



Hidroar S.A.
SERVICIOS HIDROGEOLÓGICOS Y AMBIENTALES

ESTUDIO HIDROLÓGICO EN ÁREA DEL FUTURO PARQUE EÓLICO EL LLANO Y LAUDONIO

Departamento de Biedma - Provincia de Chubut

HSA-H1-AAA-INF-005-02



Noviembre 2016

INDICE

1 INTRODUCCIÓN	- 2 -
2 OBJETIVOS	- 2 -
3 ÁREA DE ESTUDIO	- 3 -
3.1 JUSTIFICACIÓN DEL SECTOR DE ESTUDIO	- 3 -
4 CLIMA	- 4 -
5 CARACTERIZACIÓN DEL MEDIO FÍSICO	- 8 -
5.1 GEOLOGÍA	- 8 -
5.1.1 Contexto estratigráfico regional	- 9 -
5.1.2 Descripción de unidades estratigráficas	- 10 -
5.1.3 Estructuración regional	- 13 -
5.1.4 Rasgos geológicos locales (Perfil litológico tipo de los dos sectores de estudio).....	- 13 -
5.2 GEOMORFOLOGÍA	- 15 -
5.3 HIDROGEOLOGÍA	- 16 -
5.3.1 Contexto hidrogeológico.....	- 17 -
5.3.2 Relevamiento de campo	- 19 -
5.3.3 Hidrodinámica	- 22 -
5.3.4 Modelo hidrogeológico conceptual	- 24 -
6 CARACTERIZACION HIDROLÓGICA	- 27 -
6.1 CUENCAS	- 27 -
6.2 ANÁLISIS DE ESCORRENTÍAS	- 30 -
7 CONCLUSIONES – RECOMENDACIONES	- 35 -
7.1 CONCLUSIONES	- 35 -
7.2 RECOMENDACIONES	- 36 -
8 BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA	- 38 -

MAPAS (numerados en función del capítulo donde se citan)

Mapa 3.1 Ubicación del Área de estudio

Mapa 5.1 Geología

Mapa 5.2 Relevamiento de campo

Mapa 5.3 Mapa equipotencial (Medición en Octubre 2016)

Mapa 6.1. Subcuencas hídricas

ANEXOS

Anexo 1 Relevamiento de campo – Octubre 2016

Anexo 2 Hietogramas

ESTUDIO HIDROLÓGICO EN ÁREA DEL FUTURO PARQUE EÓLICO EL LLANO Y LAUDONIO

Departamento de Biedma, provincia de Chubut

1 INTRODUCCIÓN

El presente informe realizado por Hidroar S.A., expone los resultados de las tareas realizadas en el marco del **“Estudio hidrológico en área del futuro parque eólico El Llano y Laudonio”**, situados en el Departamento de Biedma, provincia de Chubut. Dicho estudio, encomendado por la empresa Infa S.A., pretende cumplimentar los atributos plasmados en la propuesta técnica (NP: 2016), con el fin de caracterizar la geología, geomorfología e hidrología superficial/subterránea en los predios donde se prevé la construcción de un parque eólico.

Las tareas desarrolladas durante el mes de octubre de 2016, incluyeron la recopilación de información antecedente, relevamiento de campo (georreferenciación de manifestaciones de agua subterránea, determinación de parámetros físico-químicos in situ, descripción de perfiles estratigráficos sobre cortes naturales y/o artificiales, descripción de rasgos geomorfológicos destacados), y análisis de gabinete (análisis climático e hidrológico, definición del modelo hidrológico-hidrogeológico conceptual, entre otros).

La Dirección General del estudio estuvo a cargo del Hidrogeólogo Senior Carlos Scatizza, en tanto la Dirección Ejecutiva y los trabajos de campo fueron supervisados por el Lic. Geól. Érico H. Bianchi. Las tareas de gabinete fueron realizadas por los Ing. Sergio Preiato y Lucía De Antueno en lo referente a clima e hidrología superficial, y por los Lic. Geól. Érico H. Bianchi, Cintia Di Lorenzo y Fernanda Dávila en cuanto a Geología-Geomorfología, Hidrogeología y procesamiento GIS.

En todo momento se contó con la colaboración de personal del Cliente, quienes posibilitaron los accesos a las canteras y campos relevados. Cabe mencionar la buena predisposición de los pobladores, quienes permitieron el acceso a sus propiedades.

2 OBJETIVOS

A fin de satisfacer los requerimientos planteados por la empresa Infa S.A., el estudio contempla los siguientes aspectos:

- Caracterización geomorfológica superficial, con especial énfasis en la determinación de posibles escorrentías en los predios e influencia respecto a los terrenos vecinos.
- Caracterización de la geología y la hidrogeología en el área de interés, a los fines de conocer las características del suelo “litología” y los acuíferos donde se instalarán los molinos.
- Estudio hidrológico incluyendo identificación de cuencas, subcuencas y red de drenaje; y posterior análisis de escorrentía superficial.

3 ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se encuentra al NE de la provincia de Chubut, dentro del Departamento de Biedma, definida por un polígono de 2.520 km² de superficie, comprendida aproximadamente entre las coordenadas 42° 33' y 42° 47' de latitud Sur; y 65° 02' y 65° 29' de longitud Oeste (figura 3.1, ver también Mapa 3.1 adjunto).

El área donde se construirá el Parque Eólico, comprende dos predios: Laudonio (41 km²) y El Llano (99,5 km²), situados ambos a unos 7 km al Oeste de la Planta ALUAR y unos 10 km de la ciudad de Puerto Madryn, en la zona mesetiforme que se desarrolla al Oeste de la intersección entre la Ruta Nacional N° 3 y la Ruta Provincial N° 4.

Se puede acceder a los predios Laudonio y El Llano desde la Ruta Nacional N° 3 (RN3), donde se encuentran las instalaciones de una Estación de Servicio YPF, transitando por un camino vecinal consolidado de tierra, con sentido hacia el NO. En este caso se transita una distancia aproximada de 3 km hasta llegar al primer predio, ó de 10 km para llegar al predio El Llano.

El otro acceso a la zona de estudio es por la Ruta Provincial N° 4 (RP4), recorriendo casi 3 km hacia el Oeste desde la intersección con la RN3, hasta llegar al predio Laudonio, el cual limita al Sur con la traza de la ruta provincial; si se continúa por dicha ruta hasta un camino interno de tierra consolidado, se accede al predio El Llano luego de circular aproximadamente 7 km con sentido hacia el Norte por tal vía de acceso.

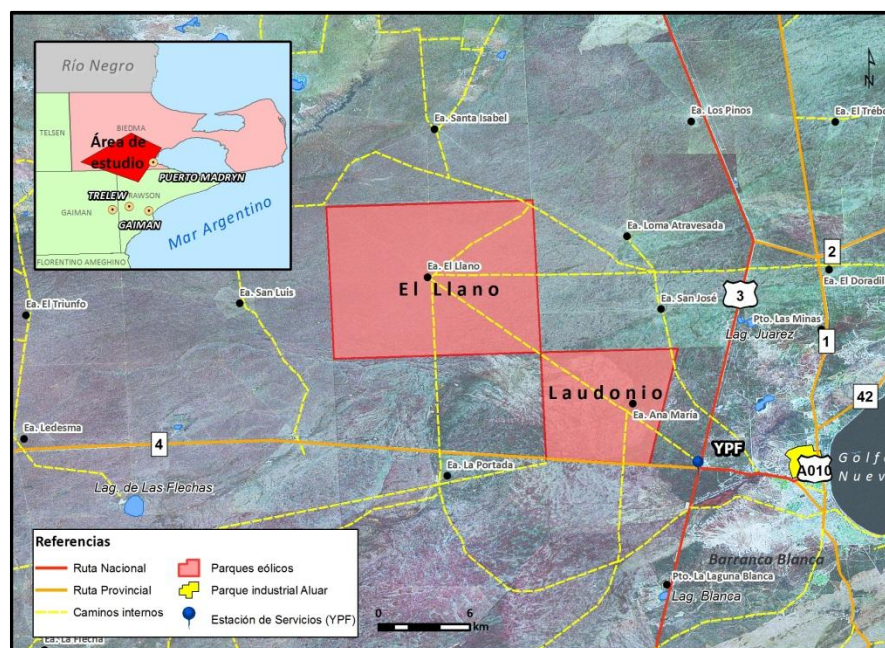


Figura 3.1. Ubicación general del área de estudio.

3.1 Justificación del sector de estudio

El área seleccionada para el estudio se extiende más allá de los predios mencionados antes, pretendiendo abarcar el mayor número de puntos de interés en relación a manifestaciones de agua subterránea, así como para establecer continuidad litológica en los primeros 10 metros de profundidad. De esta manera, se tiene una visión regional sobre la red de drenaje existente y los aspectos geomorfológicos relevantes, pudiendo comprender también el ámbito geológico y los condicionantes estructurales que afectaron la zona a analizar.

4 CLIMA

Para la caracterización climática general del área de estudio, se utilizaron los registros meteorológicos de cuatro estaciones relativamente cercanas. Dos de ellas pertenecientes a ALUAR S.A.I.C., una al CENPAT y la más alejada, ubicada en Trelew, perteneciente al INTA. El cuadro 4.1 detalla los períodos considerados y la ubicación de las estaciones.

Estación meteorológica	Organismo responsable	Ubicación		Período
		Latitud	Logitud	
Muelle Alte. Storni	Aluar	-42°44'9,28"	-65°1'20,88"	jul12 - jun16
Planta Aluar	Aluar	-42°44'36,01"	-65°2'57,15"	mar99-nov11 ; abr13- jun16
INTA Trelew	INTA	-43°16'21"	-65°21'42"	ene90 - jul16
CENPAT, Pto. Madryn.	CENPAT	-42°47'6"	-65°0'31"	1984-2013 (valores medios)

Cuadro 4.1. Estaciones meteorológicas consideradas.

La figura 3.1 muestra la ubicación de las estaciones, en relación a las áreas en las que se instalarán los parques eólicos.

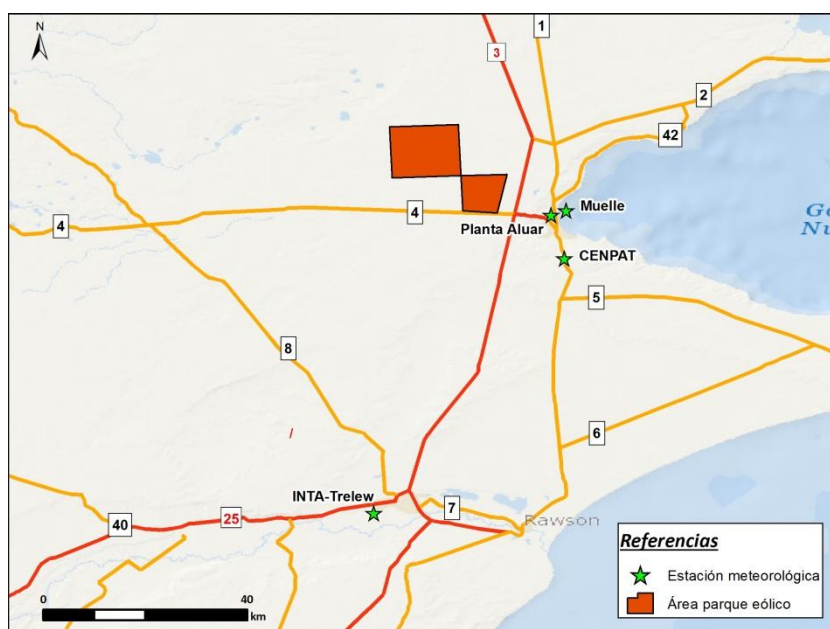


Figura 4.1. Ubicación de estaciones meteorológicas.

En el cuadro 4.2 se presentan los valores medios anuales de temperatura, humedad relativa y precipitación acumulada.

Parámetro		Estación			
		Muelle	Planta	INTA Trelew	CENPAT
Temp Max media	(°C)	27,08	28,85	21,32	19,90
Temp min media	(°C)	4,90	4,01	5,79	7,18
Temp media	(°C)	14,57	14,79	13,50	13,59
Humedad Relativa media	(%)	57,26	54,80	54,46	53,28
Precipitación media anual	(mm)	200,16	185,23	193,74	214,20

Cuadro 4.2. Principales valores medios registrados.

Tomando como referencia estos valores, la temperatura media anual del área de estudio es del orden de los 14 °C, con máximas absolutas en enero que alcanzan los 34 °C y mínimas en julio,

cercanas a los -3 °C. La humedad relativa presenta valores máximos en invierno (~65%) y mínimos en el verano (~45%), promediando una humedad relativa anual de 55 %.

La precipitación media del área es del orden de los 200 mm, presentándose los mayores valores en la estación del CENPAT y los menores en la estación ubicada en la planta de Aluar. La figura 4.2 muestra los registros medios mensuales de las estaciones consideradas, y la figura 4.3 los registros de precipitación anual acumulada.

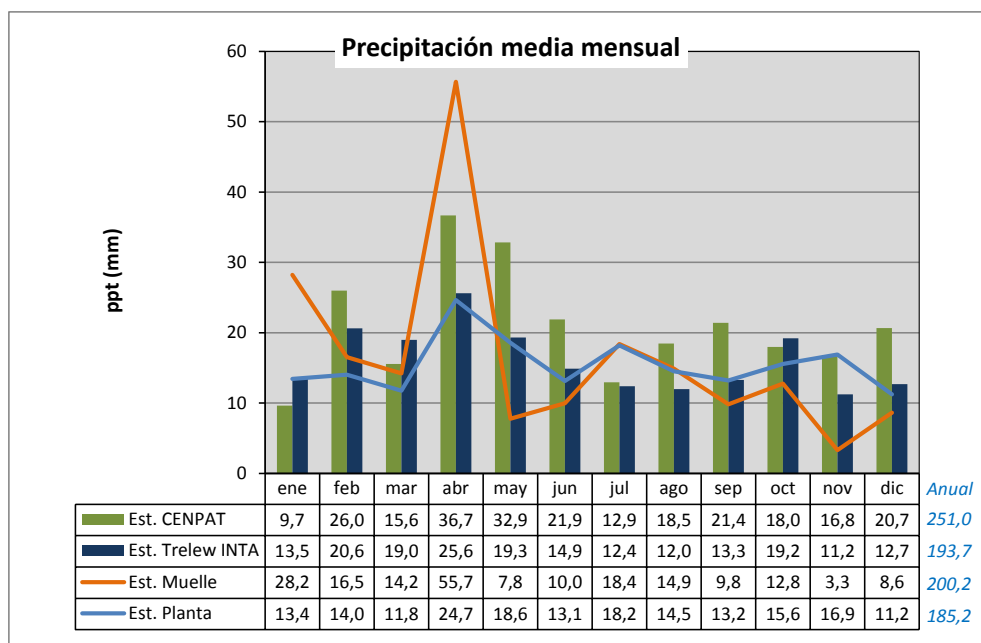


Figura 4.2. Precipitaciones medias mensuales.

En general, el período de mayor precipitación se da entre los meses de abril y mayo, existiendo pequeñas variaciones entre el resto de los meses. Si bien no se observa una clara estación de sequía, la estación Aluar Planta presenta valores medios muy bajos durante el mes de noviembre.

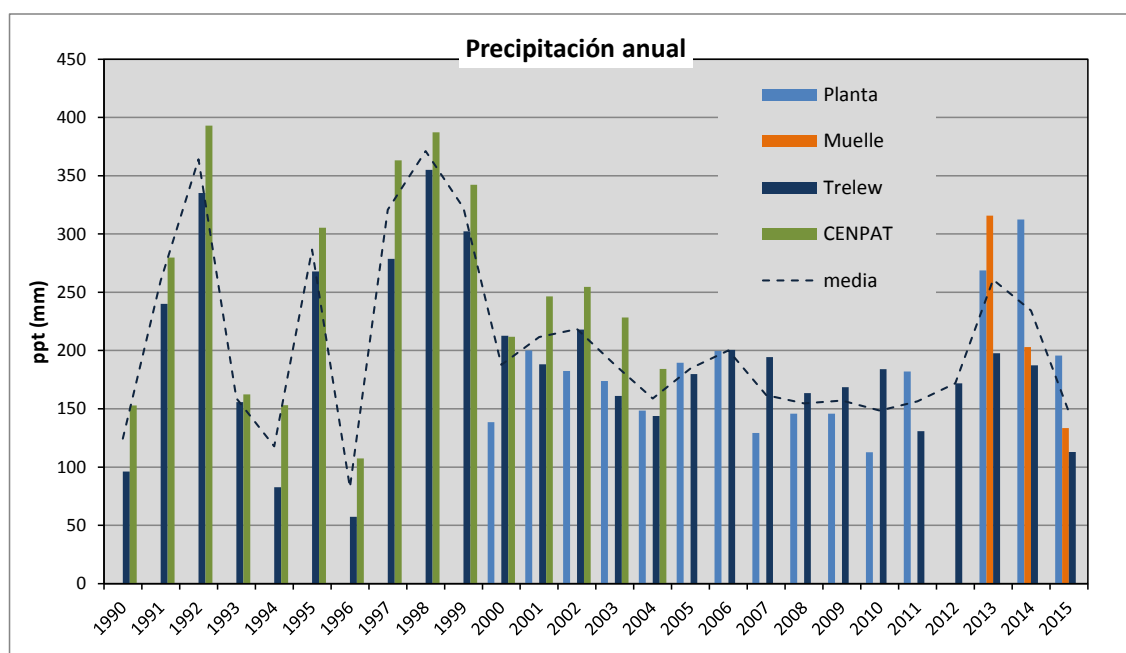


Figura 4.3. Precipitaciones anuales.

