

S.A.T.

ASISTENCIA TÉCNICA AL PROYECTO GASODUCTO
METROPOLITANO PARA EL CRUCE DE LA LAGUNA SETÚBAL



ASISTENCIA TÉCNICA AL PROYECTO GASODUCTO METROPOLITANO PARA EL CRUCE DE LA LAGUNA SETÚBAL

PROPUESTA TÉCNICA ETAPA 1

--

INFORME FINAL

ÍNDICE

La Asistencia Técnica sobre el cruce de la Laguna Setúbal para el Gasoducto Metropolitano.	8
- Objetivos y plan de trabajo.	8
- Equipo de trabajo.	9
Capítulo 1. Documento base.	11
1.1. Introducción.	11
1.2. Antecedentes previos.	12
1.3. Relevamientos iniciales.	15
- Recorrida de campo.	15
- Parcelario de propiedades registradas.	19
- Antecedente: tren de equipos propuestos en gasoducto NEA (cruce río Paraná).	20
- Conclusiones preliminares (07.01.21).	21
1.4. Opciones de cruce propuestas (12.01.21).	24
Opción A: mediante PHD (Perforación Horizontal Dirigida).	24
- Variante A1.	24
- Variante A2.	25
Opción B: mediante dragado profundo en cauces futuros.	26
- Variante B1.	26
- Variante B2.	26
Opción C: mediante zanja somera bajo el actual lecho.	27
Opción D: mediante cruce aéreo.	27
1.5. Actualización de traza por ENERFE.	29
1.6. Aportes sobre la situación catastral.	31
1.7. Ingeniería fluvial.	33
- Estimación de volúmenes de dragado basado en diferentes opciones geométricas.	41
- Cómputo preliminar sobre volúmenes.	46

1.8. Planteo final de opciones constructivas para analizar en Etapa 2.	47
- 1) Cruce tradicional con soterramiento somero en todo el cruce (Opción C).	47
- 2) Cruce tradicional con soterramiento somero en zonas de no cauces y con soterramiento profundo en zonas de futuros cauces colectores (Opción B2).	47
- 3) Cruce mediante Perforación Horizontal Dirigida (PHD), con terraplenes de ingreso a modo de estribos en ambas márgenes (Opción A2).	48
- 4) Cruce mediante Perforación Horizontal Dirigida (PHD), con Isla en el medio (Opción A1).	49
- Cómputo y presupuesto preliminar de las obras para Etapa 1.	49
1.9. Conclusiones de la Etapa 1.	53
- Sugerencia de adelantar estudios de suelos para Etapa 2.	54
Capítulo 2. Hidrología e Hidráulica	55
2.1. Introducción.	55
2.2. Comportamiento hidráulico del Sistema Leyes-Setúbal analizado en base a estudios existentes.	55
- Generalidades.	55
- Comportamiento del sistema ante diferentes crecidas.	58
2.3 Análisis de caudales en los principales componentes del sistema.	63
- Datos disponibles.	63
- Análisis de caudales en Arroyo Leyes, Arroyo Santa Rita y Arroyo Potrero.	65
- Análisis de caudales en los Arroyos Saladillo Dulce y Saladillo Amargo.	67
- Análisis de caudales en la Laguna Setúbal.	69
2.4. Análisis de alturas en el Puerto de Santa Fe.	70
- Análisis estadísticos de datos de alturas.	70
- Curva de permanencia de alturas.	72
- Análisis de frecuencias de alturas.	73

2.5. Curva H-Q Laguna Setúbal.	77
2.6. Relación Caudal Laguna Setúbal y Alturas Puerto de Santa Fe.	80
2.7. Conclusiones y Recomendaciones.	82
- Referencias.	82
Capítulo 3. Geomorfología y Geología.	83
3.1. Introducción.	83
3.2. Listado de antecedentes temáticos.	83
- Antecedentes sobre Geología.	84
- Antecedentes sobre Geomorfología y Morfodinámica.	86
- Antecedentes mixtos sobre Geología y Geomorfología.	89
3.3. Geomorfología de los ambientes atravesados por el gasoducto.	90
- Terrenos de la Margen Lagunar Oeste (Unidad Geomorfológica Valles e interfluvios de A° Aguiar - Monte Vera).	92
Propiedades Extensivas.	
Procesos Morfogenéticos Actuales.	
- Terrenos de la Margen Lagunar Este (Campo de dunas longitudinales de Rincón - Santa Rosa).	94
Propiedades Extensivas.	
Procesos Morfogenéticos Actuales.	
- Terrenos del Extremo Sur de la laguna (Planicie de albardones y derrames del Rcho. Santa Fe).	97
Propiedades Extensivas.	
Procesos Morfogenéticos Actuales.	
- Depresión lagunar Setúbal - El Capón.	101
Propiedades Extensivas.	
Procesos Morfogenéticos Actuales.	
- Complejo deltaico del A° Leyes.	106
Propiedades Extensivas.	
Procesos Morfogenéticos Actuales.	
3.4. Geología.	114
- Terrenos de la Margen Lagunar Oeste.	115
- Terrenos de la Margen Lagunar Este.	116

- Terrenos del Extremo Sur de la Laguna.	116
- Terrenos de la laguna Setúbal.	117
- Terrenos del Complejo deltaico del A° Leyes.	118
3.5. Breve Prognosis de Evolución de la Laguna Setúbal.	118
3.6. Primer Análisis de Alternativas de Cruce del Gasoducto; planteo amplio.	120
- Cruce Sur (origen y recorrido a la latitud del paraje Monte Zapatero).	121
Alternativa A1 – PHD con isla artificial.	
Alternativa A2 – PHD con terraplenes de aproximación.	
Alternativa B1 – Dragado de zanja con cauce único.	
Alternativa B2 – Dragado de zanja con dos cauces.	
Alternativa C – Zanjeo somero del lecho lagunar (más manta protectora).	
- Cruce Centro (origen y recorrido a la latitud de la villa ribereña de Chaco Chico).	123
Alternativa A1 – PHD con isla artificial.	
Alternativa A2 – PHD con terraplenes de aproximación.	
Alternativa B1 – Dragado de zanja con cauce único.	
Alternativa B2 – Dragado de zanja con dos cauces.	
Alternativa C – Zanjeo somero del lecho lagunar (más manta protectora).	
- Cruce Norte (origen desde la villa ribereña de Chaco Chico y recorrido hacia el noreste a través de islas del delta).	125
Alternativa A1 – PHD con isla artificial.	
Alternativa A2 – PHD con terraplenes de aproximación.	
Alternativa B1 – Dragado de zanja con cauce único.	
Alternativa B2 – Dragado de zanja con dos cauces.	
Alternativa C – Zanjeo somero del lecho lagunar (más manta protectora).	
- Evaluación Comparativa de las Alternativas Preliminares.	126
3.7. Reconsideración de Análisis de Alternativas para el Cruce Centro (Traza definida por el Comitente).	127
Capítulo 4. Perfil geotécnico de suelos.	129
4.1. Introducción.	129

- Perforaciones empleadas.	129
- Propiedades empleadas.	133
4.2. Descripción del perfil geotécnico del suelo.	133
- Conclusión.	136
4.3. Análisis de alternativas finales contempladas para el Informe Final.	137
- Ubicación geográfica de la traza.	137
- Metodologías constructivas.	139
Alternativa 1 – zanja convencional somera (C).	
Alternativa 2 – zanja convencional con cauces profundos (B2).	
Alternativa 3 – perforación horizontal dirigida con estribos	
(A2).	
Alternativa 4 – perforación horizontal dirigida con isla (A1)	
- Conclusión.	145
Capítulo 5. Socioambiental.	146
5.1. Introducción.	146
- Breve mención de las trazas geográficas y las variantes de la traza Centro.	146
5.2. Consideraciones generales.	147
- Antecedentes de estudios y propuestas de trabajo en el área.	147
- Consideraciones sobre protección de bienes naturales y ambientales.	151
- Consideraciones ambientales.	154
- Consideraciones sociales.	156
5.3. Análisis cualitativo de las trazas geográficas.	157
- Análisis de aspectos ambientales.	157
- Análisis de aspectos sociales.	159
- Ventajas y desventajas de las trazas.	163
- Conclusiones del análisis cualitativo de las trazas geográficas.	166
5.4. Análisis cualitativo de las variantes de la traza centro.	166

5.5. Metodologías constructivas: análisis preliminar desde el punto de vista socioambiental.	169
- Conclusiones sobre metodologías constructivas.	172
5.6. Conclusiones finales.	171

LA ASISTENCIA TÉCNICA SOBRE EL CRUCE DE LA LAGUNA SETÚBAL PARA EL GASODUCTO METROPOLITANO.

Objetivos y plan de trabajo

El presente Servicio de Asistencia Técnica altamente especializada (SAT) fue solicitado por ENERFE SAPEM, con el objetivo de estudiar alternativas de cruce de la Laguna Setúbal para la construcción del Gasoducto Metropolitano.

A tales fines, la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas de la Universidad Nacional del Litoral presentó una Propuesta Técnica, que contempla tres etapas: Etapa 1: Desarrollo conceptual del Proyecto de cruce de la Laguna Setúbal, con planteo amplio de alternativas.

Etapa 2: Análisis de alternativas (2 o 3 elegidas de la Etapa 1) de cruces y metodologías constructivas (prefactibilidad técnica, económica y ambiental).

Etapa 3: Proyecto ejecutivo de la alternativa seleccionada en base a los resultados de la Etapa 2.

Por lo tanto, en este Informe se presentan los resultados de la ETAPA 1, cuyo objetivo ha sido analizar conceptualmente, de manera interdisciplinaria e integral, todas las alternativas posibles de cruce de la Laguna Setúbal, que involucren individualmente o de manera combinada diferentes opciones de trazas y/o metodologías constructivas.

En base a un análisis técnico-cualitativo integrado se propuso determinar las dos o tres alternativas que resulten técnicamente factibles y ofrezcan beneficios destacables para ser evaluadas en la Etapa 2.

A tales fines, se llevó adelante un plan de trabajo que incluyó:

- Recopilación y análisis de antecedentes específicos.
- Planteo de una zona amplia y general conveniente de cruce de la Laguna Setúbal.
- Planteo de metodologías constructivas a contemplar.
- Ubicación preliminar de posibles trazas de cruce.
- Análisis integrado de alternativas de cruce combinando metodologías constructivas con trazas probables.

- Determinación comparativa de ventajas e inconvenientes de cada alternativa analizada.

- Selección de dos o tres alternativas, que resulten mejor posicionadas en la Etapa 1, para que sean analizadas en la Etapa 2.

Para esta Etapa, de desarrollo eminentemente conceptual, se ha recurrido a antecedentes disponibles, conocimientos adquiridos y experiencia del equipo de trabajo, limitando al mínimo la ejecución de estudios y/o trabajos de campo y cálculos. Básicamente se ha tratado de buscar y acordar con el comitente las opciones de cruce más convenientes a ser estudiadas en profundidad en la Etapa 2, y dejar justificadamente otras posibles de lado.

