico Agropecuario	Mes	0.003	2500.000	8.350	8.350	
Peón comunal	Jornal	15.000	25.000	375.000	300.000	75.000
Herramientas manuales						
Zapapico con mango	Unid	0.100	30.000	3.000	3.000	
Pala recta	Unid	0.100	28.000	2.800	2.800	
Pala cuchara	Unid	0.100	26.000	2.600	2.600	
Barreta de fierro 1 1/4"x 1.50m	Unid	0.010	70.000	0.700	0.700	
Comba de 8 lib	Unid	0.010	30.000	0.300	0.300	
Nivel A	Unid	0.010	15.000	0.150	0.150	
Wincha de 50m	Unid	0.010	45.000	0.450	0.450	
Wincha metálica de 5 m.	Unid	0.010	10.000	0.100	0.100	
Materiales de oficina						
Libreta de campo	Unid	0.010	2.500	0.025	0.025	
Servicio de terceros						
Mantenimiento de camioneta	Unid	0.005	2400.000	10.999	10.999	
Mantenimiento de motos	Unid	0.005	2750.000	12.730	12.730	
Viáticos	Unid	0.005	4800.000	22.219	22.219	
Total				439.42	364.42	75.00
%				100.00	83	17

ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS

Proyecto	“Estudio hidrogeológico para recarga de acuíferos en la microcuenca Tambuque, distrito Paruro, región Cusco – 2018”					
Actividad	ZANJAS DE INFILTRACIÓN					
Acción	CONSOLIDACIÓN DE LAS ZANJAS DE INFILTRACIÓN					
Unidad	Ha					
Cantidad	1					
Partida	3.00					
Insumos	Unidad	Cantidad	P.U.	Total	Financiamiento	
					Municipalidad	Comunidad
Mano de obra						
Técnico Agropecuario	Mes	0.003	2500.000	8.350	8.350	
Peón comunal	Jornal	4.000	25.000	100.000	80.000	20.000
Herramientas manuales						
Pala cuchara	Unid	0.010	26.000	0.260	0.260	
Wincha metálica de 5 m.	Unid	0.500	10.000	5.000	5.000	
Materiales de oficina						
Libreta de campo	Und	0.010	2.500	0.025	0.025	
Total				113.635	93.635	20.000
%				100.000	82.400	17.600

9.2.2 Forestación con plantas nativas

En la propuesta de recarga de acuíferos la forestación es una actividad eficiente y de bajo costo, dentro del cual se ha visto por forestar 684.68 ha correspondientes a acuíferos de buena. Muy buena y regular productividad tal como se observa en el mapa de acuíferos.

9.2.2.1 Propósitos de la forestación i/o reforestación.

Esta actividad cumplirá el propósito de:

- Regular el escurrimiento superficial a través de la interceptación de lluvia e infiltración del mismo.
- Conservar y mejorar los servicios ambientales.
- Contribuye con el control de la erosión del suelo.

- Crear condiciones favorables para la infiltración del agua en el suelo a través de la incorporación de materia orgánica en diversos grados de descomposición.
- Crea un microclima favorable para el desarrollo de otras especies mejorando la capacidad de retención del agua.

9.2.2.2 Consideraciones edafoclimáticas de las principales especies nativas.

En la tabla siguiente se presenta resumidamente como se distribuye la forestación según piso altitudinal, rangos de temperatura, tipos de suelo, etc.

Tabla 105

Consideraciones edafoclimáticas 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

Así mismo cabe indicar que por recomendación del INIA, en una hectárea de terreno, se necesita aproximadamente 1111 plántones de especies arbóreas nativas, teniendo en cuenta que existe una pérdida del 3 %.

9.2.2.3 Costos de la Forestación.

Para el presente ítem, se ha propuesto la implantación de forestación en 684.68 ha que son las hectáreas de correspondientes a los acuíferos de muy buena productividad, buena y regular productividad, teniendo como actividades lo siguiente:

Tabla 106
Componente 2: forestación en zonas de acuíferos para 171 ha.

