

**COMITÉ TÉCNICO EJECUTIVO
SECRETARÍA DE POLÍTICA URBANO AMBIENTAL
MUNICIPALIDAD DE BAHIA BLANCA**



**HIDRODINAMICA DEL AREA COSTERA
DE
INGENIERO WHITE**

Informe final

**Bahía Blanca
Marzo 2003**

Cátedra de Hidrogeología – Departamento de Geología

UNS

FUNS



1. INTRODUCCIÓN

El acuífero costero de Ingeniero White se caracteriza por la escasa profundidad de yacencia del nivel freático, a veces aflorante, una hidrodinámica en donde predominan ampliamente los movimientos verticales, infiltración, recarga, evaporación y evapotranspiración, sobre el escurrimiento superficial y subterráneo y por la elevada salinidad de sus aguas (Bonorino y Sala, 1983). Estas particularidades responden, en gran medida, al medio físico natural del área costera que condiciona y regula la circulación y almacenamiento de las aguas superficiales y subterráneas.

El área de estudio comprende una zona llana de muy escasa pendiente y arreica, por lo que la dinámica del sistema hidrológico es muy susceptible a las modificaciones del terreno tales como rellenos o impermeabilizaciones artificiales de suelos, terraplenes de ferrocarril y rutas, construcción de canales etc.

Por otra parte, la escasa profundidad de nivel freático y la relativa buena permeabilidad secundaria de los sedimentos superficiales favorecen los procesos de recarga y evapotranspiración y constituyen elementos que permiten diagnosticar una moderada a alta vulnerabilidad intrínseca del acuífero a la contaminación.

El importante desarrollo industrial de la zona de Ing. White, que se inicia al principio del siglo pasado con las obras civiles del puerto y la construcción del ferrocarril y que se intensifica en las últimas tres décadas con la implantación del polo petroquímico e industrial, han producido la modificación del funcionamiento del medio ambiente físico en general y del sistema hidrológico en particular. El flujo subterráneo local que naturalmente tenía una muy lenta circulación general de norte a sur, en dirección a su nivel de descarga natural en la ría, ha sido sustancialmente modificado. Estudios anteriores denotan que la morfología de la capa freática se ha visto alterada con presencia de domos, producto del relleno de suelo, y de sumideros o vaguadas generadas por las trazas de zanjas o canales de drenajes que surcan el terreno.

La información generada en el presente trabajo permitió ratificar el modelo conceptual de funcionamiento del sistema hidrológico del área y actualizar su situación o estado, ya que desde hace más de una década que no se disponía de información regional acerca de la dinámica del sistema. La falta de esta información impedía realizar cualquier interpretación acerca del posible movimiento de contaminantes generados en las plantas industriales y/o elaborar proyectos de remediación del acuífero de alcance general.

En tal sentido el primer paso tendiente a la ordenación ambiental del área desde el punto de vista hidrológico, debe partir del conocimiento de la dinámica del agua superficial y subterránea la cual está basada en la cartografía de la morfología de la superficie freática y su evolución espacio-temporal.



2. OBJETIVOS GENERALES

El objetivo del proyecto fue la elaboración de un mapa actualizado de la superficie freática del área costera de Ing. White estableciendo líneas de flujo preferenciales y la relación existente entre aguas superficiales y subterráneas. El análisis de la información generada permitió ratificar el modelo conceptual de funcionamiento del sistema hidrológico, evaluar la importancia de cada una de las componentes que lo integran: recarga y descarga natural e inducida, escurrimiento superficial y subterráneo, y realizar una diagnosis sobre el estado del sistema agua superficial-subterránea y su impacto sobre el medio ambiente.

Asimismo, dicho análisis posibilitó comprender la interrelación entre las aguas superficiales y subterráneas de la zona, la influencia sobre el sistema hidrológico natural de las obras de drenaje, de ingeniería y de los procesos propios de cada una de las plantas industriales, el alcance de las oscilaciones de las mareas sobre los canales de descarga y la capa freática, y la evolución espacio temporal de los niveles de agua en base a la documentación freaticométrica antecedente.

Como objetivos a mediano y largo plazo se plantean además la aplicación del modelos matemáticos del balance hidrológico del sistema y un modelo de simulación del flujo y la calibración y validación de los mismos a través del registro y monitoreo continuo del sistema.

La simulación de los modelos de flujo para diferentes acciones ya sean naturales o antrópicas contribuirá a la conceptualización de un modelo hidrogeoquímico que permita posteriormente la aplicación de modelos de transporte de solutos para el estudio de situaciones reales e hipotéticas ante acciones de contaminación accidental o inducida, así como el estudio de correcciones de impactos sobre el sistema hidrológico y la propuesta de las soluciones más idóneas para la remediación del sistema.

3. AREA DE ESTUDIO

Comprende una estrecha franja costera de forma poligonal de unos 7,7 Km² limitada al noreste por la calle San Martín y al sudeste por Vélez Sarsfield, en Ing. White, y al oeste y hacia el sur con el estuario de Bahía Blanca, Figura 3.

4. METODOLOGÍA DE TRABAJO

Para cumplimentar con los objetivos propuestos en esta primera etapa de trabajo se desarrollaron las siguientes tareas:



4.1. Recopilación de la información hidrológica existente

La misma consistió en la recolección de la información antecedente de estudios geológicos, hidrogeológicos y ambientales realizados en el área y el procesamiento y selección de la información.

En este aspecto resultaron de particular importancia los estudios geológicos realizados por Teruggi (1983), geomorfológicos de Fidalgo (1983) e hidrogeológicos de Bonorino y Sala, (1983); Sala et al, (1985), y Carrica (1998) y los informes inéditos del M.O.P. de la provincia de Buenos Aires.

4.2. Definición de una red de medición hidrológica

De acuerdo a la cantidad y ubicación espacial de pozos de monitoreo existentes en las diferentes plantas industriales, se densificó la red de medición freaticométrica mediante la construcción de nuevos puntos de observación (Figura 4.2., Anexo) perforados manualmente con pala hélix hasta atravesar la capa freática unos 50 centímetros, entubados luego con cañería de PVC de 2". Posteriormente, personal municipal procedió a acotar la boca de cada piezómetro vinculándolos a un nivel de referencia unificado, en este caso el establecido por el Instituto Geográfico Militar.

4.3. Medición de niveles de agua superficial y subterránea

Se llevó a cabo un censo hidrológico que consistió en la medición de la profundidad del agua con sonda eléctrica en los pozos de monitoreo existentes y en los construidos durante el estudio, a los que se les sumó la cota del pelo de agua en canales y zanjas de drenaje. Los resultados de esta tarea se encuentran en la Tabla 4.3. (Anexo)

4.4. Construcción un mapa freaticométrico del área de estudio

La información recolectada en campo (niveles freáticos, cotas y ubicación de los piezómetros en un mapa base) permitió determinar la altura piezométrica en cada punto censado y elaborar un mapa de curvas isofreáticas con diferencias de 0,50 metros de altura piezométrica (Figura 4.4., Anexo). La equidistancia elegida se considera adecuada en relación con las diferencias de nivel encontradas y con los objetivos del trabajo.

El análisis del mapa y su comparación con otros mapas preexistentes permitió definir la morfología actual de la capa freática y su evolución a través del tiempo.

5. DESCRIPCIÓN DEL MEDIO FÍSICO

El medio físico, entendiéndose como tal al conjunto de características geológicas-geomorfológicas, edafológicas y climáticas de una zona, condiciona y



regula la circulación y almacenamiento de las aguas en la fase terrestre del ciclo hidrológico.

5.1. Geología y geomorfología

Las características generales del sector se vinculan a una zona costera llana de escasa pendiente, 2 a 3 por mil, elevada topográficamente unos 4 metros sobre el nivel del mar que desde un punto de vista geomorfológico constituye una plataforma de abrasión marina elaborada sobre los sedimentos plio-pleistocénicos por las últimas ingresiones marinas del Holoceno. Morfológicamente, el único rasgo destacable lo constituye el estuario de Bahía Blanca cuyas aguas conforman el nivel base de descarga del sistema hidrológico del área de estudio.

