



DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

INFORME TÉCNICO N° A6724

EVALUACIÓN GEOLÓGICA E HIDROGEOLÓGICA DEL SECTOR AGUAS CLARAS

(Sector Aguas Claras, Distrito de Pardo Miguel, Distrito de Pardo Miguel,
Provincia de Rioja - Región San Martín)



Jose Luis Moreno Herrera
Segundo Núñez Juárez
Karen Lizzeth Dueñas Olivera



Septiembre 2016

CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	OBJETIVO.....	1
1.2	ACTIVIDADES DESARROLLADAS.....	2
1.3	UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD	2
1.4	ANTECEDENTES	4
1.5	ESTUDIOS PREVIOS.....	6
1.6	CLIMA Y VEGETACIÓN.....	6
2.	CONTEXTO GEOMORFOLÓGICO	10
2.1	RELIEVE KÁRSTICO (R-k)	10
2.2	GEOFORMAS DE CARÁCTER TECTÓNICO DEGRADACIONAL Y EROSIONAL (Rc-rs).....	12
2.3	GEOFORMAS DE CARÁCTER DEPOSICIONAL O AGRADACIONAL (Pd-al). 13	
3.	CONTEXTO GEOLÓGICO	16
4.	CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO	21
4.1	CLASIFICACIÓN HIDROGEOLÓGICA	21
4.2	IDENTIFICACIÓN DE FUENTES DE AGUA SUBTERRÁNEA	27
4.3	CONTEXTO HIDROQUÍMICO	36
5.	PELIGROS GEOLÓGICOS	40
5.1	HUNDIMIENTOS.....	40
5.2	SISMICIDAD	42
5.3	INTERPRETACIÓN DE LA SUBSIDENCIA O HUNDIMIENTO	44
5.4	SUCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA.....	45
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	47
	BIBLIOGRAFIA.....	48

EVALUACIÓN GEOLÓGICA E HIDROGEOLÓGICA DEL SECTOR AGUAS CLARAS (Distrito Pardo Miguel, Provincia Rioja, Departamento San Martín)

1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se desarrolló en atención al oficio N°01399-2015-2016-ESV/CR, dirigido a la Presidenta del Consejo Directivo del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), pedido N° 0270-2015-2016, donde señala la crítica situación por la que atraviesa el centro poblado de Aguas Claras, en el distrito de Pardo Miguel – Naranjos, provincia de Rioja, departamento de San Martín, como consecuencia de los constantes ruidos y movimientos sísmicos en la localidad en mención, generando pánico en la población al ocasionarse como consecuencias, el cambio de color de las aguas del río de Aguas Claras.

Frente a la preocupación y temor generado a los pobladores por el descenso del caudal del río Aguas Claras, casi en su totalidad (31-01-2016), y por recuperación a los pocos días, el Ingemmet propone realizar la evaluación geológica e hidrogeológica del sector de Aguas Claras, distrito de Pardo Miguel – Naranjos, provincia de Rioja, departamento de San Martín.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR) del INGEMMET dispuso que los ingenieros Jose Luis Moreno Herrera y Segundo Núñez Juárez, efectuaran dicha evaluación, asignados para los trabajos en campo, en los trabajos de gabinete se contó con el apoyo de la geóloga Karen Lizzeth Dueñas Olivera; las coordinaciones se realizaron con la Dra. Esther Saavedra Vela, Congresista de la República quien posteriormente delego las reuniones con las diferentes autoridades locales, regionales y población, los trabajos de campo se desarrollaron del 15 al 18 de marzo del presente año.

El presente informe describe los aspectos geológicos encontrados en el área de estudio; así como, el análisis de información geológica regional, existente en el archivo técnico de INGEMMET, la evaluación hidrogeológica y de peligros geológicos, necesarios para tomar en cuenta a la hora de la toma de decisiones.

1.1 OBJETIVO

El objetivo de esta inspección es la evaluación geológica e hidrogeológica, lo que nos permitirá conocer el estado de las aguas y el comportamiento de los flujos, describir las zonas susceptibles a los peligros geológicos que se pueden evidenciar, identificar las áreas kársticas y los diferentes peligros geológicos asociados a estas como asientos, subsidencias, hundimientos, inundaciones, explosiones de agua, fugas entre otros.

Este informe se pone en consideración de las autoridades del Gobierno Regional de San Martín, Municipalidad Provincial de Rioja, la Municipalidad Distrital de Pardo Miguel y localidad de Aguas Claras.

1.2 ACTIVIDADES DESARROLLADAS

- a) Participación en las reuniones informativas con autoridades y población, dando a conocer la metodología de trabajo de la evaluación hidrogeológica y de peligros geológicos en el sector de Aguas Claras.
- b) Cartografiado geológico, a escala 1:50,000; tomando medidas de rumbos y buzamientos de las capas sedimentarias.
- c) Caracterización hidrogeológica de las formaciones geológicas, inventario de las fuentes de aguas subterráneas en el sector de Aguas Claras.
- d) Toma de muestras de aguas subterráneas en manantiales para el análisis de aniones y cationes mayoritarios, metales disueltos y totales.
- e) Evaluación de peligros geológicos.
- f) Preparación del presente reporte con la descripción y análisis de la hidrogeología e hidroquímica que incluye mapas, figuras, diagramas, gráficos, cuadros y resultados de análisis de químico.

1.3 UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD

La zona evaluada se encuentra ubicada, principalmente, en el poblado de Aguas Claras, en el distrito de Pardo Miguel, provincia de Rioja, departamento San Martín, (Figura 01), geográficamente se ubica entre las coordenadas UTM: N: 9377795 E: 213695 y N: 9357917 E: 214595; zona 18 L.

Para llegar al área de estudio se accede, desde la ciudad de Tarapoto, por la carretera Fernando Belaunde, llegando hasta el poblado de Aguas Claras que se encuentra aproximadamente a 195 Km; el traslado en camioneta, dura un promedio de 3 horas con 30 minutos.

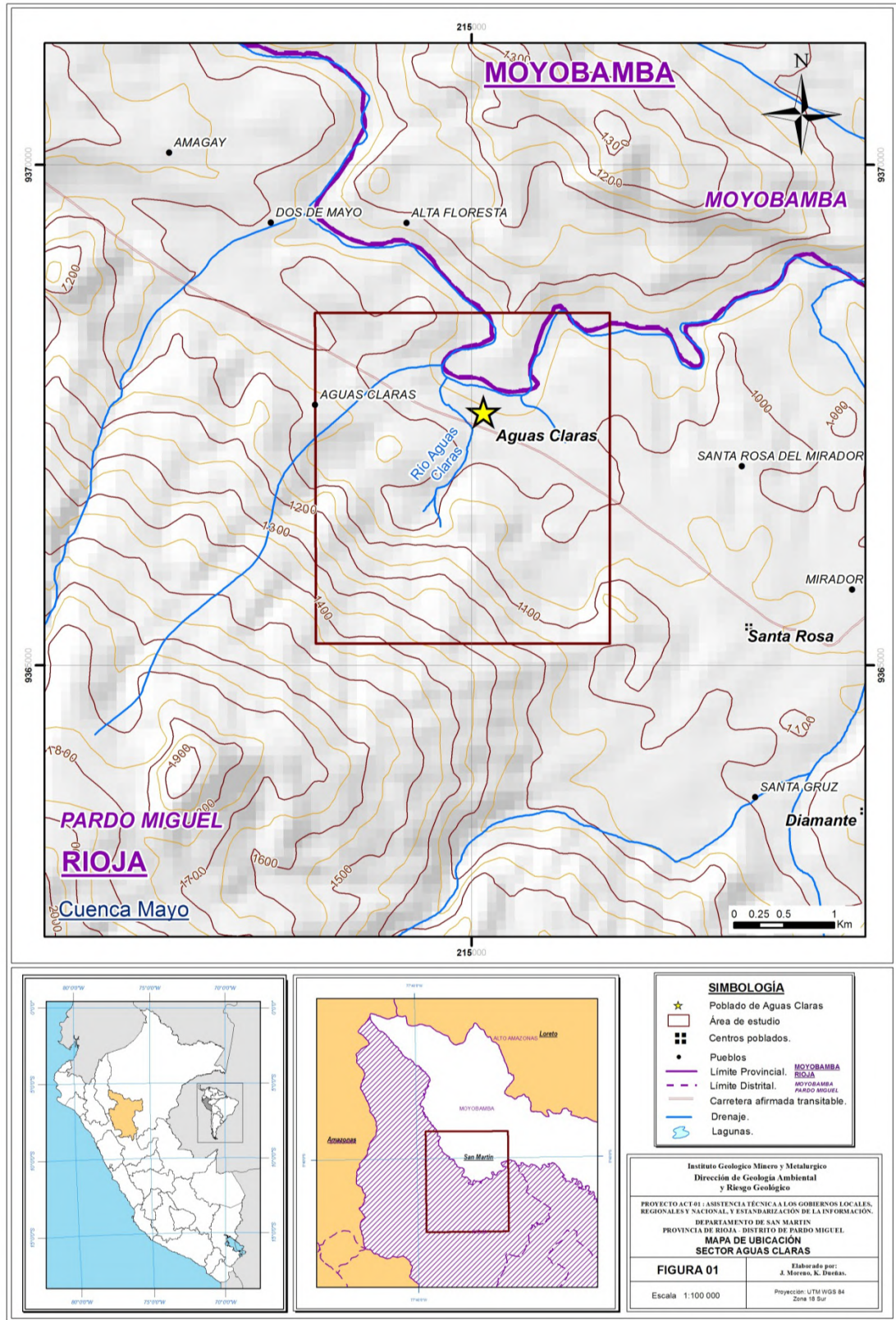


Figura 01: Mapa de Ubicación del sector de Aguas Claras.

1.4 ANTECEDENTES

Versiones dadas por los pobladores de la localidad de Aguas Claras, mencionan que siempre se registró desde años anteriores movimientos sísmicos acompañado de sonidos internos en el subsuelo como explosiones, los cuales no prestaron mucho interés, sin embargo, a finales del mes de enero del presente año, un fuerte movimiento causó pánico en la población, y sorprendentemente el caudal del río Aguas Claras bajó casi en su totalidad, (fotos N° 01, 02 y 03), días después recobró su caudal mostrando una turbidez que aparentemente cambió la coloración tornándolo gris oscuro, causando alarma y preocupación entre los pobladores.



Foto N° 01: Descenso del caudal del Río Aguas Claras, (31 de enero del 2016).
Fuente: Alcalde de la comunidad de Aguas Claras (fuente: Agente Municipal de la comunidad Aguas Claras).



Foto N° 02: Descenso del caudal del Río Aguas Claras, (31 de enero del 2016).
Fuente: Agente municipal de la comunidad de Aguas Claras.



Foto N° 03: En el descenso del caudal del Río Aguas Claras, llego a perder su caudal casi en su totalidad, (31 de enero del 2016).
Fuente: Agente Municipal de la comunidad de Aguas Claras.

Otras afirmaciones de los pobladores, mencionan que los movimientos aumentaron por la temporada de lluvia y que los sonidos en el subsuelo eran más elevados; así mismo, se evidencio zonas inundadas, cochas, escorrentía superficial y surgencias

que permanecían secas, esta escorrentía superficial se pierden después de un corto recorrido.

Estos hechos, condujeron a los pobladores llevar a solicitar ayuda a la Municipalidad Provincial de Rioja y a su vez al Gobierno Regional de San Martín para finalmente elevarlo al INGEMMET por medio de la congresista Esther Saavedra Vela.

1.5 ESTUDIOS PREVIOS

En lo que concierne a la geología regional de la zona se tiene el trabajo “Geología de los cuadrángulos de Bagua Grande, Jumbilla, Lonya Grande, Chachapoyas, Rioja, Leimebamba y Bolívar” (Sanchez, A., 1995); en peligros geológicos, los estudios “Riesgos Geológicos en la región San Martín (2010)” e “Informe de Zonas Críticas de la región de San Martín” (2007), elaborados por el INGEMMET. También se tiene los estudios “Mapa de Peligros de la Ciudad de Moyobamba. Proyecto INDECI – PNUD PER/02/051” y “Mapa de Peligros de la Ciudad de Moyobamba. Proyecto INDECI – PNUD PER/02/051”, emitidos por el Indeci (realizados por el Proyecto de Ciudades Sostenibles).

1.6 CLIMA Y VEGETACIÓN

Según la clasificación de J. Pulgar V. la mayor parte de la superficie estudiada, se encuentra entre las regiones naturales Yunga Oriental (1000 a 2300 m.s.n.m.) y Quechua (2300 a 3500 m.s.n.m.); mientras que, según la clasificación climática de Köppen, en la zona de estudio encontramos dos tipos de climas, uno, el de Selva Tropical Permanente Húmedo (AF) que corresponde a climas cálidos y lluviosos todo el año, propio del clima de la selva lluviosa; y el otro, el de clima Templado Moderado Lluvioso (CW), que corresponde a climas de inviernos fríos, templados secos, veranos frescos y esporádicas lluvias.

