INGEMMET

REPÚBLICA DEL PERÚ
SECTOR ENERGÍA Y MINAS

INSTITUTO GEOLOGICO MINERO Y METALURGICO
INGEMMET

MEMORIA EXPLICATIVA

# GEOLOGIA E HIDROGEOLOGIA REGIONAL (1:50,000) DE LA ZONA DEL PROYECTO CONGA Y ALREDEDORES

Por
Victor Carlotto y Fluquer Peña

MARZO, 2012
LIMA - PERÚ

## RESUMEN

Se presenta una memoria explicativa de la zona del proyecto Conga y alrededores que acompaña dos mapas, uno geológico y otro hidrogeológico a escala 1:50,000, de lo que se denomina zona de estudio. Esta zona se localiza en la Cordillera Occidental del norte del Perú. La morfología es de montañas y quebradas con altitudes que varían entre los 3400 y 4000 msnm, sobre las que han actuado los procesos erosivos de antiguos glaciares y han formado morrenas, depósitos fluvioglaciares y luego depósitos aluviales, principalmente en las quebradas. Es en algunas de estas quebradas donde se han formado pequeñas lagunas. La geología de la zona de estudio está caracterizada por la presencia de rocas sedimentarias, rocas intrusivas y rocas volcánicas, resaltando, por la extensión de afloramientos, primero las calizas del Grupo Pulluicana, luego, los volcánicos de Grupo Calipuy, y finalmente algunos cuerpos intrusivos y domos subvolcánicos de pequeña dimensión. La falla Punre o Puntre y el anticlinal El Galeno constituyen el control estructural regional, pero que no influyen en el comportamiento hidrogeológico de las rocas que afloran en la zona de estudio.

El Grupo Pulluicana que es el de mayor extensión, está constituido principalmente por calizas y en menor proporción por margas y lutitas intercaladas, con espesores que varían entre 800 y 1000 m. Estas rocas tienen un comportamiento casi impermeable y son de escaso interés hidrogeológico, por lo que se les clasifica como acuitardos, aunque superficialmente puede comportarse como un acuífero subsuperficial de poca productividad. Las rocas volcánicas del Grupo Calipuy son principalmente depósitos piroclásticos con baja porosidad primaria, escasa permeabilidad y no permite el almacenamiento de agua, por lo que se les considera también acuitardos, al igual que las rocas intrusivas y los domos subvolcánicos. Se reconoce un nivel fisurado local y superficial en las calizas Pulluicana, pero de espesores menores a 30 m, son de baja productividad, pero estacionalmente descargan a través de pequeños manantes, los mismos que alimentan las pequeñas lagunas. Estos niveles subsuperficiales en las calizas, están asociados a los acuíferos porosos no consolidados locales (morrenas, fluvioglaciares y aluviales), que las sobrayacen. Estos acuíferos son igualmente de poca productividad y estacionales, se recargan durante la época de lluvia pero que luego bajan rápidamente sus caudales.

## INTRODUCCION

Se presenta la memoria de los mapas geológico e hidrogeológico de una parte del cuadrante 14-g III, a escala 1:50,000 de la hoja de Celendín (Fig. 1), donde se encuentra ubicado el Proyecto Conga y alrededores, que incluye los dos yacimientos tipo pórfido de Au-Cu: el Perol y Chailhuagón. Este trabajo ha sido preparado con el objetivo de entender el comportamiento geológico e hidrogeológico regional de las rocas que afloran en este área, que la denominaremos zona de estudio.

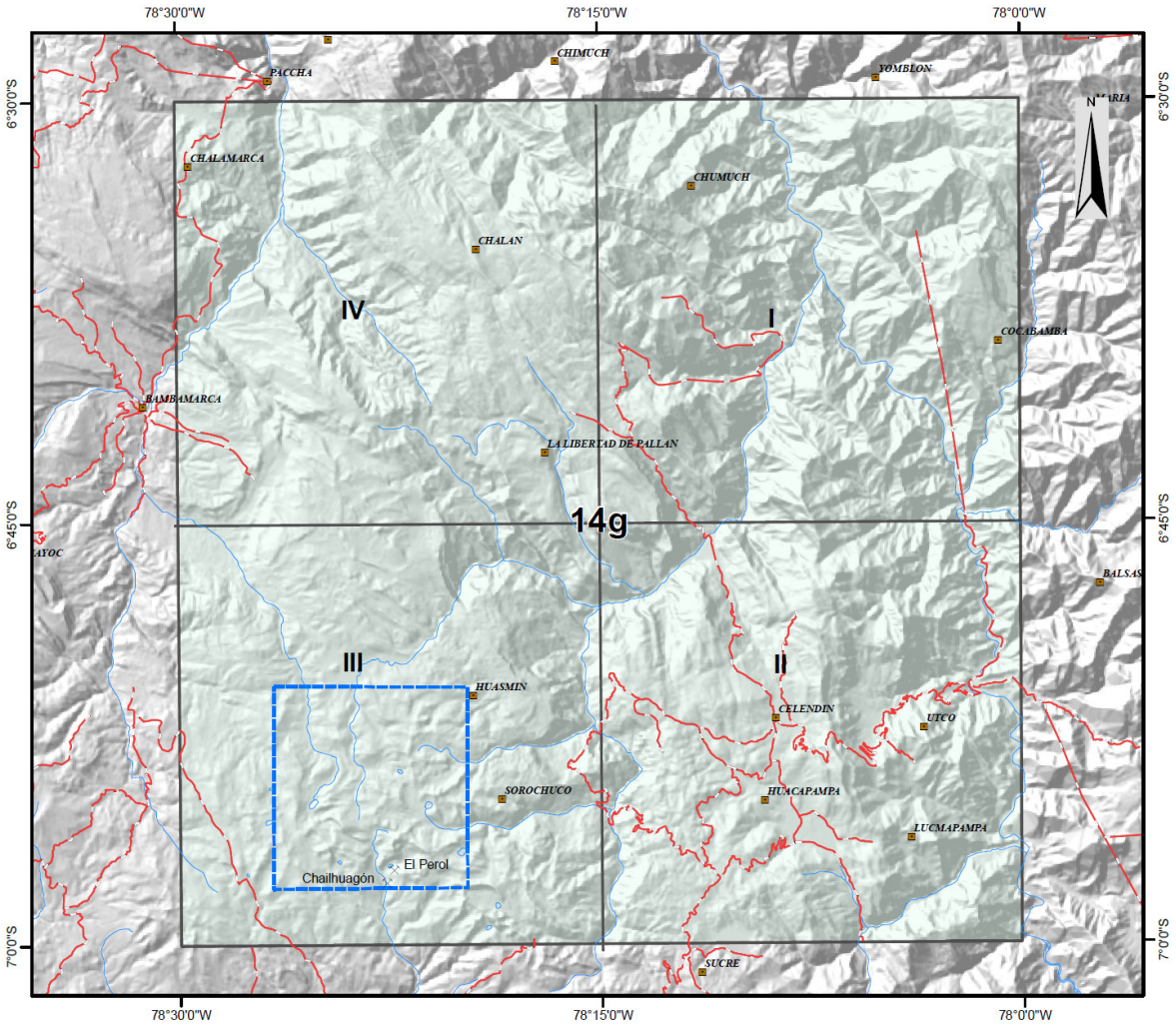


Fig. 1. Ubicación de la zona de estudio (recuadro en azul) dentro del cuadrángulo de Celendín (14-g) y el cuadrante III.

