

REPÚBLICA DEL PERÚ

SECTOR ENERGÍA Y MINAS

INSTITUTO GEOLOGICO MINERO Y METALURGICO
(INGEMMET)

INFORME FINAL

ESTUDIO GEOLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO
DEL HUMEDAL WAYLLARQOCHA-CUSCO

Por:

Víctor Carlotto
José Cárdenas
Griselda Casos



Diciembre, 2008
LIMA - PERÚ



I. ASPECTOS GENERALES

1.1. UBICACIÓN

La zona de estudio se ubica al norte de la ciudad del Cusco, en el lugar denominado Wayllarqocha (Fig. 1), perteneciente a la comunidad campesina del mismo nombre, dentro del Parque Arqueológico de Saqsaywaman y cerca del sitio inca de Tambomachay. Para llegar a la zona se utiliza la carretera asfaltada Cusco-Pisaq.

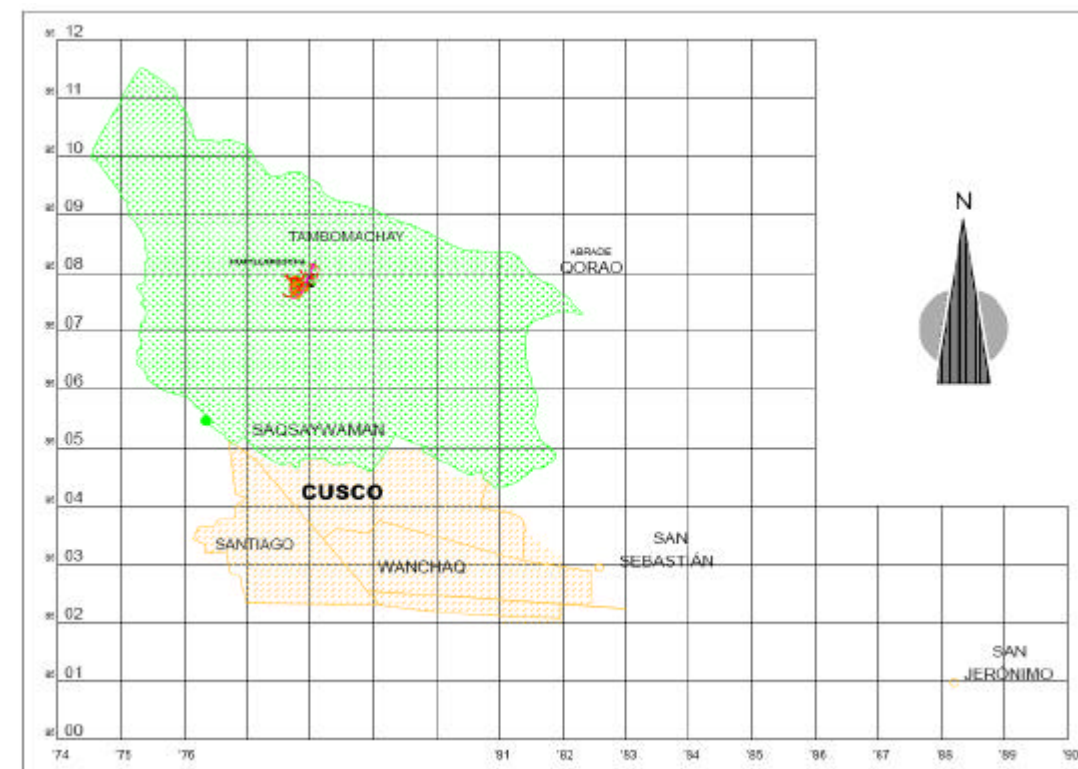


Fig. 1. Mapa de ubicación del Humedal de Wayllarqocha

1.2. OBJETIVO Y METODOLOGÍA DE TRABAJO

El objetivo del presente trabajo es realizar los estudios geológicos e hidrogeológicos del sitio de Wayllarqocha, con el objetivo de recuperar los humedales existentes en dicha comunidad campesina.

Como primer paso se han conseguido los mapas topográficos a escala 1:10,000 y 1:2500 y fotos aéreas de la zona de estudio. Luego se han trabajado con dos juegos de fotos, de vuelo alto del IGN del año 1970 y de vuelo bajo del SAN del año 1982. En base a estos mapas se levantó el mapa geológico a escala 1:1250. La ventaja de la utilización de fotos aéreas de diferentes años es que muestra la evolución de los humedales en los periodos que fueron tomados y son importantes para las comparaciones actuales, pudiéndose obtener información acerca de su evolución. Toda esta información, así como los resultados de la hidrogeología, permitirán hacer las recomendaciones para la recuperación y puesta en valor del humedal de Wayllarqocha.

II. GEOMORFOLOGÍA

Regionalmente, la zona de estudio se encuentra dentro la unidad geomorfológica denominada Altiplanicies o Altiplano. Se trata de una zona con relieves relativamente planos y de menor altura con respecto a la Cordillera Oriental. La zona de Wayllarqocha se encuentra dentro de la unidad local denominada Meseta de Saqsaywaman (Fig. 2).

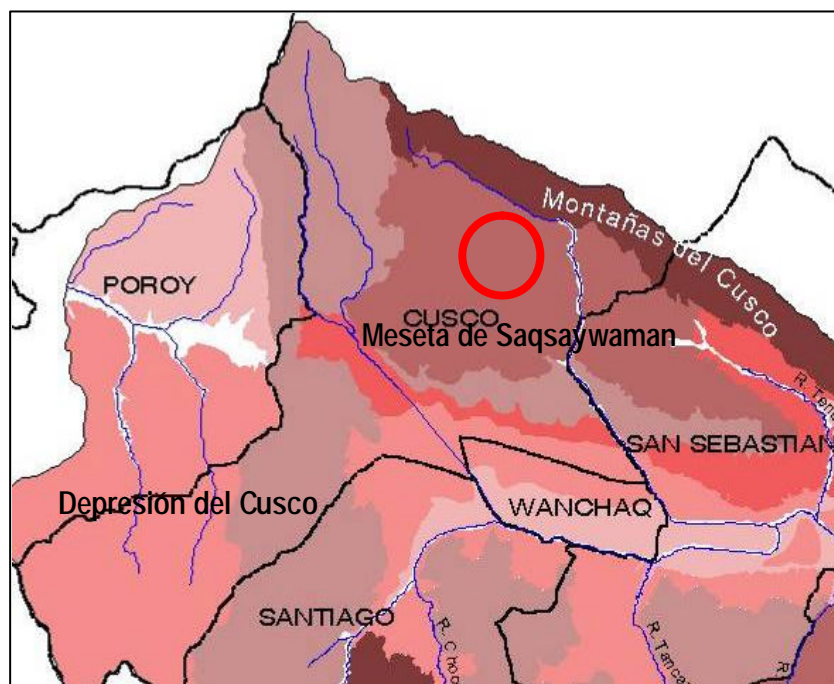


Fig. 2. Mapa geomorfológico, en círculo rojo la ubicación de la zona de estudio

2.1. MESETA DE SAQSAYWAMAN

Esta unidad morfológica se halla entre los 3600 y 3800 msnm. Limita al sur con la depresión del Cusco y al norte con las Montañas del Cusco mediante la falla Tambomachay. Se presenta como una planicie con una serie de pequeñas colinas, con pendientes ligeramente a fuertemente inclinada (2-15%) (Foto 1). Estas planicies onduladas están cortadas por quebradas que son el producto de la erosión de las aguas superficiales y subterráneas que se presentan en la zona, particularmente en época de lluvias. Es frecuente observar dolinas, que son depresiones circulares producto del colapso de las rocas del substrato, las que están constituidas por yesos y calizas que se disuelven por efecto de las aguas subterráneas

En las partes altas de las lomadas afloran lutitas y lentes de caliza pertenecientes al Grupo Yuncaypata; mientras que en las partes bajas o alrededor de las cumbres se han desarrollado depósitos coluviales, lacustres y palustres.

Wayllarqocha se encuentra dentro de esta unidad morfológica, en una zona relativamente plana, sin embargo al oeste de la carretera asfaltada, el relieve es mas bien de lomadas, cortado por una pequeña quebrada que le denominaremos Unuqñawi que tiene una dirección aproximada este-oeste, por donde discurren las aguas provenientes de un manante denominado también Unuqñawi. Estas aguas pasan cerca al poblado de la comunidad campesina de Wayllarqocha mediante una alcantarilla que cruza la carretera asfaltada Cusco-Pisac, para luego continuar por la quebrada. Por otro lado, en la zona denominada Cocha 1 existe una depresión que está

rellenada con depósitos palustres y lacustres que nos indican el desarrollo de humedales. Luego, en la misma dirección, hacia el este, se han reconocido otras dos depresiones denominadas Qocha 2 y Qocha 3. Todas estas depresiones han desarrollado humedales pero su origen está en relación a muros o diques construidos en la época inca.



Foto 1. Meseta de Saqsaywaman, al fondo las Montañas del Cusco.

III. GEOLOGÍA

Regionalmente la zona está caracterizada por presentar afloramientos de rocas sedimentarias clásticas (lutitas, limolitas y areniscas) y en menor proporción rocas calcáreas (calizas) pertenecientes al Grupo Yuncaypata de edad Cretácica medio-superior. Sobre estas rocas se han desarrollado sedimentos coluviales y lacustres de edad cuaternaria reciente.

El Grupo Yuncaypata (Cretácico medio-superior) se divide en 4 formaciones: Paucarbamba, Maras, Ayavacas o calizas Yuncaypata y Puquín (Fig. 3), con un espesor que varía de 400 a 600 m. Sin embargo, a nivel de la Meseta de Saqsaywaman, donde se encuentra la zona de estudio solo afloran las formaciones Paucarbamba y Ayavacas, esta última a manera de pequeños afloramientos, formando en algunos casos las cúspides de las pequeñas lomadas. La Formación Maras está constituida por una mezcla caótica de yesos, lutitas y escasamente lentes de calizas. La Formación Ayavacas o Calizas Yuncaypata, se presentan en afloramientos aislados dentro de la Formación Maras o conjuntamente con la Formación Paucarbamba. En los alrededores de los humedales de Wayllarqocha afloran algunos lentes de calizas rodeados de limolitas rojas.

Las rocas del Grupo Yuncaypata, en general, son muy desfavorables como fundación a las obras civiles, a excepción de algunas areniscas. A veces donde existe la intercalación de lutitas y yesos se ha podido reconocer deslizamientos, derrumbes e hundimientos formando dolinas, muy frecuentes en la meseta de Saqsaywaman.

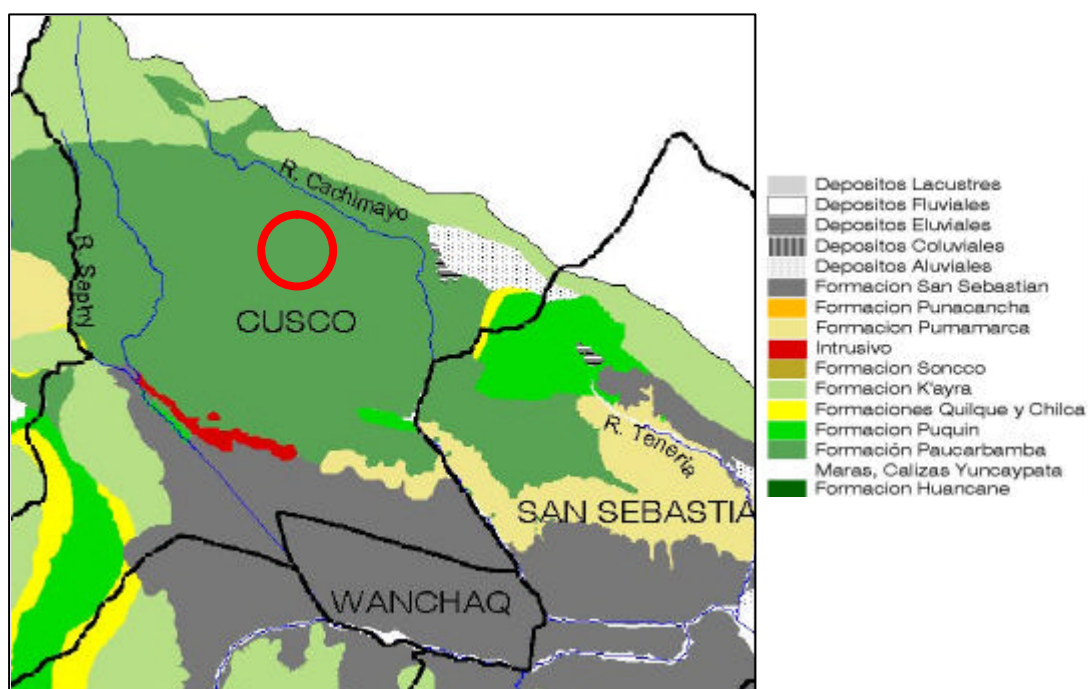


Fig. 3. Mapa geológico regional, en círculo rojo la ubicación de la zona de estudio

3.1. FORMACIÓN MARAS-PAUCARBAMBA: Albiano medio (Cretácico inferior)

Aflora en toda la zona de estudio, formando una planicie disectada por las quebradas pequeñas. Litológicamente está constituida principalmente por lutitas, limolitas y eventualmente capas de areniscas de grano fino de color rojo (Foto 2), además de escasos niveles de lutitas verdes y algunos niveles de calizas dolomitizadas de color amarillo (Foto 3), el espesor de esta unidad, en los alrededores de la zona de estudio, es aproximadamente de 200 m.