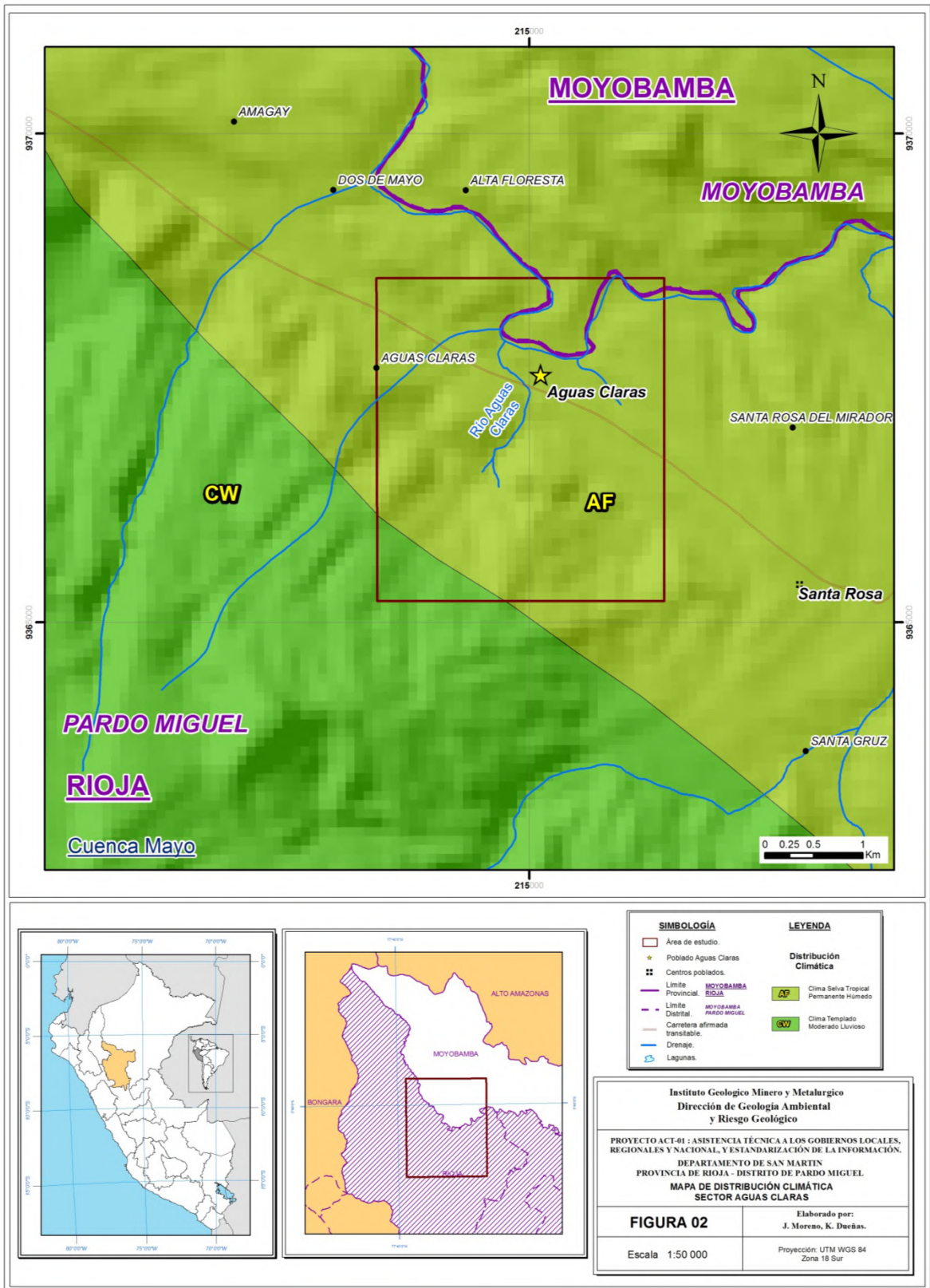


Figura N° 02: Mapa de Distribución Climática sector de Aguas Claras.

La precipitación promedio anual excede los 1000 mm pero no sobrepasa los 5000 mm en el flanco Subandino Oriental, ocasionando el desarrollo de una exuberante vegetación, caracterizada por una gran variedad de especies forestales, que cubren toda el área.

La precipitación total anual es de 1800 mm, la máxima mensual (Marzo) es de 250 mm y la mínima mensual es de 145 mm. Las precipitaciones pluviales son más intensas entre diciembre a mayo (foto N° 04), y disminuyen evidentemente entre los meses de junio a noviembre, siendo en esta etapa su frecuencia muy variable; dichas precipitaciones se originan por las masas de aire húmedo y la alta nubosidad proveniente de la región amazónica, también incide mucho el gran volumen de evapotranspiración.



Foto N° 04: Precipitaciones en el poblado de Aguas Claras (Marzo).

Los vientos cargados de nubes y humedad, son detenidos por las elevaciones más destacables, originan precipitaciones y el desarrollo de bosques tipo selva, entre los 800 y 3000 m.s.n.m., en el flanco oriental. La vegetación típica de la Selva Alta, está constituida de muchas especies de palmeras, árboles madereros, lianas y una gran variedad de arbustos, los que en conjunto forman una densa vegetación.

En el área de estudio los rangos de temperatura media van desde los 11.1 °C hasta los 25° C, pudiendo llegar hasta los 34° C. Entre los 500 y 1000 m.s.n.m. el clima es cálido húmedo, con una temperatura media anual entre los 22° y 17° C. Entre los 1000 a 2000 m.s.n.m; los días son calurosos y las noches templadas, frescas; con una temperatura media anual que oscila entre 18° a 20°C; Figura N° 03.

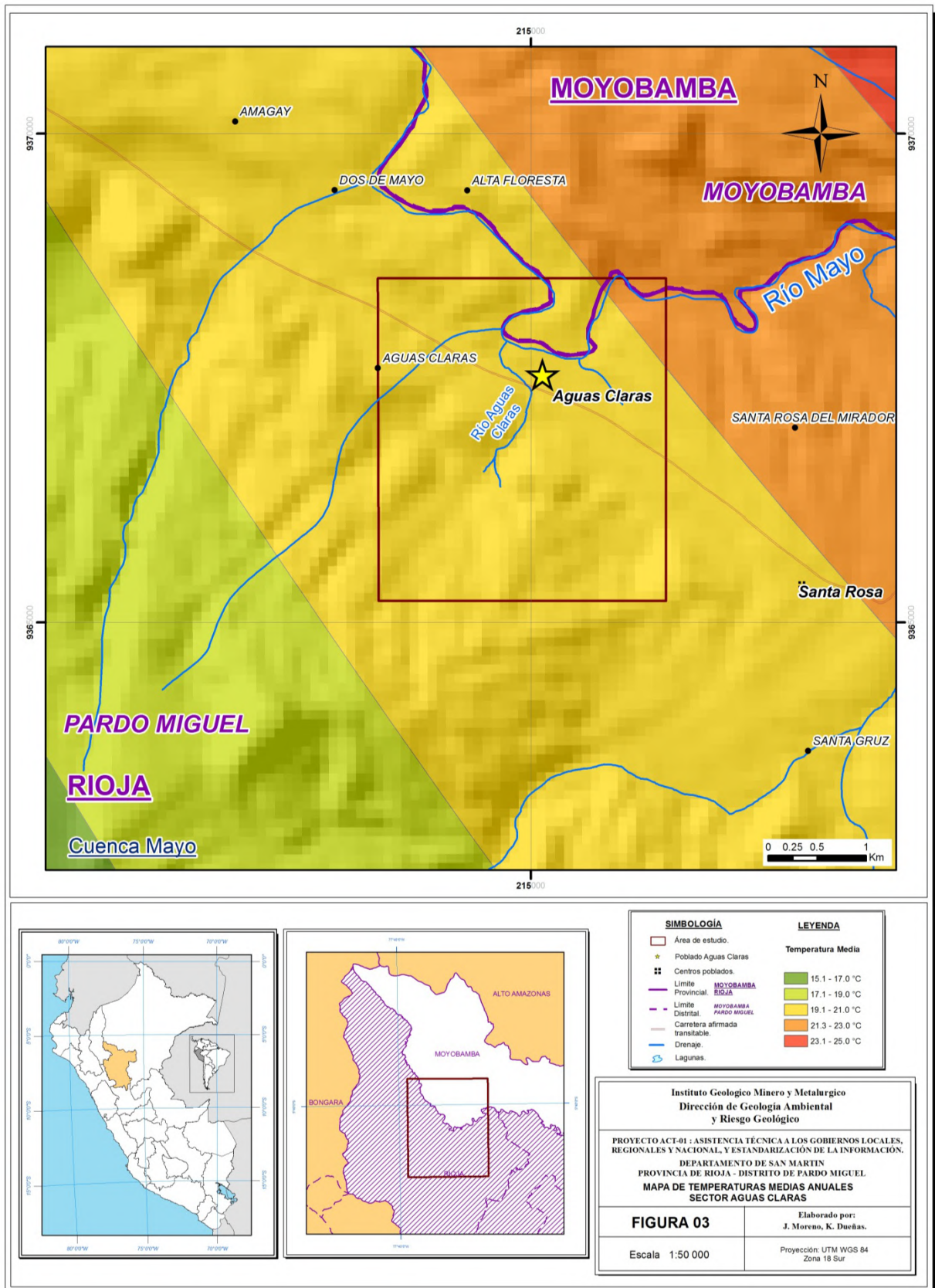


Figura N° 03: Mapa de Temperaturas Medias Anuales del sector de Aguas Claras.

2. CONTEXTO GEOMORFOLÓGICO

Para la caracterización de las unidades geomorfológicas en la zona de estudio, se consideran criterios de control como: la homogeneidad litológica y la caracterización conceptual en base a aspectos del relieve en relación a la erosión o denudación y sedimentación o acumulación. Para la clasificación de las unidades geomorfológicas se tomó en cuenta la publicación de Villota (2005).

En el contexto general, en la zona se encuentran conformadas por cadenas de cerros, constituidos principalmente de rocas sedimentarias. Se describen tres unidades encontradas, Figura N° 04.

2.1 RELIEVE KÁRSTICO (R-k)

Dentro de las zonas calcáreas, es posible encontrar formas topográficas peculiares, resultantes de la disolución superficial y subsuperficial de rocas calcáreas, por las aguas de lluvia, las que al concentrarse en escorrentía son llevadas hacia cauces subterráneos (Thornbury, 1966).

Los karst pueden ser superficial como lapiaz, pozos de infiltración, dolinas, fosas valles secos o ciegos. Los subterráneos ductos verticales y grutas en forma de campana (ampliación de canales) que se inician en el pozo de infiltración (epikarst); canales horizontales como galerías que conducen agua a la superficie (mesokarst); canales profundos de sifón que se extienden en la zona de relleno (por debajo del nivel de erosión). El sistema de formas subterráneas (epi y meso karst) aflora en la superficie y aguas kársticas escurren a los ríos, cuerpos acuíferos cuyos niveles representan sus bases de erosión o niveles de evolución (Luco, 1989).

Los procesos kársticos encontrados en el área de Aguas Claras son de tipo subterráneo, se identificó cavernas, ductos subterráneos, con presencia de flujos de agua, el río Aguas Claras nace de este proceso, (foto N° 05).

El proceso de disolución de las calizas se produce cuando estas se encuentran conformadas solo por calcita y dolomita (CaCO_3), los cuales son solubles al agua natural con contenidos de ácido carbónico diluido (H_2CO_3). Este ácido carbónico resulta de la solución de CO_2 del aire y su reacción con el agua.

Estas reacciones atacan a las rocas calcáreas, donde los rasgos morfológicos de procesos de disolución de calizas, están representados por la presencia de drenajes subterráneos, el agua penetra en la roca, agrandando las fracturas y fisuras preexistentes por disolución.

En la zona de Aguas Claras es posible encontrar los siguientes rasgos superficiales propios de un karst, como dolinas, que representa una depresión de forma circular o de embudo, de lados rocosos o cubiertos de suelo y vegetación, originadas por el hundimiento de una caverna, cuyas dimensiones varían entre 2 y 100 m de profundidad y entre 10 y 100 m de diámetro, pueden ocurrir aisladas o en grupos (Villota, 2005), (foto N° 06).



Foto N° 05: Cavernas con evidencias de filtraciones de agua subterránea que alimentan los caudales del río Aguas Claras, que se encuentran conectadas bajo una red de galerías kársticas con conductos como grietas y fisuras, que albergan a los flujos de agua subterránea.

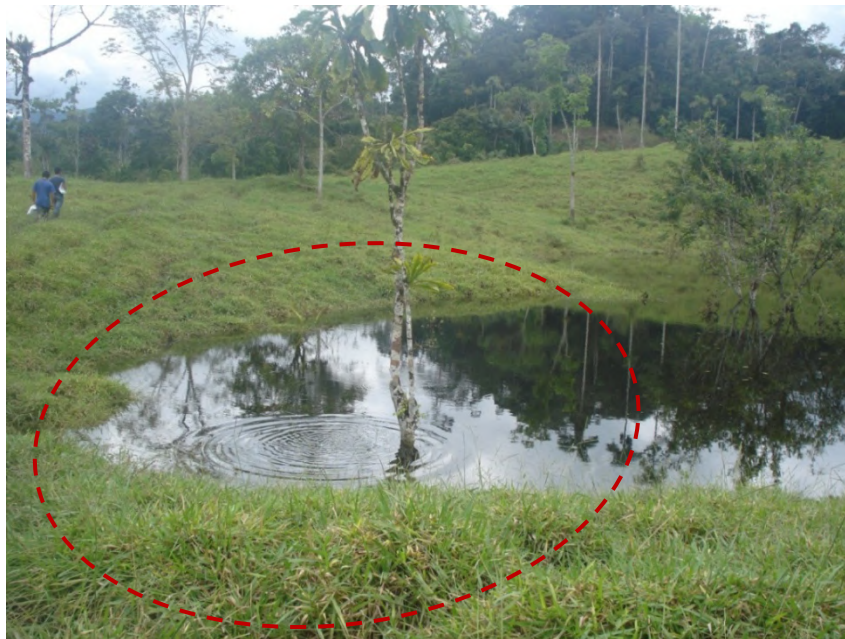


Foto N° 06: En la geoforma, de embudo inundada, se observa la dinámica de la surgencia del agua subterránea, a través de las constantes ondas en la superficie del agua, nos evidencia las conexiones de fracturas, fisuras, grietas y posible dolina inundadas internamente.

