

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERIA GEOLÓGICA Y METALURGICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLÓGICA



**“EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA MICROCUENCA
MARIÑO – APURIMAC”**

TESIS

PRESENTADO POR:

Bach. ELMER CONDORI QUISPE

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO GEÓLOGO

Puno – Perú

2016

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE ING. GEOLÓGICA E ING. METALURGICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLÓGICA

TESIS

**“EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA MICROCUENCA
MARIÑO – APURIMAC”**

TESIS PRESENTADO POR EL BACHILLER:

ELMER CONDORI QUISPE

A la coordinación de investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica y Metalúrgica,
Escuela Profesional de Ingeniería Geológica, como requisito para optar el Título
Profesional de: INGENIERO GEÓLOGO

APROBADO POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

PRESIDENTE:

.....
Ing. FLAVIO ROSADO LINARES

PRIMER MIEMBRO:

.....
Ing. VALENTÍN FERNÁNDEZ VALDIVIA

SEGUNDO MIEMBRO

.....
Ing. JAIME C. RODRIGO MARTÍNEZ

DIRECTOR DE TESIS:

.....
M.Sc. MIGUEL CALCINA BENIQUE

ASESOR DE TESIS:

.....
Dr. ROLANDO APAZA CAMPOS

ÁREA: Geología General

TEMA: Prospección y Evaluación de Aguas Superficiales y Subterráneas

PUNO - PERÚ

2016

DEDICATORIA:

*A Dios por haberme dado fuerza y
voluntad para lograr esta meta.*

*A las dos personas más importantes
en mi vida, mi madre Isabel y mi hermana
Esther.*

AGRADECIMIENTOS

La presente investigación ha sido posible gracias al apoyo del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), a quien estaré eternamente agradecido por haberme permitido realizar esta investigación.

Agradezco a mi asesor de la Universidad Nacional del altiplano, Dr. Rolando Apaza Campos, por su valioso tiempo, revisión y sugerencias que permitieron llevar a buen puerto la presente tesis.

Agradezco al Msc. Ing. Fluquer Peña quien me permitió realizar el presente estudio, así mismo por los conocimientos compartidos, revisión y sugerencias para la culminación de este estudio.

A mis compañeros de trabajo Wai Long Ng y Maricarmen Carrásco por sus opiniones y sugerencias. Y a Karen Dueñas por su apoyo en los trabajos de campo.

A mis amigos y familiares que de una u otra manera me han brindado consejos e ideas importantes, los cuales se han hecho merecedores de mi estima y respeto que siempre les tendré presente en mis días.

ÍNDICE

Dedicatoria.....	i
Agradecimientos.....	ii
Lista de figuras.....	vii
Lista de cuadros.....	ix
Lista de fotografías.....	x
Lista de gráficos.....	xi
Lista de siglas	xiii
Lista de abreviaturas.....	xiii
Listado de anexos.....	xiv
Resumen.....	xv
CAPITULO I.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.2. HIPÓTESIS.....	2
1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	2
1.3.1. Objetivo General.....	2
1.3.2. Objetivos específicos	2
1.4. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.....	2
1.4.1. Trabajo pre-campo o gabinete I.....	2
1.4.2. Trabajo de campo	3
1.4.3. Trabajo post-campo o gabinete II.....	10
1.5. ALCANCES Y LIMITACIONES	12
CAPITULO II.....	13
2. MARCO TEÓRICO	13
2.1. ANTECEDENTES.....	13
2.2. GEOMORFOLOGÍA	14
2.3. GEOLOGÍA REGIONAL	15
2.3.1. Paleozoico.....	15
2.3.1.1. Grupo Copacabana.	15
2.3.1.1.1. Copacabana Inferior (Pi-ci).	15
2.3.1.1.2. Copacabana Superior (Pi-cs)	15
2.3.1.2. Grupo Mitu (PsT-mi).....	16
2.3.2. Mesozoico.....	16
2.3.2.1. Formación Socosani (Jm-so)	16
2.3.2.2. Grupo Yura.....	17
2.3.2.2.1. Formación Puente (Jm-pu)	17
2.3.2.2.2. Formación Cachíos (Jm-ca).....	17
2.3.2.2.3. Formación Labra (Js-la).....	17
2.3.2.2.4. Formación Gramadal (Js-gr).....	18
2.3.2.2.5. Formación Hualhuani (Ki-hu)	18
2.3.2.3. Formación Murco (Ki-mu)	18
2.3.2.4. Formación Arcurquina (Kis-Ar).....	18
2.3.3. Unidades Cenozoicas.....	19

2.3.3.1.	Depósitos Cuaternarios.....	19
2.3.3.1.1.	Depósitos morrénicos (Qpl-mo).....	19
2.3.3.1.2.	Depósitos aluviales (Qh-al).....	19
2.3.3.1.3.	Depósitos coluviales (Qh-co).....	20
2.3.3.1.4.	Depósitos fluviales (Qh-fl).....	20
2.3.3.1.5.	Depósitos de Bofedal (Qh-bo).....	20
2.4.	ROCAS INTRUSIVAS.....	22
2.4.1.	Ortogneis de Abancay (Ts-ogn).....	22
2.4.2.	Unidad Lambrana.....	23
2.4.2.1.	Plutón Marjune (PN-lam-ma/mgr).....	23
2.4.2.2.	Plutón Sanjo (PN-lam-sj/di).....	23
2.4.3.	Unidad Cotabambas.....	23
2.6.	GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....	25
2.6.1.	Falla Abancay-Curahuasi.....	25
2.6.2.	Falla Llactabamba.....	25
2.6.3.	Pliegues.....	26
2.7.	HIDROGEOLOGÍA.....	28
2.7.1.	Cuenca.....	28
2.7.2.	Partes de una cuenca hidrográfica.....	29
2.7.3.	Clasificación hidrogeológica de las rocas.....	30
2.7.4.	Tipos de acuíferos.....	32
2.7.5.	Parámetros hidrogeológicos.....	32
2.7.5.1.	Porosidad.....	32
2.7.5.2.	Permeabilidad (K).....	33
2.8.	HIDROGEOQUÍMICA.....	35
2.8.1.	Parámetros físico-químicos del agua.....	35
2.8.1.1.	Potencial de hidrogeniones (pH).....	35
2.8.1.2.	Conductividad eléctrica (CE).....	36
2.8.1.3.	Total de sólidos disueltos (STD).....	36
2.8.1.4.	Temperatura (T°).....	36
2.8.2.	Composición de las aguas subterráneas.....	37
2.8.3.	Clasificación química del agua subterránea.....	37
2.8.3.1.	Clasificación por iones dominantes.....	37
CAPÍTULO III.....		42
3.	CARACTERIZACIÓN DEL AREA DE INVESTIGACION.....	42
3.1.	ASPECTOS GENERALES DE LOCALIZACIÓN.....	42
□	Acceso y vías de comunicación.....	42
3.1.1.	Flora y Fauna.....	44
3.1.2.	Santuario Nacional de Ampay.....	45
3.2.	ECOLOGÍA Y CLIMA.....	46
3.2.1.	El monte espinoso-Subtropical (mte-S).....	48
3.2.2.	Bosque seco-Subtropical (bs-S).....	48
3.2.3.	Bosque seco - Montano Bajo Subtropical (bs-MBS).....	48
3.2.4.	Bosque húmedo-Montano Bajo Subtropical (bh-MBS).....	48
3.2.5.	Bosque húmedo - Montano Subtropical (bh-MS).....	49

3.2.6. Páramo muy húmedo - Subalpino Subtropical (pmh-SaS).....	49
3.2.7. Tundra pluvial - Alpino Subtropical (tp-AS)	50
3.2.8. Nival Subtropical (NS)	50
3.3. HIDROGRAFÍA.....	52
3.4. CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS DE LA MICROCUENCA MARIÑO.	52
3.4.1. Parámetros básicos.	52
3.4.2. Parámetros geomorfológicos.	52
3.4.3. Parámetros de relieve.....	55
3.4.4. Altitudes características	62
3.4.5. Características y parámetros de la red de drenaje.....	62
3.5. HIDROLOGÍA.....	65
3.5.1. Temperatura.....	65
3.5.2. Precipitación	66
3.5.3. Evapotranspiración (Etp).....	66
3.5.4. Excedente hídrico	66
3.5.5. Esguimiento superficial.....	71
3.6. HIDROGEOQUÍMICA.	73
3.6.1. Estaciones de muestreo de las aguas subterráneas.	73
a) Fuentes muestreadas en época de estío (Ago, Oct y Nov del 2014).	73
b) Fuentes muestreadas en época de lluvias (Mar del 2015).	74
3.6.2. Resultados químicos	74
a) Balance Iónico	77
3.6.3. Análisis de parámetros fisicoquímicos de las aguas.....	78
a) pH	79
b) Conductividad eléctrica (CE)	86
3.6.4. Facies hidroquímicas.	92
a) Diagramas de Stiff.....	92
b) Diagramas de Piper y Scatter	97
3.6.5. Análisis de aguas para consumo humano.	100
a) Calidad del agua para uso potable	100
3.6.6. Análisis de aguas para riego de vegetales	108
CAPÍTULO IV	112
4. EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	112
4.1. EVALUACIÓN HIDROGEOLOGICA.....	112
4.1.1. Inventario de recursos hídricos (manantiales).	112
4.1.2. Clasificación de los manantiales inventariados.	114
4.1.3. Análisis e interpretación hidrogeoquímica	118
a) Análisis del mapa hidroquímico	118
b) Índice de saturación	120
c) Análisis por métodos estadísticos.....	122
□ Diagrama de Correlación de Pearson	123
□ Análisis cluster	124
4.1.4. Clasificación hidrogeológica	128
4.1.4.1. Conductividad Hidráulica.....	129

4.1.4.2. Caracterización hidrogeológica de las formaciones geológicas - mapa hidrogeológico.....	131
4.1.4.3. Unidades hidrogeológicas de la microcuenca Mariño.....	133
4.1.4.3.1. Acuíferos porosos no consolidados	134
4.1.4.3.1.1. Acuífero poroso no consolidado aluvial	134
4.1.4.3.1.2. Acuífero poroso no consolidado fluvial	134
4.1.4.3.1.3. Acuífero poroso no consolidado morrénico	135
4.1.4.3.2. Acuífero fisurado sedimentario	137
4.1.4.3.2.1. Acuífero fisurado sedimentario Arcurquina	137
4.1.4.3.2.2. Acuífero fisurado sedimentario Murco	137
4.1.4.3.2.3. Acuífero fisurado sedimentario Hualhuani.....	137
4.1.4.3.2.4. Acuífero fisurado sedimentario Labra.....	138
4.1.4.3.2.5. Acuífero fisurado sedimentario Puente	138
4.1.4.3.3. Acuífero fisurado kárstico	140
4.1.4.3.3.1. Acuífero fisurado kárstico Copacabana inferior.....	140
4.1.4.3.4. Acuitardo sedimentario.....	141
4.1.4.3.4.1. Acuitardo sedimentario coluvial.....	141
4.1.4.3.4.2. Acuitardo sedimentario Copacabana Superior	142
4.1.4.3.4.3. Acuitardo sedimentario Gramadal.....	142
4.1.4.3.4.4. Acuitardo sedimentario Cachíos.....	143
4.1.4.3.4.5. Acuitardo sedimentario Socosani	143
4.1.4.3.5. Acuitardo volcánico sedimentario	145
4.1.4.3.5.1. Acuitardo volcánico sedimentario Mitu	145
4.1.4.3.6. Acuitardo intrusivos y subvolcánico	145
4.1.5. Modelo hidrogeológico	148
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	151
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	153

LISTA DE FIGURAS

- **Figura 1.1** Esquema de ensayos de infiltración de carga constante y carga variable
- **Figura 2.1** Columna estratigráfica de la microcuenca Mariño.
- **Figura 2.2** Mapa geológico de la microcuenca Mariño
- **Figura 2.3** Cuenca, subcuenca y microcuenca
- **Figura 2.4** Partes de la cuenca
- **Figura 2.5** Ejemplo de un diagrama Stiff.
- **Figura 2.6** Agua clasificada por medio del diagrama de Piper
- **Figura 2.7** Ejemplo de un dendrograma
- **Figura 3.1** Mapa de ubicación política de la microcuenca Mariño
- **Figura 3.2** Mapa de ubicación hidrográfica.
- **Figura 3.3** Diagrama de clasificación de zonas de vida, según Holdridge (ONERN, 1976).
- **Figura 3.4** Mapa Ecológico de la microcuenca Mariño
- **Figura 3.5** Mapa de pendientes de la microcuenca Mariño
- **Figura 3.6** Orden de los cursos fluviales de la microcuenca Mariño, según Strahler (1952).
- **Figura 3.7** Mapa de temperatura.
- **Figura 3.8** Mapa de precipitación.
- **Figura 3.9** Mapa de evapotranspiración.
- **Figura 3.10** Mapa de excedente hídrico.
- **Figura 3.11** Puntos de muestreo en época de estío (Ago, Oct y Nov del 2014).
- **Figura 3.12** Puntos de muestreo de las fuentes monitoreadas época de lluvia (Mar del 2015).
- **Figura 3.13** Mapa de variaciones de pH de fuentes de aguas subterránea muestreadas en época de estío (Ago, Oct y Nov del 2014).
- **Figura 3.14** Mapa de variaciones de pH de fuentes de agua subterráneas monitoreadas en época de lluvia (Mar del 2015).
- **Figura 3.15** Mapa de variaciones de conductividad eléctrica de fuentes muestreadas en época de estío (Ago, Oct y Nov del 2014).
- **Figura 3.16** Mapa de variaciones de conductividad eléctrica de fuentes de agua subterránea monitoreadas época de lluvia (Mar del 2015).

- **Figura 3.17** Mapa Hidroquímico de fuentes muestreadas en época de estío (Ago, Oct y Nov del 2014).
- **Figura 3.18** Mapa Hidroquímico de fuentes monitoreadas en época de lluvia (Mar del 2015).
- **Figura 4.1** Mapa de inventario de fuentes de agua subterráneas en época de estío.
- **Figura 4.2** Mapa de distribución de acuíferos porosos no consolidados.
- **Figura 4.3** Sistema ideal de fracturas debido a deformación frágil en un material poroso y permeable.
- **Figura 4.4** Mapa de distribución espacial de acuíferos fisurados
- **Figura 4.5** Mapa de distribución espacial de acuitardos.
- **Figura 4.6** Mapa Hidrogeológico de la microcuenca de río Mariño.
- **Figura 4.7** Sección geológica a lo largo de las quebradas Sahuanay (deslizamiento Sahuanay) y Ampay.
- **Figura 4.8** Modelo hidrogeológico conceptual de flujo de agua subterránea.

LISTA DE CUADROS

- **Cuadro 1.1** Análisis realizada en el laboratorio de Ingemmet.
- **Cuadro 2.1** Áreas aflorantes superficiales de las distintas unidades geológicas
- **Cuadro 2.2** Características hídricas de las formaciones geológicas
- **Cuadro 2.3** Porosidad en los distintos tipos de sedimentos y rocas.
- **Cuadro 2.4** Valores relativos de permeabilidad
- **Cuadro 3.1** Zonas de vida presentes en la microcuenca del río Mariño
- **Cuadro 3.2** Parámetros Básicos
- **Cuadro 3.3** Índice de compacidad. (FAO, 1985)
- **Cuadro 3.4** Rango de pendientes medias
- **Cuadro 3.5** Rango de pendientes medias (Henao, 1988)
- **Cuadro 3.6** Elaborado para determinar la curva hipsométrica
- **Cuadro 3.7** Datos de medias mensuales de precipitación y temperatura
- **Cuadro 3.8** Calculo del caudal de escorrentía mensual.
- **Cuadro 3.9** Balance iónico para muestras – agosto, octubre y noviembre 2014.
- **Cuadro 3.10** Balance iónico para muestras – marzo 2015.
- **Cuadro 3.11** Rangos de valores hidroquímicos definidos para los resultados de iones predominantes en meq/l.
- **Cuadro 4.1** Resumen y evaluación de fuentes de agua subterránea, parámetros hidráulicos y físico-químicos.
- **Cuadro 4.2** Clasificación de la descarga de manantiales.
- **Cuadro 4.3** Cuadro de categorías de descarga de caudales, en manantiales de la microcuenca Mariño – Apurímac.
- **Cuadro 4.4** Estadísticas descriptivas de los parámetros físico-químicos del agua. Aguas subterráneas de la microcuenca Mariño, 2014 - 2015.
- **Cuadro 4.5** Coeficientes de correlación de Pearson para los distintos parámetros analizados. Temporada de estío (Ago, Oct y Nov 2014).
- **Cuadro 4.6** Coeficientes de correlación de Pearson para los distintos parámetros analizados. Temporada de lluvia (Mar 2015).
- **Cuadro 4.7** Valores de conductividad hidráulica (m/día) en la microcuenca Mariño
- **Cuadro 4.8** Caracterización hidrogeológica de la microcuenca Mariño.

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

- **Fotografía 1.1** Inventario de fuentes de agua.
- **Fotografía 1.2** Toma de muestra de agua subterránea.
- **Fotografía 1.3** Actividades de aforo.
- **Fotografía 1.4** Ensayos de infiltración en el vaso de la laguna Wilcacocha.
- **Fotografía 3.1** Muestran algunos atractivos que más resaltan en el Santuario Nacional del Ampay.
- **Fotografía 3.2** Laguna Uspacocha (499921-002).
- **Fotografía 3.3** Fuente termal Santo Tomas (499921-033).
- **Fotografía 3.4** Manantial polisurgente Sayuhilca (499921-042).
- **Fotografía 3.5** Manantial polisurgente Miskypuquio (499921-046).
- **Fotografía 3.6** Manantial Sahuanay 1 (499921-014).
- **Fotografía 3.7** Manantial Hornada Alta Jalastuyoc (499921-024).
- **Fotografía 3.8** Manantial Termal Santo Tomas (499921-024).
- **Fotografía 4.1** Puntos de control a las aguas superficiales de lagunas Angascocha (Laguna chica) y Uspacocha (Laguna grande).
- **Fotografía 4.2** Depósitos aluviales en el piso de valle (márgenes del río Mariño).
- **Fotografía 4.3** Calizas plegadas y fracturadas en estratos gruesos de miembro inferior del Grupo Copacabana, y laguna Wilcacocha al pie del nevado Ampay.
- **Fotografía 4.4** Calizas con slumps de miembro inferior del Grupo Copacabana. (Carretera Abancay – Huanipacca).
- **Fotografía 4.5** Lutitas del miembro superior del Grupo Copacabana (carretera Abancay – Huanipacca).
- **Fotografía 4.6** Areniscas feldespáticas del Grupo Mitu.

GRÁFICOS

- **Gráfico 2.1** Área superficial de afloramiento de unidades geológicas presentes en la Microcuenca del río Mariño.
- **Gráfico 3.1** Curva hipsométrica del área de estudio.
- **Gráfico 3.2** Curva hipsométrica. Edades de los ríos.
- **Gráfico 3.3** Frecuencia de altitudes
- **Gráfico 3.4** Perfil longitudinal del río Mariño.
- **Gráfico 3.5** Representación gráfica de precipitación, evapotranspiración potencial, temperatura y excedente hídrico
- **Gráfico 3.6** Representación gráfica de valores de pH de fuentes de aguas muestreadas en época de estío e inventariadas en época de estío.
- **Gráfico 3.7** Valores del pH para fuentes de agua subterránea muestreadas en época de estío (Ago, Oct y Nov del 2014) en la microcuenca Mariño.
- **Gráfico 3.8** Representación gráfica de valores de conductividad eléctrica (CE) de fuentes de aguas evaluadas en en época de estío y lluvia.
- **Gráfico 3.9** Valores de CE para fuentes de aguas subterránea evaluadas en época de estío (Ago, Oct y Nov del 2014).
- **Gráfico 3.10** Representación de los diagramas de Stiff.
- **Gráfico 3.11** Diagrama de Piper y Scatter para fuentes de aguas subterráneas muestreadas en temporal de estío (Ago, Oct y Nov 2014) en la microcuenca Mariño.
- **Gráfico 3.12** Diagrama de Piper y Scatter, de fuentes monitoreadas en temporal de lluvia (Mar 2015) en la microcuenca Mariño.
- **Gráfico 3.13** Diagrama logarítmico de potabilidad del agua para fuentes de agua muestreadas en agosto del 2014.
- **Gráfico 3.14** Diagrama logarítmico de potabilidad del agua para fuentes monitoreadas en marzo de 2015.
- **Gráfico 3.15** Diagrama logarítmico de potabilidad del agua para fuentes de agua muestreadas en agosto, octubre y noviembre del 2014.
- **Gráfico 3.16** Diagrama logarítmico de potabilidad del agua para fuentes monitoreadas en marzo de 2015.
- **Gráfico 3.17** Diagrama logarítmico de potabilidad del agua para fuentes de agua

- muestreadas en agosto, octubre y noviembre del 2014.
- **Gráfico 3.18** Diagrama logarítmico de potabilidad del agua para fuentes de agua muestreadas en agosto, octubre y noviembre del 2014.
 - **Gráfico 3.19** Diagrama logarítmico de potabilidad del agua para fuentes de agua muestreadas en agosto, octubre y noviembre del 2014.
 - **Gráfico 3.20** Diagrama logarítmico de potabilidad del agua para fuentes de agua muestreadas en agosto, octubre y noviembre del 2014.
 - **Gráfico 3.21** Diagrama de Wilcox para fuentes muestreadas en agosto, octubre y noviembre del 2014.
 - **Gráfico 3.22** Diagrama de Wilcox para fuentes monitoreadas en marzo del 2015.
 - **Gráfico 4.1** Índices de saturación de Langelier (ISL) de las fuentes muestreadas en la microcuenca Mariño durante la temporada de estiaje.
 - **Gráfico 4.2** Índices de saturación de Langelier (ISL) de las fuentes monitoreadas en la microcuenca Mariño en temporada de lluvia.
 - **Gráfico 4.3** Análisis cluster de elementos mayoritarios de las variables. Temporada estío (Ago, Oct y Nov del 2014).
 - **Gráfico 4.4** Análisis cluster de elementos mayoritarios de las variables. Temporada de lluvia (Mar 2015).
 - **Gráfico 4.5** Análisis clúster de los puntos de muestreo. Temporada de estío (Ago, Oct y Nov del 2014).
 - **Gráfico 4.6** Análisis cluster de los puntos de muestreo. Temporada de lluvia (Mar 2015).
 - **Gráfico 4.7** Resumen de ensayos de permeabilidad para medida de la conductividad hidráulica en el vaso de las lagunas Angascocha, Uspacocha Wilcacocha.
 - **Gráfico 4.8** Unidades hidrogeológicas de la microcuenca Mariño

LISTA DE SIGLAS

- INGEMMET : Instituto Geológico Minero y Metalúrgico.
- IGN : Instituto Geográfico Nacional.
- CONDESAN : Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina.
- EMUSAP : Empresa Municipal de Agua Potable – Abancay.
- INDECI : Instituto Nacional de Defensa Civil.

LISTA DE ABREVIATURAS

- CE : Conductividad eléctrica
- STD : Sólidos Totales Disueltos
- ICP-MS : Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry
- ICP-AES : Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry
- USA : United State of America
- UTM : Universal Transverse Mercator
- WGS 84 : World Geodetic System 1984
- DHR : Diagnóstico Hidrológico Rápido
- ECA : Estandares de Calidad Ambiental

LISATADO DE ANEXOS

- A1** Fuentes de aguas subterráneas inventariadas en época de estío.
- A2** Fuentes de aguas subterráneas monitoreadas en época de lluvia.
- A3** Cationes y aniones de las fuentes muestreadas en época de estío.
- A4** Cationes y aniones de las fuentes monitoreadas en época de lluvia.
- A5** Iones predominantes (facies químicas de agua) de fuentes muestreadas en época de estío.
- A6** Iones predominantes (facies químicas de agua) de fuentes monitoreadas en época de lluvia.
- A7** Parámetros fisicoquímicos de fuentes muestreadas en época de estío.
- A8** Parámetros fisicoquímicos de fuentes monitoreadas en época de lluvia.
- A9** Índice de saturación para fuentes muestreadas en época de estío.
- A10** Índice de saturación para fuentes muestreadas en época de lluvia.
- A11** Resultado de laboratorio de metales disueltos en fuentes muestreadas es época de estío.
- A12** Resultado de laboratorio de metales disueltos de fuentes monitoreadas en época de lluvia.
- A13** Cálculos de la conductividad hidráulica en la microcuenca Mariño.

RESUMEN

En el presente trabajo se muestran los resultados de la evaluación hidrogeológica de la microcuenca del río Mariño, región de Apurímac, sur del Perú. El objetivo fue evaluar las características hidrogeológicas, elaborar el mapa Hidrogeológico de la microcuenca Mariño; y conocer la calidad de las aguas subterráneas presentes en los acuíferos. La microcuenca del río Mariño, forma parte de la sub cuenca del río Pachachaca que pertenece a la Intercuenca Alto Apurimac, tiene un área superficial 285 km² y un perímetro de 87.4 Km., donde la precipitación media anual es de 782.82 mm. La microcuenca Mariño desde el punto de vista geomorfológico se extiende en una depresión dentro de la Cordillera Oriental con altitudes que varían desde los 1625 m s.n.m. a 5200 m s.n.m. La depresión tiene una dirección NE-SO, donde se encuentra asentada la ciudad de Abancay capital del departamento de Apurímac. La geología de la microcuenca Mariño está conformada por rocas antiguas permo-triásicas a recientes; la falla Abancay que se extiende por el río Mariño; divide a la microcuenca en dos zonas: zona norte que comprende el margen derecha del río Mariño, caracterizada por la presencia de unidades sedimentarias como calizas, lutitas, areniscas, materiales aluviales, morrénicos, coluviales, y la zona sur que comprende la margen izquierda del río Mariño se caracterizada por la presencia de unidades intrusivas y subvolcánicas fracturadas. Los trabajos de investigación se realizaron durante la época de estiaje y recarga; en el periodo de agosto a noviembre del 2014 se obtuvieron información *in situ* de parámetros físicos de 73 fuentes, como: STD, conductividad eléctrica, temperatura, de las cuales de 57 fuentes se obtuvieron muestras para análisis químico de aniones, cationes y elementos traza. Asimismo se determinaron los caudales en los puntos de monitoreo. Los monitoreos realizados en época de recarga, muestran mínimas variaciones respecto a la época de estiaje. Según la interpretación de calidad de las aguas, en la zona de estudio predomina aguas bicarbonatadas-cálcicas, con bajos valores en STD y conductividad eléctrica, lo que evidencia aporte de aguas subsuperficiales y de corto recorrido. Como resultado de estudio se elaboró el mapa hidrogeológico de la microcuenca del río Mariño, detallando en la distribución de los acuíferos porosos no consolidados, y acuíferos fisurados Kársticos y acuíferos fisurados sedimentarios.

Palabras claves: Río Mariño, Apurímac, mapa hidrogeológico, calidad del agua.

CAPITULO I

1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de evaluación hidrogeológica de la microcuenca del río Mariño, se realizó a partir del inventario de fuentes de agua superficial y subterránea, trabajos detallados de geología, hidrogeología, pruebas hidráulicas para determinar la conductividad hidráulica, a partir de la cual se elaboró el mapa hidrogeológico según los términos de referencia de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos – AIH (Struckmeier y Margat, 1995). Este mapa tiene por finalidad; mostrar la distribución regional de los recursos hídricos subterráneos, la cual es base para planes y proyectos de gestión integral de los Recursos Hídricos de la microcuenca del río Mariño.

1.1. Planteamiento del problema

El estudio se realizó en la microcuenca del río Mariño, abarca los distritos de Abancay y Tamburco. La zona de estudio presenta un relieve abrupto, con acurrencias frecuentes de movimiento de masas, condicionadas por aguas subterráneas en épocas de precipitación. Estos riesgos son la causa frecuente de pérdidas económicas con costos de vida que afectan a las poblaciones asentadas en este valle, que no han sido controlados adecuadamente. Producto de estos fenómenos naturales, la población vive en constante amenaza cuando se avecina la época de lluvias.

De otra parte, la ciudad de Abancay, se encuentra en pleno proceso de desarrollo y expansión urbana, por lo que la demanda hídrica de los diferentes sectores económicos, viene incrementándose progresivamente en los últimos años. Por lo que requiere evaluar el potencial de los recursos hídricos de la microcuenca Mariño, cuantificando las ofertas hídricas de los principales acuíferos, y sus características hidrogeológicas, zonas de recarga y descarga, para una gestión sostenible de los recursos hídricos disponibles.

1.2. Hipótesis

Según la geología de la microcuenca del río Mariño, presentan formaciones de características hidrogeológicas de buen potencial de aguas subterráneas presentes en los acuíferos porosos, kársticos y fisurados.

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo General

- Evaluar las características hidrogeológicas de la microcuenca del río Mariño.

1.3.2. Objetivos específicos

- Elaborar el Mapa Hidrogeológico con la finalidad de zonificar los acuíferos existentes en la microcuenca.
- Evaluar la calidad de las aguas subterráneas presente en los acuíferos y determinar su capacidad de uso.

1.4. Metodología de investigación

Los trabajos de evaluación se ejecutaron en las siguientes etapas:

1.4.1. Trabajo pre-campo o gabinete I

- **Recopilación de información bibliográfica**

Se recopiló información técnica e histórica de datos cartográficos, estudios hidrogeológicos, ambientales, hidrológicos, de instituciones públicas y privadas, entre ellas:

- Del Instituto Geográfico Nacional del IGN base cartográfica a escala 1:50 000.
- De INGEMMET la Carta Geológica Nacional a escala 1:50 000 de la hoja Abancay 28-q4.

➤ De WorldClim¹, datos climáticos como precipitación, temperatura.

- **Sistematización de la información**

La información obtenida se clasificó de acuerdo a las variables materia de análisis e interpretación hidrogeológica.

- **Preparación de imágenes satelitales**

Se empleó imágenes LandSat bandas 2, 4, 7 para la caracterización hidrogeológica, geológica y aspectos estructurales para interpretar la tendencia de flujos regionales de aguas subterráneas en la microcuenca.

Para análisis de zonas hidromórficas, se empleó imagen LandSat bandas 2, 4, 7, posteriormente fueron cotejados con las salidas de campo.

- **Elaboración de mapas**

Para la elaboración de los mapas e ilustraciones se han utilizado los siguientes softwares:

➤ El ArcGIS 10.1 y Adobe Illustrator CS16. Para elaborar mapas geológicos, hidrogeológicos, hidroquímicos, inventario, muestreo, pH, conductividad eléctrica, pendiente.

➤ Con Google Earth, para análisis e interpretación de áreas hidromórficas y localización de fuentes de agua.

1.4.2. Trabajo de campo

Se realizaron tres campañas de campo, de 15 días de trabajo por salida: Agosto a noviembre del 2014 y marzo del 2015. Las labores de campo se centraron en las siguientes actividades.

¹ WorldClim, Base de datos mundial de clima (climatología promedio 1950-2000, resolución 1km²).

En el mes de agosto del 2014 se realizó trabajos de reconocimiento general de la microcuenca, con la finalidad de definir zonas de interés hidrogeológico, planificar trabajos específicos de levantamiento de información de campo como: inventario de fuentes de agua, toma de muestras de agua, ensayos de infiltración, y otros.

En los meses de octubre y noviembre, se realizaron los siguientes trabajos:

- Control geológico

Se complementó información geológica detallada de la zona de estudio a escala 1:50 000. (Figura 2.2).

- Cartografiado hidrogeológico

Se realizó mapeo hidrogeológico de formaciones porosas y permeables almacenadoras de aguas subterráneas, fuentes de agua, manantiales, donde se han evaluando condiciones de surgencia, caudal y parámetros físicoquímicos.

En el mes de marzo del 2015, se realizaron trabajo de monitoreo hidroquímico e hidráulico de las principales fuentes de agua subterránea.

- Inventario de fuentes de agua.

El inventario de fuentes de aguas subterráneas se realizó para evaluar el comportamiento de los acuíferos en relación a su litología, descargas, calidad de aguas. En esta evaluación se han considerado: manantiales, fuentes termales y captaciones de manantiales (fotografía 1.1); además, se han inventariado dos lagunas las cuales se han considerado como puntos de control. Se empleó la ficha de inventario de fuentes de agua de INGEMMET (DGAR-F-141), donde se recopilaron la siguiente información:

- ✓ Código de identificación.
- ✓ Ubicación geográfica, coordenadas UTM (latitud, longitud y altitud).
- ✓ Ubicación política (lugar).
- ✓ Parámetros físico-químicos (conductividad eléctrica, pH, STD, y temperatura).
- ✓ Parámetros hidráulicos (caudal).

- ✓ Evaluando las condiciones geológicas
- ✓ Uso del agua (verificación in situ).
- ✓ Fecha de inventario (registro y/o muestreo).



Fotografía N° 1.1. A). Inventario de fuentes de agua. B) toma de parámetros físico-químico (temperatura, conductividad eléctrica y pH).

- Muestreo de fuentes de agua.

Se seleccionaron puntos de muestreo en función de fuentes que presentan variación de parámetros físicos como pH, conductividad eléctrica, STD, temperatura, OD, caudal de fuentes y anomalías de elementos traza.

Para la toma de muestra de agua subterránea se ha seguido el protocolo de muestreo de INGEMMET, (instructivo DGAR-I-002). Por punto de muestreo se utilizó tres envases de polietileno para determinar:

- La primera botella de 500 ml para análisis de carbonatos y bicarbonatos, sin preservantes, mantenido a una temperatura menor o igual a 4 °C, en un cooler con refrigerantes.
- La segunda botella de 250 ml, filtrado en membrana de 0,45 µm, preservado con ácido Nítrico (HNO₃) al 80 %, pH <2 (Aprox. 20 gotas), para análisis de cationes y metales disueltos (fotografía 1.2).

- La tercera botella de 250ml sin preservantes, mantenido en un cooler a una temperatura de 4°C, para análisis de sulfatos, nitratos y cloruros.

Las muestras fueron rotuladas con la información básica de punto de monitoreo: código, fecha, hora y elementos a analizar.



Fotografía N° 1.2. Toma de muestra de agua subterránea. A). Muestras tomadas en Manantial Deslizamiento Sahuanay (499921-012). B). Filtrado y preservación (con HNO₃).

- Aforo de manantiales

Se realizaron mediciones de caudal en los puntos de muestreo, mediante dos métodos:

- Método volumétrico

Se procedió utilizando un recipiente graduado en litros, para medir el flujo de agua, en un determinado tiempo. El caudal fue calculado por la fórmula:

$$Q = V / T \dots\dots\dots \text{(Ecuación 1.1)}$$

Dónde:

Q= Caudal (l/s).

V= Volumen de la cubeta (L).

T= Tiempo que tarda en llenarse recipiente (s).

- Método flotadores

Consiste en definir un tramo longitudinal en el curso de un río, para obtener el área transversal promedio del ancho del cause de río. Luego la velocidad de flujo se calcula empleando un flotador, que permite medir el tiempo de transporte desde el punto de inicial al punto final del tramo definido. Esta operación de transporte de flotador se realiza un mínimo de cinco lecturas con los cuales se calcula el tiempo promedio, luego con los datos obtenidos se aplica la ecuación 1.2. (fotografía 1.3).

El caudal se ha calculado como:

$$Q = V \times T \dots\dots\dots \text{(Ecuación 1.2)}$$

Q = Caudal, m³/s.

V = Velocidad superficial, m/s.

A = Área transversal promedio, m².

La velocidad se ha calculado como:

$$V = X / T \dots\dots\dots \text{(Ecuación 1.3)}$$

V = Velocidad superficial, m/s

X = Longitud recorrida por el elemento flotante, m

t = Tiempo de recorrido del elemento flotante, s

El área transversal promedio se ha calculado como:

$$A = W \times \frac{(\sum H_j)}{n} \dots\dots\dots \text{(Ecuación 1.4)}$$

A = Área transversal promedio, m²

W = Ancho de la corriente, m

H = Profundidad en cada vertical, m

n = Número de puntos de medición o verticales



Fotografía N° 1.3. A) y B). Actividades de aforo (cálculo de caudal) del manantial Uspacocha, con el método de un objeto flotante (Manning).

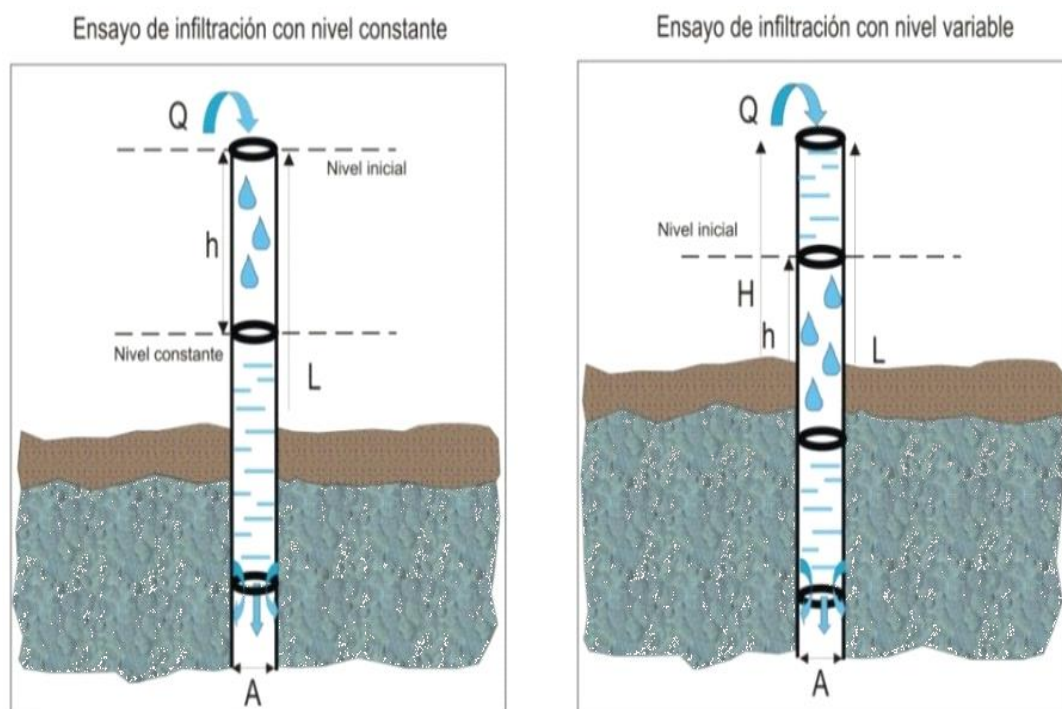
- Ensayos de permeabilidad

Los ensayos de permeabilidad se realizaron para calcular los parámetros hidrogeológicos en medios porosos y fracturados, realizándose estas pruebas en el vaso de las lagunas Uspacocha, Angascocha y Wilcacocha.

Se realizaron ensayos por el método de Lefranc de carga constante (Figura 1.1), no obstante que existen métodos de ensayo de carga variable, que consiste, en aplicar un volumen determinado de agua «dQ» que pasa a través del permeámetro de longitud «L» y de sección «A», en un intervalo de tiempo «dt», bajo una carga «h₀-h=dh». Luego mediante la ecuación 1.5 se determina la conductividad hidráulica aplicando la ley de Darcy, (Castany, 1975):

$$K = \frac{dQ L}{A dt dh} \text{ ----- (Ecuación 1.5)}$$

Figura N° 1.1 Esquema de ensayos de infiltración de carga constante y carga variable.



Fuente: <http://www.estudiosgeotecnicos.info/index.php/permeabilidad-de-los-suelos/>

Procedimiento:

- a) Se elige un punto adecuado para realizar la prueba, de acuerdo a la naturaleza del terreno.
- b) Se reviste la perforación con tubería de PVC, teniendo cuidado que el espacio anular entre la pared perforada y el revestimiento debe ser impermeabilizado empleando bentonita o material arcilloso.
- c) En el sondeo preparado, se inyecta agua de manera constante por un tiempo determinado hasta llenar el PVC, luego se repite este proceso hasta que el nivel del agua se mantenga constante.
- d) Utilizando un flexómetro o sonda eléctrica se realiza mediciones de la variación del nivel de agua en el sondeo según tiempos programados para la prueba (fotografía 1.4).



Fotografía 1.4. A) y B). Ensayos de infiltración en el vaso de la laguna Wilcacocha, dicha laguna en época de estío se vacía completamente, constituyendo la zona de recarga del acuífero principal de la cuenca.

1.4.3. Trabajo post-campo o gabinete II

1.4.3.1. Análisis químico de muestras de aguas en laboratorio

El análisis de las muestras se realizó paralelamente con los trabajos de campo con el envío de muestras de agua al laboratorio.

➤ Análisis químico

Los análisis de muestras de agua se realizaron en el laboratorio de INGEMMET para determinar los constituyentes mayoritarios (cationes y aniones) y elementos traza. En el cuadro 1.1 se presenta los diferentes análisis realizados.

➤ Análisis de Cationes:

Este análisis se realizó por el método de Absorción Atómica – Flama, en donde se analizaron los iones Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+ , Sr^{+2} y Li^+ .

Por el método de Absorción Atómica – Horno de Grafito se analizó el Al^{+3} y Ba^{+2} y para las muestras con alto contenido de Al^{+3} se usó el método AA-Flama.

➤ **Análisis de Aniones**

Para los iones CO_3^- y HCO_3^- , se usó el método Vía Clásica–Volumétrica, mediante determinación de alcalinidad.

Para el ión Cl^- , se usó la Vía Clásica–Volumétrica, mediante la determinación de Cl^- por el método de Mohr.

Para el ión SO_4^- , se usó el método Vía Clásica–Gravimétrica de sulfato de bario (SO_4Ba).

Para el ión NO_3^- , se usó el método Colorimétrico o Espectrofotométrico de Absorción Molecular (UV-Visible).

➤ **Análisis de Metales Disueltos**

Se usó el método de Absorción Atómica – Horno de grafito con lo cual se analizaron los metales de Cu, Pb, Cd, Cr y As.

Cuadro N° 1.1 Análisis realizada en el laboratorio de Ingemmet.

Iones analizados	Norma
Carbonato, Bicarbonato	Alkalinity.Titration Method
Cloruros	ION CHROMATOGRAPHY
Fluor	ION CHROMATOGRAPHY
Metales disueltos	Espectrometría de Masa por Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS)
Metales disueltos	Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry (ICP-AES)
Metales disueltos	Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry (ICP-AES)
Nitrógeno-Nitratos	ION CHROMATOGRAPHY
Sulfato	ION CHROMATOGRAPHY

Fuente: Ingemmet

1.4.3.2. Tratamiento, análisis de datos y presentación de resultados.

a) Procesamiento de la información química

La interpretación de datos de laboratorio, se realizó con apoyo del software AquaChem V 2011.1., Diagrammes, FHREEQC y XLSTAT, asimismo se utilizaron diagramas hidroquímicos como de: Stiff, Schoeller-Berkaloff, diagramas Piper y Scatter. Estas representaciones permitieron definir facies hidroquímicas, potabilidad de las aguas, flujos locales, intermedios y regionales.

b) Caracterización hidrogeológica

Las formaciones geológicas en la microcuenca Mariño fueron clasificados en varios tipos de acuíferos, según sus propiedades hidráulicas, determinados con el software Aqtesolv v 2012.1, la que se muestran en la figura 4.6 del capítulo IV.

1.5. Alcances y limitaciones

Los estudios se realizaron con información geológica de carácter regional, y limitada información de trabajos anteriores; sin embargo, los resultados obtenidos constituyen una línea base hidrogeológica e hidrogeoquímica para futuros trabajos de investigación de la microcuenca Mariño.

CAPITULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes.

- Marocco, R. (1978). Geología de los cuadrángulos de Andahuaylas, Abancay y Cotabambas. Este estudio corresponde al levantamiento de la primera base geológica nacional, donde se hace los primeros reconocimientos de las principales formaciones y eventos geológicos.

- Valdivia, W., Latorre, O. (2003). Memoria Descriptiva de la Revisión y Actualización Cuadrángulo Abancay. INGEMMET (28-q). Memoria descriptiva que reporta la actualización de la geología del cuadrángulo de Abancay (28-q), a escala 1:50,000, sobre la base de la geología levantada por (Marocco, 1975).

- CONDESAN, 2014. Informe del Diagnóstico Hidrológico Rápido (DHR) en la microcuenca del río Mariño. Dicho informe presenta resultados del primer DHR desarrollado para la Empresa Municipal de Agua Potable EMUSAP - Abancay, en la microcuenca Mariño, Abancay. El documento presenta el análisis en dos secciones principales, la primera corresponde a un diagnóstico que describe el estado actual de la microcuenca, y la segunda, presenta varios criterios para la toma de decisiones, en donde la Empresa de agua potable y saneamiento (EPS) tiene un rol fundamental.

- Lizarzaburu, J., Diehl, L. & Deza, J. (2014). Universidad Alas Peruanas 2014. El retroceso glaciar en la alta montaña de los Andes Peruanos. Caso: Santuario Nacional de Ampay, Apurímac. Artículo que revela que el cambio climático está originando un acelerado retroceso glaciar en las cumbres del Ampay. El presente estudio es un primer intento de establecer el volumen de masa de hielo perdido por el retroceso glaciar, en el Santuario Nacional de Ampay ubicado en el distrito de Tamburco, provincia de Abancay y región de Apurímac. El trabajo se realizó los años 2009-2011, mediante estudios de reconocimiento de campo. También se identifica la flora maderable relacionada directamente con la reserva del acuífero y se plantean alternativas para aminorar la pérdida de agua almacenándola en el colchón hídrico, gracias a la acción

de coníferas y otras familias maderables, como alternativa frente al riesgo para la población de Abancay.

2.2. Geomorfología

El área geográfica de la microcuenca Mariño donde se asienta la ciudad de Abancay y sus zonas de expansión ha sido afectada por intensa actividad geodinámica tanto interna como externa que se refleja en su variada topografía y su tendencia a la ocurrencia de fenómenos geológicos y geológico – climáticos

2.2.1. Morfogénesis

Los rasgos morfológicos de la cuenca de Abancay están ligados a las perturbaciones tectónicas del levantamiento andino y por procesos degradacionales.

Los cambios climáticos ocurridos durante el cuaternario, han dejado profundas huellas en la morfología de la región, las glaciaciones produjeron grandes movimientos de masas rocosas, acumulándose gradualmente en el actual valle de Abancay y al pie de los nevados Ampay y Runtococha.

En la actualidad se presentan deslizamientos y fuertes procesos de erosión hídrica de los suelos en las laderas empinadas, siendo frecuente los huaycos, desborde de ríos en los meses de precipitaciones pluviales ordinarias y extraordinarias.

El modelado superficial del Ampay es variado, en cuyas estribaciones altitudinales se aprecian accidentes geográficos, cerros con afloramientos rocosos, colinas, abras, laderas, escarpados, pequeñas cuencas hidrográficas de fuerte vertiente, depresiones lagunares, suelos inclinados con fuertes pendientes y muy escasos suelos planos.

Los estudios geomorfológicos determinaron que la actual configuración del Ampay, está determinada por perturbaciones geodinámicas internas (tectónicas) y externas (intemperismo, erosión y procesos geodinámicos) como son las glaciaciones, los deslizamientos y la erosión, que fueron modelando la superficie.

El relieve en general es bastante accidentado, con una configuración topográfica heterogénea con predominancia de elevaciones escarpadas. (Indeci, 2007).

2.3.Geología regional

2.3.1. Paleozoico

El Paleozoico en la microcuenca, está representado por el grupo Copacabana.

2.3.1.1.Grupo Copacabana.

El Grupo Copacabana aflora ampliamente al norte de la ciudad de Abancay. Este afloramiento forma un gran anticlinal de dirección predominante ONO-ESE. Por el norte se halla controlada por fallas E-O que ponen en contacto a este grupo con los grupos San José y Mitu. La base de este grupo no se observa en la zona, mientras la parte superior infrayace en débil discordancia al Grupo Mitu (figura 2.1 y 2.2). A este grupo se le estima un espesor aproximado de 2 500 m en la zona.

2.3.1.1.1. Copacabana Inferior (Pi-ci).

La parte inferior está compuesta esencialmente por calizas y algunos niveles de pelitas. Las calizas se presentan en bancos delgados y gruesos, son de varios tipos, de grano fino, nodulosas, duras, de color gris blanquecino a negras, con niveles de dolomita. Presentan abundante contenido de fósiles muchas veces silicificados, incluso existen niveles donde la roca es casi una lumaquela.

2.3.1.1.2. Copacabana Superior (Pi-cs)

La parte superior está compuesta por pelitas a veces carbonosas, son de color negro y gris, con abundante contenido fosilífero y se intercalan con algunos bancos de areniscas grises de grano fino a medio. Las pelitas presentan estructuras sedimentarias como laminaciones y flasser bedding, contienen nódulos redondeados del mismo material.

2.3.1.2. Grupo Mitu (PsT-mi)

El Grupo Mitu, por los bordes sur y este, yace en ligera discordancia erosional sobre las pelitas del Grupo Copacabana e infrayace en discordancia a las calizas de la Formación Socosani (figura 2.1 y 2.2).

Litológicamente, está compuesto por conglomerados, areniscas de composición feldespáticas de grano fino a grueso, limolitas y pelitas, que en conjunto son de color rojo a veces verdes. Los conglomerados presentan clastos subangulosos de volcánicos, intrusivos, areniscas y cuarcitas, englobados en una matriz arenoarcillosa. A los anteriores se intercalan algunos niveles de brechas volcánicas y andesitas caracterizadas en conjunto por sus coloraciones verdes y rojo violáceas. Al sur de Cachora, sobre el corte de la carretera se tienen lavas almohadilladas de colores gris verdosa e intercalados con areniscas y limolitas rojas, además de conglomerados y volcánicos de color verde. El grosor en la zona es variable y puede alcanzar los 1000 m.

2.3.2. Mesozoico

El Mesozoico en el cuadrángulo de Abancay (28-q) está representado por la Formación Socosani, Grupo Yura y las formaciones Murco y Arcurquina.

2.3.2.1. Formación Socosani (Jm-so)

El contacto inferior de esta formación con el Grupo Mitu es discordante; el contacto superior con las areniscas de la Formación Puente es normal. Su grosor puede alcanzar los 500 m.

Litológicamente se han reconocido calizas y pelitas con características impermeables. La parte inferior consiste principalmente en calizas y están estratificadas con algunos niveles centimétricos de pelitas negras, a veces laminadas, además de areniscas grises de grano fino a medio (figura 2.1 y 2.2). Las calizas generalmente son del tipo wackstone y packstone, están estratificadas, en bancos delgados, contienen cherts, son de color gris y negro, bioclásticas con fragmentos de fósiles de lamelibranquios, briozoarios, etc.

2.3.2.2. Grupo Yura

Las 5 formaciones que la componen y que se encuentran en el área de estudio. Se debe destacar que el espesor de las formaciones para esta parte se adelgaza, por lo que su representación es en algunos casos algo exagerado en el cartografiado realizado (figura 2.1 y 2.2).

2.3.2.2.1. Formación Puente (Jm-pu)

Está constituida esencialmente por areniscas grises, verdes, a veces pardas, de grano fino a medio, ocasionalmente gruesas y con presencia abundantes fósiles. Se intercalan con delgados niveles de pelitas negras y grises a veces laminadas, y algunos niveles delgados de calizas grises. En el sector de Suncho las pelitas laminadas son más frecuentes, el límite inferior yace concordante sobre la Formación Socosani e infrayace a la Formación Cachíos.

2.3.2.2.2. Formación Cachíos (Jm-ca)

Litológicamente la base de la Formación Cachios consiste en intercalaciones de limoarcillitas negras, grises y verdes, en bancos medianos a gruesos, laminadas y duras, a las anteriores se intercalan bancos de hasta 2 m de areniscas cuarzosas grises de aspecto impermeable.

El espesor de la unidad es variable, en la parte central las pelitas que son menos resistentes, constituyen una secuencia con pendientes suaves fáciles de diferenciar entre las areniscas de las formaciones Puente y Labra. No pasan los 100 m.

2.3.2.2.3. Formación Labra (Js-la)

El contacto inferior con la Formación Cachios es progresivo e infrayace concordantemente a la Formación Gramadal. Litológicamente está compuesta por areniscas grises y blanquecinas, intercaladas con limoarcillitas gris oscuras a negras. Las areniscas son de grano fino a grueso, cuarzosas, en bancos de hasta 1 m; presenta laminaciones oblicuas curvas, planas y horizontales. El espesor de la unidad es variable, hacia la parte sur puede alcanzar hasta los 300 m. y hacia el norte donde se adelgaza no pasa 100 m.

2.3.2.2.4. Formación Gramadal (Js-gr)

La Formación Gramadal sobreyace concordantemente a la Formación Labra e infrayace de la misma forma a la Formación Hualhuani. Consiste en limoarcillitas laminadas de coloraciones negras, grises a verdes, que se intercalan con bancos de areniscas y calizas negras y grises. Las areniscas son cuarzosas de grano fino a medio, de color gris a blanco. Presenta un espesor que puede alcanzar hasta los 100 m.

2.3.2.2.5. Formación Hualhuani (Ki-hu)

Litológicamente, consiste en una alternancia monótona de areniscas cuarzosas blancas y grises de grano fino a medio, con estratificación cruzada, que forman bancos gruesos y medianos. Ocasionalmente se intercalan con niveles delgados de limoarcillitas negras carbonosas. El grosor aproximado para esta formación es de 400 a 500 m. Descansa concordantemente sobre la Formación Gramadal e infrayace de la misma forma a la Formación Murco.

2.3.2.3. Formación Murco (Ki-mu)

Litológicamente, la base está compuesta por una intercalación de areniscas, limoarcillitas y limolitas. Las areniscas son rojas, a veces verdes, de grano medio a grueso, con laminaciones oblicuas de bajo ángulo. Las limolitas y limoarcillitas son rojas, pardas y verdes. La parte superior consiste en intercalación de areniscas, pelitas rojas y verdes, además de areniscas cuarzosas blancas y algunos niveles de calizas. La Formación Murco en la zona de estudio, puede alcanzar hasta los 150 m de espesor (figura 2.1 y 2.2). Las areniscas y limoarcillitas rojas sobreyacen concordantemente sobre las areniscas blancas de la Formación Hualhuani.

2.3.2.4. Formación Arcurquina (Kis-Ar)

En la Formación Arcurquina se han diferenciado cuatro secuencias anteriormente no definidas. La secuencia inferior consiste en bancos gruesos de calizas tipo mudstone, de colores grises y negros, a veces laminadas, sin presencia de chert. La segunda secuencia consiste en calizas negras y grises, con presencia de chert, estratificadas en bancos delgados a medianos e intercalados con algunos niveles de pelitas negras, a veces

laminadas. Hacia la parte superior las calizas son grises y compactas, estratificadas en bancos gruesos y con presencia de chert. El tope de las secuencias consiste en calizas grises compactas, estratificadas en bancos gruesos e intercalados con niveles de pelitas negras. En conjunto, las calizas están replegadas, presentan abundantes fósiles, nódulos de chert y algunos niveles de pelitas carbonosas negras. Sobreyace concordantemente a la Formación Murco. Se encuentra en algunos lugares en contacto directo sobre las areniscas de la Formación Hualhuani en aparente concordancia. En conjunto el grosor aproximadamente tiene entre 600-700 m (figura 2.1 y 2.2).

2.3.3. Unidades Cenozoicas

2.3.3.1. Depósitos Cuaternarios

Los depósitos cuaternarios se encuentran rellenando los valles, depresiones y planicies. Se han podido diferenciar 5 tipos de depósitos.

2.3.3.1.1. Depósitos morrénicos (Qpl-mo)

En la zona se tiene buenas exposiciones de este tipo de depósitos, se halla en el valle de origen glaciar de la quebrada Ampay y Sahuanay, (parte superior de la microcuenca). Están constituidos por acumulaciones de bloques heterométricos, cantos y gravas de composición polimíctica englobados en una matriz areno arcillosa. (Figura 2.1 y 2.2).

2.3.3.1.2. Depósitos aluviales (Qh-al)

Corresponden a los depósitos de conos aluviales y algunas terrazas, que están principalmente asociados a la desembocadura de las quebradas principales, adyacentes a los valles de los ríos. Están conformados por grandes bloques de rocas y gravas subangulosas a subredondeadas, envueltos por una matriz areno-limosa (figura 2.1 y 2.2). En la zona de estudio se han identificado volúmenes importantes de este depósito, como en las quebradas del río Apurímac, Pachachaca, Cachimayo que pasa por la ciudad de Abancay, y sectores Lambrama, Silcon, Sahuinto, etc.

2.3.3.1.3. Depósitos coluviales (Qh-co)

Se encuentran en los flancos de los valles y corresponden a depósitos compuestos por bloques y cantos angulosos de tamaños variables, envueltos en una matriz areno arcillosa (figura 2.1 y 2.2). En la zona se encuentran en los flancos de los ríos Lambrama, Pachachaca, Cachimayo y Apurímac.

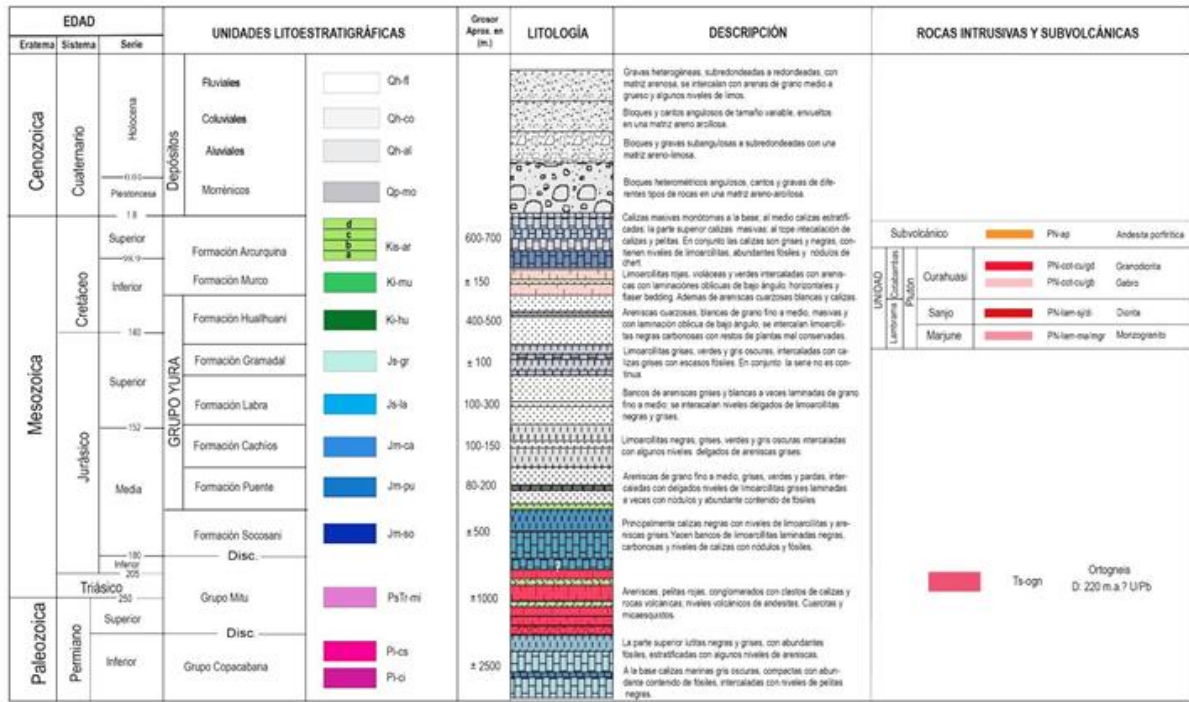
2.3.3.1.4. Depósitos fluviales (Qh-fl)

Estos depósitos han sido reconocidos en el lecho de los valles, particularmente de los ríos Apurímac y Pachachaca. Están constituidos, por bancos de gravas heterogéneas, subredondeadas a redondeadas y arenas, formando terrazas. (Figura 2.1 y 2.2).

2.3.3.1.5. Depósitos de Bofedal (Qh-bo)

Bajo este nombre se han denominado a los depósitos propios que se caracterizan por formar reservorios naturales de agua en las zonas altas. Están caracterizados por su composición arenosa, limosa y arcillosa con niveles de materia orgánica. (Figura 2.1 y 2.2).

Figura 2.1. Columna estratigráfica de la microcuenca Mariño



Fuente: Ingemmet

2.4. Rocas intrusivas

Las rocas plutónicas están compuestas por litologías de diferente naturaleza petrográfica: dioritas, gabros, granodioritas, cuarzodioritas, monzogranitos, cuarzomonzodioritas, cuarzomonzonitas, granodioritas, tonalitas y sienogranitos. Se han diferenciado unidades y también se le encuentra como en plutones.

2.4.1. Ortogneis de Abancay (Ts-ogn)

Aflora al sur de la ciudad de Abancay y se extiende hacia el cuadrángulo de Andahuaylas. Por el norte está limitado por la falla de Abancay-Curahuasi y por el este, oeste y sur está cortado por cuerpos intrusivos monzograníticos y dioríticos.

Este cuerpo anteriormente considerado del Eoceno (Marocco, 1975), fue descrito como una intrusión sintectónica de composición esencialmente diorítica. Posteriormente CARLIER et al., (1982) realiza una datación radiométrica de 222 ± 7 Ma, por el método U/Pb, sobre zircón, para este mismo cuerpo. Esto indica que el emplazamiento de este cuerpo se remonta al Triásico superior, posiblemente comprendido entre el Carniano-Noriano. Por correlaciones con intrusiones análogas en regiones vecinas y por observaciones realizadas por Dalmarayac et al., (1988), existe la posibilidad que estas series metamórficas puedan ser más antiguas, por lo que no se descarta una probable edad Eo-herciniana.

Al sur de este cuerpo, se ha producido un metamorfismo de contacto sobre varias centenas de metros, que presentan apariencia de micaesquistos y cuarcitas. Este metamorfismo ya observado por (Marocco, 1975) fue definido como rocas correspondientes al Grupo Yura. Sin embargo, si consideramos una edad Triásica superior para el ortogneis de Abancay, es probable que este metamorfismo de contacto haya afectado a rocas pre-existentes. Asimismo, durante los trabajos de campo además de los micaesquistos y cuarcitas, se encontraron brechas, conglomerados y rocas volcánicas. En consecuencia, de acuerdo a todos estos argumentos, estas rocas metamórficas podrían corresponder al Grupo Mitu o posiblemente puedan corresponder a un vulcanismo más antiguo.

2.4.2. Unidad Lambrana

2.4.2.1. Plutón Marjune (PN-lam-ma/mgr)

En los alrededores de Marjune se tienen afloramientos de este plutón y se extienden en la parte sur de la microcuenca Mariño. Se encuentra intruyendo a rocas del Grupo Yura y a las formaciones Arcurquina, Muñani y Soncco. Está constituido esencialmente por monzogranitos gris claros, con minerales de plagioclasa, feldespatos potásicos y cuarzo.

2.4.2.2. Plutón Sanjo (PN-lam-sj/di)

Afloramientos de este plutón se tienen en la parte sur de la microcuenca Mariño del cuadrángulo, entre Sanjo y Parjobamba. Por el sur intruye a las rocas metamórficas del Grupo Mitu y por el norte se encuentra en contacto fallado con el ortogneis de Abancay. Se trata de dioritas de color gris oscuro a veces verdoso, de textura granular, compuesta principalmente de plagioclasas y piroxenos.

2.4.3. Unidad Cotabambas.

Plutón Curahuasi (PN-cot-cu/di, gb, gd, si, to). Los afloramientos de este plutón se encuentran distribuidos, de la parte central hacia el norte de la zona de estudio. Está conformado por dioritas, gabros, granodioritas, sienitas y tonalitas. Los gabros, que son abundantes, muestran frecuentemente la presencia de laminación ígnea (acumulados). Una clasificación modal realizado por (Ligarda, 1989), muestra litologías diferentes clasificándose como: troctolitas, gabros de olivino y gabros horbléndicos. Las texturas son intergranulares o gabroicas, a veces poiquilíticas.