Foto 2. Afloramientos de areniscas y limolitas rojas de la Formación Paucarbamba-Maras.

Su comportamiento geotécnico, por la heterogeneidad de sus componentes litológicos es calificado como desfavorable para realizar obras civiles importantes, debido a que, al contacto con las aguas, estos se hinchan. Al ser saturados y erosionados por el agua estos materiales crean inestabilidad en los taludes, particularmente en las dolinas ya que podrían subsidir por

erosión o disolución de las rocas evaporíticas (yesos) que podrían estar en profundidad, provocando asentamientos. Su permeabilidad es baja.

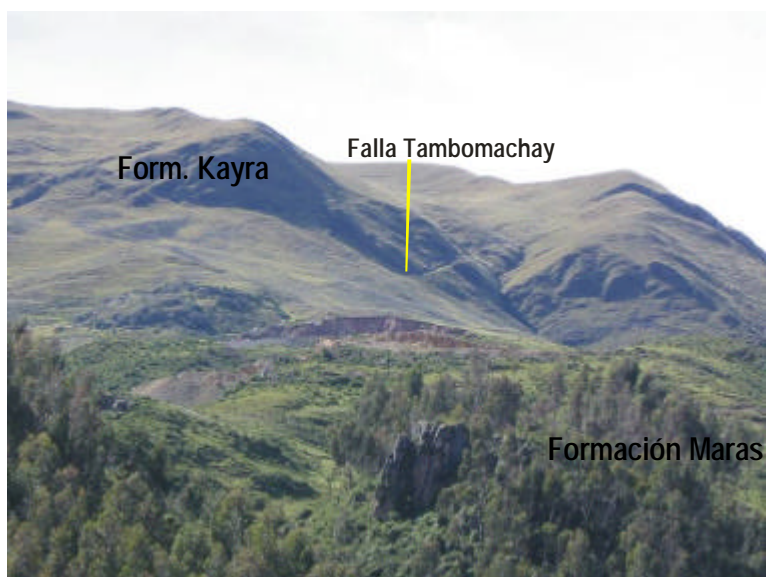


Foto 3. Formación Paucarbamba-Maras en contacto fallado con la Formación Kayra mediante la falla Tambomachay.

3.2. FORMACIÓN AYAVACAS O CALIZAS YUNCAYPATA: Albiano superior-Turoniano (Cretácico inferior)

Afloran como pequeños cuerpos aislados que resaltan en la Meseta de Saqsaywaman (Foto 4). Se trata de calizas grises oscuras, muy fracturadas. Su comportamiento geotécnico es variable dependiendo de su grado de fracturamiento, así pueden variar de muy fracturadas a débilmente fracturadas, teniendo entonces un comportamiento mediocre a bueno, respectivamente. Sin embargo, en algunos casos estos bloques evitan las erosiones laterales causados por los riachuelos, actuando como muros naturales. Su permeabilidad es muy variable, depende igualmente de su grado de fracturamiento, pero en general, en la zona de estudio su permeabilidad es alta, por eso es frecuente encontrar algunos manantes asociados a estos afloramientos.



Foto 4. Afloramientos aislados de calizas.

3.3. FORMACIÓN KAYRA: Eoceno medio-Oligoceno inferior

La Formación Kayra es parte del Grupo San Jerónimo. Aflora al norte de la falla Tambomachay, en las Montañas del Cusco (Foto 3). Está conformada por areniscas feldespáticas, intercaladas con niveles pequeños de lutitas, limolitas y algunos bancos de conglomerados. Su espesor aproximado es de 1000 m.

Su comportamiento geotécnico es bueno (favorable) para la construcción de obras civiles, por su buena capacidad portante. Además, en esta zona, por estar afectada por la falla Tambomachay constituye uno de los acuíferos fisurados más importantes del valle del Cusco. Por ese motivo una gran cantidad de manantes se alinean sobre la falla Tambomachay.

3.4. DEPÓSITOS CUATERNARIOS

La zona de estudio se caracteriza por la presencia de depósitos coluviales, palustres y lacustres, estos últimos en relación a los humedales.

3.4.1. Depósitos coluviales

Están conformados por una mezcla de gravas en una matriz areno limo-arcilloso. Estos son producto del intemperismo, acumulados por la erosión de las pequeñas lomadas y luego depositados en sus laderas (Foto 4).



Foto 4. Depósitos coluviales en las laderas de lomadas.

3.4.2. Depósitos palustres y lacustres

Los depósitos palustres se presentan en los alrededores de la comunidad de Wayllarqocha, muy especialmente en la Qocha 1. Estos depósitos están compuestos por limos, arcillas y materia orgánica, que en conjunto dan una coloración gris plomiza a negra.

Los depósitos lacustres, se encuentran intercalados con los depósitos palustres, tal como se observa en la Qocha 1, mientras que en las qochas 2 y 3, solamente se encuentran depósitos lacustres. Están compuestos por sedimentos no compactos de limos y arcillas y presencia de raicillas, que en conjunto le dan un color marrón.

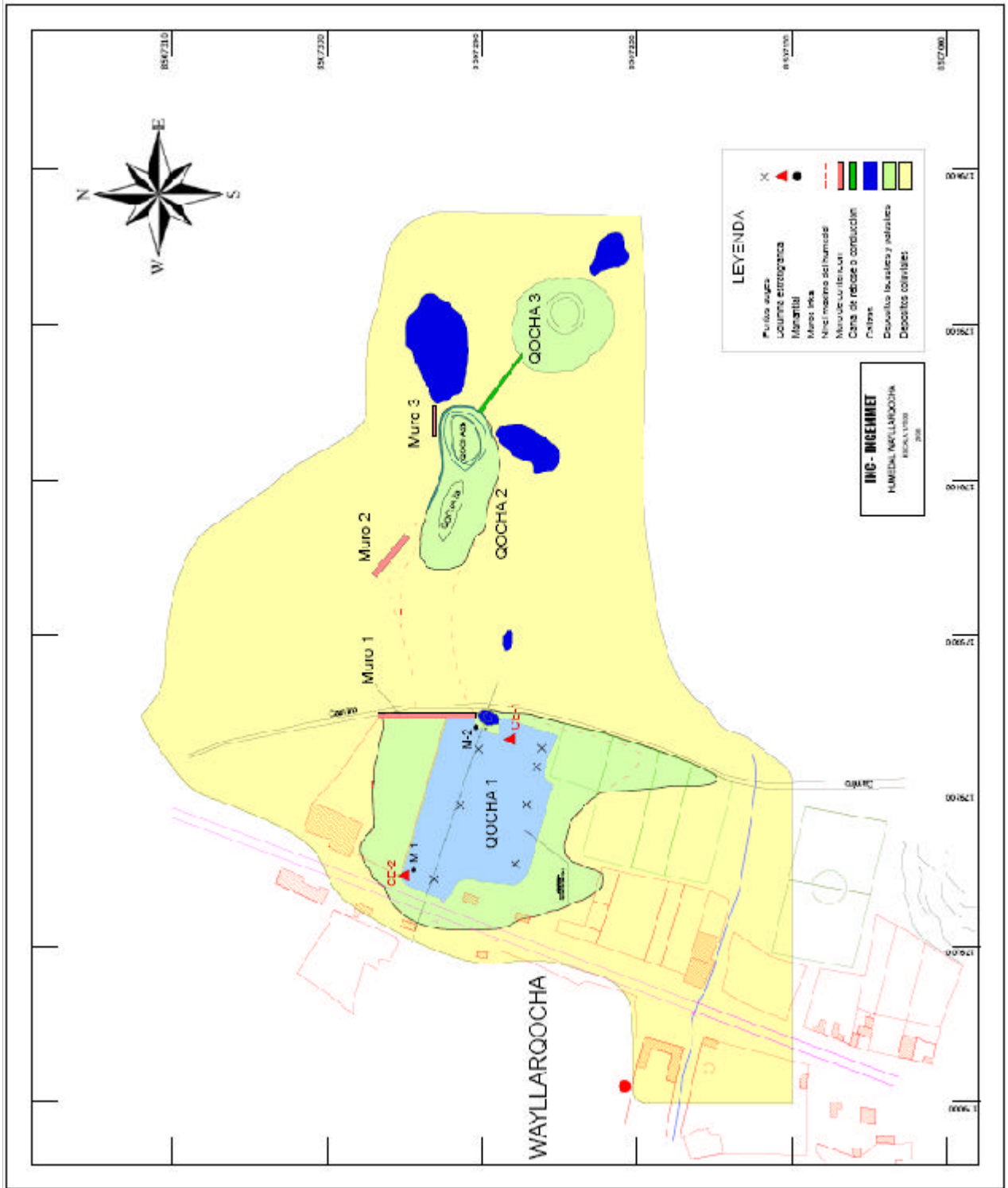


Fig. 4 Mapa geológico de Wayllarqocha.

IV. DESCRIPCIÓN DE LAS QOCHAS

En la zona de estudio se han reconocido 3 qochas o humedales, las que son denominadas Ochoa 1, Ochoa 2 y Ochoa 3 (Fig. 5). Es importante mencionar que la existencia del manante Unuqñawi que provee las aguas en la zona de estudio y que alimentaba las qochas en épocas pasadas.

En la actualidad solamente la Ochoa 1 se halla con algo de agua, mientras que las qochas 2 y 3 están secas, aunque en época de lluvias estas acumulan algo de agua. A continuación se hace una descripción de las qochas, incluyendo la estratigrafía y los análisis edafológicos realizados por el INC-Cusco.

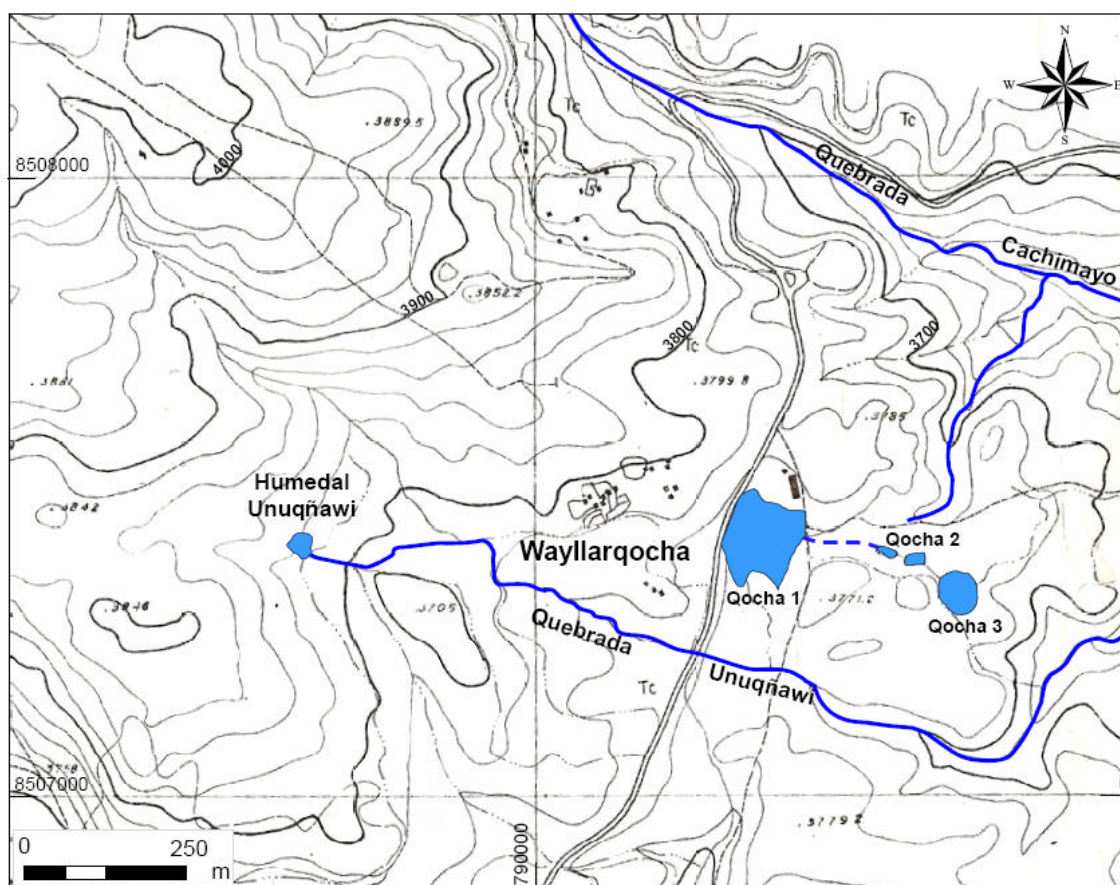


Fig. 5. Ubicación de las qochas y el manante-humedal de Unuqñawi.



Foto 5. Vista aérea de la zona de estudio.

