

Análisis hidrogeoquímico del río Mishca, distrito Canarias, provincia de Víctor Fajardo, departamento de Ayacucho

HYDROGEOCHEMICAL ANALYSIS OF MISHCA RIVER AT CANARIAS DISTRICT, VÍCTOR FAJARDO PROVINCE, AYACUCHO DEPARTMENT

Marko Eduardo Castañeda Zavaleta¹, Humberto Cruz Coronel²

RECIBIDO: 14/10/2013 – APROBADO: 20/12/2013

RESUMEN

El estudio se centra en las características hidrogeoquímicas del río Mishca, localizado en la provincia Víctor Fajardo del departamento de Ayacucho, interpretando el fenómeno de dispersión geoquímica a través del agua, observándose contenidos metálicos cuyas fuentes son pertenecientes al ciclo de mineralización del metalotecto Pucará, en el cual se originaron depósitos de sulfuración con contenidos de plata, plomo y zinc; en este contexto se explican las asociaciones existentes entre cada uno de los elementos analizados como contenidos en el agua como fenómeno de dispersión natural.

Palabras clave: Hidrogeoquímica, dispersión, río Mishca, geología, metalotecto Pucará.

ABSTRACT

This study is focused on the hydro geochemical characteristics of Mishca river located at Victor Fajardo province, Ayacucho department.

The geochemical dispersion in water shows metallic values of silver, lead and zinc belonging to the Pucará metallotect mineralization cycle. Observed metals in water association are explained as part of the natural dispersion in water.

Key words: Hydro geochemistry, dispersion, Mishca river, geology, Pucará metallotect

1 Dirección de Conservación y Planeamiento de Recursos Hídricos de la Autoridad Nacional del Agua. Correo electrónico: mcastaneda@ana.gob.pe.

2 Director de la Dirección de Conservación y Planeamiento de Recursos Hídricos de la Autoridad Nacional del Agua. Correo electrónico: hcruz@ana.gob.pe.

I. INTRODUCCIÓN

La hidrogeoquímica es una de las técnicas más importantes dentro del análisis de contenidos metálicos y los procesos de dispersión geoquímica natural o artificial, con ella se pueden explicar científicamente la existencia de elementos químicos (fuera del hidrógeno u oxígeno) dentro de la composición química de los volúmenes hídricos y establecer también un análisis con respecto a la calidad de las aguas en relación a las normas nacionales de evaluación de calidad de recursos hídricos.

Los datos analizados han sido útiles para llegar a conclusiones importantes, a partir del conocimiento de la geología local, los fenómenos de mineralización y los procesos de intercambio químico entre los volúmenes hídricos (superficiales y subterráneos) y el agua.

II. ANTECEDENTES

Como parte del desgüe natural que se origina en las áreas más altas de la Cordillera de los Andes, el río Mishca nace de la confluencia de dos quebradas de mediano volumen, que en su recorrido atraviesan zonas con pendientes mayores a los 20°, con poderes erosivos mayores a los del cauce originado, contribuyendo al buen caudal que el río Mishca suele poseer (máx. 50 m³/s), que es incrementado en conjunto con las modificaciones de sus propiedades físicas y químicas intrínsecas por medio de las confluencias con los escurrimientos superficiales y subterráneos en todo su recorrido (quebradas y manantiales).

En el marco de la investigación se hipotetiza para encontrar explicaciones a fenómenos de dispersión que originan los procesos de transporte de contenidos metálicos los cuales muchas veces son causantes de los valores anómalos encontrados durante prospecciones económicas o de índole ambiental, esta última podría ser más simple si se tomara en cuenta la naturalidad del proceso de dispersión geoquímica desarrollado por el agua a lo largo de sus recorridos y contactos con los emplazamientos litológicos.

III. METODOLOGIA

Los trabajos de campo fueron desarrollados en el río Mishca y sus principales afluentes, este río se ubica en el sector central de la provincia Víctor Fajardo, en el departamento de Ayacucho y constituye un afluente importante del río Sondondo, a su vez participante en la formación de la cuenca del río Pampas, atravesando unidades litológicas distintas, como la Formación Chunumayo, los grupos Pucará y Mitu, y en su tramo final la unidad granítica correspondiente al Batolito Querobamba. Para ello se siguieron procesos de toma de muestras en aguas, en puntos estratégicos del cauce del río Mishca así como también en zonas de confluencia con otras quebradas importantes y con afluentes provenientes del subsuelo, habiendo hecho una clasificación tipo para las aguas superficiales y las aguas con recorrido subterráneo.

Se describen también los distintos drenajes superficiales y subterráneos, que logran moverse a través de este complejo sistema rocoso y en algunos lugares encuentran confluencia entre sí, aumentando los caudales y comunicándose entre ellos las distintas características físicas y químicas de las

acumulaciones litoestratigráficas atravesadas o recorridas superficialmente desde las zonas con cotas más altas.

Los estudios aplicados a la hidrogeoquímica del río Mishca se basaron en una metodología de muestreo en distintos puntos ubicados a ambos márgenes del mismo, en zonas donde confluía con otros drenajes superficiales y en áreas en las que afloraban aguas subterráneas o de infiltración sub-superficial. Los valores de metales contenidos en las aguas de la cuenca del río Mishca fueron determinados mediante el método de Inducción de Plasma Acoplado usando la técnica de Espectrometría de Emisión Óptica (ICP-OES).

3.1 Ubicación del área de estudio

La cuenca del río Mishca se enmarca políticamente en la jurisdicción del departamento de Ayacucho, en la provincia Víctor Fajardo, distrito Canarias (Figura N.º 1). En las estribaciones a lo largo del río Mishca se encuentran las comunidades campesinas de Apongo, Taca, Uyuccasa y Canaria.

3.2 Accesibilidad

El acceso a la zona de estudio es mediante la vía Panamericana Sur, hasta llegar hacia Nazca, luego existe una vía que conduce hacia Puquio; luego existe un desvío en la meseta cordillerana a través de una trocha carrosable (en algunas zonas es afirmada), dirigiéndose hasta los poblados de Apongo y Canarias, parte de las zonas de estudio.

