

**A la memoria de mis abuelos, nono, y tía Irene**

**A Andy y a mi familia**

**Y a mí adorada nona**



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MUSEO

TESIS DOCTORAL

*“Investigación geohidrológica en un sector de  
Península Valdés, provincia de Chubut”*

DOCTORADO EN CIENCIAS NATURALES

*María del Pilar Alvarez*

*Director:*

*Dr. Mario Alberto Hernández. Cátedra de Hidrogeología. Facultad de Ciencias Naturales y Museo. Universidad Nacional de La Plata. CONICET.*

*Codirectora:*

*Dra. Nilda Ester Weiler. Unidad de investigación Geología y Paleontología. Centro Nacional Patagónico. CONICET.*

*Jurado:*

*Dr. Eduardo E. Kruse – Universidad Nacional de La Plata. CONICET.*

*Dr. A. Guillermo Bonorino – Universidad Nacional del Sur. CONICET.*

*Dr. Daniel E. Martínez – Universidad Nacional de Mar del Plata. CONICET.*

**AÑO 2010**

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero hacer de entrada un agradecimiento general a TODA la gente que me acompañó de una u otra manera en este proceso de formación tanto personal como académica que se inicia en el momento que decido estudiar geología y culmina, momentáneamente, con esta Tesis.

Como de todos modos me gustaría hacer un reconocimiento más detallado, pido perdón por adelantado si me olvido de alguien ya que probablemente suceda porque nunca tuve buena memoria.

Remontándome un poco más allá de estos últimos años, recuerdo con mucho cariño y agradezco a todos aquellos que estuvieron directa o indirectamente relacionados con mi decisión de migrar de mi lugar natal (Puerto Madryn) para irme a estudiar geología a la Universidad Nacional de La Plata, decisión de la que jamás me arrepentí y que se sostuvo, entre otras cosas, por el invaluable apoyo de muchas personas con las cuales voy a estar siempre en deuda.

A mis viejos, mis hermanos y a toda mi familia, por su cariño y contención, por alentarme en cada una de mis decisiones, por compartir mis éxitos y fracasos, por eso y por todo lo que hacen por mí, eternamente gracias!.

A Andy le quiero agradecer de corazón por estar siempre que lo necesito, por su energía para que todo me salga bien y por sobre todo por el amor que me brinda día a día. Además le quiero agradecer por su compañía y actitud siempre positiva durante todo el desarrollo de la Tesis, desde el campo hasta la edición final, sin las cuales todo hubiera sido muchísimo más difícil.

A Sara, Ire, Gabriel, Raúl, y Edu les quiero agradecer por sus consejos, ayuda, y por alentarme todo este tiempo.

A mis amigos, no hace falta nombrarlos, ellos saben quiénes son. Los de siempre y los de ahora, los de Madryn y los de La Plata, los del equipo de natación, los de capoeira, los de la "facu" y a las "femeninas", por haberme acompañado durante todos estos años, desde que me fui de Madryn, o en partes de ellos, cada uno a su manera y con su estilo, y por muchas cosas más que se resumen en su amistad: chicos ¡Gracias! ¡Gracias por estar y haber estado!.

Ya en estos años de Tesis quiero agradecerles a mis directores por haberme dado oportunidad de realizarla y por sus enseñanzas durante el desarrollo. A Nilda Weiler le quiero agradecer también por haberme acompañado reiteradas veces al campo y a Mario Hernández por todo lo que me transmitió durante estos años y finalmente por su dedicación y paciencia durante la corrección.

A Nilda González (Chuchi), María Marta Trovatto y Claudia Solero, les agradezco sinceramente todo su apoyo, ya sea mediante su compañía, ya sea en el tratamiento de datos así como también con sus sugerencias, discusiones y minuciosas revisiones.

A Cristina Dapeña por su invaluable apoyo en la interpretación isotópica.

A Juan Carlos Gómez le quiero dedicar un especial reconocimiento por sus enseñanzas y asistencia en todo lo que fue el procesamiento de imágenes y el montado del

Sistema de Información Geográfico, herramientas indispensables en el desarrollo de esta Tesis.

