

REPÚBLICA DEL PERÚ
MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS
INSTITUTO GEOLÓGICO MINERO Y METALÚRGICO



DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL

**INFORME DE LA INSPECCIÓN DE CAMPO SOBRE LA DISPONIBILIDAD
DE RECURSOS HÍDRICOS EN EL DISTRITO DE LLAMELLÍN, PROVINCIA
ANTONIO RAYMONDI, DEPARTAMENTO DE ANCASH**



Por:

**FLUQUER PEÑA LAUREANO
MAURO ALBERTO SANCHEZ DIAZ**

INGEMMET

Lima – Perú
Septiembre 2007

ÍNDICE

| | |
|--|----|
| RESUMEN | 3 |
| I. GENERALIDADES | 3 |
| 1. UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD | 3 |
| 2. CLIMA..... | 5 |
| 3. GEOLOGÍA | 5 |
| 3.1. ESTRATIGRAFÍA..... | 5 |
| 3.2. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL..... | 6 |
| II. EVALUACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DEL RECURSO HÍDRICO | 8 |
| 4. HIDROLOGÍA | 8 |
| 5. HIDROGEOLOGÍA | 10 |
| <i>Manantial Yacuñahuín</i> | 11 |
| <i>Manantial Uchco</i> | 11 |
| <i>Manantial Llaglish</i> | 12 |
| <i>Manantial Huaylla Ucro</i> | 13 |
| <i>Captación Llamellín</i> | 14 |
| <i>Captación Huayllagra</i> | 14 |
| <i>Manantial Pogpuam</i> | 14 |
| <i>Bofedales</i> | 15 |
| III. CONCLUSIONES | 16 |
| IV. RECOMENDACIONES | 17 |
| BIBLIOGRAFIA | 19 |

INFORME DE LA INSPECCIÓN DE CAMPO SOBRE LA DISPONIBILIDAD DE RECURSOS HÍDRICOS EN EL DISTRITO DE LLAMELLÍN, PROVINCIA ANTONIO RAYMONDI, DEPARTAMENTO DE ANCASH

RESUMEN

Por solicitud escrita de los pobladores de Llamellin se realizo una inspección de campo con el objetivo de evaluar la disponibilidad de recursos hídricos del distrito. Dicha inspección se desarrollo entre los días 12 y 15 de abril de 2007.

El trabajo de campo consistió en un reconocimiento litológico de la geología e interpretar las características hidrogeológicas de cada formación geológica que aflora en los alrededores del centro poblado de Llamellin, e interpretar posibles reservorios de aguas subterráneas existentes en la zona. También se observaron las principales fuentes de agua superficial. En las fuentes superficiales se tomaron medidas de parámetros fisicoquímicos de campo, tales como: la conductividad eléctrica (CE- μ S/cm), la temperatura (T- $^{\circ}$ C) y el pH, con el objetivo de tener una primera interpretación de la procedencia de las aguas subterráneas. Para la estimación de la geometría de los acuíferos se tomaron medidas hidrométricas (caudal) en cada punto de surgencia manantial u otros.

El presente informe esta separado en cuatro partes. La primera parte se refiere a las generalidades de la zona de estudio como su accesibilidad y ubicación geográfica, también se ha hecho una breve descripción del clima y la geología, teniendo en cuenta que son los principales factores condicionantes de la existencia y circulación de agua subterránea y superficial. En la segunda parte se hace la evaluación de la disponibilidad de agua en el ámbito de estudio, se describen algunas características hidrológicas e hidrogeológicas de las formaciones y se evalúa los principales cursos de agua superficial y subterránea. Finalmente las partes III y IV presentan las conclusiones y recomendaciones del uso y disponibilidad del agua en la zona estudiada.

I. GENERALIDADES

1. UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD

El distrito de Llamellín está ubicado en el flanco oriental de la Cordillera Blanca entre las cotas 3,600 a 4,200 msnm. Según la Carta Geológica Nacional del INGEMMET, se encuentra dentro del cuadrángulo de Huari (19-i). Políticamente el sector estudiado corresponde a la provincia de Antonio Raymondi del departamento de Ancash (ver figura N° 1).

Se encuentra entre las coordenadas UTM (DATUM: WGS 84) siguientes:

| Vértice | Coordenadas UTM | |
|---------|-----------------|---------|
| | E | N |
| I | 282000 | 8998000 |
| II | 282000 | 8987000 |
| III | 265000 | 8987000 |
| VI | 265000 | 8998000 |



Figura 1. Mapa de ubicación y acceso del área de estudio

El acceso al área de estudio tiene diferentes tramos con variaciones considerables a través de la región. Es accesible por vía terrestre desde Lima según el siguiente cuadro de distancia:

| Tramo | Distancia (km) | Condición | Tiempo de recorrido (horas) |
|------------------------|----------------|---------------------|-----------------------------|
| Lima - Paramonga | 198 | Carretera Asfaltada | 03:30 |
| Paramonga - Catac | 137 | Carretera Asfaltada | 03:00 |
| Catac - San Marcos | 48 | Carretera Asfaltada | 01:30 |
| San Marcos - Llamellín | 58 | Carretera Afirmada | 04:00 |
| TOTAL | 441 | | 12:00 |

Cuadro N° 1. Distancias y acceso al centro poblado de Llamellín

Los accesos secundarios que permiten llegar a diferentes partes de área de estudio lo constituyen las diversas carreteras, trochas carrozables y caminos de herradura.

2. CLIMA

El clima predominante es frío, desde los 3,000 a 4,000 msnm. Se caracteriza por sus precipitaciones anuales promedio de 700 mm y temperaturas medias anuales de 12 °C, motivo por el cual presenta veranos lluviosos e inviernos secos con fuertes heladas. En general el flanco Oriental de la cordillera occidental recibe lluvias de los vientos húmedos provenientes de la cuenca Amazónica.

