



## XVIII Congreso Peruano de Geología

# MODELO HIDROGEOLÓGICO DE LAS ALBUFERAS DE MEDIO MUNDO, SECTOR HUAURA

Boris Laurend Santos Romero<sup>1</sup> y Fluquer Peña Laureano<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Av. de la Cultura N° 733, Cusco, Perú ([borisgeologist@hotmail.com](mailto:borisgeologist@hotmail.com))

<sup>2</sup> Pontificia Universidad Católica del Perú, Av. Universitaria N° 1801 San Miguel, Lima, Perú ([fpenal@pucp.edu.pe](mailto:fpenal@pucp.edu.pe))

### 1. Introducción

Las Albuferas de Medio Mundo, se encuentran aproximadamente en las coordenadas este 208435 y norte 8791176 con una altitud de 15 m.s.n.m. Políticamente se ubican en la provincia de Huaura, departamento de Lima a 23 km al noroeste de la ciudad de Huacho, hidrográficamente se localizan en la intercuenca 137571 formando parte del valle de la cuenca del río Huaura, donde el acuífero poroso no consolidado cubre un área de 85 km<sup>2</sup> aproximadamente.

La geología del acuífero lo conforman principalmente rocas volcano-sedimentarias del Grupo Casma el cual aflora extensamente en el sector occidental de la costa peruana con rumbo NW-SE (Guevara, 1980), dichas secuencias fueron depositadas en una cuenca marginal de tras arco durante un periodo extensional a partir del Albiano superior al Coniaciano o Santoniano (Jaillard 1994, Jacay, 2010 y Jara et al. 2011). Desde el punto de vista litológico está conformado por secuencias estratocrecientes de brechas y pillow lavas basálticas e hialoclastitas (Jara, R. et al. 2011) dichas secuencias corresponderían a la Formación Punta Gramadal (Myers, 1980). Discordantemente se presenta una secuencia conglomerádica de edad Miocénica (Jacay et al., 2010) y concordantemente a estas secuencias se presentan depósitos piroclásticos atravesados por enjambres de vetillas de yeso, estas secuencias se exponen ampliamente en el sector Punta Atahuanca al sur de las Albuferas de Medio Mundo (Jara, R. et al. 2011). Todos estos materiales corresponden al basamento o piso del acuífero costero de Medio Mundo. Suprayacente en discordancia erosional se presentan los depósitos cuaternarios fluvio – aluviales, conformados por secuencias de gravas intercalados con

arenas de grano grueso a finas, limos y esporádicamente paquetes delgados de arcillas, entendiéndose que la secuencia desarrolla un cambio en el patrón de apilamiento de progradante a retrogradante. Estos materiales constituyen el acuífero poroso no consolidado, donde existe recarga y descarga constante del agua subterránea, la misma que permitió investigar una hidrodinámica muy marcada en el régimen de recarga, percolación y descarga de las aguas subterráneas.



**Figura 1 Ubicación de las fuentes de aguas subterráneas en las Albuferas de Medio Mundo.**

### 2. Metodología

Para la interpretación del modelo hidrogeológico del acuífero costero de Medio Mundo se recopiló la información de la carta geológica del Ingemmet realizado el año 2003 a escala 1: 100,000, los datos hidrogeológicos de campo se recogieron en mayo del 2015, consistente en un inventariado de fuentes (manantiales y puntos de

registro), determinación in situ de parámetros físicos e hidráulicos, finalmente se tomaron muestras de 3 manantiales y 4 puntos de control (Foto 1 y 2). Los análisis de agua se desarrollaron en los laboratorios del Ingemmet, por carbonatos y bicarbonatos, cloruro, sulfatos y metales disueltos la interpretación química se realizó en base a diagramas e índices hidroquímicos apoyados con el software AquaChem versión 5.1. El análisis hidrodinámico y de movimiento de flujos de aguas subterráneas se realizó en base a una sección bidimensional de la hidrogeología y los caudales aforados y la dirección de flujos de cada manantial, generando un modelo hidrogeológico conceptual para el acuífero costero de Medio Mundo.