Le quiero agradecer a la gente del CISAUA que me acompañó desde el principio y en especial a Beatriz Guichón por haberme hecho los análisis químicos.

A Lisandro Hernández y a Hernán Andrada por haberme acompañado al campo y ayudado con los ensayos de bombeo.

A los pobladores de la Península Valdés por su colaboración y amable recepción, en especial a Guillermo y Vilma Sar, tanto por sus interesantes charlas como por todo el apoyo ofrecido.

A Julio Stampone por la valiosa información otorgada.

A la municipalidad de Puerto Pirámides por haber declarado este estudio de interés comunal.

A la institución CENPAT por el apoyo logístico brindado tanto para tareas de campo como de gabinete, y a su personal en general por la cordial cooperación. Quiero agradecer especialmente a Negrita Davies y a Juan Carlos Labraga por el material meteorológico proporcionado así como también a la gente de las unidades de Geología y Paleontología y de Zona Áridas por la información ofrecida y las enriquecedoras discusiones.

A la Administración Península Valdés, por el soporte logístico facilitado para las tareas de relevamiento y especialmente a Gustavo Zamora por su compañía y gran ayuda en el campo.

A la Dirección General de Obras Hídricas por su contribución con la ejecución de las perforaciones y a su personal por la amable colaboración y buena predisposición para con el desarrollo de esta Tesis.

A la gente del departamento de ingeniería hidráulica de la UNLP por su amable recepción.

A la Comisión Nacional de Actividades Espaciales por haber cedido las imágenes LANDSAT.

A la Agencia de Promoción Científica y Tecnológica por el financiamiento de los últimos años.

Finalmente quiero agradecerles sinceramente a los miembros del jurado, Dres. Eduardo E. Krusse, Daniel E. Martinez y A. Guillermo Bonorino, por sus evaluaciones y correcciones que han contribuido a mejorar la calidad de la Tesis.

## RESUMEN

La zona de estudio pertenece a la región septentrional de la Patagonia extrandina, se localiza en el sector Sur de la Península Valdés entre los paralelos 42° 32' S y 42° 53' S y los meridianos 63° 34' W y 64° 22' W, cubriendo una superficie de 1700 km<sup>2</sup> y está delimitada al Norte por una divisoria de aguas subterráneas, al Oeste por el Golfo Nuevo y al Sur y Este por el Océano Atlántico.

El régimen climático es de tipo árido mesotermal, con precipitaciones pluviales que apenas superan los 200 mm/año, y ausencia de cursos de agua superficiales permanentes.

Morfológicamente, el área se caracteriza por un relieve llano aterrizado y la presencia de dos grandes depresiones con cotas de hasta -42 m por debajo del nivel del mar, que alojan en su interior cuerpos salinos (salinas Grande y Chica).

La carencia de agua potable en la Península Valdés ha sido y es una de las principales limitantes para su desarrollo socioeconómico. Históricamente, la demanda de agua estuvo asociada a la actividad pecuaria (ganadería ovina), el abastecimiento a la población laboral de establecimientos de producción de sal y más recientemente a localidad de Puerto Pirámides, de importante crecimiento vinculado a la actividad turística.

En función de la histórica necesidad de recursos de agua potable y de la falta de información geohidrológica del área, se plantearon como objetivos de esta investigación: reconocer y evaluar la disponibilidad de aguas subterráneas en cantidad y calidad en un sector de la Península, especialmente en un área aledaña al Golfo Nuevo, identificar el sistema geohidrológico a nivel regional y local y los mecanismos hidrodinámicos e hidroquímicos actuantes, plantear un modelo conceptual de funcionamiento del sistema, contribuir a determinar la posibilidad de provisión sustentable de agua potable a la localidad de Puerto Pirámides, y establecer las medidas de protección ambiental del/los acuífero/s localizados, sobre la base de la previa determinación de su vulnerabilidad.