En la zona de estudio, el año hidrológico o la estación de lluvias es de noviembre a marzo, siendo la precipitación pluvial más intensa entre enero y marzo. La estación seca está comprendida entre los meses de abril a octubre, cuando los manantiales tienen una reducción considerable en su caudal.

En relación a las condiciones bio-antrópicas, el modo de vida de los pobladores, animales, y vegetales en la zona, está íntimamente ligado al ambiente climático. Las plantas crecen bien en los meses de verano y cultivan productos típicos de la zona como el maíz, papa, oca, habas, trigo, etc. La topografía del terreno favorece mediadamente al aprovechamiento agrícola.

3. GEOLOGÍA

3.1. ESTRATIGRAFÍA

El centro poblado de Llamellin se localiza sobre rocas sedimentarias consolidadas pertenecientes a formaciones clásticas y calcáreas del cretáceo inferior como el grupo Goyllarisquizga y la Formación Crisnejas respectivamente. A formaciones calcáreas del cretáceo superior como las Formaciones Jumasha, Celendín y Chota (ver figura N° 2). Estas rocas en parte están cubiertas por depósitos cuaternarios no consolidados.

Grupo Goyllarisquizga.- Aflora a 3 km al este de la localidad de Chaccho, en este sector el contacto superior y consiste en potentes estratos de cuarcitas, lutitas y calizas que corresponden a las formaciones Chimú, Santa, Carhuaz y Farrat. El contacto superior del grupo Goyllarisquizga con la Formación Crisnejas es bien nítido, en este lugar se observa la presencia de conglomerados producto de una discordancia erosional.

Formación Crisnejas.- Esta formación aflora en la mayor parte de la zona de estudio y sobreyace al grupo Goyllarisquizga. Consiste predominantemente de lutita calcárea gris azulina y marga amarillenta con intercalaciones delgadas de caliza. En el campo se reconoce por su litología una gran similitud con la Formación Chulec, la única diferencia es que contiene una menor proporción de caliza.

Formación Jumasha.- Los afloramientos de esta formación están localizados en la parte central y noreste de la zona de estudio. Estas rocas son fácilmente reconocibles por su tono gris claro de intemperismo y el marcado efecto topográfico que ejercen. En lo que concierne a su litología, consiste de calizas y dolomitas grises y amarillentas, de grano fino a mediano, que se presentan en capas medianas a gruesas. Conglomerados intraformacionales son relativamente comunes y en los alrededores de Mirgas y Llamellín la formación tiene cerca de la base un conglomerado de fragmentos gruesos.

Formación Celendín.- Esta formación y la Formación Jumasha tiene características muy similares, consisten de margas, lutitas calcáreas y calizas que sobreyacen concordantemente a la Formación Jumasha.

Formación Chota.- Esta formación tiene un desarrollo notable en el sector de Llamellín, consiste de centenas de metros de areniscas, lutitas y conglomerados rojos. El tope de la formación ha sido erosionado, pero el contacto inferior está bien definido y se encuentra sobre las margas de la Formación Celendín cuyo contacto es gradacional, presentando una intercalación de lutitas rojas y cremas.

Depósitos Cuaternarios.- Sobreyaciendo a todas las unidades descritas anteriormente se encuentran depósitos coluviales recientes, asociados a fenómenos de remoción en masa.

3.2. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

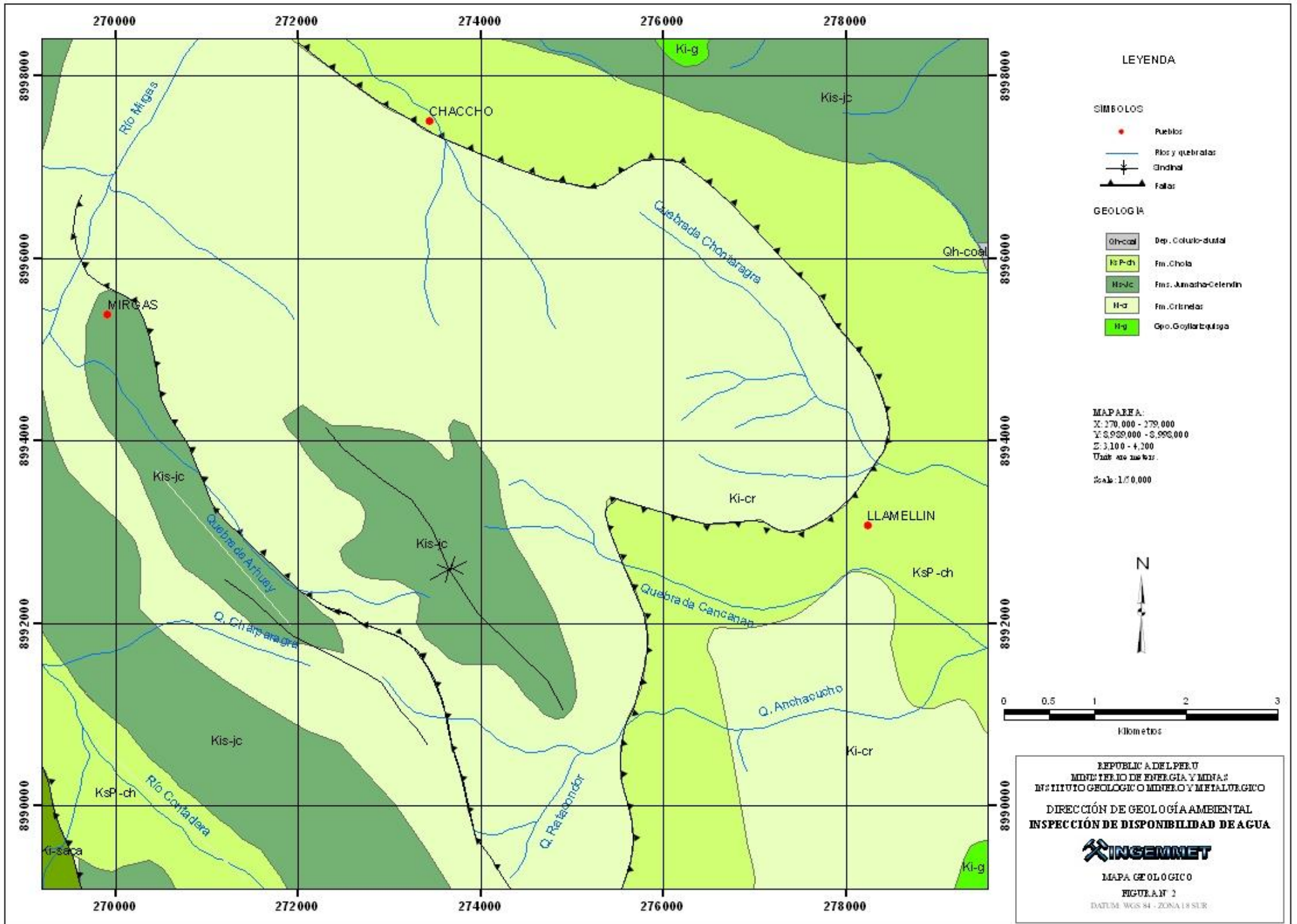
El área de estudio se caracteriza por presentar una variedad de estructuras de deformación.

