



#### 4. MODELO CONCEPTUAL Y CONCLUSIONES

Las tradicionales conclusiones con que culmina una investigación son transformadas en este caso en un Modelo Conceptual que intenta reflejar tanto las características del medio físico continente como las del fenómeno geohidrológico, acompañado del necesario correlato de los aspectos socioeconómicos que hacen a una propuesta integral de aprovechamiento, como corolario aplicado de la Tesis.

Se desarrolla entonces a continuación el modelo, acompañado de los resultados equivalentes a las conclusiones que forman parte de su contexto.

Dentro del **Medio Físico**, las características topográficas y geomorfológicas muestran un paisaje caracterizado por un sistema de *Planicies aterrazadas*, de relieve plano-cóncavo labradas sobre sedimentos terciarios, cubiertas casi en su totalidad por rodados patagónicos. Se reconocen pequeñas *Depresiones endorreicas* de origen eólico y grandes de origen mixto (Salinas Grande y Chica), diferenciables por contener cuerpos de agua salinos transitorios y alcanzar cotas topográficas por debajo del nivel del mar. Dos franjas de *Médanos* y *Mantos arenosos* de dirección E-W se desarrollan sobre el sector Sur cubriendo tanto las planicies aterrazadas como los bajos. Finalmente, una *Zona Costera* refleja el predominio de los procesos erosivos sobre los de acumulación, manifestados principalmente por acantilados activos y superficies pedimentadas.

Los suelos guardan relación con las grandes geoformas, los materiales parentales y el clima, limitándose a los grandes grupos *Aridisoles* y *Entisoles*. Soportan una vegetación típicamente *xerófito*, con un importante grado de especialización para la economía del agua, especialmente importante al momento de analizar el fenómeno de recarga.

La geología superficial marca el predominio de depósitos plio-pleistocenos de gravas (*Rodados Patagónicos*) y cuaternarios eólicos por sobre sedimentos coluviales y aluviales localizados en sectores deprimidos del relieve. Son reducidos los afloramientos terciarios de la *Formación Puerto Madryn*, limitados a la margen Sur de las Depresiones endorreicas mayores y al perímetro costero.

En subsuelo la secuencia se caracteriza por la presencia, por debajo de la delgada cobertura cuaternaria, de la *Formación Puerto Madryn* (areniscas, pelitas y coquinas) con una potencia de hasta 150 m. Se apoya sobre la *Formación Gaiman* (fangolitas cineríticas) con espesor estimado en 280 m al no haberse alcanzado su base. Continúa la secuencia con una alternancia de pelitas, areniscas y tobas cretácicas de unos 1500 metros de espesor, completándose el esquema con unidades que van del Jurásico al Devónico, obviamente alejadas del tema objeto de la investigación.

El punto de vista hidrolitológico es el más relevante en cuanto condiciona la ocurrencia de la etapa terrestre subterránea del ciclo hidrológico, en función de la facilidad con que las unidades geológicas permiten la circulación y almacenaje del agua. Luego de una *Zona No Saturada* de espesor variable (entre 0 y más de 70 m) y comportamiento esencialmente acuífero, se localiza una *capa freática* alojada en los sedimentos cuaternarios y/o terciarios. Un *acuitardo* de geometría irregular la separa de otro *acuífero* en este caso *semiconfinado* que podría yacer en la Formación Puerto Madryn o Gaiman dependiendo de la profundidad relativa.

No se conoce certeramente la continuidad hidrolitológica en profundidad aunque del análisis de perforaciones antecedentes surgiría la existencia de otros niveles presumiblemente *confinados* y separados por estratos *acuicludos*.

En lo relativo a la fijación de los **bordes** adoptados para el sistema geohidrológico, no existieron mayores dificultades en cuando a los laterales: por el Este, Sur y Oeste están representados por la línea de costa y su carácter, permeable negativo. El septentrional, conformado por una divisoria de aguas subterráneas de rumbo paralelo que prácticamente disecta la península, tiene carácter impermeable desde el punto de vista del modelo.