La investigación se desarrolló en una primer etapa sobre toda la Península Valdés de modo de obtener el marco geohidrológico regional y definir las características de borde de la zona de estudio y en una segunda, exclusivamente en el área de Tesis con un análisis más completo y de mayor detalle. En ambos casos se efectuaron tareas de campo, laboratorio y gabinete.

Se identificaron y mapearon las principales unidades geomorfológicas: *Médanos* y *Mantos arenosos*, *Planicies aterrizadas*, *Depresiones endorreicas* y *Zona Costera*, para

luego relacionarlas al circuito hidrogeológico y a los procesos de recarga-circulación-descarga.

En base al análisis litológico, tanto de superficie como de subsuelo se definió una secuencia hidrogeológica que inicia con una *Zona No Saturada* de espesor variable (0 a más de 70m) y comportamiento esencialmente acuífero, por debajo de la cual se localiza una *acuífero freático* alojado en sedimentos cuaternarios y/o terciarios de la *Fm. Puerto Madryn*. Luego un *acuitardo* de geometría irregular lo separa de otro *acuífero* en este caso *semiconfinado*. Se trata de acuíferos en medio poroso.

El fenómeno de recarga se produce principalmente en la zona correspondiente a la unidad Médanos y Mantos Arenosos, identificándose un tipo de recarga autóctona directa para el acuífero freático y autóctona indirecta, a través del mismo, para los niveles acuíferos inferiores. Su cuantificación se estimó a partir de balances hidrológicos de paso diario y mediante el método de fluctuaciones de niveles freáticos resultando en ambos casos en el orden del 30% de las precipitaciones.

Se reconocen como mecanismos actuantes a favor del ingreso de agua al sistema la reducción real de las pérdidas consuntivas por adaptaciones vegetales al clima árido (xerófitas) y la infiltración rápida producto de la presencia de materiales altamente permeables (médanos y mantos arenosos) y suelos con muy baja capacidad de campo (*Aridisoles* y *Entisoles*).

La descarga ocurre de manera externa o regional, sobre el perímetro de la península con destino en el Golfo Nuevo y Océano Atlántico, e internamente en los bajos de las salinas Grande y Chica manifestándose en sus bordes mediante manantiales. A partir de allí el egreso es netamente consuntivo.

Los resultados de índole hidroquímica acompañan el modelo conceptual hidrodinámico identificándose aguas de baja salinidad (entre 280 y 1400 mg/l) de tipo iónico bicarbonatado clorurado sódico y clorurado bicarbonatado sódico en la zona de recarga, y aguas 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 cloruradas sódicas en los estadios de circulación y descarga. Los resultados isotópicos ratifican también tanto el origen meteórico de la recarga como su principal ocurrencia en el área medanosa.

Se calcularon las reservas totales generales y las reguladoras distinguiendo entre aquellas aptas para consumo humano y para uso ganadero. Se detectó un volumen de agua potencialmente extraíble para suministro de la localidad de Puerto Pirámides, para el cual se proponen dos sitios alternativos para su explotación teniendo en cuenta la sustentabilidad

del aprovechamiento. Se analizan también las consecuencias ambientales con miras a prevenir tanto una contaminación como una sobre-explotación del recurso.

Por último se resalta la buena correspondencia entre las unidades geomorfológicas y las distintas componentes del modelo conceptual de funcionamiento geohidrológico, proponiéndose para estudios a desarrollarse en sitios de características similares, tomar como punto de partida la delimitación de las principales unidades hidromorfológicas, dentro de un desarrollo metodológico similar al aquí planteado.

## ABSTRACT

The study area is located in the northern region of the extra-Andean Patagonia, in the southern portion of the Península Valdés between latitude 42° 32' and 42° 53' S and longitude 63° 34' and 64° 22' W, covering a surface of 1,700 km<sup>2</sup>. It is bounded on the north by a subsurface watershed, on the west by the Golfo Nuevo, and on the south and east by the Atlantic Ocean.

The climate type is arid, mesothermal, with an annual rainfall scarcely exceeding 200 mm, and an absence of permanent surface watercourses.

Morphologically, the area is characterized by a relief consisting of a terrace-like plain and by the presence of two large depressions with heights of up to 42 m bsl, containing salt water bodies in their interior (the Salina Grande and Salina Chica salt pans).

