Trabajo Final de la Licenciatura en Geología de la Facultad de Ciencias Naturales y Museo Universidad Nacional de La Plata, Argentina.

INDICADORES SUSTENTABLES DE AGUA SUBTERRÁNEA EN PEQUEÑAS CUENCAS DEL NORESTE DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES

Marina Anahí Balduzzi

Director: Lic. María Marta Trovatto

2020

Resumen

El presente trabajo tiene como principal objetivo la implementación de los indicadores sustentables del agua subterránea en las cuencas Conchitas-Plátanos y Baldovinos, ambas ubicadas en los partidos de Berazategui y Florencio Varela, noreste de la Provincia de Buenos Aires. Los mismos representan parámetros sintéticos para conocer el estado y tendencias del recurso hídrico, teniendo en cuenta los antecedentes hidrológicos de las cuencas relacionados al acentuado proceso de ocupación territorial. Para ello se analizaron datos demográficos, hidrológicos e hidrogeológicos, se realizó el mapeo del uso de territorio y el análisis del uso del agua, como así también la medición de profundidades y parámetros físico-químicos en los dos acuíferos más explotados de la región, Pampeano y Puelche (freático y semiconfinado respectivamente), incorporando datos inéditos registrados en los años 2017-2018.

Se observó que el mayor uso y afectación del agua subterránea se produce en la parte media de las cuencas, traducido en niveles freáticos profundos y en coincidencia con la ubicación del aglomerado urbano, los barrios privados e industrias. Relacionado a ello, se registran variaciones en la profundidad del agua subterránea e incremento del contenido salino en varios de los pozos censados.

La vulnerabilidad resultante de la aplicación del método GOD-S para el acuífero Pampeano es baja y media o moderada, y para el acuífero Puelche es despreciable-baja, asociada a la influencia de la explotación. El indicador de agotamiento del agua subterránea (I5) muestra que el 47,7% del área de estudio está afectada por la disminución del nivel del acuífero Pampeano, mientras que, con el indicador de vulnerabilidad del agua subterránea (I7) se evidencia que el 20,1% del área presenta una vulnerabilidad media a la contaminación del mismo acuífero. El indicador de calidad del agua subterránea (I8) expresa que la misma se encuentra condicionada por la problemática natural del arsénico (5,3% del área) y la presencia de nitratos debido a la contaminación derivada de la actividad humana (3,3% del área) por la falta de un saneamiento básico.

Se concluye que el aumento del uso del territorio ocasiona una mayor demanda del agua subterránea, principalmente en aquellos lugares donde se ha ampliado la superficie de producción agrícola y el desarrollo de emprendimientos inmobiliarios cerrados, lo que produce un sostenimiento y, en algunos sectores, el potenciamiento de los efectos negativos estudiados hace décadas. Los indicadores sustentables, implementados en este ámbito por primera vez, arrojaron un diagnóstico actual de las cuencas en aspectos importantes como son el agotamiento y la vulnerabilidad. Es por eso que es necesario el seguimiento y actualización de las mismas para planificar el correcto uso del recurso y evitar su deterioro progresivo.

Abstract

The main objective of this work is the implementation of groundwater resources sustainability indicators in the Conchitas-Plátanos and Baldovinos watersheds, located in the Berazategui and Florencio Varela locations, northeast of the Province of Buenos Aires.

They represent synthetic parameters to know the status and trends of the hidric resource, taking into account the hydrological background of the watersheds related to the accentuated process of territorial occupation. For this, demographic, hydrological and hydrogeological data were analyzed, the mapping of the use of the territory and the analysis of the use of the water was performed, as well as the measurement of depths and physicochemical parameters in the two most exploited acuifers in the region, Pampeano and Puelche (phreatic and semi-confined respectively), incorporating unpublished data recorded in the 2017-2018 years.

It was observed that the greatest use and affectation of groundwater occurs in the middle part of the watersheds, translated into deep water tables and coinciding with the location of the urban agglomerate, private neighborhoods and industries. In relation to this, there are variations in the depth of the groundwater and increase in saline content in several of the wells registered.

The vulnerability resulting from the application of the GOD-S method for the Pampeano aquifer is low and medium or moderate and for the Puelche acuifer is negligible-low, associated with the influence of exploitation. The indicator of groundwater depletion (I5) show that 47.7% of the study area is affected by the decrease in the level of the Pampeano aquifer, while, with the indicator of vulnerability of groundwater (I7) it is evident that 20,1% of the area presents a medium vulnerability to contamination of the same aquifer. The groundwater quality indicator (I8) expresses that it is conditioned by the natural problems of arsenic (5,3% of the area) and the presence of nitrates due to contamination derived from human activity (3,3% of the area) due to the lack of basic sanitation.

It is concluded that the increase in the use of the territory cause a greater demand for groundwater, mainly in those places where the agricultural production area has been expanded and the development of closed real estate ventures, which produces a sustenance and, in some sectors, the accentuated / empowerment of the negative effects studied decades ago. The sustainability indicators, implemented in this area for the first time, showed a current diagnosis of the watersheds in important aspects such as depletion and vulnerability. That is why it is necessary to monitor and update them to plan the correct use of the resource and prevent its progressive deterioration.

Índice

1. INTRODUCCIÓN **1**

1.1 Objetivos 2

2. MATERIALES Y MÉTODOS **3**

2.1 Recopilación y análisis de antecedentes 3

2.2 Identificación y mapeo del uso del territorio 4

2.3 Mediciones en campo 5

2.4 Definición de vulnerabilidad 6

2.5 Elección y aplicación de Indicadores Sustentables 8

3. ÁREA DE ESTUDIO **11**

3.1 Ubicación geográfica 11

3.2 Demografía y socioeconomía de la zona 12

3.3 Clima 14

3.4 Geología, geomorfología y suelos 16

3.5 Hidrología superficial 18

3.6 Hidrogeología 20

3.7 Hidrología subterránea 21

3.7.1 Hidrodinámica de los acuíferos 21

3.7.2 Hidroquímica de los acuíferos 24

4. RESULTADOS **25**

4.1 Usos del territorio 25

4.2 Modelos conceptuales 28

4.3 Profundidad del agua subterránea en las cuencas 31

4.4 Propiedades físico-químicas 36

4.5 Vulnerabilidad de acuíferos 36

4.6 Indicadores sustentables 40

5. INTERPRETACIÓN Y DISCUSIÓN **42**

6. CONCLUSIONES **45**

7. BIBLIOGRAFÍA **47**

Anexos **51**

1. Tablas de datos de campo y análisis químicos de laboratorio 52
2. Ubicación de perfiles geológicos 58
3. Mapas de suelos de los partidos de Berazategui y Florencio Varela 59
4. Mapa de disponibilidad estimada de uso, acuífero Pampeano y Puelche 61

1. INTRODUCCIÓN

En las cuencas de los arroyos Conchitas-Plátanos y Baldovinos, las aguas subterráneas, provenientes de los dos acuíferos más importantes de la zona, Pampeano y Puelche, constituyen el principal medio de abastecimiento para consumo humano, industrial y agrícola, reconociéndose, a través de estudios hidrodinámicos e hidroquímicos, alteraciones de los niveles de agua y también de su calidad desde la década del 60. Las mismas se han extendido desde el sector medio y bajo de la cuenca hacia la parte superior, producto de la mayor demanda del recurso (Trovatto et al. 2015). Entre los cambios más importantes se destacan el aumento de espesor de la zona no saturada, por depleción del acuífero Pampeano y el avance del frente salino en el acuífero semiconfinado Puelche (Trovatto et al., 2013 y 2015).

Varios autores realizaron estudios de la zona referidos a la ocupación y usos del territorio en relación con el agua subterránea. Borello (2013), caracteriza los conflictos que derivan de los cambios del uso del suelo los cuales llevan a una rivalización por el aprovechamiento/ abastecimiento del agua subterránea, que sumado a la falta de una gestión integrada del recurso termina por incrementar los efectos adversos tanto en la población como en el ambiente. Relacionado a lo precedente, la afectación de las reservas del recurso subterráneo es descripta por Trovatto et al. (2013) quienes analizan la hidrodinámica subterránea de las cuencas, la cual se ve alterada por la extracción para diferentes actividades que ocasionan una profundización de los niveles de ambos acuíferos. Luego, Calvo et al. (2014 y 2015) estudian la variación de la ocupación territorial a través del análisis visual de fotografías e imágenes correspondientes a cuatro décadas, sectorizando las cuencas de los arroyos Conchitas-Plátanos y Baldovinos de acuerdo con las principales actividades. Las alteraciones hidroquímicas derivadas de acciones antrópicas fueron evidenciadas por Trovatto et al. (2015), donde las concentraciones de algunos elementos mayoritarios y minoritarios, y la presencia de bacterias coliformes constituyen limitantes de la calidad del agua subterránea.

Un aspecto ambiental abordado por Silva Busso et al., (2003) es la vulnerabilidad del acuífero Pampeano a una escala regional, que abarca todo el Conurbano Bonaerense, sector sometido intensamente a actividades antrópicas, en donde se aplicó la metodología de Foster et al., (1987, 2002) con índices de vulnerabilidad variables, con calificación de baja a moderada en las cuencas del presente estudio.

El **tema propuesto** en el presente trabajo comprende a los indicadores sustentables de agua subterránea, inicialmente definidos por la OECD (2003) como “un parámetro o un valor derivado de parámetros que puntualiza, provee información sobre, describe el estado de un fenómeno/ ambiente/ área con un significado extendido más allá que el directamente

asociado con el valor del parámetro", siendo sus principales funciones evaluar condiciones o tendencias, comparar transversalmente sitios o situaciones, para evaluar metas y objetivos, proveer información preventiva temprana y anticipar tendencias futuras (REDESAR, 2008). Más precisamente se aborda el desarrollo de los indicadores propuestos por Vrba y Lipponen (2007), basados en programas de monitoreo y evaluación, que pretenden evaluar la calidad y cantidad del recurso hídrico, así como las tendencias futuras para ayudar con el análisis de los procesos naturales y el impacto humano sobre el sistema de agua subterránea. Pérez et al. (2014) aplican estos indicadores en un área de la provincia de Santa Fe, donde el agua subterránea es el único medio de abastecimiento para las distintas actividades. Matteoda et al. (2012) utilizan, en el sur de Córdoba, geoindicadores para medir las presiones que las actividades antrópicas ejercen sobre el recurso, los estados del ambiente que resultan de esas actividades y las posibles respuestas políticas para la remediación de los cambios producidos.

La **elección del área de estudio** se realizó teniendo en cuenta los antecedentes hidrogeológicos, la importancia que allí adquiere el agua subterránea y las problemáticas futuras que el incremento en la ocupación del territorio y sus consecuentes usos puedan causar, afectando directa y/o indirectamente al recurso. Matteoda et al. (2012), de acuerdo a Edmunds (1996), describen tres tipos de cambios en los sistemas de aguas subterráneas: 1) variaciones de los niveles piezométricos, 2) cambios en la química del fondo natural (reacciones redox, cambios en la salinidad, etc.) y 3) impactos humanos en la calidad (polución urbana, industrial y agrícola, etc.). La evaluación de estas variables a través de los indicadores es importante para describir el estado del recurso (disponibilidad y calidad) y conocer las perspectivas futuras teniendo en cuenta la utilización del agua en la región, y si bien en la cuenca existen datos antecedentes (Trovatto et al., 2013 y 2015), resulta novedoso y un aporte necesario para todo plan de gestión del agua la aplicación de esta metodología, que ayudará a que se lleve a cabo una correcta planificación y protección de su uso.

1.1 Objetivos

El **objetivo general** de este trabajo es identificar y calcular los indicadores del agua subterránea que señalen el estado y evolución de la disponibilidad y calidad del recurso en dos pequeñas cuencas situadas al este de la provincia de Buenos Aires, teniendo en cuenta los cambios que producen las actividades humanas en el territorio.

Los **objetivos específicos** comprenden analizar la evolución en la actividad antrópica desarrollada en el territorio y su relación con el agua subterránea y superficial, diferenciando las principales categorías de usos en las cuencas; identificar las áreas donde el recurso se encuentre más vulnerable de acuerdo a datos de profundidad de niveles del agua

subterránea y espesor de la zona no saturada; elaborar modelos conceptuales que expliquen las principales actividades antrópicas que afectan las aguas subterráneas; analizar el estado y los cambios generados en las condiciones hidrodinámicas e hidroquímicas del agua subterránea como base fundamental para la aplicación de indicadores sustentables definidos por la UNESCO (Vrba and Lipponen, 2007). Asimismo, el trabajo contribuirá a actualizar y ampliar los estudios realizados una década atrás en las cuencas mencionadas, aportando el resultado de la vulnerabilidad actual del acuífero Pampeano y Puelche, y los indicadores sustentables de agua subterránea aplicados al primero mencionado.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología de trabajo incluyó tareas de gabinete relacionadas a la recopilación, análisis e interpretación de información antecedente, salidas al campo en las que se relevaron datos de perforaciones a ambos acuíferos y por último la integración y el procesamiento de los datos para la definición de la vulnerabilidad del agua subterránea en ambos acuíferos y la selección de los indicadores sustentables que fueran adecuados respecto de la información disponible.

2.1 Recopilación y análisis de antecedentes

La recopilación y análisis bibliográfico consistió en la revisión tanto de la hidrometeorología, geomorfología e hidrogeología como la demografía y actividades socioeconómicas desarrolladas en las cuencas.

Para el análisis del régimen de precipitación se utilizaron datos históricos aportados por la Estación Meteorológica La Plata Observatorio (34º55’ de latitud sur ,57º56’ de longitud oeste, altitud 15 m s.n.m.), cuyos registros abarcan 111 años, correspondientes al período 1909-2019. Se elaboraron gráficos de precipitación media mensual para el módulo considerado, y de precipitación media anual para el año 2019, por ser este último de interés para el presente trabajo.

Para la realización del balance hídrico modular 1909-2019, se utilizó el método de Thornthwaite-Mather (1957), con los insumos básicos de precipitación y temperatura, medias mensuales. Se estimó la Evapotranspiración potencial (Evtp) y la Evapotranspiración real (Evtr), para una reserva de agua útil de 200 mm, de acuerdo con el tipo de suelo, y se establecieron los excesos y déficit hídricos, con su localización intranual. Se representó gráficamente la precipitación media mensual y la evapotranspiración real obtenidas.

Para la caracterización geológica, geomorfológica e hidrogeológica del área de estudio se recurrió a trabajos antecedentes de varios autores, de los cuales se extrajeron imágenes para una mejor comprensión, además se modificó, mediante el programa Global Mapper v.18.0, el mapa geomorfológico preexistente de las cuencas (UIDD-GA, 2011) con el fin de mejorar la representación gráfica del mismo.

Los datos censales y económicos de los partidos involucrados se obtuvieron de páginas web como las del INDEC, las propias de los municipios, y de trabajos en los que se detallaban las actividades económicas de estos últimos.

Se realizó la georreferenciación y visualización del área de estudio con el programa cartográfico Google Earth Pro v.20, para el correspondiente análisis del territorio a través de imágenes satelitales (años 2017, 2018 y 2019), y el mapeo de las cuencas con apoyo de Google Earth Pro v.20, y el programa Global Mapper v.18.0. Además, se interpretó información inédita de mediciones de campo y análisis químicos de laboratorio de algunos de los sitios de muestreo correspondientes a 2017-2018.

2.2 Identificación y mapeo del uso del territorio

Se analizó la evolución de la actividad antrópica sobre las cuencas en estudio a partir de cartas topográficas y de imágenes satelitales visualizadas en el programa Google Earth Pro. Para ello se tomaron en cuenta los años 2017, 2018 y 2019, de los cuales se tiene registros de agua subterránea. Se diferenciaron distintos sectores según las actividades desarrolladas en superficie, categorizándolas como rural intensivo, rural extensivo, industrial, urbano, residencial y barrios cerrados como las más representativas, lo que se pudo corroborar en gran parte con el reconocimiento de campo y la información brindada por algunos vecinos de los partidos de Berazategui y Florencio Varela.

Para la clasificación se consideraron algunos aspectos tales como la densidad de la edificación y/o viviendas, calles asfaltadas y no asfaltadas, el tipo de actividad agraria, entre otros. Se recurrió a sitios web oficiales como la Autoridad del Agua (ADA) de la provincia de Buenos Aires, y el SIG de la Dirección Provincial de Saneamiento y Obras Hidráulicas (DIPSOH) para visualizar la ubicación y distribución de las industrias.

Para el mapeo de las actividades desarrolladas en las cuencas se utilizó la herramienta “polígonos” para obtener una imagen en la que se evidencie la distribución actual de las mismas, diferenciadas con distintos colores. Posteriormente, los polígonos obtenidos se levantaron con el programa Global Mapper v.18.0, para generar un plano orientado, y se extrajo, en tablas, la superficie en hectáreas de cada una de las categorías planteadas. Se tuvieron en cuenta, a modo de referencia y comparación de las superficies, los trabajos de Calvo et al. (2014 y 2015).

La identificación y actualización de los diferentes usos del territorio, sumado a la información socioeconómica, demográfica, hidrogeológica, y datos levantados en campo vinculados al agua subterránea, fueron base para la confección de los modelos conceptuales del comportamiento del sistema subterráneo frente a las actividades humanas desarrolladas en superficie. En ellos se esquematizaron las principales unidades hidrogeológicas, considerando el perfil desde la base del acuífero puelche hacia arriba teniendo en cuenta las precipitaciones, las posibles fuentes de contaminación, y la extracción por bombeo de ambos acuíferos para las diferentes utilidades.

2.3 Medición en campo

Para la toma de datos y determinación in situ de parámetros físico-químicos se efectuaron varias salidas al campo durante los meses de mayo y junio de 2019, donde se recorrió las cuencas de los arroyos Conchitas-Plátanos y Baldovinos para realizar el censo de algunas de las perforaciones preexistentes (monitoreadas en los años 2010, 2017 y 2018), y la incorporación de nueve (9) sitios de medición para el año 2019, los cuales se ubicaron con GPS Garmin eTREX 30 (Figura 1). Además, como apoyo a la información generada se tuvo acceso a perforaciones ubicadas en la llanura costera, relacionadas con emprendimientos inmobiliarios (barrios privados). Es importante mencionar que las mediciones fueron realizadas luego de una semana lluviosa.

De los 33 pozos registrados para este trabajo final, quince (15) son del acuífero Puelche y dieciocho (18) del acuífero Pampeano. Algunos de los sitios que fueron medidos en años anteriores no pudieron ser registrados nuevamente por diferentes motivos, como abandono por parte de sus dueños, inaccesibilidad, falta de permiso (principalmente en industrias y barrios privados), y fueron reemplazados por pozos ubicados en las proximidades.

Entre los puntos que conforman la red se encuentran escuelas, domicilios particulares, industrias, establecimientos florihortícolas y pozos de abastecimiento pertenecientes al municipio de Berazategui, el cual aportó dichas mediciones. Si bien algunos pocos sitios se ubican en los límites o periferias de las cuencas, sirvieron de apoyo para el estudio e interpretación pertinente (Figura 1).

Se midió la profundidad del agua subterránea en las perforaciones al acuífero Pampeano y al acuífero Puelche, con sonda Solinst 102 de 60 metros de longitud, y se realizó muestreo del agua para la determinación de parámetros físico-químicos in situ como conductividad eléctrica, temperatura, pH, y total de sólidos disueltos, con sonda multiparamétrica Altronix portátil.

En cada sitio se realizó el reconocimiento visual de las diferentes actividades desarrolladas, teniendo en cuenta el entorno en el que se encontraban las perforaciones y el uso que se le daba a las mismas.

Mediante los datos de profundidad del nivel freático de cada pozo al acuífero Pampeano se elaboró un mapa de profundidad de la superficie freática o espesor de la zona no saturada.

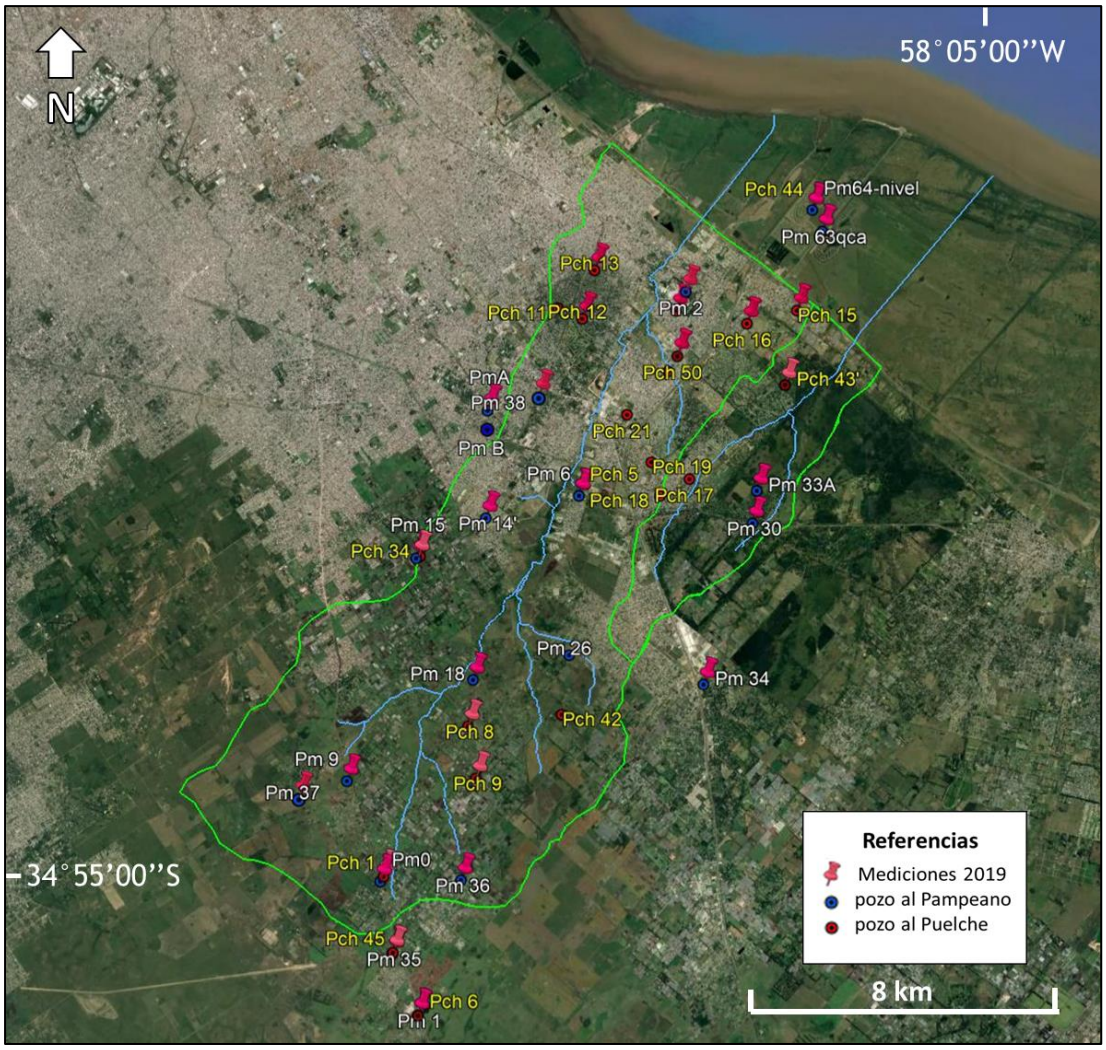


Figura 1. Red de monitoreo de pozos 2017, 2018 y 2019.