4.1. QOCHA 1

Se encuentra al oeste de la zona de estudio y colinda con la carretera asfalta Cusco-Pisaq. Tiene una forma algo irregular, con un área total aproximada de 1500 m², de los cuales se observa que han sido excavadas 826 m² de material (Fig. 6). Tiene un perímetro de 386.71 m. Esta qocha está siendo excavada y tiene una profundidad que varía de 0.50 a 1 m (Foto 6). En esta qocha se han reconocido dos manantiales de muy poquísimo caudal, uno al extremo NO (M-1) y otro al extremo este (M-2) que está cerca de unos afloramientos de caliza. El poco caudal de estos dos manantes, no habría alimentado permanentemente toda la qocha. Por otro lado, al oeste de la qocha, se ha reconocido un canal inca que la alimentaba (Fig. 7). Este canal traía aguas de los manantes situados del lugar denominado Unuqñawi. Por otra parte, al este de la qocha se ha puesto en evidencia un muro inca, denominado Muro 1 (Fig. 6) que constituye el cierre de la Qocha 1. Luego del cartografiado y las evidencias geológicas, es decir la presencia de arcillas y limos de origen palustre y lacustre; y las evidencias arqueológicas, como la presencia del muro inca que delimita estos depósitos y el humedal actual, se interpreta que se trata de un muro o dique de represamiento. Estas dos observaciones permiten definir que la Qocha 1 es en gran parte artificial y resultado de la tecnología inca. Adicionalmente, este muro era utilizado como parte del camino inca que viene de Cusco y va hacia Tambomachay.

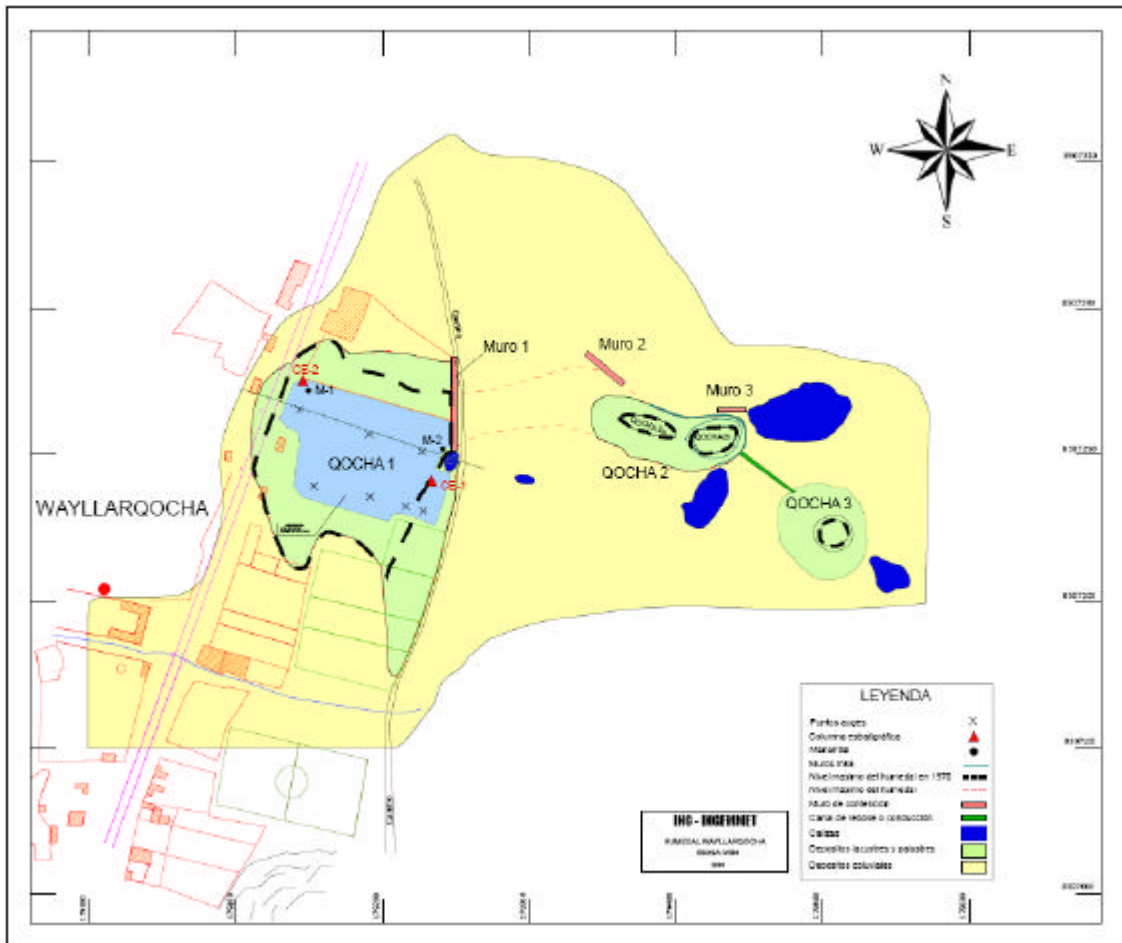


Fig. 6. Ubicación de las qochas, los muros o diques de represamiento y manantes en Wayllarqocha, así como el limite de las aguas en el año 1970



Foto 6. Área excavada de la qocha 1.

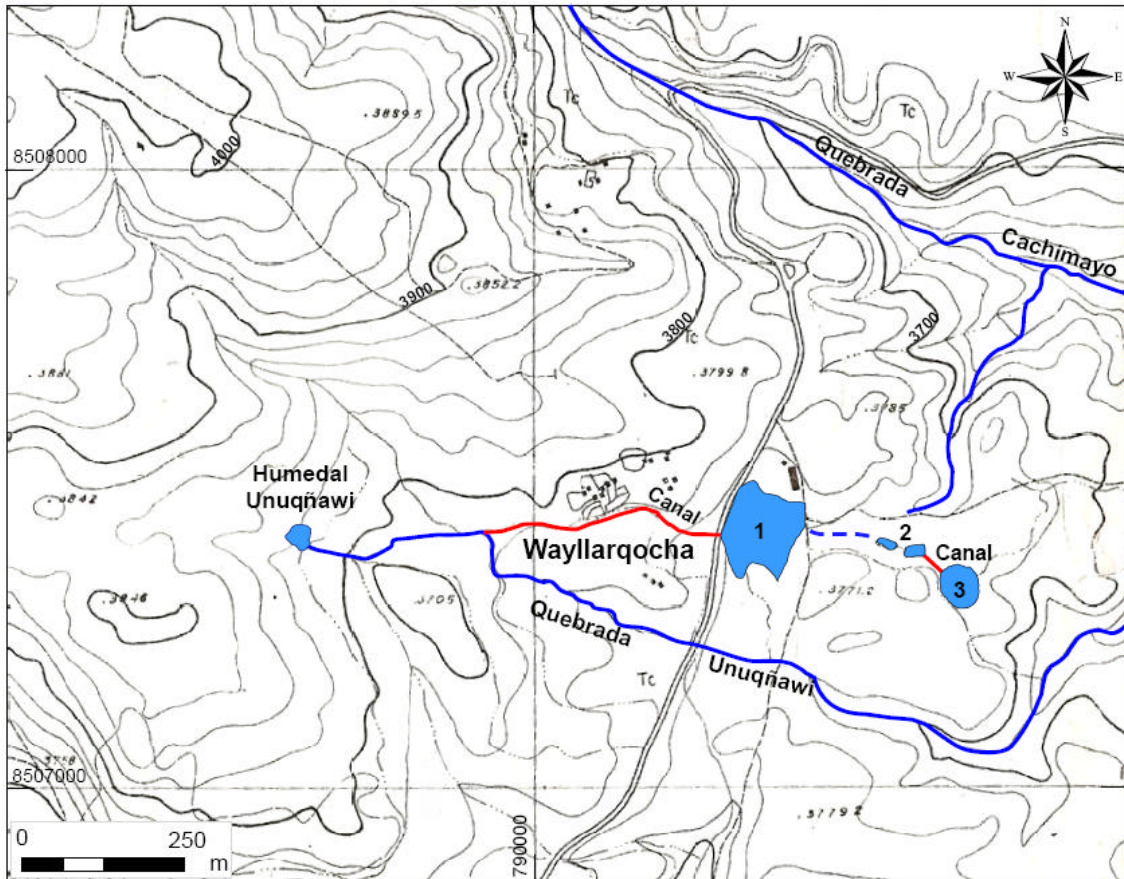


Fig. 7. Canales incas que alimentaban las qochas (en rojo)

4.1.1. Descripción de análisis edafológico-orgánico y geológico de depósitos reciente

El INC-Cusco ha realizado el análisis edafológico y orgánico de dos muestras que a continuación se transcribe:

Muestras del grupo A, formado por 4 capas:

Muestra 1A: Arcilla ploma en forma de barro, con un espesor de 30 cm. En muestra seca se determinó un pH de 8.22, siendo alcalino. No se encontró palinomorfos.

Muestra 2A: Lodo negro con olor putrefacto con una potencia de 15 cm. En seco se trata de un limo arcilloso con presencia de algunas raicillas secundarias y pelos absorbentes. El pH es de 7.92 con tendencia alcalina.

Muestra 3A: Suelo limo arcilloso amarillento de 10 cm de espesor, con presencia de conchilla de gasterópodos de la familia Planorbidae y presencia de carbonatos. En seco el pH es de 8.21 con rango alcalino.

Muestra 4A: Suelo de color marrón de carácter humito con una potencia de 45 cm; compuesto por musgo raicillas y materia orgánica. Al seco se determinó un pH de 7.59 siendo casi neutro.

Muestras del grupo B, formado por 3 capas:

Muestra 1A: Lodo negro con olor putrefacto, con una potencia de 20 cm, siendo una arcilla de color negro, con presencia de algunas raicillas secundarias y pelos absorbentes. En seco tiene un pH de 7.96 con tendencia alcalina.

Muestra 2A: Suelo limo arcilloso de color plomo, de 10 cm de espesor, con presencia de conchillas de gasterópodos de la familia Planorbidae, con buena presencia de carbonatos. Al seco tiene un pH de 7.98 con rango alcalino.

Muestra 4A: Suelo de color pardo oscuro de carácter humito, de 40 cm de espesor, compuesto por raicillas y materia orgánica. Al seco se determinó un pH de 8.07 con rango alcalino y con presencia de carbonatos.

4.1.2. Descripción de cortes estratigráficos

Se ha realizado la descripción de dos cortes estratigráficos en la Qocha 1, aprovechando de la excavación realizada para la recuperación del humedal. El corte estratigráfico 1 caracteriza la parte oriental, mientras que el corte estratigráfico 2 caracteriza la parte occidental de la Qocha 1 (Figs. 4 y 6).

Corte estratigráfico 1 (Coordenada UTM PSD 56: 0179409-8507341)

Se han reconocido 6 capas o estratos de sedimentos (1, 2, 3, 4, 5, 7) (Foto 7), los que son descritos desde el punto de vista geológico. Este corte es representativo de la parte oriental de la qocha (Foto 8) y tiene una profundidad total es de 90 cm. Cabe indicar que la capa 6 no aparece tal como se describe en el corte estratigráfico 2.

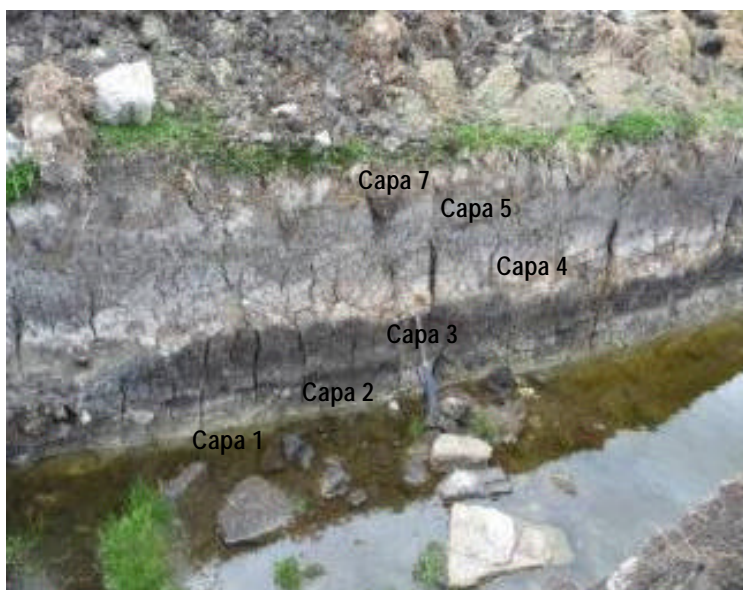


Foto 7 Corte estratigráfico 1, mostrando 6 capas de sedimentos.



Foto 8 Parte oriental de la qocha 1.

Capa 1 (>5 cm ?): Sedimento arcillo limoso de color verde, compacto. Parece ser producto de la erosión de limos, arcillas y calizas de las áreas circundantes.

Capa 2 (15 cm): sedimento arcillo limoso de color negro producto de la descomposición de materia orgánica.

Capa 3 (15 cm): Sedimento limo arcilloso de color plomo oscuro, con presencia de raicillas. Es producto de la descomposición parcial de materia orgánica.

Capa 4 (10 cm): Sedimento limo arcilloso de color blanco amarillento, con presencia de conchillas de gasterópodos con diámetros promedio de 2 mm. En otras secciones correlacionables a esta capa aparecen bloques de caliza de hasta 20 cm de tamaño (Foto 9).