Equipo de trabajo

Para las tareas descritas la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas (FICH-UNL) dispuso la conformación de un equipo de expertos en las siguientes especialidades temáticas:

- Estudios Básicos (Hidrología, Hidrodinámica, Hidráulica fluvial, Relevamientos topobatimétricos, Geología, Geomorfología fluvial, Mecánica de suelos).
- Estudios de Ingeniería (Ingeniería Fluvial, Ingeniería Civil/estructural).
- Estudios Ambientales: análisis general del sistema ambiental (físico, biológico y social), contemplando la normativa vigente en la materia.

Por su parte, ENERFE aportó especialistas expertos en metodologías constructivas convencionales (ductos soterrados, apoyados y aéreos) y mediante perforación horizontal dirigida.

Director Ejecutivo:

Ing. Hugo Prendes (FICH).

Equipo de Ingeniería Fluvial y Civil:

Responsable: Ing. Hugo Prendes (FICH).

Ing. José Huespe (FICH).

Ing. Ramiro Alberdi (FICH).

Dr. Lucas Domínguez (FICH).

Equipo Hidrología - Hidráulica:

Responsables: Ing. Rosana Hammerly e Ing. Viviana Zucarelli (FICH).

Equipo Geomorfología y Geología:

Responsables: Lic. Carlos Ramonell (FICH).

Ing. Manuel Gallego.

Equipo Perfil geotécnico de suelos:

Responsable: Ing. Marina Méndez (FICH).

Equipo Socioambiental:

Responsable: Mg. Ing. Daniela García (FICH).

Mg. Ing. Virginia Margenet (FICH).

Dr. Gonzalo Sozzo (FCJS).

Lic. Andrea Valsagna (FADU).

Lic. Mg. Juan Martín Alfieri (Rectorado).

Equipo de ENERFE:

Ing. Víctor Pozzo

Ing. Juan Cesoni

Ing. Juan Carboni

Ing. Nerea Ulibarrie

Lic. Gabriel Cocco

CAPÍTULO 1. DOCUMENTO BASE.

1.1 Introducción

Este documento constituye el Informe Final de los trabajos desarrollados por la FICH (UNL) durante los tres meses (Enero a Marzo 2021) destinados a la Etapa 1, del convenio entre la Universidad Nacional del Litoral (UNL) y ENERFE.

La estructura del informe es el presente documento base más cuatro capítulos independientes, pero integrados entre sí, que contienen los trabajos desarrollados por las áreas temáticas de: Hidrología e hidráulica, Geomorfología fluvial, Geotecnia y Medio Socioambiental.

En este documento base se incluye, desde la ingeniería, el planteo y análisis de las diferentes alternativas de trazas geográficas y/o opciones de metodologías constructivas que se han ido considerando a través del proceso de intercambio multidisciplinar de opiniones entre los equipos de trabajo de las diferentes áreas temáticas que responden a la UNL, con el equipo de profesionales especialistas pertenecientes a ENERFE.

Por ello, se mantienen todas las discusiones y conclusiones que desde el inicio, partiendo de las primeras alternativas consideradas, se ha ido produciendo. Este proceso ha sido dinámico y por lo tanto su evolución ha sido en paralelo a la definición de la traza terrestre definitiva del gasoducto (a cargo de ENERFE). Sobre el final de este período de trabajo, ENERFE precisó los puntos de cruce definitivos sobre ambas márgenes, lo que implicó realizar nuevos análisis de las evaluaciones hasta entonces realizadas. Cabe señalar que la homogeneidad de las características físicas de la Laguna en el entorno de trazas analizadas hacen que los puntos de llegada a la Laguna por ambas márgenes condicionen la alternativa geográfica de cruce.

El proceso de intercambio de opiniones y discusiones multidisciplinarias entre las diferentes áreas del equipo de la UNL y de ENERFE, en torno al planteo y análisis preliminar de alternativas de traza geográfica y metodologías constructivas, ha sido de manera amplia, abarcando todas las opciones posibles.

Durante el mismo se han contemplado informes preliminares de cada área temática en relación a la recopilación y análisis de antecedentes disponibles.

Al final de este documento, y luego de un exhaustivo análisis de alternativas geográficas de cruces, se presenta la alternativa de traza geográfica final

considerada como más conveniente; a la cual posteriormente se incluyeron opciones de metodologías constructivas más adecuadas, para que las mismas sean analizadas detalladamente a nivel de anteproyecto en la próxima Etapa 2 de esta obra.

1.2 Antecedentes previos

A fines de Diciembre 2020, se manejaban las siguientes opiniones: Teniendo en cuenta una resumida síntesis de la prognosis de evolución morfológica esperada de la laguna (área de Geomorfología Fluvial), particularmente formación de cauces colectores con posibilidades de cotas de fondo profundas (en las zonas de cruce); y las características generales de los suelos (capa o estrato delgado limoso compacto - suelo B, cerca de superficie; y suelo inferior arenoso, con más abajo arcillas compactas discontinuas profundas), se proponía plantear las alternativas de cruces preliminares y opiniones siguientes (en ese entonces no se había definido aun el punto final de cruce en margen derecha), ver Figura 1:



Figura 1: Primeras alternativas de trazas geográficas consideradas.

1) La alternativa Norte compuesta por una poligonal siguiendo partes altas del delta ya definido, tiene como desventaja un incremento sustancial de la longitud total de cruce. Como beneficio ofrecería que la obra, en su tramo medio, sobre zona de islas emergidas se podría ejecutar con metodología convencional a bajo costo, y adicionalmente el cruce de cauces provenientes del Zanja Brava y Potrero se podría hacer con Perforación Horizontal Dirigida (PHD) en un lugar donde ya están definidos estos cauces, en la zona Este del cruce. Como problema de esta traza falta analizar cómo se haría el cruce de la zona Oeste de la laguna, donde aun no hay cauces definidos. La inclusión de esta opción de traza Norte, como probable alternativa a explorar mejor en etapa 2 (anteproyecto), quedaba por aquel entonces sujeta a confirmar que en el tramo medio, o zona de islas emergidas ya definidas, donde se especula con lograr la ventaja de ejecutarse mediante metodología convencional (excavación y tapada con retro en seco), se pueda confirmar que estos suelos son aptos para el tránsito de equipos (retro sobre orugas); de lo contrario desaparecería el único motivo que haría tentadora esta opción de cruce. Al respecto, se planificó hacer una visita y recorrida de esta zona para verificar suelos de piso (con barrenos de exploración), durante la primera semana de Enero 2021. Más adelante se incluye el resultado de esta recorrida de campo, que desalienta conservar esta traza norte, que alarga mucho el recorrido.

2) La alternativa Centro (cruce en línea quebrada a la altura de "Chaco Chico", ver Figura 1) no ofrecería beneficio significativo respecto al cruce en zona sur (Monte Zapatero) y su longitud se incrementaría innecesariamente; esto conduciría a desechar esta alternativa geográfica, a favor de la zona sur.

3) Como conclusión de lo más arriba expresado, la alternativa geográfica de cruce Sur, en aquel entonces era considerada como una firme candidata a pasar a la Etapa 2, la misma involucra la menor longitud de cruce, si el punto de entrega o acometida del gasoducto fuera en Monte Zapatero. Sobre esta misma traza se estaban analizando diferentes opciones constructivas, a saber:

3.1) En todo el cruce, donde se especula con la NO PRESENCIA futura de cauces y que continuarán en el futuro siendo ambiente poco profundo y de laguna (zonas A), utilizando metodología convencional, consistente en zanqueo con retroexcavadora de brazo largo montada sobre pontón flotante con pivotes de retención. La excavación se haría relativamente superficial (entre 1 y 2 m). El material de la excavación se depositaría aguas abajo de la zanja en puntos o montículos individuales y discontinuos, de manera de afectar lo menos posible la

permeabilidad del flujo. La columna se podría: i) armar en las márgenes y luego posicionarla por tiro en flotación, para luego hundirla en la trinchera excavada (todo guiado por buzos experimentados); o ii) ir tendiendo y soldando caños sobre un pontón flotante que avance detrás de la retroexcavadora que abre la zanja. Por último la tapada de la zanja (hasta las cotas actuales del lecho de la laguna) se podría implementar mediante el refulado de arenas ejecutado por una draga de succión con cortador, desde pozos de préstamos de material, y con boca de cañería de refulado recorriendo la zanja. Para el cruce de los probables futuros cauces a formarse, donde se esperan profundidades importantes (zonas B), surge el problema de pronosticar donde se ubicarían los mismos, tarea confiada a la prognosis morfológica esperada de la zona (área de Geomorfología Fluvial durante Etapa 2), que en principio identifica solo 2 cauces colectores de todo el sistema. En dichas zonas (sectores B) habría que definir una cota de fondo más baja y conservativa probable futura de esos cauces, para luego planificar el cruce del caño por debajo de la misma, y además previendo erosiones generales y locales. Esta obra debería ejecutarse con una draga de succión con cortador abriendo la zanja con taludes estables, refulando el material de excavación a lugares adecuadamente ubicados de manera de no interferir con la permeabilidad del flujo. Posteriormente a la colocación de la columna se debería tapar la zanja de la misma manera que para la zona A). Por precaución, por encima de la tapada, la cual no debe hacerse hasta la cota actual, sino hasta la esperada para cuando se formen los cauces futuros (esto actuaría además como un reaseguro o "zona de llamada" del flujo induciendo la posición de los futuros cauces); se podría colocar una defensa a la erosión consistente en una manta flexible de bloques de hormigón adheridos a geotextil tejido. Dada la longitud total de este cruce (aprox 2.400 m contemplando zonas A y B sumadas), se podría pensar en hacer empalmes intermedios del caño, in situ y sobre pontón flotante, para luego bajarlo a su posición final en el fondo de la zanja.

3.2) Consistiría en reemplazar la parte 3.1. en zona A, más arriba descrita, por la construcción de un TERRAPLEN ISLA de muy baja altura (para interferir lo mínimo posible con el escurrimiento en crecidas) sobre el cual luego de manera convencional se colocaría el conducto mediante excavación y tapada en seco, aprovechando estados de niveles de agua bajos. La parte clave de esta opción es no interferir con la permeabilidad del flujo especialmente en crecidas; esto se debería estudiar (Etapa 2) mediante la implementación y explotación de modelo numérico hidrodinámico bidimensional. Para la parte donde se situarán los

cauces esperados se aplicaría la misma metodología constructiva que se describe en 3.1. zona B.

3.3) Consiste en, a partir de la opción 3.2, para las zonas B (futuros cauces), ejecutar la obra mediante la técnica de Perforación Horizontal Dirigida (PHD). Para ello, resulta necesario analizar la posibilidad de construir por refulado y avance desde ambas márgenes terraplenes, hasta llegar a la posición de los futuros cauces colectores del sistema, a modo de estribos sobreelevados que permitan, en la margen Este de la zona Este, y en la margen Oeste de la zona Oeste, la fundación de la máquina de perforación y tiro, con construcción de pileta de lodo bentonítico, para la PHD.