Las dolinas pueden clasificarse como:

- a) Dolinas de desplome: se forman donde el techo de una caverna cae, dejando un pozo de paredes verticales y a menudo angulares.
- b) Dolinas de subsidencia: se forman donde yacen depósitos de cobertura sobre las calizas; un desplome puede involucrar la capa de cobertura, la cual será gradualmente descendida o llevada hacia el interior de la cavidad, para dejar un hueco cónico.
- c) Dolinas de corrientes insumidas: se forman donde una corriente de agua fluye dentro de la dolina y luego se insume en la roca formando un pozo o cueva, la mayoría de estas cambia luego a una especie de fosa.

Los aportes de agua subterránea hacia el río Aguas Claras son continuos. Se observó que en la desembocadura el caudal es mucho mayor que el visualizado en las nacientes, que aproximadamente suma un caudal de 140 Lt/s (En las nacientes de 2 manantiales principales), y desemboca al río Mayo con un caudal aproximado de 7 m³/s (Aforo del 13 de junio del 2015 por el IRD Francia (Instituto de Investigación para el Desarrollo)).

Esta unidad kárstica se desarrolló en las formaciones Chambará, Condorsinga y Aramachay.

2.2 GEOFORMAS DE CARÁCTER TECTÓNICO DEGRADACIONAL Y EROSIONAL (Rc-rs).

Resultan del efecto progresivo de los procesos morfo dinámicos degradacionales sobre los relieves iniciales originados por la tectónica o sobre algunos paisajes construidos por procesos exógenos agradacionales, estos procesos conducen a la modificación parcial o total de estos a través del tiempo geológico y bajo condiciones climáticas cambiantes (Villota, 2005).

Como unidad a esta geoforma, en la zona de Aguas Claras se evidencian la presencia de colinas, que alcanzan alturas menores a los 300 m respecto al nivel de base local, se reconocen como cumbres y estribaciones producto de las deformaciones sufridas por la erosión y la influencia de otros eventos de diferente naturaleza.

En el área se tiene colinas sedimentarias (foto N° 07), que tienen alturas menores a 150 m. la altitud del fondo del valle corresponde a 950 m.s.n.m.; mientras que las cumbres alcanzan hasta 1100 m.s.n.m.

Las cumbres de los cerros son de formas redondeadas, las laderas son uniformes tienen pendientes entre 20 a 25°. Los controles de la geoformas son por el tipo de litología como limolitas, arcillitas y calizas.

El Grupo Oriente da lugar a este tipo de unidad geomorfológica.

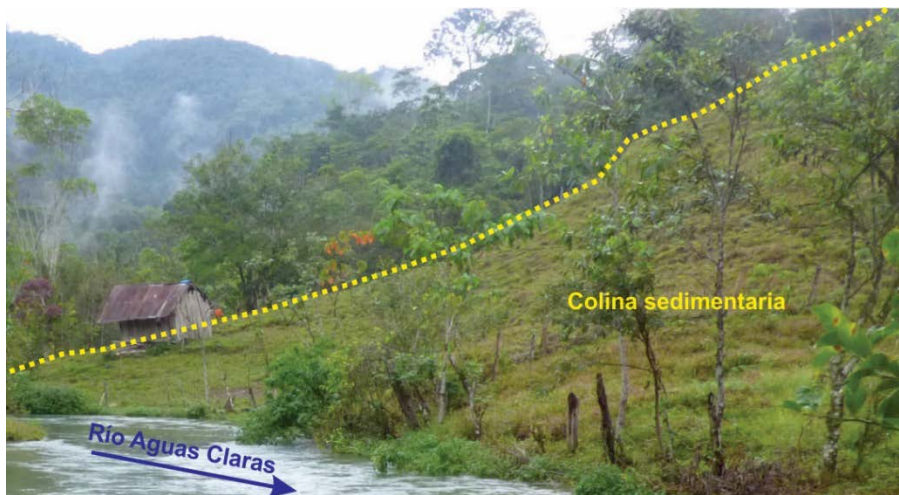


Foto N° 07: Se aprecia parte de la ladera de la colina sedimentaria.

2.3 GEOFORMAS DE CARÁCTER DEPOSICIONAL O AGRADACIONAL (Pd-al).

Estas geoformas son resultado del conjunto de procesos geomorfológicos a los que se puede denominar constructivos, determinados por fuerzas de desplazamiento, como por agentes móviles, tales como: el agua de escorrentía; los cuales tienden a nivelar hacia arriba la superficie de la tierra, mediante el depósito de materiales sólidos resultantes de la denudación de terrenos más elevados.

Corresponden a estas geoformas la unidad de piedemonte aluvial, que corresponde a las porciones de terreno que se encuentran dispuestas a los costados del río Aguas Claras y el río Seco, en los cuales se depositan sucesivamente material de forma subredondeada y subangulosa, (foto N° 08).



Foto N° 08: Cauce del río Seco, muestra los depósitos.

Todos estos depósitos están asociados a procesos de flujos superficiales con erosiones socavamientos en los lechos de los ríos, de materiales heterogéneos entre gravas, limos, y arcillas. (Foto N° 09, 10).



Foto N° 09: Depósitos de materiales entre gravas y arenas en el río seco.



Foto N° 10: Socavamiento en el lecho del río Aguas Claras por los fuertes caudales.

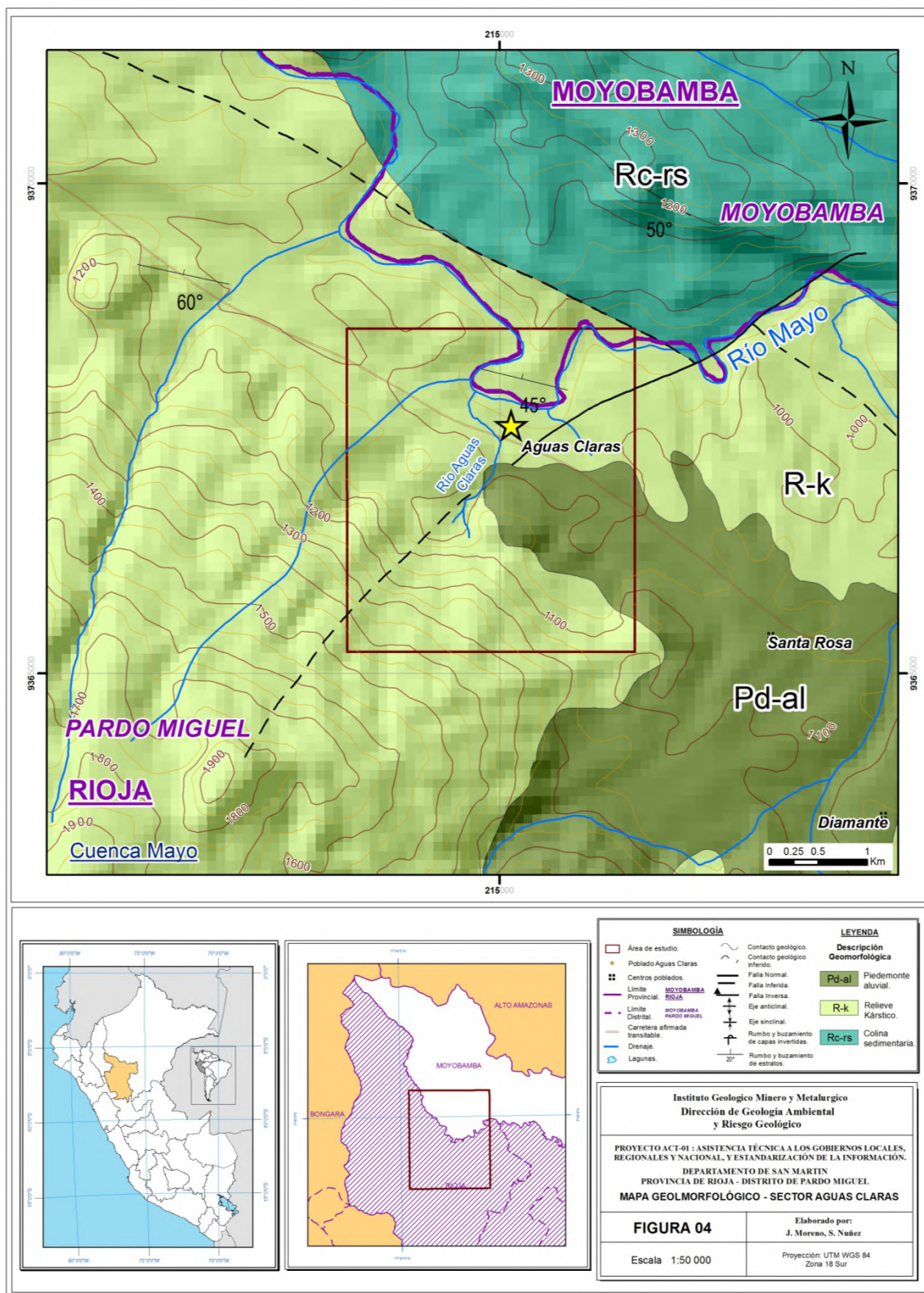


Figura N° 04: Mapa geomorfológico de la zona de Aguas Claras.

3. CONTEXTO GEOLÓGICO

Según Fernández et al (1995), en la zona evaluada afloran las siguientes formaciones geológicas; Figura N° 05.

3.1 MESOZOICO

a) GRUPO PUCARÁ

El Grupo Pucará influye notablemente en la morfología permitiendo el desarrollo de un relieve kárstico con abundantes cavernas y dolinas que se encuentran a lo largo de la cadena andina, se encuentra bastante deformado. Se reconocen tres formaciones: Chambará, Aramachay y Condorsinga.

a.1 FORMACIÓN CHAMBARÁ (Tr-ch)

Constituye la base del Grupo Pucará y es el núcleo de las cadenas longitudinales subandinas, que tienen rumbo NO-SE.

La Formación Chambará del sector estudiado, puede subdividirse en dos miembros. El miembro inferior está constituido por calizas en capas de 1 a 3 metros de espesor, formadas por estratos que contienen generalmente abundantes nódulos e inclusiones silíceas de forma irregular, son bastante resistentes, de apariencia maciza, sin embargo en algunos lugares se observan abundantes cuevas y depresiones; además, forma farallones y escarpas empinadas muy características. Las calizas son de color gris a gris oscuro con coloraciones superficiales beige a marrón claro.



Foto N° 11: Afloramiento de paquetes de calizas con una estratificación irregular propia del miembro superior de la Formación Chambara.

El miembro superior está constituido por estratos de 10 a 40 cm de espesor, separados por superficies de estratificación ondulada, irregular paralela. Este miembro

se encuentra deformado mostrando pliegues regulares del orden de algunas decenas de metros (Foto N° 11).

La Formación Chambará mantiene una potencia casi constante de 400 m, aunque el máximo puede alcanzar los 500 m.

a.2 FORMACIÓN ARAMACHAY (Ji-a)

Es fácilmente reconocible por sus afloramientos menos resistentes a la erosión en comparación con las unidades supra e infrayacentes. Generalmente sobre ella se han desarrollado cultivos y pastos naturales, (Foto N° 12).

Distribuida en el poblado de Aguas Claras, donde muestra una coloración superficial crema a beige, siendo marrón oscura a gris marrón en las áreas húmedas con mayor densidad de lluvias y por tanto con abundante vegetación.

La Formación Aramachay consiste de calizas y limoarcillitas color marrón oscuro, intercaladas con calizas grises a negras, bituminosas, limoarcillitas calcáreas color marrón oscuro en estratos tabulares de 5 a 40 cm; diferenciables por su menor resistencia a la erosión y porque superficialmente presentan coloraciones cremas, de aspecto terroso, especialmente en las áreas áridas, otro componente distintivo es la abundancia de amonites y en algunos caso bivalvos.



Foto N° 12: Evidencia de afloramiento de calizas, bien erosionadas, cubiertas de densa vegetación, a orillas del río Mayo, perteneciente a la Formación Aramachay.

El espesor de esta unidad es de 150 a 200 m.

Por la alta escorrentía, elevadas precipitaciones, acumulaciones de agua en forma de charcas o lagunas, las limoarcillitas de la Formación Aramachay se encuentran saturadas de agua, siendo áreas propensas o susceptibles a desarrollar procesos de movimientos en masa.

a.3 FORMACIÓN CONDORSINGA (Ji-c)

Es la unidad superior del Grupo Pucará, constituida por calizas micríticas color gris a beige, generalmente dispuesta en estratos delgados con espesores de 10 a 30 cm. En algunos casos, tiene intercalaciones de limoarcillitas de colores gris claro, verdoso a amarillentas. En esta unidad se han desarrollado numerosas cuevas. Su espesor aproximado es entre 100 y 150 metros.

El rasgo distintivo de esta unidad es notorio, por su resistencia a la erosión en relación con la unidad infrayacente.



Foto N° 13: Estratos de calizas de la Formación Condorsinga, presenta dirección SO - NE con buzamiento de 45° al E, cerca de la desembocadura del río Aguas Claras.

b) FORMACIÓN SARAYAQUILLO (Js-s)

Su característica principal es la coloración rojiza y un relieve más suave con respecto a las unidades adyacentes.

Consiste principalmente de lodolitas, limolitas y areniscas rojas intercaladas en estratos medios. En la parte superior se intercalan areniscas gris claras a marrón claras en estratos de grosores variables, desde algunos centímetros hasta un metro.

Ocasionalmente, se pueden encontrar conglomerados mal clasificados, polimícticos, de extensión reducida, también existen cuerpos importantes de yeso que se ubican en la parte inferior de la formación.

c) GRUPO ORIENTE (Ki-o)

Areniscas cuarzosas blancas de grano grueso, con estratos bastante resistentes que generan escarpas muy empinadas; se encuentran algunas intercalaciones de limoarcillitas y limolitas grises, en otros sectores de coloración gris verdosas con potencias de 1.5 m, en esta unidad destaca el contenido de material carbonoso como laminillas o concentraciones pequeñas que le otorgan al conjunto una coloración gris con eflorescencias amarillentas.