3.3 Clima

Las características climáticas de la zona cordillerana se caracterizan por poseer anisotropía de frecuencias, siendo predominantemente templado o lluvioso moderado en los meses de abril a noviembre. La temporada de lluvias más fuertes se produce entre los meses de noviembre y marzo, decreciendo las intensidades lluviosas en el mes de abril; en las zonas más altas de la cuenca, como en Apongo o Tacas, el clima es mucho más seco y frío. Evaluando la información meteorológica a nivel regional, el área del proyecto, según la clasificación de Kopen, posee un clima de alta montaña con características frías (clima frío o boreal), característico de los valles mesoandinos entre los 3000 y 4000 msnm. Este clima presenta como rasgo fundamental precipitaciones anuales promedio de 700 mm y temperaturas medias anuales de 12 °C; registrándose generalmente veranos lluviosos e inviernos secos con fuertes heladas.

3.4 Geografía

Las características geográficas de la zona de estudio son propias de la zona interandina o valle posandino, adyacentes a la meseta noroccidental del Altiplano peruano, entorno que ha sido modelado por los procesos de geodinámica con orígenes por la actividad tectónica del levantamiento de la cadena andina y también por los procesos modeladores del entorno superficiales, como son las lluvias, los drenajes, las variaciones climáticas extremas y otros.

La altura máxima o cota de origen está a 4570 msnm, en la quebrada Rajaure, cauce originario del río Mishca, que a una cota de 2950 metros, drena hacia el río Sondondo. El recorrido total del río Mishca es de 10 kilómetros, con una

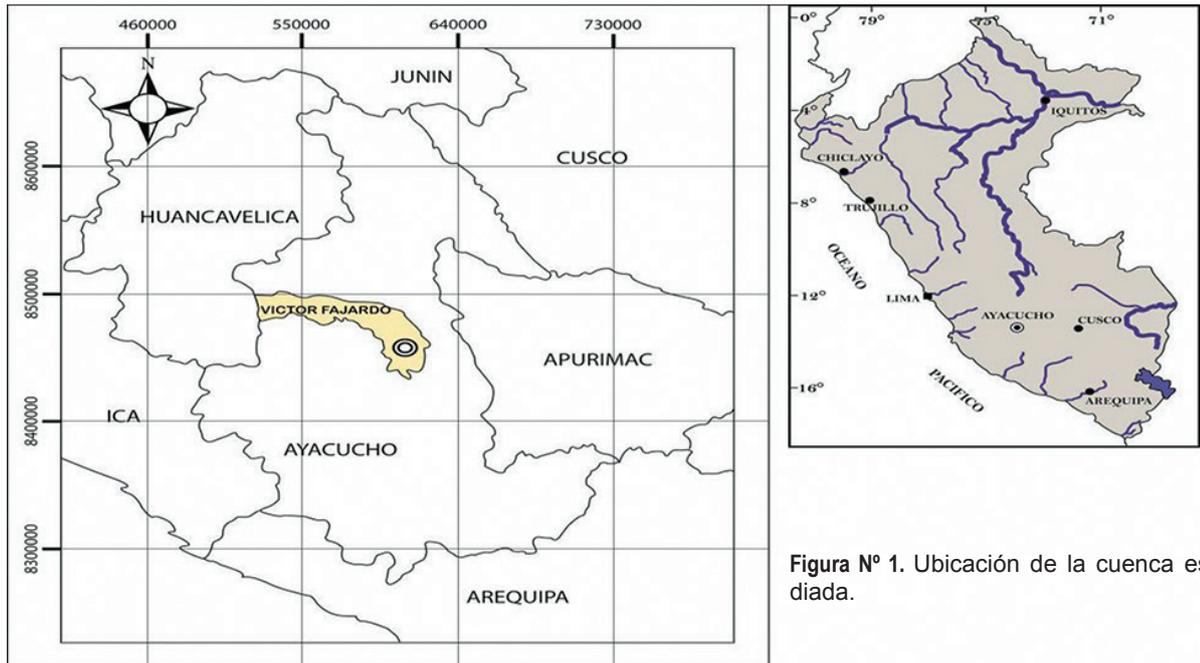


Figura N° 1. Ubicación de la cuenca estudiada.

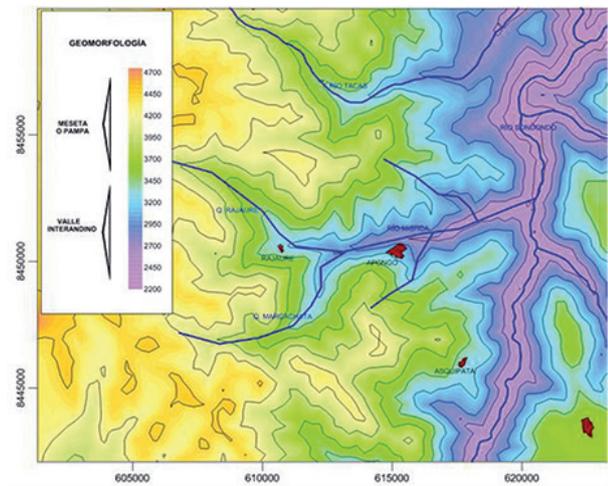


Figura N.º 2. Mapa geomorfológico local de la zona de estudio.

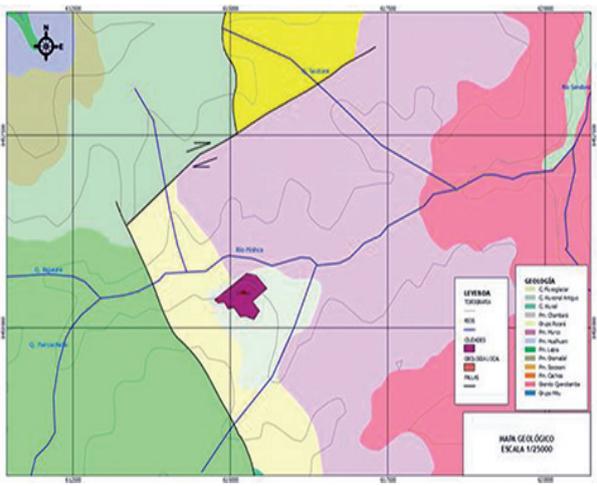


Figura N.º 3. Mapa geológico local de la zona de estudio.

pendiente promedio de 13.72 %, abarcando una cuenca de aproximadamente 25.11 km². El centro poblado más cercano al área del proyecto es el Anexo de Raccaya, ubicado hacia la margen derecha del río Mishca, en la parte alta de la cuenca.