2.4. Definición de Vulnerabilidad

"El mapeo de la vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos normalmente es el primer paso en la evaluación del peligro de contaminación del agua subterránea y protección de su calidad…" (Foster et al., 2003).

Si bien hay varias definiciones para el concepto de vulnerabilidad, una de las más simples de entender es la que explica que la vulnerabilidad es aquella derivada de las características intrínsecas, es decir, propias del acuífero y su entorno, que van a determinar su sensibilidad a ser afectado negativamente (Auge, 2004). Otro tipo de vulnerabilidad que, además de características físicas del medio, tiene presente el tipo y la carga del contaminante es la vulnerabilidad específica. Para el presente trabajo se consideró el estudio de la vulnerabilidad intrínseca, el cual es un procedimiento útil y mayormente usado

en los trabajos que traten temáticas relacionadas al uso del territorio y del agua, como es el caso.

El método que se utilizó para la valoración de la vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos de la zona de estudio, en base a la información disponible, fue el método GOD (por sus iniciales en inglés: Groundwater hydraulic confinement, Overlaying Strata, Deph to groundwater table), DIOS en español, planteado por Foster et al. (2002) (Figura 2), el cual es un método sencillo de aplicar y requiere de pocos parámetros generalmente disponibles, los que se señalan a continuación:

G: Groundwater hydraulic confinement -tipo de acuífero. Hace referencia al tipo de acuífero o modo de confinamiento u ocurrencia del agua subterránea.

O: Overlaying Strata - litología de la cobertura. Se evalúa teniendo en cuenta el grado de consolidación y las características litológicas.

D: Deph to groundwater table - profundidad al agua subterránea.

Este método fue modificado por Foster et al., (2002) para incluir dentro de la estimación un cuarto parámetro, el tipo de suelo (S), ya que la mayoría de los procesos que causan atenuación de los contaminantes se desarrollan en el perfil del suelo, como consecuencia de su mayor contenido de materia orgánica y arcillas. A cada suelo se le asigna un índice que varía de acuerdo con sus características texturales.

Para la primera variable se utilizó la información antecedente relacionada al tipo de acuífero, que en este caso es libre o freático y semiconfinado (Pampeano y Puelche, respectivamente), mientras que para la segunda variable se revisaron los perfiles geológicos existentes de las baterías de pozos de abastecimiento de los municipios y perforaciones de industrias (Figura A.1). En ellos se prestó especial atención a la composición litológica de la zona no saturada y si bien no todos los pozos censados para el presente trabajo tienen perfil geológico, se les asigno el más cercano para poder realizar el análisis. Para la tercera variable se recurrió a los datos de profundidad del agua subterránea obtenidos en las mediciones efectuadas en el campo durante el 2019, y para la cuarta variable se utilizaron los mapas de suelos del partido de Berazategui y Florencio Varela, ambos a escala 1:50.000, donde se reconocieron diferentes unidades cartográficas (Hurtado et al., 2005 y 2006) (Figuras A.2 y A.3).

En cada sitio donde se midió la profundidad de los acuíferos se obtuvo un factor para cada parámetro en cuestión, que multiplicados resultaron en un índice final cuyos valores pueden variar de 0, vulnerabilidad despreciable, a 1, vulnerabilidad extrema.

Para la representación de los resultados se generó un mapa donde se visualizara rápidamente la variación de la vulnerabilidad en las cuencas estudiadas mediante la

asignación de una escala de colores: verde oscuro, verde claro, amarillo, naranja y rojo asociados a los distintos grados de vulnerabilidad (llamado también mapa semáforo).

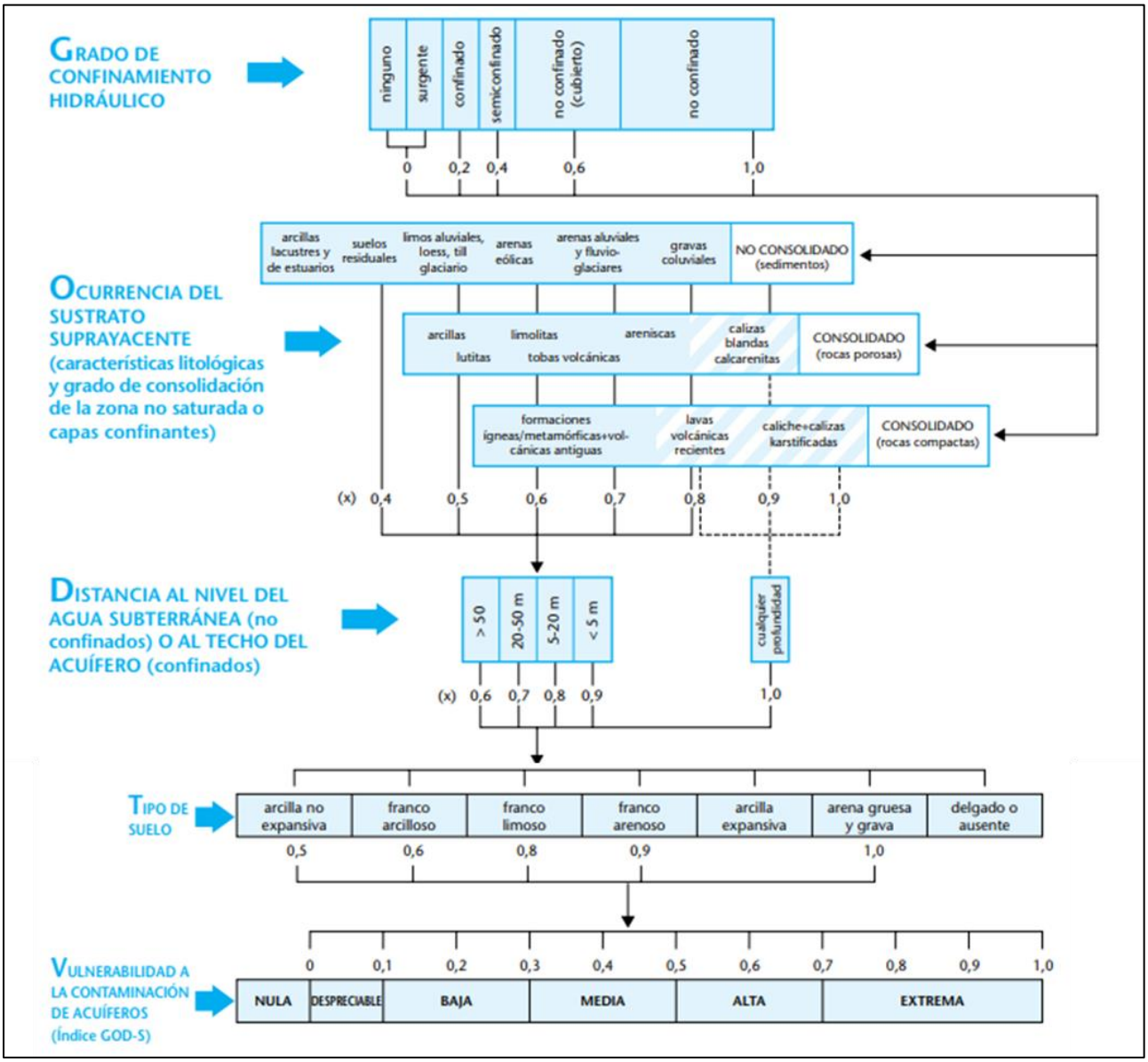


Figura 2. Método GOD-S. Fuente: Foster et al. (2002).

2.5 Elección y aplicación de Indicadores Sustentables

Con la información antecedente recopilada, como los datos socioeconómicos, demográficos, hidrológicos, y la generada en el campo y gabinete durante el 2019 (profundidad de niveles de agua subterránea, usos del territorio, mapa de isoprofundidad y de vulnerabilidad del acuífero Pampeano), se seleccionaron los indicadores sustentables propuestos por Vrba y Lipponen (2007), que fueran más adecuados y representaran, con

sus resultados, el estado actual de la hidrología subterránea en las cuencas en estudio, teniendo en cuenta la influencia de la actividad antrópica en las mismas. Para ello se consideró que, con la utilización del menor número de ellos, pudieran optimizarse con el objetivo de obtener la mayor información posible (Pernía et al., 2004).

Para Mimam (2000) los criterios más utilizados para la elección de los indicadores son aquellos que posean validez científica, representatividad, fiabilidad y distribución geográfica, que tengan relevancia y sean comprensibles para los usuarios y tomadores de decisiones, con carácter predictivo para evitar tendencias negativas. Cabe aclarar que, en el presente trabajo, los indicadores fueron aplicados al acuífero Pampeano, dada la disponibilidad tanto de registros de niveles como de datos físico químicos.

I 5. Agotamiento de las aguas subterráneas. Este indicador expresa en % el área afectada por la explotación del agua que conduce a la disminución del nivel de la misma y se basa en la siguiente relación:

$$I\,5 = \frac{\Sigma\ áreas\ \ con\ problema\ de\ agotamiento\ de\ las\ aguas\ subterráneas\ (Km^{2})}{Área\ total\ estudiada\ (Km^{2})}\ x\ 100$$

Para la determinación del/las áreas con problemas de agotamiento, se trazaron las curvas equipotenciales de valor 0 para el acuífero Pampeano sobre la base de aquellas confeccionadas por Trovatto et al., (2013) y las mediciones de niveles freáticos del año 2019. Quedó así delimitada una zona con los valores más profundos del nivel freático, estando incluidos los pozos Pm 38, Pm 15, Pm 14', Pm 6, Pm A, Pm 33A y Pm 30, mientras que el área total estudiada es la superficie total de las cuencas. Se obtuvo un valor general para ambas cuencas y uno particular para cada una de ellas.

I 7. Vulnerabilidad del agua subterránea. Este indicador define la vulnerabilidad intrínseca del acuífero en función de los factores hidrogeológicos, y respalda la política y gestión de protección de las aguas subterráneas. La vulnerabilidad del sistema de aguas subterráneas va a depender de la sensibilidad del mismo a los impactos naturales y humanos (Vrba y Zaporozec, 1994). Queda definido por:

$$I\,7 = \frac{Área\ total\ con\ mayor\ vulnerabilidad\ \ a\ la\ contaminación\ (km2)}{Área\ total\ considerada\ (km2)}\ x\ 100$$

El área total (km^2) con mayor vulnerabilidad se delimitó a partir del mapa resultante del método GOD-S, aplicado en el ítem 2.4. El resultado final proporciona una medida relativa de la vulnerabilidad del agua subterránea.

I 8. Calidad del agua subterránea. Este indicador informa sobre el estado actual y las tendencias en la calidad de las aguas subterráneas, permitiendo la identificación de problemas en el espacio y en el tiempo. Existen dos ecuaciones para el indicador dependiendo de si la calidad del agua es producto de un problema natural o si la calidad se ve afectada por intervención humana. En cualquiera de los dos casos se deben identificar áreas con problemas o incrementos de sustancias por sobre los niveles máximos especificados para el agua potable.

Para el caso de estudio, se contaba con datos saltuarios de análisis químicos realizados en el período 2017-2018, de los cuales se utilizaron los contenidos de Arsénico para el indicador que contempla la problemática natural de calidad. Se reconocieron los pozos con valores iguales y por encima del límite de detección y de los establecidos por el Código Alimentario Argentino - C.A.A. (0,01 mg/L) y se delimitó el área que los contiene (Pm 9, Pm 18, Pm 26, Pm 14', Pm 33 A, Pm A y Pm B) siguiendo el modo empleado en trabajos relacionados a la temática (Auge et al, 2004 y Auge, 2019). Los pozos Pm A, Pm B y Pm 14' fueron encerrados en un área común por su cercanía, mientras que los pozos Pm 9, Pm 18, Pm 26 y Pm 33 A se optó por indicarlos puntualmente en un radio aproximado para evitar estimar valores no datados entre estos pozos y los anteriores. Para el cálculo de este indicador no se implementó el contenido salino ya que los valores registrados están por debajo del establecido en el CAA (nivel guía de 1500 mg/L).

En cuanto a la problemática relacionada con acción antropogénica, se seleccionaron los pozos cuya concentración de nitratos excede el límite de 45 mg/L establecido para agua de bebida en la ley 11.820 (Tabla A.6), siguiendo el mismo criterio gráfico que para el indicador anterior.

Para el área total estudiada se consideró la suma de la superficie de ambas cuencas.

$$I\,8$$

$$a = \frac{\Sigma\ \text{Áreas con problemas naturales de calidad del agua subterránea } (km^2)}{\text{Área total estudiada } (km^2)}\ x\ 100$$

$$b = \frac{\Sigma\ \text{áreas con incremento de concentración de una variable específica } (Km^2)}{\text{Área total estudiada } (km^2)}\ x\ 100$$

3. ÁREA DE ESTUDIO

3.1 Ubicación geográfica

El trabajo final se desarrollará en el sector superior y medio de la cuenca del arroyo Conchitas–Plátanos, y en la cuenca del arroyo Baldovinos, ambas ubicadas en los partidos de Florencio Varela y Berazategui, cubriendo un área en conjunto de 152 km^2, sobre un ambiente de llanura al noreste de la provincia de Buenos Aires.

Las cuencas limitan al noreste con la llanura costera del Río de la Plata, al sureste con la cuenca Pereyra-San Juan, al sur con la cuenca del río Samborombóm, y al suroeste-oeste-noroeste con los arroyos Las Piedras y Jiménez (Trovatto et al. 2015). Los partidos que rodean a los estudiados son La Plata y Ensenada al este-sureste, San Vicente y Presidente Perón al suroeste, y Almirante Brown y Quilmes al oeste, estos últimos conformando junto con Berazategui y Florencio Varela, parte del segundo cordón del Conurbano Bonaerense (Figura 3).

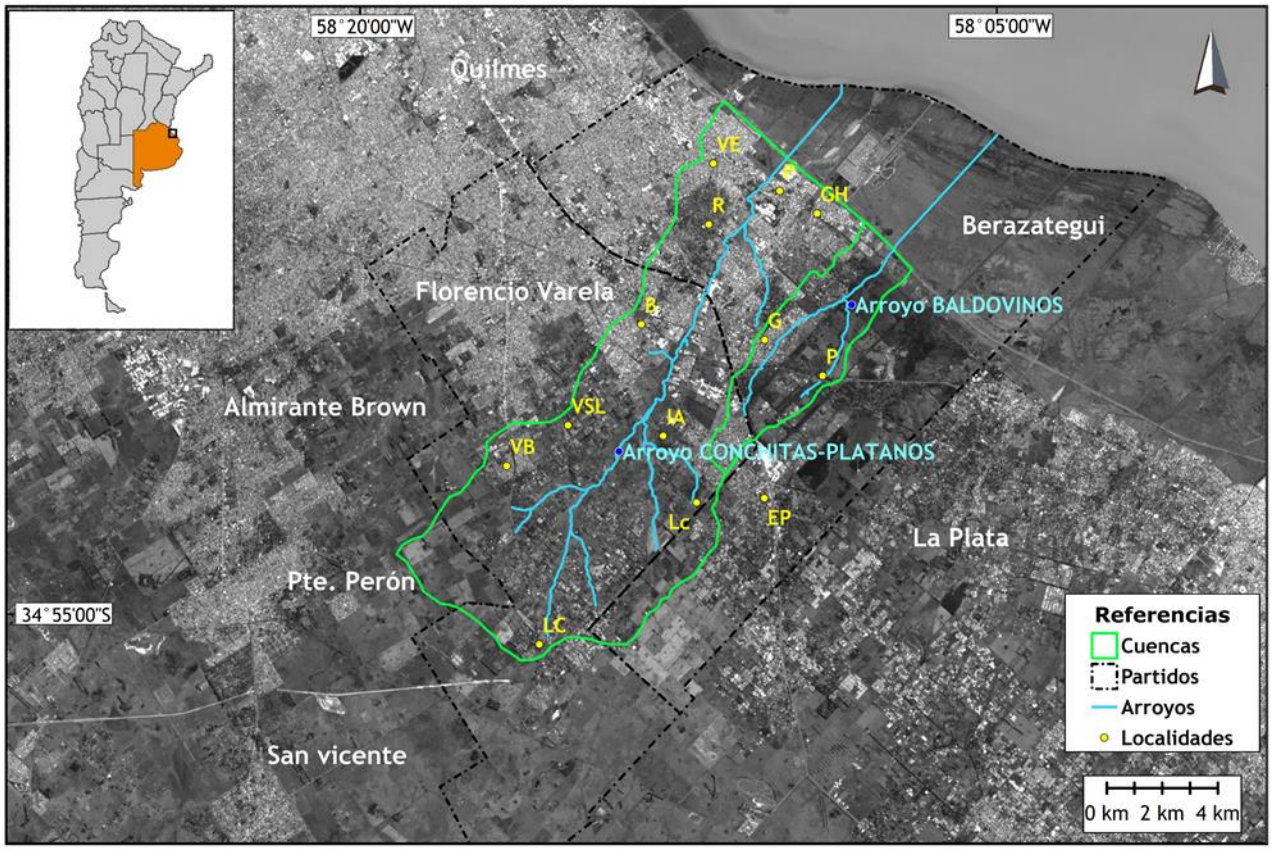


Figura 3. Ubicación del área de estudio a partir de imagen satelital pancromática. En amarillo localidades dentro de las cuencas (Fuente: Elaboración propia).

3.2 Demografía y socioeconomía de la zona

Los partidos de Berazategui y Florencio Varela forman parte de lo que se denomina Aglomerado Gran Buenos Aires (AGBA) cuya población oscila en los 13.541.940 habitantes, siendo el sector urbano más poblado del país (INDEC, 2010).

Berazategui, con una superficie de 188 km^2, presenta una población de 324.244 habitantes (INDEC, 2010) distribuidos en la cabecera de partido y en las localidades de Hudson (GH), Gutiérrez (G), El Pato (EP), Pereyra (P) y Ranelagh (R), todas dentro del área de estudio (Figura 3) y conformando la parte media de la cuenca Conchitas-Plátanos y casi la totalidad de la cuenca del arroyo Baldovinos.

Los rubros industriales que se destacan en el partido son el metalúrgico, el papelero y plástico y el químico, que se encuentran distribuidos principalmente en los 3 parques industriales: Parque Industrial Plátanos, que cuenta con alrededor de 50 empresas, Parque Industrial CIR2 y Polo Industrial Maderero Mueblero. Tales centros productivos se localizan en las cercanías del curso medio del arroyo Conchitas-Plátanos.

La otra actividad socioeconómica que ha tomado importancia en el uso del territorio es el desarrollo de barrios privados o cerrados. Dichos emprendimientos ocupan el sector noreste de la cuenca Conchitas-Plátanos extendiéndose hacia el oeste del Baldovinos, cuya superficie supera los 12 km^2, con una alta demanda de servicios entre los que predomina el consumo de agua.

Por su parte, Florencio Varela, se ubica hacia el sur de Berazategui ocupando una superficie de 190 km^2 y con una población de 426.005 habitantes, siendo su densidad poblacional de 2.242 hab/km^2 (INDEC, 2010). La misma se encuentra distribuida de forma irregular, con la mayor concentración en la zona noroeste del partido, y dentro de la zona de estudio en las localidades de Ingeniero Allan (IA), La Capilla (LC), La Carolina (Lc), Villa Brown (VB), Villa San Luis (VSL), y Bosques (B) (Figura 3). La otra región, zona sur, que ocupa el sector superior y medio de la cuenca del arroyo Conchitas-Plátanos, se diferencia de la cabecera de partido por desarrollarse en ella gran parte de las actividades agropecuarias e industriales, como así también asentamientos residenciales y en menor medida urbanizaciones densificadas.

Las principales actividades económicas desarrolladas en el partido son la producción fruti-hortícola, que forma parte del cinturón verde bonaerense, las industrias alimenticias, químicas, medicinales y curtiembres las cuales constituyen grandes empresas. También se destacan las Pymes metalúrgicas y algunos mataderos y frigoríficos. El sector ganadero está menos representado (UIDD-GA, 2011). Estas industrias están radicadas en los alrededores de la avenida Calchaquí, una de las principales vías que atraviesan el partido, y en las márgenes de la parte media del curso principal del arroyo Conchitas.

El Parque Industrial y Tecnológico Florencio Varela (PITeC) es el polo industrial en desarrollo más importante del partido y de la provincia en cuanto a la infraestructura y servicios brindados. Se ubica en la rotonda de Gutiérrez, dentro de 130 hectáreas aproximadamente (Borello, 2012).

En cuanto a los servicios básicos disponibles en cada partido, según los datos del último censo (2010) el 77% de Florencio Varela posee servicio de agua de red que, desde el 2017, es provista por la empresa AYSA la cual incorpora un porcentaje de agua superficial (Río de la Plata) además de la subterránea, mientras que en Berazategui la cobertura es mayor, con un 94,17% de los hogares, abastecidos por el servicio sanitario municipal el cual es en su totalidad proveniente del recurso subterráneo (Tabla 1).

De los hogares no conectados a la red pública en Berazategui, el 5,09 % tiene perforaciones, generalmente al acuífero Puelche, con bombas sumergibles que permiten la extracción del agua (Tabla 3). En Florencio Varela el 18,51%, algo más de 23 mil hogares, tienen este sistema, los restantes hogares extraen agua de perforaciones (Tabla 4).

En cuanto a la conexión del servicio de cloacas, Florencio Varela presenta una deficiente gestión, contando solo con el 27,16% de la cobertura del partido, equivalente a más de 82.000 hogares que vierten sus efluentes domésticos a cámaras sépticas y/o pozos ciegos (Tabla 2). En Berazategui, por el contrario, el 66,97% de los hogares tienen este servicio (62.391 hogares).

Partido	% Hogares con Agua de red	Hogares con agua de red	Hogares sin agua de red	Total de hogares
Florencio Varela	77%	87.137	25.998	113.135
Berazategui	94,17	87.729	5.435	93.164

Tabla 1. Fuente: Censo Nacional de Población y Vivienda 2010

Partido	% Hogares con Cloacas	Hogares con Cloacas	Hogares sin Cloacas	Total de hogares
Florencio Varela	27,16	30.734	82.401	113.135
Berazategui	66,97	62.391	30.773	93.164

Tabla 2. Fuente: Censo Nacional de Población y Vivienda 2010.

Procedencia del agua en vivienda	%	Hogares
Perforación con bomba	5,09	4.744
Pozo	0,6	557

Tabla 3. Captación de agua en hogares sin red pública, Berazategui. INDEC 2010.

Procedencia del agua en vivienda	%	Hogares
Perforación con bomba	18,51	23.435
Pozo	1,67	2.111

Tabla 4. Captación de agua en hogares sin red pública, Florencio Varela. INDEC 2010.

3.3 Clima

El clima de la región se caracteriza por ser subhúmedo-húmedo mesotermal, con nula o pequeña deficiencia de agua y baja concentración térmica estival; la temperatura media anual es de 16,3 C°, registrada en la estación La Plata Observatorio para el módulo 1909-2019. Las máximas temperaturas se distribuyen en el trimestre diciembre - enero (verano) y las mínimas (invierno) en el trimestre junio - agosto, respondiendo ambas a un patrón estacional.

La precipitación media anual para el período es de 1049 mm (Figura 5), mientras que los valores medios mensuales de precipitación y su distribución intranual se presentan en la Figura 4. En ella se puede observar una moda principal localizada en el mes de marzo, con registros de 111 mm, siendo los meses de invierno, junio y julio, los de menor precipitación con 62 y 69 mm, respectivamente. Además, en la figura se muestran las precipitaciones acumuladas mensuales del año 2019 (cuyo valor anual acumulado fue de 1148 mm), donde se evidencian registros que duplican la media mensual en los meses de febrero, junio, julio y octubre, señalando en particular los meses invernales (junio y julio, 163 mm y 150 mm respectivamente, coincidentes con las tareas de campo).