2.5. Áreas superficiales aflorantes de unidades geológicas

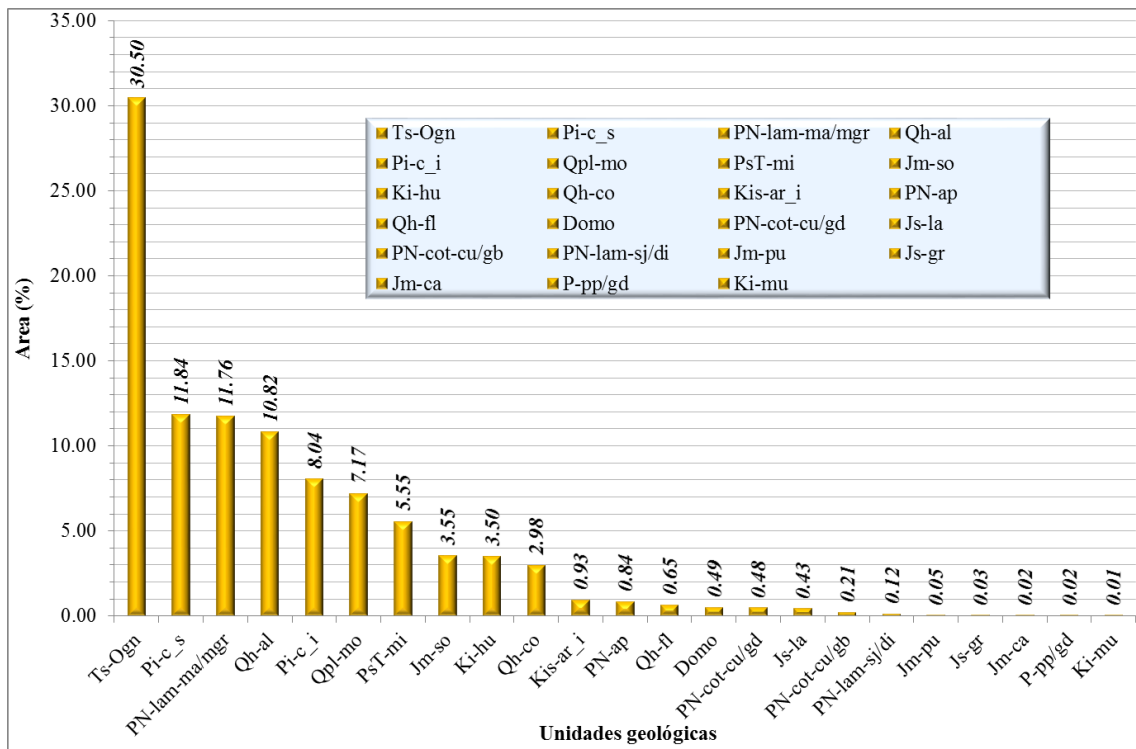
Las áreas aflorantes superficiales de las distintas unidades geológicas se muestra en la cuadro 2.1 y gráfico 2.1. Y las unidades con capacidad para almacenar y transmitir agua (acuíferos) superficialmente representan solo el 30 % del área de estudio.

Cuadro 2.1 Área superficial de afloramiento de unidades geológicas presentes en la microcuenca del río Mariño.

Unidad geológica	Código geológico	Área (km ²)	Área (%)
Ortogneis de Abancay	Ts-Ogn	86.92	30.50
Grupo Copacabana miembro superior	Pi-c_s	33.74	11.84
Unidad Lambrana - Plutón Marjune	PN-lam-ma/mgr	33.53	11.76
Depósitos aluviales	Qh-al	30.84	10.82
Grupo Copacabana miembro inferior	Pi-c_i	22.92	8.04
Depósitos Morrénicos	Qpl-mo	20.42	7.17
Grupo Mitu	Pst-mi	15.83	5.55
Formación Socosani	Jm-so	10.13	3.55
Formación Hualhuani	Ki-hu	9.99	3.50
Depósitos coluviales	Qh-co	8.50	2.98
Formación Arcurquina inferior	Kis-ar_i	2.64	0.93
Andesita porfirítica	PN-ap	2.38	0.84
Depósitos fluviales	Qh-fl	1.84	0.65
Domo	Domo	1.40	0.49
Unidad Cotabambas - Plutón Curahuasi	PN-cot-cu/gd	1.37	0.48
Formación Labra	Js-la	1.24	0.43
Unidad Cotabambas - Plutón Curahuasi	PN-cot-cu/gb	0.59	0.21
Unidad Lambrana - Plutón Sanjo	PN-lam-sj/di	0.35	0.12
Formación Cachios	Jm-pu	0.14	0.05
Formación Gramadal	Js-gr	0.08	0.03
Formación Cachios	Jm-ca	0.05	0.02
Formación Murco	Ki-mu	0.04	0.01
		285.0	100.00

Fuente: elaboración propia

Gráfico 2.1 Área superficial de afloramiento de unidades geológicas presentes en la microcuenca del río Mariño.



Fuente: elaboración propia

2.6. Geología estructural

En el área de estudio las estructuras tienen una orientación predominante de E-O.

2.6.1. Falla Abancay-Curahuasi

Se trata de una falla regional inversa con vergencia al norte, con dirección E-O hasta la zona de Salhuite y de dirección de NO-SE por la zona de Abancay. Pone en contacto a la Formación Socosani y al Grupo Yura sobre las formaciones Maras y Arcurquina. En la parte de Salhuite esta falla hace repetir secuencias de la Formación Socosani. Hacia la zona de Abancay tiene un movimiento de rumbo diestro y parece controlar el emplazamiento de rocas metamórficas triásicas (ortogneis). (Figura 2.2).

2.6.2. Falla Llactabamba

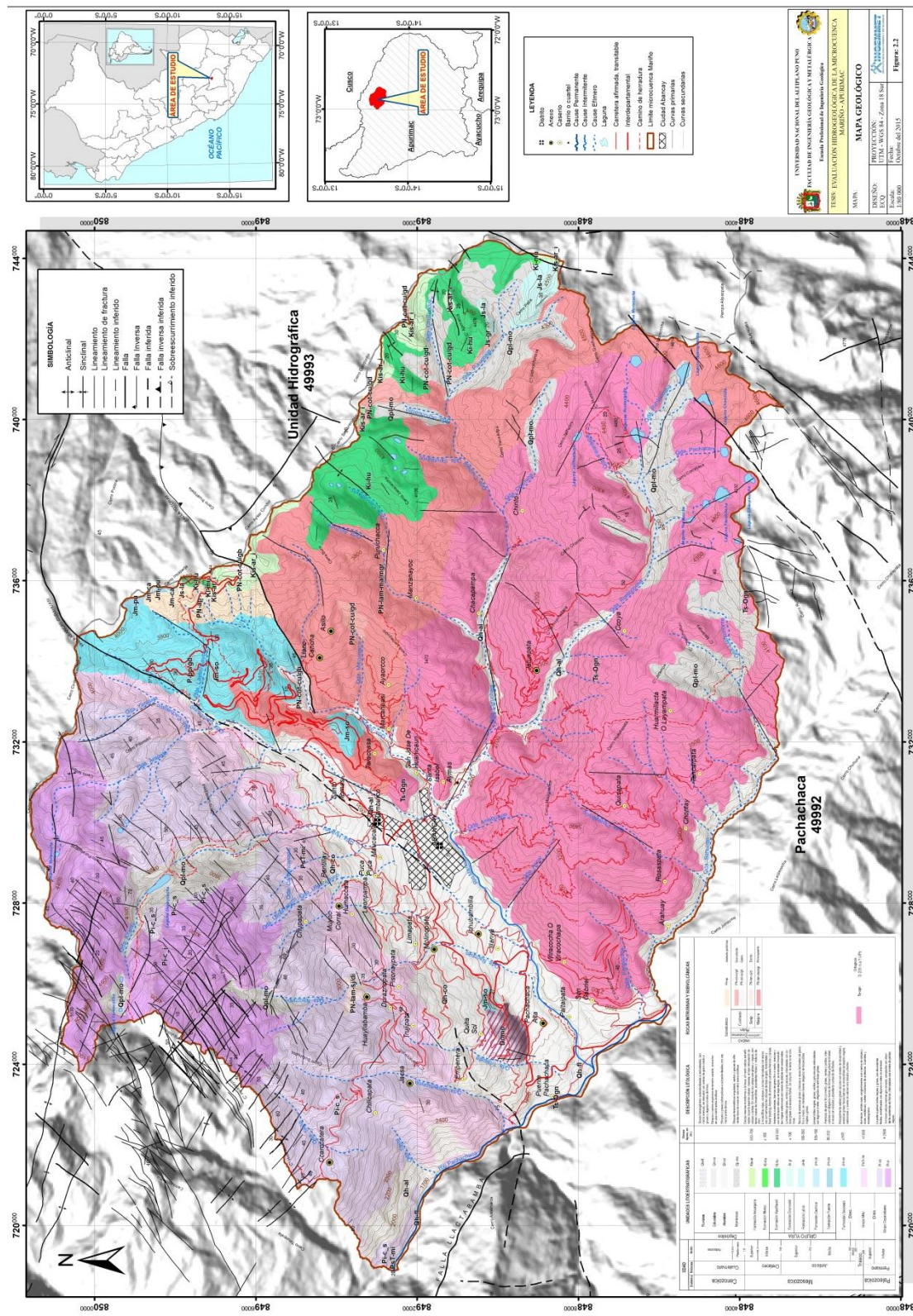
Se ubica al oeste de la ciudad de Abancay. Se trata de una falla normal de dirección NO-SE y corresponde a la prolongación de la falla que viene del cuadrángulo de Andahuaylas

donde tiene una dirección E-O (figura 2.2). En la zona, pone en contacto a capas rojas permo-triásicas del Grupo Mitu con las capas rojas paleógenas de la Formación Auzangate.

2.6.3. Pliegues

En el área de estudio se ha observado sistemas de pliegues predominantemente de dirección E-O y en menor proporción una dirección de NE-SO. Dentro de las estructuras E-O, se tiene al anticlinal de Abancay que afecta a las rocas del Grupo Copacabana (figura 2.2). Al extremo SE de la zona de estudio, se tiene un sistema de pliegues de orientación predominante ENE-OSO que han afectado a las formaciones Labra, Hualhuani, Murco y Arcurquina.

Figura 2.2. Mapa Geológico de la Microcuenca Mariño.



2.7. Hidrogeología

La hidrogeología tiene como objetivo el conocimiento y la evaluación de los recursos hídricos existentes en el subsuelo, la posibilidad de su captación y de su explotación en un contexto de gestión sostenible. Esto incluye el análisis del movimiento del agua, el conocimiento de sus propiedades y composición química, el estudio de su origen dentro del ciclo hidrogeológico, y la consideración de sus usos potenciales.

El medio físico donde se realizan todos los fenómenos hidrogeológicos lo constituyen ambientes netamente geológicos: las aguas subterráneas se mueven en el interior de las formaciones geológicas, cuyo estudio previo será fundamental para la adecuada comprensión de los problemas meramente hidrogeológicos.

La geología además de representar la base inicial del conocimiento de las aguas subterráneas de una zona, condiciona el funcionamiento de los acuíferos de la misma, en cuanto a la distribución de materiales permeables y/o impermeables, cierres y geometría, fallas y fracturas, etc., que pueden influir sobre el comportamiento del acuífero considerado. Libro digital del Agua (LDA) - Sistema Integrado de Información del Agua SIA – España.

2.7.1. Cuenca

Es frecuente que exista cierta confusión cuando se utilizan los términos de Cuenca Hidrológica y Cuenca Hidrográfica, por ello, *Carabias & Landa (2005)* aclara que:

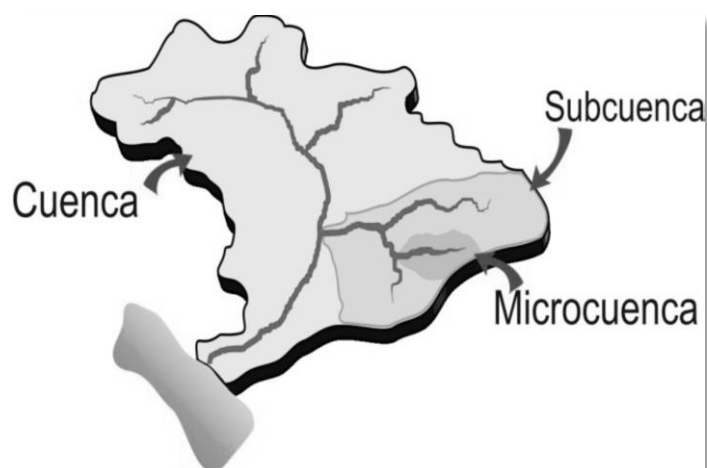
- **Cuenca hidrográfica**, se refiere a la definición geográfica de la misma, es el contorno o límite de la misma que drena agua en un punto en común.
- **Cuenca hidrológica**, se suele entender como una unidad para la gestión que se realiza dentro de la cuenca hidrográfica.
- **Subcuencas**

Conjunto de microcuencas que drenan a un solo cauce con caudal fluctuante pero permanente.

- **Microcuencas**

Una microcuenca es toda área en la que su drenaje va a dar al cauce principal de una subcuenca; es decir, que una subcuenca está dividida en varias microcuencas.

Figura 2.3. Cuenca, subcuenca y microcuenca



Fuente: (Casaverde, 2011).

2.7.2. Partes de una cuenca hidrográfica

- **Cuenca alta**

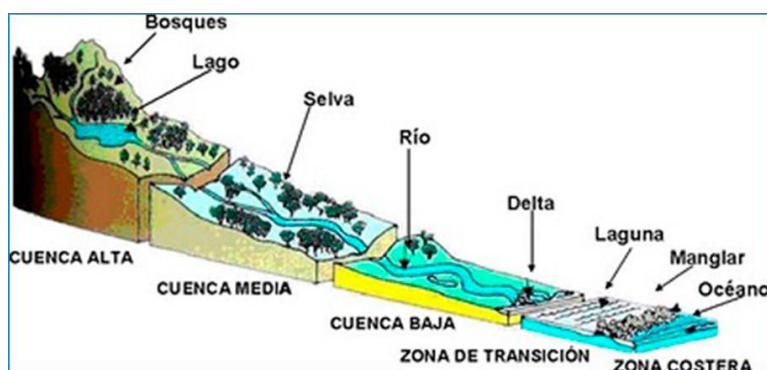
Corresponde generalmente a las áreas montañosas o cabeceras de los cerros, limitadas en su parte superior por las divisorias de aguas.

- **Cuenca media**

Parte donde se juntan las aguas recogidas en las partes altas y en donde el río principal mantiene un cauce definido.

- **Cuenca baja o zonas transicionales**

Donde el río desemboca a ríos mayores o a zonas bajas tales como estuarios y humedales.

Figura 2.4 Partes de la cuenca

Fuente: (Ordoñez, 2011).

2.7.3. Clasificación hidrogeológica de las rocas

Todas las rocas y depósitos recientes tienen comportamientos permeables e impermeables que hacen que pueda almacenar y transmitir aguas subterráneas en mayor o menor medida. Por eso, es muy importante clasificar las rocas y depósitos recientes desde el punto de vista hidrogeológico, que pueden ser de cuatro maneras:

- **Acuífero:** Es una formación geológica, capaz de almacenar y transmitir caudales económicamente rentables, bajo un gradiente hidráulico. Buenos acuíferos usualmente se desarrollan en formaciones con contenido de arena, grava y rocas fracturadas.
- **Acuitado:** El término es usado para describir a una formación geológica de baja permeabilidad, que almacena agua pero lo transmite con mucha dificultad, pero es considerable en términos de flujos regionales.
- **Acuicludo:** Formación geológica saturada de muy baja permeabilidad que es incapaz de transmitir agua en cantidades y sirven de barrera a los flujos regionales de aguas subterráneas.
- **Acuicludo:** Formación geológica extremadamente impermeable que no almacena agua ni la transmite.

En la realidad, no existen formaciones geológicas completamente impermeables y tampoco formaciones geológicas con porosidad nula. Por lo tanto, en la naturaleza solo existirían acuíferos y acuitados, sin embargo en la hidrogeología es habitual usar esta clasificación.

La clasificación más común de acuíferos está basado en la litología de la porosidad media en la que estos se desarrollan (Kresic, 2009).

El funcionamiento hidrogeológico de un sistema acuífero es diferente al de otro ambiente.

De acuerdo a ello se pueden diferenciar tres grupos:

A). Acuífero en depósitos inconsolidados (cuaternario)

- Acuífero poroso no consolidado (alta, mediana o baja Productividad).

B). Acuífero en rocas sedimentarias

- Acuífero fisurado sedimentario (alta, media o baja productividad)
- Acuífero kárstico (por dilución)
- Acuífero fisurado kárstico
- Acuífero sedimentario (alto, mediana o baja productividad)
- Acuífero vulcano-sedimentario.

C). Acuífero en rocas cristalinas

- Acuífero fisurado volcánico
- Acuífero fisurado intrusivos (limitaciones)

Cuadro 2.2. Características hidrogeológicas de las formaciones geológicas.

	Capacidad de almacenar	Capacidad de drenar	Capacidad de transferir	Formaciones características
Acuíferos	Alta	Alta	Alta	Gravas, arenas, calizas
Acuitardos	Alta	Media/Baja	Baja	Limos, arenas limosas y
Acuicludos	Alta	Baja	Nula	Arcillas
Acuífugos	Nula	Nula	Nula	Granitos, gneis

Fuente: *Fundamentos y Métodos de la Hidrología, (Tupak).*

2.7.4. Tipos de acuíferos

Según su comportamiento hidráulico se pueden hallar los acuíferos libres, no confinados o freáticos (aquellos en los cuales existe una superficie libre del agua que contienen, que está en contacto con el aire y por tanto a presión atmosférica); acuíferos cautivos confinados o a presión (aquellos en los que la superficie superior del agua se encuentra sometida a una presión superior a la atmosférica), y acuíferos semicautivos o semiconfinados (aquellos en los que la pared superior o inferior no es totalmente impermeable, sino que se trata de un acuitardo, es decir, un material que permite la filtración del agua, pero de forma muy lenta, lo que sirve de alimentación al acuífero principal). (*Universidad Nacional de Colombia, 2013*).

2.7.5. Parámetros hidrogeológicos

2.7.5.1. Porosidad

Es la característica que posee un material geológico de contener intersticios y su valor se da en porcentaje, representa el volumen del material ocupado por dichos intersticios. Se considera que una porosidad menor al 5% es baja, entre el 5 y el 20% es media y más del 20% es alta. Es posible aplicar la porosidad tanto en un material granular como en uno fracturado, inclusive se hallan materiales granulares compactos que se encuentran fracturados y enseñan lo que se llama doble porosidad. (*Maderey, 2005*).

Cuadro 2.3. Porosidad en los distintos tipos de sedimentos y rocas.

Tipo de sedimentos y rocas	Total (%)	Eficaz (%)
Arcillas	40 a 60	0 a 5
Limos	35 a 50	3 a 19
Arenas finas, arenas limosas	20 a 50	10 a 28
Arena gruesa	21 a 50	22 a 35
Grava	25 a 40	13 a 26
Lodo	30 a 50	
Arenisca	5 a 35	0.5 a 10
Calizas, dolomías	0.1 a 25	0.1 a 5
Calizas, dolomías kársticas	5 a 50	5 a 40
Ígneas y metamórficas no fracturadas	0.01 a 1	0.0005
Ígneas y metamórficas fracturadas	1 a 10	0.0005 a 0.01

Fuente: (Sanders, 1998)

2.7.5.2. Permeabilidad (K)

Es la propiedad que posee la roca para permitir que los fluidos se muevan a través de sus poros. Se la define como el caudal de agua que se filtra a través de una sección de área de terreno unidad, bajo la carga producida por un gradiente hidráulico unitario; tiene dimensiones de velocidad (m/s). Dentro de este concepto pueden definirse otros dos:

- La permeabilidad ligada tanto a las características texturales del medio físico como del fluido que transmite, denominada *permeabilidad efectiva* o *conductividad hidráulica*, representada por el coeficiente de permeabilidad, K
- La denominada *permeabilidad intrínseca*, k , que es solo dependiente de las

características internas del medio permeable.

Expresada de la siguiente manera:

$$Q = K \cdot i \cdot A \dots\dots\dots(\text{Formula 2.1})$$

Donde:

- Q Cantidad de agua drenada a través de la muestra por unidad de tiempo.
- K Conductividad hidráulica.
- i Gradiente piezométrico.
- A Sección transversal por donde se filtra el agua.

Cuadro 2.4. Valores relativos de permeabilidad

Permeabilidad relativa	K (cm/s)	Suelo típico
Muy permeable	$> 1 \times 10^{-1}$	Grava gruesa
Moderadamente permeable	1×10^{-1} a 1×10^{-3}	Arena; arena fina
Poco permeable	1×10^{-3} a 1×10^{-5}	Arena limosa; arena sucia
Muy poco permeable	1×10^{-5} a 1×10^{-7}	Limo y arenisca fina
Impermeable	$< 1 \times 10^{-7}$	Arcilla

Fuente: valores de permeabilidad o conductividad hidráulica según (Custodio & Llamas, 1983).

2.8. Hidrogeoquímica

La hidrogeoquímica estudia los aspectos geoquímicos del agua en sí y su relación con las rocas de la corteza terrestre. Frecuentemente se emplean reportes fisicoquímicos en estudios de aguas subterráneas, los cuales nos permiten observar la calidad, distribución e incluso, origen del agua, y probable tipo de rocas a través de las cuales circula el agua.

Entre los elementos que la hidrogeoquímica considera importantes por ser mayoritarios, se encuentran el calcio (Ca^{++}), magnesio (Mg^{++}), sodio (Na^{+}), potasio (K^{+}), bicarbonatos (HCO_3^{-}), sulfatos ($\text{SO}_4^{=}$), cloruros (Cl^{-}); y como parámetros de campo, la conductividad eléctrica, la temperatura, el contenido de oxígeno disuelto y el pH. Tales análisis son suficientes para el estudio de los principales procesos químicos en la mayoría de los acuíferos y sus relaciones con los sistemas hidrológicos (*Custodio, 1976; Deush, 1997*).

2.8.1. Parámetros físico-químicos del agua

En el estudio del agua subterránea los parámetros físicos y fisicoquímicos aportan información para su caracterización.

2.8.1.1. Potencial de hidrogeniones (pH)

El pH del agua es la medida de la alcalinidad y acidez e indica la concentración de los iones hidrógeno (H^{+}) y se mide en una escala logarítmica con rango de 0-14. Las mediciones de este parámetro se consideran más exactas cuando se realizan en campo durante la toma de muestra, debido a que el pH puede modificarse con el transcurso del tiempo a causa de cambios de temperatura, escape o incorporación de gases (*Palmer, 2007*). El pH describe, en forma general la composición del agua y las sustancias disueltas alteran el pH natural del agua. Un pH de 7 indica que el agua es neutra, a valores menores indica acidez y valores mayores un carácter básico (*Mazor, 1991*). De manera natural la mayoría de las aguas subterráneas tienen un pH que varía entre 6.5 y 8.

2.8.1.2. Conductividad eléctrica (CE)

La conductividad eléctrica es la capacidad que tiene el agua para conducir electricidad. Y se mide en microsiemens por centímetro ($\mu\text{S}/\text{cm}$) ó microohms/cm ($\mu\Omega^1/\text{cm}$). La conductividad eléctrica aumenta con la temperatura ($2\%/^{\circ}\text{C}$), por lo que se mide sobre una temperatura de referencia (18°C o 25°C). Mientras más iones haya en el agua, mayor es su conductividad. También influyen en la conductividad eléctrica el tipo de iones (carga eléctrica, estado de disociación, movilidad, entre otras). La conductividad en aguas dulces puede variar entre 100 y 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (*Custodio & Llamas, 1996*).

2.8.1.3. Sólidos totales disueltos (STD)

El agua es un solvente capaz de disolver la mayoría de los sólidos en algún grado. De la mayoría de solutos encontrados en el agua subterránea, sólo una parte pequeña está presente en una cantidad mayor a 1 ppm, bajo condiciones naturales típicas (*Deutsch et al., 1997*). De los sólidos disueltos en el agua, los iones mayores ocupan de 97-99% del total, los menores de 1-3% y los traza alrededor de 0.1% (*Freeze y Cherry, 1979; Deutsch et al., 1997*). Es importante resaltar que la abundancia relativa de los elementos que componen a los sólidos disueltos en el agua subterránea depende de su movilidad química (*Singhal y Gupta, 1999*). Conforme el agua subterránea migra en el subsuelo de las zonas de recarga a las zonas de descarga, cambia su composición química al disolver pequeñas cantidades de materiales que encuentra en su camino, aumentando la cantidad de sólidos disueltos que contiene (*Kehew, 2001*).

2.8.1.4. Temperatura (T°)

Aunque la temperatura del agua no es una característica química, afecta algunas de las propiedades geoquímicas (como la solubilidad de gases y minerales). Sus mediciones deben ser determinadas directamente en campo (*Deutsch et al., 1997*), aunque existen aproximaciones a las temperaturas dentro de un acuífero por medio de los geotermómetros (*Méndez & Ortiz, 2007*). La temperatura del agua subterránea está relacionada con la profundidad (aumentando aproximadamente 3°C por cada 100 m de profundidad). Fallas y fracturas pueden generar actividad hidrotermal, aumentando la temperatura del agua subterránea.

2.8.2. Composición de las aguas subterráneas

Como composición química de las aguas se reconoce, por tanto, a los diferentes componentes de tal mineralización, los cuales pueden ser divididos en tres grandes grupos:

- **Elementos mayoritarios:** normalmente entre ellos se consideran al calcio (Ca), magnesio (Mg), sodio (Na), potasio (K), carbonato (CO₃), bicarbonato (HCO₃), Sulfato (SO₄), Cloruro (Cl) y Nitrato (NO₃).
- **Elementos minoritarios:** dentro de ellos se consideran el hierro (Fe), el aluminio (Al), la sílice (SiO₂), el boro (B), fluoruros (F) y el selenio (Se). Esta subdivisión puede variar, considerando que el límite entre este grupo y el que sigue está dado por la concentración del elemento en cuestión en las aguas.
- **Elementos trazas:** dentro de ellos se consideran todos aquellos elementos que se encuentran en concentraciones muy bajas en las aguas. No obstante, el análisis que se realiza en la presente Tesis sobre la composición química de las aguas minerales se enfoca, en las principales propiedades geoquímicas.

2.8.3. Clasificación química del agua subterránea

La gran variedad de componentes y características fisicoquímicas del agua natural, exige su clasificación en grupos, para tener una información breve y sencilla sobre la composición química. Los diagramas hidrogeoquímicos están hechos para facilitar la interpretación de las tendencias de evolución, en especial en sistemas de aguas subterráneas.

2.8.3.1. Clasificación por iones dominantes

La clasificación por iones dominantes utiliza herramientas gráficas para su representación. Se nombra el agua por el anión o catión que sobrepasa el 50% de sus sumas respectivas. Si ninguno sobrepasa el 50%, se nombran los dos más abundantes. Si conviene, se puede añadir el nombre de algún ion menor de interés y que esté en concentración anormalmente alta. El manejo y estudio de análisis químicos puede simplificarse con el empleo de

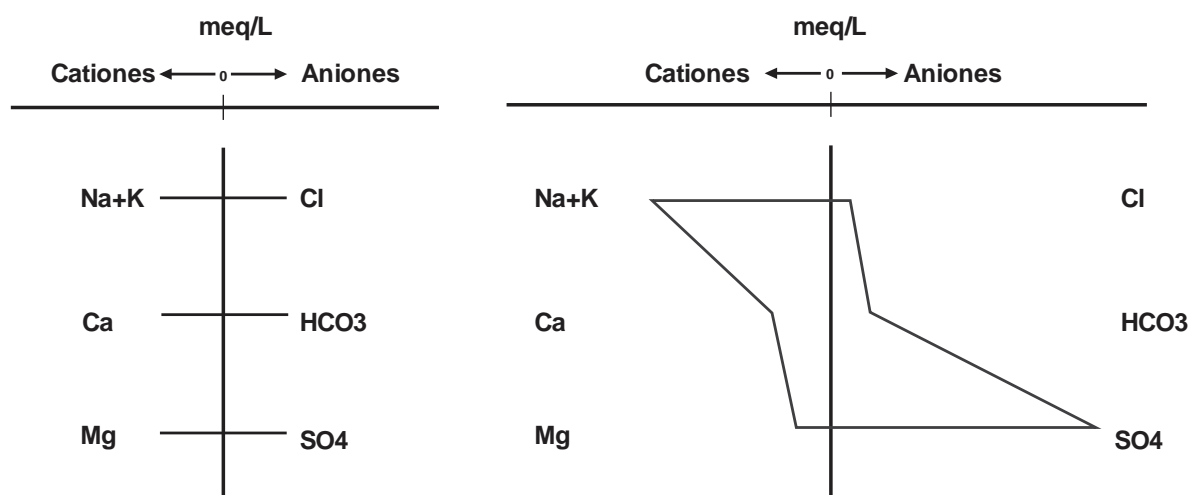
gráficos y diagramas, en especial cuando se trata de hacer comparaciones entre varios análisis de aguas de un mismo lugar en épocas diferentes o de lugares diferentes (*Custodio & Llamas, 1976*).

Los diagramas hidroquímicos se emplean para comparar los análisis químicos de diferentes muestras de agua subterránea. Se han desarrollado varios tipos de diagramas hidroquímicos, los más útiles son los diagramas de Stiff y Piper (*Kehew, 2001*).

a) Diagramas de Stiff

Estos diagramas son representaciones gráficas en forma de polígonos de los análisis químicos. Se originan al acomodar las concentraciones en miliequivalentes (meq) por litro de los iones mayores sobre un plano, a la izquierda se ubican los cationes y a la derecha están los aniones. La concentración de un catión se representa en sentido inverso en línea recta con la de un anión, formándose un total de tres parejas paralelas entre ellas en sentido vertical. El orden de los cationes (sodio+potasio, calcio y magnesio) y de los aniones (cloro, bicarbonatos y sulfatos) puede variar. La cantidad de cada ión origina una arista. Cuando se unen las aristas por medio de líneas, se forma una figura de seis lados. Un ejemplo de un diagrama de Stiff se muestra en la Figura 2.5.

Figura 2.5 Ejemplo de un diagrama Stiff, tipo de agua sulfatada sódica.



Fuente: Fuentes: (Pérez, 2008)

La forma que adopta el diagrama de Stiff depende de la cantidad de iones mayores que contenga un agua y de la proporción que mantienen entre sí los aniones y cationes. Por lo

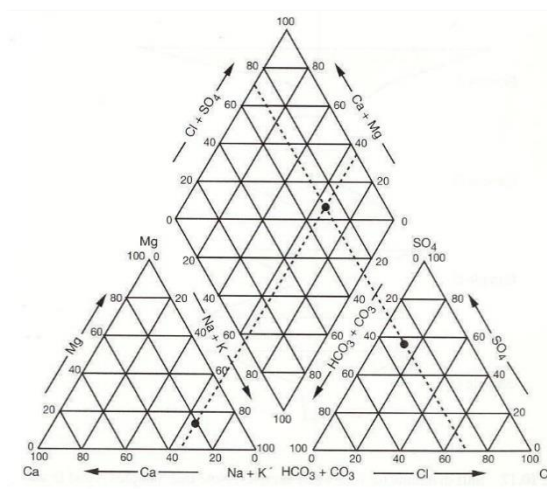
tanto, aguas con diagramas de Stiff parecidos poseen características químicas similares. La forma del diagrama de Stiff representa “la huella digital del agua”. Estos diagramas también son un indicio de la calidad del agua (McNellis *et al.*, 1969).

b) Diagramas de Piper

En particular, Piper (1944, *en* Chandha, 1999) creó un diagrama bitriangular, con los cationes y aniones en los triángulos basales, en porcentajes expresados según su concentración en meq/L. Este diagrama ha sido extensamente utilizado para estudiar las similitudes y diferencias en la composición de las aguas, y clasificarlas en distintos grupos químicos (Chadha, 1999).

Sirven para clasificar las aguas según la posición que ocupan en el diamante central (Tien-Chang, 1998). Cuando se muestrea un mismo punto en un acuífero durante un tiempo, se puede establecer la evolución que el agua está siguiendo.

Figura 2.6. Agua clasificada por medio del diagrama de Piper



Fuente: <http://www.aguaysig.com/2011/01/los-diagramas-mas-usados-para-la.html>

2.8. Métodos estadísticos

Una clasificación robusta en grupos de datos es una herramienta importante en la caracterización hidrogeoquímica de muestras de agua. Por ello, el uso de la estadística se ha vuelto importante en lo que se refiere al estudio hidroquímico de sistemas acuíferos. Una de las ventajas del uso de métodos estadísticos es el hecho de que se pueden manejar grandes cantidades de muestras, utilizar n número de parámetros a comparar y mostrar los

resultados obtenidos en una forma compacta (*Melloul et al., 1992*). Una de las técnicas estadísticas más utilizadas en el análisis de datos hidrogeoquímicos de muestras de aguas son el análisis de clusters y los índices de correlación.

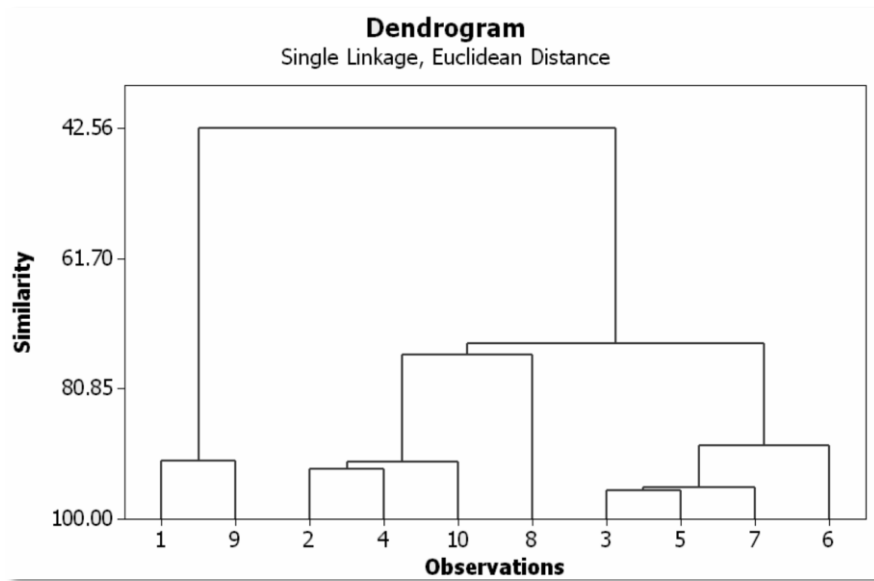
a) Análisis de clusters

Este análisis consiste en determinar a partir de un número establecido de muestras, cuáles son la que guardan cercanía entre ellas (*Hussain et al., 2008*).

Para evaluar la cercanía se estudian n número de parámetros, cada uno de ellos forma un eje o dimensión representado como un plano. Estos planos pueden ser evaluados en su conjunto a través de distancias numéricas (como las Euclidianas). Dichas distancias numéricas se obtienen al procesar estadísticamente los valores de los parámetros a evaluar (*Guler et al., 2002*).

Los análisis estadísticos de los datos pueden realizarse con programas computacionales (Xlstat 1.1). Los resultados de los análisis generalmente se muestran en forma de dendogramas, los cuales son gráficos en los que se agrupan las muestras acorde al índice de similitud entre ellas (*Silliman et al., 2007*). Estos gráficos permiten evaluar de forma visual cuáles son las muestras más parecidas ó las que tienen una mayor diferencia. En el dendograma mostrado en la *Figura 2.7*, en el eje Y se presenta el índice de similitud, mientras que en el eje X se presentan las muestras, de esta manera se pueden observar algunos agrupamientos (por ejemplo en las observaciones 1 y 9).

Figura 2.7. Ejemplo de un dendrograma.



Fuentes: (Pérez, 2008)

CAPÍTULO III

3. CARACTERIZACIÓN DEL AREA DE INVESTIGACION

3.1. Aspectos generales de localización

La microcuenca Mariño, pertenece políticamente al departamento de Apurímac y a la provincia de Abancay, comprende el 80 % de la extensión territorial del distrito de Abancay, y el 20% de la extensión territorial del distrito de Tamburco. La microcuenca Mariño debe su nombre al de su río principal, se trata de una cuenca de tamaño pequeño, ya que tiene 285 km².

La ciudad de Abancay se encuentra asentada dentro de la microcuenca del río Mariño, situada a una altitud de 2400 m s. n. m. que es la capital del departamento de Apurímac.

- **Acceso y vías de comunicación**

Tomando como referencia la ciudad de Lima, el acceso a la zona de estudio, se realiza por vía aérea y vía terrestre.

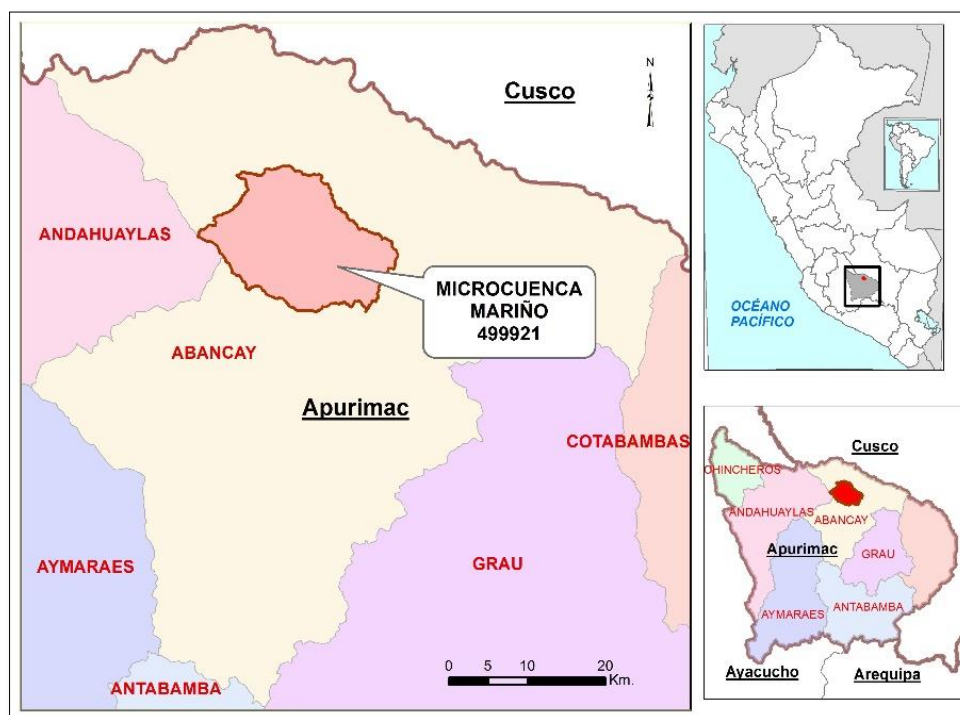
Por vía terrestre se puede acceder de la siguiente manera:

- Lima-Ica-Nazca-Puquio-Chalhuanca-Abancay (1215 km).
- Lima-Pisco-Ayacucho-Andahuaylas-Abancay (1177 km).

Por vía aérea y terrestre se puede realizar de la siguiente manera:

- Lima-Cusco (vía aérea 1 hora) y luego de Cusco- Abancay (194 km, vía terrestre 4 horas).
- Lima-Andahuaylas (vía aérea 1 hora) y luego de Andahuaylas-Abancay (142 km, 3.5 horas vía terrestre).

Figura 3.1. Mapa de ubicación política de la microcuenca Mariño



Fuente: *Elaboración propia*

Hidrográficamente, la microcuenca del río Mariño, se encuentra en la subcuenca Pachachaca que pertenece a la intercuenca Alto Apurímac. El área de estudio se encuentra limitado por las siguientes unidades hidrográficas:

- Por el Sur con la Subcuenca Pachachaca.
- Por el Norte con la Unidad hidrográfica 49993.
- Por el Este con la Unidad hidrográfica 49993.
- Por el Oeste con la Subcuenca Pachachaca.

Figura 3.2. Mapa de ubicación hidrográfica.



Fuente: Elaboración propia

3.1.1. Flora y Fauna

Entre la vegetación que sobresalen en la microcuenca se encuentran los eucaliptos, el molle, chaman retama, maguey, huarango, chachacomo, tayanca, tuna, las cactaceas columnares, la tara, el cultivo de la caña de azúcar para aguardientes, algunos frutales como la chirimoya, mango, cítricos, paltas capulí, constituyen parte de la flora.

La fauna al igual que la flora, en el área de estudio es abundante, presentando diversas variedades de especies zoológicas, entre ellos podemos citar el venado gris, puma, taruca, zorro, comadreas, ciervos, gatos de pajonal, venado rojo, vizcachas zorros, guanaco, etc. En aves se tiene los ruiseñores, búhos, palomas, perdices, cuculi, jilgueros, gorriones, tordos, calandria, loros picaflores, papagallos, pájaro carpintero, flamencos o pariguanas, guallata, gaviota, gavilán, etc.

3.1.2. Santuario Nacional de Ampay

El Santuario está ubicado a 5 km al norte de la ciudad de Abancay. Geográficamente se ubica en el flanco sur del nevado del mismo nombre, en la cordillera de Vilcabamba de los andes orientales del sur del Perú. Políticamente, pertenece al distrito de Tamburco, provincia de Abancay, capital del departamento de Apurímac.

En el santuario de Ampay destaca su diversidad en flora y fauna, entre sus atractivos más resaltantes está el bosque de Intimpa, el nevado Ampay, diversas lagunas y pinturas rupestres. Esta área protegida fue creado en 1987 (según Decreto Supremo N° 042-87-AG), tiene una extensión de 3 635.50 ha cuyo relieve presenta alturas que varían entre los 2 880 m s.n.m., y 3 800 m s.n.m. El santuario protege principalmente la intimpa, especie arbórea en peligro de extinción, y además otras especies de la flora como las orquídeas, las bromelias y los helechos; entre la fauna destacan los zorros, venados, osos de anteojos, vizcachas, pumas, gatos monteses, zorrinos, perdices, búhos, variedad de peces, otros.



Fotografía 3.1 Atractivos que más resaltan en el Santuario Nacional del Ampay. A). Laguna Angascocha y vegetación en sus alrededores (Intimpa). B). Nevado de Ampay por encima de los 4500 m s.n.m.

3.2. Ecología y clima

La clasificación de las zonas de vida (o del sistema), propuesta por el Dr. Leslie R. Holdridge y sus colaboradores (INRENA, 1995), definen en forma cuantitativa la relación que existe en el orden natural de los factores principales del clima y la vegetación. La biotemperatura, precipitación y humedad ambiental conforman los factores “independientes”, mientras que los factores bióticos son considerados como “dependientes” (subordinados a la acción directa del clima de cualquier parte del mundo). El sistema se plasma en un modelo de configuración tridimensional (y matemático como se había mencionado) que demuestra la interacción de los factores climáticos, y que abarca gráficamente todas las zonas de vida que puedan ocurrir en el mundo.

En el Perú se ha identificado un total de 84 zonas de vida y 17 de carácter transicional en 3 franjas latitudinales (ONERN, 1976): tropical (desde el ecuador al paralelo 12°), subtropical (desde el paralelo 12° hasta el paralelo 17°), y templada cálida (desde el paralelo 17° hasta la frontera con Chile), sin embargo; muchas de estas unidades ecológicas (o zonas de vida) tienen características similares en cuanto a vegetación, relieve y tipos de suelos, pero distintas en cuanto a la precipitación, temperatura, evapotranspiración, y ubicación latitudinal.

De acuerdo a la clasificación de zonas de vida del mapa ecológico del Perú (ONERN, 1976 e INRENA, 1995).

Las características climatológicas y ecológicas en la microcuenca del río Mariño está influenciada por factores como, altitud (la cordillera de los Andes), la latitud (cercanía a la línea ecuatorial).

El rango altitudinal de la cuenca varía desde los 1618 m s.n.m., (zona del río Pachachaca) hasta los 5178 m s.n.m. (en el Mariño con la presencia del Nevado Ampay). En la microcuenca del río Mariño se encuentran 8 zonas de vida (Cuadro 3.1), las cuales se han representado en un mapa ecológico (Figura 3.4).

Cuadro 3.1. Zonas de vida presentes en la microcuenca del río Mariño.

UNIDADES ECOLÓGICAS		
Nº	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
1	mte-S	Monte espinoso Subtropical
2	bs-S	Bosque seco Subtropical
3	bs-MBS	Bosque seco Montano Bajo Subtropical
4	pmh-SaS	Páramo muy húmedo Subalpino Subtropical
5	bh-MBS	Bosque húmedo Montano Bajo Subtropical
6	bh-MS	Bosque húmedo Montano Subtropical
7	tp-AS	Tundra pluvial Alpino Subtropical
8	NS	Nival Subtropical

Fuente: ONERN, 1976

Figura 3.3. Diagrama de clasificación de zonas de vida, según Holdridge (ONERN, 1976). Encerrado en círculo rosado se muestran las zonas de vida presentes en microcuenca del río Mariño.



3.2.1. El monte espinoso-Subtropical (mte-S)

Aparece en las partes más profundas o fondo de los valles interandinos, en la zona de estudio comprende la el fondo del valle Pachachaca. Altitudinalmente, se extiende entre los 500 m s.n.m., y los 2300 m s.n.m., siendo esta última elevación propia de los valles interandinos.

En el monte espinoso - Subtropical (mte-S), el promedio máximo de precipitación total por año es de 453.7 milímetros y el promedio mínimo, de 413.6 milímetros. La biotemperatura media anual estimada en base al diagrama bioclimático de Holdridge, varía entre 17° C y 24° C. La configuración topográfica es predominantemente quebrada.

3.2.2. Bosque seco-Subtropical (bs-S)

Altitudinalmente, se distribuyen entre 1000 y 2250 metros de elevación. En el Bosque Seco - Subtropical. La biotemperatura media anual es de 23.8° C. El promedio máximo de precipitación total por año es de 17 27.5 milímetros y el promedio mínimo, de 411.1 milímetros.

La configuración topográfica es predominantemente inclinada ya que se ubica sobre las laderas que enmarcan gran parte de los valles interandinos.

3.2.3. Bosque seco - Montano Bajo Subtropical (bs-MBS)

Se distribuye en la región latitudinal Subtropical. Ocupan los valles mesoandinos entre los 2500 y 3200 metros de altura.

En el bosque seco-Montano Bajo Subtropical (bs-MBS), donde existen la biotemperatura media anual máxima es de 18.1° C (Abancay, Apurímac) y la media anual mínima de 11.7° C. El promedio máximo de precipitación total por año es de 1124.7 mm aproximadamente. El relieve varía de suave o plano, propio de las terrazas de los valles interandinos a inclinado, típico de las laderas que encierran a dichos valles.

3.2.4. Bosque húmedo-Montano Bajo Subtropical (bh-MBS)

Se distribuye en la región altitudinal Subtropical. Geográficamente, ocupan los valles interandinos en su porción intermedia, entre los 1800 m s.n.m., y 3000 m s.n.m. En el

bosque húmedo-Montano Bajo Subtropical (bh-MBS). La biotemperatura media anual es de 14.1° C y la media anual mínima, de 12.4° C aproximadamente. El promedio máximo de precipitación total por año es de 1063 milímetros y el promedio mínimo, de 992 mm aproximadamente.

Según el Diagrama de Holdridge, estas dos Zonas de Vida tienen un promedio de evapotranspiración potencial total por año variable entre la mitad (0.5) y una cantidad igual (1) al volumen promedio de precipitación total por año, lo que ubica a estas zonas de vida en la provincia de humedad: Húmedo.

El relieve topográfico es predominantemente inclinado.

3.2.5. Bosque húmedo - Montano Subtropical (bh-MS)

Se distribuye en la región latitudinal Subtropical. En el bosque húmedo-Montano Subtropical (bh-MS). La biotemperatura media anual máxima es de 12.9° C y la media anual mínima, de 6.5° C aproximadamente. El promedio máximo de precipitación total por año es de 1119 milímetros y el promedio mínimo de 410 milímetros.

Según el Diagrama Bioclimático de Holdridge, esta zona de vida tiene un promedio de evapotranspiración potencial total variable entre la mitad (0.5) y una cantidad igual (1) al volumen de precipitación promedio total por año, lo que ubica a esta zona de vida en la provincia de humedad: Húmedo.

El relieve es predominantemente empinado ya que conforma el borde o parte superior de las laderas que enmarcan a los valles interandinos, haciéndose un tanto más suave en el límite con las zonas de Páramo que presentan gradientes moderadas por efecto de la acción glacial pasada.

3.2.6. Páramo muy húmedo - Subalpino Subtropical (pmh-SaS)

Se localiza en la franja latitudinal subtropical. En el área de estudio comprende la parte alta de la zona sur y en la zona norte de la microcuenca es la franja inmediata inferior a la zona de vida Tundra Pluvial – Alpino Subtropical. En el páramo muy húmedo - Subalpino Subtropical (pmh-SaS), la biotemperatura media anual máxima es de 6.9° C y la media anual mínima de 4.6° C. El promedio máximo de precipitación total por año es de 1088.5 milímetros y el promedio mínimo, de 513.4 mm aproximadamente.

Según el diagrama de Holdridge, la evapotranspiración potencial total por año para esta Zona de Vida se ha estimado una variación entre la cuarta parte (0.25) y la mitad (0.5) del promedio de precipitación total por año, lo que las ubica en la provincia de humedad: PERHUMEDO.

3.2.7. Tundra pluvial - Alpino Subtropical (tp-AS)

Vida tundra pluvial – Alpino Subtropical se distribuye en la región latitudinal Subtropical. Geográficamente, ocupan la franja inmediata inferior del piso Nival, en la microcuenca Mariño comprende la pequeña franja inmediata a la zona nival subtropical (Nevado Ampay) entre los 4300 y 5000 metros de altitud y a lo largo de la Cordillera de los Andes. En la tundra pluvial-Alpino Subtropical (tp-AS), la biotemperatura media anual máxima es de 3.2° C y la media anual mínima, de 2.5° C aproximadamente.

Según el Diagrama de Holdridge, el promedio de evapotranspiración potencial total por año, en estas Zonas de Vida, varía entre la octava (0.125) y la cuarta parte (0.25) del promedio de la precipitación total por año, lo que las ubica en la provincia de humedad: SUPERHUMEDO.

El relieve topográfico es generalmente accidentado, variando a colinado y ondulado, este último propio del modelaje glacial principalmente.

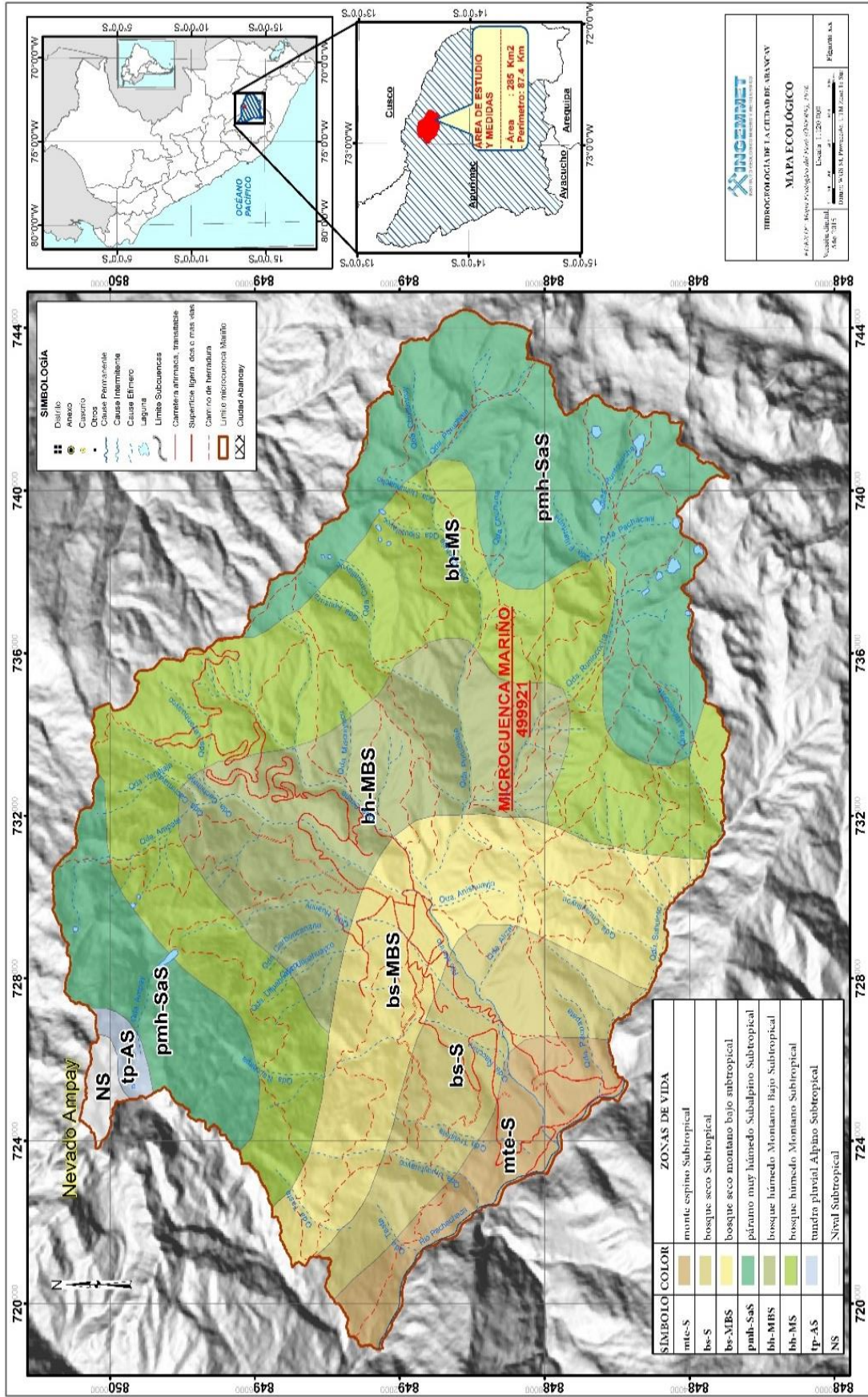
3.2.8. Nival Subtropical (NS)

La Zona de Vida Nival abarca totalmente el piso Nival, en el área de estudio comprende el nevado Ampay. Estos glaciares se extienden a lo largo de las crestas de los Andes generalmente arriba de los 5000 m s.n.m.

En estas Zonas de Vida, las características bioclimáticas han sido estimadas en base al diagrama de Holdridge. La biotemperatura media anual generalmente se encuentra por debajo de 1.5° C y el promedio de precipitación total anual por año a menudo variable entre 500 mm y 1000 mm.

La configuración topofisiográfica es abrupta.

Figura 3.4: Mapa Ecológico de la microcuenca Mariño



3.3.Hidrografía

La principal fuente de recurso hídrico de esta cuenca, la constituyen el Nevado Ampay y las lagunas Uspacocha y Angascocha ubicadas en el distrito distrito Tamburco, también la lagunas Wilcacochoa, Tornaccocha Rontoccocha, Azulccochoa, Yanaccocha, Soyoccocha, Ccesillaccocha,Sachuara, Huiccsoccocha los mismos que pertenecen al distrito de Abancay.

Hidráulicamente la microcuenca Mariño está constituida por los ríos Mariño, río Ñacchero, río Maucacalle (estacional), Sahuanay (estacional), Quebrada Huanusqui, Quebrada Urpayhuayco, Quebrada Trujipata, ríos que pertenecen a la jurisdicción del distrito de Abancay. Además, los ríos Quebrada Colcaque, Quebrada Chinchichaca, Quebrada Carboncanana pertenecen al distrito de Tamburco.

3.4.Características morfométricas de la microcuenca Mariño.

3.4.1. Parámetros básicos.

Cuadro 3.2. Parámetros Básicos

Área de una cuenca(A):	284.97	km²
Perímetro de la cuenca (P):	87.43	km
Longitud de la cuenca (L):	20.73	km
Longitud del Cauce Principal (L_p)	10.38	km
Cota Inicial Cauce Principal	2630.00	m s.n.m.
Cota Final Cauce Principal	1719.00	m s.n.m.
Longitud Total de Cauces L_t	233.81	km
Ancho de cuenca (w): w=A/L	13.75	km

Fuente: elaboración propia

3.4.2. Parámetros geomorfológicos.

a). **Factor de forma de una cuenca (F): 0.66**

$$F = \frac{A}{L^2} \dots\dots\dots \text{(Ecuación 3.1)}$$

b). Relación de elongación (R): 0.92

$$R = 1,128 \frac{\sqrt{A}}{L} \dots\dots\dots(\text{Ecuación 3.2})$$

c). Relación de circularidad (Rc): 0.47

$$Rc = \frac{4A\pi}{P^2} \dots\dots\dots(\text{Ecuación 3.3})$$

d). Índice de Gravelius o coeficiente de compacidad (C)

Está definido como la relación del perímetro de la cuenca y el área de la cuenca.

El análisis del índice de compacidad (C), es un indicador preventivo de inundaciones o llegadas súbitas de agua hacia los poblados cercanos a cauces y arroyos, donde el tiempo de escurrimiento dependerá únicamente de la forma de la cuenca.

Donde:

$$C = 0,282 x \frac{P}{\sqrt{A}} \dots\dots\dots (\text{Ecuación 3.4})$$

P: Perímetro de la cuenca.

A: Área de la cuenca.

Este coeficiente está relacionado estrechamente con el tiempo de concentración.

Cuadro 3.3. Índice de compacidad. FAO, 1985

Clase de forma	Rangos de clase	Forma de la cuenca	Forma de la microcuenca a Mariño
Clase C1	De 1 a 1,25	Casi redonda a oval redonda	-
Clase C2	De 1.25 a 1,50	Oval redonda a oval oblonga	1.45
Clase C3	De 1.50 a 1,75	Oval oblonga a rectangular oblonga	-
Clase C4	>1,75	Casi rectangular (alargada)	-

Analizando los índices de Gravelius del área de estudio, se observa que la microcuenca es irregular debido a que presenta índice mayor a 1.

A la microcuenca del río Mariño corresponde un índice de forma oval redonda a oval oblonga, lo que indica que el tiempo de concentración es corto y esto hace que las aguas fluyan rápido por el cauce principal

El análisis del coeficiente de compacidad (C) puede servir como un indicador para prevenir inundaciones o llegadas repentinas de agua a poblados cercanos, a cauces o arroyos; pues los tiempos de concentración de los escurrimientos dependerán de la forma de la cuenca identificada como el índice de compacidad.

e). Rectángulo equivalente

Supone la transformación geométrica de la cuenca real en una superficie rectangular de lados L y l del mismo perímetro de tal forma que las curvas de nivel se convierten en rectas paralelas a los lados menores del rectángulo (l). Esta cuenca teórica tendrá el mismo Coeficiente de Gravelius y la misma distribución altitudinal de la cuenca original.

$$L = \frac{C_g \sqrt{A}}{1,12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{C_g} \right)^2} \right] \quad l = \frac{C_g \sqrt{A}}{1,12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{C_g} \right)^2} \right] \dots\dots\dots(\text{Ecuación 3.5 y 3.6})$$

Resultado:

L = 36.14

l = 7.88

Donde:

L=altura del rectángulo en km

l= base del rectángulo en km

Cg= coeficiente de Gravelius

A= superficie de la cuenca en km²

3.4.3. Parámetros de relieve

El relieve es un factor importante en el comportamiento de la cuenca, ya que cuantos mayores son los desniveles en la cuenca, mayor es la velocidad de circulación y menor el tiempo de concentración, lo que implica un aumento del caudal de punta. Llegando a influenciar la tendencia hidrológica. Estos parámetros son:

a) Pendiente media de la cuenca.

Análisis de las pendientes medias.

La clasificación adoptada en términos descriptivos es:

Cuadro 3.4. Rango de pendientes medias

Pendientes medias (°)	Relieve
< 10 °	Muy baja
10° - 20°	Baja
20° - 40°	Media
40° - 60°	Alta
>60	Muy alta

Fuente: Ingemmet.

Para la microcuenca Mariño se determinó una pendiente media de 23.34° (44.77 %). Según el cuadro 3.4 establecida tendría un relieve media. En la figura 3.5 se presenta un mapa de pendientes de acuerdo al cuadro 3.4.

Por otro lado, según la clasificación establecida por *Henao (1988)* como se muestra en el *cuadro 3.5*, el relieve del área de estudio sería muy fuerte.

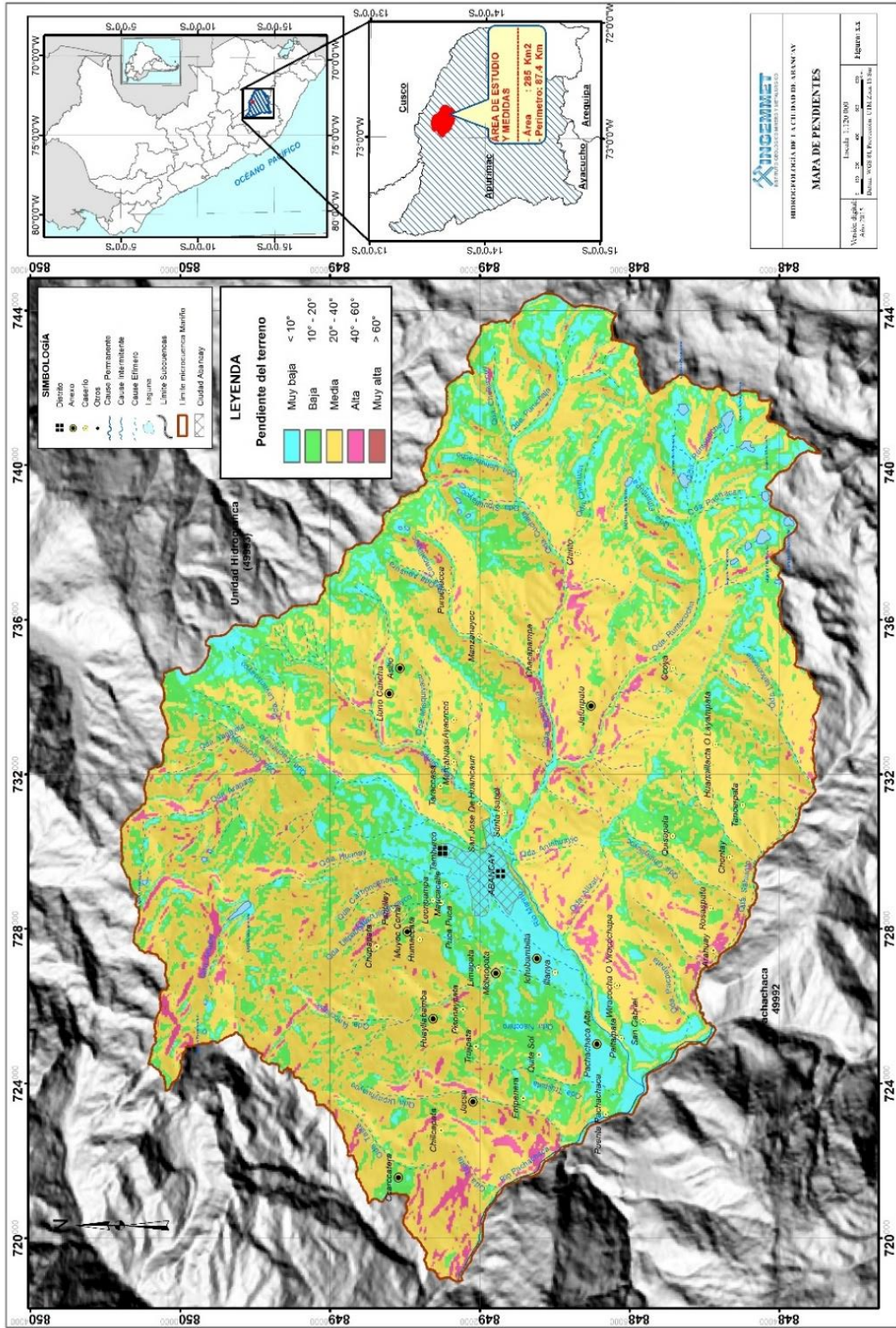
Cuadro 3.5. Rango de pendientes medias.

Pendientes medias %	Relieve
0 – 3	Plano
3 – 7	Suave
7 – 12	Mediano
12 – 20	Accidentado
20 – 35	Fuerte
35 – 50	Muy fuerte
50 – 75	Escarpado
Mayor de 75	Muy escarpado

Fuente: Henao (1988)

En el área de estudio la fuerte pendiente que predomina en las zonas medias a altas de la microcuenca son uno de los factores condicionantes para que se produzca movimientos en masa.