El movimiento del agua dentro estuario está originado por la fuerza productora de la marea y las modificaciones que resultan de la topografía involucrada. Las alturas de marea, con una amplitud de 3 a 4 metros, están naturalmente condicionadas a las situaciones de sicigias (mareas más amplias) y cuadraturas (mareas menos amplias) y además por influencia de los factores meteorológicos. Estas oscilaciones naturales del nivel base de descarga del sistema hidrológico del sector provoca variaciones temporarias en los volúmenes de la descarga de las aguas superficiales y subterráneas.

Desde el punto de vista hidrológico superficial, el sector se inserta en una zona de interfluvio de la cuenca del arroyo Napostá Grande entre el cauce del antiguamente denominado arroyo Galván al oeste y el propio Napostá Grande al este, presentando localmente características arreicas o ausencia de una red de drenaje natural superficial definida. Las excepciones las constituyen el propio arroyo Napostá Grande, de características alóctonas, desagua a unos 1000 metros al este de la usina termoeléctrica Comandante Luis Piedrabuena y en cuya desembocadura ha labrado un pequeño estuario sobre sedimentos marinos cuaternarios de composición limoarcillosa y una serie de canales poco profundos y de distribución anárquica destinados a drenar los sectores anegables linderos a las plantas del polo industrial y algunos barrios periféricos de Ing. White.

Desde principios de siglo toda el área ha sufrido acciones antrópicas que modificaron su morfología natural. Los terraplenes de las líneas de ferrocarril y caminos muchas veces han actuado como un endicamiento limitante, tanto del ingreso de las mareas extraordinarias como del profuso drenaje natural hacia la ría. Por otra parte, toda el área ha recibido, a lo largo del último siglo, rellenos y refulados producto del dragado del canal principal de la ría y alteos artificiales con materiales compactados para la construcción de rutas y caminos que constituyen las vías de acceso al Puerto de Bahía Blanca. Como se detallará mas adelante, estas acciones han modificado sustancialmente el drenaje natural de las aguas superficiales y subterráneas de todo el sector.

Conforme los objetivos del presente estudio, la composición geológica del subsuelo del sector está constituida por los denominados sedimentos pampeanos



Universidad Nacional del Sur Departamento de Geología

SAN JUAN 670 - 8000 BAHIA BLANCA - TEL. 54-291-4595147 - FAX: 54-291-4595148

(Fidalgo et. al., 1975), que subyacen a las arcillas limosas marinas de la Formación Maldonado (Fidalgo, 1983). Los primeros, son sedimentos loésicos del Plioceno medio a superior de amplia distribución regional y considerable espesor, compuestos principalmente por limos arenosos pardo rojizos y arena compacta cementados con carbonato de calcio. Hacia el norte, a partir de aproximadamente a curva de nivel de los 5 metros sobre el nivel del mar, esta unidad aflora o está cubierta por sedimentos eólicos y suelos de poco espesor. Hacia la costa y por debajo del nivel del mar se encuentra cubierta por depósitos costeros de la Formación Maldonado correspondientes a la ingresión marina pospleistocena. En el área de estudio y debido a las tareas de dragado de la zona estuárica, los sedimentos pampeanos conforman prácticamente el piso del canal principal del acceso a los puertos.

La Formación Maldonado se encuentra restringida al área costera, encontrándose en posición aflorante o cubierta por un delgado suelo vegetal. Hacia el norte, por encima de la cota de 4 a 5 metros sobre el nivel del mar, se acuña sobre los sedimentos pampeanos aflotantes, mientras que hacia el sur continúa por debajo del nivel del mar alcanzado, en el área de estudio, espesores máximos de hasta 15 metros. Está constituida por sedimentos típicos de áreas costeras y en parte de albufera y marismas, que en la zona estuárica se los conoce vulgarmente como "cangrejal" debido a la presencia de estos artrópodos. La base de la formación se apoya en discordancia erosiva sobre los sedimentos pampeanos o sobre sus productos de erosión y está compuesta algunos metros de arena mediana a fina gris oscura con restos de conchillas que pasa gradualmente hacia el techo a limo arenosos y limos arcillosos o arcillas limosas grises muy plásticas con abundantes conchillas y a una arcilla gris verdosa oscura, plástica., sobre la cual se apoya el material de relleno constituyendo una típica facies granodecreciente.

Los perfiles litológicos de las perforaciones N° 34, 35 y 40 (Anexo) realizadas en el año 1983 por la Comisión de Estudio de Suelos de White-Cerri creada por el M.O.P. de la provincia de Buenos Aires son representativos de la estratigrafía del área de estudio. La primera de ellas se ubica sobre el límite sudeste del predio de Petroquímica Bahía Blanca, a unos 250 metros de la calle San Martín, la N° 35 se perforó en el sector de Cangrejales a unos 1.300 metros al sudoeste de la anterior, en el actual predio del Complejo MEGA y la N° 40 sobre el límite sudeste del predio de INDUPA a unos 200 metros al norte de la Avenida 18 de Julio.

Según Fidalgo (1983), los sedimentos arenosos oscuros de la base corresponderían a un ambiente de albufera más reductor, mientras que las arcillas verdosas próximas a la superficie estarían vinculadas a marismas con mejor aireación. La mineralogía de las arcillas es una típica de una asociación montorillonita-illita con predominancia de la primera de ellas, lo cual indica arcillas muy expandibles.



Universidad Nacional del Sur

Departamento de Geología

SAN JUAN 670 - 8000 BAHIA BLANCA - TEL. 54-291-4595147 - FAX: 54-291-4595148

Esta característica, de alta expandibilidad con la humectación y contracción con el sacado, es de importancia para el área de estudio dado que el nivel freático, que se encuentra a escasa profundidad, sufre oscilaciones periódicas como consecuencia de la recarga que recibe por agua de lluvia y, cerca de la costa, por el efecto de las mareas. Bonorino y Sala, 1983 midieron oscilaciones del nivel freático del orden de los 0,80 m a unos 200 metros de la línea de alta marea dentro del predio de la usina termoeléctrica (Bonorino y Sala, 1983). Esto indica que una parte de estos sedimentos pasa de la condición de saturados a no saturado con variaciones de importancia en su peso específico y volumen, situación que afectará a las capas blandas subyacentes con cambios de volumen debido al fenómeno de expansión-contracción del suelo. Todo ascenso o descenso significativo del nivel freático del área, puede afectar desfavorablemente la estabilidad de las cimentaciones dando origen a asentamientos de las superestructuras si las mismas no han sido adecuadamente diseñadas y construidas para este tipo de suelos.

5.2. Caracterización edafológica

Los suelos autóctonos y la vegetación natural arbustiva halófila del sector han sufrido una notoria disturbación y depredación como consecuencia de las actividades antrópicas, conservándose solo en pequeños islotes dispersos y formando asociaciones que alternan según las condiciones ecológicas del sitio.

En los alrededores de las plantas puede observarse algunos restos de un suelo natural de escaso desarrollo, mal drenado, alcalino y salino, bien provisto de materia orgánica (2 a 3%) que puede clasificarse como un Salortid acuólico. La primera capa superficial, de unos 15 cm de espesor posee una textura limo-arcillosa, presentando como rasgo destacable eflorescencias salinas. Hacia abajo existe otra capa de textura arcillo-limosa hasta areno limo arcillosa, sin estructura definida color gris verdosa muy plástica, con concreciones y pequeños clastos (de 3 a 5 mm) de CO_3Ca en la masa y restos de valvas de moluscos.

El suelo natural descrito es inapto para agricultura y limitado para el uso pecuario. Actualmente no tiene uso, ni presenta potenciales usos futuros.

En párrafos anteriores ya se ha mencionado que en la mayor parte del área de estudio el suelo natural está cubierto por rellenos artificiales compactados de entre uno y cuatro metros de espesor compuestos por una mezcla de arena y limo arenosos (sedimentos pampeanos) con fragmentos de tosca que constituyen la base donde se asientan las plantas industriales y las vías de comunicación.

6. HIDROLOGÍA SUPERFICIAL

Si bien realizar una separación entre aguas superficiales y subterráneas constituye una paradoja, ya que conforman un sistema hidrológico único e inseparable, a los efectos del ordenamiento del presente informe se tratan en forma separada.



