

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**“ESTIMACION DE LAS PROPIEDADES HIDRODINÁMICAS E
IDENTIFICACION DE LAS FUENTES DE RECARGA DEL ACUÍFERO
VINCHOS”**

Presentado por:

KATHERINE NOEMI ROJAS DELGADO

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO AGRÍCOLA**

Lima - PERÚ

2016

El esfuerzo y el trabajo duro construyen el
puente que conecta tus sueños con la realidad

Daisaku Ikeda

DEDICATORIA

A Dios, por guiar mi camino.

A mi familia, mis padres Francisco y Noemi, por su incondicional apoyo, sus consejos y confianza, por la excelente educación en valores y principios porque todo lo que soy ahora es gracias a ellos.

A mis hermanos Franz y Sharon; que son los que me impulsan a crecer día a día y que más que hermanos son mis mejores amigos.

AGRADECIMIENTO

Al Mg. Sc. Guillermo Aguilar Giraldo, por sus conocimientos compartidos, por su dedicación y consejos oportunos, cuya guía hizo posible la culminación de este trabajo de tesis.

Al Mg. Sc. Sebastian Santayana Vela, por su apoyo, ideas y sugerencias compartidas así como su orientación en la culminación de la presente tesis.

A la Empresa Minera Vinchos por su colaboración al proporcionar los datos necesarios para el desarrollo del presente trabajo de tesis.

A todas las personas que de una y otra forma contribuyeron para hacer posible este anhelo.

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como finalidad caracterizar hidrogeológicamente el acuífero de Vinchos ubicado en el distrito de Pachanchacra, provincia y departamento de Pasco; la caracterización morfológica del sistema acuífero se ha realizado mediante el uso de la técnica isotópica, a través de la toma de muestras de agua superficial y subterránea, para el posterior análisis de los isótopos ambientales, los cuales fueron complementados con los análisis físico-químicos de dichas muestra de agua, Así mismo, los valores de conductividad hidráulica fueron estimados mediante el uso de trazadores y los valores de rendimiento específico fueron obtenidos mediante el uso del método volumétrico. Geológicamente el acuífero, es del tipo kárstico formado sobre las rocas consolidadas y fracturadas del grupo Pucará; con el diagnóstico en campo, de la morfología del agua subterránea, el acuífero es libre, con flujo inducido por la gravedad y gradiente hidráulico entre 23 y 25 por ciento. De los análisis isotópicos complementados con los análisis físico-químicos, se determinó que la fuente de recarga del acuífero, además de las precipitaciones presentes en la zona, es la laguna Mancacoto. La conductividad hidráulica varía entre los valores de 68 a 80 m/d, considerados muy altos según los rangos establecidos por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), y el promedio del rendimiento específico es de 14.4 por ciento; siendo estas propiedades hidrodinámicas correspondientes a las de un acuífero libre.

Palabras claves: acuífero kárstico, hidrodinámica, isótopos, trazadores.

ABSTRACT

The present work had as purpose to characterize hydrogeologically the aquifer of Vinchos placed in Pachanchacra district, province and department of Pasco; the morphological characterization of the aquifer system has been performed by using the isotopic technique, through the sampling of surface water and groundwater, for the subsequent analysis of environmental isotopes, which were complemented with physico-chemical analysis of those sample of water. Likewise, the hydraulic conductivity values were estimated through the use of tracers and specific output values were obtained through the use of the volumetric method. Geologically the aquifer, is of karstic type formed on the consolidated and fractured rocks of Pucará Group; with the diagnostic in field, of the morphology of groundwater, the aquifer is free, with flow induced for the gravity and a hydraulic gradient between 23 and 25 percent. Of the isotopic analysis complemented with the physico-chemical analysis, it determined that the source of recharge aquifer, besides of the present rainfalls in the area, is the Mancacoto lagoon. The hydraulic conductivity varies between the values of 68 to 80 m/d, considered very high by the ranges established by the United States Department of Agriculture (USDA), and the specific output is 14.4 percent; these being hydrodynamic properties corresponding to a free aquifer.

Keywords: karst aquifer, hydrodynamics, isotope tracers.

INDICE

I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Generalidades.....	1
1.2. Objetivos.....	2
1.2.1. Objetivo general	2
1.2.2. Objetivos específicos.....	2
II. REVISION DE LITERATURA.....	3
2.1. Agua subterránea y acuífero	3
2.2. Tipos de acuíferos en funcion a la porosidad.....	3
2.2.1. Acuíferos con formaciones geológicas no consolidadas.....	4
2.2.2. Acuíferos en formaciones geológicas consolidadas.....	4
2.3. Acuíferos kársticos	5
2.3.1. Origen y significado del término “Karst”	5
2.3.2. Tipos de karst	5
2.3.3. Acuífero kárstico	6
2.4. Trazadores.....	8
2.5. Isótopos.....	9
2.6. Relación entre trazadores e isótopos.....	11
2.7. Relación entre las variaciones del ^2H y el ^{18}O en el agua.....	13
III. MATERIALES Y METODOS.....	15
3.1 Materiales.....	15
3.1.1. Materiales, equipos y programas utilizados	15
3.1.2. Descripción de la zona de estudio	15
3.1.3. Información climatológica.....	16
3.1.4. Información hidrológica	18
3.1.5. Información geológica.....	20
3.1.6. Geomorfología.....	23
3.1.7. Geológica estructural.....	25

3.2 Métodos	26
3.2.1. Inventario de fuentes de agua subterránea	26
3.2.2. Muestreo de aguas e interpretación de los resultados	27
3.2.3. Caracterización geológica	27
3.2.4. Interpretación de las características físico-químicas de las aguas.....	27
3.2.5. Interpretación de los resultados de los análisis isotópicos	27
3.2.6. Uso de trazador para la estimación de la conductividad hidráulica	28
IV. RESULTADOS Y DISCUSION.....	29
4.1 Caracterización del acuífero	29
4.1.1 Inventario de fuentes de agua subterránea	29
4.1.2 Caracterización geológica y geomorfológica.....	30
4.1.3 Caracterización geológica estructural del medio	31
4.2 Determinación de la fuente de recarga del acuífero.....	31
4.2.1. Identificación de las posibles fuentes de recarga	31
4.2.2. Resultados de análisis físico – químico de las muestras de agua.....	31
4.2.3. Análisis isotópico de las muestras de agua	41
4.3 Estimación de características hidrodinámicas del medio fracturado	43
4.3.1 Filtraciones de agua inducidas	43
4.3.2 Estimación de la conductividad hidráulica mediante trazadores	44
4.3.3 Determinación de la conductividad hidráulica.....	48
V. CONCLUSIONES	50
VI. RECOMENDACIONES	52
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	53

RELACION DE CUADROS

Cuadro 3. 1 Ubicación política de las subcuencas.....	16
Cuadro 3. 2 Características de la estación Cerro de Pasco.....	17
Cuadro 3. 3 Variables climáticas representativas.....	18
Cuadro 4. 1 Inventario de fuentes de agua en el nivel 845.....	29
Cuadro 4. 2 Inventario de fuentes de agua en el nivel 865.....	30
Cuadro 4. 3 Puntos de muestra para el análisis físico-químico.....	32
Cuadro 4. 4 Características físico-químicas de las aguas subterráneas.....	33
Cuadro 4. 5 Características físico-químicas de las aguas superficiales.....	34
Cuadro 4. 6 Conductividad eléctrica y pH de las aguas subterráneas y superficiales.....	36
Cuadro 4. 7 Correlación entre las características físico-químicas de las aguas subterráneas y superficiales.....	40
Cuadro 4. 8 Resultados del análisis isotópico de las aguas superficiales y subterráneas de la zona de Vinchos.....	41
Cuadro 4. 9 Evaluación de la concentración del trazador con el tiempo – ensayo 1.....	45
Cuadro 4. 10 Evaluación de la concentración del trazador con el tiempo – ensayo 2.....	47
Cuadro 4. 11 Valores estimados de la conductividad eléctrica.....	48
Cuadro 4. 12 Rango de la conductividad hidráulica del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA).....	49

RELACION DE FIGURAS

Figura 2. 1 Tipos de acuíferos en función de su porosidad.	4
Figura 2. 2 El esquema de la circulación en la parte costera de un acuífero kárstico	8
Figura 2. 3 Línea meteórica mundial propuesta por Craig (1961)	14
Figura 3. 1 Esquema dinámico de los pasos empleados para obtención de los resultados de la zona de estudio	26
Figura 4. 1 Diagrama triangular de Piper de las aguas subterráneas	38
Figura 4. 2 Diagrama triangular de Piper de las aguas superficiales.....	38
Figura 4. 3 Diagrama de Schoeller de las aguas subterráneas.....	39
Figura 4. 4 Diagrama de Schoeller de las aguas superficiales.....	39
Figura 4. 5 Diagrama de O-18/H-2 de las aguas superficiales y subterráneas de la zona de Vinchos.....	42
Figura 4. 6 Filtración desde taladro exploratorio	43
Figura 4. 7 Flujo de agua subterránea a través de la fractura	44
Figura 4. 8 Gráfico de concentración vs tiempo de inyección del ensayo	46
Figura 4. 9 Gráfico de concentración vs tiempo de inyección del ensayo	47

ANEXOS

Anexo 1: Inventario de fuentes de agua subterránea

Anexo 2: MAPAS

- Mapa 1 Ubicación del área de estudio
- Mapa 2 Marco hidrológico
- Mapa 3 Geología
- Mapa 4 Sección geológica
- Mapa 5 Geológico estructural
- Mapa 6 Ubicación de afloramientos de agua subterránea nivel 845
- Mapa 7 Ubicación de afloramientos de agua subterránea nivel 865
- Mapa 8 Puntos monitoreo calidad de agua superficie
- Mapa 9 Hidrogeoquímica nivel 845
- Mapa 10 Hidrogeoquímica nivel 865
- Mapa 11 Puntos monitoreo calidad de agua subterránea
- Mapa 12 Sección hidrogeológica

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Generalidades

Los acuíferos son definidos como formaciones geológicas que almacenan y transmiten agua en cantidades importantes, siendo fuentes apropiadas, de ser explotadas para distintos usos. Las características de los acuíferos se hallan influenciadas por su formación, el lugar donde se ubican (que incluye clima, suelo, etc.), y sus propiedades hidrodinámicas.

En la sierra peruana se encuentra acuíferos de importancia que son clasificados desde el punto de vista geológico, como fracturados y kársticos, ambas en rocas consolidadas. En general dichos acuíferos en la actualidad aún no se encuentran en explotación, salvo, en casos en que la actividad minera haya intersectado dichas fuentes. Dichos acuíferos muestran cierta complejidad para su caracterización hidrogeológica.

El presente trabajo está orientado a caracterizar hidrogeológicamente el acuífero de Vinchos ubicado en el distrito de Pachanchacra, provincia y departamento de Pasco; su complejidad en la morfología del agua subterránea ha conducido a realizar investigaciones con la técnica isotópica, a través de la toma de muestras de agua superficial y subterránea, para su posterior análisis de los isotopos ambientales, los cuales han sido complementados con los análisis físico-químicos de dichas muestra de agua, para finalmente, interpretar los resultados. Así mismo, la conductividad hidráulica ha sido estimada mediante el uso de trazadores y para el rendimiento específico se ha hecho uso del método volumétrico.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

- Caracterizar el acuífero Vinchos mediante la estimación de las propiedades hidrodinámicas así como la morfología de las aguas subterráneas.

1.2.2. Objetivos específicos

- Identificar las fuentes de recarga del acuífero Vinchos, mediante el uso de la técnica isotópica que contempla la determinación de la concentración de Oxígeno-18, y Deuterio (^2H) en las aguas superficiales y subterráneas.
- Estimar las propiedades hidrodinámicas del acuífero mediante el método de trazadores.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1. Agua subterránea y acuífero

Según Arizabalo (1991), puede definirse como agua subterránea el agua subsuperficial que aparece justo bajo el nivel freático en los suelos y formaciones geológicas saturadas, y los acuíferos son aquellas formaciones geológicas que tienen la permeabilidad adecuada (porosidad o fracturamiento) para transmitir y almacenar agua. En función de los tipos de porosidad se distinguen tres tipos de acuíferos.

2.2. Tipos de acuíferos en función a la porosidad

Los acuíferos presuponen la existencia de una serie de poros o espacios en el interior de la roca, en los que puedan almacenarse y desplazarse las aguas subterráneas. Se define como porosidad total la relación entre el volumen de vacíos en una roca y el volumen total. En el campo de la hidrogeología, la porosidad que más interesa es la eficaz, definida por la relación entre el volumen de vacíos interconectados y por los que puede circular el agua, y el volumen total. Obviamente, siempre es menor o igual que la porosidad total.

En función de los tipos de porosidad se distinguen tres tipos de acuíferos, mostrado en la Figura 2.1.

2.2.1. Acuíferos con formaciones geológicas no consolidadas

El agua circula por el espacio existente entre los granos o cantos que forman la roca. El medio acuífero está constituido por rocas detríticas como grava, arenas, calcarenitas y, menos frecuentemente, los piroclastos de rocas volcánicas.

2.2.2. Acuíferos en formaciones geológicas consolidadas

Originada por la existencia de discontinuidades planares de todo tipo (fallas, diaclasas, esquistosidad, diques, etc.) que atraviesan el macizo rocoso, y son posteriores a la formación de la roca (porosidad secundaria). Principalmente, se desarrollan en rocas plutónicas y metamórficas. En el caso de acuíferos kársticos el desarrollo de una porosidad secundaria tiene dos procesos: una fracturación que permite una cierta circulación de aguas subterráneas, más una disolución que ensanche las fracturas hasta generar una red de conductos interconectados. Cuando el grado de karstificación es alto, las velocidades de circulación del agua son análogas a las de las aguas superficiales, y se puede hablar, de la existencia de “ríos subterráneos”.

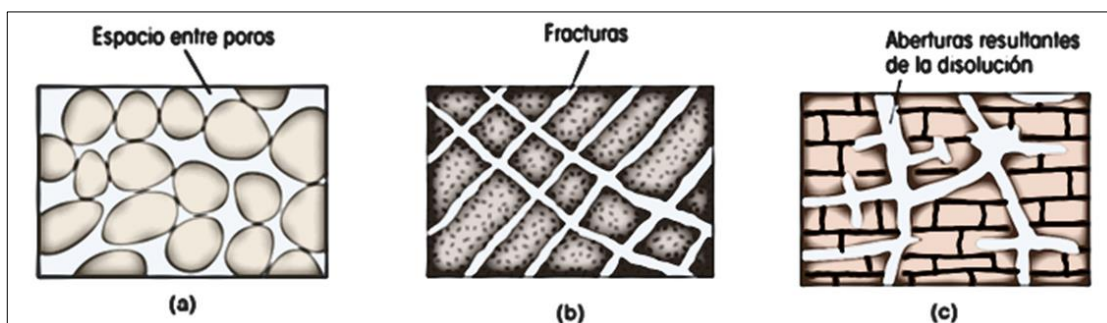


Figura 2.1 Tipos de acuíferos en función de su porosidad.

(a) Porosidad intragranular. (b) Porosidad por fracturación. (c) Porosidad por karstificación.

Fuente: (Carenas M., Giner J., Gonzales J. y Pozo M. 2014)

2.3. Acuíferos kársticos

2.3.1. Origen y significado del término “Karst”

El término karst representa rocas con rasgos geológicos complejos y con características hidrogeológicas específicas. Los medios kársticos están compuestos por rocas solubles, incluyendo piedra caliza, dolomita, yeso, halita, y conglomerados. El Karst se caracteriza por mostrar lapiazes, dolinas, ejes, poljes, cuevas, ponor, cavernas, manantiales intermitentes, manantiales submarinos, etc.

Es difícil definir en pocas palabras el karst, en virtud a que es el resultado de numerosos procesos afrontados por las rocas solubles y bajo la diversidad de condiciones climáticas variadas.

2.3.2. Tipos de karst

En regiones kársticas de ambientes geológicos complejos, identificar las características kársticas que subdividan su configuración regional, es complejo. Existen un número de parámetros que pueden ser utilizados para hacer esta división factible. Varios autores han clasificado el karst de acuerdo a sus características morfológicas, factores estructurales, posición geográfica y el ambiente de deposición de las rocas carbonatadas, seguido de una serie de otros factores. Dado que ninguno de estas clasificaciones se basan en valores numéricos o parámetros que se pueden cuantificar o expresar con leyes exactas, cualquiera de estas clasificaciones del karst puede ser juzgada como aceptable o inaceptable, dependiendo de las preferencias individuales o los aspectos destacados por el sistema de clasificación de cada individuo.

Cvijić (1926), formuló una de las primeras clasificaciones de zonas kársticas. Usando los rasgos morfológicos como base, dividió el karst en tres tipos: holokarst, merokarst y transición.

Holokarst (karst completa) se desarrolla en las zonas constituidas en su totalidad de rocas carbonatadas solubles. Se caracteriza por la existencia de fenómenos kársticos subterráneos, con

mayor desarrollo y creación de nuevos fenómenos kársticos. La gran tierra desnuda y rocosa, sin tierras de cultivo y con o sin la presencia de vegetación, da apariencias muy específicas a regiones holokarst. Los Alpes Dináricos y la cordillera Taurus, son ejemplos típicos de holokarst.

Merokarst (karst incompleto) tiene muchas propiedades de las regiones nonkarst. Las rocas carbonatadas fueron menos sometidas al proceso de karstificación. Por lo tanto, los fenómenos kársticos son poco frecuentes y la profundidad de karstificación es limitado. Sedimentos carbonatados se cubren con tierra cultivable y con vegetación. Superficies de tierras rocosas descubiertas con lapiaces son prácticamente ausentes. Las dolinas secas y ocultas con las cadenas de aberturas son raros y los karst poljes están ausentes. Este tipo de karst se llama con frecuencia karst cubierto. Los terrenos kársticos en Bélgica, el norte de Francia, y Noruega pertenecen al merokarst.

El tipo de transición de karst tiene un grado de karstificación que cae entre el holokarst y merokarst. Se encuentran principalmente en calizas que están aisladas por ser impermeables, con menos sedimentos solubles. Las formas kársticas subterráneas están bien desarrolladas, pero los poljes kársticos están ausentes. Las regiones típicas de este tipo de zonas kársticas son las Montañas de Jura y la región central de la Península balcánica. Está presente en gran parte en el norte de África, Australia, el sur China, Francia, Tasmania, los montes Urales, los EE.UU., y muchos otros lugares.

2.3.3. Acuífero kárstico

Los Acuíferos kársticos son depósitos subterráneos no homogéneos, en las que el agua se acumula en las redes de grietas interconectadas, cavernas y canales. La napa freática del acuífero no es una superficie continua bien definida. En general, todo el acuífero se sumerge hacia la base de la erosión, donde el agua drena del colector, bajo la influencia de este nivel base.

La posición de la base erosionada es un factor esencial en la determinación de dirección dominante de circulación subterránea. Litología, fallas, y las estructuras son también directores muy importantes o controladores de flujo de agua subterránea, pero su función es esencialmente menos importante que el papel del nivel de base erosionada. Con respecto a su importancia en la formación de las características hidrogeológicas de las regiones cársticas, la base erosionada se puede dividir en tres grupos.

El primer grupo incluye la erosión absoluta del nivel base. Estas son las cuencas marinas, específicamente las zonas entre el nivel del mar y los manantiales submarinos más profundos. El segundo grupo con la mayor erosión de niveles base para las regiones continentales, son valles de ríos más profundos y cañones. El tercer grupo tiene la erosión en los niveles base locales. Estos son poljes karst, valles fluviales de mayor elevación (seco o con flujo), dolinas, etc. Los niveles de base locales tienen los efectos en las regiones pequeñas y siempre se utilizan para la conducción del agua almacenada de forma temporal. Desde el punto de vista del desarrollo karst, estas bases son muy importantes debido a que tienen una influencia considerable en la regulación de la evolución de los acuíferos kársticos.

La Figura 2.2, describe las zonas más importantes en la región de absoluta erosión en el nivel base (mar). El almacenamiento de agua y la formación de una zona acuífera se producen en las zonas (zona de flujo de base) B y C, el agua en movimiento y salida ocurren bajo la influencia de gravedad. En la zona D, únicamente la circulación sifonal es posible. En la zona E, el agua subterránea es salobre. En la zona F, de agua dulce es completamente sustituida por el agua salada. Una masa de roca no kárstica (zona G), se localiza debajo del colector kárstico. Esta zona no almacena cantidades sustanciales de agua subterránea libre, el límite superior de zona G se llama base de karstificación. Este límite no está bien definido y puede ser considerado una zona de transición entre las rocas karstificadas y no karstificadas.

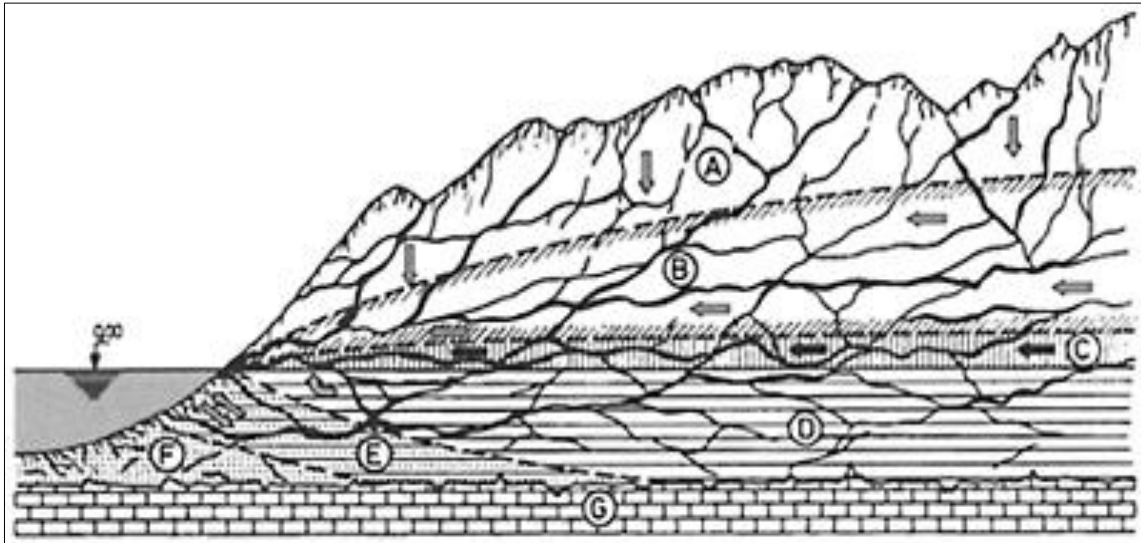


Figura 2. 2 El esquema de la circulación en la parte costera de un acuífero kárstico

(A) La zona de aeración; (B) zona de reservas dinámicas con rápido intercambio de agua; (C) parte de acuífero con lento intercambio de agua; (D) zona de circulación sifonal; (E) zona de agua salobre; (F) zona de agua salada; (G) base del kárstico.