Figura 3.5. Mapa de pendientes de la microcuenca Mariño



b) Curva hipsométrica

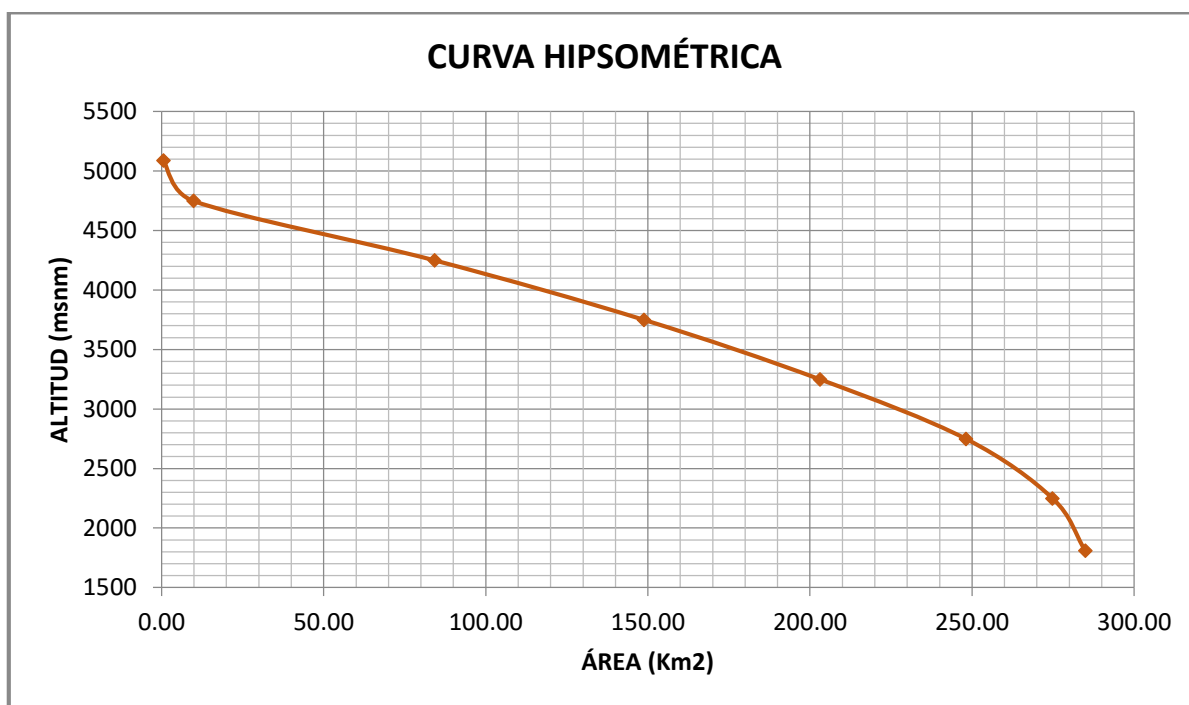
Es la representación gráfica del relieve de una cuenca. Es una curva que indica el porcentaje de área de la cuenca que existe sobre una cota determinada. Una curva hipsométrica puede darnos algunos datos sobre las características fisiográficas de la cuenca.

Cuadro 3.6. Elaborado para determinar la curva hipsométrica

Cota mínimo (m s.n.m.)	Cota máximo (m s.n.m.)	Cota promedio (m s.n.m.)	Área Parcial (km²)	Área Acumul ada (km²)	Área que queda sobre la superficie (km²)	% del total	% del total que
1618	2000	1809	10.11	10.11	284.96	3.55%	100.00%
2000	2500	2250	26.72	36.84	274.84	9.38%	96.45%
2500	3000	2750	45.03	81.87	248.12	15.80%	87.07%
3000	3500	3250	54.25	136.12	203.09	19.04%	71.27%
3500	4000	3750	64.57	200.69	148.84	22.66%	52.23%
4000	4500	4250	74.43	275.12	84.26	26.12%	29.57%
4500	5000	4750	9.25	284.37	9.83	3.25%	3.45%
5000	5178	5089	0.59	284.96	0.59	0.21%	0.21%
			285			100%	

Fuente: elaboración propia

Gráfico 3.1. Curva hipsométrica del área de estudio.



Fuente: *Elaboración Propia*

- **Análisis de la curva hipsométrica**

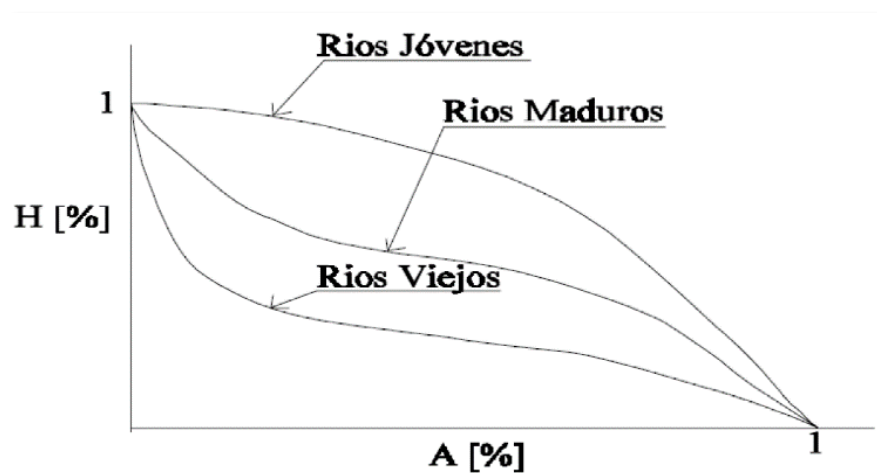
“La función hipsométrica es una forma conveniente y objetiva de describir la relación entre la propiedad altimétrica de la cuenca en un plano y su elevación.

Es posible convertir la curva hipsométrica en función adimensional usando en lugar de valores totales en los ejes, valores relativos: dividiendo la altura y el área por sus respectivos valores máximos. El gráfico adimensional es muy útil en hidrología para el estudio de similitud entre dos cuencas, cuando ellas presentan variaciones de la precipitación y de la evaporación con la altura. Las curvas hipsométricas también han sido asociadas con las edades de los ríos de las respectivas cuencas”²

La curva hipsométrica del área de estudio indica que las zonas altas poseen cumbres escarpadas de relieve accidentado con altas pendiente y por tanto son sectores más propensos a erosión. Y las zonas bajas (fondo del valle Mariño) presentan pendientes medias.

² **Referencia:** (Guía del trabajo práctico, determinación de las características físicas. Facultad de Ingeniería, Departamento de Hidráulica, Universidad Nacional del Nordeste de Argentina).

Gráfico 3.2. Curva hipsométrica. Edades de los ríos.



Fuente: (Herrera, M.; Naranjo, H., 2012)

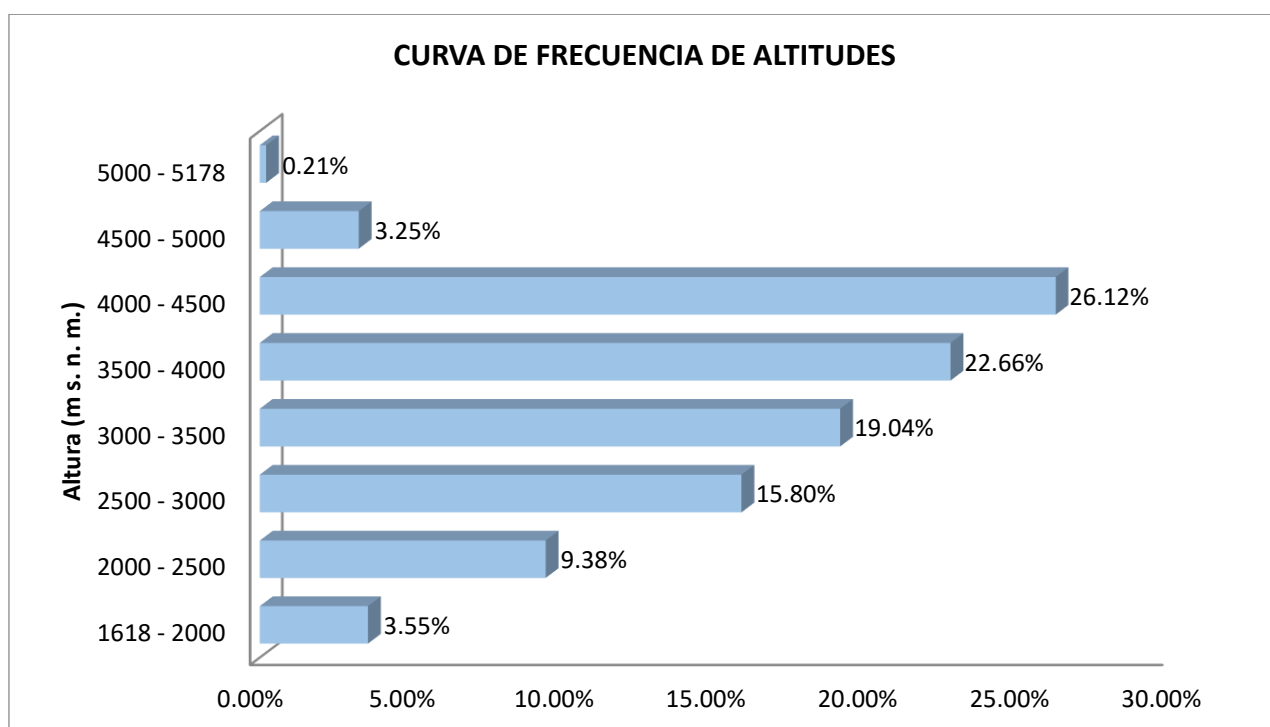
Tomando en cuenta el gráfico anterior, se puede clasificar a los ríos del área como ríos jóvenes.

En lugares de relieve alta, con elevaciones altas propensos a erosión, los ríos son jóvenes que escurren con mayor velocidad y construyen lechos estrechos erosionando la base de su cauce.

c) Altitud más frecuente de la cuenca

La altitud más frecuente de la cuenca se define como el máximo de las curvas de frecuencias altimétricas. Esta altitud se obtiene de la curva hipsométrica. Gráfico 3.3.

Gráfico 3.3. Frecuencia de altitudes



Fuente: elaboración propia

d) Tiempo de concentración

Se define como el tiempo mínimo necesario para que todos los puntos de una cuenca estén aportando agua de escorrentía de forma simultánea al punto de salida, punto de desagüe o punto de cierre. Está determinado por el tiempo que tarda en llegar a la salida de la cuenca el agua que procede del punto hidrológicamente más alejado, y representa el momento a partir del cual el caudal de escorrentía es constante.

El tiempo de concentración de la cuenca es muy importante porque en los modelos lluvia-escorrentía, la duración de la lluvia se asume igual al tiempo de concentración de la cuenca, puesto que es para esta duración cuando la totalidad de la cuenca está aportando al proceso de escorrentía, por lo cual se espera que se presenten los caudales máximos

Para el área de estudio se utilizó la expresión propuesta por Témez.

Tc: Tiempo de concentración en horas.

L: Longitud del cauce principal en kilómetros

So: Diferencia de cotas sobre L en porcentaje.

$$T_c = 0.3 \left(\frac{L}{S_o^{0.25}} \right)^{0.75} \dots\dots\dots \text{(Ecuación 3.7)}$$

Tc = 2.18 horas.

3.4.4. Altitudes características

Altitud media de la Cuenca: *3398.00 m s. n. m.*

Altitud más frecuente: *3250.00 m s. n. m.*

Altitud de Frecuencia media (Em): *3453.03 m s. n. m.*

$$E_m = \frac{\sum ae}{A} \dots\dots\dots \text{(Ecuación 3.8)}$$

e: Elevación media entre dos contornos

a: Área entre contornos

3.4.5. Características y parámetros de la red de drenaje

a). Densidad de drenaje (Dd): **0.82**

$$Dd = A/L_t \dots\dots\dots \text{(Ecuación 3.9)}$$

L_t: Longitud total de cauces

A: Área de la cuenca

b). Constantes de estabilidad del Río (C): **1.22**

$$C = \frac{A}{L_t} \dots\dots\dots \text{(Ecuación 3.10)}$$

c). Densidad de corriente (D_c) o Densidad hidrográfica (D_h): 0.57

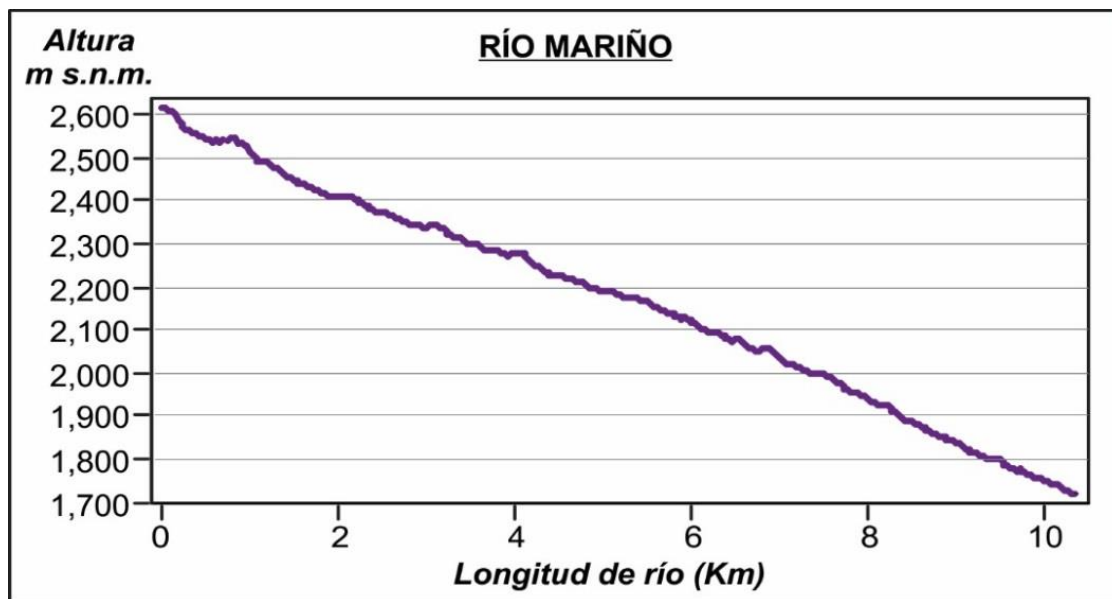
$$D_h = \delta D_d^2 \dots\dots\dots \text{(Ecuación 3.11)}$$

δ: Coeficiente Adimensional = 0,694

d).Perfil longitudinal

El perfil longitudinal de un río es la línea obtenida al representar las diferentes alturas desde su nacimiento a su desembocadura. La pendiente media del río Mariño es 23.74 % (12.88°). (Gráfico 3.4).

Gráfico 3.4. Perfil longitudinal del río Mariño.



Fuente: elaboración propia

e). Jerarquización de la red fluvial

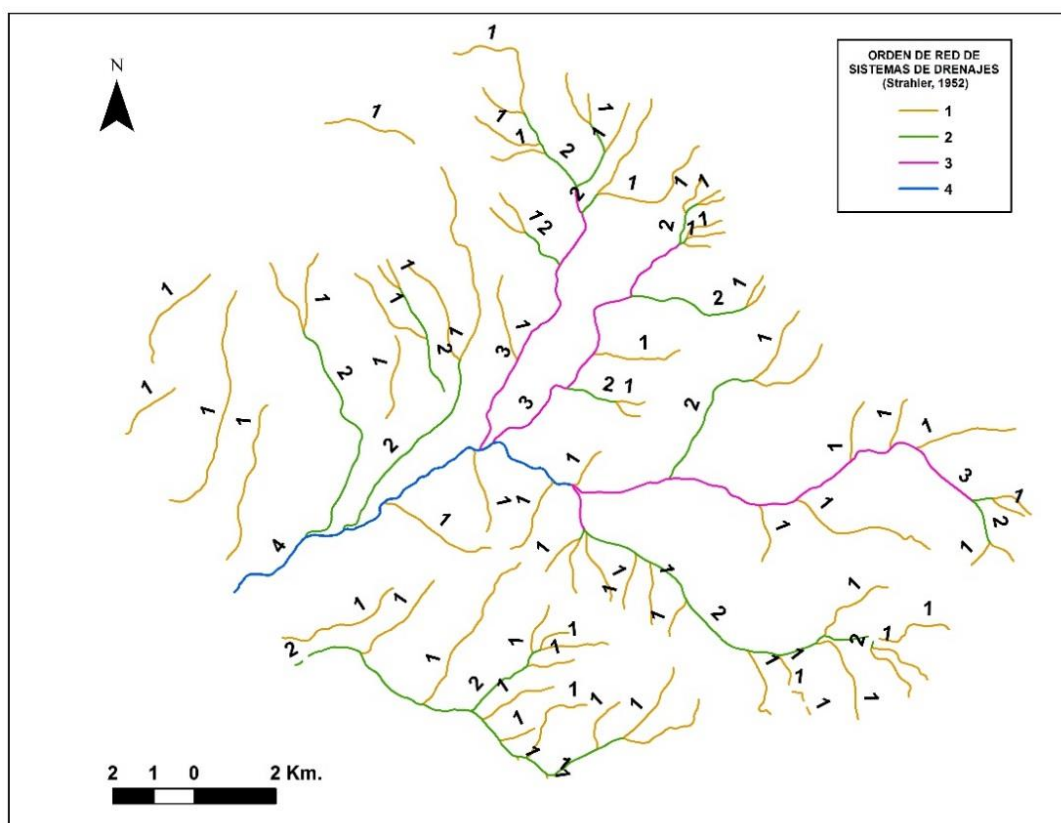
Existen diferentes métodos para obtener este índice (Gregory and Walling, 1985). En este estudio se utilizó el método de Strahler ya que es el más común, el más comprensible y el más fácil de relacionar con otros parámetros morfométricos. Este índice se obtiene mediante la agregación de corrientes, considerando una corriente de primer orden a aquella que no tiene afluentes, una de segunda orden aquella donde se reúnen dos corrientes de

primer orden, una de tercero donde confluyen dos de segundo orden y así sucesivamente (figura 3.6).

La jerarquización permite tener un mejor conocimiento de la complejidad y desarrollo del sistema de drenaje de la cuenca. El orden se relaciona con el caudal relativo del segmento de un canal. Jerarquización de orden de sistemas de drenaje propuesta por *Strahler (1952)*.

El orden máximo que alcanza por el método Strahler de jerarquización para el río Mariño es 4.

Figura 3.6. Orden de los cursos fluviales de la microcuenca Mariño, según Strahler (1952).



Fuente: elaboración propia

Este índice indica el grado de estructura de la red de drenaje. En general, mientras mayor sea el grado de corriente, mayor será la red y su estructura más definida. Asimismo, un mayor orden indica en general la presencia de controles estructurales del relieve y mayor posibilidad de erosión o bien, que la cuenca podría ser más antigua.

3.5.Hidrología

La microcuenca Mariño se caracteriza por presentar un clima templado y cálido en el valle de Abancay hacia las zonas bajas próximas al río Pachachaca, así mismo presenta un clima mayormente frío a templado en sus zonas altas. Presenta dos estaciones bien definidas de acuerdo a la intensidad de lluvias: Período lluvioso (diciembre a marzo) y Período seco (abril a noviembre).

Los datos de clima (temperatura y precipitación) fueron obtenidos a partir de la base de datos de WorldClim (<http://biogeo.berkeley.edu/worldclim/worldclim.htm>). WorldClim es una base de datos de variables climáticas que se presenta en la forma de archivos raster. Un raster es un archivo utilizado en los SIG que presenta un área espacial dividida en celdas (o píxel) regulares (cuadrícula). Cada celda esta asociada al valor de un atributo, como por ejemplo la altitud, que corresponde al promedio del valor de este atributo sobre toda la superficie de la celda considerada. Un píxel es la menor unidad en la que se descompone una imagen digital, como el raster. Así, el tamaño del píxel define la resolución del raster, cuanto más pequeño es el píxel, mejor es la resolución. En este caso, la resolución es de 1 kilómetro

(Cada celda corresponde en la realidad a un cuadrado de un kilómetro de lado).

Los datos WorldClim fueron generados a través de interpolación de la media de los datos climáticos mensuales de estaciones meteorológicas entre 1950 y 2000.

Las variables incluidas son la precipitación total mensual, y la media mensual, temperatura máxima y mínima, y 19 variables bioclimáticas (Hijmans, et al., 2005), derivadas de la temperatura y la precipitación.

3.5.1. Temperatura

La variación de la temperatura es muy significativa según la figura 3.7 las temperaturas son mayores en el fondo del valle que van disminuyendo hacia las zonas altas de la microcuenca. La microcuenca Mariño presenta una temperatura media anual de 10.81 °C. Las temperaturas más bajas se presentan en los meses de junio, julio y agosto con medias mensuales de 9.09, 8.93 y 9.63 ° C respectivamente.

3.5.2. Precipitación

Las precipitaciones son abundantes de noviembre a marzo, el periodo seco con lluvias escasas de abril a octubre.

En la microcuenca Mariño, la precipitación media anual es de 782.82 mm (223080.2 m³). La distribución espacial de la precipitación se representa en la figura 3.8, donde se observa que la precipitación varía de acuerdo a la altura.

3.5.3. Evapotranspiración (Etp)

Los datos de la evapotranspiración se han obtenido a partir del raster de precipitación y temperatura de Worlclim, aplicando la fórmula de Holdridge.

$$Etp = 58.93 \times \text{Temperatura biológica en mm} \dots\dots\dots \text{(Ecuación 3.12)}$$

De acuerdo a la figura 3.9 se observa que hay una mayor evapotranspiración en las zonas bajas o fondo de valle de la microcuenca donde hay mayor vegetación y las temperaturas son elevadas. Para la microcuenca se ha calculado una evapotranspiración media anual 636.75 mm, la variación espacial de evapotranspiración se presenta en la figura 3.9.

3.5.4. Excedente hídrico

De acuerdo a cuadro 3.4 calculado y la figura 3.10, en los meses húmedos de noviembre a marzo el excedente hidrico es positivo es decir, la precipitación en dichos meses es mayor que la evapotranspiración y como consecuencia el agua puede fluir por la superficie terrestre como agua de escorrentía, además, el excedente hídrico puede, a través de la percolación del suelo y bajo el impulso de la gravedad, seguir una dirección hacia el interior para acabar formando parte del agua subterránea en el acuífero. Siguiendo la trayectoria del flujo subterráneo, esta agua emerge convirtiéndose entonces en agua superficial. En los meses secos abril a octubre no existe excedente hidrico debido a que la evapotranspiración es mayor que la precipitación. El excedente hídrico media anual calculado es 319.31 mm.

Cuadro 3.7. Datos de medias mensuales de precipitación y temperatura (periodo 1950 – 2000) obtenidas de la base de datos de Worlclim. Y evapotranspiración calculada.

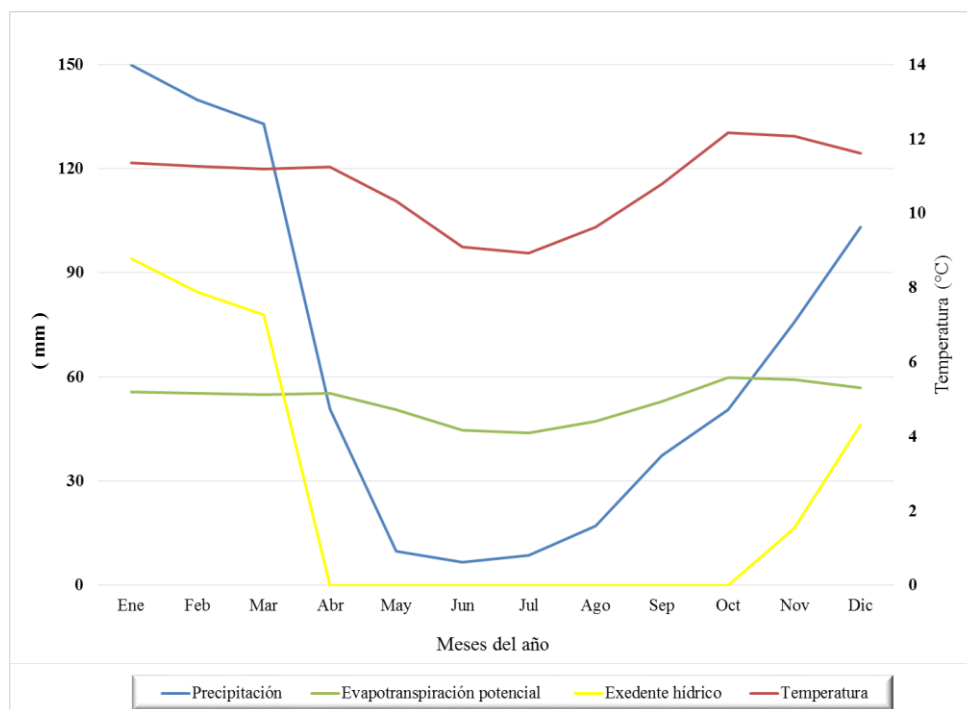
Mes	Precipitación	Temperatura	Etp	Excedente hídrico	Recarga inicial- (50% Excedente)
	mm	°C	mm	mm	mm
Ene	149.9	11.35	55.71	94.19	47.095
Feb	139.76	11.27	55.36	84.4	42.2
Mar	132.95	11.2	54.99	77.96	38.98
Abr	50.82	11.25	55.24	0	0
May	9.93	10.32	50.65	0	0
Jun	6.59	9.09	44.62	0	0
Jul	8.72	8.93	43.84	0	0
Ago	17.06	9.63	47.29	0	0
Sep	37.37	10.79	52.99	0	0
Oct	50.67	12.17	59.78	0	0
Nov	75.85	12.08	59.3	16.55	8.275
Dic	103.2	11.61	56.99	46.21	23.105
Total	782.82		636.75	319.31	159.66

Fuente: elaboración propia

El comportamiento de las aguas subterráneas en la zona de estudio presenta un comportamiento variado que está relacionado estrechamente con la elevación.

En las partes inferiores y fondos de valle los valores de precipitación son menores y la mayor temperatura produce una mayor evapotranspiración potencial. En el balance, estas zonas presentan poca recarga. Las partes altas del área de estudio son considerados zonas de recarga debido a su menor evapotranspiración potencial y la mayor precipitación. Una distribución de los valores promedio de temperatura, precipitación y evapotranspiración potencial se muestra en la tabla. Se debe mencionar que el valor de “excedente hídrico” es un cálculo referencial y sirve de punto de referencia en la calibración de la recarga asumida inicialmente como 50% del excedente.

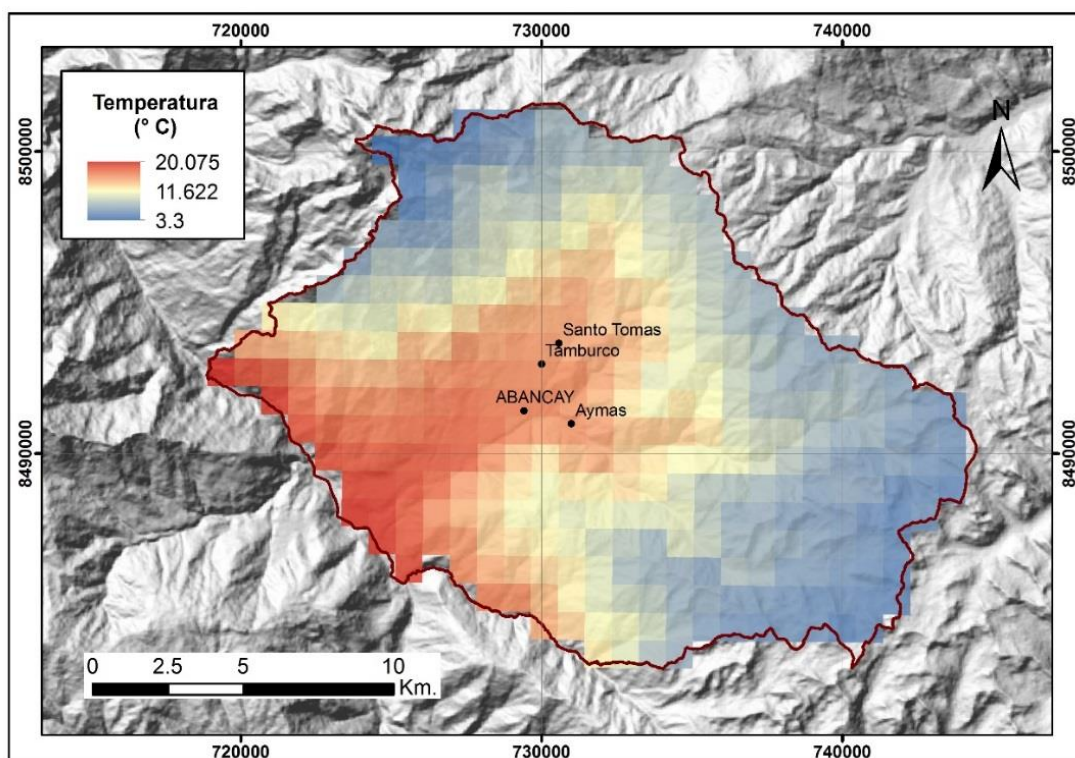
Gráfico 3.5. Representación gráfica de precipitación, evapotranspiración potencial, temperatura y excedente hídrico, para el periodo de 1950 - 2000 en el área de estudio.



Fuente: elaboración propia

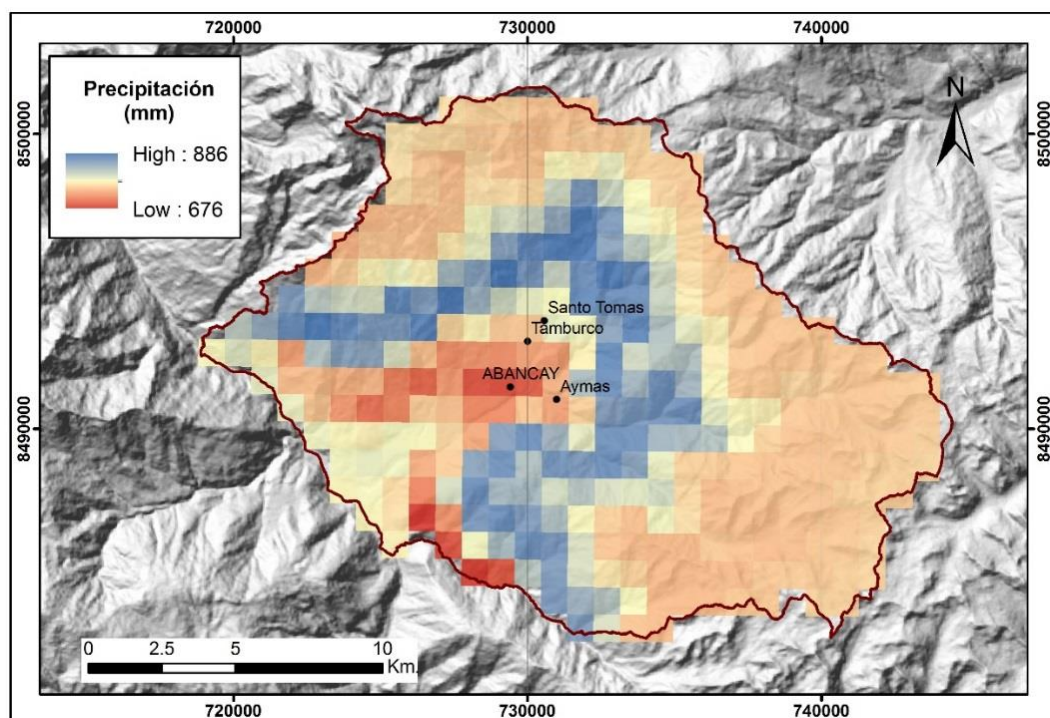
El valor inicial de recarga referencial media anual es de 159.66 mm en la microcuenca. La variación espacial de la precipitación y la evapotranspiración potencial dominan el flujo de aguas subterráneas. El régimen de flujo de aguas subterráneas para la zona de estudio se podría caracterizar como zonas de recarga en la parte alta de la cuenca donde el agua subterránea drena a los ríos y quebradas aportando un flujo en la época seca. En la parte intermedia y baja de la cuenca, las zonas cultivables son irrigadas de canales de derivación de ríos y de agua de precipitación. En la parte inferior el excedente hídrico que no es consumido por la vegetación natural drena a los cursos de agua.

Figura 3.7. Mapa de Temperatura.



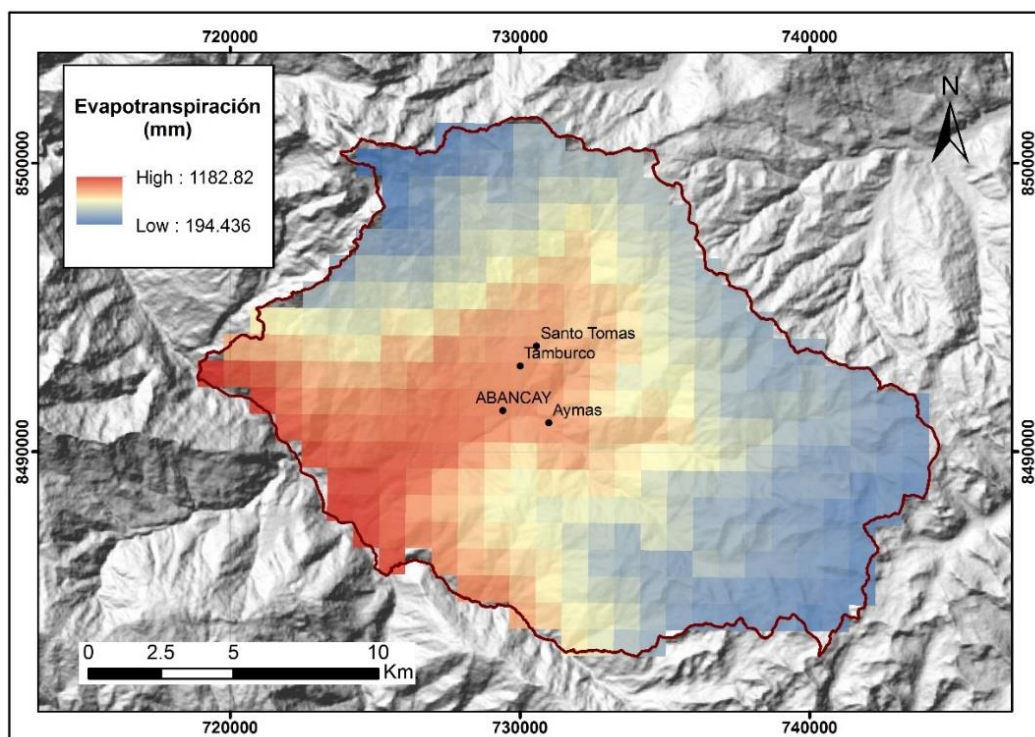
Fuente: elaboración propia

Figura 3.8. Mapa de Precipitación.



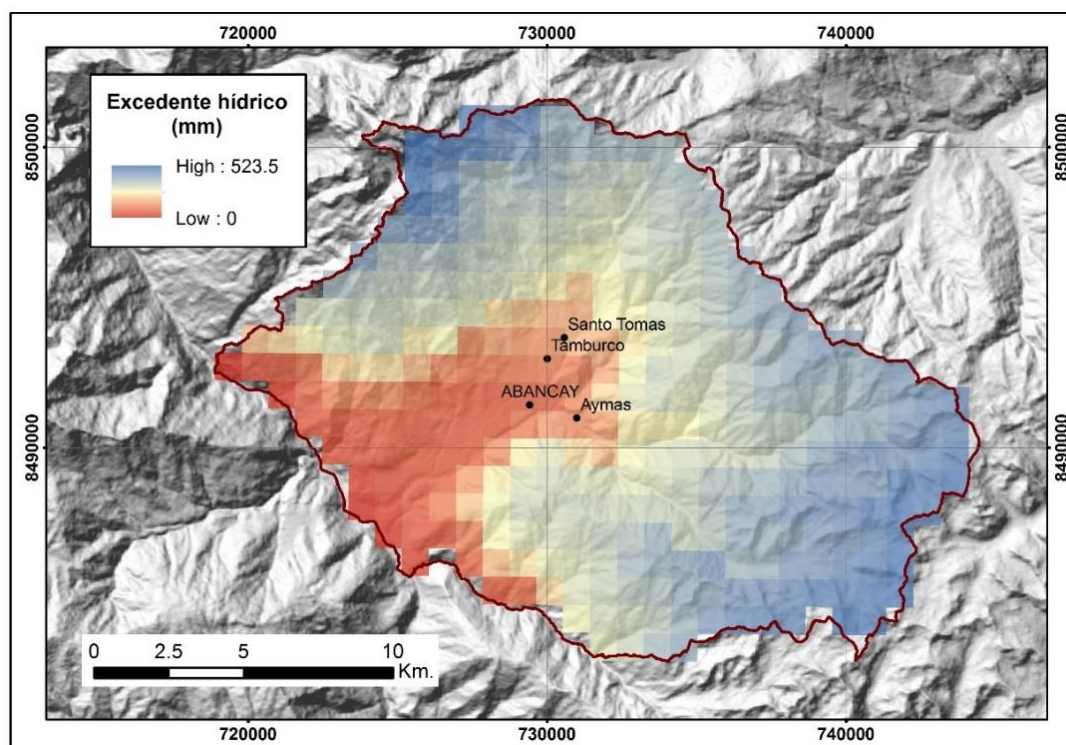
Fuente: elaboración propia

Figura 3.9. Mapa de Evapotranspiración.



Fuente: elaboración propia

Figura 3.10. Mapa de Excedente Hídrico.



Fuente: elaboración propia

3.5.5. Escurrimiento superficial

Se denomina escurrimiento superficial al agua procedente de la lluvia que circula por la superficie y se concentra en los cauces. Para el cálculo de la escurrimiento superficial en la microcuenca Mariño se aplicó la relación de JUSTIN. Esta relación está en función de factores tales como la pendiente promedio de la cuenca, la precipitación promedio anual y la temperatura media de la cuenca.

$$C_e = \frac{0,183 \times S^{0.155} \times P^2}{160 + 9T} \dots\dots\dots \text{(Ecuación 3.13)}$$

Donde:

Ce = Escurrimiento superficial de la cuenca en milímetros.

P = precipitación media anual de la cuenca (782.82 mm).

T = temperatura media de la cuenca (10.81 °C).

S = pendiente media de la cuenca (44.77 %).

Coefficiente de escurrimiento: Ce = 384.818 milímetros (Altura media de agua precipitada que se escurre).

$$\% \text{ de Escurrimiento} = (C_e / P) \times 100. \dots\dots\dots \text{(Ecuación 3.14)}$$

$$\% \text{ de Escurrimiento} = 49.16 \%. \text{ (Porcentaje de agua que se escurre).}$$

• Caudales mensuales de escurrimiento

En la tabla 3.8 se ha realizado el cálculo del caudal producido por la escurrimiento superficial, sin considerar la influencia de las descargas de las aguas subterráneas ni la influencia de las aguas traídas de otras cuencas adyacentes.

- Precipitación efectiva = Ce x P mensual (Ecuación 3.15)

- Volumen en m³ = Precipitación Efectiva (m) x Área de la cuenca. (m²).... (Ecuación 3.16)

- Caudal Q = V / T (Ecuación 3.17)

Cuadro N° 3.8 Cálculo del caudal de escorrentía mensual.

Mes	Precipitación (mm)	precipitación efectiva (mm)	Volumen en (m ³)	caudal de escorrentía (m ³ /s)
Enero	149.9	73.69	20999.68	0.0081
Febrero	139.76	68.71	19579.15	0.0076
Marzo	132.95	65.36	18625.13	0.0072
Abril	50.82	24.98	7119.44	0.0027
Mayo	9.93	4.88	1391.11	0.0005
Junio	6.59	3.24	923.20	0.0004
Julio	8.72	4.29	1221.60	0.0005
Agosto	17.06	8.39	2389.96	0.0009
Setiembre	37.37	18.37	5235.21	0.0020
Octubre	50.67	24.91	7098.42	0.0027
Noviembre	75.85	37.29	10625.92	0.0041
Diciembre	103.2	50.73	14457.42	0.0056
Total	782.82	384.83	109666.23	0.0423

Fuente: elaboración propia

El cuadro anterior muestra que el mayor caudal según lo calculado es en mes de enero con un promedio de 0.0081 m³/s o 8.1 l/s y la de menor caudal en los meses de mayo, junio, julio y agosto. El caudal de escorrentía media anual es de 0.0423 m³/s o 42.3 l/s.

3.6. Hidrogeoquímica.

En este capítulo, se presentan los resultados obtenidos a partir de análisis químicos. El objetivo fue obtener la composición química para caracterizar las aguas subterráneas de la microcuenca.

3.6.1. Estaciones de muestreo de las aguas subterráneas.

En la primera y segunda campaña de trabajo de campo realizadas los meses de agosto y octubre del año 2014 se han evaluado 73 fuentes a lo largo de toda la microcuenca, de éstas se obtuvieron 57 muestras de aguas, las cuales fueron enviadas al Laboratorio de INGEMMET para el análisis fisicoquímico.

Por otro lado, en la tercera campaña de trabajo de campo durante el mes de marzo del 2015, se han monitoreado 20 fuentes seleccionadas.

La ubicación de las estaciones de muestreo se presenta en cuadros con nombre y código de cada muestra (Anexo A7 y A8).

a) Fuentes muestreadas en época de estío (Ago, Oct y Nov del 2014).

Para el muestreo se han seleccionado las fuentes de mayor caudal y con diferente condición física, evaluando la formación geológica y el tipo de fuente, midiéndose los parámetros físico - químicos *in situ*.

Las muestras se tomaron tratando de cubrir la mayor parte de la microcuenca del río Mariño, se consiguió que las 73 fuentes inventariadas queden bien representadas.

Los puntos de muestreo fueron ubicados principalmente en la zona norte de la microcuenca donde las fuentes de agua subterránea se manifiestan aflorando en varios puntos. La distribución de las fuentes en esta zona representa el 96 % del total de fuentes muestreadas en los trabajos de campo. En la zona norte la manifestación de aguas subterráneas en forma de manantiales guarda estrecha relación con los fenómenos de movimientos en masa saturando de agua las laderas de alta pendiente.

De un total de 57 fuentes muestreadas, 55 corresponden a la margen derecha del río Mariño y solo 2 fuentes a la margen izquierda, los mismos se encuentran muy condicionados por la geología de la zona.

Del total de muestras analizadas en la microcuenca, 40 corresponden a manantiales, 14 son de manantiales captados y 01 fuente es termal, adicionalmente, para propósitos de investigación complementaria se tomó 02 muestras como puntos de control en aguas superficiales.

b) Fuentes muestreadas en época de lluvias (Mar del 2015).

Las fuentes de agua subterránea seleccionadas para monitoreo en temporada de lluvia se ha realizado con el propósito de medir sus cambios hidráulicos (caudal) e investigar variaciones significativas en sus parámetros físicos-químicos debido a la presencia de lluvias.

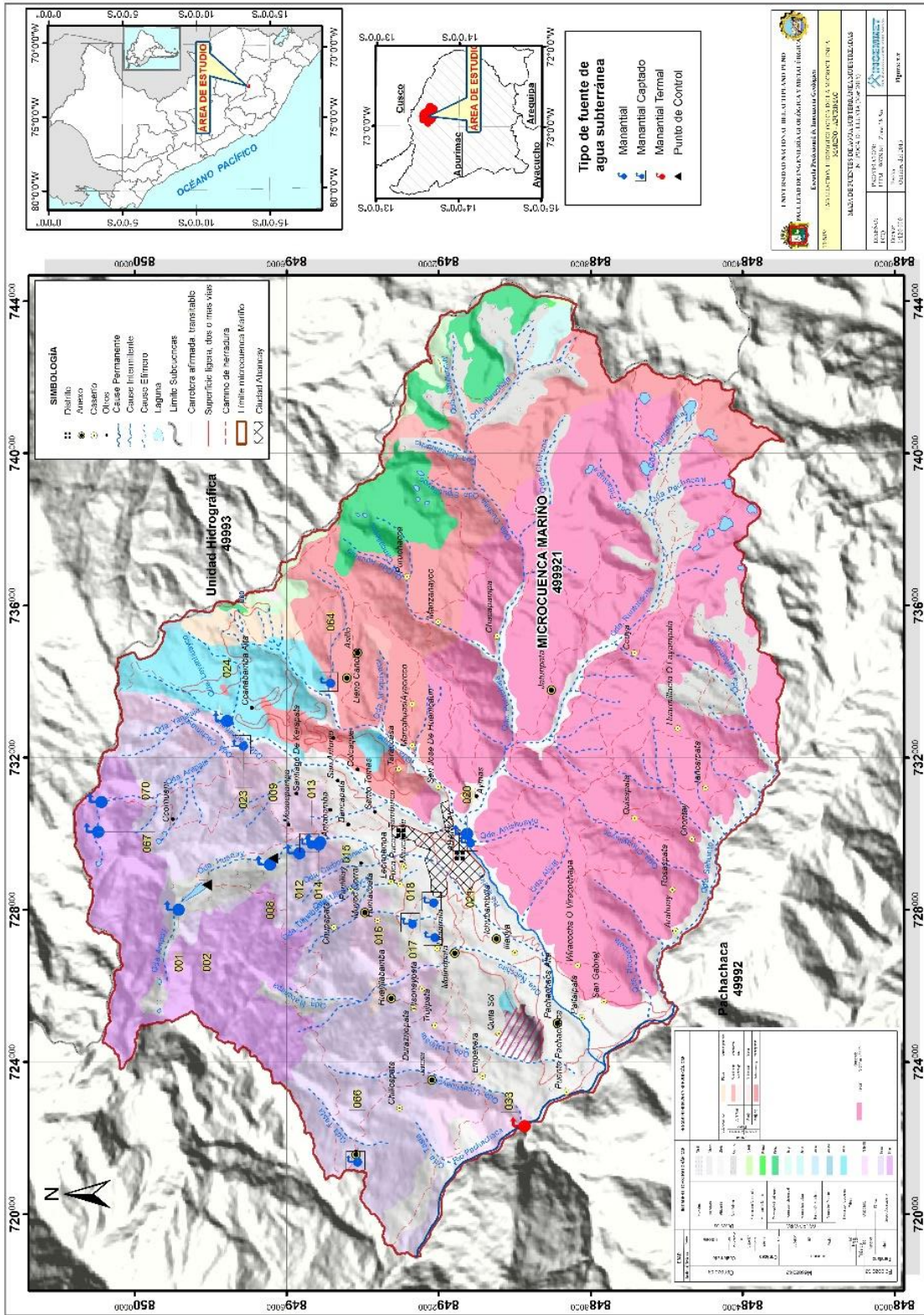
Para el monitoreo se han considerado 20 fuentes que se encuentran distribuidas en la microcuenca del río Mariño.

El objetivo principal planteado en este capítulo es evaluar la naturaleza de las descargas, su posible origen geoquímico, así como la interacción de las aguas subterráneas con los materiales del entorno.

3.6.2. Resultados químicos

La tabla completa de resultados entregados por el laboratorio se encuentra en los anexos A11 y A12, a continuación se presentan los resultados y análisis para los parámetros físico-químicos medidos en terreno, los elementos mayores y algunos elementos menores considerados como elementos de interés. En el análisis realizado a continuación, el énfasis está en la distribución espacial de estos elementos.

Figura 3.12. Puntos de muestreo de las fuentes monitoreadas en la microcuenca Mariño – época de lluvia (marzo 2015).



a) Balance Iónico

Para que el análisis de una muestra sea válido, la amplitud de variación del porcentaje de electroneutralidad debe ser de 5%; aunque, se puede aceptar una amplitud de hasta 10% (*Freeze y Cherry, 1979*). Para el presente estudio se consideró el intervalo de 10%.

En la *cuadro 3.9* y *el cuadro 3.10* se muestran los resultados del balance iónico. Del total de muestras analizadas del 2014, solo una muestra presenta un $|EB| > 10 \%$, en este estudio no se ha excluido estas muestra. Y del total de las muestras analizadas del 2015 todas presentan $|EB| < 10 \%$, inclusive $|EB| < 5 \%$.

Cuadro 3.9. Balance iónico para muestras – agosto, octubre y noviembre 2014.

MUESTRA	pH	C.E. uS/cm	EB (%)	MUESTRA	pH	C.E. uS/cm	EB (%)
499921-001	8.31	204.7	4.9	499921-033	6.33	11440	0.4
499921-002	8.79	159	5.4	499921-036	7.5	420	2.4
499921-003	7.94	105.4	8.3	499921-037	7.59	437.9	3.2
499921-005	7.2	400.8	0.7	499921-038	7.83	414.6	5.8
499921-006	6.59	354.6	5.2	499921-040	6.9	423.9	1.9
499921-007	6.64	207.3	4.4	499921-041	8.45	344.5	0.1
499921-008	6.73	384.1	5.0	499921-042	6.3	48.35	6.7
499921-009	6.68	183.9	4.4	499921-043	8	374.7	3.0
499921-011	6.63	397.9	4.5	499921-044	7.52	230.2	2.7
499921-012	6.62	491.2	3.7	499921-046	8.56	504.3	3.1
499921-013	6.65	537.9	2.2	499921-048	7.47	525.9	2.2
499921-014	6.65	1625	2.9	499921-049	7.2	413.9	0.9
499921-015	6.63	1018	2.8	499921-052	7.7	88.13	7.3
499921-016	6.66	530.5	5.7	499921-053	7.35	54.79	11.8
499921-017	6.66	496.2	5.6	499921-056	7.67	268.7	2.9
499921-018	6.64	567.3	5.1	499921-057	8.18	125.7	6.9
499921-020	6.65	468.6	3.9	499921-058	7.71	324.1	3.5
499921-021	6.65	640.9	3.5	499921-059	7.47	159.1	7.1
499921-022	6.64	698.3	3.8	499921-060	7.6	107.6	8.7
499921-023	7.85	382.9	2.5	499921-061	8.06	127.4	7.7
499921-024	7.75	1516	1.6	499921-062	8.29	124.8	7.9
499921-025	8.05	604	0.0	499921-063	8.13	98.56	6.5
499921-026	7.16	452.5	3.6	499921-064	7.98	233.7	5.0
499921-027	7.41	782.2	3.1	499921-065	7.95	322.4	3.1
499921-028	6.97	123.8	5.8	499921-066	7.35	447	3.1

499921-029	8.34	560.5	3.1	499921-067	7.97	97.64	9.0
499921-030	7.8	655	2.9	499921-070	7.13	322.6	3.7
499921-031	8	497.2	3.6	499921-072	7.65	365.5	3.4
499921-032	8.26	580.1	3.1				

Fuente: elaboración propia

Cuadro 3.10. Balance iónico para muestras – marzo 2015.

MUESTRA	pH	C.E. uS/cm	EB (%)
499921-001	8.32	210.7	2.0
499921-002	8.77	230.8	3.0
499921-008	7.69	328	0.9
499921-009	7.96	338.1	1.0
499921-012	8.05	512.7	1.6
499921-013	7.42	491.3	2.3
499921-014	7.74	1241	2.0
499921-015	7.48	1022	1.7
499921-016	7.88	563.3	0.9
499921-017	7.36	497.6	0.2
499921-018	7.63	576.5	0.9
499921-020	7.56	484.1	1.5
499921-021	7.86	654.7	1.5
499921-023	7.81	320.5	2.4
499921-024	7.75	986.8	3.3
499921-033	6.29	11500	0.5
499921-064	7.94	239.7	1.4
499921-066	7.37	448	0.4
499921-067	8.13	91.93	1.2
499921-070	7.3	207.5	2.6

Fuente: elaboración propia

3.6.3. Análisis de parámetros fisicoquímicos de las aguas

Se realizó evaluación de pH y conductividad eléctrica, con el objetivo de evaluar la capacidad de uso de las fuentes de agua que definen los estándares de calidad ambiental, ECA (DS 002-2008-MINAM); en la categoría I, “Aguas destinadas a la producción de agua potable”, en su sub categoría A1, “Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección”, cuyos límites que presenta para el pH, es de 6.5 a 8.5, y para la conductividad eléctrica de 1500 μ S/Cm.

Los gráficos de pH y conductividad, también muestran los demás límites de los estándares de calidad, para tener referencia de los mismos. El resultado de parámetros físico-químicos de fuentes evaluadas en ambos periodos (estío y lluvia) se presentan en los anexos A7 y A8.

a) pH

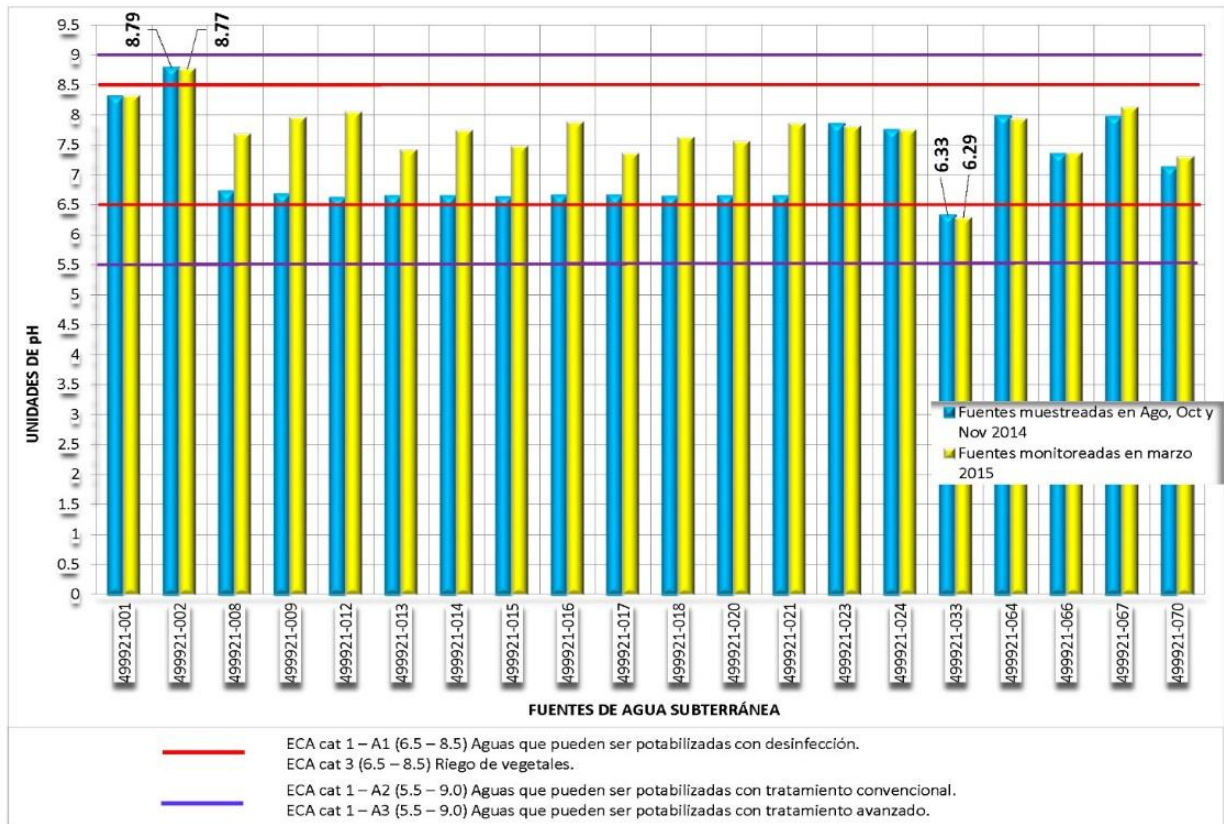
El rango de pH fue de 6.3 y 8.79 unidades de pH en las fuentes de agua muestreadas en 2014 (temporada de estío), y de 7.3 a 8.77 unidades de pH para las analizadas en 2015 (Temporada de lluvia).

En ambos muestreos, los valores máximos de pH corresponden a las aguas de la laguna Uspacocha (499921-002), y los valores mínimos corresponden a la fuente 499921-042 en temporal de estío y 499921-070 en temporada de lluvia.

En general, en la microcuenca Mariño los valores de pH, son principalmente neutras (entre 6.5 y 8.5) salvo en la margen derecha del río Mariño donde en lugares puntuales el pH de dos fuentes tienen comportamiento básico o alcalino y dos fuentes tienen comportamiento ácido.

En el gráfico 3.6 se han representado fuentes que han sido seleccionados para monitoreo a finales de temporal de estío (Ago, Oct y Nov 2014) y temporal de lluvia (Mar 2015), donde se muestra que en los dos periodos los valores de pH varían en mínimas unidades además, todas las fuentes son principalmente neutras a excepción, del punto de control Laguna Uspacocha (499921-002) ubicado en la quebrada Ampay tiene un pH alcalino de 8.79 (Ago 2014) y 8,77 (Mar 2015) debido al contacto de las aguas con calizas del Grupo Copacabana del pérmico (disolución), también está relacionado a morrenas constituidas de bloques, cantos y gravas de calizas en una matriz areno arcillosa (Fotografía 3.2). Por otro lado, El pH ácido de la fuente termal Santo Tomas (499921-033) está relacionado a la circulación de las aguas subterráneas en profundidad donde debe tener contacto con materiales alterados, principalmente relacionados a la falla Llactabamba de orientación NW presente en el contacto del Grupo Mitu y la Formación Ausangate y la falla inferida de orientación NE.

Gráfico 3.6. Representación gráfica de valores de pH de fuentes de agua subterránea muestreadas en época de estío (Ago, Oct y Nov de 2014) y época de lluvia (Mar del 2015).

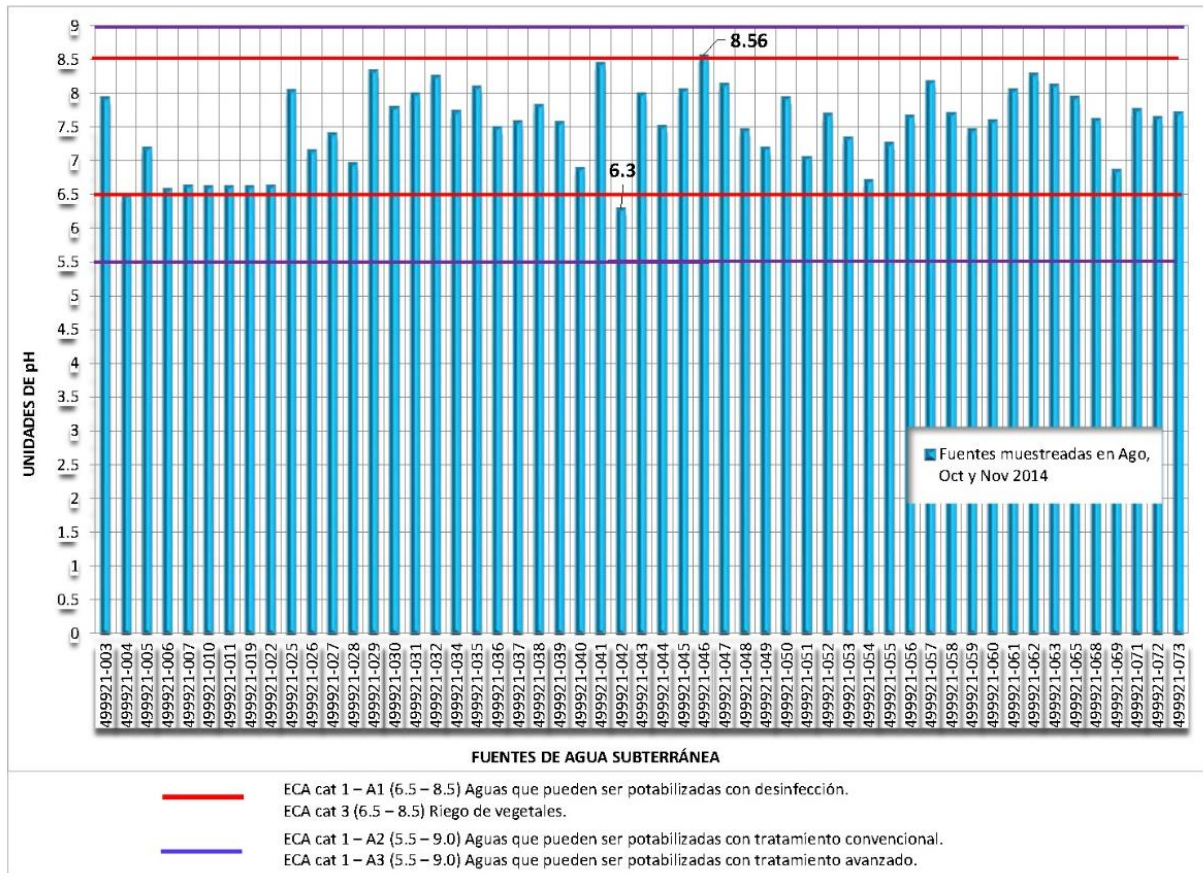


Fuente: elaboración propia

Los valores de pH de las fuentes representadas en el gráfico 3.7 son predominantemente neutros. En dicho grafico se observa, que el Manantial Suyuhuilca (499921-042) se ubica inferior al límite referencial de neutro con un pH ácido de 6.3 (Fotografía 3.4), Por otro lado, el manantial Miskipuquio (499921-046) supera ligeramente el límite referencial de neutro y se ubica en alcalino, con pH de 8.56 por la disolución de la caliza Copacabana (Fotografía 3.5),

El pH neutro implica principalmente, características básicas de aguas someras y aguas sub-superficiales, las mismas que corresponden a lluvias de corta infiltración y a circulación de flujos en materiales poco mineralizados, considerando la presencia del nevado de Ampay en la microcuenca Mariño que aportan aguas de deshielo que se infiltran en las fracturas de las rocas y surgen en forma de manantiales con pH neutro.

Gráfico 3.7. Valores del pH para fuentes de agua subterránea muestreadas en época de estío (Ago, Oct y Nov del 2014).



Fuente: elaboración propia



Fotografía 3.2. Laguna Uspacocha (499921-002) ubicada en el santuario de Ampay, presenta un pH alcalino de 8.79 en temporada de estío y 8.77 en temporada de lluvia. Se encuentra muy relacionada a la presencia de calizas del Grupo Copacabana.



Fotografía N° 3.3. Fuente termal Santo Tomas (499921-033) ubicada en la margen izquierda del río Pachachaca al suroeste de la ciudad de Abancay, presenta un pH ligeramente ácido de 6.33 en temporada de estío y 6.29 en temporada de lluvia.