Esta unidad sobreyace a la Formación Sarayaquillo, se encuentra mejor desarrollado en la naciente del río Mayo.

3.2 CENOZOICO

a) DEPÓSITOS CUATERNARIOS (Q-al)

Son aquellos depósitos inconsolidados que han sido acumulados por la combinación de procesos coluviales, aluvionales y fluviales y que generalmente se ubican en las partes bajas inmediatas a las zonas elevadas y en los lechos de los valles.

Sus espesores son variables al igual que su extensión, igualmente su composición litoclástica y su fragmentometría.

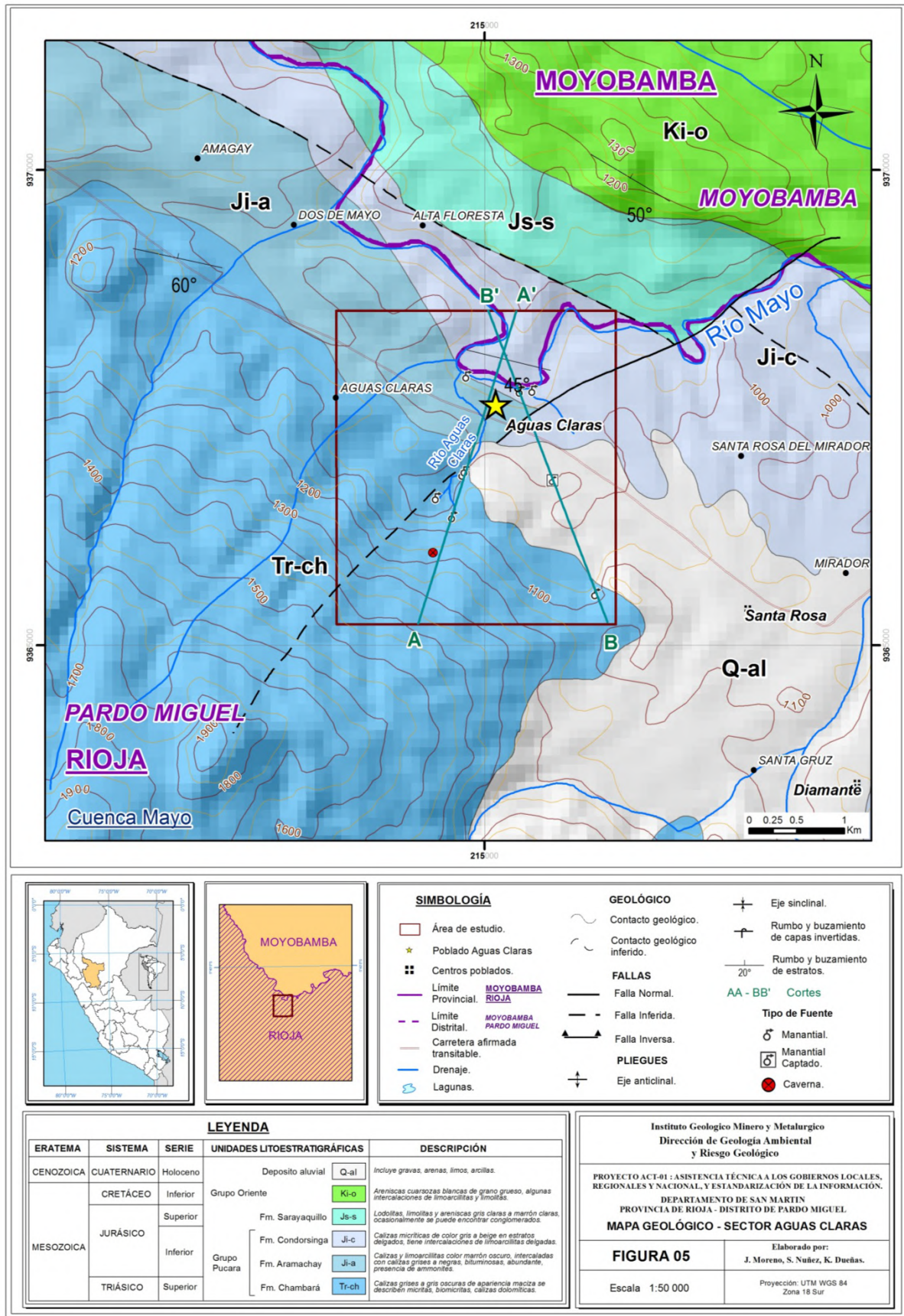


Figura N° 05: Mapa geológico del sector de Aguas Claras.

4. CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO

La hidrogeología de la zona de estudio, es sustentada bajo el reconocimiento en campo y análisis de laboratorio para la interpretación de la hidroquímica de las aguas subterráneas.

En la zona de estudio no existe aún estudios hidrogeológicos a detalle, debido a que la disponibilidad de agua superficial es excesivamente grande en comparación con los posibles usos del agua subterránea; sin embargo, la presencia del agua subterránea es evidente y con grandes caudales, que se reflejan en los manantiales, humedales, y el aporte interno al caudal de los ríos.

4.1 CLASIFICACIÓN HIDROGEOLÓGICA

Conociendo las formaciones geológicas que afloran en la zona de estudio, analizaremos el carácter hidrogeológico, asignando una unidad hidrogeológica, teniendo como base las características geológicas como litología y estructuras que se pudieron identificar en campo; así como, las condiciones de descarga y propiedades fisicoquímicas de las aguas subterráneas.

Estos parámetros nos permitieron elaborar el mapa hidrogeológico, zonificando las rocas y suelos con condiciones de almacenamiento y circulación de aguas subterráneas, este mapa representara la base de estudios hidrogeológicos detallados a futuro, en caso se requiera encontrar reservas de aguas subterráneas para diferentes usos como el abastecimiento de agua potable o incrementar la oferta de riego.

La clasificación de las unidades hidrogeológicas corresponde a una hidrogeología regional, figura N° 06; y tabla N° 01; en la zona de estudio se pudieron identificar acuíferos y acuitardos:

- a) Acuífero.- Formación Geológica capaz de almacenar y transmitir agua subterránea en su interior en cantidades apreciables.
- b) Acuitardo.- Unidad rocosa capaz de almacenar agua subterránea en su interior, transmitiéndola muy lentamente, en la clasificación hidrogeológica solo se tiene el Acuitardo sedimentario (ATS), de la Formación Sarayaquillo.

Tabla N° 01: Clasificación hidrogeológica del sector de Aguas Claras

ERA TEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS		DESCRIPCIÓN	UNIDAD HIDROGEOLÓGICA	
Cenozoico	Cuaternario	Holoceno	Deposito Aluvial	Q-al	Incluye gravas, arenas, limos, arcillas.	APNC	
Mesozoico	Cretáceo	Inferior	Grupo Oriente	Ki-o	Areniscas cuarzosas blancas de grano grueso, algunas intercalaciones de limoarcillitas y limolitas.	AFS	
	Jurásico	Superior	Fm. Sarayaquillo	Js-s	Lodolitas, limolitas y areniscas gris claras a marrón claras ocasionalmente se puede encontrar conglomerados.	ATS	
		Inferior	Grupo Pucará	Fm. Condorsinga	Ji-c	Calizas micríticas de color gris a beige en estratos delgados, tiene intercalaciones de limoarcillitas delgadas.	AFK
				Fm. Aramachay	Ji-a	Calizas y limoarcillitas color marrón oscuro, intercaladas con calizas grises a negras bituminosas, abundante presencia de amonites.	AFK
Triásico	Superior	Fm. Chambará		Tr-ch	Calizas grises a gris oscuras de apariencia maciza, se describen micríticas, biomicríticas, calizas dolomíticas.	AFK	

La tabla N° 01, muestra la calificación, de la unidad hidrogeológica que se le asigna a cada formación geológica de acuerdo al comportamiento hidrogeológico de los materiales, a continuación se explica una descripción de las unidades más relevantes por su importancia hidrogeológica (acuíferos):

a) Acuífero Poroso no Consolidado (APNC)

Esta unidad se caracteriza por la presencia de materiales sueltos, heterogéneos como gravas arenosas, bancos de arenas y gravas, poco consolidados, así como limos, limoarcillitas, arcillas, que corresponden a los depósitos aluviales, poseen buena porosidad y permeabilidad, lo cual favorece al almacenamiento de aguas subterráneas; pero debido a la presencia de limoarcillitas y arcillas la productividad no es tan eficiente, foto N° 14.

b) Acuífero fisurado sedimentario (AFS)

Esta unidad se encuentra conformada por grandes depósitos de areniscas cuarzosas, llegando a conglomerádicas en la base, están representadas por el Grupo Oriente, las propiedades de almacenamiento y transmisibilidad de las aguas subterráneas son importantes debido a la presencia de fisuras.



Foto N° 14: Deposito aluvial, en el lecho del río Seco, clasificado como acuífero poroso no consolidado (APNC).

c) Acuífero fisurado kárstico (AFK)

Los materiales carbonatados del Triásico – Jurásico incluyen calizas, calizas bituminosas, calizas micríticas, biomicríticas, formando un conjunto hidrogeológico que presenta una alta porosidad y una elevada permeabilidad, debido a una densa red de fisuración y sobre todo a un gran desarrollo de oquedades interconectadas que favorecen la circulación de las aguas. Esta unidad hidrogeológica engloba a las siguientes formaciones: Chambará, Aramachay, Condorsinga, que se comportan como acuíferos fisurados kársticos, fotos N° 15, 16, 17 y 18.



Fotos N° 15 y 16: Ambientes kársticos, cavernas interconectadas con filtraciones en el techo formando estalactitas (izquierda), y acumulación de charcos y escorrentía en el suelo (derecha).



Fotos N° 17 y 18: Fracturas y fisuras que ayudan a la filtración de las aguas de precipitación (izquierda), grietas por donde resurge el agua en temporadas de lluvia (derecha; Fuente: IRD-Francia, Instituto de Investigación para el Desarrollo).

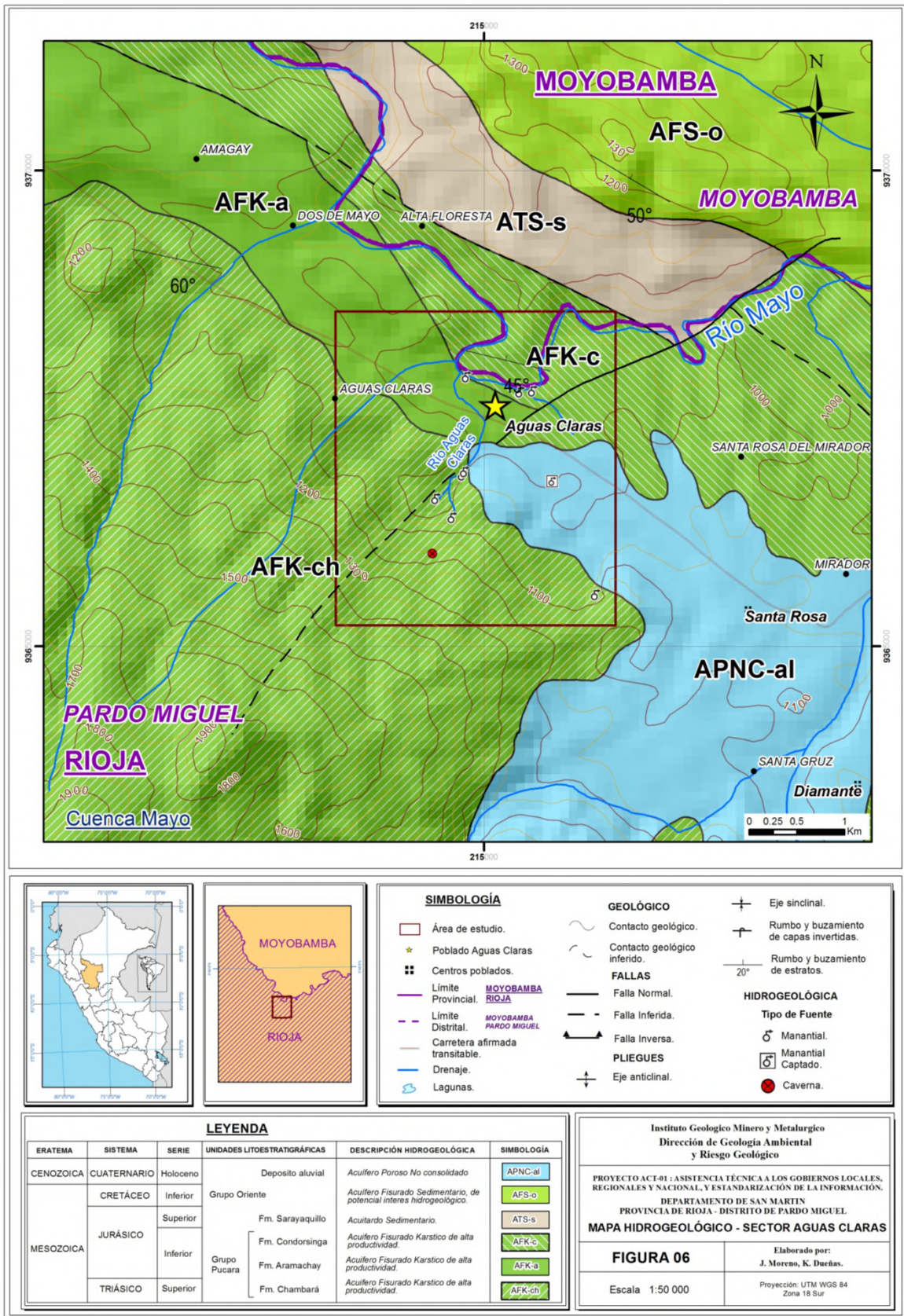


Figura N° 06: Mapa hidrogeológico del sector de Aguas Claras.

En la zona de estudio los materiales más importantes desde el punto de vista hidrogeológico son estos últimos, los pertenecientes al Triásico – Jurásico carbonatado, clasificados como acuíferos fisurados kársticos.