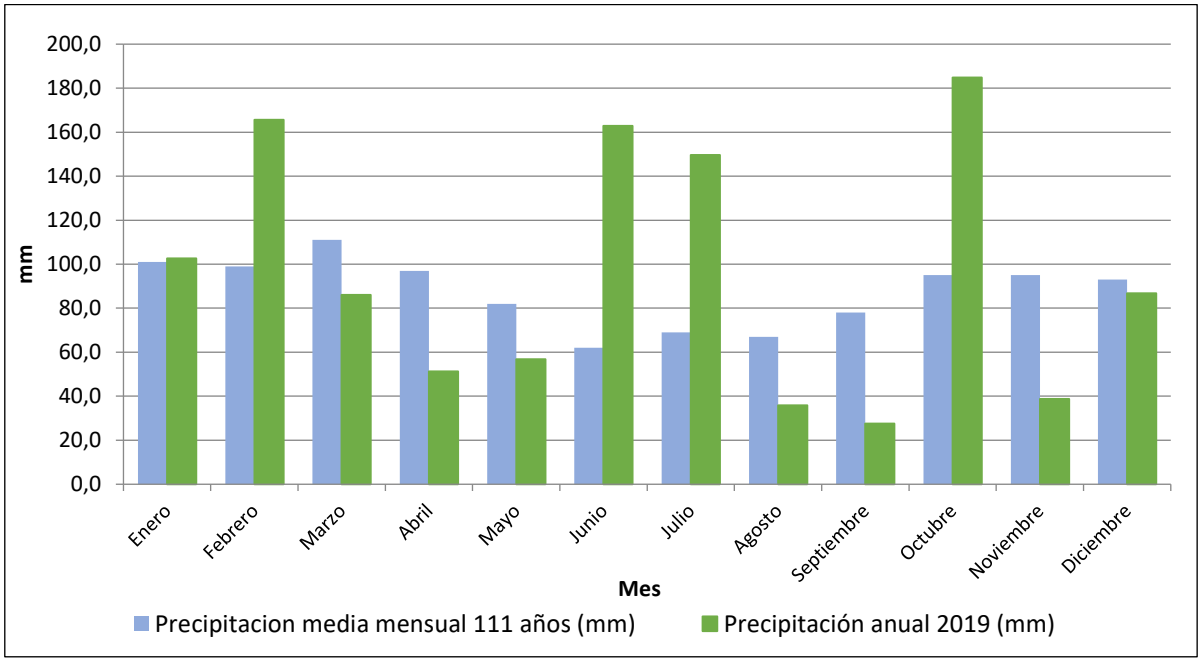


Figura 4. Precipitación media mensual período 1909-2019 y precipitación acumulada anual 2019.

El cálculo de evapotranspiración potencial, evapotranspiración real, y el balance hídrico para la estación meteorológica analizada (Figura 5), indica una evapotranspiración real de 793 mm/año con excesos hídricos anuales de 256 mm, distribuidos entre los meses de abril a noviembre, con el máximo medio mensual en julio (46 mm). En cuanto al déficit hídrico, el

valor de 7 mm anuales se distribuye en los meses de diciembre, enero y febrero, coincidentes con la mayor evapotranspiración real. En la figura 6 se muestran las curvas de Precipitación media mensual y Evapotranspiración real.

BALANCE HÍDRICO MODULAR : 1909-2019 (Thornthwaite-Mather, 1957) — Módulo 111 años — CC : 200mm
ESTACION : LA PLATA OBSERVATORIO. — Lat. 34° 55' S 58° 29' W

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Año
T	22,9	22,2	20,2	16,6	13,4	10,4	9,9	11,1	12,9	15,6	18,6	21,3	16,3
i	10,01	9,55	8,28	6,15	4,45	3,03	2,81	3,34	4,2	5,6	7,31	8,97	I = 73,76
ETPd s/a	3,6	3,3	2,9	2,1	1,4	1,0	0,9	1,0	1,3	1,8	2,4	3,1	
FC	36,9	31,2	31,8	28,2	26,7	24,6	26,1	28,2	30,0	33,9	35,1	37,5	
ETP	133	103	92	59	37	25	23	28	39	61	84	116	800
P	101	99	111	97	82	62	69	67	78	95	95	93	1049
P-ETP	-32	-4	19	38	45	37	46	39	39	34	11	-23	
Ppaa	-55	-59										-23	
Alm	151	148	167	200	200	200	200	200	200	200	200	178	
Valm	-27	-3	19	33	0	0	0	0	0	0	0	-22	
ETR	128	102	92	59	37	25	23	28	39	61	84	115	793
Def	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	7
Exc	0	0	0	5	45	37	46	39	39	34	11	0	256

REFERENCIAS
Todos los valores están expresados en mm, excepto i , FC (adimensionales) y T (° C)
Las abreviaturas utilizadas en las tablas corresponden a:

T	Temperatura media mensual	Ppaa	Pérdida potencial de agua acumulada
i	Indice calórico mensual (Suma 1-12 i)	Alm	Almacenaje de agua útil
ETPd s/a	Evapotranspiración potencial diaria sin ajustar	Valm	Variación del almacenaje de agua útil
FC	Factor de corrección	ETR	Evapotranspiración real media mensual
ETP	Evapotranspiración potencial media mensual	Def	Déficit de agua
P	Precipitación media mensual	Exc	Exceso de agua

Figura 5. Balance Hídrico Estación La Plata Observatorio (1909-2019).

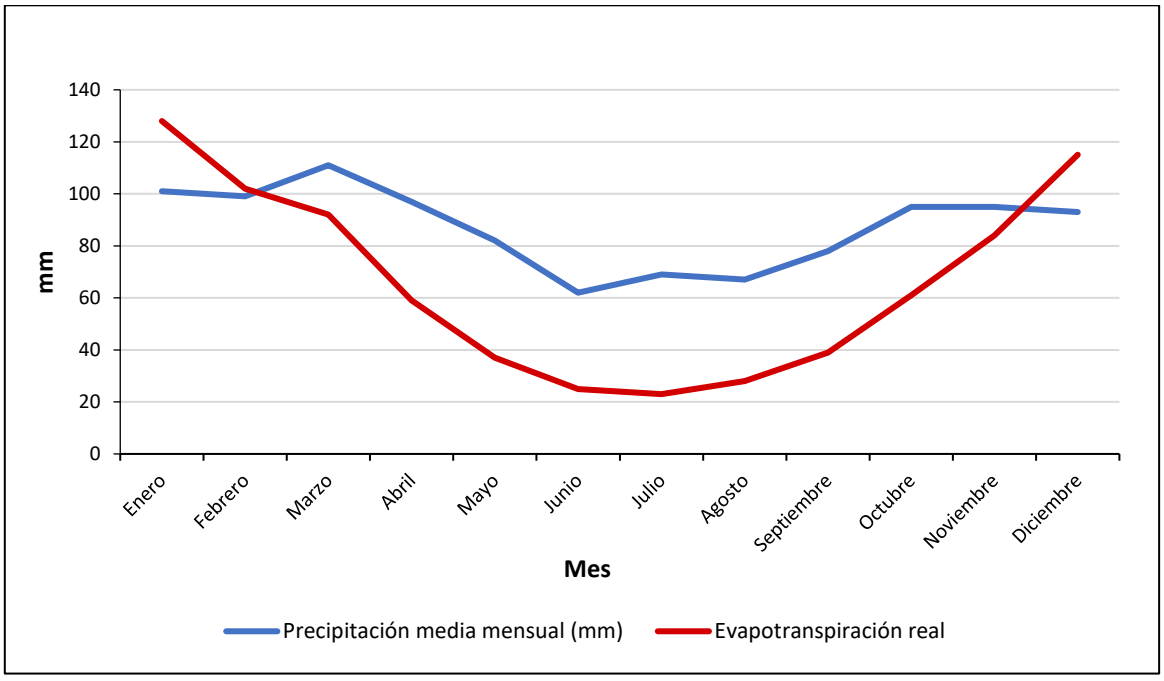


Figura 6. Precipitación media mensual-Evapotranspiración real módulo 1909-2019.

3.4 Geología, geomorfología y Suelos

La geología del área está compuesta por una serie de formaciones que abarcan un rango de edades desde el Precámbrico al Holoceno, siendo descriptas de base a techo como *Formación Martín García, Olivos, Paraná, Arenas Puelches, Pampeano y Pospampeano* (Auge et al., 2002; González, 2005).

La *Formación Martín García* está compuesta de gneises y granitos precámbricos, constituyendo el basamento cristalino de la región y sobre el cual se depositaron las unidades sedimentarias suprayacentes. La *Formación Olivos*, de origen continental con participación eólica, lagunar y fluvial, está integrada por una sección superior de arcillas rojizas y otra inferior de arena, y se la asigna al Oligoceno-Mioceno. En la zona de estudio esta unidad se apoya directamente sobre el basamento (Auge et al., 2002).

La *Formación Paraná*, en discordancia erosiva con la anterior, está constituida por arcillas plásticas verdes-azuladas y arcillas arenosas en el tope y arenas blanquecinas en la base, ambas acumuladas en un ambiente depositacional marino que está evidenciado por la presencia de abundantes fósiles (bivalvos). Esto fue producto de una ingresión marina del Mioceno tardío conocida como “Mar Paraniano” (Auge et al., 2002).

En discordancia erosiva sobre la *Formación Paraná* se disponen niveles basales de arenas cuarzosas de grano fino a mediano, de colores claros y amarillentos con intercalaciones de gravillas que componen la *Formación Puelches o “Arenas Puelches”.* Hacia el techo de la secuencia la granulometría se vuelve más limosa y arcillosa. Esta formación de espesor variable (20-35 m comúnmente), es de origen fluvial depositada durante el Plioceno y ocupa una gran extensión en el subsuelo del noreste de la Provincia de Buenos Aires, conformando el principal elemento acuífero de la región. La *Formación Pampeano* o sedimentos Pampeanos (denominación que agrupa a las Formaciones Ensenada y Buenos Aires (Frenguelli, 1955)) continúa la secuencia deposicional por encima de las Arenas Puelches mediante un estrato arcilloso, al que le siguen limos arcillosos y arenosos y arenas limosas de grano muy fino que genéricamente son denominados como “Loess Pampeano” (Auge et al., 2002). Estos sedimentos de edad Pleistoceno poseen coloraciones castañas, amarillentas y rojizas con frecuentes intercalaciones calcáreas (tosca) y se hallan ampliamente distribuidos en la provincia de Buenos Aires, pudiendo hallarse ausente en las zonas de erosión fluvial. Su ambiente depositacional se corresponde con sedimentos transportados por el viento desde la cordillera hasta el Atlántico, luego retrabajados por los ríos (Frenguelli, 1955).

Por último, los depósitos más jóvenes que el Loess Pampeano se agrupan en la denominación Pospampeano (Pleistoceno superior-Holoceno). Los mismos son limos y arcillas de origen fluvio-lacustre y marino, arenas eólicas, conchillas y conglomerados

calcáreos, cuyo espesor varía entre pocos centímetros en la Llanura alta y unos 25 m en la ribera del Río de la Plata (Auge et al., 2002).

Regionalmente el área de estudio forma parte de la subregión Pampa Ondulada del noreste de la Provincia de Buenos Aires, franja de dirección noroeste-sureste caracterizada por una pendiente, generalmente, menor al 2% (Fidalgo, 1992). Dentro de esta subregión, las cuencas de los arroyos involucrados están comprendidas en dos grandes geoformas, que son la Llanura Alta (Cavallotto, 1995), también denominada en estudios recientes como Llanura loéssica (Carol, 2015; Carol et al., 2017) y la Llanura Costera del Río de la Plata (Cavallotto, 1995), siendo la primera la que abarca la mayor superficie del área de estudio. Se reconocen dentro de esta geoforma mayor, geoformas menores, como la planicie de inundación, los interfluvios convexos y planos y los bajos (Figura 7).

La **Llanura Loéssica** se caracteriza por el modelado fluvial que desarrolló un paisaje ondulado sobre depósitos de loess pampeano. Esta geoforma está comprendida entre las cotas de 5 m s. n. m. en la zona que limita con la llanura costera, y de 30 m s. n. m. en el límite suroeste, incluyendo las unidades geomorfológicas menores descriptas a continuación. La planicie de inundación de los arroyos se localiza en las márgenes de los mismos y es ocupada por desborde del arroyo durante grandes lluvias. Se caracterizan por ser alargadas con su eje mayor paralelo a la dirección del escurrimiento superficial y, además, por estar modificadas antrópicamente. El interfluvio convexo está constituido por material loéssico y ocupa gran parte de las cuencas desarrollándose entre las planicies de inundación de los arroyos. Está incluido dentro de esta geoforma, el sistema de drenaje/valles, cuyos anchos oscilan entre los 100 y 500 m (Borello, 2013). Por último, el interfluvio plano se localiza en la zona de la cabecera del arroyo Conchitas-Plátanos (suroeste), limitando con la divisoria principal de aguas entre la vertiente del Río de la Plata y la cuenca del río Samborombón. El relieve predominante es plano y suave con áreas deprimidas o bajos y carece de un sistema integrado de drenaje. Estos bajos son depresiones pequeñas, subcirculares vinculados con la acción eólica (deflación) y que pueden ser ocupados transitoriamente por cuerpos de agua (UIDD-GA, 2011).

La **Llanura costera,** que se extiende en forma de faja paralela a la costa del Río de la Plata entre las cotas de 0 y 5 m s. n. m, está constituida por sedimentos estuáricos-marinos con la presencia de áreas deprimidas y bañados y cursos de agua poco definidos. Dentro de ella se destaca, hacia el noreste del área de estudio, la Llanura de fango con secuencias sedimentarias de arenas, limos y arcillas. Su perfil plano cóncavo le impide el drenaje por lo que se desarrollan pantanos, y los cursos provenientes de la Llanura alta son conducidos artificialmente a través de ella hacia su descarga al Río de La Plata (UIDD-GA, 2011).

Entre la Llanura costera y la Llanura Loéssica se desarrolla una franja que corresponde al límite entre ambas y dentro de la cual se localizan dos unidades geomorfológicas: el Antiguo estuario interior y la Antigua franja costera, ambas ocupando una pequeña porción hacia el noreste de las cuencas (UIDD-GA, 2011).

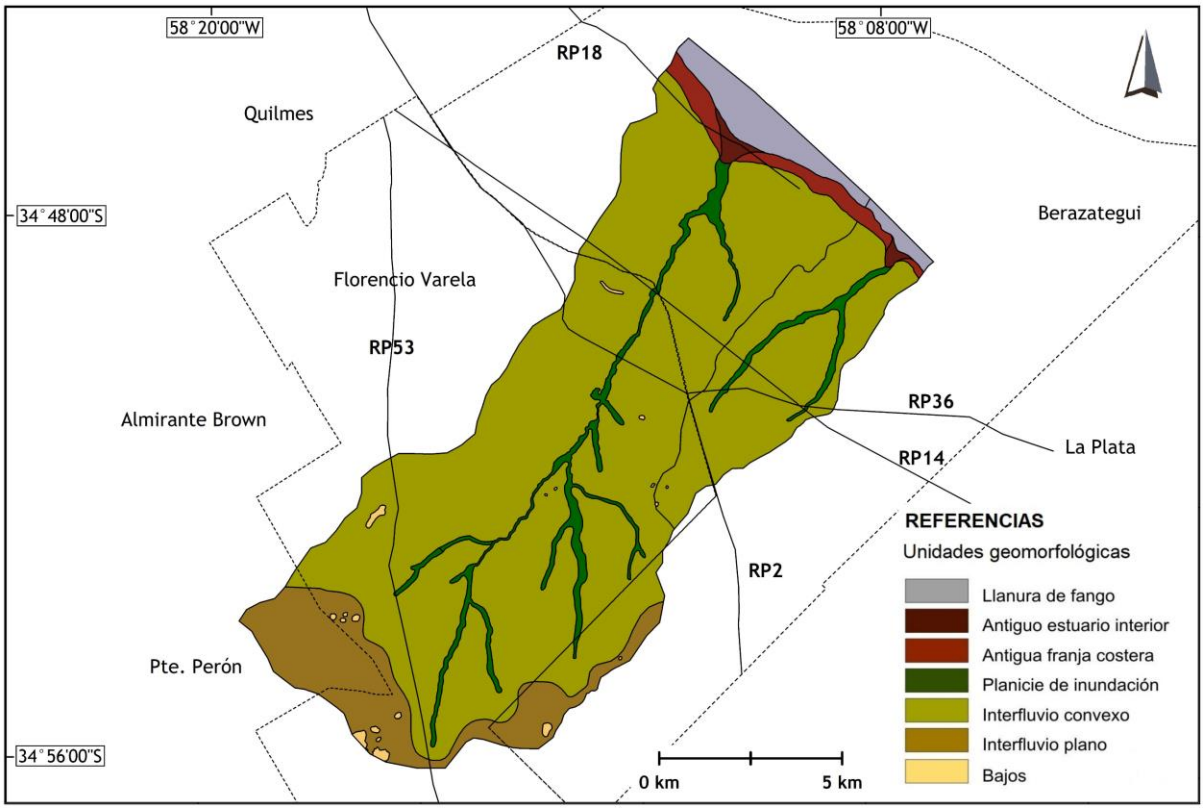


Figura 7. Mapa geomorfológico sintético de las cuencas de los arroyos Conchitas-Plátanos y Baldovinos. Modificado de UIDD-GA (2011).

Sobre la Llanura Loéssica se desarrollan suelos zonales, formados a partir de sedimentos loéssicos eólicos y fluviales, destacándose los Molisoles (en posiciones altas y medias) con horizontes A espesos y provistos de abundante materia orgánica, y los vertisoles con altos tenores de arcillas que le confieren una baja permeabilidad y elevada plasticidad. Dentro de los molisoles, los Argiudoles y Natracuoles, con hidromorfismo como proceso dominante, están relacionados a las planicies de inundación de los arroyos, donde el rasgo de intrazonalidad es producto del menor tiempo de evolución de los suelos y la posición en el relieve (Hurtado et al., 2005 y 2006).

3.5 Hidrología superficial

En cuanto a la hidrología superficial, los arroyos presentan una orientación sudoeste-noreste, con recorrido definido, de forma dendrítica subparalela y con sentido de

escurrimiento general hacia el Río de la Plata, al igual que aquellos otros que integran la zona (Jiménez, Pereyra, etc.).

La forma de las cuencas es alargada donde los cauces principales presentan longitudes de 23 km para el Conchitas-Plátanos y de 9 km para el Baldovinos, reconociéndose ramificaciones de hasta tercer orden en el primero mencionado, y de segundo orden en el Baldovinos (UIDD-GA. 2011).

Las aguas superficiales en el sector de estudio no son aptas para consumo humano, estando su calidad afectada por los usos efectivos del territorio en ambas cuencas y por las distintas utilidades dadas al recurso (Salvioli et al. 2013). Allí donde los arroyos atraviesan los centros poblacionales densificados, principalmente el Conchitas-Plátanos, los mismos son afectados por diferentes aportes ligados a productos cloacales e industriales. A pesar de ello, el agua superficial además de ser el aporte, mediante la infiltración, al sistema subterráneo, representa una reserva natural para la biota y constituye la principal vía de drenaje del medio abiótico (Borello 2013).

En la cuenca media del arroyo Conchitas-Plátanos, donde se concentra la actividad industrial y urbana, se detectaron los picos máximos de contaminación evidenciados por el incremento en parámetros tales como SDT (Total de sólidos disueltos), alcalinidad total, cloruros, sulfatos, amonio, amoníaco y DBO (Demanda Biológica de Oxígeno) como así también en metales asociados a la metalurgia (cobre, cinc y cromo total), mientras que en la cuenca alta la afectación con compuestos nitrogenados (amonio, nitrógeno amoniacal, nitritos y nitratos) estaría relacionada con la actividad rural intensiva (Salvioli et al., 2013) que utiliza grandes cantidades de agroquímicos, los cuales son arrastrados por las lluvias a los cursos de agua cercanos (Figura 8).

En la cuenca del arroyo Baldovinos el deterioro de la calidad del agua se registró, más significativamente, en la parte media donde se ubican los barrios privados (Salvioli et al., 2013) que son generadores de desechos cloacales, en ocasiones no tratados adecuadamente. Indicadores de estas descargas son los compuestos de nitrógeno (nitritos, amonio y nitrógeno amoniacal), como así también DBO, DQO (Demanda Química de Oxígeno) y fósforo total, todos sobrepasando los niveles guía (Salvioli et al., 2013).

En ambas cuencas se observaron condiciones de eutrofización, caracterizadas por el exceso en los valores guía, en casi todos los sitios de muestreo, de coliformes totales, bacterias coliformes fecales y *Escherichia coli,* presentando los arroyos elevado riesgo sanitario microbiológico (UIDD-GA, 2011).

Figura 8. Arroyo CP, tramo superior e inferior. Fotos tomadas durante las salidas de campo, 2019.

3.6 Hidrogeología

El sistema geohidrológico regional descripto para la Región Hidrogeológica del Noreste de la Provincia de Buenos Aires por González, 2005, identifica materiales geológicos (ya presentados en el apartado 3.3), con diferente comportamiento hidrolitológico, de acuerdo con la capacidad de recepción, almacenamiento y transmisión de agua, clasificándolos como acuíferos (reciben, alojan y transmiten agua fácilmente), acuitardos (reciben y transmiten con dificultad y bajo ciertas condiciones hidráulicas), acuícludos (reciben y alojan, pero no transmiten) y acuífugos (no transmiten ni almacenan) (Tabla 5).

Unidad geológica	**Litología**	**Comportamiento Hidrolitológico**
Pospampeano + Pampeano	Limos, arenas, limos arcillosos, Conchillas	Zona No-Saturada Acuífero (freático)
Pampeano	Limos loessoides, limos finamente arenosos, calcáreos	Acuífero (freático) Acuífero (semilibre
Pampeano (inferior)	Limos arcillosos, Arcillas limosas	Acuitardo
F. Arenas Puelches	Arenas medianas a finas, ocasionalmente gruesas	Acuífero (semiconfinado)
F. Paraná (superior) F. Paraná (inferior)	Arcillas verdes, verdes azuladas Arenas medianas a finas, marinas	Acuícludo Acuífero (confinado)
F. Olivos (superior) F. Olivos (inferior)	Arcillas rojizas Arenas medianas, gravas basales	Acuícludo Acuífero (confinado)
Basamento hidrogeológico	Basaltos Granitos y gneises	Acuífugo

Tabla 5. Esquema hidrogeológico regional. Tomado de González (2005).

Es posible describir el sistema acuífero en las cuencas distinguiendo tres componentes o subsistemas, denominados: el subsistema activo o superior, el subsistema pasivo o profundo y el basamento hidrogeológico (González et al., 2002). Es importante aclarar que el primer subsistema tiene mayor relevancia en el presente trabajo dada su vinculación directa con el ciclo exógeno y por contener a los dos acuíferos estudiados en el mismo (Pampeano y Puelche).

El subsistema activo o superior está integrado por la Zona No Saturada, un acuífero freático y otro semilibre, un acuitardo y un acuífero principal de características semiconfinadas.