Universidad Nacional del Sur

Departamento de Geología

SAN JUAN 670 - 8000 BAHIA BLANCA - TEL. 54-291-4595147 - FAX: 54-291-4595148

Como ya se mencionó, el área de estudio carece de una red de drenaje superficial natural definida a excepción del arroyo Napostá Grande que presenta, en el sector características alóctonas.

La construcción, a principios del siglo pasado, del terraplén de la línea férrea que une la Estación Garro con Puerto Galván constituyó un eficaz endicamiento al ingreso de las mareas extraordinarias; pero a su vez, impedía el drenaje natural de las aguas superficiales hacia el estuario. Como consecuencia en el sector donde actualmente se ubican las plantas de Indupa y PBB Polisor sufrió una modificación en su comportamiento hidrológico, incrementándose los procesos de infiltración, recarga, evaporación y evapotranspiración en desmedro del escurrimiento superficial y en alguna medida del subterráneo. Los frecuentes anegamientos del sector, que se producen fundamentalmente durante el invierno, son consecuencia del afloramiento de la freática durante la estación húmeda, entendiéndose por estación húmeda al período del año hidrológico durante el cual el monto de la precipitación supera a la evapotranspiración potencial y existe un exceso hídrico.

A los fines de drenar los sectores anegables linderos a las plantas del polo industrial y algunos barrios periféricos de Ing. White se han construido numerosas zanjas de drenaje poco profundas y de distribución anárquica que atraviesan en distintos sentidos el área de estudio. La escasa pendiente natural área y de los canales construidos induce a una muy lenta velocidad de flujo y por lo tanto a un bajo caudal de drenaje. En los últimos meses del 2002 y principios del 2003, la Municipalidad de Bahía Blanca ha profundizado y ampliado la traza de algunos canales dentro de un programa de ordenamiento territorial del drenaje encausado del sector (Figura 6, Anexo)).

El funcionamiento de la red de drenaje artificial se describe en el apartado de hidrodinámica.

7. HIDROGEOLOGÍA

El término se refiere al estudio de la geología desde el punto de vista del agua subterránea.

De acuerdo a su extensión areal y espesor en el sistema geohidrológico, las dos unidades estratigráficas descritas, los sedimentos pampeanos y la Formación Maldonado, se pueden agrupar en sendas secciones hidrogeológicas: Sección Pampeana y Sección Pospampeana.

Sección hidrogeológica Pampeana

Constituida por los sedimentos pampeanos que afloran al norte del área de estudio y se extienden en todo el subsuelo de la misma, ubicándose en la costa a una profundidad cercana a los 15 metros. Esta unidad se encuentra



Universidad Nacional del Sur Departamento de Geología

SAN JUAN 670 - 8000 BAHIA BLANCA - TEL. 54-291-4595147 - FAX: 54-291-4595148

ampliamente distribuida en toda la región en posición aflorante o subaflorante y su espesor total alcanza los 150 metros. Litológicamente son sedimentos loésicos cementados por carbonato de calcio, presentando comunes zonas de entoscamiento que los tipifican. Dada la complejidad de los procesos sedimentarios que le dieron origen, son frecuentes las anisotropías hidrolitológicas locales dando lugar a una alternancia de niveles acuíferos-acuitardos (sistema multicapa) cuyo hidroapoyo es difícil determinar dado el pasaje transicional de estos sedimentos a las formaciones miocénicas subyacentes. No obstante, desde el punto de vista hidrogeológico regional los sedimentos pampeanos se comportan como un solo sistema de transmisión de agua más o menos homogéneo.

La transmisividad promedio de los niveles acuíferos de los sedimentos pampeanos es del orden de los $150 \text{ m}^2 \cdot \text{d}^{-1}$ para los primeros 100 metros de espesor con conductividades hidráulicas que varían localmente entre 0,3 y $3 \text{ m} \cdot \text{d}^{-1}$ y coeficientes de almacenamiento de 0,12 a 0,05 en profundidad (Carrica, 1998). Los valores de permeabilidad son mayores que los esperables por su granometría y grado de cementación, dado que su permeabilidad secundaria (por macroporos, microfisuras, canalículos etc.) es mayor que la primaria.

Algunos pozos perforados en las cercanías del Polo Petroquímico a la misma cota topográfica y en la misma unidad geológica manifestaron surgencia de agua a partir de aproximadamente los 32 metros de profundidad para llegar a los 50 metros de profundidad con un caudal de surgencia natural de 480 litros por hora. Este fenómeno ratifica que el área de estudio, adyacente a la ría de Bahía Blanca, constituye un área de descarga regional del acuífero freático, con una red de flujo que en profundidad presenta una importante componente vertical ascendente.

Sección hidrogeológica Pospampeana

Comprende los sedimentos de la Formación Maldonado y los suelos actuales y cubren la sección anterior con un espesor de hasta 12 metros. El nivel arenoso de escaso espesor que compone su base denota condiciones de buena permeabilidad, mientras que hacia el techo la granometría del sedimento disminuye notablemente (arcillas) y consecuentemente los valores de permeabilidad.

Ensayos de bombeo realizados en la Plaza de Ing. White arrojaron valores de transmisividad del orden de los $50 \text{ m}^2 \cdot \text{d}^{-1}$ y porosidades efectiva del 10 % en la sección inferior disminuyendo hacia la superficie al 5 % conforme la menor granometría observada (Bonorino y Sala, 1983). Otro ensayo de bombeo a caudal constante efectuado en un pozo de 15 metros de profundidad ubicado en el sector de INDUPA acusó una transmisividad de $36 \text{ m}^2 \cdot \text{d}^{-1}$, en el modo recuperación, para el conjunto de ambas secciones hidrogeológicas perforadas. Los resultados son solo representativos de los parámetros hidráulicos medios del paquete sedimentario ensayado.



Universidad Nacional del Sur Departamento de Geología

SAN JUAN 670 - 8000 BAHIA BLANCA - TEL. 54-291-4595147 - FAX: 54-291-4595148

Los ensayos orientativos de permeabilidad efectuados por el método Auger Hole en piezómetros (Bonorino y Sala, 1983) determinaron valores entre un rango de entre 0,1 y 1,5 m.d⁻¹, lo cual denota que los datos fluctúan desde bajas permeabilidades de los materiales arcillosos superiores hasta valores medios en los niveles mas arenosos y, teniendo en cuenta el resultado del ensayo de bombeo, una mayor permeabilidad del paquete arenoso que conforma la base.

La falta de información hidráulica de detalle no permite caracterizar el comportamiento hidrogeológico diferencial de ambas secciones. Sin embargo desde el punto de vista del funcionamiento global se pueden considerar como un sistema continuo de transmisión de agua en profundidad.

La presencia de abundante materia orgánica y de arcilla en la parte superior de la sección Pospampeana permiten inferir que los fenómenos de adsorción pueden alcanzar magnitudes importantes lo que condicionaría el transporte de sustancias contaminantes hacia los niveles inferiores de la misma. Sin embargo, la rápida respuesta de los niveles freáticos (ascenso) a la recarga por agua de lluvia (Bonorino y Sala, 1983) marca una importante permeabilidad secundaria de los sedimentos superficiales (debida a la presencia de macroporos, microfisuras, grietas de disecación y bioturbación). Si a ello se le suma la escasa profundidad de yacencia del nivel freático, se pone en evidencia la alta vulnerabilidad intrínseca del acuífero a la contaminación.

7.1. Régimen hidráulico

Como se sabe, el movimiento del agua en un medio poroso es tridimensional y está regido por las diferencias de potencial entre las zonas de afluencia y efluencia y el parámetro conductividad hidráulica que equivale a la permeabilidad del medio y que se considera, a los efectos prácticos, invariable en el tiempo. Para un punto determinado, la altura piezométrica del nivel freático dependerá de la relación aporte-pérdidas de la parcela, la que es variable en el tiempo.

El balance hidrológico modular anual simplificado del área, considerando la precipitación anual media (período 1956-94) de 586 mm y una evapotranspiración potencial media anual calculada por la metodología de Thornthwaite y Mather (1955) de 771 mm, aparece como deficitario. Sin embargo, el registro de las oscilaciones del nivel freático detectadas años anteriores (Bonorino y Sala, 1983), demuestran que existe un importante volumen de recarga (cantidad de agua precipitada que alcanza el nivel freático) en prácticamente todos los meses del año. De este volumen de agua el 97% volvería a la atmósfera por evapotranspiración, mientras que el 3% restante conformaría, según los mencionados autores, el escurrimiento subterráneo lateral con descarga a la ría.

