

CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DEL ACUÍFERO COSTERO HUAURA

Shianny Vasquez¹ & Fluquer Peña¹

(1) INGEMMET, Av. Canadá 1470 San Borja, Lima, svasquez@ingemmet.gob.pe, fpena@ingemmet.gob.pe

I. INTRODUCCIÓN

Dentro de la faja costera del territorio peruano, se ubican numerosos valles formados por el paso de los ríos donde gran parte de la población desarrolla actividades agrícola e industriales, teniendo como elemento fundamental a las aguas subterráneas. Esto ha originado el estudio y determinación de las características hidrogeológicas de los reservorios acuíferos costeros, las mismas que tienen características propias y diferentes unas de otras, a pesar que todas limitan por el borde oeste con el Océano Pacífico. En uno de estos valles se ubica el acuífero costero Huaura, tiene bordes impermeables en el norte sur y este, pero no tiene un límite común con la zona de interface, por lo cual limita con el borde oeste con la presencia de materiales impermeables del complejo basal de la costa, lo que ha significado que el acuífero costero Huaura tenga características poco comunes que se describen en el presente artículo, teniendo en cuenta que este acuífero tiene un comportamiento físico natural diferente en cuanto a las relaciones entre el agua dulce y el agua salobre.

El acuífero costero Huaura, se sitúa en la costa central de Perú, Región Lima y Provincia de Huaura, su extensión es de 594 km², su componente litológico lo constituyen depósitos aluviales y fluviales de característica no consolidada, porosa y permeable. El curso de agua que lo atraviesa, es el río Huaura que se constituye en la fuente principal de recarga del acuífero, sin embargo, las prácticas de riego por inundación aumentan la tasa de infiltración en el acuífero, a esto se suman, en menor grado, los canales de riego con sectores no revestidos, que por naturaleza del suelo (permeabilidad alta) generan infiltración que recargan el acuífero costero Huaura.

El presente trabajo tiene como finalidad caracterizar la hidrogeología del acuífero costero Huaura, para lo cual se realizó una interpretación hidrogeológica de las formaciones analizando por litología, se han identificado las principales fuentes de aguas subterráneas (pozos y sondeos). Para determinar su geometría y dimensiones, se realizaron Sondajes Eléctricos verticales – SEV, se ha evaluado valores del volumen explotado en base a datos anteriores y trabajos de campo, para determinar las direcciones de los flujos preferenciales del agua subterránea, se han elaborado un mapa piezométrico y finalmente se ha determinado la calidad de las aguas subterráneas.

II. GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA

El valle del río Huaura, está conformado por una zona inminentemente costanera, limitado por el lado este con el batolito de la costa, que tiene rocas ígneas (tonalita y diorita principalmente) que afloran en ambos flancos del valle del río Huaura y se comporta como parte del substrato base del acuífero costero. Las rocas aledañas del pre cambriano son impermeables a pesar de estar tectonizado y metamorfozadas, se sitúa a 60 km a lo largo de Huacho con 200 m de espesor (Kulm, 1981). El Paleozoico está poco plegado y el mesozoico localmente, tectonizado (Myers, 1980), pero ambos tienen características impermeables. Los afloramientos del cretáceo inferior se extiende paralelo a la costa con un espesor total de 6 000 m (Romaní, 1982), sin embargo, en la zona de estudio, se observa en la parte inferior del valle del río Huaura, desde la playa Paraíso hasta la laguna Medio Mundo, están conformados por derrames volcánicos de andesita, con algunos sedimentos finos de escaso interés hidrogeológico y perteneciente a la Formación Casma, constituye otro substrato base para el acuífero costero. Sedimentos volcánicos en capas delgadas, se presentan bien desarrolladas en las localidades de Huaura y Huacho, los detritos que forman estos sedimentos son de origen volcánico, pudiendo ser finos o gruesos (Cobbing, 1996) pero no tiene interés hidrogeológico alguno. Los depósitos aluviales que rellenan el valle del río Huaura, están conformado por

una mezcla de cantos rodados, gravas, arenas y sedimentos, la mayoría de naturaleza porosa y permeable que constituye gran interés hidrogeológico porque aquí se encuentra el reservorio acuífero Huaura.