Foto 1 y 2 Manantial 137571-06 y 137571-12

### 3. Resultado

El componente hidrodinámico de las aguas subterráneas se encuentra condicionado por la presencia de los materiales de borde, acuitados volcánicos que constituyen la base inferior y lateral del acuífero poroso no consolidado, donde el movimiento del agua subterránea tiene dirección preferencial del noreste a suroeste. Durante su paso, el agua subterránea recibe aporte constante de la infiltración del río Huaura y de las aguas de retorno de riego en las extensas áreas agrícolas del valle. Estos flujos afloran en 5 manantiales de mediano caudal (entre 5 y 20 L/s) condicionados por una barrera en profundidad formada por el contacto entre los flujos de agua dulce y los flujos de agua salobre que penetra del mar (zona de interface donde colisionan aguas de diferentes densidades). Producto de la descarga de manantiales, aguas residuales y aguas de exceso de riego, se generó el humedal costero de Medio Mundo, que tiene amplia extensión y se encuentra muy cerca de la línea de costa. En el presente estudio, se analiza también las

es inventariadas y su relación con las características litológicas, considerando la interacción agua-roca en el material poroso no consolidado del acuífero costero Medio Mundo y en menor grado en las rocas volcano-sedimentarias del Grupo Casma (Albiano - Cenomaniano), que afloran en gran proporción hacia el norte del humedal.

Considerando 3 fuentes de aguas subterráneas (manantiales) y 4 puntos de registro se diferenciaron 2 facies hidroquímicas predominantes (cuadro 1)

### 4. Discusión

A partir del cartografiado geológico 1:100,000 de las unidades lito-estratigráficas se caracterizan las rocas volcano-sedimentarias del Grupo Casma como un acuitado volcano sedimentario, considerado el límite o basamento del acuífero poroso no consolidado. La composición litológica de baja permeabilidad del basamento se encuentra condicionada por el sistema de fallas que generó fracturamiento y diaclasas otorgando una permeabilidad sub-superficial al basamento, la misma que controla la dirección de flujo de aguas subterráneas en algunos sectores. Hacia el sur, en la punta Atahuanca, se tiene dos grupos de fallas, un primer grupo de sistemas de fallas con orientación N19°O, 35°NE, la cual producen basculamiento de bloques y un segundo grupo de fallas con dirección N60°E, 40°SE (Jara, R. et al. 2011).

Finalmente se presentan los depósitos eólicos y fluvio-aluviales depositados desde Sayán hasta la desembocadura del río Huaura, extendiéndose hacia el NW, sectores de Garita, Santa Cruz y Medio Mundo, estos depósitos están catalogados como acuíferos porosos no consolidados, cuya porosidad varía de 5 a 30 % en las gravas, y su permeabilidad de 1-100 m/día (INRENA 2005), definiéndose como el reservorio principal de aguas subterráneas del denominado acuífero costero Medio Mundo. Teniendo en cuenta las surgencias de aguas subterráneas y características hidrogeológicas, se hace la interpretación hidroquímica de las aguas, la cual tendrá la finalidad de establecer relaciones entre la composición, distribución y circulación del agua subterráneas en los acuíferos (FCIHS 2009) a partir de los datos analizados en laboratorio. Se diferenció una zona, la cual se sintetiza en el diagrama de Piper (Figura 2).

Cuadro 1  
Resumen de tipos de agua de acuerdo al ion dominante

carac teríst icas quími cas de las fuent	N°	Código	Fuente	Q (L/s)	T (°C)	pH	CE (µS/cm)	TDS (mg/L)	Facies Predominante
	1	137571-12	Manantial	2.5	25.8	8.52	3,328	1,631	Clorurada-Sulfatada-Sódica
	2	137571-10	Manantial	10	25.2	9.51	1,592	781	Sulfatada-Clorurada-Sódica
	3	137571-06	Manantial	7.5	24.7	9.25	2,457	1,204	Clorurada-Sulfatada-Sódica
	4	137571-04	Punto de registro	-	24.9	9.32	3,196	1,566	Clorurada-Sulfatada-Sódica
	5	137571-03	Punto de registro	-	27.8	9.29	3,290	1,660	Clorurada-Sulfatada-Sódica
	6	137571-02	Punto de registro	-	27.4	9.42	3,330	1,632	Clorurada-Sulfatada-Sódica
	7	137571-01	Punto de registro	10	24.3	9.63	3,232	1,582	Clorurada-Sulfatada-Sódica