Los conductos kársticos con altas capacidades de transmisión representan niveles locales de erosión de la masa de roca que rodea el lugar dónde la porosidad del tipo-fracturado predomina. Las capas freáticas o piezométricas superficiales se forman y cambian con frecuencia bajo la influencia de estos niveles de base locales. Por lo tanto, los niveles de agua observadas en pozos de observación esencialmente dependen en las condiciones que existen dentro de los conductos llenos de agua más cercanas.

Fuente: Milanović P.2005.

2.4. Trazadores

En hidrogeología un trazador es una materia o energía transportada por el agua subterránea que proporciona información sobre la dirección de su movimiento, su velocidad, así como de los contaminantes que pueda transportar (Plata, 1972). En general los trazadores se pueden clasificar en isotópicos y no isotópicos (colorantes, iones, gases, entre otros).

Son usados para definir caminos preferenciales de flujo (Hendrickx y Walter, 1997), identificar mecanismos responsables de generación de flujo, identificar fuentes de solutos y sistemas de contaminación, calcular el ciclo biológico de nutrientes dentro de un ecosistema, determinar fuentes de recarga etc. (Kendall y Caldwell, 1998). Pueden utilizarse también para determinar la cantidad de flujo que alcanza las reservas subterráneas. La técnica de señalizadores ha consistido en inyectar un trazador y luego rastrearlo en un área determinada (Lerner et al.,

1990). El principio general del método de trazadores es el balance de masa del trazador, en el cual se asume que el agua y el trazador son transportados a la misma velocidad.

$$r Tr = p Tp + fd \quad (1)$$

r = tasa de recarga promedio

Tr = concentración promedio del trazador en la recarga

p = precipitación promedio

Tp = concentración promedio del trazador en la precipitación

fd = masa del trazador en la zona vadosa

Para que se presente el caso ideal, la concentración del trazador debería incrementar con la profundidad hasta que se alcance una concentración estable. Esto indica que no se puede presentar evaporación bajo esta profundidad y que la ecuación (1) puede ser aplicada.

En la mayoría de los casos el trazador se utiliza para seguir el movimiento del agua, por lo cual debe moverse con el agua y ser soluble, no debe ser reactivo y no se debe transformar durante el transporte, por supuesto necesita ser medible y extraído fácilmente del suelo. Para trazadores artificiales hay restricciones adicionales: bajos niveles naturales del trazador en el ambiente, baja toxicidad y baja radioactividad. Para trazadores ambientales es deseable tener grandes variaciones naturales de las concentraciones del trazador en el paisaje, estas restricciones usualmente indican que solo aniones o moléculas de agua isotópicamente rotuladas se pueden usar.

2.5. Isótopos

Los contenidos de los isótopos estables pesados de oxígeno (^{18}O) y deuterio (^2H o D) son utilizados como trazadores del origen de las aguas subterráneas dado que sus contenidos se consideran constantes una vez que el agua haya fluido hacia el acuífero, es decir, sus contenidos (i.e. relación $^{18}\text{O} / ^{16}\text{O}$) no se ven afectados por las interacciones del agua con la matriz del acuífero.

Los contenidos isotópicos de la precipitación (como principal fuente de recarga de los acuíferos) están condicionados por diversos factores climáticos y geográficos (temperatura, grado de condensación, altitud, latitud, etc.), siendo la temperatura el principal factor que controla, en última instancia, los valores absolutos observados en la composición isotópica de la precipitación.

Las unidades de medida de las concentraciones del ^{18}O y ^2H son ‰ (en partes por mil) y están en relación a una muestra patrón de agua de mar recogida de diversos puntos de la Tierra, denominada, Vienna Standard Mean Ocean Water, (VSMOW), a cargo del Laboratorio de Hidrología Isotópica del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), que se encuentra en la ciudad de Viena, Austria, y proporcionada a los laboratorios de análisis isotópicos en todo el mundo. La concentración de Tritio en el agua, es denominada Unidades de Tritio (UT), cada UT corresponde a 1 átomo de ^3H por cada 1×10^{18} átomos de ^2H .

Debe indicarse, además, que el isótopo Tritio, se forma en la alta atmósfera como producto de las reacciones nucleares entre los rayos cósmicos y los átomos de nitrógeno contenidos en el aire, la misma que en contacto con las nubes genera un intercambio isotópico con las moléculas del agua y llegan a la superficie de la Tierra formando parte del agua de lluvia. Teniendo en cuenta que el Tritio, es un isótopo radioactivo (periodo de semidesintegración de 12.32 años), las concentraciones de este isótopo decaen con el tiempo, característica que permite estimar la edad o el tiempo de residencia de las aguas subterráneas en el subsuelo. El tiempo de residencia, es el tiempo que las aguas subterráneas permanecen aisladas de la atmósfera desde el momento que se infiltran a subsuelo, hasta que salen a superficie. Los valores de concentraciones de Tritio en lluvias recientes en el Perú, se pueden estimar en base a los últimos valores disponibles, que corresponde a 1996-1998, indicándose valores del orden de 2-3 UT.

Después de su formación natural (en la alta atmósfera) o artificialmente (ensayos termonucleares o industriales) el tritio se oxida (HTO) y entra a formar parte del ciclo del agua. Su distribución en la precipitación está condicionada por la latitud, proximidad al mar y distancia a fuentes

artificiales o zonas de ensayos termonucleares.

Estos factores, junto a su desintegración radioactiva, permiten utilizar los contenidos de tritio como indicadores de la presencia de aguas recientes en los acuíferos y determinar, bajo ciertas condiciones, zonas de recarga preferente. La concentración de tritio se expresa en Unidades de Tritio (UT) ($1 \text{ UT} = 1 \text{ átomo de tritio en } 10^{18} \text{ átomos de } ^1\text{H}$).

2.6. Relación entre trazadores e isótopos

La hidrogeoquímica y trazadores ambientales y artificiales constituyen herramientas de exploración e investigación de gran potencial, con mucho campo aún por descubrir. La diversidad de acuíferos kársticos impide encontrar la sencilla regla general de aplicación universal, so pena de cometer errores notorios. Las sales disueltas en las aguas kársticas y sus contenidos isotópicos informan sobre la historia, sistemas de flujo preferencial y toda una serie de procesos relacionables con la hidrodinámica, naturaleza litológica, etc. (Custodio, 1986). Es por ello, que se tiene tendencia en la actualidad a considerarlos como trazadores ambientales o naturales, que aportan información global a medio y largo plazo (Fidelibus y Tulipano, 1990).

Los isótopos se utilizan para determinar la edad de las aguas o los tiempos medios de residencia (radiactivos), o las áreas de recarga preferente; a escala más local, se pueden utilizar en la delimitación de perímetros de protección. Las técnicas isotópicas pueden tener especial interés en la determinación de la descarga al mar de los acuíferos costeros kársticos, especialmente los isótopos del radón (Cable et al., 1996 a y b; Moore, 1996).

Además de las concentraciones iónicas, sus variaciones espaciales y temporales, se consigue buena información genética de las relaciones iónicas y, sobre todo, de deltas, permitiendo delimitar áreas de comportamiento hidrogeoquímico diferente, procesos de mezcla (Pulido P. et al., 2001), intercambios iónicos e incluso tiempos de residencia. Para ello es necesario disponer de unas determinaciones analíticas muy precisas y fiables (Pulido A. et al., 1995). El estudio

conjunto de caudales de una surgencia y los quimiogramas puede dar buenos resultados en la descomposición de hidrogramas y en la determinación del funcionamiento del sistema. Se han cuantificado componentes de base y rápidas aplicando el ión sulfato como discriminador (Muguerza, 2001), así como las relaciones lluvia-caudal mediante modelización inversa (Pinault et al., 2001) teniendo en cuenta que el Mg^{++} representaría la componente química del agua existente en el sistema antes del evento lluvioso, y el Ca^{++} la relacionada con el evento simulado.

En esta misma línea se ha aplicado el carbono inorgánico total, cuantificado mediante C-13, y el orgánico para caracterizar el funcionamiento de surgencias kársticas. En los eventos muy bruscos, como fue el caso de una precipitación de unos 120 mm en pocas horas en el manantial de Vaucluse (Emblanch et al., 1999), se registra un notable aumento de la concentración en Mg, acompañado también de una subida en carbono inorgánico y aumento de la temperatura del agua, lo que es interpretado como que esta infiltración rápida moviliza un agua de elevado tiempo de residencia dentro de la zona saturada.

Los trazadores artificiales son más clásicamente utilizados en la exploración del agua en medios kársticos, aunque frecuentemente el objetivo esencial fue determinar la posible conexión entre dos puntos. La potencialidad de los trazadores en el karst es muy grande y constituye una herramienta imprescindible en los estudios relacionados con la propagación de contaminantes (Lepiller y Mondain, 1986; Gaspar, 1989; Hötzl y Werner, 1992; Maloszewski, 1994). Además de los trazadores colorantes y químicos tradicionales (fluoresceína y CINa), el litio se muestra muy resolutivo, al existir concentraciones muy bajas en el medio natural (Pulido y Sbih, 1995; Muguerza, 2001).

Conviene recordar que las velocidades aparentes de circulación que se obtienen con estas experiencias de trazado varían notablemente si se realiza sobre un dren (0.1 a 1 m/s), cercano al mismo (1×10^{-2} a 1×10^{-1} m/s), o lejos de él (1×10^{-3} m/s). También, se observa que esta velocidad disminuye en estiaje, y que aumenta con la proximidad de la emergencia; por todo ello, una sola experiencia con trazadores es poco expresiva, y es necesario realizar varias. Se

pueden determinar las zonas de drenaje preferencial cuando se efectúan muchas experiencias en puntos distintos.

2.7. Relación entre las variaciones del ^2H y el ^{18}O en el agua

La relación del ^{18}O y ^2H de la precipitación para diferentes partes del mundo, está dada por la siguiente ecuación, cuyas magnitudes están expresadas en tanto por mil.

Según Craig (1961) y Dansgaard (1964), encontraron una relación entre los valores

$$\delta^2\text{H} = 8\delta^2\text{O} + 10 \quad (\text{Ec.1})$$

Dónde:

$\delta^2\text{H}$ = la variación del deuterio

$\delta^2\text{O}$ = la variación del O-18

Posteriormente Rozanski et al. (1993), introducen mejoras en la ecuación anterior, obteniendo la expresión:

$$\delta^2\text{H} = 8.17(\pm 0.07)\delta^2\text{O} + 11.27(\pm 0.65) \quad (\text{Ec. 2})$$

Gráficamente esta ecuación representa la curva que se conoce con el nombre de Línea Meteórica Mundial. Sin embargo, localmente pueden existir ligeras variaciones que se investigan a partir del análisis del agua de lluvia no evaporada colectada durante un tiempo, donde a partir del contenido isotópico de Deuterio y ^{18}O se construye la que se denomina línea meteórica local.

La construcción de la línea meteórica local y la posterior comparación del contenido isotópico de las muestras de agua analizadas del acuífero, permitirá delimitar la zona de recarga y determinar si las aguas subterráneas provienen de la lluvia local, de precipitaciones infiltradas en la parte alta de las montañas, de un río, un lago o combinaciones de las mismas; de igual forma se podrá conocer si el agua procede de una época anterior a la actual y en el caso

un acuífero costero sometido a problemas de salinización establecer el origen o causas de la misma. En la Figura 2.3 se presenta aspectos característicos de la línea meteórica mundial.

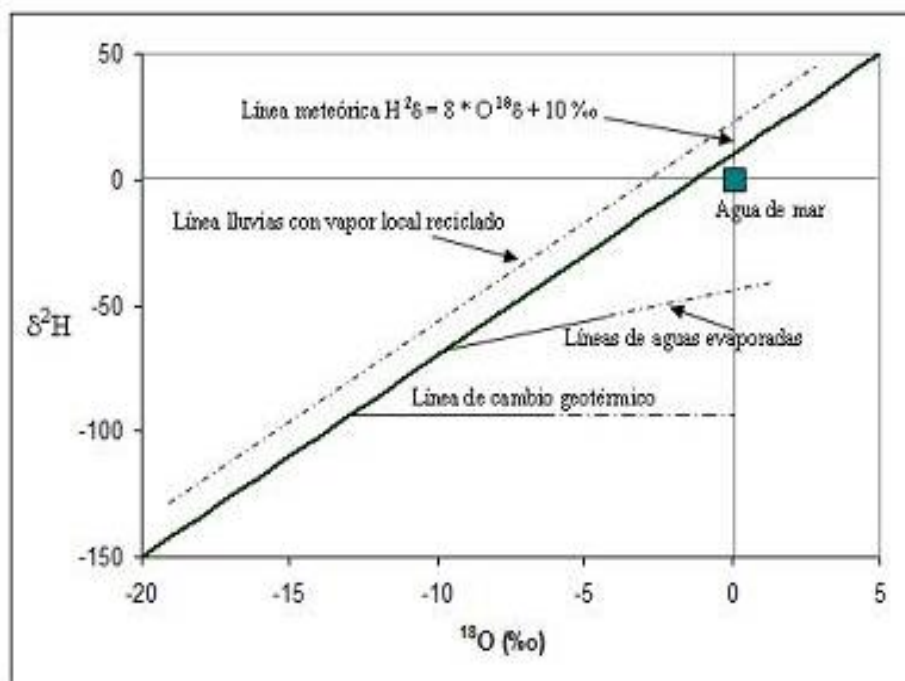


Figura 2.3 Línea meteórica mundial propuesta por Craig (1961)

De acuerdo a Herraiz (2008), cuando la evaporación de agua libre tiene lugar en condiciones de no equilibrio, es decir, la reacción se da en una sola dirección en la cual el proceso (en este caso la evaporación) no es reversible, la pendiente de la recta es inferior a 8, variando en el rango de 4 y 6 (línea de aguas evaporadas). Esto explica por qué las aguas procedentes de lagos, presentan concentraciones mayores de Deuterio y ^{18}O que las precipitaciones medias del lugar y, además, el enriquecimiento producido es mayor para el ^{18}O que para el Deuterio. Por tal motivo, si las aguas de un acuífero tienen como origen un lago su d (desviación isotópica de Deuterio y ^{18}O) va a ser mucho mayor que el d medio anual de las precipitaciones del lugar.

III. MATERIALES Y METODOS

3.1 Materiales

3.1.1. Materiales, equipos y programas utilizados

a. Materiales

- Frascos de un centímetro cúbico para la toma de muestras de agua
- NaCl diluido como trazador

b. Equipos

- Multiparamétrico (pH, C.E, T°, OD)
- Cronómetro

c. Programas

- Autocad Civil 2014
- Arcgis 10
- Aquachem 2014.2

3.1.2. Descripción de la zona de estudio

a. Área de estudio

La zona de Vinchos, políticamente se ubica en el distrito de Pachanchacra, provincia y departamento de Pasco.

La ubicación del área de estudio puede ser apreciado en el Mapa 1 (Anexo 2).

Geográficamente, el extremo inferior izquierdo se encuentra entre las coordenadas UTM (PSAD56, zona 18 Sur) E 359200 m, N 8845000 m y el extremo superior derecho en la coordenada E 361700 m, N 8848500 m, a 4251 m de altitud. Hidrográficamente, el área de proyecto se localiza entre las microcuencas Chumquipata, Chagchayoc ambos afluentes del río Nilaya, Utucyacu y Mancacota ambos afluentes del río Condorgaga y Tingo, tal como se muestra en el Cuadro 3.1.

Cuadro 3.1 Ubicación política de las subcuencas

SubCuenca	Departamento	Provincia	Distrito
Chumquipata	Pasco	Daniel Alcides Carrión	Santa Ana de Tusi
Chagchayoc	Pasco	Pasco	Pallanchacra
Utucyacu	Pasco	Pasco	Pallanchacra
Mancacota	Pasco	Pasco	Huayllay

Fuente: Elaboración propia

b. Vías de acceso

La zona se comunica con la capital de la república a través de la carretera Lima - Cerro de Pasco, y desde esta ciudad a través de la carretera Daniel Alcides Carrión hasta llegar a la zona de Vinchos, con 500 Km de recorrido y 8 horas de tiempo de viaje.

3.1.3. Información climatológica

Con fines de la caracterización climatológica, se ha considerado la información de la Estación Climatológica Ordinaria (CO) Cerro de Pasco, por estar cerca al área de estudio.

La Estación Cerro de Pasco se encuentra ubicada en el distrito de Buena Vista a una altitud de 4260 m.s.n.m. y las coordenadas 10° 41' 40" de Latitud Sur y 76° 15' 15" de Longitud

oeste; dispone de información promedio mensual de temperatura máxima (°C), temperatura mínima (°C), temperatura media (°C), humedad relativa media (%) , velocidad del viento(km/d) , precipitación (mm), radiación solar (MJ/m²/d), insolación (horas sol). En el Cuadro 3.2, se resume sus principales características.

Cuadro 3. 2 Características de la estación Cerro de Pasco

Estación meteorológica						
Estación	Latitud	Longitud	Altitud	Distrito	Parámetro	Tipo
Cerro de Pasco	10° 41' 40"	76° 15' 15"	4260m.s.n.m.	Chaupimarca	Radiación Solar	Climática convencional
					Horas sol	
					Temperatura media mensual	
					Temperatura máxima media mensual	
					Temperatura mínima media mensual	
					Humedad relativa	
					Presión atmosférica diaria	
					Viento	
					Precipitación	

Fuente: SENAMHI.

La información de la estación meteorológica Cerro de Pasco, ha sido empleada para el análisis del comportamiento de las variables climáticas, mostradas en el Cuadro 3.3.

a. Temperatura

La temperatura mínima varía entre -4.0 a 0.8 °C, con un promedio anual de -1.20 °C, y la temperatura máxima varía entre 10.9 y 13.0 °C, con una media anual de 12.3 °C.

b. Humedad relativa

La humedad relativa está comprendida entre 71 y 84 por ciento, mostrando valores altos durante los periodos de lluvia y menores en los meses de estiaje.

c. Velocidad del viento

Sus valores están comprendidos entre 35 km/d (1.46 Km/h) y 138 km/d (5.75 km/h); con 78 Km/d de promedio anual (3.25 Km/h), velocidades consideradas de medias a bajas.

d. Horas de sol

Las horas de sol, imprescindible para los procesos de fotosíntesis de las plantas nativas en la zona varían entre 3.3 a 7.9 horas con un promedio anual de 5.6 horas.

e. Evapotranspiración potencial

Los valores de evapotranspiración potencial fueron obtenidos al procesar los datos de la estación Cerro de Pasco con el software Cropwat 8.0, mediante el método de la FAO Penman-Monteith. Los valores varían entre 2.45 a 2.92 mm/d con 2.66 mm/d de promedio anual.

Cuadro 3. 3 Variables climáticas representativas

Mes	Temperatura mínima (°C)	Temperatura máxima (°C)	Temperatura promedio (°C)	Humedad relativa (%)	Velocidad del viento (km/día)	Insolación horas sol	Radiación	ETo	ETo
							(MJ/m ² /día)	(mm/día)	(mm/día)
Enero	0.7	12.0	6.35	79	69	5.1	18.0	2.92	4.46
Febrero	0.8	10.9	5.85	81	35	4.8	17.5	2.81	4.72
Marzo	0.7	11.4	6.05	80	35	5.1	17.3	2.74	4.61
Abril	-0.5	13.0	6.25	84	69	5.7	16.9	2.64	4.01
Mayo	-2.0	12.2	5.1	72	69	7.3	17.4	2.55	3.21
Junio	-4.0	12.8	4.4	74	104	7.8	17.1	2.45	2.69
Julio	-3.8	12.5	4.35	71	104	7.9	17.7	2.53	2.52
Agosto	-2.9	13.0	5.05	71	104	7.8	19.0	2.83	2.71
Septiembre	-1.5	12.1	5.3	75	138	4.0	15.1	2.5	3.13
Octubre	-0.7	12.5	5.9	76	138	4.1	16.0	2.68	3.57
Noviembre	-0.7	12.6	5.95	73	35	3.9	16.1	2.69	3.85
Diciembre	-0.1	13.0	6.45	73	35	3.3	15.1	2.61	4.32

Fuente: SENAMHI, 2014.

3.1.4. Información hidrológica

La distribución espacial y altitudinal de la precipitación en las microcuencas en las que se ubica la zona de Vinchos está basada en la relación lineal de la información registrada en el periodo 1957-2010 para las estaciones pluviométricas Cerro de Pasco, Upumayo y Laguna Huaron. La variación mensual de la precipitación generada o sintética se muestra en el Cuadro 3.4, con mayor régimen de precipitación a mayor altitud; y la precipitación total anual

comprendida entre 984.4 mm (Mancacoto) a 1050.2 mm (Utuctyacu), tal como se observa en el Cuadro 3.5.

En el Mapa 2 (Anexo 2), se encuentra la distribución espacial de las microcuencas sobre las cuales se ubica la zona de Vinchos.

Cuadro 3.4 Precipitaciones mensuales generadas por microcuencas

Microcuenca	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Chumquipata	143.4	139.6	136.4	87.7	37.9	24.3	13.6	27.3	56.9	91.8	111.4	127.0
Chagchayoc	140.6	141.9	137.2	86.1	38.7	22.8	13.9	26.9	56.4	92.6	108.1	124.7
Utuctyacu	144.9	138.5	136.1	88.5	37.4	25.1	13.4	27.4	57.2	91.3	113.1	128.2
Mancacota	138.5	143.5	137.7	85.0	39.3	21.6	14.2	26.6	56.0	93.3	105.7	123.0

Fuente: Elaboración propia.

Se observa que para las cuatro microcuencas, la precipitación máxima se registra en el mes de enero y la precipitación mínima en el mes julio. Siendo en Chumquipata la máxima de 143.4 mm y la mínima 13.6 mm, en Chagchayoc la máxima de 140.6mm y la mínima de 13.9mm, en Utuctyacu la máxima de 144.9 mm y la mínima de 13.4 mm; y en Mancacota la máxima de 138.5mm y la mínima de 14.2 respectivamente.

Cuadro 3. 5 Precipitación total anual por microcuencas

Microcuenca	Altitud media (m)	Área (Km ²)	Precipitación (mm)
Chumquipata	3965	6.23	997.43
Chagchayoc	4055	6.91	989.91
Utuctyacu	3920	6.39	1001.18
Mancancota	4120	3.12	984.48

Fuente: Elaboración propia.

Para la microcuenca Chumquipata la precipitación total anual es de 997.43 mm , Chagchayoc con 989.91 mm , Utuctyacu con 1001.18 mm y Mancacota con 984.48 mm.

3.1.5. Información geológica

a) Grupo Pucará

El grupo Pucará es la unidad litoestratigráfica más antigua en la zona de Vinchos, representada por secuencias de rocas carbonatadas de edad del Triásico Superior - Jurásico Inferior. Tiene un espesor regional aproximado de 600 m y aflora en gran parte de la zona minera, cubriendo el 90 por ciento del área del proyecto.