Capa 5 (35 cm): Sedimento limo arcilloso arenoso de color marrón, con presencia de raíces y raicillas.

Capa 7 (10 cm): Capa superior que consta de sedimento limo areno gravoso de color marrón, con presencia de raicillas y materia orgánica reciente diversa, sobre las cuales se desarrolla pastos kikuyo.



Foto 9 Gravas y bloques de roca caliza en la capa 4.

Corte estratigráfico 2 (coordenada UTM PSAD 56: 0179349-8507409)

Se han reconocido 6 capas de sedimentos (2, 3, 4, 5, 6 y 7) (Foto 10) que caracterizan la parte occidental de de la qocha 1 (Foto 11). Cabe indicar que la capa 1 no aparece tal como se describe en el corte estratigráfico 1. La profundidad total es de 1.45 m.

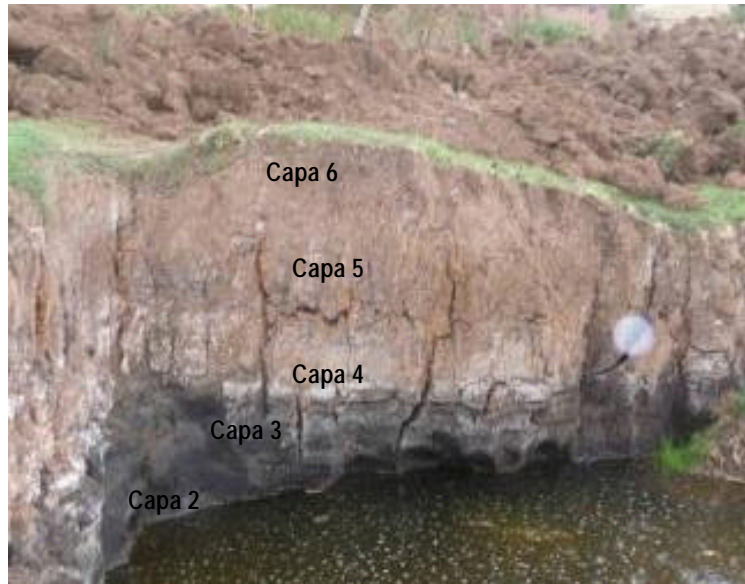


Foto 10. Corte estratigráfico 2, mostrando 5 capas de sedimentos.



Foto 11. Manante M-1 en la parte occidental de la qocha 1.

Capa 2 (>10 cm?): Sedimento arcillo limoso de color negro producto de la descomposición de materia orgánica.

Capa 3 (25 cm): Sedimento limo arcilloso de color plomo oscuro, con presencia de raicillas. Es producto de la descomposición parcial de la materia orgánica.

Capa 4 (10 cm): Sedimento limo arcilloso de color blanco amarillento, con presencia de conchillas de gasterópodos con diámetros menores a 2 mm.

Capa 5 (25 cm): Sedimento limo arcilloso arenoso de color marrón, con presencia de raíces y raicillas.

Capa 6 (55 cm): Depósito coluvial, compuesto por sedimento arcillo limo-gravoso de color marrón rojizo, tiene presencia de raicillas y además algunos bloques de caliza de diámetro mayor de 10 cm.

Capa 7 (10 cm): Capa superior que consta de sedimento limo areno gravoso de color marrón, con presencia de raicillas y materia orgánica reciente, sobre las cuales se desarrolla pastos de kikuyo.

Del análisis de estos dos cortes se muestra que las capas 2, 3, 4 son características de depósitos palustres (pre inca?), mientras que la capa 5 es característico de depósitos lacustres (inca?), mientras que la capa 6 y 7 son de origen coluvial muy reciente (post inca?). La capa 1 son sedimentos finos carbonatados que indicarían la proximidad en profundidad de la roca madre.

4.1.3. Descripción de diseño inca de la Oocha 1

La Oocha 1 se encuentra dentro de los límites de la comunidad de Wayllarqocha, al este de la carretera Cusco-Pisaq (Figs 4, 5, 6 y 7; Foto 12). En el presente acápite se explica el diseño de construcción de este vaso realizado por los incas.



Foto 12. Vista panorámica de la comunidad de Wayllarqocha, el humedal o Oocha 1 y el muro o dique de contención 1.

La zona de Wayllarqocha está conformada por pequeñas colinas y depresiones, particularmente la depresión donde se ha desarrollado la Oocha 1. Sin embargo, antes de la intervención inca esta depresión era abierta y dejaba circular la escasa presencia de aguas que se hacía importante solo en época de lluvias. Para poder desarrollar un verdadero humedal se tuvieron que hacer dos obras importantes, uno el traer las aguas del manante Unuqñawi y dos, construir una obra de contención (Figs 4 y 6). En efecto hacia el este de la qocha se observa una estructura de bloques labrados de roca caliza con dimensiones menores a 40 cm (Foto 13), en una longitud de 63.60 m lineales y un ancho de 4 m, que en realidad se trata de un muro o dique de represamiento (Foto 14). Está construida desde una colina ubicada al norte (Foto 15) y llegando en la dirección sur, hasta un afloramiento de calizas denominado Waca. Estas calizas presentan estratos con rumbo y buzamiento N-S y 50 grados al este (Foto 16). La parte baja de la Waca está enchapado con bloques labrados de roca caliza (Foto 17) con el fin de impermeabilizar este afloramiento para evitar la infiltración de las aguas del humedal, pero que también según los arqueólogos tenía fines rituales.



Foto 13. Grandes bloques labrados de roca caliza en la parte baja del muro de represamiento.



Foto 14. Muro o dique que represó la qocha 1.



Foto 15. Parte norte del muro de represamiento.



Foto 16. Afloramiento de caliza denominado Waca.



Foto 17. Waca enchapado con bloques labrados de caliza.

El muro o dique (Muro 1) cuenta con un conducto de rebose (Foto 18) que se encuentra a 42.60 m, medido desde la Waca. Este conducto permitía el paso del agua que rebosaba el humedal, y lo llevaba hacia las cabeceras de las quebradas A y B que, a su vez fueron también represadas, para que se desarrolle otro humedal, la Qocha 2 (Figs 6 y 7).

Sobre el dique de represamiento y a lo largo del eje se ha realizado un relleno compuesto de bloques de rocas con dimensión mayor hasta de 0.20 x 0.50 m, envueltos en una matriz limo arcillosa, en una altura promedio de 0.70 m, sobre la cual se tiene un empedrado con bloques de roca caliza sin ningún orden, pero que tienen una dimensión promedio de 0.15 x 0.10 m (Foto 19). Cabe indicar que este relleno corresponde a un camino inca, es decir que este muro-dique tenía doble función, por un lado represaba las aguas para formar la Qocha 1, y por otro lado, era utilizada como parte del camino inca Qhapaqñan que pasaba por este sector.

De acuerdo a las observaciones geológicas, geomorfológicas y geotécnicas este vaso debió tener una profundidad de alrededor 1 m, sin embargo, los incas debieron hacer también muros alrededor de la qocha especialmente hacia el límite sur, razón por la cual se recomienda hacer sondeos arqueológicos o geofísicos en los alrededores. Esta característica de resguardo (muros de contención) en otras construcciones fue con el fin de evitar la erosión de las aguas, así como la de impermeabilizar y proteger los bordes, es común en las qochas 2 y 3.



Foto 18. Canal de rebose de aguas.



Foto 19. Camino con pequeños bloques de roca caliza en una matriz limo arcilloso.

4.2. QOCHA 2

Se encuentra ubicada al este de la Qocha 1. Se trata de una depresión alargada ovalada de dirección E-O y era la naciente de la Quebrada B y a la vez afluente de la Quebrada A (Fig. 8).

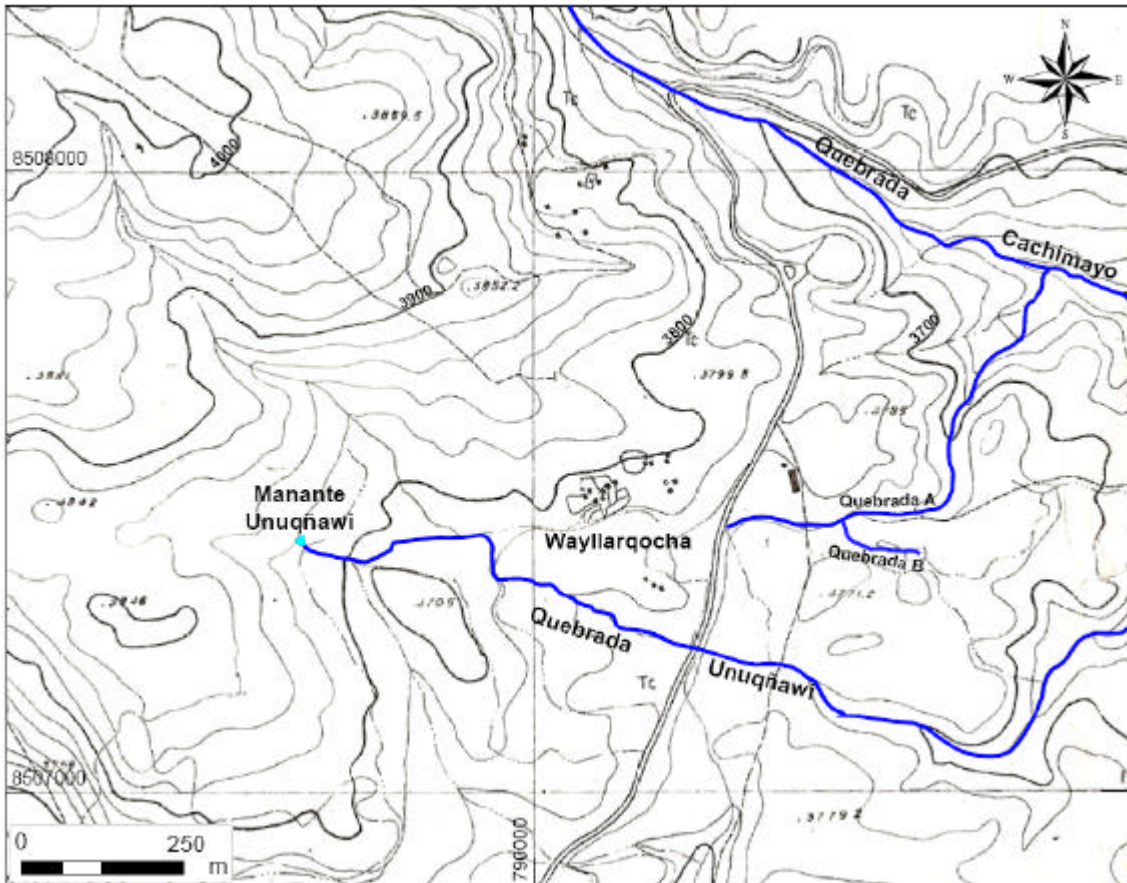


Fig. 8. Reconstrucción de las quebradas particularmente A y B antes de la intervención inca

En las fotografías aéreas del año 1970, en esta depresión, se observan dos acumulaciones de agua a manera de pequeñas lagunas, una de dimensión 40x10 m y la segunda de dimensión 30x18 m (Fig. 6). Sin embargo, las evidencias de campo y los restos de depósitos cuaternarios, indican que esta depresión estuvo colmatada por una sola laguna con dimensiones promedio de 150 x 35 m y una altura menor a 1.5 m (Fig. 6).

En la actualidad esta depresión se halla cubierta por depósitos coluviales y pastos de kikuyo. Si bien no se han realizado estudios de análisis edafológico y orgánico, tampoco la descripción de estratigráfica, sin embargo, en los pocos cortes se ha podido identificar que el fondo de la cubeta, está conformado por sedimentos limosos, de color rojo y de origen lacustre (Foto 20).

En la actualidad esta depresión acumula pequeño volumen las aguas pluviales en época de lluvias (Fotos 21 y 22). Si bien por ser cabecera de la Quebrada B esta depresión acumulaba aguas en época de lluvias y formaba pequeños humedales, fueron las obras de los incas que cerraron las quebradas para poder acumular más cantidad de agua y formar una sola laguna o qocha.



Foto 20. Sedimentos de color rojo en la Qocha 2.



Foto 21. Vista panorámica hacia el este de la Qocha 2.



Foto 22. Vista panorámica hacia el oeste de la Qocha 3.

4.2.1. Descripción de diseño inca de la Ochoa 2

De acuerdo a las reconstrucciones de la red hidrográfica de la esta zona, la Quebrada B era afluente de la Quebrada A (Fig. 8). Los incas aprovecharon esta configuración y cerraron la naciente de la Quebrada A mediante un muro o dique (Muro 2) (Fig. 9), para formar una depresión uniendo las dos cabeceras de las quebradas A y B (Foto 23). Además para que esta depresión pueda almacenar mayor cantidad de agua construyeron otro muro en la quebrada B (Muro 3). Además, los incas realizaron obras circulares para poder estabilizar los bordes y un canal de derivación o rebose hacia un tercer represamiento que lo denominamos Qocha 3 (Fig. 9).