La Zona No Saturada corresponde a la porción vertical del perfil del subsuelo situada entre la superficie freática y la superficie del terreno en donde ocurren los procesos de evapotranspiración e infiltración (Hernández, 2001). Está compuesta de limos, arenas, limos arcillosos y conchillas (Pampeano y Pospampeano), cuyo espesor varía de unos pocos centímetros y los 10 m (González, 2005). En regiones llanas como la estudiada el movimiento vertical del agua predomina sobre el sub-horizontal, y es donde la zona no saturada adquiere un rol fundamental ya que posee la capacidad de atenuación natural (geoquímica y microbiológica) de la contaminación que ocurre en la superficie y se dirige a los acuíferos (Hernández, 2001).

El acuífero freático más el semilibre, que funcionan, desde el punto de vista hidráulico, como una única unidad, están contenidos en los depósitos del Pampeano (en los sectores más bajos también se encuentran en los depósitos del Pospampeano) compuestos de limos loessoides y calcáreos, comportándose hidrogeológicamente como un acuífero de baja a media productividad y resultando ser, además, la vía de recarga y descarga del acuífero Puelche (Auge et al., 2002). La potencia del acuífero Pampeano varía entre menos de 20 m y más de 40 m y en su base se localiza un acuitardo, de litologías arcillosas (2-12 m de espesor) que sirven de techo y le otorgan al Puelche, el comportamiento de un acuífero semiconfinado. Este último está compuesto por arenas cuarzosas sueltas de espesor variable (entre 15 y 25 m en la zona de estudio) que son sucedidas por un nivel de arcillas verdes con comportamiento acuícludo de la Formación Paraná (González, 2005).

3.7 Hidrología subterránea

3.7.1 Hidrodinámica de los acuíferos

La dinámica del flujo subterráneo de ambos acuíferos fue descripta por Trovatto et al., (2013) en base al análisis de los mapas equipotenciales que permitieron conocer la morfología de la superficie potenciométrica, la dirección de escurrimiento local, las zonas de recarga y descarga, y las relaciones entre el agua superficial y el agua subterránea (Figura 9 y 10).

En el acuífero Pampeano las curvas equipotenciales toman valores máximos de 20 m s. n. m (cuenca alta del arroyo Conchitas-Plátanos) y mínimos de -10 m s. n. m (cuenca media-baja del Conchitas-Plátanos y Baldovinos), siendo la dirección general de escurrimiento subterráneo suroeste-noreste, con una diferencia en la cuenca media-baja donde se mantiene la dirección, pero se invierte el sentido. En la cuenca del Baldovinos la dirección es noreste-suroeste y sureste-noreste, donde el flujo tiene un sentido hacia el límite entre las cuencas. Sobre el sector de la cuenca alta a media, la morfología de la superficie freática se expresa en un patrón radial con tendencia a convergente en el sector medio-bajo donde las curvas equipotenciales se ven distorsionadas, lo que se traduce en una hidroforma negativa que afecta ambas cuencas (Figura 9).

La recarga de este acuífero, dada la disposición de las curvas equipotenciales y de los filestes de flujo divergentes, se sitúa en el sector suroeste, sur y sureste, siendo la misma de tipo autóctona directa producto de la infiltración del agua de lluvia. La conducción y descarga se produce en el sector medio de la cuenca, donde la manifestación de la curva de 0 m s. n. m refleja la extracción por bombeo en ambos acuíferos (Trovatto et al., 2013).

En cuanto a la relación agua superficial-agua subterránea, se reconoce en el sector de cabeceras que los arroyos presentan un carácter indiferente con tendencia a influente (perdedor), el cual se mantiene en la cuenca baja con un mayor descenso de los niveles producto de la actividad antrópica, de acuerdo con el análisis precedente.

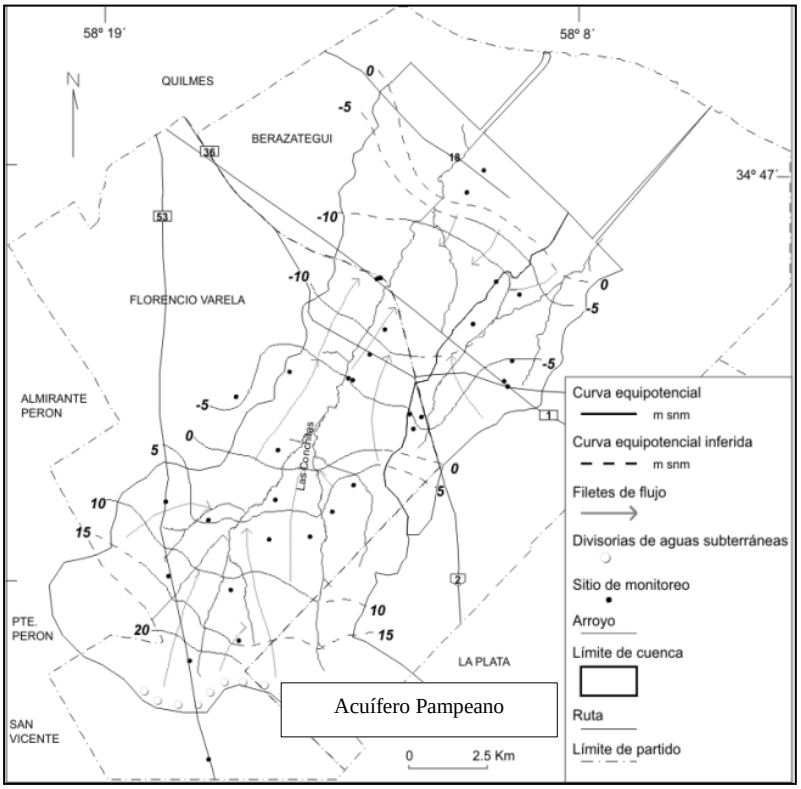


Figura 9. Mapa equipotencial acuífero Pampeano. Tomado de Trovatto et al., (2013).

En el acuífero Puelche, las curvas equipotenciales toman valores de entre 20 m s. n. m y -25 m s. n. m, donde los filetes de flujo indican una dirección general de escurrimiento subterráneo similar al acuífero Pampeano, con sentido norte-noreste en la cuenca alta y media, y sentido este, sur y sureste en la cuenca baja, es decir que se produce una inversión del sentido (Figura 10).

La recarga natural del acuífero es de tipo autóctona indirecta a través de la filtración vertical descendente a través del acuitardo, impuesta por la menor altura potenciométrica respecto al acuífero Pampeano (EASNE, 1972; Auge, 2005). En cuanto a la circulación, las curvas equipotenciales y los filetes de flujo definen una morfología radial de la capa en el sector alto de ambas cuencas que pasa a cilíndrica convergente en el sector bajo, donde se generan hidroformas negativas, algunas de ellas cerradas y que abarcan pozos de la batería de Berazategui y Florencio Varela, y puntualmente a predios industriales. La descarga, en consecuencia, se ve alterada de su comportamiento natural hacia el Río de la Plata estando directamente vinculada con el bombeo (Trovatto et al., 2013)

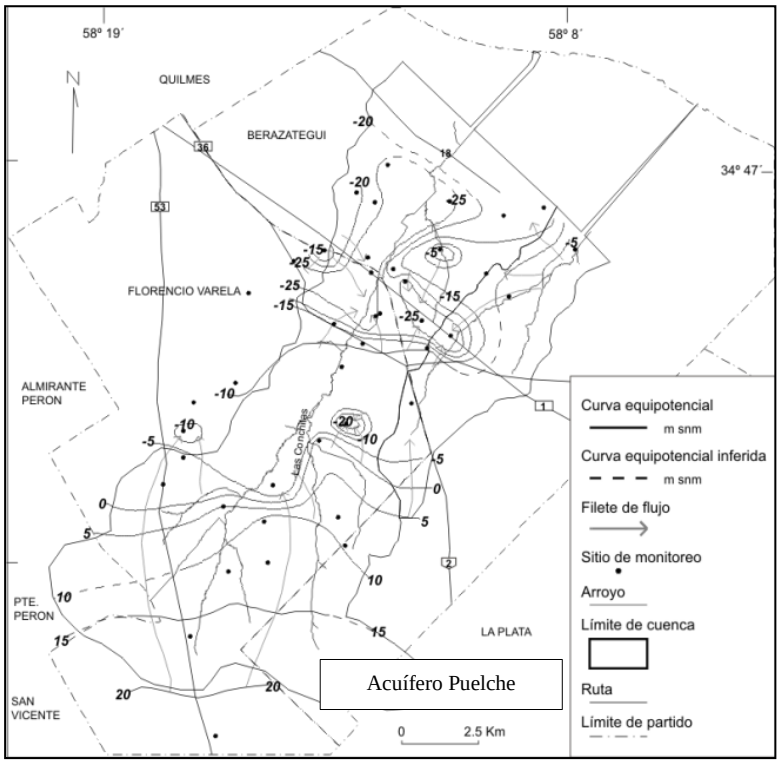


Figura 10. Mapa equipotencial acuífero Puelche. Tomado de Trovatto et al., (2013).

Lo expuesto anteriormente pone en evidencia los cambios producidos en la dinámica del agua subterránea por la explotación intensiva de los acuíferos que no solo produce la coalición de las hidroformas negativas, sino que también afecta a las reservas geológicas del sistema, el comportamiento natural de los arroyos, posibilitando el aporte superficial al

medio subterráneo y permite la intrusión lateral del noreste de aguas salinas procedentes de la Llanura costera (EASNE, 1972 y Hernández,1975).

3.7.2 Hidroquímica de los acuíferos

En forma general se puede decir que los acuíferos Pampeano y Puelche alojan aguas de tipo bicarbonatadas sódicas (Trovatto et al., 2015) que varían en su contenido iónico de acuerdo a la posición geomorfológica.

El acuífero Pampeano presenta una salinidad comprendida en un rango de 220 a 2200 mg/L, siendo los valores más frecuentes 500-1000 mg/L. La evolución de esta variable en el recorrido del agua subterránea tiene estrecha relación con las zonas de recarga y descarga, es así que en la cuenca alta del Conchitas-Plátanos la salinidad es generalmente de 500 mg/L, mientras que en la cuenca media-baja y en la del Baldovinos los valores rondan los 750 mg/L y superiores. El pH es neutro a levemente alcalino y la temperatura, al ser un acuífero freático, se vincula a la variación de la temperatura ambiente (17,8 °C).

Los iones predominantes en el agua de este acuífero son CO_3H^-, Na^+, Ca^{2+} y Mg^{+2}, además del SO_4^{2-} y el Cl^- que adquieren mayor importancia en el sector aguas abajo de las cuencas, de acuerdo con la evolución normal del recorrido del agua. En relación con la calidad, la limitante común con el acuífero Puelche es el contenido de Arsénico proveniente de la alteración de las cenizas volcánicas de origen natural, y los coliformes totales derivados de desechos cloacales (Trovatto et al., 2015).

Para el acuífero Puelche las variaciones en los contenidos salinos diferencian una zona de características dulces en la cuenca alta y media, y otra de características salobres a partir de la cuenca media-baja dado por ser precisamente una zona de descarga del acuífero, donde se registraron tenores de 700 a más de 1200 mg/L. El pH de este acuífero es más alcalino (7-8) que el descripto para el anterior, y la temperatura media es de 18,8 °C.

Los iones CO_3H^- y el Na^+ son dominantes en el contenido iónico mayoritario, seguidos por el Cl^- y el SO_4^{2-}. Entre los cationes, se destacan el Ca^{2+}, el Mg^{2+} y el K^+, todos en valores inferiores a los del Pampeano. La calidad se ve afectada por la presencia de arsénico como se explicó anteriormente y por el contenido de Na^+ que aumenta a partir de la cuenca media. Compuestos que también afectan puntualmente y en menor medida son nitratos, nitritos, amonio y cloruros, entre otros (Trovatto et al., 2015).

Si bien dentro del área de estudio la Llanura costera no tiene mayor relevancia, es interesante nombrar que según estudios hechos por Borello (2012), las salinidades promedio que registra el acuífero Puelche ascienden a 12.500 mg/L, lo que impide el aprovechamiento/utilización del agua en este sector.

Las alteraciones tanto hidrodinámicas como hidroquímicas han sido reconocidas en las cuencas desde la década del 60 (EASNE, 1972) y las mismas se han extendido desde el

sector medio y bajo de la cuenca hacia la parte superior, producto de la mayor demanda del recurso (Trovatto et al., 2015).

4. RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados, ordenados según los objetivos planteados y la metodología descripta

4.1 Usos del territorio

Mediante el mapeo de la ocupación del territorio se obtuvieron ocho categorías que se describen a continuación:

1- Urbano (azul): áreas densamente edificadas con calles mayormente asfaltadas.

2- Residencial (violeta): áreas con edificación menos densa ubicadas en la zona periurbana, como quintas, viviendas dispersas y con gran extensión de parques.

3- Barrio privado (celeste): dentro de esta denominación se encuentran los barrios privados o cerrados, los cementerios privados y los campos de golf.

4- Industrias (amarillo): comprende a todas las industrias ya sea ubicadas en zonas urbanas o periurbanas y/o rurales.

5-Parque (naranja): pertenece a esta categoría la porción correspondiente al parque Pereyra Iraola.

6- Forestación (castaño): áreas forestadas visibles fácilmente.

7- Rural intensivo (verde claro): corresponde a la superficie rural destinada a actividades agrícolas tanto bajo cubierta como al aire libre (flori y fruti-hortícola).

8- Rural extensivo (verde oscuro): dentro de esta clasificación se encuentran las superficies destinadas principalmente a la ganadería, también se incluyó a los sectores rurales sin ninguna actividad particular.

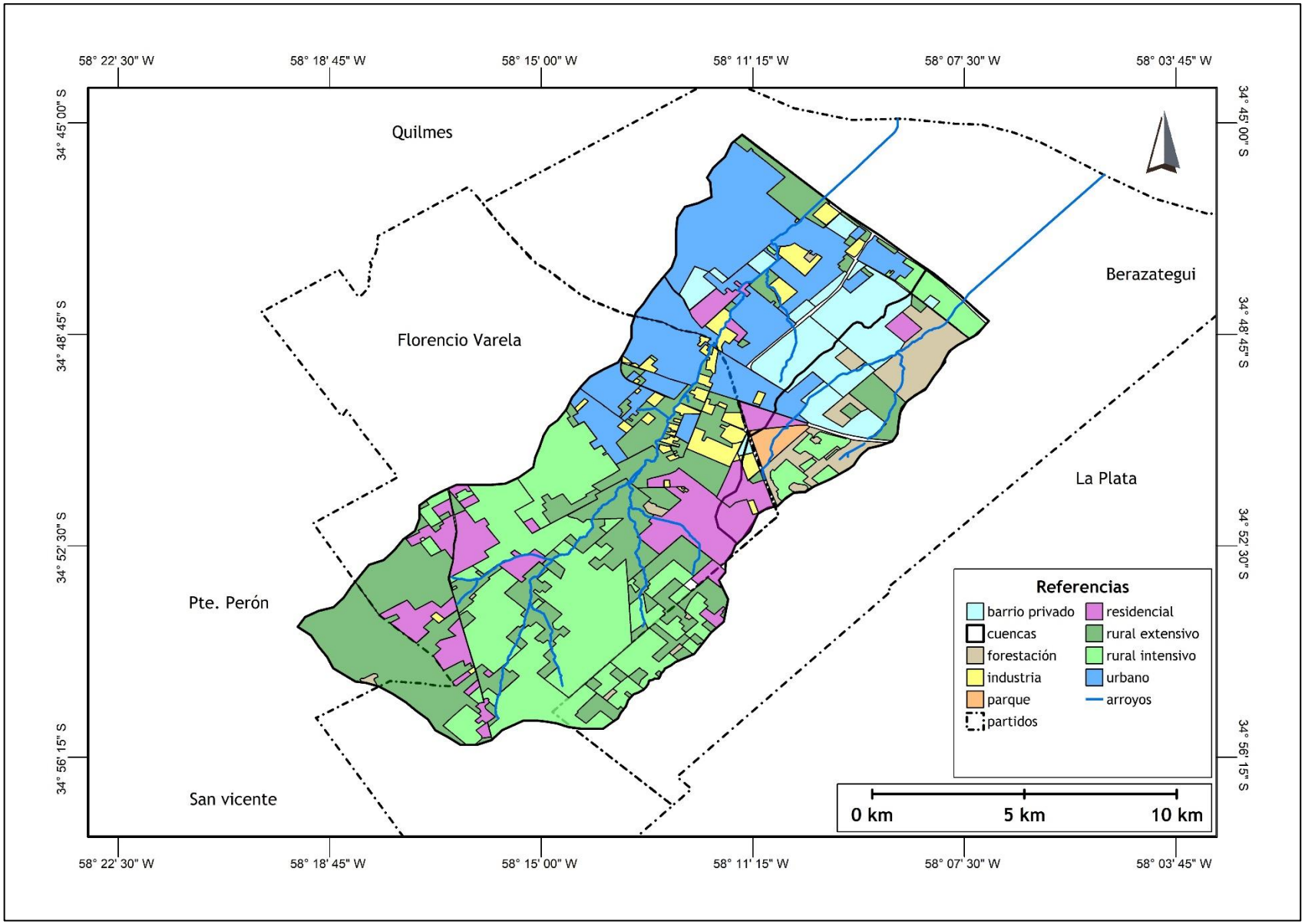


Figura 11. Usos del territorio 2019. Elaboración propia. (Nota: no se mapearon rutas ni autopistas).

En la Figura 11 se puede observar que hacia la cuenca alta o cabeceras **del arroyo Conchitas-Plátanos** las principales actividades que se desarrollan son la rural extensiva y la rural intensiva, siendo esta última la que más se propagó en los últimos años, teniendo en cuenta estudios anteriores. Esto se ve claramente en las imágenes satelitales donde se refleja la superficie arada o los techos de los cultivos bajo cubierta. En este sector también se encuentra el uso residencial que no ha mostrado grandes cambios, aunque se puede decir que con el aumento de la actividad agrícola intensiva también se reconocen asentamientos relacionados a ella (viviendas rurales y de los arrendatarios de las tierras). Las industrias en este sector son poco significativas, encontrándose unas pocas dispersas y de pequeña superficie. En la parte media de la cuenca del arroyo Conchitas-Plátanos se destaca el desarrollo urbano, las industrias y los barrios privados. El ejido urbano se ubica mayormente en el sector Noroeste de la cuenca en el que se intercalan barrios privados, algunos cementerios parque, campos de golf e industrias, estas últimas ubicadas en las márgenes del arroyo.

En la **cuenca del arroyo Baldovinos**, los barrios privados se extienden ampliamente, habiendo crecido hacia el Sureste, donde la forestación y la actividad rural son predominantes. Además, sobre esta cuenca se encuentra parte del parque Pereyra Iraola, declarado Parque Provincial y Reserva de la Biosfera. Hacia la cuenca baja de este arroyo se ubica una franja destinada a la agricultura intensiva al igual que en algunos sectores de la cuenca alta.

Entre las actividades con mayor extensión areal se destacan la rural extensiva, intensiva y la urbana en CCP, mientras que en CB se reconocen la forestación, barrios privados y rural intensiva (Tabla 6).

A continuación, se presenta la superficie cubierta por cada actividad expresada en hectáreas.

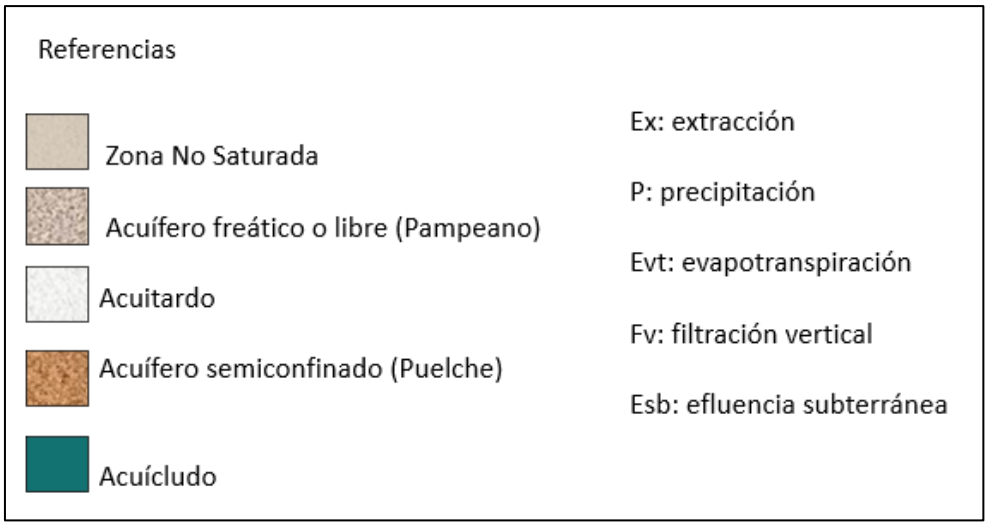
Uso del Territorio-Baldovinos	**año 2019**
Residencial	233 has
Urbano	92 has
Industrial	39 has
Forestación	645 has
Barrio Privado	530 has
Rural Intensivo	342 has
Rural extensivo	195 has
Parque	111 has
Total	**2.187 has**

Uso del territorio-Conchitas-Plátanos	**año 2019**
Residencial	1.351 has
Urbano	2.789 has
Industrial	522 has
Forestación	76 has
Barrio Privado	794 has
Rural intensivo	3.317 has
Rural extensivo	3.861 has
Total	**12.710 has**

Tabla 6. Usos del territorio en ambas cuencas.

4.2 Modelos conceptuales

Se plantearon seis (6) modelos conceptuales de funcionamiento del sistema subterráneo en base a las actividades reconocidas en superficie, y de las condiciones socioeconómicas preestablecidas en cada partido. Se presentan en el Cuadro 1 las referencias de los modelos conceptuales presentados en las Figuras 12, 13, 14, 15, 16, y 17, todas de elaboración propia.



Cuadro 1. Litologías y variables consideradas en los modelos conceptuales.

Para la zona ocupada por la agricultura intensiva, se destaca la producción fruti-flori-hortícola que forma parte del cinturón hortícola bonaerense, donde se observó que está ampliamente desarrollada la tecnología de invernaderos, constituidos por cubiertas plásticas, las cuales no permiten una adecuada infiltración del agua de lluvia y generan un aumento de la escorrentía superficial (Figura 10). Las perforaciones censadas alcanzan al acuífero semiconfinado, el cual es excesivamente explotado para el riego localizado, característico de este tipo de actividad. Según estimaciones, una hectárea de invernadero en producción requiere en promedio 5500 m^3 de agua por año, registrándose los mayores picos de extracción durante los meses de verano (García, 2011). Además, la actividad está asociada al consumo de agroquímicos (fertilizantes, pesticidas, herbicidas), significando una fuente de contaminación con nitratos, entre otros. Se debe considerar que algunas perforaciones se realizan sin aislamiento del acuífero superior y el escaso mantenimiento de las mismas, aumentan o potencian el proceso de contaminación.