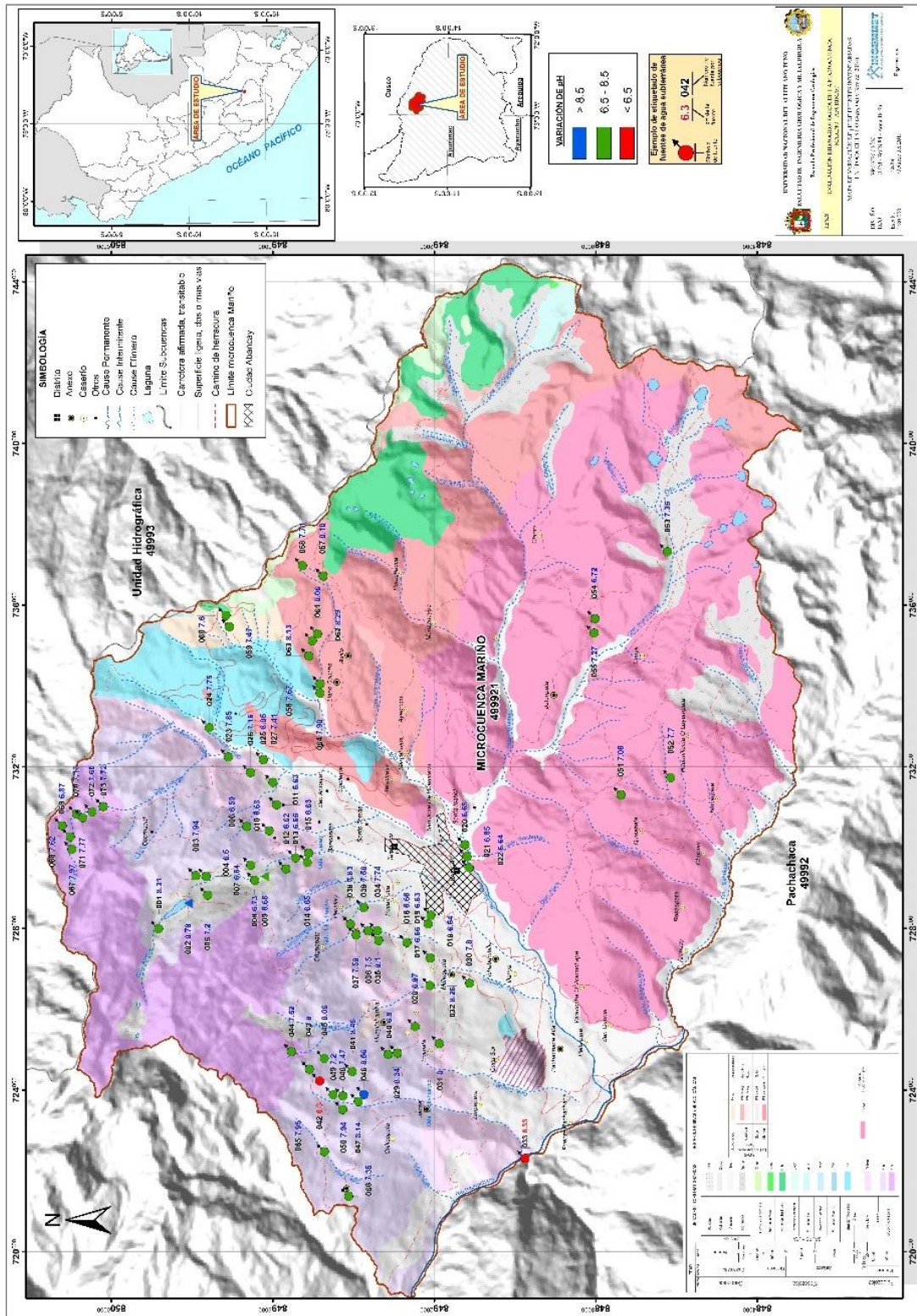
Fotografía N° 3.4. Manantial polisurgente Sayuhuilca (499921-042) ubicada en el sector Sayuhuilca, se ha determinado un pH ligeramente ácido de 6.3 en época de estío.



Fotografía N° 3.5. Manantial polisurgente Miskypuquio (499921-046) ubicada en el sector Chaupicruz Huayllabamba, se ha medido un pH ligeramente alcalino de 8.56 en temporada de estío.

Para la ubicación y valores de pH de cada fuente, se ha elaborado mapas de variaciones de pH, tanto para fuentes evaluadas en época de estío (Figura N° 3.13), y época de lluvia (Figura N° 3.14).

Figura N° 3.13. Mapa de variaciones de pH de fuentes de aguas subterráneas muestreadas en época de estío (Ago, Oct y Nov del 2014).



b) Conductividad eléctrica (CE)

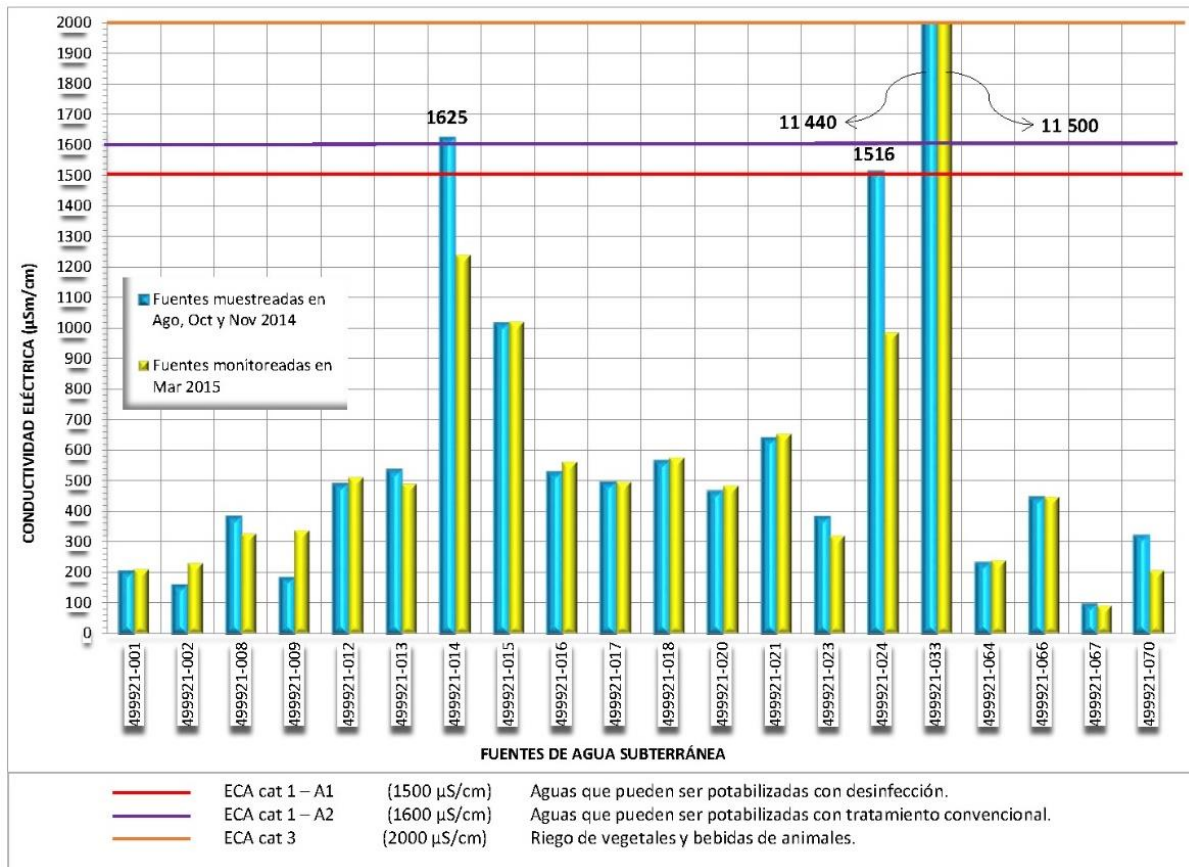
La conductividad eléctrica es el parámetro que mide el contenido de sales disueltas al estado de iones.

Los valores mínimos y máximos de conductividad eléctrica para las fuentes muestreadas en Ago, Oct y Nov del 2014 varían de 48.35 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 1625 $\mu\text{S}/\text{cm}$ valores que corresponden a las fuentes 499921-042 y 499921-014 respectivamente, y para las fuentes monitoreadas en Mar del 2015 varían de 91.93 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (499921-067) a 1241 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (499921-014), particularmente la fuente termal 499921-033 que registra una conductividad de 11440 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en octubre 2014 y 11 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en marzo 2015. (Fotografía 3.8)

En el gráfico 3.8. se han representado valores de conductividad eléctrica de fuentes que han sido seleccionados para monitoreo en Ago, Oct y Nov 2014 (temporada de estío) y Mar 2015 (temporada de lluvia) donde se observa que los manantiales 499921-014 y 499921-024 en agosto y octubre del 2014 (temporada estío) presentan conductividad eléctrica de 1625 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 1516 $\mu\text{S}/\text{cm}$ respectivamente, fuentes que superan el límite referencial del ECA I para aguas de consumo humano (1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$) sin embargo, no superan el límite referencial del ECA 3 para riego de vegetales y bebida de animales (2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$), pero en marzo de 2015 (temporal de lluvia) los valores de conductividad eléctrica han bajado a 1241 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para la fuente 499921-014 y 986.8 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para la fuente 499921-024.

Para las fuentes 499921-014 y 499921-024, el valor elevado de la conductividad eléctrica registrada en agosto y octubre 2014, interpretamos que se debe a que el agua de estas fuentes entró en contacto con materiales de lutitas y para la segunda fuente es por material arcilloso tipo coluvial. En marzo 2015 el descenso de CE estaría influenciado por la mezcla con aguas de lluvia. (Fotografías N° 3.6 y N° 3.7).

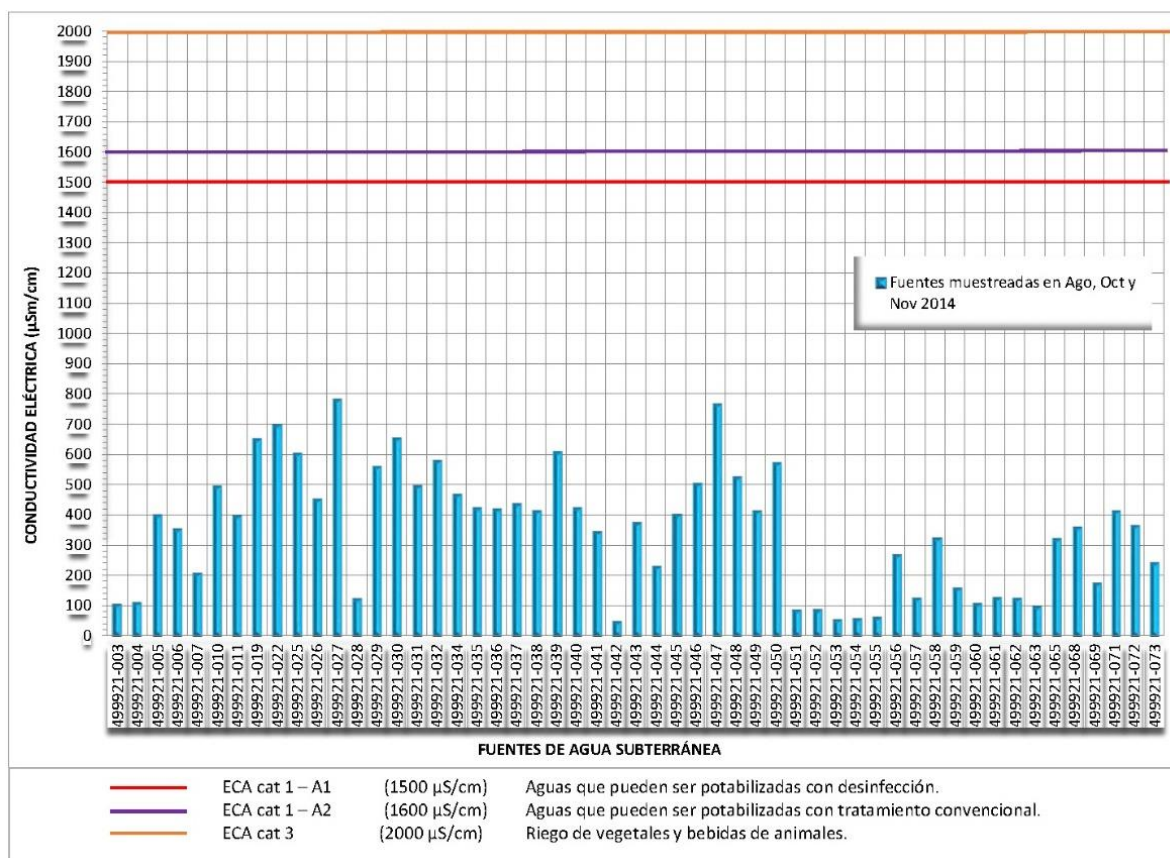
Gráfico 3.8. Representación gráfica de valores de conductividad eléctrica (CE) de fuentes de agua subterránea evaluadas en época de estío (Ago, Oct y Nov de 2014) y época de lluvia (Mar del 2015).



Fuente: elaboración propia

En el gráfico 3.9 para las fuentes evaluadas en época de estío (Ago, Oct y Nov 2014) todas las fuentes muestran valores inferiores a 800 µS/cm, los mismos que corresponden a aguas de circulación somera o sub superficiales, que corresponden a lluvias de mínima infiltración y a circulación de flujos en materiales poco mineralizados, también pueden estar influenciadas por la presencia del nevado de Ampay que aporta aguas de deshielo que se infiltran en las fracturas de las calizas y surgen en forma de manantiales.

Gráfico N° 3.9. Valores de CE para fuentes de aguas subterránea muestreadas en época de estío (Ago, Oct y Nov del 2014).



Fuente: elaboración propia



Fotografía N° 3.6. Manantial Sahuanay 1 (499921-014) ubicada en la margen derecha de la quebrada Sahuanay, presenta una conductividad eléctrica elevada de 1625 µS/cm en temporal de estío variando a 1241 µS/cm en temporada de lluvia.

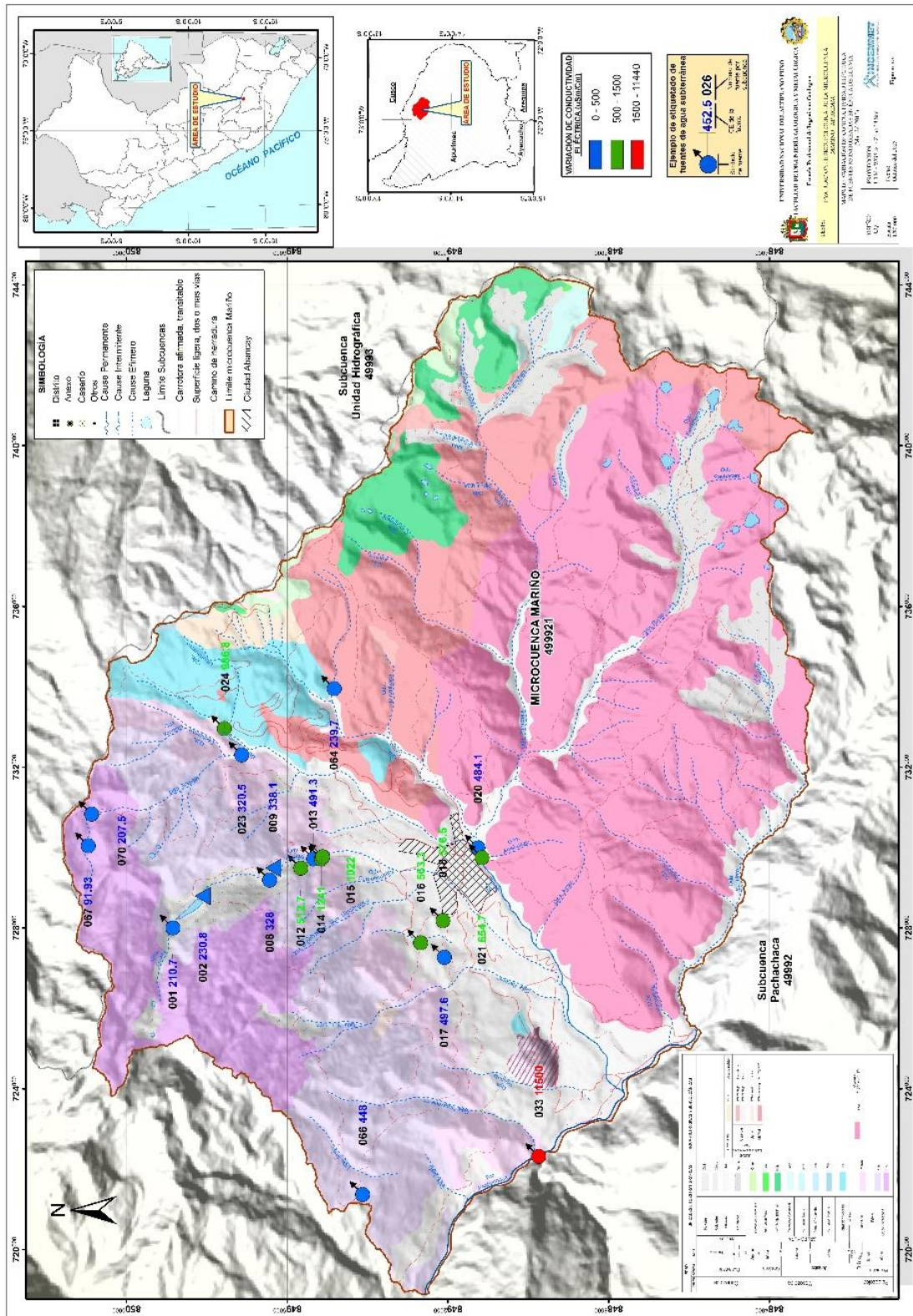


Fotografía N° 3.7. Manantial Hornada Alta Jalastuyoc (499921-024) ubicada en el sector Cocha Pumarangra, se ha medido pH de 1516 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en temporada de estío y 986.8 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en temporal de lluvia.



Fotografía N° 3.8. Manantial Termal Santo Tomas (499921-024) ubicada en la margen izquierda del río Pachachaca al suroeste de la ciudad de Abancay, presenta una conductividad eléctrica de 11440 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en temporada de estío y 11500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en temporada de lluvia.

Figura N° 3.16. Mapa de variaciones de conductividad eléctrica (CE) de fuentes monitoreadas en época de lluvia (Mar del 2015).



c). Temperatura

En época de estío las temperatura de 73 fuentes de agua evaluadas varían de 6.5 °C (manantial 499921-003) a 40.8 °C (manantial termal 499921-033), para las 20 fuentes monitoreadas en época de lluvia varian de 7.1 °C (Manantial 499921-001) a 39.7 °C ((manantial termal 499921-033). Para la fuente termal se interpreta un flujo profundo y regional.

3.6.4. Facies hidroquímicas.

Sobre la base de los resultados de análisis hidroquímico, se ha evaluado las concentraciones de los componentes iónicos mayoritarios en el agua subterránea, como los cationes (Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ y K^+) y aniones (CO_3^- , CO_3H^- , SO_4^- , Cl^-).

Los resultados del análisis químico, del total de las fuentes analizadas, se muestran en los anexos A11 y A12.

Para establecer comparaciones entre los elementos predominantes se han representado en los diagramas de Stiff, los cuales permitieron visualizar las tendencias de calidad de las aguas que fueron ubicados sobre un mapa hidroquímico.

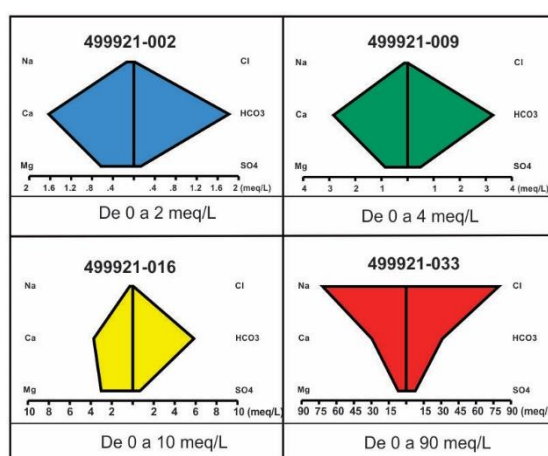
Para el análisis e interpretación final se han utilizado los diagramas de Piper y Scatter.

a) Diagramas de Stiff

Para la representación espacial de los iones mayoritarios, obtenidos a partir de los resultados químicos realizados; se empleó el diagrama de Stiff que son representaciones gráficas que muestran sintéticamente las características químicas principales del agua, facilitando su clasificación. En la figura 3.17 se ha representado las fuentes analizadas de temporada de estío (Ago, Oct y Nov 2014) y en la figura 3.18 se representaron fuentes que han sido monitoreadas en temporada de lluvia (Mar 2015), en ambas figuras se observan los diagramas de Stiff, para cada fuente muestreada y analizada, los puntos ploteados en el mapa corresponden a surgencias de aguas subterráneas (manantiales), incluyendo, los dos puntos de control la Laguna Angascocha (499921-009) y la Laguna Uspacocha (499921-002), los referidos puntos no son representativos para el mapa hidroquímico subterráneo.

Tanto para las fuentes evaluadas en temporada de estío (Figura 3.17) y las fuentes monitoreadas en temporada de lluvia (figura 3.18). En la microcuenca Mariño se observan cuatro rangos de valores hidroquímicos definidos para los resultados de iones predominantes en meq/L. (Gráfico 3.10).

Gráfico N° 3.10. Representación de los diagramas de Stiff de acuerdo a la predominancia hidroquímica, representado por las variaciones en meq/L.



Fuente: Elaboración propia, 2015.

Cuadro 3.11. Rangos de valores hidroquímicos definidos para los resultados de iones predominantes en meq/l.

Rangos de valores	Fuentes muestreadas en Ago, Oct y Nov 2014 (época de estío)	Fuentes muestreadas en Mar 2015 (época de lluvia)
0 a 2 meq/L	14	04
0 a 4 meq/L	16	04
0 a 10 meq/L	25	10
0 a 90 meq/L	02	02

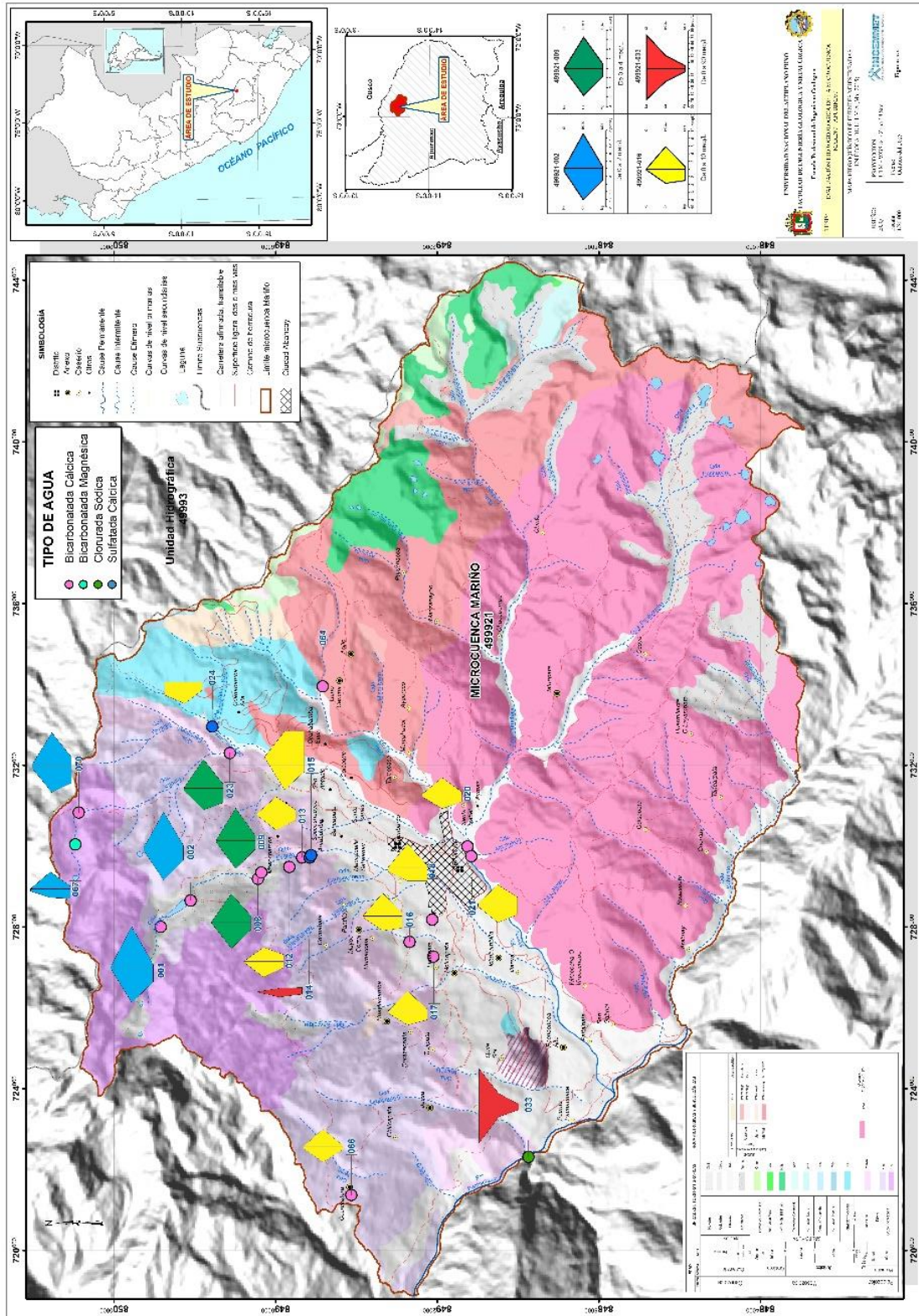
Fuente: Elaboración propia, 2015

En la microcuenca Mariño, para las 57 fuentes muestreadas en Ago, Oct y Nov 2014 (temporada de estío) y 20 fuentes monitoreadas en marzo 2015 (temporada de lluvia) se han representado la predominancia hidroquímica de menos a más respectivamente.

Los tres primeros rangos 0 a 2 meq/L, 0 a 4 meq/L y 0 a 10 meq/L corresponden a fuentes con predominancia de facies bicarbonatada cálcica debido a la circulación a través de rocas carbonatadas, las fuentes se muestran elevados en predominancia hidroquímica; sin embargo, en rangos normales, estos valores son bajos, lo que indica que las aguas subterráneas ubicadas en la microcuenca Mariño tienen escasa mineralización.

En el grupo 0 - 90 meq/L las fuentes evaluadas en este grupo tienen altas concentraciones en sus componentes.

Figura N° 3.18. Mapa Hidroquímico de fuentes monitoreadas en época de lluvia (Mar del 2015).



b) Diagramas de Piper y Scatter

- **Familias de aguas predominantes en la microcuenca Mariño.**

Mediante la utilización de los diagramas triangulares de Piper, es posible determinar las familias de agua que predominan en el área de estudio de acuerdo con el contenido iónico. Este diagrama permite representar a un mismo tiempo varias muestras de agua y por consiguiente facilita la comparación visual de sus calidades químicas en función de los iones predominantes de cada una de las muestras de los manantiales. Por lo tanto, aguas del mismo tipo o familia química aparecerán en el diagrama formando agrupamientos de puntos en zonas bien determinadas de éste diagrama triangular. Los diagramas Scatter nos permite corroborar las predominancias con la evolución de flujos utilizando la relación hidroquímica $Cl+SO_4$ vs $NA+K$ (meq/L) (Mifflin, 1988 en Angeles, et al 2014). Para elaborar este diagrama se utilizaron los valores químicos obtenidos de la evaluación de las fuentes durante la época de estío (Ago - Oct – 2014) y a finales de la época de lluvia (Mar - 2015). El resultado de iones predominantes (facies químicas de agua) de fuentes evaluadas en ambos periodos (estío y lluvia) se presenta en los anexos A5 y A6.

El gráfico 3.11 muestra diagrama de Piper y Scatter para las 57 fuentes de agua evaluados en temporal de estío (ago y oct 2014). En el diagrama piper (gráfico 3.11.A) se observa que 52 fuentes corresponden a la familia de aguas denominadas bicarbonatadas cálcicas, en donde predominan los iones calcio y bicarbonato, Son aguas que presentan una elevada dureza por los altos contenidos de calcio, ya que son aguas que proceden de manantiales kársticos donde el agua ha tenido un contacto directo principalmente con rocas calizas del pérmico inferior. Las fuentes 499921-014 y 499921-024 son fuentes de facies Sulfatada cálcicas, la fuente 499921-028 es de tipo bicarbonatada magnésica, y la fuente 499921-042 es agua de tipo bicarbonatada potásica, y puntualmente la fuente 499921-033 se trata de un manantial termal de facies clorurada sódica. En el diagrama Scatter (gráfico 3.11.B) se muestra que casi todas las fuentes tienen un flujo local a excepción de la fuente 499921-024 presenta un flujo intermedio, el manantial 499921-014 presenta una tendencia de flujo local a intermedio. Finalmente la fuente termal 499921-033 Santo Tomas es de flujo regional.

En el gráfico 3.12 se han representado las 20 fuentes seleccionadas para monitoreo en temporada de lluvia (mar 2015). 15 fuentes representadas en el diagrama Piper (gráfico

3.12.A) presentan facies bicarbonatada cálcica, los manantiales 499921-014, 499921-015 y 499921-024 son aguas de tipo sulfatada cálcica, el manantial 499921-067 fuente es de facies bicarbonatada magnésica y finalmente la fuente termal 499921-033 (Santo Tomas) es de tipo clorurada sódica. Diagrama Scatter (gráfico 3.12.B) muestra que casi todas las fuentes tienen un flujo local a excepción de la fuente 499921-024 presenta un flujo intermedio, los manantiales 499921-014 y 499921-015 presentan una tendencia de flujo local a intermedio. Finalmente la fuente termal 499921-033 Santo Tomas es de flujo regional.

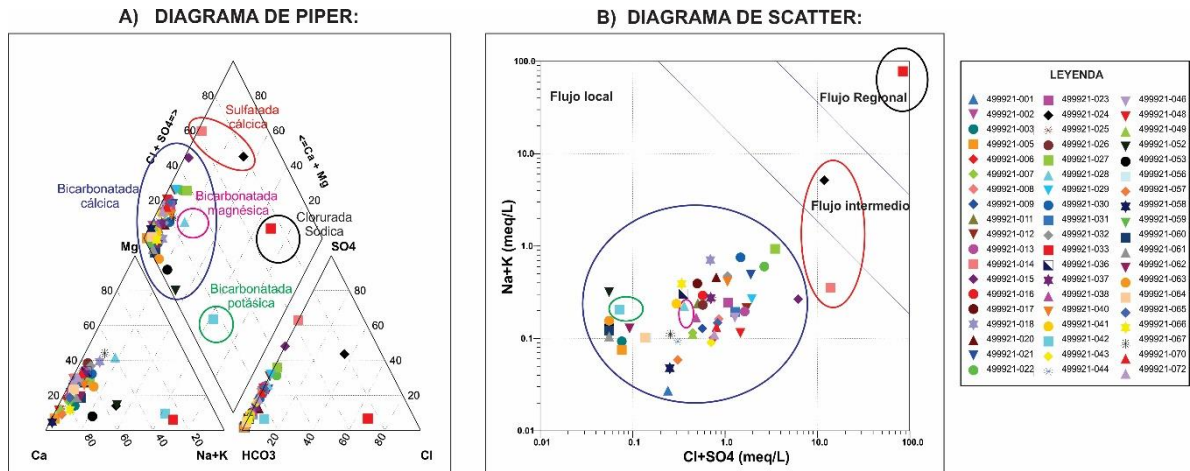
Comparando las fuentes monitoreadas en los gráficos 3.11 y 3.12 se concluye que las fuentes evaluadas en temporal de estío y lluvia presentan mínimas variaciones en sus componentes, cada fuente conserva la misma facies química en ambos periodos. Particularmente señalar que la fuente 499921-015 ha variado de facies bicarbonatada cálcica en temporal de estío a sulfatada cálcica en temporal de lluvia.

Podemos observar además que no hay cambios químicos considerables durante los periodos de muestreo; sin embargo, de acuerdo a los resultados obtenidos, podemos ver y comprobar, que durante el periodo de lluvia existe una ligera mayor disolución de las rocas calizas de la zona ya que el contenido de iones es mayor durante este intervalo de tiempo, y durante la época de estiaje el contenido de iones disueltos es menor en la mayoría de los casos.

Durante la época de estiaje la concentración de los iones mayoritarios se ve disminuida; sin embargo, la composición química relativa no experimenta cambios apreciables; las aguas se mantuvieron en todo momento como bicarbonatado cálcicas.

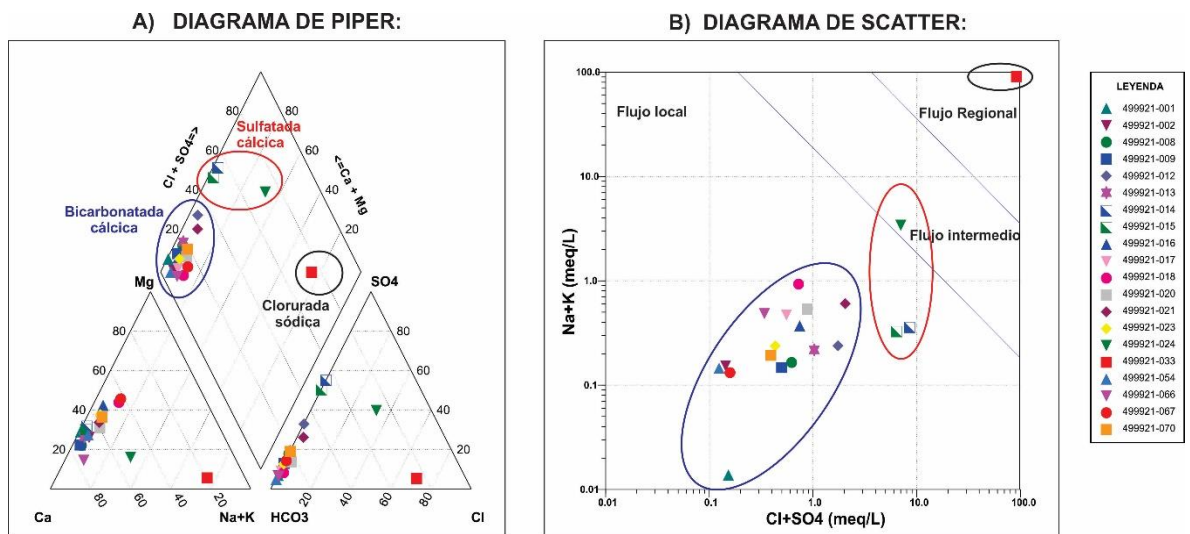
En la época de lluvia el agua es un poco más “agresiva” ya que disuelve rápidamente los minerales carbonatados elevando la dureza y mineralización que son directamente proporcionales entre sí. Sin embargo, la composición química relativa experimenta poca variación; manteniéndose en todo momento el mismo tipo hidroquímico de agua.

Grafico 3.11. Diagrama de Piper y Scatter para fuentes de aguas subterráneas muestreadas en temporada de estío (Ago, Oct y Nov 2014) en la micro cuenca Mariño.



Fuente: elaboración propia

Grafico 3.12. Diagrama de Piper y Scatter, de fuentes monitoreadas en temporada de lluvia (Mar 2015) en la microcuenca Mariño.



Fuente: elaboración propia

3.6.5. Análisis de aguas para consumo humano.

a) Calidad del agua para uso potable

En este diagrama, se muestran 8 barras con escalas logarítmicas de 6 elementos en mg/l y 02 parámetros físico-químicos: dureza (grados franceses) y pH (unidad de pH) los valores de los elementos y parámetros físico-químicos de una muestra cualquiera se unen con una línea, y se comparan con la posible potabilidad del agua que pueda presentar, clasificándose como no potable, muy mala, mala, mediocre, aceptable y buena.

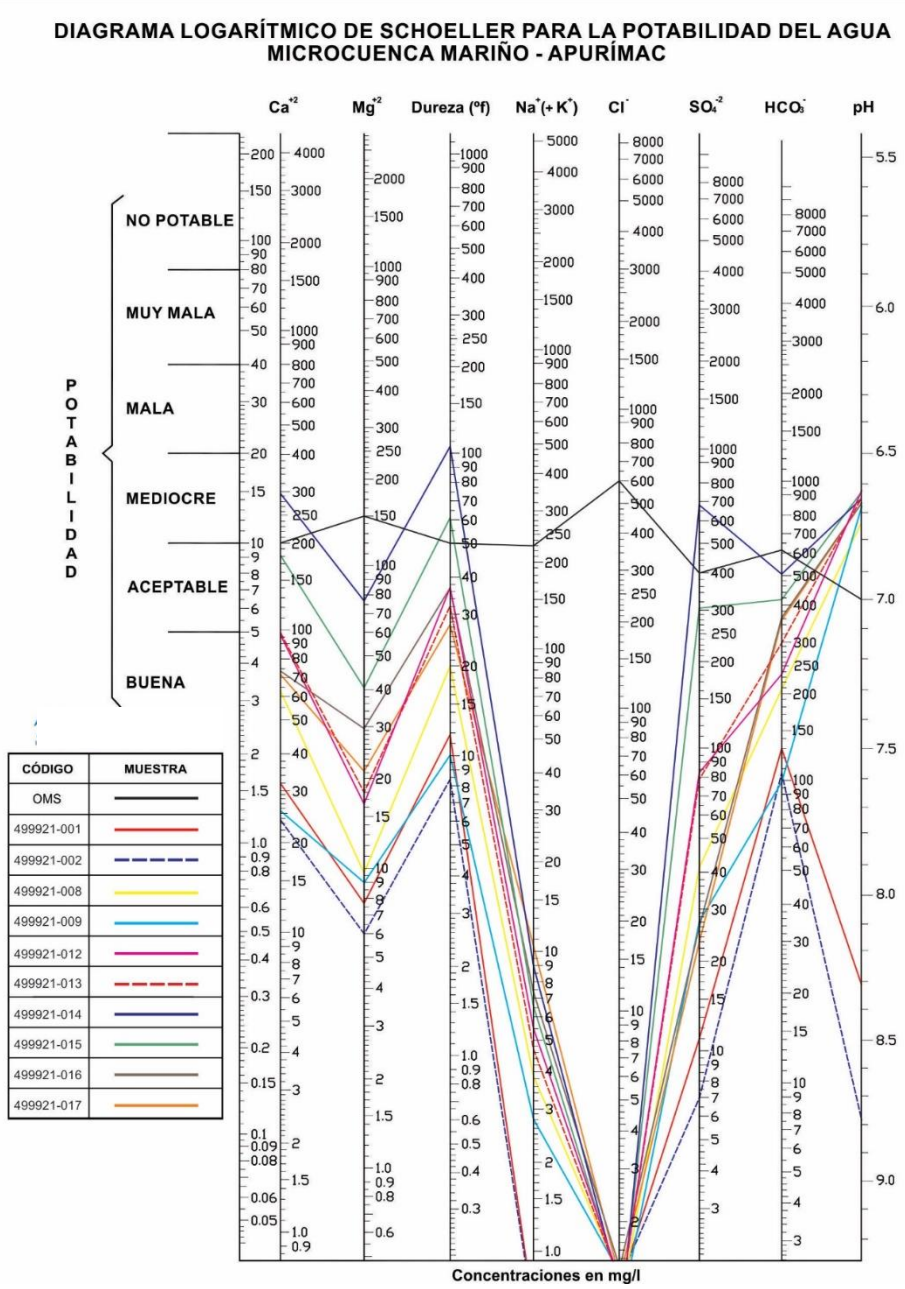
Para el análisis y clasificación de potabilidad en las fuentes de agua muestreadas en temporal de estío (ago y oct del 2014) en la microcuenca Mariño se ha elaborado 06 diagramas (gráficos 3.13, 3.15, 3.17, 3.18, 3.19 y 3.20) y para las fuentes monitoreadas en temporal de lluvia (Mar del 2015) de han elaborado 2 diagramas (gráficos 3.14 y 3.16). Evaluando los gráficos de ambos periodos (época estío y lluvia) observamos que en promedio los parámetros de calidad del agua subterránea corresponden a aguas de calidad.

En los gráficos 3.13 y 3.14 en cada gráfico se han considerado diez fuentes para su representación gráfica 06 manantiales, 02 manantiales captados y 2 puntos de control. En ambos gráficos las fuentes 499921-001, 499921-002, 499921-008 y 499921-009 se clasifican como, de potabilidad buena, en el gráfico 3.13 se considera que el manantial 499921-008 (pH 6.73) y el punto de control 499921-009 (pH 6.68) superan ligeramente el límite máximo de pH establecido por la OMS, por otro lado, en ambos gráficos el punto de control 499921-002 (pH 8.79) muestra tomado en la laguna Uspacocha supera el valor neutro de pH 8.5.

Las fuentes 499921-012 (pH 6.62), 499921-013 (pH 6.65), 499921-016 (pH 6.66) y 499921-017 (pH 6.66) son clasificados de potabilidad buena a mediocre, aunque los valores de pH exceden ligeramente lo normado por la OMS.

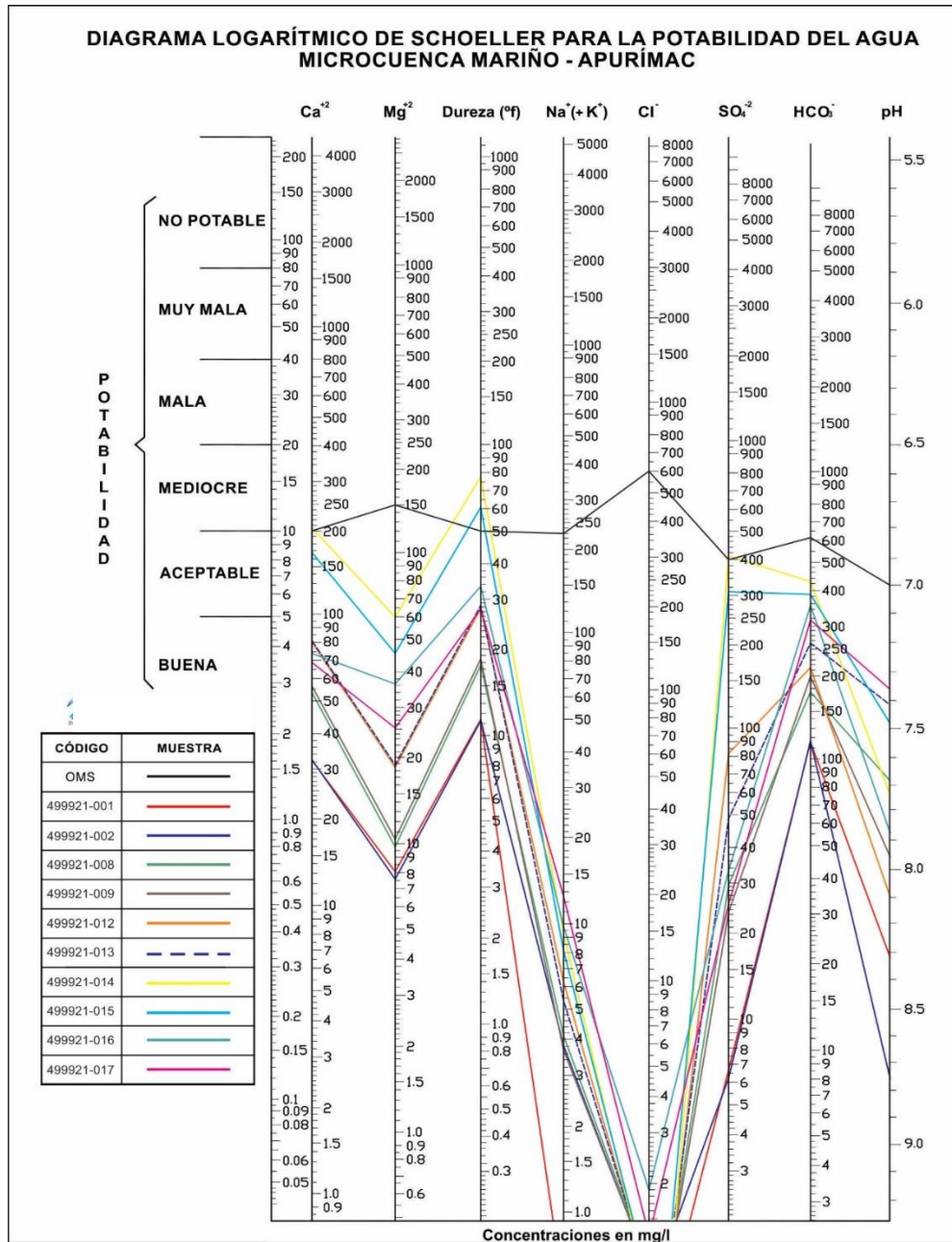
Se observa que en ambos gráficos los manantiales 499921-014 y 499921-015 son de potabilidad mediocre debido a que el manantial 499921-014 supera su concentración en sus componentes de calcio, dureza, sulfato y la fuente 499921-015 supera en dureza. Para todas las fuentes la concentración de cloruros es <0.5 a excepción de las fuentes 499921-016 (Cl 1.4 mg/l) y 499921-017 (Cl 1 mg/l).

Grafico 3.13. Diagrama logarítmico de potabilidad del agua para fuentes de agua muestreadas en agosto del 2014.



Fuente: elaboración propia

Gráfico 3.14. Diagrama logarítmico de potabilidad del agua para fuentes monitoreadas en marzo de 2015.

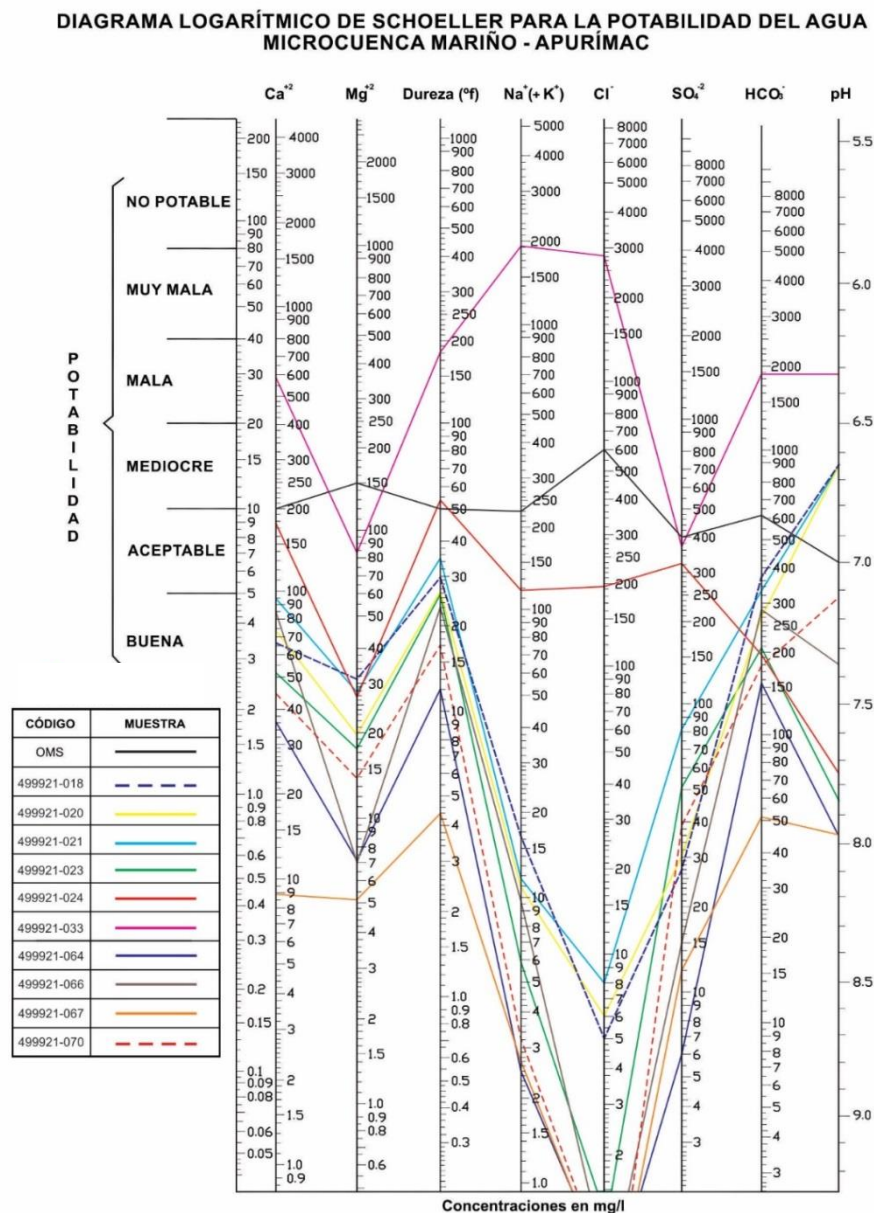


Fuente: elaboración propia

En los Gráficos 3.15 y 3.16 se ha representado diez fuentes agua de 05 manantiales y 04 manantiales captados y 01 manantial termal. Las fuentes 499921-020, 499921-023, 499921-064, 499921-066, 499921-067, 499921-070 se clasifican como, de potabilidad buena, y las fuentes 499921-018 y 499921-021 son de potabilidad aceptable.

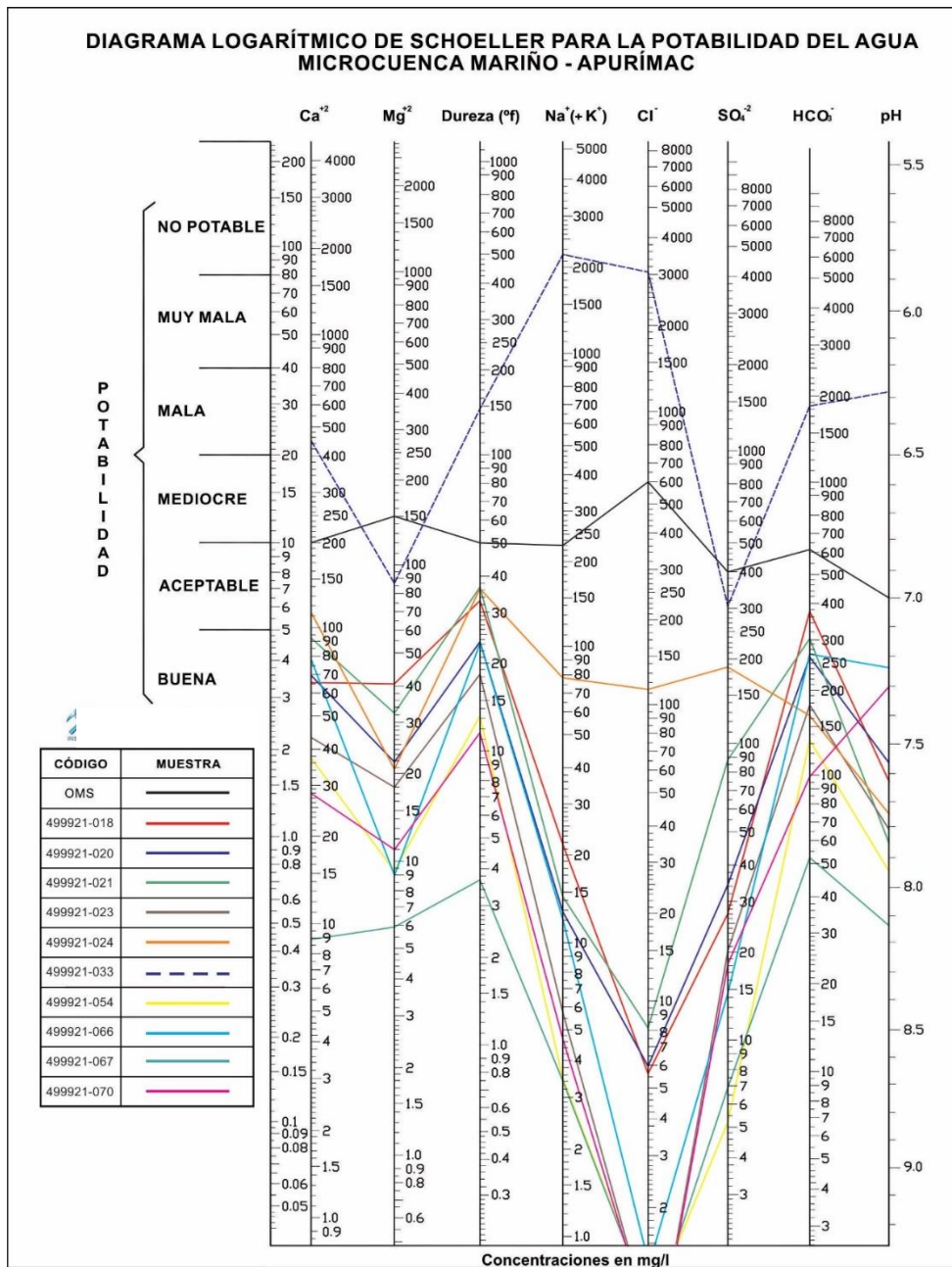
Comparando los gráficos 3.17 y 3.18, finalmente las fuentes 499921-024 y 499921-033 son de potabilidad mediocre, porque el manantial 499921-024 excede el límite máximo normado en la componente dureza; sin embargo, en sus otros componentes es aceptable, el manantial termal Santo Tomas 499921-033 (pH 6.33 unidades de pH) superan en todos sus componentes presenta pH ligeramente ácido aunque la concentración en compo nes de magnesio y sulfato es aceptable, por lo cual sugiero que solo se use en baños termales. Los manantiales 499921-018, 499921-020 y 499921-021 superan ligeramente el límite máximo normado de pH.

Gráfico 3.15. Diagrama logarítmico de potabilidad del agua para fuentes de agua muestreadas en agosto, octubre y noviembre del 2014.



Fuente: elaboración propia

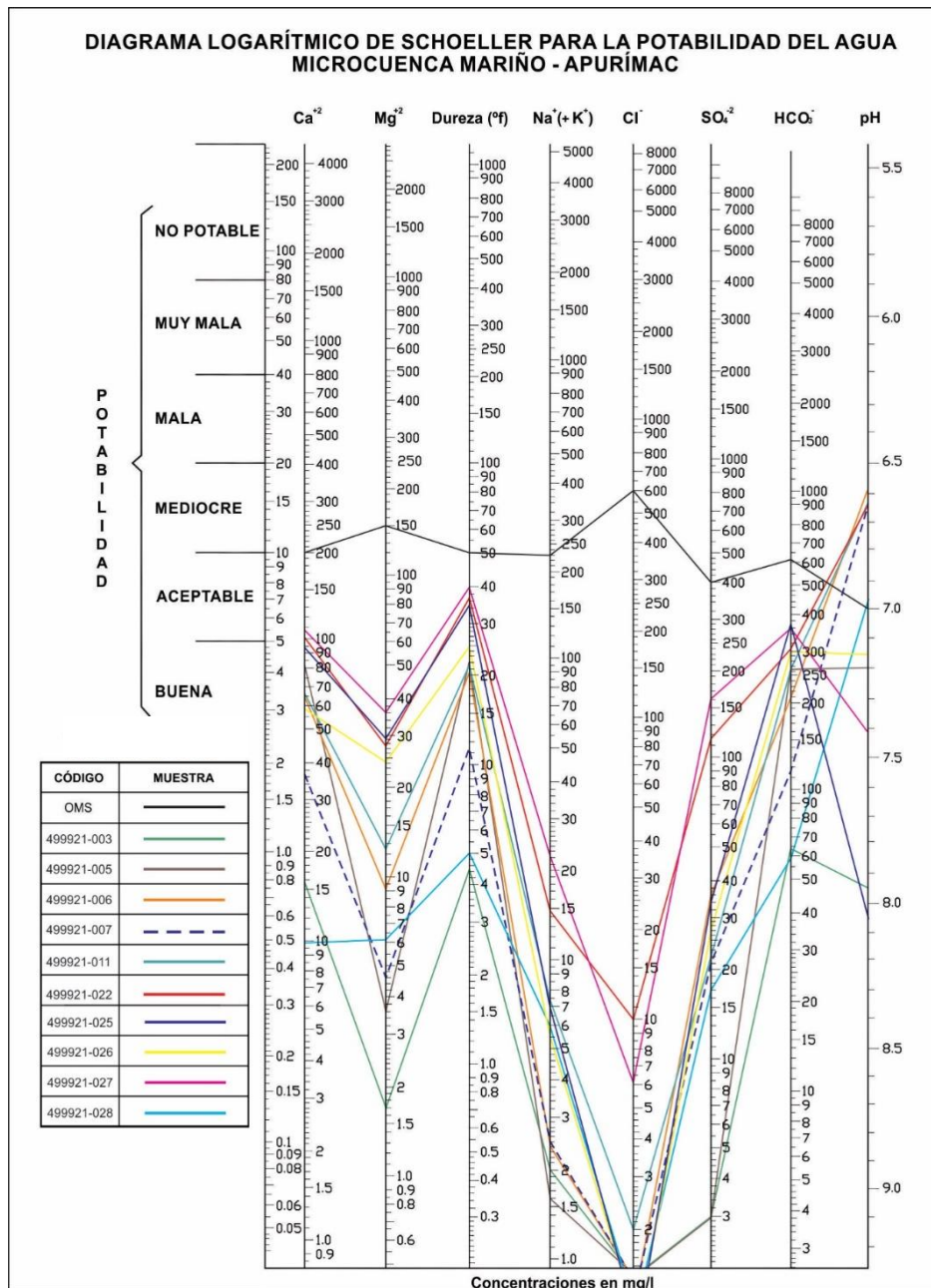
Grafico 3.16. Diagrama logarítmico de potabilidad del agua para fuentes monitoreadas en marzo de 2015.



Fuente: elaboración propia

Según el gráfico 3.17, muestra la representación de 10 fuentes de agua subterránea (08 manantiales y 02 manantiales captados). En general todos los manantiales son clasificados de potabilidad buena a aceptable, considerando que las fuentes 499921-006, 499921-007, 499921-011 y 499921-022 superan en centésimas el límite máximo establecido por la OMS.

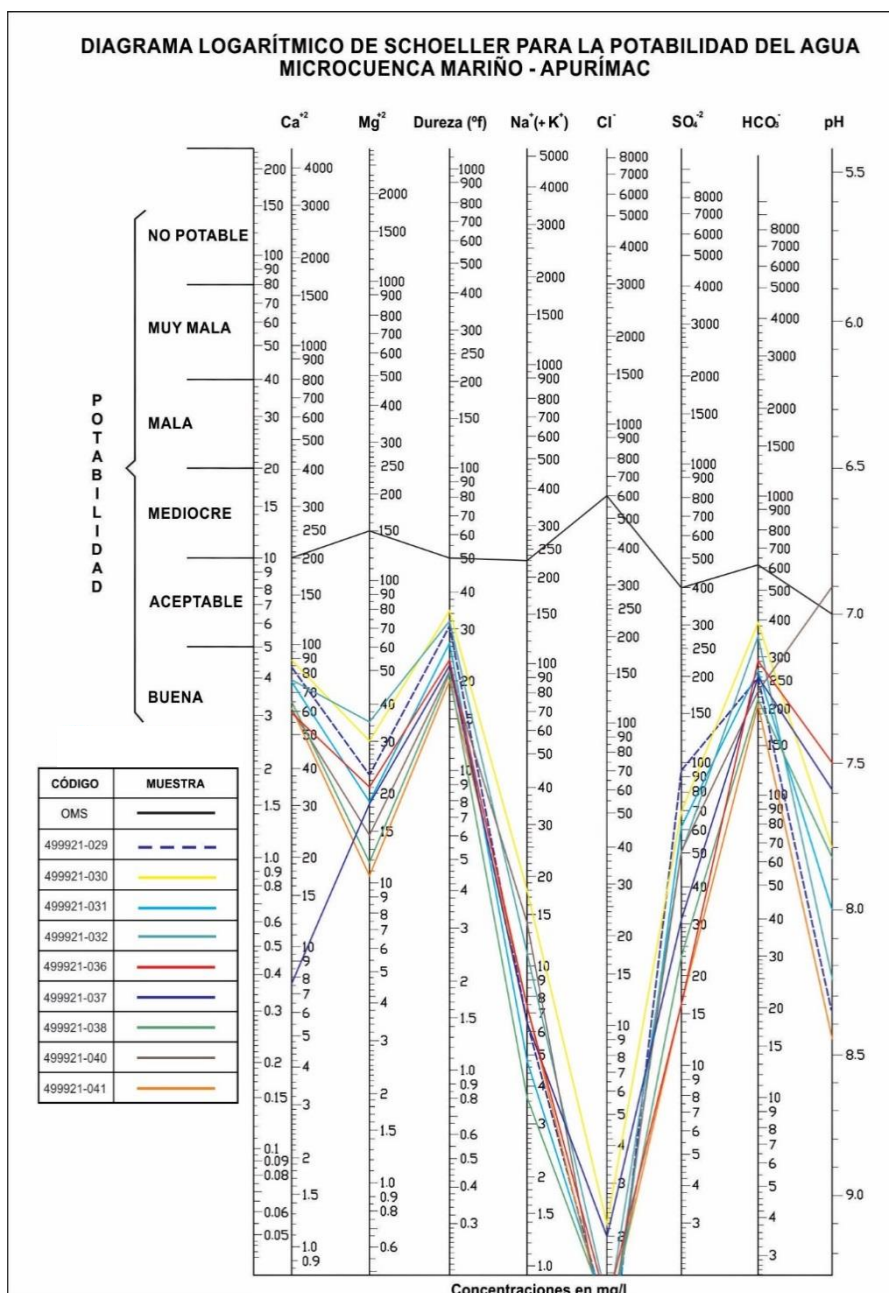
Gráfico 3.17. Diagrama logarítmico de potabilidad del agua para fuentes de agua muestreadas en agosto, octubre y noviembre del 2014.



Fuente: elaboración propia

En el gráfico 3.18, se ha representado 06 manantiales y 03 manantiales captados. Son fuentes de potabilidad buena a mediocre, el manantial 499921-040 (pH 6.9) supera en una centésima el valor de pH establecido por la OMS.

Gráfico 3.18. Diagrama logarítmico de potabilidad del agua para fuentes de agua muestreadas en agosto, octubre y noviembre del 2014.

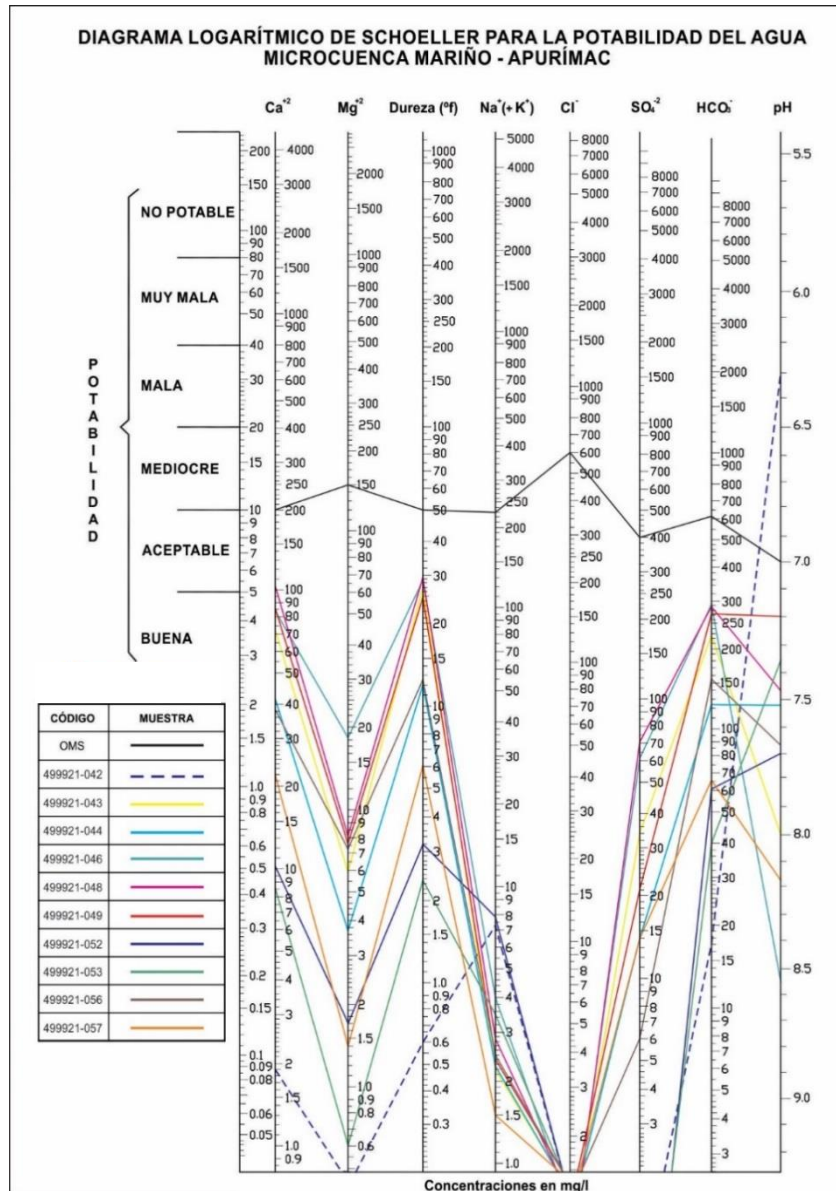


Fuente: elaboración propia

El gráfico 3.19, se ha considerado 09 manantiales y 01 manantial captado. Las fuentes en su totalidad se clasifican como, de potabilidad buena, a excepción de la fuente 499921-042 (6.3) considerado de potabilidad mala debido a que supera el pH límite máximo normado por la OMS, aunque sus otros compontes presentan potabilidad buena. Todas las fuentes

presentas concentraciones de <0.5 mg/L de cloruros, a excepción de la fuente 499921-042 (cloruro 1.086 mg/L).