El dique o Muro 2 es de tierra, en algunas partes se nota un alineamiento de piedras labradas. Este dique tiene una longitud de 33 m y un ancho de 6 m (Foto 24), donde se tiene la presencia de bloques de roca caliza en superficie, por lo que esta estructura debió estar enchapada con roca. Tuvo la finalidad de cerrar el paso de las aguas provenientes de la Qocha 1 y de represar las aguas de lluvia para formar la laguna.

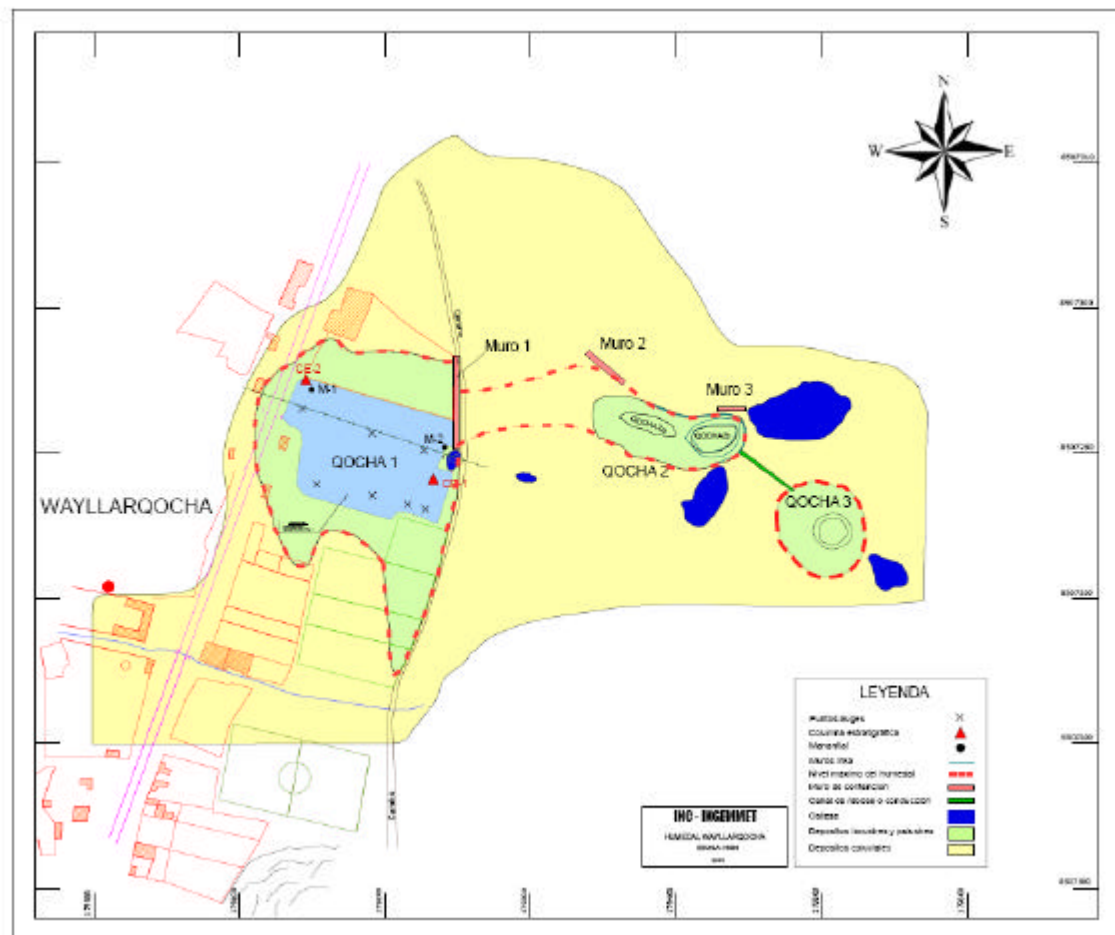


Fig. 9. Mapa mostrando las qochas y la posible extensión máxima de agua en la época inca



Foto 23. Depresiones de las quebradas A y B pertenecientes a la Qocha 2A y Qocha 2B.



Foto 24. Dique de tierra, Muro 2 (en rojo) al norte de la Qocha 2A.

Por otro lado, en la lomada que sigue al muro 2 se observa un desnivel por corte artificial de ladera por los incas y que luego fueron enchapados con bloques labrados de roca caliza (Foto 25), sin embargo es necesario investigar si este desnivel pudo tener un origen subsidente o de asentamiento (Foto 26).

La depresión este de la Qocha 2 (Qocha 2B) también tiene un dique de tierra (Muro 3) que tuvo la función de evitar la fuga de agua al formarse la laguna. Es por esto que se halla a mayor altura. Otra cosa que se puede apreciar, es que esta parte de la depresión ha sido excavada, por eso tiene una forma circular (Foto 27) lo que permitía la mayor acumulación de las aguas. El Muro 3 tiene una longitud de 19 m por un ancho de 12 m (Foto 28). Por la presencia de bloques de roca caliza alineadas en algunos sitios, esta depresión debió estar enchapada con bloques labrados de roca.



Foto 25. Al norte de la Qocha 2A, desnivel enchapado con bloques de roca caliza.



Foto 26. Escarpa de posible asentamiento al norte de la Qocha 2A.



Foto 27. Al fondo la Qocha 2B, estructura circular con vestigios de excavación inca.

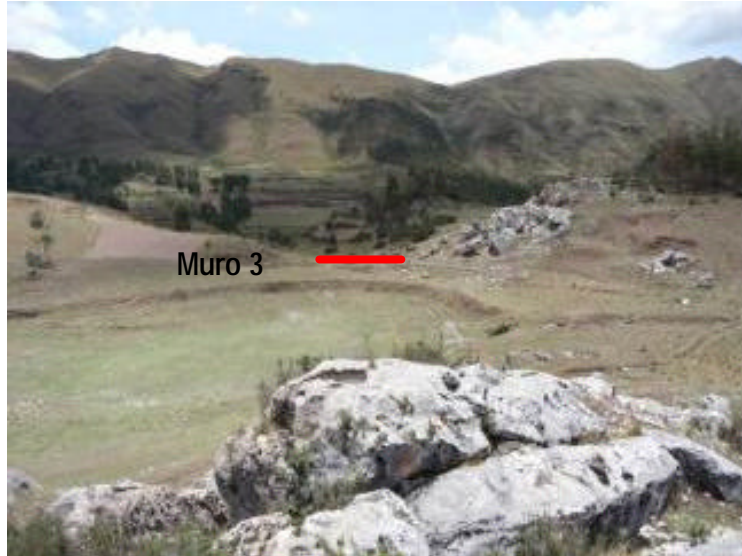


Foto 28. Dique de tierra (Muro 3) construida al norte de la Qocha 2B.

Al este de la depresión existe un conducto-canal que comunica la Qocha 2 con la Qocha 3 (Foto 29 y 30), tal como se observa actualmente (Fig. 9). Este conducto debió servir como canal de rebose y conducción de las aguas cuando se llenaba la Qocha 2, para tratar de aprovechar al máximo el almacenamiento lo que seguramente ocurrió en la época inca (Fotos 31 y 32).



Foto 29. Vista panorámica de la depresión 2 y hacia el este se ubica el canal de desfogue.



Foto 30. Canal de conducción entre la Qocha 2 y Qocha 3.



Foto 31. Huellas del canal de conducción de la Qocha 2 a la Qocha 3.



Foto 32. Canal de conducción orientada hacia el este, al fondo la qocha 3.

4.3. QOCHA 3

Se encuentra ubicada al este de la Qocha 2. Es una depresión que tiene una forma ovalada casi circular (Foto 33). En las fotografías aéreas del año 1970 se observa que esta depresión tenía agua a manera de una pequeña laguna (Figs. 6, 7 y 9). Las dimensiones de la depresión son de 20 y 24 m de diámetro menor y mayor respectivamente, para la parte interna y aproximadamente 50 m para la parte externa. La forma casi circular de esta depresión no es natural sino hecha por los incas, como se verá más adelante.

En esta Qocha 3 no se han realizado estudios edafológicos ni cortes estratigráficos debido a que se encuentra cubierta por depósitos coluviales (Fotos 34 y 35) y pastos de kikuyo. Sin embargo, por observaciones de campo se ha podido identificar, en el fondo, sedimentos limosos de color rojo de origen lacustre (Foto 36).



Foto 33. Qocha 3, mostrando depresiones circulares.



Foto 34. Depósitos coluviales en los bordes de la Qocha 3.



Foto 35. Depósitos coluviales en las laderas de la Qocha 3.



Foto 36. Sedimentos finos rojos de la Qocha 3.

a. Descripción de diseño inca de la qocha 3

La Qocha 3 es una depresión de forma circular de aproximadamente de 50 m de diámetro máximo (Foto 37). Esta depresión almacenó aguas provenientes del rebose de la Qocha 2 mediante un canal, y además las aguas de lluvias. Esta depresión circular es obra del hombre lo que se corrobora por dos estructuras circulares menores, en la parte central. Estas estructuras circulares circunscritas de 20 y 24 m de diámetro (Fotos 38 y 39) tienen en sus bordes bloques labrados aislados de roca caliza (Foto 40).



Foto 37. Vista panorámica de la Qocha 3.



Foto 38. Bordes circulares de la Qocha 3.



Foto 39. Qocha 3 mostrando depresiones circulares circunscritas.



Foto 40. Algunos bordes enchapados con roca caliza

V. HIDROGEOLOGÍA

Se ha realizado la evaluación hidrogeológica del humedal de Wayllarqocha denominado Qocha 1 y del manante Unuqñawi cuyas aguas alimentaran al humedal, para este efecto se ha contado con trabajos de campo y gabinete.

Como se vio anteriormente la geología de la zona de estudio está caracterizada por la presencia de limolitas, lutitas, yesos y calizas del Grupo Yuncaypata. Sobre este substrato se tiene las arcillas y limos lacustres y palustres de la Qocha 1. Estos sedimentos tienen más bien un comportamiento de roca sello o estratos impermeables, sin embargo se hallan saturados de agua.

5.1. CARACTERÍSTICAS HIDROQUÍMICAS DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

El análisis químico ha tenido como objeto determinar los cationes y aniones mayoritarios fundamentales del agua subterránea en la cuenca a fin de determinar el origen y tipo de acuífero, junto con sus características físicas y químicas globales más importantes.

Se tomaron medidas de salinidad, conductividad eléctrica y temperatura de aguas en la Qocha 1 (M-2) (Fig. 6 y Foto 41) y en el manante Unuqñawi (M-3) (Fig. 5 y Fotos 42 y 43). Para medir el aforo del manante Unuqñawi, se tomaron medidas en un riachuelo cerca al manante, utilizando un recipiente (balde) y un cronometro, para lo cual se hicieron varias medidas (Foto 44). Para los valores de salinidad, conductividad eléctrica y temperatura se tomaron datos in situ en tres puntos, utilizando un equipo portátil llamado conductivimetro del Centro Guaman Poma de Ayala.

a) Manante M-2 (Qocha 1) (Coord. UTM: 0179237-8507003)

Salinidad	=	957 mg/l CaCO ₃
Conductividad Eléctrica	=	1912 Micromhos/cm
Temperatura	=	17.2 °C

b) Manante Unuqñawi (Coord. UTM: 0178437-8507023.)

Salinidad	=	1.08 g/l CaCO ₃
Conductividad Eléctrica	=	2.12 ms = 2120 Micromhos/cm
Temperatura	=	11.8 °C

c) Riachuelo cerca al manante Unuqñawi (Coord. UTM: 0178771-8506969)

Caudal	=	2.27 lt/seg
Salinidad	=	1.22 g/l CaCO ₃
Conductividad Eléctrica	=	2.43 ms = 2430 Micromhos/cm
Temperatura	=	13.9 °C

En general, los valores de salinidad y conductividad son relativamente altos. Esto nos indica que estas aguas son provenientes de acuíferos muy altos en sales donde existe la presencia de rocas calizas; además las temperaturas de 11.8 °C y 13.9 °C indican que la infiltración del agua subterránea tiene un corto recorrido y son aguas frías; la temperatura de 17.2°C indica una muy ligera infiltración y corto recorrido de percolación que tuvieron esta aguas y son aguas normales.



Foto 41. Medidas con el conductivímetro portátil en el manante 2 (Qocha 1).



Foto 42. Manante Unuqñawi (M-3).



Foto 43. Humedal Unuqñawi.



Foto 44. Medida de aforo cerca del manante Unuqñawi.

5.3. ANALISIS FÍSICO QUÍMICO DE LAS AGUAS DEL HUMEDAL QOCHA 1

Para los estudios e interpretaciones físico-químicas y bacteriológicas se han tomado los datos de 4 muestras del humedal de Wayllarqocha (Qocha 1). De acuerdo a la cartografía llevada a cabo estas muestras provienen de las fuentes denominada M-1 y M-2 (Fig. 6). Las 4 muestras han sido analizadas en el Departamento físico-químico del Instituto Nacional de Cultura Cusco (Dirección de Investigación y Catastro) el 05 de Junio del 2008.

En estos análisis se determinaron elementos iónicos mayoritarios disueltos del agua (cationes: calcio, magnesio, sodio-potasio y aniones: bicarbonatos, sulfatos y cloruros, cuyas concentraciones se encuentran en mg/lit), también se determinó el pH, la dureza (CaCO_3) en grados Farenger, conductividad eléctrica (micromhos/cm) y la cantidad total de sólidos disueltos

en ppm (Cuadros 1 y 2). Estos parámetros nos permiten determinar si la calidad físico química del agua es apta o no para el consumo doméstico y de riego.