A diferencia de la anterior, la actividad rural extensiva (Figura 11) utiliza el agua subterránea para el ganado, principalmente, y establecimientos productivos como tambos, corrales, criaderos de aves, en donde la descarga de sus efluentes derivados, principalmente heces y

orín, puede producir una contaminación local en el agua subterránea, con aumento de las sales disueltas y compuestos del nitrógeno como amonio, nitrito y nitratos.
En los modelos relacionados a los sectores residencial y urbano (Figura 12 y 13), la extracción de agua de los acuíferos es para consumo humano ya que, si bien gran parte de Berazategui y Florencio Varela poseen agua de red, algunas viviendas todavía conservan las perforaciones más someras y antiguas (12 y 15 metros), sobre todo aquellas ubicadas en la zona periurbana. También se encontraron pozos al acuífero Pampeano utilizados para riego y consumo, y algunos que fueron abandonados debido a la profundización de los niveles y/o a la mala calidad del agua. Otra situación que es habitual es el cegado, abandono o disminución del consumo del agua de las perforaciones por la llegada del agua de red. Uno de los problemas conceptualizados en estas categorías es la contaminación por vertido de excretas o aguas negras en pozos ciegos, los cuales infiltran al acuífero Pampeano, afectándolo con nitratos derivados de la degradación de la materia orgánica, ante la falta de servicio cloacal o conexión a la red de estos desechos. Esto claramente genera una problemática no solo ambiental, sino también social, ya que muchos de esos hogares que no poseen servicio de saneamiento básico tampoco poseen agua de red.

Las industrias (Figura 14), dependiendo de su rubro, utilizan grandes volúmenes de agua procedente del acuífero semiconfinado, teniendo sus propias perforaciones en continuo bombeo. Una de las complicaciones derivadas de esta actividad es la pérdida de tanques con sustancias peligrosas, las cuales son movilizadas en el perfil del suelo alcanzando al acuífero freático. Por último, los barrios privados o cerrados (Figura 15), al comportarse como pequeñas ciudades, no son abastecidos por el servicio municipal (Berazategui), sino que poseen un sistema propio con perforaciones a ambos acuíferos para abastecer a los residentes, siendo utilizado el superior para riego y el inferior para consumo y llenado de piletas. En relación a ellas, se pudo contabilizar más de 900 en un solo emprendimiento, reconociendo una explotación intensiva en los acuíferos, la falta de control de las perforaciones y el desaprovechamiento del agua apta para consumo humano.

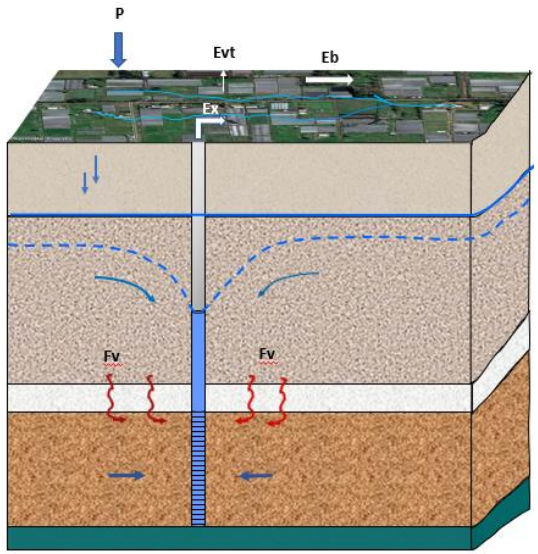


Figura 12. Rural intensivo

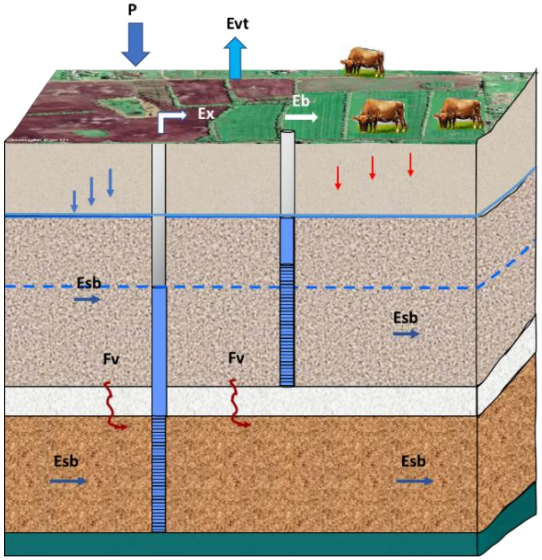


Figura 13. Rural extensivo

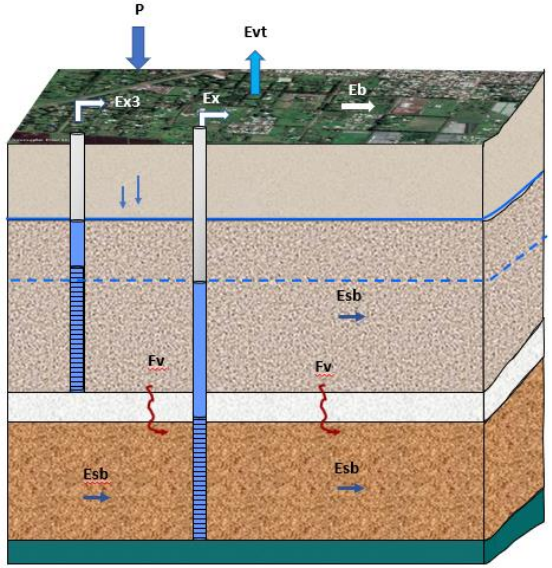


Figura 14. Residencial.

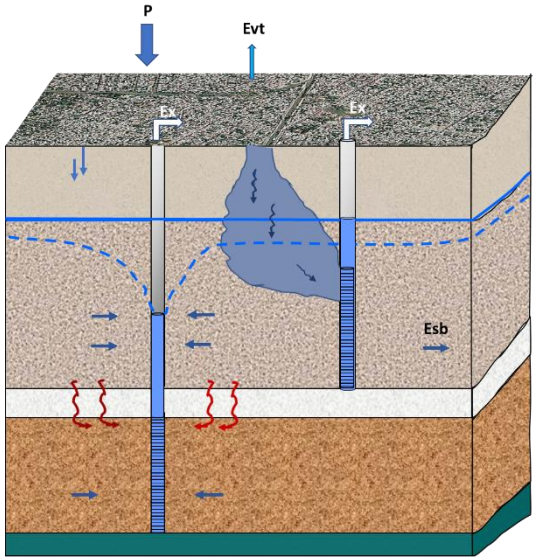


Figura 15. Urbano.

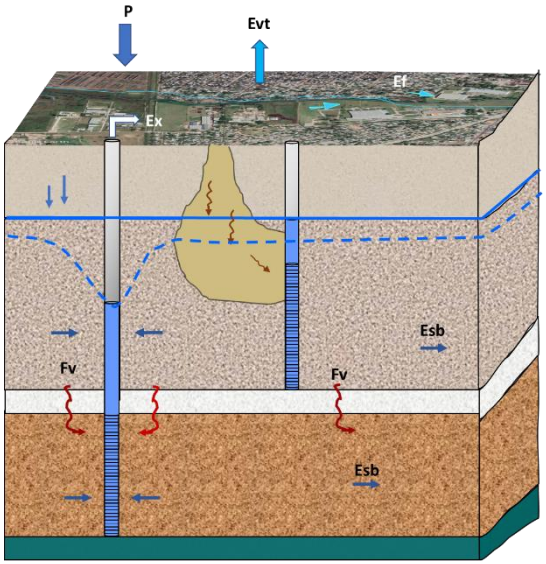


Figura 16. Industrial.

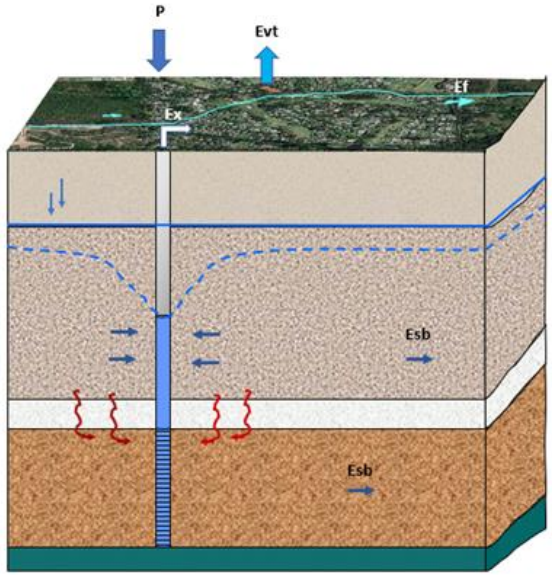


Figura 17. Barrio Privado.

4.3 Profundidad del agua subterránea en las cuencas

El relevamiento de la profundidad del agua subterránea en las perforaciones a ambos acuíferos permite analizar el estado, en el lapso durante el cual fueron realizadas las mediciones, de los niveles y compararlos con aquellos antecedentes.

Para el acuífero **Pampeano** se pudo observar que en la cuenca alta del arroyo Conchitas-Plátanos los valores oscilan entre los 5 y los 15 mbnt (metros bajo el nivel del terreno), profundizándose hacia la cuenca media con valores máximos de 30 mbnt y menores de 10 mbnt en la cuenca baja, mientras que para la cuenca del Baldovinos se registraron profundidades máximas de 21-22 mbnt, (Figura 22) (Anexo, Tabla 1). Esto evidencia que el espesor de la zona no saturada varía de 6 a 25 metros en la cuenca alta, entre 15 y 30 en la cuenca media y hasta 23 metros en la cuenca del arroyo Baldovinos coincidiendo las mayores profundidades, con la ubicación de zonas residenciales y urbanas. Normalmente se esperaría encontrar que en la zona de recarga (cuenca alta), el nivel freático estuviese profundo, mientras que en la zona de descarga (cuenca baja), el mismo permaneciera somero (Trovatto et al., 2013, Figura 8), situación contraria a la observada en la figura 22. A continuación, se muestra el mapa de distribución de valores de profundidad de la superficie freática con una gradación en tonos violeta para los valores entre 5 m y 30 m (Figura 22).

Figura 18. Medición de la profundidad del agua en acuífero freático (izquierda) y en acuífero semiconfinado (derecha), industria metalúrgica y domicilio particular respectivamente.

Figura 19. Perforación con toma de muestra para determinación in situ de parámetros físico-químicos. Vivero en Florencio Varela.

Figura 20. Perforación al acuífero Puelche en Barrio Privado.

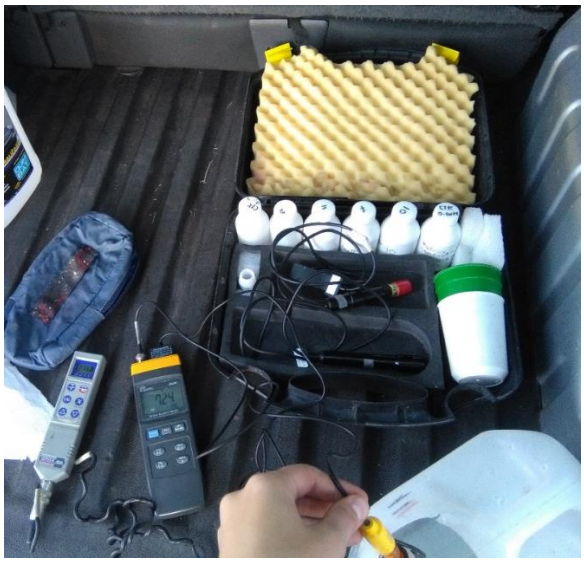


Figura 21. Determinación de parámetros físico-químicos in situ en muestra de agua.

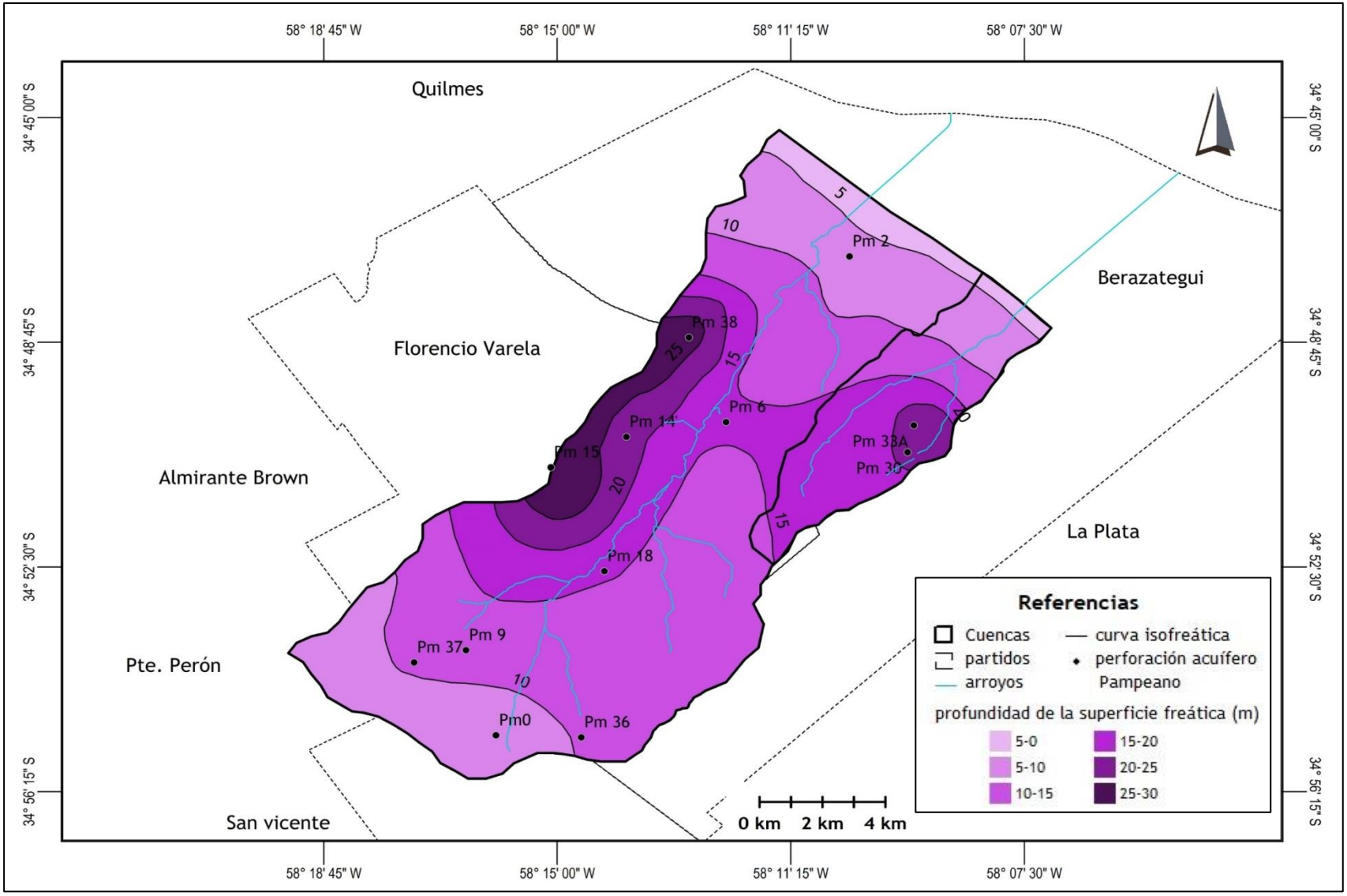


Figura 22. Mapa de isoprofundidad del acuífero Pampeano 2019.

Analizando los datos inéditos del período 2017-2018 (Tabla A.3) junto con las mediciones del 2019, y comparándolos con aquellas publicadas en 2010, se observa que en los pozos Pm 0, Pm 9, Pm 15, Pm 18 (sector superior de la cuenca Conchitas-Plátanos) y Pm 33 A (cuenca media Arroyo Baldovinos) las profundidades del nivel se han hecho mayores, mientras que en Pm 2, Pm 6, Pm 14 y Pm A las profundidades han decrecido para el 2019 (el aumento de nivel freático como respuesta a las mayores precipitaciones señaladas en el ítem 3.3) (Figura 23).

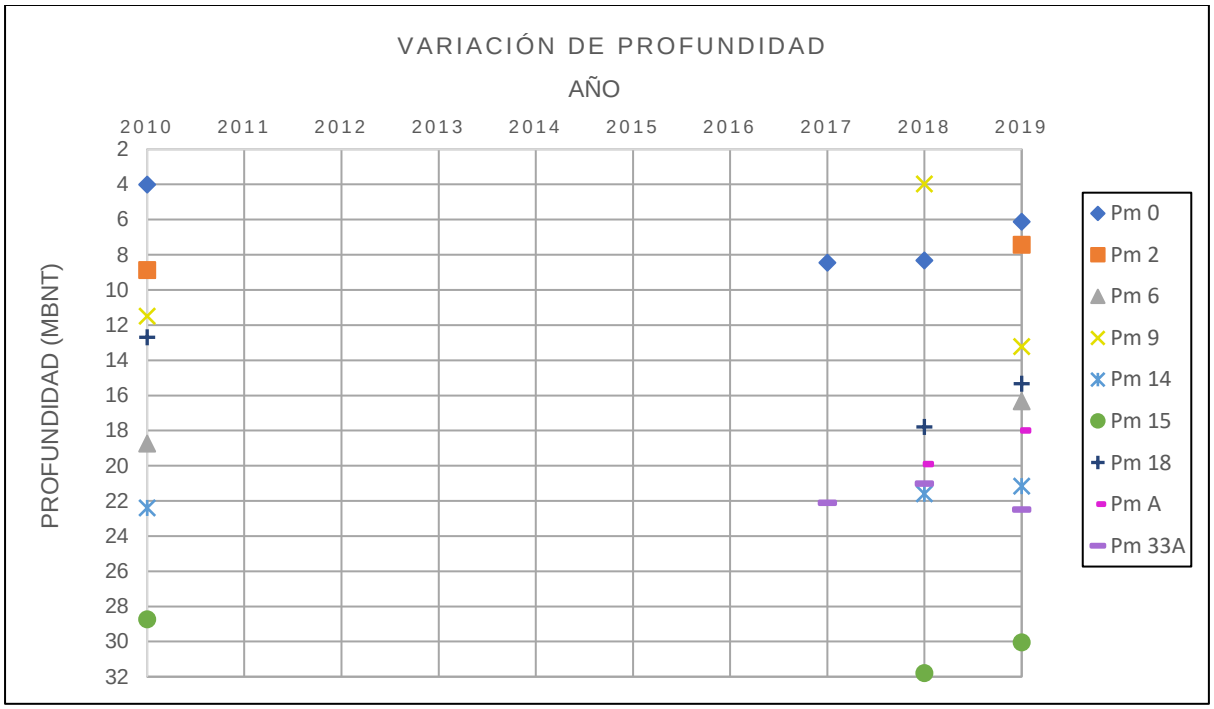


Figura 23. Variación de la profundidad, pozos Pampeano 2010, 2017, 2018 y 2019.

Para el acuífero **Puelche**, las profundidades relevadas del nivel estático toman valores entre 3,1 y 31,37 mbbp (metros bajo boca de pozo). En el sector de la cuenca alta las mismas quedan comprendidas en el orden de 5,74 a 31 mbbp, en el sector medio con 20 mbbp y en el sector inferior 21 a 31 mbbp (Figura 24).

A comparación de las mediciones del 2010, durante los años 2017-2018 (Tabla A.4) y 2019 gran parte de los pozos registraron una menor profundidad del agua (el aumento de los niveles piezométricos, como respuesta a las mayores precipitaciones señaladas en el ítem 3.3), salvo el Pch 1 y el Pch 8 que evidenciaron una profundización del nivel, estando relacionados ambos con la zona de actividad rural intensiva (Figura 25).

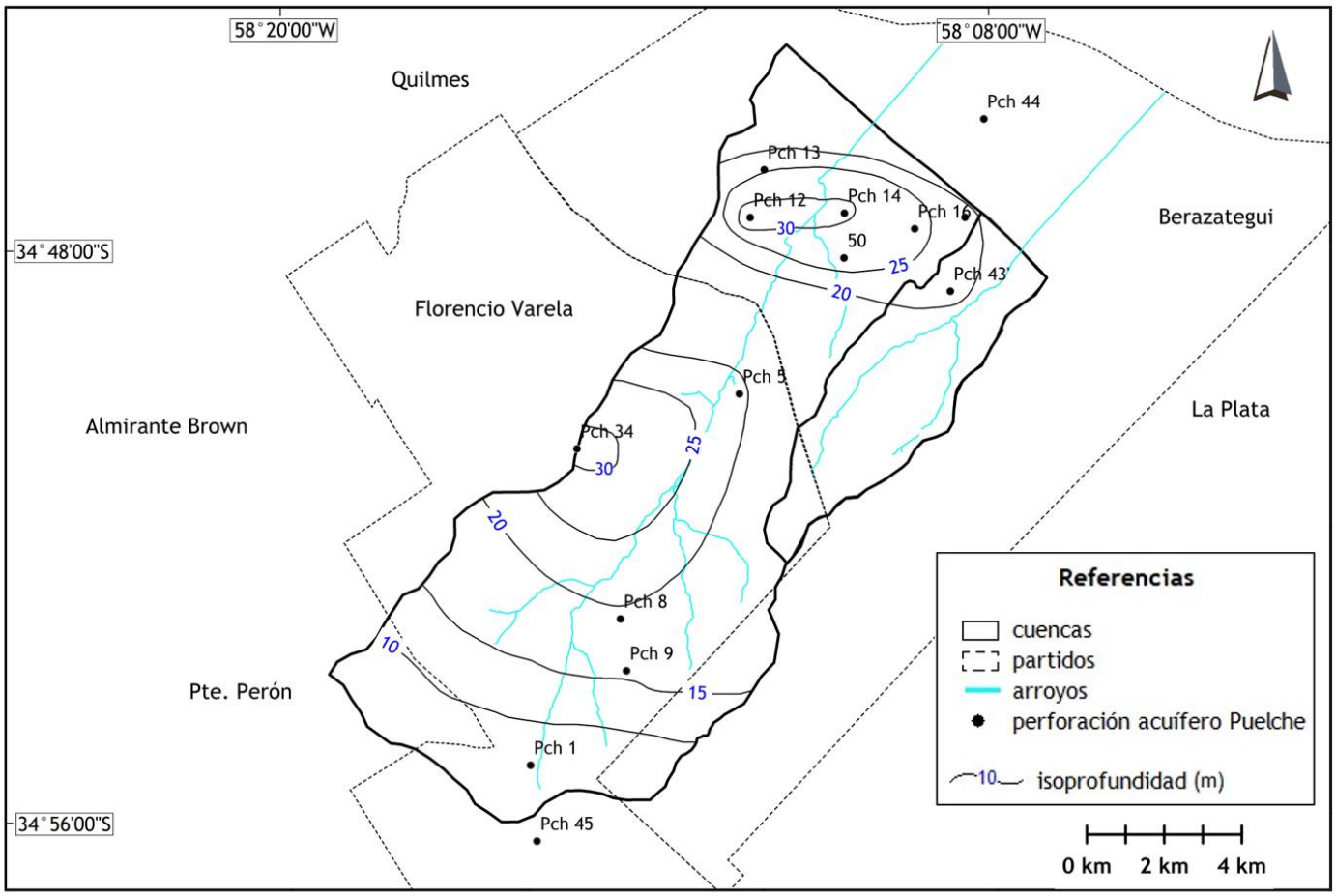


Figura 24. Mapa de la profundidad de la superficie piezométrica del acuífero Puelche 2019.

