



XVIII Congreso Peruano de Geología

HIDROGEOLOGÍA E HIDROQUÍMICA DE LA PARTE ALTA DE LA CUENCA DEL RÍO PUCARA - MICROCUENCA DEL RÍO CHACAPALCA

Danitza Machaca Fernandez¹, Josemanuel Carpio Fernandez² y Baclimer Quispe Yanapa³

¹ INGEMMET, Av. Canadá N° 1470, Lima, Perú (dmachaca@ingemmet.gob.pe)

² INGEMMET, Av. Canadá N° 1470, Lima, Perú (jcarpio@ingemmet.gob.pe)

³ Universidad Nacional del Altiplano, Av. Sesquicentenario 1150, Puno, Perú (baclimer@gmail.com)

1. Introducción

En la microcuenca se identifican características hidrogeológicas y propiedades hidroquímicas del agua subterránea, recolectadas en la parte alta de la Cuenca del río Pucara (microcuenca Chacapalca) ubicado en el distrito de Ocuvi; entre las coordenadas UTM Este 286573 - 311334 y Norte 8300814 - 8334455; con un área aproximada de 515.9 Km². La microcuenca tiene un relieve variado, producto de una compleja actividad tectónica. La zona de recarga se ubica en la parte alta de la microcuenca donde los acuíferos fisurados se alimentan directamente de la precipitación pluvial, la que infiltra por medio de fracturas, facilitando la percolación para el almacenamiento de agua subterránea; las condiciones estructurales provocan el afloramiento de manantiales a través de distintas estructuras locales las que se encuentran limitadas por rocas impermeables. En general los acuíferos fisurados de naturaleza volcánica son de baja productividad. Con el propósito de analizar los aspectos hidrogeológicos e hidroquímicos se ha realizado el inventario de fuentes de aguas subterráneas junto con el levantamiento de parámetros físico - químicos in situ (con equipos portátiles de campo), pruebas hidráulicas (aforos) y análisis litológico.

Las propiedades hidroquímicas indican que los manantiales pertenecen a diferentes unidades hidrogeológicas, correspondientes a rocas volcánicas del Cenozoico las mismas que se encuentran influenciadas por controles estructurales regionales y locales, dando lugar a distintos tipos de geoformas. Las aguas de los manantiales evaluados tienen variados comportamientos, debido a la presencia de zonas mineralizadas y diversa composición litológica. Los contenidos isotópicos de la fuente termal muestran una variación de $\delta^{18}O$.

2. Geología e Hidrogeología

La geología es la base principal para la hidrogeología, los materiales geológicos nos permiten identificar las características de litopermeabilidad de la microcuenca, asimismo permite conocer la composición química de las aguas subterráneas. Los materiales geológicos están conformados esencialmente por rocas cenozoicas que afloran ampliamente en toda la extensión de la microcuenca. Sin embargo, la Formación Ayavacas correspondiente al mesozoico presenta pequeños afloramientos indistintamente a lo largo del río Chacapalca debido a fallas inversas, la Formación Ayavacas está compuesta primordialmente por calizas fracturadas y plegadas, clasificándola como acuífero fisurado sedimentario.

El Grupo Puno está constituido principalmente por areniscas rojizas rosadas, conglomerados, areniscas conglomeradas, vulcarenitas y tobas; aflorando en estratos medianos a los alrededores del río Ocuvi, los estratos de este grupo presentan baja permeabilidad, sin embargo, se registró manantiales de bajo caudal clasificándose como acuitardo. El Grupo Tacaza aflora principalmente a los alrededores del distrito de Parina; constituido por una secuencia de depósitos de ambiente lagunar y volcánicos de naturaleza lávica piroclástica y aglomerada, se encuentra fracturada y plegada de forma indistinta; en este grupo afloran la mayor cantidad de manantiales debido a sus características litológicas y estructurales, por lo que se le clasifica como acuífero fisurado volcánico. La Formación Palca aflora a los alrededores del distrito de Antaymarca y Parina en general está constituida por tobas y conglomerados tobaceos; se registraron manantiales de distintos caudales los mismos que surgen en contacto con el Grupo Sillapaca;

