

ANEXO 2: Determinación vulnerabilidad del acuífero a infiltración ducto efluente Planta de Tratamiento de RILES

La estimación de la vulnerabilidad del acuífero de Putaendo en el sector del proyecto se realiza de acuerdo al “Manual para la Aplicación del Concepto de Vulnerabilidad de Acuíferos Establecido en la Norma de Emisión de Residuos Líquidos a Aguas Subterráneas. Decreto Supremo N° 46 de 2002” Gobierno de Chile, Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas.

La estimación de la vulnerabilidad requiere, según **4.2.3. Cobertura del Suelo más cubierta Litológica (Puntaje Pt)** el cálculo del puntaje de efectividad de protección (puntaje Pt) para el suelo entero (P_1) y la cobertura de roca sobre el acuífero (P_2) es la suma de P_1 y P_2 :

$$Pt = P_1 + P_2 \quad (\text{Ecuación 1})$$

Dada la profundidad a la que se encuentra el nivel freático (unos 100 metros), el valor de P_1 es poco significativo por lo que se considera que el puntaje Pt viene dado solo por P_2 , quedando la ecuación 1 como:

$$Pt = P_2 \quad (\text{Ecuación 2})$$

De acuerdo al punto **4.2.2. Cubierta Litológica en la Zona no Saturada (Puntaje P_2)** el valor de P_2 se establece según la ecuación;

$$P_2 = R \times (L_1 \times E_1 + L_2 \times E_2 + \dots + L_m \times E_m) + A \quad (\text{Ecuación 3})$$

El valor de A se considera igual a cero (0) dado que el acuífero de Putaendo es libre.

A su vez, de acuerdo a referencia bibliográfica¹ en los primeros 100 metros de profundidad del acuífero hay un solo estrato que corresponde a “... un conjunto de sedimentos de fina granulometría del tipo arenas limosas con una abundante matriz de arcilla que representa más o menos un 50% del volumen total de los depósitos”. Según el manual en su **Tabla 4.3 Equivalencias Litológicas para Descripciones Estratigráficas Comunes de Sondajes y puntajes asociados para la evaluación de Ln**, para el estrato descrito² le corresponde un valor de Ln de 75. Por lo que de las ecuaciones 2 y 3 se tiene:

$$Pt = P_2 = R \times (75 \times E_1) \quad (\text{Ecuación 4})$$

La conducción es de 1,26 km de largo y 110 mm de diámetro en donde el efluente es descargado de manera discontinua, en batch de 2 m³, siendo impulsada por gravedad dada la pendiente del 2%. Dado la variación del volumen a tratar (20 – 100 m³/día) se generan entre 10 y 50 descargas batch al día.

¹ Página 10 y Figura 2.4 Informe Técnico “Evaluación de los recursos subterráneos de la cuenca del río Aconcagua” Julio 2001 DG A-MOP

² Ripio o Grava o Bolones-Arcilla (>20%), Bolones o grava -limo-arcilla

Si se considera que el agua del efluente cubre el 75% de la sección de la conducción (0,0071 m²) y, para una pendiente del 2%, se tiene que la velocidad del agua es de 0,6 m/s, da un caudal de 0,0043 m³/s en cada batch descargado. Esto implica que cada punto de la conducción durante un batch está expuesto a 468 segundos al agua; y para 50 batch cada serían 23.383 segundos del día lo que da una fracción de tiempo con agua de 0,27; esto es, cada punto de la cañería está un 27% del tiempo con agua.

En el punto **4.1.1. En relación con el Suelo y la Recarga** se establece que R es el factor de recarga y comprende la recarga natural (RNest), y la recarga artificial (RA) en donde la primera se determina mediante la diferencia entre la precipitación anual (P) y la evapotranspiración potencial anual (ETPpot) y la segunda corresponde a volumen anual de infiltración (RA), en este caso la potencial fuga del ducto. De aquí que se tiene la siguiente ecuación para calcular R es:

$$R \text{ [mm/a]} = RNest + RA \quad (\text{Ecuación 6})$$

Para estimar el valor de RA se va a considerar: 1) que la perforación en la conducción es de 1 cm² y 2) que la velocidad con que el agua filtra el terreno está principalmente controlada por la conductividad del material en contacto con la perforación.

Del sitio de la FAO³ se tiene que la conductividad (K) para este material, asimilado como “arenas limpias y mezclas de gravas” el valor de conductividad es 8,64 m/día (10⁻⁴ m/s). Se estima un área de afectación a 1 m bajo la perforación de 1 m².

Se tiene la siguiente ecuación para calcular RA:

$$RA = A_{\text{perforada}} \text{ (m}^2\text{)} \times K \left(\frac{\text{m}}{\text{día}} \right) \times 365 \frac{\text{(día/año)}}{\text{Area filtración (m}^2\text{)}} \times 1000 \left(\frac{\text{mm}}{\text{m}} \right) \times \text{Fracción de tiempo con agua}$$

$$RA = \frac{0,001 \times 8,64 \times 365 \times 1000 \times 0,27}{1} = 852 \text{ mm/año}$$

No se considera la Recarga Natural estimada (RNest), ya que el valor de recarga artificial (RA) calculado conlleva tener que asumir el R más desfavorable que es de 0,5, esto según la **Tabla 4.2 Valoración de la Recarga (Factor R) para un R > 400 mm/año**. Por lo tanto la ecuación 4 queda como:

$$Pt = P2 = 0,5 \times 75 \times E1 \quad (\text{Ecuación 5})$$

³ https://www.fao.org/fishery/static/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s09.htm

De los registros disponibles en el sitio www.dga.cl⁴, se tiene que en pozo denominado Putaendo (1), cuya ubicación se muestra en la siguiente imagen, el nivel freático del acuífero al 25 de enero de 2022 está a 88,9 metros de profundidad, considerando este valor para E1.



Por lo tanto de la ecuación 5 se tiene que el Pt es:

$$Pt= P2 = 0,5 \times (75 \times 88,9) = \mathbf{3.334}$$

De acuerdo a la **Tabla N° 4.5 Clases de Efectividad Generalizada de Protección y Vulnerabilidad asociada**, un puntaje de protección (Pt) de 3.334, por lo que está en el rango de 2.000 – 3.999, lo que implica:

- Una efectividad generalizada de protección “**alta**”.
- Una vulnerabilidad asociada, estimada, del acuífero ante emisiones es “**baja**”.
- El tiempo de residencia aproximado en el suelo y subsuelo sobre el acuífero es “**10 a 25 años**”.

En ese rango un puntaje de protección de 3.334 el tiempo de residencia aproximado en el suelo y subsuelo sobre el acuífero se puede estimar en unos 20 años.

⁴ <https://dga.mop.gob.cl/Paginas/hidrolineasatel.aspx>