## GEOMORFOLOGÍA

La zona de estudio se localiza en plena Cordillera Occidental del norte del Perú cuya morfología es variada con presencia de montañas y quebradas donde las altitudes máximas pasan los 4000 msnm, y las mínimas en las quebradas, llegan a los 3400 msnm, como la quebrada Chirimayo. La morfología ha sido construida por un sistema de pliegues y fallas, en este caso de dirección ONO-

ESE, que han deformado las rocas sedimentarias de edad mesozoica, resaltando en afloramiento las calizas del Grupo Pulluicana del Cretácico. Rocas intrusivas y subvolcánicas han cortado las rocas sedimentarias y algunas de estas tienen relación con las mineralizaciones de Minas Conga. Rocas volcánicas del Grupo Calipuy recubren la parte central y NO de la zona de estudio. Procesos erosivos han afectado la cordillera donde resalta los glaciares antiguos que han dejado evidencias en las morrenas, las cuales han sido retrabajadas y han formado los depósitos fluvioglaciares y aluviales. En la zona de estudio también se presentan lagunas de dimensiones pequeñas, la mayoría de las cuales están sobre las calizas del Grupo Pulluicana y en las quebradas rellenadas con material fluvioglaciar.

## GEOLOGÍA

La geología de la zona de estudio (Ver mapa geológico 1:50,000, anexo 1) está caracterizada por la presencia de rocas sedimentarias, rocas intrusivas y rocas volcánicas. Finalmente se tienen depósitos cuaternarios que generalmente se hallan rellenando las quebradas.

ROCAS SEDIMENTARIAS

Las rocas sedimentarias del área de estudio pertenecen a 3 grandes unidades litoestratigráficas (Fig. 2). La primera unidad corresponde al Grupo Goyllarisquizga del Cretácico inferior que está conformado por las formaciones Chimú, Santa, Carhuaz y Farrat. El segundo grupo, de edad Cretácica media está caracterizado por las formaciones Inca, Chulec y Pariatambo, El tercer grupo del Cretácico superior está dado por los grupos Pulluicana y Quilquiñan y la Formación Cajamarca.

### Formación Chimú (Ki-chi)

La Formación Chimú no aflora en la zona de estudio, pero si se muestra en la sección estructural (Ver mapa geológico, anexo 1) y en la figura 3. Aflora al SE, cerca a la zona de estudio y al Proyecto El Galeno, donde es el núcleo del anticlinal El Galeno y está afectado por la falla Punre (Puntre) (Fig. 3). Esta unidad está constituida principalmente por areniscas cuarzosas, cuarcitas e intercalaciones de areniscas y lutitas, todos de medios litorales. En el área de estudio se estima un espesor de 600 m. Esta unidad se clasifica como un buen acuífero fisurado sedimentario (Tabla 1).

### Formación Santa (Ki-sa)

La Formación Santa, tampoco aflora en la zona de estudio, pero si cerca, en los alrededores del Proyecto El Galeno (Fig. 3). Se puede ver en las secciones estructurales (mapa geológico, anexo 1). Sobreyace concordantemente a la Formación Chimú en el anticlinal El Galeno. Está conformada por intercalaciones de lutitas grises, calizas y margas de origen marino y algo de areniscas litorales. Su espesor es de aproximadamente 200 m. Esta unidad está clasificada como acuitardo (Tabla 1).

### Formación Carhuaz (Ki-ca)

La Formación Carhuaz aflora en el extremo SE de la zona de estudio, lugar donde está el proyecto El Galeno. Sobreyace a la Formación Santa y consiste en lutitas, areniscas y cuarcitas de origen

fluviodeltaico, bien estratificadas, en capas delgadas y medianas. Tiene espesores variables entre 200 y 500 m y está clasificada como un acuitardo.