Se caracterizan por presentar rocas calizas mayormente micríticas que se encuentran en alternancia con calizas nodulares rellenas chert y brechas calcáreas sedimentarias. Se aprecian en el lugar debido a la intensa actividad tectónica del lugar que mediante un cabalgamiento estructural se encuentran sobreyaciendo a rocas del Grupo Excélsior, alcanzando su mayor espesor en la antigua mina de Vinchos que es de aproximadamente 350 m. Esta unidad es la roca receptora de casi toda la mineralización económica del yacimiento Vinchos.

b) Grupo Ambo

Esta formación está conformada por rocas sedimentarias de tipo areniscas de color blancas, grises y marrón, que se presentan en estratos delgados de 0.20 a 1.00 m de espesor. Estas rocas pueden estar intercaladas con algunos niveles bituminosos propios y característicos de esta formación a nivel regional. Se han medido en el lugar espesores promedio de 500 m. Las rocas de este grupo circundan al grupo Pucará y se localizan en la orientación oeste y noroeste del área de proyecto Vinchos.

c) Grupo Tarma

Aflora al Noreste de Vinchos, así como al Noreste de la laguna Mancancoto; está constituida por rocas intercaladas de areniscas gris pardo de grano fino con limonitas y en algunos casos con lutitas color gris oscuro, no se ha encontrado evidencias de fósiles que datarían su edad, pero por su posición estratigráfica se ha definido su edad. Debido a la actividad tectónica del lugar se encuentra en contacto con rocas del Grupo Mitú, evidenciado por la presencia de un sistema de falla NW-SE que controlan dichos contactos.

d) Grupo Mitú

Aflora al Este de la laguna Mancancoto y está conformado por depósitos molásicos. La base de estos depósitos rocosos está conformada por conglomerados de clastos redondeados de cuarcitas de color blanco y en menor proporción de esquistos filitas subangulosos en una matriz arenácea de color rojo ocre, intercalándose, además, con clastos de areniscas finas con delgados niveles de conglomerados. Las areniscas se aprecian bien clasificadas y cambian a un color pardo claro hacia el contacto-falla con el grupo Tarma.

e) Grupo Intrusivo

Se aprecian rocas ígneas intrusivas muy relacionadas al sistema de fracturamiento principal, manifestándose por la presencia de Stocks plutónicos y subvolcánicos, algunos de los cuales están relacionados con la mineralización.

f) Dioritas

Se encuentran en su mayor exposición al oeste y Este de la laguna Mancancoto, en donde forma un débil halo de skarn al contacto con las calizas Pucará. Se trata de un intrusivo melanocrata de grano fino y uniforme con abundancia de biotita.

g) Depósitos cuaternarios

Estas unidades están representadas por depósitos glaciares y fluvio-glaciares, ubicados en las cabeceras de los valles y en las márgenes de éstas. La poca presencia de estos depósitos ha sido debido a un fuerte proceso de erosión que ha actuado en esta zona, en la cual se puede apreciar depósitos residuales, deluviales y coluviales producto de la meteorización y erosión reciente.

h) Depósitos glaciares

Estos depósitos se han desarrollado en gran parte del área de estudio, en donde la acción glacial ha predominado, los materiales resultantes han sido capturados y acarreados por las masas de hielo que existieron en la zona (depósitos morrénicos) y también por la esorrentía de aguas resultantes de la desglaciación de estas masas (depósitos fluvio-glaciares). La presencia de estos depósitos no es muy prominente en la zona debido a una intensa erosión posterior que ha desgastado a estas masas, encontrándose depósitos morrénicos acumulados en las cabeceras de los valles glaciares, constituidos de gravas, bloques medianos, subangulosos a subredondeados englobados en una matriz

limoarenosa y de gravas finas. También, están presentes depósitos fluvioglaciares acumulados en el lecho de las quebradas de las microcuencas Chunquipata, Utucyacu Mancancoto y Chagchayog así como en los límites no inundados de la laguna Mancancoto.

i) Depósitos coluviales

Estos depósitos son el resultado de la acumulación de material producto de la meteorización y desplazados por gravedad, entre los que destacan los depósitos eluviales (residuales), deluviales y los coluviales propiamente dicho.

En el área de estudio existe tres tipos de depósitos: eluviales, ubicados sobre la misma roca alterada y que no ha sufrido transporte alguno; deluviales, ubicados en las laderas de los cerros, debido a los materiales que han sufrido poco transporte por la gravedad y que han quedado dispersos en las laderas y combinados con los materiales residuales; y los coluviales, ubicados en las faldas de los cerros y que han llegado a este lugar por acción de la gravedad (caída del material). Estos depósitos están compuestos de material heterogéneo de diversos tamaños que van de finos a rodados de gran tamaño y cuyas formas son angulosas.

La distribución espacial de las formaciones geológicas, antes descrita, es mostrada en el Mapa 3 (Anexo 2). Así mismo, en el Mapa 4 (Anexo 2) de corte geológico A-A', se observa la presencia del intrusivo pórfido tonalítico que subyace a las rocas del grupo Ambo y esta última subyace a las rocas del grupo Pucará.

3.1.6. Geomorfología

La morfología de la zona está representada regionalmente por las unidades geomorfológicas conocidas como “Altiplano”, “Superficie de erosión puna” y “Región de valles”.

Altiplano: corresponde a zonas de formas topográficas de relieve moderado, compuesto por pampas, colinas y concordantes, cuya altitud va descendiendo progresivamente, con evidencias de una intensa erosión glaciaria y pequeños valles en forma de “U”.

Superficie de erosión puna: zona correspondiente a la superficie formada por la denudación ocurrida posteriormente del emplazamiento de rocas de la serie volcánico-sedimentaria del Terciario, originando una penillanura de altitud moderada, relieve de abrupto a ligeramente ondulado que se encuentra generalmente entre los 3900 a 4600 m.s.n.m.

La región de valles, son depresiones que han sido modeladas por procesos exógenos que actuaron desde el término del Terciario al presente, desarrollándose diversos estadios de la etapa valle.

El relieve del área de estudio está caracterizado por la presencia de cerros agrestes con laderas escarpadas y depresiones representadas por angostos y reducidos valles de origen glaciario y fluvio-glaciario.

a) Zona de elevaciones con pendientes abruptas

Esta zona se caracteriza por presentar elevaciones con laderas escarpadas y pendientes abruptas y localizadas entre el “altiplano” y “superficie de erosión puna” entre altitudes 3900 a 4600 msnm. Litológicamente, está constituida por calizas del grupo Pucará en su mayor extensión con algunas y zonas marmolizadas y skarn, debido al metamorfismo.

b) Zona de depresiones

Esta zona se caracteriza por presentar zonas cóncavas representadas por valles glaciares, fluvio-glaciares y fluviales, que se desarrollan en las unidades “superficie de erosión puna” y “región de valles” entre los 3750 y 3900 m.s.n.m. En las zonas de mayor altitud, el modelado es netamente glaciario y fluvio-glaciario en el que se desarrollan valles con su

forma típica en U. Litológicamente, está constituida por una mezcla de materiales arcillosos, arenas y fragmentos, los cuales presentan una variedad de rocas (intrusivos-calizas-volcánicos). En este ambiente se han desarrollado geoformas características, como es el caso de los circos glaciares, depresiones en forma circular limitada por elevaciones y de origen glaciar representado por la laguna Mancancoto.

Los factores principales que han dado lugar a las geoformas en esta zona son del tipo externos relacionados a procesos de denudación, específicamente erosión y transporte.

3.1.7. Geológica estructural

El control estructural primario en la zona tiene una relación regional con el alineamiento estructural Pariajirca, Puhujanca y Mamanichos. El sistema de falla Pariajirca tiene como rumbo N 24° - 31° W, localizado al Este de zonas mineralizadas. Otra estructura de importancia es la falla Padre Urraca, que tiene el rumbo N 40° W y que convergen con la falla Pariajirca al oeste del pueblo Pariajirca.

Al sur y oeste de la laguna Mancancoto, se ha ubicado otra falla de importancia denominada Puhujanca con rumbo N 74 ° W, el mismo que se intercepta con la falla Mamavinchos con rumbo N 43 ° E, formando un circuito triangular entre las fallas antes mencionadas, tal como se observa en el Mapa 5 (Anexo 2). Las fallas principales son cortadas por fallas secundarias de corto recorrido en algunos casos transversalmente tal como ocurre con la falla Pariajirca y en otros casos corren aproximadamente paralelos. Similar comportamiento se observa con fallas secundarias que cortan la falla Mamanvinchos.

Cercanos al cuerpo Balarin y Giovana se observan fallas aproximadamente paralelas a la falla Pariajirca y transversales como las fallas Alianza y Balarin; hidrogeológicamente, constituyen zonas de recarga y conducción de agua al interior de la mina.

3.2 MÉTODOS

A continuación se presenta los pasos que se emplearon para la obtención de los resultados y su posterior análisis. A manera de resumen se presenta un esquema dinámico como se observa en la Figura 3.1.

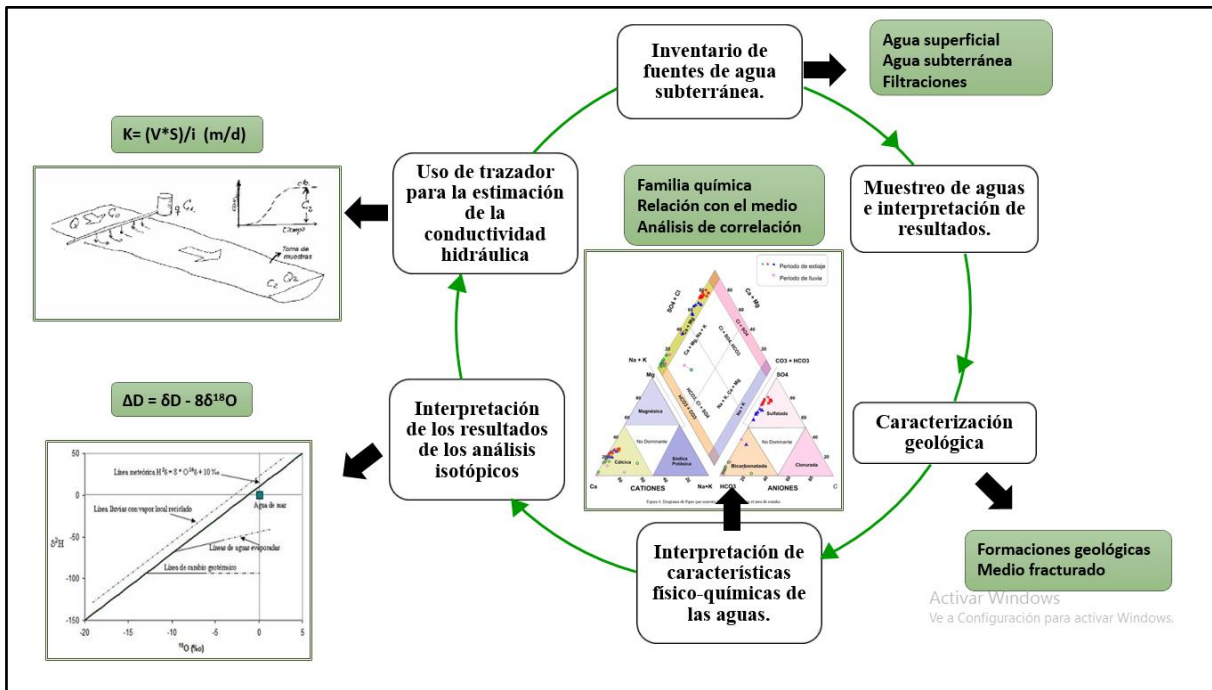


Figura 3. 1 Esquema dinámico de los pasos empleados para obtención de los resultados de la zona de estudio

3.2.1. Inventario de fuentes de agua subterránea

Actividad que contempla la identificación, de las fuentes de agua superficial y subterránea, su georeferenciación, así como la recopilación de información de campo referida a las características físicas de las aguas, caudal, tipo de filtración y/o fuente.

3.2.2. Muestreo de aguas e interpretación de los resultados

En base a los resultados de la primera actividad fue necesario seleccionar los puntos más representativos para la toma de muestras de agua para su respectivo análisis físico químico, así como para el análisis isotópico con el objeto de conocer las fuentes de recarga de las filtraciones subterráneas.

3.2.3. Caracterización geológica

Actividad realizada conjuntamente con el especialista en geología, habiéndose identificación las principales formaciones geológicas en superficie, en interior mina se efectuó un reconocimiento de las formaciones geológicas y la caracterización del medio fracturado mediante la medición del ancho de las aberturas y longitud, así como la orientación.

3.2.4. Interpretación de las características físico-químicas de las aguas

Actividad que ha consistido en estimar el balance iónico entre las concentraciones de los aniones y cationes, identificando el tipo de agua y su relación con las formaciones geológicas del medio, análisis de correlación entre muestras con el objeto de identificar las probables fuentes de recarga del acuífero y comprobar con los resultados de los análisis isotópicos.

3.2.5. Interpretación de los resultados de los análisis isotópicos

Diversas relaciones son requeridas para la interpretación en base a los resultados isotópicos, tales como por ejemplo las relaciones isotópicas, los valores relativos de la relación isotópica expresada en forma de desviaciones isotópicas (δ).

$$\delta = \frac{R_{(muestra)} - R_{(V-SMOW)}}{R_{(V-SMOW)}} \times 1000$$

Dónde:

R (V-SMOW) = V-SMOW (Vienna-Standard Mean Ocean Water) y R(muestra)= relaciones isotópicas de muestras de agua.

De otro lado, también es importante el cálculo del efecto de evaporación sobre las aguas superficiales (lagunas, ríos) responsable de importantes cambios en la composición isotópica del agua, evaluado mediante el exceso de deuterio ($\Delta D = \delta D - 8\delta^{18}O$), cuya similitud entre sus valores permiten establecer las procedencia de las fuentes de recarga del medio acuífero.

3.2.6. Uso de trazador para la estimación de la conductividad hidráulica

En virtud a la naturaleza compleja del medio fracturado en la determinación de la conductividad hidráulica, se ha hecho uso de tinte disuelto en agua con sal, para posteriormente inyectar en las fracturas a través del cual se verifico flujo de agua subterránea. Se tomó el tiempo de inicio, así como el tiempo de viaje del trazador y mediante la medida constate de la concentración del trazador en los puntos hacia las cuales fluía el agua. Los trabajos fueron repetidos en dos lugares apropiadamente seleccionados.

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 Caracterización del acuífero

4.1.1 Inventario de fuentes de agua subterránea

Las aguas subterráneas en el área del proyecto han sido identificadas en las labores de exploración y explotación minera, a través de las galerías localizadas a distintas profundidades siendo las ultimas los niveles 845 (cota 3845 m) y 865 (cota 3865 m) con diferencia de cotas de 20 m entre ellas.

En el nivel más profundo 845, se han ubicado filtraciones de agua en dos zonas con flujo a través de las rocas fracturadas interceptadas con taladros o también excavaciones, las cuales se muestra en el Mapa 6 (Anexo 2). El flujo de agua es difuso a través de fracturas, con 24.2 l/s y 22.10 l/s, haciendo un total de 46.3 l/s. El detalle de lo expresado se muestra en el Cuadro 4.1.

Cuadro 4. 1 Inventario de fuentes de agua en el nivel 845

Filtración	Este (m)	Norte (m)	Cota (msnm)	pH	CE (μ S/cm)	T (°C)	Caudal (l/s)
1	360868	8845420	3845	7.5	490	10.8	24.2
2	360867	8845356	3845	7.6	487	10.9	22.1
Total							46.3

Fuente: UM Vinchos (2014)

En el nivel 865, se han identificado 05 filtraciones de agua inducidas por las actividades mineras, los cuales se aprecian en el Mapa 7 (Anexo 2), el flujo del agua es similar a lo anotado para el nivel 845, es decir el flujo es difuso a través de la red de fracturas con arreglo irregular de la roca. Los caudales aforados (Julio 2014) varían entre 13.5 a 18.4 ls⁻¹, siendo la sumatoria de las descargas 81.55 ls⁻¹, tal como se muestra en el Cuadro 4.2.

Cuadro 4. 2 Inventario de fuentes de agua en el nivel 865

Filtración	Este (m)	Norte (m)	Cota (msnm)	pH	CE (μS/cm)	T (°C)	Caudal (l/s)
3	360912	8845520	3865	7.7	492	11.0	18.4
4	360897	8845506	3865	7.6	484	10.6	17.45
5	360953	8845497	3865	7.8	490	10.7	13.5
6	360893	8845479	3865	7.9	480	10.4	14.8
7	360890	8845402	3865	7.5	476	10.4	17.4
Total							81.55

Fuente: UM Vinchos (2014)

4.1.2 Caracterización geológica y geomorfológica

En base a la información geológica recopilada en campo, se conoce que el acuífero es del tipo kárstico, desarrollado en la formación del grupo Pucará, fracturada con arreglo irregular, y flujo difuso y disperso (no continuo), es decir, en parte de las filtraciones de agua predominan las rocas sedimentarias calcáreas y volcánicas, éstas corresponden a medios kársticos y fracturados, las primeras constituyen unidades hidrogeológicas con gran capacidad de almacenamiento y capacidad de transmisión de agua subterránea, constituyendo el acuífero de mayor importancia, sobre él cual se trató.

4.1.3 Caracterización geológica estructural del medio

El acuífero en rocas calizas muestran una leve karstificación, sin embargo, las áreas aledañas a las intrusiones presentan mayor desarrollo, probablemente debido a la alteración de las calizas anterior a las soluciones mineralizantes. Los principales rasgos kársticos superficiales se muestran en los Mapas 3 y 4 (Anexo 2), relacionado también con la geología estructural, con predominancia de rocas fracturadas del grupo Pucará, así mismo, existen alineamientos estructurales que representan potenciales fallas relativamente verticales a subverticales que constituyen rutas de las aguas subterráneas.

4.2 Determinación de la fuente de recarga del acuífero

4.2.1. Identificación de las posibles fuentes de recarga

En base a los registros de precipitación mostrados por la estación Cerro de Pasco, existe una recarga variable en los estratos permeables del área de estudio. Siendo, la precipitación total anual, comprendida entre 988.8 mm (Utucyacu) a 1050.2 mm (Mancancoto), pero se sabe que todo este volumen de agua no llega al acuífero, debido a pérdidas generadas a lo largo de su recorrido, como la evapotranspiración y la escorrentía, esta última dando lugar a la formación de cuerpos de agua.

Estos cuerpos de agua son potenciales fuentes de recarga del acuífero, en este caso, dentro de la zona de estudio, se encuentra ubicada la laguna Mancacota y las quebradas Utucyacu, Chagchayoc, Chunquipata y Mancacota.

4.2.2. Resultados de análisis físico – químico de las muestras de agua

Se realizó una evaluación de la calidad de agua, en base a los resultados de los análisis físico-químicos de 12 muestras, de las cuales 4 corresponden a agua subterránea y las 8 restantes

corresponden a agua superficial. En el Cuadro 4.3 y en el Mapa 8 (Anexo 2) se muestra la ubicación de puntos de muestreo de las aguas descritas a continuación:

Cuadro 4. 3 Puntos de muestra para el análisis físico-químico

Punto	Lugar de toma
Agua subterránea	
Nivel 865	De los respectivos niveles, del mismo nombre, de los puntos.
Nivel 845	
CA 865 E	
CA 855 N	
Agua superficial	
S-1	Gordillo
S-2	Laguna Mancacota
S-4	Quebrada Chacchayoc
S-5	Escorrentias
PA-1	Salida de laguna Mancacota
PA-2	Orilla sur de la laguna Mancacota
PL-1	Orilla norte de la laguna Mancacota
PL-2	Orilla de la laguna Mancacoto

Fuente: Elaboración propia

A continuación, en los Cuadros 4.4 y 4.5 se presentan los resultados del análisis ya mencionado, usando los datos para la caracterización hidrogeoquímica; y encontrar afinidad físico-química entre los puntos subterráneos y los superficiales, a través de una correlación.