ITEM	ELEMENTO DEL COSTO	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIOS DE MERCADO	
				Costo Unitario (S/.)	TOTAL
02.01	PRODUCCION DE PLANTONES				21,737.61
02.01.01	Propagación de plantones				21,737.61
02.01.01.01	- Adquisición de semillas	Kg	1.00	2,240.00	2,240.00
02.01.01.02	- Apertura de cama de recría	m3	12.00	8.53	102.36
02.01.01.04	- Adquisición de esquejes	mil	5.00	1.65	8.25
02.01.01.05	- Adquisición de sustrato	m3	10.00	157.34	1,573.40
02.01.01.06	- Almacigo	m2	10.00	255.45	2,554.50
02.01.01.07	- Relleno de bolsas	mil	10.00	126.18	1,261.80
02.01.01.08	- Repique de plántulas	mil	10.00	7.73	77.30
02.01.01.09	- Labores culturales	glb	12.00	310.00	3,720.00
02.01.01.10	- Riego	m2	30,000	0.34	10,200.00
02.02	PLANTACIONES EN CAMPO DEFINITIVO				42,503.80
02.02.01	Plantaciones en campo definitivo				42,503.80
02.02.01.01	- Trazo y marcación de terreno	m2	10,000	1.04	10,400.00
02.02.01.02	- Apertura de hoyos	u	10,000	0.75	7,500.00
02.02.01.03	- Distribución de plantones	viaje	6	1,811.80	10,870.80
02.02.01.04	- Plantación de plantones	c	100	137.33	13,733.00
02.03	MITIGACION DE IMPACTOS				37,768.80
02.03.01	Medidas de Mitigación de Impactos Ambientales				37,768.80
02.03.01.01	- Recojo de bolsas forestales	glb	3	370.80	1,112.40
02.03.01.02	- Transporte de bolsas forestales	glb	3	2,268.80	6,806.40
02.03.01.03	- Equipos forestales	Und.	10	2,985.00	29,850.00
SUBTOTAL COMPONENTE 2					102,010.21

Del análisis de costos, el esquema presente se ha estimado para 171 ha, haciendo un costo de S/ 102,010.21 ; para cubrir loa 684.68 ha se necesita un costo total de S/ 408,040.84.

El detalle del presente análisis se presenta en el cuadro siguiente para 171 ha.

CONCLUSIONES

1. De acuerdo a los parámetros climáticos se tiene en la zona de estudio una precipitación anual de 773.85 mm/año, con una tasa de precipitación superior al 70% entre los meses de diciembre, enero, febrero y marzo, el 25% de precipitación entre los meses de abril, octubre y noviembre, y el 5% de la precipitación anual se da en los meses de mayo, junio, julio, agosto y setiembre, los cuales generan un decaimiento alto en la recarga de los acuíferos. Con respecto a la temperatura se tiene una temperatura media anual de 9.94°C siendo el mes de noviembre el mes más caluroso con 11.25°C y el mes más frío es el mes de julio con 7.81°C, así mismo la zona de estudio presenta una humedad relativa de 71.41% y una evapotranspiración anual de 1350.77 mm/año.
2. A nivel regional, la zona de estudio se encuentra ubicado en montañas estructurales de rocas sedimentarias, con relieve accidentado y con una pendiente predominante de tipo empinada que ocupa el 46.29% de la cuenca. Localmente presenta dos relieves bien marcados: altiplanicie hacia la cabecera de cuenca con pendientes allanadas y vertiente de montaña con pendientes desde moderadamente empinadas a escarpadas.
3. A nivel geológico se han identificado 12 unidades geológicas en la microcuenca Tambuque, las cuales van desde el cretácico inferior (Fm. Maras) hasta el cuaternario actual de depósitos fluviales, litológicamente la zona de estudio en su totalidad está compuesta de rocas sedimentarias, conformadas por areniscas, lutitas, calizas y margas; así como materiales de depósito cuaternarios aluviales, coluviales y de origen fluvial; la formación sonco es la unidad geológica que ocupa el 29.28% del área total de la cuenca, seguida de la formación Kayra con un 22.76% de la zona de estudio. Estructuralmente la zona de estudio presenta una deformación de tipo anticlinal inclinado con eje de vergencia hacia el SO, que afectan a las formaciones de Ayabacas, Puquín, Quilque, Kayra, Soncco y Paruro afectada por las fallas regionales Yaurisque - Pappres y Miska – Araipallpa, así mismo hacia la parte inferior media se observa la existencia de sistemas de deformación en anticlinal y sinclinal de carácter simétrico que afecta parte de la formación Paruro con dirección de eje de charnelas NNO-SSE. Se ha podido observar 3 sistemas de discontinuidades con una tendencia de 35° NE.

4. A nivel de fuente de disponibilidad hídrica, se ha identificado la existencia de una laguna artificial en represamiento denominada Tirina, con una fuente de alimentación permanente conocida como manante Tirina 1 que aporta 4 lt/seg de agua. La represa Tirina tiene un estado de conservación mala y deterioro generalizado del concreto, esta laguna tiene una capacidad de almacenamiento de 2000 m³ y en su mejor momento almacenó 20000 m³.