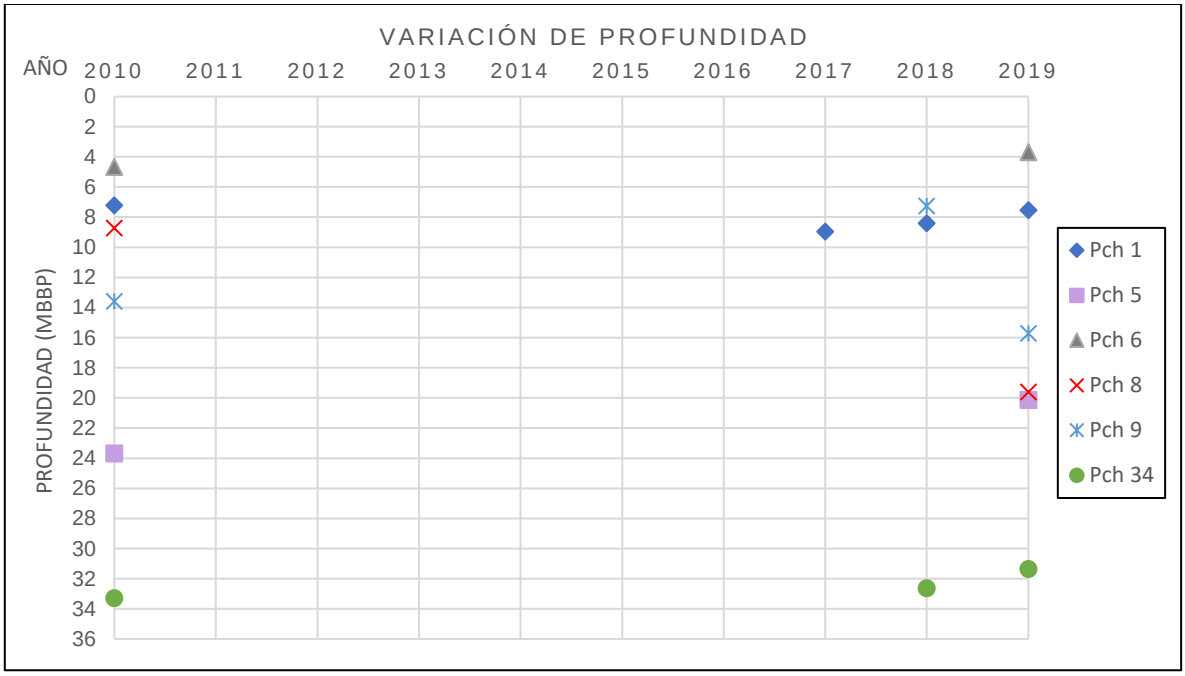


Figura 25. Variación de la profundidad, pozos Puelche 2010, 2017, 2018 y 2019.

4.4 Propiedades fisicoquímicas

Acuífero Pampeano

En cuanto a las propiedades físico-químicas determinadas in situ, la salinidad abarca un rango de 413 a 1600 mg/L, siendo los valores de 500-600 mg/L los más frecuentes. A partir de la cuenca media y baja del arroyo Conchitas se registraron valores superiores a los 1000 mg/L, puntualmente en el Pm A, Pm 6 y Pm 2, los dos últimos relacionados a establecimientos industriales, así como también en dos puntos ubicados en la llanura costera, sobre la que se asienta un barrio privado cercano al perímetro de las cuencas, donde se midieron valores de 5650 mg/L. En la cuenca del arroyo Baldovinos, esta propiedad toma valores de alrededor de los 560 y 655 mg/L.

El pH para ambas cuencas tiene generalmente una tendencia neutra con excepción de una perforación donde se obtuvo un valor de 6 (Pm 2), y la temperatura en promedio registra valores de 17 °C, salvo en tres sitios en donde la misma supera los 20° C (Anexo, Tabla 1).

En relación con la información antecedente (2010, 2017 y 2018), se registró un incremento de la salinidad en siete de los pozos censados (Pm 2, Pm 6, Pm 9, Pm 14', Pm 18, Pm 33 A y Pm A).

Acuífero Puelche

La calidad del acuífero queda determinada por las características físico-químicas tales como la salinidad, con valores de 429-670 mg/L en el ámbito de la cuenca alta y media que se incrementan rápidamente a 700 mg/l y 3000 mg/L en la cuenca baja, y valores que triplican esta última medición en la perforación de la llanura costera (9400 mg/L). Estos valores son superiores a los registrados en las mediciones del 2010, puntualmene en Pch 14, Pch 15 y Pch 16 ubicados en el sector inferior de la cuenca, donde los mismos se duplicaron (Anexo, Tabla A.2). En líneas generales el pH se mantiene por encima de 7, con excepción de algunos pozos que presentan valores levemente por debajo y la temperatura se mantiene en el rango de los 17-18° C. Para el resto de las propiedades físico-químicas medidas in situ no se aprecian grandes cambios.

4.5 Vulnerabilidad de acuíferos

Vulnerabilidad intrínseca del acuífero Pampeano

El mapa obtenido a partir de la implementación de la metodología GOD-S se muestra en la figura 26, donde se diferencian tres áreas con distinta vulnerabilidad. De forma general, la mayoría de la zona de estudio presenta una vulnerabilidad baja, estando el índice comprendido entre 0,1 y 0,3. La vulnerabilidad media, la cual se considera dentro del rango entre 0,3 a 0,5, abarca dos sectores ubicados en la cuenca alta y media-baja del arroyo

Conchitas-plátanos. El índice asignado al parámetro G (tipo de acuífero) fue de 1 (no confinado) en la mayoría de los pozos, salvo en uno de ellos (Pm 6) que se le asignó 0,6 (no confinado cubierto) dada la presencia de niveles de tosca de varios centímetros por encima del nivel freático. En cuanto a la litología de la zona no saturada se observó la presencia predominante de limos y arcillas (índice 0,5) con intercalaciones calcáreas en diferentes formas (tosquilla, niveles, nódulos). La profundidad del nivel freático tuvo la mayor influencia en el cálculo del índice final ya que, si bien se diferenciaron litologías en la zona no saturada, el método posee una entrada simplificada en ese parámetro.

Los suelos reconocidos en el área de estudio se muestran en la Tabla 7. Se destacan los Argiudoles vérticos con textura franco-arcillosa y franco-limosa, y los Argiacuoles, Argialboles y tierras urbanas en menor medida.

Pozo censado	Tipo de suelo
Pm 0, Pm 38, Pm 18	Argiacuol-Argialbol vértico
Pm 9, Pm 37, Pm 38	Argiudol vértico
Pm 15, Pm 14', Pm 6	Argiacuol-Argiudol-Argialbol vértico
Pm 30, Pm 33 A, Pm 36	Argiudol vértico
Pm 2	Tierra urbana-Argiudol vértico

Tabla 7. Principales suelos del área de estudio.

En los casos donde el índice resultó en una vulnerabilidad media, el agua subterránea está a una profundidad menor a 10 m y los perfiles de suelo se caracterizan por ser más limosos que arcillosos en los primeros metros, por lo cual el riesgo de contaminación y/o afectación es intermedio. En los pozos donde el índice resultó bajo, el nivel freático se encuentra a mayores profundidades (mayor a 11 m) donde se desarrollan a su vez suelos arcillosos que le confieren una lenta permeabilidad al perfil, de manera tal que es menos propenso a la infiltración de contaminantes. Aun así, cabe aclarar que en algunos sectores la presencia de suelos con arcillas expansivas significa la posible entrada de flujos preferenciales, que podrían afectar la vulnerabilidad del agua subterránea en mayor medida (Pm 36, Pm 33 A y Pm 30).

En el área centro de ambas cuencas, la condición de vulnerabilidad baja corresponde, en parte, a la mayor profundidad de los niveles relacionada con la ubicación de los pozos de captación para abastecimiento del municipio de Florencio Varela y Berazategui, que si bien son al acuífero Puelche afectan directamente al acuífero suprayacente por la conexión hidráulica existente entre ellos.

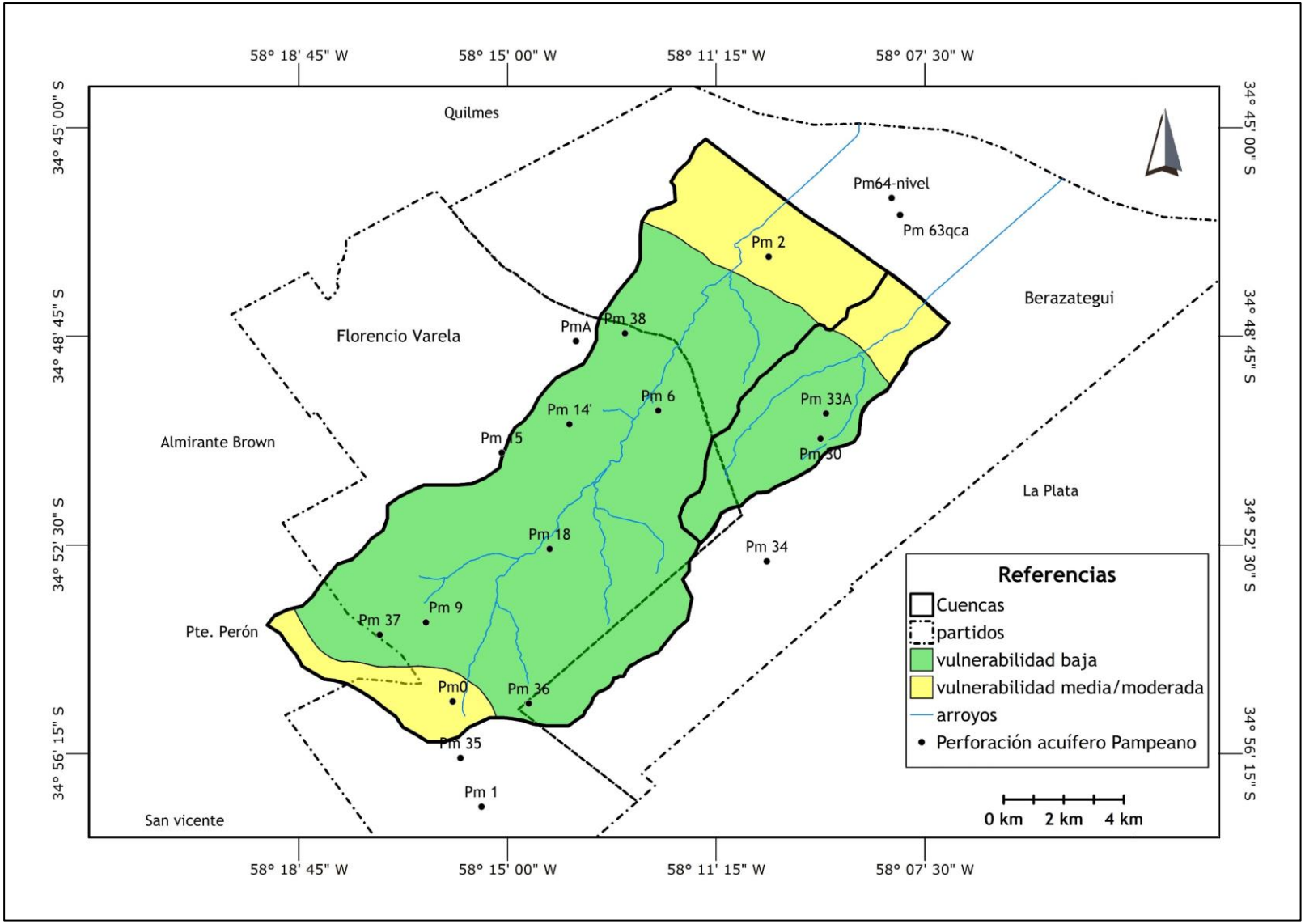


Figura 26. Mapa de vulnerabilidad intrínseca del acuífero Pampeano.

Vulnerabilidad intrínseca del acuífero Puelche

La vulnerabilidad resultante para este acuífero es despreciable a baja. La misma fue definida por los tres parámetros, de los cuales **G** fue considerado como acuífero semiconfinado (índice 0,4), **O** tomó valores de 0,5 y 0,6 de acuerdo con la composición litológica de la cobertura, y **D** de 0,7 y 0,8 por las profundidades del agua subterránea que oscilan entre los 3 y 31,37 mbbp. Agregando el parámetro relacionado al tipo de suelo (índices 0,6 y 0,8 para suelos franco-arcillosos y franco-limosos, respectivamente) se obtuvieron índices finales de rango 0,08-015. Se presentan los resultados en la Tabla 8.

A juzgar por la distribución de los pozos en las cuencas, que abarcan diferentes tipos de ocupación del territorio, en principio se puede observar que la vulnerabilidad del acuífero es respuesta no solo de su posición en el perfil subterráneo, sino que también de su utilización ya que los valores despreciables se ubican en aquellos sectores donde el mismo es más intensamente explotado.

Pozo	Tipo de acuífero	Litología de la cobertura	Profundidad al agua subterránea	Tipo de suelo	Vulnerabilidad de contaminación del acuífero
Pch 1	0,4 x	0,5	x 0,8 x	0,8	Baja
Pch 5	0,4	0,5	0,7	0,6	Despreciable
Pch 8	0,4	0,6	0,8	0,8	Baja
Pch 9	0,4	0,6	0,8	0,8	Baja
Pch 34	0,4	0,5	0,7	0,8	Baja
Pch 43'	0,4	0,5	0,7	0,6	Despreciable
Pch 12	0,4	0,5	0,7	0,6	Despreciable
Pch 13	0,4	0,5	0,7	0,8	Baja
Pch 14	0,4	0,5	0,7	0,6	Despreciable
Pch 15	0,4	0,5	0,7	0,6	Despreciable
Pch 16	0,4	0,7	0,7	0,8	Baja
Pch 50	0,4	0,7	0,7	0,6	Despreciable

Tabla 8. Índices obtenidos del método GOD-S Acuífero Puelche.

4.6 Indicadores sustentables

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de los indicadores aplicados:

Indicador 5

El área total afectada por el agotamiento del agua subterránea es de 76,61 Km^2 y se concentra en la parte media de las cuencas, correspondiendo a un 47,7% de las mismas (Figura 27). Esto significa que casi la mitad de la zona de estudio presenta una depleción del nivel del agua subterránea en el acuífero Pampeano. Discriminando las cuencas, la del arroyo Conchitas-Plátanos presenta un 44, 8% de su superficie bajo estas condiciones, mientras que la del arroyo Baldovinos por su menor extensión el porcentaje adquiere mayor importancia siendo un 61% de su área. La superficie citada coincide con los niveles más deprimidos del acuífero Pampeano.

Indicador 7

En base a los resultados de vulnerabilidad obtenidos en el item 4.5 para el acuífero Pampeano, se lo pudo clasificar dentro de la categoría acuíferos moderadamente vulnerables, caracterizado en este caso por niveles freáticos más profundos y una zona no saturada menos permeable de espesor entre 10 y 30 metros. El valor expresado por la relación entre el área con vulnerabilidad media/moderada y el área total estudiada, da un total del 20,9% de la misma, siendo la restante, 79,1%, de vulnerabilidad baja. Este último porcentaje muestra como es afectado el acuífero Pampeano por la extracción del acuífero infrayacente, debido a la demanda producida en superficie por las diferentes actividades.

Indicador 8

La calidad del agua del acuífero Pampeano queda parcialmente descripta por los siguientes resultados:

Las áreas con problemas naturales de arsénico comprenden un 5,3% de la zona de estudio y se ubican en los sectores alto y medio de la cuenca Conchitas-Plátanos, y en una pequeña área de la cuenca del Baldovinos. A pesar de ser un problema natural de la región, estas concentraciones quedan enmarcadas en un perímetro donde las mismas se destacan del resto (Figura 28). No se discriminó el porcentaje por cuenca ya que en la porción del Baldovinos significaría una parte muy pequeña.

El indicador que expresa el grado de afectación por intervención humana, en este caso la concentración de nitratos observada en diferentes puntos establece que un 3,3% de las cuencas tiene problemas de contaminación por una fuente de este origen. En cada uno de los sitios con esta determinación, se observa que están espacialmente asociados al ejido

urbano y zonas rurales, pertenecientes a la cuenca media del arroyo Conchitas-Plátanos (Figura 29).

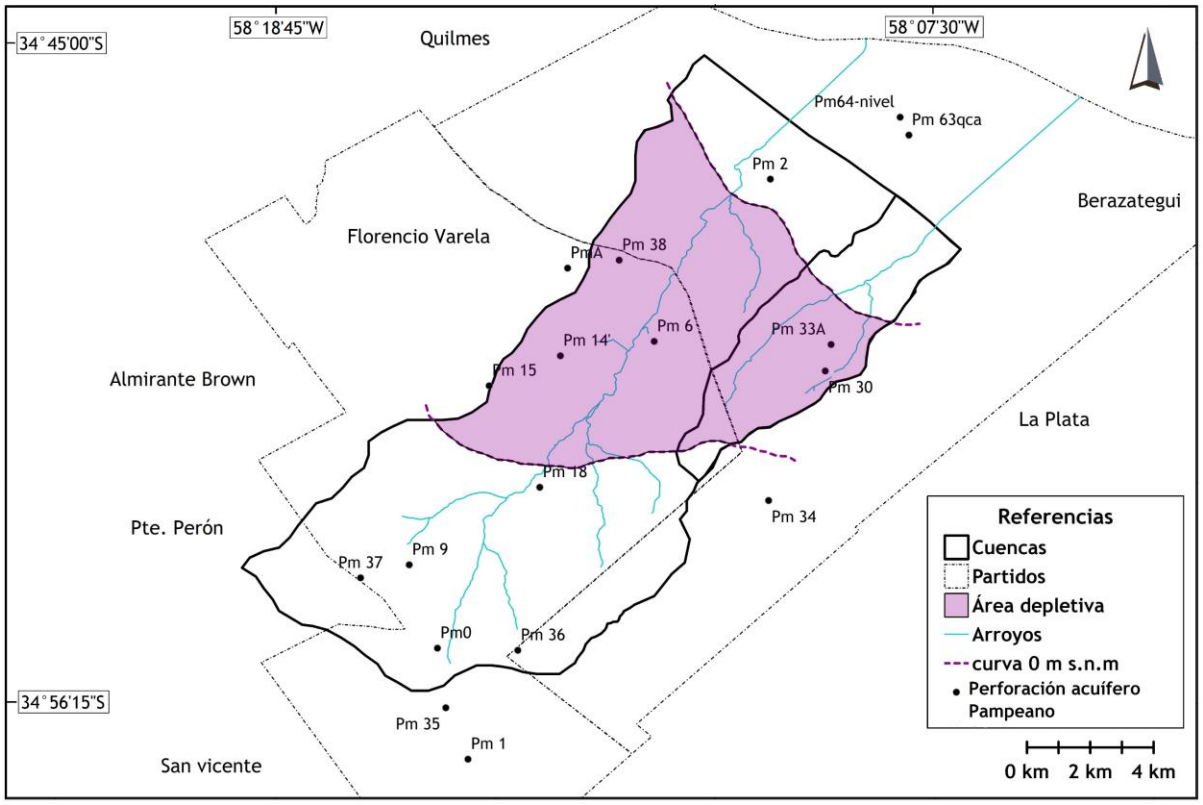


Figura 27. Mapa del área afectada por depleción del acuífero Pampeano.

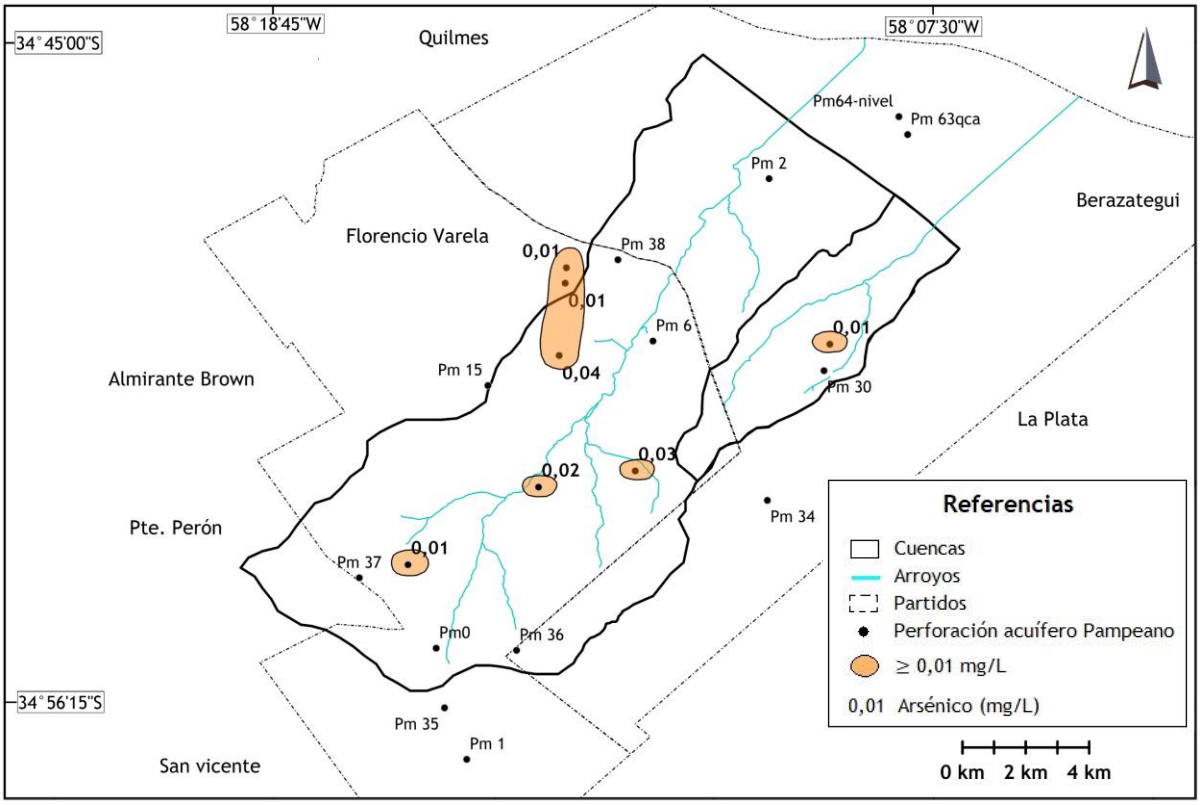


Figura 28. Áreas afectadas con arsénico.