3.4) Consiste en hacer el cruce sin profundizar en zonas de futuros cauces. Se debe analizar el comportamiento hidromorfológico esperado del sistema (avance del delta con formación de cauces) si el cruce se materializa con el caño colocado sobre la actual superficie del fondo lagunar, levemente excavado y tapado, más la colocación de una protección a la futura erosión fluvial, materializada por una manta flexible de bloques de hormigón adheridos a geotextil tejido. Habría que analizar cuál sería el comportamiento del delta y/o cauces a formarse al llegar en su desarrollo y avance a la zona del cruce. Posiblemente el delta se interrumpa brevemente en la zona del cruce, y luego continúe avanzando hacia aguas abajo, sin formar cauces definidos frente al cruce. Paralelamente habría que analizar cómo se comportaría la manta de protección ante el avance de un cauce con capacidad erosiva del material suelto alrededor de la manta. Para analizar estas incertidumbres se podría implementar un modelo matemático hidrodinámico bidimensional, con lecho fijo pero manualmente móvil según hipótesis de comportamiento morfológico esperado del delta. Este proceso interactivo entre hidrodinámica y morfología podría aportar conocimientos a como responderían la obra y/o el sistema fluvial, ante la opción constructiva 3.4. También se podrían realizar ensayos sobre el comportamiento de la manta protectora flexible, en modelos físicos.

Podrían surgir otras variantes, combinando las metodologías constructivas descritas en 3.1, 3.2, 3.3 y 3.4.

1.3 Relevamientos iniciales

Recorrida de campo

El día 06.01.21 se realizó una recorrida de campo (Manuel Gallego, Carlos Ramonell y Héctor Prendes). La altura hidrométrica en Puerto Santa Fe era de 1.18 m. Se estima que la cota del pelo de agua en la zona de los cruces estaría en torno a 10.5/11.0 m IGN. Se realizó el cruce de la Laguna Setúbal por vadeo, saliendo desde la localidad de "Chaco Chico" en dirección aproximada de la traza preliminar Norte. En el primer intento, pasando la mitad del cruce de la zona Oeste de la laguna, si bien no era profundo (aprox 1 m), el piso se tornó muy blando difícil de transitar a pie; por ello se regresó e intentó cruzar más hacia aguas arriba. En este nuevo intento, el piso era más resistente y se pudo llegar muy cerca de la costa (aprox 100 m), con aprox 1.5 m de profundidad, pero la corriente era importante (0.8 - 1 m/s) por el caudal sumado de los cursos Correntoso mas Zanja Brava Oeste, y se debió regresar. El tercer intento fue en zona intermedia entre el 1ro y 2do, en este caso la velocidad de corriente era menor y el fondo blando pero, aunque muy lentamente, transitable, con profundidades máximas de aprox 1.5 m se pudo terminar el cruce y llegar a la zona de islas, por donde continuaría la traza norte sobre las mismas.

Ingresando unos 100 m en el ambiente de isla (piso de arenas y arbustos de hasta 3/4 m de altura) se realizó una perforación somera (2 m) con barreno. Luego de una capa de arenas superficial (aprox 50 cm) comienza un estrato de suelos muy blandos (mezcla de limos y arenas con abundante contenido de materia orgánica) del cual se colecta una muestra.

La densa cobertura de vegetación impidiendo el paso caminando hace desistir intentos de continuar avanzando sobre la isla. Por observación se notan sectores de la misma, con vegetación muy densa, pero de menor altura, y terreno natural levemente más bajo, supuestamente sin la capa superior de arenas aportada por el flujo durante crecientes.

Se regresa a la margen derecha (Chaco Chico) por aproximadamente el mismo recorrido de cruce.

Luego se recorre la zona de margen derecha en Monte Zapatero (traza sur) identificándose en superficie un estrato de suelos compacto y resistente, en cotas relativamente altas cerca del monte de árboles allí existente. Se realiza una

perforación muy somera, en esta traza, cerca del pelo de agua, y el estrato de suelos duros aparece a muy escasa profundidad (0.5 m).

Se intenta el cruce de la laguna sobre esta traza sur. En el primer tercio de su longitud las profundidades máximas eran de 0.6 m y el fondo con suelos muy blando en una capa no tan espesa (0.2 m). A medida que se continúa avanzando el suelo se torna más blando y resulta muy difícil poder caminar. En ese lugar se intenta con barreno sacar muestras.

Como conclusión de esta recorrida del terreno, sumada a las opiniones mencionadas anteriormente (Diciembre 2020) y a los efectos de las posibilidades constructivas, se evidencia lo siguiente:

1) El cruce de la parte con agua (mitad Oeste de la laguna) resulta muy similar, respecto a profundidades y características de suelos superficiales, en traza norte que en traza sur.

2) La zona de islas en la traza Norte, por donde se podría llevar el caño mediante metodología convencional en seco, luego del cruce subfluvial Oeste, aparenta presentar dos tipos de condiciones, para el acceso y tránsito:

a) en las partes más altas tiene una capa de arenas, sobre la cual podrían transitar equipos viales con orugas.

b) en las partes más bajas, desprovistas de esta capa de arenas, el suelo es muy blando y no soportaría la carga para el tránsito y operación de equipos viales convencionales.

En ambos casos a) y b) el suelo donde fundar el caño (aprox 1.5 - 2 m de profundidad) es muy blando y prácticamente sin resistencia.

Mediante fotointerpretación de imágenes se podría analizar cuánto de traza cae en suelo a) y cuanto en b).

Un tema no menor, para la traza norte, es cómo llevar los equipos viales a esa zona de islas; obviamente debería ser sobre embarcaciones y navegando, pero, las muy escasas profundidades y perfil tendido, casi horizontal, de las zonas tanto donde embarcarlos (margen derecha - Chaco Chico) como donde desembarcarlos (islas), tornarían muy dificultosa esta tarea, porque las embarcaciones flotantes (pontones, barcasas, etc.) no podrían arrimarse lo

suficiente a la costa para hacerlo. Se requeriría construir canales de acceso mediante dragados.

Posibles trazas geométricas tentativas: Norte, Centro y Sur

Perfil aproximado en zona de traza Sur (Monte Zapatero)

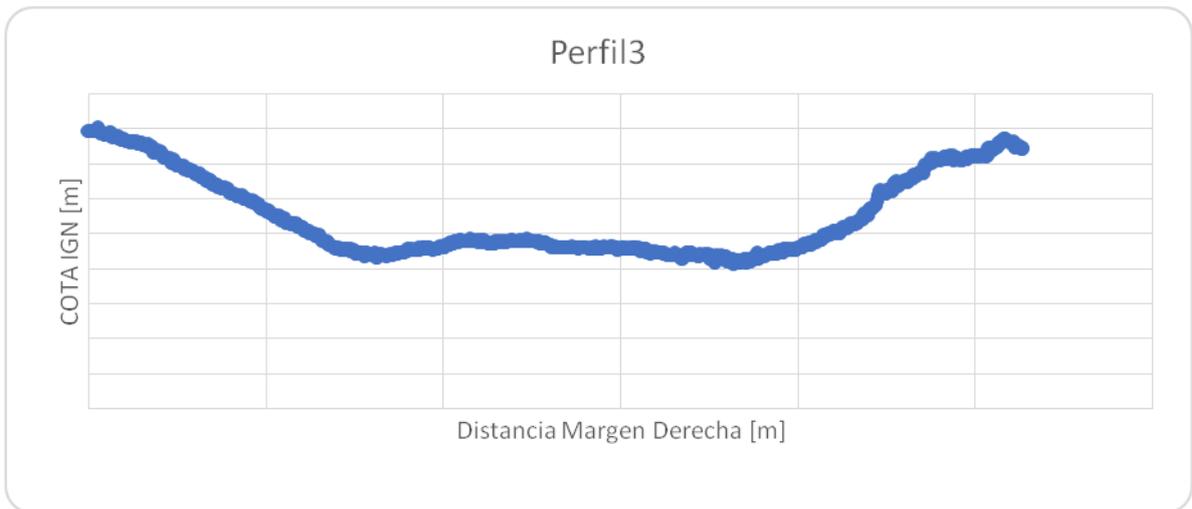


Figura 2: Perfil batimétrico tipo en traza Sur.

Parcelario de propiedades registradas

Una primera búsqueda de antecedentes ha sido el parcelario general superpuesto a las 3 primeras trazas preliminares consideradas. Como puede notarse en las zonas de cruce de la Laguna Setúbal, los terrenos emergentes de los niveles normales de agua son propiedad del estado provincial y/o no tienen propiedad registrada. Esto último quizás como consecuencia de que se trata de áreas deltaicas modernas que no existían cuando se actualizara por última vez el dominio catastral.

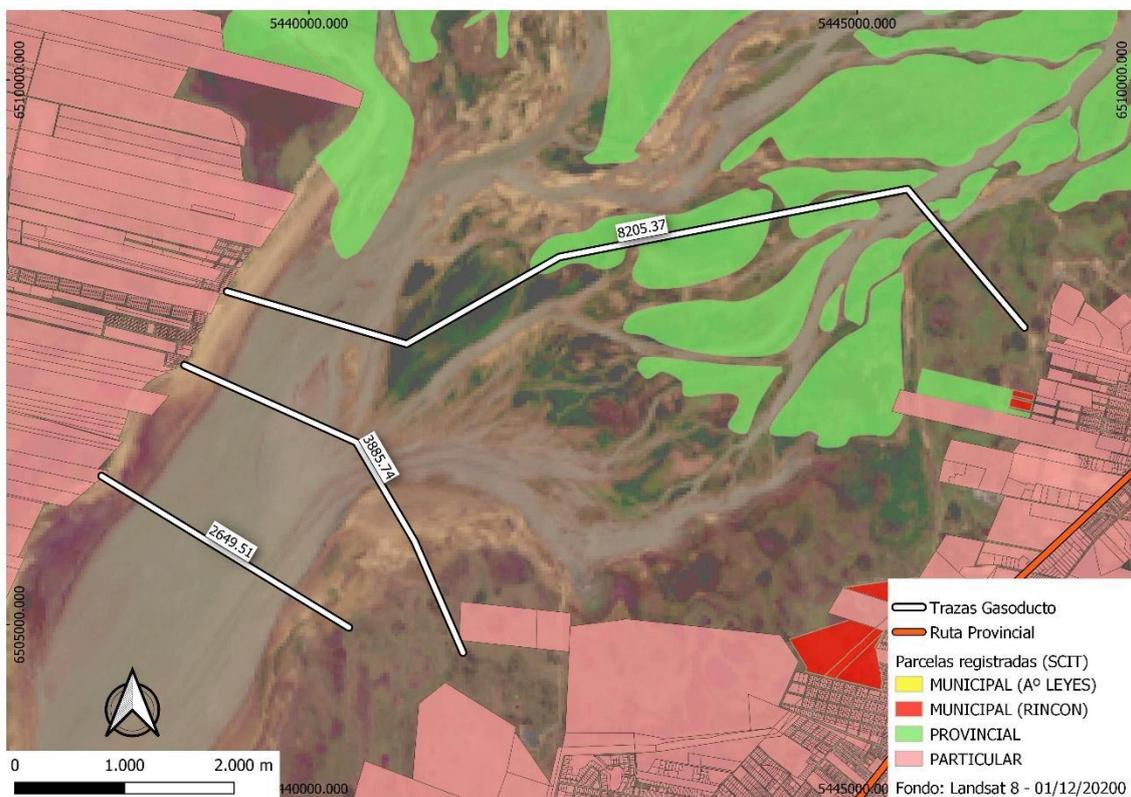


Figura 3: Parcelario de propiedades registradas.