3.5 Aspectos geomorfológicos

El área de estudio se ubica en la unidad geomorfológica denominada Valle Interandino, la cual se caracteriza por presentar flancos con fuerte pendiente que varían de 35° hasta 60° en promedio, en algunos lugares tienen 85°, presentando un perfil transversal en “v”.

Por tratarse de cauces recientes, estos valles carecen de terrazas fluviales, la llanura de inundación del río en las zonas de origen tiene un ancho promedio de 20 m, la gradiente hidráulica promedio del río Mishca es 9 % (Ver Figura N.º 2).

3.6 Marco geológico

En la zona estudiada afloran rocas de naturaleza sedimentaria correspondientes a los ciclos de depositación correspondientes a los materiales volcánicos-sedimentarios del Grupo Mitu; así como también depósitos carbonatados del Grupo Pucará y la Formación Chunumayo, que se asocian al granito de Querobamba correspondiente al magmatismo paleozoico (Megard1978, Marocco 1978); episodios sedimentarios en los que la evolución litoestratigráfica ha sido afectada por intrusiones dacíticas con mineralización (Lagesa, 1996; Palacios, 1994).

Esta sucesión sedimentaria ha sido perturbada en diferentes periodos de actividad tectónica como son las fases tectónicas, hercínicas y andinas, presentándonos hoy en día el sistema tectónico con un sistema de fallas orientadas SSW-al NNE, con ligeros buzamientos de los estratos al oeste (Figura N.º 3).

IV. ANÁLISIS DE LA CUENCA DEL RÍO MISHCA

El río Mishca discurre con dirección Suroeste-Noreste desde su nacimiento en la confluencia entre las quebradas Marcachata y Rajaure. El río Sondondo es el representante de la cuenca regional, con dirección noreste hasta su confluencia con el río Cangallo (Pampas), perteneciente a la vez a la cuenca hidrográfica del río Amazonas.

El relieve del río Mishca se caracteriza por poseer variantes de pendientes y las laderas de los cerros que lo circundan pendientes moderadas a fuertes dando lugar a formas semi encañonadas a encañonadas; el flujo del río Mishca proviene de sus afluentes, subterráneos y superficiales, durante las estaciones secas en los Andes (abril-setiembre), la gran mayoría de su volumen se origina a raíz de las filtraciones y manantiales con áreas de alimentación ubicadas en cotas que superan los 4200 metros de altura.

La naciente del río Mishca se sitúa en una cota de 4000 msnm. El caudal promedio del río Mishca es de aproximadamente 400 l/s, un caudal relativamente considerable que se engrosa debido a las confluencias existentes. De allí su alto poder erosivo y disociador con el entorno caracterizado por las Formaciones Condorsinga y Chunumayo.

Las pendientes de los cerros que circundan el río Mishca son mayores a los 50°, existiendo en ellos quebradas pequeñas y cauces sub superficiales que recorren distancias de más de 500 metros verticalmente con tan solo 200 metros horizontales, de allí el hecho de que las quebradas que confluyen con el río Mishca poseen en sí un gran poder erosivo (p.ej. quebrada Sacclani, Sainoja, etc.).

La cuenca del río Mishca constituye uno de los más importantes afluentes hacia el río Sondondo, pues su drenaje (subdendrítico) está constituido por afluentes que se originan en las partes más altas de la zona estudiada y

sus volúmenes contribuyen a la carga hídrica principal del sistema, originándose no solamente en cauces superficiales con quebradas y riachuelos, si no también existen diversos cauces subterráneos con los cuales el río Mishca encuentra confluencia.

En la Tabla N.º 1 se presentan los parámetros geomorfológicos del río Mishca y de sus principales afluentes, determinados con la ayuda de programas de cálculo.

4.1 Principales afluentes superficiales del río Mishca

Los principales afluentes superficiales existentes en la Cuenca del río Mishca son los siguientes:

4.1.1 Quebrada Rajaure

La quebrada Rajaure es uno de los cauces superficiales que originan el drenaje del río Mishca, tiene una orientación de cauce de Noroeste hacia el sureste, nace a aproximadamente 4520 promedio de esta quebrada con estimado en un valor de 50 litros por segundo.

El recorrido de esta quebrada es de más de 4 kilómetros, atravesando y erosionando rocas carbonatadas de las Formaciones Chunumayo y Condorsinga bajo una pendiente de más de 13 %. En su cauce se observan bloques y cantos de conglomerados basales, transportados desde las áreas más elevadas de la cuenca.

4.1.2 Quebrada Marcachata

Es la quebrada con más pendiente en la zona de estudio (62°), posee un gran poder erosivo, afectando a las calizas de la Formación Chunumayo y en su parte terminal a los depósitos calcáreos de la Formación Condorsinga.

Tabla N.º 1. Parámetros geomorfológicos de la cuenca del río Mishca.

Parámetros	Unidades	Río Mishca	Quebrada Rajaure	Quebrada Pampana	Quebrada Sacclani
Área	km ²	123.4	48.3	42.9	7.7
Perímetro	km	54.2	30.9	38.9	14.4
Longitud del cauce principal	km	20.0	11.9	11.7	5.3
Pendiente del cauce	%	10	13	12	25
Forma de la microcuenca					
Factor de forma	adimensional	0.31	0.34	0.32	0.27
Índice de compacidad	adimensional	1.37	1.24	1.67	1.46
Relieve de la microcuenca					
Altitud media	msnm	3832	4033	4076	3288
Pendiente de La Cuenca	%	51	49	48	52
Red de drenaje					
Densidad de drenaje	km / km ²	0.78	0.69	0.7	0.92

La quebrada Marcachata posee un caudal aproximado de 20 litros por segundo y tiene un recorrido de más de 4 kilómetros desde su nacimiento en las partes altas del cerro del mismo nombre.

Durante el recorrido de la quebrada Marcachata se hace evidente el aumento de sus caudales, esto debido a la confluencia con zonas de subdrenaje o áreas con quebradas menores que encuentran confluencia con su cauce más regular.

4.1.3 Quebrada Sainoja

La quebrada Sainoja es un afluente del río Mishca, con un recorrido subhorizontal de más de 4 km, nace en las partes altas del cerro Taca, recorre áreas con pendientes diversas, dado lo encañonado de la zona.

La quebrada Sainoja atraviesa las estribaciones constituidas por las Formaciones Condorsinga y Chunumayo con una dirección de Noreste hacia el suroeste y posee un caudal aproximado de 15 litros por segundo.