Según el tipo de provincias estructurales (Wilson y Reyes, 1964) el área de estudio se localiza entre la *provincia imbricada* y la *provincia de bloques fallados*.

La *provincia imbricada* se localiza en la parte occidental de la zona de estudio y se caracteriza por la presencia de pliegues largos y estrechos asociados con grandes sobreescurrecimientos. Consiste mayormente en estratos que buzcan hacia el Suroeste, separadas por sobreescurrecimientos que generalmente yacen dentro de la estratificación; también se observan pliegues que son suplementarios a los sobreescurrecimientos (Wilson et al, 1967).

La *provincia de bloques fallados* ocupa la mayor parte de la zona de estudio y se extiende hacia la parte noreste de este sector. Es importante mencionar que uno de los ejes principales de fallamiento en la provincia corresponde al valle del Marañón, donde es común encontrar el complejo del marañón en contacto fallado con las formaciones mesozoicas que se encuentran en una serie de fallas inversas con rumbo NW-SE (Wilson et al, 1967).

La presión causada por el movimiento inverso de la zona de falla del Marañón ha contorsionado los sedimentos cretáceos que yacen en su vecindad. Los pliegues con ejes verticales o buzando fuertemente el Noreste entre Llamellín, Mirgas y el Marañón, son interpretados como una deformación suplementaria al movimiento de la falla principal (Wilson et al, 1967). En la zona de estudio, los sedimentos cretáceos están cortados por sobreescurrecimientos que salen de la gran falla inversa del Marañón y son considerados como imbricaciones delante de la falla grande.



LEYENDA

SÍMBOLOS

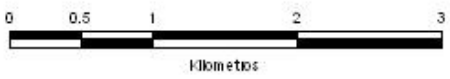
- Pueblos
- Ríos y quebradas
- Ondinal
- Fallas

GEOLOGÍA

- Gh-coal Dep. Cretácico-terciario
- Ki-P-ch Fm. Chola
- Ki-jc Fms. Jumacha-Celendin
- Ki-cr Fm. Crinetas
- Ki-g Qto. Goyllarquiaga

MAPA: A.

X: 270.000 - 279.000
 Y: 8.998.000 - 8.999.000
 E: 3.100 - 4.200
 UTM en metros
 Escala: 1/50.000



REPUBLICA DEL PERU
 MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS
 INSTITUTO GEOLOGICO MINERO Y METALURGICO
 DIRECCION DE GEOLOGIA AMBIENTAL
 INSPECCION DE DISPONIBILIDAD DE AGUA

 MAPA GEOLOGICO
 FIGURA 2
 DATUM: WGS 84 - ZONA 18 SUR

II. EVALUACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DEL RECURSO HÍDRICO

Numerosos manantiales afloran en los alrededores del centro poblado e Llamellín, evidenciando la presencia de aguas subterráneos. El recurso hídrico superficial proviene de los aportes de las quebradas y riachuelos que son alimentados directamente por las precipitaciones pluviales y la descarga de los manantiales.

4. HIDROLOGÍA

La divisoria de aguas que separa la subcuenca del río Mirgas de la subcuenca del río Puchka condiciona la disponibilidad de agua superficial en la localidad de Llamellín, siendo el área de contribución de escurrimiento y escorrentía superficial igual a 12 km² (ver figura 3).

El área de contribución de agua superficial de la localidad de Llamellín está constituida por las nacientes de la quebrada Chontaragra (4,000 msnm) y sus tributarios hasta la cota 3,400 msnm. En este sector el agua circula en superficie por pequeños cauces intermitentes, que al terminar el período de lluvias descargan muy rápidamente llegando a disminuir su caudal considerablemente. Es importante mencionar que en época de estiaje es entre los meses de junio y octubre, los riachuelos y cauces principales se encuentran totalmente secos, motivo por el cual la contribución de agua superficial a la localidad de Llamellín en este período es nula.

Al Suroeste de Llamellín, fuera de su área de contribución, se localiza la quebrada Anchacucho que es alimentada por las precipitaciones pluviales en época de avenidas, y en época de estiaje es alimentada por bofedales y manantiales que descargan directamente de los acuíferos ubicados en la parte alta de la subcuenca, motivo por el cual esta quebrada tiene un régimen casi permanente. Sin embargo en época de estiaje llega a disminuir considerablemente su caudal.