The shortage of drinking water in Península Valdés has been, and still is, one of the main limitations to its socioeconomic development. Historically, there has been a demand for water connected with cattle rearing (sheep farming), the supply to the labour population of salt production facilities, and more recently to the town of Puerto Pirámides, which has grown significantly due to the influence of tourism.

Considering the historical need for drinking water resources and the lack of geohydrological information on the area, the objectives of this research study were: to study and evaluate the availability of subsurface water and its quantity and quality in an area of the peninsula, especially in the proximity of the Golfo Nuevo; to identify the geohydrological system at a regional and local level, as well as the hydrodynamic and hydrochemical mechanisms at play; to provide a conceptual model of how the system operates; to contribute by assessing the availability of a sustainable drinking water supply to the town of Puerto Pirámides; and to propose measures of environmental protection of the aquifer(s) detected, on the basis of its/their previously determined vulnerability.

The first stage of this research was undertaken over the whole extension of the Península Valdés in order to establish the regional geohydrologic framework and to define the boundary features of the study area. In the second stage, which focused exclusively on the thesis study area, a more complete and detailed analysis was carried out. In both cases, field work as well as chemistry and computer laboratory work was undertaken.

The main geomorphological units were identified and mapped — i.e. *Sand dunes and Sandy layers, Terrace-like plains, Endorheic depressions* and the *Coastal area* — in order to relate them to the recharge, circulation, and discharge processes.



On the basis of both the surface and subsurface lithological analysis, a hydrogeological sequence was defined. It begins with an *unsaturated zone* of variable thickness (0 to over 70m). Below this there is a *phreatic aquifer* contained within Quaternary and/or Tertiary sediments of the *Puerto Madryn Formation*. It is separated from another *aquifer* — in this case *semi-confined* — by an *aquitard* of irregular geometry. These are porous-media aquifers.

The recharge phenomenon takes place mainly in the area corresponding to the Sand dunes and Sandy layers unit, the recharge being direct and originated exclusively by in situ precipitation for the phreatic aquifer, whereas in the case of the deeper underlying aquifers it is indirect and it percolates vertically through the aquitard(s). Its quantification was estimated on the basis of hydrological balances on a daily time step, using the water level fluctuation method, giving results in both cases on the order of 30 percent of the rainfall.

The operating mechanisms which contribute to the inflow of water into the system are the net reduction of consumptive waste due to vegetation adaptations to the arid climate (xerophytes), and the rapid infiltration caused by the presence of highly permeable materials (sand dunes and sandy layers) and soils with very low field capacity (*Aridisols* and *Entisols*).

Discharge occurs regionally along the perimeter of the peninsula towards the Golfo Nuevo and the Atlantic Ocean, and locally towards the depressions of the Salina Grande and Salina Chica salt pans, emerging in the margins as springs. As from there, water loss is only caused by evaporation.

The hydrochemical results match the hydrodynamic conceptual model, identifying low-salinity waters (between 280 and 1,400 mg/l) of sodium chloride–bicarbonate and sodium bicarbonate–chloride water types in the recharge areas; and brackish to nearly saline waters with values of over 2,100 mg/l, reaching in extreme situations 9,800 mg/l and being classified as a sodium chloride type in the circulation and discharge stages. The isotopic results also support the meteoric origin of the recharge, as well as their main occurrence in the sand dunes area.

The static and dynamic groundwater reserves were estimated, distinguishing between those fit for human consumption and those for cattle consumption. A potentially extractable volume of water for the supply of the town of Puerto Pirámides was detected, and two possible locations for its exploitation are suggested, taking into consideration the sustainability of their management. The environmental consequences were also analyzed, with a view to preventing both the contamination and the over-exploitation of the resource.

To conclude, the close correspondence between geomorphological units and the different components of the conceptual model of geohydrological processes is highlighted, suggesting that any studies to be developed in locations with similar characteristics should take as a starting point the delimitation of the main hydromorphological units, in the framework of a methodological development similar to the one proposed in this study.