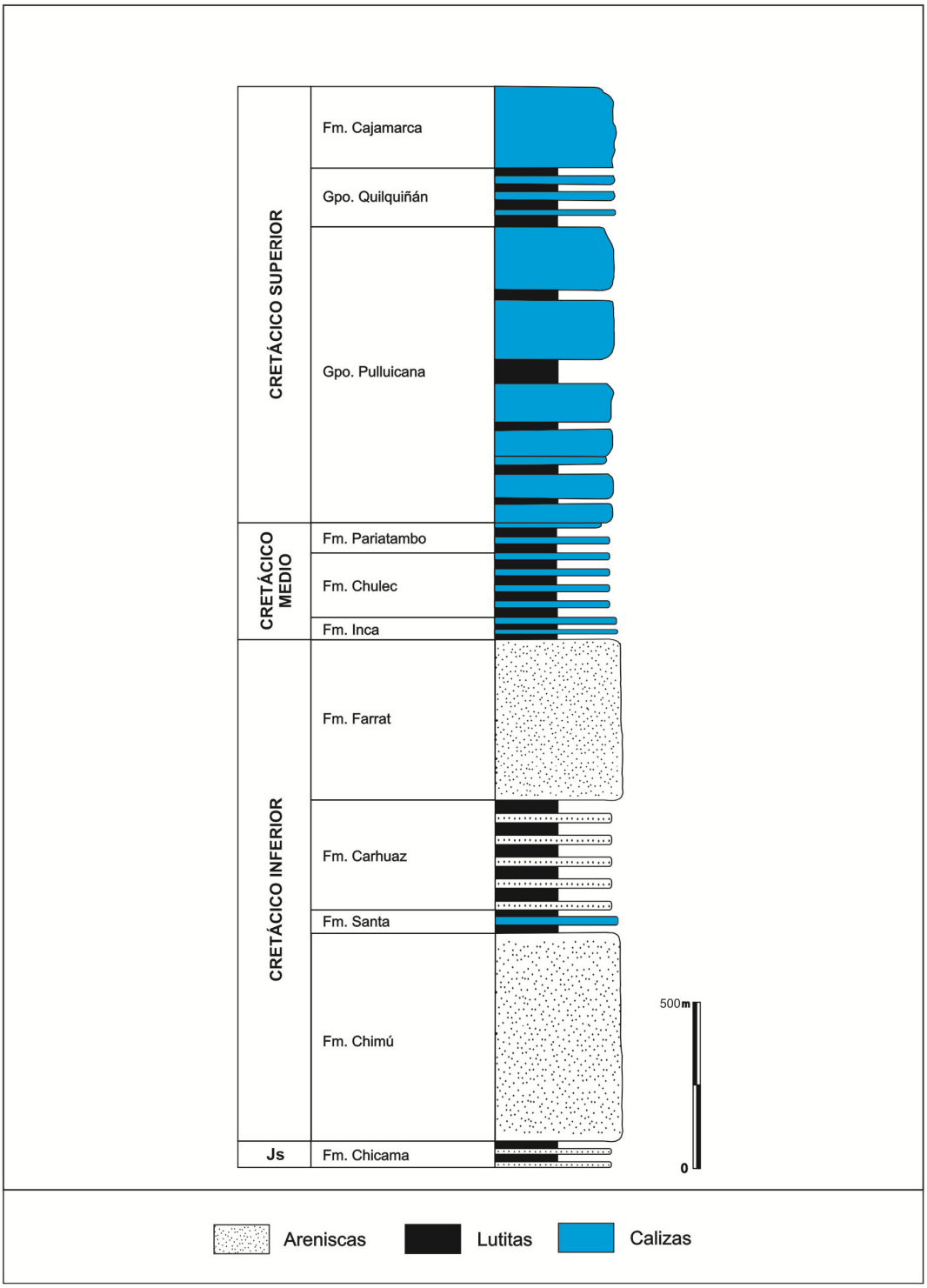


Fig. 2. Columna estratigráfica regional y local de la zona de estudio y alrededores. Basado en Benavides (1956), Jaillard (1985) y Wilson (1985).

**Formación Farrat (Ki-fa)**

La Formación Farrat aflora igualmente en el anticlinal El Galeno sobreyaciendo en concordancia a la Formación Carhuaz. Esta unidad está compuesta de cuarcitas y areniscas blancas de grano medio a grueso de origen fluvial y deltaico, en la que se observa estratificación cruzada. Se estima un espesor de 500 y se le clasifica como un acuífero fisurado sedimentario (Tabla 1).

**Formación Inca (Ki-in)**

La Formación Inca sobreyace concordantemente a la Formación Farrat en el anticlinal El Galeno. Está compuesta principalmente por arenisca y lutitas con intercalaciones de calizas y se caracteriza por ser un acuitardo. Su espesor solo alcanza algunas decenas de metros hasta los 100 m.

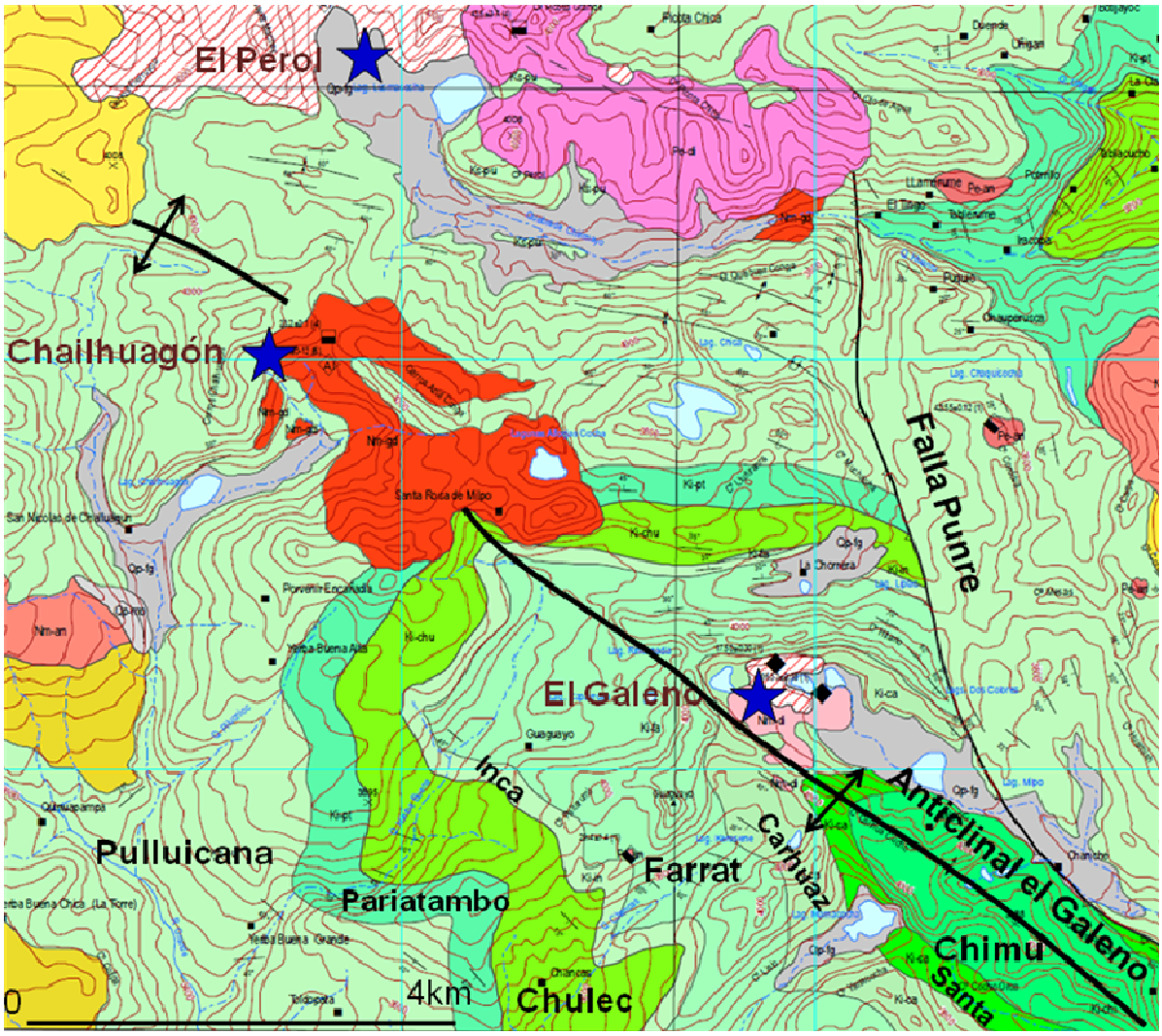


Fig. 3. Mapa Geológico mostrando parte de la zona de estudio y su límite SE donde aparece el proyecto El Galeno. Nótese el anticlinal y la Falla Punre.

**Formación Chulec (Ki-chu)**

La Formación Chulec aflora en el anticlinal El Galeno donde sobrayace a la Formación Inca. Está conformada por lutitas, margas y calizas bien estratificadas, todas de origen marino. Tiene un espesor promedio de 250 m pero puede alcanzar los 400 m. Esta formación está clasificada también como un acuitardo.