Estos sistemas hidrogeológicos, son recargados mediante dos formas de ingreso de agua, por un lado, la infiltración del agua de las intensas precipitaciones, que cae directamente sobre los afloramientos calcáreos, y por otro, a través de pérdidas que hay en los arroyos y escorrentía superficial, que se pierden al encontrar fisuras o cavernas que se encuentran conectadas desde las partes más elevadas.

Las descargas de estos sistemas de acuíferos kársticos se efectúan por la presencia de manantiales y resurgencias, de altos caudales que condicionan considerablemente el volumen del caudal del río Aguas Claras, en la zona de estudio se identificaron nueve surgencias de agua subterránea.

4.2 IDENTIFICACIÓN DE FUENTES DE AGUA SUBTERRÁNEA

Durante la inspección en campo, se registró descargas de aguas subterráneas que pertenecen a un gran sistema de acuíferos kársticos, que se encuentran interconectadas por galerías, grietas y fracturas, en algunos lugares se evidencian también zonas inundadas además de las surgencias y resurgencias a lo largo del río Aguas Claras, dándole un comportamiento de río ganador.

En el inventario de las fuentes de agua subterránea, el registro considera la medida de los siguientes parámetros tomados en situ, con la participación de la población como observadores y colaboradores en los trabajos en campo, fotos N° 19, 20 y 21:

- a) Parámetros físico-químicos, (Conductividad eléctrica, pH, TDS).
- b) Parámetros organolépticos, (Temperatura, otros).
- c) Parámetros hidráulicos, (Caudal).



Foto N° 19: Participación de la población en los trabajos de campo, toma de parámetros fisicoquímicos del manantial Aguas Claras 1 (49844-002).



Foto N° 20: Toma de parámetros fisicoquímicos en situ de la resurgencia Aguas Claras 2 (49844-003), la surgencia muestra una alta turbidez de sedimentos, tornando las aguas un aparente color gris oscuro.



Foto N° 21: Toma de parámetros fisicoquímicos del manantial Naciente 2 (49844-004), de caudal aproximado de 80 Lt/s, uno de los 2 manantiales donde nace el río Aguas Claras.

Estas fuentes de aguas subterráneas que fueron inventariadas, corresponden a surgencias en forma natural, encontrándose 9 fuentes que corresponden a 06

manantiales, un manantial captado y 02 resurgencias, tabla N° 02, figura N° 07: Mapa de inventario de fuentes de aguas subterráneas, sector de Aguas Claras.

Tabla N° 02: Registro de las fuentes de aguas subterráneas, inventariadas en la zona de estudio, sector de Aguas Claras.

REGISTRO DE LA MUESTRA							COORDENADAS		
N°	CÓDIGO	NOMBRE	TIPO DE FUENTE	USO	HORA	FECHA	X	Y	Z
1	49844-001	Naciente 1	Manantial	Ninguno	10:00	16/03/2016	214496	9366550	963
2	49844-002	Aguas Claras 1	Manantial	Ninguno	12:00	16/03/2016	214776	9366799	941
3	49844-003	Aguas Claras 2	Resurgencia	Ninguno	12:40	16/03/2016	214797	9366832	939
4	49844-004	Naciente 2	Manantial	Ninguno	13:20	16/03/2016	214669	9366350	977
5	49844-005	Orilla 1	Manantial	Ninguno	16:40	16/03/2016	214817	9367830	927
6	49844-006	Orilla 3	Manantial	Ninguno	17:46	16/03/2016	215513	9367683	917
7	49844-007	Reservorio	Manantial Captado	Consumo Humano	09:35	17/03/2016	215713	9366732	1000
8	49844-008	La Grieta	Resurgencia	Ninguno	11:00	17/03/2016	216174	9365542	1020
9	49844-009	Orilla 2	Manantial	Ninguno	12:48	17/03/2016	215379	9367672	932

Estas surgencias afloran condicionados por la presencia de estructuras geológicas como fallas, fracturas y diaclasas, que también condicionan el movimiento y dirección de los flujos de aguas subterráneas.

Los manantiales Naciente 1 (49844-001) y Naciente 2 (49844-004), dan el origen al río Aguas Claras, pero, sus aportes son mínimos, sus medidas de caudales mediante el método de la cubeta, aproximadamente son de 60 L/s y 80 L/s respectivamente, (fotos N° 22 y 23), haciendo un total de 140 L/s, durante su recorrido se evidencian surgencias con aportes mínimos como el manantial Aguas Claras 1 (49844-002), de 20 L/s, foto N° 24; sin embargo el aporte real que recibe el río Aguas Claras, es en su interior, adoptando el comportamiento de un río ganador, en diferentes tramos de su recorrido, de unos 2 Km, hasta su desembocadura al río Mayo, con un caudal aproximado de 7 m³/s (aforo del 13 de junio del 2015 por el IRD Francia (Instituto de Investigación para el Desarrollo), foto N° 25, siendo su principal aporte la resurgencia Aguas Claras 2 (49844-003), quien además del caudal aportado, levanta una turbidez ocasionando el aparente cambio de coloración de las aguas del río, generada por los movimientos internos en los ductos kársticos que generaron remoción de sedimentos y causaron la preocupación de los pobladores, fotos N° 26 y 27.



Foto N° 26: Resurgencia Aguas Claras 2 (49844-003), donde se nota el considerable cambio de caudal del río Aguas Claras, por el aporte de la resurgencia, muestra una coloración gris oscura, producto de la remoción de sedimentos en el arrastre interno de los ductos kársticos.



Foto N° 27: Acumulación de los sedimentos arrastrados por la resurgencia Aguas Claras 2, que se deposita en ambas márgenes del río y en mayor cantidad, alrededor de la resurgencia.

En otro sector del área de estudio se registró la resurgencia La Grieta (49844-009), foto N° 28, donde presenta un caudal considerable, que solo surge en temporada de

lluvias, foto N° 29, recorriendo un drenaje de aproximadamente 250 metros y llegando a desaparecer por completo entre fisuras y grietas en el interior de un tragadero, fotos N° 30 y 31, produciendo inundaciones, fotos N° 32 y 33, y saturaciones de conductos kársticos en el interior del terreno, cubierto por depósitos sedimentarios, evidenciándose fluctuaciones por las resurgencias, foto N° 34.



Foto N° 28: Resurgencia La Grieta (49844-009) en temporada seca. (Fuente IRD) Foto N° 29: Resurgencia La Grieta (49844-009) en temporada de lluvias.



Fotos N° 30 y 31: Tragadero de la resurgencia La Grieta (49844-009), el agua se pierde en el fondo de la escorrentía por medio de fisuras y grietas en el interior.



Fotos N° 32 y 33: Inundaciones producidas por el desborde de la resurgencia La Grieta, saturación del terreno por las precipitaciones, afectando senderos y áreas verdes.

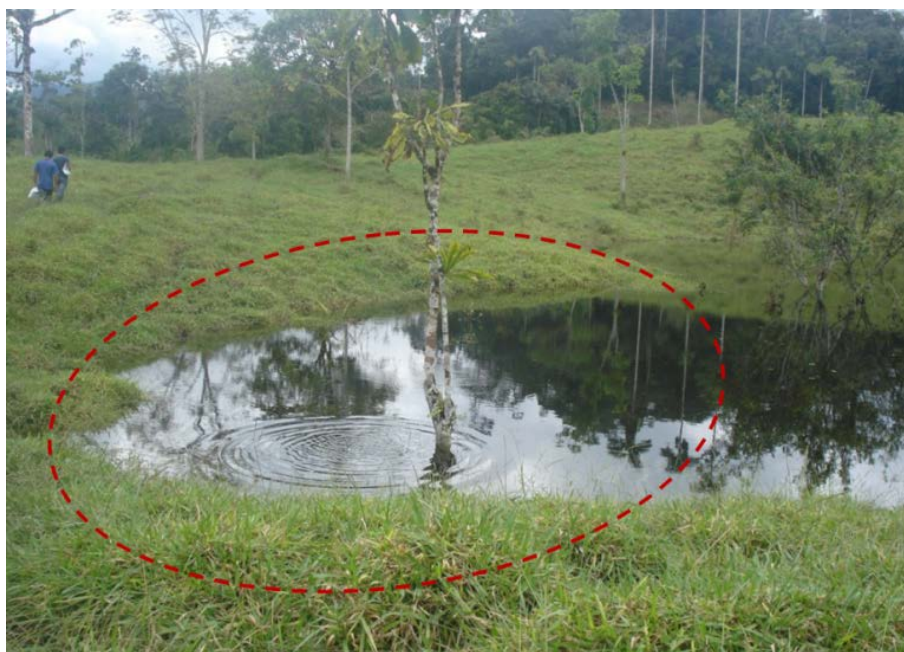


Foto N° 34: Las fluctuaciones nos evidencian más resurgencias, producto de la saturación del terreno y los conductos kársticos en el interior que muestran la conexión entre el agua subterránea y superficial a través de ductos, galerías kársticas, fracturas, fisuras, grietas y posible dolina inundada internamente.

Otros registros importantes del inventario de fuentes son las surgencias de los manantiales que se evidencian a orillas del río Mayo, Orilla 1 (49844-005) y Orilla 3 (49844-006), fotos N° 35 y 36, y que surgen a través de fracturas, grietas, conductos y fallas que se encuentran en el interior de la zona de estudio, siguiendo las direcciones de flujo que se visualizan en el mapa de inventario de fuentes, figura N° 07.



Foto N° 35 (Izquierda): Manantial Orilla 1 (49844-005), Foto N° 36 (Derecha): Manantial Orilla 3 (49844-006); ambos manantiales surgen de grietas y conductos kársticos, en las orillas del río Mayo, nótese el cambio transparencia del agua en los manantiales, al cambio del aparente color marrón grisácea del río por la turbidez y correntada.

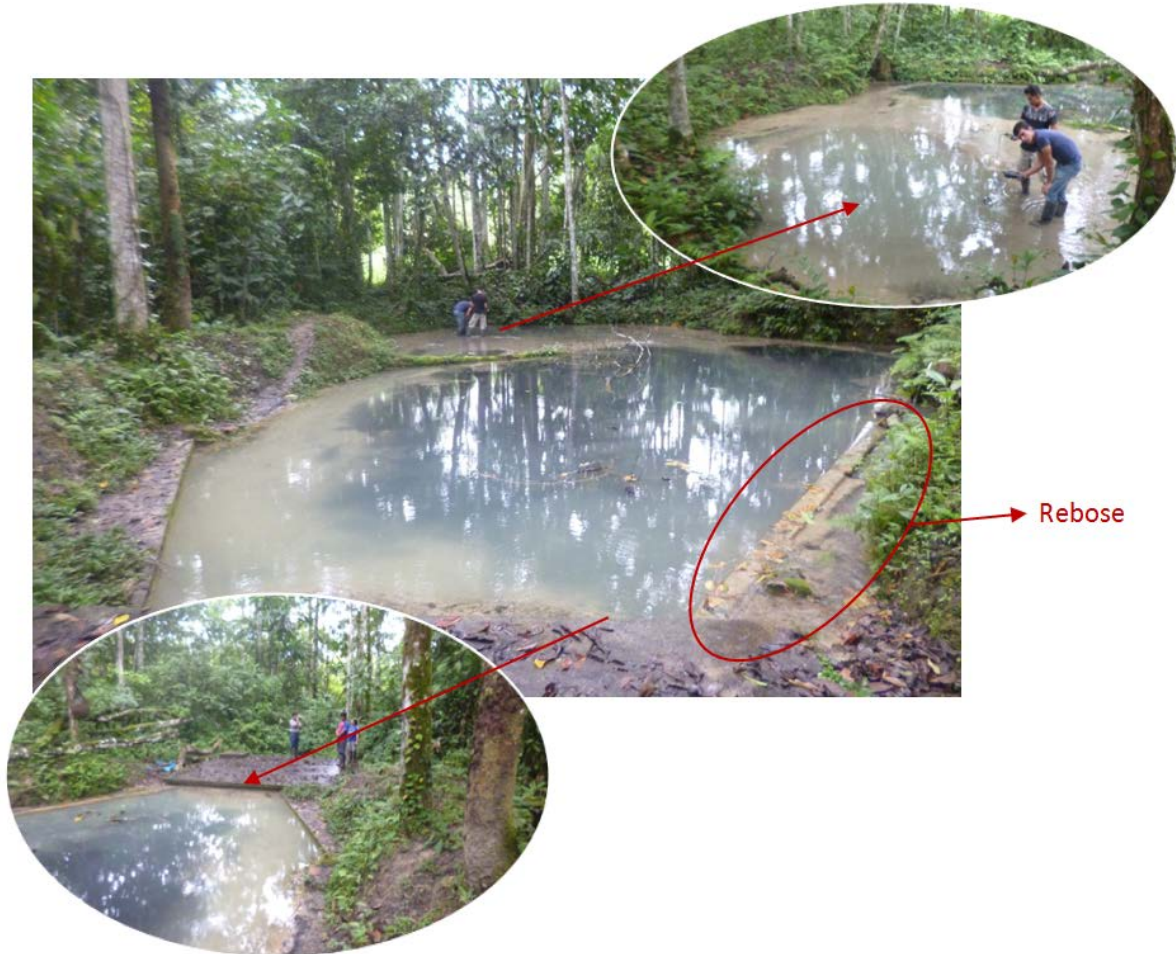
A unos 50 metros aproximadamente del manantial Orilla 3 (49844-006), se encuentra el manantial Orilla 2 (49844-009), que presenta características particulares, como elevada conductividad eléctrica de 3900 $\mu\text{S}/\text{cm}$, evidenciándonos el alto contenido de minerales disueltos en comparación con las otras fuentes, esto debido a que representa a aguas subterráneas de mayor profundidad y recorrido de sus flujos, de olor penetrante, con precipitados de sulfuro, de color blanco característico, que surge a presión, levantando burbujas y removiendo el material de grava del depósito superficial, fotos N° 37 y 38.