Se han identificado 72 puntos de manante dentro y alrededores de la zona de estudio cuyos caudales van desde 4 lt/seg (Tirina 1) hasta 0.002 lt/seg (Tankarcancha 5); con respecto al régimen de los manantes, 52.78% del total aún conservan su régimen permanente, 16.67% de los manantes cambiaron de régimen de permanente a intermitente, el 25% de manantes cambiaron de intermitentes a ser temporales, y el 5.56% de los manantes inventariados pasaron a ser extintos. En cuanto al uso del agua mayoritariamente están destinadas al riego y abrevadero de animales.

5. En la zona de estudio se tiene la presencia amplia de areniscas y lutitas de las formaciones Soncco, Kayra y Puquin, que por el alto grado de fracturamiento, estas unidades pasan a denominarse acuíferos fisurados y calizas denominándolas como acuífero kárstico, ocupando un área de 792.72 ha. con permeabilidades que van desde 3.36 m/día a los 15.12 m/día y un total de 46 manantes con productividades que van desde los 0.04 l/s hasta los 4 l/s del manante Tirina 1.

Los conglomerados inalterados de las formaciones Tacaza y Paruro y las lutitas pelíticas lacustres de grano fino de la formación Quilque, ocupan un área de 318.58 ha. que por su poca permeabilidad que en promedio es de 0.013m/día y la muy baja productividad de manantes en estas formaciones con 7 manantes, pasan a ser acuitardos fisurados conglomerádicos y lutíticos.

A nivel de Acuícludos se tienen los suelos de cobertura que presentar permeabilidades bajas de 0.00081m/día y nula productividad, denominando a estas unidades como suelos impermeables, representados los depósitos cuaternarios que ocupan un área de 57.80 hectáreas.

Por ultimo tenemos a un no acuífero representado por la formación maras que ocupa un área insignificante de 0.35 ha. En la microcuenca Tambuque.

6. Según el diagrama triangular de Piper Hill, los manantes Tirina 1 y Collpapata 2 son aguas Cálcidas Sulfatadas bicarbonatadas, Ñayqui 2 es de clase Cálcida bicarbonatada y Collpaunupata es de clase Sódica Clorurada sulfatada; según el diagrama radial de Stiff modificado las aguas de los manantes Tirina 1, Collpapata 2 y Ñayqui 2 son del tipo Cálcida bicarbonatada con concentraciones importantes de cloro y sodio, el manante Collpaunupata es de tipo sódica clorurada con concentraciones medias de calcio y carbonatos.

La calidad de agua de los manantes Tirina 1, Collpapata 2 y Ñayqui 2, no excede los LMP de la OMS, sin embargo, la calidad de agua del manante Collpaunupata excede ampliamente los LMP, considerándose un agua no apta para el consumo Humano.

En cuanto al examen microbiológico del manante TIRINA 1, existe presencia de contaminación por coliformes totales y fecales que excede al valor recomendado por la OMS de cero, por lo tanto, no es agua apta para el consumo humano.

Para la agricultura, los manantes de la comunidad de Huatacalla el 92% no tiene ningún riesgo de salinidad, y el 8 % de sus manantes están con riesgo alto a severo de tener problemas por salinidad a los cultivos.

7. La microcuenca genera una descarga hídrica anual de 527936,56 m³/año y de acuerdo al balance hídrico de la microcuenca Tambuque se observa el mayor déficit de 35.87 l/s para el mes de mayo con el cual se pueda satisfacer mínimamente las actividades productivas en la microcuenca Tambuque, en la microcuenca Tambuque existe un déficit de 363 566.81 m³/año donde el mes de Mayo es el mes con más requerimiento de 96,070.71 m³ para satisfacer la demanda hídrica.
8. Dentro de las propuestas de recarga se tiene una recarga directa en época de lluvias de 131,704.19 m³ con una futura capacidad de almacenamiento de represa Tirina de 20,000 m³ de agua. Dentro de las acciones constructivas se tiene la implementación de zanjas de infiltración en un área de 684.68 hectáreas que representa el área de acuífero de muy buena productividad, buena productividad y regular productividad, que representa un costo total de S/. 403,461.39. de igual manera la implementación de forestación para la misma área de acuífero se requiere un presupuesto de S/. **408,40.84.**