En la subcuenca Mirgas al Noroeste de Llamellín, se encuentra la quebrada Chaccho que es de régimen estacionario, y en época de estiaje es mantenida por los acuíferos que descargan a través de importantes manantiales localizados sobre la localidad de Chaccho. Sobre la localidad de Mirgas se encuentra la quebrada Arhuay que nace en el cerro Jatuncungash y es tributario del río Mirgas, esta quebrada es de régimen permanente y de importante caudal.

Un importante tributario del río Mirgas es el río Contadera que se encuentra al Suroeste de la zona de estudio, este río se encuentra bajo las faldas del cerro Jatuntinyash, en donde la infiltración del agua de precipitación es considerable por ser una zona fuertemente karstificada, se ha observado la presencia de dolinas y túneles producto de la karstificación. El agua de infiltración subsuperficial circula a través de los estratos calcáreos de la Formación Crisnejas ayudados por su estratificación y descarga rápidamente en el río Contadera a través de los conglomerados rojos de la Formación Chota, contribuyendo de esta manera a la escorrentía superficial y a su régimen permanente.

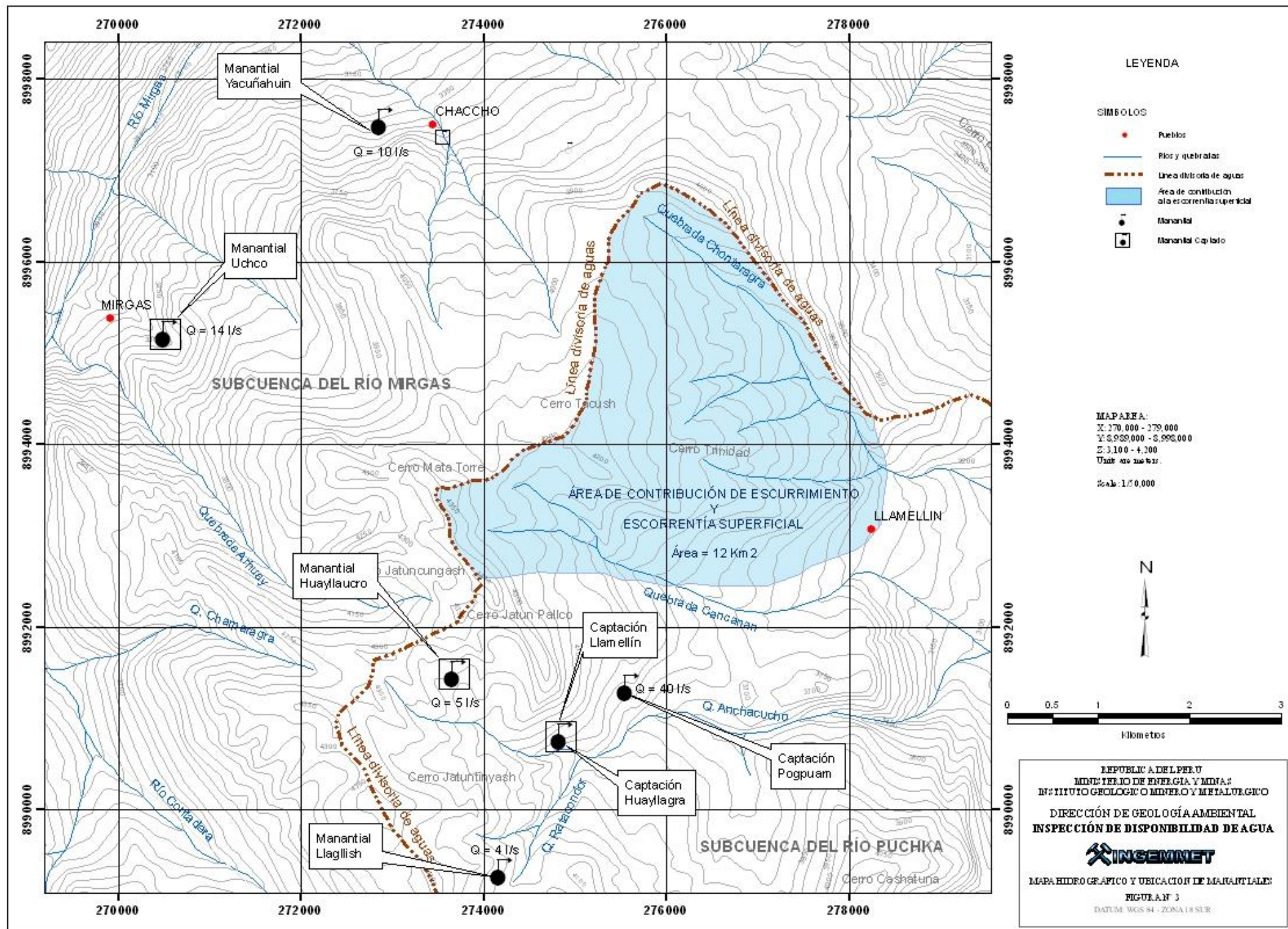


Figura 3. Red de drenaje, área de contribución de agua superficial y ubicación de fuentes de agua subterránea (Manantiales)

5. HIDROGEOLOGÍA

La zona de estudio se localiza en una región kárstica (ver figura 4), motivo por el cual es un área donde predominan los procesos de disolución sobre los de erosión, y la circulación subterránea sobre la superficial. Este predominio de disolución y circulación subterránea tiene como consecuencia la escasez de agua superficial y por lo tanto mayor infiltración de agua en este sector.

Entre los factores que condicionan la infiltración en la zona de estudio, se encuentran la pendiente y el modelado topográfico por procesos kársticos y tectónicos que regulan la escorrentía superficial y la infiltración.