Fotos N° 37 y 38: Manantial Orilla 2 (49844-009), surge del suelo, removiendo el material de grava y finos, de temperatura ($T^{\circ}= 20.1^{\circ}\text{C}$) y conductividad eléctrica

(CE=3900 $\mu\text{S}/\text{cm}$), representando la circulación de aguas subterráneas en profundidad, con precipitados de sulfuros y olor penetrante.

Finalmente, se tiene el manantial captado Reservoirio (49844-007), que es usado para el consumo humano y actividades de la población de Aguas Claras, que surge sobre los depósitos cuaternarios entre limos, gravas finas y depósitos sedimentados del material de desgaste de la caliza, que se acumulan por la erosión interna en los ductos, grietas y fisuras del ambiente kárstico, durante el recorrido de los flujos subterráneos, fotos N° 39, 40 y 41.



Fotos N° 39, 40 y 41: Manantial Captado Reservoirio (49844-007), de caudal (Q=35 l/s).

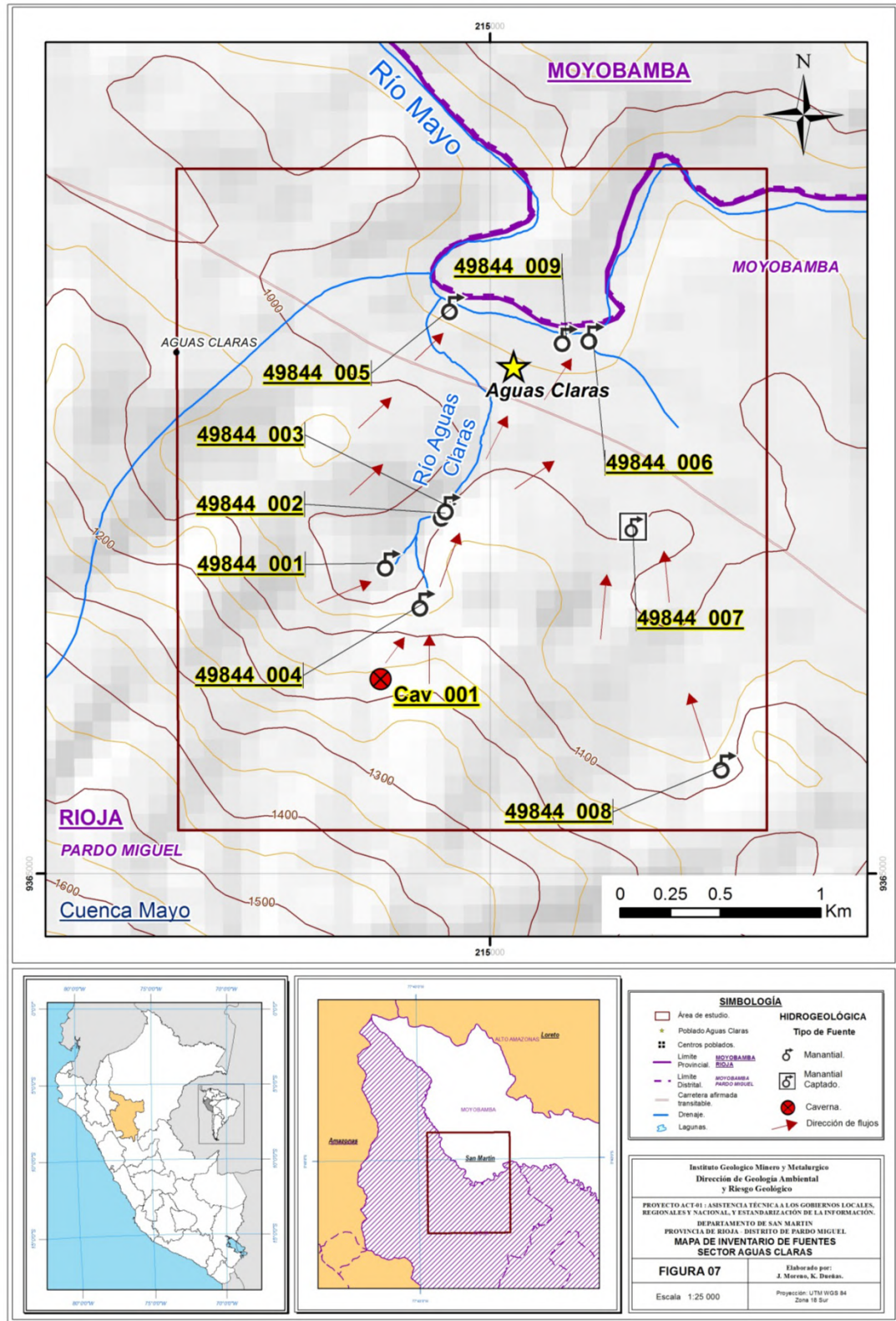


Figura N° 07: Mapa de inventario de fuentes de aguas subterráneas, sector de Aguas Claras.

4.3 CONTEXTO HIDROQUÍMICO

La evaluación de la hidroquímica de las aguas subterráneas tiene por objetivo, conocer la naturaleza de las descargas, su posible origen geoquímico, la interacción de las aguas subterráneas con los materiales del entorno y el comportamiento de los flujos; así como, la calidad de las mismas.

a) ANÁLISIS DE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

Haciendo uso de los Estándares de Calidad Ambiental, ECA, (DS N°015-2015-MINAM), comparamos de manera referencial con la categoría 1, en la subcategoría A-I, aguas que pueden ser utilizadas para potabilizarlas.

La tabla N° 03, muestra los datos de parámetros fisicoquímicos de las fuentes inventariadas, donde se comparó de manera referencial los datos de pH y conductividad eléctrica para las interpretaciones respectivas.

Tabla N° 03: Registro de parámetros fisicoquímicos.

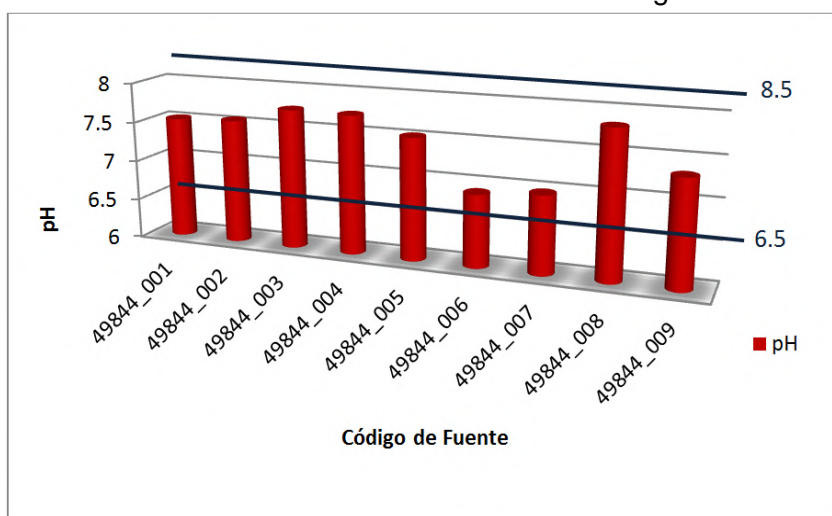
REGISTRO DE LA MUESTRA				PARAMETROS FISICOQUÍMICOS					
N°	CÓDIGO	NOMBRE	TIPO DE FUENTE	T° AGUA	T° AMB.	PH	CE (µS/cm)	TDS (mg/l)	Q (l/s)
1	49844-001	Naciente 1	Manantial	17.7	20	7.53	225.5	111	60
2	49844-002	Aguas Claras 1	Manantial	18.5	20	7.56	327.6	161	20
3	49844-003	Aguas Claras 2	Resurgencia	17.6	21.5	7.75	325.8	161.1	
4	49844-004	Naciente 2	Manantial	19.7	21.5	7.74	328.5	161.4	80
5	49844-005	Orilla 1	Manantial	19.3	20.5	7.53	306.9	150.9	90
6	49844-006	Orilla 3	Manantial	21.4	20.5	6.91	605.6	297.3	40
7	49844-007	Reservorio	Manantial Captado	21.5	22.5	6.98	172.6	84.09	35
8	49844-008	La Grieta	Resurgencia	19.6	22.5	7.83	342.8	168.5	
9	49844-009	Orilla 2	Manantial	20.1	22	7.33	3900	1911	2

En la tabla observamos que las temperaturas de las fuentes fluctúan entre los valores de 17.6 a 21.5° C y la temperatura del ambiente varía entre 20.0 a 22.5° C, existiendo una relación entre ambas temperaturas para cada fuente.

Análisis de pH: El valor del pH define la acidez y/o la alcalinidad del agua, para la subcategoría A-I, en rango de pH es de 6,5 a 8,5; consideradas aguas neutras, valores por debajo de 6.5, son aguas ácidas y superiores a 8.5, se les considera aguas básicas.

El grafico N° 01 muestra los datos de pH en el sector de Aguas Claras, que se encuentran en el rango de 6,5 a 8,5; se les considera aguas neutras posibles de potabilizarse.

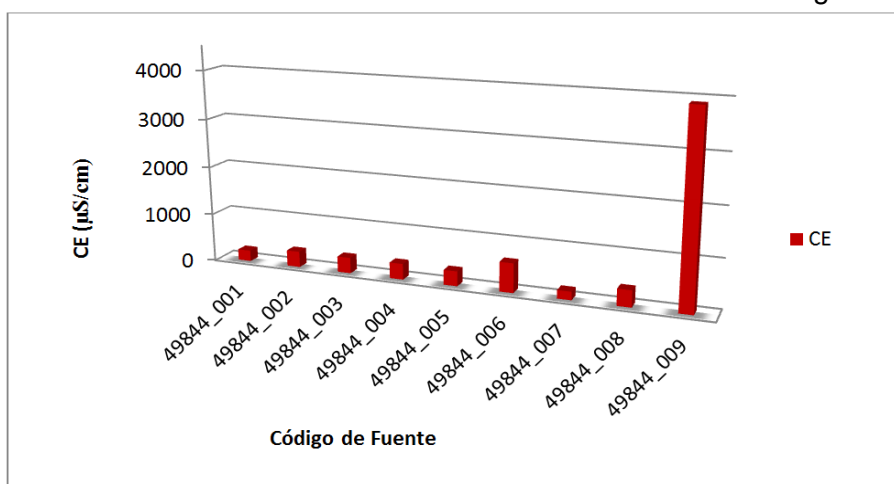
Grafico N° 01: Valores de PH en el sector de Aguas Claras



Análisis de Conductividad eléctrica: Este parámetro nos muestra la cantidad de iones disueltos en el agua, en la subcategoría A-I, presenta como límite, 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

En el grafico N° 02, observamos que en el sector de Aguas Claras, los valores de conductividad eléctrica, se encuentran por debajo de los 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, que es el límite para ser potabilizadas, a excepción de una fuente que corresponde al manantial Orilla 2 (49844-009) que presenta 3900 $\mu\text{S}/\text{cm}$, debiéndose a que representa un flujo profundo que tiene mayor recorrido y tiempo de disolución de minerales.

Grafico N° 02: Valores de Conductividad Eléctrica en el sector de Aguas Claras.



De las fuentes de agua subterránea inventariadas en el área de estudio, se seleccionaron 6 para su muestreo, siendo estas, las más representativas por sus datos de parámetros y las de mayor caudal dichas muestras se analizaron por aniones y cationes, tabla N° 04.

Tabla N° 04: Resultados de Aniones y Cationes de las fuentes muestreadas.

MUESTRA		ANIONES						CATIONES					
N°	CÓDIGO DE MUESTRA	CO ₃ ⁼ mg/L	HCO ₃ ⁻ mg/L	Cl ⁻ mg/L	NO ₃ ⁻ mg/L	SO ₄ ⁼ mg/L	NO ₂ ⁻ mg/L	Na mg/L	Mg mg/L	K mg/L	Ca mg/L	Al mg/L	Ba mg/L
1	49844-001	<1	123	0.3	2.2	1.5	<0.5	0.5	1.8	0.3	44.3	<0.005	0.0075
2	49844-003	<1	119	9.2	0.9	36.1	<0.5	6.7	6.1	0.5	50.6	0.007	0.0130
3	49844-004	<1	172	1.1	3.4	7.3	<0.5	1.1	3.2	0.5	60.3	<0.005	0.0071
4	49844-006	<1	281	22.1	1.4	28.0	<0.5	14.7	6.7	1.2	100.4	<0.005	0.0292
5	49844-007	<1	278	0.3	4.3	2.6	<0.5	1.1	4.1	0.7	93.0	<0.005	0.0368
6	49844-009	1	212	599.7	<0.5	1008.8	<0.5	415.2	93.7	12.9	325.1	<0.005	0.0160
L.D.M.		1	1	0.2	0.5	1	0.5	0.1	0.1	0.2	0.3	0.005	0.0005

b) ANÁLISIS DE FACIES HIDROQUÍMICAS

Este análisis nos permite conocer la predominancia de las facies hidroquímicas de las fuentes, representando los aniones y cationes mayoritarios, en los diagramas de Stiff, Piper y Scatter.

a) Diagramas de Stiff

Son representaciones gráficas, que muestran sintéticamente las características químicas principales del agua, su la predominancia ionica, facilitando su clasificación, en la figura N° 08, se visualiza los diagramas para cada fuente ubicadas en el sector de Aguas Claras, (mapa hidroquímico).

En el mapa se observa 5 diagramas de color amarillo, indicando que presentan un límite bajo de contenido mineralógico, de 6 meq/L, y que representan a las fuentes de tipo bicarbonatada cálcica, esta nomenclatura y el bajo contenido mineralógico, nos indica que son aguas jóvenes, de recorrido local, que proceden de la infiltración de la lluvia; los valores de bicarbonato cálcico se debe principalmente a la disolución del carbonato de calcio de las calizas, a través del recorrido de los flujos subterráneos por las galerías kársticas.