El borde superior es tomado coincidentemente con la superficie topográfica, lógicamente permeable-positivo y el inferior asumido en el primer metro acuitardo que a efectos del sistema es arbitrariamente tomado como impermeable.

Sobre la base de la configuración asignada a la componente física del sistema geohidrológico, corresponde dentro de la fenomenología hidrodinámica el análisis de las **Variables de ingreso**.

Descartado todo aporte alóctono lateral por afluencia subterránea y dada la inexistencia de cursos de agua superficial o importación de agua, el insumo del sistema queda reducido al aporte meteórico, fundamentalmente pluvial.

Bajo un clima árido mesotermal, el régimen pluviométrico es típicamente pacífico con modulo anual de 234 mm (período 1912-2006) mostrando un pluviograma, con moda principal en los meses Mayo-Julio y extremos medios de 31,5 mm en Mayo y 13,1 mm en Enero. Poseen poca relevancia tanto las precipitaciones nivales como las heladas.

Considerando como ingreso el aporte vertical neto, diferencia ente la precipitación y la pérdida por evapotranspiración real, el balance hídrico modular no mostraría la ocurrencia de recarga efectiva. Recurriendo entonces a un *balance de tipo diario* secuenciado que utilice las lluvias clasificadas (en este caso mayores a 5 mm) se consigue localizar la oportunidades intraanuales de excesos hídricos que totalizarían 58 mm/año.

Con un criterio propio de las regiones áridas, se explica la ocurrencia de recarga facilitada por dos mecanismos convergentes conocidos como *infiltración rápida* (función de la litología permeable y suelos con baja retención específica) y *reducción real de las pérdidas consuntivas* (función de la vegetación xerófito).

Otra aproximación al cálculo de la recarga se logra analizando las fluctuaciones piezométricas máximas durante tres años, que sugiere un valor de *74 mm/año*, muy próximo al precedentemente citado.

Asumido el aporte meteórico como único responsable de la **recarga**, el modo resultante es autóctono directo, con expresión prácticamente en toda la comarca y maximizada en los médanos precisamente por los mecanismos mencionados y manifestada en el mapa equipotencial por una hidroforma cilíndrica divergente.

La **circulación** se manifiesta con un patrón típicamente radial, con algunas tendencias a cilíndrico convergente y gradientes hídricos promedio de 0,52 %, con máximos del orden de 0,9 % periféricos a la hidroforma aludida y mínimos de 0,1 % en los sectores Noreste y Noroeste, con una velocidad efectiva media de  $1,12 \times 10^{-2}$  m/d que se incrementa hacia las zonas de recarga ( $1,34 \times 10^{-2}$  m/d) y descarga ( $2,59 \times 10^{-2}$  m/d). La expresión más homogénea de los gradientes y velocidades ocurre en el ámbito de las Planicies aterrazadas.

Está la **descarga externa o regional** localizada sobre el perímetro de la península con destino en el Golfo Nuevo y Océano Atlántico, mientras que la interna ocurre fundamentalmente en una hidroforma cilíndrica convergente, que envuelve a los bajos de las Salinas Grande y Chica. Se manifiesta en sus bordes mediante manantiales que drenan con un caudal medio de 154 l/min ( $222 \text{ m}^3/\text{día}$ ) hacia los cuerpos salinos centrales.

El modelo conceptual hidrodinámico está verificado por las evidencias de índole hidroquímica e isotópica. La primera de ellas permite diferenciar dos comportamientos, uno caracterizado por aguas de baja salinidad (entre 280 y 1400 mg/l) de tipo iónico Bicarbonatado clorurado sódico y Clorurado bicarbonatado sódico; y el otro, de características salobres hasta casi salinas con valores que superan 2100 mg/l alcanzando en situaciones extremas los 9800 mg/l y con calificación de Clorurado sódico. Se logra reconstruir la dinámica en función de las variaciones hidrogeoquímicas, correspondiendo el primer grupo con las zonas de recarga y el segundo con las de circulación y descarga.