esta formación es considerada de baja permeabilidad clasificándola como acuitardo. El Grupo Sillapaca aflora a los alrededores de Ocuvi, está constituida por piroclásticos aglomerádicos, lavas andesíticas, dacíticas y traquiandesítica; los estratos que conforman esta formación son de baja permeabilidad por lo que se le clasifica como acuitardo.

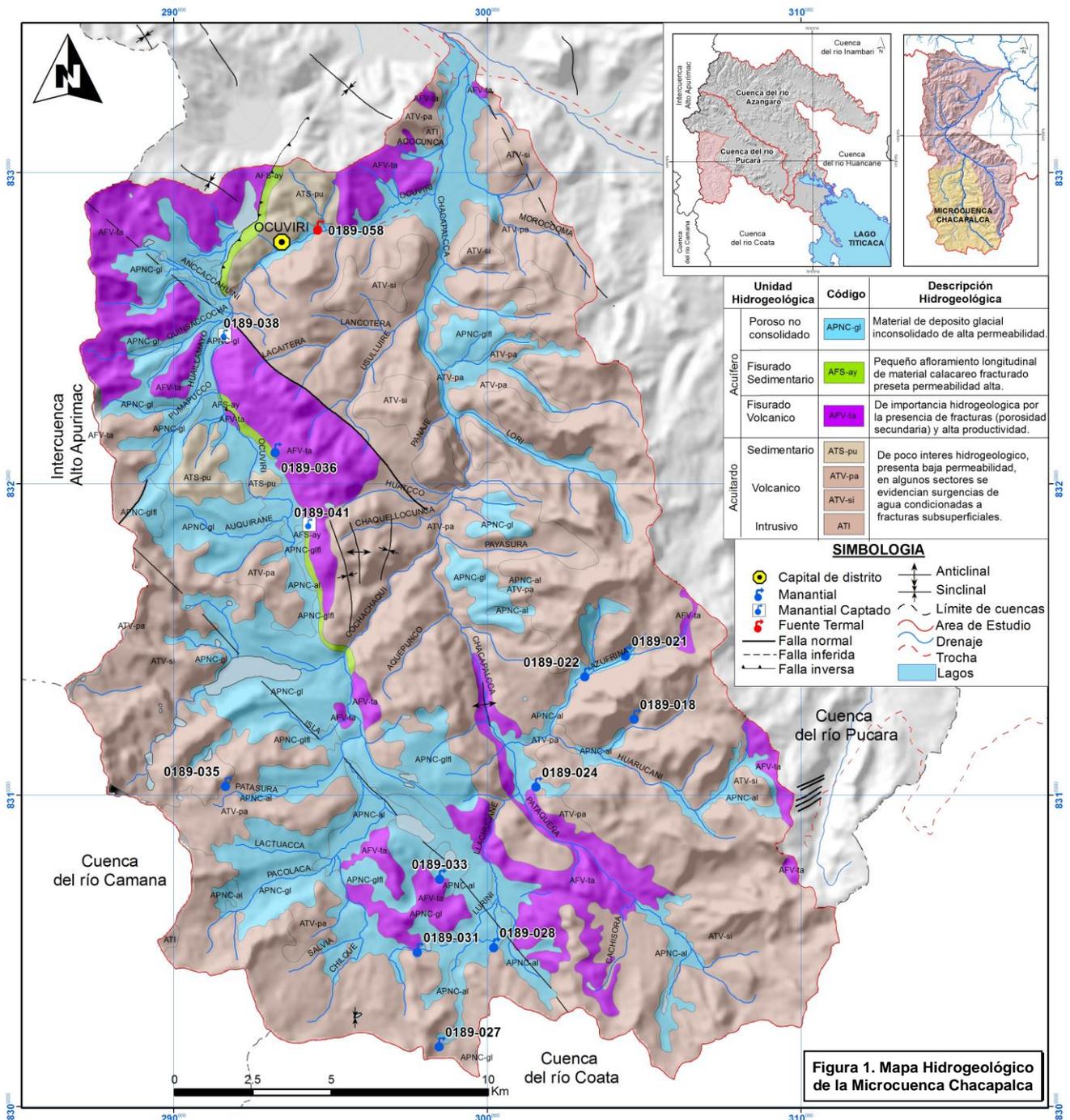
Los Depósitos Glaciares se ubican a los alrededores de la quebrada Pataqueña; se encuentran influenciados por la presencia del nevado Lamparasi; está compuesto por morrenas de fragmentos variables, con importancia hidrogeológica. Los Depósitos Aluviales (más recientes), están distribuidos por toda la cuenca, rellenando las quebradas, son materiales permeables de importancia hidrogeológica. Los Depósitos Fluviales se ubican rellenando las quebradas a los alrededores del río Ocuvi, los mismos que poseen muy buenas condiciones para formar acuíferos; por lo que se le clasifica como acuífero poroso no consolidado.