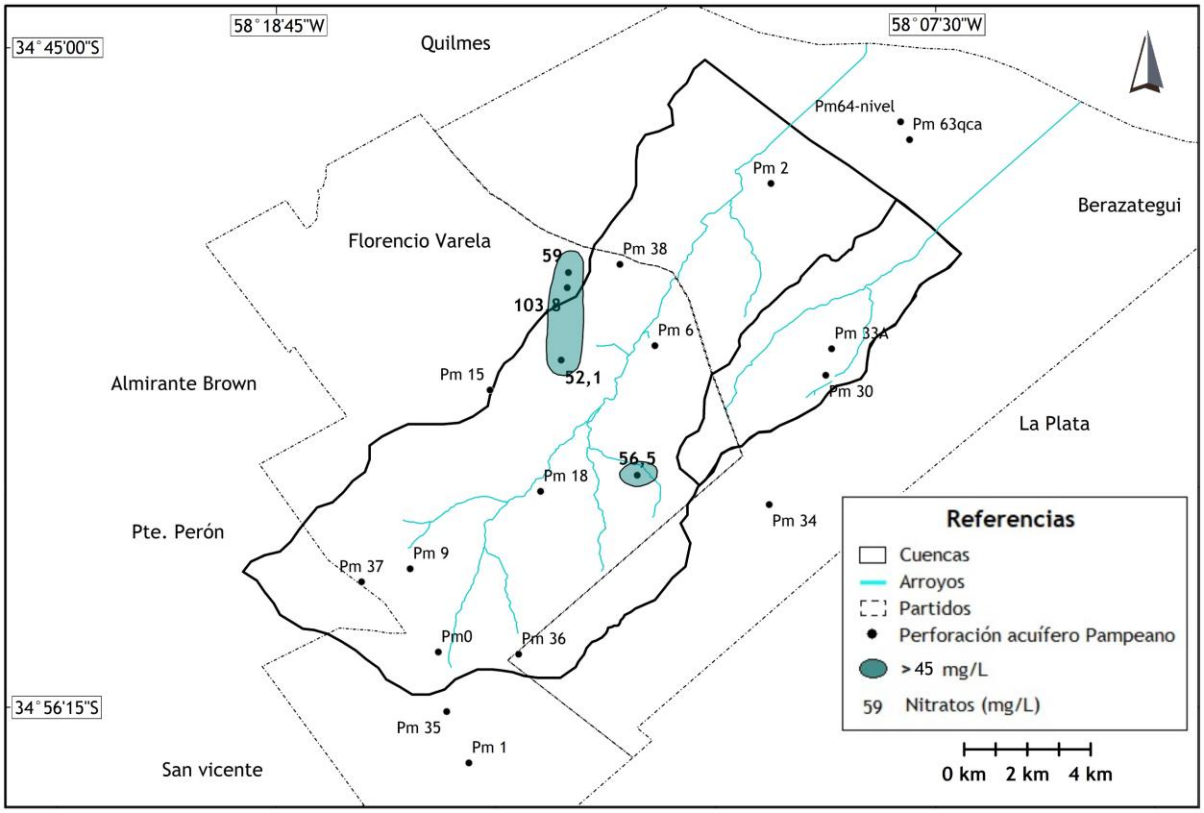


Figura 29. Áreas afectadas con nitratos.

5. INTERPRETACIÓN Y DISCUSIÓN

El estudio del estado actual del agua subterránea en las cuencas constituye una herramienta útil para el seguimiento de los cambios en las mismas a través del tiempo, considerando que el recurso es ampliamente utilizado en los partidos circunscriptos en ellas.

Las actividades económicas desarrolladas en ambas cuencas condicionan la explotación del agua subterránea y su consecuente uso. Tanto el mapeo como los modelos conceptuales de las categorías de uso del territorio se pueden correlacionar con las condiciones hidrodinámicas e hidroquímicas registradas.

En el **sector superior de la cuenca del arroyo Conchitas-Plátanos**, donde predominan las actividades rural extensiva e intensiva, se observa que el acuífero Pampeano presenta niveles de profundidad medios y salinidades que no superan los 1000 mg/L, pero ambos superiores a los registrados con anterioridad (Trovatto et al., 2013 y 2015). La agricultura intensiva experimenta un avance en la región, visible en los últimos años (Calvo et al., 2014), resultando en un mayor consumo de agua subterránea destinada para el riego de cultivos bajo cubierta. También se reconocen barrios residenciales de poca densidad, cuyas viviendas generalmente contienen perforaciones para su abastecimiento, al acuífero Pampeano o Puelche según la necesidad.

En la **cuenca media del Conchitas-Plátanos y del Baldovinos**, los niveles freáticos alcanzan su mayor profundidad, situación ya señalada por Trovatto et al., (2013), los cuales reconocen una hidroforma negativa. La concentración de industrias en las inmediaciones del arroyo, la ubicación del centro urbano y barrios privados, y la cercanía de parte de la batería de pozos de abastecimiento, serían responsables de la misma. Es allí donde además se registraron concentraciones anómalas de nitratos, posiblemente relacionadas al vertido de efluentes cloacales en pozos absorbentes (o ciegos) debido a la falta del servicio municipal, y puntualmente en el Pm 6, salinidades superiores a las de la zona, atribuibles a la actividad industrial.

Hacia la **cuenca baja**, el área urbana y los barrios privados cubren casi toda la superficie, con algunos predios industriales y espacios verdes intercalados. Las profundidades del agua subterránea no son las esperables para la posición de la cuenca, dado que en la zona de descarga de cuencas no intervenidas las mismas suelen ser someras, indicando que están modificadas producto del bombeo (ubicación de pozos de captación de la batería de Berazategui y pozos no declarados).

En la **cuenca del arroyo Baldovinos**, los barrios cerrados son importantes consumidores del agua subterránea, tanto para las actividades recreativas (llenado de piletas) y riego como para consumo. A pesar de estar poco intervenida, la cuenca posee niveles freáticos con profundidades del orden de 22 mbnt. Esto podría corresponderse con la presencia de la batería de perforaciones al acuífero Puelche en la porción del Parque Pereyra Iraola ubicado dentro de la misma que, además, ha sido invadido por la agricultura intensiva, infiriendo la sumatoria de más perforaciones.

Por su parte, las profundidades del nivel estático del acuífero Puelche se hacen significantes en el sector medio-bajo de las cuencas, coincidiendo con aquellas citadas para el acuífero suprayacente. Esto reafirma lo planteado por Trovatto et al., 2013 y evidencia el sostenimiento de los conos de depresión presentes en ese sector. Actualmente se ve un desplazamiento levemente positivo de los niveles, como consecuencia de las precipitaciones ocurridas en los meses de junio y julio que excedieron ampliamente el registro de la media mensual del período histórico. Además, se aprecian conductividades eléctricas por encima de las antecedentes, más precisamente en las perforaciones paralelas y cercanas a la Llanura costera, donde existe el avance del frente salino proveniente de la misma, producto del bombeo (EASNE, 1972; Trovatto et al., 2013 y 2015).

El método GOD-S resultó sencillo de aplicar, considerando que la información requerida forma parte de los antecedentes y de las mediciones de campo, y si bien permitió definir zonas con distinta vulnerabilidad, presenta algunas limitaciones y sus resultados son una primera aproximación del estado del acuífero, por lo cual se debe considerar la implementación de métodos más completos en posteriores investigaciones (ej. DRASTIC).

La vulnerabilidad del acuífero Pampeano está íntimamente relacionada con la extracción del acuífero Puelche, debido a la conexión hidráulica existente entre ellos (el acuífero semiconfinado se recarga de manera autóctona indirecta a través del acuitardo (Trovatto et al., 2013)) y a los diferentes tipos de suelo que conforman la zona no saturada, teniendo incidencia en el valor final de la vulnerabilidad. Los principales tipos texturales reconocidos fueron los Franco-arcillosos y Franco-limosos. De estos, los primeros ocasionarían una disminución de la vulnerabilidad dado que su tamaño de grano limita la permeabilidad.

La vulnerabilidad a nivel regional del acuífero Pampeano es baja en casi toda la superficie de las cuencas, y media/moderada en sectores reducidos. Ambas condiciones estarían en parte inducidas por el bombeo de las perforaciones al acuífero Puelche que provocan la depleción del acuífero Pampeano. Si bien lo anterior significa una primera alerta, hay que tener en cuenta que el carácter influente del arroyo Conchitas-Plátanos en la zona de estudio, se traduce en el aporte de este a las aguas subterráneas, por lo que pueden verse afectadas por la carga contaminante que es vertida en el arroyo, principalmente desechos industriales y cloacales, e infiltradas allí donde el lecho no está impermeabilizado.

Con respecto al acuífero Puelche la vulnerabilidad baja es interpretada por Foster et al., (2002) como: “solo vulnerable a contaminantes conservativos cuando son descargados o lixiviados en forma amplia y continua durante largos períodos de tiempo”. Esta definición concuerda con la situación de que el acuífero es indirectamente alimentado por el Pampeano, el cual se ve comprometido en su calidad en sectores específicos de las cuencas. Las áreas en donde la vulnerabilidad resultó despreciable coinciden con los niveles más deprimidos del acuífero Puelche (cuenca media y baja) y con la presencia de suelos con alto contenido de arcillas que proporcionan, al igual que en el acuífero Pampeano, un cierto grado de protección.

Los indicadores sustentables aplicados dan una idea del estado del recurso en diferentes aspectos. El indicador I5 demuestra que la depleción o agotamiento del acuífero Pampeano está centrada donde se produce la mayor extracción del agua subterránea, resaltando que el área de estudio, además, se encuentra en la zona de disponibilidad restringida del acuífero Pampeano y Puelche, la cual “aplica a todos los acuíferos productores cuyas características hidrológicas e hidráulicas, presentan un caudal de uso actual que se encuentra por encima del caudal máximo de aprovechamiento sustentable...” (ADA, 2017. Figura A.4). Vinculado a ello, el indicador I7 expresa el porcentaje del acuífero que presenta vulnerabilidad media/moderada (20,1%), siendo el resto de vulnerabilidad baja lo que advierte que es producto de la explotación. En relación con la calidad, el resultado del indicador I8-a señala que las concentraciones de arsénico natural sobre y por encima del nivel guía se encuadran en la parte alta y media de la cuenca Conchitas-Plátanos, y en un sector de la cuenca Baldovinos, en donde ha persistido a través de los años. En

contraposición, el indicador I8-b manifiesta la contaminación humana en sitios puntuales con nitratos, en un área similar pero menor a la citada para la problemática natural, estando relacionada a la falta de red cloacal y posiblemente al ámbito rural de uno de los puntos.

6. CONCLUSIONES

El estudio realizado sobre las cuencas permitió continuar con el monitoreo de las mismas e implementar nuevos métodos de análisis, conociendo la problemática instalada hace tiempo por la ocupación y cambios en el uso del territorio, que ocasionan el aumento de la demanda del agua subterránea. Esta a su vez, es la principal fuente de abastecimiento para consumo humano y para las actividades agropecuarias e industriales.

- La identificación y mapeo del territorio en categorías de uso da una primera aproximación de la superficie ocupada por cada una de ellas y la posible relación con el agua subterránea. Se destacan para la cuenca alta, la agricultura intensiva y barrios residenciales dispersos; para la cuenca media y baja el sector urbano densificado, industrias y barrios cerrados. Los cambios más significativos observados en el tiempo se corresponden al sector de la cuenca alta.
- Los modelos conceptuales planteados facilitaron la visualización de la interacción entre la actividad en superficie y la explotación/afectación de los acuíferos, reconociendo que tanto la agricultura intensiva, las industrias y los barrios privados son los mayores consumidores, en tanto que la contaminación puede derivar de la falta de saneamiento del sector urbano, pérdidas/vuelcos de efluentes de sustancias industriales, y agroquímicos provenientes de actividades rurales.
- La medición en el campo de la profundidad del agua subterránea y la determinación de parámetros físico-químicos in situ en 33 perforaciones, permitió actualizar las condiciones de los acuíferos y marcar los cambios hallados. El área de mayor profundidad del acuífero Pampeano coincide con aquel reconocido por los antecedentes y está ligado al bombeo del acuífero inferior semiconfinado Puelche. En ambos acuíferos se aprecian cambios en la profundidad y en la conductividad eléctrica, indicando un aumento de la salinidad en la mayoría de los pozos.
- La vulnerabilidad intrínseca del área de estudio quedó establecida en base a las variables intervinientes en el método GOD-S, derivando en la asignación de un índice bajo y medio/moderado para el acuífero Pampeano y despreciable-bajo para el acuífero Puelche. Es evidente que la profundidad del agua y el tipo de suelo influyen en la definición de la vulnerabilidad en estos tipos de acuíferos explotados intensivamente, determinando índices menores a los previstos en condiciones naturales. El mapeo de la vulnerabilidad sirve para conocer su distribución en las

cuencas y como herramienta en la planificación y control de actividades desarrolladas en superficie. Es importante mencionar que estos resultados son consecuencia del bombeo intensivo que deprime el nivel del agua, estableciendo una condición transitoria y que sean menos propensos a la contaminación proveniente de la superficie.

- La disponibilidad de información condicionó la elección y cálculo de los indicadores sustentables de agua subterránea en las cuencas. Los mismos expresan de manera sintética la situación actual del acuífero Pampeano bajo diferentes aspectos. El indicador de agotamiento del agua subterránea (I5) afirma la depleción del acuífero evidenciado por la profundización de los niveles freáticos mostrado en páginas anteriores. El indicador de vulnerabilidad (I7) expresa porcentualmente el grado de la misma que presenta el acuífero en las cuencas, estando modificado antrópicamente por el régimen de explotación. Por último, el indicador de calidad del agua subterránea (I8) con sus dos variantes, contaminación natural e inducida, advierte de las áreas afectadas con diferentes sustancias y la posible limitación de su uso teniendo en cuenta las tendencias de la dinámica subterránea, siendo una herramienta útil para la toma de decisiones por parte de las autoridades competentes.
- Finalmente, se recomienda continuar con los estudios hidrogeológicos de la zona, teniendo en cuenta las problemáticas planteadas en este trabajo y en los antecedentes, como así también las limitaciones encontradas para ciertos análisis; desarrollar más profundamente los indicadores sustentables, los cuales son una herramienta efectiva y fácil de transmitir, aunque exigen una gran variedad de datos; priorizar el uso del agua subterránea y monitorear los cambios en su cantidad /calidad para evitar su progresivo agotamiento/deterioro.

7. BIBLIOGRAFÍA

ADA. Autoridad del Agua de la provincia de Buenos Aires. ada.gba.gov.ar. 2020. *Mapa de Disponibilidad del Recurso Hídrico | ADA*. Disponible en: http://www.ada.gba.gov.ar/mapa_dedisponibilidad.

Auge, M. 2004. Vulnerabilidad de acuíferos: Revista Latino-Americana de Hidrogeología, 4:85- 103.

Auge, M. P., Hirata, R., y López-Vera, F. 2004. Vulnerabilidad a la Contaminación por Nitratos del Acuífero Puelche en La Plata–Argentina, Buenos Aires, E book: 1-187. FCEN–UBA. Recuperado de www.gl.fcen.uba.ar/ Hidrogeologia/auge/libros.htm.

Auge, M. 2019. Contaminación con nitratos del agua subterránea en La Plata, Argentina. En: Revista Latino-Americana de Hidrogeología-Edición Especial. Contaminación subterránea del agua en Argentina. Asociación Latinoamericana de Hidrología Subterránea para el Desarrollo (ALHSUD).

Borello, L, 2012. Identificación de Conflictos de uso generados por demanda y deterioro de la calidad del agua subterránea y superficial en un área del conurbano Bonaerense (tesis de magister). Universidad de Buenos Aires. En: https://www.academia.edu/39855894/UNIVERSIDAD_DE_BUENOS_AIRES.

Borello, L. 2013. Conflictos por usos del agua subterránea y superficial en un área del conurbano bonaerense. Identificación y metodología. En: González et. al (eds.): “Agua subterránea recurso estratégico”. 109-116. EDULP. ISBN: 978-987-1985-03-6. La Plata

Calvo, G. H., Cipponeri, M., Salvioli, M. L., Trovatto, M. M., y Álvarez, P. 2014. Análisis multitemporal del uso efectivo del territorio en la cuenca del arroyo "Las Conchitas-Plátanos". En *I Congreso Latinoamericano sobre Conflictos Ambientales (Buenos Aires, 2014)*.

Calvo, G. H., Cipponeri, M., Salvioli, M. L., Trovatto, M. M., & Álvarez, P. 2014. Análisis multitemporal del uso efectivo del territorio en la cuenca del arroyo Baldovinos. In *II Jornadas Nacionales de Ambiente (Tandil, 2014)*.

Carol, E., 2015. Procesos geohidrológicos y geoquímicos que condicionan la composición del agua subterránea en el humedal de Bahía Samborombón. Anales de la Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 67, 26-40.

Carol, E., Braga, F., Donnici, S., Kruse, E. y Tosi, L., 2017. The hydrologic landscape of the Ajó coastal plain, Argentina: An assessment of human-induced changes. Anthropocene, 18, 1-14. https://doi.org/10.1016/j.ancene.2017.05.001.

Código Alimentario Argentino (CAA) (actualizado) 2007. “Capítulo XII, Bebidas Hídricas, Agua, y Agua Gasificada, Art. 982 Agua potable”. Resol. Conjunta 68/2007 SPRRS y 196/2007.

Cavallotto, J.L. 1995. Evolución geomorfológica de la llanura costera ubicada en el margen sur del Río de la Plata. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Naturales y Museo. Universidad Nacional de La Plata.

DIPSOH. Dirección Provincial de Saneamiento y Obras Hidráulicas. 2019. En: http://www.mosp.gba.gov.ar/sig_hidraulica/ms/publico.

EASNE 1972. Contribución al estudio geohidrológico del Noreste de la Provincia de Buenos Aires. EASNE -CFI. Serie. Téc.24, Tomo I y II.

Edmunds, W. M. 1996. Indicators in the groundwater environment of rapid environmental change. In: Geoindicators: Assessing Rapid Environmental Changes in Earth System: Berger A. R. and W. J. Iams (eds). A. A. Balkema. Rotterdam, Netherland: pp: 121-136.

Fidalgo, F. 1992. Provincia de Buenos Aires. Continental. CADINQUA. *El Holoceno en la Argentina*, *1*, 23-38.

Foster, S., and R. Hirata, 1991. Determinación del riesgo de contaminación de aguas subterráneas, una metodología basada en datos existentes. Organización Panamericana de la Salud, Lima, Perú. (CEPIS), 81 pp.

Foster, S., Hirata, R., Gomes, D., D’ Elía, M., y Paris, M. 2002. Protección de la calidad del agua subterránea: guía para empresas de agua, autoridades municipales y agencias ambientales. -115 págs. *Banco Mundial, Berlín.*

Frenguelli, J. 1950. Rasgos generales de la morfología y geología de la provincia de Buenos Aires. Provincia de Buenos Aires, Ministerio de Obras Públicas de la Provincia de Buenos Aires. Lab. Ensayos Materiales Invest. Tecnol. (LEMIT) Ser.II, 33, 1-72.

García, M. (2011). El cinturón hortícola platense: ahogándonos en un mar de plásticos. Un ensayo acerca de la tecnología, el ambiente y la política. Theomai Nº 23. Buenos Aires. 19 pp.

González, N., M. M. Trovatto y Hernández M. A. (2002). *“Modelo Conceptual Hidrodinámico en una cuenca tributaria del río de la Plata (Buenos Aires, Argentina)”.* XXXII IAH & VI ALSHUD CONGRESS 2002. “Groundwater and human development.”

González, N. 2005. Los ambientes hidrogeológicos de la Provincia de Buenos Aires. En R. de Barrio, E. Etcheverry, M. Caballé, & E. Llambías (Eds.). Geología y recursos minerales de la provincia de Buenos Aires (pp. 359-374). *Relatorio del XVI Congreso Geológico Argentino*, Asociación Geológica Argentina, La Plata, Argentina.

Hernández, M. A. 1975. Efectos de la Sobreexplotación de aguas subterráneas en el Gran Buenos Aires y alrededores. Rep. Argentina. II Congreso Ibero-Americano de Geología Económica. *La Geología en el Desarrollo de los Pueblos*.

Hernández M. A., (2001). La importancia de la zona no-saturada en la hidrología de llanuras*.* Anales Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. T 53 (2001):73-82. Buenos Aires.

Hurtado, M. A., Giménez, J. E., Martínez, O. R., Cabral, M. G., Lucesoli, H., Forte, L. M., ... & Somoza Sánchez, V. R. 2005. Elaboración de Cartografía Temática integrada a Sistema de Información Geográfica (SIG) y Propuesta de Ordenamiento Territorial y Zonificación según Usos. *Partido de Florencio Varela*, *91*.

Hurtado, M. A., Giménez, J. E., Cabral, M. G., da Silva, M. M., Camilión, M. C., Sánchez, C. A., y Andrade, G. 2006. Suelos del partido de Berazategui como base para el planeamiento ambiental y ordenamiento territorial. *Trabajo inédito. Consejo Federal de Inversiones.*

INDEC, 2010. Instituto Nacional de Estadística y Censo. Censo Nacional de Población y Vivienda. República Argentina.

Matteoda, E., Blarasin, M., Cabrera, A. 2012. Geoindicadores para evaluar cambios ambientales relacionados a calidad de aguas subterráneas en regiones sub-húmedas. Casos de estudios en la llanura Chaco-Pampeana. Sur de Córdoba. Taller de indicadores para la gestión de las aguas subterráneas.

Mimam, 2000. Indicadores Ambientales. Una propuesta para España. Serie monografías. Ministerio de Medio Ambiente de España. I.S.B.N: 84-8320-098-8.

OECD, 2003. OECD Organisation for Economic Co-operation and Development. Environmental Indicators. Development, Measurement, and Use. Reference paper. Paris.

Pérez, M., Tujchneider, O., Paris, M., y D'Elía, M. 2015. Sustainability indicators of groundwater resources in the central area of Santa Fe province, Argentina. *Environmental Earth Sciences, 73(6), 2671-2682.*

Pernía, J. M., Alonso, B., 2004. Análisis de los índices e indicadores utilizados para definir el estado de los acuíferos. Informe IGME.

Salvioli, M. L., Colli, G. A., Cipponeri, M., y Calvo, G. H. 2013. Gestión de cuencas: análisis comparativo en función de la calidad del agua superficial y usos del suelo de dos pequeñas cuencas urbanas. En *VII Congreso de Medio Ambiente.*

Silva Busso, A., Gatti, D., y Seoane, N. 2003. Vulnerabilidad del acuífero Pampeano en el área del Conurbano Bonaerense y ciudad de Buenos Aires. COHIFE Consejo Hídrico Federal. Buenos Aires.

Trovatto, M. M., Álvarez, M. del P., González, N., y Hernández, M. A. 2013. Evidencias hidrodinámicas de explotación intensiva en cuencas del Noreste de la provincia de Buenos Aires. En: González et. Al (eds): “Agua subterránea recurso estratégico”. XX-XX. EDULP. ISBN: 978-987-1985-03-6. La Plata.

Trovatto, M. M., Álvarez, P., Cipponeri, M., Salvioli, M. L., y Calvo, G. H. 2015. Impacto antrópico sobre el recurso hídrico en cuencas del noreste de la provincia de Buenos Aires. En *XXV Congreso Nacional del Agua (Entre Ríos, Argentina, 15 al 19 de junio de 2015).*

UIDD-GA. 2011. Plan piloto de gestión de las Cuencas de los arroyos Conchitas – Plátanos y Baldovinos, Convenio (UIDDGA – FI – UNLP). Autoridad del Agua (ADA) y Consejo Federal de Inversiones (CFI). Junio 2011. (Inédito).

Vrba, J., Girman, J., Van der Gun, J., Haie, N., Hirata, R., Lopez-Gunn, E., y Wallin, B. 2007. Groundwater resources sustainability indicators (p. 114). A. Lipponen (Ed.). Paris: Unesco.

Vrba, J. and Zaporozec, A. (eds). 1994. Guidebook on Mapping Groundwater Vulnerability. IAH /Unesco, Vol. 16. Heise, Hannover.

ANEXOS

1. Tablas de datos de campo y análisis químicos de laboratorio

Pozo	Conductividad Eléctrica (uS/cm)	TDS	pH	T (°C)	Profundidad Nivel (mbnt)	Prof. Perforación (mbbp)	Uso
Pm 0	806	503	7,29	17,6	6,12	18	Sanitario
Pm 1'	1645	907	6,7	17,7	2,85	18	Pileta
Pm 2	1846	1232	6,06	19,9	7,435	37	Monitoreo
Pm 6	2810	1600	6,3	17,8	16,34	18	Industrial
Pm 9	813	413	6,78	19,3	13,23		Consumo
Pm 14'	1057	555	7,31	18,1	21,17	12	Consumo
Pm 15					30,04	15	Fuera de uso
Pm 18	914	527	6,85	21	15,33	25-30	Consumo
Pm 30	1069	655	7,32	16,8	20,9		Sanitario
Pm 33A	1092	567	6,6	15,7	22,5		Consumo
Pm A	1521	1019	6,87	18	18	24-30	Riego
Pm 34					18,89		Sanitario
Pm 35					5,42		Consumo
Pm 36	933	479	6,76	17,9	10,15	18	Consumo
Pm 37	707	475	6,74	20	11,785	45	Doméstico
Pm 38	980	661	6,5	20,5	26,58	30	Riego
Pm 63	6550	5650	6,57	18,8			Monitoreo
Pm 64	1498				3		Abandonado

Tabla A.1. Datos de campo relevados en 2019 – Acuífero Pampeano.