En las áreas kársticas, la capacidad de infiltración y recarga es elevada, en su gran volumen de reservas y recursos de agua subterránea que pueden almacenar, y finalmente en la posibilidad de captar grandes caudales de agua. Sin embargo hay que tener en cuenta que la zona de estudio se encuentra en el área de recarga e infiltración máxima (ver figura 4) del sistema, por lo tanto es probable que no existan grandes reservorios subterráneos en el ámbito de estudio sino conductos subterráneos que en época de estiaje estarán secos.

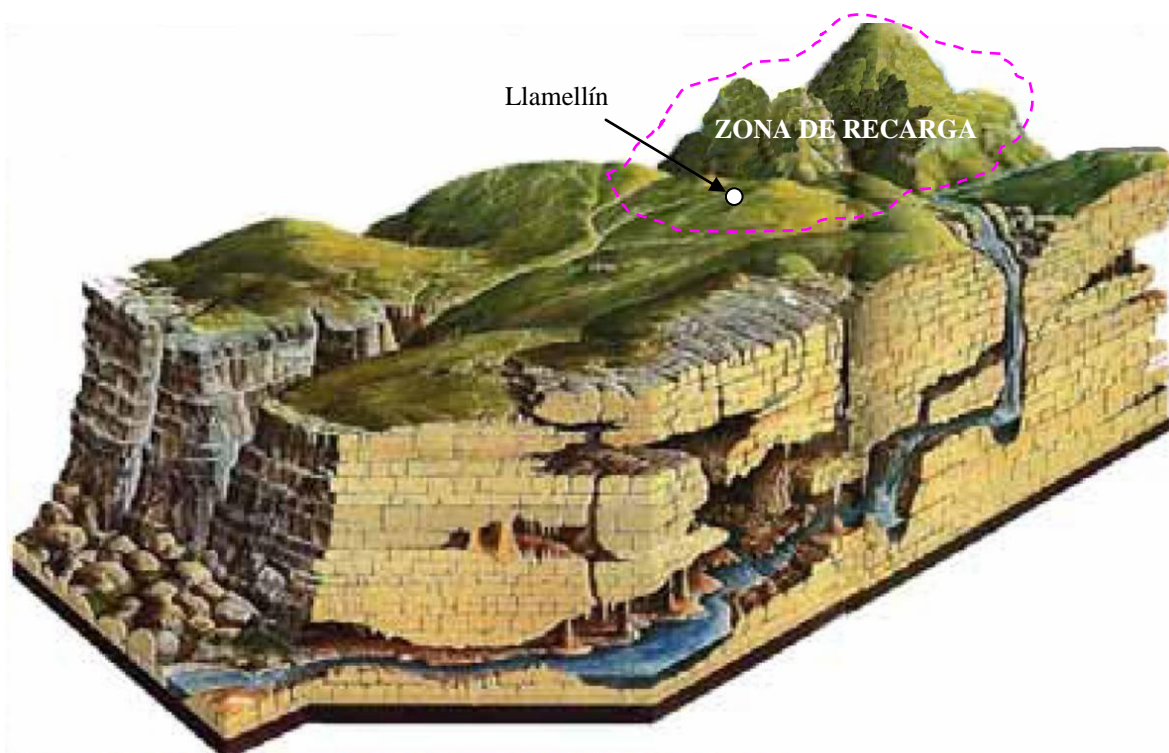


Figura 4. Modelo hidrogeológico conceptual de una región kárstica. En este modelo, el área de estudio se localizaría en la zona de recarga. Obsérvese la escasez de agua superficial

En la divisoria de aguas a 6 km al Suroeste de la localidad de Llamellín, se ha observado sumideros que representan la zona de recarga e infiltración del sistema acuífero del área de estudio (ver figura 5)



Figura 5. Izquierda: Sumidero ubicado en la divisoria de aguas que separa las subcuencas del río Puchka y del río Mirgas. Derecha: Detalle del Sumidero

Durante la inspección se ha observado algunos manantiales cuyas características son las siguientes (ver figura 3):

Manantial Yacuñahuín.- Este manantial posiblemente sea uno de los más importantes que se observó en el área de estudio. Está localizado a 700 m al Oeste de la localidad de Chaccho y drena hacia la quebrada Pachana. El manantial surge naturalmente a través de una caverna originada por disolución de carbonatos de calizas y conglomerados intraformacionales de la Formación Crisnejas (ver figura 6).



Figura 6. Caverna (izquierda) en conglomerados calcáreos con matriz limo-arcillosa de tonalidades rojizas, a través de la cual surge el manantial Yacuñahuín (derecha)

Este manantial tiene las siguientes características fisicoquímicas e hidráulicas:

- Su conductividad eléctrica (CE) es igual a 358 $\mu\text{S}/\text{cm}$
- Su temperatura (T) es de 14.1 °C
- El pH de 7.96 es neutro a ligeramente alcalino
- El caudal estimado (Q) durante la fecha de inspección fue de 8 a 10 l/s

De acuerdo a estas características, se puede decir que este manantial es alimentado por infiltración directa de las precipitaciones y es de buena calidad.

Manantial Uchco.- Está ubicado a 650 m al Sureste del distrito de Mirgas, tiene un sistema de captación directa y es usado para el consumo humano (ver figura 7). Este manantial surge a través de rocas calizas compactas y karstificadas. La surgencia de

agua se localiza en una zona de fallas inversas, y a diferencia del manantial anterior, es de régimen continuo o permanente.

Según manifestaciones de los pobladores de la zona, su caudal disminuye en 50% de su producción en épocas de estiaje sin llegar a desaparecer. El caudal estimado durante el trabajo de inspección fue de 14 l/s.