Planteado en términos del balance hidrológico de la capa freática del área de estudio, los aportes están dados por la recarga por agua de lluvia y la afluencia



Universidad Nacional del Sur

Departamento de Geología

SAN JUAN 670 - 8000 BAHIA BLANCA - TEL. 54-291-4595147 - FAX: 54-291-4595148

subterránea y las salidas (pérdidas) por la evaporación de los cuerpos de agua libres, la evapotranspiración del suelo y la efluencia subterránea (flujo subterráneo) hacia las zanjas de drenaje y hacia el estuario. Las variaciones temporales en la magnitud de estas componentes provocan variaciones de almacenamiento de agua en el acuífero, las que se traducen en oscilaciones del nivel freático.

Lo extremadamente llano del paisaje natural y la presencia de un acuífero freático a escasa profundidad con bajos gradientes hidráulicos, marcan condiciones hidrodinámicas particulares que dominan todo el litoral costero del sector de Ing. White y que denotan una clara predominancia de movimientos hídricos verticales de infiltración, recarga, evaporación y evapotranspiración sobre un muy lento y escaso escurrimiento lateral superficial y subterráneo.

Este funcionamiento hidrológico del sistema no solo depende de la capacidad evaporante de la atmósfera, sino además de la poca profundidad de la superficie freática que permite mantener el nivel de agua por encima de la zona neutra de evaporación. La fina granometría de la porción superior de la sección Pospampeana y el escaso desarrollo de la zona de aireación facilitan la transferencia de agua desde la capa freática por ascenso capilar para cubrir el déficit de agua del suelo dando una mayor continuidad al proceso de evapotranspiración.

Debido a las condiciones físicas reinantes, las aguas subterráneas están sometidas a un régimen hidráulico marcadamente no permanente con fuerte influencia de las condiciones meteorológicas y modificado por acciones antrópicas. Las ya mencionadas tareas de relleno artificial de las partes bajas provoca escasa a nulas diferencias de altura entre los puntos con topografía natural más elevada y los sectores de descarga natural de las aguas, llegando inclusive a frecuentes situaciones de inversión del relieve natural.

Como consecuencia, es frecuente que en los lugares topográficamente más deprimidos aflore el agua subterránea principalmente en otoño e invierno que constituye la estación húmeda del año hidrológico. Durante esa época, los afloramientos del nivel freático producen anegamientos por presencia de lagunas y encharcamientos que suelen perduran varios meses, inclusive sin que existan precipitaciones en el período. Estos sectores constituyen, por excelencia, áreas de descarga local por evaporación del acuífero freático, si bien el fenómeno de evapotranspiración se produce a través de toda la superficie del área de estudio, con excepción, claro está, de las áreas impermeabilizadas.

El estiaje constituye la estación seca del año hidrológico, y las pérdidas por evaporación y evapotranspiración superan a los aportes por recarga provocando una disminución de las reservas de agua subterránea que se traduce en un descenso de los niveles freáticos. El desecamiento de los suelos salinos, deja en superficie un residuo de sales (efluorescencias) claramente visible a simple vista,



en fotos aéreas e imágenes satelitales. El fenómeno ha dado lugar al nombre de la bahía que contiene al estuario.

7.2. Hidrodinámica del flujo subterráneo

La densidad de los puntos de medición del nivel freático (piezómetros) existentes hasta el presente solo permite caracterizar las particularidades del flujo somero local, esto es el escurrimiento subterráneo de los primeros metros de profundidad. No obstante, las manifestaciones de surgencia observadas en pozos mas profundos, a partir de los 30 metros, (cfr. apartado 5.2.) ponen en evidencia la existencia de un flujo mas profundo con una componente vertical ascendente, situación que condice con la presencia cercana del estuario que es por naturaleza el área de descarga regional de los niveles acuíferos someros de la zona.

Los escasos mapas de redes de flujo construidos hasta el presente muestran un flujo somero anual equilibrado con recarga y descarga local y circunstancialmente, en las estaciones de máxima precipitación y mínima evaporación, con predominio de la recarga lo que favorece la formación de bajos inundables.

El espesor de la zona de aereación o zona no saturada varía conforme las condiciones topográficas del predio y, como se dijo en el párrafo anterior, la época del año, entre inexistente (nivel freático aflorante) y los 5 metros (profundidad máxima del nivel freático) .

En síntesis se trataría de una capa freática con tendencia natural a ser plana, transformada por acción antrópica en una conjunción de formas radiales, unas cerradas (domos) con flujo divergente y otras abiertas con flujo convergente.

7.2.1. Antecedentes

Existen unos pocos informes antecedentes que describen la morfología general de la red de flujo subterránea de la capa freática del área de estudio. Entre ellos merece citarse los trabajos de Bonorino y Sala, 1983; Sala et. al., 1985; y O.S.B.A., 1991. Si bien las obras de infraestructura que se han llevado a cabo en la zona han ido modificado localmente la orientación del escurrimiento subterráneo, la información precedentemente mencionada, denota, en general, una marcada dirección del flujo subterráneo hacia la ría de Bahía Blanca, punto de descarga natural del acuífero freático.

También, los distintos autores han coincidido en que los sectores con relleno artificial (generalmente asociados a actividades de riego y/o recarga artificial por pérdidas de agua, etc) actúan como zonas de recarga local generando una capa freática de tipo radial con presencia de domos con flujo divergente a la periferia.



Universidad Nacional del Sur Departamento de Geología

SAN JUAN 670 - 8000 BAHIA BLANCA - TEL. 54-291-4595147 - FAX: 54-291-4595148

Los mapas de isopiezas de la capa freática elaborados por la Comisión de Estudio de Suelos White-Cerri en 1983 (Anexo) corresponden a los censos realizados el 19 de julio y al 12 de septiembre de ese año. Si bien, los valores absolutos de las curvas no son comparables con los actuales por estar referidas a otro nivel de referencia, las curvas isofreáticas marcan una dirección general del flujo subterráneo hacia la ría (estuario), nivel base de descarga de las aguas. Las obras de relleno y drenaje realizadas hasta ese entonces muestran su clara influencia sobre la morfología de la capa freática generando un manto de tipo radial con presencia de domos con flujo divergente en las zonas con relleno (ejido urbano y el ramal ferroviario, PBB, Polisur etc) y vaguadas con flujo convergente hacia los sectores de descarga local constituidos por la ya existente, aunque de dimensiones mucho más pequeñas, zanja de drenaje que corre paralela a la calle Tarija y por los terrenos naturales sin drenaje.

Similar morfología de la capa freática se observa en el mapa elaborado por Sala et. al. 1985 (Anexo). En dicho trabajo se midieron, además, algunos gradientes hidráulicos para el sector del Polo Petroquímico observando que los valores disminuyen desde el norte (Camino Sesquicentenario) hacia el sector costero con valores del orden de $1,3 \cdot 10^{-3}$ a $7 \cdot 10^{-4}$, lo que indica un notable decrecimiento de la velocidad de flujo subterráneo de norte a sur.

De acuerdo a estas mediciones y a los parámetros hidráulicos medios de la sección hidrogeológica pospampeana (asumiendo una conductividad hidráulica media de $0,5 \text{ m.d}^{-1}$ y una porosidad efectiva de 0,05; cfr. apartado 7) la velocidad media del flujo subterráneo hacia los sectores de descarga es muy lenta, del orden de los 7 milímetros por día. Es decir que hipotéticamente un contaminante conservativo disuelto en el agua subterránea de la capa freática y transportado por advección desde el actual sector de PBB-Polisur hasta la ría hubiera tardado en llegar unos 800 años, atravesando unos 2000 metros en el sentido del flujo. Bajo las mismas condiciones, un potencial contaminante que alcanzara la freática a la altura del predio que ocupa la Planta de Clorosoda tardaría unos 500 años en atravesar la distancia que lo separa de la ría.