De los resultados obtenidos en el análisis de muestras se tienen las siguientes interpretaciones y fueron graficados en los Diagramas Logarítmicos de potabilidad (1-A, 2-A, 3-A y 4-A), con el objetivo de definir el grado de potabilidad para ver el cálculo de las relaciones características en los cationes (Ver Anexo)

Cuadro 1. Composición química de las aguas en mg/l

N°	Nombre de la Fuente	Cationes					Aniones			S.D.	C.E.	PH	DUREZA
		Ca	Mg	Na	K	Fe	HCO ₃	SO ₄	Cl				
										mg/l	Micro mhos/cm		
1	1 - A	203.1	189.5	338.0			462.9	590.3	387.6	198	399	8.20	1032.7
2	2 - A	434.5	404.6	658.1			900.2	1257.9	770.4	376	758	7.92	2107.4
3	3 - A	1700.9	1555.5	2142.			2901.6	4928.4	256935	1230	2430	8.21	7543.4
4	4 - A	1657.1	1518.8	2099			2845.8	4804.9	2516.5	1180	2400	7.95	7370.7
POTABILIDAD													
	Máx. Recomendado	75	125	120			310	200	200	500		7-8.5	
	Máx. Permisible	200	125	230		0.3	620	400	600	1500	1.500	6,5-9,2	500

Cuadro 2. Composición química de las aguas en unidades absolutas.

Fuente	CATIONES (meq/l)				ANIONES (meq/l)		
	Ca	Mg	Na	K	HCO ₃	SO ₄	Cl
1 - A	10.16	15.79	14.69		7.59	12.29	10.92
Total	40.64				30.80		
2 - A	21.63	33.72	28.61		14.76	26.21	21.70
Total	83.96				62.67		
3 - A	85.0	129.62	93.13		49.60	80.79	72.37
Total	307.75				202.76		
4 - A	82.85	126.56	91.29		46.65	100.10	70.88
Total	300.7				217.63		

Con los resultados obtenidos y convertidos en meq/l la suma de los cationes y aniones, no son iguales, en ninguna de las muestras. Esta diferencia refleja que las muestras probablemente tenga un ligero grado de error, que procede de los análisis efectuados en el laboratorio o de la toma de muestra en el campo, donde puede influir la temperatura ambiental. Sin embargo, no se encuentran dentro de un rango permisible.

5.4. CLASIFICACIÓN DE LAS AGUAS

La clasificación de aguas se hace por el establecimiento del porcentaje de cada elemento en relación a la concentración en equivalente (Cuadro 3).

Cuadro 3. Composición química de las aguas en porcentajes.

Fuente	CATIONES (%)				ANIONES (%)		
	Ca	Mg	Na	K	HCO ₃	SO ₄	Cl
1 - A	14.22	21.26	20.56		10.62	17.20	15.29
Total	56.04				43.11		
2 - A	14.75	22.99	19.51		10.07	17.87	34.63
Total	57.25				62.57		
3 - A	16.63	25.39	18.24		9.72	15.82	14.17
Total	60.28				39.71		
4 - A	15.98	24.42	17.61		9.00	19.31	13.67
Total	58.01				41.98		

A partir del cuadro 3, se realiza las comparaciones de aniones y de cationes, los que se basan esencialmente en el establecimiento de la fórmula iónica.

Formulas iónicas

Esta clasificación se ha realizado teniendo en cuenta la concentración de sólidos disueltos en mg/l:

1 - A	SO ₄ > Cl > HCO ₃	Mg > Na > Ca
-------	---	--------------

Agua sulfatada magnésica, clorurada sódica. Dulce

2 - A	Cl > HCO ₃ > SO ₄	Na > Ca > K
-------	---	-------------

Agua clorurada sódica, bicarbonatada cálcica. Dulce

3 - A	HCO ₃ > Cl > SO ₄	Ca > Na > Mg
-------	---	--------------

Agua bicarbonatada cálcica, clorurada sódica. Salobre

4 - A	SO ₄ > HCO ₃ > Cl	Ca > Mg > Na
-------	---	--------------

Agua sulfatada cálcica, bicarbonatada magnésica. Salobre

Los aniones predominantes en las muestras, el cloruro y sulfato, vienen probablemente del lavado de los terrenos limosos, estos aniones proceden también del intercambio iónico con las arcillas que forman el techo del acuífero. El ion bicarbonato viene de la hidrólisis del silicato, en presencia del CO₂.

5.5. GRADOS HIDROMÉTRICOS Y DUREZA DEL AGUA

El análisis de la hidrometría y dureza del agua, sirve para recomendar el uso al que puede ser destinado (Cuadros 4 y 5).

Cuadro 4. Hidrometría y dureza del agua.

MUESTRA	SALINIDAD ppm CaCO ₃	DUREZA TOTAL mg/lit CaCO ₃	pH	SOLIDOS DISUELTOS ppm	GRADOS FRANCESES °F
1 - A	0.39	1032.37	8.20	198	103.24
2 - A	0.76	2107.4	7.92	376	210.74
3 - A	2.43	7543.4	8.21	1230	754.34
4 - A	2.40	7370.7	7.95	1180	737.07

Agua para uso domestico

Cuadro 5. Rangos de variación de dureza.

CATEGORÍA	RANGOS DE VARIACION	MUESTRAS
Blanda	0 - 50	
Dura	50 - 90	
Muy Dura	90	1-A, 2-A, 3-A y 4-A

Fuente: Hidrogeología Práctica (José Luis Pulido, 1978).

Atendiendo a esta clasificación de dureza las aguas del humedal de Wayllarqocha son Muy duras, no son recomendables para el uso domestico.

5.6. DIAGRAMA LOGARITMICO DE POTABILIDAD (ver Anexo, diagramas logarítmicos de potabilidad de agua).

Muestra 1-A

El ion calcio, magnesio, Dureza en grados Farenger, sodio, cloruro y sulfato, se encuentra dentro del rango de **Mediocre** para potabilidad. Los bicarbonatos con una suma de valores de 462.9 mg/lit se encuentran dentro de la clasificación **Aceptable**. El pH tiene un valor de 8.20 y se encuentra dentro del límite de **Potabilidad Buena**, pero este parámetro puede variar en función del lugar, ambiente climático y al transporte de la muestra.

Muestra 2-A

El ion calcio, magnesio, Dureza, sodio, cloruro y sulfato, se encuentra dentro del rango de **Mala** para potabilidad. Los bicarbonatos con una suma de valores de 900.2 mg/lit se encuentran dentro de la clasificación **Mediocre**. El pH tiene un valor de 7.92 y se encuentra dentro del límite de **Potabilidad Buena**,

Muestra 3-A

El ion calcio, magnesio, Dureza, sodio y sulfato, se encuentra dentro del límite **No Potable** para potabilidad. El cloruro y bicarbonatos se encuentran dentro de la clasificación **Mala a Muy Mala**. El pH tiene un valor de 8.21 y se encuentra dentro del límite de **Potabilidad Buena**.

Muestra 4-A

El ion calcio, magnesio, Dureza, sodio y sulfato, se encuentra dentro del límite **No Potable** para potabilidad. El cloruro y bicarbonatos se ubican dentro de la clasificación **Mala a Muy Mala**. El pH tiene un valor de 7.95 y se encuentra dentro del límite de **Potabilidad Buena**.

5.7. ANALISIS BACTERIOLÓGICO

Este análisis se ha realizado en las 4 muestras del humedal de Wayllarqocha y de acuerdo a los resultados del análisis bacteriológico realizados en el GOBIERNO REGIONAL DEL CUSCO (Dirección Regional de Salud del Cusco-Dirección Ejecutiva de Salud Comunitaria – Dirección Ambiental) y según los parámetros establecidos por la Organización mundial de la salud (OMS); estas aguas se encuentran con contaminación fecal, lo cual es frecuente en este tipo de manantiales, de corto recorrido después de la infiltración.

Para el tratamiento de los organismos coliformes fecales se requiere cloración o desinfección permanente y así poder eliminarlos los microorganismos patógenos que se encuentran el agua y utilizar la fuente para consumo humano.

5.8. AGUA PARA USO AGRÍCOLA

En general, el análisis de una muestra de agua será insuficiente para dictaminar sobre su posible utilización para riego puesto que, además, deben considerarse otros factores, como son la permeabilidad y calidad del suelo, tipo de cultivo, sistemas de riego, etc.

Existen muchas clasificaciones establecidas para las aguas destinadas al riego, exponiendo por su generalidad las que definen el índice SAR (Cuadro 6) y el coeficiente salino (índice de Scott).

La clasificación establecida se basa en las siguientes características:

a.- La concentración total de sales solubles expresadas mediante la conductividad eléctrica, en micromhos por cm a 25 °C.

b.- La concentración relativa del sodio con respecto al calcio y magnesio, denominada índice SAR, es la siguiente:

$$\text{SAR} = \frac{r\text{Na}}{(\sqrt{(r\text{Ca}+r\text{Mg})/2})} \quad r = \text{meq/l}$$

SAR= Sodium adsorption ratio

Cuadro 6. Clasificación de la US Salinity Laboratory Staff. Índice SAR

	rNa meq/lt	rCa meq/lt	rMg meq/lt	SAR	C.E Micromho/cm	Clasif.
1 - A	14.69	10.16	15.79	4.08	399	C2-S1
2 - A	19.51	21.63	33.72	3.71	376	C2-S1
3 - A	93.13	85	129.62	8.99	1230	C3- S1
4 - A	91.29	82.85	126.56	8.91	1180	C3-S1

De acuerdo con el diagrama de clasificación de las aguas para el riego según el procedimiento del US Salinity Laboratory Staff; las muestras analizadas indican ser de la categoría C2-S1 y C3-S1 para las dos muestras, cuyas características de conductividad (C) y peligro de alcalinización del suelo (S) indican:

C2.- Agua de salinidad media a moderada con conductividad entre 250 y750 micromhos/cm (399 y de 376 micromhos/cm para las 2 primeras muestras a 25°C correspondiendo aproximadamente a 198 y 376 mg/lt de sólidos disueltos. Puede usarse en riego de todas las plantas, excepto en las más sensibles, siempre que la permeabilidad de los suelos sea de

elevada a media. Con los suelos de poca permeabilidad, habrá que tener algunas precauciones con los lavados y a veces habrá que seleccionar plantas de mediana tolerancia. Generalmente es suficiente para el lavado del riego ordinario. Esta conductividad corresponde a 160-480 mg/l.

C3.- Agua de salinidad media a elevada con conductividad de 750 a 2,250 micromhos/cm y 2430 a 2400 micromhos/cm para las dos últimas muestras a 25°C; correspondiendo aproximadamente a 1230 y 1180 mg/lit de sólidos disueltos. Debe usarse únicamente en los suelos de permeabilidad moderada a buena. Serán necesarios lavados regulares a menudo para evitar una salinización elevada. A menudo, es preciso, la realización de prácticas especiales para el control de la salinidad y deberán elegirse plantas con tolerancia a la salinidad de moderada a buena. Esta conductividad corresponde a 480- 1440 mg/l

S1.- Agua baja en sodio. Puede usarse en la mayoría de los suelos con escasas posibilidades de alcanzar elevadas concentraciones de sodio intercambiable. Por otro lado, la clasificación para usos agrícolas califica a estas aguas como aptas para regar la mayor parte de los cultivos en casi todos los suelos. En este caso se puede cultivar las plantas moderadamente tolerantes a las sales.

Clasificación de las aguas de riego según dureza en grados hidrotimétricos Franceses.

Cuadro 5. Rangos de variación de dureza

TIPO DE AGUA	GRADOS HIDROTIMETRICOS FRANCESES
Muy Blanda	< de 7
Blanda	7 - 14
Semi Blanda	14 - 22
Semi Dura	22 - 32
Dura	32 - 54
Muy Dura	+ de 54

Atendiendo a esta clasificación de dureza, las aguas del humedal Wayllarqocha, son Muy Duras para fines agrícolas y consumo domestico.

5.9. SONDEOS EN WAYLLARQOCHA

Con el fin de conocer al detalle la estratigrafía del subsuelo de la Qocha 1 y ver sus características hidrogeológicas, se ha realizado 6 pruebas de penetración con el perforador AUGER MANUAL (Cuadro 6), en los puntos que se muestran en las figuras 4, 6 y 9.

Cuadro 6. Ubicación de pozos.

Nº de Pozo Perforado	Profundidad (m)	Nivel freático (m)	Nivel piezométrico (m)	Coordenadas UTM
P - 1	1.00	0.40	0.10	0179233 - 8507000
P - 2	1.35	0.75	0.30	0179190 - 8507015
P - 3	3.35	1.35	1.45	0179140 - 8507025
P - 4	3.70	1.30	1.50	0179139 - 8506985
P - 5	1.45	0.30	0.25	0179170 - 8506975
P - 6	1.45	0.70	0.90	0179209 - 8506967

DESCRIPCIÓN ESTRATIGRÁFICA DE LAS PERFORACIONES

El área del humedal estratigráficamente consta de sedimentos limosos, arcillas y turbas, las arcillas se presentan de diferentes colores (Fig. 10).