Las rocas intrusivas de distintas edades y litología

variable son por lo general compactas, tienden a comportarse como una barrera impermeable

La parte estructural la conforman los lineamientos, fracturas y fallas que afectan a los afloramientos rocosos de la microcuenca. Se encuentra en el dominio del altiplano occidental; regionalmente se encuentra influenciado por el sistema de fallas Cusco, Lagunillas Mañazo y las fallas Urcos Sicuani Ayaviri. Ambos hacen que la parte alta del área de estudio, sea dominado por fallas de orientación noroeste – sureste.

Los afloramientos rocosos de la Fm. Palca y el Gpo. Sillapaca (rocas poco permeables) se encuentran por encima del acuífero fisurado volcánico del Gpo. Tacaza, lo que podría afectar al flujo y la distribución de agua subterránea. En la microcuenca las fallas crean zonas de porosidad secundaria alineadas a las estructuras, dichas zonas pueden actuar como conductos de flujo de agua subterránea causando recarga y descarga. (Figura 1. Mapa Hidrogeológico)



3. Hidroquímica

En el mapa hidrogeológico (Figura 1) se observa el registro de 13 fuentes de agua subterránea muestreadas de los cuales 10 son manantiales, 2 manantiales captados, 1 fuentes termales. Con el objetivo de realizar una caracterización hidroquímica de las aguas subterráneas en la microcuenca, se realizó la toma de muestras; considerando la litología de las rocas, las condiciones hidráulicas de la fuente (Cuadro 1). Asimismo, en el campo se midieron los siguientes parámetros: pH, conductividad eléctrica, Total de solidos disueltos, temperatura entre otros parámetros fisicoquímicos.

Las conductividades eléctricas y temperatura de los manantiales 0189-018 (zona de mineralización) y 0189-058 (manantial termal) son los más elevados, este último presenta rasgos muy interesantes por su naturaleza termal, tiene temperatura de 36.8°C y su composición química es compleja y diferente a las demás (ver cuadro 1). El análisis químico de las muestras se realizó en el laboratorio SGS del Perú S.A.C por el método de ICP- Masa, determinándose las concentraciones químicas de las aguas subterráneas, como los componentes iónicos mayoritarios cationes (Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺) y aniones (HCO₃⁻, SO₄⁻ y Cl⁻), junto con los metales disueltos.

Las representaciones de los resultados obtenidos se plasmaron en el diagrama de Piper (Figura 2) que

muestra las facies hidroquímicas predominantes y los diagramas de Scatter (Figura 3), cuya relación iónica de Na+K y SO₄+Cl nos ayudó a determinar si las procedencias de los flujos de aguas subterránea son locales, intermedios o regionales (Miffing, 1988).