Desde la parte superficial en el valle del Huaura, se aprecian: Lomas y colinas de naturaleza volcano sedimentarios, con poca altitud y pendiente suave a moderada, la planicie fluvial aluvial constituye una amplia superficie plana, cortado por cursos de agua intermitentes y canalizados, se encuentra rodeada de conos y abanicos aluviales. Por ultimo, tenemos al fondo de valle y terrazas, está constituido por materiales finos intercalados con fragmentos como gravas, bloques y bolones, se ubican adyacentes al río Huaura y en los fondos de valle de los ríos tributarios.

III. HIDROGEOLOGÍA

Las rocas más antiguas del valle de Huaura, corresponden a la Formación Casma (cretácico inferior), consta de derrames lávicos bien estratificados, aunque en su mayor parte son derrames delgados de andesita masiva de grano fino, intercalado con piroclastos y subordinadamente con sedimentos de lutitas y calizas. Esta formación se encuentra ampliamente distribuida en todo el valle y tienen naturaleza impermeable, los cuales nos permiten clasificar a esta secuencia como Acuitardo Volcánico (Figura 1). Se observa en menor proporción también una secuencia de rocas intrusivas correspondientes al complejo del Batolito de la Costa, cuya composición varía desde gabros hasta granito potásico, la mayor extensión se presenta en el distrito de Sayán, donde alcanza un ancho de 60 km aproximadamente, debido a su grado de consolidación son rocas duras, muy compactas y de reducida capacidad de almacenamiento, muestran baja porosidad primaria cartografiado en este artículo como Acuitardos Intrusivos. Finalmente encontramos a los depósitos aluviales, emplazados desde Sayán hasta la desembocadura del río Huaura, compuesto por sedimentos no consolidados, como materiales fluviales y aluviales o la combinación de estos, arenas y gravas con abundante

clastos redondeados a subredondeados y algunos lentes de limos y arcillas. Su porosidad promedio varía de 5 % en arenas a 50 % en gravas fluviales, su permeabilidad varía de 1 a 100 m/día con un promedio de 35 m/día, típicos de un acuífero poros no consolidado, por lo cual lo definimos como el Acuífero Costero Huaura (Figura 1).