Cuadro 4. 4 Características físico-químicas de las aguas subterráneas

Parámetros	Símbolo	Unidades	CA 865 E	CA 876N	NV 865	NV 845
Bicarbonatos	HCO ₃ ⁻	mg/l	112.000	102.800	110.300	126.400
Carbonatos	CO ₃ ⁻	mg/l	9.100	1.000	1.300	2.300
Cloruros	Cl ⁻	mg/l	<1.0	2.700	1.600	1.700
Nitratos	NO ₃ -N	mg/l	0.280	0.190	0.820	0.760
Sulfatos	SO ₄ ⁻	mg/l	144.700	168.900	65.800	69.200
Plata	Ag	mg/l	0.0005	0.0003	<0.0002	<0.0002
Aluminio	Al	mg/l	0.0136	0.0314	0.4756	0.519
Arsénico	As	mg/l	0.0041	0.0055	0.0243	0.0193
Boro	B	mg/l	0.0056	0.0058	0.0272	0.0095
Bario	Ba	mg/l	0.0087	0.0119	0.0452	0.0354
Berilio	Be	mg/l	<0.0006	<0.0006	<0.0006	<0.0006
Bismuto	Bi	mg/l	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003
Calcio	Ca	mg/l	56.6842	61.8103	37.6828	44.247
Cadmio	Cd	mg/l	0.0013	0.0003	0.0005	0.0007
Cerio	Ce	mg/l	<0.0003	<0.0003	0.0005	0.0005
Cobalto	Co	mg/l	<0.0002	<0.0002	0.0004	0.0003
Cromo	Cr	mg/l	<0.0005	<0.0005	0.0013	0.0013
Cobre	Cu	mg/l	0.0003	0.0006	0.0020	0.0019
Hierro	Fe	mg/l	0.0161	0.0272	0.8646	0.8267
Potasio	K	mg/l	0.4456	0.4533	0.5971	0.5453
Litio	Li	mg/l	<0.0012	0.0014	0.0047	0.003
Magnesio	Mg	mg/l	23.8999	25.9726	20.9826	21.6102
Manganeso	Mn	mg/l	0.0143	0.0125	0.5027	0.4433
Molibdeno	Mo	mg/l	0.0002	<0.0002	0.0012	0.0004
Sodio	Na	mg/l	2.4552	2.752	2.3197	1.675
Niquel	Ni	mg/l	0.0004	0.0005	0.0014	0.0027
Fosforo	P	mg/l	<0.0033	<0.0033	0.0641	0.0441
Plomo	Pb	mg/l	0.0232	0.0149	0.0811	0.1081
Antimonio	Sb	mg/l	<0.0002	0.0003	0.0047	0.0044
Selenio	Se	mg/l	0.0004	<0.0002	<0.0002	<0.0002
Silicio	Si	mg/l	2.9262	2.9516	4.2951	3.3599
Estaño	Sn	mg/l	<0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.0004
Estroncio	Sr	mg/l	0.0374	0.0428	0.057	0.0605
Titanio	Ti	mg/l	0.0005	0.0006	0.0101	0.0095
Talio	Tl	mg/l	<0.0003	<0.0003	0.0007	0.0006
Vanadio	V	mg/l	<0.0003	0.0005	0.0337	0.038
Zinc	Zn	mg/l	0.1417	0.0587	0.1702	0.2055

Fuente: Laboratorio Inspectorate Services Peru S.A.C

Cuadro 4. 5 Características físico-químicas de las aguas superficiales

Parámetros	Símbolo	Unidades	S-2	S-4	S-5	PA-1	PA-2	PL-1	PL-2	S-1
Bicarbonatos	HCO ₃ ⁻	mg/l	104.700	83.400	92.700	104.900	91.200	54.300	75.000	98.600
Carbonatos	CO ₃ ⁻	mg/l	1.100	1.100	1.000	2.200	4.300	22.300	9.000	1.000
Cloruros	Cl ⁻	mg/l	1.500	1.800	1.200	1.100	2.500	1.500	1.700	3.400
Nitratos	NO ₃ -N	mg/l	1.430	0.380	0.200	1.610	1.350	0.780	1.150	2.940
Sulfatos	SO ₄ ⁻	mg/l	136.800	266.900	245.800	131.800	130.100	142.900	133.000	318.900
Plata	Ag	mg/l	0.0138	<0.0002	<0.0002	0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002
Aluminio	Al	mg/l	1.9353	0.1739	0.2373	0.0615	0.0064	0.0482	0.0797	0.0151
Arsénico	As	mg/l	0.251	0.0050	0.0059	0.0157	0.0079	0.0107	0.0079	0.0273
Boro	B	mg/l	0.013	0.0557	0.0025	0.0214	0.02	0.0219	0.0197	0.0877
Bario	Ba	mg/l	0.0609	0.0121	0.0108	0.0229	0.0236	0.0277	0.0256	0.0164
Berilio	Be	mg/l	<0.0006	<0.0006	<0.0006	<0.0006	<0.0006	<0.0006	<0.0006	<0.0006
Bismuto	Bi	mg/l	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003
Calcio	Ca	mg/l	88.98	73.1318	70.7426	56.5107	49.0817	47.2468	44.7899	103.4373
Cadmio	Cd	mg/l	0.0204	0.00120	0.00160	0.00120	0.00030	0.00020	0.00020	0.00020
Cerio	Ce	mg/l	0.0019	<0.0003	0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003
Cobalto	Co	mg/l	0.0015	0.0018	0.0023	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002
Cromo	Cr	mg/l	0.0042	<0.0005	<0.0005	0.0006	<0.0005	0.0007	<0.0005	<0.0005
Cobre	Cu	mg/l	0.0236	0.0048	0.0059	0.002	0.0029	0.0017	0.0007	0.0007
Hierro	Fe	mg/l	13.0019	7.1813	9.8944	0.3406	0.0181	0.1506	0.0457	0.011
Potasio	K	mg/l	0.7467	0.9048	0.5769	0.6224	0.6814	0.813	0.7087	3.6532
Litio	Li	mg/l	0.005	0.0052	0.0053	0.0039	0.0032	0.0036	0.0031	0.0066
Magnesio	Mg	mg/l	36.7392	28.5797	25.6272	23.9042	24.0691	25.8017	24.0472	41.6927
Manganeso	Mn	mg/l	4.5545	0.7558	0.8695	0.1798	0.0459	0.0831	0.0361	0.551
Molibdeno	Mo	mg/l	0.0018	0.0002	<0.0002	0.0009	0.0007	0.001	0.0007	0.0012

Parámetros	Símbolo	Unidades	S-2	S-4	S-5	PA-1	PA-2	PL-1	PL-2	S-1
Sodio	Na	mg/l	2.37	2.9523	2.858	2.7572	2.8133	3.1942	2.8359	1.949
Niquel	Ni	mg/l	0.0068	0.0038	0.0045	0.0011	0.001	0.0008	0.0006	0.0013
Fosforo	P	mg/l	0.3382	<0.0033	<0.0033	0.0198	<0.0033	0.0410	0.0074	0.0222
Plomo	Pb	mg/l	5.3845	0.0037	0.0032	0.1282	0.0081	0.0096	0.0072	0.0068
Antimonio	Sb	mg/l	0.0343	0.0008	0.0008	0.005	0.0027	0.0068	0.0029	0.0084
Selenio	Se	mg/l	<0.0002	0.0005	0.0006	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002
Silicio	Si	mg/l	8.0133	2.7909	2.8134	3.3835	1.9826	1.6863	1.0365	1.5923
Estaño	Sn	mg/l	0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.0004
Estroncio	Sr	mg/l	0.0789	0.127	0.1372	0.0704	0.0613	0.0661	0.0596	0.0958
Titanio	Ti	mg/l	0.036	<0.0004	<0.0004	0.0012	<0.0004	0.0017	0.0015	<0.0004
Talio	Tl	mg/l	0.0022	0.0003	0.0004	0.0005	0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003
Vanadio	V	mg/l	0.0213	<0.0003	<0.0003	0.011	<0.0003	0.0168	<0.0003	<0.0003
Zinc	Zn	mg/l	5.8845	0.6605	0.8534	0.1987	0.0224	0.0228	0.0207	0.0759

Fuente: Laboratorio Inspectorate Services Peru S.A.C

a. Conductividad eléctrica (CE)

La conductividad eléctrica de las aguas permite evaluar la salinidad de la misma. Los valores de conductividad eléctrica de las aguas subterráneas varían entre 460 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (CA 876 N) a 490 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (NV 845), correspondiendo a aguas con salinidad baja. Mientras que la conductividad eléctrica de las aguas superficiales varía de 351 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (PL-1) a 471 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (PL-2), correspondiendo a aguas con baja mineralización.

En el Cuadro 4.6, se reporta los valores de conductividad eléctrica de las aguas subterráneas y superficiales.

Cuadro 4. 6 Conductividad eléctrica y pH de las aguas subterráneas y superficiales

Punto	Coordenadas		Cota (msnm)	C.E (μ/cm)	ph
	Este	Norte			
Agua subterranea					
CA 865 E	360953	8845497	3865	480	7.8
CA 876 N	360912	8845520	3876	460	7.7
NV 865	360890	8845402	3865	470	7.9
NV 845	360868	8845420	3845	490	7.6
Agua superficial					
S-1	359954	8845023	4256	448	8.5
S-2	360582	8844967	4096	435	8.54
S-4	359309	8847131	4198	370	8.25
S-5	359822	8846891	4112	468	7.79
PA-1	360730	8844824	4109	457	8.34
PA-2	360969	8844726	4082	397	8.75
PL-1	360828	8844726	4082	351	8.79
PL-2	360926	8845023	4082	471	8.81

Fuente: Elaboración propia

b. pH

Los valores de pH en las aguas subterráneas varían entre 7.6 (NV 845) y 7.9 (NV 865), clasificándose como aguas ligeramente alcalinas. Mientras que el pH para las aguas superficiales varía entre 8.25 (S-4) a 8.81 (PL-2), correspondiendo a aguas básicas, las cuales obedecen al contacto de las aguas con formaciones geológicas con contenido de calcita.

c. Composición química de las aguas subterráneas

Acorde con los resultados de los análisis físico-químicos realizados a 04 muestras de agua subterránea y 08 muestras de agua superficial; cuya ubicación se muestra en los Mapas del 9-11 (Anexo 2).

Se identificó los iones predominantes, para la clasificación química de las muestras mencionadas, por medio del programa Aquachem se generaron los diagramas de Piper y Schoeller, para la visualización de los cationes y aniones predominantes. Tal como se aprecia en las Figuras 4.1, 4.2, 4.3 y 4.4.

DIAGRAMA PIPER (AGUA SUBTERRANEA)

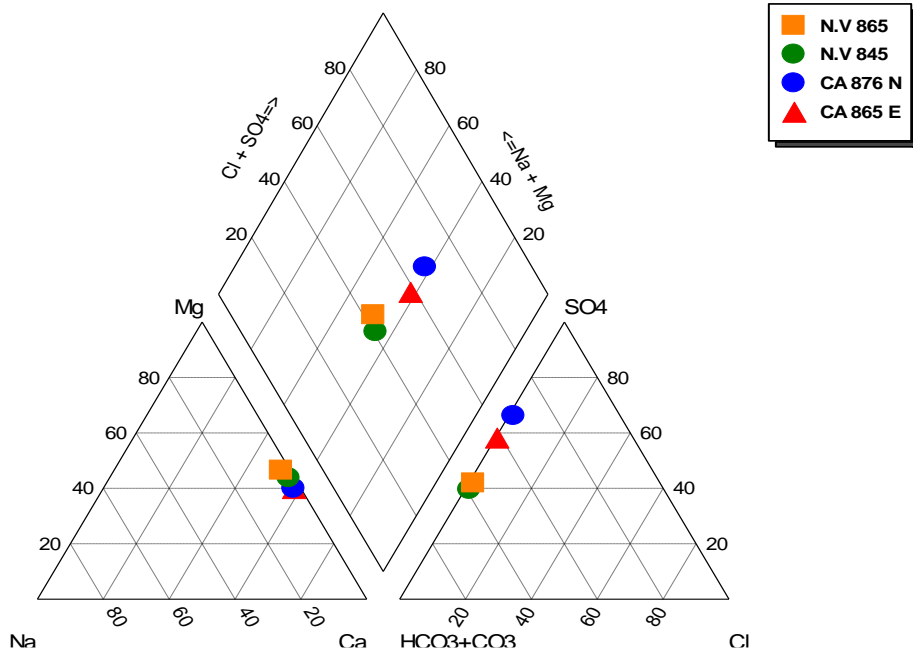


Figura 4. 2 Diagrama triangular de Piper de las aguas subterráneas

DIAGRAMA PIPER (AGUA SUPERFICIAL)

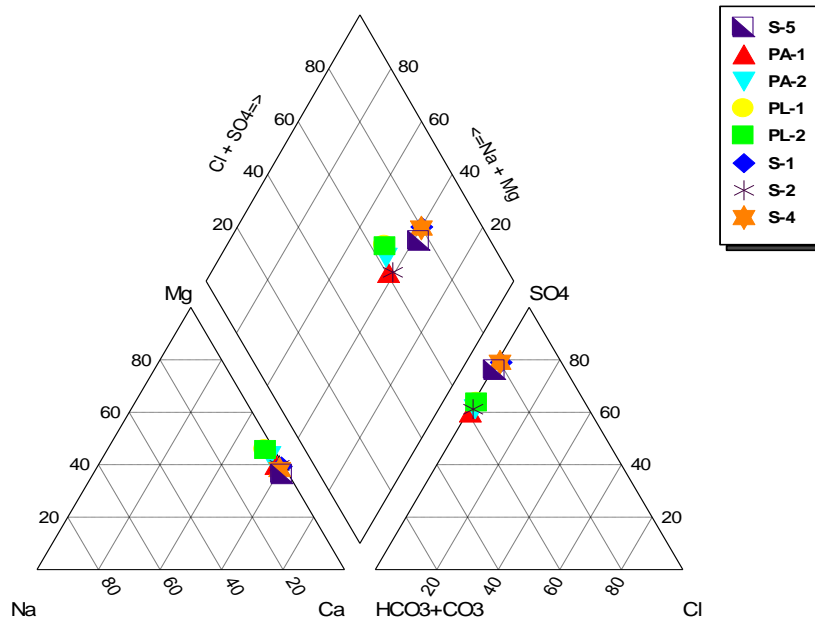


Figura 4. 3 Diagrama triangular de Piper de las aguas superficiales

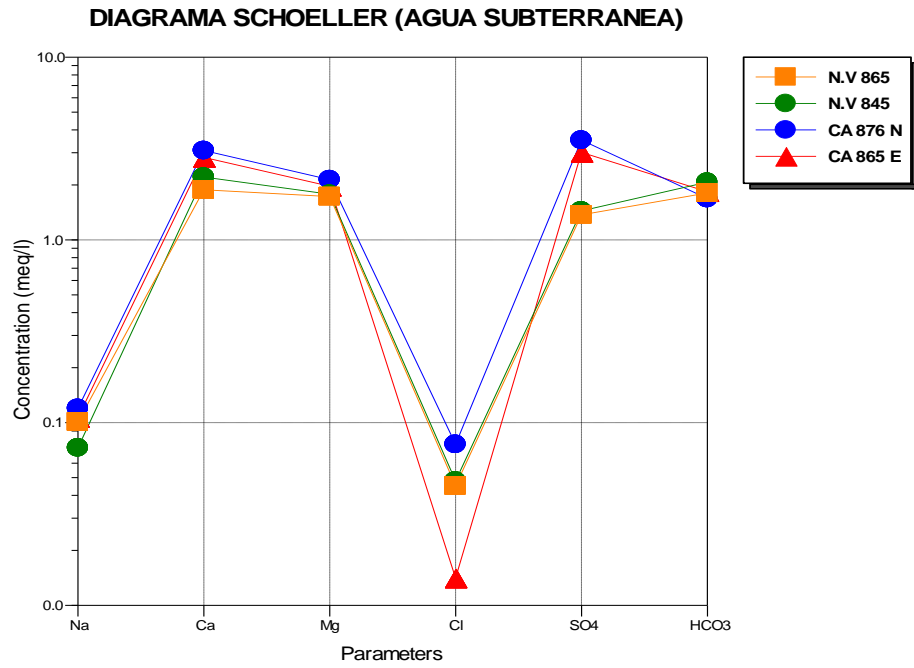


Figura 4. 4 Diagrama de Schoeller de las aguas subterráneas

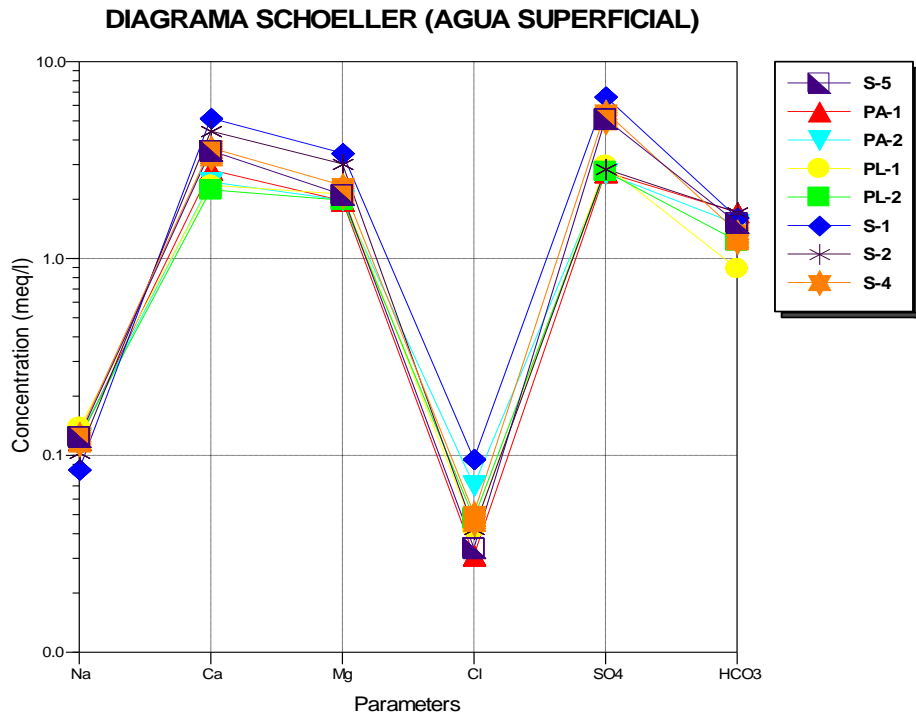


Figura 4. 5 Diagrama de Schoeller de las aguas superficiales

Encontrando que los iones predominantes tanto para las aguas subterráneas y superficiales son: el Calcio (Ca^{++}) entre los cationes y el Sulfato (SO_4^-) entre los aniones, clasificándose como aguas sulfatadas cálcicas. Esta familia química corresponde a aguas con presencia de sulfuros o sulfatos de calcio, explicada por la presencia de la formación geológica del grupo Pucará, el que está constituido por calizas, con intercalación de lutitas calcáreas y margas.

En los Cuadros 4.4 y 4.5, se puede observar los datos físico-químicos analizados de los puntos de muestreo, los cuales fueron usados para realizar una correlación, con el fin de ver la correspondencia entre los puntos de filtración subterránea y de agua superficial ; para ello se usó el Aquachem, obteniendo el resultado mostrado en el Cuadro 4.7.

Cuadro 4. 7 Correlación entre las características físico-químicas de las aguas subterráneas y superficiales

Fuente	Agua superficial	Coef.corr.
CA 865 E	PA-1	0.999
CA 876 N	PL-2	0.998
NV 865	PA-1	0.877
NV 845	PA-1	0.856

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que los 04 puntos de filtraciones de agua subterránea y los puntos de agua superficial, con los que se obtuvieron los más altos valores del coeficiente de correlación. Siendo estos puntos, el PA-1 y PL-2 correspondientes a la Laguna Mancacota; es decir, los puntos de filtración subterránea tienen correspondencia, en su composición química, con las aguas provenientes de la laguna mencionada.

4.2.3. Análisis isotópico de las muestras de agua

Los análisis isotópicos por Oxígeno-18 y Deuterio efectuados por la técnica de espectrometría de masas, se realizaron en el laboratorio de la Universidad de Costa Rica, cuyos resultados se muestran en el Cuadro 4.8.

Cuadro 4. 8 Resultados del análisis isotópico de las aguas superficiales y subterráneas de la zona de Vinchos

Muestra	Tipo	^{18}O (‰)	^2H (‰)	d-exceso (‰)	Altitud (m)	Conductividad (mS/cm)	Temperatura (°C)	pH	O_2 (mg/L)
PA-1	SLA	-11.11	-75.40	13.48	4109	457.0	11.4	8.34	6.5
NV845	GWS	-11.14	-75.40	13.72	3845	490.0	10.8	7.5	6.8
PL-2	SLA	-11.12	-76.10	12.86	4082	471.0	11.1	8.81	6.6
NV865	GWS	-11.08	-75.90	12.74	3865	476.0	10.4	7.5	6.7
S-2	SLA	-10.64	-75.00	10.12	4096	435.0	10.9	8.54	6.8
CA876N	GWS	-11.29	-76.50	13.82	3876	460.0	10.6	7.7	6.8
SLA- Muestra de Lago				GWS- Muestra de Afloramiento					

Fuente: Elaboración propia

De este se puede apreciar la agrupación de los puntos de muestra superficial y subterráneos, en base a la similitud de los ‰ de ^{18}O , ^2H y d-exceso; los dos primeros obtenidos de los análisis y el tercero obtenido de aplicar la fórmula asociada a la línea meteórica mundial, ya mencionada. De forma gráfica se puede apreciar en la Figura 4.5

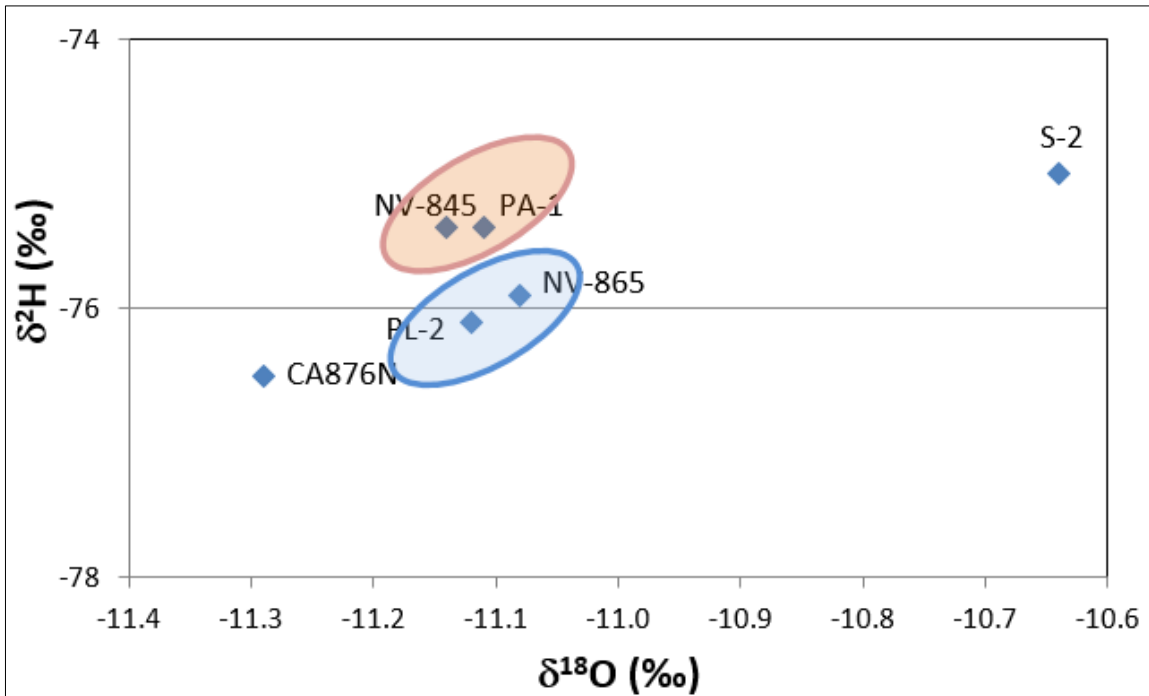


Figura 4. 6 Diagrama de O-18/H-2 de las aguas superficiales y subterráneas de la zona de Vinchos

Fuente: Elaboración propia

De forma específica, según el gráfico; los isotopos de las muestras de agua de la laguna Mancacoto y la filtración subterránea en el nivel NV-845, se hallan muy próximas en más o menos 01 unidad de diferencia entre sus valores isotópicos, lo que configura una línea de tendencia de la Línea Meteórica Mundial. Similar características se observa entre las concentraciones isotópicas de las aguas del punto de muestreo PL-2 y Nivel 865. En consecuencia, las aguas subterráneas en estudio tienen su origen principalmente en la precipitación de aguas de lluvia, que se infiltran y parte de ellas discurren hacia la laguna Mancacoto; desde este cuerpo de agua se evidencia flujo de agua a través de fracturas hacia los niveles NV-845 y NV-865.

4.3 Estimación de características hidrodinámicas del medio fracturado

4.3.1 Filtraciones de agua inducidas

En las filtraciones de agua, inducidas por las actividades mineras, se han identificado 2 en el nivel 845 (con 120 m longitud de desarrollo) y 5 en el nivel 865 (con 400 m de longitud de desarrollo).

Acorde con el diagnóstico (en campo) de la morfología del agua subterránea, el flujo es debido únicamente a la fuerza gravitacional, es decir por drenaje de las fracturas saturadas y cercanas al medio en que se desarrollan las labores mineras. El agua subterránea se halla sometida únicamente a la presión atmosférica, aunque en ciertos lugares el flujo es vertical y en otras tienen el rumbo de las fallas, tal como se puede observar en las Figuras 4.6 y 4.7.