PUNTO N° 01:

GPS: 0179233-8507000

FECHA: 25/11/08

NIVEL FREÁTICO: 0.40 m

PROFUNDIDAD: 1.00m

ELEMENTO: Auger Manual

Primer Horizonte: De 30 cm de espesor, material arcilla de coloración gris claro negro verdusco.

Segundo Horizonte: De 10 cm de espesor, material limo arcillo arenoso de coloración gris claro blanquecino.

Tercer horizonte: De 60 cm de espesor, material arcilla de coloración verde amarillenta.

PUNTO N° 02:

GPS: 0179190-8507015

NIVEL FREÁTICO: 0.55 m

PROFUNDIDAD: 1.35 m

ELEMENTO: Auger Manual

Primer horizonte: De 35 cm de espesor, contiene arcilla limosa de coloración gris verdusco, con jaspes de arcilla negra, presencia de raíces.

Segundo horizonte: De 30 cm de espesor, contiene turba saturada de agua, con presencia de raíces.

Tercer horizonte: De 20 cm de espesor, arcilla de coloración gris verde blanquesina, con escasa presencia de raíces.

Cuarto horizonte: De 30 cm de espesor, arcilla de coloraciones gris verde amarillenta.

Quinto horizonte: De 20 cm de espesor, arcilla limosa de coloración gris verde amarillenta.

PUNTO N° 03:

GPS: 0179140-8507025

NIVEL FREÁTICO: 0.95 m

PROFUNDIDAD: 2.95 m

ELEMENTO: Auger Manual

Primer horizonte: De 40 cm de espesor, contiene turba, de coloración castaño marrón, con presencia de abundante raíces.

Segundo horizonte: De 1.30 m de espesor, turba negra a pardo amarillento, saturada de agua.

Tercer horizonte: De 50 cm de espesor, arcilla de coloración verdosa con presencia de restos de plantas de coloración parda rojiza.

Cuarto horizonte: De 40 cm de espesor, arcilla de coloración gris claro pardusco.

Quinto horizonte: De 35 cm de espesor, arcilla de coloración gris claro negro verdusco.

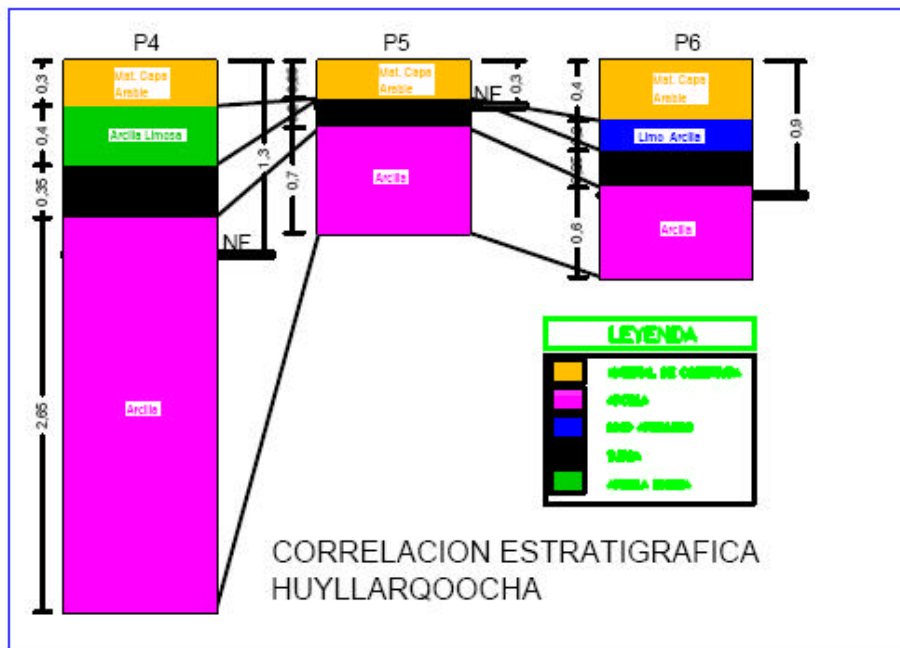
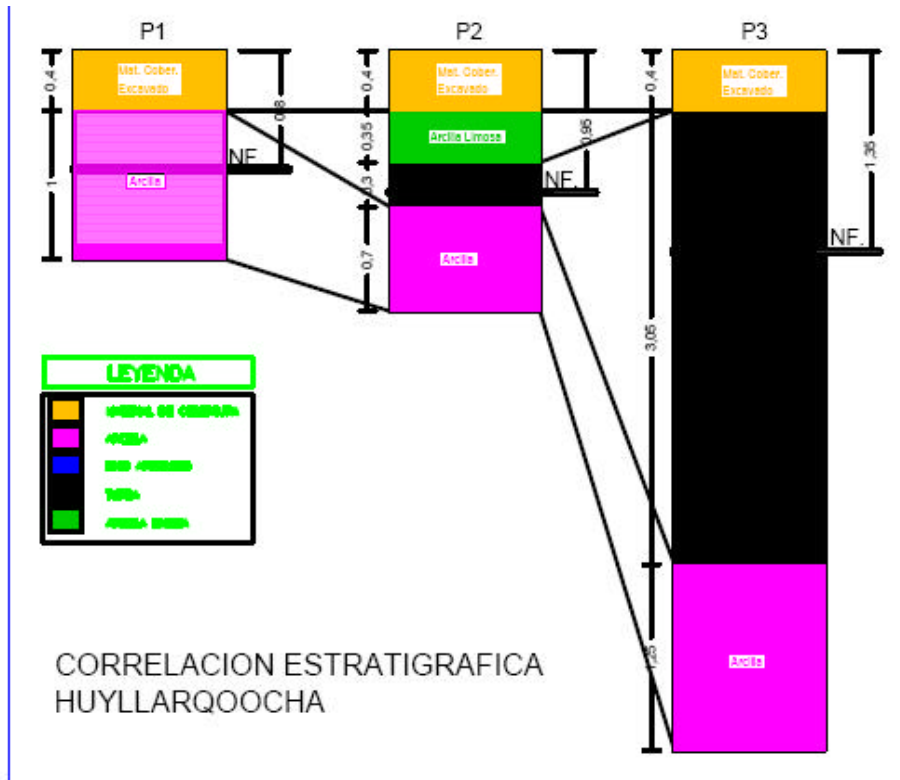


Fig. 10. Columnas estratigráficas en la Ocha 1

PUNTO N° 04:

GPS: 0179139-8506985
NIVEL FREÁTICO: 1.35 m
PROFUNDIDAD: 2.70 m
ELEMENTO: Auger Manual

Primer horizonte: De 30 cm de espesor, material de cobertura.
Segundo horizonte: De 40 cm de espesor, material arcillo limoso, de coloración rojo pálido, con presencia de raíces.
Tercer horizonte: De 35 cm de espesor, contiene turba, de coloración parda oscura, con presencia de abundante raíces, saturada de agua.
Cuarto horizonte: De 25 m de espesor, arcilla de coloración negro.
Quinto horizonte: De 40 cm de espesor, turba con arcilla de coloración gris verdusca.
Sexto horizonte: De 25 cm de espesor, arcilla de coloración negra.
Sexto horizonte. De 45 cm de espesor, arcilla de coloración plomo rojizo.

PUNTO N° 05:

GPS: 0179170-856975
NIVEL FREÁTICO: 0.30 m
PROFUNDIDAD: 1.15 m
ELEMENTO: Auger Manual

Primer horizonte: De 25 cm de espesor, material de cobertura, limo arcilloso.
Segundo horizonte: De 20 cm de espesor, turba, saturada de agua.
Tercer horizonte: De 70 cm de espesor, contiene arcilla, de coloración verde amarillenta.

PUNTO N° 06:

GPS: 0179209-8506967
NIVEL FREÁTICO: 1.15 cm
PROFUNDIDAD: 1.45 m
ELEMENTO: Auger Manual

Primer horizonte: De 40 cm de espesor, material de cobertura.
Segundo horizonte: De 20 cm de espesor, material limoso arcilloso, de coloración gris claro amarillento.
Tercer horizonte: De 55 cm de espesor, contiene turba, saturada de agua
Cuarto horizonte: De 30 cm de espesor, arcilla de coloración gris amarillenta.

5.10. CONCLUSIONES

El pH tiene un valor desde 7.20 a 8.21 en las cuatro muestras evaluadas y se encuentra dentro de los límites máximos permisibles con potabilidad Buena

Atendiendo a la clasificación de dureza, las aguas de las cuatro muestras del humedal son Muy Duras, para fines agrícolas y consumo domestico.

De los resultados obtenidos según los iones predominantes en el humedal Wayllarqocha es la siguiente:

Fuente 1-A: Agua sulfatada magnésica, clorurada sódica. Dulce
Fuente 2-A: Agua clorurada sódica, bicarbonatada cálcica. Dulce
Fuente 3-A: Agua bicarbonatada cálcica, clorurada sódica. Salobre
Fuente 4-A: Agua sulfatada cálcica, bicarbonatada magnésica. Salobre

De acuerdo al diagrama logarítmico de potabilidad del agua y según la clasificación de agua para riego basada en la absorción de Sodio S.A.R y Conductividad (según Thorne y Peterson) se califica Aguas de Mala Calidad. En caso de ser usadas serán necesarios lavados regulares a menudo para evitar una salinización elevada. Es necesaria la realización de prácticas especiales para el control de la salinidad y deberán elegirse plantas con tolerancia a la salinidad de moderada a buena

Desde el punto de vista físico químico gran parte de los parámetros no se encuentran dentro de las normas exigidas por la Organización Mundial de la Salud OMS, para consumo humano y Riego a excepción de los pH.

El valor máximo de conductividad del agua en los lugares que se tomaron en forma in situ es de 2430 micromhos/cm lo cual da indicios de contaminación por intrusión salina, este valor nos indica que son aguas provenientes de acuíferos muy altos en sales.

De acuerdo al lugar donde se realizaron las perforaciones, corresponde a un acuitardo-acuicludo de estratos impermeables, constituido por materiales finos como limos, arcillas y turbas saturadas de agua (algas microscópicas) y formando una especie de lodo gelatinoso (depósito lagunar).

Del estudio estratigráfico e hidrogeológico del acuífugo, se concluye la existencia de dos y tres horizontes bien definidos:

En las dos primeras perforaciones, el primer horizonte superficial está conformado por limos y arcillas de color gris claro verdusco, su espesor es poco variable (0.35 – 0.40 m aproximadamente), viene a constituir el estrato impermeable o semipermeable. El segundo horizonte (de las perforaciones 2A y 3A) compuesto por turba, saturada de agua, donde la base de este horizonte se encuentra limitado por el substrato impermeable compuesto por material arcilloso de varios colores.

Las tres últimas perforaciones están compuestas; los primeros horizontes por material de cobertura, los segundos horizontes (P-4 y P-6) por material arcillo limoso y limo arcilloso, seguidos por el horizonte de turba saturadas de agua, cuya base está compuesto de arcillas, este material se comporta como estrato impermeable.

El nivel freático y nivel piezométrico en el acuífero de estratos impermeables (Acuífugo). constituyen fases hidráulicas distintas, en las tres primeras perforaciones se presentan aproximadamente a profundidades de 40, 55 y 95 cm. y en las tres últimas perforaciones el nivel freático se ubican en material orgánico turba (substrato permeable) a profundidades de 1.35 cm (P-4), 0.30cm (P-5) y 1.15 cm (P-6).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES

1. La zona de estudio se halla en la Meseta de Saqsaywaman a una altura promedio de 3800 msnm, con un relieve relativamente plano ondulado pero cortado o disectado por varias quebradas. Las rocas del substrato son limolitas y calizas del Grupo Yuncaypata. Sobre este substrato se han desarrollado depósitos cuaternarios coluviales y palustres-lacustres, estos últimos que ponen en evidencia la existencia de humedales o qochas.
2. Se han puesto en evidencia 3 qochas denominadas 1, 2 y 3, donde solamente la Qocha 3 muestra aun signos de humedad.
3. Los estudios en detalle muestran que estas tres qochas son el resultado de la intervención del hombre y construidos durante la época inca. Así se ha puesto en evidencia la existencia de un canal inca que abastecía agua a la Qocha 1, la misma que estaba represada por el dique o muro 1, lo que permitió formar un humedal de regulares dimensiones. El agua que rebasaba el humedal o Qocha 1, pasaba hacia la quebrada A y B que fue unida en sus cabeceras por los muros 2 y 3, lo que permitió represar las aguas que pasaban de la Qocha 1. Esta nueva Qocha 2 muestra además obras incas de estabilización y un canal que permitía el paso de las aguas hacia una qocha circular denominada Qocha 3.
4. En la zona de estudio se han encontrado 3 fuentes, uno de Unuqñawi (M-3) con un caudal mayor a 2.27 lt/s que alimenta a agua a toda la quebrada y que en la época inca fue captada para alimentar el humedal de Wayllarqocha o Qocha 1. Las otras dos fuentes (M-1 y M-2) se hallan en el mismo humedal, son de mínimo caudal y no abastecen la zona de la Qocha 1
5. En general, los valores de salinidad y conductividad de Unuqñawi son relativamente altos, lo que nos indica que estas aguas son provenientes de acuíferos muy altos en sales; además las temperaturas de 11.9 °C y 13.9 °C indican que la infiltración del agua subterránea tiene un corto recorrido. Estas aguas servían para alimentar el humedal o Qocha 1.
6. Las 4 muestras de agua tomadas del humedal Qocha 1 indican que no son aptas para consumo humano ni para la agricultura, por los altos contenidos de sales y por los análisis bacteriológicos.
7. Las perforaciones realizadas con el Auger en la Qocha 1, muestra posibles niveles freáticos a diferentes profundidades, pero tratándose de sedimentos finos estos mas bien actúan como acuicludos, con muy bajo caudal de producción con las fuentes M-1 y M-2. Solo demuestran que los suelos impermeables están saturados en agua.
8. Por el caudal muy bajo las fuentes M-1 y M-2, no pueden alimentar la Qocha 1, por lo tanto para su funcionamiento es importante transportar agua del manante Unuqñawi que tiene una producción mayor a 2.27 lt/s. Para poder transportar el agua se debe poner en valor el canal inca, que tenía esa función.
9. Para que el humedal pueda funcionar adecuadamente debe haber un sistema de flujo de agua, es decir entrada y salida, la recomendación de este estudio es que la salida sea hacia la Qocha 2 y luego a la Qocha 3, tal como era en la época inca. Para realizar este trabajo, las obras a realizar son mínimas, sobre todo de restauración de las qochas 2 y 3, pero el impacto ambiental positivo sería muy alto.