**Formación Pariatambo (Ki-pa)**

La Formación Pariatambo sobreyace a la Formación Chulec. Está constituida por calizas y lutitas marinas que resaltan del material blando de la Formación Chulec. Presenta espesores de 150 a 250 m. Las calizas y las lutitas son de color negro, bituminosas y generalmente tienen un olor fétido. Esta unidad también está clasificada como un acuitardo.

Fig. 4. Anticlinal El Galeno mostrando una fuerte deformación disarmónica de las calizas y lutitas del Grupo Pulluicana, al oeste de Chailhuagón (Imagen mirando al este, tomada de Google earth).

**Grupo Pulluicana (Ks-pu)**

El Grupo Pulluicana está conformado por las formaciones Yumagual y Mujarrún, aunque esta separación es a veces difícil por la presencia de deslizamientos sinsedimentarios (Fig. 4) que afectaron estas calizas. Es la unidad de mayor afloramiento en la zona de estudio y además es la roca caja de las mineralizaciones de Chailhuagón, y en parte, de El Perol.

El Grupo Pulluicana está constituido principalmente por calizas marinas y en menor proporción por margas y lutitas, con espesores que varían entre 800 y 1000 m. Las calizas son grisáceas, bastante compactas, las que se presenta en capas medianas, nodulares o irregularmente estratificadas. Las calizas se hallan intercaladas con estratos de lutitas y limolitas. El comportamiento hidrogeológico regional de estas calizas es de acuitardo (AQUATEST & INGEMMET, 2007), aunque superficialmente puede comportarse como un acuífero local de poca productividad.

**Grupo Quilquiñán (Ks-qui)**

El Grupo Quilquiñán aflora muy localmente en la zona de estudio donde se halla sobreyaciendo al Grupo Pulluicana. La unidad está conformada por las formaciones Romirón y Coñor que en conjunto están representados por 100 a 200 m de lutitas y margas que tienen intercalaciones de calizas, todas de origen marino somero. Estas rocas son también clasificadas como acuitardos.

**Formación Cajamarca (Ks-ca)**

La Formación Cajamarca aflora escasamente en la parte norte de la zona de estudio donde está compuesta por 100 a 400 m de calizas de origen marino. Las calizas se hallan bien estratificadas y fracturadas, lo que le da una buena permeabilidad y en consecuencia son clasificadas como acuíferos.

ROCAS VOLCÁNICAS: GRUPO CALIPUY

Las rocas volcánicas de la zona de estudio corresponden al Grupo Calipuy del Terciario. En el detalle, dentro la zona de estudio afloran las secuencias volcánicas Tual-Puruay (Nm-tp), Frailones (Nm-fr) y escasamente la secuencia volcánica Yanacocha (Nm-ya), todos del Mioceno. Los mayores afloramientos corresponden a la secuencia volcánica Frailones (Ver mapa geológico, Anexo 1).

Las rocas volcánicas consisten en depósitos piroclásticos del tipo pómez y cenizas, que muestran una textura porfirítica, tienen como elementos constituyentes pómez, cristales y fragmentos líticos. La Secuencia Volcánica Yanacocha (Nm-ya/2) es más bien un flujo de lava andesítica. Todas estas rocas, en la zona de estudio, tienen un comportamiento hidrogeológico como acuitardos (Tabla 1).

Secuencia Volcánica Tual-Puruay:
Nm-tp/2: 250 m de espesor.

Secuencia Volcánica Frailones
Nm-fr/2: 150 m de espesor
Nm-fr/3: 180 mde espesor.
Nm-fr/4: 200 mde espesor.
Nm-fr/5: 200 mde espesor.
Nm-fr/6: 120 mde espesor.

Secuencia Volcánica Yanacocha
Nm-ya/2: 250 m de espesor.

**Zonas de alteración hidrotermal**

En el mapa geológico de la zona de estudio (Mapa geológico, anexo 1) aparece cartografiada una zona de alteración hidrotermal, que tiene coloraciones grises a amarillentas debido a la presencia de arcillas. Aquí se reconocen algunos cristales de cuarzo primario y algunos moldes de plagioclasas las cuales están argilizados. Además se pueden observar algunos fragmentos que indican que la roca original sería un flujo piroclástico. En algunos lugares, la alteración es del tipo silicificación, con texturas originales completamente obliteradas, donde no se reconocen los cristales originales de la roca. Esta zona predominantemente de arcillas hidrotermales tiene un comportamiento como rocas impermeables y en consecuencia pueden ser clasificadas como acuicludos o acuitardos.

ROCAS INTRUSIVAS

Varios cuerpos intrusivos pequeños y domos subvolcánicos afloran en la zona de estudio. Resaltan los de la zona de Cerro Perol, Chailhuagón y el Galeno (Mapa geológico, anexo 1). En general, estas rocas han sido clasificadas como acuitardos por su baja permeabilidad (Tabla 1).

**Cerro Perol (Pe-di)**

Rocas intrusivas que cortan las calizas del Grupo Pulluicana, están expuestas en el Cerro Perol y controlados por la falla inversa Puntre. Las rocas dioríticas contienen plagioclasas, hornblenda, así como fenocristales de piroxeno. En afloramiento, estas rocas se hallan alteradas o frescas pero a mayor profundidad aumenta su comportamiento impermeable.

**Chailhuagón (Nm-gd)**

Los cuerpos intrusivos que afloran en el área de Chailhuagón consisten en granodioritas con cristales de plagioclasa, cuarzo y máficos (anfíbol). Estos cuerpos intruyen a las calizas y han desarrollado, por metamorfismo de contacto, depósitos de mármol. Esta granodiorita es responsable de la mineralización tipo pórfido.

**El Galeno (Nm-di)**

Rocas intrusivas dioríticas afloran en El Galeno, en el núcleo del anticlinal. Son rocas holocristalinas, con plagioclasa y anfíbol, y tiene relación con la mineralización de esta área.

**Cuerpos subvolcánicos (Nm-an, Nm-da, Nm-da/re, Nm-an/ya)**

Cuerpos subvolcánicos de composiciones variables afloran al NO de Perol y SO de Chailhuagón. Se trata de domos dacíticos y domos andesíticos, que en general consisten en rocas con textura porfirítica, de coloración gris verdosa, son masivas con incipiente estructura flowbanding. Los cristales constituyentes son plagioclasas, anfíboles, y poco cuarzo. Son considerados también como acuitardos.