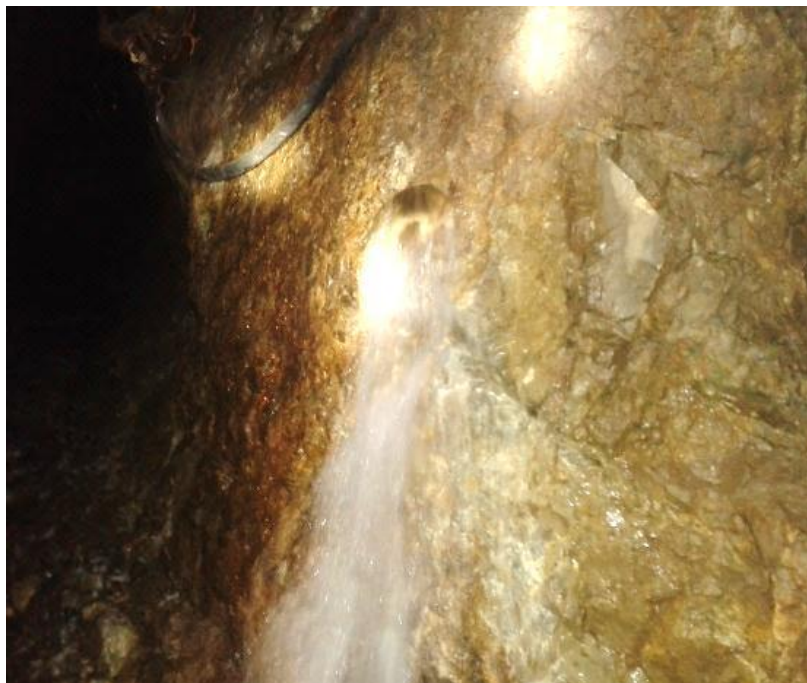


Figura 4. 7 Filtracion desde taladro exploratorio



Figura 4. 8 Flujo de agua subterránea a través de la fractura

El flujo es difuso en virtud a que las fracturas tienen un arreglo irregular, la dirección de flujo del agua subterránea es de Nor-Este a Sur-Este, con **gradiente hidráulico que varía de 23 a 25 por ciento**. El modelo conceptual del acuífero es mostrado en el Mapa 12 (Anexo 2).

4.3.2 Estimación de la conductividad hidráulica mediante trazadores

La conductividad hidráulica de las unidades hidrogeológicas del área de estudio, se evaluaron mediante las observaciones en campo del movimiento de tinte mezclada con NaCl (como trazador) habiendo evaluado el tiempo de recuperación de la misma. Se realizó dos pruebas, las cuales consistieron en inyectar el trazador en la filtración subterránea 7 y medir la variación de la concentración en las filtraciones subterráneas 1 y 2.

Las mediciones de la variación de las concentraciones tuvo una duración de 540 minutos,

habiéndose logrado la lectura de mayor concentración del trazador a 390 minutos, valor que fue empleado para estimar la velocidad del agua través de las fracturas, tal como se muestra en el Cuadro 4.9 y Figura 4.8.

Cuadro 4. 9 Evaluación de la concentración del trazador con el tiempo – ensayo 1

Observación	Tiempo (min)	Concentración (µg/L)
1	240	0.04
2	270	0.088
3	288	0.26
4	300	0.48
5	312	0.92
6	330	1.32
7	342	1.86
8	360	2.14
9	378	2.64
10	390	2.8
11	426	2.58
12	432	2.44
13	450	2.24
14	480	1.9
15	510	1.76
16	540	1.6

Fuente: Elaboración propia

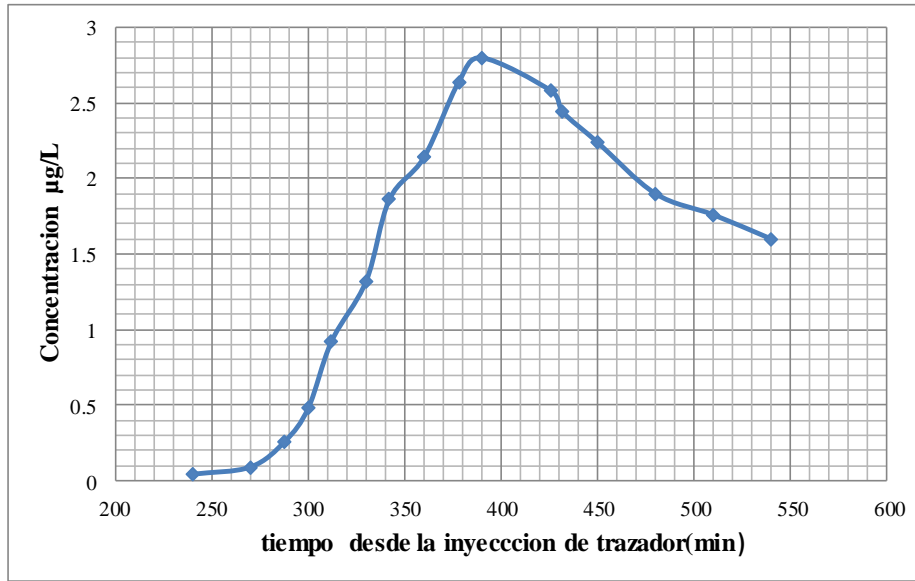


Figura 4.9 Gráfico de concentración vs tiempo de inyección del ensayo
Fuente: Elaboración propia

El segundo ensayo tuvo una duración de 464 minutos, habiéndose logrado la máxima concentración de trazador a los 396 minutos de inyectado, los resultados son expuestos en el cuadro Cuadro 4.10 y Figura 4.9.

Cuadro 4. 10 Evaluación de la concentración del trazador con el tiempo – ensayo 2

puntos	Tiempo	Concentracion
	(min)	($\mu\text{g/L}$)
1	240	0.06
2	260	0.12
3	280	0.24
4	300	0.36
5	316	0.6
6	328	0.96
7	340	1.18
8	352	1.6
9	364	1.84
10	372	2.08
11	396	2.48
12	408	2.4
13	412	2.28
14	420	2.2
15	440	2.08
16	456	1.88
17	464	1.84

Fuente: Elaboración propia

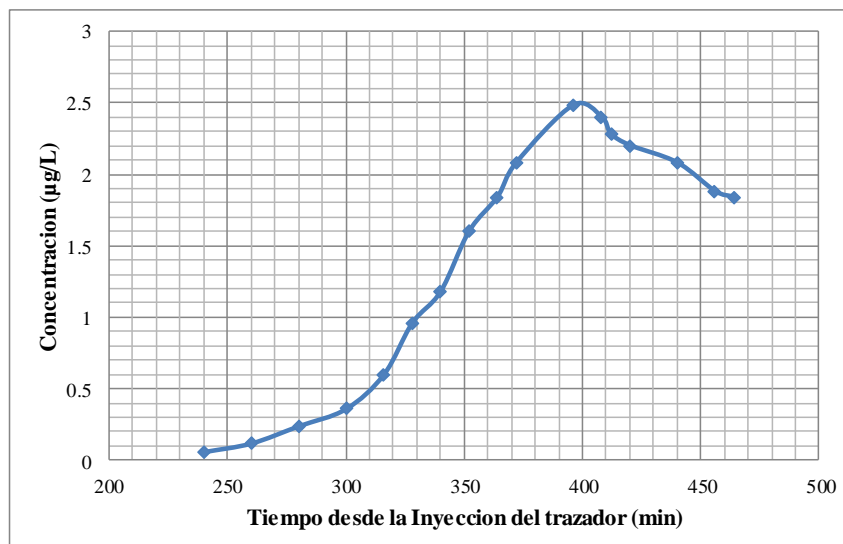


Figura 4. 10 Gráfico de concentración vs tiempo de inyección del ensayo

Fuente: Elaboración propia

4.3.3 Determinación de la conductividad hidráulica

Con la información de tiempo de viaje del trazador, el gradiente hidráulico, así como el rendimiento específico ($S_y \approx \eta_e$) para acuíferos fracturados, fueron estimados la conductividad hidráulica variando estos entre 68 y 80 m/d, valores representativos para este tipo de acuíferos, cuyos cálculos se muestra en el Cuadro 4.11.

Cuadro 4. 11 Valores estimados de la conductividad eléctrica

Ensayo	Punto de inyección	Punto de medición	ΔZ vertical (m)	ΔZ Inclinado (m)	t (min)	V (m/d)	I (m/m)	S_y	K (m/d)
1	zona filtracion 7	Zona filtracion 1	20	32	390	118	0.25	0.144	68
2	zona filtracion 7	Zona filtracion 2	20	35	396	127	0.23	0.144	80
t = tiempo de viaje del trazador			Sy=Rendimiento especifico determinado con el método volumétrico						
ΔZ vertical = desnivel vertical									
V = velocidad del trazador			K= conductividad hidráulica (m/d) estimada con la				$K = \frac{V \cdot S_y}{i}$		
I = gradiente hidráulico			expresión:						

Fuente: Elaboración propia

Los estimados de la conductividad hidráulica indican que las rocas carbonatadas “rocas calcáreas” constituyen las unidades hidrogeológicas de “alta permeabilidad” dentro del área de estudio, según los rangos de conductividad de la USDA (Cuadro 4.12). Estos varían en función de su contenido clástico y calcáreo, cuyas fracturas y sectores de anomalías se han desarrollado como karst (conductos por disolución).

Cuadro 4. 12 Rango de la conductividad hidráulica del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA)

Conductividad hidráulica (cm h⁻¹)	Interpretación
< 0.0036	Muy baja
0.0036 a < 0.036	Baja
0.0360 a < 0.360	Moderadamente baja
0.360 a < 3.60	Moderadamente alta
3.60 a < 36.0	Alta
≥ 36.0	Muy alta

Fuente: UNAM. Manual de Procedimientos Analíticos., 2010

Se realizó similares ensayos en las filtraciones 3, 4, 5 y 6, no habiendo obtenido éxito, corroborando que el sentido de flujo predominante en la zona es aproximadamente vertical.

V. CONCLUSIONES

1. Geológicamente, el acuífero que predomina en la zona de estudio presenta un karstisismo potencial formado sobre la roca caliza del grupo Pucará. Acorde con el diagnóstico en campo de la morfología subterránea, el acuífero es libre, presentando un flujo inducido por gravedad (la presión a la cual se encuentra el agua subterránea es igual a la atmosférica), con una dirección de Nor-Este a Sur-Este; con un gradiente hidráulico entre el 23 y 25 por ciento.
2. Las propiedades hidrodinámicas del acuífero corresponden al de un acuífero libre, siendo el rendimiento específico de 0.144 (14.4 por ciento), determinado mediante el método volumétrico en campo y la conductividad hidráulica variable entre 68 a 80 m/d (indica alta permeabilidad), estimados mediante la determinación de la velocidad del agua subterránea a través del medio fracturado; esta última obtenida a partir de la distancia que recorre el trazador y el tiempo máximo de concentración del mismo.
3. Con las características físico-químicas de los puntos superficiales y subterráneos de agua de la zona de estudio, se identificó la familia hidrogeoquímica a la que pertenecen, sulfatada cálcica, explicada por la presencia de la caliza de la formación geológica del grupo Pucará. Los valores de pH en las aguas subterráneas varían entre 7.6 (NV 845) y 7.9 (NV 865), mientras que el de las aguas superficiales varía entre 8.25 (S-4) a 8.81 (PL-2), correspondiendo a aguas alcalinas; con respecto a la conductividad eléctrica, los valores varían entre 351 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 490 $\mu\text{S}/\text{cm}$, correspondiente a una baja mineralización.

4. Los resultados de la correlación de los datos físico-químicos coinciden con los resultados del análisis de los valores isotópicos de las muestras de agua, indicando una estrecha relación entre los puntos de la laguna Mancacoto, PA-1 y PL-2 con los puntos de filtraciones subterráneas de la zona de estudio, CA 865 E, CA876 N, NV 865 y NV 845. Siendo este cuerpo localizado de agua contribuyente a la recarga del acuífero; además de las aguas provenientes de las precipitaciones en la zona. La estrecha diferencia de los valores isotópicos indican que son aguas de lluvia de rápida infiltración y presentan un pobre grado de mezcla con otras masas de agua más profundas en su movimiento en el subsuelo, características propias de condiciones hidrológicas estables.

VI. RECOMENDACIONES

1. En acuíferos complejos es importante realizar un buen análisis de la información geológica y geomorfológica para comprender el grado de fracturas o karstificación que presente, de este modo se comprenderá mejor la complejidad del sistema hidráulico.
2. Aplicar el método de trazadores para el cálculo de propiedades hidrodinámicas de acuíferos en donde el medio geográfico en el que se hallan, muestra ciertas complejidades (como la composición geológica del terreno), las cuales no permiten realizar métodos convencionales (pruebas de bombeo).

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Arizabalo, R.; Días, G.1991.La contaminación del agua subterránea y su transporte en medios porosos. Ed. UNAM. 9p.
- Cable, J. E.; Burnett, W. C.; Chanton, J. P.; Weatherly, G. 1996a. Modeling groundwater flow into the ocean based on R_n . Earth Planet. Sci. Lett.144, 591-604 p.
- Cable, J.; Bugna, G.; Burnett, W.; Chanton, J. 1996b. Application of R_n and CH_4 for assessment of ground-water discharge to the coastal ocean.Limnol.Oceanog.41,1347-1353 p.
- Carenas M.; Giner J.; Gonzales J.; Pozo M.2014.Geologia .Ed.Paraninfo.285p.
- Craig, H.1961.Standards for reporting concentrations of deuterium and oxygen-18 in natural waters. Sci. V. 133 no. 3467 .1833-1834 p.
- Custodio, E.; Llamas, M. 2001.Trazadores y técnicas radioisotópicas en hidrología subterránea. Hidrología subterránea 2 ed. Barcelona. Omega. 1164 – 1312 p.
- Cvijić, J. 1926. Geomorfologija (Morfologie Terrestre), Tomo2. 3, 4p.
- Dansgaard, W. 1964. Stable isotopes in precipitation. Tellus v. 16, Issue 4.436-468 p.

- Emblanch, C.; Puig, J.M.; Zuppi, G.M.; Mudry, J. y Blavoux, B. 1999. Comportement particulier lors des montees de crues dans les auifères karstiques, mise en evidence d'une double fracturation et/ou de circulation profonde: Exemple de la Fontaine de Vaucluse. *Eclogae geol. Hel* v. 92. 251-257 p.
- Fidelibus, M. y Tulipano, L. 1990. Major and minor ions as natural tracers in mixing phenomena in coastal car-bonate aquifers of Apulia. 11th SWIM, 283-293 p.
- Gaspar, E. 1987. *Modern Trends in Tracer Hydrology*. CRC Press. v. 2. Boca Raton.
- Herraiez, I. 2008. Relaciones isotópicas, oxígeno-18 y deuterio, entre las aguas superficiales y subterráneas. Alcorlo, Paloma et al. *Técnicas y aplicaciones multidisciplinares de los isótopos ambientales*. Madrid .25-43 p.UAM.
- Höztl, H. y Werner, A. 1992. *Tracer Hydrology*. Ed. Balkema. 464 p. Rotterdam.
- Lepiller, M. y Mondain, P. 1988. Les traçages artificiels en hydrogéologie karstique. v1. 33-52 p.
- Maloszewski, P. 1994. Mathematical modelling of tracer experiments in fissured aquifers. *Freib, Schriften Hydrol*. 107 p.
- Milanović P. 2005. *Water resources engineering in karst*. 1ed. 33-37p.
- Milojević, N. 1967. *Hidrogeologija (Hydrogeology)*. 61p.
- Muguerza, I. 2001. Estudio hidrogeológico de la unidad hidrogeológica kárstica de Albistur (Guipúzcoa). Tesis Doct. Univ. País Vasco, 410 p.
- Plata, A. 1972. *Isótopos en hidrología*. Madrid, Alhambra. 328 p.

- Pinault, J.; Ladouche, B.; Doerfliger, N. y Bakalowicz, M. 2001. Modélisation inverse des relations pluie-débits et des chimiogrammes. 7 Conf. On Limestone Hydrology and fissured media. 4p.
- Pulido, A. y Ben, Y. 1995. Centuries of artificial recharge on the southern edge of the Sierra Nevada. Granada, Spain. Environ. Geol. 26. 57-63 p.
- Pulido, A. 2001. Investigación y exploración de acuíferos kársticos. Boletín Geológico y Minero, Vol. 112, Núm. Especial.70 p. ISSN: 0366-0176
- Pulido, P.; Pulido, A. y Calvache, M. 2001. Intrusión marina y procesos hidrogeoquímicos asociados en un acuífero costero complejo. Castell de Ferro, Granada. Hidrogeol. Rec. Hidrául. XXIV.741-751p.
- UNAM (Universidad Nacional Autónoma de México). 2010. Manual de Procedimientos Analíticos. 29p.

ANEXO 1

(Inventario de fuentes de agua subterránea)

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA SUBTERRANEA

NOMBRE DE LA EMPRESA EMPRESA EXPLOTADORA DE VINCHOS LTDA SAC
NOMBRE DE LA UNIDAD U.E.A Vinchos
NOMBRE DEL PUNTO AF-01
DESCRIPCIÓN DEL PUNTO Afloramiento subterraneo

UBICACIÓN

Sector Mancancoto
Distrito Pallanchacra
Provincia Pasco
Departamento Pasco
Región Pasco

COORDENADAS UTM

Este 360868 m.
Norte 8845420 m.
Altitud 3845 m.s.n.m
Datum PSAD 56

CARACTERISTICAS FISICO-QUIMICAS

Caudal (l/s) 24.20
pH 7.50
C. E (µS/cm) 490.00
Temperatura (°C) hora: 9.56 a.m. 10.80

FOTOGRAFÍA



Observación: Vista del afloramiento subterraneo.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA SUBTERRANEA

NOMBRE DE LA EMPRESA EMPRESA EXPLOTADORA DE VINCHOS LTDA S.A.C.
NOMBRE DE LA UNIDAD U.E.A Vinchos
NOMBRE DEL PUNTO AF-02
DESCRIPCIÓN DEL PUNTO Afloramiento subteraneo

UBICACIÓN

Sector Mancancoto
Distrito Pallanchacra
Provincia Pasco
Departamento Pasco
Región Pasco

COORDENADAS UTM

Este 360867 m.
Norte 8845356 m.
Altitud 3845 m.s.n.m
Datum PSAD 56

CARACTERISTICAS FISICO-QUIMICAS

Caudal (l/s) 22.10
pH 7.60
C. E ($\mu\text{S}/\text{cm}$) 487.00
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) hora: 10.08 a.m. 10.90

FOTOGRAFÍA



Observación: Vista del afloramiento subteraneo.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA SUBTERRANEA

NOMBRE DE LA EMPRESA

NOMBRE DE LA UNIDAD

NOMBRE DEL PUNTO

DESCRIPCIÓN DEL PUNTO

UBICACIÓN

Sector

Distrito

Provincia

Departamento

Región

COORDENADAS UTM

Este

Norte

Altitud

Datum

CARACTERISTICAS FISICO-QUIMICAS

Caudal (l/s)

pH

C. E (µS/cm)

Temperatura (°C) hora: 10.22 a.m.

FOTOGRAFÍA



Observación: Vista del afloramiento subterraneo.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA SUBTERRANEA

NOMBRE DE LA EMPRESA	EMPRESA EXPLOTADORA DE VINCHOS LTDA SAC
NOMBRE DE LA UNIDAD	U.E.A Vinchos
NOMBRE DEL PUNTO	AF-04
DESCRIPCIÓN DEL PUNTO	Afloramiento subterraneo

UBICACIÓN	Sector	Mancancoto
	Distrito	Pallanchacra
	Provincia	Pasco
	Departamento	Pasco
	Región	Pasco

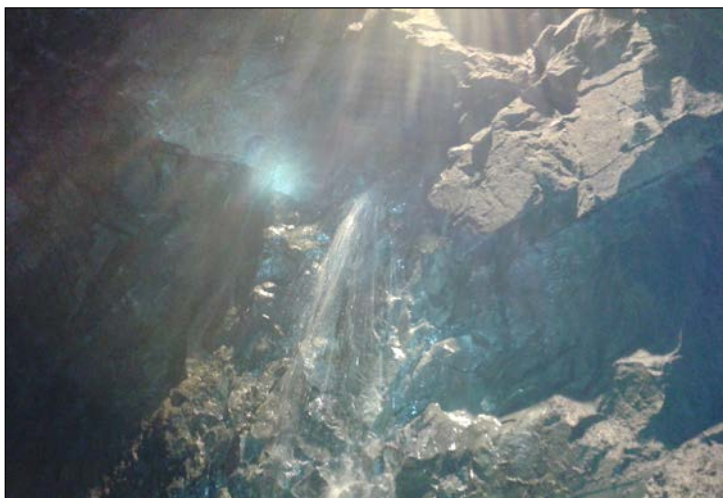
COORDENADAS UTM

Este	360897 m.
Norte	8845506 m.
Altitud	3865 m.s.n.m
Datum	PSAD 56

CARACTERISTICAS FISICO-QUIMICAS

Caudal (l/s)	17.45
pH	7.60
C. E (µS/cm)	484.00
Temperatura (°C) hora: 10.38 a.m.	10.60

FOTOGRAFÍA



Observación: Vista del afloramiento subterraneo.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA SUBTERRANEA

NOMBRE DE LA EMPRESA EMPRESA EXPLOTADORA DE VINCHOS LTDA SAC
NOMBRE DE LA UNIDAD U.E.A Vinchos
NOMBRE DEL PUNTO AF-05
DESCRIPCIÓN DEL PUNTO Afloramiento subterraneo

UBICACIÓN

Sector Mancancoto
Distrito Pallanchacra
Provincia Pasco
Departamento Pasco
Región Pasco

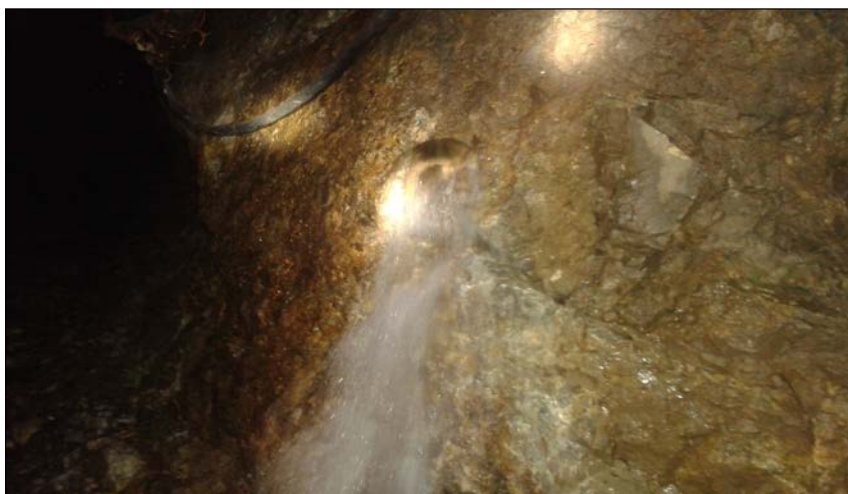
COORDENADAS UTM

Este 360953 m.
Norte 8845497m.
Altitud 3865 m.s.n.m
Datum PSAD 56

CARACTERISTICAS FISICO-QUIMICAS

Caudal (l/s) 13.50
pH 7.80
C. E (µS/cm) 490.00
Temperatura (°C) hora: 10.52 a.m. 10.70