Pozo	Conductividad Eléctrica (uS/cm)	TDS	pH	T (°C)	Profundidad Nivel Estatico (mbbp)	Profundidad Nivel Dinámico (mbbp)	Profundidad Perforación Informada (mbbp)	Uso
Pch 1	1030	535	7,55	17,8	7,54		40	Consumo humano
Pch 5	1148	608	6,95	17,3	20,15		60	Industrial
Pch 6	1044	582	6,98	17,2	3,7		50	Consumo humano
Pch 8	907	469	7,3	17,7	19,62			Consumo humano
Pch 9	855	429	6,79	17,9	15,72		60	Agrícola
Pch 12	1170					31,6	66	Consumo humano
Pch 13					24,92		58	Consumo humano
Pch 14	4600					30,85	54	Consumo humano
Pch 15	4269					21	63	Consumo humano
Pch 16	2005				26,68		66	Consumo humano
Pch 34	1156	670	7,97	17,3	31,37		58	Agrícola
Pch 43'	1068	546	7,56	18	21,18		44	Riego
Pch 44	17700	9400	6,34	18	3,1		60	Consumo humano
Pch 45	864	436	7,75	15,8	5,74			Consumo humano
Pch 50	1018					26,8		

Tabla A.2. Datos de campo relevados en 2019 – Acuífero Puelche.

2017							
Pozo	**Conductividad Eléctrica (uS/cm)**	**pH**	**T (°C)**	**Profundidad Nivel (mbbp)**	**Profundidad Perforación (mbbp)**	**Uso**	**Perfil Geológico**
Pm 0	**878**	**7,5**	**17,1**	8,45	18	sanitario	No
Pm 9a	801	6,8	17,9	14,83	40	Consumo Humano	No
Pm 33				20,35	24	Consumo humano	No
Pm 33A	1030/730	6,8	15,2	22,1	26 ?	domestico/corral	No
2018							
Pm 0				8,32	18	sanitario	No
Pm 9				3,97	35	Fuera de uso	No
Pm 9a	519	7,19	17,8	13,88	40	Consumo Humano	No
Pm 14'	791	7,92	17	21,60	12	riego	No
Pm 15				31,8	15	Fuera de uso	No
Pm 18				17,79	?	Consumo humano	No
Pm 26				5,77	16	pecuario	No
Pm 33				22,78	24		No
Pm 33A	862	7,12	18,2	21,01	?	domestico/corral	No
PmA	1222	7,0	16,8	19,91	24-30	riego	No
PmB	1192	6,98	17,8	18,8	24	Riego	No

Tabla A.3. Datos de campo inéditos, años 2017-2018-Acuífero Pampeano.

Pch 2017										
Pozo	**Conductividad Eléctrica (uS/cm)**	**TDS**	**pH**	**T (°C)**	**Profundidad Nivel Estático (mbbp)**	**Profundidad Nivel Dinámico (mbbp)**	**Profundidad Perforación Informada (mbbp)**	**Uso**	**Perfil Geológico**	**Caudal Informado**
Pch 1	1035		7,85	17,5	8,96		40	Consumo humano	No	1,5 caballos
Pch 11		530	7,6			25,47	62	Consumo humano	No	
Pch 12		1051	7,8			24,55	66	Consumo humano	Si	55 m3/h
Pch 13		1082	6,9		20,17		58	Consumo humano	Si	50 m3/h
Pch 14		1990	7,7			30,11	54	Consumo humano	Si	
Pch 15		2470	7,5			20,9	63	Consumo humano	Si	
Pch 16		946	7,7			26,78	66	Consumo humano	Si	25 hp
Pch 17		635	7,72		24,7	44,27	66	Consumo humano	No	
Pch 18		469	7,7				65	Consumo humano	Si	25 hp
Pch 19		702	7,5			42,63	66	Consumo humano	Si	
Pch 20		510	6,95			29,42		Consumo humano	No	
Pch 21		484	7,61			37,42	54	Consumo humano	Si	
Pch 22		647	7,8		28,65	39,33	61	Consumo humano	Si	
Pch 2018										
PCH 1	854		7,55	18,2	8,42		40	Consumo humano	No	1,5 caballos
Pch 9	741		7,21	19	7,26		60	Agrícola	No	
Pch 34	1060		7,6	16,13	32,63		58	Agrícola	No	
Pch 42 '					20,49		45	Agrícola	No	
Pch-Pm-26	848	424	8,12	17,9	19,72		60 ?	domestico	No	

Tabla A.4. Datos de campo inéditos, años 2017-2018- Acuífero Puelche.

2017	Pm 0	Pch 1	Pch 13	Pch 14	Pch 22	Límite Detección	Ley 11820 (Tablas I, II, III, IV)	Decreto 831 Ley 24051 (Tabla I)	CAA (2012)	OMS (2006)	Unidades
							NIVEL GUÍA	NIVEL GUÍA	NIVEL GUÍA	NIVEL GUÍA	
pH	7,5	7,9	6,9	7,7	7,8	**0,1**	**6.5-8.5 (***)**		**6.5-8.5**		U de pH
Dureza			380	579	182	**1**			**400**		mg de CaCO3/L
Alcalinidad total			600	150	670	**1**					mg de CaCO3/L
Ca						**1**					mg/L
Mg						**1**					mg/L
Na						**1**	**200 (***)**				mg/L
K						**1**					mg/L
Bicarbonatos			104			**1**					mg/L
Cloruros			198	347	28,5	**1**	**250 (***)**		**350**		mg/L
Sulfatos			34	115	32,4	**1**	**250 (***)**		**400**		mg/L
Nitratos				35,9	35	**0,5**	**50 (**)**	**10**	**45**	**50**	mg/L
Nitritos						**0,005**	**0.1 (**)**	**1,0**	**0,1**	**3,0**	mg/L
Amonio			0,4			**0,1**		**0,05**	**0,2**		mg/L
Fluoruros			1082	0,4	0,3	**0,03**	**1.5 (**)**	**1,5**	**0.7-1.2**	**1,5**	mg/L
TDS				1990	647	**1**	**1500 (***)**		**1500**		mg/L

Tabla A.5. Datos químicos inéditos, año 2017 – Acuíferos Pampeano (naranja) y Puelche (violeta).

2018	Pm A	Pm B	Pm B-red	Pm 9a	Pm 14'	Pch-Pm 33a	Pch-Pm 26	Pch 34	Pch 1	Límite Detección	Ley 11820 (Tablas I, II, III, IV)	Decreto 831 Ley 24051 (Tabla I)	CAA (2007)	OMS (2006)	Unidades
											NIVEL GUÍA	NIVEL GUÍA	NIVEL GUÍA	NIVEL GUÍA	
pH	7	6,98		7,19	7,92	7,12	8,12	7,6	7,82	**0,1**	**6.5-8.5 (***)**		**6.5-8.5**		U de pH
CE	1222	1192	1258	519	791	862	848	1060	726 / 859	**1**					µmhos/cm
Ca		105	27		18		20	50		**1**					mg/L
Mg		44	14		9		11	17		**1**					mg/L
Na		85	**305**		165		170	150		**1**	**200 (***)**				mg/L
K		13	9		7		7	11		**1**					mg/L
Bicarbonatos		574	370		455		444	437		**1**					mg/L
Cloruros		52	**224**		27		21	32		**1**	**250 (***)**		**350**		mg/L
Sulfatos		35	120		8		6	8		**1**	**250 (***)**		**400**		mg/L
Nitratos	**59**	**103,8**	**36,3**	**6,5**	18,8	20,5	56,5	152,7	**63,3**	**0,5**	**50 (**)**	**10**	**45**	**50**	mg/L
Nitritos									<0,005	**0,005**	**0.1 (**)**	**1,0**	**0,1**	**3,0**	mg/L
TDS									485/ ital	**1**	**1500 (***)**		**1500**		mg/L
Pb					<0,002				<0,002	**0,002**	**0.01 (**)**	**0,05**	**0,05**	**0,01**	mg/L
Cd					<0,0006				<0,0006	**0,0006**	**0.003 (**)**	**0,005**	**0,005**	**0,003**	mg/L
Zn					0,02				**0,045**	**0,007**	**3.0 (***)**	**5,0**	**5,0**		mg/L
Cr total					0,006				**0,005**	**0,002**	**0.05 (**)**	**0,05**	**0,05**	**0.05 (P)**	mg/L
As	**0,01**	**0,01**	**0,02**	**0,01**	0,04	**0,01**	0,03	0,02	**0,04**	**0,01**	**0.05 (*)**	**0,05**	**0.01 (P)**	**0.01 (P)**	mg/L

Tabla A.6. Datos químicos inéditos, año 2018 – Acuíferos Pampeano (naranja) y Puelche (violeta).

2. Ubicación de perfiles geológicos

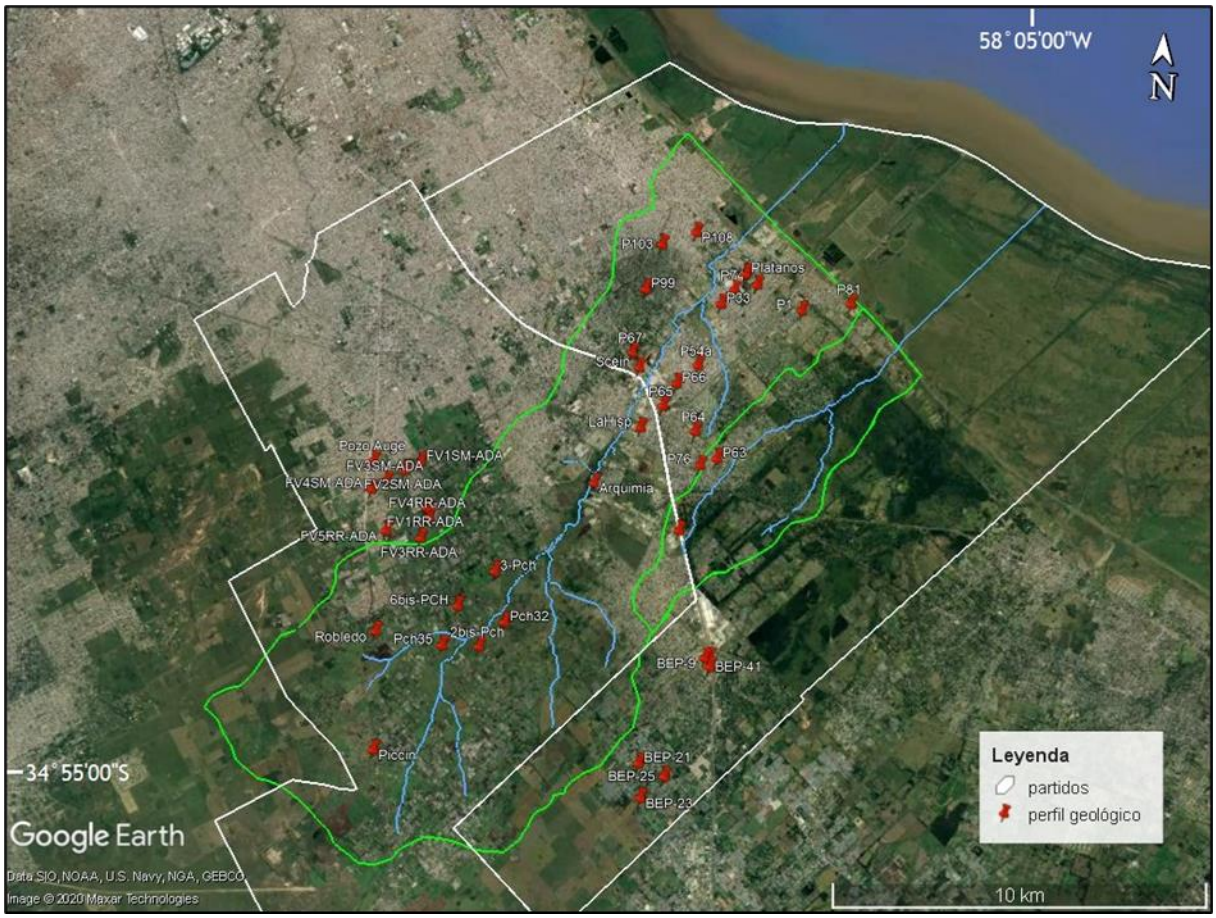


Figura A.1. Ubicación de perfiles geológicos existentes.

3. Mapa de suelos de los partidos de Florencio Varela y Berazategui

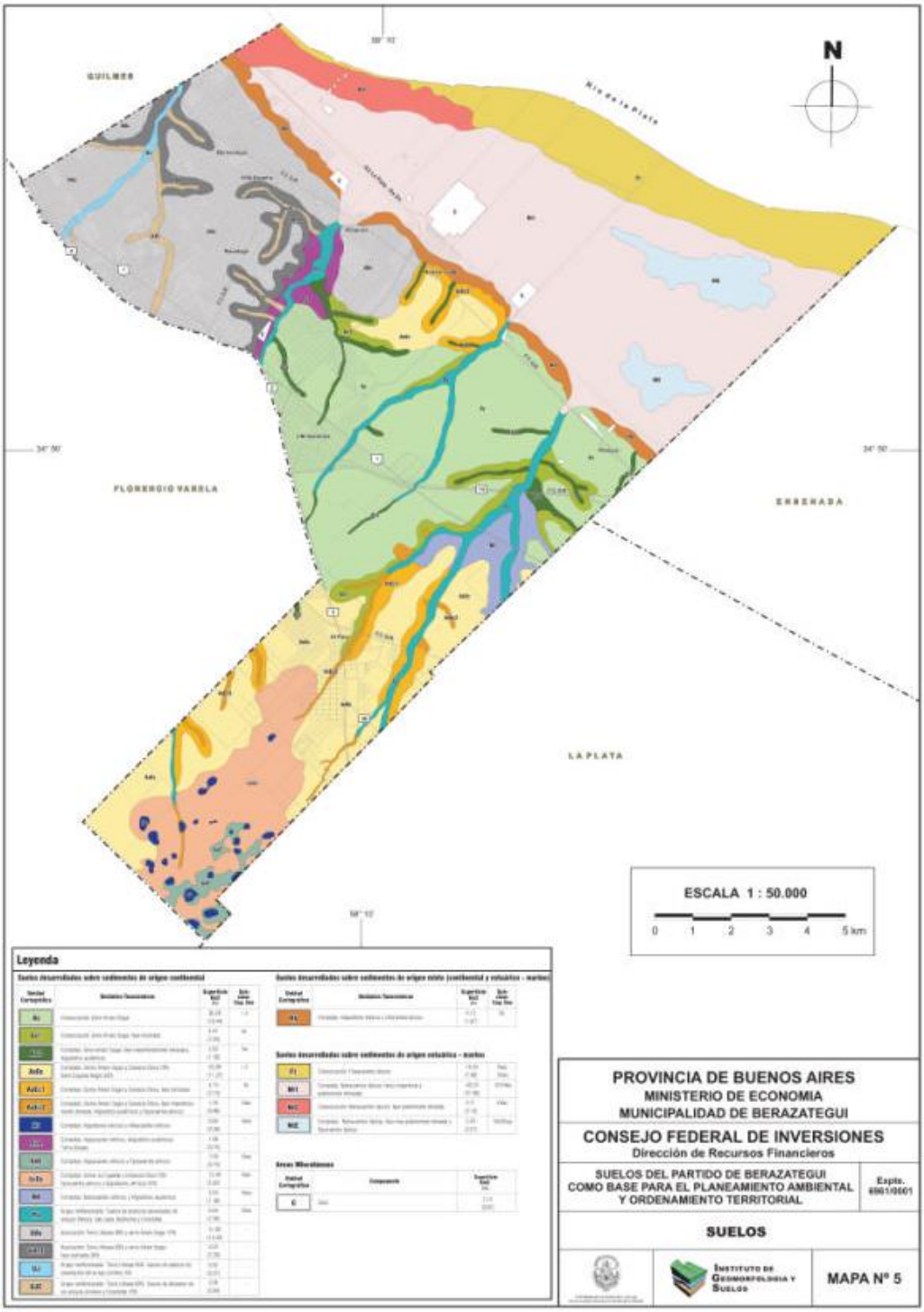


Figura A.2. Mapa de suelos del partido de Berazategui. Fuente: Hurtado et al., 2006.

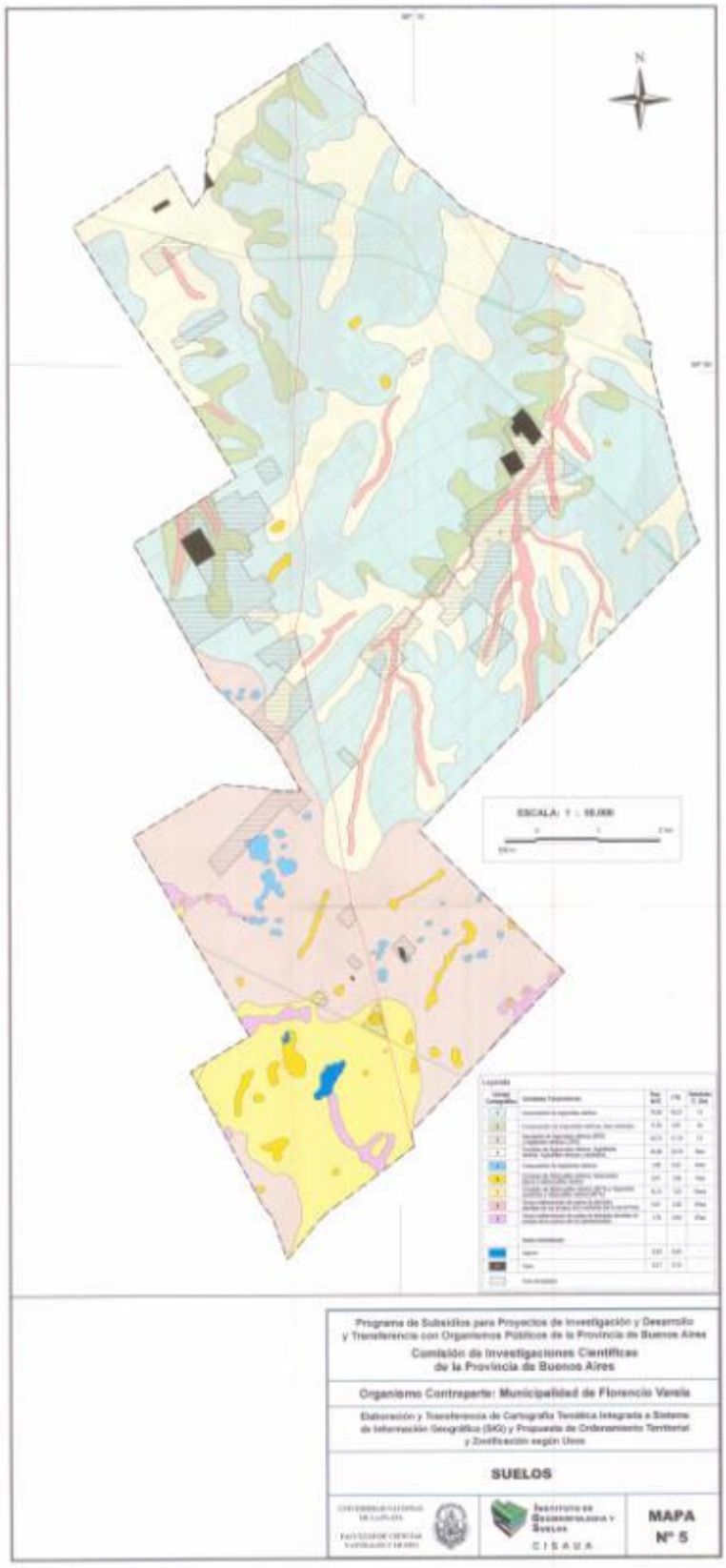


Figura A.3. Mapa de suelos del partido de Florencio Varela. Fuente: Hurtado et al., 2005.

4.

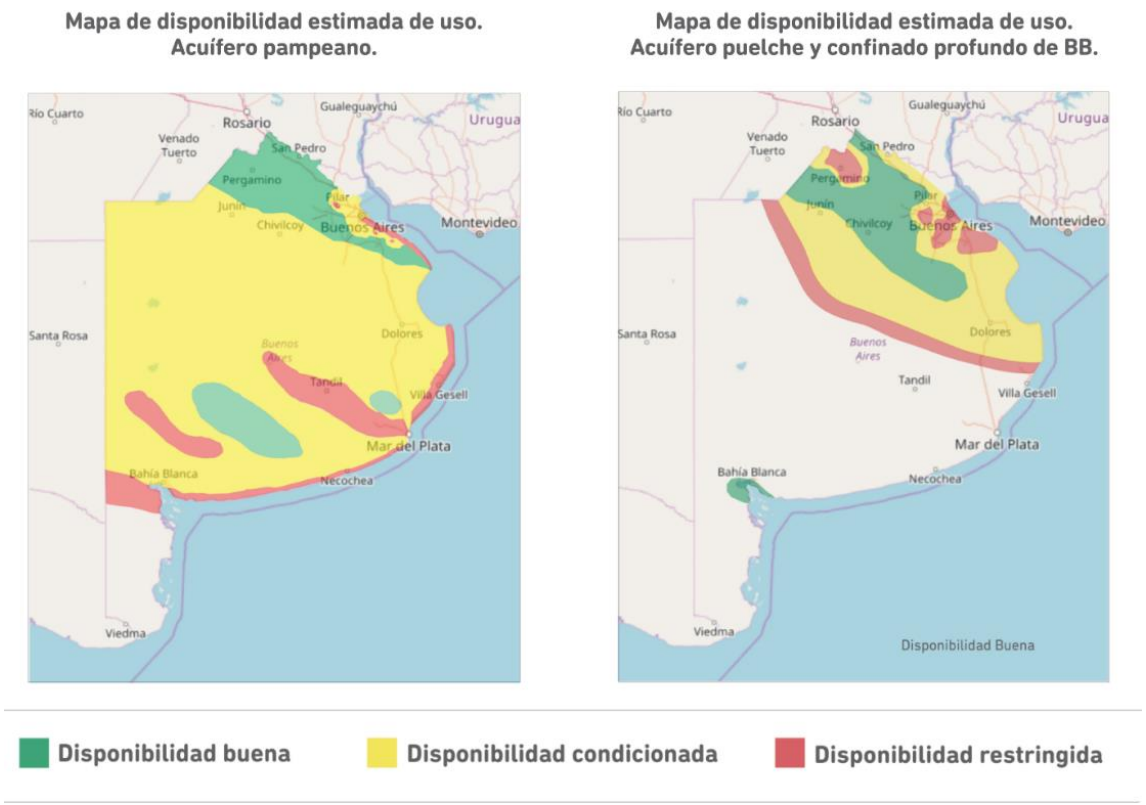


Figura A.4. Mapa disponibilidad estimada de uso, acuífero Pampeano y Puelche. Fuente: ADA, 2017.