De acuerdo con el diagrama de Piper mostrado en la Figura 2, las aguas de los manantiales se agrupan en tres grandes grupos:

La primera familia corresponde a bicarbonatadas magnésicas y bicarbonatadas cálcicas, por lo que se puede decir que, de acuerdo a la secuencia de Chevotareb (Freeze & Cherry, 1979), corresponden a sistemas de flujo locales jóvenes de corto recorrido. La predominancia del catión calcio con aportes de sodio podría corresponder a que dichas aguas circulan por un medio geológico en donde existen rocas volcánicas que contienen plagioclasas, y ortosa, las cantidades de Mg, tienen origen en menor grado de micas, como biotitas, horblendas y/o augitas presentes en las rocas volcánicas (lavas andesíticas), así como lo afirma Custodio & Llamas (2001), los resultados de algunas relaciones dan origen a este tipo de facie. En la Figura 3 se observa que esta facie guarda una correlación con el diagrama de Scatter en donde las muestras que pertenecen a este grupo se ubican en la fracción de flujo local.

La segunda familia consta de 5 muestras, 3 de los cuales (0189-022; 0189-024; 0189-27) corresponden a aguas

CUADRO 1 REGISTRO DE FUENTES DE AGUA SUBTERRANEA

Nº	CÓDIGO	NOMBRE	PARAMETROS FISICOQUIMICOS					CONCENTRACIONES QUÍMICAS						
			Temp (°C)	Q (l/s)	pH	Cond us/cm	TDS	ANIONES			CATIONES			
								HCO3	Cl-	SO4=	Ca	K	Mg	Na
1	0189-018	Lluchusani	1,5	5,3	3,08	4548	2229	<0,5	4,846	3.182,59	64,341	0,9	100,6	15,75
2	0189-021	Azufrini 02	2	10,4	5,39	419	205,8	4,8	184,014	134,11	24,089	11	7,474	77,62
3	0189-022	Carlos	1	7,2	4,2	343,9	169	<0,5	3,601	123,53	11,998	2,9	4,406	5,8
4	0189-024	Turpo	3	8,6	6,69	268,8	132,2	11,1	3,026	106,85	20,185	6,6	4,787	16,22
5	0189-027	Jatum Puquio	10,5	4,6	4,29	162,4	80,07	<0,5	0,37	18,76	3,215	1,2	0,833	1,92
6	0189-028	Jerrocanchepata	8	9	8,42	169,6	83,62	69,8	0,909	20,47	10,92	0,5	6,515	18,3
7	0189-031	Pupusa	4	7,7	7,39	118,4	58,61	16,4	0,22	15,35	6,508	1,1	1,774	4,64
8	0189-033	Juchu Parina	1,5	12,3	7,46	990	485,6	214	236,933	113,17	81,739	10,3	41,138	184,55
9	0189-035	Paria	1,5	4	7,09	138,4	68,7	69,6	0,193	1,92	10,986	0,5	11,825	1,3
10	0189-036	Maripujio	10,5	7,2	8,76	163,4	80,58	83,2	0,257	3,78	13,638	0,5	10,985	9,66
11	0189-038	Jancullani Chaqui	3	10,9	8,55	196,9	96,97	40,2	0,22	5,68	12,201	0,3	1,114	8,35
12	0189-041	Chapioco 03	8	9,1	8,13	289,9	142,2	96,3	0,561	3,27	15,636	0,8	15,245	5,83
13	0189-058	Piscina Ocuvi	5	36,8	6,93	1642	8045	113	4.138,52	451,68	713,56	32,6	55,718	2.316,60