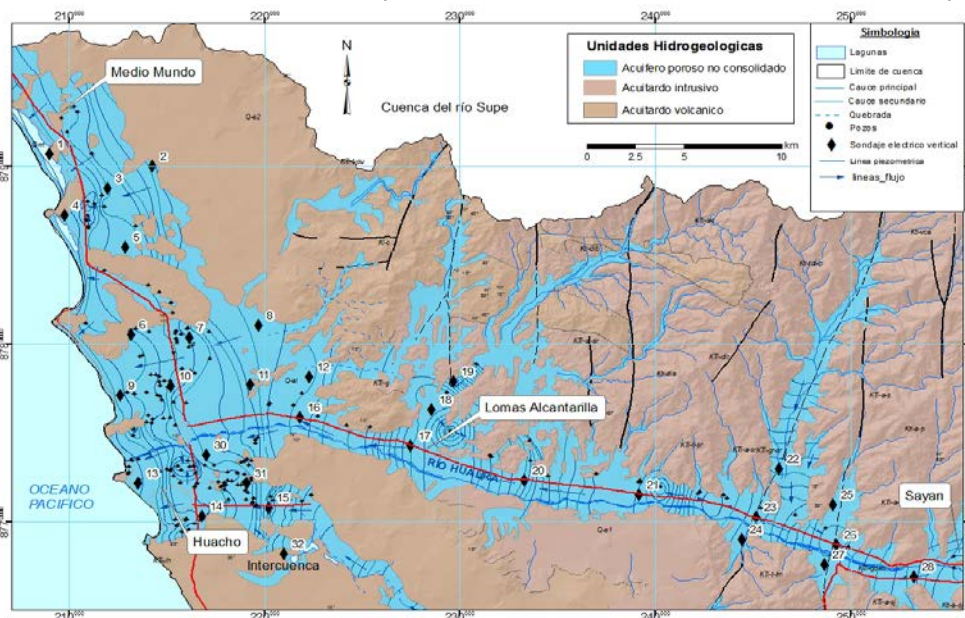


Figura 1: Mapa Hidrogeológico del acuífero costero de Huaura.

1. HIDROESTRATIGRAFÍA:

Las unidades hidroestratigráficas se utilizan para subdividir el subsuelo en unidades relacionadas con la circulación y almacenamiento del agua subterránea. La base del acuífero (basamento impermeable) está conformado por las rocas intrusivas del cretácico superior que constituyen el Complejo Santa Rosa. Hacia los extremos norte y sur del acuífero está presente el basamento impermeable que está compuesto por la secuencia de rocas del Grupo Casma que está conformado por derrames andesíticos masivos intercalados con piroclastos y subordinadamente con sedimentos clásticos, lutitas y calizas.

El acuífero del valle de Huaura en la zona este y central está compuesto por sedimentos no consolidados como materiales fluviales, aluviales y la combinación de estos, arenas y gravas con clastos

subredondeados, limos cuarzo feldespáticos y arcillas, que sirven como tierras de cultivo. Hacia la zona oeste se observa materiales permeables compuesto por arenas cuarzo feldespático con micas y magnetita de grano grueso a fino bien clasificado formando dunas y se acumulan en laderas, las mismas que pueden constituir parte del acuífero.

En el cauce del río Huaura, los materiales dominantes corresponden a las áreas por donde circula el río, dejando a su paso materiales constituidos por cantos rodados, gravas redondeadas a subredondeadas y bloques con matriz limo arenosa. El río Huaura, discurre en dirección este oeste y desemboca en el Océano Pacífico, a lo largo de su recorrido va formando terrazas producto de las variaciones del caudal (períodos lluviosos y periodos de sequía), dichas terrazas por lo general están compuestas de bancos de arcillas con limos y gravas de matriz limo arenosa.

2. PIEZOMETRÍA

En el acuífero costero de Huaura existen 134 pozos de los cuales, 10 se ubican en el distrito de Huacho, 04 en Carquin, 05 en Hualmay, 18 en Huaura, 22 en Santa María, 49 en Sayán y 22 en Vegueta (INRENA 2005), en los cuales se ha monitoreado los espejos de agua o niveles piezométricos. La fluctuación de niveles de aguas contenida en el acuífero del valle de Huaura es del tipo libre y casi superficial, se observa una fuerte interacción con las aguas que se infiltran del lecho del río, de los canales de riego no revestidos y de las áreas de cultivo bajo riego. La profundidad de la napa freática en el acuífero costero Huaura (Figura 2) fluctúa entre 0,64 m y 37,30 m observándose los niveles de agua superficiales entre 0,64 m – 0,95 m, en el sector Primavera del distrito de Vegueta, sector Carquín del distrito de Carquín y en sector Ambar Puquio en el distrito de Sayán. Mientras que los niveles de agua con mayor profundidad (hasta 37,3 m) están en el sector de Vilchahuaura del distrito de Huaura, sector la Libertad del distrito de Santa María y el sector la Merced del distrito de Sayán, cabe destacar que en este último sector el nivel piezométrico se encuentra a una profundidad de 52 m. En el mapa hidrogeológico (Figura 1) observamos que las líneas de flujo son transversales a las líneas isopiezas, la dirección encontrada es preferentemente de este a oeste, con algunos sectores concéntricos (Punto 17 y 3, en la figura 1) que indican lugares de sobre explotación del acuífero o extracción constante para el periodo monitoreado.