Tabla 1. Clasificación hidrogeológica de las unidades litológicas

| Unidad Litológicas | Símbolo | Descripción | Espesor | Clasificación Hidrogeológica |
|---|---|---|---|---|
| Depósitos Cuaternarios | Qh-al<br>Qp-fg<br>Qp-mo | Depósitos morrénicos, fluvioglaciares y aluviales de gravas y bloques con matriz arenosa, y arenas en terrazas. | 25 a 40 m | Acuífero poroso no consolidado. |
| Rocas intrusivas y subvolcánica | Nm-an/da<br>Nm-di<br>Nm-gd<br>Pe-di | Domos subvolcánicos andesiticos y dacíticos. Cuerpos intrusivos pequeños de dioritas y granodioritas alteradas o frescas intruyen a las calizas. | variable | Acuitardo |
| Grupo Calipuy | Nm-ya<br>Nm-fr<br>Nm-tp | Depósitos piroclásticos del tipo pómez y cenizas, con textura porfiritica. Tienen como elementos pómez, cristales y fragmentos líticos. | 400 a 600 m | Acuitardo |
| Formación Cajamarca | Ks-ca | Calizas marinas bien estratificadas y fracturadas. | 100 a 400 m | Acuifero en roca fracturada |
| Grupo Quilquiñán | Ks-qui | Lutitas y margas con intercalaciones de calizas marinas. | 100 a 200 m | Acuitardo |
| Grupo Pulluicana | Ks-pu | delgadas de margas y lutitas, todas marinas. | 800 a 1100m | Acuitardo |
| Formación Pariatambo | Ki-pa | Calizas y lutitas marinas de color negro, bituminosas, generalmente tienen un olor fétido. | 150 a 200 m | Acuitardo |
| Formación Chúlec | Ki-chu | Lutitas, margas y calizas de origen marino. | 250 a 400 m | Acuitardo |
| Formación Inca | Ki-in | Arenisca calcareas y lutitas con intercalaciones de margas, de origen marino. | 100 m | Acuitardo |
| Formación Farrat | Ki-fa | Cuarcitas y areniscas cuarzosas con laminación cruzada, origen fluvial y deltaico. | 500 m | Acuifero en roca fracturada |
| Formación Carhuaz | Ki-ca | Lutitas, areniscas y cuarcitas de origen fluvial/deltaico, bien estratificadas en capas delgadas. | 200 a 500 m | Acuitardo |
| Formación Santa | Ki-sa | Lutitas grises, calizas y margas de origen marino y algo de areniscas litorales | 200 m | Acuitardo |
| Formación Chimú | Ki-chi | Areniscas cuarzosas y cuarcitas, con intercalaciones de areniscas y lutitas, todos de medios litorales | 600 m | Acuifero en roca fracturada |

DEPÓSITOS CUATERNARIOS

**Depósitos morrénicos(Qp-mo)**

Los depósitos morrénicos se ubican al pie de las montañas rellenando las quebradas y son el resultado de procesos glaciares antiguos. Se trata de gravas y bloques subangulos a angulosos de diferentes tamaños con matriz limosa. Tienen un espesor de 15 a 30 m. La clasificación hidrogeológica indica un comportamiento de acuífero poroso no consolidado, muy local y de escasa productividad.

**Depósitos fluvioglaciares (Qp-fg)**

Depósitos fluvio-glaciares han sido reconocidos en las quebradas y son producto de la erosión de las morrenas. Están conformados por bancos de gravas y arena de composición heterogénea, y

espesores promedio de 10 m. El comportamiento hidrogeológico es de acuífero poroso no consolidado discontinuo y de escasa productividad.

**Depósitos aluviales (Qh-al)**

Los depósitos aluviales corresponden a terrazas recientes en las quebradas, donde predominan las arenas y limos, con espesores de 3 a 5 m. Se trata de acuíferos porosos no consolidados locales y de poca productividad.

## GEOLOGIA ESTRUCTURAL

Las estructuras geológicas que predominan son los pliegues y las fallas, afectando las rocas sedimentarias (Ver mapa geológico, anexo 1). Las estructuras tienen una dirección ONO-ESE, resaltando la falla Punre y el anticlinal El Galeno (Figs. 5 y 6). Estos pliegues y fallas se originaron por la tectónica Inca del Eoceno medio-superior, reactivadas en el Oligoceno y el Mioceno. Las rocas volcánicas se hallan en discordancia angular sobre los pliegues y fallas, y muestran una deformación leve, es decir las secuencias son casi horizontales.

Fallas normales de pequeñas dimensiones y de dirección N-S y NE-SO afectan las calizas (Fig. 5). En la mayoría de los casos son subverticales con desplazamiento de unos metros a decenas de metros.

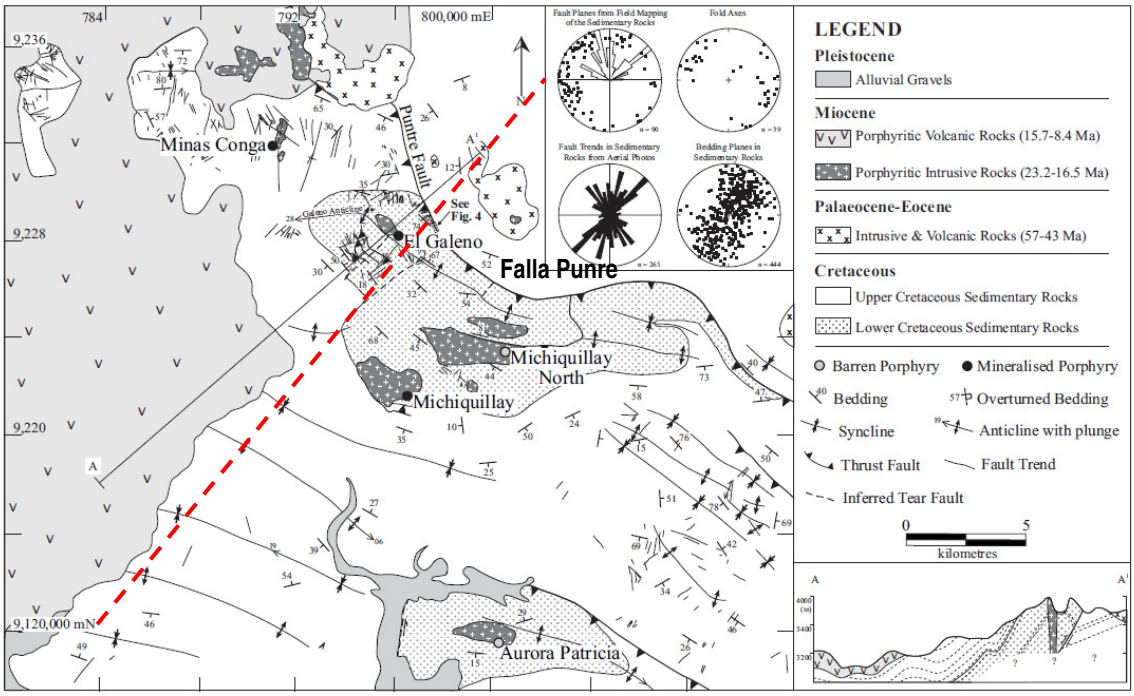


Fig. 5. Mapa estructural simplificado de la zona de estudio y alrededores (Davies, 2000).Nótese como las rocas volcánicas al oeste, recubren los pliegues y fallas.