Figura 7. Sistema de captación directa del manantial Uchco, usado para consumo humano de la población de Mirgas

Sus características fisicoquímicas e hidráulicas son las siguientes:

- Conductividad eléctrica (CE) igual a 319 $\mu\text{S}/\text{cm}$
- Su Temperatura (T) es de 11.9 °C
- Tiene un pH neutro a ligeramente alcalino igual a 8.05
- El caudal estimado (Q) durante la fecha de inspección fue de 14 l/s

Al igual que el anterior este manantial también es alimentado por precipitación directa de las precipitaciones y es de buena calidad

Manantial Llagllish.- Este manantial se localiza en las nacientes de la quebrada Llagllish, a 5.5 km al Suroeste de la localidad de Llamellín. En función al número de puntos de surgencia, este manantial puede clasificarse como poli-emergente (poli-surgente) de tipo disperso, pues su distribución no sigue una disposición geométrica determinada.

Una característica de este tipo de manantiales es que aparecen cuando la superficie del terreno corta el nivel piezométrico, formando de esta manera los llamados bofedales o humedales los cuales han sido observados durante la inspección (ver figura 8).

En cuanto al punto de surgencia se puede mencionar que tiene un control estructural, pues se ubica en la intersección de dos fallas que afectan a las calizas de la formación Crisnejas.

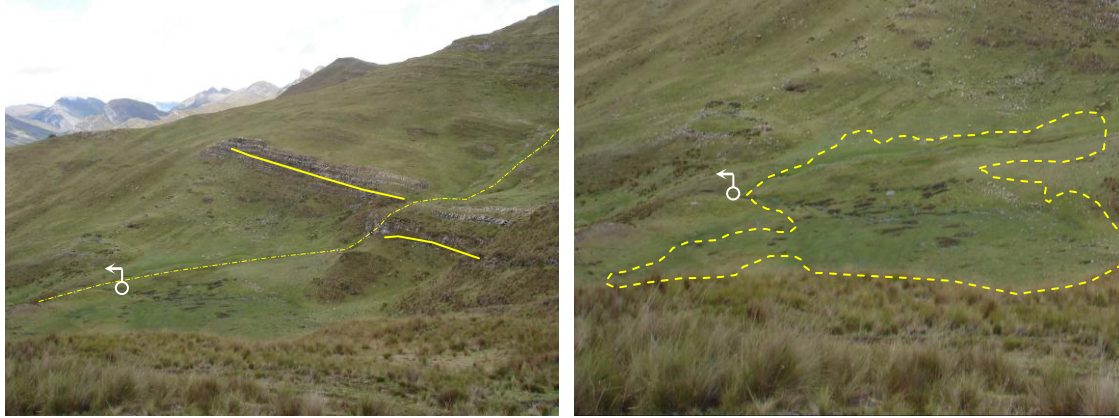


Figura 8. Manantial Llagllish. Control estructural de la polisurgencia y formación de bofedales o humedales

En conjunto estos manantiales suman un caudal aproximado de 4 l/s en el punto de reunión natural de su escorrentía, sin embargo esto no significa que sea toda la producción de los manantiales polisurgentes, pues una parte de ellos retorna al subsuelo por la retención que sufre al atravesar el bofedal.

Manantial Huaylla Ucro.- Este manantial tiene un sistema de captación directa y abastece al poblado de Coto. Se localiza en las faldas del cerro Jatun Pallco, a 5 km al Suroeste de la localidad de Llamellín.

Surge a través de suelos o materiales coluviales no consolidados de poco espesor, también se observan afloramientos rocosos a escasas decenas de metros los cuales están constituidos por calizas compactas y deformadas en proceso de karstificación que pertenecen a la Formación Jumasha-Celendín.

El punto de surgencia se localiza en el flanco occidental de un sinclinal cuyo rumbo y buzamiento es N 48° W – 60° SW, esta disposición de los estratos condiciona el flujo y surgencia del agua subterránea. Lo dicho anteriormente son condiciones suficientes para explicar el régimen permanente de este manantial, sin embargo se sabe que en época de estiaje varía considerablemente su caudal por el mismo hecho de tratarse de acuíferos kársticos y ubicarse en la zona de recarga cerca a la divisoria de aguas.



Figura 9. Manantial Huaylla Ucro. Sistema de captación directa del manantial y medida de parámetros fisicoquímicos de la surgencia de agua.

Sus características fisicoquímicas e hidráulicas son las siguientes:

- Conductividad eléctrica (CE): 244 $\mu\text{S}/\text{cm}$
- Temperatura (T): 9.6 $^{\circ}\text{C}$
- pH: 8.05, ligeramente alcalino
- El caudal estimado (Q) durante la fecha de inspección fue de 5 l/s

Desde el punto de vista físico químico, el manantial es de buena calidad, interpretamos que proviene de una circulación sub-superficial.

Captación Llamellín.- la captación de agua para consumo humano de la localidad de Llamellín está localizada sobre la confluencia de las quebradas Anchacucho y Ratacondor a 4 km al Suroeste de Llamellín y consta de dos sistemas de captación directa (ver figura 10). Atendiendo a la clasificación ideada por Bryan (1919) en función de la presión de surgencia, podemos clasificarlos como manantiales de ladera pues la superficie topográfica está en contacto con la superficie piezométrica. Lo normal en este caso es que existan más surgencias en el fondo de la quebrada.

Estos manantiales tienen características fisicoquímicas que representan zonas de corta infiltración y buena calidad:

CE = 277 $\mu\text{S}/\text{cm}$, T° = 9.2 $^{\circ}\text{C}$, pH = 8.34

Captación Huayllagra.- La captación de agua para consumo humano del sector de Huayllagra está localizada a escasos metros de la Captación Llamellín. Consta de dos sistemas de captación directa de manantiales, alineados en sentido transversal al eje de la quebrada Anchacucho (ver figura 10). Al igual que el caso anterior estos manantiales son de ladera y son surgencias de un mismo acuífero.