4.1.4 Quebrada Pampana

La quebrada Pampana es uno de los afluentes del río Mishca, tiene un recorrido de Suroeste a Noreste de más de 10 kilómetros desde su nacimiento, en la confluencia de las quebradas Jaranjasa y Pashjapata.

La quebrada Pampana tiene una pendiente promedio de 12 % y un caudal aproximado de 120 l/s, algunas llanuras de inundación superan los 20 metros de espesor, aunque gran parte de su recorrido se produce en valles encañonados, conformados por los sistemas rocosos de las Formaciones Condorsinga y Chunumayo, en este río es notable la aparición de rezagos subterráneos de la disolución calcárea, emplazados en ambas márgenes, con flujos subterráneos que alimentan su caudal.

4.1.5 Quebrada Sacclani

La quebrada Sacclani es una de las quebradas que posee mayor influencia en el área de estudio, hidrogeoquímicamente hablando, pues su recorrido se produce atravesando

los stocks de mineralización emplazados hacia el Norte (donde se ubica la Mina Catalina Huanca), dadas las altas pendientes del cauce, la erosión que se produce sobre las rocas emplazadas es alta, pudiéndose encontrar bloques y fragmentos con tamaños mayores a 30 centímetros en el centro de su drenaje.

La pendiente promedio de la quebrada Sacclani es de 25 % con un recorrido subvertical de más de 5 kilómetros desde su nacimiento en las partes altas del cerro Tacas hasta su confluencia con el río Mishca, tomando en cuenta que el tramo recorrido verticalmente supera los 600 metros, es evidente el poder erosivo que sus aguas poseen en caudales promedio de 30 litros por segundo.

4.1.6 Principales afluentes subterráneos

Este estudio se enmarca en las características hidrogeoquímicas del río Mishca, que encuentra su cauce nacimiento a raíz de la confluencia entre dos quebradas (Rajaura y Marcachata), posteriormente este río encuentra confluencia con volúmenes superficiales y subterráneos que contribuyen en su caudal así como también en las características físicas y químicas de manera natural, haciendo que la cuenca Mishca se haga mayor hasta encontrar confluencia con el río Sondondo.

Los afluentes subterráneos encontrados en la zona de estudio se ubican mayoritariamente en la nacimiento de la cuenca, emplazándose en las rocas carbonatadas de las Formaciones Condorsinga y Chunumayo, dado sus características de infiltración, se puede afirmar que éstos son resultado de la interacción entre aguas con contenidos metálicos (aguas ácidas) con las rocas calizas del entorno, disolviéndolas y encontrando sus límites de movimiento en los bordes de estratificación que buzan hacia el río Mishca.

Se ha considerado oportuno tomar en cuenta un afloramiento que se ubica en la margen izquierda de la quebrada Pampana, por cuanto contribuye al aporte hidrogeoquímico de toda la cuenca, con contenidos mineralizados disueltos en sus aguas, que afloran originando relieves kársticos típicos de entornos calcáreos (ver figura N° 4). En la Tabla N.° 2 se describen los afluentes considerados para este estudio de exploración hidrogeoquímica.

Tabla N.° 2. Descripción de los puntos subterráneos

Manantial	Descripción	Geología	Norte	Este	Cota
TS-1 ^a	A 200 metros aguas abajo de la nacimiento del río Mishca	Chunumayo	8451052	611875	3088
TS-1B	A 30 metros del TS-1A	Chunumayo	8451039	612162	3069
TS-1C	(Agua Termal), río Mishca	Chunumayo	8451040	612378	3066
TS-1D	(Agua Termal), río Mishca aguas abajo del punto TS-1C	Chunumayo	8451037	612399	3027
TS-1E	(Agua Termal), río Mishca entre la quebrada Pampana y la quebrada Sainoja	Condorsinga	8450918	612967	3016
TS-1F	Aguas abajo de la quebrada Pampana con una quebrada menor	Condorsinga	8449169	612414	3102
TS-1G	En uno de los afluentes de la quebrada Pampana	Condorsinga	8449739	613812	3620



Figura N.º 4. Afloramiento cársico en margen izquierda de quebrada Pampana.

4.1.7 Comportamiento del agua subterránea

En la zona existen marcadas diferencias de relieves, aspectos geológicos y los drenajes, es comprensible la existencia de drenajes subterráneos, no solamente por la aparición de sus afloramientos a lo largo del cauce del río Mishca sino también por las características físicas del terreno estudiado.

Las partes altas constituyen las áreas de recarga de las infiltraciones, a raíz de la existencia de sedimentos depositados en etapas recientes, conformados por cobertura de materiales poco consolidados, en los que se inicia el recorrido de las aguas de infiltración hacia las zonas inferiores.

Además de esto es necesario indicar que el proceso de disolución cársica está extendido en la zona (Figura N.º 4), constituyendo áreas por las que el agua infiltrada encuentra fácilmente entradas hacia las zonas inferiores.

Conforme se va profundizando el recorrido, las condiciones de presión son diferentes, es por ello que los espacios de recorrido se vuelven menos densos, las aguas de infiltración encuentran líneas de movimiento en los espacios estratificados y en los fragmentos disociados, heterogéneos y heterométricos de la Formación Chumumayo y los Grupos Pucará y Mitu, cuya estratificación coincide con el cauce del río Mishca (35-53° SE), es allí en donde se pueden encontrar afloramientos dirigidos hacia los drenajes superficiales de los ríos Mishca y sus quebradas afluentes.

V. UNIDADES HIDROESTRATIGRÁFICAS

Una unidad hidroestratigráfica es una formación geológica, un grupo de formaciones o parte de una formación que puede distinguirse en base a su capacidad de producir y transmitir agua. Los acuíferos (formaciones capaces de transmitir una cantidad importante de agua) y acuitardos (unidades confinantes) o acuícludos (unidades confinantes con mínima transmisión) son tipos de unidades hidroestratigráficas cuyos orígenes en la zona de estudio se deben a la forma de depositación o acomodo de los materiales acumulados y su posterior evolución en conjunto con el tectonismo regional.

En la Tabla N.º 3 se observan las principales zonas por las que el agua encuentra movimiento o líneas de infiltración, relacionándolo a sus características geológicas, los valores

de conductividad o permeabilidad teóricos, sus características de estratificación y la consiguiente clasificación de la zona con respecto a sus propiedades hidroestratigráficas.