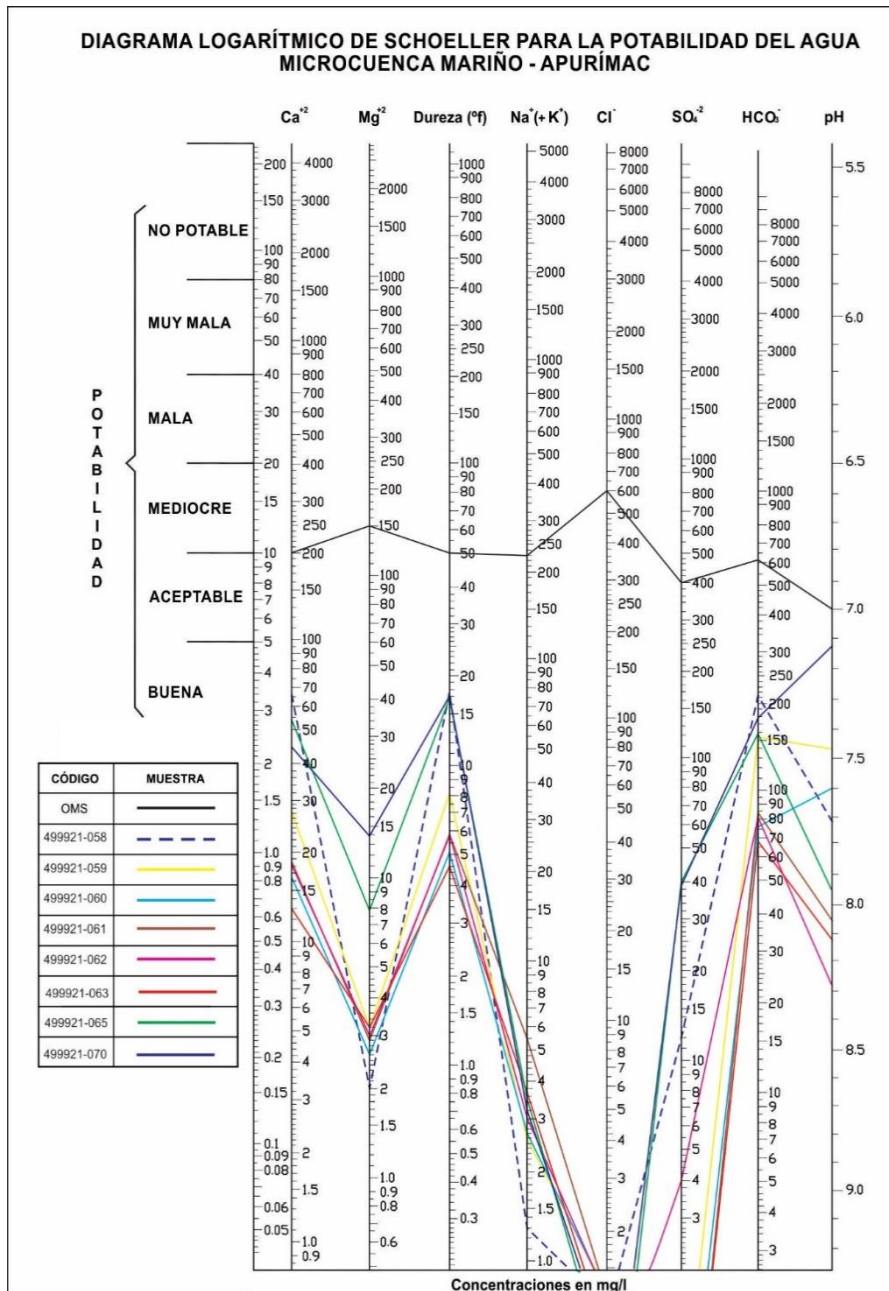
Gráfico 3.19. Diagrama logarítmico de potabilidad del agua para fuentes de agua muestreadas en agosto, octubre y noviembre del 2014.



Fuente: elaboración propia

Según el gráfico 3.20, muestra la representación de 06 manantiales y 02 manantiales captados, todas la fuentes de agua subterránea son de potabilidad buena, la concentración de cloruro es <0.5 mg/L para todas las fuentes.

Gráfico 3.20. Diagrama logarítmico de potabilidad del agua para fuentes de agua muestreadas en agosto, octubre y noviembre del 2014.



Fuente: elaboración propia

3.6.6. Análisis de aguas para riego de vegetales

Para la evaluación respectiva se ha empleado los diagramas de Wilcox (gráficos 3.21 y 3.22) en la microcuenca Mariño la clase predominante es la C2-S1 son aguas de mediana salinidad y bajo contenido de sodio y que constituyen aguas de buena calidad y aptas para la agricultura. En el gráfico N° 3.21 Los datos de 56 fuentes (ago y oct 2014) y la

representación gráfica de los datos de 19 fuentes monitoreadas (mar 2015) en el gráfico 3.22, casi en su totalidad todas las fuentes están ubicadas en la margen derecha del río Mariño, para ambos periodos se ha reconocido 03 categorías o clases de acuerdo al peligro de salinización y alcalinización del suelo en el uso posible de estas aguas para riego, las cuales se describen a continuación:

C1 – S1: Aguas de baja salinidad y bajo contenido en sodio, según el gráfico 3.21 a esta clase de agua corresponden 13 fuentes tomadas en Ago y Oct 2014.

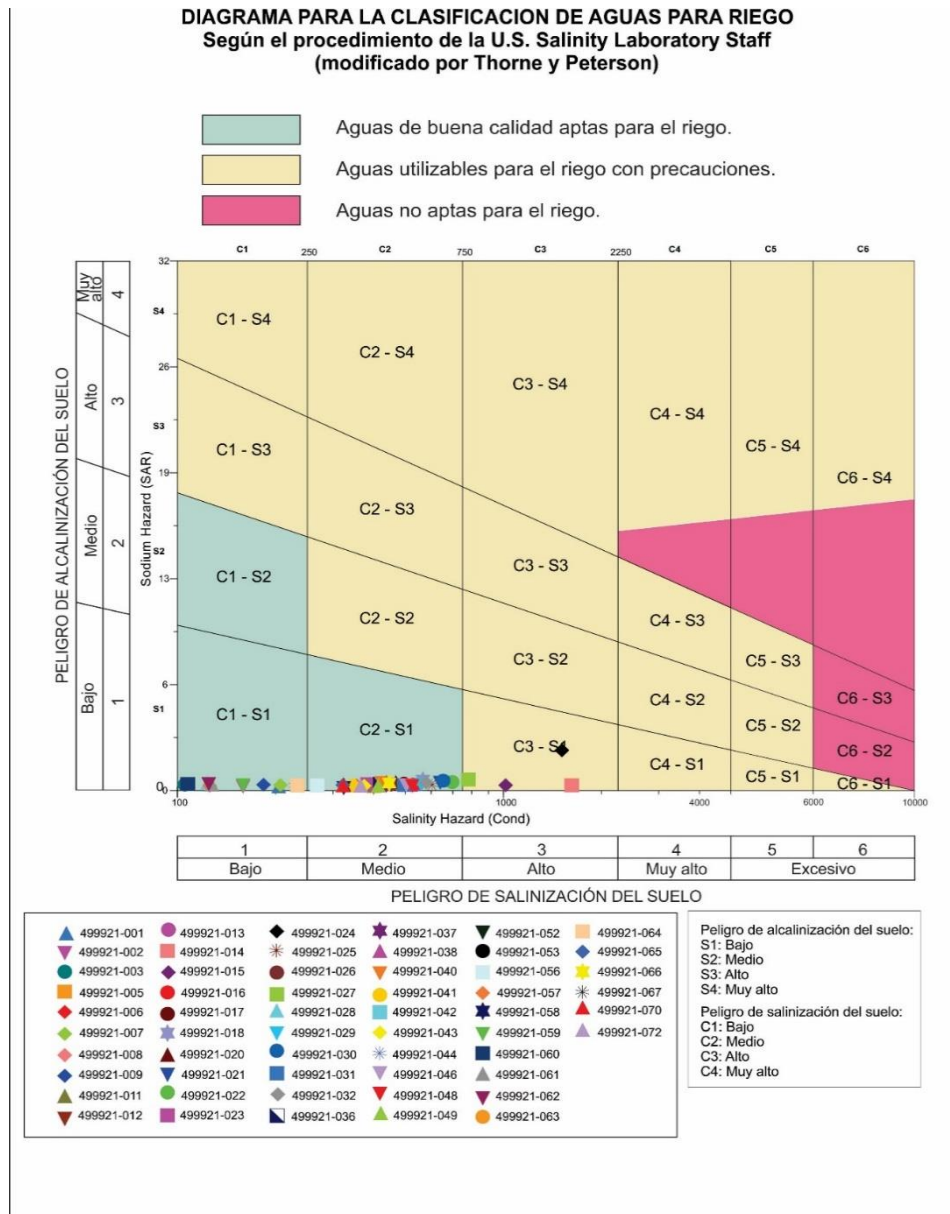
Por otro lado, del gráfico 3.22 de las fuentes monitoreadas (mar 2015). Las fuentes 499921-001, 499921-002 (Laguna Uspacocha), 499921-064 (Agua Potable Abancay) y 499921-070 corresponden a este grupo, las dos primeras fuentes corresponden a la quebrada Sahuanay y las dos fuentes que siguen pertenecen a sector Llanucancha y quebrada Faccha respectivamente.

C2 – S1: aguas de mediana salinidad y bajo contenido de sodio y que constituyen aguas de buena calidad y aptas para la agricultura. El gráfico 3.21 muestra 39 fuentes (ago y oct 2014) que pertenecen a esta clase de agua, además todos se encuentran distribuidos en la zona norte o margen derecha del río Mariño, a excepción de las fuentes 499921-052 y 499921-053 que están ubicadas en la margen izquierda, y en el gráfico 3.22 se observa 12 fuentes (mar 2015), en su mayoría las fuentes están concentradas en este grupo, los mismos que están distribuidas en la margen derecha del río Mariño.

C3 – S1: corresponde a aguas de media a alta salinidad y bajo contenido de sodio. Estas aguas pueden ser utilizadas en la agricultura bajo ciertas condiciones. De acuerdo al gráfico 3.21 las fuentes muestreadas (ago, oct 2014) 299921-014 y 499921-015 (quebrada Sahuanay), 499921-024 (San Jorge Chilligua) y 499921-027 (sector Pumaranra), por otro lado, de acuerdo al gráfico 3.22 las fuentes monitoreadas (marzo 2015) 299921-014, 499921-015 y 499921-024 corresponden a esta clase de agua.

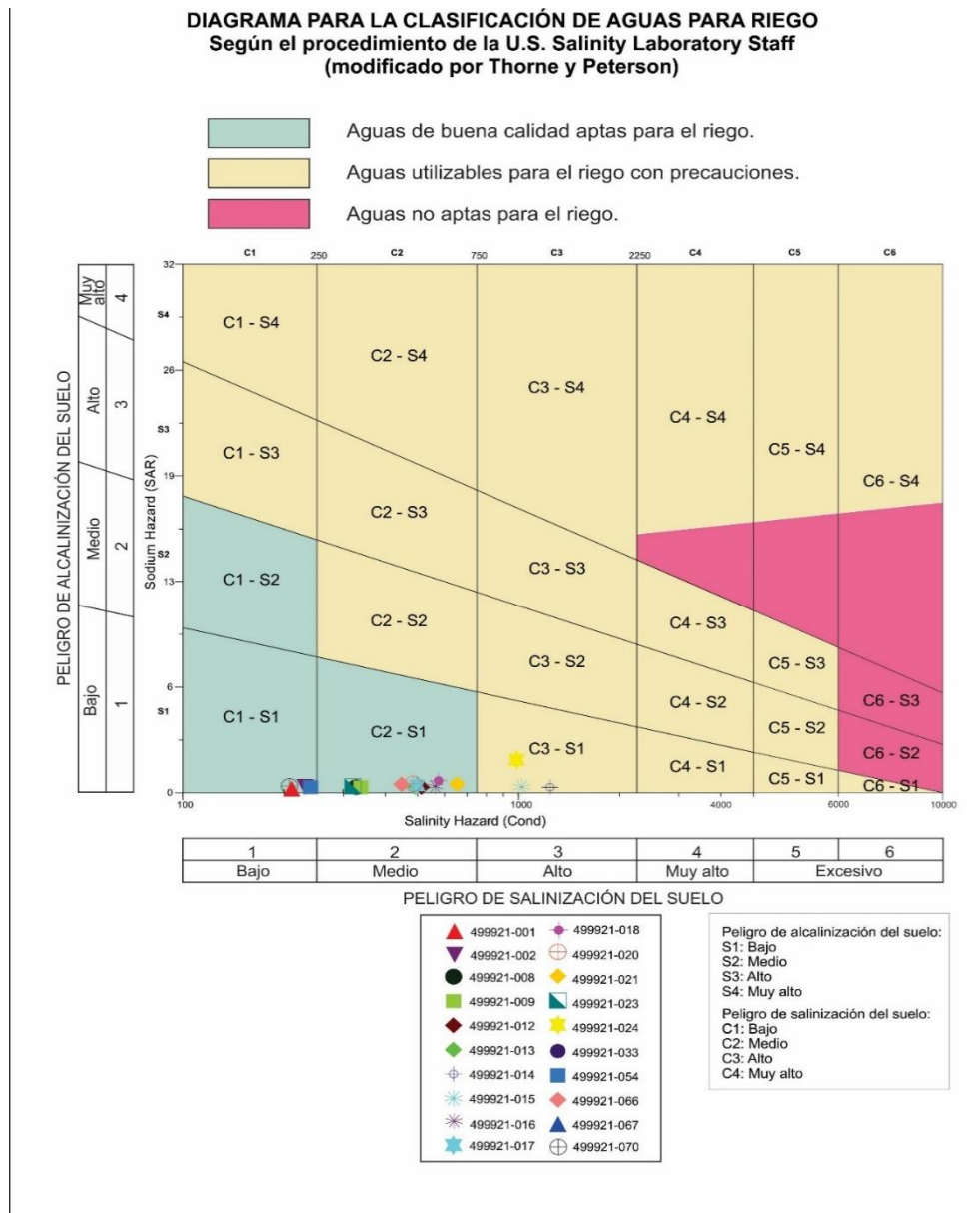
En el presente análisis no se ha considerado la manantial termal 499921-033 debido a sus características físico-químicas de manantial termal, puede ser usado para otros fines (balneología, recreacional, otros).

Gráfico 3.21. Diagrama de Wilcox para fuentes muestreadas en agosto, octubre y noviembre del 2014.



Fuente: elaboración propia

Gráfico 3.22. : Diagrama de Wilcox para fuentes monitoreadas en marzo del 2015.



Fuente: elaboración propia.

CAPÍTULO IV

4. EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. Evaluación hidrogeológica.

4.1.1. Inventario de recursos hídricos (manantiales).

Los trabajos de inventario de fuentes se realizaron en dos periodos en temporal de estío y en temporada de lluvia, corresponden a agosto, octubre y noviembre del 2014 (finales de temporada de estío). El monitoreo de las fuentes seleccionadas se realizaron en marzo 2015 (finales de temporal de lluvia). El resultado de todas las fuentes inventariadas se encuentran en los anexos A1 y A2.

El inventario de fuentes se realizó con el objetivo encontrar las principales zonas de descarga hídrica que tienen los acuíferos, conocer su ubicación, control estructural, el comportamiento de sus caudales con relación a la variación temporal (época de estío y lluvia), controlar sus parámetros físicos y químicos con trabajos *in situ*.

El inventario de fuentes y afloramientos en temporada de estío permitió conocer el verdadero caudal que descienden de los acuíferos, y el monitoreo de fuentes seleccionadas en temporada de lluvia ayudó analizar la variación de los parámetros físico-químicos y caudal de las fuentes en presencia de lluvias.

Los trabajos de campo se desarrollaron cubriendo la mayor parte de los afloramientos o surgencias de aguas subterráneas que tiene el área de estudio, con el propósito de tener un diagnóstico completo de cómo se manifiestan las aguas subterráneas en superficie.

Las fuentes de aguas subterráneas inventariadas (temporada de estío) corresponden a surgencias en forma natural corresponden a 53 manantiales, 17 manantiales captados, 2 puntos de control y 01 fuente termal. Dentro de las fuentes monitoreadas (temporada de lluvia) se tiene 40 manantiales, 14 manantiales captados 02 puntos de control y 01 fuente termal. (Cuadro N° 4.1).

Estas fuentes en su mayoría afloran condicionados por estructuras como fallas y fracturas presentes en las calizas del Grupo Copacabana Inferior y areniscas de la Formación Mitu, en otros sectores las rocas impermeables y materiales no consolidados de cobertura son materiales condicionantes de surgencia.

Cuadro N° 4.1. Resumen y evaluación de fuentes de agua subterránea, parámetros hidráulicos y físico-químicos.

Fuente	Fuentes inventariadas	Fuentes muestradas	Fuentes monitoreadas	Parámetros In Situ	Descripción
	Agosto, Octubre y Noviembre del 2014 (finales de época de estío)		Marzo del 2015 (finales de época de lluvia)		
Manantiales	53	40	9	Caudal, temperatura, pH, CE, y STD.	Se tomaron muestras en la misma surgencia u ojos de los manantiales.
Manantial termal	1	1	1	Caudal, temperatura, pH, CE, y STD.	Se tomaron muestras en la misma surgencia u ojos de los manantiales.
Manantiales Captados	17	14	8	Caudal, temperatura, pH, CE, y STD.	Se tomaron muestras en la misma captación donde se encuentra el ojo de manantial.
Puntos de Control	2	2	2	Caudal, temperatura, pH, CE, y STD.	En puntos seleccionados de aguas superficiales.
TOTAL FUENTES	73	57	20		

Fuente: INGEMMET, 2015.

La presencia de estructuras geológicas como fallas, fracturas y diaclasas condiciona también el movimiento y dirección de los flujos de aguas subterráneas. La presencia de fuentes o manantiales en medios heterogéneos (rocas por lo general de baja permeabilidad) en contacto con materiales no consolidados de cobertura, caracterizan a las fuentes como procedentes de flujos de circulación sub-superficial, donde el movimiento de agua se produce por medio materiales de cobertura de mínimos espesores.



Fotografía 4.1. Se consideraron como puntos de control a las aguas superficiales de lagunas Angascocha (A) y Uspacocha (B), mediciones que se realizaron para conocer sus parámetros físicos-químicos tanto en época de estío y lluvia.

4.1.2. Clasificación de los manantiales inventariados.

Teniendo en cuenta las variables que condicionan la descarga y utilizando el sistema propuesto por Meinzer (1923), se han clasificado los manantiales de acuerdo a su volumen de descarga.

La clasificación de los manantiales en la microcuenca del río Mariño, según Meinzer (1923), se ha determinado de la siguiente forma.

Cuadro N° 4.2. Clasificación de la descarga de manantiales. Según Meinzer (1923).

Categoría	Unidades (l/s).	Cantidad de fuentes	
		Inventario fuentes en época de estío	Monitoreo de fuentes en poca de lluvia
Primera	<2830	-	-
Segunda	283 - 2830	-	-
Tercera	28.3 - 283.0	-	1
Cuarta	10.0 - 28.3	3	4
Quinta	3.0 - 10.0	24	8
Sexta	1.0 - 3.0	18	2
Séptima	< 1.0	26	3

- Tanto en la época de estío y lluvia, los manantiales de primera y segunda categoría, no se ha inventariado en la microcuenca, es decir que no encontramos manantiales superiores a 283 l/s.
- En temporada de estío no se han inventariado manantiales de tercera categoría, es decir, no se han encontrado manantiales superiores a 28.3 l/s; sin embargo, en temporada de lluvia se ha registrado un manantial de cuarta categoría, se trata del manantial Uspacocha (499921-001) de 197 l/s de caudal que descarga a la laguna Uspacocha, ubicada en la quebrada Ampay.
- Los manantiales Siracachayoc 2 (499921-062), Agua Potable Abancay (499921-064), Resurgencia Faccha (499921-072) con caudales de 12 l/s, 20 l/s y 12.5 l/s respectivamente son de cuarta categoría, los caudales han sido medidos en época de estío, son manantiales de cuarta categoría. Por otro lado, en época de lluvia se han medido 04 manantiales de cuarta categoría, se trata de los manantiales Surgencia deslizamiento Chuyllurpata (499921-012), Agua Potable Abancay (499921-064), Faccha 1 (499921-067) y Faccha 4 (499921-070) con caudales de 10 l/s, 20 l/s, 10.3 l/s y 15 l/s respectivamente.
- Los manantiales de quinta, sexta y séptima categoría, son las más abundantes en la microcuenca, su grado importancia está en su número que al sumar generan desarrollo en las poblaciones de los distritos de Tamburco y Abancay que constituyen la ciudad de Abancay.

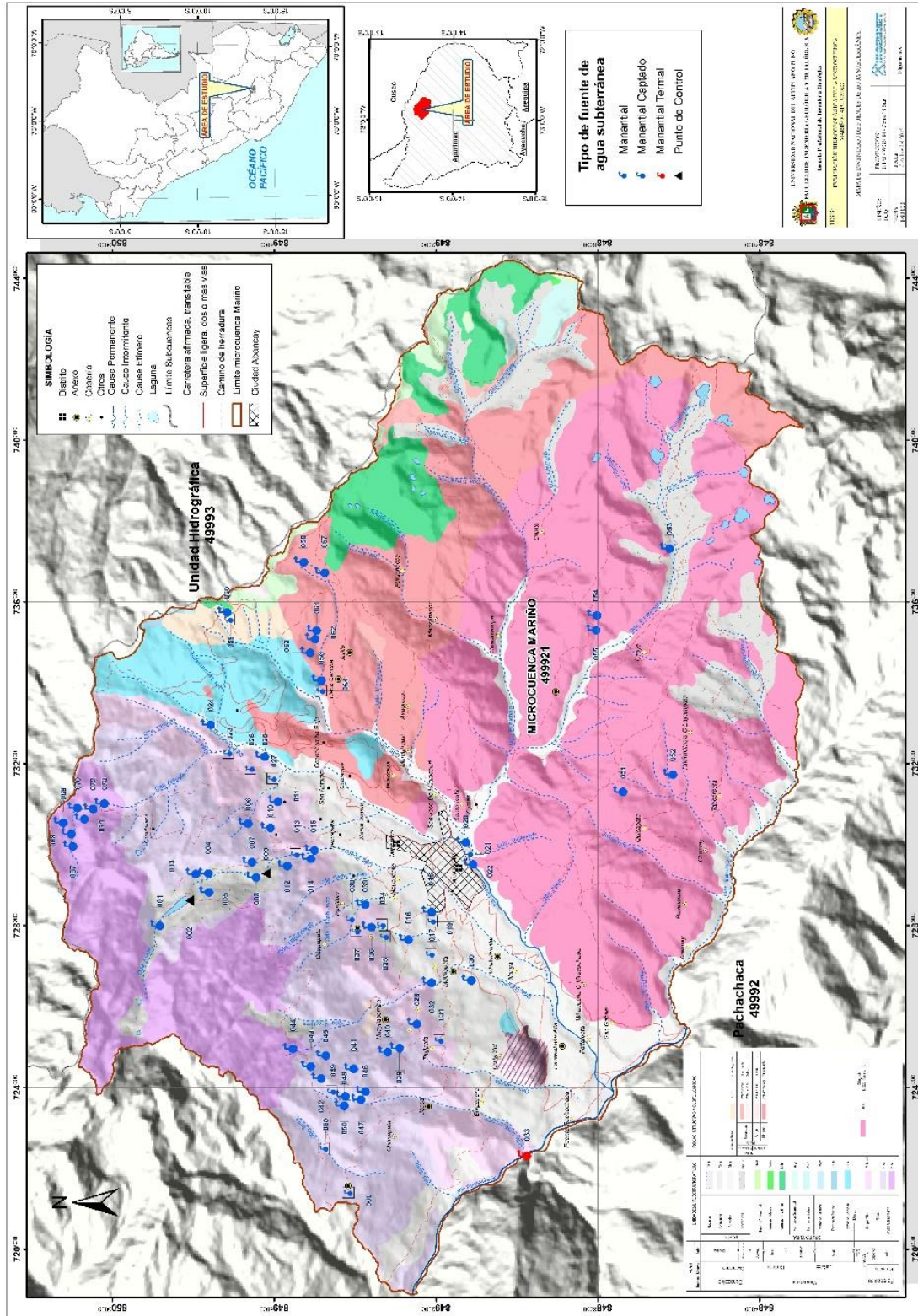
Del inventario, de los 71 manantiales (17 captados y 54 sin captar), suman un caudal de descarga total de 186.72 l/s. Las 71 fuentes han sido aforadas en época de estío, debido a que en este periodo las fuentes presentan su verdadero caudal. Además, se han monitoreado el caudal de 18 manantiales (8 captados y 10 sin captar) en época de lluvia, la mayoría de los manantiales monitoreados en este periodo conservan o presentan mínimas variaciones en sus caudales, lo que nos permite interpretar que son manantiales cuyas descargas están relacionados a la producción de un acuífero. Particularmente, el manantial Uspacocha (499921-001) su caudal varía en gran medida de 6.5 l/s en época de estío a 197 l/s en época de lluvia. Para una mejor descripción de su ubicación, código, caudal y uso, se muestra en el cuadro 4.3.

Cuadro N° 4.3. Cuadro de categorías de descarga de caudales, en manantiales de la microcuenca Mariño – Apurímac.

CUADRO DE CATEGORIAS DE DESCARGA DE CAUDALES, EN MANANTIALES DE LA MICROCUENCA MARIÑO - APURIMAC											
N°	CÓDIGO	NOMBRE	TIPO DE FUENTE	SIMB.	FUENTES INVENTARIADAS EPOCA DE ESTÍO			FUENTES MONITOREADAS EN EPOCA DE LLUVIA			USO DE LA FUENTE
					Q (L/s)	CATEGORÍA	FECHA	Q (L/s)	CATEGORÍA	FECHA	
1	499921-001 *	Uspacocha	Manantial	↔	6.5	Quinta	12/08/2014	197.0	Tercera	23/03/2015	-
2	499921-003	Chitapampa 2	Manantial	↔	0.8	Séptima	12/08/2014				Agrícola
3	499921-004	Piscopujo	Manantial	↔	0.2	Séptima	12/08/2014				-
4	499921-005	Tutepampa	Manantial	↔	0.5	Séptima	13/08/2014				-
5	499921-006	Oxabamba	Manantial	↔	0.8	Séptima	18/08/2014				Riego de pastizales, Agrícola
6	499921-007	Llavepunco	Manantial	↔	0.5	Séptima	18/08/2014				-
7	499921-008 *	Angascocha	Manantial	↔	3.2	Quinta	14/08/2014	4.0	Quinta	15/03/2015	-
8	499921-010	Filtración Ccorohuani	Manantial	↔	0.1	Séptima	16/08/2014				Riego de pastizales
9	499921-011	Layanhuycco	Manantial	↔	0.5	Séptima	16/08/2014				Consumo Humano
10	499921-012 *	Surgencia Deslizamiento Chuyllurpata	Manantial	↔	3.5	Quinta	14/08/2014	10.0	Cuarta	15/03/2015	Agrícola en la parte baja
11	499921-013 *	Captación Cececcachayoc	Manantial Captado	☐	5.77	Quinta	14/08/2014	7.5	Quinta	22/03/2015	Consumo Humano
12	499921-014 *	Sahuayanay 1	Manantial	↔	0.5	Séptima	16/08/2014	3.0	Quinta	22/03/2015	-
13	499921-015 *	Sahuayanay 2	Manantial	↔	0.6	Séptima	18/08/2014	0.5	Séptima	22/03/2015	-
14	499921-016 *	El Palomar	Manantial	↔	3.5	Quinta	16/08/2014	1.2	Sexta	14/03/2015	Recreacional
15	499921-017 *	Casablanca	Manantial Captado	☐	3.8	Quinta	16/08/2014	1.0	Sexta	14/03/2015	Recreacional
16	499921-018 *	Manantial 891	Manantial	↔	1.2	Sexta	16/08/2014	0.6	Séptima	14/03/2015	Recreacional
17	499921-019	Manantial 892	Manantial Captado	☐	0.4	Séptima	16/08/2014				-
18	499921-020 *	Piscina Chama	Manantial	↔	5	Quinta	19/08/2014	5.8	Quinta	21/03/2015	Recreacional
19	499921-021 *	El Riñon	Manantial Captado	☐	0.8	Séptima	19/08/2014	0.6	Séptima	21/03/2015	Recreacional
20	499921-022	Mariño 1	Manantial	↔	5	Quinta	19/08/2014				Riego de pastizales
21	499921-023 *	Uchucara	Manantial Captado	☐	3	Quinta	23/10/2014	3.0	Quinta	19/03/2015	Consumo Humano
22	499921-024 *	Hornada alta Jalastuyoc	Manantial	↔	5	Quinta	23/10/2014	6.5	Quinta	19/03/2015	Riego
23	499921-025	Lamarpuquio	Manantial	↔	0.5	Séptima	23/10/2014				Riego
24	499921-026	Lambraschayoc	Manantial captado	☐	1	Sexta	23/10/2014				Consumo Humano
25	499921-027	Peraschayoc	Manantial captado	☐	0.5	Séptima	23/10/2014				Consumo Humano
26	499921-028	Lambraspuquio	Manantial	↔	1.5	Sexta	24/10/2014				Riego
27	499921-029	Yanipuquio	Manantial	↔	1.8	Sexta	24/10/2014				Riego
28	499921-030	Waripuquio	Manantial	↔	3	Quinta	25/10/2014				-
29	499921-031	Misperosniyoc	Manantial captado	☐	1.4	Sexta	25/10/2014				Consumo Humano
30	499921-032	Limapata	Manantial	↔	4.3	Quinta	25/10/2014				Consumo Humano
31	499921-033 *	Santo Tomas	Termal	↔	3.5	Quinta	25/10/2014	3.5	Quinta	22/03/2015	-
32	499921-034	Cedrochayoc	Manantial Captado	☐	0.5	Séptima	26/10/2014				Riego, consumo humano
33	499921-035	Arranchayoc 2	Manantial Captado	☐	0.5	Séptima	26/10/2014				Riego, consumo humano
34	499921-036	Arranchayoc 1	Manantial	↔	0.5	Séptima	26/10/2014				Riego, bebedero
35	499921-037	Lambraschayoc	Manantial captado	☐	0.176	Séptima	26/10/2014				Consumo Humano
36	499921-038	Tunaschayoc 2	Manantial captado	☐	0.5	Séptima	26/10/2014				Consumo Humano
37	499921-039	Joryet	Manantial	↔	0.5	Séptima	26/10/2014				Consumo Humano, Riego
38	499921-040	Layanhuycco	Manantial	↔	0.6	Séptima	27/10/2014				Riego
39	499921-041	Chacmapata	Manantial	↔	1	Sexta	27/10/2014				Riego, bebedero
40	499921-042	Suyuhuilca	Manantial	↔	2	Sexta	27/10/2014				Bebedero, Consumo Humano
41	499921-043	Rajaypata	Manantial	↔	3.5	Quinta	27/10/2014				Bebedero, Riego
42	499921-044	Rajayhuayco	Manantial	↔	3.5	Quinta	27/10/2014				Consumo Humano
43	499921-045	Palmarealniyoc	Manantial	↔	1	Sexta	27/10/2014				-
44	499921-046	Miskypuquio	Manantial	↔	1.5	Sexta	28/10/2014				Riego
45	499921-047	Pincopinco	Manantial	↔	0.5	Séptima	28/10/2014				Riego
46	499921-048	Colca	Manantial	↔	5	Quinta	28/10/2014				Riego
47	499921-049	Layanhuycco 1	Manantial Captado	☐	2	Sexta	28/10/2014				Consumo Humano
48	499921-050	Layanhuycco 2	Manantial	↔	0.5	Séptima	29/10/2014				Consumo Humano, Riego
49	499921-051	Ticapata	Manantial	↔	1	Sexta	30/10/2014				Riego
50	499921-052	Cuycupuro baja	Manantial	↔	5	Quinta	30/10/2014				Riego
51	499921-053	Osnomojo	Manantial	↔	0.5	Séptima	30/10/2014				Consumo Humano
52	499921-054	Layapata	Manantial	↔	1	Sexta	30/10/2014				Consumo Humano, Agropecuario
53	499921-055	Sanjahuycopuquio	Manantial	↔	0.5	Séptima	30/10/2014				Consumo humano, Riego
54	499921-056	Janipuquio	Manantial	↔	0.5	Séptima	01/11/2014				-
55	499921-057	Totumiyoc 1	Manantial	↔	2.5	Sexta	01/11/2014				Riego
56	499921-058	Horanada 1	Manantial	↔	3.5	Quinta	01/11/2014				Riego
57	499921-059	Tictipuro 3	Manantial Captado	☐	3.8	Quinta	01/11/2014				Agrícola
58	499921-060	Runchuasi	Manantial	↔	0.8	Séptima	01/11/2014				Riego
59	499921-061	Siracachayoc 1	Manantial	↔	1.98	Sexta	01/11/2014				-
60	499921-062	Siracachayoc 2	Manantial	↔	12	Cuarta	01/11/2014				Riego
61	499921-063	Chuyllurchayoc 1	Manantial	↔	5.8	Quinta	01/11/2014				Riego y consumo humano
62	499921-064 *	Agua potable Abancay	Manantial Captado	☐	20	Cuarta	01/11/2014	20.0	Cuarta	22/03/2015	Agua potable Abancay
63	499921-065	Tomahuaycco	Manantial Captado	☐	4.2	Quinta	02/11/2014				Consumo humano
64	499921-066 *	Arhunchuyoc	Manantial Captado	☐	3.5	Quinta	02/11/2014	3.5	Quinta	21/03/2015	Riego
65	499921-067 *	Faccha 1	Manantial	↔	1.8	Sexta	04/11/2014	10.3	Cuarta	24/03/2015	-
66	499921-068	Faccha 2	Manantial	↔	2	Sexta	04/11/2014				-
67	499921-069	Faccha 3	Manantial	↔	2.8	Sexta	04/11/2014				-
68	499921-070 *	Faccha 4	Manantial	↔	3.4	Quinta	04/11/2014	15.0	Cuarta	24/03/2015	-
69	499921-071	Faccha 5	Manantial	↔	2	Sexta	04/11/2014				-
70	499921-072	Resurgencia Faccha	Manantial Resurgente	↔	12.5	Cuarta	04/11/2014				-
71	499921-073	Faccha 6	Manantial	↔	3.2	Quinta	05/11/2014				-

* Fuentes monitoreadas en época de estío y lluvia. Fuente: Ingemmet.

Figura N° 4.1. Mapa de inventario de fuentes de agua subterráneas.



4.1.3. Análisis e interpretación hidrogeoquímica

a) Análisis del mapa hidroquímico

En esta parte se hace una interpretación a partir de los mapas hidroquímicos de 57 fuentes muestreadas en época de estío (Ago, Oct y Nov del 2014), y 20 fuentes monitoreadas en época de lluvia (Mar del 2015), mapas representados en las figuras 3.17 y 3.18, dentro del capítulo 3.

- Interpretaciones

Del mapa hidroquímico (Figura N° 3.17) y observamos que el 96 % de las fuentes de agua muestreadas temporal de estío (Ago, Oct y Nov 2014) se encuentran distribuidas en la parte norte de la microcuenca Mariño (margen derecha del río Mariño), y todas las fuentes seleccionadas para monitoreo en temporal de lluvia (Mar 2015) en su totalidad están en la zona norte de la microcuenca Mariño. En las figuras 3.17 y 3.18 se observa que las fuentes son predominantemente del tipo bicarbonatada cálcica, en los tres primeros rangos de valores establecidos, (2, 4 y 10 meq/l), se clasifican como aguas jóvenes de recorrido local, con valores de conductividad eléctrica y temperaturas bajas, de transitorio tiempo de contacto con los rocas y suelos del área de estudio.

Comparando las fuentes evaluadas en temporal de estío (figura 3.17) y temporal de lluvia (figura 3.18), las fuentes presentan variaciones mínimas, cada fuente presenta el mismo tipo químico en ambos periodos.

El grupo 0 y 2 meq/L, Corresponde a 14 fuentes analizadas en temporal de estío y 04 fuentes en temporal de lluvia. En ambos periodos, la composición de fuentes de aguas subterránea es principalmente de facies bicarbonatada cálcica, debido a la disolución de las calizas del Grupo Copacabana en su miembro superior. Además, en temporada de estío las fuentes 499921-028 y 499921-042 son de facies bicarbonatada Magnésica y bicarbonatada potásica respectivamente. La fuente 499921-067 evaluada en temporal de lluvia es de tipo bicarbonatada magnésica.

En general, son fuentes que presentan bajas concentraciones en sus componentes. Fuentes distribuidas principalmente en las partes altas de la microcuenca, son aguas dulces que proceden de la infiltración de la lluvia y de los deshielos que bajan del nevado Ampay, en

la zona norte del área de estudio. Generalmente tienen caudales bajos y que en algún momento de su corto recorrido tuvieron interacción con aguas superficiales, de los cauces y quebradas menores, en la parte alta de la zona norte los valores de bicarbonato lo obtuvieron del contacto con rocas calizas que se ubican en las inmediaciones de las fuentes.

Grupo 0 y 4 meq/l, a este grupo corresponden 16 fuentes evaluadas en temporada de estío y 4 fuentes evaluadas en temporal de lluvia, en ambos periodos las fuentes presentan facies bicarbonatadas cálcicas, se encuentran distribuidas principalmente en las zonas medias y altas de la margen derecha o zona norte de la microcuenca. Las fuentes afloran en Grupo Copacabana muy fracturado y plegado, por otro lado, su miembro Superior, está constituida principalmente de lutitas grises y oscuras. La química de las aguas ha sido influenciada fundamentalmente por las calizas de Copacabana inferior.

Grupo 0 y 10 meq/l, son 25 fuentes evaluadas en temporal de estío y 10 fuentes de temporal de lluvia. Son fuentes en su mayoría de facies bicarbonatada cálcica y puntualmente 02 fuentes de sulfatada cálcica. Fuentes con un cierto aumento de concentración en sus componentes. Distribuidas principalmente en las partes medias y bajas en la zona norte de la microcuenca. En su gran mayoría afloran en la Formación Copacabana Superior.

La fuente 499921-015, ubicada en la quebrada Sahuanay, en temporada de lluvia presenta facies sulfatada cálcica, su componente químico estaría relacionado a la surgencia del manantial en la base del deslizamiento Sahuanay, en medio de lutitas oscuras del grupo Copacabana Superior. Por otro lado, también se debería a un flujo intermedio a través de las fracturas de las rocas.

La fuente 499921-024, ubicada en el sector San Jorge Chilligua (Cocha Pumaranra), es de facies sulfatada cálcica en ambos periodos, la fuentes aflora en ladera en medio de material arcilloso de tipo coluvial relacionado a una posible erosión interna, además, la ubicación de la fuente en una zona de ocurrencia de movimiento de masa influenciaría en su composición química.

Grupo 0 y 90 meq/l, a este grupo corresponden las fuentes 499921-014 de facies sulfatada cálcica y 499921-033 de facies clorurada sódica ambas fuentes han sido evaluada en temporada de estío y lluvia, en ambos periodos las fuentes no cambian de sus facies

químicas. Caracterizados por presentar altas concentraciones en sus componentes, están distribuidas en el Grupo Mitu.

La fuente 499921-014 (Sahuanay 1), ubicada en la quebrada Sahuanay, la descarga del manantial ocurre en rocas de rocas lutitas y depósitos cuaternarios, fuente que aflora en la base del deslizamiento Sahuanay en lutitas oscuras fracturadas del Grupo Copacabana Superior. La química de la fuente estaría relacionada a un flujo intermedio a través de las fracturas de las rocas.

El manantial termal 499921-033 (Santo Tomas), ubicada en la margen izquierda del río Pachachaca (sur-oeste de la ciudad d Abancay), se trata de un manantial polisurgente porque aflora en varios puntos, es de facies clorurada sódica, la fuente ocurre litológicamente en areniscas, pelitas rojas, conglomerados con clastos de calizas perteneciente al Grupo Mitu. Se observa también, abundante precipitado de sinter de color amarillo rojizo. Estructuralmente está relacionado a la falla normal E-W que está muy próximo a la fuente, por otro lado estaría influenciada por la falla normal Lactabamba de dirección NW - SE y la falla de rumbo Abancay – Curahuasi. El origen de la fuente termal comenzaría con aguas de infiltración, de las lluvias en la parte alta, que circulan en profundidad donde adquieren alta temperatura debido al gradiente geotérmico de la tierra.

b) Índice de saturación

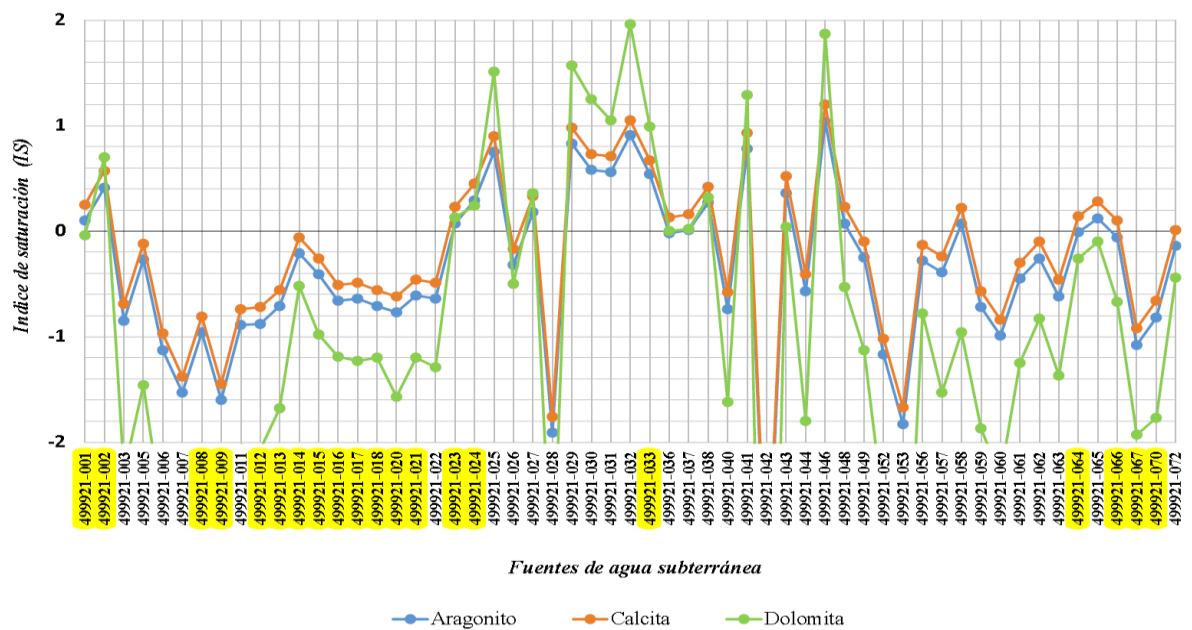
Debido a la composición bicarbonatada cálcica de casi todas las fuentes, en el gráfico N° 4.1 se representan el índice de saturación de algunos carbonatos para fuentes de agua analizadas en temporada de estío (Ago, Oct y Nov 2014) y en el gráfico N° 4.2 para las fuentes analizadas en temporada de lluvia (Mar 2015). El índice de saturación de varios minerales en las fuentes de agua se adjunta en los anexos A9 y A10.

Según estos índices de saturación Langelier (ISL), el 60% de los 57 fuentes analizadas en la microcuenca Mariño, durante la temporada de estío presenta índices de saturación menores que cero ($ISL < 0$) con características de tipo corrosivas o subsaturadas con respecto a la Calcita $CaCO_3$, y el 40 % presenta índices de saturación mayores que cero ($ISL > 0$) con propiedades tipo “incrustantes” o sobre saturadas con respecto a la calcita. Además, el 67 % de las fuentes se presenta subsaturadas ($ISL < 0$) con respecto al Aragonito y 71 % de fuentes tienen índices de saturación menores a cero ($ISL < 0$) con respecto a la Dolomita (Gráfico 4.1).

Según el índice de saturación, de las 20 fuentes monitoreadas en temporada de lluvia (marzo 2015) el 90% de las fuentes presenta índices de saturación mayores que cero ($ISL > 0$) es decir, fuentes que están sobre saturadas con respecto a la Calcita y el 10 % de las fuentes se presentan subsaturadas en Calcita ($ISL < 0$), (Gráfico N° 4.2). 60% de las fuentes están sobresaturadas ($ISL > 0$) con respecto a Aragonito, y el 55% de las fuentes se presentan sobre saturadas ($ISL > 0$) con respecto a la Dolomita.

Comparando el gráfico 4.1 y 4.2 las fuentes 499921-067 y 499921-070 presentan índices de saturación menor a cero en los dos periodos con respecto a la Calcita, Aragonito y Dolomita, y la fuente 499921-002 (Laguna Uspacocha) presenta índice de saturación mayor a cero tanto en temporada de estío como en temporada de lluvia respecto a los minerales citados.

Gráfico 4.1. Índices de saturación de Langelier (ISL) de las fuentes muestreadas en la microcuenca Mariño durante la temporada de estío (Ago, Oct y Nov 2014).



Fuente: elaboración propia

Nota: Las fuentes resaltadas en amarillo han sido seleccionadas para monitoreo en temporada de lluvia (gráfico 4.2).

Gráfico 4.2. Índices de saturación de Langelier (ISL) de las fuentes monitoreadas en la microcuenca Mariño en temporada de lluvia (Ago, Oct y Nov 2014).



Fuente: elaboración propia

c) Análisis por métodos estadísticos

Cuadro 4.4. Estadísticas descriptivas de los parámetros físico-químicos del agua. Aguas subterráneas de la microcuenca Mariño, 2014-2015.

Parámetro	Unidad	Temporada de esti (Ago, Oct y Nov 2014)				Temporada de lluvia (Mar 2015)			
		Observaciones	Mínimo	Máximo	Media	Observaciones	Mínimo	Máximo	Media
CE	uS/cm	56	48.350	1625.000	411.282	19	91.930	1241.000	497.117
TDS	mg/L	56	22.620	796.900	201.547	19	45.550	608.500	244.076
PH		56	6.300	8.790	7.448	19	7.300	8.770	7.791
T (°C)	°C	56	6.500	23.900	13.130	19	7.100	20.900	13.634
Cl-	mg/L	56	0.500	194.512	4.714	19	0.500	113.690	7.593
HCO3-	mg/L	56	17.006	508.000	216.670	19	53.020	428.902	232.654
NO3-	mg/L	56	1.000	19.000	2.418	19	1.000	15.571	3.541
SO4=	mg/L	56	2.000	680.000	54.444	19	5.336	413.006	72.725
Na	mg/L	56	0.300	117.307	6.690	19	0.197	77.292	10.112
Ca	mg/L	56	1.872	297.000	64.387	19	8.975	205.568	73.279
Mg	mg/L	56	0.378	77.500	14.550	19	5.908	60.018	21.561
K	mg/L	56	0.200	6.472	1.191	19	0.200	4.444	1.525
SiO2	mg/L	56	2.700	26.760	15.249	19	2.538	29.440	14.807
Ba	mg/L	56	0.006	1.091	0.143	19	0.029	0.332	0.094
S	mg/L	56	0.500	225.300	18.905	19	2.782	141.483	26.026
Sr	mg/L	56	0.020	3.188	0.348	19	0.036	2.023	0.429
B	mg/L	56	0.050	0.108	0.055	19	0.050	0.070	0.052
Fe	mg/L	56	0.010	0.740	0.055	19	0.010	0.014	0.010
Mn	mg/L	56	0.001	0.648	0.027	19	0.001	0.207	0.016
Mo	mg/L	56	0.005	0.019	0.006	19	0.005	0.013	0.006
Ni	mg/L	56	0.005	0.006	0.005	19	0.005	0.008	0.005
Zn	mg/L	56	0.003	0.016	0.005	19	0.003	0.008	0.003

Fuente: elaboración propia

• Diagrama de Correlación de Pearson

Para la representación mediante diagramas de correlación de Pearson (Cuadros 4.5 y 4.6), se ha considerado 20 Parámetros.

Los cuadros 4.5 y 4.6 muestran los coeficientes de correlación de Pearson. Se destacan en rojo los pares de elementos que presentan una buena correlación ($|R| > 0.7$).

En el cuadro 4.5 (para parámetros analizados en temporada de estío) y el cuadro 4.6 (*para parámetros analizados en temporada de lluvia*) se observan una fuerte correlación de Cl con Na y Sr. Como era de esperar, los bicarbonatos presentan una fuerte correlación con Ca, Mg y conductividad eléctrica que son los cationes más abundantes en el material original, y al ser la fuente principal de la mineralización del agua. Los sulfatos presentan una correlación mayor con el Ca, Mg, conductividad eléctrica y fuerte correlación con S. se ha observado una alta correlación de Na con Sr. El Ca tiene una fuerte correlación con Mg, conductividad eléctrica y S. El Mg tiene alta correlación con conductividad eléctrica y S. La correlación es alta de la conductividad eléctrica con S.

Otro elemento como el Fe presenta buena correlación con Mn (cuadro 4.5). Por otro lado en la cuadro 4.6 se observa una fuerte correlación de Mn con Ni.

Cuadro 4.5. Coeficientes de correlación de Pearson para los distintos parámetros analizados. Temporada de estío (Ago, Oct y Nov 2014).

Variables	Cl-	HCO3-	NO3-	SO4=	Na	Ca	Mg	K	SiO2	CE	pH	Ba	S	Sr	B	Fe	Mn	Mo	Ni	Zn
Cl-	1																			
HCO3-	0.002	1																		
NO3-	0.009	0.311	1																	
SO4=	0.354	0.526	0.016	1																
Na	0.978	0.131	0.082	0.402	1															
Ca	0.312	0.800	0.161	0.895	0.379	1														
Mg	0.149	0.837	0.207	0.811	0.270	0.852	1													
K	0.058	0.184	0.124	0.149	0.104	0.158	0.215	1												
SiO2	-0.048	0.405	0.347	-0.021	0.101	0.088	0.318	0.348	1											
CE	0.516	0.774	0.193	0.870	0.598	0.955	0.870	0.187	0.180	1										
pH	0.038	-0.286	-0.282	-0.224	-0.001	-0.274	-0.275	-0.311	-0.103	-0.235	1									
Ba	-0.072	-0.203	-0.039	-0.187	-0.088	-0.245	-0.174	-0.117	0.138	-0.238	0.192	1								
S	0.380	0.528	0.020	0.999	0.427	0.898	0.810	0.148	-0.020	0.880	-0.221	-0.192	1							
Sr	0.755	0.337	0.239	0.505	0.823	0.513	0.450	0.133	0.070	0.687	-0.041	-0.172	0.526	1						
B	0.407	0.348	-0.043	0.359	0.521	0.351	0.423	0.143	0.330	0.487	0.051	-0.132	0.368	0.611	1					
Fe	-0.057	-0.031	-0.064	0.010	-0.048	-0.030	0.015	0.465	0.169	-0.028	-0.243	-0.026	0.006	-0.089	-0.096	1				
Mn	-0.041	0.160	-0.064	0.130	-0.009	0.133	0.167	0.236	0.186	0.132	-0.227	-0.109	0.132	-0.041	-0.075	0.713	1			
Mo	-0.045	0.186	-0.045	0.009	-0.015	0.068	0.158	-0.116	0.097	0.094	0.198	-0.091	0.011	-0.051	-0.028	-0.092	-0.046	1		
Ni	-0.029	0.001	-0.075	0.183	-0.045	0.111	0.093	0.396	-0.072	0.079	-0.295	-0.107	0.186	-0.030	-0.073	0.305	0.319	-0.065	1	
Zn	0.228	0.219	-0.165	0.469	0.209	0.460	0.265	0.284	-0.085	0.410	-0.269	-0.202	0.475	0.145	0.162	0.317	0.398	-0.129	0.600	1

Fuente: elaboración propia

Cuadro 4.6. Coeficientes de correlación de Pearson para los distintos parámetros analizados. Temporada de lluvia (Mar 2015).

Variables	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ⁼	Na	Ca	Mg	K	SiO ₂	CE	pH	Ba	S	Sr	B	Fe	Mn	Mo	Ni	Zn
Cl ⁻	1																			
HCO ₃ ⁻	-0.120	1																		
NO ₃ ⁻	-0.062	0.323	1																	
SO ₄ ⁼	0.239	0.570	-0.160	1																
Na	0.977	0.025	0.069	0.257	1															
Ca	0.194	0.774	0.052	0.941	0.251	1														
Mg	0.016	0.889	0.078	0.778	0.131	0.844	1													
K	0.012	0.685	0.268	0.314	0.096	0.495	0.536	1												
SiO ₂	-0.058	0.685	0.662	-0.029	0.122	0.215	0.465	0.623	1											
CE	0.405	0.750	0.063	0.908	0.473	0.964	0.853	0.507	0.278	1										
pH	-0.040	-0.459	-0.308	-0.185	-0.136	-0.331	-0.302	-0.408	-0.627	-0.323	1									
Ba	-0.147	0.318	0.321	-0.276	-0.101	-0.095	0.159	0.565	0.613	-0.051	-0.162	1								
S	0.240	0.571	-0.161	1.000	0.257	0.943	0.777	0.310	-0.030	0.909	-0.190	-0.278	1							
Sr	0.872	0.059	0.072	0.370	0.859	0.355	0.217	0.038	-0.037	0.536	0.049	-0.076	0.373	1						
B	0.005	0.527	0.091	0.400	0.149	0.406	0.631	0.110	0.356	0.450	-0.109	-0.216	0.395	0.016	1					
Fe	-0.059	0.190	0.024	-0.104	-0.028	-0.022	0.058	0.644	0.393	0.000	-0.285	0.389	-0.108	-0.116	-0.084	1				
Mn	-0.087	0.399	-0.144	0.488	-0.064	0.484	0.423	0.098	0.029	0.419	-0.244	-0.132	0.493	0.013	-0.048	-0.036	1			
Mo	-0.060	0.184	0.117	-0.153	0.081	-0.123	0.190	-0.172	0.367	-0.043	-0.293	-0.202	-0.152	-0.133	0.657	-0.087	-0.015	1		
Ni	-0.067	0.345	-0.129	0.515	-0.054	0.487	0.393	0.078	-0.024	0.419	-0.205	-0.162	0.518	0.040	-0.084	-0.056	0.987	-0.087	1	
Zn	0.674	0.157	-0.194	0.584	0.658	0.520	0.303	0.067	-0.104	0.614	-0.173	-0.256	0.588	0.648	-0.053	-0.084	0.663	-0.130	0.688	1

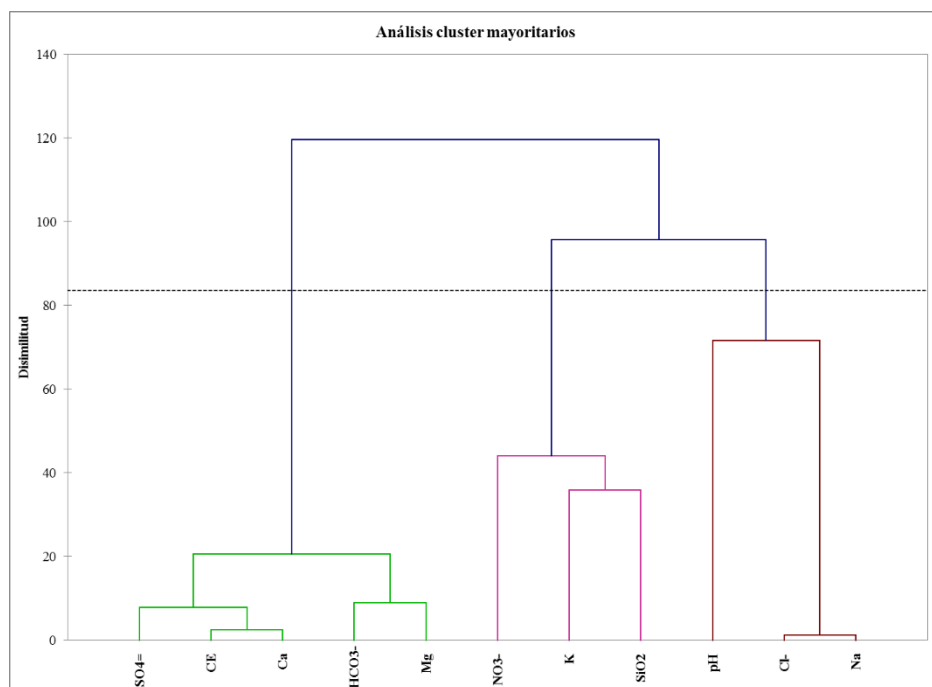
Fuente: elaboración propia

- **Análisis cluster**

Se ha llevado a cabo un análisis cluster de las variables separando los elementos mayoritarios. En el gráfico N° 4.3 se representa análisis cluster de elementos analizados que corresponden a muestras tomadas en temporada de estío (Ago, Oct y Nov). El gráfico N° 4.4 representa análisis cluster de elementos analizados que corresponden a muestras tomadas en temporada de lluvia (mar 2015). Tanto en el gráfico N° 4.3 como en el gráfico N° 4.4 los elementos mayoritarios se disponen en 3 grupos:

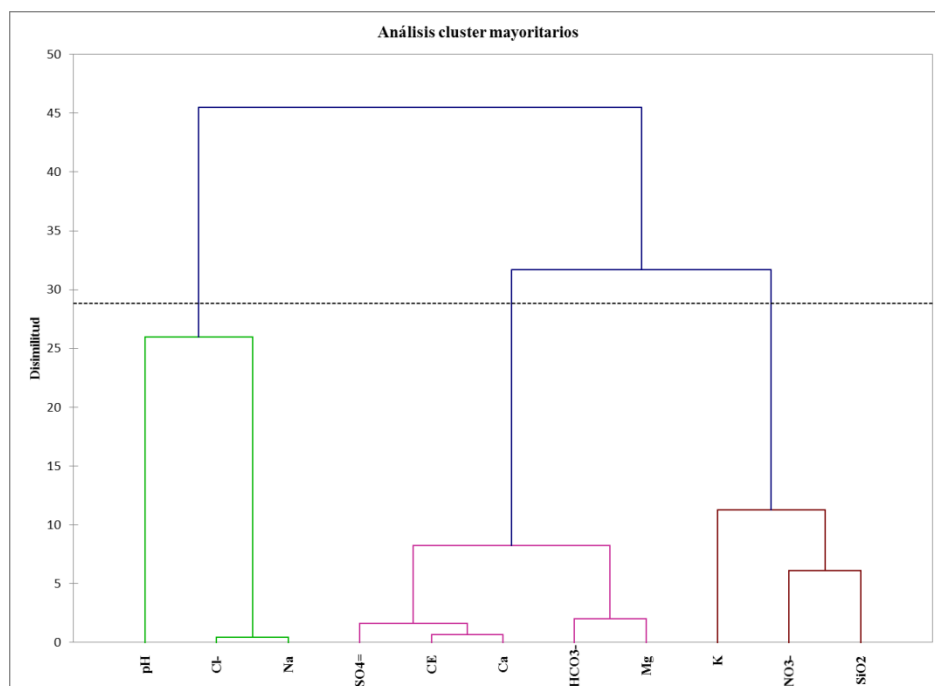
- 1) SO₄, conductividad eléctrica, Ca, HCO₃ y Mg, corresponde a parámetros que definen la mayor parte de la mineralización total del agua en el área de estudio, que se debe a su interacción con la matriz sólida de los acuíferos.
- 2) NO₃, K y SiO₂ en general pueden representar principalmente acción antrópica debido al abonado que aporta cantidades notables de nitrógeno y potasio. El fósforo, fácilmente inmovilizado en el suelo no se encuentra en este grupo.
- 3) pH, Cl⁻ y Na están determinados mayormente por la interacción del agua con las matrices sólidas relacionadas con la disolución de sales.

Gráfico 4.3. Análisis cluster de elementos mayoritarios de las variables. Temporada de estío (Ago, Oct y Nov 2014).



Fuente: elaboración propia

Gráfico 4.4. Análisis cluster de elementos mayoritarios de las variables. Temporada de lluvia (Mar 2015).



Fuente: elaboración propia

Por otra parte, se han representado el análisis cluster de las fuentes de agua muestreadas en temporada de estío (Ago, Oct y Nov del 2014) (gráfico 4.5) y en el gráfico 4.6 se han representado el análisis cluster de fuentes muestreadas en temporada de lluvia (Mar del 2015). Se han definido 3 grandes grupos tanto en el gráfico 4.5 como en el gráfico 4.6.

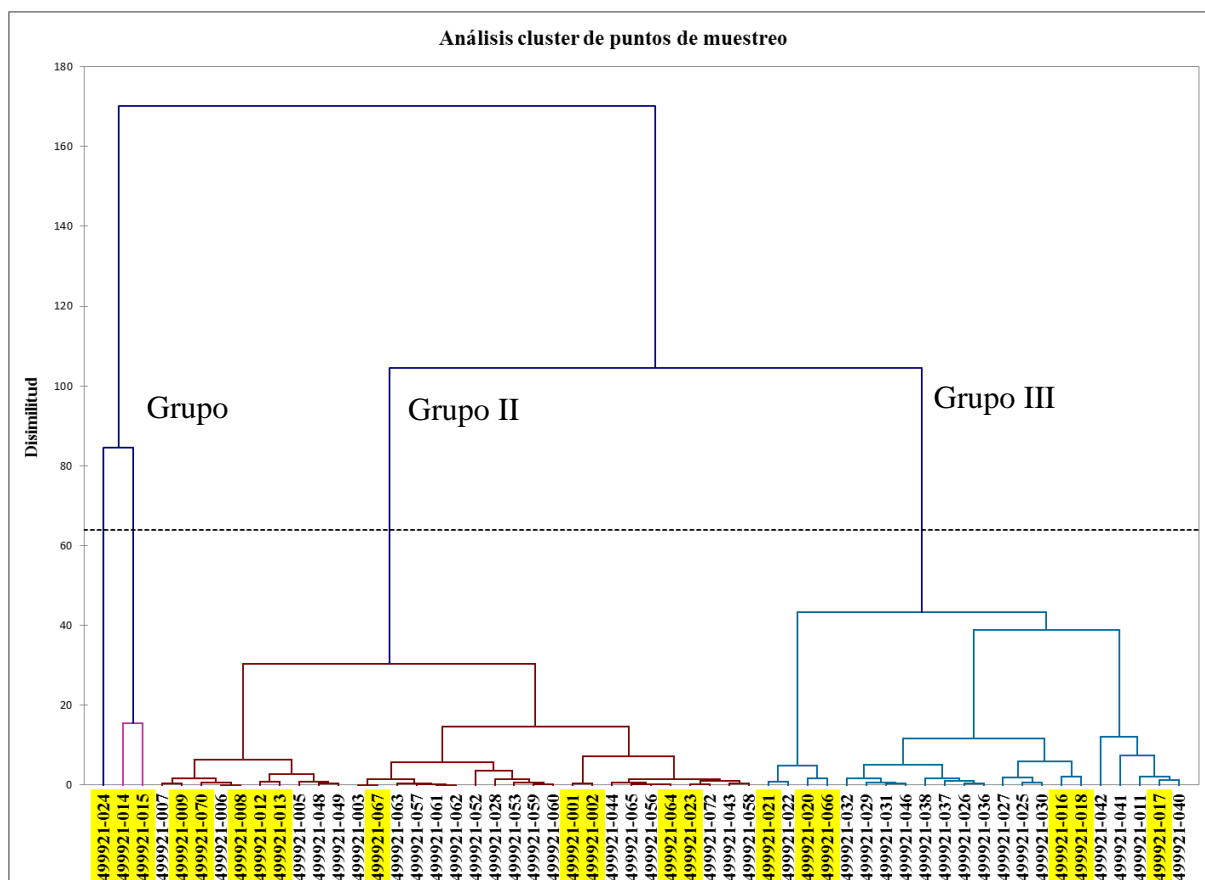
Grupo 1. En época de estío (gráfico 4.5) tenemos dos subgrupos: **el primero**, está representado por las fuentes 499921-014 y 499921-015 son de facies sulfatada cálcica y bicarbonatada cálcica respectivamente, este último presenta también importante concentración de sulfatos, en ambas fuentes sus aguas presentan características similares debido a que afloran en la base del deslizamiento Sahuanay en el grupo Copacabana en su miembro superior que está constituido principalmente por lutitas negras, y **el segundo** subgrupo, lo constituye solamente el manantial 499921-024 de facies sulfatada cálcica, fuente que además de sus iones predominantes de SO_4^- , HCO_3^- y Ca, también presenta importantes concentraciones de Cl^- y Na^+ , posteriormente en época de lluvia la concentración en estos últimos componentes se reduce debido a la mezcla con las aguas de lluvia. En época de lluvia (gráfico N° 4.6) los manantiales 499921-014, 499921-015 y 499921-024 son de facies sulfatada cálcica, presentan elevadas conductividades eléctricas.