Figura 10. Izquierda: Captación Llamellín, sistemas de captación directa de manantiales de ladera. Derecha: Captación Huayllagra, obsérvese el alineamiento de las surgencias

Manantial Pogquam.- Este manantial se localiza a 3.5 km al Suroeste de Llamellín. La surgencia está controlada por el contacto litológico entre conglomerados rojos de la Formación chota y potentes bancos de caliza de la Formación Jumasha-Celendín (ver

figura 11). Se ha clasificado como un manantial de contacto y presenta importantes características fisicoquímicas e hidráulicas.

- Conductividad eléctrica (CE): 338 $\mu\text{S}/\text{cm}$
- Temperatura (T): 11.8 $^{\circ}\text{C}$
- pH: 8.68, alcalino
- El caudal estimado (Q) durante la fecha de inspección fue de 40 l/s

Estas características confirman una vez más la circulación del agua subterránea a través de materiales calcáreos y de corto tiempo de residencia en el acuífero, además de tener buenas características fisicoquímicas, también presenta un caudal considerable que puede ser aprovechado en beneficio de la población de Llamellín.

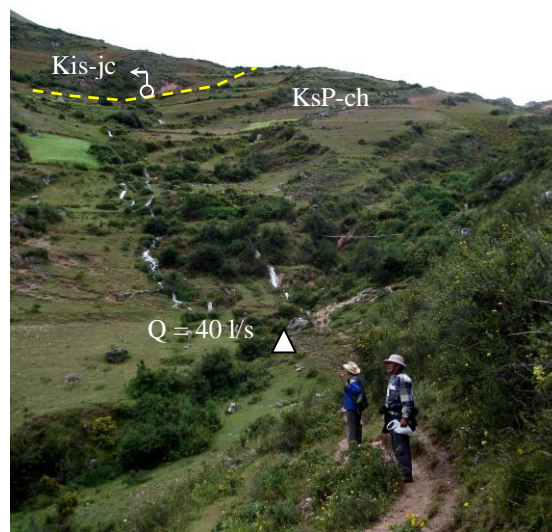


Figura 11. Manantial Pogpuam, surge a través del contacto entre conglomerados de la formación Chota y las calizas de la formación Jumasha_Celendín

Bofedales.- Son importantes acumulaciones de agua, que se observan cerca de la divisoria de aguas al SW de Llamellín (ver figura 12), son de similares características hidrogeológicas que el manantial Llagllish descrito anteriormente. Estos bofedales representan importantes reservas de agua que se mantienen constantes en algunos casos a lo largo de todo el año.



Figura 12. Bofedales o humedales originados por la surgencia de manantiales de ladera que aparecen cuando la superficie del terreno corta el nivel piezométrico

III. CONCLUSIONES

De la inspección de campo sobre la disponibilidad de recursos hídricos en el distrito de Llamellín se concluye lo siguiente:

- La estación de lluvias es de noviembre a marzo, siendo la precipitación pluvial más intensa entre enero y marzo de cada año. Este factor meteorológico condiciona la disponibilidad de agua tanto superficial como subterránea en la zona de estudio.
- La geología de la zona comprende rocas sedimentarias consolidadas, cuyas edades varían del cretáceo inferior al cuaternario reciente. Estas rocas presentan una variedad de estructuras de deformación (pliegues y fallas) que condicionan la escorrentía superficial y el flujo del agua subterránea a través de ellas.
- La disponibilidad de agua en la zona de estudio está dada por recursos hídricos superficiales y subterráneos. El recurso hídrico superficial proviene de los aportes de las quebradas y riachuelos existentes en la zona. El recurso hídrico subterráneo proviene de la descarga o drenaje natural de acuíferos a través de los manantiales.
- El área de contribución de escurrimiento y escorrentía superficial es de 12 km², y el agua superficial en este sector circula por pequeños cauces intermitentes, que al terminar el período de lluvias descargan muy rápidamente llegando a disminuir su caudal considerablemente o incluso a desaparecer, siendo mínima la contribución de agua superficial a la localidad de Llamellín.
- Las formaciones geológicas del área de estudio se encuentran fuertemente fracturadas y deformadas. A consecuencia de estas características, la infiltración del agua de precipitación es muy rápida y el caudal de descenso de las aguas superficiales es de muy corto tiempo, por lo tanto, la zona de estudio quedará con déficit de agua superficial al poco tiempo que haya terminado la época de lluvias.
- La zona de estudio hidrogeológicamente se localiza en una región kárstica, por esta razón en el área de estudio predominan los procesos de disolución sobre los de erosión, y la circulación subterránea sobre la superficial. Este predominio de disolución y circulación subterránea tiene como consecuencia la escasez de agua superficial debido a la mayor infiltración de agua en este sector.
- El agua de infiltración subsuperficial circula a través de los estratos calcáreos y descarga rápidamente en forma de manantiales en el contacto con los conglomerados rojos de la Formación Chota.
- La zona de estudio se encuentra en el área de recarga e infiltración máxima del sistema acuífero, por lo tanto es probable que no existan grandes reservorios subterráneos en el ámbito de estudio sino conductos subterráneos por donde circula el agua y que en época de estiaje estarán secos.

- Existen muchas fuentes de agua subterránea en forma de manantiales y bofedales de considerable caudal, cuya surgencia está controlada por la litología y sus contactos litológicos así como también por las estructuras de deformación como pliegues y fallas. Estas fuentes de agua subterránea generalmente tienen un caudal de descenso menor que el de las aguas superficiales, por lo tanto producirán agua por mucho más tiempo que estas, a lo largo de todo el año después de la época de lluvias.
- Los manantiales al ser un punto de surgencia natural de aguas subterráneas, su captación no puede afectar a otros recursos existentes en su entorno, dado que al haber existido siempre, el nivel piezométrico y balance local debe mantenerse inactivo sea o no captado el manantial.
- La conclusión más importante que interpretamos es que el área compuesta de acuíferos kársticos se recarga fácilmente y la descarga es alta, por lo que en época de estío el caudal de los manantiales baja considerablemente.