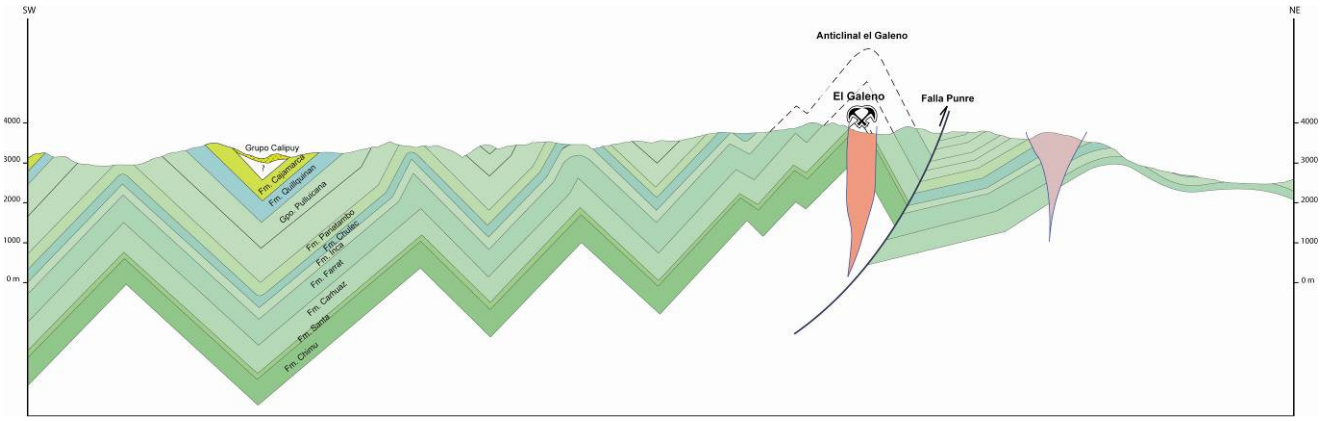


Fig. 6. Sección estructural que pasa al sur de la zona de estudio mostrando el sistema plegado y corrido, resaltando la falla Punre y el anticlinal de El Galeno. Ubicación de la sección, línea roja discontinua en la figura 5.

## La Falla Punre o Puntre

La falla Punre (Puntre) es una estructura regional que atraviesa la zona de estudio (Figs. 5 y 6). Tiene una dirección variable que va de NO-SE a E-O y luego a N-S, con buzamientos fuertes, al sur y suroeste. Esta falla inversa ha servido para que cuerpos intrusivos como de El Galeno, Chailhuagón y El Perol, puedan emplazarse y producir las mineralizaciones asociadas, en contacto con las rocas sedimentarias. En la zona de estudio esta falla hace repetir las calizas del Grupo Pulluicana, mostrando desplazamientos mayores a 1000 m (Fig. 7).

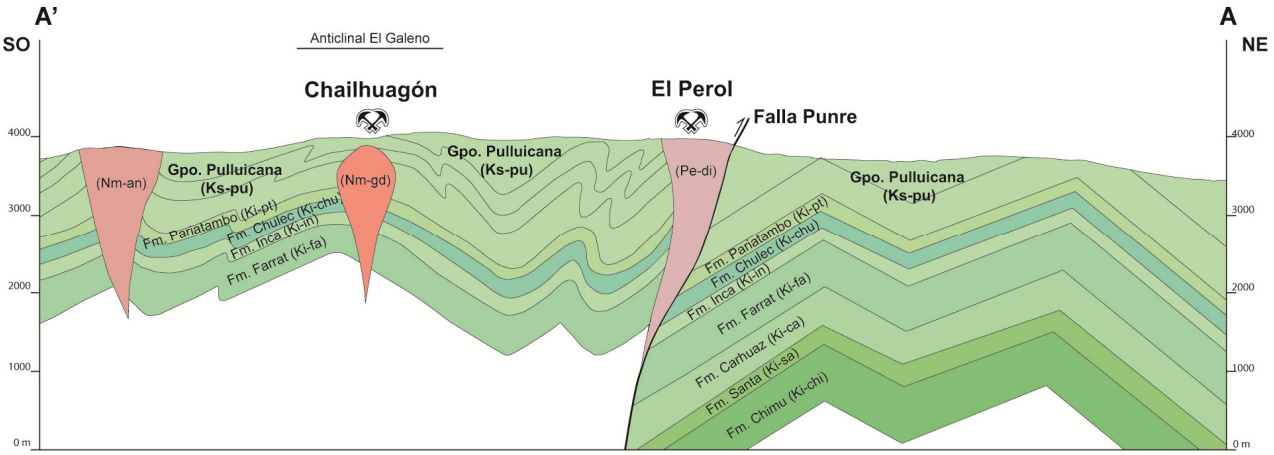


Fig. 7. Sección estructural de la zona de estudio mostrando la falla Punre y el anticlinal de El Galeno, así como los proyectos El Perol y Chailhuagón (Ubicación de la sección en el mapa geológico 1:50,000 de la zona de estudio, anexo 1).

### Anticlinal El Galeno

El anticlinal El Galeno se presenta en la zona de estudio y se prolonga, tanto hacia el SE (fuera de la zona de estudio) y al oeste, extendiéndose hacia y bajo Yanacocha, donde se halla cubierto por las rocas volcánicas del Grupo Calipuy (Fig. 5). En el núcleo del anticlinal, fuera de la zona de estudio (Figs. 3 y 6) afloran las cuarcitas de la Formación Chimú, y luego sucesivamente las formaciones Santa, Carhuaz, Farrat, Inca, Chulec, Pariatambo y está cerrado por las calizas del Grupo Pulluicana, donde se halla las mineralizaciones de Minas Conga. Este pliegue es del tipo propagación de la falla Punre y por eso tiene direcciones variables, al igual que la falla.

### Otros pliegues

Al norte de la falla Punres, así como al sur del anticlinal El Galeno (Figs. 6 y 7), se tiene un sistema de pliegues: anticlinales y sinclinales que definen un sistema corrido y plegado, típico de la zona de estudio. Estos pliegues tienen ejes casi verticales y con orientaciones dominantes ONO-ESE lo que sugiere que las estructuras plegadas y las fallas se desarrollaron simultáneamente. Las geometrías de ambos, pliegues y falla indican que las estructuras se formaron durante la compresión relacionada al evento tectónico Inca del Eoceno, y luego reactivadas en el Oligoceno y en el Mioceno.

## HIDROGEOLOGÍA

Se ha elaborado el mapa hidrogeológico de la zona de estudio (Anexo 2) que está basado en el mapa geológico a escala 1:50,000 (Anexo 1) y las características de litopermeabilidades de las unidades geológicas; así como los resultados de las investigaciones realizadas en Cajamarca por AQUATEST & INGEMMET el año 2007, para el estudio balneológico de los Baños del Inca.