FOTOGRAFÍA



Observación: Vista del afloramiento subterraneo.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA SUBTERRANEA

NOMBRE DE LA EMPRESA EMPRESA EXPLOTADORA DE VINCHOS LTDA SAC
NOMBRE DE LA UNIDAD U.E.A Vinchos
NOMBRE DEL PUNTO AF-06
DESCRIPCIÓN DEL PUNTO Afloramiento subterraneo

UBICACIÓN

Sector Mancancoto
Distrito Pallanchacra
Provincia Pasco
Departamento Pasco
Región Pasco

COORDENADAS UTM

Este 360893 m.
Norte 8845479 m.
Altitud 3865 m.s.n.m
Datum PSAD 56

CARACTERISTICAS FISICO-QUIMICAS

Caudal (l/s) 14.80
pH 7.90
C. E (µS/cm) 480.00
Temperatura (°C) hora: 11.15 a.m. 10.40

FOTOGRAFÍA



Observación: Vista del afloramiento subterraneo.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA SUBTERRANEA

NOMBRE DE LA EMPRESA	EMPRESA EXPLOTADORA DE VINCHOS LTDA SAC
NOMBRE DE LA UNIDAD	U.E.A Vinchos
NOMBRE DEL PUNTO	AF-07
DESCRIPCIÓN DEL PUNTO	Afloramiento subterraneo

UBICACIÓN	Sector	Mancancoto
	Distrito	Pallanchacra
	Provincia	Pasco
	Departamento	Pasco
	Región	Pasco

COORDENADAS UTM

Este	360890 m.
Norte	8845402m.
Altitud	3865 m.s.n.m
Datum	PSAD 56

CARACTERISTICAS FISICO-QUIMICAS

Caudal (l/s)	17.40
pH	7.50
C. E (µS/cm)	476.00
Temperatura (°C) hora: 11.39 a.m.	10.40

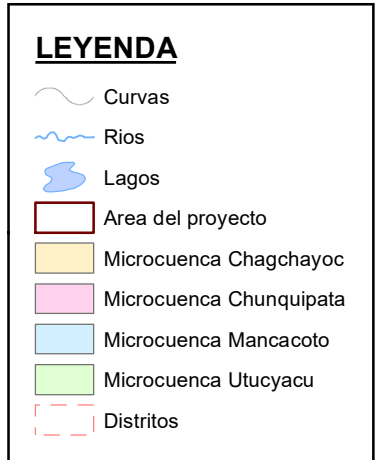
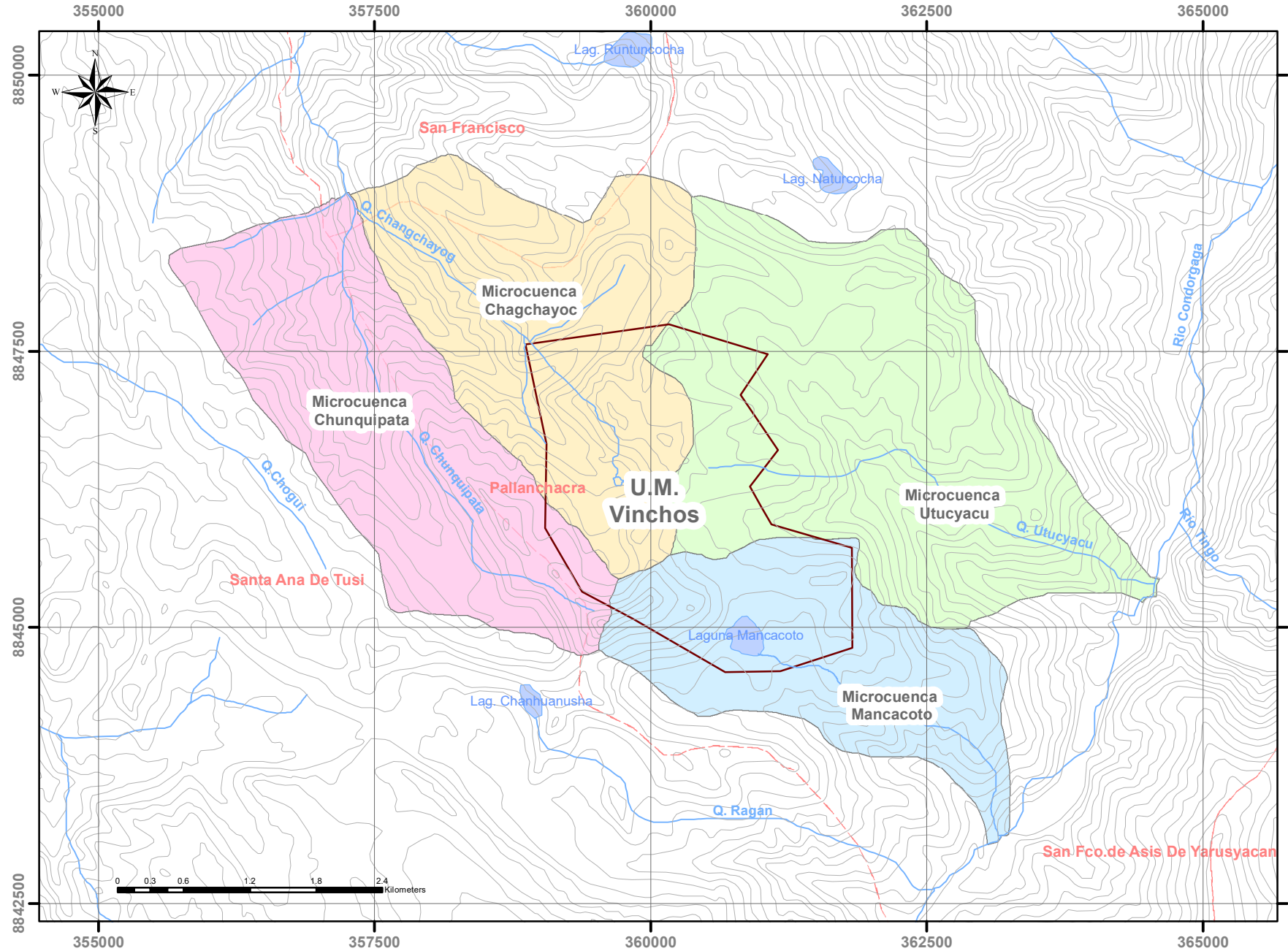
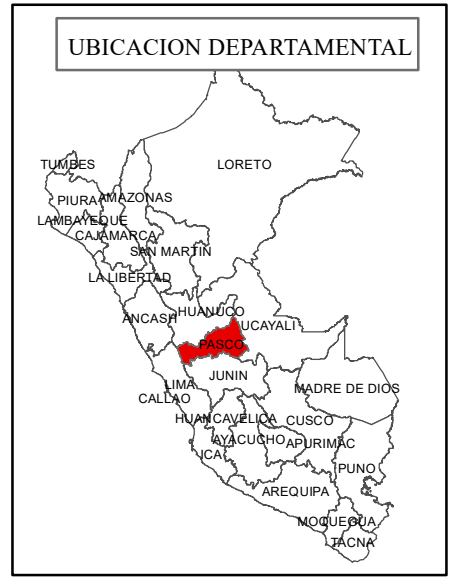
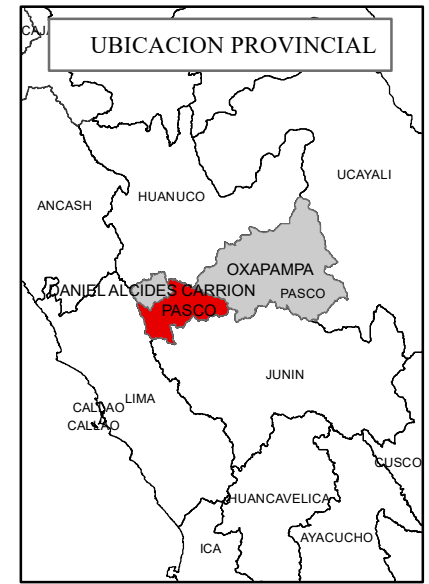
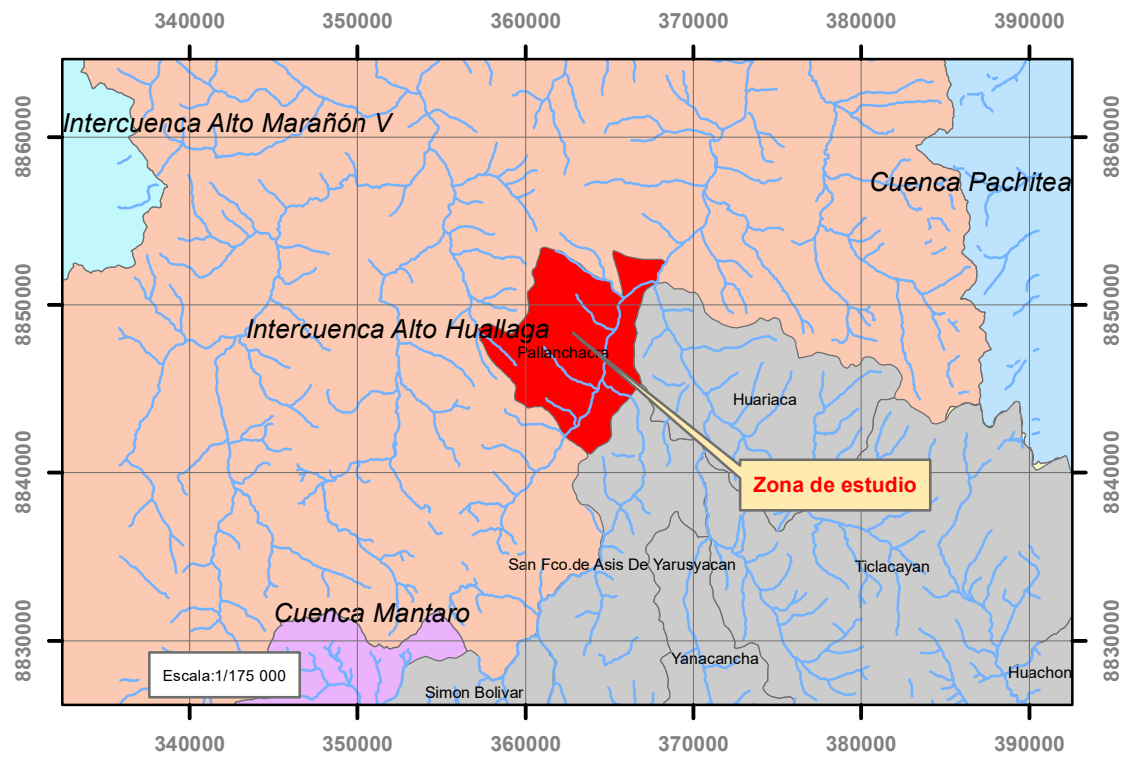
FOTOGRAFÍA



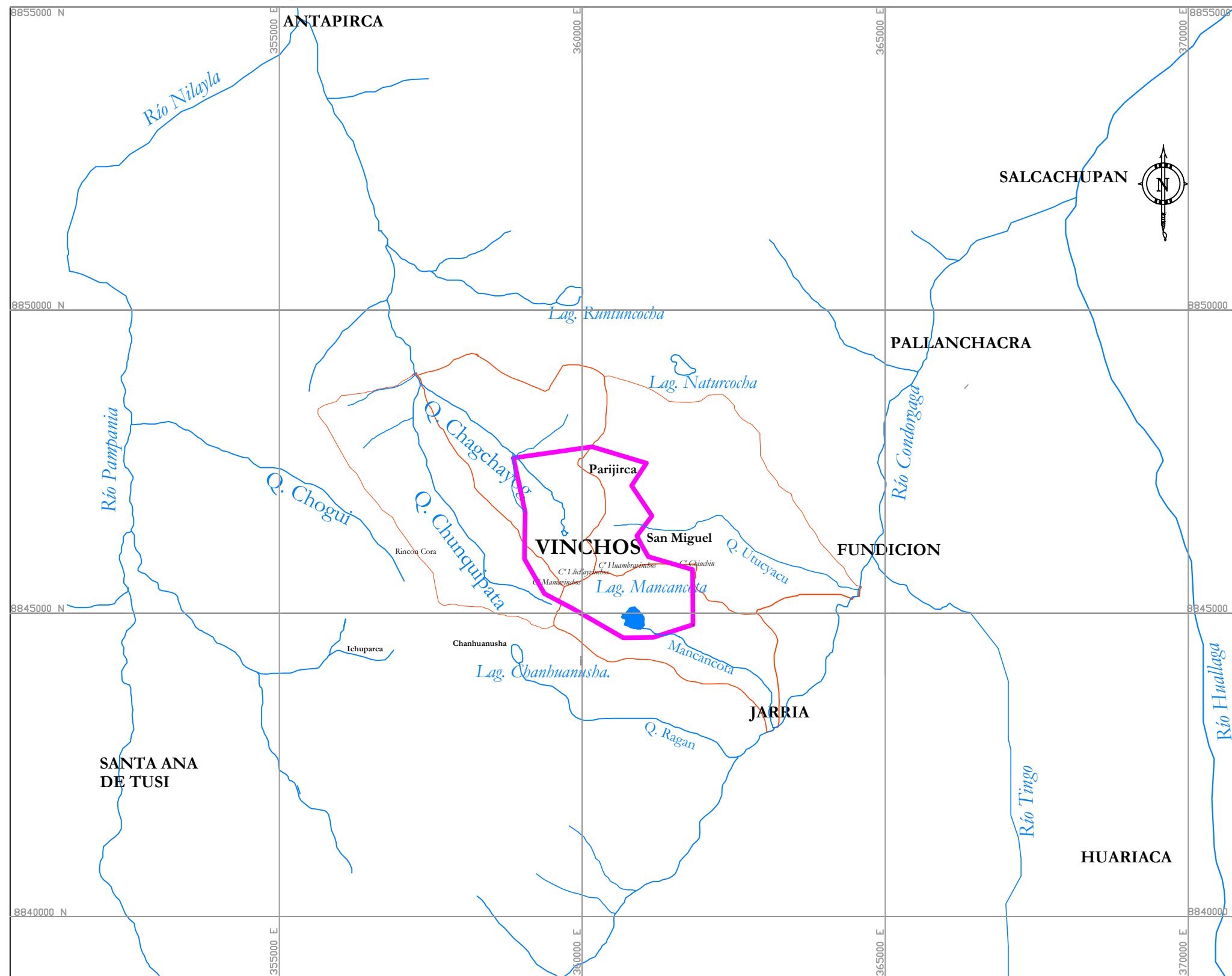
Observación: Vista del afloramiento subterraneo.



ANEXO 2

(Mapas)

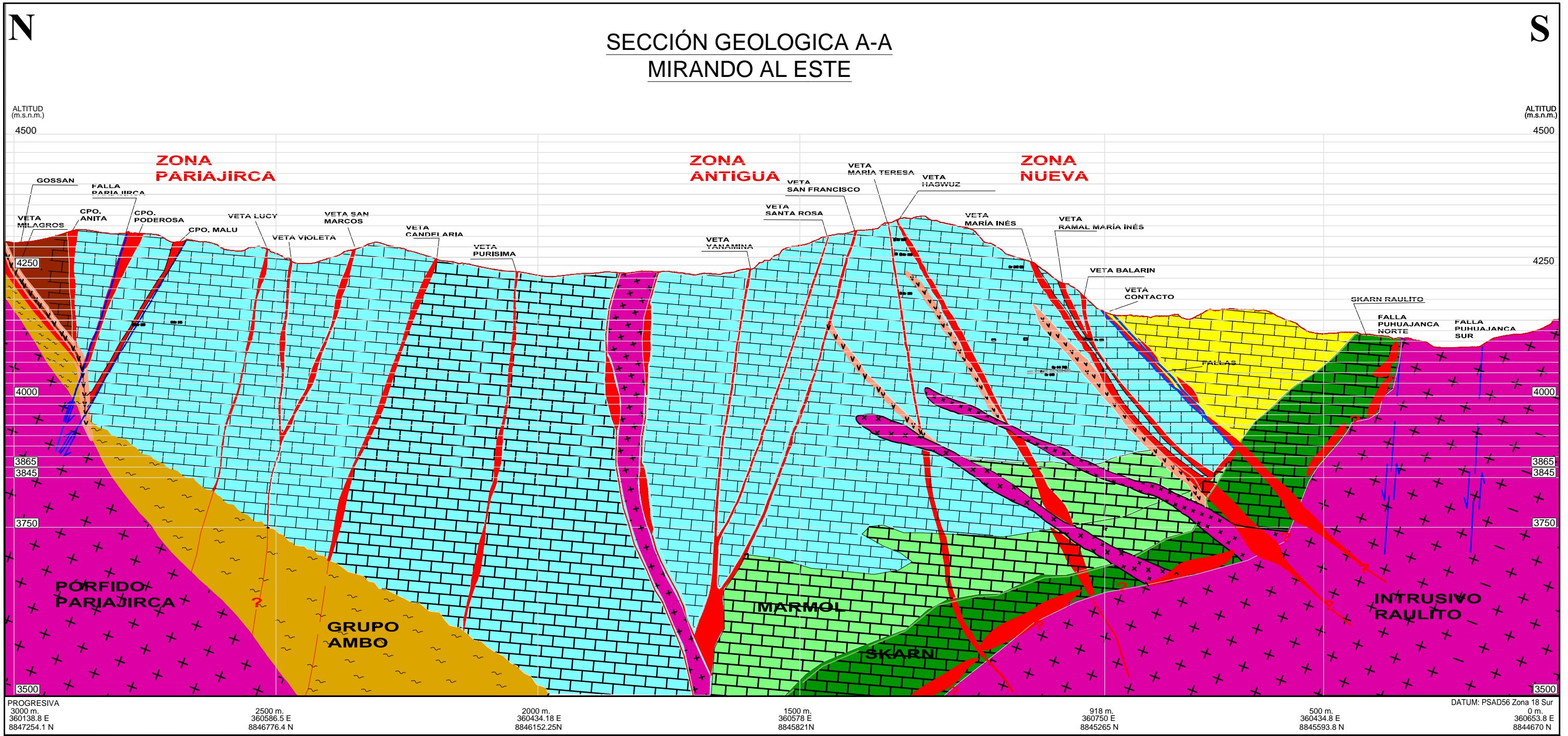


UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA DEPARTAMENTO DE RECURSOS HIDRICOS			
TITULO: "ESTIMACION DE LAS PROPIEDADES HIDRODINAMICAS E IDENTIFICACION DE LAS FUENTES DE RECARGA DEL ACUIFERO VINCHOS"			
PLANO: UBICACION DEL AREA DE ESTUDIO			MAPA N°:
DEPARTAMENTO: PASCO	PROVINCIA: PASCO	ESCALA: 1/50 000	1
FUENTE: U.M. VINCHOS	FECHA: AGOSTO 2016	ELABORADO: KATHERINE ROJAS D.	



 UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA DEPARTAMENTO DE RECURSOS HIDRICOS		
TITULO: "ESTIMACION DE LAS PROPIEDADES HIDRODINAMICAS E IDENTIFICACION DE LAS FUENTES DE RECARGA DEL ACUIFERO VINCHOS"		
PLANO: MARCO HIDROLOGICO		MAPA N°: 2
DEPARTAMENTO: PASCO	PROVINCIA: PASCO	ESCALA: 1/ 75 000
FUENTE: U.M. VINCHOS	FECHA: AGOSTO 2016	ELABORADO: KATHERINE ROJAS D.

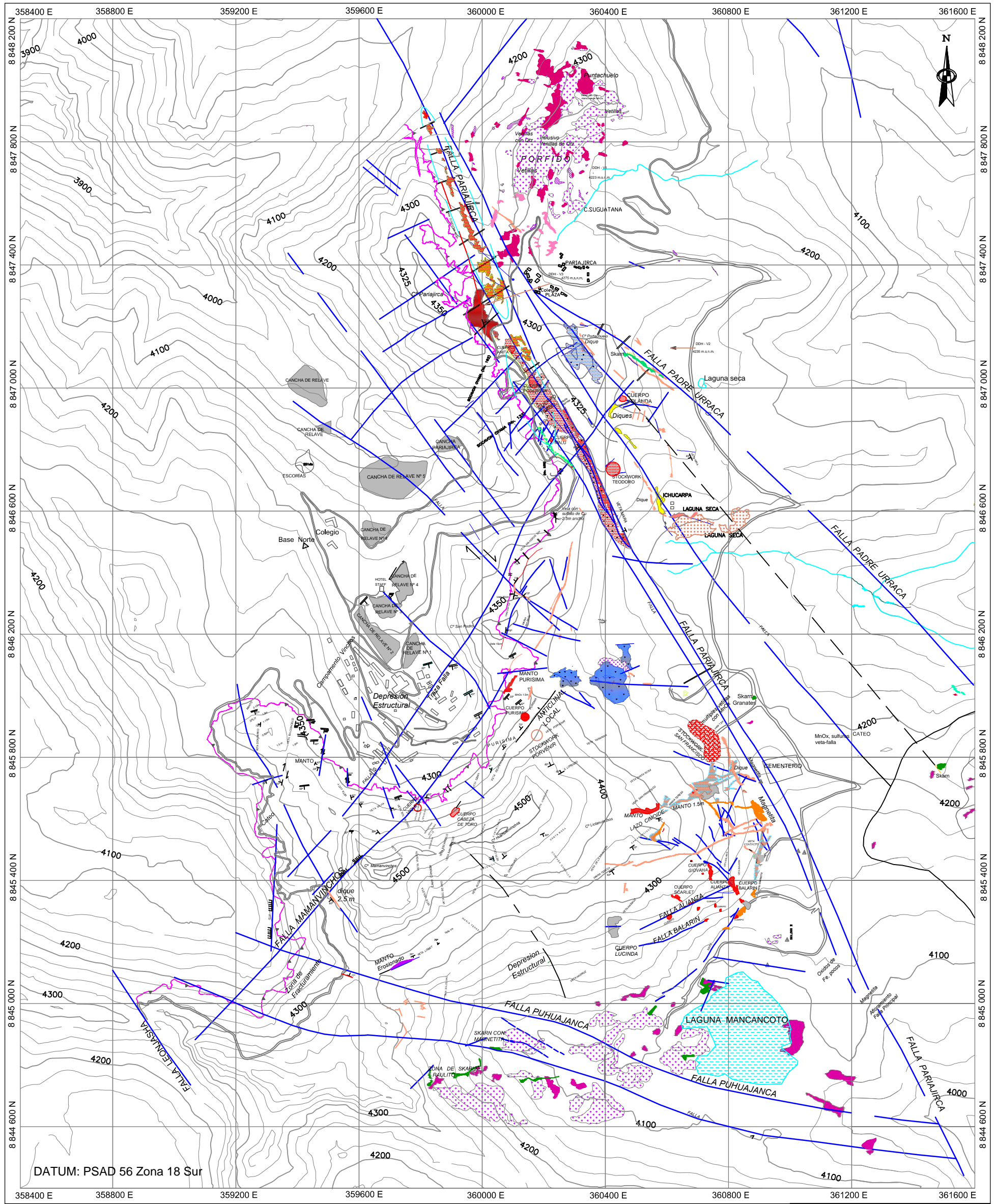
SECCIÓN GEOLOGICA A-A MIRANDO AL ESTE



LEYENDA

- | | | | | | | |
|--|--|---|--|--|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> Falla Falla inferida Cancha Cateo | <ul style="list-style-type: none"> Rumbo y Buzamiento Estratos Trinchera Línea de sección Rajo | <ul style="list-style-type: none"> Veta DDH - V3 4275 m.s.n.m. Cuerpo Contacto Mitu - Pucara Rios Quebradas | <h3>INTRUSIVOS</h3> <ul style="list-style-type: none"> Porfidos Granodioritico Porfido Tonalitico Porfido Dacitico Porfido Dioritico - Diorita Brecha Calcareo | <ul style="list-style-type: none"> Caliza con MnOx Brecha Silicea Caliza Brechada Caliza con MnOx Diques | <ul style="list-style-type: none"> Grupo Ambo Marmol Skarn Gossan Mitu | <ul style="list-style-type: none"> Grupo Pucara Grupo Tarma C |
|--|--|---|--|--|--|---|

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA DEPARTAMENTO DE RECURSOS HIDRICOS		
TITULO: "ESTIMACION DE LAS PROPIEDADES HIDRODINAMICAS E IDENTIFICACION DE LAS FUENTES DE RECARGA DEL ACUIFERO VINCHOS"		
PLANO: SECCION GEOLOGICA		MAPA N°: 4
DEPARTAMENTO: PASCO	PROVINCIA: PASCO	ESCALA: 1/7.500
FUENTE: U.M. VINCHOS	FECHA: AGOSTO 2016	ELABORADO: KATHERINE ROJAS D.