La evolución anual, muestra un período de mayor precipitación hacia finales de los 90, y en 2013-2014. En particular, el registro más alto de la estación Aluar Planta corresponde al año 2014 con una precipitación anual de 312,5 mm y el más bajo, el año 2010 con una precipitación de 112 mm.

Para el análisis particular de los diferentes eventos de precipitación, se tomó como base el estudio *Análisis de la Tormenta del 06/11/2011 y sus consecuencias sobre la Planta de Aluar S.A.I.C.- Puerto Madryn*, realizado por Hidroar S.A. en diciembre del 2011. En este estudio, se analizaron los registros de precipitaciones de la estación Planta (Aluar) junto con numerosos informes específicos sobre las precipitaciones en el área, y se determinaron las relaciones Intensidad-Duración-Recurrencia deducidas con los 13 años de registros de la estación Aluar.

Asimismo, dicho estudio analizó la forma en que las precipitaciones se desarrollan en el tiempo, es decir, el hietograma de las tormentas. En este sentido se concluyó que *“La mayoría de las tormentas presentan la forma clásica, con un primer tramo de muy baja pendiente que representa el inicio de la precipitación, un tramo de mayor inclinación que representa el período en el que usualmente se producen los picos de mayor intensidad, y un nuevo tramo de baja pendiente, que representa los minutos finales de la tormenta, usualmente de baja intensidad”*.

Se identificaron cinco eventos de precipitación con un desarrollo particularmente diferente, analizados según un paso del tiempo de 5 minutos, tal como fueron registrados. También se tomó en consideración un evento importante ocurrido en el año 1998, el de mayor volumen acumulado, pero con paso de tiempo de 1 hora.

Con la actualización de los registros de precipitación hasta junio de 2016, se incorporaron 3 tormentas más a este análisis. El cuadro 4.3 presenta los eventos de precipitación que serán usados para en el estudio de escorrentías en el capítulo 6.2.

Evento			
N°	Fecha	Ppt acumulada (mm)	Duración (min)
1	Abril 1998	163,53	1.440
2	Dic 2002	21,6	270
3	Dic 2005	34,4	685
4	Jul 2006	66,6	1.775
5	Oct 2011	11,6	105
6	Nov 2011	26,4	55
7	Abril 2013	88,57	890
8	Abril 2014	141,16	2.260
9	Ene 2016	54,87	2.260

Cuadro 4.3. Eventos de precipitación destacados.

Se destaca la tormenta del 6 de noviembre del 2011, la cual tuvo importantes consecuencias sobre la planta Aluar provocando la interrupción del servicio de distribución eléctrica en gran parte de Puerto Madryn. Si bien la precipitación acumulada de esta tormenta no fue significativa (27 mm en 24hs), su desarrollo central generó un pico de intensidad muy elevada (25 mm en 35 minutos= 46 mm/h).

La tormenta correspondiente al 27 de diciembre de 2005, con una precipitación total de 34,4 mm, presenta una lluvia antes del pico un poco más significativa (cerca de 10 mm caídos durante todo el día y hasta la 20:25 hs) y un tramo intenso que acumula aproximadamente 28 mm en dos

horas y media. Su pendiente no es tan severa como la del evento previamente mencionado, pero presenta un comportamiento similar.

En abril de 2014, se produjo el evento de mayor precipitación registrado por la estación Planta, con paso de tiempo de 5 minutos y presenta un desarrollo muy similar a la ocurrida en 1998.

El desarrollo de las nueve precipitaciones analizadas, considerando los valores acumulados, puede verse en la figura 4.4.

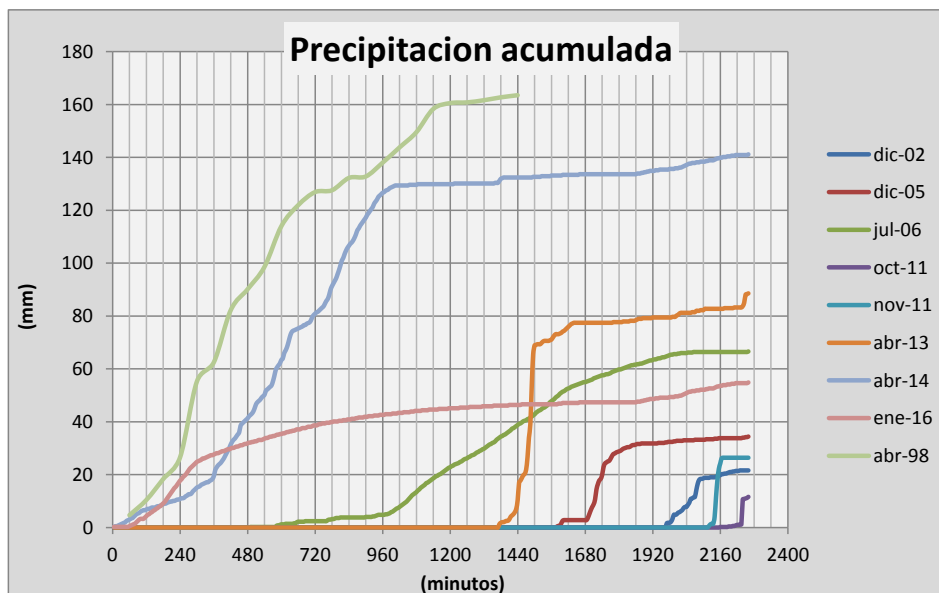


Figura 4.3. Precipitación acumulada, tormentas destacadas.

La rama ascendente casi vertical, presente en las tormentas de abril de 2013, y de noviembre y octubre de 2011, evidencia la elevada intensidad de estos eventos, aunque el volumen total de precipitación caída no es considerablemente elevado.

La elección de dichos eventos se realizó bajo la premisa de que tormentas severas, de gran intensidad, producen escorrentía antes de saturar por completo el suelo. Mientras que, los eventos de mayor precipitación acumulada comienzan a producir escorrentía, una vez que el suelo alcanza la saturación. Estos efectos, serán analizados en el capítulo 6.2.

5 CARACTERIZACIÓN DEL MEDIO FÍSICO

Para desarrollo de este capítulo, se ha revisado y sistematizado la información antecedente de la zona, para delinear las tareas de campo posteriores. Los datos e informes recopilados, tanto regionales como locales, incluyen:

- Perfiles esquemáticos realizados en la década del '40, por la Dirección General de Minería y Geología de Nación.
- Descripciones litológicas de perforaciones efectuadas en la década del 60, por el Instituto Nacional de Geología y Minería, Servicios de Aguas Subterráneas.
- Informes y publicaciones científicas de la zona de Puerto Madryn y Telsen.
- Estudios hidrogeológicos locales de la zona Sur de Puerto Madryn.
- Descripciones de Hojas Geológicas SEGEMAR, escala 1:200.000 y 1:250.000 (Hoja 4366-II Puerto Madryn).
- Cartografía de base perteneciente al Servicio Geológico Nacional (SEGEMAR), escala 1:200.000, y al Instituto Geográfico Nacional (IGN, Proyecto SIG 250).
- Imágenes satelitales Landsat 8, bandas 1 a 11, correspondientes a USGS.

Se consideraron también los estudios previos de Hidroar que contienen información relevante para la zona de estudio, incluyendo los siguientes informes: "Estudio hidrológico en el área de la planta de ALUAR SAIC. Puerto Madryn –Chubut" (Hidroar SA, Junio 2009); "Estudio de exploración hidrogeológica/geofísica del predio ALUAR y áreas próximas. Puerto Madryn – PROVINCIA DE CHUBUT" (Hidroar SA, Julio 2016).

El registro de datos de campo fue realizado entre los días 25 al 28 de Octubre del corriente año, incluyendo un total de 59 puntos (ver Anexo 1 adjunto), y consistió en reconocer los aspectos geológicos, edafológicos y geomorfológicos relevantes para la zona analizada, previa obtención de los permisos de acceso a los sectores de interés: campos y canteras de áridos (ver puntos relevados en Mapa 5.2 adjunto).

Durante los relevamientos se identificaron y georreferenciaron manifestaciones de agua subterránea (perforaciones, pozos excavados, manantiales), determinando profundidad de niveles de agua (estáticos y dinámicos). Se cuantificaron también parámetros físico-químicos in situ: pH, conductividad eléctrica (CE), sólidos totales disueltos (STD), temperatura (T). Se han podido adquirir también datos históricos verbales provenientes de la interacción con pobladores y toda aquella persona que pudo proporcionar información valedera.

A continuación se describen las principales características del medio físico incluyendo los aspectos geológicos-geomorfológicos y el contexto hidrogeológico donde se instalará el parque eólico.

5.1 GEOLOGÍA

Si bien el espacio analizado se encuentra supeditado al polígono de estudio indicado en el Mapa 3.1, la geología resulta semejante en las inmediaciones al área descripta, manteniéndose el contexto litológico y estructural a escala regional.

Existe discrepancia entre las hojas geológicas del SEGEMAR a escala 1:200.000 y 1:250.000, en relación a la Formación La Colonia, posicionándola en el Terciario inferior y en el Cretácico superior, respectivamente. Lo mismo sucede en relación a los nombres de unidades formacionales. Por tal motivo, se ha tomado como base la descripción más moderna a escala 1:250.000, correspondiente a

la Hoja Geológica 4366-II Puerto Madryn, mostrando la distribución de unidades geológicas en el Mapa 5.1 adjunto. En este caso, en función de los chequeos de campo que se han hecho, la escala de mapeo geológico regional resulta adecuada a la de trabajo en los predios (escala 1:50.000).

5.1.1 Contexto estratigráfico regional

La secuencia estratigráfica presente (ver Cuadro 5.1), está representada en su base por rocas del basamento Precámbrico y Paleozoico inferior, expuestas en pequeños afloramientos al Suroeste (Ectinitas el Jagüelito), intruidas por Plutonitas del Paleozoico Superior.

Las rocas mesozoicas comprenden principalmente al Complejo Marifil, identificadas al ONO, Suroeste y Sur de la zona analizada, en afloramientos descubiertos y parcialmente cubiertos por material meteorizado. Suprayace estas rocas la Formación La Colonia, supeditada al Oeste, con similares características morfogénicas que el Complejo Marifil.

Se reconocen también afloramientos de rocas terciarias (Paleógeno) de las formaciones Gaiman, Puerto Madryn y Rodados Patagónicos, con mayor expresión hacia la zona costera. La Fm Gaiman está en contacto al Oeste de las rocas mesozoicas, y hacia el Este y Sureste, formando franjas N-S sobre las bardas y en la línea de costa, quedando expuesta cuando hay bajamar. El Neógeno, representado por la Formación Puerto Madryn, comprende una capa delgada en la zona de escarpa (bardas) al Este, encontrándose afloramientos aislados hacia el Sureste. En tanto que los Rodados Patagónicos (Plioceno-Pleistoceno) recubren la mayor parte del área de estudio, abarcando la totalidad de la superficie de los predios Laudonio y El Llano.

El cuaternario incluye la formación Eizaguirre (Pleistoceno), aflorante al Oeste-Noroeste en posiciones topográficas más elevadas que el resto de los afloramientos; y la formación San Miguel (Holoceno), reconocida al Este como afloramientos reducidos en la zona costera. El resto de los depósitos Holocenos incluye sedimentos de texturas finas, que tapizan y recubren parcialmente las formaciones más antiguas en casi toda el área, exceptuando el sector Norte.

Eon	Era	Período	Época	Unidad Estratigráfica	Litología
FANEROZOICO	Cenozoico	Cuaternario	Holoceno	Depósitos Eólicos, Aluviales y Coluviales	Arenas, limos, gravas y arcillas
				Sedimentos Finos de Bajos y Lagunas	Limos, arcillas y evaporitas
			Pleistoceno	Fm. San Miguel	Gravas y arenas
				Fm. Eizaguirre	Gravas y limos
		Terciario	Plioceno	Rodados Patagónicos	Conglomerados
			Mioceno	Fm. Puerto Madryn	Areniscas, fangolitas y coquinas
			Oligoceno	Fm. Gaiman	Cineritas, areniscas y limonitas
	Mesozoico	Cretácico	Superior	Fm. La Colonia	Arcillitas, limolitas, areniscas y calizas
		Jurásico	Medio	Complejo Marifil	Lavas, piroclastitas y rocas hipabisales asociadas
			Inferior		
	Paleozoico	Pérmico		Plutonitas del Paleozoico Superior	Granitos, dioritas y aplitas
		Cámbrico		Ectinitas El Jagüelito	Esquistos y filitas verde grisáceos
Precámbrico	Proterozoico				

Cuadro 5.1. . Cuadro Estratigráfico sintético para la zona de estudio (Fuente: Hoja Geológica 4366-II Puerto Madryn).

5.1.2 Descripción de unidades estratigráficas

A continuación se resumen las características de cada unidad litológica reconocida en el área de estudio y su relación estratigráfica con otras formaciones en la región.

Ectinitas El Jagüelito

Según la Hoja Geológica SEGEMAR 4366-II (Puerto Madryn), la designación de Ectinitas El Jagüelito pertenece a Ramos (1975) para metamorfitas de bajo grado desprovistas de evidencias de inyección ígnea, reconocidas entre la intersección de la traza del gasoducto y la RP4. Los afloramientos más australes fueron reconocidos por Haller (1976), quién las denominó formación La Tranquera.

Estas rocas están compuestas por esquistos, filitas y cornubianitas. Los esquistos y filitas son de coloración verde grisácea y están finamente moteados; las cornubianitas poseen color gris oscuro y son notablemente compactas. El conjunto rocoso, de edad Precámbrico-Paleozoico Inferior, constituye el basamento cristalino de la región, dispuesto de forma discordante con el Complejo Marifil y la secuencia sedimentaria Mesozoica-Cenozoica suprayacente.

Plutonitas del Paleozoico Superior

Son rocas intrusivas, reconocidas en las inmediaciones de las Ectinitas el Jagüelito, denominadas por Franchi et al. (1975), Haller (1976, 1979 y 1981) Granito La Irene. Por su parte Cortés (1981a, 1987) describió rocas dioríticas en la margen Norte de la Salina Chica, denominándolas Diorita Méndez. La complejidad en las interpretaciones y correlaciones estratigráficas condujeron a designarlas como Plutonitas del Paleozoico superior, estableciendo una edad entre Carbonífero superior y Pérmico, relacionadas con pulsos plutónicos.

Se trata de rocas de grano grueso, de color rosado, compuestas por plagioclasa sódica, ortosa cuarzo y moscovita. Se reconocen diques aplíticos de grano muy fino, de tonalidad rosada grisácea, integrados por abundante feldespato alcalino, cuarzo y plagioclasa.

Complejo Volcánico Marifil

Los primeros estudios corresponden a Windhausen (1921), reconociendo un complejo volcánico de características ácidas. Recientemente, Malvicini y Llambías (1972), proponen la denominación de Complejo Volcánico Marifil formando parte de un *plateau ignimbrítico* del Jurásico. Estas rocas trasgreden la Hoja Geológica 4366-II Puerto Madryn, desplegando sus afloramientos hasta Bahía Bustamante.

Los tipos litológicos dominantes comprenden tobas ácidas soldadas, lavas de composición riolítica, rocas hipabisales (pórpidos riolíticos), ignimbritas y depósitos epiclásticos muy subordinados, que incluyen areniscas en bancos de escasa potencia. El principal constituyente de la unidad son las tobas soldadas de coloración variable, gris rosado a gris oscuro, con textura porfírica a porfiroclástica, y característicos fenocristales de cuarzo. Las lavas riolíticas de coloraciones gris castaña a rojo pálido, presentan fenocristales de cuarzo y feldespato en una matriz afanítica, siendo su característica principal la lajosidad por efecto estructural y debido a diferencial térmico.