Los *isótopos ambientales* ratifican el carácter meteórico de la recarga, ya que el fraccionamiento isotópico en las zonas de recarga se asemeja a las aguas pluviales, marca un enriquecimiento por concentración para las de circulación indicando en líneas generales

el tránsito desde la recarga, y muestra un extremo de máxima evaporación radicado en las salinas.

El *Tritio* a su vez está indicando el tiempo de residencia medio del agua, es decir el tiempo transcurrido desde la recarga. Variando su calificación entre “actual” para el nivel acuífero localizado en los depósitos costeros, y “moderno” a “submoderno” dependiendo de la ubicación respecto a la principal zona de descarga para el nivel libre, contenido en los sedimentos de la *Formación Puerto Madryn*.

Como síntesis conceptual de lo expuesto hasta este punto, se presenta en la figura 4.1. las variables de ingreso y egreso del sistema, sus bordes y en un corte transversal Sur- Norte (A-B) la dinámica subterránea y la hidroquímica (TSD).

A partir del modelo conceptual descrito y el consecuente análisis de los vectores de entrada y salida, así como de la clasificación y zonificación de calidad química, se pudo realizar la cuantificación de la disponibilidad de agua a partir de las **reservas** y su discriminación en función de la aptitud para distintos usos.

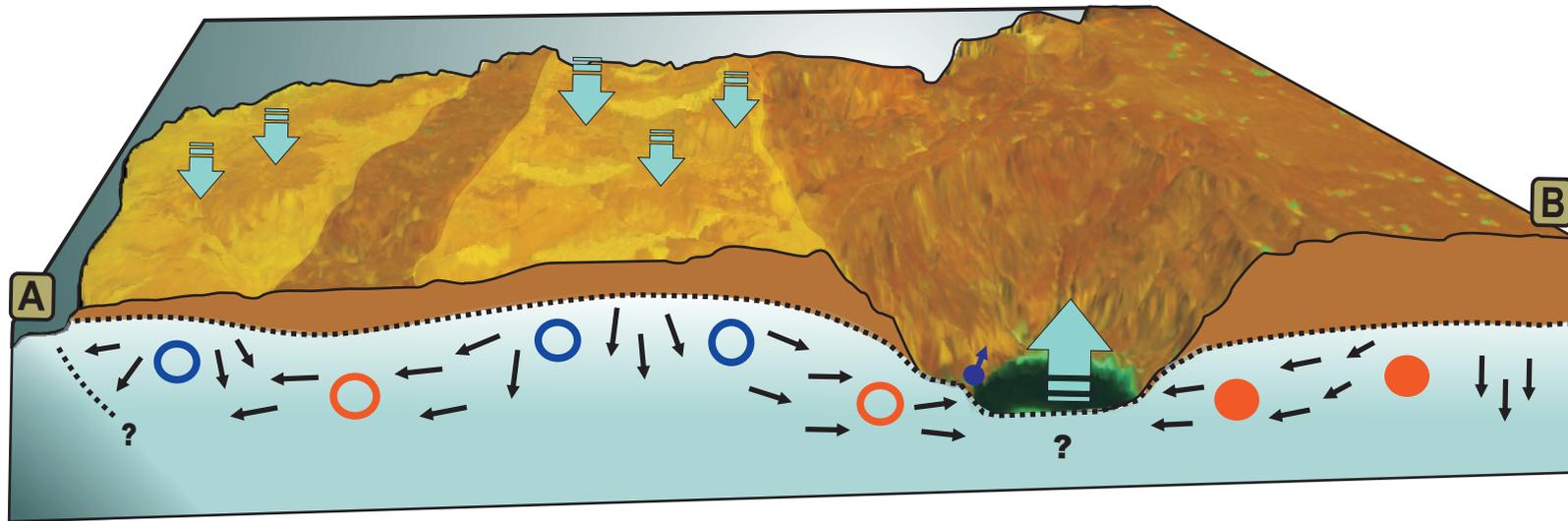
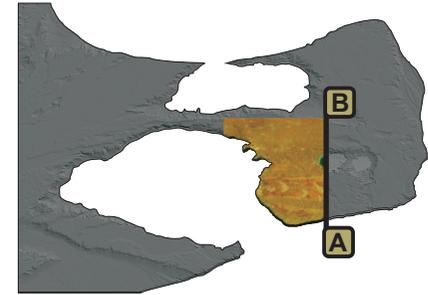
Las reservas totales generales alcanzan aproximadamente los  $1100 \text{ hm}^3$ , de las cuales  $150 \text{ hm}^3$  calificarían como aptas para consumo humano y el resto ( $80 \text{ hm}^3$ ) para uso ganadero. En cuanto a las reguladoras o generadoras, aquellas con aptitud para suministro público rondan, aunque con ciertas consideraciones debidas a la presencia de Arsénico, los  $10 \text{ hm}^3$ .