ANEXO

DIAGRAMA LOGARITMICO DE POTABILIDAD DE AGUA

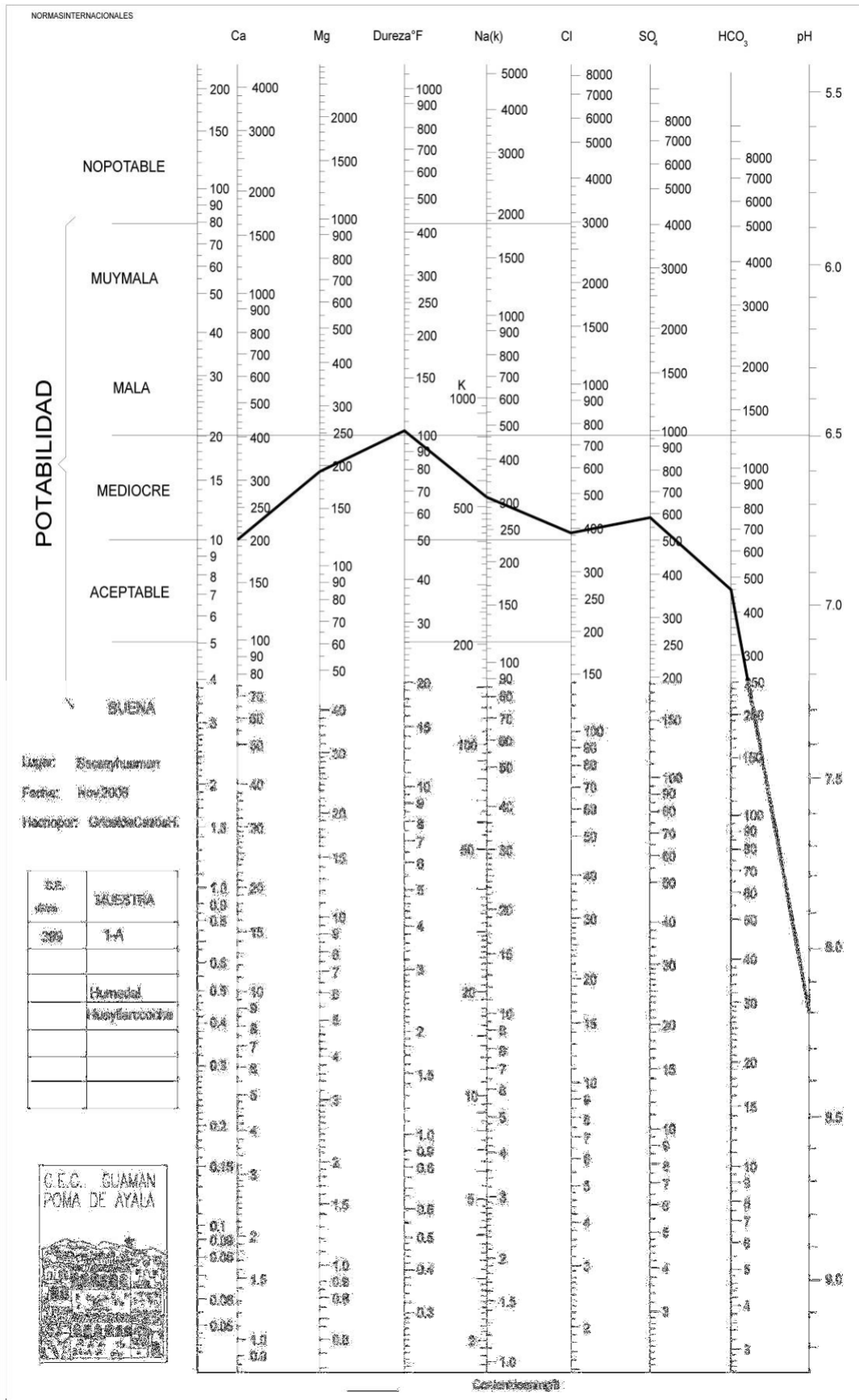


DIAGRAMA LOGARITMICO DE POTABILIDAD DE AGUA

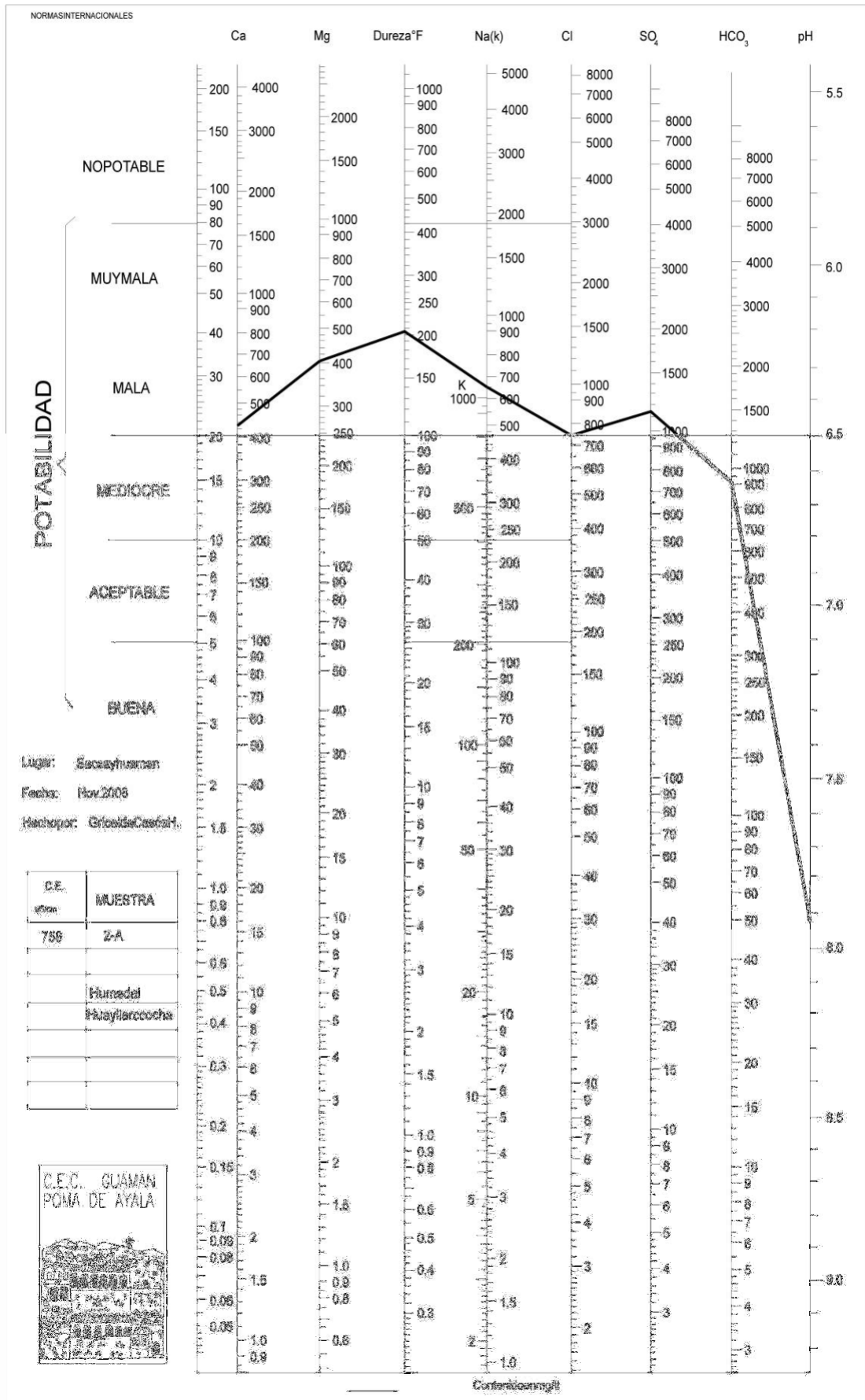


DIAGRAMA LOGARITMICO DE POTABILIDAD DE AGUA

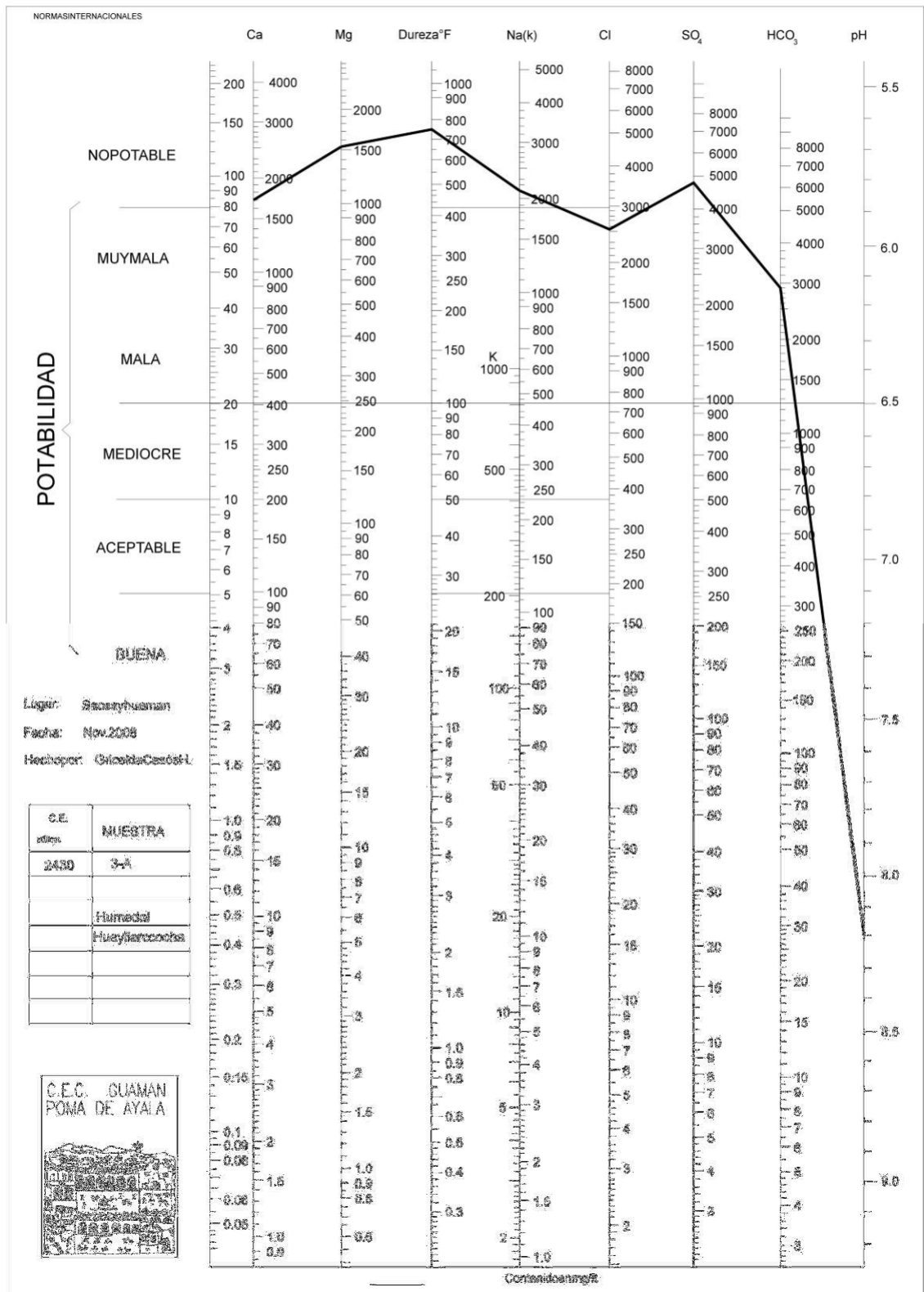


DIAGRAMA LOGARITMICO DE POTABILIDAD DE AGUA