Formación La Colonia

Desde las primeras descripciones realizadas por Darwin (1846), posteriormente Windhausen (1931), hasta Pesce (1979), varios autores consideraron a las sedimentitas que conforman la

Formación La Colonia, en posiciones temporales disímiles. En trabajos recientes Ardolino y Franchi (1996), le asignan una edad Coniaciano-Maastrichtiano (Cretácico Superior).

La unidad está conformada por arcillitas, limolitas, areniscas, conglomerados y calizas, originadas en ambientes lagunares, fluviales y marinos someros. Se las reconoce por su ubicación estratigráfica, situada por encima del Grupo Chubut en discordancia angular, o discordante sobre las vulcanitas jurásicas del Complejo Marfil, limitada en su techo por la Formación Arroyo Verde.

La secuencia tipo aflora al Oeste del área de estudio, integrada por areniscas grises de granulometría variable y friables. Continúan areniscas tobáceas castaño claras, con estratificación entrecruzada y presencia de troncos opalizados. Por encima, areniscas tobáceas de color rojo pálido, con bioturbación. Culminan la secuencia fangolitas verdes friables y tufitas, arcillitas verdosas con rosetas de yeso, coronadas por areniscas gruesas de color castaño amarillento. En la zona de Sierra Chata se reconoce como techo de la secuencia, unas calizas silicificadas de color castaño amarillento, abundante presencia de restos de conchilla y fósiles.

La secuencia tipo aflora al Oeste del área de estudio, integrada por areniscas grises de granulometría variable y friables. Continúan areniscas tobáceas castaño claras, con estratificación entrecruzada y presencia de troncos opalizados. Por encima, areniscas tobáceas de color rojo pálido, con bioturbación. Culminan la secuencia fangolitas verdes friables y tufitas, arcillitas verdosas con rosetas de yeso, coronadas por areniscas gruesas de color castaño amarillento. En la zona de Sierra Chata se reconoce como techo de la secuencia, calizas silicificadas de color castaño amarillento, con abundantes restos de conchilla y fósiles.

Formación Gaiman

Haller y Mencia (1980), designan como formación Gaiman al conjunto de pelitas de naturaleza cinerítica, asignadas al denominado ciclo marino Patagoniano, de edad Eoceno superior-Mioceno inferior.

Son reconocidas con mayor magnitud en las bardas y franja costera, prácticamente en todo el desarrollo de la Hoja Geológica 4366-II Puerto Madryn, con perfiles tipo tanto en las facies orientales como occidentales. El ambiente deposicional se corresponde con el marino costero y sublitoral, con aporte de material piroclástico fino. La presencia de areniscas con estratificación cruzada denota un ambiente de alta energía, en contra posición a la alternancia de niveles de arcillita y tufitas que representan variaciones del nivel del mar.

La litología es de origen volcánico sedimentario, con alternancia de sedimentitas y piroclastitas dispuesta en bancos de estratificación normal, de color blanquecino. Las facies occidentales son más heterogéneas, mientras que las orientales, predominantes en el área de análisis, son más homogéneas y de composición tufítica. Estas últimas se originan a partir de la erosión de cenizas y tobas que fueron transportadas y aglomeradas conjuntamente con material pelítico, expuestas a ambos lados de la Ruta 3, cubierta por la Fm. Puerto Madryn. Se caracteriza por sus colores amarillentos claros, blanquecinos, con granulometría fina a muy fina, bien consolidadas y masivas, con espesores del orden de 25 m en afloramientos al Oeste de Puerto Madryn. Presentan niveles fosilíferos con moldes de bivalvos y gasterópodos, en general no se aprecia la porción basal de la secuencia.

Formación Puerto Madryn

Estudiada por Darwin (1846), Ameghino (1890), entre otros autores; Haller (1978) denomina Formación Puerto Madryn a las psamitas y pelitas de ambiente marino que afloran en las barrancas del golfo Nuevo, caracterizadas por la presencia de bancos de *Ostrea patagónica*, producto de una trasgresión contemporánea a la producida en la cuenca del Paraná (ciclo Entrerriano). Se considera a

la formación Puerto Madryn como una sola unidad litoestratigráfica, presentando transición de facies hacia el techo de la misma, en disposición concordante con la Formación Gaiman. Por su posición estratigráfica y contenido faunístico se le asigna actualmente una edad Miocena media a tardía.

La litología y el ambiente de depositación que componen a la Formación Puerto Madryn son variados. Los bancos de areniscas con estratificación horizontal y estratos con *Ostreas* asimilan una zona típica de playa y rompientes, mientras que los bancos con bioturbación representan una zona intertidal cercana a la costa. Los términos superiores de la secuencia atribuyen su origen a depósitos de lagunas litorales con abundantes evaporitas de aguas cálidas, debido a la presencia de cemento calcáreo. Las coloraciones varían entre bancos blanquecinos, castaños claros, grisáceos y verdosos.

Rodados Patagónicos

Fidalgo y Riggi (1970), denominan Rodados Patagónicos a los depósitos psefíticos de matriz arenosa que coronan las superficies mesetiformes, constituyendo planicies y pavimentos del desierto de gran extensión areal. Dentro del área de estudio ocupan aproximadamente el 100% de la superficie. En general estos depósitos tabulares, recubren uniformemente todas aquellas formaciones que subyacen a ésta.

Incluyen conglomerados polimícticos (clastos de diversos tamaños) de coloración castaña a grisácea, aglutinados por una matriz arenosa hasta arcillo-limosa, cementados parcialmente por materiales carbonáticos. Los bancos con espesores del orden de 6-8 metros en general, presentan continuidad lateral, careciendo de una fábrica definida, con clastos generalmente redondeados. Se evidencia un nivel de caliche fuertemente consolidado de variado espesor alojado por debajo del suelo vegetal.

Las características de estos depósitos, hacen suponer un ambiente fluvial dispersante de alta energía, con variaciones del sistema de flujo (Beltramone y Meister, 1993), representando una clara estructura de sistema anastomosado.

Formación Eizaguirre

Son depósitos de gravas limo-arenosas y limos arenosos que constituyen un segundo nivel agradacional, denominados como Formación Eizaguirre por Cortés (1981b, 1987). Están compuestos por clastos polimícticos tamaño guijarro pequeño, subangulosos, los cuales representarían un ambiente de abanicos aluviales, bajadas y llanuras aluviales en su extremo terminal. Dentro del área de estudio, se los reconoce en el extremo al Noroeste de los afloramientos mesozoicos, en la zona de estancia La Mala Suerte.

Formación San Miguel

Estos depósitos fueron observados por Feruglio (1950) y denominados por Haller (1981). Corresponden a gravas arenosas con abundantes restos de moluscos correspondientes a zonas de playa, por encima de la línea de máxima marea. Se los localiza en el sector costero como afloramientos aislados al NE de la ciudad, frente a la planta de Aluar y más al Norte en Golfo San José (Garganta del Delfín). Su origen se atribuye a playas de mediana y alta energía, con acción de corrientes de deriva litoral.

Depósitos Finos de Bajos y Lagunas

Se reconocen en el sector Noroeste del área de estudio, tapizando depresiones endorreicas en la zona mesetiforme. Asociados a depósitos evaporíticos, de coloraciones claras a blanquecinas, están compuestos por granulometrías pelíticas (limos y arcillas), asignados al Holoceno.

Depósitos Eólicos, Aluviales y Coluviales

Se trata de depósitos recientes compuestos por sedimentos friables de granulometría media a fina, de coloración grisácea o castaña clara. Formados habitualmente por erosión de formaciones subyacentes que ante condiciones de baja energía permitieron su depositación. Estos sedimentos en general conforman una cubierta de pocos decímetros de espesor, alcanzando en algunos sectores el metro de espesor (dependiendo si los mismos rellenan depresiones, o si se desarrollan en pedimentos de flancos, taludes, líneas de drenaje, etc.). También en sectores localizados pueden formar dunas activas, como las existentes al Sur de Pto. Madryn.

Dentro del área de estudio se encuentran rodeando los afloramientos rocosos mesozoicos en el sector Noroeste, cubriendo una zona levemente deprimida entre la RN3 y las bardas (sector de lagunas La Blanca y Juárez), y rellenando el ambiente geomorfológico entre la escarpa y la línea costera.

5.1.3 Estructuración regional

Los movimientos diastróficos afectando la zona de diferente naturaleza y edad, han tenido lugar durante el Paleozoico, Mesozoico y Cenozoico. Dichos movimientos se caracterizaron por producir fracturas, ascenso y descensos (Haller, 1981). Los lineamientos generales a nivel regional presentan dos direcciones, una preponderante NE-SO y otra de menor cuantía NO-SE.

El basamento rígido constituido por las rocas metamórficas e ígneas sufrieron diversas dislocaciones, reflejo de ello se localiza en el sector Noroeste del área de estudio. Sin embargo, la cobertura sedimentaria enmascara los rasgos tectónicos, siendo inferidos a través de la morfología superficial. Un ejemplo de ello, se reconoce en el Umbral Cerro Torrejón, el cual estaría limitado por fracturas direccionadas NE-SO, denominadas fracturas La Portada y Barrancas Blancas (Haller, 1981), tendiendo sus labios en sentidos opuestos. La fractura Barrancas Blancas probablemente haya sido el punto de partida para generar los movimientos gravitacionales originando la escarpa.

De forma generalizada el dislocamiento en bloques del basamento rígido, presenta hundimientos hacia el Sureste, incrementando en ciertos casos el espesor de la cobertura sedimentaria suprayacente.

5.1.4 Rasgos geológicos locales (Perfil litológico tipo de los dos sectores de estudio)

A partir de la información obtenida en cuatro frentes de canteras (ver ubicación de sitios relevados en Mapa 5.2, Relevamiento de campo), a continuación, se describe un perfil litológico idealizado para ambas zonas de estudio, mostrando los niveles descritos en las fotografías 5.1 a 5.4:

- **Desarrollo de suelo:** variable entre 0,30 – 0,70 m., en general es de textura franca, posee buena penetración de raíces, sin estructura, de coloración castaño clara (fotografía 5.1).
- **Nivel de caliche:** varía entre 0,60 – 2,90 m., presenta un sólo nivel fuertemente endurecido o asociado con niveles subyacentes de menor espesor de dureza moderada; incorpora en la matriz clastos subredondeados de grava gruesa y fina (fotografía 5.1).
- **Nivel de rodados:** varía entre 1,50 – 2,50 m., compuesto por gravas gruesas y medianas en general subredondeadas de matriz arenosa o areno-limosa y/o combinación de ambas, (nivel de explotación de canteras), inconsolidadas, presentando en algunos sectores cierta

gradación. Los diversos paquetes que conforman el nivel general se encuentran separados por superficies erosivas, demostrando un cambio de granulometría (fotografía 5.1).

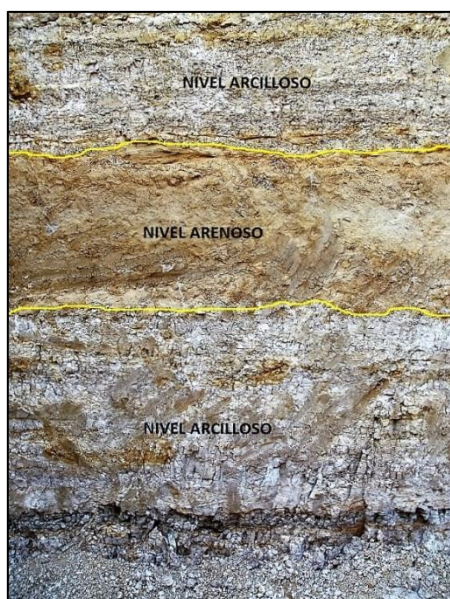
- **Nivel de arena fina sucia:** banco uniforme que subyace a los rodados, de espesor aproximado 1 m, con fósiles marinos *Ostreas* altamente meteorizadas, de color anaranjado claro, con abundantes pátinas de lixiviación de óxidos de hierro (fotografía 5.2).
- **Nivel arcilloso:** estrato uniforme de 1,20 m de espesor, color gris claro, con presencia de icnofósiles y manchas de lixiviación de óxidos de hierro (fotografías 5.2 y 5.3).
- **Nivel arenoso:** similar condición textural y espesor de banco al nivel arenoso con *Ostreas*, pero, sin presencia de ellas (fotografía 5.3).
- **Nivel arcilloso:** análogo al paquete superior en color, de espesor mayor aproximadamente 1,80 m, sin presencia de icnofósiles y manchas de óxidos de hierro (fotografía 5.3).
- **Nivel de arenisca fina y muy fina:** areniscas de color grisáceo, intercaladas con finos niveles de 2 – 4 mm de arcilla; presentan estratificación cruzada, potencia de 1,5 – 2 m, nódulos de óxido de manganeso (fotografía 5.4).



Fotografía 5.1. Perfil litológico en cantera desconocida (punto 2).



Fotografía 5.2. Cantera Sogiris (punto 56).



Fotografía 5.3. Perfil litológico Cantera Sogiris (punto 56). Fotografía 5.4. Areniscas en cantera desconocida (Punto 46).

5.2 GEOMORFOLOGÍA

Analizando la geomorfología regional (ver Figura 5.1), puede distinguirse un **ambiente costero** el cual se desarrolla paralelamente a la línea de costa; y un **ambiente continental**, considerado como un paisaje compuesto producto de la interacción de procesos de erosión hídrica, remoción en masa, acción eólica. Entre ambos ambientes se desarrolla un **relieve de erosión activa**.

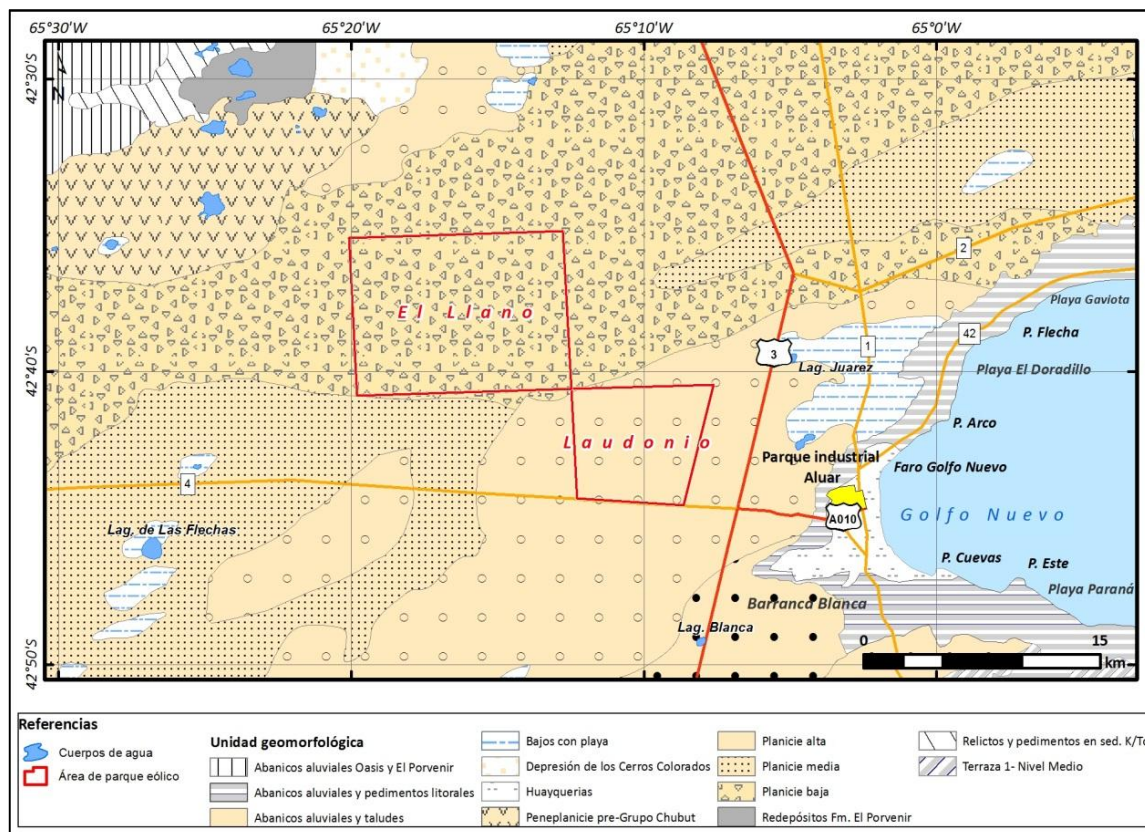


Figura 5.1. Unidades geomorfológicas en la zona de estudio (Fuente: González Días y Di Tomaso, 2011).