### Clasificación hidrogeológica de las unidades geológicas

Para entender el mapa hidrogeológico, es necesario conocer la clasificación de las formaciones geológicas según su comportamiento hidrogeológico. Las unidades geológicas se clasifican en: acuíferos, acuicludos, acuitardos y acuífugos.

### Acuíferos

Es toda formación geológica capaz de almacenar y transmitir agua subterránea. Es decir, aquella que permite el movimiento del agua por gravedad, en condiciones que pueda ser económicamente explotable. Los acuíferos pueden ser porosos no consolidados, fisurados, kársticos o combinaciones de estos. En la zona de estudio se tiene como acuíferos los depósitos cuaternarios, que son superficiales, muy locales, discontinuos y de baja productividad.

### Acuitardos

Son las rocas o suelos que almacenan y transmiten lentamente el agua en su interior o en forma localizada debido a su poca permeabilidad. En la zona de estudio las calizas del Grupo Pulluicana

son los acuitardos más desarrollados. Igualmente son acuitardos las rocas intrusivas y las rocas volcánicas del Grupo Calipuy.

### Acuicludos

Es un tipo de formación capaz de almacenar agua, incluso hasta llegar al punto de saturación, pero no la trasmiten. Este tipo de material se caracteriza por ser poroso pero no permeable. Las zona mapeada como de alteración sobre los volcánicos Calipuy podría ser clasificada como acuicludos.

### Acuífugos

Es toda formación geológica que no almacena ni transmite agua. Son rocas totalmente impermeables y se comportan como sello, es decir, condicionan el almacenamiento en otras unidades rocosas permeables.

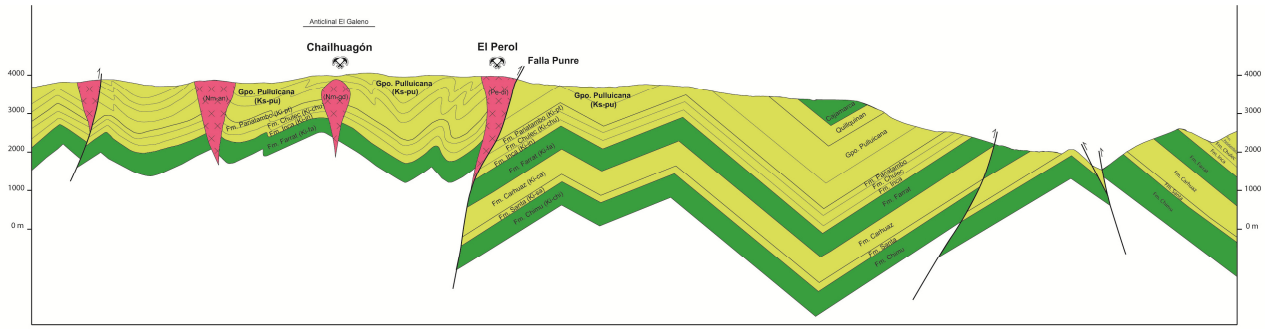


Fig. 8. Sección hidrogeológica que muestra en verde los acuíferos fisurados y en amarillo los materiales acuitardo. En el sector de Conga, los acuíferos más representativos se ubican a más de 1000 m de profundidad.

### Hidrogeología de la zona de estudio (Mapa Hidrogeológico, anexo 2)

En base a las características litológicas, la clasificación hidrogeológica de las unidades geológicas, mas las sección estructural regional y local que pasa por la zona de estudio (Figs. 8 y 9) se hace la descripción hidrogeológica regional y local.

Las areniscas y cuarcitas de la formación Chimú tienen un espesor de 600 m y forman el acuífero basal regional en rocas porosas y fracturadas; siendo uno de los más importantes. Esta unidad yace sobre un acuitardo formado por 700 m de las lutitas negras con intercalaciones de areniscas grises (Fig. 2) perteneciente a la Formación Chicama del Jurásico (AQUATEST & INGEMMET, 2007). El acuífero Chimú no tiene influencia en la zona de estudio, esto se puede ver claramente en la sección estructural, donde esta formación se halla a más de 2000 m de profundidad (Figs. 8 y 9). En Cajamarca este acuífero es extenso (> 100 $km^2$) mediana a altamente productivo, tienen una transmisibilidad T entre 10 y > 100 $m^2/d$; y caudales en fuentes mayores a 5 l/s (AQUATEST & INGEMMET, 2007).

El acuífero basal Chimú está cubierto por margas y limolitas de poca permeabilidad del acuitardo Santa (100-150 m) y por lutitas y calizas del acuitardo Carhuaz (500 m) convirtiéndolo en un acuífero del tipo confinado o cautivo. Las características de estos acuitardos en Cajamarca (Baños del Inca) indican que tienen una transmisibilidad T que varía de 0.1 a 1 $m^2$/d, y un caudal que va de de 0.005 a 0.5 l/s (AQUATEST & INGEMMET, 2007).

Estos acuitardos separan el acuífero basal Chimú del acuífero superior Farrat (Figs 8 y 9). En efecto, las areniscas y cuarcitas de la Formación Farrat se hallan bastante fracturadas y son por tanto acuíferos fisurados sedimentarios. Este acuífero superior Farrat tiene un espesor de 500 m, pero tampoco tiene influencia en la zona de estudio, pues se halla a profundidades mayores a los 900 m. En Cajamarca este acuífero es extenso (> 100 $km^2$) medianamente productivo, es decir con permeabilidades que varían entre 10 y 100 $m^2$/d; y caudales que van de 1 a 5 l/s (AQUATEST & INGEMMET, 2007). En consecuencia la permeabilidad del acuífero Farrat es menor que el acuífero Chimú (AQUATEST & INGEMMET, 2007).