Tabla N.º 3. Principales unidades hidroestratigráficas influyentes en el río Mishca

Unidades hidroestratigráficas	Rango estimado de conductividad hidráulica (m/s)	Espesor (m)	Clasificación de materiales geológicos según su capacidad de contener y transmitir agua
Depósitos cuaternarios-Suelos			
Aluvial (bloques a arena) río Mishca	10^{-9} a 10^{-3}	0 a <5	Acuífero no confinado
Residual (arcilla limosa a limo arcilloso)	10^{-9} a 10^{-7}	0 a <2	Barrera superficial para la percolación
Coluvial (matriz de arcilla limosa o limo arcilloso)	10^{-9} a 10^{-4}	0 a <10?	Acuitardo (con ocasionales intercalaciones transmisivas de grava)
Roca			
Conglomerados, areniscas, lutitas, brechas y derrames lávicos (Gpo. Mitu)	10^{-10} a 10^{-6}	<500?	Acuícludo
Superficie meteorizada	10^{-9} a 10^{-4}	10 a 30?	Acuífero (si está saturado)
Epikarst? (Fm. Pucará)	10^{-4} a 10^{-1}	5 – 20?	Acuífero (si está saturado)
Roca fracturada (no diferenciada)	10^{-8} a 10^{-6}	100 a 300?	Acuífero a acuitardo
Roca competente / Granito	10^{-10} a 10^{-8}	<300	Acuífero a acuícludo

5.1 Hidrogeoquímica de la cuenca Mishca

El análisis realizado en los alrededores del río Mishca se ha desarrollado utilizando los conceptos básicos de geoquímica de las aguas, que tienen su recorrido a través de los entornos rocosos carbonatados de las Formaciones Condorsinga, Mitu y Chumumayo; así como también se mueven disociando las características físicas y químicas del entorno mineralizado.

Para el estudio se han analizado *in situ* las características físicas y químicas de los distintos drenajes que confluyen para formar al río Mishca y contribuyen a su caudal, comunicándole también las características inherentes del entorno a través del cual éstos se mueven. Obteniéndose así una mayor referencia acerca de las características mineralógicas, los procesos de dispersión y las posibles existencias de yacimientos económicamente interesantes emplazados en los sistemas sedimentarios carbonatados de las Formaciones Condorsinga, Mitu y Chumumayo.

La caracterización química de las aguas del río Mishca y de sus principales afluentes es analizada de acuerdo a las características físicas y químicas del entorno rocoso. Es por ello que en capítulos anteriores se describen cada una de las formaciones geológicas emplazadas en la zona, tomando en cuenta su origen, su ambiente de formación y sus patrones evolutivos que han originado complejos estructurales a través de los cuales se han logrado emplazar volúmenes mineralizados.

5.1.1 Río Mishca

El río Mishca nace en el encuentro de las quebradas Marcachata y Rajaure, su recorrido es de más de 15 kilómetros desde el suroeste hacia el noreste con una pendiente de recorrido promedio de 13 %. En su recorrido atraviesa las formaciones carbonatadas de Chunumayo y Condorsinga (perteneciente a la secuencia superior del Grupo Pucará) y las formaciones sedimentarias (conglomerados, limos,

arcillas, carbonatos y horizontes arenáceos intercalados con depósitos volcánicos de naturaleza explosiva, con límites oxidados de coloraciones rojizas) del Grupo Mitu. En el cauce recorrido por el río Mishca, desde su nacimiento hacia las zonas de entrega de aguas en el río Sondondo, se ha considerado pertinente la toma de muestras de los puntos descritos en la Tabla N.º 4.

5.1.2 Aportes superficiales

Las zonas en las que el río Mishca tiene afluentes importantes también han sido evaluados,

hay que tomar en cuenta también el hecho de que el relieve del recorrido del río es variable, es por ello que no se ha logrado acceder a todos los afluentes, pero por criterio de estudio se considera relevante los puntos tomados en la exploración que se muestran en la Tabla N.º 5

Tabla N.º 4. Descripción de los puntos muestreados en el río Mishca.

Punto de muestreo	Descripción	Formación geológica	Ubicación (UTM PSAD 56)		
			Norte	Este	Cota
TS-3	Río Mishca, entre los puntos TS-1B y TS-1C	Chunumayo	8451058	611981	3072
TS-4	Río Mishca, muy cerca de la confluencia de la quebrada Sainoja con el río Mishca.	Chunumayo	8451027	612793	3000
TS-5	Río Mishca, aguas arriba antes de la confluencia de los ríos Pampana y Mishca	Condorsinga	8450725	613164	2980
TS-7	Río Mishca, aguas abajo después de la confluencia de los ríos Pampana y Mishca.	Condorsinga	8450700	613236	2975
TS-8	Río Mishca, aguas arriba del punto TS-9	Mitu	8451367	617181	2542
TS-9	Río Mishca, antes de la entrega de aguas de la quebrada Sacclani al río Mishca	Mitu	8452023	618320	2522
TS-13	Río Mishca, después de la confluencia de la quebrada Sacclani con el río Mishca	Granito	8452143	618553	2505
TS-14	Río Mishca, 50 m antes de la confluencia del río Mishca con el río Sondondo	Granito	8452719	620563	2387

Tabla N.º 5. Evaluación en principales afluentes Superficiales al río Mishca.

Punto de muestreo	Descripción	Formación geológica	Ubicación (UTM PSAD 56)		
			Norte	Este	Cota
TS-1	Quebrada Marcachata, aguas arriba de la confluencia con la quebrada Rajaure.	Chunumayo	8450867	610413	3098
TS-2	Quebrada Rajaure, aguas arriba de la confluencia de la quebrada Rajaure con la quebrada Marcachata.	Chunumayo	8451657	610735	3250
TS-6	Quebrada Pampana, aguas arriba de la confluencia de la quebrada Pampana con el río Mishca.	Chunumayo y Condorsinga	8450686	613158	2980
TS-10	Quebrada Sacclani, parte alta	Mitu	8454176	614545	3725
TS-11	Quebrada Sacclani, parte media	Mitu	8453330	616725	3034
TS-12	Quebrada Sacclani, aguas arriba de la confluencia de la quebrada Sacclani con el río Mishca	Mitu	8452314	618312	2710
TS-15	Río Sondondo, 50 m aguas arriba de la confluencia del río Mishca con el río Sondondo	Granito de Querobamba	8452708	620630	2385
TS-16	Río Sondondo, 100 m aguas abajo de la confluencia del río Mishca con el río Sondondo	Granito de Querobamba	8452840	620651	2382

5.1.3 Aportes subterráneos

Evidentemente en la zona estudiada existen afloramientos que se originan a partir de la infiltración de las aguas en zonas más altas, debido a la existencia de permeabilidad y porosidad en sedimentos poco consolidados y en materiales rocosos fracturados o erosionados químicamente debido a su composición básicamente carbonatada, el movimiento de estas aguas se produce a través de fracturas alineadas hacia el suroeste de la cuenca, y también a través de los bordes de estratificación o bancos con buzamientos coincidentemente con el cauce del río Mishca.