La explicación de estos bajos gradientes hidráulicos condice con la topografía natural del sector, la ausencia de zanjas de drenaje y la realización de las primeras tareas de relleno artificial del sector de Cangrejales, que constituía el área de descarga natural del acuífero de la zona de estudio.

Otro proceso a tener en cuenta es que parte del caudal subterráneo circulante descarga en forma areal difusa a través de toda la superficie que compone el fondo de los bajos y no solamente por sus perímetros, lo que trae aparejado una desaceleración de la velocidad de flujo, al ser relativamente mayor la superficie de filtración ascendente que la del flujo natural, y pérdida de caudal subterráneo de descarga hacia la ría. La conjunción de estos factores provoca un mayor tiempo de permanencia del agua en el acuífero con el consecuente



aumento del tiempo de contacto entre agua y sedimento, fenómeno que tiene fundamental importancia en el proceso de salinización de las aguas.

Los mencionados autores (Sala, et. al, 1985) establecen además, un modelo conceptual de la descarga natural del flujo subterráneo en el sector costero en base al análisis de varios lugares, desde la usina termoeléctrica hasta la localidad de General Cerri. El funcionamiento hidráulico del modelo presenta las siguientes particularidades: a) una descarga continua de agua subterránea con volúmenes variables en el tiempo por los efectos de las mareas, b) una desaceleración de la velocidad de flujo subterráneo por disminución de los gradientes hidráulicos en pleamar y c) durante la bajamar la zona intertidal actúa como superficie de descarga parcial por evaporación. De acuerdo a este modelo, el sector de Cangrejales constituía una típica franja de descarga natural de la capa freática.

El comportamiento hidrodinámico mencionado es válido para las condiciones del medio físico de la época en que se realizaron estas mediciones, es decir existía una sexta parte del área actual rellena artificialmente y recién se habían comenzado los trabajos de relleno de la zona de Cangrejales.

En 1991, O.S.B.A. confeccionó un mapa de isopiezas de la capa freática en base a un nuevo relevamiento (Anexo). En él se aprecia claramente el efecto de las nuevas tareas de relleno de predios del polo petroquímico sobre el escurrimiento subterráneo. Se observa allí una capa freática radial, con la presencia de un domo que constituye una divisoria local de aguas con epicentro en los actuales predios de Polisur e Indupa que genera un flujo divergente en todas direcciones. Para ese sector los gradientes hidráulicos se habían incrementado de $7 \cdot 10^{-4}$, en los mapas anteriores, a $2,3 \cdot 10^{-3}$ en promedio, con el consecuente aumento de la velocidad del flujo subterráneo hacia los sectores de descarga.

7.2.2. Situación actual

El mapa de isopiezas de la capa freática de la figura 4.4. (Anexo) se confeccionó en base a la información recabada durante las tareas de censo hidrológico realizadas en el mes de julio de 2002.

Las distintas cotas topográficas de referencia utilizadas en los mapas antecedentes y las oscilaciones estacionales naturales de los niveles freáticos no permiten realizar una comparación de alturas piezométricas en términos de valores absolutos. Sin embargo, con respecto a los mapas anteriores pueden apreciarse notables diferencias en la morfología de la capa freática que implican variaciones y hasta inversiones en la dirección del flujo subterráneo natural.

Dentro de esta última apreciación es particularmente notable la situación generada a partir del relleno artificial de la zona de Cangrejales. Ese sector, que



Universidad Nacional del Sur Departamento de Geología

SAN JUAN 670 - 8000 BAHIA BLANCA - TEL. 54-291-4595147 - FAX: 54-291-4595148

naturalmente constituía una zona de descarga natural de la capa freática, tanto por flujo subterráneo lateral como por descarga difusa ascendente en la zona intertidal, hoy conforma, desde el punto de vista de la morfología de la capa freática un domo, producto del ascenso del nivel freático, que genera una divisoria de agua subterránea con un flujo divergente hacia el norte (Calle 18 de Julio) y hacia el sur (estuario). El flujo subterráneo hacia el norte es inverso al flujo natural hacia el estuario.

La conformación de estos domos por el ascenso del nivel freático, ponen de manifiesto un incremento de la recarga en los sectores con relleno artificial. Ello es producto de una conjunción de varios factores tales como la diferente permeabilidad de los materiales de relleno, presencia de impermeabilizaciones con drenajes pluviales de descarga localizada, operaciones de riego etc.

El mismo proceso, ya observado en mapas antecedentes, se produce en la zona ocupada por las plantas de PBB-Polisur e Indupa, donde, en general se verifica la existencia de un manto de forma radial positiva (domo) que genera una divisoria de agua con flujos divergentes. Por otra parte, el sector bajo riego de las plantas lindante con la Avenida 18 de Julio queda claramente identificado con alturas piezométricas elevadas producto de la recarga de agua.

Dentro de este panorama general, el mapa analizado presenta algunas particularidades como la presencia de una vaguada (depresión de la capa freática) en el sector que ocupa la Planta de CVM de Indupa como consecuencia de las tareas de bombeo para remediación del acuífero que se realizan en ese lugar (Figura 6, Anexo). De acuerdo a lo informado la magnitud del bombeo alcanzaría los $4,5 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ con cuatro pozos de bombeo de operación continua, al que habría que restarle unos $1,5 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ de agua con nutrientes que se inyectan simultáneamente a través de siete pozos.

Una tarea similar se está llevando a cabo en la Planta de Cloro-Soda de Indupa, sin embargo la escala de trabajo y la equidistancia entre curvas elegida no permite apreciar los efectos del bombeo. De todos modos, en esta planta, según lo informado, la magnitud del bombeo es mucho menor, tratándose de tres pozos que bombean en forma continua entre $0,6$ y $0,8 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$.

En cuanto al sistema de drenaje artificial o zanjas drenaje del sector (Figura 6, Anexo), el mismo se ha ampliado merced a tareas llevadas a cabo por la Municipalidad de Bahía Blanca. El principal colector lo constituye un canal que con rumbo NE-SO (paralelo a la calle Tarija) drena la parte norte del área de estudio. Dicho canal cruza la Avenida 18 de Julio, bordea por el sector este a la Planta de Profertil y con rumbo sur desemboca en el estuario. Este canal recibe como principales aportes dos zanjas de drenaje. La primera drena el sector este del Barrio 26 de Septiembre y corre hacia el sudeste, paralela a la Avenida San Martín, integrándose al colector principal en la intersección de esta calle con Tarija. La segunda, lindante por el norte a la Avenida 18 de Julio, desagua, con el



Universidad Nacional del Sur Departamento de Geología

SAN JUAN 670 - 8000 BAHIA BLANCA - TEL. 54-291-4595147 - FAX: 54-291-4595148

mismo rumbo, antes de la intersección de dicha arteria con Tarija y drena los desagües pluviales de las plantas del sector.

Existen además otras zanjas de carácter secundario dentro de las que se destaca, por su proximidad a la planta de Clorosoda, la que conecta con rumbo NE-SO (paralela a la de la calle Tarija) la Avenida San Martín con la Avenida 18 de Julio. Por su parte, el sector noroeste comprendido entre la Avenida 18 de Julio y la San Martín constituye una zona naturalmente deprimida frecuentemente anegada, atravesada por el canal de vertido de efluentes de las plantas. Esta zona es drenada por una zanja que parte perpendicular a la Avenida San Martín lindando con el límite NO de la Planta de PBB (LHC II) hasta el mencionado canal de efluentes. A partir de ese punto sigue paralela a este canal, drenando las aguas hacia el NO.

Todas las zanjas de drenaje construidas en el área de estudio tienen una conexión hidráulica directa con la capa freática, pudiéndose las considerar como simples afloramientos del nivel freático. En todos los casos estas zanjas de drenaje presentan un comportamiento hidráulico efluente con respecto a la capa freática, de allí el empleo del término “zanjas de drenaje” y consecuentemente canalizan las aguas subterráneas hacia su punto de descarga base que es la ría.