IV. RECOMENDACIONES

- La demanda creciente y diversificada de uso de los recursos hídricos en la zona de estudio y en la localidad de Llamellín en particular, requiere de un estudio detallado y actualizado de la disponibilidad o rendimiento hídrico superficial y subterráneo, así como las características de la demanda para los diversos usos del agua.
- Si tenemos en cuenta que la geología aporta a la hidrogeología todos los condicionantes relativos al medio donde se localiza el agua subterránea, entonces recomendamos **estudiar con más detalle** las características estratigráficas y estructurales del ámbito geológico en la zona de estudio.
- Por lo dicho anteriormente, recomendamos hacer estudios detallados de las características hidrogeológicas de cada formación geológica que aflora en la zona, con la finalidad de saber cual es el potencial acuífero de estas formaciones. Específicamente recomendamos determinar los parámetros hidrogeológicos de porosidad y permeabilidad de las rocas que afloran en la zona.
- Es importante mencionar que los estudios detallados lleven a hacer un monitoreo de las descargas, los cuales nos permitirían calcular las reservas y el tiempo de retención de las aguas en estos acuíferos.
- En cuanto a la disponibilidad de recursos hídricos superficiales, recomendamos hacer un estudio del balance hídrico, teniendo en cuenta los diversos escenarios de interés local en la zona de estudio.
- Es importante evaluar la disponibilidad de agua subterránea, y como primer paso recomendamos realizar el inventario de fuentes de agua subterránea como manantiales y bofedales. Este inventario deberá ser sometido a una base de datos georeferenciada que contenga los principales parámetros fisicoquímicos medidos

en campo y analizados en laboratorio, con el objetivo de realizar la clasificación química de aguas y evaluar su calidad y usos que se puedan dar a este recurso.

- Tanto para aguas superficiales como subterráneas, recomendamos controlar la evolución temporal del caudal a lo largo del año con la finalidad de establecer el caudal base y planificar el abastecimiento para consumo humano o agrícola.
- La descarga o drenaje de los acuíferos a través de manantiales, puede ser regulado artificialmente, mejorando considerablemente las posibilidades de gestión hídrica.
- En toda la región y especialmente en la zona de estudio, la utilización del agua precedente de los manantiales ha consistido únicamente en derivar el caudal natural mediante obras de captación directa sin utilizar la reserva subterránea. Es por esto que recomendamos regular los caudales de estos manantiales captados y no captados, que habitualmente presentan fluctuaciones muy importantes a lo largo del año. Esto permitirá captar caudales medios, incluso sin necesidad de recurrir a las aguas almacenadas en el acuífero. Para ello, se requiere analizar y conocer el funcionamiento y balance hídrico del acuífero.
- Para mejorar y regular las obras de captación y captar nuevos manantiales en la zona, recomendamos lo siguiente:
 - Establecer el caudal base, midiendo los caudales por más de 5 meses, que comprenda época de estío y época de lluvias,
 - Mejorar la permeabilidad de la salida de los manantiales, esto se puede lograr mediante una limpieza de los obstáculos que frenan la salida del agua.
 - En el caso de los manantiales polisurgentes, concentrar los puntos de surgencia, pueden ser a través de zanjas de drenaje.
 - Incrementar las reservas disponibles y el área de captación, esto se puede lograr construyendo un dique que intercepte el manantial de forma que se pueda regular el caudal final saliente,
 - Captar el manantial con un apropiado diseño, y finalmente,
 - Controlar los parámetros fisicoquímicos e hidráulicos después de la captación.

BIBLIOGRAFIA

- JOHN WILSON, ET AL. SERVICIO DE GEOLOGÍA Y MINERÍA (1967): Boletín N° 16, “Geología De Los Cuadrángulos De Mollebamba, Tayabamba, Huaylas, Pomabamba, Carhuaz Y Huari”.
- EUGENIO CASTRO, UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS (1990), “Estudio Geológico Definitivo Del Tramo De Carretera Uco-Rapayan“.
- INGEMMET, (1995): Boletín N° 60, Serie A: Carta Geológica Nacional. “Geología De Los Cuadrángulos De Pallasca, Tayabamba, Corongo, Pomabamba, Carhuaz Y Huari”.
- INGEMMET, JAVIER JACAY, UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS, (1996): Boletín N° 67, Serie A: Carta Geológica Nacional. “Geología De Los Cuadrángulos De Singa”.
- CARLOS R. MAMANI, UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO (2005): “Evolución Tectono-Sedimentaria Del Periodo Cretaceo Paleógeno En El Borde Oriental De La Cuenca Occidental (Cuenca Chavín) Del Cuadrángulo De Huari (19-I) Y Su Relación Con La Ocurrencia De Yacimientos Minerales“.
- CASTANY G. (1975). “Prospección y Exploración de Aguas Subterráneas”. España. Ediciones Omega S.A.
- PULIDO JOSE LUIS. (1978) “Hidrogeología Práctica”. España Urmo S.A. Ediciones.
- CUSTODIO, E. / LLAMAS. (1983) M. R. Hidrología Subterránea. Barcelona. Ediciones Omega S.A.
- J. BAQUERO ÚBEDA, UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID, UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS (2007), Proyecto ALFA II-0459-FA, Red DESIR, Módulo de Recursos Minerales, Master en Aprovechamiento Sostenible de los Recursos Minerales, “Hidrogeología Minera y Ambiental”.