Los **cordones litorales elevados**, corresponden a antiguas líneas de costa, las cuales en la actualidad se encuentran por encima del nivel del mar (entre 5 y 10 msnm en general). Están compuestas por sedimentos marinos (gravas, arenas y limos arcillosos) distribuidos por lo general con orientación Norte-Sur paralelo a la línea de costa. Estas geoformas suelen estar desdibujadas como consecuencia de los diferentes procesos erosivos y de depositación (acción fluvial, eólica y gravitacional), originando depósitos heterogéneos.

Sobre el sector costanero se desarrolla también la **plataforma de abrasión**, cuya unidad está relacionada con los acantilados de bases resistentes, con un desarrollo horizontal a subhorizontal, y extensión hacia el interior del mar al Este.

Las geoformas de **relieve irregular de erosión activa**, se destacan precisamente por el grado de afectación que la erosión manifiesta en los terrenos de la Fm Gaiman. Se halla asociada por lo general a las pendientes, pero claramente diferenciable de estas por la presencia de marcas de erosión.

El sector de **serranías** se reconoce en el extremo Noroeste del área de estudio, presentando pendientes suaves y moderadas, alcanzando su máxima expresión a escala regional en cotas de 250 msnm. Constituyen una serie de bloques limitados por fracturas y fallas.

Las geoformas de **meseta** conforman un relieve plano ligeramente ondulado de suave pendiente, con incremento de cotas hacia el Sur. En las imágenes satelitales se reconoce la impronta de una red de drenaje relictual de cursos cortos, con hábito anastomosado. Los rasgos asociados a los límites del relieve generan frentes de erosión, abanicos aluviales, remoción en masa y coluvios; reconocidos en las bardas que limitan la ciudad de Puerto Madryn hacia el Oeste.

En lo respectivo a la red de drenaje, la escasez de precipitaciones en la zona, el desnivel poco pronunciado y la presencia de un nivel de caliche a escasos centímetros de profundidad, ha impedido un desarrollo destacable y consecuentemente, no hay integración de un sistema de drenaje. La red hidrográfica de carácter no permanente, del tipo efímero, con escurrimiento en sentido Noreste.

En general se reconocen dos sistemas de drenaje incipientes según el ambiente que se considere: los sistemas endorreicos, en los cuales los cauces drenan hacia bajos y depresiones locales, ubicados principalmente en las mesetas y zonas de afloramientos de rocas jurásicas (ver Mapa 5.1 y Figura 5.1); y los sistemas exorreicos de poca extensión, asociados a las zonas de escarpa, con diseños rectilíneos de vías de escurrimiento que drenan al mar.

Por lo que ha podido apreciarse en campo a escala local, el predio **Laudonio** se encuentra en un alto topográfico que ronda los 135 msnm, abarcando aproximadamente el 90% de la superficie, en la unidad geomorfológica de Planicie Baja (Figura 5.1; ver fotografías 7,8, 11 y 12 en Anexo 2); las cotas descienden suavemente hacia la porción Norte reconociéndose las menores en el vértice Noroeste, rondando los 110 msnm (ver fotografías 13 y 14 en Anexo 2). Probablemente, el escenario mencionado se atribuya a una condición estructural del basamento rígido, coincidente en superficie con un cambio de unidad geomorfológica.

En el caso del predio **El Llano**, situado a menor altura (cerca a 115 msnm) presenta regularidad topográfica, prácticamente es una superficie plana de suave pendiente hacia el Noreste, dentro de la unidad geomorfológica de Peneplanicie Pre-Grupo Chubut (Figura 5.1). Se reconoce ampliamente la impronta de una red de drenaje relictual en esta zona, conformada por una densidad de cauces cortos del tipo anastomosado, algunos de los cuales se han podido identificar en cortes de canteras (paleocanales) o se infieren por la disposición alineada de la vegetación arbustiva (ver Fotografías 16 y 17 en Anexo 2).

A partir de la observación de la imagen satelital (ver Mapa 3.1), se aprecia en el ámbito de la zona estudiada una franja deprimida con características de valle, describiendo una forma de “S”, controlada por un fuerte condicionante estructural, con cotas que descienden desde el Suroeste hacia el Noreste, y que actúa de divisoria entre ambos predios. De forma discontinua presenta una red de drenaje no permanente de carácter efímero, con anegamientos temporarios en algunas depresiones dentro del paisaje (sitios relevados GPS 5 en predio Laudonio, ver Anexo 2).

5.3 HIDROGEOLOGÍA

En este capítulo se describen las principales unidades hidrogeológicas identificadas a escala regional, a partir de los datos del relevamiento, de perforaciones antecedentes y la exploración geofísica antecedente; analizando posteriormente los comportamientos hidrodinámicos (escala regional).

La descripción geohidrológica superficial (acuífero freático) fue abordada en los trabajos realizados por Hidroar en el año 2009 y recientemente en setiembre 2016, para el sector de Planta ALUAR y alrededores. Mediante los datos obtenidos en esta oportunidad, el trabajo se focaliza en la

identificación del posible acuífero libre alojado en los materiales porosos subyacentes donde se emplazan los predios, y en la caracterización del acuífero profundo.

5.3.1 Contexto hidrogeológico

Si bien el contexto hidrogeológico regional identifica un **acuífero libre** somero en la zona, en el área estricta del polígono de estudio no se evidencia este acuífero; más bien los puntos relevados manifestaron la existencia de un acuífero profundo. No obstante, un punto relevado por Hidroar (2016), evidenció la presencia de un nivel de agua sub-superficial en las instalaciones de la Estación Transformadora TRANSPA, en cercanías a la RN3, por lo que se interpreta que hay zonas acuíferas restringidas (sin continuidad lateral), probablemente relacionadas a un **acuífero colgado** de dimensiones reducidas, escasa potencia y pobre en producción.

Se reconoce en toda la región un **acuífero confinado**, si bien podría existir la condición semi-confinada, no establecida actualmente. Los registros de perforaciones antecedentes muestran variaciones de potencia acuífera, sujetas a los espesores sedimentarios asociados a los dislocamientos del basamento rígido. Texturalmente se hallaría un medio primario, secundario y/o combinación entre ambos en función de su consolidación.

Los medios acuíferos por debajo de los 70 m de profundidad, en base a datos antecedentes para alrededores de la planta ALUAR (Hidroar, 2009) y según la exploración geofísica reciente (Hidroar 2016), se localizarían en diferentes niveles permeables de la Formación Gaiman (areniscas) y, Formación La Colonia (areniscas y conglomerados), separados entre sí por las fracciones más finas de estas mismas unidades (capas de arcillitas, limolitas y tobas) que funcionarían como acuitardos y/o acucludo.

Los parámetros físico-químicos medidos in situ en perforaciones profundas (ver ítem 5.3.2), presuponen condiciones litológicas isótropas en sentido vertical y heterogeneidad en sentido lateral, reflejando aguas salobres e incluso salinas (Conductividad eléctrica entre 8.900-12.900 $\mu\text{S}/\text{cm}$), con valores de pH neutro a levemente alcalino, temperatura (T°) promedio de 22,5 $^\circ\text{C}$, potencial rédox (Eh) fuertemente negativo, y salinidades mayores a 4 mg/L.

➤ **Unidades hidrolíticas identificadas**

Partiendo de la caracterización geológica presentada en el ítem 5.1.2 y en función de la evaluación de los registros de perforaciones antecedentes, se clasificaron las unidades hidrolíticas presentes en el sector de estudio.

La carencia de información referente a la construcción de perforaciones (perfiles litológicos) y pozos excavados mayores a 15 metros, conduce a suposiciones fundamentadas de la experiencia de profesionales en la región.

En el cuadro 5.2 se resumen las principales unidades mencionadas, indicando su condición hidrolítica, espesores estimados, características químicas destacables y distribución en la zona analizada; elaborado a partir de los datos de campo, información verbal de propietarios y técnicos, y datos antecedentes.

Unidad estratigráfica	Medio	Unidad hidrolitológica	Tipo de acuífero	Permeabilidad estimada	Espesor saturado	Prof. Estimada techo en zona Planta	Distribución areal	Calidad de agua
Depósitos Eólicos, Aluviales y Coluviales	Primario	Acuífero	Libre	Moderada-baja	2-7 m	2 - 4 m	Local	Salobre - salada
Sedimentos Finos de Bajos y Lagunas		Acuitardo - Acuícludo				-		
Fm. San Miguel	Primario	Acuífero	Colgado	Alta	1-2 m	-	Restringido	Dulce
Fm. Eizaguirre	Primario	Acuífero	Libre	Alta-moderada	2-4 m	-	Local	Dulce
Rodados Patagónicos	Primario	Acuífero	Libre	Alta-moderada	2-10 m	2 - 5 m	Regional	Dulce - Salobre
Fm. Puerto Madryn		Acuitardo - Acuícludo				10 m		
Fm. Gaiman	Primario - Secundario	Acuífero	Confinado - Semiconfinado	Moderada-baja	4-8 m	>70-100 m	Regional	Salobre - salada
		Acuitardo - Acuícludo						
Fm. La Colonia	Primario - Secundario	Acuífero	Confinado	Moderada	2-5 m	>150-200 m	Regional	Salobre - salada
		Acuitardo - Acuícludo						
Complejo Marifil	Secundario	Acuífero?	?	?	?	> 200-250 m	Regional	?
		Acuífugo						
Plutonitas del Paleozoico superior	Secundario	Acuífero?	?	?	?	-	Local	?
		Acuífugo						
Ectinitas El Jagüelito	Secundario	Acuífero?	?	?	?	-	Local	?
		Acuífugo						

Cuadro 5.2. Unidades hidrolitológicas identificadas en la zona de análisis.

La correlación espacial entre las unidades mostradas en el cuadro 3, en referencia al acuífero confinado y/o semiconfinado objeto de estudio, tuvo en cuenta la descripción litológica de algunas perforaciones antecedentes de la Dirección General de Minería, y similitudes en parámetros in situ, principalmente la conductividad eléctrica.

Por último, si bien en el cuadro anterior se muestran las unidades acuíferas someras (acuífero libre), presentes a escala regional, se apunta a evaluar el medio acuífero profundo en este caso, que es el que ha sido identificado en los predios de análisis.

➤ **Análisis de perforaciones antecedentes**

Además de la perforación de agua citada en el informe de Hidroar en 2009 (pozo del Instituto del Agua “Ex Recursos Hídricos de la prov. de Chubut”), las perforaciones descriptas en la bibliografía, para el área de Puerto Madryn y alrededores, totalizan ocho sondeos (“Datos de perforaciones de la provincia de Chubut”, del Instituto Nacional de Geología y Minería – Servicio de Aguas Subterráneas, 1966), de las cuales se utilizaron cinco, con el fin de reconocer la profundidad de uno o más niveles litológicos representativos como acuífero confinado/semiconfinado.

El procesamiento de la información requirió un arduo trabajo, ya que el sistema de posicionamiento de los pozos empleado antaño difiere del actual y resulta difícil de ajustar. Por tal motivo, se ubicaron los puntos considerando como referencia adicional los cascos de estancia y/o puestos de éstos. Las descripciones litológicas son saltuarias, no responden a una metodología específica (ejemplo: cada metro, dos metros, etc.), y su asignación estratigráfica no está clara por la antigüedad de los pozos. Adicionalmente, se desconoce si los pozos han sido de estudio o de explotación, su diseño de pozo (diámetro de encamisado, posición de filtros, cañería ciega, etc.), entre otros datos de interés como para poder precisar acuífero captado en profundidad. Por lo tanto,

se han tomado sólo a modo orientativo para reconstruir el subsuelo en el área de análisis, y correlacionar unidades aplicando los conocimientos geológicos más actuales.

Se denominaron a las perforaciones bajo la siguiente nomenclatura de Oeste a Este: pozos P-7, P-5, P-4, P-1 y P-2, cuya ubicación se muestran en el Mapa 5.3 adjunto, salvo la P-7 que se ubica al Oeste fuera del área. Las profundidades de los pozos oscilan entre los 110 y 400 m.b.n.t, y todas alcanzaron el basamento rígido (Fm Marifil), exceptuando la perforación P-4.

La descripción litológica en base a los detritos de perforación, refleja espesores disimiles de la cobertura sedimentaria, principalmente en la porción superior, compleja de correlacionar lateralmente. A través de transformación por cotas IGM, se logró esquematizar un corte geológico Oeste-Este, el cual se muestra en la Figura 5.2. Se reconocieron dislocamientos de bloques correspondientes al basamento rígido, producto de las estructuras mencionadas en el ítem 5.1.3.

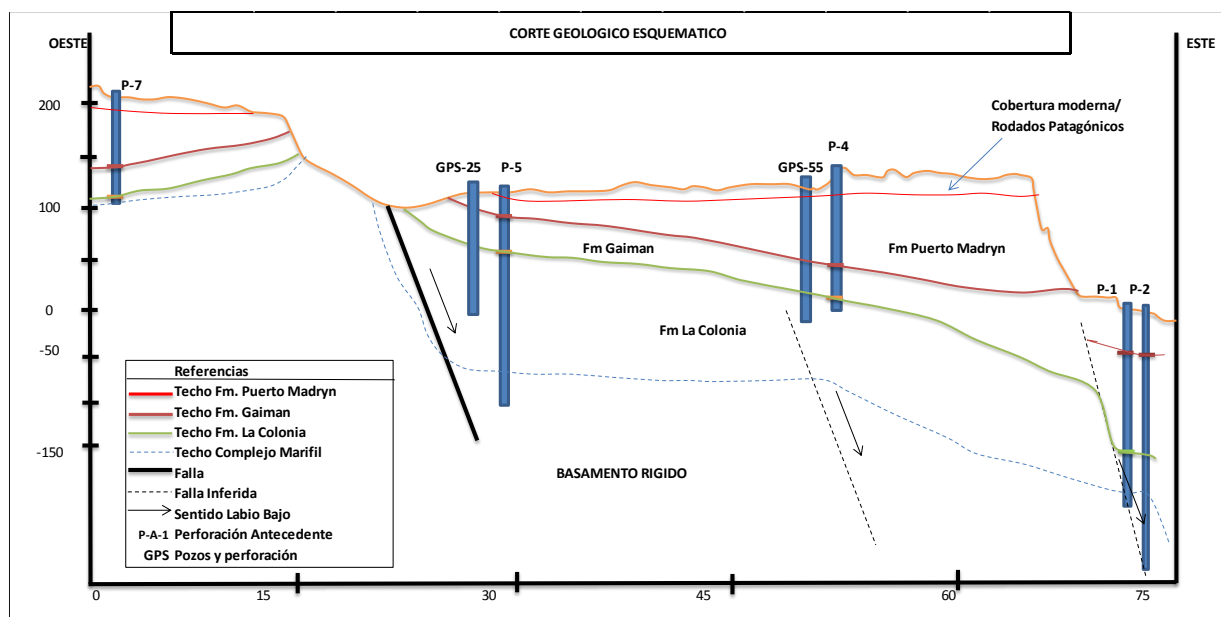


Figura 5.2. Corte geológico esquemático de escala regional, con orientación Oeste-Este.

En el corte esquemático (figura 5.2) se identificaron dos capas representativas de unidades acuíferas en profundidad, la primera posee entre 1 – 3 metros de espesor, compuesta por arenas finas y muy finas, la que posiblemente se asocie a la Fm Gaiman. La segunda, más profunda con espesor entre 1 – 2 metros de espesor, constituida por arenas medias-arenas gruesas-conglomerados finos, atribuible a la Fm La Colonia.

5.3.2 Relevamiento de campo

La recorrida de campo realizada entre los días 25 al 28 de Octubre planteo dos objetivos: censar manifestaciones de agua subterránea (subsuperficial y profunda), reconocer el perfil litológico de los primeros 10 metros en la zona de análisis, e identificar la presencia de algún sistema de drenaje superficial.

En relación a las manifestaciones de agua subterránea, se censaron tres pozos cavados y una perforación (ver Mapa 5.2, y figura 5.3), a los efectos de establecer las profundidades de niveles de agua, profundidad de perforación y/o pozo (Cuadro 5.3), y determinar parámetros físico-químicos in situ. El resto de los puntos relevados corresponden a descripción de perfiles en canteras, ajuste en

terreno de imagen satelital, y otros puntos relevantes, los cuales se presentan en el Anexo 1, incluyendo su registro fotográfico.