Antecedente: tren de equipos propuestos en gasoducto NEA (cruce río Paraná)

Las figuras que se presentan a continuación muestran parte del procedimiento constructivo sugerido para el cruce subfluvial del gasoducto del Noreste Argentino (NEA) en zona de islas del valle aluvial del Río Paraná. Esta metodología constructiva podría aplicarse al cruce de la Laguna Setúbal.

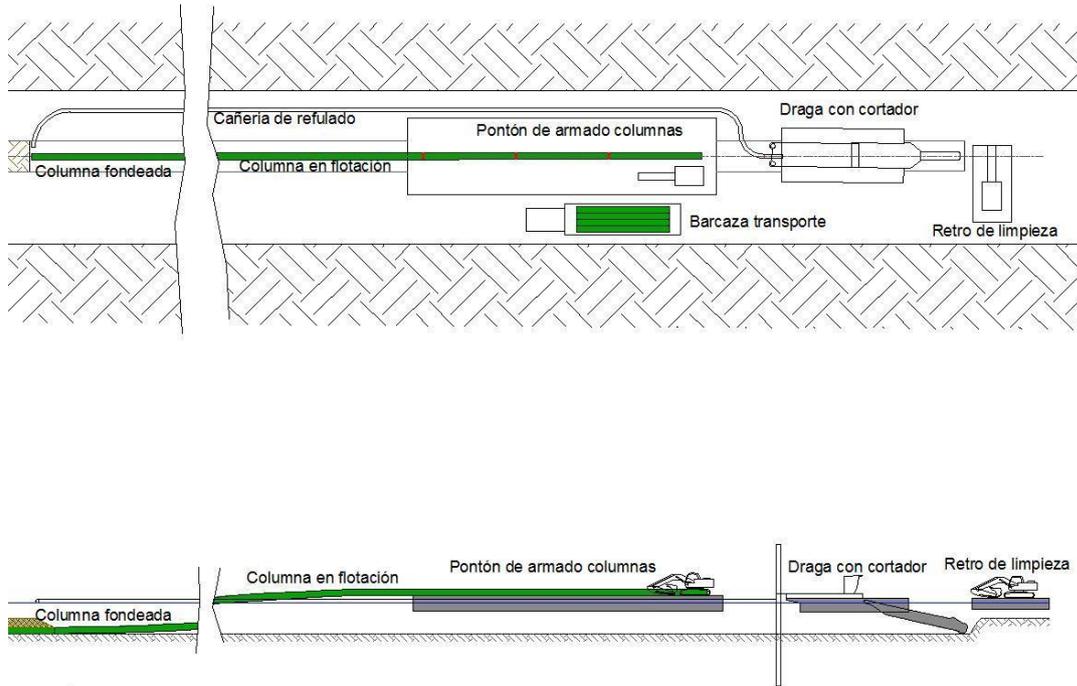


Figura 4: Esquema de equipos propuestos para cruce del valle aluvial del Río Paraná en el gasoducto del NEA.



Figura 5: Vista tridimensional de metodología constructiva en NEA.

Conclusiones preliminares (07.01.21)

La traza norte tiene aproximadamente 1400 m para el cruce de la laguna en la zona Oeste, más de 4.600 m en zona de islas, y más de 900 m para cruce de varios cauces formados en zona Este (Cursos Zanja Brava, Potrero, etc.); en total aproximadamente 6.900 m.

La traza sur tiene aproximadamente 2.400 m de cruce para toda la laguna.

La traza norte, respecto a la sur, implica 1000 m menos de cruce de laguna en similares condiciones, pero, 900 m de cruce con PHD; lo cual totalizan unos 2.300 m de cruce subfluvial (solo 100 m menos que la traza sur). Pero, con traza sur, además se generan 4.600 m de gasoducto extra en zona de islas, con difícil acceso y tránsito de equipos, y suelo de fundación de muy mala calidad.

Podría decirse que estos 4.600 m adicionales de cañería no justificarían mantener como opción una traza con casi 7 km de longitud total en un ambiente fluvial, frente a la traza sur con menos de 2.5 km de cruce.

A la fecha (07.01.21), se pensaba que la única opción geográfica de cruce era la traza sur, o zona más estrecha de la laguna, pues presentaba puntos de partida (margen derecha) y arribo (margen izquierda) en cada una de las márgenes, ajustados lo más posible a la traza general requerida por ENERFE.

Entonces, sujeto a la suma de opiniones integradas de todas las especialidades involucradas en Etapa 1 (tarea que faltaba), quedaba pendiente analizar en detalles diferentes metodologías constructivas de cruce, pero siempre sobre la traza geográfica sur (Monte Zapatero). Esta decisión preliminar luego ha sido cambiada, como más adelante se explica, debido a que la traza terrestre de aproximación a la Laguna por su margen derecha, según avances del proyecto actualizados por ENERFE, se modificó.

A los efectos de ganar tiempo, se sugirió comenzar inmediatamente y en paralelo al desarrollo de la etapa 1, con la ejecución de estudios de suelos sobre esta traza sur (la única traza geográfica por entonces más conveniente). Los mismos podrían incluir estudios mediante métodos geofísicos de superficie, combinados con perforaciones, que en profundidad cubran la posibilidad de PHD por debajo de las cotas mínimas futuras esperadas en los cauces a formarse. Durante el proceso que llevó la contratación de los mismos, la traza fue cambiada y entonces los estudios de suelo a la entrega de este informe se están ejecutando sobre la traza definitiva.

Como resumen de situación a la fecha 08.01.51 se tenía:

- 1) A esa fecha no se dispone de fundamentos para proponer otra traza geográfica que no fuera la TRAZA SUR (MONTE ZAPATERO).
- 2) Dado que esta traza es una firme candidata para etapa 2, se sugiere a ENERFE ganar tiempo iniciando ya trámites para estudios de suelos complementarios a los existentes, tarea que de inmediato se inició.
- 3) Para esa misma traza geográfica (SUR), corresponde en Etapa 1 (tarea a desarrollar de inmediato) analizar diferentes opciones constructivas, de manera de proponer 2 o 3 de ellas para que fueran analizadas en detalle durante la próxima Etapa 2.

A tales efectos, como metodologías constructivas, se proponían a esa fecha las siguientes alternativas:

- 3.1) Cruce contemplando 2 cauces profundos futuros (con posiciones, anchos y profundidades a determinar en Etapa 2). En estos cauces la cañería podría cruzar usando 2 variantes: 3.1.a) mediante dragado y tapado, más protección a la erosión; y 3.1.b) con PHD.

3.2) Cruce con soterramiento somero sin contemplar cauces profundos y con protección superficial a la erosión. Cuando el delta avance se tendría un lecho fijo en toda la traza, que podría actuar como un escalón sumergido y se debe analizar (en Etapa 2) el comportamiento del delta y de la obra.

3.3) Cruce implementando estribos laterales sobreelevados (en ambas márgenes) con construcción convencional en seco durante estiaje, que acorten la distancia de cruce subfluvial, para un solo cruce mediante PHD.

3.4) Ídem 3.3, pero en vez de usando estribos de márgenes implementando un terraplén isla central, donde la cañería se colocaría con construcción convencional en estiaje; y generando 2 cruces laterales más cortos mediante PHD.

Estas alternativas con variantes generarían 5 opciones, que se deberían analizar mejor en Etapa 1, para intentar quedar con a los sumo 3 de ellas para Etapa 2.

Para entonces, se consideró que un análisis preliminar de costos comparativos entre la opción PHD y dragado más tapado con protección, para los 2 cauces futuros, ayudará a decidir si se puede eliminar alguna de estas 2 opciones en Etapa 1; o se mantendrán ambas para Etapa 2.

Esto también dio lugar a un análisis preliminar de consecuencias jurídico/social/ambiental de las opciones de estribos en las márgenes y/o terraplén isla, que podría ayudar a decidir si estas opciones pasarían o no a Etapa 2.

Para entonces se afrontaron los siguientes interrogantes:

- Se debería precisar mejor los puntos fijos más convenientes en cada margen, para la conexión del cruce con el resto del trazado general del gasoducto (ENERFE).
- Se debería precisar si para la TRAZA SUR existen zonas que afecten sitios arqueológicos, que pudieran justificar leves corrimientos de la misma.
- Se debería recopilar antecedentes de todo tipo (jurídicos legales, ambientales, normas de seguridad, etc) para ver si se podría fundamentar que no pase a Etapa 2 la opción de cruce aéreo, en ninguna de sus posibles variantes (pilotes, puente suspendido, etc).

1.4 Opciones de cruce propuestas (12.01.21)

En base al intercambio de opiniones producidos durante la reunión virtual del viernes 08 de Enero de 2021, sumado a otros avances logrados en reuniones anteriores, se concluye preliminarmente que por el momento no habría motivo para incluir en Etapa 2 otra opción de traza geográfica que no fuera la Traza Sur. Esto se debe a que el punto de entrega de la cañería en la margen derecha (Monte Zapatero) resulta dominante en la decisión de dónde cruzar a la Laguna, pues entre este lugar y la traza Centro las condiciones del cruce son muy similares y no logran justificar alargar cañería para cruzar en otra zona.

A continuación, como resultado de la interacción entre Hidromorfología Fluvial e Ingeniería General, se proponen analizar, durante Etapa 1, cuatro opciones constructivas de cruce (A, B, C y D), todas ellas a aplicar sobre la misma traza geográfica Sur (Monte Zapatero). A su vez, las opciones A y B presentan dos variantes cada una. Resultando en total 6 opciones constructivas de cruces.

Opción A: mediante PHD (perforación horizontal dirigida)

Dado que se considera adecuado mantener, para Etapa 2, una opción mediante la metodología PHD, que sirva como referencia de esta metodología constructiva, la misma podría ser una de las siguientes variantes:

Variante A1: Construcción de isla artificial en el medio de la laguna, mediante dragado y refulado de material del lecho de la misma laguna. Esta isla artificial, de muy baja altura, y que quedaría formada permanentemente, serviría para hacer el ensamble de 2 tramos de PHD con longitudes de unos 800/900 m cada uno. Estos 2 subtramos de cruce: uno en la mitad Oeste, se ejecutaría con la máquina de perforación ubicada en la costa Oeste (Monte Zapatero); y el otro en la mitad Este de la laguna, se ejecutaría con la máquina de perforación ubicada en la margen Este de la laguna (comuna de Rincón). La formación de los 2 cauces colectores previstos a futuro (lado Oeste: con Correntoso más Zanja Brava Oeste; y lado Este: con Zanja Brava Este más Potrero), quedarían alojados por encima de cada uno de estos 2 cruces subfluviales con PHD. La Isla artificial construida para ensamble en el medio, así como también el material utilizado para la misma, a extraer desde dos pozos diseñados aguas abajo de la traza y ubicados sobre el futuro thalweg de cada uno de estos dos futuros cauces,

actuarían además como condicionantes artificiales impuestos para inducir aún más la traza y formación de estos 2 cauces colectores futuros.