Se observa también un gráfico de color anaranjado, que presenta un mayor límite de contenido mineralógico (30 meq/L), el gráfico representa a la fuente Orilla 2 (49844-009), clasificándola de tipo sulfatada sódica, nos indica que son aguas subterráneas muy profundas, de mayor tiempo de recorrido, de flujos regionales.

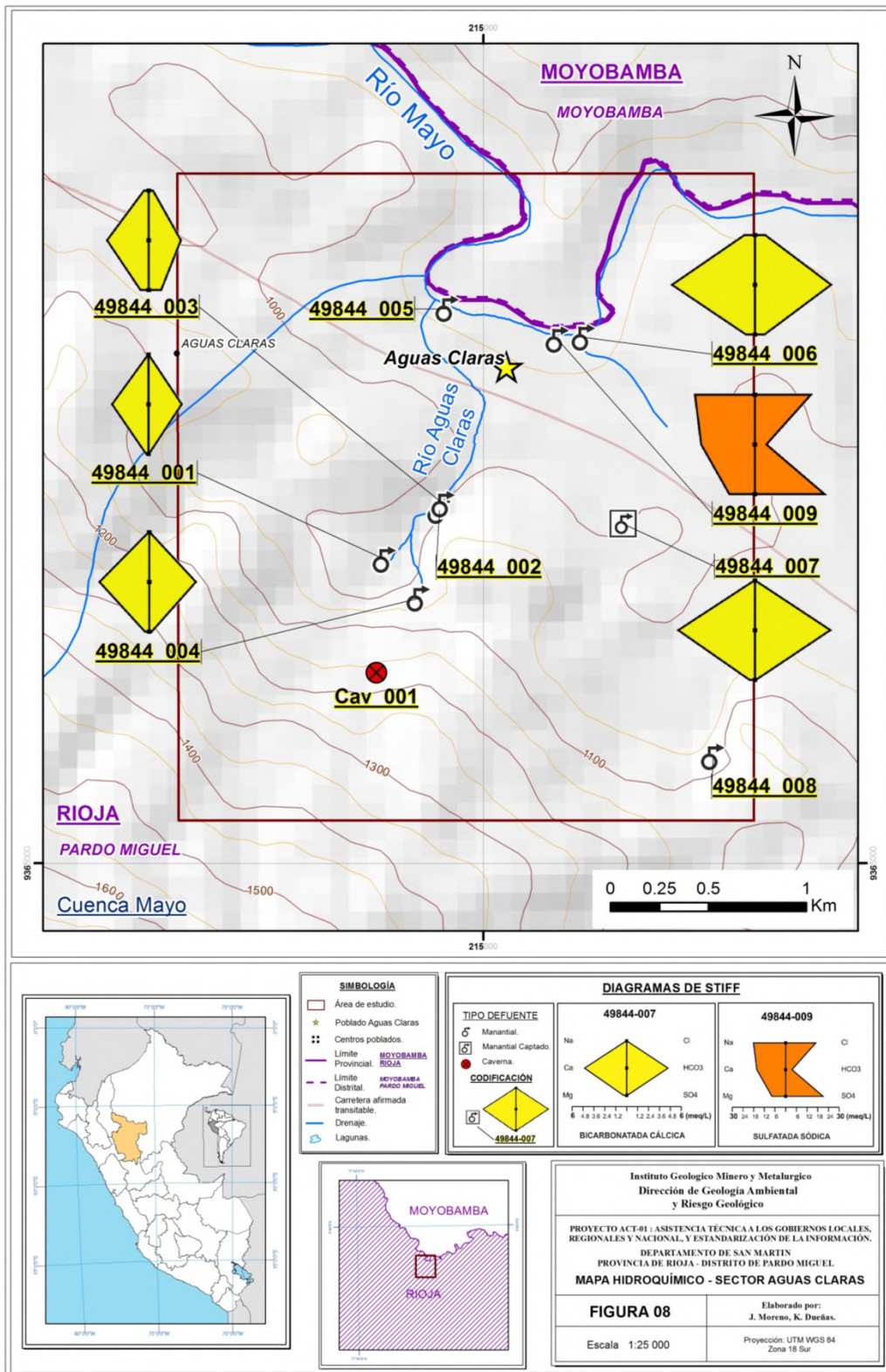
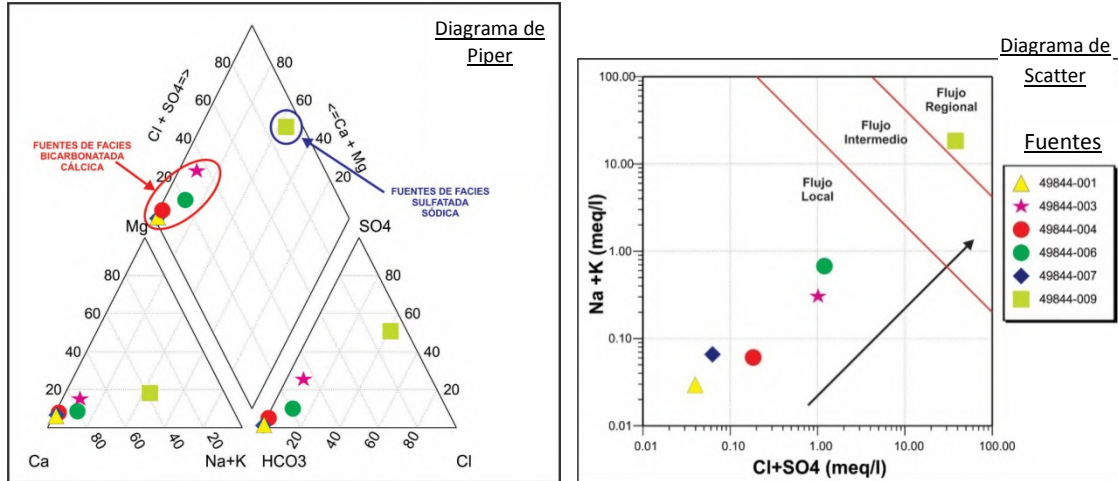


Figura N° 08: Mapa hidroquímico del sector de Aguas Claras.

b) Diagramas de Piper y Scatter

Para corroborar los diagramas de Stiff, se elaboraron los diagramas de Piper y Scatter, obteniendo un gráfico comparativo, donde se relaciona la predominancia química con la evolución de flujos, gráfico N° 03.

Grafico N° 03: Correlación de los diagramas de Piper y Scatter.



Los puntos ploteados corresponden a las fuentes, que muestran el contenido predominante de aniones versus los cationes (Diagrama de Piper), mientras que los diagramas de Scatter nos permite relacionarlas con la evolución de flujos, utilizando la relación hidroquímica Cl+SO4 vs Na+K (meq/l) (Mifflin, 1988 en Ángeles et al, 2004).

De la misma manera que los diagramas de Stiff, cinco fuentes se encuentran dentro de las facies bicarbonatadas cálcicas, y pertenecen a flujos locales, mientras que el manantial Orilla 2 (49844-009), pertenece a la facie sulfatada sódica, y es de flujo regional.

Estas interpretaciones, nos dan a conocer que las fuentes de agua subterránea en el sector de Aguas Claras, a excepción del manantial Orilla 2, son netamente de flujos locales, con régimen constante, procedentes de filtraciones de las precipitaciones y con un aumento considerable del caudal en temporada de lluvia, saturando los ambientes y conductos kársticos, ocasionando movimientos en masa en el interior de las cavernas como subsidencias, caída de bloques, remociones, entre otros.

5. PELIGROS GEOLÓGICOS

En el sector de Aguas Claras el problema más importante en este momento es la subsidencia o hundimiento de terreno.

5.1 HUNDIMIENTOS

La subsidencia o hundimiento comprende los desplazamientos verticales del terreno asociados a remoción lenta de material debajo de la masa que se hundirá, ya sea de forma natural (disolución de calizas, erosión de túneles) o antrópica, como es el caso

de las explotaciones mineras, túneles viales y socavones para hidroeléctrica (Villota, 2005).

La subsidencia o hundimiento viene a ser el colapso de una masa de suelo o roca, por efectos del desplome del techo de una caverna, galería o túnel artificial (Benavente et al 2015).

En el recorrido realizado dentro de la jurisdicción de Aguas Claras, se identificaron marcadores asociados a la formación de karst, teniéndose por ejemplo, sumideros, huecos u orificios circulares o elipsoidales, foto N° 42, el mismo río Aguas Claras se forma por surgencias de agua subterránea, manantiales Naciente 1 (49844-001) y Naciente 2 (49844-004), y por la resurgencia Aguas Claras 2 (49844-003), produciendo una emanación de lodos de coloración beige, foto N° 43.



Foto N° 42: Sumidero identificado en la caliza.

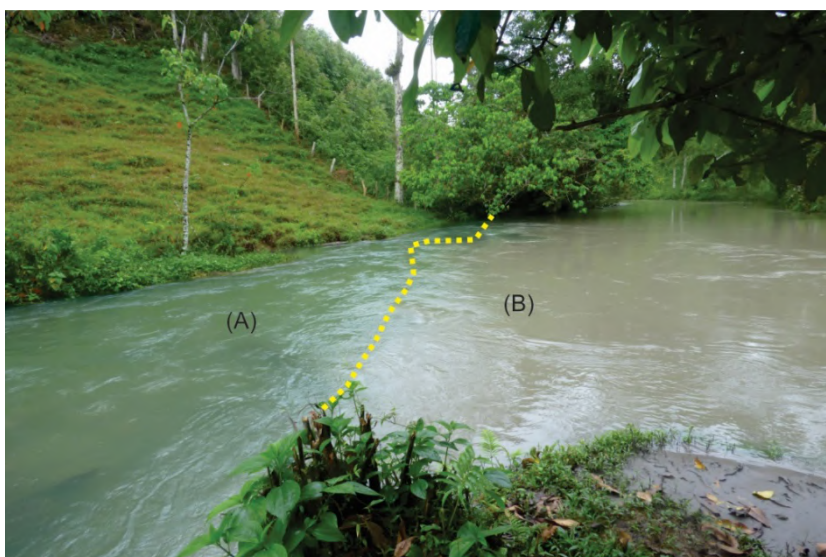


Foto N° 43: Cambio de coloración de las aguas del río, del color verde (A) al color gris oscuro (B), producido por la turbidez de la resurgencia

5.2 SISMICIDAD

Durante los trabajos de campo, se sintieron ruidos que provenían del interior del suelo, seguido de movimiento del terreno, versiones de los pobladores, manifiestan que este tipo de fenómenos se vienen registrando constantemente desde enero del 2016.

En la consulta de los datos del Instituto Geofísico del Perú (IGP), para determinar la existencia de eventos sísmicos ocurridos en las fechas de enero a marzo, dentro de la zona; resultando que no ha sido registrado ninguno; debido a que la red sísmica detecta sismos regionales. Así que no se puede definir si hay actividad sísmica en el área de Aguas Claras.

Por otro lado, se debe tener en cuenta que en este sector del país, existen fallas geológicas activas, que hasta el momento no muestra evidencias de reactivaciones, pero se debe tomar en cuenta que una posible o futura reactivación de estas fallas podría acelerar la formación de karst y detonar hundimientos de terrenos mayores, de lo anterior mencionado, no se puede asociar la ocurrencia de estos movimientos sísmicos que se presentan en Aguas Claras a orígenes volcánicos, porque la zona no es volcánica.

Según estas consideraciones, se puede decir qué, la serie de temblores percibidos en el sector de Aguas Claras, fueron locales y están asociados a procesos de colapso de cavernas, que existen en la zona, puesto que la geología de la zona está conformada en su gran mayoría por calizas.

Los ruidos percibidos, se originarían por el fracturamiento de la roca, colapso de la caverna y por el choque entre bloques de rocas colapsadas; entonces, los temblores son producto de las ondas generadas por el fracturamiento de la roca y el impacto de los bloques caídos en el interior de la caverna. Sin embargo no se descarta la necesidad de seguir realizando investigaciones en la zona para determinar puntualmente la zona donde se originan estos movimientos sísmicos.

A ello hay que agregar, que en los trabajos de campo se identificó, en una de las cavernas, procesos de derrumbes antiguos, como bloques caídos de diferentes dimensiones, foto N° 44, una de las causas que influye en estos procesos es el buzamiento (inclinación) de los estratos de caliza que favorece a la generación de estos eventos, foto N° 45.



Foto N° 44: Desprendimiento de bloques de diferentes dimensiones en el interior de las cavernas, observándose ambientes de aproximadamente entre 4 a 5 metros de altura, con presencia de estalactitas, estalagmitas y flujos subterráneos.



Foto N° 45: Inclinación de los estratos de caliza que favorece al desprendimiento de bloques, en el interior de la caverna, estos estratos tienen una inclinación de 35° en la dirección EO.