Pto gps	REF. de CAMPO	Uso	Latitud	Longitud	COTA (m.s.n.m.)	PROFUNDIDAD AGUA m.b.n.t.	PROFUNDIDAD POZO (m.b.n.t.)	NIVEL CORRG. (m.s.n.m.)	pH	T (°C)	Cond (µs/cm)	Salinidad (mg/L)	ORP (mv)
6	pozo cavado	sin uso	-42.71059	-65.15618	133	104.82	110 + ?	28.18					
25	pozo cavado	sin uso	-42.63305	-65.27232	113	81.56	105 + ?	31.44	7.66	22.54	12900	7.44	(-)90.4
54	pozo cavado	gandero	-42.65129	-65.13543	108	85.56	105 + ?	22.44	7.24	23.41	9901	5.58	(-)124.8
55	perforacion	etapa de desarrollo	-42.73466	-65.27989	118	79.47	128.00	38.53	8.26	22.57	8900	4.9	(-)155.2

Referencias: msnm: metros sobre el nivel del mar; m.b.n.t: metros bajo nivel de terreno; µs/cm: micro Siemens/centímetro; mg/l: miligramo/litro.

Cuadro 5.3. Relevamiento Hidroar Octubre 2016. Censo de perforaciones y pozos.

Como puede verse en el Cuadro 5.3, los diámetros de los pozos cavados son similares y se asemejan en su construcción, calzados con hormigón hasta la zona acuífera. Las características constructivas de los pozos cavados son las siguientes:

- el punto GPS 6 presenta un diámetro de 1,10 m, brocal de 0,70 m;
- el punto GPS 25 tiene 1,10 m de diámetro, brocal de 0,50 m;
- el punto GPS 54, tiene 1,20 m diámetro y no presenta brocal.

En cuanto a la perforación medida (punto GPS55 en Cuadro 5.3), se encuentra encamisada en PVC K8 de 4", posee un caño saliente de 0,65 m, 42 m de filtro con ranurado manual, y el resto de la cañería es ciega. El engravado del pozo ha sido con pre-filtro de granza diámetro 8-10 mm.

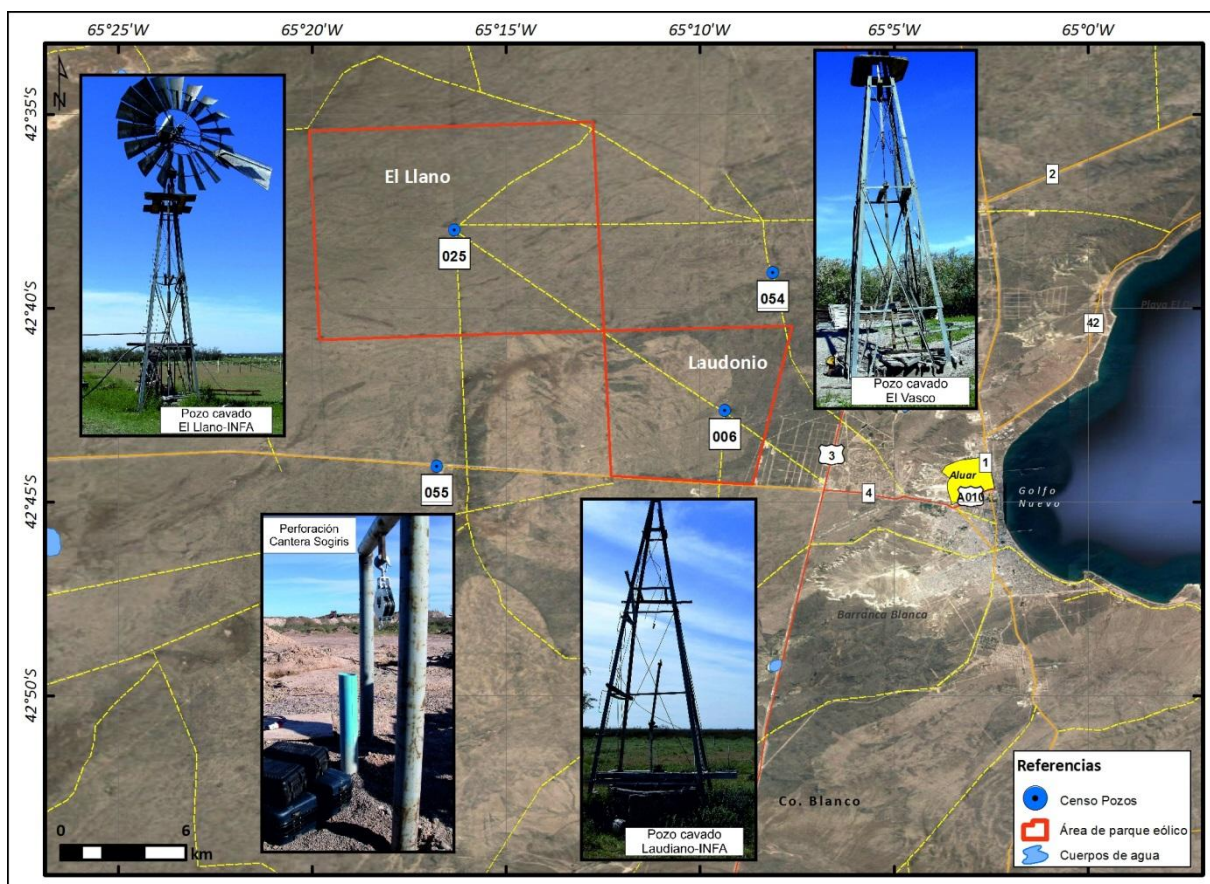


Figura 5.3. Manifestaciones de agua subterránea censadas en la zona de estudio (Octubre 2016).

El relevamiento de varias canteras de áridos permitió identificar la litología sobre los perfiles de explotación, donde las profundidades observadas oscilan entre 4 – 10 m.b.n.t. En ninguna de las canteras se vislumbró presencia de nivel freático, no obstante, en los puntos GPS 53 y 58 (ver Anexo 1), se reconoció un nivel arenoso muy húmedo, con presencia de concentraciones salinas cloruradas, como se muestra en las fotografías 5.5 y 5.6.



Fotografías 5.5 (izq) y 5.6 (dcha). Nivel arenoso húmedo en cantera Sogiris; y nivel arenoso húmedo, en cantera desconocida, respectivamente.

Los puntos obtenidos en campo confirmaron la interpretación realizada en la imagen satelital, en relación a la carencia de una red de drenaje definida. Eventualmente, en las depresiones se reconoció un sistema endorreico con drenaje centrípeto de escaso recorrido, débilmente encauzado. Los puntos donde se observó acumulación de agua sobre el camino establecen un cambio en la condición textural (mayor contenido de finos), situados en zonas levemente deprimidas asociadas a la red anastomosada relicto.

➤ **Parámetros físico-químicos medidos in situ**

A través del procesamiento de los valores de Conductividad Eléctrica (CE) adquiridos durante el relevamiento de campo, se notó una dispersión espacial en valores obtenidos para este parámetro, manteniéndose dentro de un rango prácticamente constante los valores de temperatura, situación que permitió correlacionar los datos de agua adquiridos, y corresponderlos al mismo acuífero.

Cabe destacar como salvedad que los datos in situ adquiridos en los puntos GPS 25 y GPS 55, en el primer caso corresponden a un molino en desuso por más de 4 meses, lo que favorece el incremento de solutos disueltos; y en el segundo punto (GPS 55), los bajos valores de CE y salinidad pueden estar interferidos por agua de reúso utilizada en el lodo de perforación y limpieza parcial del pozo, ya que la medición fue hecha en una etapa previa al desarrollo del pozo.

No obstante, a través del procesamiento de valores de CE adquiridos en este relevamiento de Octubre, y con los datos previos recopilados por Hidroar en la zona (Junio 2016), se elaboraron curvas de isoconductividad eléctrica, con equidistancia de 1mS/cm, como se muestra en la Figura 5.4.

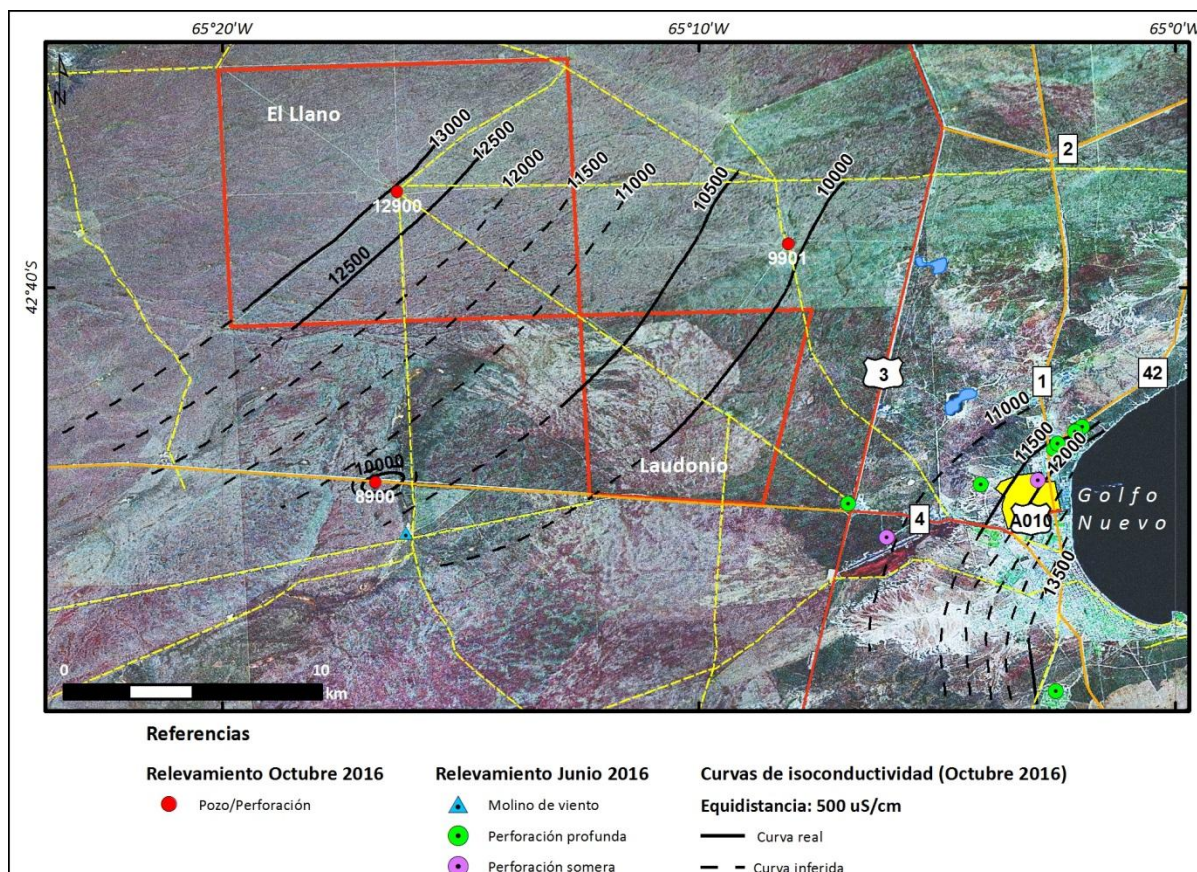


Figura 5.4. Valores de conductividad eléctrica medida in situ en acuíferos profundos en la zona de estudio.

Pueden apreciarse en dicha figura dos isolíneas de 10 mS/cm representando la menor conductividad eléctrica, a modo de franja en la zona de meseta, ocupando prácticamente la totalidad del predio de Laudonio. A partir de esta zona divergen los valores de Conductividad Eléctrica, con tendencia al aumento la concentración de solutos disueltos hacia el Este (en sentido del flujo subterráneo) hasta valores de 14 mS/cm; y aumento también hacia el Oeste hasta alcanzar valores de 13 mS/cm en sentido contrario al flujo subterráneo.

Particularmente en la zona del punto GPS 55, se observan curvas concéntricas indicando disminución en este parámetro hasta el mínimo valor registrado de 8,9 mS/cm.

5.3.3 Hidrodinámica

En este apartado se excluye el análisis del acuífero libre, al carecer de información local. En el caso de los acuíferos profundos, en líneas generales el basamento hidrogeológico lo compone el Complejo Volcánico Marifil, infrayacente a la secuencia sedimentaria Cretácica-Terciaria, cuyo control estructural impone el comportamiento hidrodinámico de los sistemas acuíferos confinados en la zona.

El mapa de Isopiezas (Mapa 5.3 adjunto), se elaboró considerando un medio homogéneo, acuífero de extensión regional y similares propiedades intrínsecas. Para ello, los niveles piezométricos medidos, fueron transformados de profundidad de agua a cotas IGM (m.s.n.m) partiendo de alturas del terreno obtenida de un DEM de resolución espacial de 30 m (fuente: Landsat 8). Los errores altimétricos no superan el metro y medio, aceptable para la distribución de puntos censados.

Las isopiezas, construidas con una equidistancia de 5 metros, responden a las premisas establecidas, permitiendo trazar las líneas de flujo preferencial. El trazado en parte es inferido, condición establecida a causa de la información dispersa.

Se aprecia en la zona mesetiforme un sentido de escurrimiento subterráneo general para el medio profundo hacia el Este-Noreste, y en el sector de bardas a partir de la fractura inferida Barrancas Blancas es Este-Sureste; en concordancia con la inclinación de los bloques del basamento hidrogeológico (Fm Marifil), con disposición de los filetes de flujo (dirección del escurrimiento subterráneo) paralelos entre sí.

Las isopiezas muestran un descenso general hacia el Este, partiendo de 40 m.s.n.m., hasta alcanzar 0 m.s.n.m. hacia la costa. En la zona mesetiforme las curvas equipotenciales adquieran un espaciamiento regular, denotando hacia el Sur una leve inflexión en sentido Este.

Considerando lo expuesto, la zona de recarga se localiza al Oeste-Noroeste del área de estudio, vinculada a los afloramientos de sedimentitas Cretácicas y Terciarias en las zonas de mayor altura. El sector mesetiforme correspondería a la zona de circulación o tránsito, implantándose la zona de descarga regional al Este, en la franja costera, bajo el nivel del mar o próximo a él.

➤ **Profundidad del agua subterránea**

Como se mencionó antes, durante el relevamiento de campo no se reconoció un acuífero libre y/o acuífero colgado. La zona no saturada (ZNS) presenta una potencia de al menos 10 – 12 m visibles, correspondientes a la máxima profundidad relevada en canteras (punto GPS 46).

Se observaron en dos canteras (puntos GPS 53 y 57), un nivel arenoso muy húmedo, aproximadamente a 3 – 5 m.b.n.t., con evidencia de concentraciones salinas cloruradas, que hace presuponer un medio saturado esporádico muy localizado a esta profundidad, sin llegar a considerarse horizonte de interés acuífero.

El medio acuífero confinado y/o semiconfinado en profundidad muestra los niveles piezométricos (N.Pz) vinculados directamente con la profundización de su emplazamiento, evidenciando la cota de agua más elevada (39,5 msnm) hacia el Oeste, donde los niveles de agua son más profundos superando los 50 mbbp o más (punto GPS12, Establecimiento Lacunsa, Hidroar 2016). Muy cercano a este punto, se relevó el punto GPS 55, registrando una cota de 38,53 msnm. El punto GPS 25, refleja una cota cercana a los anteriores, levemente inferior. La altura del agua se reduce en la zona de los puntos GPS 6: 28,18 msnm. y GPS 54: 22,44 msnm, que presentan las menores cotas, demostrando la profundización del acuífero hacia este sector.

Las profundidades del nivel de agua, correspondiente al acuífero confinado profundo, oscilan entre los 80 – 104 mbnt, desde el Oeste hacia el Este respectivamente.

5.3.4 Modelo hidrogeológico conceptual

El modelo conceptual que se plantea intenta representar las condiciones hidrogeológicas reales de la cuenca subterránea y su funcionamiento hidrodinámico, a partir del análisis conjunto de la información adquirida (relevada y antecedente), geología, geomorfología, hidrolitología.

Para la integración del modelo conceptual que permita arribar a un resultado congruente, se carece de información relevante hidráulica de los pozos, no obstante, con la información procesada y generada se establecen los siguientes elementos: condiciones de borde e hidrogeología.

➤ **Condiciones de borde**

Se consideran como **bordes o límites laterales del modelo**, al Oeste y Noroeste del área, a los afloramientos del basamento rígido de rocas extrusivas considerado como sistema acuífugos (Fm Marifil). Hacia el Suroeste (zona de Ea. La Flecha) se reconocen afloramientos aislados del basamento rígido, presuponiendo que a profundidades someras se localizaría presentando la misma condición acuífuga.