Grupo 2. Fuentes afloran principalmente en la parte alta de la microcuenca. En la zona norte de la cuenca afloran en depósitos morrénicos del cuaternario y materiales del grupo Copacabana. En la zona sur los manantiales están relacionados a las fracturas en materiales volcánicos e intrusivos. Tanto en época de estío y lluvia los manantiales son de facies bicarbonatada cálcica, a excepción de la fuente 499921-028 en el gráfico 4.5 que presenta agua de tipo bicarbonatada magnésica.

Grupo 3. Fuentes que afloran en la parte media a baja de la cuenca.

Fuentes que afloran en materiales permotriásicas (Copacabanana superior y Mitu) y materiales cuaternarios (coluviales y aluviales). En ambos periodos todos los manantiales son de facies bicarbonatada cálcica pero con cierto aumento de concentración en sus componentes con respecto al grupo anterior, exceptuando la fuente 499921-042 de agua tipo bicarbonatada potásica.

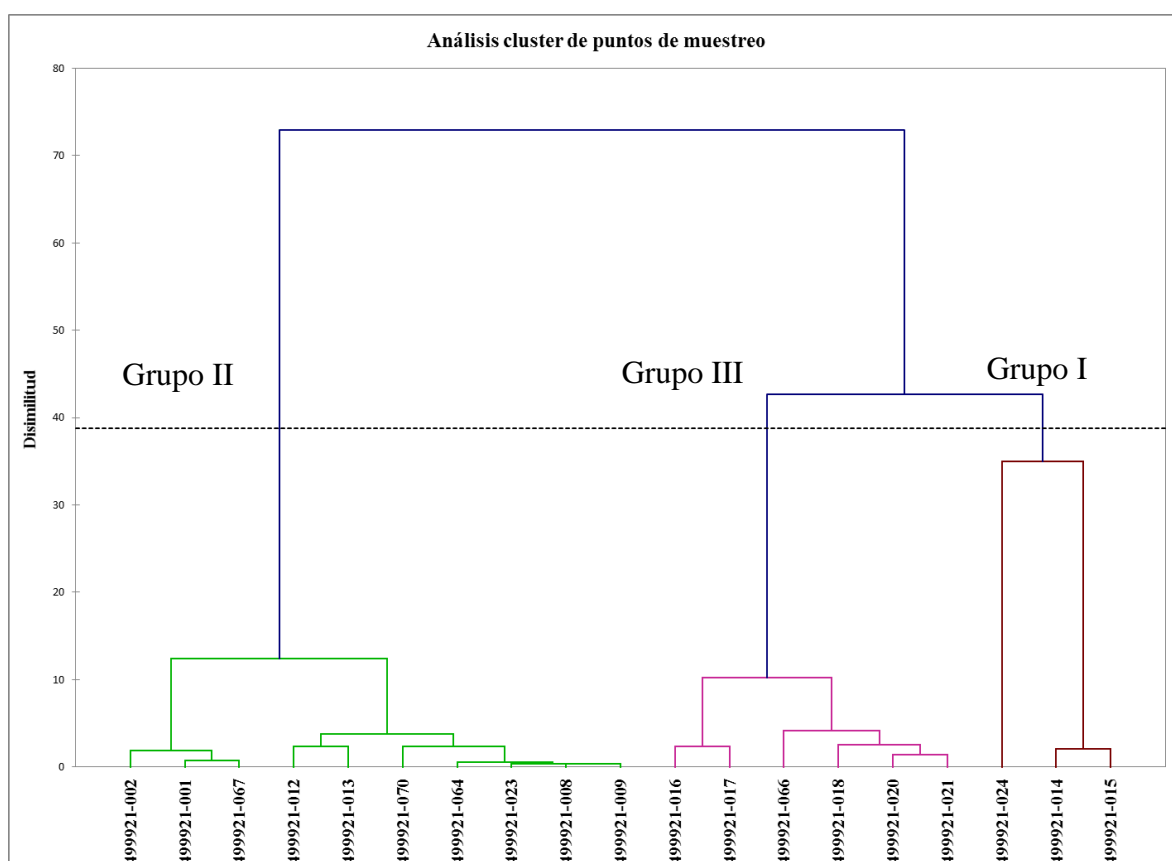
Gráfico 4.5. Análisis clúster de los puntos de muestreo. Temporada de estío (Ago, Oct y Nov 2014).



Fuente: elaboración propia.

Nota: Las fuentes resaltadas en amarillo han sido seleccionadas para monitoreo en temporada de lluvia (figura 3.28)

Gráfico 4.6. Análisis cluster de los puntos de muestreo. Temporada de lluvia (Mar 2015).



Fuente: elaboración propia

4.1.4. Clasificación hidrogeológica

Se tratara de describir, las principales características de los diferentes acuíferos existentes en la microcuenca Mariño y representadas en el mapa hidrogeológico al 1/50 000.

En el mapa hidrogeológico (figura 4.6), se presenta de manera semidetallada, los principales tipos de afloramientos existentes, clasificándolos según su capacidad de infiltración. Indudablemente, las rocas que en superficie permiten la infiltración del agua, son las que formaran acuíferos en profundidad y las que actúan como sistema de recarga de los acuíferos no aflorantes, o que lo hacen en pequeña extensión.

4.1.4.1. Conductividad Hidráulica

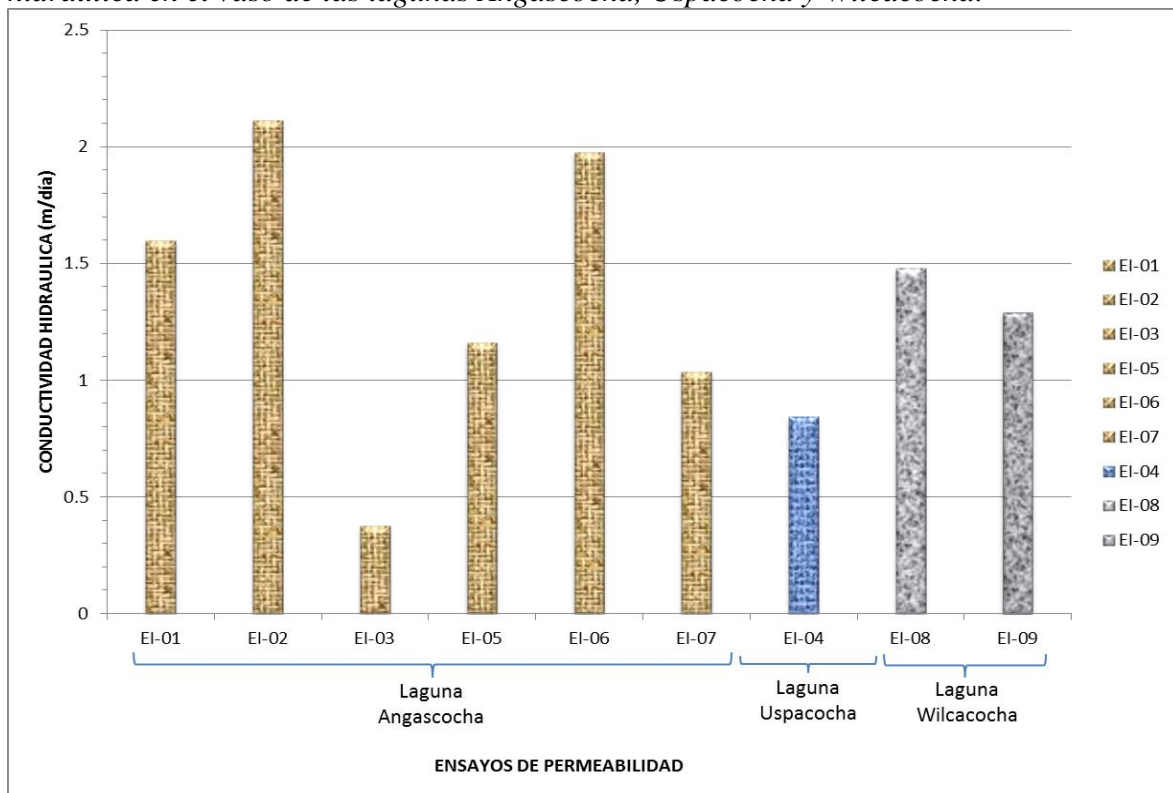
Cuadro N° 4.7. Valores de conductividad hidráulica (m/día) en la microcuenca Mariño.

N°	CÓDIGO	FORMACION GEOLÓGICA	SÍMBOLO	LITOLOGÍA	COORDENADAS			K (m/día)	CLASIFICACIÓN HIDROGEOLÓGICA	
					ESTE	NORTE	COTA (msnm)			
1	EI-01	Depósitos morrénicos	Qpl-mo	Material derrumbado suelo con lutitas y bloques de caliza, arenisca y lutita morrénico en una matriz limo arcillosa de color grisoscuro, los clastos de caliza tienen un diámetro promedio de 30 cm, tienen color blanquecino.	729233	8496241	3299	1.597	Algo permeable	Acuífero pobre
2	EI-02	Depósitos morrénicos	Qpl-mo	Material de suelo limo arcilloso con presencia de bloques blanquesinos	729274	8496172	3319	2.112	Algo permeable	Acuífero pobre
3	EI-03	Depósitos morrénicos	Qpl-mo	Bloques heterométricos angulosos, cantos y gravas de diferente tipo de rocas en una matriz arena arcillosa	729216	8496283	3263	0.3731	Algo permeable	Acuífero pobre
4	EI-04	Depósitos morrénicos	Qpl-mo		728552	8498371	3828	0.8424	Algo permeable	Acuífero pobre
5	EI-05	Depósitos morrénicos	Qpl-mo		729210	8496283	3260	1.158	Algo permeable	Acuífero pobre
6	EI-06	Depósitos morrénicos	Qpl-mo		729230	8496286	3282	1.976	Algo permeable	Acuífero pobre
7	EI-07	Depósitos morrénicos	Qpl-mo		729297	8496188	3198	1.035	Algo permeable	Acuífero pobre
8	EI-08	Grupo Copacabana miembro inferior	Pi-C _i		Calizas fracturadas y plegadas	724294	8498197	4271	1.479	Algo permeable
9	EI-09	Grupo Copacabana miembro inferior	Pi-C _i	724294		8498197	4271	1.29	Algo permeable	Acuífero pobre

Fuente: Análisis de permeabilidad (INGEMMET, 2015).

Los valores de conductividad hidráulica calculadas en unidades m/día en rocas ensayadas, se representan en el gráfico 4.7 y anexo A13, los que se describen a continuación.

Gráfico N° 4.7. Resumen de ensayos de permeabilidad para medida de la conductividad hidráulica en el vaso de las lagunas Angascocha, Uspacocha y Wilcacocha.



Fuente: Análisis de permeabilidad (INGEMMET, 2015).

Se realizaron 09 ensayos de infiltración (gráfico 4.7) dentro del área de estudio, Los ensayos de infiltración se realizaron en el vaso de las lagunas Angascocha, Uspacocha y Wilcacochoa. Las tres lagunas están ubicadas en la zona norte del área de estudio.

En la laguna Angascocha (Laguna chica), ubicada en la quebrada Sahuanay, se encuentra delimitada por materiales morrénicas, en el vaso de dicha laguna se realizaron 06 pruebas de ensayo de permeabilidad, donde se determinó valores de permeabilidad que varían de 0.37 m/día a 2.11 m/día. La laguna Angascocha recibe una descarga de 3.2 l/s en época de estío y 4 l/s en época de lluvia, proveniente del Manantial Angascocha (499921-009) ubicada a 100 metros del borde norte de la laguna, además el aporte de agua en época de lluvia es incrementado por aguas de la quebrada superior con un pequeño caudal, estos aportes desaparecen en época de estío al igual que la alimentación hacia la laguna Angascocha.

En santuario de Ampay se encuentra la laguna Uspacocha (Laguna grande), laguna limitada por depósitos morrénicos, en el vaso de dicha laguna se ha medido una conductividad hidráulica de 0.84 m/día (EI-04). La alimentación a dicha laguna proviene de los deshielos del nevado Ampay y de las precipitaciones pluviales estas aguas discurren debajo de los escombros de la quebrada y afloran en el Manantial Uspacocha a 350 metros del extremo norte de la laguna, dicha fuente aporta agua a la laguna Uspacocha con caudales que varían de 6.5 l/s en época de estío y en época de lluvia hasta de 197 l/s.

Se realizó 02 ensayos de permeabilidad en el vaso de la laguna Wilcacochoa, la misma que está ubicada al pie del nevado Ampay. El ensayo de permeabilidad se realizó en materiales de rocas calizas fracturadas, las fracturas están rellenas por materiales arcillosos (miembro inferior Grupo Copacabana), donde se midieron valores de permeabilidad superficial de 1.29 m/día (EI-09) y 1.479 m/día (EI-08). Dicha laguna recibe aporte de agua solo en época de lluvia, en época de estío llega a secarse.

Con estos ensayos comprobamos que los materiales morrénicos que contienen agua en las lagunas son permeables, por lo tanto el descenso de los niveles de agua en las lagunas no solo se debe a la evaporación, sino también a la infiltración. Las mismas que contribuyen a la surgencia de manantiales en la parte baja del santuario.

De acuerdo a los valores de permeabilidad medidos en depósitos de materiales morrénico y rocas calizas del Grupo Copacabana miembro inferior, nos permiten clasificar a estos materiales como rocas algo permeables y asignándole una calificación hidrogeológica de acuífero pobre.

La circulación del agua subterránea en medio de rocas calizas, están condicionadas por las fracturas y por el plano de estratificación, las mismas que en su mayoría se encuentran plegadas, en sectores puntuales se observa disolución (en menor grado) producto del contacto del agua con el material calcáreo.

4.1.4.2. Caracterización hidrogeológica de las formaciones geológicas - mapa hidrogeológico.

Cuadro N° 4.8. Caracterización hidrogeológica de la zona de Roca Mariño.

FORMACIÓN GEOLÓGICA	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	ESTRUCTURAS	PERMEABILIDAD (m/día)	POROSIDAD (%)	CLASIFICACIÓN HIDROGEOLÓGICA	SÍMBOLO HIDROGEOLÓGICO	DESCRIPCIÓN HIDROGEOLÓGICA
Depositos	Fluviales	Gravas heterogéneas, subredondeadas a redondeadas, con matriz arenosa, grano medio a grueso y algunos niveles de limo.	Gravas: 10E2 a 10E6(4) Arenas: 10 a 10E4(4), 0.5 a 20(6)	Grava: 25 a 40(1,2 y 4) Arena: 25 a 50(1), 20 a 50(2), 30 a 40(4), 41 a 50(6)	Acuífero poroso no consolidado	APNC-fl	Acuíferos locales y discontinuos de baja productividad, presenta por primera importancia.
	Coluviales	Bloques y cantos angulosos de tamaño variable, envueltos en una matriz arcillosa.	Arcillas: 10E-6 a 10E-4(4), 10E-7 a 10E-4(2) Limo: 10E-3 a 10(4)	Arcilla: 40 a 70(1), 40 a 60(2), 45 a 60(4), 40 a 44(6) Limo: 35 a 50(1)	Acuífero sedimentario	ATS-co	Materiales de baja permeabilidad e impermeables, por su ubicación en no tiene interés hidrogeológico alguno.
	Aluviales	Bloques y gravas subangulosas a subredondeadas con una matriz arenolimo.	Bloques y gravas: 10E2 a 10E6(4) Arenas limosas: 001 a 1 (2)	Grava: 25 a 40(1, 2 y 4) Arenas limosas: 20 a 50(2)	Acuífero poroso no consolidado	APNC-al	Acuíferos locales y continuos de moderada productividad.
	Morrenicos	Bloques heterométricos angulosos, cantos y gravas de diferentes tipos, de rocas arenocarbónicas.	Cantos y gravas: 10E2 a 10E6(4) Arenocarbónicas: 001 a 1 (2)	Grava: 25 a 40(1, 2 y 4) Arenocarbónicas: 001 a 1 (2)	Acuífero poroso no consolidado	APNC-mo	Acuíferos locales y discontinuos, en sectores son extensos de baja productividad, con espesores que varían.
Formación Arcecuana	Secuencias monótonas de calizas grises bien estratificadas, contienen niveles fósiles y nódulos de chert.	Se encuentra en algunos lugares en contacto directo sobre las areniscas de la formación Hualhuani en aparente concordancia.	Calizas Cársicas: 0.1 a 10E6(2). Calizas, dolomías: 10E-5 a 1 (2)	Calizas cársicas: 5 a 50(1) Dolomía o caliza: 0 a 20(1)	Acuífero fisurado sedimentario	AFS-ar	Acuíferos fisurados discontinuos de extensión local y baja productividad.
Formación Murco	Limoarcillas rojas, vídicas y verdes intercaladas con areniscas con laminación horizontal y flaser bedding. Además de areniscas cuarzosas blancas y calizas.	Las areniscas y limoarcillas rojas sobrevacen concordantemente sobre las areniscas blancas de la formación Hualhuani.	Limoarcillas: 0.006 (9) Areniscas: 10E-2 a 10E2(4)	Limoarcillas: 13 (9) Areniscas: 5 a 35(2), 5 a 20(1 y 4), 4 a 25 (5)	Acuífero fisurado sedimentario	AFS-mu	Acuíferos aislados de pequeña extensión y de interés hidrogeológico limitado.
Grupo Yura	Formación Hualhuani	Areniscas cuarzosas, blancas de grano fino a medio, masivas y con laminación intercalan limoarcillas negras carbonosas con restos de plantas mal conservadas.	Areniscas: 10E-2 a 10E2(4)	Areniscas: 5 a 35(2), 5 a 20(1 y 4), 4 a 25 (5)	Acuífero fisurado sedimentario	AFS-lu	Acuíferos fisurados de extensión regional. Tiene escasa productividad y presenta en forma discontinua.
	Formación Gramadal	Limoarcillas grises, verdes y gris oscuras, intercaladas con calizas grises con la serie no es continua.	Calizas: 10E-5 a 1 (2) Limoarcillas: 0.006 (9)	Caliza: 0 a 20(1) Limoarcillas: 13 (9)	Acuífero sedimentario	ATS-gr	Materiales de muy baja permeabilidad de escaso interés hidrogeológico.
	Formación Labra	Bancos de areniscas grises y blancas a veces laminadas de grano fino a medio delgadas de limoarcillas negras y grises.	Areniscas: 10E-2 a 10E2(4) Limoarcillas: 0.006 (9)	Areniscas: 5 a 35(2), 5 a 20(1 y 4), 4 a 25 (5)	Acuífero fisurado sedimentario	AFS-la	Acuíferos locales de pequeña extensión discontinuos de baja productividad.
	Formación Cachios	Limoarcillas negras, grises, verdes y gris oscuras intercaladas con algunos niveles de calizas.	Limoarcillas: 0.006 (9) Areniscas: 10E-2 a 10E2(4)	Limoarcillas: 13 (9) Areniscas: 5 a 35(2), 5 a 20(1 y 4), 4 a 25 (5)	Acuífero sedimentario	ATS-ca	Materiales de muy baja permeabilidad de escaso interés hidrogeológico.
Formación Puente	Areniscas de grano fino a medio, grises, verdes y pardas, intercaladas con calizas laminadas a veces con nódulos y abundante contenido de fósiles.	El límite inferior yace concordante sobre la formación Socosani e infrayace a la formación Cachiós.	Areniscas: 10E-2 a 10E2(4) Limoarcillas: 0.006 (9)	Areniscas: 5 a 35(2), 5 a 20(1 y 4), 4 a 25 (5) Limoarcillas: 13 (9)	Acuífero fisurado sedimentario	AFS-pu	Acuíferos locales de pequeña extensión y bajo interés hidrogeológico.
Formación Socosani	Principalmente calizas negras con niveles de limoarcillas y areniscas grises, laminadas negras, carbonosas y niveles de calizas con nódulos y fósiles.	El contacto inferior con el grupo Mita es discordante, el contacto superior con las areniscas de la formación Puente es normal.	Calizas: 10E-2 a 10E2(4) Limoarcillas: 0.006 (9) Areniscas: 10E-2 a 10E2(4)	Limoarcillas: 13 (9) Areniscas: 5 a 35(2), 5 a 20(1 y 4), 4 a 25 (5) Areniscas: 5 a 35(2), 5 a 20(1 y 4), 4 a 25 (5)	Acuífero sedimentario	ATS-so	Materiales de muy baja permeabilidad de escaso interés hidrogeológico.
Grupo Mita	Formación Mita	Areniscas, pelias rojas, conglomerados con clastos de calizas y rocas volcánicas andesíticas. Cuarcitas y micaesquistos.	Areniscas: 10E-2 a 10E2(4) Conglomerados: 10E-4 a 1(4) Andesitas: Lutitas: 10E-2 a 10E2(4)	Roca volcánica: 1 a 10(1), 10(3), 10 a 80(4) Lutitas: Inicia de 1 a 10 y fracturada de 30 a 50(2), 5 a 15(4), 5 a 10(1)	Acuífero volcánico sedimentario	ATVS-mi	Materiales de escaso interés hidrogeológico de baja permeabilidad representa reservorios acuíferos de importancia. Sin embargo, en sectores puntuales tienen pequeñas sugerencias atreves de las fracturas de las rocas extensión local ligada.
		La parte superior lutitas negras y grises, con abundantes fósiles, estratificada areniscas.	Forma un gran anticlinal de dirección predominantemente ONO - ESE. Por el norte se halla controlada por fallas E-O.	Lutitas: 10E-2 a 10E2(4) Areniscas: 10E-2 a 10E2(4)	Lutitas: Inicia de 1 a 10 y fracturada de 30 a 50(2), 5 a 15(4), 5 a 10(1) Areniscas: 5 a 35(2), 5 a 20(1 y 4), 4 a 25 (5)	Acuífero sedimentario	ATS-c_s
Grupo Copacabana	Formación Copacabana	A la base calizas marinas grs oscuras, compactas con abundante contenido niveles de pelias negras.	Calizas Cársicas: 0.1 a 10E6(2). Calizas, dolomías: 10E-5 a 1 (2)	Calizas cársicas: 5 a 50(1) Dolomía o caliza: 0 a 20(1)	Acuífero fisurado kárstico	AFK-c_i	Cuerpos intrusivos de baja permeabilidad, de escaso interés hidrogeológico extensión localizada.
		Andesita porfírica: 70.4 a 8.64 (7)	Roca volcánica: 10(3), 10 a 80(4)	Acuífero sedimentario	ATI-ap		
		Granodiorita: 10E-6 a 1 (7), 6.9*10E-5 a 2.6*10 (8)	Granodioritas: 1 a 10(2)	Acuífero sedimentario	ATI-con-cu/gd		
		Gabre: 0.05 a 0.3 (9)	Gabre: 0.1 (9)	Acuífero sedimentario	ATI-con-cu/gb		
		Diorita: 10E-10 a 10E-6(7)	Dioritas: 0.01 a 1 (2)	Acuífero sedimentario	ATI-lam-sj/di		
		Intrusivos: 0.1416 (9)	Intrusivos: 1 (9)	Acuífero sedimentario	ATI-lam-ma/mgr		
Intrusivos: 0.1416 (9)	Intrusivos: 1 (9)	Acuífero sedimentario	ATI-Orgn				
Granodiorita: 10E-6 a 1 (7), 6.9*10E-5 a 2.6*10 (8)	Granodioritas: 1 a 10(2)	Acuífero sedimentario	ATI-pp/gd				

Fuente: (1) Cherry, Freeze 1979, (2) Sanders 1998, (3) Benítez 1972, (4) Gregory & Walling 1985, (5) Castany 1963, (6) Davis 1969, (7) Leeser 1990, (8) Domenico and Schwartz 1998, (9) Ingemmet 2010.

4.1.4.3. Unidades hidrogeológicas de la microcuenca Mariño.

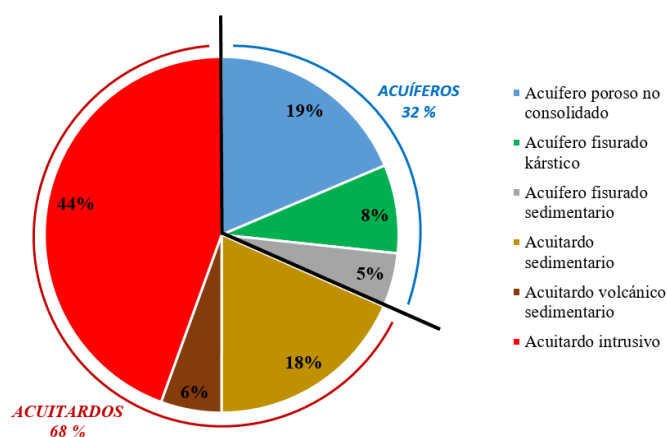
En la microcuenca Mariño se han clasificado tres grupos de acuíferos

- Acuífero poroso no consolidado
- Acuífero fisurado sedimentario
- Acuífero fisurado kárstico

Y los acuitardos en tres grupos:

- Acuitardo sedimentario
- Acuitardo volcánico sedimentario
- Acuitardo intrusivo

Gráfico 4.8. Unidades hidrogeológicas de la microcuenca Mariño.



Fuente: elaboración propia

De acuerdo al gráfico anterior, dentro de la microcuenca Mariño el 68 % del área total son acuitardos, y están ubicada predominantemente en la zona sur de la microcuenca, y solo el 32 % de las áreas corresponde a acuíferos (porosos no consolidados, fisurado kárstico y fisurado sedimentario), están ubicados principalmente en la zona norte del área de estudio (margen derecha del río Mariño), debido a la presencia de acuíferos en la zona norte, el 93 % de las fuentes están distribuidas en esta zona. A continuación, se describen las unidades hidrogeológicas presentes en la microcuenca Mariño.

4.1.4.3.1. Acuíferos porosos no consolidados

4.1.4.3.1.1. Acuífero poroso no consolidado aluvial

Se trata de acuíferos en depósitos aluviales activos e inactivos, en el área de estudio está ubicado en el fondo de valle Mariño, comprende desde la desembocadura de la quebrada Cachimayo pasa por la ciudad de Abancay hasta el río Pachachaca, corresponden a los depósitos de conos aluviales y algunas terrazas, que están principalmente asociados a la desembocadura de las quebradas principales, relacionado también al río Mariño. Están conformados por grandes bloques de rocas y cantos de formas subredondeadas a redondeadas, envueltos por una matriz areno-limosa, formando una irregular estratificación. Es considerado uno de los acuíferos importantes en el área de estudio.



Fotografía 4.2. Depósitos aluviales en el piso de valle (en los márgenes del río Mariño).

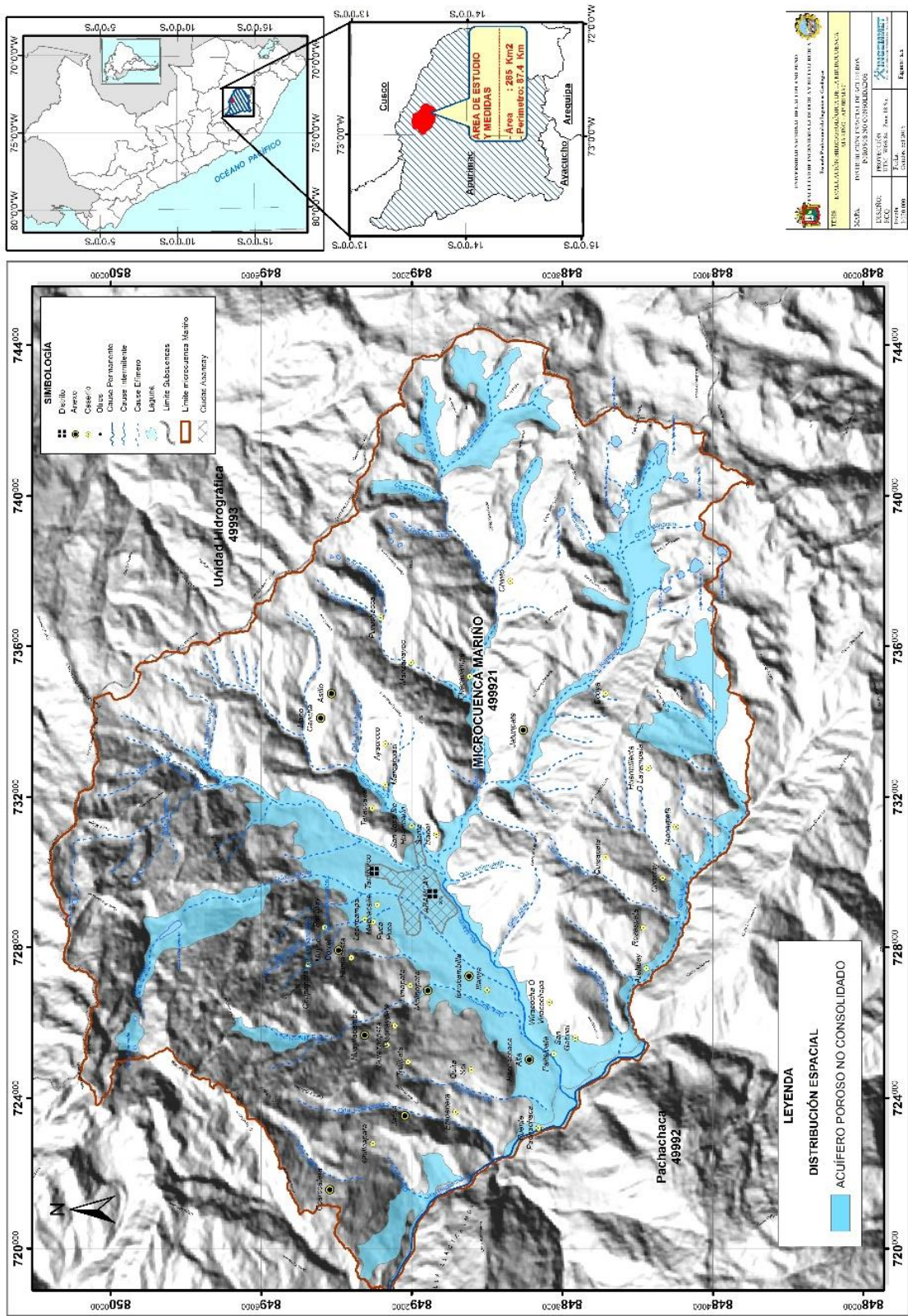
4.1.4.3.1.2. Acuífero poroso no consolidado fluvial

Acuífero libre, estos depósitos cuaternarios han sido reconocidos en el lecho del valle y el río Pachachaca. Están constituidos, por bancos de gravas heterogéneas, subredondeadas a redondeadas y arena, formando terrazas. En el área de estudio es considerado como acuífero permeable de escaso interés hidrogeológico debido a sus dimensiones muy reducidas.

4.1.4.3.1.3. Acuífero poroso no consolidado morrénico

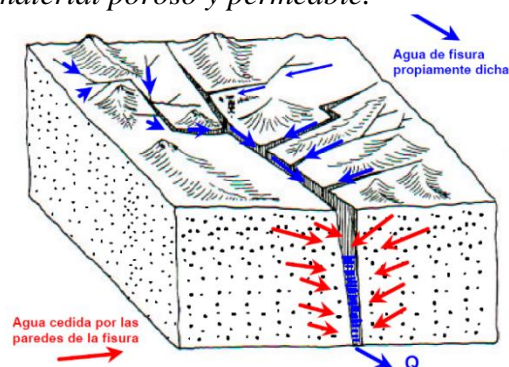
En la zona norte, estos depósitos cuaternarios aparecen en zonas aisladas, en las inmediaciones del nevado Ampay, cubren áreas pequeñas en las quebradas Ampay – Sahuanay, en la zona sur están distribuidas en las partes superiores de la quebrada Runtococha principalmente, también, están en las quebradas Uchuhuacho, Chulluncuy, Puruchaja, Chununa y Llanomonte. Consta de clastos y bloques angulosos, subangulosos, con matriz limo arenoso, se encuentran bastantes compactas y algo cementadas. La naturaleza litológica de los fragmentos es mayormente calcárea en la zona de Ampay y Granítica en Runtococha. Su importancia hidrogeológica es escasa, debido a su desarrollo reducido en la microcuenca. Al contener intervalos permeables, sirven para conducir agua pero, por su posición topográfica elevada, tiene escaso interés hidrogeológico.

Figura N° 4.2. Mapa de distribución de acuíferos porosos no consolidados.



4.1.4.3.2. Acuífero fisurado sedimentario

Figura N° 4.3. Sistema ideal de fracturas debido a deformación frágil en un material poroso y permeable.



Fuente: Anónimo, 1985

4.1.4.3.2.1. Acuífero fisurado sedimentario Arcurquina

En el área de estudio se presentan distribuidos de manera discontinua en el borde este y sureste de la microcuenca, son acuíferos libres, constituidos por bancos gruesos de calizas tipo mudstone, de colores grises y negros, a veces laminadas, sin la presencia de chert, corresponden al miembro inferior de la formación Arcurquina, del cretáceo inferior. Debido a su afloramiento reducido y discontinuo se considera un acuífero de importancia puntual.

4.1.4.3.2.2. Acuífero fisurado sedimentario Murco

Acuífero libre que aflora de manera puntual en las parte alta de las zonas este y sur-este del área de estudio, acuífero constituido por limoarcillitas rojas, violáceas y verdes intercaladas con areniscas con laminaciones oblicuas de bajo ángulo, horizontal y flaser bedding. Además de areniscas cuarzosas blancas y calizas. Acuífero aislado de muy pequeña extensión, de escaso interés hidrogeológico puntual.

4.1.4.3.2.3. Acuífero fisurado sedimentario Hualhuani

Aflora de manera discontinua en la parte alta de la zona este y sureste de la microcuenca, litológicamente está compuesto por una alternancia monótona de areniscas cuarzosas blancas y grises de grano fino a medio, ocasionalmente se intercalan con niveles delgados de limoarcillitas negras carbonosas, en la zona sureste se encuentran plegadas. Además, se encuentran limitadas por acuitardos intrusivos. La recarga de este acuífero se da exclusivamente por infiltración de aguas de lluvia.

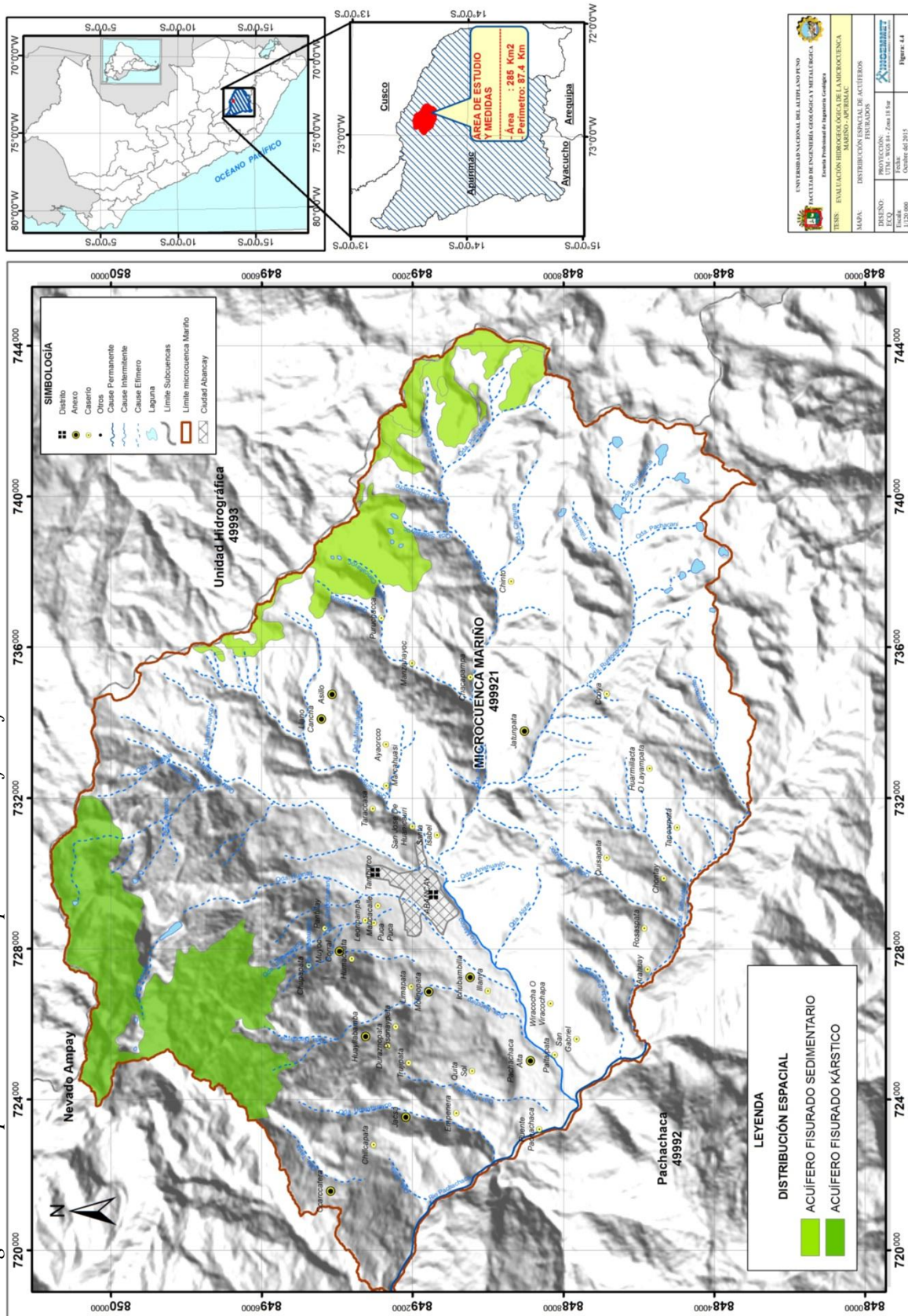
4.1.4.3.2.4. Acuífero fisurado sedimentario Labra

Se presenta puntualmente en la parte alta al sureste de la microcuenca Mariño, litológicamente está compuesta por areniscas grises y blanquecinas, intercaladas con limoarcillitas gris oscuras a negras. De importancia hidrogeológica local.

4.1.4.3.2.5. Acuífero fisurado sedimentario Puente

Se presenta puntualmente se manera discontinua al noreste del área de estudio, constituido por areniscas de grano fino a medio, grises, verdes y pardas, intercaladas con delgados niveles de limoarcillitas grises laminadas a veces con nódulos y abundante contenido de fósiles. Acuífero de importancia hidrogeológica puntual, aflora en dimensiones reducidas.

Figura 4.4. Mapa de distribución espacial de acuíferos fisurados.



4.1.4.3.3. Acuífero fisurado kárstico

4.1.4.3.3.1. Acuífero fisurado kárstico Copacabana inferior

Este acuífero aflora en el Nevado Ampay, ubicada en la parte alta de la zona norte del área de estudio, está constituido por el Grupo Copacabana miembro inferior. Hidrogeológicamente por los bordes sur, este y oeste queda limitado por el acuitardo sedimentario Copacabana superior, por el norte se extiende hasta fuera del área de estudio.

Es uno de los acuíferos de mayor interés en la microcuenca debido a que aflora en gran dimensión y los materiales de calizas grises compactas del pérmico inferior, se encuentra muy plegado, fracturado y con cierto nivel de karstificación posibilitando la conexión hidráulica de sus niveles permeables.

Es mínima la escorrentía superficial, debido a la fuerte infiltración existente en ellas. Este tipo de afloramiento es el que proporciona la mayor parte de la recarga de los acuíferos existentes, siendo por tanto de mayor importancia.

La alimentación y recarga es por la infiltración directa de las precipitaciones sobre las calizas fracturadas del pérmico inferior y por la infiltración de los deshielos del nevado de Ampay.

Las descargas se realizan por drenajes hacia las lagunas Angascocha y Uspacocha y a través de manantiales.

La mayor descarga de este acuífero se da en contacto con el Acuitardo Sedimentario Copacabana superior.



Fotografía N° 4.3. Calizas plegadas y fracturadas en estratos gruesos de miembro inferior del Grupo Copacabana, y laguna Wilcacocha al pie del nevado Ampay.



Fotografía 4.4. Calizas con slumps de miembro inferior del Grupo Copacabana. (Carretera Abancay – Huanipacca).

4.1.4.3.4. Acuitardo sedimentario

4.1.4.3.4.1. Acuitardo sedimentario coluvial

Se encuentran recubriendo el pie de ladera gran parte de la zona Norte, tomando una coloración rojiza y con tonos gris claro en otras áreas. Está constituido por bloques y cantos angulosos de tamaños variables, con matriz arcillosa – limosa. Estos depósitos han

tenido poco transporte, mayormente gravitacional y han sido caracterizados como acuitardos.

Bajo la acción del agua se pueden movilizar y formar huaycos (movimientos en masa).

Es este sector los materiales arcillosos contiene abundantes poros, que logran saturarse de aguas subterráneas, pero los poros no tiene interconexión entre ellos por lo tanto la transmisibilidad es muy baja, logrando solo saturarse aumentar de peso y por consiguiente genera movimientos en masa.

4.1.4.3.4.2. Acuitardo sedimentario Copacabana Superior

Acuitardo ubicado en la zona norte de la microcuenca aflora de forma alargada en una dirección de NE – SW, constituido por lutitas negras intercaladas con areniscas arcósicas tiene características semipermeables y como estas se encuentran en el piso del acuífero llegan a un nivel de sobre saturación, lutitas las mismas que por erosión interna (tubificación) fue el detonante para el desprendimiento del deslizamiento Sahuanay el año 2012.

Lutitas negras duras con bancos de areniscas finas, constituyendo relieves escarpados.



Fotografía N° 4.5. Lutitas del miembro superior del Grupo Copacabana (carretera Abancay –Huanipacca).

4.1.4.3.4.3. Acuitardo sedimentario Gramadal

Limoarcillitas grises, verdes y gris oscuras, intercaladas con calizas grises con escasos fósiles. En conjunto la serie no es continua.

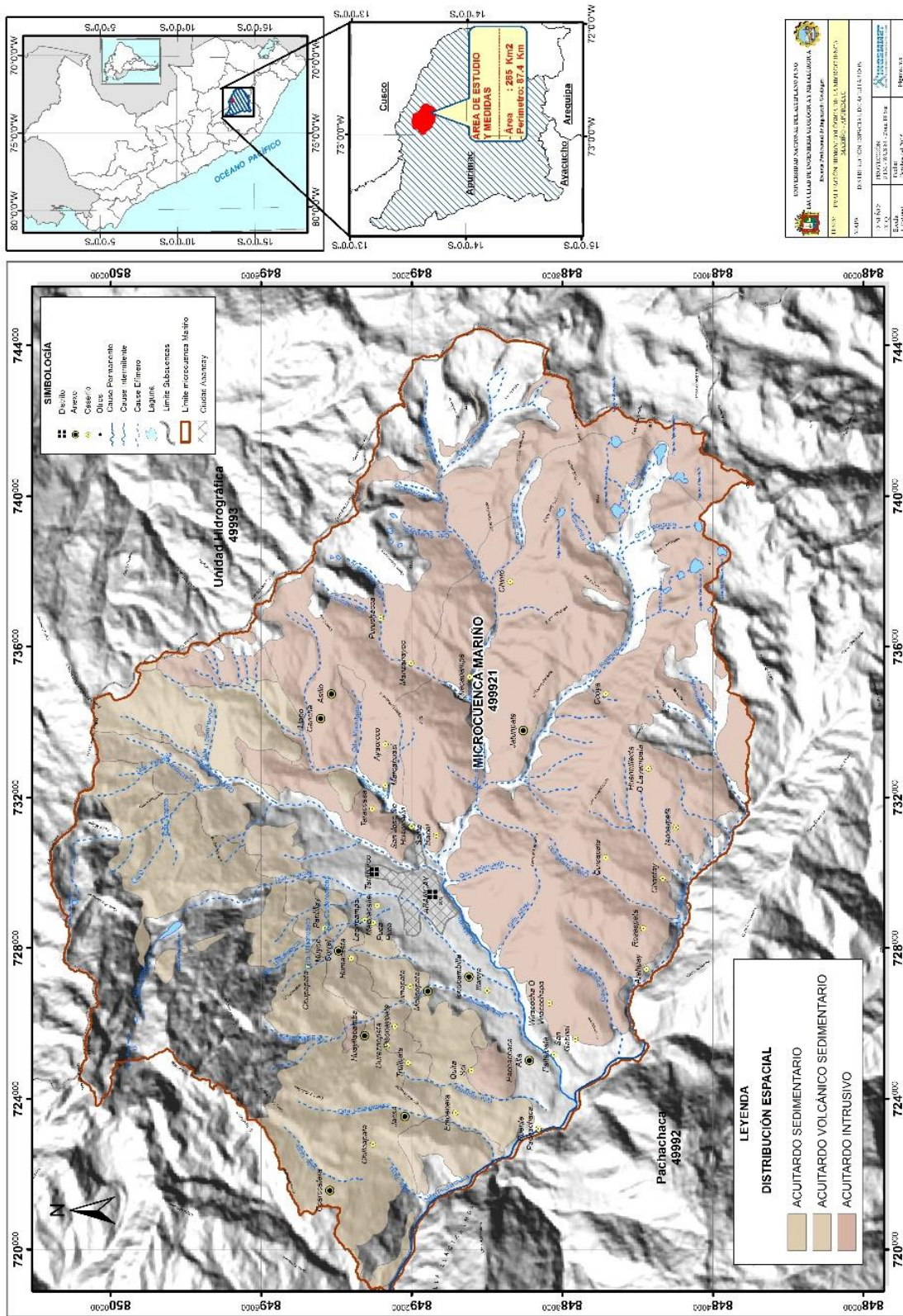
4.1.4.3.4.4. Acuitardo sedimentario Cachíos

Están presentes en la zona este y sureste de la microcuenca en áreas alargadas muy pequeñas. Está representado por limoarcillitas negras, grises, verdes y gris oscuras intercaladas con algunos niveles delgados de areniscas grises.

4.1.4.3.4.5. Acuitardo sedimentario Socosani

Aflora en la zona este de la ciudad de Abancay. Representado principalmente calizas negras con niveles de limoarcillitas y areniscas grises. Yacen bancos de limoarcillitas laminadas negras, carbonosas y niveles de calizas con nódulos y fósiles.

Figura N° 4.5. Mapa de distribución espacial de acuíferos.



4.1.4.3.5. Acuitardo volcánico sedimentario

4.1.4.3.5.1. Acuitardo volcánico sedimentario Mitu

Ubicado en la parte media de la zona norte de la cuenca, aflora de manera alargada con una dirección NE-SW cortando el área de estudio en sus extremos. Constituido por el grupo Mitu es representado por una secuencia de areniscas feldespáticas color pardo de grano fino a medio con matriz calcárea, lutitas rojas arcosas y conglomerados de clastos bien redondeados y del tamaño de guijos, los conglomerados son abundantes en la parte inferior del grupo. Existen niveles de lava andesíticas en la parte superior expuestas. La característica de estos afloramientos es la fuerte compactación y el poco fracturamiento.



Fotografía N° 4.6. Areniscas feldespáticas del Grupo Mitu, está en contacto con el lutitas gris oscuras del miembro superior del grupo Copacabana. Vista tomada desde la quebrada Sahuanay hacia la ciudad de Abancay.

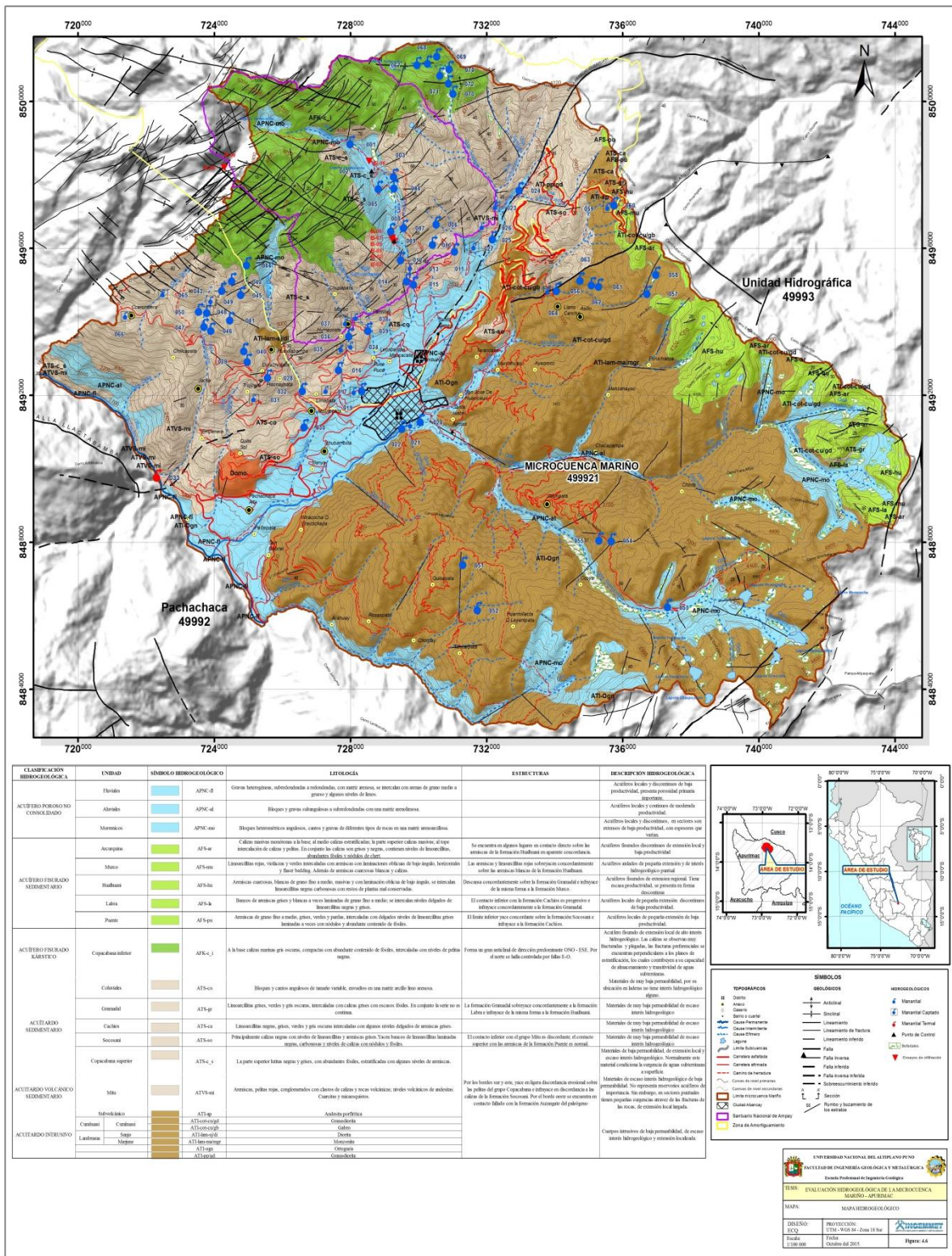
4.1.4.3.6. Acuitardo intrusivos y subvolcánico

Se ubica en la parte sur del área de estudio (margen izquierda del río Mariño), los cuales pertenecen el batolito de Apurímac, cordillera de rocas intrusivas compuesta por diorita y granodiorita principalmente.

Estos intrusivos y sub volcánicos, son materiales de escaso interés hidrogeológico, de extensión local, constituyen rocas impermeables, aunque se observa presencia de porosidad primaria, importante pero de escasa permeabilidad.

La existencia de manantiales en este tipo de rocas se debe a la porosidad secundaria obtenida por fallamiento, fracturación y alteración de procesos geológicos, sin embargo, el potencial hídrico no es económico.

Figura N° 4.6. Mapa Hidrogeológico de la microcuenca de río Mariño.



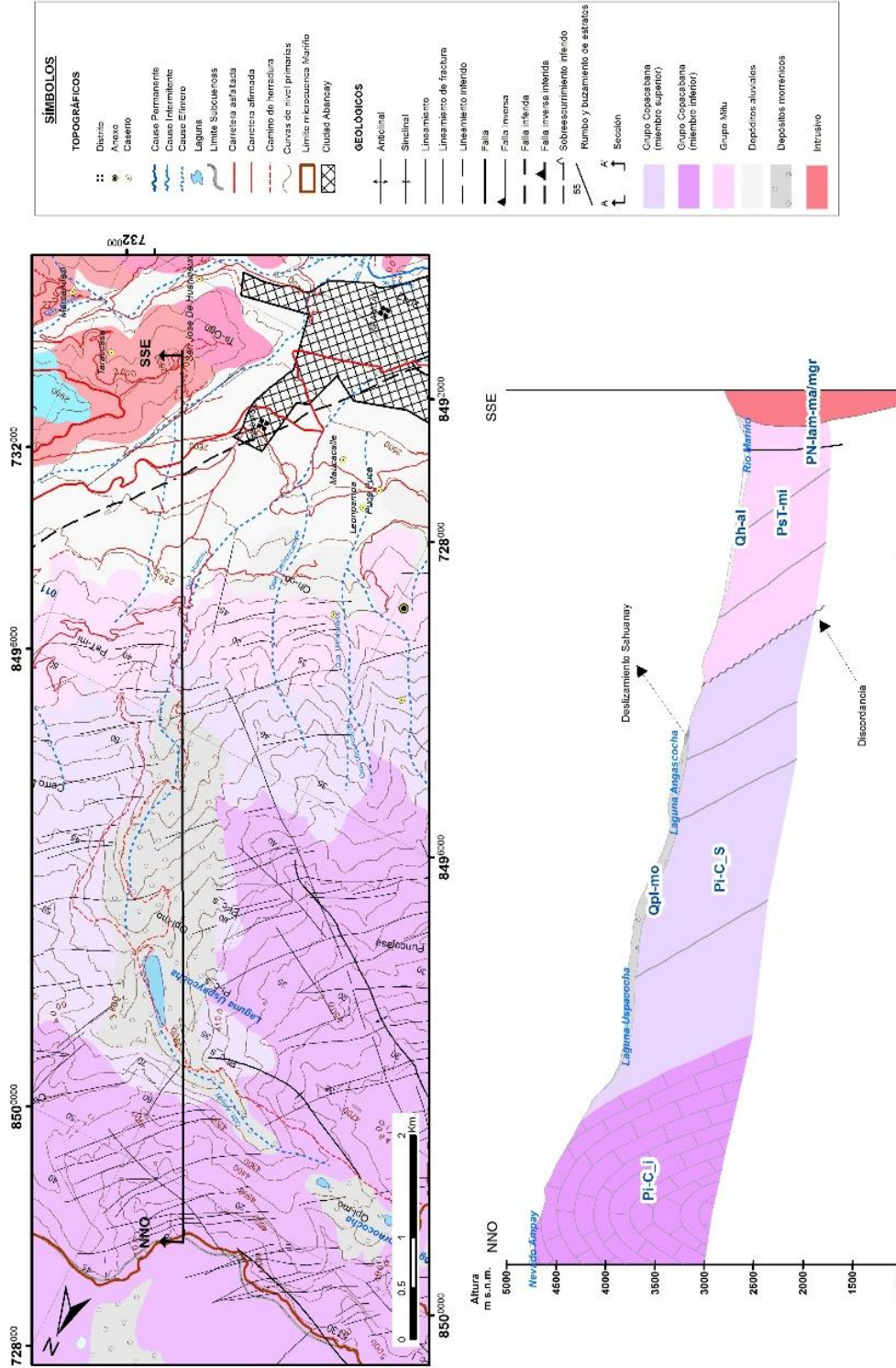
4.1.5. Modelo hidrogeológico

El modelo hidrogeológico que se interpreta consiste en que las aguas subterráneas se recargan a través de paquetes potentes de calizas gris oscuras grainstone (de la precipitación pluvial y del deshielo del nevado Ampay), los afloramientos de calizas tienen considerables fracturas, las mismas que se encuentran abiertas, producto de eventos tectónicos y de la sedimentación con slumps, estas estructuras facilitan el ingreso de agua de la precipitación pluvial, percolan en el subsuelo hasta llegar a la parte media y superior de la secuencia calcárea al contacto entre delgada capa lutítica de color negro intercalado con paquetes de caliza, por donde surgen (afloran) a superficie, luego del contacto litológico de rocas químicas a rocas detríticas es progresivo, dominando en la parte superior una sucesión de lutitas negras intercalados con areniscas cuarzo feldespático (arcosas) (Grupo Copacabana).

Continúa con areniscas cuarzosas a cuarzo feldespáticas con matriz arcillosa rojiza, conglomerados y lutitas de color rojo violáceo, que corresponden al Grupo Mitu caracterizado como un acuitardo. Esta sucesión en la parte sur del cerro Ampay está intercalada con rocas volcánicas andesíticas color violáceo, caracterizado por presentar capas o secuencias con vacuolas rellenas con calcita y cuarzo. Este grupo también contiene yesos y calizas en estratos delgados, solamente apreciables en el sector de Ñacchero, Quitasol y Pumacocha (botadero de basura). La relación de contacto entre estas dos unidades litológicas no fue apreciada en esta oportunidad por estar cubierta.

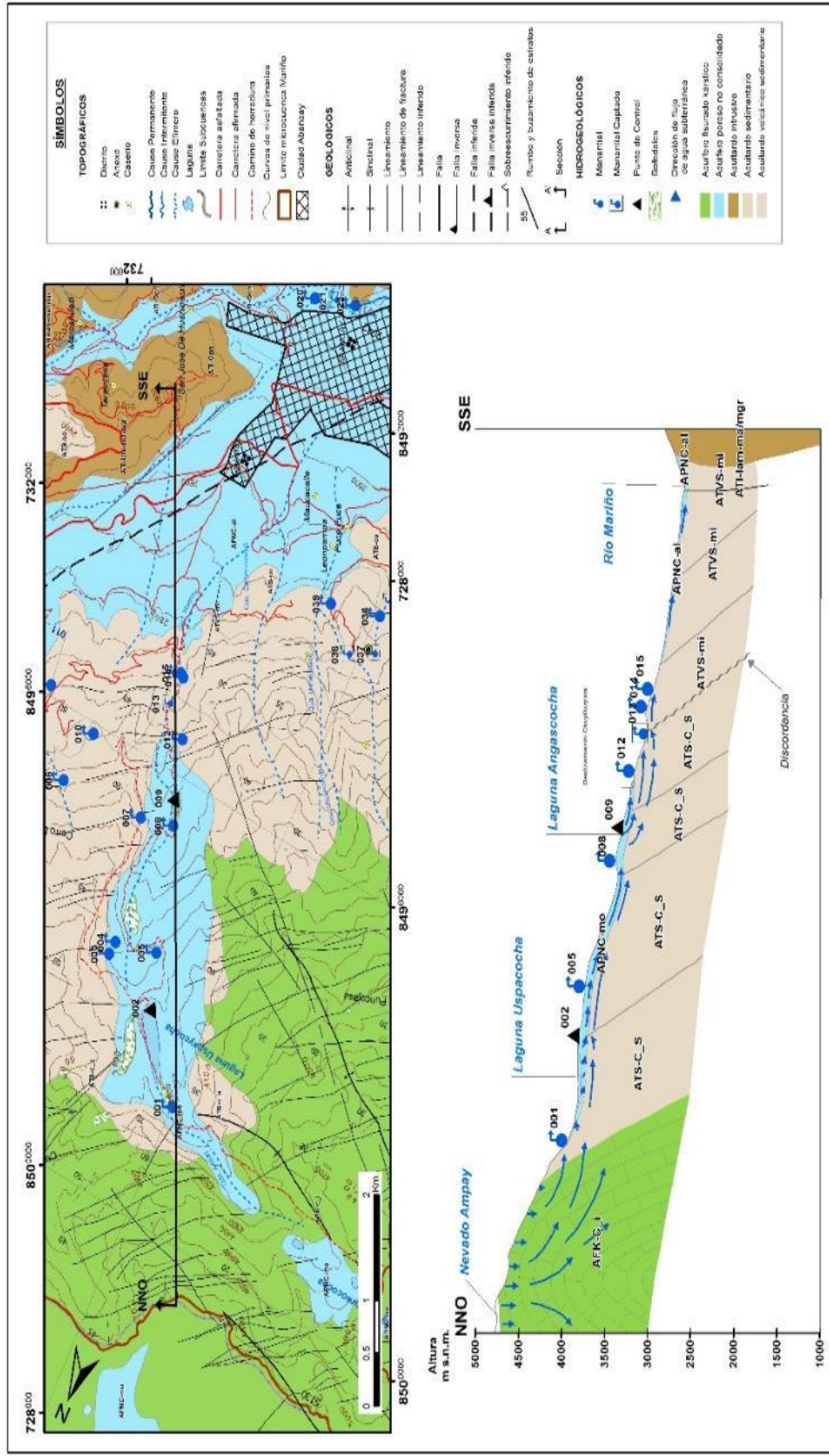
La mayoría de manantiales inventariados afloran en el contacto entre los materiales impermeables del Grupo Mitu y los niveles permeables de las Calizas Copacabana, en este sector se monitorearon más de 15 manantiales con caudales de 2 l/s y 12 l/s. Estos niveles de agua subterránea ubicados entre las lutitas y arenisca saturan los suelos y aumentan el peso de los materiales propensos al deslizamiento, por lo tanto, el agua subterránea es uno de los factores condicionantes para la ocurrencia de fenómenos geodinámicos.

Figura N° 4.7. Sección geológica a lo largo de las quebradas Sahuanay (deslizamiento Sahuanay) y Ampay



Fuente: elaboración propia

Figura 4.8. Modelo hidrogeológico conceptual de flujo de agua subterránea en la zona norte del área (margen derecha del río Mariño) de estudio a lo largo de las quebradas Sahuanay (deslizamiento Sahuanay) y Ampay.



Fuente: elaboración propia

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- La microcuenca Mariño según sus características hidrogeológicas presenta buen potencial de recursos hídricos subterráneos presentes en medios porosos, kársticos y fracturados las cuales se manifiestan a través de numerosos puntos de surgencia, con calidades hidroquímicas de facies predominantemente bicarbonatadas cálcicas indicadores de flujos de corto recorrido y poca profundidad.
- Se caracterizaron tres tipos de acuíferos; acuíferos porosos no consolidados (aluvial, morrénicos y fluvial), Acuífero fisurado kárstico (miembro inferior de grupo Copacabana), y Acuífero fisurado sedimentario (Arcurquina, Murco, Hualhuani, Labra y Puente). Las unidades de comportamiento acuitado son poco importantes desde el punto de vista hidrogeológico; sin embargo, estas unidades en el área de estudio son condicionantes de las surgencias de diversos manantiales, tal es el caso de las lutitas del miembro superior del grupo Copacabana. Y las unidades intrusivas, han sido caracterizadas como acuitados porque en sus fracturas superficiales pueden presentar aguas subterráneas este es evidenciado por la presencia de algunos manantiales de bajo caudal.
- Según los resultados de 57 fuentes de agua subterráneas evaluadas, los resultados de temporada de estiaje muestran las siguientes facies hidroquímicas: 52 fuentes son de facies bicarbonatada cálcica principalmente de flujo local y subsuperficiales, 02 fuentes de tipo de agua sulfatada cálcica, 01 fuente es de tipo bicarbonatada magnésica (499921-028), 01 fuente es agua de tipo bicarbonatada potásica (499921-042) y 01 fuente termal (499921-033) facies clorurada sódica. Los resultados de 20 fuentes monitoreadas en temporada de recarga, presentan poca variación en sus componentes respecto a la temporada de estiaje, manteniéndose en ambos periodos (lluvia y estío) con el mismo tipo hidroquímico de agua. A excepción, de las fuentes 499921-015 y 499921-067 ambos de facies bicarbonatada cálcica en época de estío, sulfatada cálcica y bicarbonatada magnésica respectivamente en época de lluvia.