Estos afloramientos de agua subterránea se hacen evidentes en distintas partes y su identificación ha sido efectuada por los trabajadores de la mina Catalina Huanca. Los puntos subterráneos de estudio se ubican principalmente en las nacientes del río Mishca, como consecuencia de la aparición de estratos carbonatados de las Formaciones Condorsinga y Chunumayo. En la Tabla N.º 6 se muestran los puntos o afloramientos subterráneos que han sido muestreados en campo y analizados en laboratorio.

5.1.4 Resultados del análisis de aguas

Los resultados obtenidos en la etapa de muestreo se dividen en parámetros fisicoquímicos tomados in situ, puntos de muestreo superficial y puntos de muestreo subterráneo.

5.1.5 Parámetros fisicoquímicos in situ

Los parámetros fisicoquímicos obtenidos durante el periodo de muestreo en campo nos revelan las propiedades inherentes al sistema de drenajes y posteriormente son analizados con respecto a las características obtenidas en los resultados de laboratorio, estos parámetros son el índice de acidez-alcalinidad (pH), Temperatura de las Aguas (T) y la conductividad eléctrica. En las Tablas N.º 7, 8 y 9 se muestran los resultados de los parámetros fisicoquímicos de las aguas del río Mishca, en sus afluentes y en las aguas subterráneas.

Tabla N.º 6. Puntos de muestreo de los afluentes subterráneos.

Punto de muestreo	Descripción	Formación geológica	Ubicación (UTM PSAD 56)		
			Norte	Este	Cota
TS-1 ^a	A 300 metros de la naciente del río Mishca	Chunumayo	8451052	611875	3088
TS-1B	A 20 metros del TS-1 ^a	Chunumayo	8451039	612162	3069
TS-1C	(Agua termal), río Mishca	Chunumayo	8451040	612378	3066
TS-1D	(Agua termal), río Mishca aguas abajo del punto T1-C	Condorsinga	8451037	612399	3027
TS-1E	(Agua termal), río Mishca, entre la quebrada Pampana y la quebrada Sainoja	Condorsinga	8450918	612967	3016
TS-1F	Aguas debajo de la confluencia de la quebrada Pampana con una quebrada menor	Condorsinga	8449169	612414	3102
TS-1G	En uno de los afluentes de la quebrada Pampana	Chunumayo	8449739	613812	3620

Tabla N.º 7. Parámetros fisicoquímicos obtenidos en el río Mishca.

Punto de muestreo	Ubicación			Parámetros fisicoquímicos		
	Norte	Este	Cota	pH	T (°C)	Conductividad eléctrica (uS/cm)
TS-3	8451058	611981	3072	8.7	16.3	309
TS-4	8451027	612793	3000	8.51	20	421
TS-5	8450725	613164	2980	8.5	24.9	330
TS-7	8450700	613236	2975	8.55	23.9	325
TS-8	8451367	617181	2542	8.66	22.8	470
TS-9	8452023	618320	2522	8.64	24.9	460
TS-13	8452143	618553	2505	8.61	24.9	461
TS-14	8452719	620563	2387	8.59	26.4	463

Tabla N.º 8. Parámetros fisicoquímicos obtenidos en afluentes superficiales del río Mishca.

Punto de muestreo	Ubicación			Parámetros fisicoquímicos		
	Norte	Este	Cota	pH	T (°C)	Conductividad eléctrica (uS/cm)
TS-1	8450867	610413	3098	8.67	25.1	230
TS-2	8451657	610735	3250	8.5	19.2	336
TS-6	8450686	613158	2980	8.47	24.7	327
TS-10	8454176	614545	3725	7.2	18	490
TS-11	8453330	616725	3034	8.63	21.5	969
TS-12	8452314	618312	2710	8.65	24.3	1193
TS-15	8452708	620630	2385	8.7	25.5	230
TS-16	8452840	620651	2382	8.39	22.9	238

Tabla N.º 9. Parámetros fisicoquímicos obtenidos en afluentes subterráneos del río Mishca.

Punto de muestreo	Ubicación			Parámetros fisicoquímicos		
	Norte	Este	Cota	pH	T (°C)	Conductividad eléctrica (uS/cm)
TS-1 ^a	8451052	611875	3088	7.5	15.5	652
TS-1B	8451039	612162	3069	8.47	18	220
TS-1C	8451040	612378	3066	8.2	16	350
TS-1D	8451037	612399	3027	7.6	15	380
TS-1E	8450918	612967	3016	7.7	15.5	430
TS-1F	8449169	612414	3102	8.54	12	451
TS-1G	8449739	613812	3620	8.38	15.5	522

5.1.6 Resultados de muestreo superficial

En el análisis hidrogeoquímico de la cuenca del río Mishca se ha considerado pertinente obtener las proporciones incluidas en el agua de los principales elementos químicos, tomando en cuenta que la disociación química que se produce a partir del recorrido de los volúmenes hídricos a través del medio rocoso genera cargas iónicas mesurables y correlacionables a la zona de origen.

Es por ello que los resultados que se analizaron se dividieron en dos grupos, los cationes, para evaluar los contenidos metálicos, y los aniones, para evaluar los sistemas de formación de complejos y la caracterización fisicoquímica de las aguas.

La Tabla N.º 10 muestra los contenidos incluidos en las aguas para los principales aniones o carga iónica negativa y la Tabla N.º 11 los principales cationes o carga iónica positiva (metálica principalmente) contenida en las aguas del río Mishca y sus afluentes.

Tabla N.º 10. Principales aniones del río Mishca y sus afluentes superficiales.