Variante A2: Construcción de 2 estribos angostos (terraplén camino) y bajos, uno en cada margen de la laguna, para acortar distancias y ejecutar un único cruce con PHD (de aproximadamente 2000 m - límite de longitud a determinar mediante consulta a empresas especializadas que ejecutan PHD). Estos estribos se construirían con material arenoso refulado mediante draga de cortador, desde el cauce de la laguna y/o mediante suelos seleccionados externos al lecho de la laguna, aportados y compactados con maquinaria vial accediendo desde la margen mediante avance de la obra volcando desde la costa. Su construcción sería permanente y en zonas donde por la hidrodinámica esperada a futuro debería prever riesgos de erosiones. Este cruce subfluvial no implicaría otra intervención en la laguna (solo los 2 estribos cortos de márgenes - aproximadamente 300 m cada uno). La máquina de la PHD y pileta de lodos se fundarían en una de las márgenes, la que presente mejores condiciones.

La factibilidad técnica de esta opción A, en cualquiera de sus dos variantes (A1 y A2) estaría fuertemente condicionada a la aptitud respecto a las características de los suelos profundos, donde se ejecutaría la PHD.

Resumiendo, los principales condicionantes respecto a la Opción A, en sus dos variantes A1 y A2, con PHD son:

- La longitud de esta perforación, para un solo cruce total; son casi 2.300 a 2.400 m desde la costa oeste a la zona firme del lado este. Distancia demasiado larga, por lo tanto obligaría a construir espigones estribos en ambas márgenes o una isla artificial en el medio.
- Estas dos obras artificiales (estribos o isla) deberían quedar de manera definitiva porque el empalme de cruces con PHD se harían en las mismas a una profundidad de 2 m aprox. Entonces, el caño quedaría en esos tramos a esa profundidad y si la isla artificial o terraplenes fueran erosionados quedaría el caño en ese lugar con escasa tapada o al descubierto, con riesgos de destrucción.
- En tales casos resultaría el inconveniente de que después no se tenga que hacer mantenimiento de la isla o terraplenes para sostenerlos en el lugar. Para mantener el caño habría que mantener una isla.
- Además del riesgo de la perforación en sí y su costo asociado, está el costo importante de hacer la isla artificial por refulado.
- Posiblemente lo mejor sería hacer la PHD de un solo largo pero son 2.300 / 2.400 m a unos 20 / 25 m de profundidad. En este sentido antes de descartar esta opción se considera conveniente consultar con las

empresas de perforaciones, como Mar Profundo, San Antonio, Conta, o Flowtech. Esta consulta fue planteada por ENERFE a Flowtech y como respuesta se obtuvo que la longitud no podría superar los 1.600 metros siempre y cuando el suelo fuera de buenas características para la PHD. Esta longitud máxima sería factible dado que el diámetro de la cañería es relativamente pequeño (8" o 10").

Opción B: mediante dragado profundo en cauces futuros

Partiendo de la base, a confirmar con estudios detallados en etapa 2, que la morfología resultante de la zona (post obra) podría condicionar/influir en el desarrollo del delta y cauces a formarse en el futuro, se propone como alternativa ejecutar el cruce asumiendo y fomentando la presencia futura de:

Variante B1: Un único cauce, colector de los dos más arriba mencionados. La finalidad buscada es reducir volúmenes de dragados y consecuentes costos de obra. Se trata de prever un único cauce en el medio, cuya posición, ancho y profundidad, surgirían de estudios específicos en etapa 2. El material dragado, para construir la trinchera o zanja de alojamiento del conducto, se refularía hacia aguas arriba de la traza, generando un lecho de laguna sobreelevado (bancos de arenas), ubicados hacia ambos lados de la laguna, de manera de inducir al flujo a concentrarse en este cauce único central, artificialmente forzado. Luego de colocada la columna, la zanja se tataría, hasta una cota, no necesariamente tan alta como la actual, utilizando arenas del lecho de la laguna, desde un préstamo ubicado aguas abajo de la traza y en coincidencia con el futuro cauce; con un diseño adecuado para inducir su posterior futura formación exactamente por sobre el cruce profundo adoptado en la obra. Posteriormente, debería colocarse una protección a la erosión fluvial cuyo diseño contemple erosiones fluviales previstas.

Variante B2: Dos cauces colectores, cuyas posiciones anchos y profundidades serían determinados en Etapa 2. Con igual metodología constructiva que B1, pero el material extraído para construir la zanja de alojamiento del caño sería refulado formando un único banco de arena central hacia aguas arriba del cruce; y las arenas para la tapada del caño se obtendrían de dos préstamos ubicados aguas abajo del cruce y con un diseño tal que induzca la formación de estos dos cauces colectores tal como están previstos a futuro.

El resto del cruce de estas opciones B1 y B2, es decir en las tres zonas restantes de la laguna (entre los cauces y entre cada uno de ellos y márgenes) se ejecutaría de manera convencional subfluvial, idéntico al que se propone para el cruce total de la opción C.

Otros comentarios para las opciones B:

- En Etapa 2, habría que estimar cuanto erosionarían los futuros cauces en profundidad, para definir hasta qué cota excavar e implantar el caño;
- Ver además que no haya corrimiento lateral del thalweg de los futuros cauces erosionando la obra.
- Además, se debería hacer un cálculo por free-span, es decir, si se erosiona por debajo del caño y este queda colgado, hasta cuanto el caño mecánicamente resiste. Es un caño chico (8" o 10") y lo conocido es que se comporta como una manguera.

Opción C: mediante zanja somera bajo el actual lecho

Esta opción presupone, a confirmar mediante estudios específicos de Etapa 2, que la obra a construir podría condicionar la geometría de desarrollo del delta y en consecuencia controlar/impedir la formación de cauces profundos en la zona cercana al cruce del gasoducto.

La obra consistiría en un cruce subfluvial tradicional y convencional, alojando la cañería enterrada a una cierta profundidad somera, a partir y "copiando" la morfología actual del lecho de la laguna. La zanja se construiría con retroexcavadora sobre pontón flotante, con pilones de fijación. Posteriormente a la colocación de la columna con contrapesos tipo collarines o similares (preparada previamente en la costa y arrastrada por tiro, y/o ensamblada in situ, sobre pontón flotante para soldadura y ensamble), se taparía la zanja mediante arenas refuladas por cañería con una draga de cortador pequeña, cuyos pozos de préstamos se ubicarían aguas abajo del cruce y convenientemente distribuidos, para no inducir formación de cauce alguno.

Opción D: mediante cruce aéreo

Esta opción se plantea, analiza y discute en Etapa 1, con la intención de aportar fundamentos para desecharla y que no pase a Etapa 2.

Consistiría en un cruce aéreo del caño, soportado por pares de pilotes (hincados, o contruidos por perforación camisa y llenado de hormigón con armadura) fundados en el lecho de la laguna. Cada par de pilotes debería arriostrarse en superficie y tomar el mismo caño, o estructura liviana tipo puente sobre la cual se alojaría el caño. Las distancias de separación entre pares de pilotes (luces parciales del puente) deberían optimizarse económicamente.

Para esta opción aérea, con intenciones de descartar en Etapa 1, deben destacarse (además del elevado costo) cuestiones de seguridad, afectación visual, condicionantes a navegación deportiva, recreativa y/o turística, estímulo a vandalismo, mantenimiento, problemas futuros cuando este caño aéreo quede inmerso en islas futuras del delta con vegetación densa y de gran porte, etc., más todo otro tipo de impacto negativo de carácter jurídico/legal, social y/o ambiental, que el equipo de trabajo pudiera individualizar y detallar en Etapa 1. Las razones más fuertes serían el impacto ambiental (principalmente el visual). Si hay otros métodos de cruce no sería bueno recurrir a esta metodología. Además, y aunque aún no se ha presupuestado, este tipo de cruce tendría un costo importante que probablemente no sea en absoluto tentador para competir con las otras formas de cruces.

Con respecto a esta opción de cruce aéreo se considera importante incluir en el Informe Final de Etapa 1, los motivos por los cuales ENERFE descarta la posibilidad de cruce aéreo de la Laguna Setúbal aprovechando los puentes existentes (Oroño y Colgante) y los pilares del ex puente del Ferrocarril (Calle Gobernador Muttis), ubicados muy al sur de la zona necesaria de cruce (Chaco Chico).

Para entonces, se consideraba que: la opción C merece analizarse en Etapa 2 porque, asumiendo ciertos riesgos, podría ser la más económica y simple de construir. La opción A (en la variante que resulte más conveniente A1 o A2), si bien podría resultar ser la más cara de las tres, sería la única razonablemente factible mediante PHD y se mantendría en consideración para Etapa 2 (siempre y cuando los suelos resulten aptos), para conservar como referencia la posibilidad de PHD. La opción B (en la variante que resulte más conveniente B1 o B2), ofrece menores riesgos que la C, pero con incrementos de costos que se deben conocer y determinar en Etapa 2 para compararla con C. Todas estas dudas se deberían responder en Etapa 2. La opción D, se plantea y analiza en Etapa 1 con el objetivo de fundamentar su eliminación, y que no sea considerada en la Etapa 2. Además estas opciones constructivas se deben acompañar con un cálculo

preliminar de costos porque se podría pensar en una determinada Opción desde lo técnico, pero el costo la puede hacer inviable.

Estas opciones que han sido elaboradas preliminarmente desde la hidrogeomorfología fluvial y la ingeniería en general, debían considerarse y analizarse con la mirada particular desde las otras áreas y/o disciplinas/especialidades involucradas, para aportar información respecto a beneficios comparativos y/o cuestionamientos, hasta el nivel de detalles previsto en esta Etapa 1, y que pudieran aportar más información para fundamentar la decisión de cuales opciones pasarían a Etapa 2. En el proceso de análisis estas miradas desde las otras áreas temáticas fue cubierta.

En los capítulos, correspondientes a los diferentes informes temáticos, que acompaña a este documento se incluyen los antecedentes disponibles y opiniones de cada área temática respecto a las diferentes alternativas de trazas geográficas y/o opciones constructivas de cruces planteadas.