En síntesis, de la comparación y análisis del mapa de isopiezas elaborado con los mapas precedentes merece destacarse:

- Cambios de dirección del flujo subterráneo, observándose en muchos casos un sentido inverso al natural.
- Incrementos notables de los gradientes hidráulicos y consecuentemente la velocidad de flujo subterráneo hacia las zanjas de drenaje construidas artificialmente. El mayor gradiente hidráulico y la menor distancia entre los potenciales focos de contaminación del agua y las zanjas de drenaje acorta sustancialmente el tiempo de llegada de un potencial contaminante disuelto en el agua a la ría.
- El relleno de la zona de Cangrejales ha modificado notoriamente la dinámica del sistema hidrológico natural del sector. La anulación de esta zona de descarga natural ha provocado fuertes ascensos del nivel freático como resultado de la alteración de la relación recarga-descarga, conformando una capa freática en forma de domo (radial divergente) que genera localmente direcciones de flujos subterráneos inversos a los naturales.
- La construcción de zanjas de drenaje profundas acelera el flujo subterráneo por un incremento del gradiente hidráulico debido, en este caso, a una disminución de la cota del nivel base de descarga dada por el nivel del agua en las zanjas.
- La modificación del sistema hidrológico del área ha afectado también a los terrenos naturales sin relleno con cambios en la dirección de flujo subterráneo,



Universidad Nacional del Sur Departamento de Geología

SAN JUAN 670 - 8000 BAHIA BLANCA - TEL. 54-291-4595147 - FAX: 54-291-4595148

frecuentes anegamientos y rechazo de la recarga natural por agua de lluvia debido a los afloramientos del nivel freático.

Los cambios de dirección en el sentido del flujo subterráneo natural se manifiesta en toda el área de estudio. La inversión de dirección de flujo natural observada al norte del Polo Petroquímico y en la zona de Cangrejales ha modificado totalmente el sistema hidrológico de descarga natural hacia la ría. En estos sectores se han medido gradientes hidráulicos del orden de $1,5 \cdot 10^{-3}$ desde la planta de PVC hacia la Avenida San Martín, de $5 \cdot 10^{-3}$ al este de la planta de Clorosoda e igual valor desde la planta de Mega hacia la Avenida 18 de Julio y de $2 \cdot 10^{-3}$ desde Profertil hacia la antes mencionada arteria.

Los gradientes hidráulicos de los filetes de flujo con orientación natural hacia el sur también han experimentado un fuerte incremento, observándose al sur de Polisur, gradientes del orden de $4 \cdot 10^{-3}$ valor que ha duplicado las últimas mediciones realizadas en ese lugar (cfr. 7.2.1.)

Como ya se mencionó, el incremento de los gradientes hidráulicos sumado a la construcción de las zanjas de drenaje en las cercanías de potenciales focos de contaminación ha disminuido considerablemente el tiempo de llegada de un hipotético contaminante conservativo transportado por el agua subterránea. A los efectos de una comparación con los anteriores ejemplos (cfr 7.2.1) en el mapa presentado en este informe pueden medirse gradientes hidráulicos del orden $7,7 \cdot 10^{-3}$ en filetes de flujo que con rumbo NE parten desde el límite del predio de Clorosoda hasta interceptar la zanja de drenaje distante unos 250 metros. La velocidad de flujo puede estimarse, ahora, en unos 80 milímetros por día con lo que el tiempo estimado de llegada del agua a la mencionada zanja es de unos 8 años y medio, o sea 58 veces más rápido que en las condiciones anteriores (500 años)

7.3. Aspectos hidroquímicos

La caracterización química del agua subterránea se realizó en base a la información antecedente existente sobre el área, Bonorino y Sala (1983), Sala et. al. (1985) y Carrica (1998). El agua subterránea de la capa freática del lugar son salmueras (aguas hipersalinas) con conductividad eléctrica entre 47.600 y $108.100 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$, fuertemente cloruradas sódicas, característico de aguas subterráneas de áreas de descarga, con escasa circulación y con un tiempo importante de residencia en formaciones geológicas ligadas a un origen marino. Subordinados a estos iones se encuentran los sulfatos y el magnesio, la rMg/rCa es mayor a 1 lo cual confirma el paso por formaciones geológicas con aguas marinas.

Dentro de la sección hidrogeológica Pospampeana, los valores de conductividad eléctrica del agua (CE) se incrementan en profundidad hasta, en algunos casos, duplicar ampliamente a los del agua de mar. Las curvas de



isoconductividad muestran una marcada coincidencia con las curvas isopiezas y son indicativas de la dirección del flujo subterráneo.

Como regla general, puede decirse que en toda el área el fenómeno de recarga natural o inducida, produce una zona de mezcla (zonación hidroquímica) que se manifiesta en la porción superior de la capa acuífera (2 a 3 metros) con aguas de menor salinidad y es particularmente marcado en los sectores con relleno artificial y algo menos acentuado en lugares con materiales naturales (Sala et al., 1985)

En un piezómetro instalado en las inmediaciones del edificio central de la usina L. Piedrabuena, durante su construcción en el año 1983, se determinó una CE de $24.500 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ en el primer metro de espesor saturado, $43.710 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ en el segundo metro y valores de alrededor de $63.000 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ en el fondo (15 metros).

7.4. Vulnerabilidad del acuífero a la contaminación

Se entiende por vulnerabilidad a la contaminación del agua subterránea a la susceptibilidad que presenta un acuífero de ser afectado adversamente por un determinado contaminante (Foster et. al., 1987). La vulnerabilidad es una propiedad intrínseca de un sistema hidrológico que depende del medio físico el cual condiciona la accesibilidad de la zona saturada a la penetración de un contaminante y de la capacidad de atenuación de los estratos por encima de ella.

Algunos sistemas de evaluación de la vulnerabilidad de los acuíferos tienen en cuenta factores como profundidad del agua subterránea, tasa de recarga, litología del suelo, de la zona no saturada y del acuífero, conductividad hidráulica y topografía; sin dejar de tener en cuenta la dinámica del sistema. Está claro que a menor profundidad del nivel piezométrico, con una mayor recarga, con la presencia de rocas o sedimentos con alta conductividad hidráulica (permeabilidad) y una baja pendiente topográfica del terreno, el acuífero presentará un alto índice de vulnerabilidad a la contaminación.

Sin embargo, no todos los factores mencionados tienen, para una determinada zona, el mismo "peso" o importancia, considerándose, en general, que la profundidad del nivel freático, el tipo de acuífero y la composición litológica de la zona no saturada son determinantes en la valoración de la vulnerabilidad intrínseca de un acuífero (Foster e Hirata, 1991). Conforme estos tres parámetros el acuífero freático del área de estudio tiene una vulnerabilidad a la contaminación moderada.

Si a los factores mencionados se le suma: la casi ausencia de suelo, la existencia de una zona no saturada con un valor de permeabilidad, por porosidad secundaria, medio, una tasa de recarga importante y la casi nula pendiente topográfica, el acuífero freático estudiado puede ser catalogado como de vulnerabilidad a la contaminación moderada a alta.



Universidad Nacional del Sur

Departamento de Geología

SAN JUAN 670 - 8000 BAHIA BLANCA - TEL. 54-291-4595147 - FAX: 54-291-4595148

Cabe destacar que el término vulnerabilidad a un contaminante universal no tiene demasiado sentido, siendo lo ideal definir para cada sector del área de estudio la especie de contaminante y sus propiedades y en base a ello y a la vulnerabilidad intrínseca del acuífero determinar el riesgo de contaminación.

7.5. Usos del agua subterránea

Desde el punto de vista de la explotación del agua subterránea de la capa freática del sector, la salinidad natural de la misma (hipersalina) la hacen real y potencialmente inútil para todo tipo de uso.

Es claro que el mayor riesgo ambiental de la contaminación del acuífero lo constituye la posibilidad de que sus aguas fluyan a una zanja de drenaje y a través de ella hacia la ría. La potencial contaminación de este cuerpo de agua constituiría una seria amenaza a todo el ecosistema de la zona costera.

8. CONCLUSIONES

La permanente transformación operada en el área del puerto de Ing. White en los últimos veinte años ha dado lugar a un cambio morfológico del paisaje y consecuentemente a la transformación de mecanismos y procesos naturales que tienen lugar en su sistema hidrológico.