- En relación a los estándares de calidad ambiental (ECA – categoría I, uso poblacional), las fuentes que superan los valores normales en pH son: punto de control 499921-002 (quebrada Ampay) presenta pH de 8.79 y 8.77 en época de estío y lluvia respectivamente, fuente termal 499921-033 (borde oeste de la microcuenca) se evaluó pH de 6.33 y 6.29 en época de estío y lluvia, y los manantiales 499921-042 (sector Sayuhuilca) y 499921-046 (sector Chaupicruz Huayllabamba) presentan pH de 6.3 y 8.56 respectivamente en época de estío. Las fuentes que exceden el valor normal conductividad eléctrica son: el manantial 499921-014 (quebrada Shuanay) presenta CE de 1625 uS/cm en época de estío y 1241 uS/cm en época de lluvia, el manantial 499921-024 (sector Cocha Pumarangra) se evaluó CE de 1516 uS/cm y 986.8 uS/cm en época de estío y lluvia, y el fuente termal 499921-033 (borde oeste de la microcuenca) presenta CE de 11440 uS/cm y 11500 uS/cm en época de estío y lluvia respectivamente.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar modelamiento hidrogeológico de la microcuenca Mariño para gestión de los recursos hídricos en general.
- Se recomienda que la Autoridad Local de Agua Abancay implemente programas de monitoreo permanente tanto de aguas superficiales y subterráneas para un mejor conocimiento del comportamiento de flujos en la microcuenca.
- Se recomienda realizar monitoreos hidroquímicos permanentes en épocas de estiaje y recarga con la finalidad de zonificar clases de calidad de agua a nivel de la microcuenca y definir su capacidad de uso de los recursos disponibles.
- Se recomienda realizar estudios de vulnerabilidad de acuíferos con la finalidad de preservar y proteger los reservorios naturales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANA. (2008). *Delimitación y codificación de unidades hidrográficas del Perú*. Recuperado el 15 de 03 de 2015, de <http://www.ana.gob.pe/media/327118/resumen%20ejecutivo%20uh.pdf>
- Castany, G. (1971). *Tratado práctico de las aguas subterráneas*. Barcelona: Omega.
- Castany, G. (1975). *Prospección y explotación de las aguas subterráneas*. Barcelona: Omega.
- CONDESAN. (2014). *Informe del DHR en la microcuenca del río Mariño*. Lima: CONDESAN.
- Custodio, E., & Llamas, M. (1996). *Hidrología subterránea*. Barcelona: Omega.
- Del Pozo, M. (2000). La cartografía hidrogeológica en el ITGE: Evaluación, Presente y Futuro. *Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente del ITGE*, 107 - 115 p.
- Fundación Centro Internacional de Hidrología Subterránea FCIHS. (2009). *Hidrogeología*. Barcelona: Comisión Docente Curso Internacional de hidrología Subterránea.
- Hijmans, R., Cameron, S., & Parra, J. (2006). *WorldClim Global Climate Layers Version 1.4*. Recuperado el 20 de 06 de 2015, de WorldClim: <http://www.worldclim.org>
- Ibáñez, S., Moreno, H., & Gisbert, J. (2010). Morfología de las cuencas hidrográficas. *Universidad Politecnica de Valencia*, 12 p.
- INDECI. (2007). *Mapa de peligros de la ciudad de Abancay*. Apurímac.
- INRENA. (1995). *Mapa Ecológico del Perú: Guía explicativa*. Lima: Reimpr.
- Lizarzaburu, J. (2012). Reflexiones sobre las áreas naturales protegidas y la legislación ambiental. Caso: el Santuario Nacional del Ampay-Tamburco. Apurímac - Perú. *Ciencia y Desarrollo*, 79 - 80 p.
- Lizarzaburu, J., Diehl, L., & Deza, J. (2013). El retroceso glaciar en la alta montaña de los Andes Peruanos. Caso: Santuario Nacional de Ampay, Apurímac. *Ciencia y Desarrollo*, 5 - 16 p.
- Marocco, R. (1975). Geología de los cuadrángulos de Andahuaylas, Abancay y Cotabambas. *INGEMMET. Boletín. Serie A: Carta Geológica Nacional*, 53.

- Marocco, R. (1978). Estudio geológico de la Cordillera de Vilcabamba. *INGEMMET. Boletín, Serie D: Est. Esp.*, 4, 157 p.
- Martínez, P. E., Martínez, P., & Castaño, S. (2006). *Fundamentos de Hidrogeología*. Barcelona: Mundi-Prensa.
- Mejias, M. (2000). Evaluación crítica de la cartografía hidrogeológica del ITGE: Contenido, Actualidad y Demanda. *Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente del ITGE*, 99 - 105 p.
- Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. (2008). *Libro Digital del Agua*. Recuperado el 05 de 08 de 2015, de Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino: <http://servicios2.magrama.es/sia/visualizacion/lda/>
- Peña, F., Sánchez, M., & Pari, W. (2010). Hidrogeología de la cuenca del río Ica. *INGEMMET. Boletín. Serie H: Hidrogeología*, 349 p.
- Pimienta, J. (1999). *La Captación de aguas subterráneas*. Barcelona: GERSA.
- Price, M. (2003). *Agua Subterránea*. México: Limusa.
- Pulido, J. L. (1978). *Hidrogeología Practica*. Bilbao: Espartero.
- Struckmeier, W., & Margat, J. (1995). *Hydrological maps a guide and a Standard Legend*. Hannover: Van Acken GmbH.
- Tupak Obando , R. (03 de 2010). *Fundamentos y métodos de la hidrogeología*. Recuperado el 07 de 08 de 2015, de Blogs en Monografias.com: <http://www.monografias.com/trabajos-pdf4/fundamentos-metodos-hidrogeologia/fundamentos-metodos-hidrogeologia.pdf>
- Valdivia, W., & Latorre, O. (2003). Memoria descriptiva de la revisión y actualización cuadrángulo de Abancay (28-q), Escala 1:50 000. *INGEMMET*, 22 p.
- Villón. (2002). *Hidrología*. Cartago: Villón.
- Walker, M. (2005). *Como escribir trabajos de investigación*. Barcelona: Gedisa.

ANEXO

- A1. CUADRO RESUMEN DE FUENTES DE AGUAS SUBTERRÁNEAS INVENTARIADAS EN EPOCA DE ESTÍO.
- A2. CUADRO RESUMEN DE FUENTES DE AGUAS SUBTERRÁNEAS MONITOREADAS EN ÉPOCA DE LLUVIA.
- A3. CUADRO DE CATIONES Y ANIONES DE LAS FUENTES MUESTREADAS EN ÉPOCA DE ESTÍO.
- A4. CUADRO DE CATIONES Y ANIONES DE LAS FUENTES MONITOREADAS EN ÉPOCA DE LLUVIA.
- A5. CUADRO DE IONES PREDOMINANTES (FACIES QUÍMICAS DE AGUA) DE FUENTES MUESTREADAS EN ÉPOCA DE ESTÍO.
- A6. CUADRO DE IONES PREDOMINANTES (FACIES QUÍMICAS DE AGUA) DE FUENTES MONITOREADAS EN ÉPOCA DE LLUVIA.
- A7. CUADRO DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DE FUENTES MUESTREADAS EN ÉPOCA DE ESTÍO.
- A8. CUADRO DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DE FUENTES MONITOREADAS EN ÉPOCA DE LLUVIA.
- A9. ÍNDICE DE SATURACIÓN PARA FUENTES MUESTREADAS EN ÉPOCA DE ESTÍO.
- A10. ÍNDICE DE SATURACIÓN PARA FUENTES MUESTREADAS EN ÉPOCA DE LLUVIA.
- A11. RESULTADO DE LABORATORIO DE METALES DISUELTOS EN FUENTES MUESTREADAS EN ÉPOCA DE ESTÍO.
- A12. RESULTADO DE LABORATORIO DE METALES DISUELTOS DE FUENTES MONITOREADAS EN ÉPOCA DE LLUVIA.
- A13. CÁLCULOS DE LA CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA EN LA MICROCUENCA MARIÑO.

A1. CUADRO RESUMEN DE FUENTES DE AGUAS SUBTERRÁNEAS INVENTARIADAS EN EPOCA DE ESTÍO.

CÓDIGO	NOMBRE	TIPO DE FUENTE	SIMB.	PARÁMETROS HIDRÁULICOS Y				FECHA	USO
				Q (L/s)	T (°C)	PH	CE (µS/cm)		
499921-001 *	Uspacocha	Manantial	⌋	6.5	7.4	8.3	204.7	12/08/2014	-
499921-002 *	Laguna Uspacocha	Punto de control	0	-	12.2	8.8	159	12/08/2014	Agrícola
499921-003	Chitapampa 2	Manantial	⌋	0.8	6.5	7.9	105.4	12/08/2014	Agrícola
499921-004	Piscopujo	Manantial	⌋	0.2	8.4	6.5	110.9	12/08/2014	-
499921-005	Tutuepampa	Manantial	⌋	0.5	10.6	7.2	400.8	13/08/2014	-
499921-006	Oxabamba	Manantial	⌋	0.8	8.1	6.6	354.6	18/08/2014	Riego de pastizales, Agrícola
499921-007	Llavepuncu	Manantial	⌋	0.5	8	6.6	207.3	18/08/2014	-
499921-008 *	Angascocha	Manantial	⌋	3.2	10.5	6.7	384.1	14/08/2014	-
499921-009 *	Laguna Angascocha	Punto de control	0	-	15.4	6.7	183.9	14/08/2014	-
499921-010	Filtración Ccorohuani	Manantial	⌋	0.1	12.4	6.6	495.8	16/08/2014	Riego de pastizales
499921-011	Layanhuaycco	Manantial	⌋	0.5	14.8	6.6	397.9	16/08/2014	Consumo Humano
499921-012 *	Surgencia Deslizamiento Chuyllurpata	Manantial	⌋	3.5	11	6.6	491.2	14/08/2014	-
499921-013 *	Captación Cececcachayoc	Manantial captado	⌋	5.77	12.8	6.7	537.9	14/08/2014	Consumo Humano
499921-014 *	Sahuanay 1	Manantial	⌋	0.5	12.9	6.7	1625	16/08/2014	-
499921-015 *	Sahuanay 2	Manantial	⌋	0.6	13.8	6.6	1018	18/08/2014	-
499921-016 *	El Palomar	Manantial	⌋	3.5	16.8	6.7	530.5	16/08/2014	Piscina
499921-017 *	Casablanca	Manantial captado	⌋	3.8	18.8	6.7	496.2	16/08/2014	-
499921-018 *	Manantial 891	Manantial	⌋	1.2	17.2	6.6	567.3	16/08/2014	-
499921-019	Manantial 892	Manantial captado	⌋	0.4	17.4	6.6	652.1	16/08/2014	-
499921-020 *	Piscina Chama	Manantial	⌋	5	18.2	6.7	468.6	19/08/2014	-
499921-021 *	El Riñon	Manantial captado	⌋	0.8	18.1	6.7	640.9	19/08/2014	Agrícola
499921-022	Mariño 1	Manantial	⌋	5	18.1	6.6	698.3	19/08/2014	Riego de pastizales
499921-023 *	Uchucara	Manantial captado	⌋	3	11.3	7.9	382.9	23/10/2014	Consumo Humano
499921-024 *	Hornada alta Jalastuyoc	Manantial	⌋	5	11.1	7.8	1516	23/10/2014	Riego
499921-025	Lamarpuquio	Manantial	⌋	0.5	14.2	8.1	604	23/10/2014	Riego
499921-026	Lambraschayoc	Manantial captado	⌋	1	17	7.2	452.5	23/10/2014	Consumo Humano
499921-027	Peraschayoc	Manantial captado	⌋	0.5	17	7.4	782.2	23/10/2014	Consumo Humano
499921-028	Lambraspuquio	Manantial	⌋	1.5	16.2	7	123.8	24/10/2014	Riego
499921-029	Yanipuquio	Manantial	⌋	1.8	13.2	8.3	560.5	24/10/2014	Riego
499921-030	Waripuquio	Manantial	⌋	3	19	7.8	655	25/10/2014	-
499921-031	Misperosniyoc	Manantial captado	⌋	1.4	17	8	497.2	25/10/2014	Consumo Humano
499921-032	Limapata	Manantial	⌋	4.3	17.3	8.3	580.1	25/10/2014	Consumo Humano
499921-033 *	Santo Tomas	Termal	⌋	3.5	40.8	6.3	11440	25/10/2014	-
499921-034	Cedrochayoc	Manantial captado	⌋	< 0.5	16.3	7.7	468.2	26/10/2014	Riego, consumo humano
499921-035	Arranchayoc 2	Manantial captado	⌋	< 0.5	16.1	8.1	424.1	26/10/2014	Riego, consumo humano
499921-036	Arranchayoc 1	Manantial	⌋	< 0.5	15	7.5	420	26/10/2014	Riego, bebedero
499921-037	Lambraschayoc	Manantial captado	⌋	0.176	14.6	7.6	437.9	26/10/2014	Consumo Humano
499921-038	Tunaschayoc 2	Manantial captado	⌋	0.5	15.5	7.8	414.6	26/10/2014	Consumo Humano
499921-039	Joryet	Manantial	⌋	< 0.5	16.5	7.6	609.8	26/10/2014	Consumo Humano, Riego
499921-040	Layanhuaycco	Manantial	⌋	< 0.6	13.1	6.9	423.9	27/10/2014	Riego
499921-041	Chacmapata	Manantial	⌋	1	14.2	8.5	344.5	27/10/2014	Riego, bebedero
499921-042	Suyuhuilca	Manantial	⌋	2	23.9	6.3	48.35	27/10/2014	Bebedero, Consumo Humano
499921-043	Rajaypata	Manantial	⌋	3.5	8.7	8	374.7	27/10/2014	Bebedero, Riego
499921-044	Rajayhuaycco	Manantial	⌋	3.5	8.1	7.5	230.2	27/10/2014	Consumo Humano
499921-045	Palmarealniyoc	Manantial	⌋	1	12.1	8.1	402.1	27/10/2014	-
499921-046	Miskypuquio	Manantial	⌋	1.5	10.3	8.6	504.3	28/10/2014	Riego
499921-047	Pincopinco	Manantial	⌋	< 0.5	11.2	8.1	766.5	28/10/2014	Riego
499921-048	Collca	Manantial	⌋	5	9.8	7.5	525.9	28/10/2014	Riego
499921-049	Layanhuaycco 1	Manantial captado	⌋	2	10.5	7.2	413.9	28/10/2014	Consumo Humano
499921-050	Layanhuaycco 2	Manantial	⌋	0.5	10.3	7.9	572.6	29/10/2014	Consumo Humano, Riego
499921-051	Ticapata	Manantial	⌋	1	16.8	7.1	86.76	30/10/2014	Riego
499921-052	Cuycapucro baja	Manantial	⌋	5	13.4	7.7	88.13	30/10/2014	Riego
499921-053	Osnomojo	Manantial	⌋	0.5	9.3	7.4	54.79	30/10/2014	Consumo Humano
499921-054	Layanpata	Manantial	⌋	1	11.4	6.7	57.81	30/10/2014	Consumo Humano, Agropecuario
499921-055	Sanjahuaycopuquio	Manantial	⌋	<0.5	19.5	7.3	62.89	30/10/2014	Consumo humano, Riego
499921-056	Janipuquio	Manantial	⌋	0.5	13.7	7.7	268.7	01/11/2014	Ninguno
499921-057	Toturniyoc 1	Manantial	⌋	2.5	11.2	8.2	125.7	01/11/2014	Riego
499921-058	Horanada 1	Manantial	⌋	3.5	10.6	7.7	324.1	01/11/2014	Riego
499921-059	Tictipucro 3	Manantial captado	⌋	3.8	14.1	7.5	159.1	01/11/2014	Agrícola
499921-060	Runcuhuasi	Manantial	⌋	0.8	11.9	7.6	107.6	01/11/2014	Riego
499921-061	Siracachayoc 1	Manantial	⌋	1.98	12	8.1	127.4	01/11/2014	-
499921-062	Siracachayoc 2	Manantial	⌋	12	11.6	8.3	124.8	01/11/2014	Riego
499921-063	Chuyllurchayoc 1	Manantial	⌋	5.8	12.4	8.1	98.56	01/11/2014	Riego y consumo humano
499921-064*	Agua potable Abancay	Manantial captado	⌋	15-25	12.5	8	233.7	01/11/2014	Agua potable Abancay
499921-065	Tomahuaycco	Manantial captado	⌋	4.2	13.5	8	322.4	02/11/2014	Consumo humano
499921-066 *	Arhuinchuyoc	Manantial captado	⌋	3.5	14.1	7.4	447	02/11/2014	Riego
499921-067 *	Faccha 1	Manantial	⌋	1.8	11.1	8	97.64	04/11/2014	-
499921-068	Faccha 2	Manantial	⌋	2	7.6	7.6	359.7	04/11/2014	-
499921-069	Faccha 3	Manantial	⌋	2.8	8.5	6.9	175.1	04/11/2014	-
499921-070 *	Faccha 4	Manantial	⌋	3.4	7.4	7.1	322.6	04/11/2014	-
499921-071	Faccha 5	Manantial	⌋	2	9.2	7.8	413.4	04/11/2014	-
499921-072	Resurgencia Faccha	Manantial Resurgente	⌋	12.5	8.3	7.7	365.5	04/11/2014	-
499921-073	Faccha 6	Manantial	⌋	3.2	8.7	7.7	242.3	05/11/2014	-

* Fuentes monitoreadas en época de estío y lluvia

A2. CUADRO RESUMEN DE FUENTES DE AGUAS SUBTERRÁNEAS MONITOREADAS EN ÉPOCA DE LLUVIA.

CÓDIGO	NOMBRE	TIPO DE FUENTE	SIMB	PARÁMETROS HIDRÁULICOS Y				FECHA	USO
				Q (L/s)	T (°C)	PH	CE (µS/cm)		
499921-001	Uspacocha	Manantial	~	197	7.1	8.3	210.7	23/03/2015	Afluente de la laguna Uspacocha
499921-002	Laguna Uspacocha	Punto de control	0	-	12.7	8.8	230.8	23/03/2015	-
499921-008	Angascocha	Manantial	~	4	10.4	7.7	328	15/03/2015	-
499921-009	Laguna Angascocha	Punto de control	0	-	13.6	8	338.1	15/03/2015	-
499921-012	Manantial deslizamiento Sahuanay	Manantial	~	10	11.3	8.1	512.7	15/03/2015	Agricultura en la parte baja
499921-013	captacion Cececcachayoc	Manantial Captado	☐	7.5	12.2	7.4	491.3	22/03/2015	Consumo Humano
499921-014	Sahuanay 1	Manantial	~	3	13.5	7.7	1241	22/03/2015	-
499921-015	Sahuanay 2	Manantial	~	0.5	13.8	7.5	1022	22/03/2015	-
499921-016	El palomar	Manantial Captado	☐	1.2	17.3	7.9	563.3	14/03/2015	Recreacional
499921-017	Casa Blanca	Manantial Captado	☐	1	19.1	7.4	497.6	14/03/2015	Recreacional
499921-018	Ochoa	Manantial Captado	☐	0.6	20.9	7.6	576.5	14/03/2015	Recreacional
499921-020	Piscina Chama	Manantial	~	5.8	18.2	7.6	484.1	21/03/2015	Recreacional
499921-021	Riñon	Manantial captado	☐	0.6	18	7.9	654.7	21/03/2015	Recreacional
499921-023	Uchucara	Manantial Captado	☐	3	12	7.8	320.5	19/03/2015	Consumo Humano
499921-024	Hornada alta Jalastuyoc	Manantial	~	6.5	12.3	7.8	986.8	19/03/2015	-
499921-033	Santo Tomas	Fuente termal	~	3.5	39.7	6.3	11500	22/03/2015	-
499921-064	Agua potable Abancay	Manantial Captado	☐	20	12.7	7.9	239.7	22/03/2015	Consumo Humano
499921-066	Arhuinchilloc	Manantial Captado	☐	3.5	14.6	7.4	448	21/03/2015	Consumo Humano
499921-067	Faccha 1	Manantial	~	10.3	11.6	8.1	91.93	24/03/2015	-
499921-070	Faccha 4	Manantial	~	15	7.8	7.3	207.5	24/03/2015	-

A3. CUADRO DE CATIONES Y ANIONES DE LAS FUENTES MUESTREADAS EN ÉPOCA DE ESTÍO.

N°	CÓDIGO	MUESTRA	CATIONES (mg/L)							ANIONES (mg/L)					
			CALCIO	MAGNESIO	SODIO	POTASIO	ALUMINIO	ESTRONCIO	LITIO	BARIO	CARBONATO	BICARBONATO	CLORURO	SULFATO	NITRATO
1	499921-001	Uspacocha	32.1	7.6	0.5	<0.2	<0.02	0.79	<0.02	0.051	4	129	<0.5	11	<1
2	499921-002	Laguna Uspacocha	23.7	6	0.3	<0.2	<0.02	0.41	<0.02	0.031	<1	103	<0.5	7	<1
3	499921-003	Chitapampa 2	15.4	1.7	2	<0.2	<0.02	0.03	<0.02	0.006	<1	64	<0.5	3	<1
4	499921-005	Tutuepampa	82.6	3.6	1.6	<0.2	<0.02	0.31	<0.02	0.043	4	264	<0.5	3	<1
5	499921-006	Oxabamba	64.9	9.2	2.2	0.2	<0.02	0.16	<0.02	0.061	10	209	<0.5	36	<1
6	499921-007	Llavepuncu	36.9	4.6	2.5	<0.2	<0.02	0.07	<0.02	0.032	4	117	<0.5	21	<1
7	499921-008	Angascocha	63.6	9.7	3.4	0.5	<0.02	0.31	<0.02	0.037	9	208	<0.5	41	<1
8	499921-009	Laguna Angascocha	25.5	9	2.8	<0.2	0.02	0.21	<0.02	0.021	4	99	<0.5	27	<1
9	499921-011	Lavanhuaycco	66.5	12.1	2.7	4.7	<0.02	0.18	<0.02	0.238	8	253	2	22	2
10	499921-012	Surgencia Deslizamiento Chuyilurpata	95.7	16.4	3.9	1.6	<0.02	0.22	<0.02	0.034	8	237	<0.5	83	<1
11	499921-013	Captación Cececcachayoc	98.4	18	4.1	0.6	<0.02	0.39	<0.02	0.053	10	299	<0.5	79	<1
12	499921-014	Sahuayanay 1	297	77.5	6.7	2.3	<0.02	0.66	<0.02	0.029	13	508	<0.5	680	<1
13	499921-015	Sahuayanay 2	181.9	41.4	5.3	1.3	<0.02	0.51	<0.02	0.031	10	417	<0.5	304	<1
14	499921-016	El Palomar	73.9	29.5	5.6	1.8	<0.02	0.34	<0.02	0.279	19	364	1.4	26	<1
15	499921-017	Casablanca	73.2	22.2	6.9	3.5	<0.02	0.21	<0.02	0.234	5	358	1	23	3
16	499921-018	Manantial 891	66.7	31.6	15.8	0.6	<0.02	0.31	<0.02	0.065	13	376	5	27	6
17	499921-020	Piscina Chama	74	18.9	9.8	1.1	<0.02	0.31	<0.02	0.174	23	270	6	31	11
18	499921-021	El Riñon	94.9	27.8	10.4	1.4	<0.02	1.12	<0.02	0.159	14	333	8	82	15
19	499921-022	Mariño	101.6	27.6	12.7	1.7	<0.02	1.21	<0.02	0.101	16	309	10	117	19
20	499921-023	Uchucara	52.9	17.6	5.1	0.8	<0.02	0.7	<0.02	0.191	<1	209	<0.5	52	<1
21	499921-024	Hornada alta Jalastuyoc	170.8	26.8	117.3	1.6	<0.02	3.2	<0.02	0.033	<1	196	194.5122	322	<1
22	499921-025	Lamarpuquio	90.4	29.1	5.0	2.0	<0.02	0.5	<0.02	0.157	10.56	371	0.9047	34	3.2763
23	499921-026	Lambrachayoc	59.4	24.2	4.8	0.7	<0.02	0.3	<0.02	0.055	<1	300	0.9522	27	3.2857
24	499921-027	Peraschayoc	108.6	30.6	19.9	2.4	<0.02	2.3	<0.02	0.039	<1	360	6.1521	162	2.3821
25	499921-028	Lambraspucquio	9.9	6.2	3.9	2.0	0.111	0.0	<0.02	0.008	<1	59	0.6279	17	<1
26	499921-029	Yanipucquio	84.7	22.9	5.5	1.0	<0.02	0.2	<0.02	0.057	16.78928	259	<0.5	95	<1
27	499921-030	Waripucquio	89.1	30.0	15.6	2.7	<0.02	0.8	<0.02	0.031	6.10368	389	2.2458	69	3.9384
28	499921-031	Miserosniyoc	76.2	18.8	3.9	0.9	<0.02	0.2	<0.02	0.050	5.23776	273	<0.5	62	<1
29	499921-032	Limapata	77.1	30.5	10.4	0.8	<0.02	0.3	<0.02	0.346	12.20736	353	1.0983	50	<1
30	499921-033	Santo Tomas	591.1	84.0	1650.7	262.0	<0.02	16.5	10.72105345	0.199	<1	1892	2815.3665	373	<1
31	499921-036	Arranchayoc 1	59.5	20.1	6.2	1.2	<0.02	0.2	<0.02	0.114	<1	291	0.7614	16	<1
32	499921-037	Lambrachayoc	58.9	18.5	5.8	0.8	<0.02	0.2	<0.02	0.014	<1	260	2.0221	31	2.5068
33	499921-038	Tunashayoc 2	65.1	11.9	3.7	<0.2	<0.02	0.2	<0.02	0.128	16.93824	233	0.5031	23	3.881
34	499921-040	Layanhuayco	61.5	14.6	7.3	3.6	<0.02	0.1	<0.02	0.050	<1	231	<0.5	51	<1
35	499921-041	Chacmapata	62.0	10.6	2.3	5.1	<0.02	0.2	<0.02	0.144	13.87584	206	<0.5	16	1.7072
36	499921-042	Suyuhulica	1.9	0.4	0.9	6.5	0.16902	<0.02	<0.02	0.014	<1	17	1.0863	<2	<1
37	499921-043	Rajaypata	72.9	5.9	1.9	0.3	<0.02	0.1	<0.02	0.041	<1	226	<0.5	34	<1
38	499921-044	Rajayhuaycco	42.2	3.7	1.9	0.4	<0.02	0.1	<0.02	0.028	8.19456	124	<0.5	14	<1
39	499921-046	Miskypuquio	84.0	18.3	3.5	0.5	<0.02	0.3	<0.02	0.138	5.28	291	<0.5	62	<1
40	499921-048	Collica	104.3	8.1	2.2	0.6	<0.02	0.2	<0.02	0.043	<1	288	<0.5	71	<1
41	499921-049	Layanhuayco 1	86.7	7.6	2.4	<0.2	<0.02	0.2	<0.02	0.114	<1	273	<0.5	21	<1
42	499921-052	Cuycapucro baja	10.2	1.7	6.4	1.4	<0.02	0.1	<0.02	0.011	<1	61	<0.5	<2	<1
43	499921-053	Osnomojo	8.6	0.6	2.5	1.1	<0.02	0.0	<0.02	0.006	<1	40	<0.5	<2	<1
44	499921-056	Janipucquio	38.2	7.3	2.1	0.3	<0.02	0.1	<0.02	0.144	<1	156	<0.5	6	1.5774
45	499921-057	Toturniyoc 1	22.0	1.4	1.1	0.5	<0.02	0.0	<0.02	0.056	<1	66	<0.5	14	<1
46	499921-058	Horanada 1	67.2	2.0	0.8	0.5	<0.02	0.1	<0.02	0.023	<1	213	<0.5	12	1.9576
47	499921-059	Tictipucro 3	27.4	3.2	2.1	0.5	<0.02	0.0	<0.02	1.091	<1	115	<0.5	<2	<1
48	499921-060	Runcuhuasi	16.5	2.6	2.7	<0.2	<0.02	0.0	<0.02	0.598	<1	77	<0.5	<2	<1
49	499921-061	Siracachayoc 1	18.7	2.9	2.3	0.2	<0.02	0.0	<0.02	0.651	<1	84	<0.5	<2	1.0181
50	499921-062	Siracachayoc 2	18.2	3.0	2.8	0.3	<0.02	0.1	<0.02	0.579	<1	82	<0.5	4	<1
51	499921-063	Chuyilurpata 1	13.0	3.2	3.3	0.5	<0.02	0.0	<0.02	0.930	<1	68	<0.5	<2	<1
52	499921-064	Agua potable Abancay	36.4	7.1	2.1	0.3	<0.02	0.1	<0.02	0.134	<1	156	<0.5	6	1.5947
53	499921-065	Tomahuaycco	54.4	7.9	3.1	0.5	<0.02	0.1	<0.02	0.037	7.92	159	<0.5	40	<1
54	499921-066	Arhuinchuyoc	80.5	7.0	7.7	2.1	<0.02	0.2	<0.02	0.114	<1	286	1.2102	15	14.2611
55	499921-067	Faccha 1	8.9	5.2	2.3	0.4	<0.02	0.0	<0.02	0.039	<1	52	<0.5	12	<1
56	499921-070	Faccha 4	45.1	13.9	2.7	0.5	<0.02	0.2	<0.02	0.048	<1	179	<0.5	39	<1
57	499921-072	Resurgencia Faccha	54.0	15.0	2.2	0.6	<0.02	0.2	<0.02	0.086	<1	214	<0.5	37	<1

A4. CUADRO DE CATIONES Y ANIONES DE LAS FUENTES MONITOREADAS EN ÉPOCA DE LLUVIA.

N°	CÓDIGO	MUESTRA	CATIONES (mg/L)							ANIONES (mg/L)					
			CALCIO	MAGNESIO	SODIO	POTASIO	ALUMINIO	ESTRONCIO	LITIO	BARIO	CARBONATO	BICARBONATO	CLORURO	SULFATO	NITRATO
1	499921-001	Uspacocha	32.42	8.06	0.20	<0.2	<0.02	0.50	<0.02	0.046	9.185	116.767	<0.5	6.721	<1
2	499921-002	Laguna Uspacocha	32.60	7.62	3.09	0.72	<0.02	0.42	<0.02	0.044	8.651	110.686	<0.5	6.276	<1
3	499921-008	Angascocha	53.97	9.80	3.35	0.71	<0.02	0.21	<0.02	0.030	7.113	173.793	<0.5	29.429	<1
4	499921-009	Laguna Angascocha	56.84	10.40	2.88	0.84	<0.02	0.23	<0.02	0.037	3.888	199.385	<0.5	23.428	<1
5	499921-012	Deslizamiento Sahuayanay	79.98	18.75	4.22	2.11	<0.02	0.22	<0.02	0.032	8.074	216.747	<0.5	83.644	<1
6	499921-013	Captación Cececcachayoc	81.87	18.86	4.45	0.93	<0.02	0.35	<0.02	0.051	5.084	266.998	<0.5	49.137	<1
7	499921-014	Sahuayanay 1	205.57	60.02	6.56	2.74	<0.02	0.47	<0.02	0.029	18.327	428.902	<0.5	413.006	<1
8	499921-015	Sahuayanay 2	169.21	46.12	6.35	1.88	<0.02	0.50	<0.02	0.037	6.024	388.608	<0.5	309.966	<1
9	499921-016	El palomar	74.55	36.51	6.57	3.21	<0.02	0.33	<0.02	0.332	11.428	356.164	1.948	33.406	1.54
10	499921-017	Casa Blanca	69.00	25.17	8.16	4.44	<0.02	0.21	<0.02	0.233	5.255	318.769	1.357	25.010	4.008
11	499921-018	Ochoa	66.19	40.14	20.61	1.20	<0.02	0.32	<0.02	0.055	11.107	378.358	5.758	27.325	7.883
12	499921-020	Piscina Chama	69.76	21.83	11.35	1.55	<0.02	0.30	<0.02	0.178	7.369	265.304	5.954	34.521	10.559
13	499921-021	Riñon	93.19	32.44	12.83	1.73	<0.02	1.14	<0.02	0.166	14.461	302.352	8.200	88.066	14.054
14	499921-023	Uchucara	43.78	17.80	4.91	0.91	<0.02	0.51	<0.02	0.161	10.082	178.484	<0.5	20.233	<1
15	499921-024	Hornada alta Jalastuyoc	110.45	20.83	77.29	1.53	<0.02	2.02	<0.02	0.031	7.006	162.979	113.690	186.402	1.008
16	499921-033	Santo Tomas	456.85	80.69	1891.35	320.83	<0.02	11.85	8.464713508	0.074	<1	1848.575	3055.953	305.745	<1
17	499921-064	Agua potable Abancay	37.82	9.31	3.03	0.49	<0.02	0.06	<0.02	0.145	11.022	134.075	<0.5	5.336	1.650
18	499921-066	Arhuinchulloc	78.05	9.04	9.57	2.59	<0.02</								

A5. CUADRO DE IONES PREDOMINANTES (FACIES QUÍMICAS DE AGUA) DE FUENTES MUESTREADAS EN ÉPOCA DE ESTÍO.

N°	CÓDIGO	NOMBRE	MICROCUENCA	TIPO DE FUENTE	TIPO DE AGUA	FACIE HIDROQUÍMICA
1	499921-001	Uspacocha	Mariño	Manantial	Ca-Mg-HCO3	Bicarbonatada Cálcica
2	499921-002	Laguna Uspacocha	Mariño	Punto de control	Ca-Mg-HCO3	Bicarbonatada Cálcica
3	499921-003	Chitapampa 2	Mariño	Manantial	Ca-HCO3	Bicarbonatada Cálcica
4	499921-005	Tutuepampa	Mariño	Manantial	Ca-HCO3	Bicarbonatada Cálcica
5	499921-006	Oxabamba	Mariño	Manantial	Ca-HCO3	Bicarbonatada Cálcica
6	499921-007	Llavepunco	Mariño	Manantial	Ca-HCO3	Bicarbonatada Cálcica
7	499921-008	Angascocha	Mariño	Manantial	Ca-HCO3	Bicarbonatada Cálcica
8	499921-009	Laguna Angascocha	Mariño	Punto de control	Ca-Mg-HCO3-SO4	Bicarbonatada Cálcica
9	499921-011	Layahuaycco	Mariño	Manantial	Ca-Mg-HCO3	Bicarbonatada Cálcica
10	499921-012	Surgencia Deslizamiento Chuyllurpata	Mariño	Manantial	Ca-Mg-HCO3-SO4	Bicarbonatada Cálcica
11	499921-013	Captación Cececcachayoc	Mariño	Manantial Captado	Ca-Mg-HCO3-SO4	Bicarbonatada Cálcica
12	499921-014	Sahuanay 1	Mariño	Manantial	Ca-Mg-SO4-HCO3	Sulfatada Cálcica
13	499921-015	Sahuanay 2	Mariño	Manantial	Ca-Mg-HCO3-SO4	Bicarbonatada Cálcica
14	499921-016	El Palomar	Mariño	Manantial	Ca-Mg-HCO3	Bicarbonatada Cálcica
15	499921-017	Casablanca	Mariño	Manantial Captado	Ca-Mg-HCO3	Bicarbonatada Cálcica
16	499921-018	Manantial 891	Mariño	Manantial	Ca-Mg-HCO3	Bicarbonatada Cálcica
17	499921-020	Piscina Chama	Mariño	Manantial	Ca-Mg-HCO3	Bicarbonatada Cálcica
18	499921-021	El Riñon	Mariño	Manantial Captado	Ca-Mg-HCO3-SO4	Bicarbonatada Cálcica
19	499921-022	Mariño 1	Mariño	Manantial	Ca-Mg-HCO3-SO4	Bicarbonatada Cálcica
20	499921-023	Uchucara	Mariño	Manantial Captado	Ca-Mg-HCO3-SO4	Bicarbonatada Cálcica
21	499921-024	Hornada alta Jalastuyoc	Mariño	Manantial	Ca-Na-SO4-Cl-HCO3	Sulfatada Cálcica
22	499921-025	Lamarpuquio	Mariño	Manantial	Ca-Mg-HCO3	Bicarbonatada Cálcica
23	499921-026	Lambraschayoc	Mariño	Manantial captado	Ca-Mg-HCO3	Bicarbonatada Cálcica
24	499921-027	Peraschayoc	Mariño	Manantial captado	Ca-Mg-HCO3-SO4	Bicarbonatada Cálcica
25	499921-028	Lambraspuquio	Mariño	Manantial	Mg-Ca-HCO3-SO4	Bicarbonatada Magnésica
26	499921-029	Yanipuquio	Mariño	Manantial	Ca-Mg-HCO3-SO4	Bicarbonatada Cálcica
27	499921-030	Waripuquio	Mariño	Manantial	Ca-Mg-HCO3	Bicarbonatada Cálcica
28	499921-031	Miserosniyoc	Mariño	Manantial captado	Ca-Mg-HCO3-SO4	Bicarbonatada Cálcica
29	499921-032	Limapata	Mariño	Manantial	Ca-Mg-HCO3	Bicarbonatada Cálcica
30	499921-033	Santo Tomas	Mariño	Termal	Na-Ca-Cl-HCO3	Clorurada Sódica
31	499921-036	Arranchayoc 1	Mariño	Manantial	Ca-Mg-HCO3	Bicarbonatada Cálcica
32	499921-037	Lambraschayoc	Mariño	Manantial captado	Ca-Mg-HCO3	Bicarbonatada Cálcica
33	499921-038	Tunaschayoc 2	Mariño	Manantial captado	Ca-Mg-HCO3	Bicarbonatada Cálcica
34	499921-040	Layahuaycco	Mariño	Manantial	Ca-Mg-HCO3-SO4	Bicarbonatada Cálcica
35	499921-041	Chacmapata	Mariño	Manantial	Ca-Mg-HCO3	Bicarbonatada Cálcica
36	499921-042	Suyuhuilca	Mariño	Manantial	K-Ca-HCO3	Bicarbonatada Potásica
37	499921-043	Rajaypata	Mariño	Manantial	Ca-HCO3	Bicarbonatada Cálcica
38	499921-044	Rajayhuaycco	Mariño	Manantial	Ca-HCO3	Bicarbonatada Cálcica
39	499921-046	Miskypuquio	Mariño	Manantial	Ca-Mg-HCO3-SO4	Bicarbonatada Cálcica
40	499921-048	Colca	Mariño	Manantial	Ca-HCO3-SO4	Bicarbonatada Cálcica
41	499921-049	Layahuaycco 1	Mariño	Manantial Captado	Ca-HCO3	Bicarbonatada Cálcica
42	499921-052	Cuycapucro baja	Mariño	Manantial	Ca-Na-HCO3	Bicarbonatada Cálcica
43	499921-053	Osnomojo	Mariño	Manantial	Ca-HCO3	Bicarbonatada Cálcica
44	499921-056	Janipuquio	Mariño	Manantial	Ca-Mg-HCO3	Bicarbonatada Cálcica
45	499921-057	Toturniyc 1	Mariño	Manantial	Ca-HCO3-SO4	Bicarbonatada Cálcica
46	499921-058	Horanada 1	Mariño	Manantial	Ca-HCO3	Bicarbonatada Cálcica
47	499921-059	Tictipucro 3	Mariño	Manantial Captado	Ca-HCO3	Bicarbonatada Cálcica
48	499921-060	Runcuhuasi	Mariño	Manantial	Ca-HCO3	Bicarbonatada Cálcica
49	499921-061	Siracachayoc 1	Mariño	Manantial	Ca-HCO3	Bicarbonatada Cálcica
50	499921-062	Siracachayoc 2	Mariño	Manantial	Ca-HCO3	Bicarbonatada Cálcica
51	499921-063	Chuyllurchayoc 1	Mariño	Manantial	Ca-Mg-HCO3	Bicarbonatada Cálcica
52	499921-064	Agua potable Abancay	Mariño	Manantial Captado	Ca-Mg-HCO3	Bicarbonatada Cálcica
53	499921-065	Tomahuaycco	Mariño	Manantial Captado	Ca-HCO3-SO4	Bicarbonatada Cálcica
54	499921-066	Arhuinchuyoc	Mariño	Manantial Captado	Ca-HCO3	Bicarbonatada Cálcica
55	499921-067	Faccha 1	Mariño	Manantial	Ca-Mg-HCO3-SO4	Bicarbonatada Cálcica
56	499921-070	Faccha 4	Mariño	Manantial	Ca-Mg-HCO3-SO4	Bicarbonatada Cálcica
57	499921-072	Resurgencia Faccha	Mariño	Manantial Resurgente	Ca-Mg-HCO3	Bicarbonatada Cálcica

A6. CUADRO DE IONES PREDOMINANTES (FACIES QUÍMICAS DE AGUA) DE FUENTES MONITOREADAS EN ÉPOCA DE LLUVIA.

N°	CÓDIGO	NOMBRE	MICROCUENCA	TIPO DE FUENTE	TIPO DE AGUA	FACIE HIDROQUÍMICA
1	499921-001	Uspacocha	Mariño	Manantial	Ca-Mg-HCO3	Bicarbonatada cálcica
2	499921-002	Laguna Uspacocha	Mariño	Punto de control	Ca-Mg-HCO3	Bicarbonatada cálcica
3	499921-008	Angascocha	Mariño	Manantial	Ca-Mg-HCO3	Bicarbonatada cálcica
4	499921-009	Laguna Angascocha	Mariño	Punto de control	Ca-Mg-HCO3	Bicarbonatada cálcica
5	499921-012	Deslizamiento Sahuanay	Mariño	Manantial	Ca-Mg-HCO3-SO4	Bicarbonatada cálcica
6	499921-013	Captacion Cececcachayoc	Mariño	Manantial Captado	Ca-Mg-HCO3	Bicarbonatada cálcica
7	499921-014	Sahuanay 1	Mariño	Manantial	Ca-Mg-SO4-HCO3	Sulfatada cálcica
8	499921-015	Sahuanay 2	Mariño	Manantial	Ca-Mg-SO4-HCO3	Sulfatada cálcica
9	499921-016	El palomar	Mariño	Manantial Captado	Ca-Mg-HCO3	Bicarbonatada cálcica
10	499921-017	Casa Blanca	Mariño	Manantial Captado	Ca-Mg-HCO3	Bicarbonatada cálcica
11	499921-018	Ochoa	Mariño	Manantial Captado	Ca-Mg-HCO3	Bicarbonatada cálcica
12	499921-020	Piscina Chama	Mariño	Manantial	Ca-Mg-HCO3	Bicarbonatada cálcica
13	499921-021	Riñon	Mariño	Manantial captado	Ca-Mg-HCO3-SO4	Bicarbonatada cálcica
14	499921-023	Uchucara	Mariño	Manantial Captado	Ca-Mg-HCO3	Bicarbonatada cálcica
15	499921-024	Hornada alta Jalastuyoc	Mariño	Manantial	Ca-Na-SO4-Cl-HCO3	Sulfatada cálcica
16	499921-033	Santo Tomas	Mariño	Fuente termal	Na-Cl-HCO3	Clorurada sódica
17	499921-064	Agua potable Abancay	Mariño	Manantial Captado	Ca-Mg-HCO3	Bicarbonatada cálcica
18	499921-066	Arhuinchulloc	Mariño	Manantial Captado	Ca-HCO3	Bicarbonatada cálcica
19	499921-067	Faccha 1	Mariño	Manantial	Mg-Ca-HCO3	Bicarbonatada magnésica
20	499921-070	Faccha 4	Mariño	Manantial	Ca-Mg-HCO3	Bicarbonatada cálcica

A7. CUADRO DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DE FUENTES MUESTREADAS EN ÉPOCA DE ESTÍO.

N°	CÓDIGO	MUESTRA NOMBRE	COORDENADAS			PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS					
			COTA	ESTE	NORTE	DUREZA (mg/L CaCO3)	CE (µS/Cm)	TDS (mg/L)	PH	Q (L/s)	T (°C)
1	499921-001	Uspacocha	3870	727990	8498831	111.92	204.7	101	8.31	6.5	7.4
2	499921-002	Laguna Uspacocha	3810	728622	8498100	84.25	159	78.4	8.79	-	12.2
3	499921-003	Chitapampa 2	3546	729305	8497869	45.58	105.4	52.14	7.94	0.8	6.5
4	499921-005	Tutuepampa	3683	728820	8497613	221.50	400.8	196.9	7.2	0.5	10.6
5	499921-006	Oxabamba	3140	730519	8496646	200.58	354.6	174.3	6.59	0.8	8.1
6	499921-007	Llavepuncu	3427	729563	8496551	111.42	207.3	102.1	6.64	0.5	8
7	499921-008	Angascocha	3327	729190	8496453	199.42	384.1	188.7	6.73	3.2	10.5
8	499921-009	Laguna Angascocha	3302	729285	8496203	101.25	183.9	90.63	6.68	-	15.4
9	499921-011	Lavanhuaycco	3106	731059	8495909	216.67	397.9	195.5	6.63	0.5	14.8
10	499921-012	Surgencia deslizamiento Chuylurpata	3175	729470	8495676	307.58	491.2	241.2	6.62	3.5	11
11	499921-013	Captación Cecececcachayoc	3015	729742	8495436	321.00	537.9	264.1	6.65	5.77	12.8
12	499921-014	Sahuanay 1	2962	729727	8495147	1065.42	1625	796.9	6.65	0.5	12.9
13	499921-015	Sahuanay 2	2923	729773	8495123	627.25	1018	499.3	6.63	0.6	13.8
14	499921-016	El Palomar	2603	727652	8492680	307.67	530.5	260.4	6.66	3.5	16.8
15	499921-017	Casablanca	2519	727270	8492099	275.50	496.2	243.7	6.66	3.8	18.8
16	499921-018	Manantial 891	2451	728178	8492122	298.42	567.3	278.5	6.64	1.2	17.2
17	499921-020	Piscina Chama	2374	729995	8491251	263.75	468.6	230.1	6.65	5	18.2
18	499921-021	El Riñon	2353	729754	8491154	353.08	640.9	314.5	6.65	0.8	18.1
19	499921-022	Mariño 1	2329	729548	8491100	369.00	698.3	342.7	6.64	5	18.1
20	499921-023	Uchucara	3000	732547	8497102	205.80	382.9	188.3	7.85	3	11.3
21	499921-024	Hornada alta Jalastuyoc	3276	732963	8497574	538.61	1516	743.7	7.75	5	11.1
22	499921-025	Lamarpuquio	2996	732173	8496238	347.38	604	296.5	8.05	0.5	14.2
23	499921-026	Lambraschayoc	3114	731858	8496556	249.10	452.5	221.4	7.16	1	17
24	499921-027	Peraschayoc	2955	731612	8496001	399.11	782.2	384.1	7.41	0.5	17
25	499921-028	Lambraspuquio	2886	725247	8492474	50.43	123.8	61.17	6.97	1.5	16.2
26	499921-029	Yanipuquio	3076	724916	8492927	306.93	560.5	275.2	8.34	1.8	13.2
27	499921-030	Waripuquio	2299	726641	8491125	347.50	655	331.3	7.8	3	19
28	499921-031	Miserosniyoc	2647	725148	8491876	269.04	497.2	244.6	8	1.4	17
29	499921-032	Limapata	2477	726587	8492106	319.61	580.1	284.9	8.26	4.3	17.3
30	499921-033	Santo Tomas	1722	722306	8489752	1827.79	11440	5659	6.33	3.5	40.8
31	499921-036	Arranchayoc 1	2828	727957	8493594	232.47	420	206.4	7.5	0.5	15
32	499921-037	Lambraschayoc	2967	727841	8493941	224.18	437.9	214.8	7.59	0.176	14.6
33	499921-038	Tunaschayoc 2	2914	728104	8494078	212.48	414.6	203.9	7.83	0.5	15.5
34	499921-040	Layanhuayco	3117	724882	8493120	214.69	423.9	208.6	6.9	0.6	13.1
35	499921-041	Chacmapata	3493	724454	8494034	199.33	344.5	168.8	8.45	1	14.2
36	499921-042	Suyuhuilca	3762	724220	8494838	6.25	48.35	22.62	6.3	2	23.9
37	499921-043	Rajaypata	3797	724515	8495101	207.01	374.7	148.1	8	3.5	8.7
38	499921-044	Rajayhuaycco	3842	724952	8495536	120.96	230.2	113.3	7.52	3.5	8.1
39	499921-046	Mskypuquio	3331	723875	8493751	286.19	504.3	247.6	8.56	1.5	10.3
40	499921-048	Collca	3418	723744	8494269	294.46	525.9	258.2	7.47	5	9.8
41	499921-049	Layanhuayco 1	3588	723881	8494505	248.43	413.9	202.8	7.2	2	10.5
42	499921-052	Cuycapuro baja	3404	731730	8486142	32.53	88.13	43.09	7.7	5	13.4
43	499921-053	Osnomojo	3949	737320	8486224	23.93	54.79	27.34	7.35	0.5	9.3
44	499921-056	Janipuquio	3020	733964	8494833	125.73	268.7	132.2	7.67	0.5	13.7
45	499921-057	Toturniyoc 1	3916	736716	8494752	60.63	125.7	62.98	8.18	2.5	11.2
46	499921-058	Horanada 1	3978	736978	8495271	176.09	324.1	159.2	7.71	3.5	10.6
47	499921-059	Tictipuro 3	3835	735547	8497080	81.86	159.1	78.58	7.47	3.8	14.1
48	499921-060	Runcuhuasi	3876	735741	8497163	52.14	107.6	53.12	7.6	0.8	11.9
49	499921-061	Siracachayoc 1	3491	735169	8494949	58.91	127.4	62.86	8.06	1.98	12
50	499921-062	Siracachayoc 2	3485	735157	8494965	58.14	124.8	61.64	8.29	12	11.6
51	499921-063	Chuylurchayoc 1	3457	734744	8495113	46.07	98.56	48.75	8.13	5.8	12.4
52	499921-064	Agua potable Abancay	3079	733958	8494831	120.51	233.7	115.1	7.98	15-25	12.5
53	499921-065	Tomahuaycco	3444	722472	8494726	169.01	322.4	157.8	7.95	4.2	13.5
54	499921-066	Arhuinchuyoc	3226	721373	8494122	230.49	447	219.6	7.35	3.5	14.1
55	499921-067	Faccha 1	4218	729953	8500981	44.03	97.64	48.29	7.97	1.8	11.1
56	499921-070	Faccha 4	4046	730833	8500871	170.50	322.6	159	7.13	3.4	7.4
57	499921-072	Resurgencia Faccha	4008	730881	8500479	197.46	365.5	179.7	7.65	12.5	8.3

A8. CUADRO DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DE FUENTES MONITOREADAS EN ÉPOCA DE LLUVIA.

N°	CÓDIGO	MUESTRA NOMBRE	COORDENADAS			PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS					
			COTA	ESTE	NORTE	DUREZA (mg/L CaCO3)	CE (µS/Cm)	TDS (mg/L)	PH	Q (L/s)	T (°C)
1	499921-001	Uspacocha	3879	728004	8498846	114.63	210.7	103.7	8.32	197	7.1
2	499921-002	Laguna Uspacocha	3868	728654	8498105	113.27	230.8	113.6	8.77	-	12.7
3	499921-008	Angascocha	3211	729192	8496441	175.75	328	161.2	7.69	4	10.4
4	499921-009	Laguna Angascocha	3286	729352	8496354	185.43	338.1	166.2	7.96	-	13.6
5	499921-012	Deslizamiento Sahuanay	3143	729489	8495665	278.06	512.7	251.7	8.05	10	11.3
6	499921-013	Captacion Cecececcachayoc	2985	729722	8495345	283.24	491.3	241.2	7.42	7.5	12.2
7	499921-014	Sahuanay 1	2940	729721	8495154	764.00	1241	608.5	7.74	3	13.5
8	499921-015	Sahuanay 2	2928	729776	8495123	615.19	1022	501.3	7.48	0.5	13.8
9	499921-016	El palomar	2594	727631	8492684	338.50	563.3	276.5	7.88	1.2	17.3
10	499921-017	Casa Blanca	2523	727271	8492094	277.37	497.6	244.3	7.36	1	19.05
11	499921-018	Ochoa	2447	728185	8492125	332.73	576.5	283	7.63	0.6	20.9
12	499921-020	Piscina Chama	2374	729995	8491251	265.36	484.1	237.7	7.56	5.8	18.2
13	499921-021	Riñon	2353	729754	8491154	368.13	654.7	321.3	7.86	0.6	18
14	499921-023	Uchucara	3123	732306	8497135	183.61	320.5	157.5	7.81	3	12
15	499921-024	Hornada alta Jalastuyoc	3283	732961	8497568	362.90	986.8	484	7.75	6.5	12.3
16	499921-033	Santo Tomas	1698	722316	8489741	1478.33	11500	5634	6.29	3.5	39.7
17	499921-064	Agua potable Abancay	3057	733956	8494834	133.35	239.7	118	7.94	20	12.7
18	499921-066	Arhuinchulloc	3216	721371	8494126	232.78	448	220	7.37	3.5	14.6
19	499921-067	Faccha 1	4193	730047	8500959	47.06	91.93	45.55	8.13	10.3	11.6
20	499921-070	Faccha 4	4038	730834	8500874	116.29	207.5	102.2	7.3	15	7.8

A9. ÍNDICE DE SATURACIÓN PARA FUENTES MUESTREADAS EN ÉPOCA DE ESTÍO.

Minerales	CÓDIGO	Anhydrite	Aragonite	Calcite	Chalcedony	Chrysotile	Dolomite	Gypsum	Quartz	Sepiolite	Sepiolite	SiO2	Talc	Halite	Strontianite
Uspacocha	499921-001	-2.97	0.1	0.25	-0.41	-3.9	-0.04	-2.71	0.07	-5.22	-5.22	-1.32	-1.28	-11.11	-0.79
Laguna Uspacocha	499921-002	-3.28	0.41	0.57	-0.67	-1.02	0.7	-3.03	-0.19	-4.05	-4.05	-1.55	1.17	-11.34	-0.66
Chitapampa 2	499921-003	-3.75	-0.85	-0.69	-0.04	-7.34	-2.29	-3.5	0.45	-6.82	-6.82	-0.94	-3.98	-10.49	-2.84
Tutuepampa	499921-005	-3.23	-0.27	-0.12	-0.13	-10.55	-1.46	-2.98	0.34	-9.41	-9.41	-1.02	-7.32	-10.63	-2.01
Oxabamba	499921-006	-2.24	-1.13	-0.97	0.03	-13.08	-2.71	-1.99	0.52	-10.65	-10.65	-0.87	-9.56	-10.48	-3.03
Llavepuncu	499921-007	-2.63	-1.53	-1.38	0.02	-13.61	-3.57	-2.38	0.5	-11.01	-11.01	-0.88	-10.11	-10.41	-3.54
Angascocha	499921-008	-2.2	-0.96	-0.81	-0.05	-11.94	-2.31	-1.95	0.43	-10.18	-10.18	-0.94	-8.53	-10.3	-2.59
Laguna Angascocha	499921-009	-2.69	-1.6	-1.45	-0.25	-11.86	-3.14	-2.44	0.21	-10.81	-10.81	-1.13	-8.8	-10.38	-3.03
Layanhuaycco	499921-011	-2.47	-0.89	-0.74	0.11	-11.26	-2.02	-2.22	0.57	-9.77	-9.77	-0.77	-7.49	-9.81	-2.8
Surgencia deslizamiento Chuyllurpata	499921-012	-1.8	-0.88	-0.72	-0.14	-12.12	-2.07	-1.55	0.34	-10.49	-10.49	-1.03	-8.89	-10.26	-2.83
Captación Cececcachayoc	499921-013	-1.83	-0.71	-0.56	0.03	-11.22	-1.68	-1.58	0.49	-9.75	-9.75	-0.86	-7.65	-10.24	-2.44
Sahuanay 1	499921-014	-0.75	-0.21	-0.06	0.04	-9.78	-0.52	-0.5	0.51	-8.76	-8.76	-0.84	-6.16	-10.09	-2.19
Sahuanay 2	499921-015	-1.16	-0.41	-0.26	0.02	-10.37	-0.98	-0.9	0.49	-9.25	-9.25	-0.85	-6.78	-10.16	-2.3
El Palomar	499921-016	-2.42	-0.66	-0.51	0.12	-9.67	-1.19	-2.18	0.57	-8.82	-8.82	-0.75	-5.84	-9.67	-2.36
Casablanca	499921-017	-2.46	-0.64	-0.49	0.24	-9.47	-1.23	-2.22	0.69	-8.63	-8.63	-0.62	-5.38	-9.72	-2.55
Manantial 891	499921-018	-2.45	-0.71	-0.56	0.24	-9.4	-1.2	-2.21	0.69	-8.48	-8.48	-0.63	-5.33	-8.67	-2.4
Piscina Chama	499921-020	-2.31	-0.77	-0.62	0.18	-9.93	-1.57	-2.07	0.63	-8.99	-8.99	-0.68	-5.97	-8.79	-2.51
El Riñon	499921-021	-1.86	-0.61	-0.46	0.13	-9.65	-1.2	-1.61	0.58	-8.88	-8.88	-0.73	-5.78	-8.65	-1.9
Mariño 1	499921-022	-1.69	-0.64	-0.49	0.09	-9.84	-1.29	-1.45	0.55	-9.07	-9.07	-0.77	-6.04	-8.47	-1.93
Uchucara	499921-023	-2.19	0.07	0.23	0.04	-4.16	0.13	-1.94	0.52	-4.91	-4.91	-0.85	-0.57	-10.13	-1.13
Hornada alta Jalastuyoc	499921-024	-1.15	0.29	0.45	0.03	-4.65	0.24	-0.9	0.5	-5.24	-5.24	-0.86	-1.09	-6.23	-0.75
Lamarpuquio	499921-025	-2.25	0.75	0.9	0.27	-1.49	1.51	-2	0.73	-2.95	-2.95	-0.61	2.6	-9.91	-0.88
Lambrachayoc	499921-026	-2.47	-0.32	-0.17	0.18	-6.74	-0.5	-2.22	0.63	-6.79	-6.79	-0.69	-2.79	-9.89	-1.99
Peraschayoc	499921-027	-1.55	0.18	0.33	0.23	-5.03	0.36	-1.31	0.69	-5.56	-5.56	-0.63	-0.97	-8.49	-0.85
Lambraspucquio	499921-028	-3.24	-1.91	-1.76	0.13	-9.63	-3.49	-2.99	0.58	-8.75	-8.75	-0.74	-5.8	-10.12	-3.56
Yanipucquio	499921-029	-1.82	0.83	0.98	0.19	-0.4	1.57	-1.56	0.66	-2.29	-2.29	-0.69	3.51	-10.11	-1.04
Waripucquio	499921-030	-1.96	0.58	0.73	0.23	-2.33	1.25	-1.72	0.68	-3.9	-3.9	-0.63	1.74	-9.03	-0.83
Misperosniyoc	499921-031	-2.02	0.56	0.71	0.02	-2.38	1.05	-1.77	0.48	-4.14	-4.14	-0.84	1.26	-10.27	-1.32
Limapata	499921-032	-2.14	0.91	1.05	0.19	0.14	1.96	-1.9	0.64	-2.2	-2.2	-0.68	4.11	-9.51	-0.86
Santo Tomas	499921-033	-0.99	0.54	0.67	0.45	-7.17	0.99	-0.86	0.83	-8.11	-8.11	-0.34	-2.39	-4.11	-0.53
Arranchayoc 1	499921-036	-2.67	-0.02	0.13	0.19	-5.21	0	-2.42	0.65	-5.62	-5.62	-0.69	-1.27	-9.87	-1.87
Lambrachayoc	499921-037	-2.38	0.01	0.16	0.32	-4.59	0.02	-2.13	0.78	-4.96	-4.96	-0.56	-0.4	-9.48	-1.89
Tunaschayoc 2	499921-038	-2.46	0.27	0.42	0.13	-3.93	0.32	-2.21	0.59	-4.9	-4.9	-0.75	-0.11	-10.27	-1.6
Layanhuayco	499921-040	-2.15	-0.74	-0.58	0.27	-9.37	-1.62	-1.9	0.74	-8.12	-8.12	-0.61	-5.29	-9.98	-2.71
Chacmapata	499921-041	-2.64	0.78	0.93	0.06	-0.67	1.29	-2.39	0.53	-2.75	-2.75	-0.81	3	-10.48	-1.09
Suyuhuilca	499921-042	-4.75	-3.66	-3.51	-0.09	-16.4	-7.39	-4.52	0.34	-14.12	-14.12	-0.93	-12.89	-10.54	-5.03
Rajaypata	499921-043	-2.23	0.36	0.52	0.06	-5.05	0.04	-1.97	0.54	-5.3	-5.3	-0.84	-1.47	-10.56	-1.63
Rajayhuaycco	499921-044	-2.75	-0.57	-0.41	-0.01	-8.66	-1.8	-2.49	0.48	-7.77	-7.77	-0.91	-5.22	-10.54	-2.49
Miskypucquio	499921-046	-1.99	1.04	1.2	0.14	0.09	1.87	-1.73	0.61	-1.85	-1.85	-0.76	3.85	-10.3	-0.69
Collca	499921-048	-1.83	0.07	0.23	0.06	-7.73	-0.53	-1.57	0.54	-7.16	-7.16	-0.83	-4.13	-10.49	-1.86
Layanhuayco 1	499921-049	-2.39	-0.25	-0.1	0.11	-9.15	-1.13	-2.13	0.58	-8.07	-8.07	-0.78	-5.45	-10.46	-2.19
Cuycapucro baja	499921-052	-4.1	-1.17	-1.02	0.34	-6.91	-2.64	-3.85	0.8	-6.39	-6.39	-0.54	-2.69	-10	-2.63
Osnomojo	499921-053	-4.15	-1.83	-1.67	0.15	-11.38	-4.4	-3.89	0.63	-9.41	-9.41	-0.75	-7.61	-10.39	-3.39
Janipucquio	499921-056	-3.18	-0.28	-0.13	0.03	-5.9	-0.78	-2.92	0.49	-6.26	-6.26	-0.85	-2.31	-10.5	-2.38
Toturniyoc 1	499921-057	-2.97	-0.39	-0.24	0.03	-5.33	-1.53	-2.71	0.5	-5.71	-5.71	-0.86	-1.77	-10.78	-2.55
Horanada 1	499921-058	-2.7	0.07	0.22	-0.07	-8.13	-0.96	-2.45	0.4	-7.7	-7.7	-0.97	-4.78	-10.95	-2.02
Tictipucro 3	499921-059	-3.75	-0.72	-0.57	0.07	-7.95	-1.87	-3.5	0.53	-7.58	-7.58	-0.81	-4.26	-10.49	-2.91
Runcuhuasi	499921-060	-3.92	-0.99	-0.84	0.13	-7.64	-2.33	-3.67	0.6	-7.13	-7.13	-0.76	-3.87	-10.38	-3.15
Siracachayoc 1	499921-061	-3.88	-0.45	-0.3	0.09	-4.79	-1.25	-3.63	0.57	-5.29	-5.29	-0.79	-1.09	-10.45	-2.43
Siracachayoc 2	499921-062	-3.62	-0.26	-0.1	0.12	-3.36	-0.83	-3.36	0.6	-4.26	-4.26	-0.76	0.4	-10.36	-2.13
Chuyllurpata	499921-063	-4.02	-0.62	-0.46	0.18	-3.96	-1.37	-3.76	0.65	-4.62	-4.62	-0.7	-0.07	-10.29	-2.42
Agua potable Abancay	499921-064	-3.21	-0.01	0.14	0.03	-4.26	-0.26	-2.95	0.5	-5.09	-5.09	-0.86	-0.69	-10.49	-2.14
Tomahuaycco	499921-065	-2.27	0.12	0.28	0	-4.27	-0.1	-2.01	0.47	-5.2	-5.2	-0.88	-0.73	-10.35	-1.85
Arhuinchuyoc	499921-066	-2.57	-0.06	0.1	0.26	-7.48	-0.67	-2.32	0.72	-6.96	-6.96	-0.62	-3.42	-9.58	-2.01
Faccha 1	499921-067	-3.42	-1.08	-0.92	-0.05	-4.99	-1.93	-3.16	0.42	-5.6	-5.6	-0.94	-1.59	-10.45	-2.68
Faccha 4	499921-070	-2.35	-0.82	-0.66	0.01	-9.44	-1.77	-2.09	0.49	-8.22	-8.22	-0.9	-5.98	-10.39	-2.44
Resurgencia Faccha	499921-072	-2.32	-0.14	0.01	-0.01	-6.12	-0.44	-2.06	0.48	-6.09	-6.09	-0.9	-2.67	-10.49	-1.86

A10. ÍNDICE DE SATURACIÓN PARA FUENTES MUESTREADAS EN ÉPOCA DE LLUVIA.