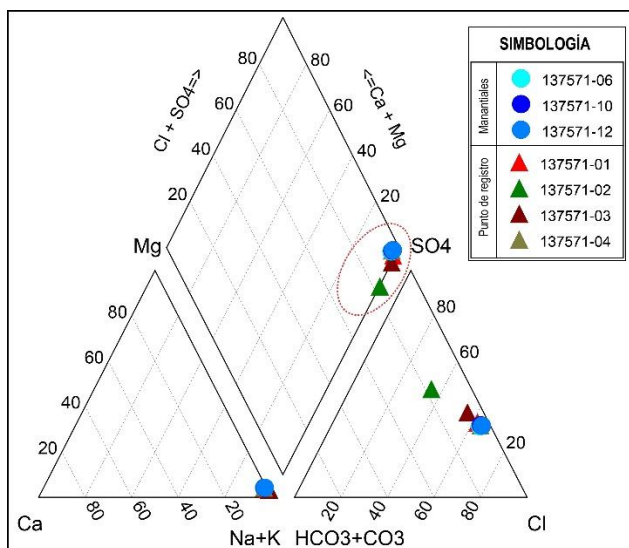


Figura 2 Diagrama de Piper para las fuentes de agua

La circulación y residencia de aguas subterráneas de estas fuentes se encuentran principalmente el acuífero poroso no consolidado, los resultados mostrados en el diagrama de Piper indican aguas del tipo Cl-SO4-Na en 6 fuentes, lo cual se debe al contacto del agua con los fertilizantes y plaguicidas usados en zonas agrícolas, la misma que concentra sales en elevadas condiciones. El contenido de sulfatos procede del lavado de materiales sedimentarios salinos, del contacto con aguas superficiales de regadío y del contacto con la descomposición de sustancias inorgánicas, especialmente la fuente 137571-10 tiene una facie hidroquímica SO4-Cl-Na donde predomina el sulfato, el agua subterránea tiene tendencia a formar iones complejos de sodio y calcio cuando se incorporan a procesos biológicos.

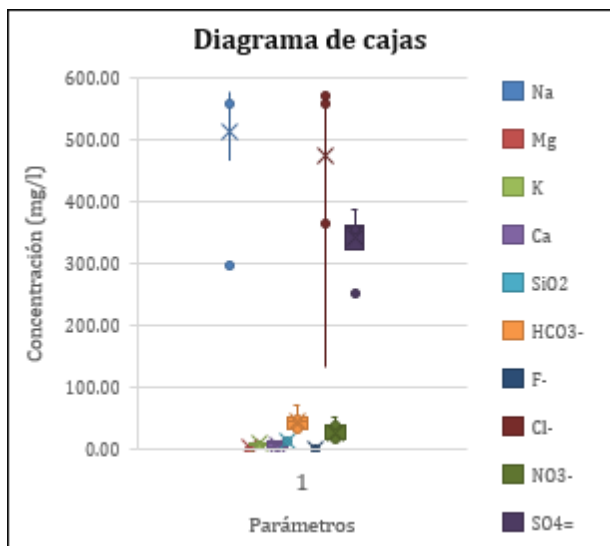


Figura 3 Diagrama de cajas y bigotes para aguas representativas del acuífero costero Medio Mundo

El diagrama de cajas y bigotes muestra la variabilidad de los iones mayoritarios, la preponderancia del catión Ca y el anión Cl, este último siendo más significativo, muestra elevadas concentraciones y variabilidad alta. El Ca en agua subterránea está controlado por procesos de precipitación/disolución en el sistema carbonato/bicarbonato ya que tiene intercambio catiónico

con la fase sólida, el Cl no forma sales de baja solubilidad, no se oxida ni se reduce, tampoco entra a formar parte de procesos bioquímicos. El SO4 muestra rango de variabilidad moderada, la misma que procede del lavado de materiales sedimentarios salinos y del uso de fertilizantes y plaguicidas (Figura 3).