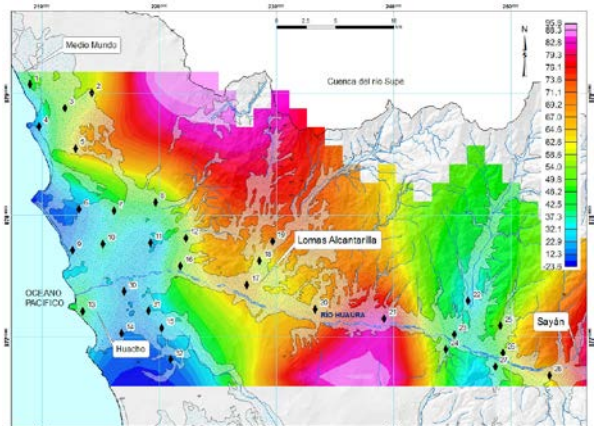


Figura 2: Mapa de Isopacas

3. GEOMETRÍA DEL ACUÍFERO COSTERO HUARA.

Se ejecutaron 32 Sondajes Eléctricos Verticales (SEV), distribuidos en el valle del río Huaura (Foto 1), para determinar profundidad del acuífero niveles de basamento y posibilidades de conocer la zona de interface. Se trabajó también con la información de ubicación de pozos y niveles piezométricos de inventariado de pozos realizado por el INRENA 2005.

Según los ensayos geofísicos tenemos que el espesor promedio del acuífero, es variable, observándose profundidades mayores a 70 y 87 m a lo largo del río Huaura en los sectores comprendidos entre el Fundo San Martín de Porres Sarape hasta el Fundo San Isidro y desde Andahuasi hasta Sayán. Los de menor espesor (12 a 70 m) están localizados en el cono de deyección del río Huaura (en los distritos de Huacho, Santa María,



Foto 1 Prospección geofísica en el valle de Huaura

Los de menor espesor (12 a 70 m) están localizados en el cono de deyección del río Huaura (en los distritos de Huacho, Santa María,

Huaura y Vegueta). En la parte más representativa del acuífero se ha realizado una sección hidrogeológica, a lo largo del río Huaura donde apoyada con los SEV y la ubicación de pozos se ha podido determinar la geometría del acuífero. El acuífero tiene un aco corto a la altura del río ensanchándose hacia la desembocadura, la elevación del Grupo Casma permite tener una barrera que permite que el acuífero costero tenga una estructura de reservorio natural (Figura 4). Este afloramiento, en el sector de la sección, no presenta niveles de colisión agua dulce agua salda, es decir no se observa la línea de interface, por lo cual estamos hablando de un acuífero costero con condiciones singulares.

4. PARÁMETROS HIDROGEOLÓGICOS:

Las condiciones hidrogeológicas del acuífero costero Huaura varían de acuerdo al sector donde se ubiquen, en el sector de Huaura-Vegueta, tiene transmisibilidad entre 0,41 y 2,29 m²/día con rangos de permeabilidad que van de 2.75 a 15.36*10⁻⁴ m/día, cuyo coeficiente de almacenamiento es de 1,15 % (cuadro 1). En el sector de Huacho-Sayán tiene transmisibilidad entre 0,08 y 17,45*10⁻² y una permeabilidad entre 0,21 y 34,40*10⁻⁴ m/día, con coeficiente de almacenamiento de 1,15 %. La diferencia entre el nivel estático inicial del agua y su mayor depresión es conocida como abatimiento y la

Cuadro 1: Parámetros Hidrogeológicos

Lugar	Nº Pruebas	Parámetros Hidrogeológicos
Huaura – Vegueta	01 Ensayo de Bombeo	K: 2,75 a 15,36*10 ⁻⁴ m/día T: 0,41 a 2,29 m ² /día S: 1,15 %
Huacho - Sayán	02 Ensayo de Bombeo	K: 0,21 a 34,40*10 ⁻² m/día T: 0,41 a 2,29 m ² /día S: 1,15 %