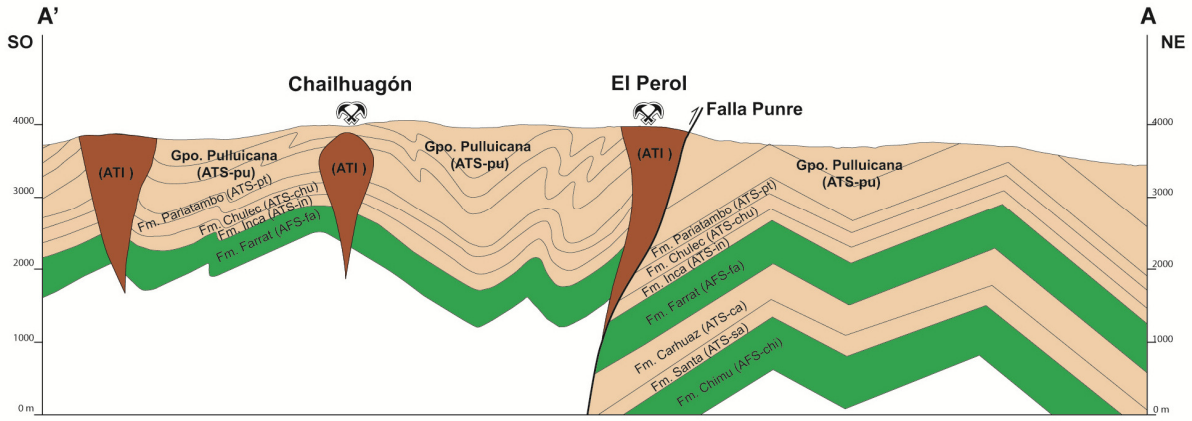


Fig. 9. Sección hidrogeológica de la zona de estudio, nótese el espesor de las calizas Pulluicana (acuitardo) y la profundidad de los acuíferos Chimú y Farrat.

Una secuencia gruesa de 1300 a 1800 m de lutitas, margas y calizas han sido clasificadas como acuitardos (Tabla 1) y corresponden, por un lado, a las formaciones Inca, Chulec y Pariatambo, y por otro lado las calizas Pulluicana o Yumagual, (AQUATEST & INGEMMET, 2007). Estos acuitardos se caracterizan por que pueden acumular localmente pequeñas cantidades de agua subterránea, como lo hace de manera superficial las calizas Pulluicana, en la zona de estudio. Estos acuitardos tienen las siguientes características: una transmisibilidad T que varía de 0.1 a 1 $m^2$/d, y un caudal estimado Q que varía de 0.05 a 0.5 l/s (AQUATEST & INGEMMET, 2007).

Las rocas volcánicas del Grupo Calipuy de la zona de estudio, con espesores mayores a los 400 m son materiales casi impermeables con porosidad primaria. La morfología plana de las secuencias y su escasa permeabilidad no permite el almacenamiento de aguas subterráneas, por lo que se les considera acuitardos. Limitan la infiltración de aguas de lluvia y favorecen la escorrentía superficial.

Las rocas intrusivas y los domos subvolcánicos son de poca extensión superficial, e igualmente son considerados de baja permeabilidad y clasificados como acuitardos (Mapa hidrogeológico, anexo 2).

Sin embargo, localmente y superficialmente se reconoce un nivel poco fisurado en las calizas Pulluicana, pero de espesores menores a 30 m que son los que alimentan los pequeños manantes que se presentan en la zona de estudio y que además alimentan las pequeñas lagunas. Estos acuíferos subsuperficiales en las calizas están asociados los acuíferos porosos no consolidados locales (morrenas, fluvioglaciares y aluviales), que las sobrayacen. Estos acuíferos son de poca productividad y muy estacionales, se recargan durante época de lluvia pero que luego descargan rápidamente sus caudales.

La falla Punre actúa como sello entre las calizas Pulluicana, como lo prueba la no existencia de puntos de agua a lo largo y al lado de esta gran estructura.

## CONCLUSIONES

La zona de estudio se localiza en la Cordillera Occidental del norte del Perú con una morfología de montañas y quebradas con altitudes que varían entre los 3400 y 4000 msnm. Procesos erosivos de glaciares antiguos han formado morrenas, depósitos fluvioglaciares y luego depósitos aluviales, principalmente en las quebradas, donde también se han formado pequeñas lagunas.

La geología de la zona de estudio está caracterizada por la presencia de rocas sedimentarias, rocas intrusivas y rocas volcánicas, donde resalta por la extensión de afloramientos, primero las calizas del Grupo Pulluicana, luego, los volcánicos de Grupo Calipuy, y finalmente algunos cuerpos intrusivos y domos subvolcánicos.

El control estructural de la zona de estudio está dado por la falla Punre o Puntre y el anticlinal El Galeno, en cuyo núcleo están las areniscas de la Fm Chimú que es un acuífero pero que se halla a gran profundidad (> 2000 m), así como el acuífero Farrat (> 1000 m). Ambos acuíferos no tienen influencia en el área de Proyecto Conga por estar a gran profundidad.

El Grupo Pulluicana está constituido principalmente por calizas y en menor proporción por margas y lutitas intercaladas, con espesores que varían entre 800 y 1000 m. Las calizas son de gran extensión superficial, impermeables y de escaso interés hidrogeológico. La clasificación hidrogeológica regional indica que el Grupo Pulluicana es un acuitardo (AQUATEST & INGEMMET, 2007), aunque superficialmente puede comportarse como un nivel fracturado de poca productividad. En Cajamarca, el acuitardo Pulluicana (Yumagual) tiene las siguientes características: una transmisibilidad T que varía de 0.1 a 1 $m^2/d$, y un caudal Q que varía de 0.05 a 0.5 l/s (AQUATEST & INGEMMET, 2007), típicos de un acuitardo.

Las rocas volcánicas del Grupo Calipuy son principalmente depósitos piroclásticos del tipo pómez y cenizas, tienen baja porosidad primaria, escasa permeabilidad y no permiten el almacenamiento de agua por lo que se les considera acuitardos, al igual que las rocas intrusivas y los domos subvolcánicos.

Se reconoce un nivel fisurado local y superficial en las calizas Pulluicana, pero de espesores menores a 30 m que son los que alimentan los pequeños manantes que se presentan en la zona de estudio y que además alimentan las pequeñas lagunas. Estos niveles subsuperficiales en las calizas, están asociados con los acuíferos porosos no consolidados locales (morrenas, fluvioglaciares y aluviales), que las sobrayacen. Estos niveles son estacionales de poca productividad y se recargan durante época de lluvia pero que luego, sus caudales descienden rápidamente.

Víctor Carlotto Caillaux

Fluquer Peña Laureano

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**


Aquatest & Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (2007). Estudio de factibilidad de las construcciones balneológicas en las localidades de Cajamarca y Churin. Lima: Aquatest, 249 p.

Benavides, V. (1956). Cretaceous System in northern Peru. Doctoral Thesis, Faculty of Pure Science, Columbia University. Bull. American Museum of Natural History, 108, 353–494.

Davies, R.C. (2002). Tectonic, magmatic and metallogenic evolution of the Cajamarca mining district, northern Peru. Ph.D. Thesis, James Cook University, Australia, 323 p.

Jaillard, E. (1985). La formation Cajamarca (Turonien supérieur) dans la région de Bambamarca (Andes nord-péruviennes). Approche sédimentologique. Bull. Inst. Fr. Et. And., 14, 49-56.

Wilson, J.J. (1985). Geología de los cuadrángulos de Jayanca, Incahuasi, Cutervo, Chiclayo, Chongoyape, Chota, Celendín, Pacasmayo y Chepén. INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional, 38, 104 p.