Punto de muestreo	HCO ₃ -	NO ₃ -	SO ₄ ²⁻	Cl-
TS-3	160.2	0.08	29.4	3.4
TS-4	186.6	0.05	51.5	0.9
TS-5	159	0.07	35.4	5.9
TS-7	144.2	0.05	46.6	6.5
TS-8	196.5	0.15	53.4	21.7
TS-9	194.4	0.09	49.9	22.1
TS-13	193	0.07	50.6	21.9
TS-14	176.8	0.05	58.3	25.7
TS-1	114.5	0.05	17.6	0.9
TS-2	142	0.08	28.5	3.3
TS-6	111.7	0.05	60.4	6
TS-10	217.2	0.42	51.5	1.5
TS-11	189.5	1.24	325.5	7.7
TS-12	226.6	3.91	493.6	13
TS-15	68.5	0.06	25.7	19.9
TS-16	73.9	0.05	17.5	19.9

Nota: Los valores se miden en mg/L

5.1.7 Resultados de muestreo subterráneo

En la zona estudiada, existen afloramientos subterráneos que han sido tomados en cuenta para el análisis hidrogeoquímico del río Mishca, debido a que su dinamismo podría contribuir a determinadas variaciones en los parámetros físicos y químicos dentro de la cuenca principal. Los resultados del análisis para las cargas iónicas negativas en estos afloramientos se muestran en la Tabla N.º 11 y los valores obtenidos de los elementos que contribuyen a las cargas iónicas positivas en la Tabla N.º 12.

Tabla N.º 11. Principales aniones de los afluentes subterráneos del río Mishca.

Punto de muestreo	HCO ₃ -	NO ₃ -	SO ₄ ²⁻	Cl-
TS-1 ^a	211.6	0.08	33.5	68.4
TS-1B	86.1	0.05	40.3	1.1
TS-1C	163.6	0.17	30.6	15.7
TS-1D	156.6	0.09	115.6	5.9
TS-1E	186.9	0.08	53.9	8.3
TS-1F	148.4	0.05	47.1	1.4
TS-1G	228.3	0.05	34.4	1.4

Nota: Los valores se miden en mg/L.

Tabla N.º 12. Principales cationes en los afluentes subterráneos del río Mishca.

Punto de muestreo	Li	Al	Mn	Ni	Cu	Zn	As	Mo	Ag	Cd	Sn	Ba	Hg	Pb	Na	Mg	K	Ca	Fe
TS-1A	0.0168	0.0904	0.1651	0.0039	0.0027	0.0347	0.0005	0.002	0.0001	0.0002	0.0004	0.0769	0.00009	0.0584	8.5314	16.72	1.8379	72.4863	0.8583
TS-1B	0.0028	0.2639	0.1088	0.003	0.0059	0.1679	0.1116	0.0001	0.0001	0.0009	0.0003	0.0695	0.00009	0.087	0.47	4.7563	1.1039	43.3572	0.6818
TS-1C	0.029	0.0073	0.0005	0.0023	0.00009	0.0145	0.0081	0.0004	0.0001	0.0001	0.0003	0.0566	0.00009	0.0006	10.9141	8.9039	1.6317	54.2905	0.003
TS-1D	0.0126	0.0103	0.1802	0.004	0.005	1.0961	0.0095	0.002	0.0001	0.0025	0.0003	0.0752	0.00009	0.1015	6.12	10.9773	1.7947	78.6561	0.1148
TS-1E	0.0165	0.0162	0.0257	0.0031	0.0008	0.0183	0.0024	0.0012	0.0001	0.0002	0.0003	0.0634	0.00009	0.0095	7.4718	14.9774	1.6947	65.555	0.0392
TS-1F	0.002	0.1858	0.0143	0.0038	0.0015	0.0096	0.0234	0.0002	0.0001	0.0004	0.0003	0.0626	0.00009	0.0041	3.0191	18.5121	0.8205	56.4457	0.3292
TS-1G	0.0036	0.0042	0.0007	0.0028	0.0003	0.0046	0.0016	0.0001	0.0001	0.0001	0.0003	0.0616	0.00009	0.0001	4.2285	28.511	1.0861	55.3022	0.003

Nota: Los valores se miden en mg/l

VI. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Analizamos los resultados obtenidos de la medición de parámetros físicos y químicos, en los que se distinguen los distintos cauces, por su ubicación y posteriormente se establecen las relaciones pertinentes, considerando también a los afluentes y cauces subterráneos inicialmente analizados independientemente.

- El sistema rocoso predominante en la zona de estudio se encuentra conformado por rocas calizas, pertenecientes a los Grupos Mitu, Pucará y la Formación Chumumayo (desde la base hasta el tope).
- El agua es el principal agente de dispersión geoquímica en la zona estudiada, no solamente a través de la disolución y la disociación iónica que ésta genera en el sistema, sino también a través de los procesos de meteorización física, erosionando, transportando y depositando materiales a lo largo del recorrido de los cauces superficiales y subterráneos.
- Los movimientos de las aguas de infiltración se producen a partir de los depósitos cuaternarios poco consolidados hacia las zonas susceptibles de disociación físicoquímica de los depósitos carbonatados, encontrando salidas en los cauces superficiales a más de 700 metros de diferencia de altura desde sus orígenes.
- La movilidad de los elementos es variable, es por ello que su abundancia en los contenidos hídricos es diferente para todos los puntos, es por ello que encontramos al litio como el elemento menos abundante en el análisis de las aguas superficiales y subterráneas, a diferencia del hierro, que es el más abundante para todos los puntos, esto debido a su alta susceptibilidad frente al poder erosivo de las aguas, lo que además transmite a estas características de acidez y conductividades eléctricas mayores al resto.

El fenómeno de disociación sobre las rocas por parte de las aguas superficiales y subterráneas se produce no solamente por el efecto mecánico de su movimiento, sino también debido a las características químicas de éstas, que logran disociar químicamente a los materiales del entorno e incluir sus composiciones como parte de la

solución, transfiriéndose también las características físicoquímicas propias del sistema rocoso emplazado.