Fuente: INRENA, 2005

la distancia horizontal desde el pozo, hasta el punto donde el abatimiento es cero se denomina radio de influencia. En el sector de Huaura Vegueta, los radios de influencia calculados para bombeos de 6 a 24 horas, fluctúan entre 311 y 622 m y dada la ubicación actual de los pozos las probabilidades de interferencia de pozos es escasa. En el sector de Huacho -Sayán los radios de influencia determinados varían de 227 m – 454 m a 58 m – 116 m y 868 – 1735 m, valores que indican la escasa posibilidad de que exista interferencia de pozos. Estos parámetros hidrogeológicos nos indican que el acuífero costero de Huaura, presenta buenas condiciones hidráulicas que corresponden a un acuífero del tipo libre.

IV. ACUÍFERO COSTERO HUAURA

El reservorio acuífero se ubica en la parte inferior de la cuenca del río Huaura, se observa como resultado de la disminución brusca de la pendiente y de la velocidad del agua, condicionado por afloramientos rocosos impermeables en los bordes norte, sur y oeste, las mismas que condicionaron la deposición del material aluviónico, formando una llanura. Está formado por los depósitos cuaternarios de origen aluvial que rellenan la planicie costera del valle del río Huaura, su litología se presenta con una sedimentación heterogénea mal clasificada, que se caracteriza por una alternancia de arenas, gravas y cantos rodados muy permeables, además de la presencia de niveles lenticulares de arcilla, en forma de bancos. Todo el reservorio es de tipo libre, no existe un material confinante en el techo y el basamento está condicionado por rocas impermeables. La geometría del acuífero nos indica que hacia el noreste las montañas del acuitardo intrusivo ígneo es el límite lateral del acuífero y las rocas impermeables del volcánico Casma constituyen el límite sur.

1. RECARGA DEL ACUÍFERO

La fuente natural de alimentación y recarga del acuífero costero, se produce por la infiltración de las aguas superficiales que proviene del río Huaura, que es estacional, se recarga con mayor volumen en época de lluvias, cuando el río Huaura aumenta su caudal cubre mayores extensiones de cauce, sobre todo en sectores donde el valle tiene baja pendiente. En las superficies agrícolas está presente el riego por inundación, los cuales retienen el agua de riego y favorecen la infiltración, aunque en algunos sectores el riego es tecnificado genera que la infiltración sea baja. Existe una red muy importante de canales de irrigación que atraviesan íntegramente el valle de Huaura, los mismos que en sectores no revestidos

umentan la tasa de infiltración en el acuífero. Por el sector sureste se produce alimentación y recarga por la presencia de la irrigación Santa Rosa.

2. EXPLOTACIÓN DE ACUÍFERO

El volumen anual de agua subterránea explotado en el acuífero es de 10 052 063,56 m³ (10,05 MMC), que equivale a un caudal de explotación continua de 0,32 m³/s. En relación al volumen explotado según su uso, el 64,22 % (6 455 411,02 m³) corresponde a uso doméstico, seguido por el uso agrícola con el 25,53 % (2 566 038,40 m³), el 9,31% (935 926,94 m³) corresponde al uso pecuario y el industrial representa el 0,94 % (94 687,20 m³). En relación a la distribución por uso, el distrito de Sayán es donde se explota el mayor volumen de agua, con 5 038 468,60 m³ (50,12 %), seguido por Santa María con 1 917 950,40 m³ (19,08 %) y Hualmay con 1 633 625,40 m³ (16,25 %) (INRENA 2005).