RECOMENDACIONES

1. Recomendamos realizar estudios de geofísica más a detalle sobre los acuíferos de muy buena productividad para una mejor interpretación de geología estructural, y delimitación de cuerpos acuíferos.
2. Las comunidades en el ámbito de la microcuenca deberán realizar el monitoreo de sus fuentes de agua con fines de verificar el comportamiento del régimen de estos, y relacionarlos a causas de orden natural o antrópico.
3. Realizar charlas de concientización ambiental en las comunidades del ámbito de la microcuenca con la finalidad de construir conciencia ambiental en la zona de estudio.
4. realizar evaluaciones de mediano y largo plazo para verificar los resultados de las acciones de retención hídrica.
5. Realizar estudios más detallados acerca del estado de la presa Tirina.
6. Recomendamos realizar galerías filtrantes para un mayor aprovechamiento del recurso hídrico.
7. Los problemas de salinidad pueden ser muy graves a menos que se establezcan una serie de tratamientos como lavado de sales frecuentemente o cambio de cultivo por otro u otros que resistan mejor las condiciones de salinidad.
8. Se recomienda un tratamiento de desinfección del agua de esta fuente con cloro en reservorio.
9. Es muy importante que la base de la zanja esté bien nivelada, para evitar cualquier error se pueden dejar tabiques de tierra cada 5 a 8 m.
10. Para evitar que las zanjas se llenen de tierra es necesario poner una barrera de pastos o plantas arbustivas en el borde superior de la zanja que ataje la tierra que arrastra el agua.
11. Las zanjas de infiltración deben seguir las curvas de nivel.

BIBLIOGRAFÍA

1. Custodio Gimena, Emilio y Llamas, Román. Hidrología Subterránea. Editorial OMEGA. TII 2º edición – 1999.
2. Diccionario de Geología y Mineralogía. Ediciones RIODUERO. Edición 3º - 1995.
3. Martínez Alfaro, P.E. Fundamentos de Hidrogeología. Editorial S.A Mundi-Prensa Libros. 1º edición 2005.
4. Martínez Rubio, Juan y Ruano Pagan, Pedro. Aguas Subterráneas Captación y Aprovechamiento. Editorial S.A PROGESA Promotora Generales de Estudios. Edición 1º - 2004.
5. MORGAN R.P.C. (1997). Erosión y Conservación de Suelos. Ediciones Mundi Prensa. Madrid.
6. Navarro Hevia, Joaquín. Hidrología de Conservación de aguas, Captación de Precipitaciones Horizontales y escorrentías en zonas secas. Editorial Universidad de Valladolid, Secretaria de Publicaciones E.I. Edición 1º - 2009.
7. PROGRAMA DE NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE (PNUMA). (2002). Deforestación y reforestación-Lecturas de apoyo
8. Ramos Miguel H. como escribir un artículo de revisión. Revista de Posgrado de la Via Cátedra de Medicina - N° 126 – Abril 2003 Pág. 1-3
9. Rodrigo García, Manuel. Hidrogeología Básica. Las Aguas Subterráneas y su Flujo. Editorial FIEC. 1º Edición - 2006.
10. VASQUES VILLANUEVA A. (1997). Manejo de cuencas alto andinas. UNALM, LIMA, PERU.
11. Wendor Chereque, Morán. Hidrología para Estudiantes de Ingeniería Civil. Auspiciado por CONCYTEC. Edición 2º.
12. Avila, R. (1997) – Introducción a la metodología de la investigación. Lima, 206 p.
13. Carlotto, V. Cárdenas, J. Carlier, G. “Boletín n° 138 Seria A Carta Geológica Nacional, Escala 1:50,000.” Lima – Perú 2011 INGEMMET
14. SENAMHI, Mapa climático del Perú 2018, Recuperado en: <https://www.senamhi.gob.pe/?p=mapa-climatico-del-peru>
15. MINAM, Clasificación de suelos y pendientes (2018), Recuperado en: http://geoservidorperu.minam.gob.pe/geoservidor/Archivos/Mapa/Tacna/Memoria_Descriptiva_Suelos.pdf

16. ANA, “Delimitación y codificación de unidades hidrográficas del Perú” (2012)
17. OMS, “Guías para la calidad del agua potable” PRIMER APÉNDICE A LA TERCERA EDICIÓN Volumen 1 Recomendaciones Organización Mundial de la Salud
18. INEI, “Censo poblacional Nacional 2007: XI de Población y VI de Vivienda.”
19. SUNASS, LIMITES MAXIMO PERMISIBLES (LMP) REFERENCIALES DE LOS PARAMETROS DE CALIDAD DEL AGUA. (1946).
20. Pulido, J. (1978) – *Hidrologia practica*. Bilbao; URMO, 314 p.
21. ANA (2008) – *Delimitacion y codificación de unidades hidrográficas del Perú*. (Consulta: 21 noviembre 2014). Disponible en:
<<http://www.ana.gob.pe/media/327118/resumen%20ejecutivo%20uh.pdf>>
22. Struckmeier, W.F. & Margat, J.(1995) – *Hydrogeological maps; a guide and a standars legend. Hannover; international association of hidrogeologists, international constributions to hydrogeology, 17, 193 p.*