- Se observa una correlación fuerte entre la presencia de sulfatos y bicarbonatos con respecto a la conductividad eléctrica, por el contrario, la presencia de sulfatos y alta conductividad eléctrica (contenido metálico) se relaciona con un descenso en el pH, por lo tanto se genera acidez, esta dependencia es en tanto neutralizada debido a la presencia de carbonatos, de las Formaciones Pucará y Murco, que logran estabilizar los rangos de pH entre 8.67 y 7.5.
- Las aguas subterráneas producen valores de acidez, debido también a la presencia de sulfatos en su contenido químico, originado a partir de la disociación química causada sobre los volúmenes mineralizados encontrados en el metalotecto Pucará y sus alrededores (manto mineralizado con elementos sulfurosos de zinc, plomo, hierro, cobre y accesoriamente de plata, mercurio, arsénico y oro).
- Con respecto a las normas de evaluación ambiental para la Calidad de Agua, referenciado a las actividades biológicas, se infiere que los valores establecidos en la Categoría I de Aguas, aptas para Consumo Humano, son más estrictos y se sujetan a tratamientos simples para hacerlas aptas, es por ello que al contrastarlas con los valores obtenidos del muestreo, existen muchos puntos que superan estos límites, es evidente el origen natural de estas concentraciones, dada la existencia de un foco o fuente de metales asociados a la sulfuración sobre los depósitos carbonatados del Grupo Pucará, que entra en contacto también con la Formación Chumumayo y el Grupo Mitu, dentro de un halo metamórfico en el cual se han emplazado minerales con contenidos anómalos de plomo, hierro, zinc, cobre y con elementos accesorios como plata, oro y arsénico.
- Al comparar los valores del muestreo con la Categoría III, usados para evaluar las aguas que pueden ser aptas para bebida de animales, aún existen valores que superan la Norma, pero éstas son menos y su origen se deduce a partir de lo explicado líneas arriba, dada la abundancia de recursos hídricos en la zona, que

transfieren las características físicas y químicas desde el entorno rocoso disociado hacia los drenajes en donde confluyen y aparecen en superficie a lo largo del cauce del río Mishca.

- Los usos de la hidrogeoquímica son relativamente nuevos para la evaluación ambiental, las aplicaciones que pueden encontrarse de ésta varían desde trabajos de exploración mineral hasta labores de caracterización de cuencas, pues los drenajes que las caracterizan son entornos dinámicos, constantemente evolutivos y pueden brindar estimaciones de las características físicas y químicas de cualquier terreno.

VII. AGRADECIMIENTOS

A la empresa Aleph Asociados, a los Ingenieros José León Pinto, Patricio Pareja Calderón, Giancarlo Olivera Espejo, Jaime Carranza Chávez, Deyvis Villegas Caycho, Lesly Falcón la Puente, Javier Sánchez, al programa del posgrado de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, al Ing. Daniel Lovera y Javier Jacay cuyas correcciones ayudaron a mejorar este trabajo para su publicación

VIII. BIBLIOGRAFÍA

1. Asociación LAGESA-CFGS (1996). Geología de los cuadrángulos de Huancapi, Chincheros, Querobamba y Chaviña. *INGEMMET*, Boletín N.º 70. Serie A: Carta Geológica Nacional. Lima, 190 p.
2. Brack Egg, A. y Mendiola, C. (2000). *Ecología del Perú*. Editorial Bruño/PNUD. Lima, Perú, 495 p.
3. Castañeda, Marko (2013). *Análisis hidrogeoquímico de la cuenca del río Mishca, distrito Canarias, provincia de Víctor Fajardo, departamento de Ayacucho*, Tesis Ing. UNMSM, 98 p.
4. Comunidad Andina (2010). *El agua de los Andes*. Secretaría General de la Comunidad Andina. Lima, Perú, 44 p.
5. Evans, A. (1993). Ore geology and industrial minerals. *Blackwell Science*. Londres, Inglaterra, 390 p.
6. Formoso, M. (2006). Some Topics on Geochemistry of Weathering: A Review, *Academia Brasileira de Ciências*. Porto Alegre, Brasil, 78(4), p: 809-820.
7. Gaillardet, J. Viers, J. & Dupré, B. (2003). Trace Elements in River Waters. In Drever JI, editor. *Surface and ground water. weathering, and soils*. Oxford: Elsevier; pp. 225-273.
8. Gobierno Regional de Ayacucho (2009). *Estudio de diagnóstico y zonificación Territorial: provincia Víctor Fajardo*. Gobierno Regional de Ayacucho. 131 p.
9. González Huecas, López Lafuente, Moreno Merino, Martín Gómez, López Fernández (2003). Estudio de la influencia de los suelos contaminados por metales pesados en las aguas naturales. *Anales de la Real Academia Nacional de Farmacia*, ISSN 0034-0618, N.º 4 3, pp. 82-111.
10. Hawkes H.E. & Webb J.S. (1962) *Geochemistry in Mineral Exploration*. Harper, New York. 415 p.
11. Holdridge, L. (1947). Determination of world plant formations from simple climatic data. *Science*, vol. 105(2727). 367-368.
12. Huggett, R. J. (2007). *Fundamentals of Geomorphology*. Routledge. Londres, Inglaterra; 483 p.
13. Marocco, R. (1978). Estudio geológico de la Cordillera de Vilcabamba. Boletín N.º 4 Serie D. INGEOMIN-ORSTOM, 157 p.
14. MÉGARD F. (1978) Etude géologique des Andes du Pérou central. *Mém. ORSTOM*, 86,3 10 p., París.
15. Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales (1976). Mapa ecológico del Perú-Guía explicativa. ONERN. Lima, Perú, 220 p.
16. Palacios O. (1994). Geología de los cuadrángulos de Chocorvos y Paras. Bol. Serie A Carta Geológica Nacional N.º 49. INGEMMET. Lima, Perú. 125 p.
17. Pérez González, Gustavo (2005). *Disponibilidad de depósitos tóxicos en sitios contaminados*. Universitat Autònoma de Barcelona. Barcelona, España, 386 p.
18. Rivera, H. (2005). *Geología general*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. 2.ª edición Lima, Perú, 479 p.
19. Rivera, H. (2007). *Introducción a la geoquímica general y aplicada*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú; 279 p.
20. Steinmüller, K. (1999). *Depósitos metálicos en Perú*. INGEMMET. Lima, Perú. 180 p.
21. SVS Ingenieros (2008). *Estudio de impacto ambiental de la Mina Catalina Huanca*. Catalina Huanca Sociedad Minera S.A.C. Lima, Perú. 35 p.
22. TOSI, J. A. (1960). *Zonas de vida natural en el Perú*. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA. Lima, Perú, 271 p.
23. UNESCO (2006) *Arsenic in Groundwater-A World Problem*. UNESCO's Division of Water Sciences. Utrecht, Holanda, 136 p.
24. WHITE, W. M. (2001). *Geochemistry*. John Hopkins University Press. 701 p.