3. HIDROQUÍMICA:

El conocimiento de las características químicas del agua, vinculadas a la hidrogeología, tiene como finalidad establecer relaciones entre la composición, distribución y circulación del agua subterránea en los acuíferos con la geología, mineralogía y sistema de flujos (FCIHS 2009). Los análisis químicos y fisicoquímicos realizados a las dos muestras recolectadas de pozos, son de tipo convencional, es decir, hacen referencia a los iones mayoritarios (cationes, aniones y metales disueltos). Los resultados mostrados en el diagrama de Piper (Figura 3) indican que son aguas del tipo sulfatadas alcalino terreas, interpretamos que son aguas subterráneas que en algún momento de la circulación tiene contacto con aguas de infiltración, produciéndose la mezcla de agua, su composición sulfatada la adquieren del agua de riego donde usan fertilizantes y plaguicidas (elementos mayoritarios de sulfatos, nitratos y fosfatos), y la posible infiltración de aguas servidas de las ciudades principales.

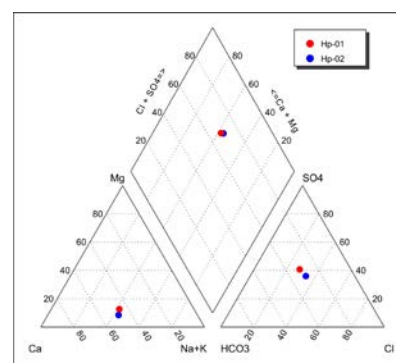


Figura 3: Diagrama de Piper

Potabilidad de las fuentes analizadas, de acuerdo a las normas de la OMS, la calidad del aguas subterráneas en el pozo Hp – 01, es apta para el consumo humano, mientras que el pozo Hp -02 muestran valores que superan el LMP, principalmente en el ion nitrato, calificándose a la muestra como no aptas para el consumo humano, esta muestra tiene excesivos niveles del ion nitrato, la misma que se asocia al uso excesivo de abono de origen animal y fertilizantes nitrogenados y plaguicidas de origen químico, ambos vinculados a un manejo intensivo de las áreas agrícolas.

Calidad de las aguas para riego, se ha evaluado el riesgo de salinización de los suelos, mediante cálculo del índice SAR (U.S. Salinity Laboratory Staff 1954), las muestras corresponden al tipo C3-S1, que son aguas de salinidad alta con bajo contenido de alcalinidad, se deben usar en suelos con buen drenaje y se empleando grandes volúmenes de agua. Se recomienda el uso de esta agua en cultivos de uva, aceituna, granadilla, coliflor, entre otros., pero tomando las precauciones pertinentes para evitar la salinización del suelo.

Modelo Conceptual:

El modelo conceptual de un sistema hidrogeológico es la caracterización de sus rasgos, componentes y funcionamiento. El acuífero costero Huaura, presenta una tipología definida en un sector de cabecera y una zona plana en el sector costero (Figura 1), esquemáticamente la recarga se produce por la infiltración de la precipitación, escorrentía del río Huaura y del retorno de los regadíos. Las descargas del acuífero se producen a través de las surgencias a la altura de la linera de costa y de las extracciones que se realizan en los pozos. En la sección hidrogeológica longitudinal al río Huaura (Figura 4), desde Sayán hasta el mar, se observa las características del acuífero, tienen bordes norte, sur y este muy impermeables, en el sector

oeste antes de la desembocadura la misma roca impermeable trabaja como especie de represa, condicionando la presencia del reservorio acuífero, la misma que, en este punto no permite el contacto agua dulce – agua salobre. La profundidad del basamento se ha ajustado con la investigación geofísica (SEV), la misma que tienen características singulares.

En esta sección hidrogeológica se observa con más detalle la morfología y variación de profundidades del nivel freático, del basamento impermeable, y del espesor saturado (Figura 4).