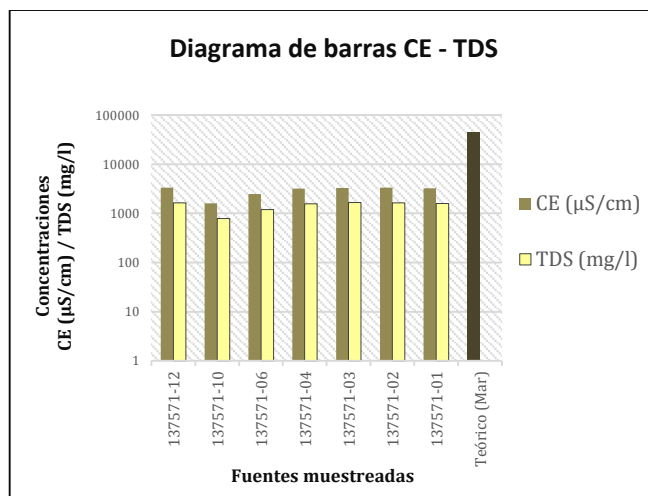


Figura 4 Diagrama de barras para las fuentes de aguas

El 90 % de las muestras analizadas tienen Sólidos Totales Disueltos (TDS) menores a 1,500 mg/L y Conductividad Eléctrica (CE) menor a 3,300 μS/cm (Figura 4), el mismo que se debe a la interacción y contacto con las rocas volcánicas y el material poroso no consolidado donde el roce con electrones libres de los metales del material disgregado (matriz) con la red cristalina, asimila una fuerza viscosa que atribuye alto contenido de sales, la misma que fluctúa con la temperatura en profundidad.

### 5. Modelo hidrogeológico conceptual

A partir del análisis geológico, hidrodinámico e hidroquímico se interpreta que las surgencias de aguas subterráneas en las Albuferas de Medio Mundo se alimentan de las aguas de riego de las zonas agrícolas y del río Huaura, circulan con dirección noreste suroeste por los poros interconectados del acuífero costero, a profundidades de 5 a 10 m; posteriormente llegan a un límite inferior formado por la interacción donde el agua dulce y el agua salobre (que penetra del mar) forman la denominada zona de interface (por diferencia de densidades), que es un límite inferior o barrera condicionante para que se genere la surgencia de aguas subterráneas en forma de 5 manantiales, los mismos que alimentan al humedal Medio Mundo, Villa Agraria y otros (Figura 5). Las rocas impermeables del Grupo Casma contribuyen con el almacenamiento y circulación del agua subterránea debido a que constituye la base impermeable del acuífero costero de Medio Mundo. Desde el punto de vista hidroquímico existen similares iones mayoritarios a las del agua del mar, pero no es comparable porque sus concentraciones son diferentes (Figura 3), el mismo que se contrasta entre los parámetros físicos (CE y TDS) de las fuentes inventariadas con los datos teóricos del agua de mar (Figura 4). Los datos de CE de las fuentes inventariadas no sobrepasan los 3,300 μS/cm en



comparación a la CE de 45,000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  del agua de mar (Kehew, A.E., 2001). Finalmente en el modelo hidrogeológico (Figura 5) se observa que los flujos de las aguas subterráneas surgen en la intersección de un desnivel topográfico con el nivel piezométrico del acuífero condicionados por la interacción de la zona de interface, la cual con algunos modelos matemáticos (Ghijben-Herzberg, Custodio et al. 2001) mencionan que a partir de la cota a la que se encuentra las surgencias del humedal costero de las Albuferas de Medio Mundo se estima que está ubicada a una profundidad aproximada de 160 m, donde se encuentra la zona de interface (Figura 5).

**N. Conclusiones**

- La evolución hidroquímica de las muestras analizadas responden a un sistema de circulación de aguas cloruradas sulfatadas sódicas, las cuales se relacionarían a flujos provenientes del acuífero poroso no consolidado que descarga en el humedal Medio Mundo.