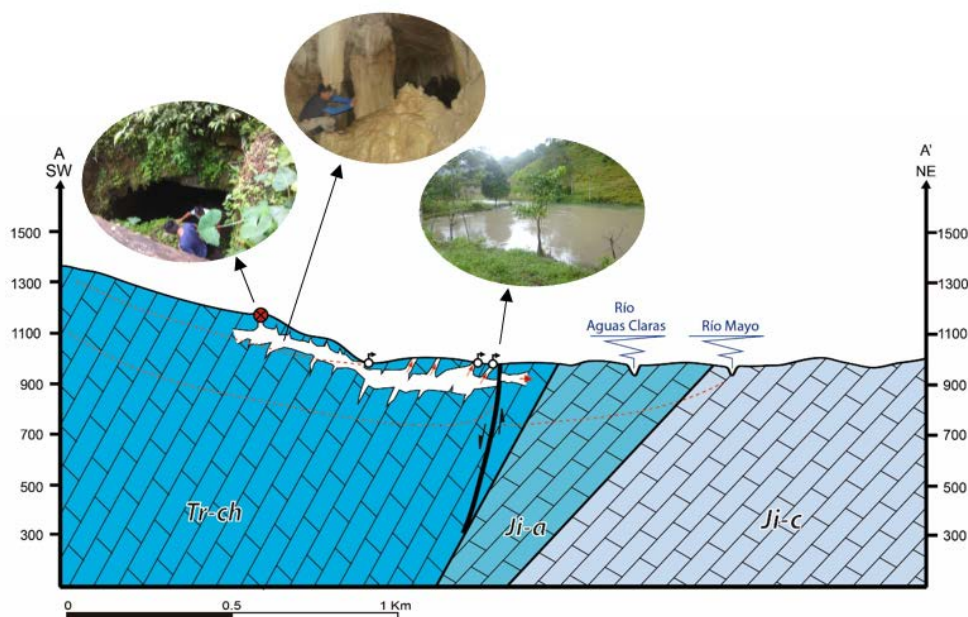
5.3 INTERPRETACIÓN DE LA SUBSIDENCIA O HUNDIMIENTO

En el sector de Aguas Claras afloran rocas carbonatadas (formaciones geológicas Chambará y Aramachay), con espesores importantes para desarrollar karst, esta se forma por disolución de carbonatos ante la presencia de agua, debido a las filtraciones de las precipitaciones, cuyas direcciones de flujo siguen por los planos de estratificación (grietas horizontales entre estratos rocosos) y diaclasas (o fracturas) en la misma roca, generando grandes conductos interconectados interiormente.

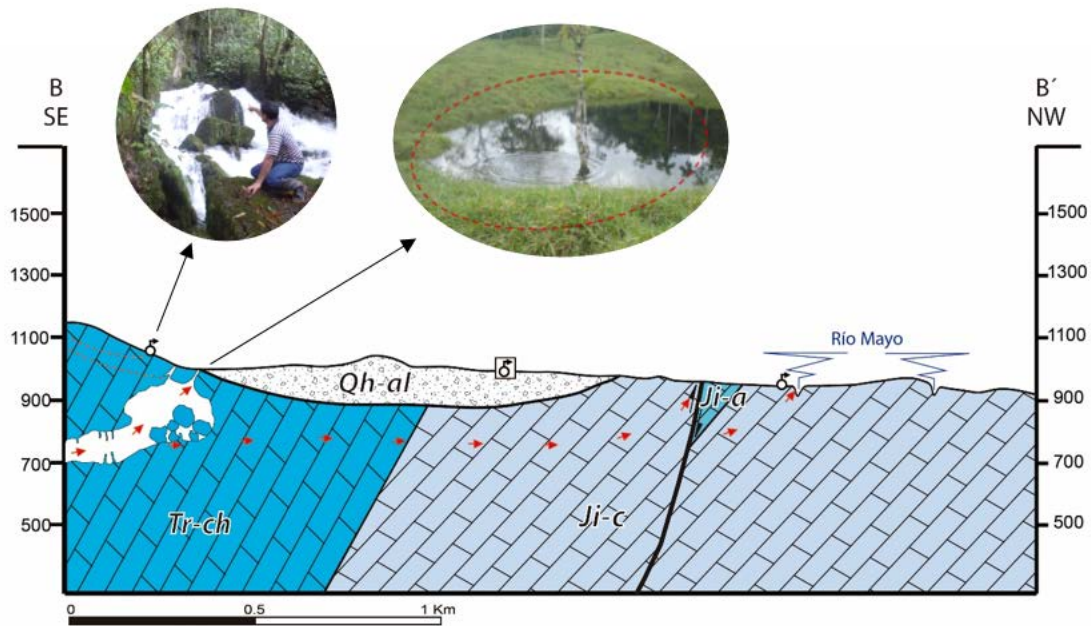
Estos conductos se agrandan con el tiempo y el agua se mueve, por una combinación de gravedad y presión hidráulica, agrandando además los conductos por una combinación de disolución y abrasión de la roca circundante (Benavente et al, 2015). Esquema N° 01.

Por otra parte conductos estrechos son obstruidos por el arrastre interior de los sedimentos, entrapamiento de bloques caídos, derrumbes, que generaron que la resurgencia Aguas Claras 2, deje de fluir, aportando al río, a estas obstrucciones se debe a que repentinamente el río de Aguas Claras perdió su caudal casi en su totalidad, recuperando a los pocos días después de existir una presión hidráulica mayor a la resistencia de los ductos obstruidos, que desato el desfogue con la turbidez que adoptó el río aguas Claras.

Estas reacciones atacan las rocas calcáreas, como sucede en la zona de Aguas Claras, donde los rasgos morfológicos de procesos de disolución de calizas, están representados por la presencia de drenajes subterráneos, la formación de huecos u oquedades y otras depresiones sobre la superficie del terreno. Allí donde el agua penetra en la roca, agrandando las fracturas y fisuras preexistentes por disolución, esquemas N° 01 y 02.



Esquema N° 01: Perfil estructural AA', que sistematiza los posibles conductos kársticos en el interior del sector de Aguas Claras, evidenciándose también las direcciones de flujo y las surgencias existentes.



Esquema N° 02: Perfil estructural BB', que sistematiza las direcciones de flujo y las ocurrencias en el interior de las cavernas kársticas, que dan origen a las fluctuaciones de la fotografía, por la saturación del terreno.

5.4 SUCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA

Definida como la propensión que tienen los terrenos a que se produzcan movimientos en masa, debido a sus condiciones intrínsecas.

El grado de susceptibilidad a estos peligros está condicionado por:

- La naturaleza litológica de la zona, presenta una intercalación de rocas de diferente competencia (calizas, margas y lutitas), las calizas presentan procesos de disolución de carbonatos, las lutitas y margas se meteorizan o alteran rápidamente.
- La presencia de suelo arcillo-limoso de alta plasticidad.
- La delgada cobertura de suelo, que alcanza hasta 1,00 m de espesor, la cual descansa sobre el substrato rocoso.
- El estado de fracturamiento de la roca, mucho más intenso en las margas y lutitas.
- La escasa cobertura vegetal de la ladera de tipo pastizal, donde la incidencia de la precipitación pluvial, se produce de manera directa contra el suelo, la infiltración de agua hacia el subsuelo es más fácil, sobresaturando y aumentando el peso del terreno.

- f) Presencia de agua subterránea, que producen el aumento de la presión de poros dentro de las fracturas, así mismo la intercalación de capas permeables e impermeables, hace que se comporten como acuitardos y por consiguiente retienen agua subterránea.

En el estudio de Riesgos Geológicos de la región San Martín (Núñez et al 2010), señalan que el área de Aguas Claras se encuentra sobre una zona de susceptibilidad media a movimientos en masa, principalmente por tener un substrato rocoso de mala calidad, terrenos con pendiente moderada, es decir existe la posibilidad que se generen deslizamientos y derrumbes; son zonas poco inestables.

Se identificó una caída de rocas antigua, muy localizada, la cual no se puede plotear en el mapa por ser de menor dimensión, este evento no compromete la seguridad física del poblado de Aguas Claras. Este fenómeno se caracteriza por presentar bloques sueltos de formas angulosas con tamaños hasta de 1 m, con escasa matriz.

También se apreció un flujo de tierra, en la margen izquierda de la quebrada Aguas Claras, este se originó en el año 2006. Se caracteriza por no tener una escarpa definida, tiene forma semicircular; la distancia del pie hacia la zona de arranque es de 30 m; foto N° 46, el cuerpo tiene un ancho promedio de 15 m.

Este evento al momento que se originó el evento hizo migrar ligeramente el cauce del río hacia la margen derecha, reduciendo su cauce.

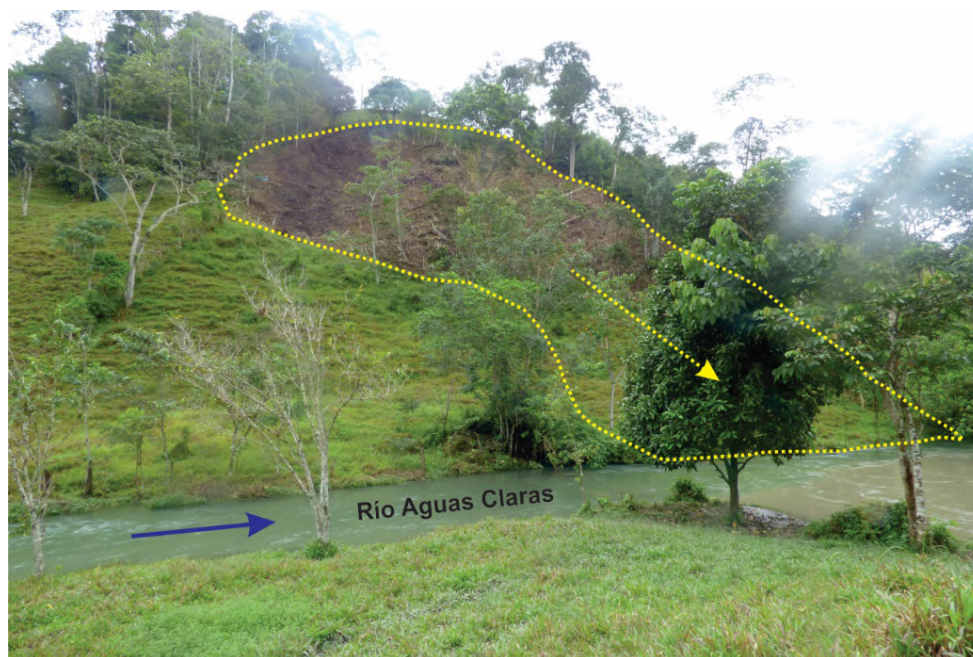


Foto N° 46: Flujo de tierra, ubicado en la margen izquierda del río Aguas Claras.

Causas del flujo de tierra:

- a) Suelo de fácil remoción.
- b) Pendiente del terreno, promedio de 25°.
- c) Roca de mala calidad, muy meteorizada.
- d) Intensa deforestación, que permite la filtración de agua al subsuelo.

El factor detonante fueron las precipitaciones pluviales que se originaron en enero del 2006 (versiones de los moradores).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- a) De acuerdo a la geología la zona de estudio, presenta en su interior un ambiente kárstico, conformado por las formaciones Chambara, Aramachay y Condorsinga.
- b) El análisis hidrogeológico, nos permitió identificar como acuíferos fisurados kársticos a estas tres formaciones, consideradas de alto interés hidrogeológico por los elevados caudales que circulan en sus flujos subterráneos.
- c) Existen fallas regionales, fracturas, grietas y galerías kársticas interconectadas, que dan origen a las surgencias y resurgencias de las aguas subterráneas.
- d) Se identificaron 09 fuentes en el inventario de las cuales se muestrearon 06 para su interpretación hidroquímica, que nos permitió conocer que en el sector de Aguas Claras, en su totalidad pertenecen a flujos locales, de corto recorrido, producto de las infiltraciones de las lluvias y que su caudal están condicionadas a la un régimen variado por las precipitaciones.
- e) La pérdida del caudal del Río de Aguas Claras se debe a las obstrucciones de los ductos en el interior de las galerías kársticas, debido a la acumulación de derrumbes, entrampamientos de bloque caídos, arrastre de sedimentos que posteriormente, luego de una descompensación de presión hidráulica, se generó la recuperación total con el arrastre de sedimentos y finos generando la alta turbidez y aparente cambio de coloración de las aguas del río Aguas Claras.
- f) Se identificaron movimientos en masa a lo largo del cauce del río Aguas Claras, que no afectan al centro poblado de Aguas Claras.
- g) Los “movimientos del terreno” acompañado de ruidos, que se han registrado en el sector de Aguas Claras, se deben a los derrumbes que se han generado dentro de las cavernas (procesos kárstico).
- h) Es necesario realizar un estudio geofísico, sobre todo en la parte del poblado de Aguas Claras, con la finalidad de descartar si el poblado se encuentra sobre una caverna.

BIBLIOGRAFIA

- a) Instituto Nacional de Defensa Civil (2004) - Mapa de peligros de la ciudad de Moyobamba, informe final (en línea). Lima: INDECI, 115 p. (consulta: marzo 2016), Proyecto INDECI-PNUD PER/02/051 Ciudades Sostenibles. Disponible en: http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/estudios_CS/Region_San_Martin/moyobamba/moyobamba.pdf.
- b) Instituto Nacional de Defensa Civil (2004) – Mapa de peligros de la ciudad de Rioja, informe final (en línea). Lima: INDECI, 203 p. (consulta: Marzo 2016), Proyecto INDECI-PNUD PER/02/051 Ciudades Sostenibles. Disponible en: http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/estudios_CS/Region_San_Martin/rioja/rioja_mp.pdf
- c) Núñez, S.; Luque, G., & Pari, W. (2010) - *Riesgo Geológico en la Región San Martín*. Lima. INGEMMET. Boletín Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 42, 201 p.
- d) Núñez, S.; Luque, G. (2010) - *Zonas críticas. Región San Martín*. Informe Técnico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico, 62 p.
- e) Sánchez, A. (1995) - Geología de los cuadrángulos de Bagua Grande (12-g), Jumbilla (12-h), Lonya Grande (13-g), Chachapoyas (13-h), Rioja (13-i), Leimebamba (14-h) y Bolívar (15-h). INGEMMET. Boletín Serie A: Carta Geológica Nacional, 56, 400 p.
- f) Pulgar, J. (1987) - Geografía del Perú: las ocho regiones naturales, 304 p.
- g) Villota, H. (2005) - Geomorfología Aplicada a Levantamientos Edafológicos Y Zonificación de Tierras. Bogotá, Colombia. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Departamento Administrativo Nacional de Estadística. 183p.