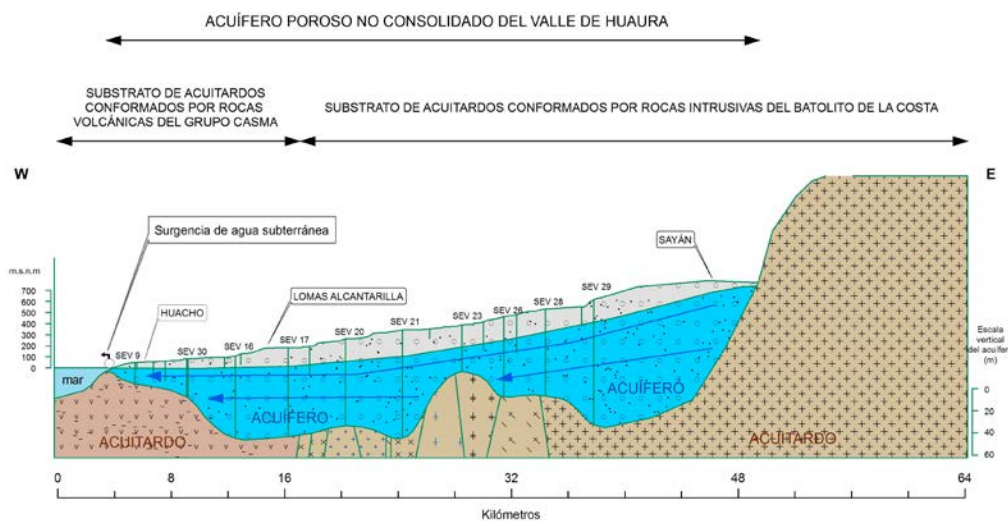


Figura 4: Sección hidrogeológica longitudinal del acuífero costero Huaura.

CONCLUSIONES:

- El acuífero costero Huaura, se extiende en toda la planicie costera del valle del río Huaura, terminando en la riera litoral, la formación aluvial, se presenta con una sedimentación heterogénea y se caracteriza por una alternancia y mezcla de arenas, gravas y cantos rodados que se comportan como estratos permeables, y niveles lenticulares de arcilla que tienen un comportamiento impermeable, pero en conjunto se trata de un acuífero poroso no consolidado.
- La napa freática contenida en el acuífero del valle de Huaura es libre y superficial, cuya dirección de flujo subterráneo tiene una orientación principal de NE a SW, y en forma secundaria de E – W.
- Según los análisis hidroquímico, se determinó que las aguas son del tipo sulfatadas alcalino terreas, interpretamos que son aguas de mezcla, su composición sulfatada la adquieren por infiltración del agua de riego, el contenido de cloro nos indica una leve contaminación con agua de mar, debido a la cercanía de los pozos con el borde litoral.
- Se explota del acuífero un volumen de agua de 10.05 MMC, que equivale a un caudal continuo de explotación de 0.32 m/s.
- Debido al afloramiento del basamento (rocas ígneas) impermeable que controla la geometría del acuífero, es muy poco probable la intrusión marina.

BIBLIOGRAFÍA

- Cobbing E. J., Pitcher W. S. & Garayar S. (1996), Geología del cuadrángulo de Huaral, INGEMMET.
- INRENA, (2005) - *Inventario y monitoreo de las aguas subterráneas en el valle Huaura*. Intendencia de recursos hídricos, Administración técnica del distrito de riego Huaura, Lima, 90 p.
- Castany, G. (1975) - *Prospección y Exploración de Aguas Subterráneas*. Ediciones Omega S.A., España, 731 p.
- FCIHS (2009), Hidrogeología, conceptos básicos de hidrología subterránea. Barcelona – España. 768 p.
- Cesel Ingenieros (2009). Abastecimiento de agua subterránea en el valle del río Huaura. Perú, Revista Minería N° 383, año LVI. ISSN: 0026-4679
- Heredia J. G., Murillo J.M., García J.L., Rubio J.C. & Lopez J.A. (2001) Modelo de flujo en un acuífero costero. Una aproximación a la evaluación de actuaciones frente a la intrusión marina. Boletín Geológico y Minero, Vol. 112, Núm. 2. Pp 103 -121. ISSN: 0366-0176.