Minerales	Código	Anhydrite	Aragonite	Calcite	Chalcedony	Chrysotile	Dolomite	Gypsum	Quartz	Sepiolite	SiO2(a)	Talc	Halite	Strontianite
Manantial Uspacocha	499921-001	-3.17	0.07	0.23	-0.41	-3.78	-0.09	-2.92	0.08	-5.12	-1.31	-1.16	-11.51	-1.03
Laguna Uspacocha	499921-002	-3.22	0.56	0.71	-0.7	-0.84	0.96	-2.97	-0.23	-4.03	-1.58	1.29	-10.33	-0.65
Manantial Angascocha	499921-008	-2.39	-0.14	0.01	-0.02	-6.1	-0.59	-2.14	0.45	-6.24	-0.91	-2.65	-10.3	-1.87
Laguna Angascocha	499921-009	-2.48	0.25	0.4	-0.1	-4.06	0.25	-2.23	0.36	-5.24	-0.98	-0.73	-10.38	-1.46
Manantial deslizamiento Sahuanay	499921-012	-1.86	0.44	0.59	-0.09	-3.22	0.7	-1.61	0.38	-4.51	-0.98	0.1	-10.22	-1.44
Captación Cececcachayoc	499921-013	-2.08	-0.06	0.09	0.05	-6.53	-0.29	-1.83	0.52	-6.53	-0.83	-2.9	-10.2	-1.76
Manantial Sahuanay 1	499921-014	-1.03	0.71	0.86	0.05	-3.31	1.38	-0.77	0.52	-4.48	-0.83	0.33	-10.08	-1.26
Manantial Sahuanay 2	499921-015	-1.18	0.37	0.52	0.06	-5.07	0.67	-0.92	0.52	-5.66	-0.82	-1.41	-10.08	-1.49
Manantial el Palomar	499921-016	-2.33	0.54	0.69	0.21	-1.85	1.31	-2.09	0.66	-3.5	-0.66	2.16	-9.46	-1.17
Manantial Casa Blanca	499921-017	-2.45	-0.01	0.14	0.27	-5	0.11	-2.21	0.72	-5.6	-0.59	-0.83	-9.52	-1.89
Manantial Ochoa	499921-018	-2.47	0.32	0.46	0.29	-2.51	1.01	-2.24	0.73	-4.04	-0.57	1.71	-8.5	-1.38
Piscina Chama	499921-020	-2.3	0.1	0.25	0.22	-4.21	0.26	-2.06	0.67	-5.1	-0.64	-0.15	-8.73	-1.62
Manantial Riñon	499921-021	-1.84	0.53	0.68	0.19	-2.11	1.16	-1.6	0.64	-3.76	-0.68	1.87	-8.55	-0.74
Manantial Uchucara	499921-023	-2.65	-0.08	0.08	0.07	-4.15	-0.08	-2.4	0.54	-4.9	-0.81	-0.49	-10.14	-1.33
Manantial Hornada Alta Jalastuyoc	499921-024	-1.48	0.11	0.26	-0.02	-4.74	-0.04	-1.23	0.45	-5.47	-0.91	-1.27	-6.62	-0.95
Santo Tomas	499921-033	-1.18	0.37	0.5	0.48	-7.52	0.74	-1.04	0.87	-8.22	-0.31	-2.68	-4.01	-0.72
Agua Potable Abancay	499921-064	-3.24	-0.09	0.06	0.04	-4.09	-0.32	-2.99	0.51	-4.97	-0.84	-0.49	-10.34	-2.21
Manantial Arhuinchuloc	499921-066	-2.59	-0.07	0.09	0.26	-6.95	-0.56	-2.34	0.72	-6.64	-0.62	-2.88	-9.43	-2.03
Faccha 1	499921-067	-3.64	-0.9	-0.74	-0.15	-3.99	-1.52	-3.38	0.32	-5.14	-1.04	-0.78	-10.36	-2.61
Faccha 4	499921-070	-2.81	-1.07	-0.91	0.02	-8.52	-2.15	-2.55						



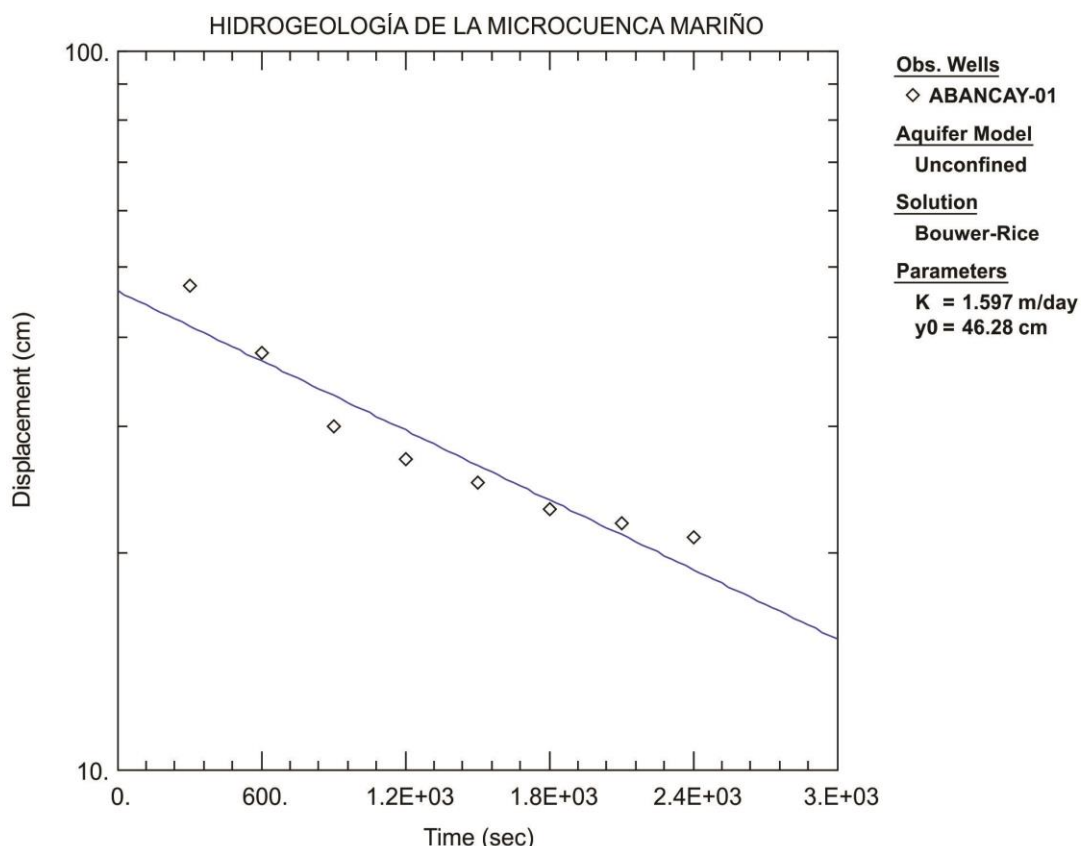
A11. RESULTADO DE LABORATORIO DE METALES DISUELTOS EN FUENTES MUESTREADAS ES ÉPOCA DE ESTÍO.

N°	Código	Hora	Fecha	Ag (mg/L)	Al (mg/L)	As (mg/L)	B (mg/L)	Ba (mg/L)	Be (mg/L)	Bi (mg/L)	Cs (mg/L)	CO ₃ (mg/L)	Cd (mg/L)	Ce (mg/L)	Ch (mg/L)	Co (mg/L)	Cr (mg/L)	Cu (mg/L)	F- (mg/L)	Fe (mg/L)	HCO ₃ - (mg/L)	K (mg/L)	La (mg/L)	Li (mg/L)	Mg (mg/L)	
1	499921-001	1330	12/08/2014	<0.005	<0.02	<0.01	<0.05	0.051	<0.001	<0.005	32.1	4	<0.001	<0.03	<0.5	<0.001	<0.01	<0.002	<0.5	0.04	129	<0.2	<0.005	<0.02	7.6	
2	499921-002	1655	12/08/2014	<0.005	<0.02	<0.01	<0.05	0.031	<0.001	<0.005	23.7	<1	<0.001	<0.03	<0.5	<0.001	<0.01	<0.002	<0.5	0.08	103	<0.2	<0.005	<0.02	6	
3	499921-003	1024	12/08/2014	<0.005	<0.02	<0.01	<0.05	0.006	<0.001	<0.005	73.4	5	<0.001	<0.03	<0.5	<0.001	<0.01	<0.002	<0.5	0.01	64	<0.2	<0.005	<0.02	3.7	
4	499921-005	1700	13/08/2014	<0.005	<0.02	<0.01	<0.05	0.043	<0.001	<0.005	82.6	4	<0.001	<0.03	<0.5	<0.001	<0.01	<0.002	<0.5	0.04	264	<0.2	<0.005	<0.02	3.6	
5	499921-006	1030	18/08/2014	<0.005	<0.02	<0.01	<0.05	0.061	<0.001	<0.005	64.9	10	<0.001	<0.03	<0.5	<0.001	<0.01	<0.002	<0.5	0.03	209	0.2	<0.005	<0.02	9.2	
6	499921-007	1242	18/08/2014	<0.005	<0.02	<0.01	<0.05	0.032	<0.001	<0.005	36.9	4	<0.001	<0.03	<0.5	<0.001	<0.01	<0.002	<0.5	0.02	117	<0.2	<0.005	<0.02	4.6	
7	499921-008	1038	14/08/2014	<0.005	<0.02	<0.01	<0.05	0.037	<0.001	<0.005	63.6	9	<0.001	<0.03	<0.5	<0.001	<0.01	<0.002	<0.5	0.03	208	0.5	<0.005	<0.02	9.7	
8	499921-009	1408	14/08/2014	<0.005	<0.02	<0.01	<0.05	0.021	<0.001	<0.005	25.5	4	<0.001	<0.03	<0.5	<0.001	<0.01	<0.002	<0.5	0.07	99	<0.2	<0.005	<0.02	9	
9	499921-011	1146	16/08/2014	<0.005	<0.02	<0.01	<0.05	0.238	<0.001	<0.005	66.5	8	<0.001	<0.03	2	<0.001	<0.01	<0.002	<0.5	0.03	253	4.7	<0.005	<0.02	12.1	
10	499921-012	1524	14/08/2014	<0.005	<0.02	<0.01	<0.05	0.034	<0.001	<0.005	95.7	8	<0.001	<0.03	<0.5	<0.001	<0.01	<0.002	<0.5	0.05	237	1.6	<0.005	<0.02	16.4	
11	499921-013	1640	14/08/2014	<0.005	<0.02	<0.01	<0.05	0.053	<0.001	<0.005	98.4	10	<0.001	<0.03	<0.5	<0.001	<0.01	<0.002	<0.5	0.06	299	0.6	<0.005	<0.02	18	
12	499921-014	1632	16/08/2014	<0.005	<0.02	<0.01	<0.05	0.029	<0.001	<0.005	297	13	<0.001	<0.03	<0.5	<0.001	<0.01	<0.002	<0.5	0.09	508	2.3	<0.005	<0.02	77.5	
13	499921-015	1430	18/08/2014	<0.005	<0.02	<0.01	<0.05	0.031	<0.001	<0.005	181.9	10	<0.001	<0.03	<0.5	<0.001	<0.01	<0.002	<0.5	0.06	417	1.3	<0.005	<0.02	41.4	
14	499921-016	1342	16/08/2014	<0.005	<0.02	<0.01	<0.05	0.279	<0.001	<0.005	73.9	19	<0.001	<0.03	1.4	<0.001	<0.01	<0.002	<0.5	0.06	364	1.8	<0.005	<0.02	29.5	
15	499921-017	1434	16/08/2014	<0.005	<0.02	<0.01	<0.05	0.234	<0.001	<0.005	73.2	5	<0.001	<0.03	1	<0.001	<0.01	<0.002	<0.5	0.04	358	3.2	<0.005	<0.02	22.2	
16	499921-018	1737	16/08/2014	<0.005	<0.02	<0.01	<0.05	0.065	<0.001	<0.005	66.7	13	<0.001	<0.03	5	<0.001	<0.01	<0.002	<0.5	0.05	376	0.6	<0.005	<0.02	31.6	
17	499921-020	1250	19/08/2014	<0.005	<0.02	<0.01	<0.05	0.174	<0.001	<0.005	74	23	<0.001	<0.03	6	<0.001	<0.01	<0.002	<0.5	0.03	270	1.1	<0.005	<0.02	18.9	
18	499921-021	1140	19/08/2014	<0.005	<0.02	<0.01	<0.05	0.159	<0.001	<0.005	94.9	14	<0.001	<0.03	8	<0.001	<0.01	<0.002	<0.5	0.04	333	1.4	<0.005	<0.02	27.8	
19	499921-022	1050	19/08/2014	<0.005	<0.02	<0.01	<0.05	0.101	<0.001	<0.005	101.6	16	<0.001	<0.03	10	<0.001	<0.01	<0.002	<0.5	0.05	309	1.7	<0.005	<0.02	27.6	
20	499921-023	1030	23/10/2014	<0.005	<0.02	<0.01	<0.05	0.191	<0.001	<0.005	52.9	<1	<0.001	<0.03	<0.5	<0.001	<0.01	<0.002	<0.5	<0.01	209	0.8	<0.005	<0.02	17.6	
21	499921-024	1121	23/10/2014	<0.005	<0.02	<0.01	<0.05	0.033	<0.001	<0.005	170.8	<1	<0.001	<0.03	194.5	<0.001	<0.01	<0.002	<0.5	<0.01	196	1.6	<0.005	<0.02	26.8	
22	499921-025	1230	23/10/2014	<0.005	<0.02	<0.01	<0.05	0.157	<0.001	<0.005	90.4	10.56	<0.001	<0.03	0.9	<0.001	<0.01	0.002	<0.5	0.23	371	2.0	<0.005	<0.02	29.1	
23	499921-026	1319	23/10/2014	<0.005	<0.02	<0.01	<0.05	0.055	<0.001	<0.005	59.4	<1	<0.001	<0.03	1.0	<0.001	<0.01	<0.002	<0.5	<0.01	300	0.7	<0.005	<0.02	24.2	
24	499921-027	1430	23/10/2014	<0.005	<0.02	<0.01	<0.05	0.039	<0.001	<0.005	108.6	<1	<0.001	<0.03	6.2	<0.001	<0.01	<0.002	<0.5	<0.01	860	2.4	<0.005	<0.02	30.6	
25	499921-028	1030	24/10/2014	<0.005	0.111	<0.01	<0.05	0.008	<0.001	<0.005	9.9	<1	<0.001	<0.03	0.6	<0.001	<0.01	<0.002	<0.5	0.10	59	2.0	<0.005	<0.02	6.2	
26	499921-029	1413	24/10/2014	<0.005	<0.02	<0.01	<0.05	0.041	<0.001	<0.005	72.9	<1	<0.001	<0.03	<0.5	<0.001	<0.01	<0.002	<0.5	<0.01	259	1.0	<0.005	<0.02	22.9	
27	499921-030	1155	25/10/2014	<0.005	<0.02	<0.01	<0.05	0.031	<0.001	<0.005	89.1	6.10	<0.001	<0.03	2.2	<0.001	<0.01	<0.002	<0.5	<0.01	389	2.7	<0.005	<0.02	30.0	
28	499921-031	1300	25/10/2014	<0.005	<0.02	<0.01	<0.05	0.050	<0.001	<0.005	76.2	5.24	<0.001	<0.03	<0.5	<0.001	<0.01	<0.002	<0.5	<0.01	273	0.9	<0.005	<0.02	18.8	
29	499921-032	1330	25/10/2014	<0.005	<0.02	<0.01	<0.05	0.346	<0.001	<0.005	77.1	12.21	<0.001	<0.03	1.1	<0.001	<0.01	<0.002	<0.5	<0.01	353	0.8	<0.005	<0.02	30.5	
30	499921-033	1600	25/10/2014	<0.005	<0.02	2.16	17.11	0.199	0.002	<0.005	591.1	<1	<0.001	<0.03	2815.4	0.005	0.06	0.003	<0.5	2.18	1892	26.20	<0.005	0.02	84.0	
31	499921-036	1058	26/10/2014	<0.005	<0.02	<0.01	<0.05	0.111	0.114	<0.001	<0.005	59.5	<1	<0.001	<0.03	0.8	<0.001	<0.01	<0.002	<0.5	0.06	291	1.2	<0.005	<0.02	20.1
32	499921-037	1145	26/10/2014	<0.005	<0.02	<0.01	<0.05	0.08	0.04	<0.001	<0.005	58.9	<1	<0.001	<0.03	2.0	<0.001	<0.01	<0.002	<0.5	<0.01	260	0.8	<0.005	<0.02	18.5
33	499921-038	1233	26/10/2014	<0.005	<0.02	<0.01	<0.05	0.128	<0.001	<0.005	65.1	16.94	<0.001	<0.03	0.5	<0.001	<0.01	<0.002	<0.5	<0.01	233	0.2	<0.005	<0.02	11.9	
34	499921-040	1000	27/10/2014	<0.005	<0.02	<0.01	<0.05	0.050	<0.001	<0.005	61.5	<1	<0.001	<0.03	<0.5	<0.001	<0.01	<0.002	<0.5	0.74	231	3.6	<0.005	<0.02	14.6	
35	499921-041	1128	27/10/2014	<0.005	<0.02	<0.01	<0.05	0.144	<0.001	<0.005	62.0	13.88	<0.001	<0.03	<0.5	<0.001	<0.01	<0.002	<0.5	<0.01	206	5.1	<0.005	<0.02	10.6	
36	499921-042	1230	27/10/2014	<0.005	0.17	<0.01	<0.05	0.014	<0.001	<0.005	1.9	<1	<0.001	<0.03	1.1	<0.001	<0.01	0.003	<0.5	0.41	17	6.5	<0.005	<0.02	0.4	
37	499921-043	1314	27/10/2014	<0.005	<0.02	<0.01	<0.05	0.041	<0.001	<0.005	72.9	<1	<0.001	<0.03	<0.5	<0.001	<0.01	<0.002	<0.5	<0.01	226	0.3	<0.005	<0.02	5.9	
38	499921-044	1407	27/10/2014	<0.005	<0.02	<0.01	<0.05	0.028	<0.001	<0.005	42.2	8.19	<0.001	<0.03	<0.5	<0.001	<0.01	<0.002	<0.5	<0.01	124	0.4	<0.005	<0.02	3.7	
39	499921-046	0930	28/10/2014	<0.005	<0.02	<0.01	<0.05	0.138	<0.001	<0.005	84.0	5.28	<0.001	<0.03	<0.5	<0.001	<0.01	<0.002	<0.5	0.03	291	0.5	<0.005	<0.02	18.3	
40	499921-048	1033	28/10/2014	<0.005	<0.02	<0.01	<0.05	0.043	<0.001	<0.005	104.3	<1	<0.001	<0.03	<0.5	<0.001	<0.01	<0.002	<0.5	<0.01	288	0.6	<0.005	<0.02	8.1	
41	499921-049	1127	28/10/2014	<0.005	<0.02	<0.01	<0.05	0.114	<0.001	<0.005	86.7	<1	<0.001	<0.03	<0.5	<0.001	<0.01	<0.002	<0.5	0.14	273	<0.2	<0.005	<0.02	7.6	
42	499921-052	1237	30/10/2014	<0.005	<0.02	<0.01	<0.05	0.011	<0.001	<0.005	10.2	<1	<0.001	<0.03	<0.5	<0.001	<0.01	<0.002	<0.5	0.03	61	1.4	<0.005	<0.02	1.7	
43	499921-053	1530	30/10/2014	<0.005	<0.02	<0.0																				

A12. RESULTADO DE LABORATORIO DE METALES DISUELTOS DE FUENTES MONITOREADAS EN ÉPOCA DE LLUVIA.

CÓDIGO	Hora	Fecha	CO ₃ ²⁻ (mg/L)	HCO ₃ ⁻ (mg/L)	F (mg/L)	Cl (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	NO ₂ ⁻ (mg/L)	Na (mg/L)	Mg (mg/L)	K (mg/L)	Ca (mg/L)	Sr (mg/L)	Li (mg/L)	SiO ₂ (mg/L)	Ag (mg/L)	Al (mg/L)	As (mg/L)	B (mg/L)	Ba (mg/L)	Be (mg/L)	Bi (mg/L)	Cd (mg/L)
499921-001	152500	23/03/2015	9	117	<0.5	<0.5	<1	7	<1	0.2	8.1	<0.2	32.4	0.50	<0.02	4.0	<0.005	<0.02	<0.01	<0.05	0.046	<0.001	<0.005	<0.001
499921-002	170100	23/03/2015	9	111	<0.5	<0.5	<1	6	<1	3.1	7.6	0.7	32.6	0.42	<0.02	2.5	<0.005	<0.02	<0.01	<0.05	0.044	<0.001	<0.005	<0.001
499921-008	104400	15/03/2015	7	174	<0.5	<0.5	<1	29	<1	3.4	9.8	0.7	54.0	0.21	<0.02	10.7	<0.005	<0.02	<0.01	<0.05	0.030	<0.001	<0.005	<0.001
499921-009	130800	15/03/2015	4	199	<0.5	<0.5	<1	33	<1	2.9	10.4	0.8	56.8	0.23	<0.02	9.7	<0.005	<0.02	<0.01	<0.05	0.037	<0.001	<0.005	<0.001
499921-012	152500	15/03/2015	8	217	<0.5	<0.5	<1	84	<1	4.2	18.7	2.1	80.0	0.22	<0.02	9.3	<0.005	<0.02	<0.01	<0.05	0.032	<0.001	<0.005	<0.001
499921-013	93700	22/03/2015	5	267	<0.5	<0.5	<1	49	<1	4.4	18.9	0.9	81.9	0.35	<0.02	13.4	<0.005	<0.02	<0.01	<0.05	0.051	<0.001	<0.005	<0.001
499921-014	102000	22/03/2015	18	429	<0.5	<0.5	<1	413	<1	6.6	60.0	2.7	205.6	0.47	<0.02	13.8	<0.005	<0.02	<0.01	0.07	0.029	<0.001	<0.005	<0.001
499921-015	110100	22/03/2015	6	389	<0.5	<0.5	<1	310	<1	6.4	46.1	1.9	169.2	0.50	<0.02	14.1	<0.005	<0.02	<0.01	<0.05	0.037	<0.001	<0.005	<0.001
499921-016	120400	14/03/2015	11	356	<0.5	1.9	2	33	<1	6.6	36.5	3.2	74.5	0.33	<0.02	22.1	<0.005	<0.02	<0.01	<0.05	0.132	<0.001	<0.005	<0.001
499921-017	132800	14/03/2015	5	319	<0.5	1.4	4	25	<1	8.2	25.2	4.4	69.0	0.21	<0.02	27.0	<0.005	<0.02	<0.01	<0.05	0.233	<0.001	<0.005	<0.001
499921-018	140900	14/03/2015	11	378	<0.5	5.8	8	27	<1	20.6	40.1	1.2	65.2	0.32	<0.02	29.4	<0.005	<0.02	<0.01	0.07	0.055	<0.001	<0.005	<0.001
499921-020	123000	21/03/2015	7	265	<0.5	6.0	11	35	<1	11.3	21.8	1.5	69.8	0.30	<0.02	23.5	<0.005	<0.02	<0.01	<0.05	0.178	<0.001	<0.005	<0.001
499921-021	113100	21/03/2015	14	302	<0.5	8.2	14	88	<1	12.8	32.4	1.7	93.2	1.14	<0.02	21.5	<0.005	<0.02	<0.01	<0.05	0.166	<0.001	<0.005	<0.001
499921-023	123500	19/03/2015	10	178	<0.5	<0.5	<1	20	<1	4.9	17.8	0.9	43.8	0.51	<0.02	13.9	<0.005	<0.02	<0.01	<0.05	0.161	<0.001	<0.005	<0.001
499921-024	100000	19/03/2015	7	163	<0.5	113.7	1	186	<1	77.3	20.8	1.5	110.5	2.02	<0.02	11.2	<0.005	<0.02	0.01	0.05	0.031	<0.001	<0.005	<0.001
499921-033	165000	22/03/2015	<1	1849	<0.5	3056.0	<1	306	<1	1891.4	80.7	320.8	456.8	11.85	8.46	71.0	<0.005	<0.02	1.75	19.01	0.074	<0.001	<0.005	<0.001
499921-064	144000	22/03/2015	11	134	<0.5	<0.5	2	5	<1	3.0	9.3	0.5	37.8	0.06	<0.02	13.2	<0.005	<0.02	<0.01	<0.05	0.145	<0.001	<0.005	<0.001
499921-066	160500	21/03/2015	2	270	<0.5	1.4	16	15	<1	9.6	9.0	2.6	78.1	0.19	<0.02	22.8	<0.005	<0.02	<0.01	<0.05	0.117	<0.001	<0.005	<0.001
499921-067	144900	24/03/2015	<1	53	<0.5	<0.5	<1	7	<1	2.7	5.9	0.5	9.0	0.04	<0.02	8.2	<0.005	<0.02	<0.01	<0.05	0.035	<0.001	<0.005	<0.001
499921-070	130600	24/03/2015	10	99	<0.5	<0.5	<1	18	<1	4.0	11.1	0.7	28.1	0.13	<0.02	11.0	<0.005	<0.02	<0.01	<0.05	0.034	<0.001	<0.005	<0.001
Límite máximo de detección			1	1	0.5	0.5	1	2	1	0.1	0.1	0.2	0.3	0.02	0.02	0.5	0.005	0.02	0.01	0.05	0.003	0.001	0.005	0.001
CÓDIGO	Hora	Fecha	Ce (mg/L)	Co (mg/L)	Cr (mg/L)	Cu (mg/L)	Fe (mg/L)	La (mg/L)	Mn (mg/L)	Mo (mg/L)	Ni (mg/L)	Pb (mg/L)	S (mg/L)	Sb (mg/L)	Se (mg/L)	Sn (mg/L)	Th (mg/L)	Ti (mg/L)	Tl (mg/L)	U (mg/L)	V (mg/L)	W (mg/L)	Y (mg/L)	Zn (mg/L)
499921-001	152500	23/03/2015	<0.03	<0.001	<0.01	<0.002	<0.01	<0.005	<0.001	<0.005	<0.005	<0.005	3.3	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.02	<0.005	<0.02	<0.005	<0.02	<0.003
499921-002	170100	23/03/2015	<0.03	<0.001	<0.01	<0.002	<0.01	<0.005	<0.001	<0.005	<0.005	<0.005	2.9	<0.005	<0.003	<0.005	<0.005	<0.005	<0.02	<0.005	<0.02	<0.005	<0.02	<0.003
499921-008	104400	15/03/2015	<0.03	<0.001	<0.01	<0.002	<0.01	<0.005	<0.001	<0.005	<0.005	<0.005	11.0	<0.005	<0.003	<0.005	<0.005	<0.005	<0.02	<0.005	<0.02	<0.005	<0.02	<0.003
499921-009	130800	15/03/2015	<0.03	<0.001	<0.01	<0.002	<0.01	<0.005	0.009	<0.005	<0.005	<0.005	8.8	<0.005	<0.003	<0.005	<0.005	<0.005	<0.02	<0.005	<0.02	<0.005	<0.02	<0.003
499921-012	152500	15/03/2015	<0.03	<0.001	<0.01	<0.002	<0.01	<0.005	<0.001	<0.005	<0.005	<0.005	30.4	<0.005	<0.003	<0.005	<0.005	<0.005	<0.02	<0.005	<0.02	<0.005	<0.02	<0.003
499921-013	93700	22/03/2015	<0.03	<0.001	<0.01	<0.002	<0.01	<0.005	0.027	0.007	<0.005	<0.005	20.9	<0.005	<0.003	<0.005	<0.005	<0.005	<0.02	<0.005	<0.02	<0.005	<0.02	0.003
499921-014	102000	22/03/2015	<0.03	<0.001	<0.01	<0.002	<0.01	<0.005	0.001	<0.005	<0.005	<0.005	141.5	<0.005	<0.003	<0.005	<0.005	<0.005	<0.02	<0.005	<0.02	<0.005	<0.02	0.003
499921-015	110100	22/03/2015	<0.03	<0.001	<0.01	<0.002	<0.01	<0.005	0.207	<0.005	0.008	<0.005	107.7	<0.005	<0.003	<0.005	<0.005	<0.005	<0.02	<0.005	<0.02	<0.005	<0.02	0.008
499921-016	120400	14/03/2015	<0.03	<0.001	<0.01	<0.002	<0.01	<0.005	0.016	<0.005	<0.005	<0.005	12.3	<0.005	<0.003	<0.005	<0.005	<0.005	<0.02	<0.005	<0.02	<0.005	<0.02	<0.003
499921-017	132800	14/03/2015	<0.03	<0.001	<0.01	<0.002	0.01	<0.005	0.009	<0.005	<0.005	<0.005	9.0	<0.005	<0.003	<0.005	<0.005	<0.005	<0.02	<0.005	<0.02	<0.005	<0.02	<0.003
499921-018	140900	14/03/2015	<0.03	<0.001	<0.01	<0.002	<0.01	<0.005	0.017	0.013	<0.005	<0.005	10.1	<0.005	<0.003	<0.005	<0.005	<0.005	<0.02	<0.005	<0.02	<0.005	<0.02	<0.003
499921-020	123000	21/03/2015	<0.03	<0.001	<0.01	<0.002	<0.01	<0.005	<0.001	<0.005	<0.005	<0.005	13.1	<0.005	<0.003	<0.005	<0.005	<0.005	<0.02	<0.005	<0.02	<0.005	<0.02	<0.003
499921-021	113100	21/03/2015	<0.03	<0.001	<0.01	<0.002	<0.01	<0.005	<0.001	<0.005	<0.005	<0.005	31.3	<0.005	<0.003	<0.005	<0.005	<0.005	<0.02	<0.005	<0.02	<0.005	<0.02	<0.003
499921-023	123500	19/03/2015	<0.03	<0.001	<0.01	<0.002	<0.01	<0.005	<0.001	<0.005	<0.005	<0.005	8.4	<0.005	<0.003	<0.005	<0.005	<0.005	<0.02	<0.005	<0.02	<0.005	<0.02	<0.003
499921-024	100000	19/03/2015	<0.03	<0.001	<0.01	<0.002	<0.01	<0.005	<0.001	<0.005	<0.005	<0.005	65.1	<0.005	<0.003	<0.005	<0.005	<0.005	<0.02	<0.005	<0.02	<0.005	<0.02	0.008
499921-033	165000	22/03/2015	<0.03	0.002	<0.01	0.005	<0.01	<0.005	0.134	<0.005	0.010	<0.005	113.0	0.039	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.02	<0.005	0.03	<0.005	<0.02	0.017
499921-064	144000	22/03/2015	<0.03	<0.001	<0.01	<0.002	<0.01	<0.005	<0.001	<0.005	<0.005	<0.005	2.8	<0.005	<0.003	<0.005	<0.005	<0.005	<0.02	<0.005	<0.02	<0.005	<0.02	<0.003
499921-066	160500	21/03/2015	<0.03	<0.001	<0.01	<0.002	<0.01	<0.005	<0.001	<0.005	<0.005	<0.005	6.1	<0.005	<0.003	<0.005	<0.005	<0.005	<0.02	<0.005	<0.02	<0.005	<0.02	<0.003
499921-067	144900	24/03/2015	<0.03	<0.001	<0.01	<0.002	<0.01	<0.005	0.006	<0.005	<0.005	<0.005	2.8	<0.005	<0.003	<0.005	<0.005	<0.005	<0.02	<0.005	<0.02	<0.005	<0.02	<0.003
499921-070	130600	24/03/2015	<0.03	<0.001	<0.01	<0.002	<0.01	<0.005	<0.001	0.009	<0.005	<0.005	7.2	<0.005	<0.003	<0.005	<0.005	<0.005	<0.02	<0.005	<0.02	<0.005	<0.02	<0.003
Límite máximo de detección			0.03	0.001	0.01	0.002	0.01	0.005	0.001	0.005	0.005	0.005	0.5	0.005	0.03	0.005	0.05	0.005	0.02	0.05	0.02	0.05	0.02	0.003

A13. CÁLCULOS DE LA CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA EN LA MICROCUENCA MARIÑO.



HIDROGEOLOGÍA DE LA MICROCUENCA MARIÑO

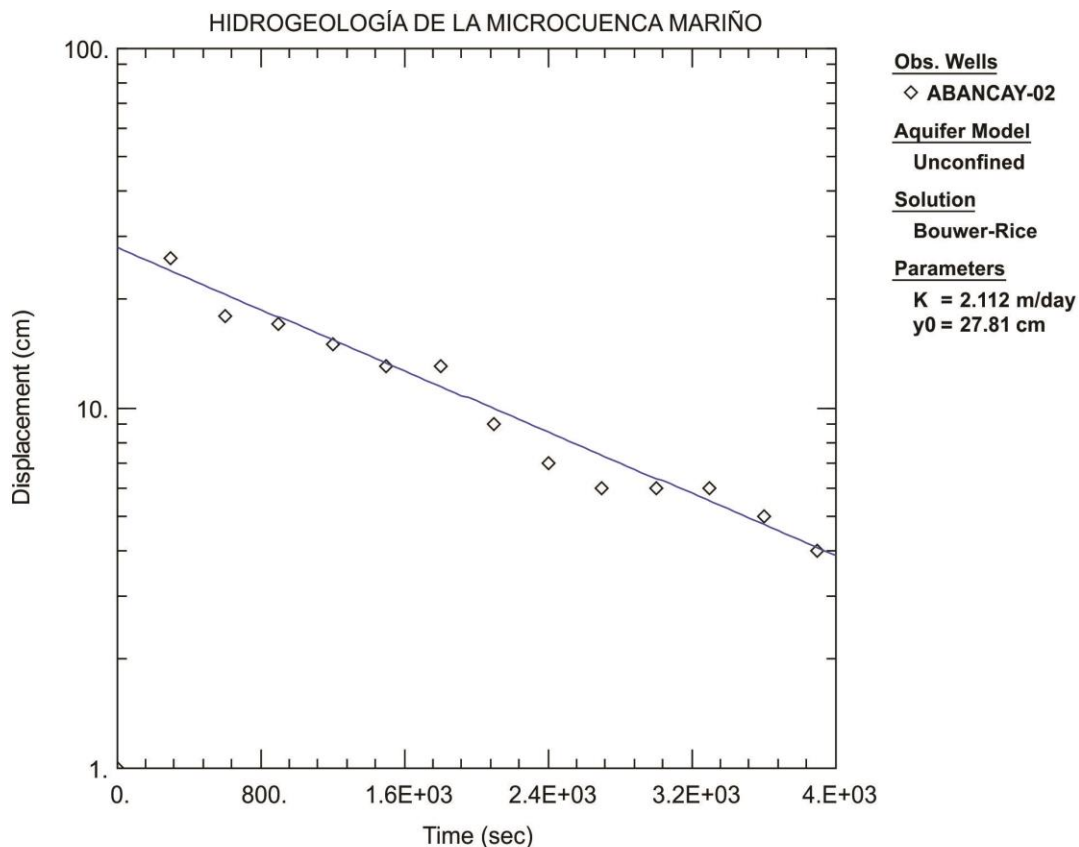
DATA Set D:\...\Abancay-01.aqt
Date: 20/08/2015

PROJECT INFORMATION
Company: INGEMMET
Project: GA-44B
Locación: (Laguna Angascocha) TAMBURCO-ABANCAY-APURIMAC
Test well: Abancay-01
Test Date: 14/08/2014

ACUIFER DATA
Saturated Thickness: 60 cm Anisotropy Ratio (kz/kr) : 1
Lithology: Material derrumbado suelo con lutitas Training: Depósitos morrénicos
y bloques de caliza, arenisca y lutita morrénico en
una matriz limo arcillosa de color gris oscuro, los
clastos de caliza tienen un diametro promedio de
30 cm , tienen color blanquesino

WELL DATA (MARIÑO-01)
Initial Displacement : Static water column height : 60 cm
Penetration Depth : 1 cm Pipe length : 60 cm
Casing Radius : 2.54 cm Diameter : 5.08 cm

SOLUTION
Acuifer Model : Unconfined Solution Method: Bouwer-Rice
K = 1.597 m/dia **y0 = 46.28 cm**



HIDROGEOLOGÍA DE LA MICROCUENCA MARIÑO

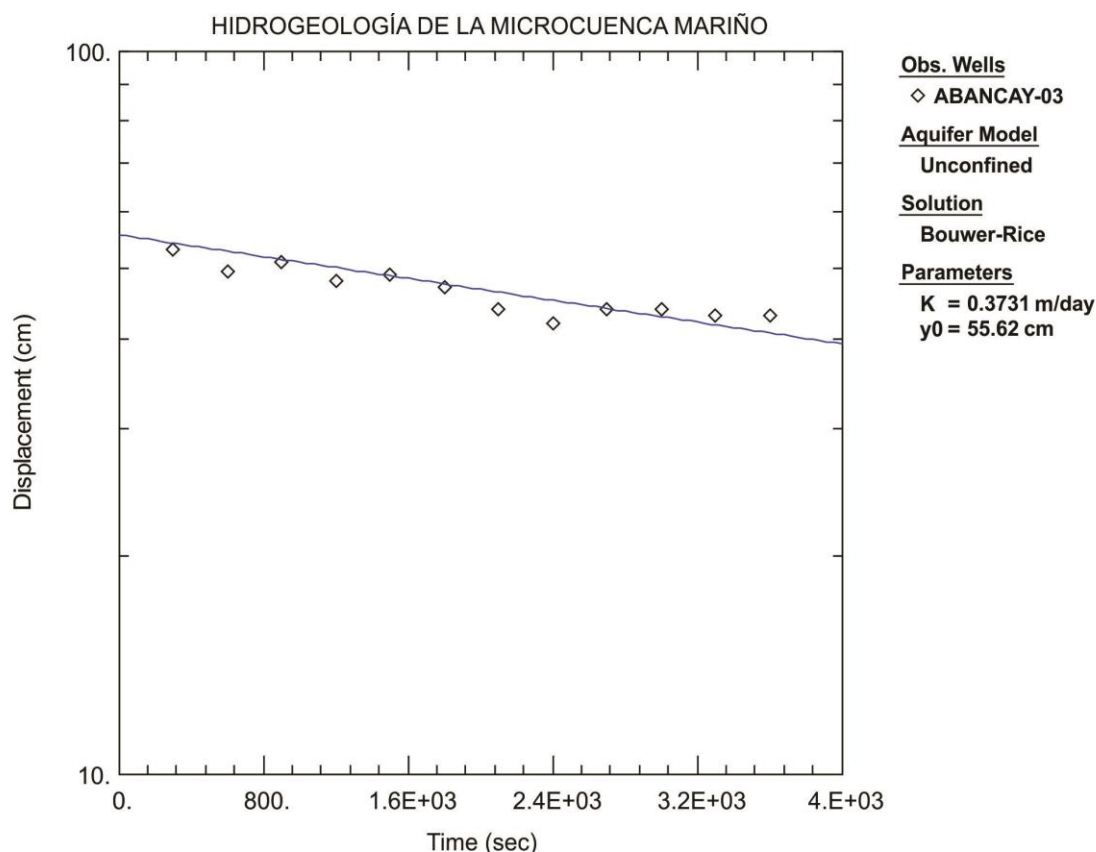
DATA Set D:\...\Abancay-02.aqt
 Date: 20/08/2015

PROJECT INFORMATION
 Company: INGEMMET
 Project: GA-44B
 Locación: (Laguna Angascocha) TAMBURCO-ABANCAY-APURIMAC
 Test well: Abancay-02
 Test Date: 14/08/2014

ACUIFER DATA
 Saturated Thickness: 60 cm
 Lithology: Material de suelo limo-arcilloso con presencia de bloques blanquecinos, lutitas y calizas de diámetro promedio de 45 cm.
 Anisotropy Ratio (kz/kr) : 1
 Training: Depósitos morrénicos

WELL DATA (MARIÑO-02)
 Initial Displacement :
 Penetration Depth : 1 cm
 Casing Radius : 2.54 cm
 Static water column height : 60 cm
 Pipe length : 60 cm
 Diameter : 5.08 cm

SOLUTION
 Acuífer Model : Unconfined
 K = 2.112 m/día
 Solution Method: Bouwer-Rice
 y0 = 27.81 cm



HIDROGEOLOGÍA DE LA MICROCUENCA MARIÑO

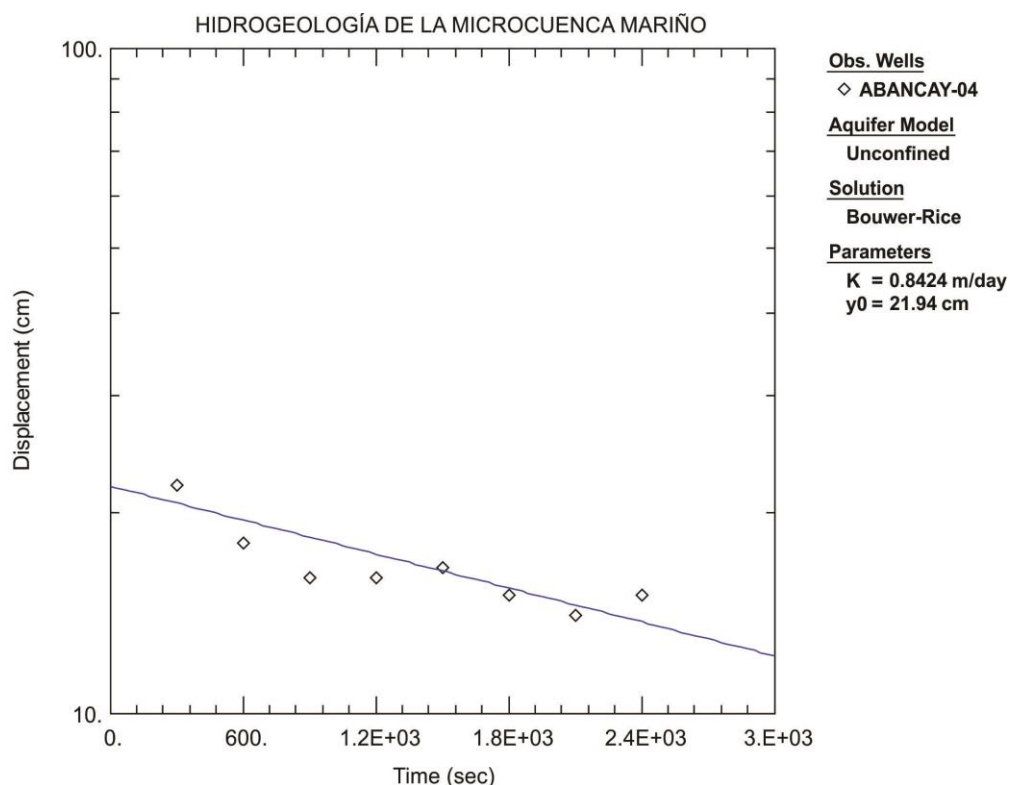
DATA Set D:\...\ Abancay-03.aqt
Date: 20/08/2015

PROJECT INFORMATION
Company: INGEMMET
Project: GA-44B
Locación: (Laguna Angascocha) TAMBURCO-ABANCAY-APURIMAC
Test well: Abancay-03
Test Date: 31/10/2014

ACUIFER DATA
Saturated Thickness: 60 cm Anisotropy Ratio (kz/kr) : 1
Lithology: Bloques heterométricos angulosos, Training: Depósitos morrénicos
cantos y gravas de diferente tipo de rocas
en una matriz areno-arcillosa

WELL DATA (MARIÑO-03)
Initial Displacement : Static water column height : 60 cm
Penetration Depth : 1 cm Pipe length : 60 cm
Casing Radius : 2.54 cm Diameter : 5.08 cm

SOLUTION
Acuifer Model : Unconfined Solution Method: Bouwer-Rice
K = 0.3731 m/día **y0 = 55.62 cm**



HIDROGEOLOGÍA DE LA MICROCUENCA MARIÑO

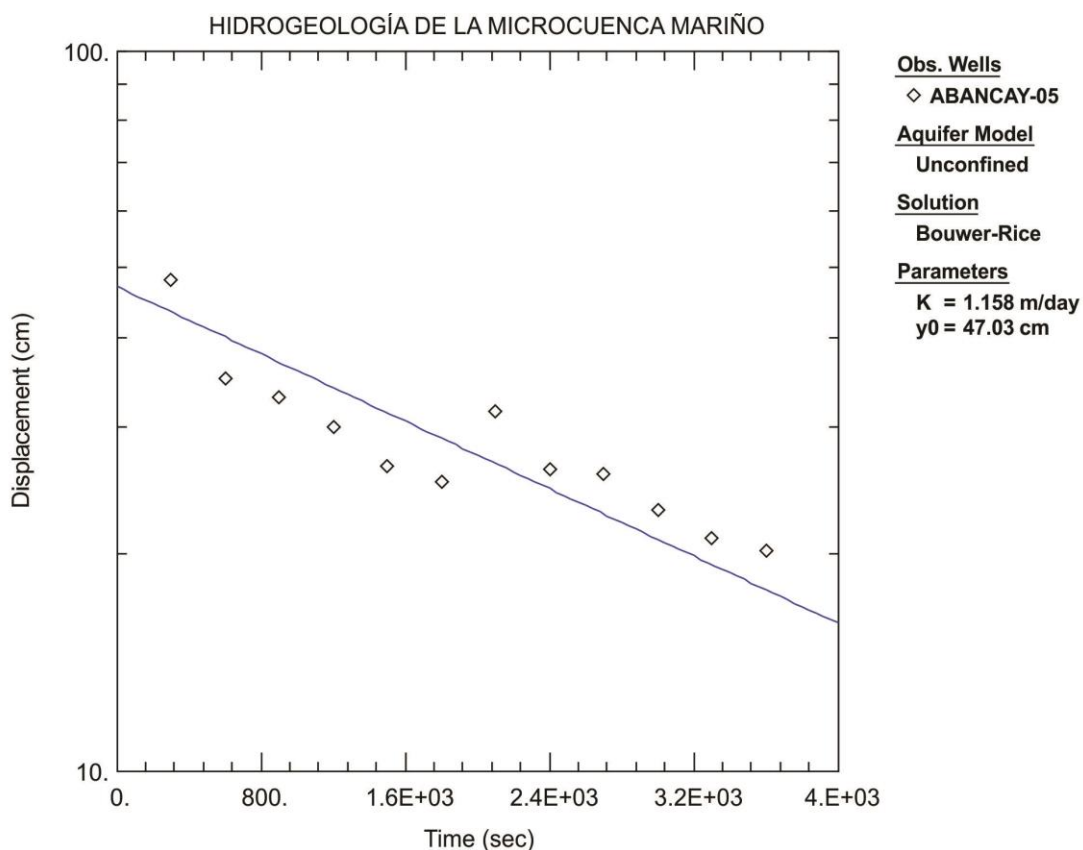
DATA Set D:\...\ Abancay-04.aqt
 Date: 20/08/2015

PROJECT INFORMATION
 Company: INGEMMET
 Project: GA-44B
 Locación: (Laguna Uspacocha) TAMBURCO-ABANCAY-APURIMAC
 Test well: Abancay-04
 Test Date: 31/10/2014

ACUIFER DATA
 Saturated Thickness: 60 cm Anisotropy Ratio (kz/kr) : 1
 Lithology: Bloques heterométricos angulosos, Training: Depósitos morrénicos
 cantos y gravas de diferente tipo de rocas
 en una matriz areno-arcillosa

WELL DATA (MARIÑO-04)
 Initial Displacement : Static water column height : 60 cm
 Penetration Depth : 1 cm Pipe length : 60 cm
 Casing Radius : 2.54 cm Diameter : 5.08 cm

SOLUTION
 Acuífer Model : Unconfined Solution Method: Bouwer-Rice
 K = 0.8424 m/día y0 = 21.94 cm



HIDROGEOLOGÍA DE LA MICROCUENCA MARIÑO

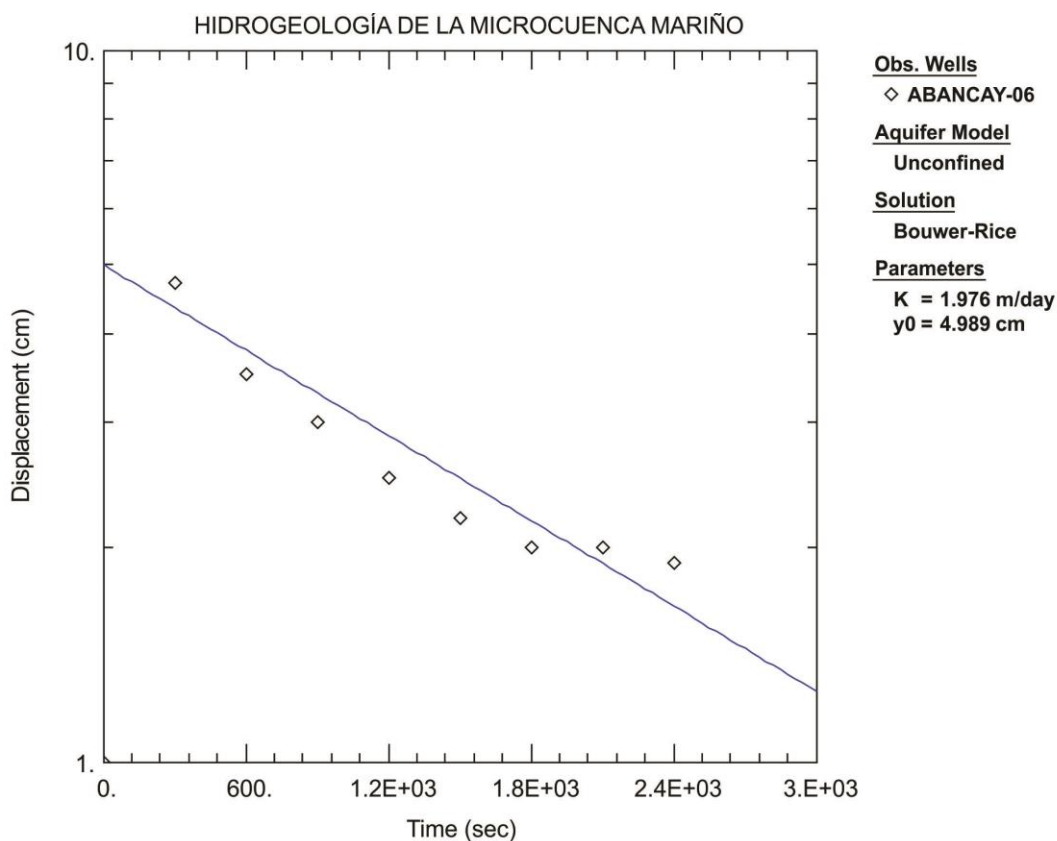
DATA Set D:\...\Abancay-05.aqt
Date: 20/08/2015

PROJECT INFORMATION
Company: INGEMMET
Project: GA-44B
Locación: (Laguna Angascocha) TAMBURCO-ABANCAY-APURIMAC
Test well: Abancay-05
Test Date: 31/08/2014

ACUIFER DATA
Saturated Thickness: 60 cm Anisotropy Ratio (kz/kr) : 1
Lithology: Bloques heterométricos angulosos, Training: Depósitos morrénicos
cantos y gravas de diferente tipo de rocas
en una matriz areno-arcillosa

WELL DATA (MARIÑO-05)
Initial Displacement : Static water column height : 60 cm
Penetration Depth : 1 cm Pipe length : 60 cm
Casing Radius : 2.54 cm Diameter : 5.08 cm

SOLUTION
Acuifer Model : Unconfined Solution Method: Bouwer-Rice
K = 1.158 m/dia **y0 = 47.03 cm**



HIDROGEOLOGÍA DE LA MICROCUENCA MARIÑO

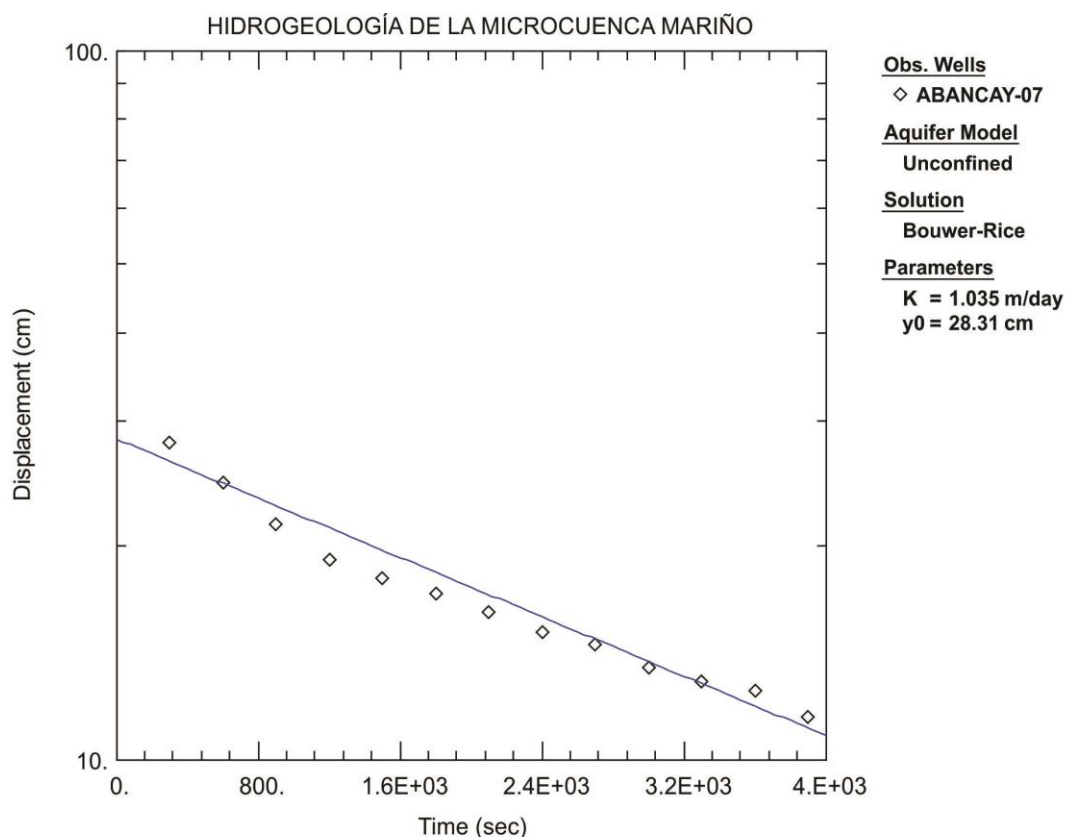
DATA Set D:\...\ Abancay-06.aqt
Date: 10/12/2014

PROJECT INFORMATION
Company: INGEMMET
Project: GA-44B
Locación: (Laguna Angascocha) TAMBURCO-ABANCAY-APURIMAC
Test well: Abancay-06
Test Date: 31/08/2014

ACUIFER DATA
Saturated Thickness: 60 cm Anisotropy Ratio (kz/kr) : 1
Lithology: Bloques heterométricos angulosos, Training: Depósitos morrénicos
cantos y gravas de diferente tipo de rocas
en una matriz limo areno-arcillosa

WELL DATA (MARIÑO-06)
Initial Displacement : Static water column height : 60 cm
Penetration Depth : 1 cm Pipe length : 60 cm
Casing Radius : 2.54 cm Diameter : 5.08 cm

SOLUTION
Acuifer Model : Unconfined Solution Method: Bouwer-Rice
K = 1.976 m/dia **y0 = 4.989 cm**



HIDROGEOLOGÍA DE LA MICROCUENCA MARIÑO

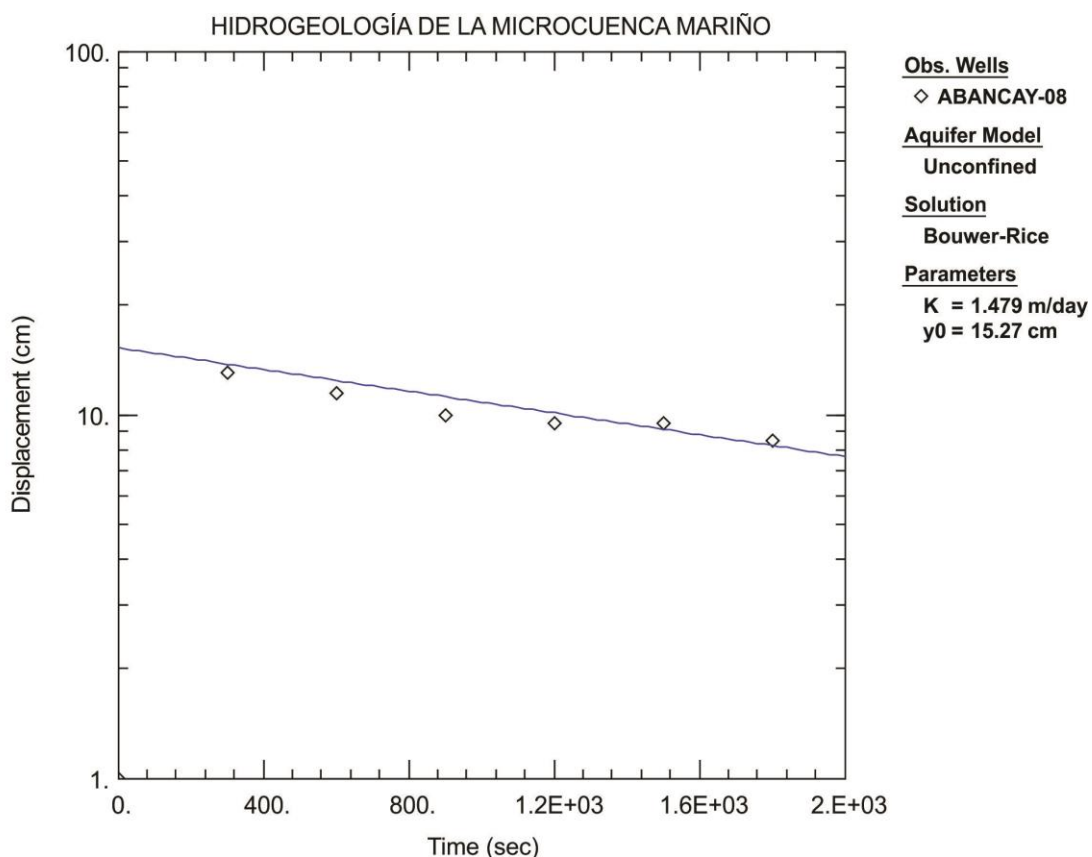
DATA Set D:\...\Abancay-07.aqt
Date: 20/08/2015

PROJECT INFORMATION
Company: INGEMMET
Project: GA-44B
Locación: (Laguna Angascocha) TAMBURCO-ABANCAY-APURIMAC
Test well: Abancay-07
Test Date: 03/10/2014

ACUIFER DATA
Saturated Thickness: 60 cm Anisotropy Ratio (kz/kr) : 1
Lithology: Bloques heterométricos angulosos, Training: Depósitos morrénicos
cantos y gravas de diferente tipo de rocas
en una matriz areno-arcillosa

WELL DATA (MARIÑO-07)
Initial Displacement : Static water column height : 60 cm
Penetration Depth : 1 cm Pipe length : 60 cm
Casing Radius : 2.54 cm Diameter : 5.08 cm

SOLUTION
Acuifer Model : Unconfined Solution Method: Bouwer-Rice
K = 1.035 m/dia **y0 = 28.31 cm**



HIDROGEOLOGÍA DE LA MICROCUENCA MARIÑO

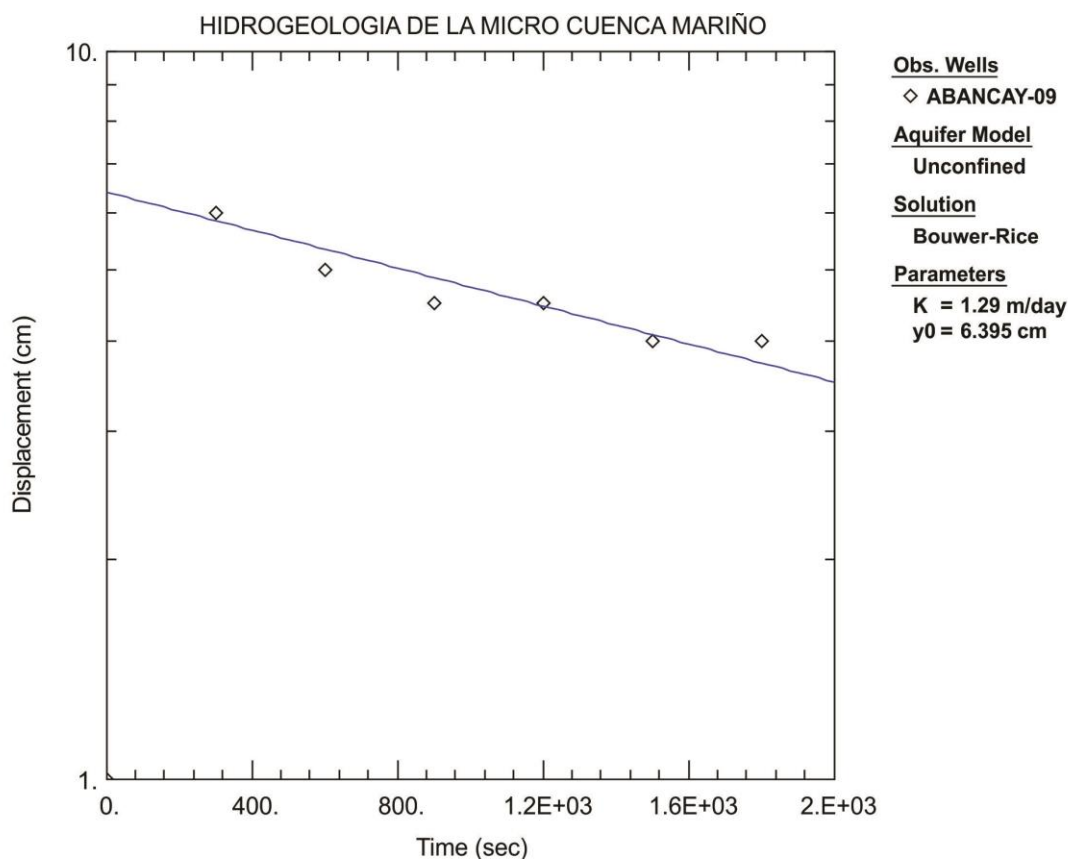
DATA Set D:\...\Abancay-08.aqt
 Date: 20/08/2015

PROJECT INFORMATION
 Company: INGEMMET
 Project: GA-44B
 Locación: (Laguna Wilcacocha) ABANCAY-ABANCAY-APURIMAC
 Test well: Abancay-08
 Test Date: 23/03/2015

ACUIFER DATA
 Saturated Thickness: 60 cm Anisotropy Ratio (kz/kr) : 1
 Lithology: Rocas calizas plegadas y fracturadas. Training: Depósitos morrénicos

WELL DATA (MARIÑO-08)
 Initial Displacement : Static water column height : 60 cm
 Penetration Depth : 1 cm Pipe length : 60 cm
 Casing Radius : 2.54 cm Diameter : 5.08 cm

SOLUTION
 Acuífer Model : Unconfined Solution Method: Bouwer-Rice
 K = 1.479 m/día **y0 = 15.27 cm**



HIDROGEOLOGÍA DE LA CIUDAD DE ABANCAY

DATA Set D:\...\Abancay-09.aqt
Date: 20/08/2015

PROJECT INFORMATION
Company: INGEMMET
Project: GA-44B
Locación: (Laguna Wilcacocha) ABANCAY-ABANCAY-APURIMAC
Test well: Abancay-09
Test Date: 23/03/2015

ACUIFER DATA
Saturated Thickness: 60 cm Anisotropy Ratio (kz/kr) : 1
Lithology: Rocas calizas plegadas y fracturadas. Training: Depósitos morrénicos

WELL DATA (MARIÑO-09)
Initial Displacement : Static water column height : 60 cm
Penetration Depth : 1 cm Pipe length : 60 cm
Casing Radius : 2.54 cm Diameter : 5.08 cm

SOLUTION
Acuifer Model : Unconfined Solution Method: Bouwer-Rice
K = 1.29 m/dia **y0 = 6.395 cm**