Limitando con estas rocas afloran las formaciones La Colonia y Gaiman, actuando bajo las siguientes condiciones según la predominancia de materiales más o menos finos en su matriz sedimentaria:

- **Acuífero de simple y/o doble porosidad**, con comportamiento confinado y/o semiconfinado, se consideran a los niveles arenosos y gravo-arenosos de ambas formaciones, establecidos como zonas de recarga y/o conducción de agua subterránea;
- **Acuitardo y/o Acuicludo**, a las capas constituidas por arcillitas y rocas piroclásticas, con flujo lateral y vertical limitado.

En posiciones levemente elevadas recubriendo parcial o totalmente a las formaciones cretácicas y terciarias antes mencionadas, se reconoce a la Fm. Eizaguirre de características acuíferas restringidas, con flujo vertical y lateral local, la que actúa como recarga del acuífero libre y/o del acuífero confinado inferior en la zona occidental.

Los niveles acuíferos profundos de interés, se corresponden con facies psamíticas dentro de la secuencia sedimentaria, limitados por rocas piroclásticas, arcillitas y limolitas de la misma secuencia, con espesores variables entre 70 y 170 m limitando el primer acuífero y 60-100 m limitando el segundo nivel confinado. Se asumen a priori valores medios a bajos de permeabilidad para estos acuíferos, por la constitución de sus materiales, y falta de conexión hidráulica entre niveles acuíferos.

Los depósitos modernos se encuentran asociados al acuífero libre, también de distribución aislada en general en esta zona. La cubierta terciaria-cuartaria de Rodados Patagónicos opera como recarga del sistema freático en las zonas mesetiformes al Oeste de la Ruta Nacional Nº 3.

Al Sur y al Este, los afloramientos de las formaciones Gaiman y Puerto Madryn evidencian condiciones acuitardas y/o acuicludas locales, con predominio de facies finas. En esta zona, se presentan afloramientos aislados de la Fm. San Miguel, de características acuíferas aunque muy restringido arealmente, al igual que los depósitos aluviales y eólicos que se vinculan con espesores de acuífero libre en los alrededores del área estricta de los predios El Llano y Laudonio.

Al norte no se reconocen afloramientos del basamento rígido, los rodados Patagónicos y el límite establecido por el polígono de estudio confinan la condición de contorno.

Los **límites verticales del modelo** están representados por la superficie topográfica en la parte superior y por el basamento hidrogeológico constituido por las rocas extrusivas del complejo volcánico Marifil, el cual se localiza en superficie en los puntos de afloramiento antes mencionados al Oeste, profundizándose hacia el Este, donde las profundidades varían según su posición estructural entre 90 -250 m.b.n.t.

Entradas del sistema:

La recarga considerada es natural (recarga directa), a partir de las precipitaciones en las zonas de afloramiento del paquete sedimentario y sobre los niveles psefíticos en la zona de meseta, dependiendo del espesor y continuidad lateral del nivel de caliche. El acuífero libre instalado en los sedimentos modernos en las inmediaciones, presenta recarga natural directa regionalmente y localmente existen casos de recarga artificial por efectos de riego y/o pérdidas de conducciones de agua, dependiendo de la cercanía a sectores antrópicos (ej.: utilización de agua de reúso).

El sector donde se sitúan los predios es una zona de circulación subterránea de los acuíferos descriptos, con descarga regional al Este, hacia el mar.

Salidas del sistema:

Para el medio confinado la descarga se produce en el mar bajo el nivel de referencia y las perforaciones de explotación, mientras que el acuífero libre presenta dos condiciones de salida: descarga subterránea sobre la línea de costa y pérdidas por evaporación-evapotranspiración superficial/subsuperficial en los sectores donde la ZNS (Zona No Saturada) no supere 1,5 metros de espesor.

➤ **Hidrogeología**

El sistema acuífero se divide en dos: acuífero sub-superficial de condición local, acuífero profundo regional constituido por dos unidades, confinado superior y confinado inferior.

El acuífero sub-superficial, atribuible a un medio primario, está formado por sedimentos granulares de variada granulometría, incluyendo Rodados Patagónicos y Depósitos aluviales y eólicos, supeditado a la posición topográfica y geomorfología de los depósitos. Se reconocen sectores con zonas lenticulares a modo de acuíferos colgados, y áreas de interdigitación donde interactúa con acuitardos. El hidroapoyo de este acuífero lo conforman niveles arcillosos o limo-arcillosos, estratos rocosos de tobas, arcillitas o cineritas.

Los niveles freáticos son someros, de escasa potencia, baja producción, vulnerables a la contaminación, con calidad de agua no apta para consumo humano. El flujo regional es hacia el Este y de forma localizada hacia el Este-Sureste, con velocidad efectiva de flujo subterráneo estimada en el orden de 0,01 m/día (Hidroar 2009, 2016).

El acuífero profundo puede albergar un medio primario, secundario o combinación entre los dos; lo conforman areniscas de diversa granulometría intercaladas con niveles areno-limosos y gravo-arenosos. Posee aparente homogeneidad lateral y heterogeneidad vertical. Los espesores de ambos acuíferos confinados varían entre 2 y 5 m, desconociéndose si en las zonas donde se profundiza el paquete sedimentario logra alcanzar mayores espesores.

El hidroapoyo del acuífero confinado superior está constituido por arcillitas y limolitas, similares rocas y basamento rígido que regulan el acuífero confinado inferior. Las cotas piezométricas manifiestan valores positivos hacia el Oeste y negativos hacia el Este, con cotas de agua entre 32 y -1 msnm, respectivamente (Hidroar, Junio 2016). La productividad del acuífero superior se vincula a los caudales de explotación de perforaciones relevadas, 12 m³/h, no existiendo cuantificación de

caudales actualmente para el acuífero inferior, si bien en los antecedentes de perforaciones de Minería de Nación se presentan caudales ensayados (método de cuchareo) de 36 m³/h. La calidad del agua es inapta para consumo humano de acuerdo a la información que se tiene, y quizá para riego bajo ciertas restricciones.

El flujo regional en el caso del medio profundo es hacia el Este, Noreste y Sureste, con velocidad efectiva de flujo subterráneo se presupone en el orden de 4×10^{-05} m/día. La baja velocidad de flujo y distanciamiento a la zona de recarga admite que se encuentra en presencia de aguas relativamente antiguas, manteniendo un periodo prolongado en contacto con el acuífero permitiendo reacciones químicas que incorporarían solutos a lo largo del flujo subterráneo.

6 CARACTERIZACION HIDROLÓGICA

6.1 Cuencas

El trazado de las cuencas hidrográficas se realizó utilizando los modelos de elevación digital del terreno disponibles en el IGN (MDE-AR), elaborados a una escala de 1:100.000 con un tamaño de pixel de aproximadamente 30m x 30m. Tanto para la demarcación de las cuencas como para el trazado de la red de drenaje se utilizaron imágenes Esri como apoyo.

La figura 6.1 muestra las cuencas hidrográficas en las que se hallan ubicadas las dos áreas en estudio (ver también Mapa 6.1). Se trata de dos grandes cuencas de baja pendiente, con una red de drenaje dominada por cursos anastomosados con dirección principal SO-NE, que conducen a bajos locales, de escasa profundidad en su mayoría.

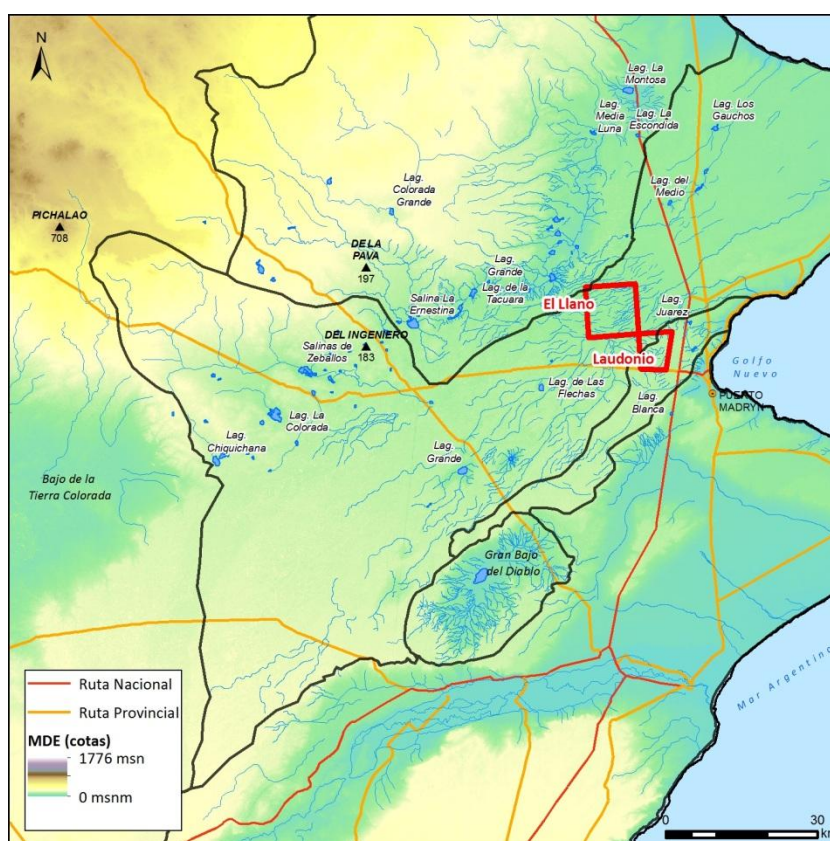


Figura 6.1. Cuencas hidrográficas.

Las cotas mayores se encuentran en el extremo NO, con valores superiores a los 500 msnm sobre el cerro Pichalao. Las cotas menores, corresponden al área del predio El Llano, del orden de 110 msnm. Hasta esta zona, la cuenca acumula una superficie de aproximadamente 5.490 km².

La topografía se presenta en general suave, a excepción del extremo NO en donde la presencia del cerro Pichalao genera algunas pendientes importantes, dando origen a cursos de mediana magnitud, que terminan principalmente en las Salinas de Zeballos, y las lagunas Chiquichana y La Colorado. Más allá de esta área, prácticamente no se aprecian cursos importantes.

Como consecuencia de la baja pendiente general del terreno los procesos morfométricos tienden a crear geoformas locales, como dunas, albardones y bajos, que a su vez ejercen una influencia sobre los procesos hidrológicos y de formación del paisaje dentro de la llanura.

La figura 6.2 muestra un detalle de la topografía y red de drenaje a una escala local. Puede observarse que el área El Llano, como su nombre lo indica, posee una topografía homogénea, en donde su pendiente media en el sentido de la red de escurrimiento, es del orden de 0,05 %, tal como se muestra en el perfil de sección S-1. La cota del área se encuentra entre 115 msnm (extremo Oeste) y 110 msnm (extremo Este).

Por su parte, en el área Laudonio existe un marcado desnivel de unos 25 m (ver gráfica de sección S-3) proporcionado por una terraza a cota 135 msnm que abarca prácticamente toda su superficie, y el extremo NO que va hacia el llano a cota 110 msnm, apreciándose una franja deprimida ENE-OSO con características de valle, controlada estructuralmente (ver ítem 5.2, Geomorfología). En la gráfica de la sección S-2 puede verse el descenso gradual de las pendientes en las zonas mesetiformes hacia el ENE, por efectos de la estructuración regional de bloques del basamento y secuencia sedimentaria suprayacente, en estas zonas de peneplanicie.

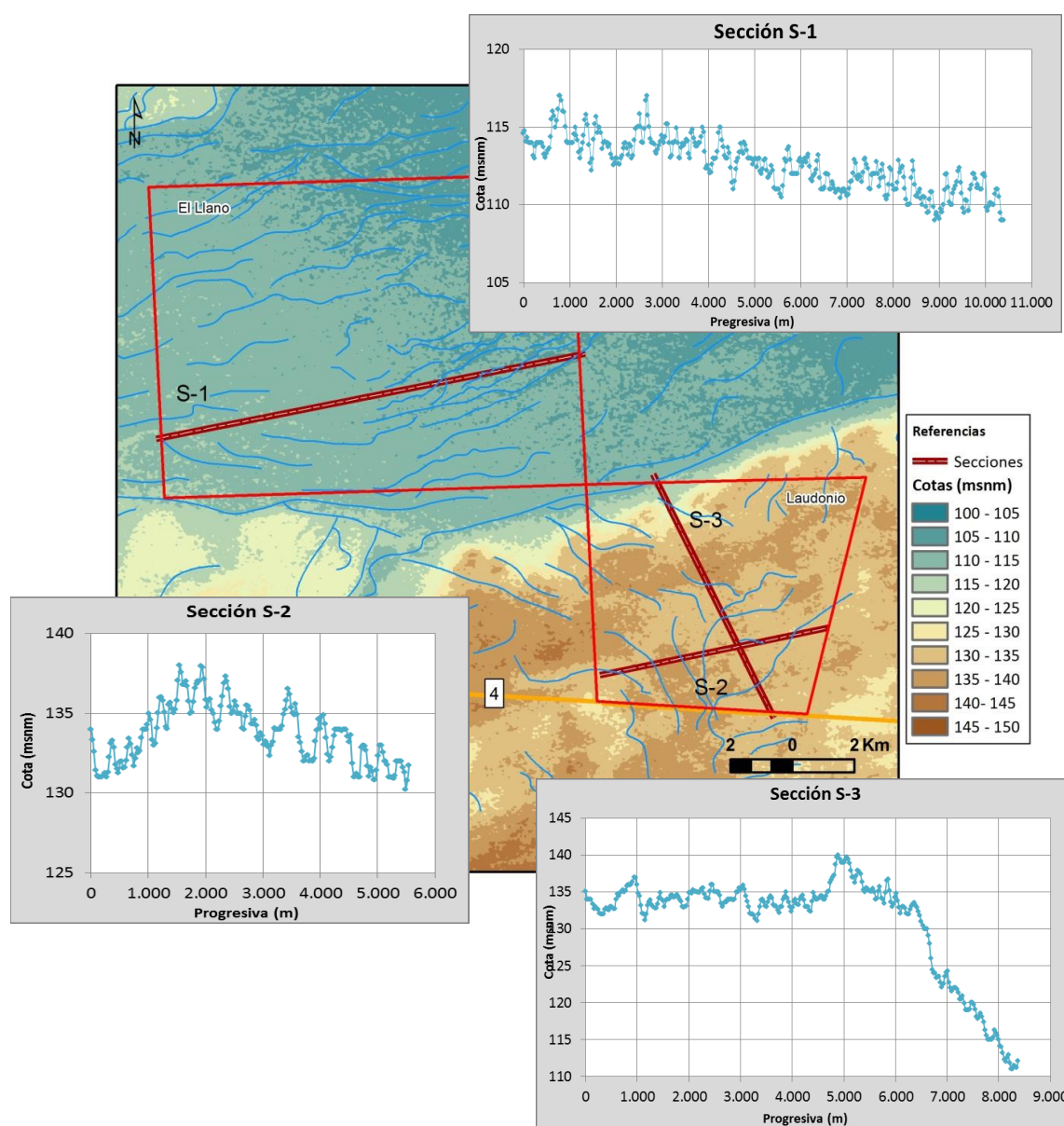


Figura 6.2. Modelo de elevación del terreno y perfiles de sección transversal.

En el sentido E-O, la sección S-2 muestra un pequeño incremento de nivel en la zona central con una cota máxima del orden de 135 msnm y mínima cercana a 130 msnm.

Si bien los sentidos de escurrimientos regionales son, como ya fue mencionado, en dirección SO-NE, localmente se muestran heterogéneos, sin un patrón dominante. En base a la topografía disponible, se generó un mapa de sentidos de escurrimiento de terreno, en donde cada flecha definida en la figura 6.3 representa la dirección mayoritaria del flujo en un área de 500 m x 500 m (tamaño de pixel adoptado para la elaboración de dicha figura). Puede observarse que las flechas tienden a apuntar hacia los cauces escasamente definidos, siguiendo pendientes locales.