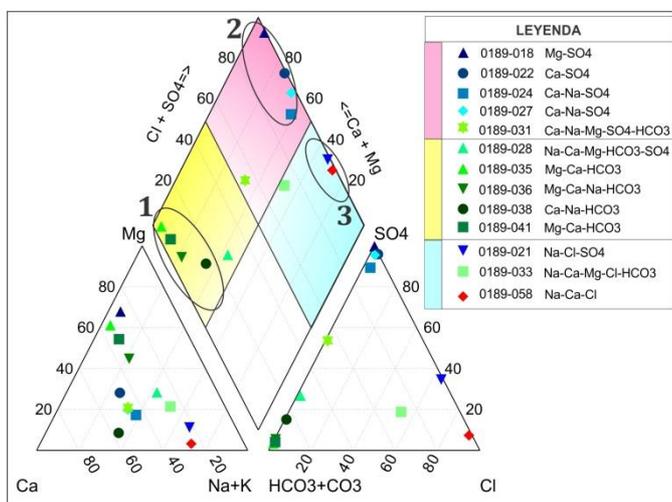


Figura 2. Diagrama de Piper de la Microcuenca Chacapalca

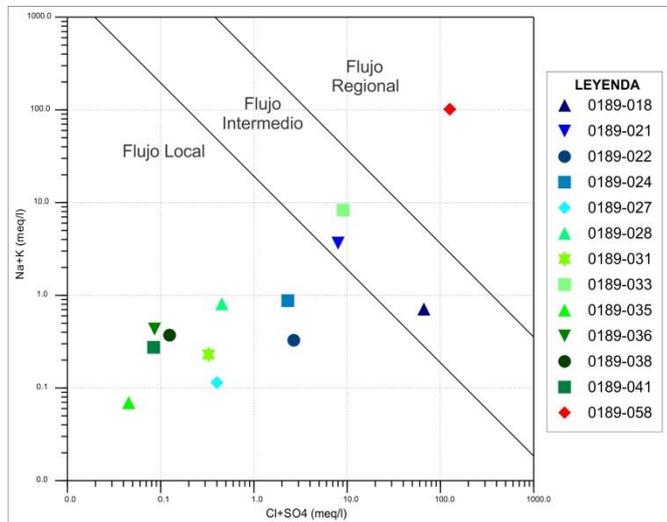


Figura 3. Diagrama de Scatter de la Microcuenca Chacapalca

sulfatadas cálcica, la muestra 0189-031 tiene una variación a sulfatada-bicarbonatada y la muestra 0189-018 tienen un comportamiento sulfatada magnésica, cabe destacar que esta muestra aflora en una zona con rasgos de evidente mineralización los contenidos de magnesio se debe a la posible disolución de minerales asociados al magnesio. Según el diagrama de Scatter (Figura 3) dicha muestra es de flujo intermedio, mientras que las demás corresponden a surgencias relacionadas a sistemas de flujo locales próximos a intermedios, siendo aún aguas jóvenes, de corta madures química.

La tercera familia corresponde a aguas de facie clorurada sódica, la muestra con código 0189-058 corresponde a la fuente termal, que contiene elementos iónicos cargados, el incremento en sodio proviene de la disolución de rocas volcánicas profundas; la muestra 0189-021 corresponde a una zona de mineralización y la muestra 0189-033 a una zona de mezcla.

Según el diagrama de Scatter (Figura 3) la fuente termal evidencia un flujo regional, mientras que las otras dos fuentes se muestran como flujos intermedios debido al contexto litológico variado de la zona.

En la figura 2 se puede apreciar que las muestras 0189-031, 0189-028 y 0189-033 se separan de los grupos, esto por su composición química, la que indicaría que se trata de aguas de mezcla o mixtas y según el diagrama de Scatter (Figura 3) estas muestran reflejan que se ubican en la zona donde el flujo es local con excepción de la muestra 0189-033 la misma que se ubica donde el flujo es regional debido a que su composición química es distinta a las demás.