Los rellenos de suelo llevados a cabo en el sector que actualmente ocupan las plantas más antiguas del Polo Petroquímico y las ubicadas en la franja de Cangrejales han generado sendos domos hidráulicos debido al aumento de los niveles freáticos. Esta estructura genera direcciones de flujo subterráneo inversos a los naturales, incrementa los gradientes hidráulicos y consecuentemente su velocidad de circulación hacia los lugares de descarga constituidos por las zanjas de drenaje y la ría.

Al mismo tiempo, el aumento de los módulos pluviométricos en los últimos años incrementó la recarga y la magnitud las superficies anegadas para lo cual se construyeron nuevas zanjas de drenaje y se prolongaron los existentes a fin de paliar los inconvenientes ocasionados por ellas.

El resultado final de todos estos cambios ha sido el aumento del volumen de agua descargado a la ría y la reducción del tiempo en alcanzar la misma de los solutos disueltos en ella, ya sea por la vía superficial como por la subterránea.

Si bien las aguas del acuífero freático son hipersalinas, la tipificación de la vulnerabilidad del acuífero a la contaminación de moderada a alta permite predecir un riesgo ambiental cierto para el ámbito de la ría que es el destino final del escurrimiento de todas las aguas.



9. RECOMENDACIONES

Como tarea para un futuro a corto plazo se recomienda: evaluar la descarga de contaminantes que se producen en la ría de Bahía Blanca, a través del sistema natural (acuífero freático) y antrópico (canales superficiales), como consecuencia de la actividad industrial del Polo Petroquímico.

Para lograr este objetivo será necesario:

- Generar información básica, hidrogeológica e hidrodinámica, para elaborar el modelo de funcionamiento del sistema acuífero costero.
- Evaluar la magnitud de los aportes de agua superficial y subterránea a la ría.
- Individualizar los principales contaminantes contenidos en el nivel superior del acuífero libre costero, de naturaleza arcillo-arenosa, y en el inferior, contenido en sedimentos loésicos.
- Estimar el volumen de los principales contaminantes que contribuyen a la degradación del agua subterránea.
- Determinar la influencia de las propiedades físicas y químicas de los sedimentos que componen la zona no saturada (ZNS) sobre el comportamiento hidrodinámico y el transporte de los contaminantes hacia el acuífero freático.
- Evaluar el volumen de contaminantes que pasa del acuífero libre al escurrimiento superficial de los canales construidos que descargan en la ría.

La suma de estos conocimientos posibilitará mejorar: a) el diseño de los sistemas de remediación, al adaptar los mismos a las condiciones hidrogeológicas reales y a las características particulares del contaminante y b) el control de la descarga hacia los drenes o canales superficiales.

En cuanto a las obras de canalización y drenaje se recomienda que su diseño y construcción debe llevarse a cabo teniendo en cuenta el equilibrio entre la dinámica superficial y subterránea del agua. El desconocimiento de esta pauta puede dar lugar a efectos indeseables e impactar en otras áreas aledañas a dichas obras.

10. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

Bonorino A. G. y J. M. Sala, 1983. Capítulo: Geohidrología. Comisión Estudio de Suelos White-Cerri. MOP de la Provincia de Buenos Aires. Informe Final (inédito). La Plata.

Carrica J.C.; 1998. Hidrogeología de la cuenca del arroyo Napostá Grande, Provincia de Buenos Aires. Tesis Doctoral. UNS (inédita). 215 p.



Universidad Nacional del Sur

Departamento de Geología

SAN JUAN 670 - 8000 BAHIA BLANCA - TEL. 54-291-4595147 - FAX: 54-291-4595148

Fidalgo F., F. De Francesco y R. Pascual, 1975. Geología superficial de la llanura bonaerense. VI Congreso Geológico Argentino. Bahía Blanca. Relatorio: 103-138.

Fidalgo F. 1983. Geología y Geomorfología del área de White-Cerri y los alrededores de Bahía Blanca. Comisión Estudio de Suelos White-Cerri. MOP de la Provincia de Buenos Aires. Informe Final (inédito). La Plata.

Foster, S; 1987. Fundamental concepts in aquifer vulnerability pollution risk and protection strategy. Proc. Intl. Conf. "Vulnerability of soil and groundwater to Pollutants" (Noordwijk, The Netherlands/April 1987).

Foster S, R. Hirata y Ventura M. 1987. Contaminación de las aguas subterráneas, CEPIS, Lima, Perú.

Foster S. y R. Hirata, 1991. Determinación del riesgo de contaminación de aguas subterráneas por sistemas de saneamiento básico, CEPIS, Lima, Perú.

OSBA, 1991. Polo Petroquímico bahía Blanca – Monitoreo de agua subterránea. Mapa N° 4. Equipotenciales. (Inédito) La Plata.

Sala J. M.; A. G. Bonorino y J. C. Carrica, 1985. Aspectos hidroquímicos del acuífero libre en los alrededores de Ing. White, provincia de Buenos Aires. Primeras Jornadas Geológicas Bonaerenses. Tandil. Actas: 505-529.

Bahía Blanca, Marzo de 2003

Cátedra de Hidrogeología

Dr. A. Guillermo Bonorino (Titular)

Dr. René Albouy

TABLA 4.3 : PLANILLA DE CENSO HIDROLÓGICO

Número de Pozo	Cota topográfica (msnm)	Profundidad del agua (mbbp)	Altura del agua (msnm)
PM1	2.499	0.81	1.69
PM2	2.489	0.99	1.50
PM3	2.324	0.85	1.47
PM4	2.97	1.12	1.85
PM5	2.934	1.11	1.82
PM6	3.022	1.245	1.78
PM7	3.069	1.515	1.55
PM8	3.229	0.94	2.29
PM9	3.111	0.64	2.47
PM10	3.003	0.47	2.53
PM11	2.601	0.56	2.04
PM12	3.328	0.93	2.40
PM13	2.779	0.465	2.31
PM14	2.641	0.36	2.28
PM15	2.406	0.30	2.10
PM16	2.539	0.46	2.08
PM18	3.727	1.86	1.87
PM19	3.76	0.645	3.11
PBB POLISUR EPE 1	4.204	1.95	2.25
PBB POLISUR LDPE 1	4.903	1.67	3.23
PBB POLISUR LDPE 2	4.725	1.57	3.15
PBB POLISUR LDPE 3	4.619	1.66	2.96
PBB POLISUR HDPE 1	5.367	2.35	3.01
PBB POLISUR LHCI 6	5.263	2.49	2.77
PBB POLISUR LHCII 10	5.097	2.38	2.72
INDUPA VCM PM1	4.646	0.89	3.75
INDUPA VCM PM4	4.600	1.05	3.55
INDUPA VCM PM6	4.493	1.31	3.18
INDUPA VCM PM12	4.452	0.43	4.02
INDUPA VCM P5	5.021	3.05	1.97
INDUPA PVC S3	4.718	1.10	3.62
INDUPA PVC S4	4.730	1.80	2.93
INDUPA PVC S5	4.765	1.91	2.85
INDUPA PVC S7	4.729	1.49	3.24
CLOROSODA PM1B	4.881	1.40	3.48
CLOROSODA PM4	3.550	1.52	2.03
CLOROSODA PM7	4.826	1.53	3.30
CLOROSODA PM8	4.778	2.05	2.73
CLOROSODA PM9	4.622	1.97	2.65
CLOROSODA PM12	4.730	1.84	2.89
CLOROSODA PM13	4.478	1.65	2.83
PROFERTIL P1	4.238	2.46	1.78
PROFERTIL P3	5.661	3.50	2.16
PROFERTIL P7	4.177	1.59	2.58
PROFERTIL P14	5.348	3.815	1.53
PROFERTIL P17	4.988	2.64	2.35
MEGA F1	7.306	4.95	2.35
MEGA F2	7.159	4.50	2.66
MEGA F4	4.711	3.59	1.12
MEGA F5	4.706	3.46	1.25
ESSO 1	4.210	1.22	3.00
ESSO 3	3.962	2.09	1.87
ESSO 5	3.974	1.33	2.64
ESSO 6	3.965	1.69	2.27