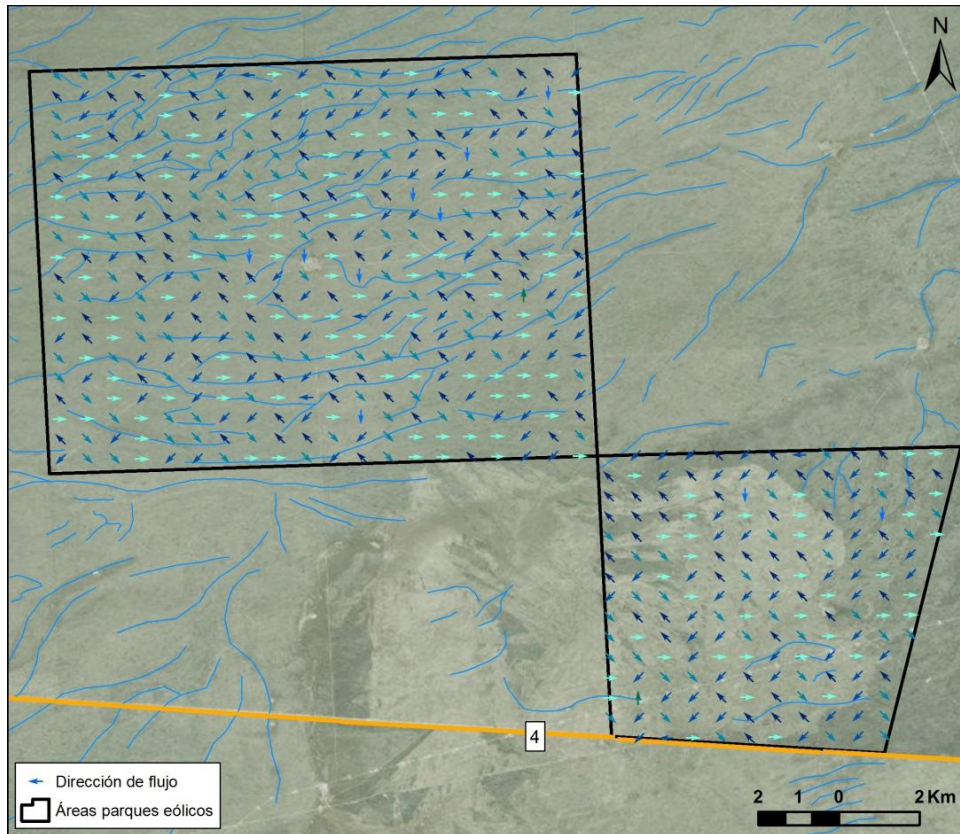


Figura 6.3. Modelo de elevación del terreno y perfiles de sección transversal.

Simulación de anegamientos

En el área, no existen zonas naturalmente anegables, más allá de algunos bajos de pequeñas dimensiones, factibles de acumular agua temporalmente.

Para el supuesto de un ascenso del nivel freático o anegamiento por limitación del escurrimiento superficial, la figura 6.4 esquematiza una situación hipotética “simulación”, donde se considera que la superficie de agua posee la misma cota en toda su extensión.

En la primer imagen de la figura 6.4, de cota 110 msnm, sólo se vería afectado el extremo NE del área El Llano. Un ascenso de 2 m, involucraría prácticamente la mitad del área, en función de su pendiente. Finalmente, la situación de un manto de agua a una cota 115 msnm, inundaría por completo El Llano.

El área Laudonio comenzaría a verse afectada para un manto a cota 130 msnm, aumentando su extensión cuando la cota alcanza 135 msnm.

Si bien esta situación técnicamente no es previsible, expone dentro de cada área aquellos sectores más vulnerables factibles de ser inundados temporalmente ante lluvias torrenciales.

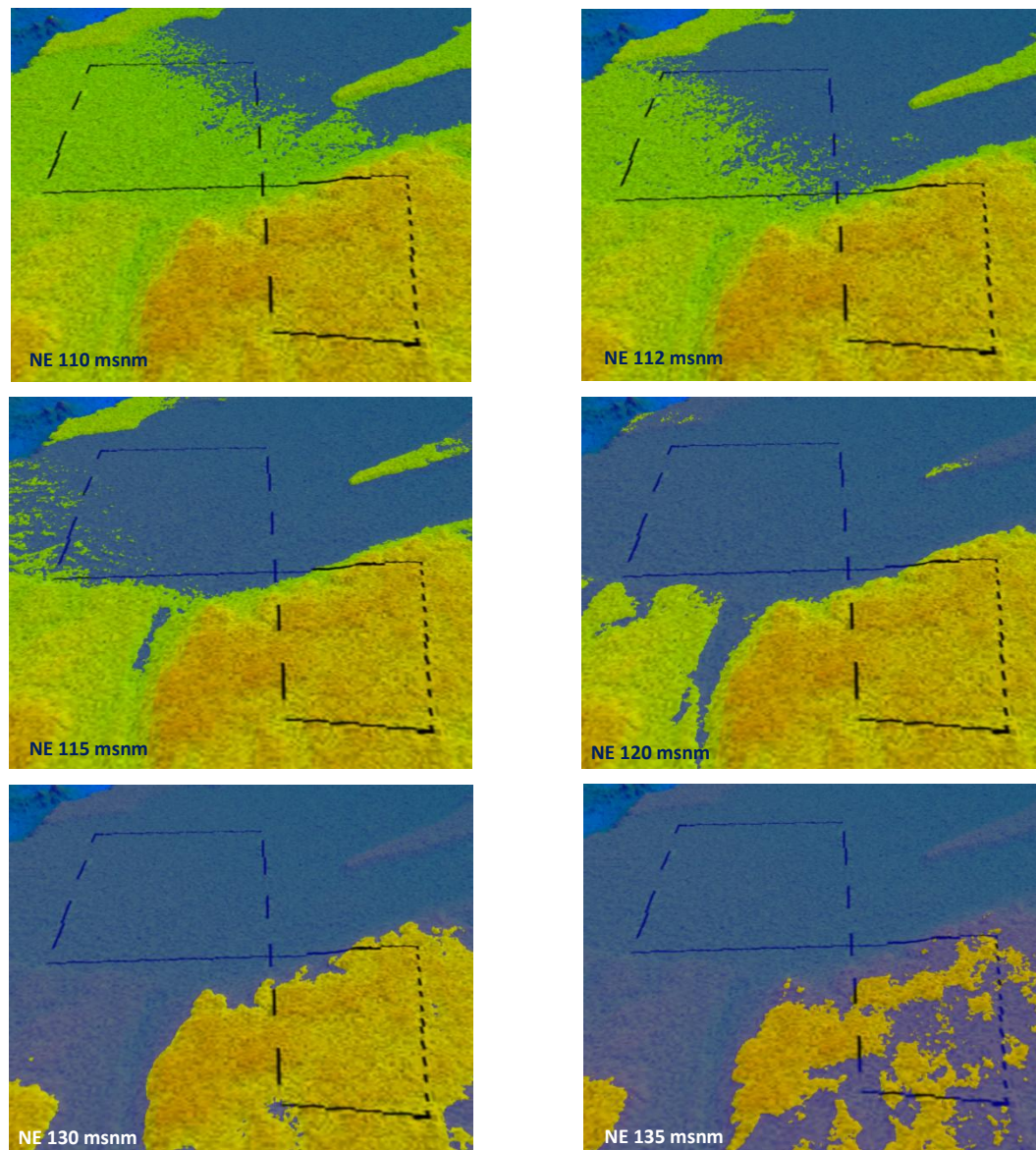


Figura 6.4. Modelo de elevación del terreno y simulación de ascenso de cota de nivel de agua

6.2 Análisis de escorrentías

Como es conocido, cuando comienza a llover, una parte del agua precipitada queda retenida en la vegetación, otra inicia el proceso de infiltración y el resto genera escurrimiento. A medida que transcurre la precipitación el proceso de infiltración tiende a saturar el suelo y el escurrimiento tiende a aumentar. De ello se deduce que la precipitación se distribuye contemplando las características particulares de la misma, del tipo de suelo y cobertura vegetal y/o uso del suelo. (Gaspari et al., 2013).

Muchas veces no se cuenta con datos de ese escurrimiento y debe estimarse. En 1972, el Servicio de Conservación de Recursos Naturales de EE.UU. (*Natural Resources Conservation Service* – NRCS), originalmente llamado Servicio de Conservación de Suelos (*Soil Conservation Service* - SCS), desarrolló un método sencillo para calcular la lluvia efectiva como una función de la lluvia acumulada, la cobertura del suelo, el uso del suelo y las condiciones de humedad. El mismo se denomina Número de Curva (NC).

La precipitación generará diferentes caudales de escurrimiento en función del grado de permeabilidad del suelo. Este método permite calcular las abstracciones de la precipitación de una tormenta, que por diferencia establece el escurrimiento. El NC se establece para cada complejo suelo-vegetación a partir de sus características particulares de vegetación y textura edáfica (Chow, 1994; López Cadenas del Llano, 1998; Muñoz Cárpena y Ritter Rodríguez, 2005; Gaspari et al 2009).

El método de la curva número, o también llamado el método de las abstracciones, realiza una clasificación hídrica de los suelos reconociendo cuatro grupos hidrológicos, tabulados según su textura (cuadro 6.1).

GH	Textura
A	Arenoso; Arenoso-franco; Franco-arenoso
B	Franco-limoso; Franco; Limoso
C	Franco-arcillo-arenoso; Franco-arcillo-limoso; Franco-arcilloso
D	Arcillo-arenoso; Arcillo-limoso; Arcilloso

Cuadro 6.1. Clasificación de los grupos hidrológicos

Los dos sectores estudiados difieren entre si pudiendo observarse, en Laudonio, un alto topográfico, mientras que El Llano es prácticamente uniforme en toda su extensión respecto a las variaciones de altura.

Sin embargo, se ha observado, tanto en los perfiles naturales como en los artificiales (tajamares y canteras), que el perfil de suelo es escaso, no superando los 70 cm de profundidad y se encuentra compuesto por un suelo franco a franco-arenoso, en la mayoría de los casos y, en las zonas más deprimidas, es franco limo-arcillo, típicos Aridisoles patagónicos.

Por debajo, se encuentran los rodados patagónicos con variedad de textura, desde gravillas hasta gravas gruesas, alcanzando una profundidad relativa que oscila entre 2 y 3 metros, con un nivel de caliche y, algunas veces, tosca de gran dureza.

A partir de dichas observaciones se ha adoptado el B como el grupo hidrológico representativo de la zona estudiada, siendo suelos poco profundos, depositados por el viento (SCS, Ven T. Chow 1994).

Una vez adoptado el grupo hidrológico debe determinarse el grado de humedad del suelo, para lo cual se considera si llovió los días previos (5-10 días). Se consideran tres condiciones básicas: seca (I) si es menor a 12,5 mm, media (II) si la precipitación fue entre 12,7 – 38,1mm y húmeda (III), con valores mayores a 38,1mm.

Considerando las precipitaciones registradas en la zona puede afirmarse que la condición de humedad del suelo será mayoritariamente seca (I) y, en algunas oportunidades, luego de eventos relativamente importantes de precipitación, será condición media (II).

Conociendo los datos de la cobertura vegetal del suelo y las pendientes características de la zona, se determina el NC mediante el empleo de tablas. Según Temez (1978), para una pradera de cobertura pobre, con pendientes menores al 3 %, para el grupo hidrológico B y la condición de humedad del suelo media, el número de curva es 67.

Para realizar la conversión mediante cálculo entre el número de curva para una condición y otra, Chow et al. (1992, p. 152), proponen las siguientes relaciones para valores de NC2:

$$NC1 = \frac{0,43.NC2}{(1-0,0057.NC2)}$$

$$NC3 = \frac{2,3.NC2}{(1+0,013.NC2)}$$

Los números de curva determinados son 46,6 para la condición seca, 67 para la condición media y 82,4 para la condición húmeda.

Luego se deben cuantificar las pérdidas iniciales (I_0), en función de la retención potencial máxima (S). Para estos cálculos se emplearon las siguientes ecuaciones:

$$I_0 = 0.2 S$$

$$S = 254 \left(\frac{100}{NC} - 1 \right)$$

Finalmente, para calcular el escurrimiento, a partir de las pérdidas iniciales, se empleó la ecuación:

$$Q = \frac{(P - I_0)^2}{P + 4I_0}$$

Luego puede determinarse el coeficiente de escurrimiento (CE) de una superficie, como el cociente del caudal que escurre por una superficie (Q), en relación con el caudal total precipitado (P). Se expresa en porcentaje.

$$CE = Q/P$$

Para el análisis se consideraron nueve eventos de precipitación, presentados en el cuadro 6.2, de los cuales seis fueron estudiados en el informe *Análisis de la tormenta del 06/11/11 y sus consecuencias sobre la planta de Aluar S.A.I.C. – Puerto Madryn*, mientras que las tres restantes fueron registradas posteriormente.

El cuadro presenta también los resultados obtenidos para las dos condiciones de humedad características de la zona (seca y media), la escorrentía acumulada durante el evento de precipitación y los coeficientes de escurrimiento, en porcentaje.

Evento				Condicion hidrológica I		Condicion hidrológica II	
N°	Fecha	Ppt acumulada (mm)	Duración (min)	Escorrentía (mm)	CE (%)	Escorrentía (mm)	CE (%)
1	Abril 1998	163,53	1.440	28,00	17,12	72,78	44,50
2	Dic 2002	21,6	270	0,00	0,00	0,00	0,00
3	Dic 2005	34,4	685	0,00	0,00	0,65	1,90
4	Jul 2006	66,6	1.775	0,24	0,35	10,37	15,57
5	Oct 2011	11,6	105	0,00	0,00	0,00	0,00
6	Nov 2011	26,4	55	0,00	0,00	0,02	0,06
7	Abril 2013	88,57	890	2,87	3,24	21,41	24,17
8	Abril 2014	141,16	2.260	18,41	13,04	55,91	39,61
9	Ene 2016	54,87	2.260	0,00	0,00	5,75	10,48

Cuadro 6.2. Eventos de precipitación analizados.

A modo de referencia, en la figura 6.5 se muestran los hietogramas resultantes de las tormentas de abril 1998 (mayor precipitación acumulada), noviembre 2011 (mayor intensidad), abril 2014 (segunda de mayor intensidad) y finalmente enero 2016 (ultima precipitación de importancia registrada), en los cuales puede observarse para cada intervalo de tiempo, el porcentaje de

precipitación retenido en el suelo (pérdida) y el escurrido (escorrentía superficial). Los mismos gráficos para el resto de las precipitaciones analizadas, puede verse en el Anexo 2.

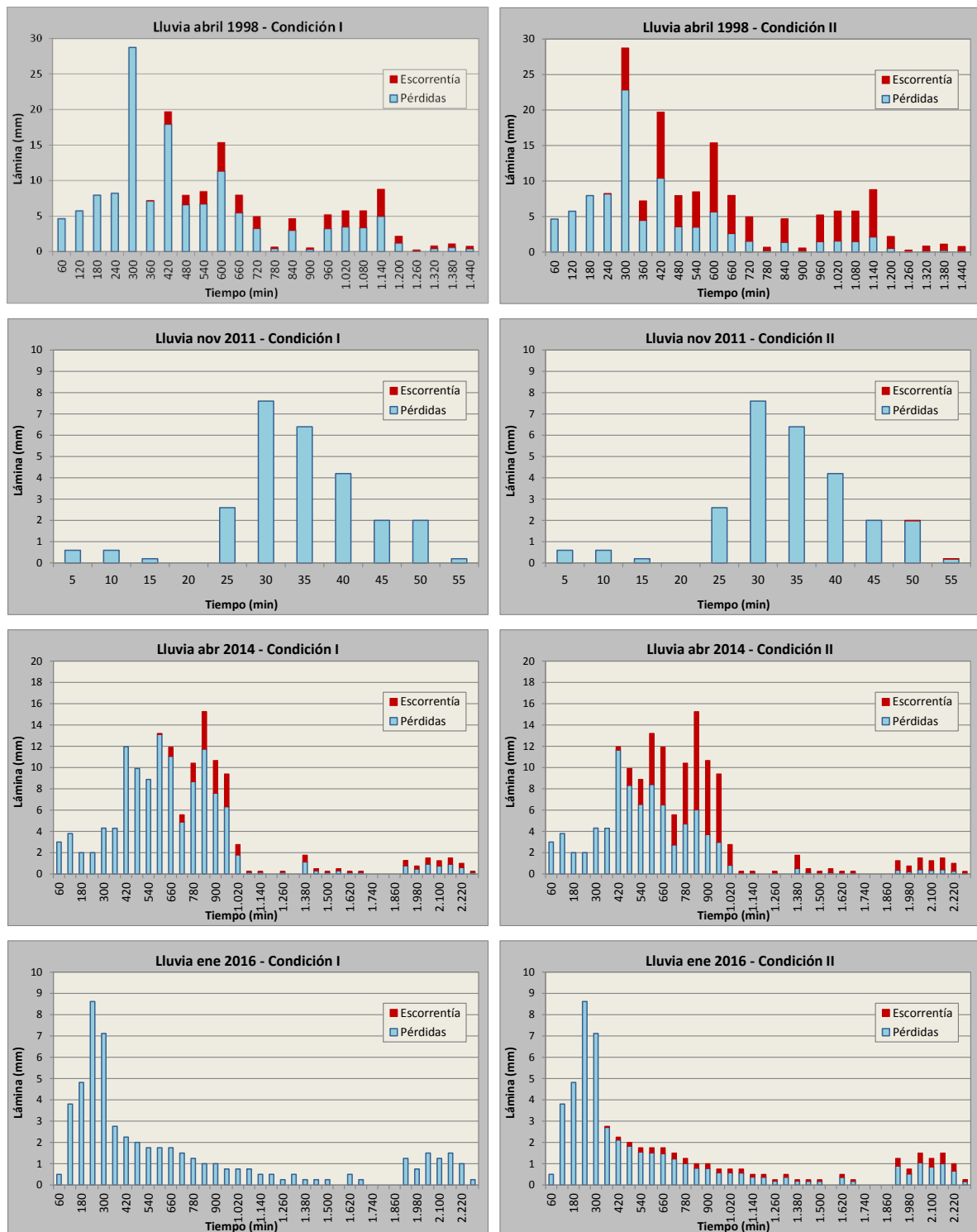


Figura 6.5. Eventos de precipitación analizados.