Se tomó muestras de isotopos en las fuentes termales de la cuenca del río Pucara las cuales evidencian un contenido proporcional de oxígeno 18 (^{18}O) (Figura 4). La muestra 0189-058 tiene un contenido de -18.43 de ^{18}O y -140.72 de δD lo que reflejaría la interacción agua roca en dicho punto, cabe resaltar que dicha muestra se aleja relativamente a la línea meteorológica mundial lo que nos permitiría presumir que esta fuente no corresponde a las aguas de precipitación o flujo local, asimismo según la figura 2 refleja que esta fuente corresponde a flujo regional.

Cuando se produce intercambio de oxígeno entre el agua subterránea y los minerales que componen el sustrato rocoso, el agua se va enriqueciendo progresivamente en ^{18}O mientras que el 2H (D) no varía. El comportamiento de la muestra 0189-058 corresponde a una recta paralela al eje de abscisas y se desplazan en el sentido de los

valores crecientes lo que evidencia que existe una alta disolución de minerales y altas temperaturas

4. Conclusiones

Se identificó tres zonas de influencia: Uno muy local, que infiltra por las fracturas superficiales y poros de las rocas volcánicas del Grupo Sillapaca o Formación Palca, que corresponden a ATV. Los otros dos grupos son de recorrido más profundo y mayor tiempo de permanencia, desarrollando flujos intermedios a regionales, procedentes del Grupo Tacaza considerado como AFV.

En la parte alta de la microcuenca Chacapalca (zona de mayor recarga), donde se presentan afloramientos del AFV-Tacaza, en contacto con los materiales impermeables de la ATV-Palca y ATV-Sillipaca, los cuales generan un comportamiento hidrogeológico idóneo que favorece la surgencia de manantiales.

La evolución hidroquímica del agua subterránea indica que los manantiales provienen de un sistema de flujo diverso; los manantiales evaluados en la microcuenca Chacapalca corresponden a flujos locales, intermedios y regionales que evidencia que su zona de recarga no solo son las precipitaciones pluviales de la zona; puesto que su composición química presenta facies bicarbonatadas, sulfatadas y cloruradas.

La fuente termal 0189-058 muestra una composición química diferente a las demás, por lo que probablemente emerge de profundidad considerable, y la firma isotópica de la muestra lo corrobora, ya que presenta un menor valor de ^{18}O . La elevada temperatura probablemente se deba a que este flujo tiene un recorrido profundo, con la ayuda de las estructuras y fallas del sector, lo cual corresponde a la influencia de gradiente geotérmica.

Referencias

- Cerron F. & Chacaltana C. (2003) Memoria descriptiva de la revisión del cuadrángulo de Ayaviri (30u)
- Clark, I., & Fritz, P., 1997: Environmental Isotopes in Hydrogeology. -. Lewis Publishers, New York.
- Custodio, E., & Llamas, M.R., 2001: Hidrología Subterránea FCIHS, (2009). Hidrogeología
- Flores, T. & Rodríguez, R. (1999) - Las cuencas neógenas del Sur del Perú. La Cuenca Tinajani. Evolución, sedimentología y tectónica. Universidad Nacional San Antonio Abad, Cusco.
- Freeze, A. & Cherry, J.A., 1979: Groundwater. -. Prentice Hall, New Jersey.
- INRENA (2007) Evaluación integral de los recursos hídricos en la cuenca del río Ramis
- Palacios, O., et al. (1993) - Geología de la Cordillera Occidental y Altiplano al oeste del Lago Titicaca - Sur del Perú (Proyecto Integrado del Sur). INGEMMET, Boletín, Serie A.
- Sanchez A. & Zapata A. (2003) Memoria descriptiva de la revisión y actualización de los cuadrángulos de Sicuani (29-t), Nuñoa (29-u), Macusani (29-v), Limbani (29-x), Sandia (29-y), San Ignacio (29-z), Yauri (30-t), Azángaro (30-v), Putina (30-x), La rinconada (30-y), Condoroma (31-t), Ocuvi (31-u), Juliaca (31-v), Callalli (32-t), y Acora (32-x).