1.5 Actualización de traza por ENERFE

A principios de Febrero 2021, como consecuencia de recorridas de la zona, por parte de personal de ENERFE y asesores, ENERFE decide mover el punto de cruce en la margen derecha (Oeste) de la Laguna, desde la zona de Monte Zapatero, a la zona de Chaco Chico (aproximadamente 800 m al norte). Consecuencia de ello, la zona de cruce directa ya no se ubica en la zona sur (Monte Zapatero) hasta la fecha considerada; sino que pasaría a ubicarse aproximadamente en la zona Centro (de las primeras alternativas geográficas generales de cruces: Norte, Centro y Sur de Figura 1).

A su vez, en esta zona Centro, surgen 3 variantes: 1, 2 y 3, según puede observarse en la figura que a continuación se muestra.

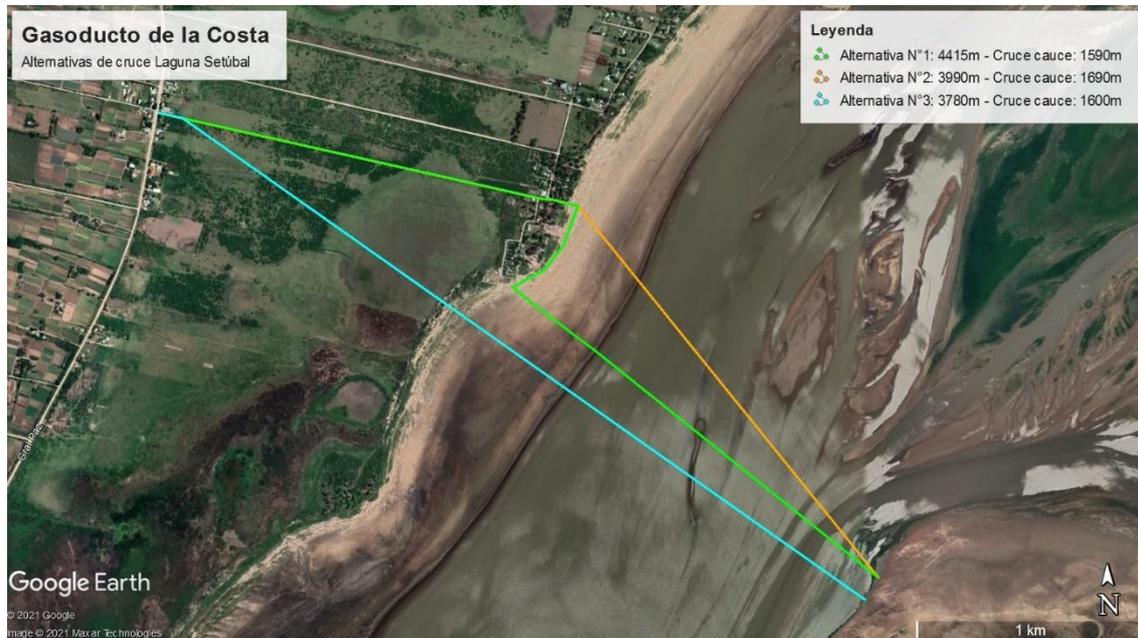


Figura 6: Nuevas alternativas de traza a partir de Febrero 2021.

Debido a que:

- La Variante 1 (línea verde) para cruzar perpendicularmente a la laguna, con mínima longitud subfluvial, genera una mayor longitud total pues agrega un tramo considerable en la costa paralela a la margen derecha;
- La Variante 3 (línea celeste) implica afectaciones a predios particulares y complicaciones para el cruce de cursos de descarga pluvial (canal de las Mandarinas),

En consecuencia se propone como más conveniente la variante 2 (Naranja), que si bien alarga un poco el cruce subfluvial, es la opción de menor longitud, entre las que no afectan propiedades privadas.

Como conclusión a la fecha del primer Informe de Avance (15.02.21), ya se podría definir como alternativa geográfica de cruce a la Variante 2, entre las ubicadas en la zona Centro, de las originariamente definidas.

Es decir que la alternativa geográfica de cruce final es: CENTRO (Chaco Chico), VARIANTE 2.

En consecuencia, a partir de la fecha (Febrero 2021) se aplican todas las opciones constructivas más arriba detalladas (A1, A2, B1, B2, y C), pero ya no en

la traza Sur (Monte Zapatero) como inicialmente fueran planteadas, sino en la traza CENTRO (Chaco Chico) VARIANTE 2. (ver Figura 6).

1.6 Aportes sobre la situación catastral

En la siguiente figura se presentan las parcelas propietarias superpuestas a la traza definitiva del gasoducto.

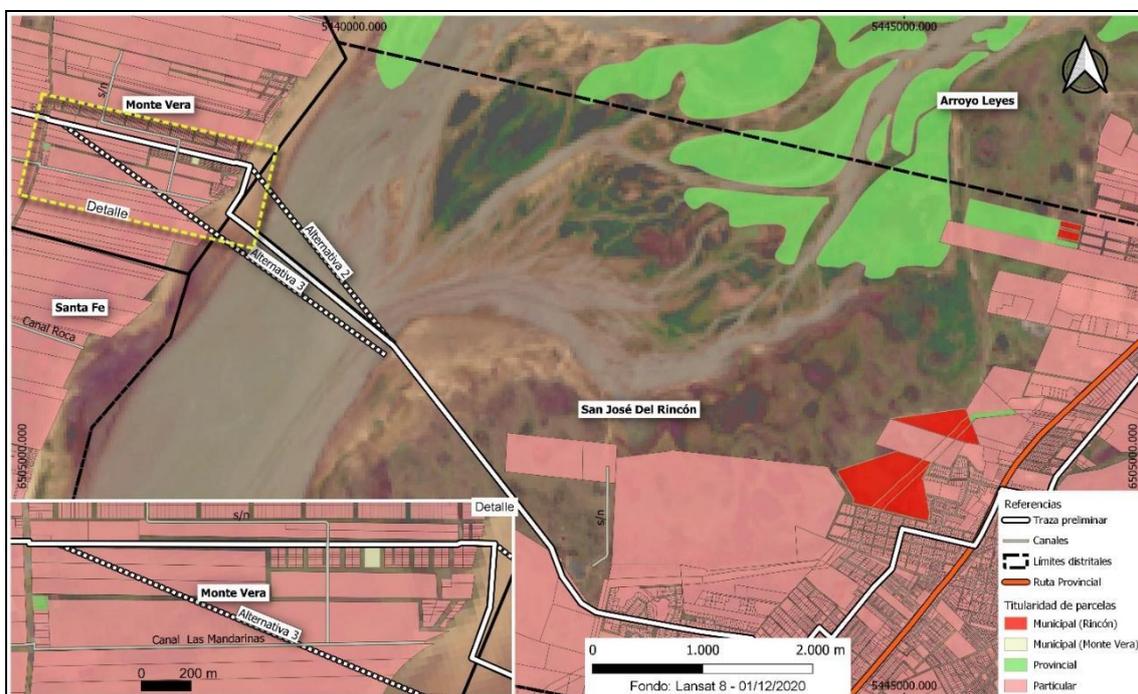


Figura 7: Situación catastral de la traza definitiva.

La Figura 7 muestra la distribución parcelaria del territorio circundante a la traza definitiva propuesta, distinguiendo aquellos inmuebles cuyos propietarios son estatales o particulares.

Para su construcción se utilizó como base una imagen satelital composición RGB color verdadero de fecha 01 de diciembre de 2020¹, es decir, en aguas bajas del sistema. Esta selección se debe a que en aguas bajas se aprecian más

¹ Obtenida de <https://glovis.usgs.gov/>

adecuadamente aquellos territorios sin parcelamiento, ya sea por pertenecer al dominio público hídrico, o por falta de actualización catastral.

Sobre dicha imagen se superpuso el parcelario disponible en el portal de datos abiertos², y mediante consultas puntuales a la base de datos del Sistema de Catastro e Información Territorial (SCIT) de la provincia de Santa Fe, se añadió como atributo el tipo de propiedad de las parcelas; organizado básicamente en propiedad particular y propiedad estatal (provincial y/o municipal).

Mediante software SIG se procesó toda la información, clasificando las parcelas según el tipo de propiedad y añadiendo capas de límites distritales, obras de infraestructura hídrica (canales) y la traza tentativa para el gasoducto con variantes (1, 2 y 3) para el cruce de la Laguna Setúbal.

Al considerar las trazas provistas por ENERFE en los distritos de Monte Vera, Santa Fe, San José del Rincón y Arroyo Leyes se observa que, tanto para el tramo de partida como el de llegada de la línea, no hay superposición con parcelas de dominio privado del Estado. Sin embargo, existe una gran diferencia en cuanto a cantidad de parcelas de dominio particular que afecta cada variante de cruce, siendo la 2 la que menos territorios privados compromete, mientras que la 3, por su desvío en diagonal, en la zona de aproximación oeste de la laguna, es la que afecta más parcelas.

A su vez, si bien la traza propuesta está planteada principalmente siguiendo los caminos públicos, es importante considerar la afectación por faja de seguridad del gasoducto que recaerá en las parcelas frentistas. En ese sentido, nótese que, si bien la configuración parcelaria de zonas aledañas a la traza se corresponde con áreas urbanas, en los hechos se trata de territorios de uso rural agropecuario, por lo que muchos caminos aún no se encuentran abiertos al uso público (ver detalle en la Figura 7, previo a la salida de la traza hacia la laguna).

Todo lo anterior se basa en la situación parcelaria actual, en la que se detectan superficies no registradas como parcelas. En este caso se sugiere realizar el saneamiento catastral correspondiente, fundamentalmente en la margen izquierda de la laguna y en las nuevas formaciones al Norte de la traza propuesta, surgidas de la dinámica del Arroyo Leyes. En ambos sectores existen

²<https://www.santafe.gob.ar/datosabiertos/search/type/dataset> (datos actualizados a septiembre de 2018).

“vacíos” catastrales o territorios sin parcelas que son necesarios de cubrir para establecer los derechos de afectación que impondrá el gasoducto.

En ambas márgenes, a su vez, y para completar lo anterior, es recomendable establecer los límites jurídicos de la Laguna Setúbal determinando la Línea de Ribera conforme a los arts. 235 y 1959 del Código Civil y Comercial de la Nación. Concluidas esas tareas se tendrá un panorama completo y fehaciente del dominio público y privado afectado por la obra.

Desde el punto de vista de la infraestructura circundante, las variantes de trazas 1 y 2 cruzan un canal sin nombre de menores dimensiones, mientras que la variante 3 intercepta al canal Las Mandarinas que acumula caudales desde el distrito Recreo hasta la laguna Setúbal. A este análisis habrá que sumarle en el futuro las trazas de electroductos, defensas hídricas y todo aquello que pueda influir en el desarrollo de la obra del gasoducto.

1.7 Ingeniería fluvial

Para analizar las distintas alternativas constructivas, además de las cuestiones técnicas, es necesario realizar una evaluación preliminar y general de costos de cada una. Para ello, en esta sección del informe se adoptan las metodologías constructivas técnicamente más convenientes y se realizan: cálculos de volumen de obra, y una estimación de precios de los distintos ítems, para determinar el costo de la alternativa.