Habiéndose detectado un volumen de agua subterránea importante para la región, se establecen desde la óptica de la **hidrología ambiental**, los elementos mínimos necesarios a considerar en la toma de decisiones que acudan a la preservación del mencionado recurso, tanto en lo referido a la calidad como a la cantidad.

Los sectores más vulnerables a la contaminación son, a escala regional, aquellos ubicados en coincidencia con la unidad geomorfológica Médanos y Mantos arenosos y dentro de ellos en los sitios donde se halla cubriendo antiguas depresiones y, a escala local, los ubicados en depósitos costeros.

Para asegurar la sustentabilidad del aprovechamiento habría que considerar lógicamente los volúmenes calculados a partir de las reservas reguladoras, de modo de no afectar las geológicas o profundas.

# ESQUEMA DEL MODELO CONCEPTUAL DEL FUNCIONAMIENTO GEOHIDROLÓGICO



○ TSD < 1500 mg/l

● TSD > 3000 mg/l

↑ ↓ Evaporación / Precipitación

○ TSD 1500 -3000 mg/l

♂ Manantial

↔ Dirección de Flujo

La sobreexplotación del recurso tendría varias consecuencias negativas, siendo la más obvia la disminución progresiva de las reservas totales, que vendrían seguramente acompañadas de una alta probabilidad de salinización por ascenso o afluencia lateral de aguas de menor calidad.

No obstante el impacto sería evidente en el desequilibrio hidroecológico que se produciría en los “mallines” o humedales, al disminuir el volumen de agua aportado normalmente hacia estos sitios, generando su desecamiento y poniendo en riesgo el ámbito natural de bebida de fauna tanto autóctona como introducida, y el sustento de una gran diversidad de especies, especialmente aves migratorias.

Para satisfacer lo anterior y considerando que la principal demanda de agua está centralizada en Puerto Pirámides, ya que la ganadería no representa presión al sistema y que por otro lado se descarta cualquier otro tipo de actividad por tratarse de una Reserva Natural Protegida, se concluye la investigación con una **Propuesta de aprovechamiento** tendiente a satisfacer los requerimientos del único municipio de la península y la creciente actividad turística, dado que la política actualmente sostenida parecería ser la de no fomentar el aumento de población estable.

En función del volumen de agua potencialmente necesario, la evaluación de las reservas y la aptitud del agua, se plantean dos posibles alternativas para la localización de una futura explotación. Una a unos 25 km de la localidad, cuyo contenido de Arsénico implicaría su tratamiento y otra a una distancia mayor (35 km) pero de calidad superior. Asimismo, teniendo en cuenta la baja permeabilidad de los sedimentos acuíferos y el riesgo de salinización, se sugiere como método de explotación, la utilización de pozos de gran diámetro con drenes horizontales.

Finalmente se recomienda, en el caso de futuras investigaciones de mayor detalle dentro del área de la Península Valdés, utilizar a las unidades geomorfológicas como herramienta para la discretización espacial ya que se verificó que muestran una buena correlación con las distintas componentes del modelo conceptual de funcionamiento hidrológico.

Se sugiere, así mismo, para estudios a desarrollarse en sitios de características similares a las aquí presentadas, con baja densidad de información pero buena exposición geomorfológica, tomar la delimitación de las principales unidades hidromorfológicas, como punto de partida en el análisis del fenómeno geohidrológico regional.