A partir del análisis realizado puede concluirse que una precipitación, de características similares a la ocurrida en abril de 1998, en el área de estudio, para una condición I, suelo seco, generaría un volumen total escurrido de 28 mm, con una lámina media máxima esperable de 4 mm en intervalos aislados de 1 hora de duración. El modelo supone una precipitación uniforme en todo el sector analizado y la escorrentía determinada se encontraría distribuida hacia las partes bajas y los pequeños cauces levemente definidos. Si la misma precipitación, ocurriese cuando el suelo se

encuentra en una condición II, humedad media, el volumen acumulado de escorrentía ascendería a 73 mm, y la lámina escurrida sería de 10 mm.

Para el caso de un evento de precipitación de mayor intensidad, como el ocurrido en noviembre de 2011, con 26,4 mm registrados en una hora, prácticamente no se produciría escorrentía, sin importar la condición de humedad antecedente del terreno.

En abril del 2014 ocurrió un evento de gran magnitud, en el cual se registró una precipitación acumulada de 141 mm. Para la condición hidrológica seca, esta precipitación generaría en la zona estudiada una escorrentía aproximadamente 18 mm, con una lámina media de 4 mm durante intervalos de una hora. Si este evento ocurriese cuando el suelo se encuentra con una condición de humedad media, es esperable que la escorrentía acumulada alcance los 40 mm y que se genere una lámina próxima a los 10 mm.

El último evento de importancia registrado ocurrió en enero de 2016, con una precipitación acumulada de 55 mm caídos en un día y medio. Una lluvia similar ocurrida en las zonas analizadas, no produciría un escurrimiento apreciable de producirse de manera aislada (condición seca), mientras que, en caso de ser precedido por otra precipitación (condición húmeda), se generaría una escorrentía acumulada de 11 m, siendo la lámina media esperable del orden del milímetro.

Este mismo análisis puede realizarse para todas las tormentas consideradas, cuyos hietogramas se muestran en el anexo 1, donde los resultados obtenidos para las mismas representan situaciones intermedias de las expuestas anteriormente.

Dada la particularidad de que los predios en estudio se encuentran contenidos en una cuenca de llanura, en la que no existe una red de drenaje definida que colecte las aguas del sistema y las conduzca hacia la salida de la cuenca (tal lo explicado en el punto 6.1), no es posible el análisis de la generación de un hidrograma de escurrimiento del flujo de agua ante un evento de precipitación determinado.

No obstante, el modelo HEC-HMS diseñado por el centro de Ingeniería Hidrológica, del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de EEUU, permitió simular el fenómeno lluvia-escorrentía en un sistema hidrológico y, de esta manera, obtener datos de los volúmenes de pérdidas y escorrentías que se generan ante cada evento de precipitación. Dadas las características del sistema hidrológico mencionadas, no se han considerado como válidos los hidrogramas resultantes.

Los resultados alcanzados fueron muy próximos a los calculados de manera analítica. En el Anexo 2, luego de cada hietograma, se presenta una pantalla de la salida del HEC-HMS con los resultados obtenidos.

7 CONCLUSIONES – RECOMENDACIONES

A continuación se presentan las principales observaciones surgidas del trabajo realizado

7.1 Conclusiones

- La cobertura de material psefítico (Rodados patagónicos) es extensa, cubriendo prácticamente la totalidad del polígono de estudio. Los afloramientos rocosos (sedimentitas de las formaciones Puerto Madryn-Gaiman-La Colonia) se reconocen fuera de los predios, al Noroeste y al Este de la RN3, en la zona de escarpa (bardas).
- Los perfiles litológicos observados muestran un patrón similar en ambas zonas de estudio, pudiendo resumirse de la siguiente manera:
 - **Suelo vegetal:** De 0 a 0,5 m. (espesores varía de 0,3 a 0,7m.) en general de textura franca, posee buena penetración de raíces, sin estructura, de coloración castaño
 - **Nivel de caliche:** De 0,5 a 2,5 m (espesores entre 0,60 – 2,90 m.), presenta un sólo nivel fuertemente endurecido o asociado con niveles subyacentes de menor espesor de dureza moderada.
 - **Nivel de rodados:** De 2,5 a 5 m (espesores variables entre 1,50 – 2,50 m.), compuesto por gravas gruesas y medianas de matriz arenosa o areno-limosa inconsolidada.
 - **Niveles arenosos y arcillosos intercalados:** De 5 a 10 m de profundidad, con espesores variables entre 1 y 2 m., con niveles arenosos con presencia de fósiles marinos *Ostreas*, y niveles arcillosos con icnofósiles, ambos con abundantes pátinas de óxidos.
 - **Nivel de arenisca fina y muy fina:** areniscas de color grisáceo, intercaladas con finos niveles de 2 – 4 mm de arcilla; presentan estratificación cruzada, potencia de 1,5 – 2 m, nódulos de óxido de manganeso
- El relevamiento de campo y posterior análisis en gabinete, manifiesta que en los predios El Llano-Laudonio y áreas de influencia cercanas no se reconoció la presencia de nivel freático, asumiéndose a priori que el acuífero primario de escala regional no tendría continuidad lateral en esta zona. Sólo se darían sectores restringidos con niveles de agua colgados, temporales, evidenciados por lentes arenosos húmedos y acumulación de sales cloruradas en perfiles de cantera relevados.
- Las manifestaciones de agua subterránea georreferenciadas se corresponden con acuíferos profundos, situados en general a profundidades mayores a 90 m.b.n.t.
- La respuesta química del agua en relación a CE y salinidad, se encuentra directamente relacionada con los sedimentos marinos que constituyen los niveles acuíferos confinados y el tiempo de permanencia solido-líquido. Siendo característica el agua salobre hasta salada, con CE entre 8.900-12.900 $\mu\text{S}/\text{cm}$, pH neutro a levemente alcalino, potencial redox (Eh) fuertemente negativo, y salinidades mayores a 5 mg/L.
- La zona de estudio carece de red de drenaje desarrollada, existiendo una red de cauces de corto recorrido asociado a un sistema anastomosado relictos, presente mayoritariamente en el predio El Llano, al Norte.
- En algunos sectores de canteras y/o caminos, existen acumulaciones de agua temporales, originadas a partir de la acumulación de agua de escorrentía. En estos casos las características texturales de los suelos con un alto incremento de finos “textura arcillosa – limosa”, imposibilita la infiltración de estas acumulaciones, permaneciendo muchas veces por tiempos prolongados.

- El alto topográfico que representa al predio Laudiano, posiblemente se encuentre asociado a un control estructural del basamento rígido, cuya hipótesis podría fundamentarse en la relación espacial que posee el pseudo-valle Suroeste-Noreste con encauzamiento difuso, en el límite entre ambos predios, y en el cual se alojan las depresiones temporalmente anegadas ante periodos de precipitación abundante.
- El análisis de la generación de escorrentía generada por los diferentes eventos de precipitación considerados, determinó que el coeficiente de escorrentía máximo esperado es de 0,17 para el caso de un evento aislado, condición seca, y de 0,44 para una condición de humedad antecedente del suelo media.
- Ante un evento de precipitación aislado, la mayoría de las tormentas analizadas no producirían escorrentía. Para la condición de humedad antecedente media del suelo, los resultados mostraron una lámina máxima de 10 mm en el intervalo analizado (1 hora), aunque en la mayoría los resultados fueron menores a 1,5 mm.

7.2 Recomendaciones

Se considera necesario profundizar en el conocimiento del medio geológico-hidrogeológico y establecer la continuidad geológica de los perfiles descritos. Para ello se propone una serie de tareas, las cuales se plantean en etapas.

- a) Calicatas hasta 4-5 m de profundidad
- b) Perforaciones hasta 30 m

A continuación se expone el alcance de las calicatas, dejándose para una etapa posterior el alcance de las perforaciones profundas, ya que los alcances de las mismas tendrán que definirse en función de las necesidades constructivas de los equipos aerogeneradores a instalarse (estudios geotécnicos para fundaciones).

Alcance de las calicatas

Se plantea realizar Diez (10) calicatas mediante una retroexcavadora, con el fin de reconocer la existencia de acuífero libre y/o acuífero colgado, describir perfil edáfico y litológico, establecer un modelo deposicional para el área de estudio, y ajustar el modelo geológico - hidrogeológico conceptual.

Las calicatas se proponen en las siguientes coordenadas (ver Figura 7.1), teniendo en cuenta los rasgos litológicos-geomorfológicos apreciados en el relevamiento de campo de ambos predios, y con el fin de cubrir el área de análisis:

Name	Lat. SUR	Long. OESTE
CAL-1	42° 44' 22"	65° 09' 32"
CAL-2	42° 43' 25"	65° 11' 51"
CAL-3	42° 41' 1,7"	65° 08' 58"
CAL-4	42° 40' 39"	65° 12' 21"
CAL-5	42° 36' 12"	65° 13' 54"
CAL-6	42° 39' 11"	65° 25' 29"
CAL-7	42° 40' 12"	65° 19' 06"
CAL-8	42° 37' 55"	65° 16' 15"
CAL-9	42° 35' 32"	65° 20' 0,3"
CAL-10	42° 42' 35"	65° 09' 36"

Cuadro 7.1. Ubicación propuesta para realización de calicatas exploratorias

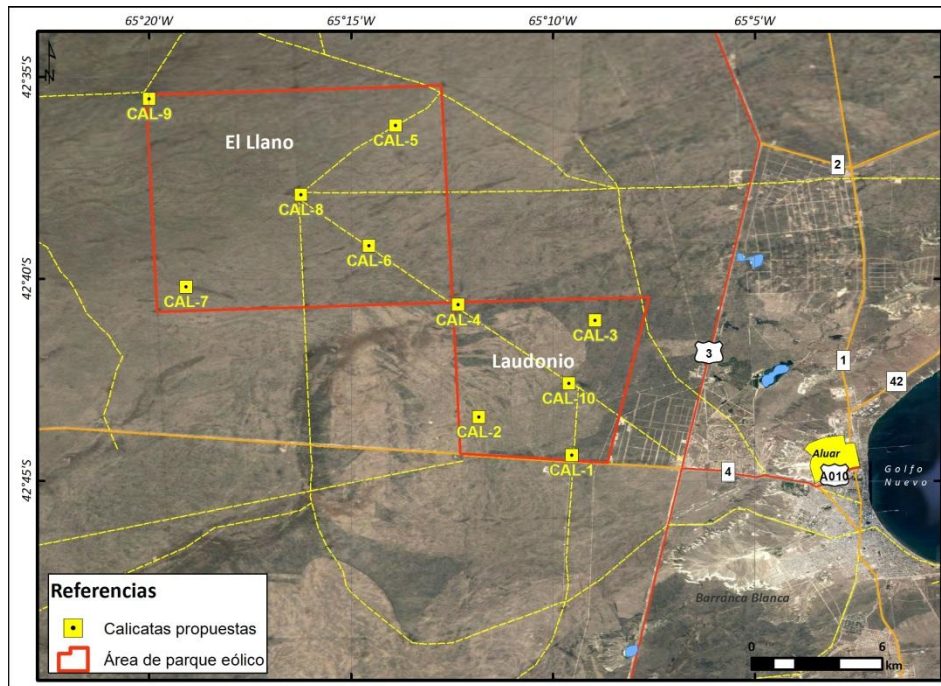


Figura 7.1. Ubicación de sitios propuestos para realización de calicatas exploratorias.

La metodología de trabajo para realización de las calicatas deberá considerar los siguientes aspectos:

- Evaluar los accesos y contar con la correspondiente señalización de protección.
- Realizar la apertura por niveles según capacidad de balde, acumular el material extraído sin solapar cada carga, permitiendo al finalizar las tareas rellenar la calicata de forma secuencial.
- Profundizar hasta alcanzar los 6 metros (capacidad estimada de equipos convencionales).
- Las dimensiones deberán ser de 2-3 m largo, 1-2 m ancho.
- El geólogo responsable deberá realizar la descripción de cada perfil litológico, incluyéndose un registro fotográfico (ubicación en superficie y en sentido vertical).
- En el caso de alumbramiento de agua, se dejará estabilizar el nivel, posteriormente se medirá la profundidad y determinarán los parámetros físico-químicos. En el caso que se requiera, se obtendrán muestras en los puntos de interés para ser derivadas al laboratorio analizando iones mayoritarios.
- Finalizadas las tareas se rellenará cada calicata con el material extraído, evitando provocar accidentes.



Lic. Carlos Scatizza

Director Gral. de Proyecto

La Plata, 14 de Noviembre de 2016

8 BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- Ameghino, C., 1890. Exploraciones geológicas en la Patagonia. Bol. Instituto Geográfico Argentino, XI, Bs. As.
- Beltramone, C y Meister C., 1993. Paleocorrientes de los Rodados Patagónicos tramo Comodoro-Trelew. RAGA, 47 (2): 147-152.
- Cortés, J. M., 1981a. El sustrato precámbrico del extremo noroeste de la provincia del Chubut. RAGA, 36 (3): 217-235. Buenos Aires.
- Feruglio, E., 1949-1950. Descripción Geológica de la Patagonia. Dirección General de Yacimientos Petrolíferos Fiscales. Tomo I-II-III. Ed., CONI, Bs. As.
- Fidalgo, F. y Riggi, J. C., 1970. Consideraciones geomórficas y sedimentológicas sobre los Rodados Patagónicos. RAGA, 25 (4): 430-443. Buenos Aires.
- Franchi, M. R., Haller, M. J., Lapido, O. R., Page, R. F. N., Pesce, A. H., 1975. Geología de la región nororiental de la provincia del Chubut, Argentina. 2° Congreso Iberoamericano de Geología Económica, 4: 125-139. Buenos Aires.
- Gaspari, F., Rodríguez Vagaría, A., Senisterra G., Delgado I. y Besteiro, S. Elementos metodológicos para el manejo de cuencas hidrográficas. EDULP, Universidad Nacional de La Plata, 2013.
- Haller, M. J., 1976. Nuevos afloramientos de metamorfitas e intrusivos en la Patagonia Extraandina. RAGA, 31 (2): 141-142. Buenos Aires.
- Haller, M. J. y Mnedía, J. E., 1980. Las sedimentitas del ciclo Patagoniano en el litoral atlántico norpatagónico. Coloquio "R. Wichmann". Asociación Geológica Argentina.
- Haller M. J., et al., 2005. SEGEMAR, Boletín 289. Descripción geológica de la hoja 4366-II – Puerto Madryn.
- Hidroar S.A., 2009. Estudio hidrológico en el área de la planta de ALUAR SAIC. – Puerto Madryn – Provincia de Chubut.
- Hidroar S.A., 2016. Estudio de exploración hidrogeológica/geofísica del predio de ALUAR y áreas próximas. – Puerto Madryn – Provincia de Chubut.
- Instituto Geográfico Nacional, 2000. Base pública cartográfica de IGN, proyecto SIG 250.
- Ministerio de Agricultura, 1945-1950. Registros de Perforaciones en Argentina, Años 1945-1950. Dirección General de Minas Geología e Hidrogeología. Hidrogeología y Perforaciones.
- Ministerio de Defensa, DIGID, 1977. Reconocimiento y Evaluación de Recursos a través de Información obtenida por Teledetección. Escala 1:250.000, Hoja 3. Provincia de Chubut.
- Ministerio de Economía de la Nación, 1966. Datos de Perforaciones de la Provincia de Chubut. Divulgación interna N° 5, pag. 165. Instituto Nacional de Geología y Minería.
- Navarro, E., 2008. Estudio de Exploración Geoeléctrica sobre la Fm. Marifil entre Puerto Madryn y Telsen (Provincia de Chubut). Asociación Argentina de Geofísica y Geodesia. Geoacta 33, 70-80.
- Ven Te Chow (1994). Hidrología aplicada.