Para esto se ha tomado la alternativa que resulta a priori con mayores posibilidades técnicas constructivas; o sea la combinación de una de una zanja somera bajo el lecho actual con un dragado más profundo en zonas previstas para cauces futuros. De acuerdo al trazado en planta del cruce definitivo adoptado por ENERFE, se determinó una longitud de cruce de la laguna de aproximadamente 2500 m (Figura 8).



Figura 8: Ubicación del cruce más probable.

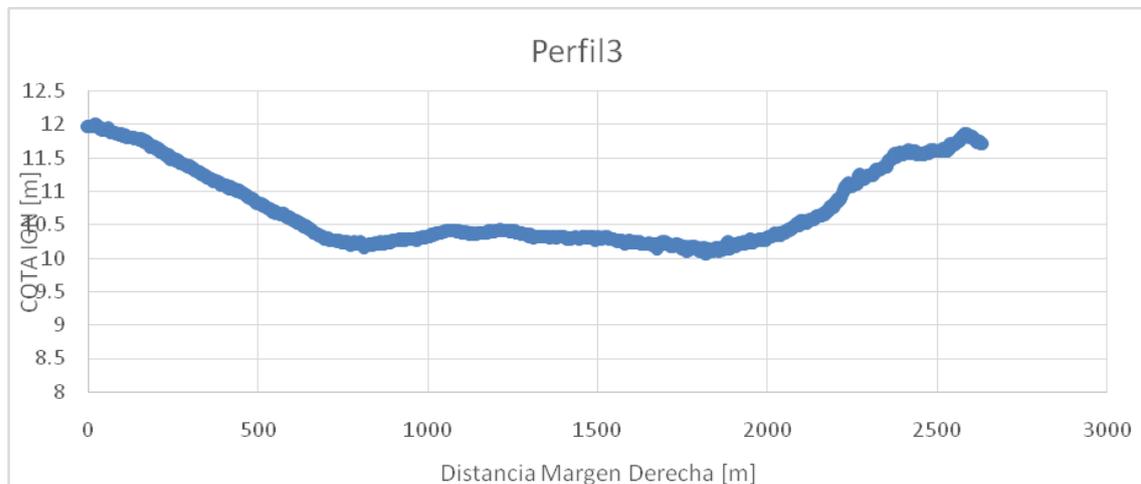


Figura 9: Perfil del fondo de la laguna en cercanías de la zona del cruce.

En la Figura 9 se visualiza un perfil tipo del fondo de la laguna Setúbal en aproximadamente la zona del cruce (en la Etapa 2 esta batimetría se debe realizar en la traza elegida) . Este perfil muestra pocas variaciones de cotas del fondo de la laguna, de entre 10 y 12 m IGN; suponiendo un nivel de agua de 4 m en el hidrómetro del puerto de Santa Fe cuya cota es 8.40 m IGN (aproximadamente 40% del tiempo excedido), resulta un pelo de agua cercano a

cota 13 m en la zona del cruce (suponiendo un desnivel hidráulico de aproximadamente 0.5 m). En base a esto, actualmente se tendrían profundidades de hasta 3 m en la zona del cruce, lo cual condiciona bastante la metodología constructiva por calados disponibles para el tránsito de dragas y/o embarcaciones auxiliares.

En gran parte de la longitud de este cruce, para esta alternativa constructiva (Opción C), se prevé realizar una zanja somera la que se construiría con retroexcavadora sobre pontón flotante (Figura 10), con pilones de fijación. Posteriormente a la colocación de la columna con contrapesos, tipo collarines o similares (preparada previamente en la costa) y arrastrada por tiro, y/o ensamblada in situ, sobre pontón flotante para soldadura y ensamble, se taparía la zanja mediante arenas refuladas por cañería de una draga de cortador pequeña (8 - 10 pulgadas), cuyos pozos de préstamos se ubicarían aguas abajo del cruce y convenientemente, para no inducir formación de cauce alguno.

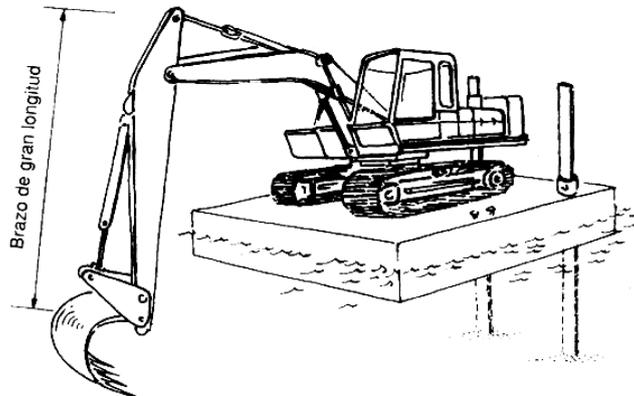


Figura 10: Retroexcavadora sobre pontón.



Figura 11: Draga de succión cortadora.

En el tramo restante se deberá realizar un dragado más profundo previendo la formación de cauces futuros (Opción B1). En este caso, se prevé realizarla con una draga de cortador (Figura 11); la misma que podría utilizarse para el relleno por refulado de la zanja más profunda. Son necesario además remolcadores y embarcaciones de apoyo (Figura 12).



Figura 12: Remolcador y embarcación de apoyo.

En caso de niveles de agua bajos (estiaje), sería necesario realizar obras de dragado adicionales para que tanto la draga como el pontón con la retro puedan acceder al lugar. En esa situación posiblemente sea conveniente, como una alternativa de metodología constructiva, utilizar una draga anfibia; la cual tiene la posibilidad de cumplir varias funciones tales como: excavar con pala, trabajar como una draga de corte y también efectuar el relleno (Figuras 13 y 14).



Figura 13: Draga anfibia (Watermaster).

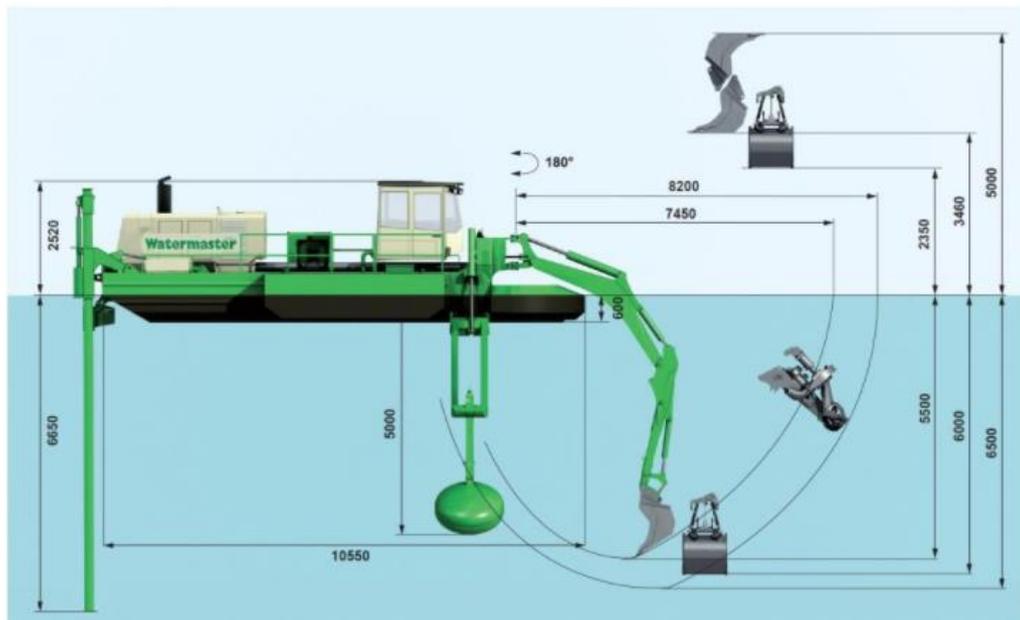


Figura 14: Draga anfibia (Watermaster).

Otra opción de metodología constructiva o complementaria, es la conformación de un tren de equipos (como se muestra en antecedentes del proyecto de cruce del río Paraná, para el gasoducto del NEA): compuesto por un pontón flotante con una retroexcavadora para limpieza de camalotes y o vegetación, luego vendría una draga de cortador con cañería que, a su vez que realizaría el dragado

de apertura de la zanja y también el arrojado del material dragado tapándola luego de la colocación de la cañería del gasoducto.

Atrás de la draga avanzaría un pontón flotante donde se armaría y soldaría la cañería, la que a medida que se ensambla se bajaría en la zanja. Además se necesita de un remolcador con pontón donde se transporten los tramos de cañería a soldar. En la Figura 15 se muestra una planta y lo que sería un perfil de la conformación del tren de equipos que se podría utilizar.

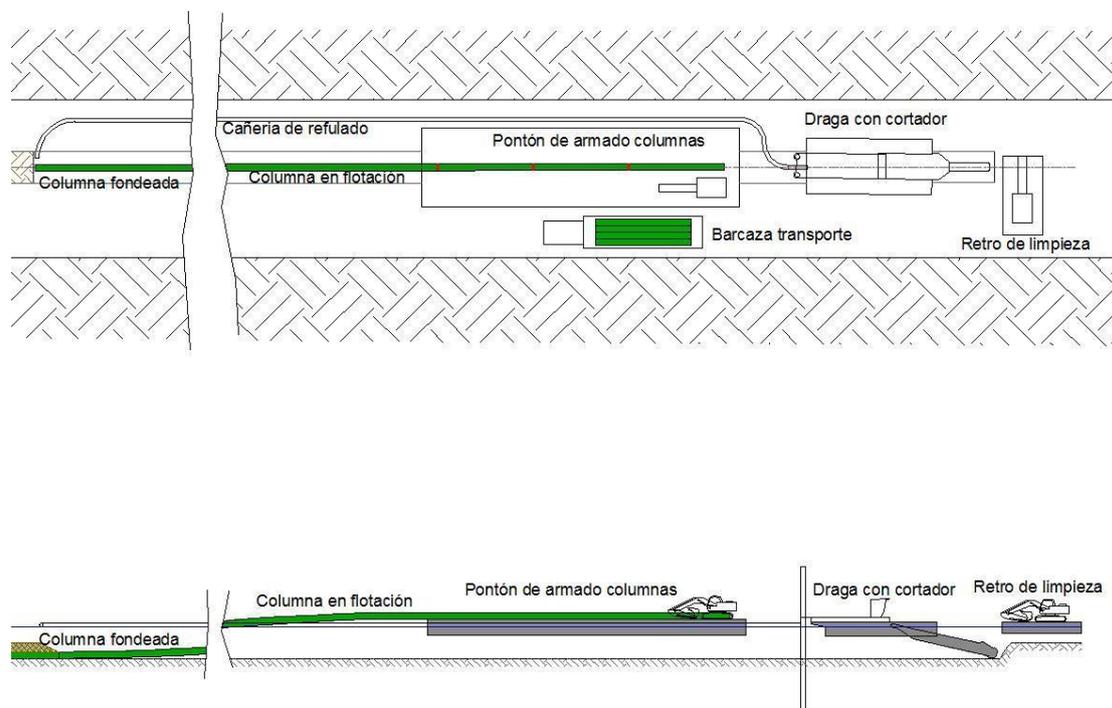


Figura 15: Posible esquema de metodología constructiva.