LEYENDA

- Falla
- Falla inferida
- Cancha
- Cateo
- Rumbo y Buzamiento Estratos
- Trinchera
- Línea de sección
- Rajo
- Veta
- DDH - V3
- 4275 m.s.n.m.
- Cuerpo
- Contacto Mitu - Pucara
- Rios Quebradas

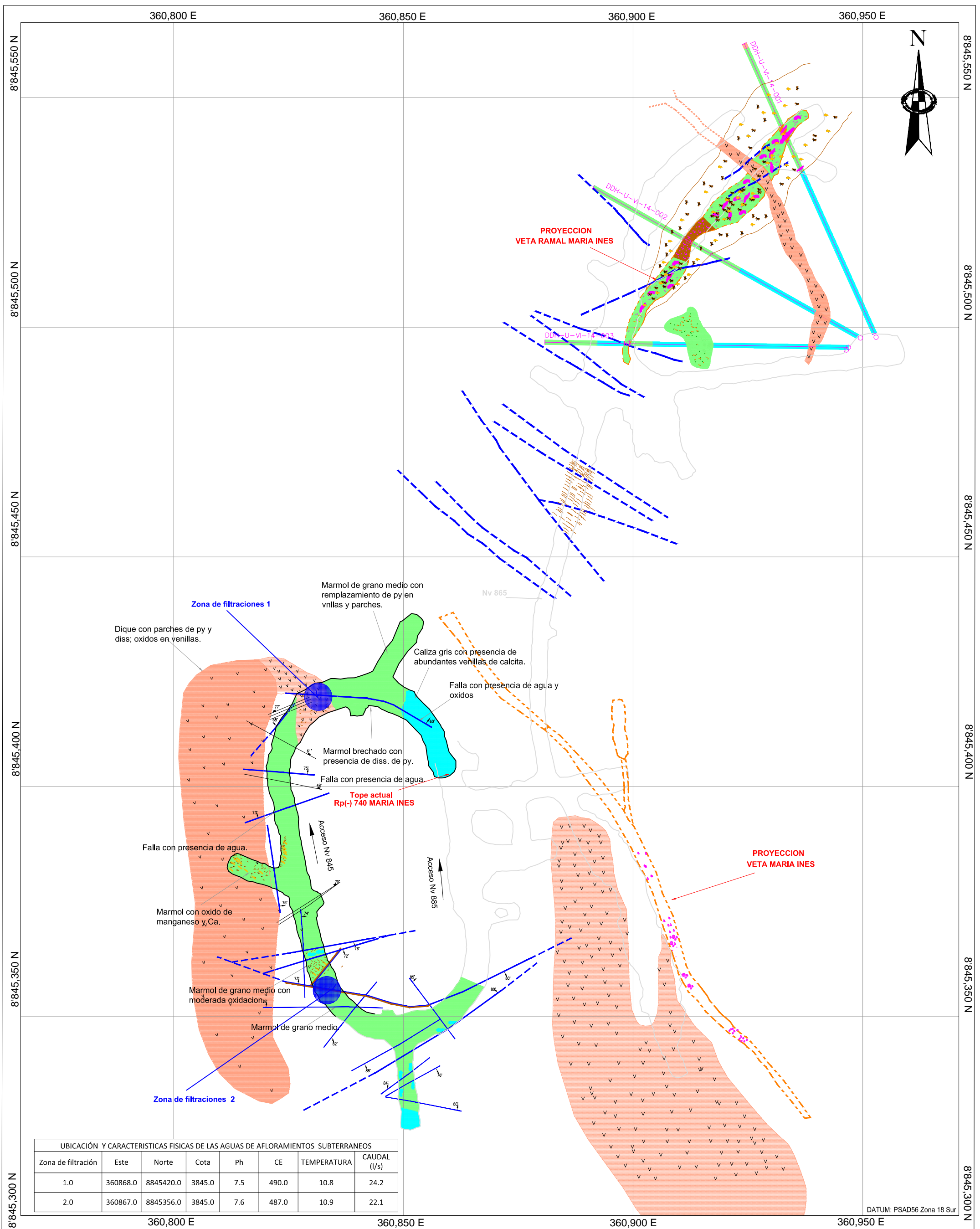
INTRUSIVOS

- Porfidos Granodioritico
- Porfido Tonalitico
- Porfido Dacitico
- Porfido Dioritico - Diorita
- Brecha Calcareo

- Caliza con MnOx
- Brecha Silicea
- Caliza Brechada
- Caliza con MnOx
- Diques
- Grupo Ambo

- Marmol
- Skarn
- Gossan
- Mitu
- Grupo Pucara
- Grupo Tarma C

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA DEPARTAMENTO DE RECURSOS HIDRICOS			
TITULO: "ESTIMACION DE LAS PROPIEDADES HIDRODINAMICAS E IDENTIFICACION DE LAS FUENTES DE RECARGA DEL ACUIFERO VINCHOS"			
PLANO: GEOLÓGICO ESTRUCTURAL			
DEPARTAMENTO: PASCO	PROVINCIA: PASCO	ESCALA: 1/ 12 500	
FUENTE: U.M. VINCHOS	FECHA: AGOSTO 2016	ELABORADO: KATHERINE ROJAS D.	
		5	



DATUM: PSAD56 Zona 18 Sur

LEYENDA

- Brecha Calcarea
- Caliza Recristalizada
- Caliza Brechada
- Caliza
- Grupo Ambo
- Caliza Marmolizada
- Marmol Blanco de gn. medio
- Marmol Brechado
- Skarn de diopsido-grnt-Mg-micas
- Silicificación (Hornfels)
- Stocks, diques y sills dacíticos
- Dioritas
- Tonalitas

MINERALIZACIÓN Y ESTRUCTURAS

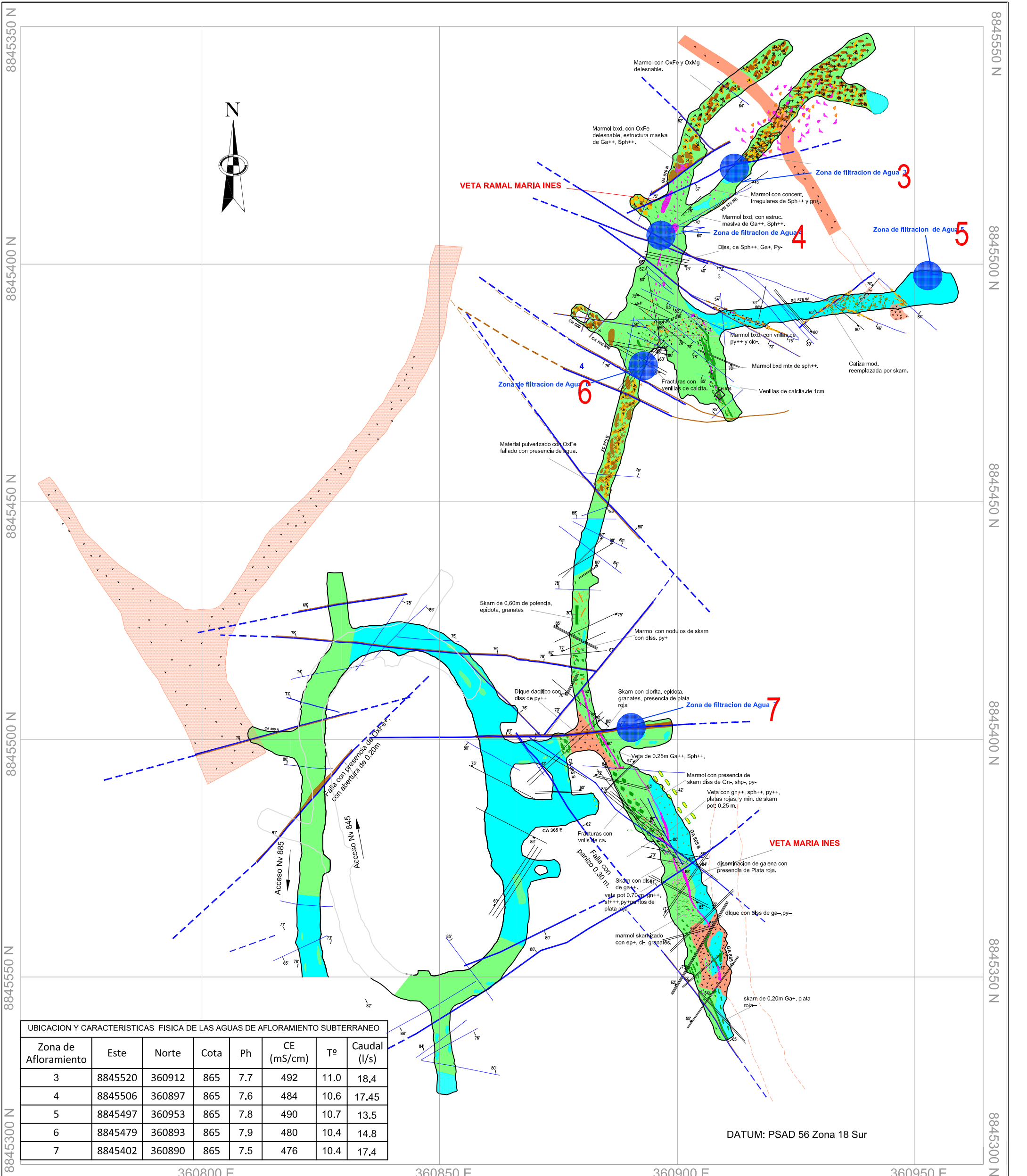
- Estructuras vetiformes
- Estructuras cimoide
- Estructuras ramaleadas
- Cuerpos mineralizados (gn-sph-plata roja)
- Mineralización (po-mt-py)
- Skarn de contacto con mineralización de sph-cpy-py-mt-gn
- Sk proximales y distales de diopsido-grnt-mt-micas con sulfuros diss.
- Fallas y fracturas reconocidas
- Fallas y fracturas inferidas
- Rbo y buz. capas

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA
DEPARTAMENTO DE RECURSOS HIDRICOS

TITULO: "ESTIMACION DE LAS PROPIEDADES HIDRODINAMICAS E IDENTIFICACION DE LAS FUENTES DE RECARGA DEL ACUIFERO VINCHOS"

PLANO: **UBICACION DE AFLORAMIENTOS DE AGUA SUBTERRANEA NV. 845** MAPA N°: **6**

DEPARTAMENTO: PASCO	PROVINCIA: PASCO	ESCALA: 1/750	
FUENTE: U.M. VINCHOS	FECHA: AGOSTO 2016	ELABORADO: KATHERINE ROJAS D.	



UBICACION Y CARACTERISTICAS FISICA DE LAS AGUAS DE AFLORAMIENTO SUBTERRANEO

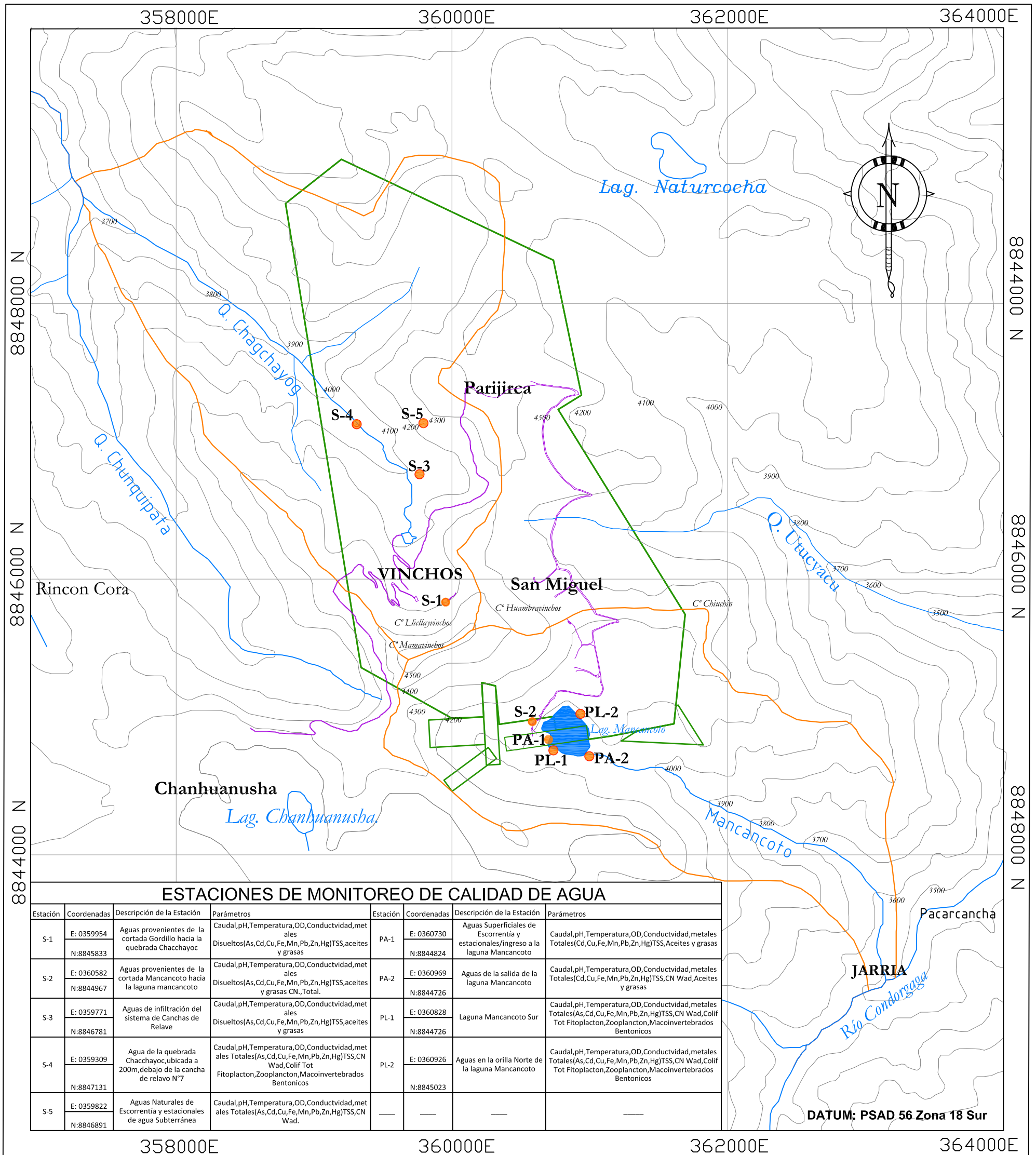
Zona de Afloramiento	Este	Norte	Cota	Ph	CE (mS/cm)	Tº	Caudal (l/s)
3	8845520	360912	865	7.7	492	11.0	18.4
4	8845506	360897	865	7.6	484	10.6	17.45
5	8845497	360953	865	7.8	490	10.7	13.5
6	8845479	360893	865	7.9	480	10.4	14.8
7	8845402	360890	865	7.5	476	10.4	17.4

DATUM: PSAD 56 Zona 18 Sur

LEYENDA

<p>LITOLOGIA</p> <ul style="list-style-type: none"> BRECHA CALCAREA CALIZA BRECHADA CALIZA GRUPO AMBO 	<p>ALTERACIONES</p> <ul style="list-style-type: none"> CALIZA MARMOLIZADA CALIZA RECRISTALIZADA MÁRMOL BLANCO DE GN. MEDIO MÁRMOL BRECHADO 	<p>INTRUSIVO</p> <ul style="list-style-type: none"> SKARN DE DIOPSIDO-GRNT-MG-MICAS SILICIFICACIÓN (HORNFELS) 	<p>MINERALIZACION Y ESTRUCTURAS</p> <ul style="list-style-type: none"> STOCKS, DIQUES Y SILLS DACITICOS DIORITAS TONALITAS SKARN DE CONTACTO CON MINERALIZACION DE SPH-CPY-PY-MT-GN SK PROXIMALES Y DISTALES DE DIOPSIDO-GRNT-MT-MICAS CON SULFUROS DISS. FALLAS Y FRACTURAS RECONOCIDAS FALLAS Y FRACTURAS INFERIDAS RBO Y BUZ. CAPAS
--	---	--	---

<p>UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA DEPARTAMENTO DE RECURSOS HIDRICOS</p>			
<p>TITULO: "ESTIMACION DE LAS PROPIEDADES HIDRODINAMICAS E IDENTIFICACION DE LAS FUENTES DE RECARGA DEL ACUIFERO VINCHOS"</p>			
<p>PLANO: UBICACION DE AFLORAMIENTOS DE AGUA SUBTERRANEA NV. 865</p>		<p>MAPA N°: 7</p>	
<p>DEPARTAMENTO: PASCO</p>	<p>PROVINCIA: PASCO</p>	<p>ESCALA: 1/ 750</p>	<p>7</p>
<p>FUENTE: U.M. VINCHOS</p>	<p>FECHA: AGOSTO 2016</p>	<p>ELABORADO: KATHERINE ROJAS D.</p>	




ESTACIONES DE MONITOREO DE CALIDAD DE AGUA

Estación	Coordenadas	Descripción de la Estación	Parámetros	Estación	Coordenadas	Descripción de la Estación	Parámetros
S-1	E: 0359954 N:8845833	Aguas provenientes de la cortada Gordillo hacia la quebrada Chacchayoc	Caudal,pH, Temperatura,OD, Conductividad, metales Totales(As,Cd,Cu,Fe,Mn,Pb,Zn,Hg)TSS,aceites y grasas	PA-1	E: 0360730 N:8844824	Aguas Superficiales de Escorrentía y estacionales/ingreso a la laguna Mancancoto	Caudal,pH, Temperatura,OD, Conductividad, metales Totales(Cd,Cu,Fe,Mn,Pb,Zn,Hg)TSS,Aceites y grasas
S-2	E: 0360582 N:8844967	Aguas provenientes de la cortada Mancancoto hacia la laguna mancancoto	Caudal,pH, Temperatura,OD, Conductividad, metales Totales(As,Cd,Cu,Fe,Mn,Pb,Zn,Hg)TSS,aceites y grasas CN, Total.	PA-2	E: 0360969 N:8844726	Aguas de la salida de la laguna Mancancoto	Caudal,pH, Temperatura,OD, Conductividad, metales Totales(Cd,Cu,Fe,Mn,Pb,Zn,Hg)TSS, CN Wad,Aceites y grasas
S-3	E: 0359771 N:8846781	Aguas de infiltración del sistema de Canchas de Relave	Caudal,pH, Temperatura,OD, Conductividad, metales Totales(As,Cd,Cu,Fe,Mn,Pb,Zn,Hg)TSS,aceites y grasas	PL-1	E: 0360828 N:8844726	Laguna Mancancoto Sur	Caudal,pH, Temperatura,OD, Conductividad, metales Totales(As,Cd,Cu,Fe,Mn,Pb,Zn,Hg)TSS, CN Wad, Colif Tot Fitoplancton,Zooplancton,Macoinvertebrados Bentonicos
S-4	E: 0359309 N:8847131	Agua de la quebrada Chacchayoc, ubicada a 200m, debajo de la cancha de relave N°7	Caudal,pH, Temperatura,OD, Conductividad, metales Totales(As,Cd,Cu,Fe,Mn,Pb,Zn,Hg)TSS, CN Wad, Colif Tot Fitoplancton,Zooplancton,Macoinvertebrados Bentonicos	PL-2	E: 0360926 N:8845023	Aguas en la orilla Norte de la laguna Mancancoto	Caudal,pH, Temperatura,OD, Conductividad, metales Totales(As,Cd,Cu,Fe,Mn,Pb,Zn,Hg)TSS, CN Wad, Colif Tot Fitoplancton,Zooplancton,Macoinvertebrados Bentonicos
S-5	E: 0359822 N:8846891	Aguas Naturales de Escorrentía y estacionales de agua Subterránea	Caudal,pH, Temperatura,OD, Conductividad, metales Totales(As,Cd,Cu,Fe,Mn,Pb,Zn,Hg)TSS, CN Wad.	—	—	—	—


DATUM: PSAD 56 Zona 18 Sur

LEYENDA

- Punto de monitoreo de calidad de agua
- Quebrada
- Microcuenca
- Carretera
- Acumulación de Vinchos



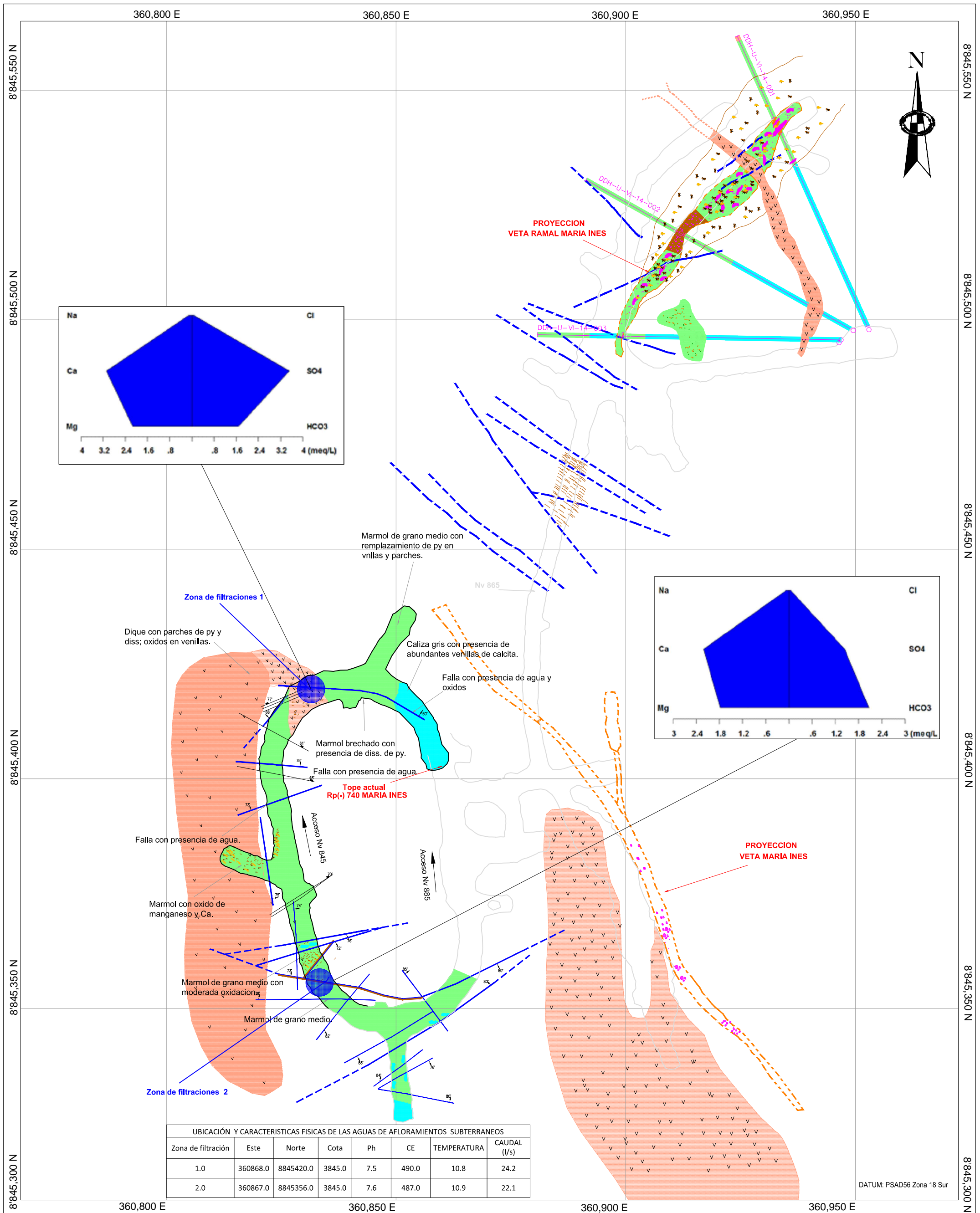
UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA
DEPARTAMENTO DE RECURSOS HIDRICOS



TITULO: "ESTIMACION DE LAS PROPIEDADES HIDRODINAMICAS E IDENTIFICACION DE LAS FUENTES DE RECARGA DEL ACUIFERO VINCHOS"

PLANO: PUNTOS DE MONITOREO DE CALIDAD DE AGUA SUPERFICIAL		MAPA N°:
DEPARTAMENTO: PASCO	PROVINCIA: PASCO	ESCALA: 1/750
FUENTE: U.M. VINCHOS	FECHA: AGOSTO 2016	ELABORADO: KATHERINE ROJAS D.