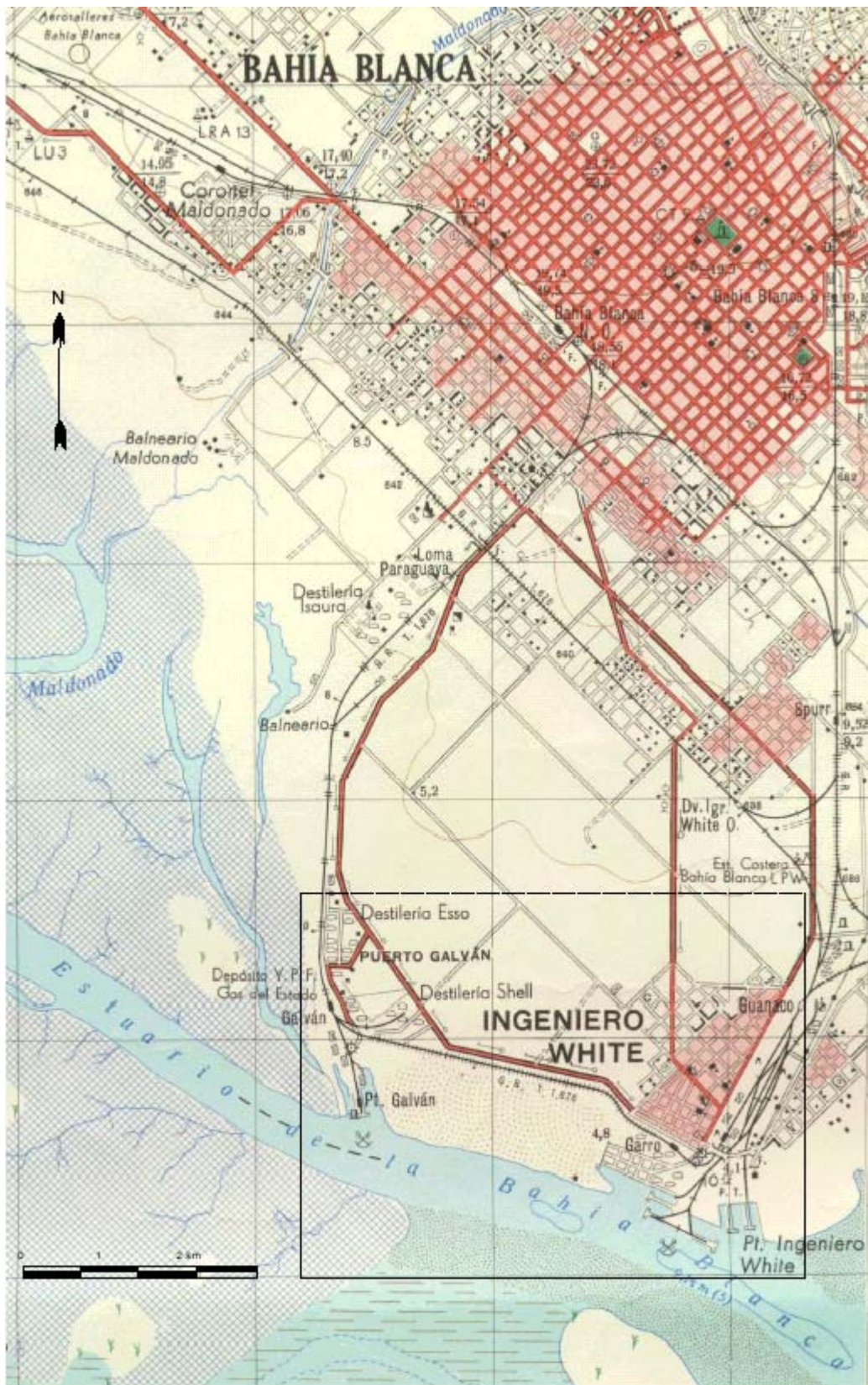
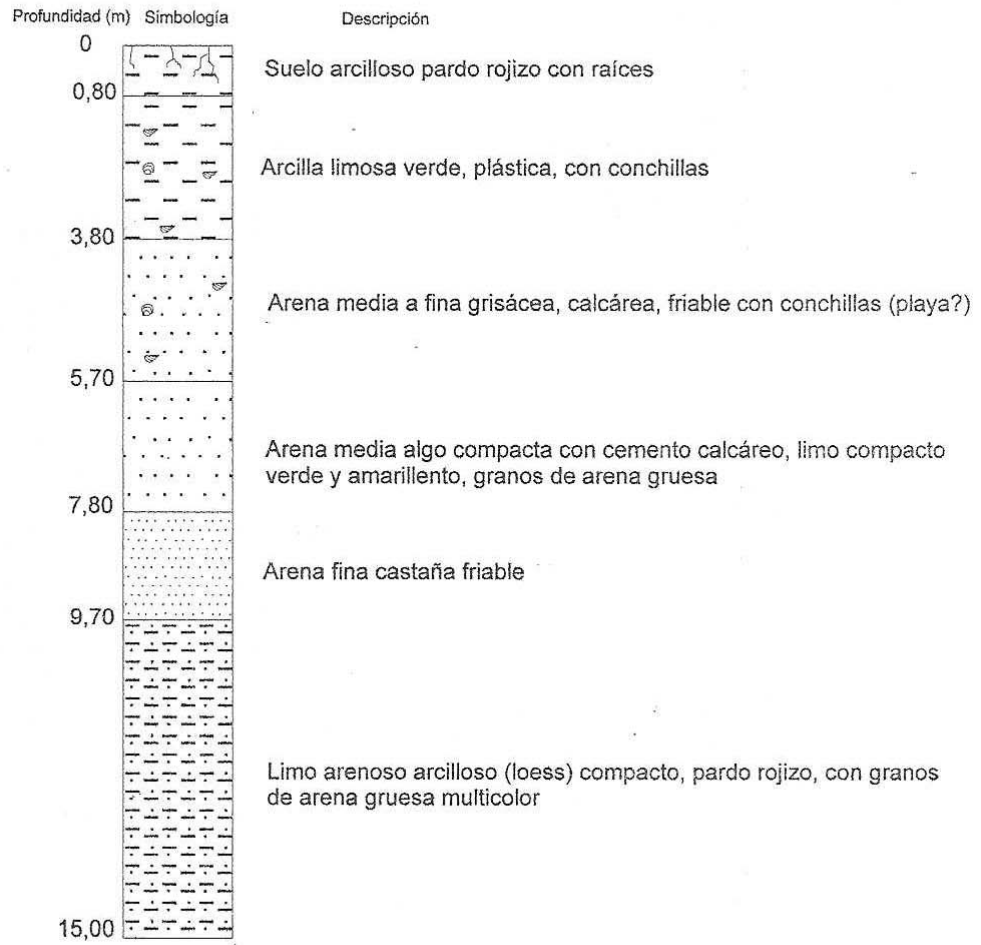
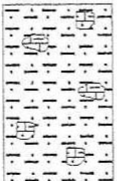
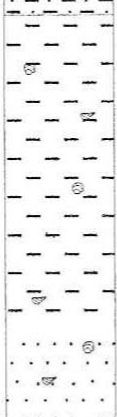
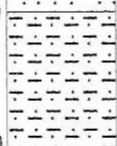



Figura 3. Mapa de ubicación del área de estudio




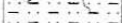
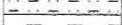



POZO No. 34



POZO No. 35

Profundidad (m)	Simbología	Descripción
0		Relleno artificial de loess (limo compacto con tosca)
3,80		Arcilla limosa gris verdosa, muy oscura, con conchillas que pasa en la base a una arena media fina, limosa gris oscura
10,10		Limo arenoso pardo rojizo (loess) compacto, presencia de arena gruesa y limo compacto verde
12,50		

POZO No. 40

Profundidad (m)	Simbología	Descripción
0		Suelo vegetal limo arcilloso
0,30		Limo arcilloso pardo rojizo con bioturbación de raíces
1,50		Arcilla limosa verde amarillenta, muy plástica, con conchillas y gastrópodos
3,00		Arcilla limosa grisácea con moluscos
3,90		
5,80		Limo arenoso verde oscuro con conchillas
8,70		Arena fina limosa parda con conchillas algunos niveles de arena media a gruesa
12,10		Arena limosa media a gruesa, castaña, limo arenoso compacto pardo rojizo y verdoso, rodados de tosca y arena gruesa

MOP Mapa piezométrico de la capa freática 1983

OSBA Monitoreo de Agua Subterránea 1983