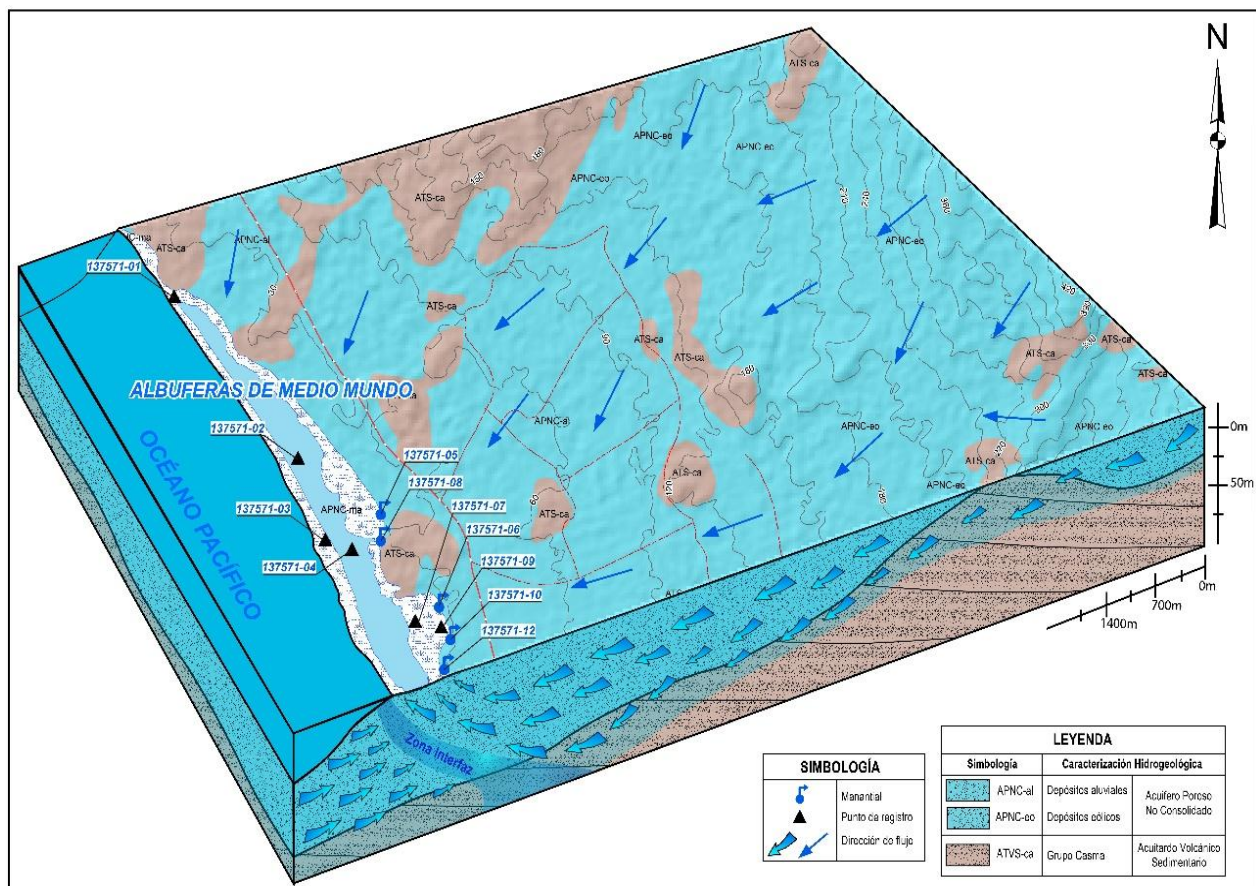
- Las surgencias de aguas subterráneas en las Albuferas de Medio Mundo, se encuentran condicionadas por la interacción de agua salobre-dulce, en una zona de mezcla denominada "zona de interface" debido a las diferencias de densidad de ambos fluidos.

**Agradecimientos**

El equipo de trabajo agradece al Ingemmet por los datos facilitados para el presente estudio, igualmente al Ing. Wai Long NG, Elmer Condori y Mayra Mogrovejo por el apoyo en campo en la recopilación de datos y sus sugerencias.

**Referencias**

- Benítez, A. (1963). Captación de aguas subterráneas, métodos de prospección y de cálculo. Madrid: Dossat, 157 p.
- Cobbing J. (1973). Geología de los cuadrángulos de Barranca, Ambar, Oyón, Huaral y Canta. Boletín N.º 26 (Serie A. Carta Geológica Nacional) Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. 172 p.
- Custodio, E. & Llamas, M. (2001) Hidrología subterránea. Barcelona: Ediciones Omega, 2da. Ed., 2 tomos.
- FCIHS (2009). Hidrogeología, conceptos básicos de hidrología subterránea. Barcelona. 768 p.
- INRENA (2005). Inventario y monitoreo del agua subterránea en el valle de Huaura. 131 p.
- Jacay J., Bianchi C. & Ayala L. (2010). Extensión Albiana en la paleomargen Andina. XV Congreso Peruano de Geología. Resúmenes extendidos, pp. 784-787.
- Jara, et al. 2011. Sucesiones volcánicas y epiclásticas de Punta Atahuanca (Huacho). RIIGEO, Vol. 14, N.º 27, pp. 23-28.
- Kehew, A.E. (2001). Applied Chemical Hydrogeology. Prentice. Hall, 368 pp.
- Martínez, E; Martínez, P. & Castaño, S. (2006). Fundamentos de hidrogeología. Madrid. Mundi-Prensa, 284 p.



**Figura 5 Modelo hidrogeológico del humedal Albuferas de Medio Mundo**