8



LEYENDA

- LITOLOGIA**
- Brecha Calcarea
 - Caliza Brechada
 - Caliza
 - Grupo Ambo
 - Skarn de diopsido-grnt-Mg-micas
- ALTERACIONES**
- Caliza Marmolizada
 - Caliza Recristalizada
 - Mármol Blanco de gn. medio
 - Mármol Brechado
 - Silicificación (Hornfels)
- INTRUSIVO**
- Stocks, diques y sills dacíticos
 - Dioritas
 - Tonalitas
- MINERALIZACION Y ESTRUCTURAS**
- Estructuras vetiformes
 - Estructuras cimoide
 - Estructuras ramaleadas
 - Cuerpos mineralizados (gn-sph-plata roja)
 - Mineralización (po-mt-py)
 - Skarn de contacto con mineralización de sph-cpy-py-mt-gn
 - Sk proximales y distales de diopsido-grnt-mt-micas con sulfuros diss.
 - Fallas y fracturas reconocidas
 - Fallas y fracturas inferidas
 - Rbo y buz. capas

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA
DEPARTAMENTO DE RECURSOS HIDRICOS

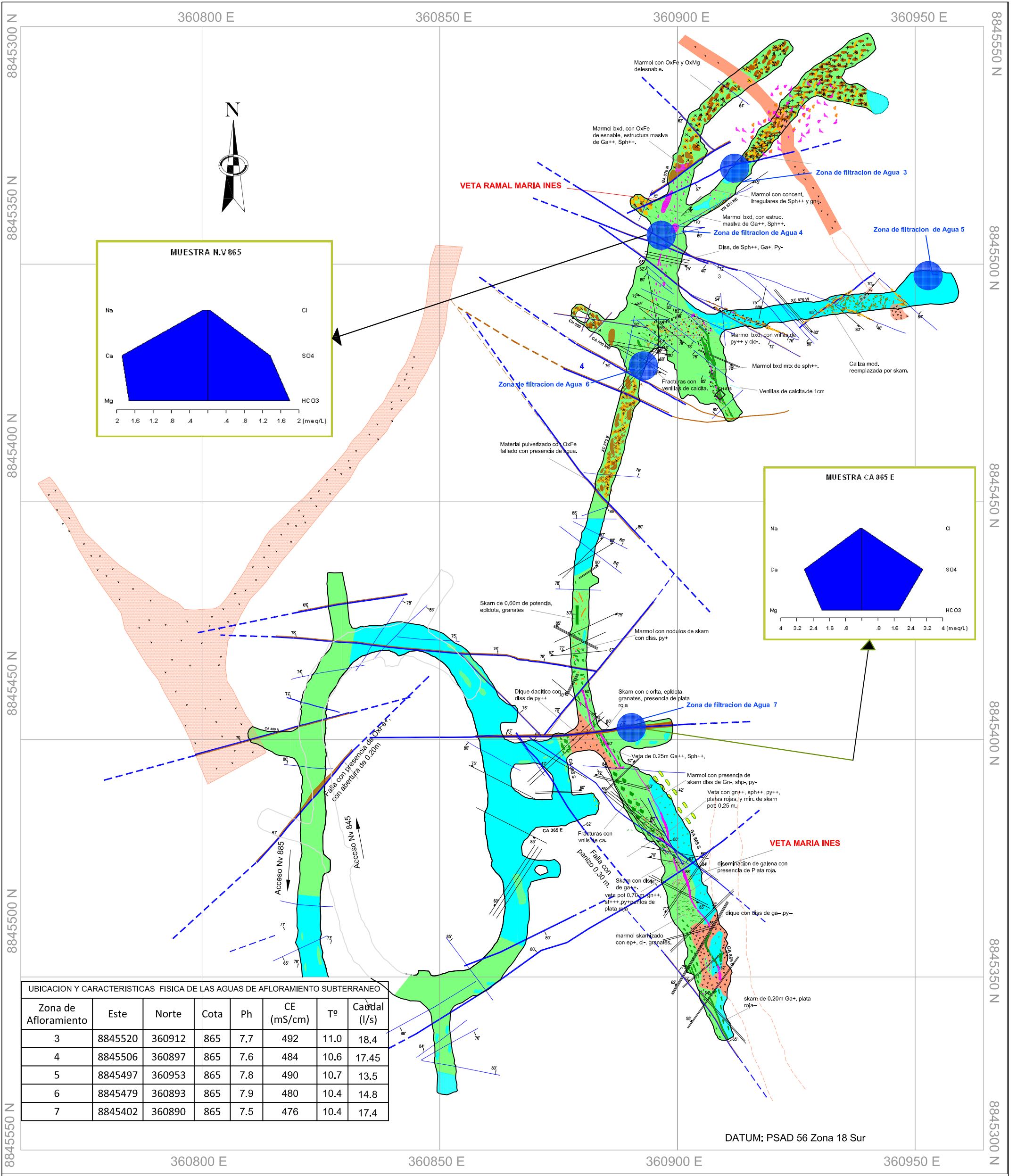
TITULO: "ESTIMACION DE LAS PROPIEDADES HIDRODINAMICAS E IDENTIFICACION DE LAS FUENTES DE RECARGA DEL ACUIFERO VINCHOS"

PLANO: **HIDROGEOQUIMICA NIVEL 845**

DEPARTAMENTO: PASCO | PROVINCIA: PASCO | ESCALA: 1/750

FUENTE: U.M. VINCHOS | FECHA: AGOSTO 2016 | ELABORADO: KATHERINE ROJAS D.

MAPA N°: **9**



LEYENDA

LITOLOGIA

- Brecha Calcarea
- Caliza Brechada
- Caliza
- Grupo Ambo
- Skarn de diopsido-grnt-Mg-micas

ALTERACIONES

- Caliza Marmolizada
- Caliza Recristalizada
- Mármol Blanco de gn. medio
- Mármol Brechado
- Silicificación (Hornfels)

INTRUSIVO

- Stocks, diques y sills dacíticos
- Dioritas
- Tonalitas

MINERALIZACION Y ESTRUCTURAS

- Estructuras vetiformes
- Estructuras cimoide
- Estructuras ramaleadas
- Cuerpos mineralizados (gn-sph-plata roja)
- Mineralización (po-mt-py)
- Skarn de contacto con mineralización de sph-cpy-py-mt-gn
- Sk proximales y distales de diopsido-grnt-micas con sulfuros diss.
- Fallas y fracturas reconocidas
- Fallas y fracturas inferidas
- Rbo y buz. capas

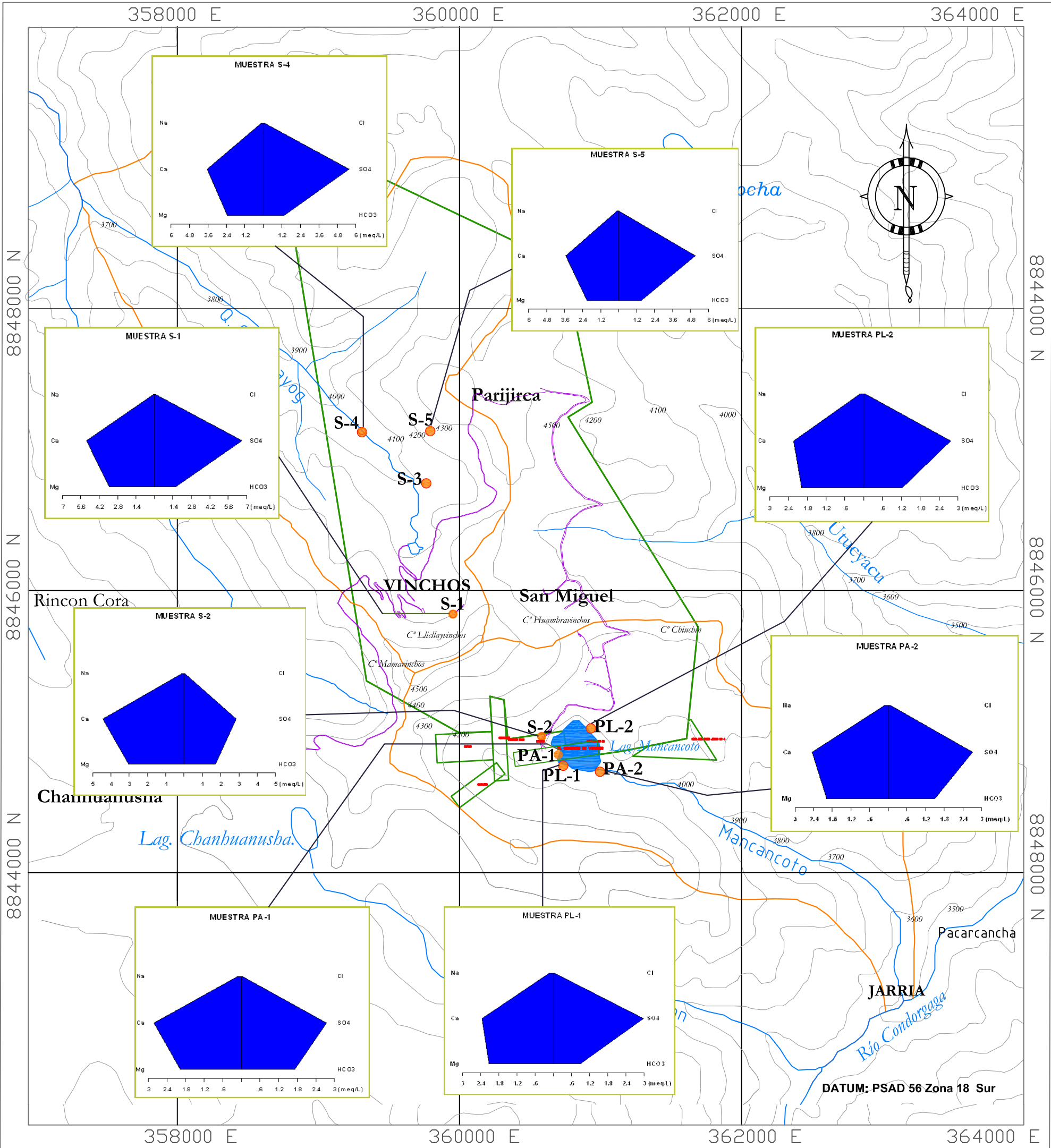
UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA
DEPARTAMENTO DE RECURSOS HIDRICOS

TITULO: "ESTIMACION DE LAS PROPIEDADES HIDRODINAMICAS E IDENTIFICACION DE LAS FUENTES DE RECARGA DEL ACUIFERO VINCHOS"

PLANO: **HIDROGEOQUIMICA NIVEL 865**

DEPARTAMENTO: PASCO	PROVINCIA: PASCO	ESCALA: 1/750
FUENTE: U.M. VINCHOS	FECHA: AGOSTO 2016	ELABORADO: KATHERINE ROJAS D.

10



CALIDAD DE AGUA SUPERFICIAL

Estación	Coordenadas	Descripción de la Estación	Parámetros	Estación	Coordenadas	Descripción de la Estación	Parámetros	Estación	Coordenadas	Descripción de la Estación	Parámetros
S-1	E: 0359954 N: 8845833	Aguas provenientes de la cortada Gordillo hacia la quebrada Chacchayoc	Caudal, pH, Temperatura, OD, Conductividad, metales Disueltos(As, Cd, Cu, Fe, Mn, Pb, Zn, Hg) TSS, aceites y grasas	S-4	E: 0359309 N: 8847131	Agua de la quebrada Chacchayoc, ubicada a 200m, debajo de la cancha de relave N°7	Caudal, pH, Temperatura, OD, Conductividad, metales Totales(As, Cd, Cu, Fe, Mn, Pb, Zn, Hg) TSS, CN Wad, Colif Tot Fitoplacton, Zooplacton, Macroinvertebrados Benticos	PA-2	E: 0360969 N: 8844726	Aguas de la salida de la laguna Mancancoto	Caudal, pH, Temperatura, OD, Conductividad, metales Totales(Cd, Cu, Fe, Mn, Pb, Zn, Hg) TSS, CN Wad, Aceites y grasas
S-2	E: 0360582 N: 8844967	Aguas provenientes de la cortada Mancancoto hacia la laguna mancancoto	Caudal, pH, Temperatura, OD, Conductividad, metales Disueltos(As, Cd, Cu, Fe, Mn, Pb, Zn, Hg) TSS, aceites y grasas CN, Total.	S-5	E: 0359822 N: 8846891	Aguas Naturales de Escorrentía y estacionales de agua Subterránea	Caudal, pH, Temperatura, OD, Conductividad, metales Totales(As, Cd, Cu, Fe, Mn, Pb, Zn, Hg) TSS, CN Wad.	PL-1	E: 0360828 N: 8844726	Laguna Mancancoto Sur	Caudal, pH, Temperatura, OD, Conductividad, metales Totales(As, Cd, Cu, Fe, Mn, Pb, Zn, Hg) TSS, CN Wad, Colif Tot Fitoplacton, Zooplacton, Macroinvertebrados Benticos
S-3	E: 0359771 N: 8846781	Aguas de infiltración del sistema de Canchas de Relave	Caudal, pH, Temperatura, OD, Conductividad, metales Disueltos(As, Cd, Cu, Fe, Mn, Pb, Zn, Hg) TSS, aceites y grasas	PA-1	E: 0360730 N: 8844824	Aguas Superficiales de Escorrentía y estacionales/ingreso a la laguna Mancancoto	Caudal, pH, Temperatura, OD, Conductividad, metales Totales(Cd, Cu, Fe, Mn, Pb, Zn, Hg) TSS, Aceites y grasas	PL-2	E: 0360926 N: 8845023	Aguas en la orilla Norte de la laguna Mancancoto	Caudal, pH, Temperatura, OD, Conductividad, metales Totales(As, Cd, Cu, Fe, Mn, Pb, Zn, Hg) TSS, CN Wad, Colif Tot Fitoplacton, Zooplacton, Macroinvertebrados Benticos

LEYENDA

- Punto Monitoreo de Calidad Agua ●
- Quebrada —
- Microcuenca —
- Carretera —
- Acumulacion de Vinchos —

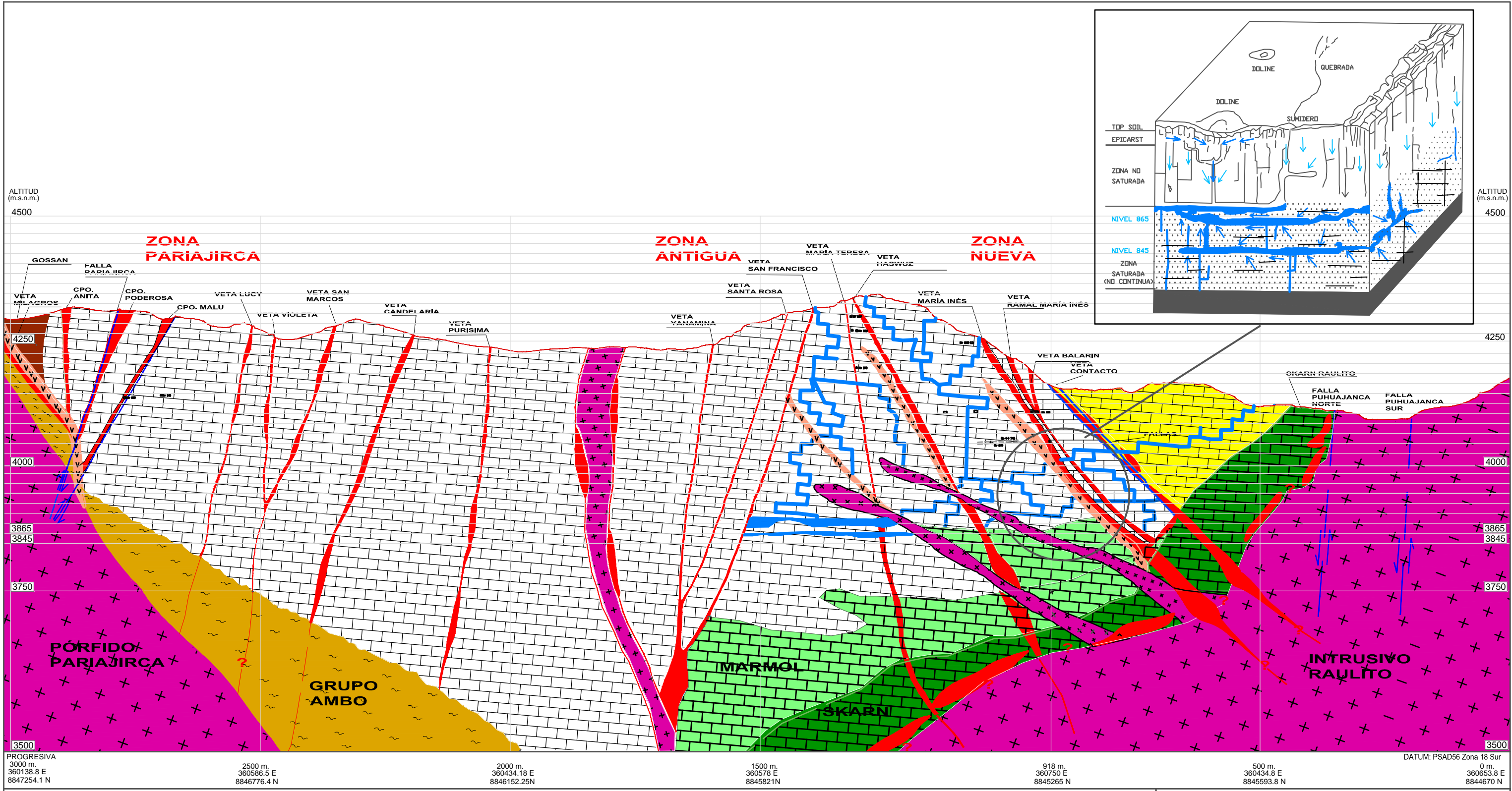
UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA
DEPARTAMENTO DE RECURSOS HIDRICOS

TITULO: "ESTIMACION DE LAS PROPIEDADES HIDRODINAMICAS E IDENTIFICACION DE LAS FUENTES DE RECARGA DEL ACUIFERO VINCHOS"

PLANO: **PUNTOS DE MONITOREO DE CALIDAD DE AGUA SUBTERRANEA** MAPA N°:

DEPARTAMENTO: PASCO	PROVINCIA: PASCO	ESCALA: 1/750
FUENTE: U.M. VINCHOS	FECHA: AGOSTO 2016	ELABORADO: KATHERINE ROJAS D.

11



LEYENDA

Falla	Línea de Sección	Cateo	4275 m.s.n.m	Pórfidos Granodioríticos	Caliza con MnOx	Marmol
Falla inferida	Rajo	Rumbo y buzamiento estratos	Cuerpo	Pórfidos tonalíticos	Brecha Silicea	Skarn
Cancha	Veta DDH-V3	Trinchera	Contacto Mitu- Pucara	Pórfido Dacítico	Caliza brechada	Gossan
			Rios y quebradas	Pórfidos Diorítico	Caliza con MnOx	Mitu
				Brecha calcarea	Diques	Grupo Pucara
					Grupo Ambo	Grupo Tarma C

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA
DEPARTAMENTO DE RECURSOS HIDRICOS

TITULO: "ESTIMACION DE LAS PROPIEDADES HIDRODINAMICAS E IDENTIFICACION DE LAS FUENTES DE RECARGA DEL ACUIFERO 'VINCHOS'"

PLANO: SECCION HIDROGEOLOGICA

DEPARTAMENTO: PASCO	PROVINCIA: PASCO	ESCALA: 1/7 500
FUENTE: U.M. VINCHOS	FECHA: AGOSTO 2016	ELABORADO: KATHERINE ROJAS D.

MAPA N°: 12