En las Figuras 16, 17 y 18, se visualiza el esquema de esta metodología constructiva (en 3d); donde se esquematiza la zanja dragada y cómo se arma y baja la cañería correspondiente al gasoducto, la flexibilidad de la misma permite esta manera de ir fondeándola.



Figura 16: Esquema de metodología propuesta en 3d.

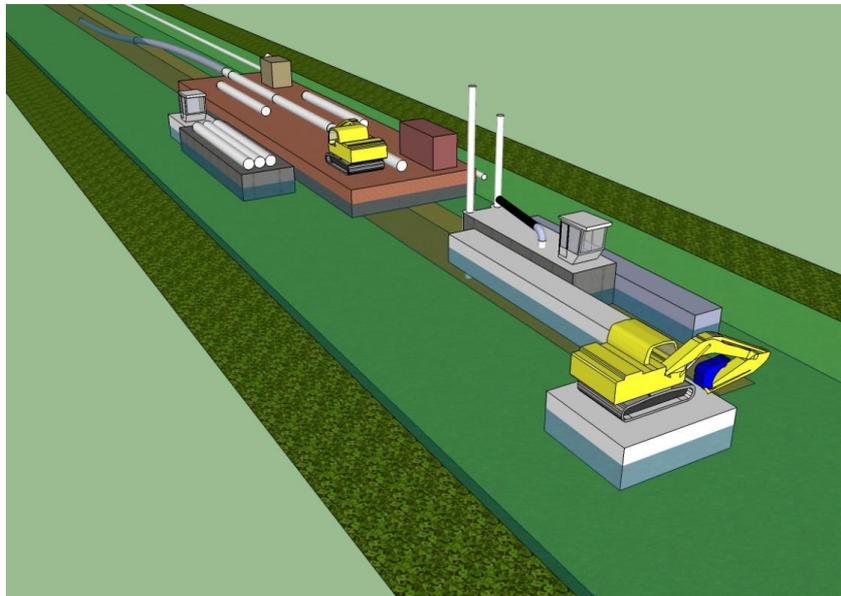


Figura 17: Esquema de metodología propuesta en 3d (otra vista).

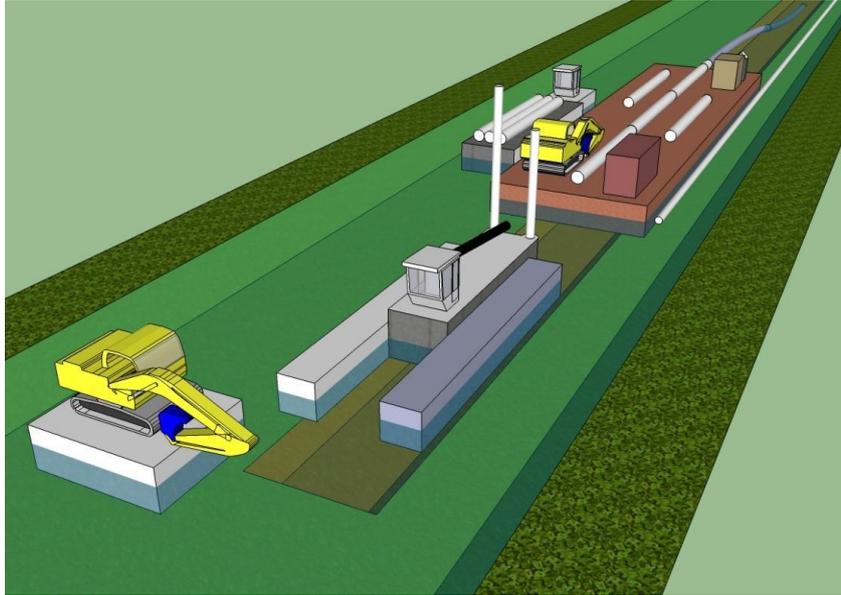


Figura 18: Esquema de metodología propuesta en 3D (otra vista).

En toda la traza, una vez colocada la cañería y por sobre la tapada se prevé además la colocación de una manta de geotextil con bloques de Hormigón adheridos, para la protección a la erosión fluvial (Figura 19).

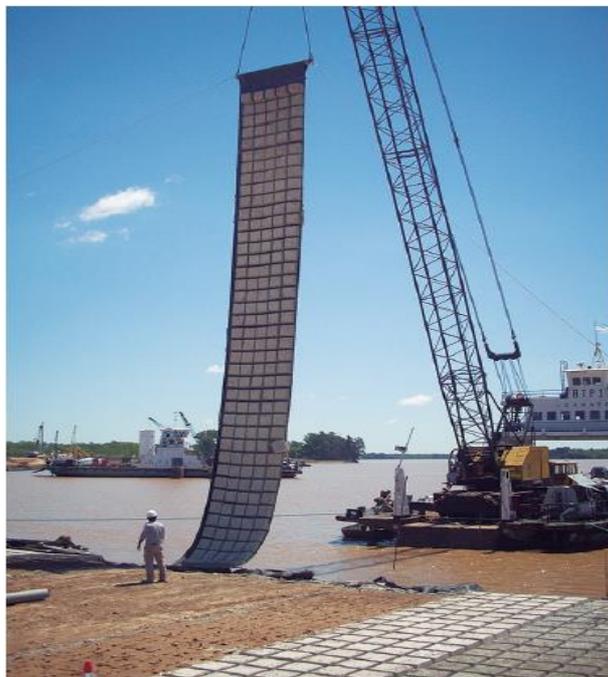


Figura 19: Colocación de protección con manta flexible.

Estimación de volúmenes de dragado basado en diferentes opciones geométricas

A continuación se realiza una breve descripción del cálculo preliminar de volúmenes para la evaluación de los dragados posibles a realizar en la zona de cruce. Para ello se adoptaron preliminarmente anchos de solera fijo de 1m, se varió la profundidad para opciones de dragado de 1m a 15 m (con variaciones de medio metro, entre estos rangos) y adicionalmente para cada una de estas profundidades previa se consideraron 5 posibles taludes laterales de equilibrio en la zanja, que son de 1:1, 1:2, 1:3, 1:4 y 1:5. Para determinar el volumen se hizo el cálculo del área trapezoidal hipotética resultante. La ecuación utilizada para ello corresponde a la del área del trapecio.

$$V = \frac{(B+b)h}{2} 1m \quad (1)$$

Siendo B base mayor, b base menor y h altura. La tabla que se presenta a continuación resume el cálculo de todas las opciones de profundidades y taludes combinados consideradas.

Tabla 1: Volúmenes de dragado (m³/m) para las diferentes opciones analizadas.

Profundidad [m]	Taludes				
	1:1	1:2	1:3	1:4	1:5
1	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
1.5	3.8	6.0	8.3	10.5	12.8
2	6.0	10.0	14.0	18.0	22.0
2.5	8.8	15.0	21.3	27.5	33.8
3	12.0	21.0	30.0	39.0	48.0
3.5	15.8	28.0	40.3	52.5	64.8
4	20.0	36.0	52.0	68.0	84.0
4.5	24.8	45.0	65.3	85.5	105.8
5	30.0	55.0	80.0	105.0	130.0

5.5	35.8	66.0	96.3	126.5	156.8
6	42.0	78.0	114.0	150.0	186.0
6.5	48.8	91.0	133.3	175.5	217.8
7	56.0	105.0	154.0	203.0	252.0
7.5	63.8	120.0	176.3	232.5	288.8
8	72.0	136.0	200.0	264.0	328.0
8.5	80.8	153.0	225.3	297.5	369.8
9	90.0	171.0	252.0	333.0	414.0
9.5	99.8	190.0	280.3	370.5	460.8
10	110.0	210.0	310.0	410.0	510.0
10.5	120.8	231.0	341.3	451.5	561.8
11	132.0	253.0	374.0	495.0	616.0
11.5	143.8	276.0	408.3	540.5	672.8
12	156.0	300.0	444.0	588.0	732.0
12.5	168.8	325.0	481.3	637.5	793.8
13	182.0	351.0	520.0	689.0	858.0
13.5	195.8	378.0	560.3	742.5	924.8
14	210.0	406.0	602.0	798.0	994.0
14.5	224.8	435.0	645.3	855.5	1065.8
15	240.0	465.0	690.0	915.0	1140.0

A continuación se presenta la Figura 20 donde se resumen los cálculos previamente consignados en la Tabla 1.

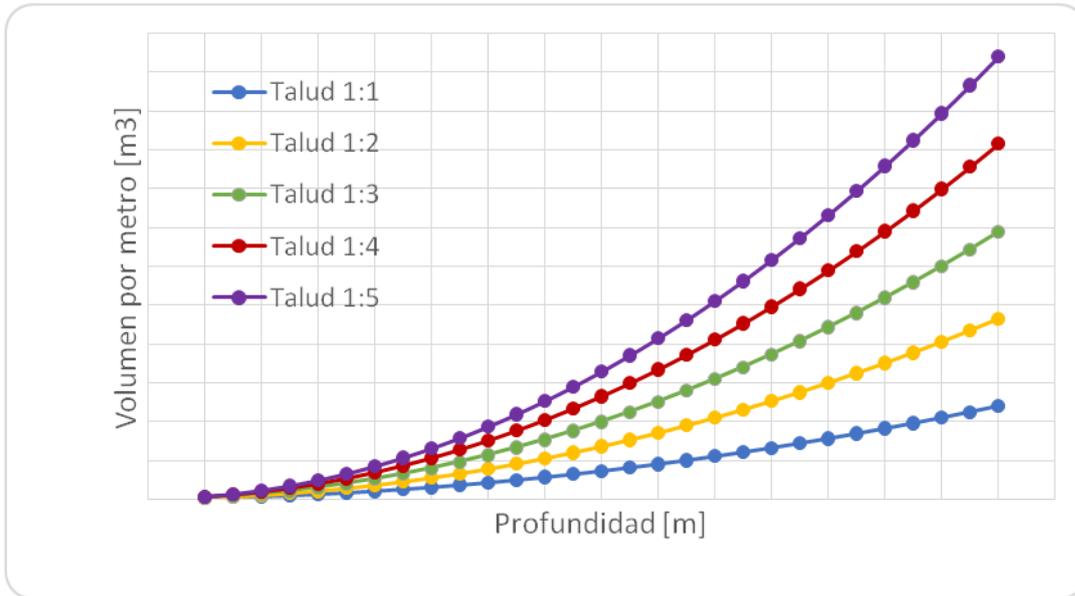


Figura 20: Variación del volumen por metro lineal, para las distintas opciones geométricas anteriormente indicadas.

Adicionalmente, con el fin de poder ilustrar la geometría final de la zanja para todas las profundidades posibles hasta condición máxima analizada ($h=15\text{m}$) se presenta una gráfica del corte transversal de la zanja, para las distintas opciones previamente indicadas.

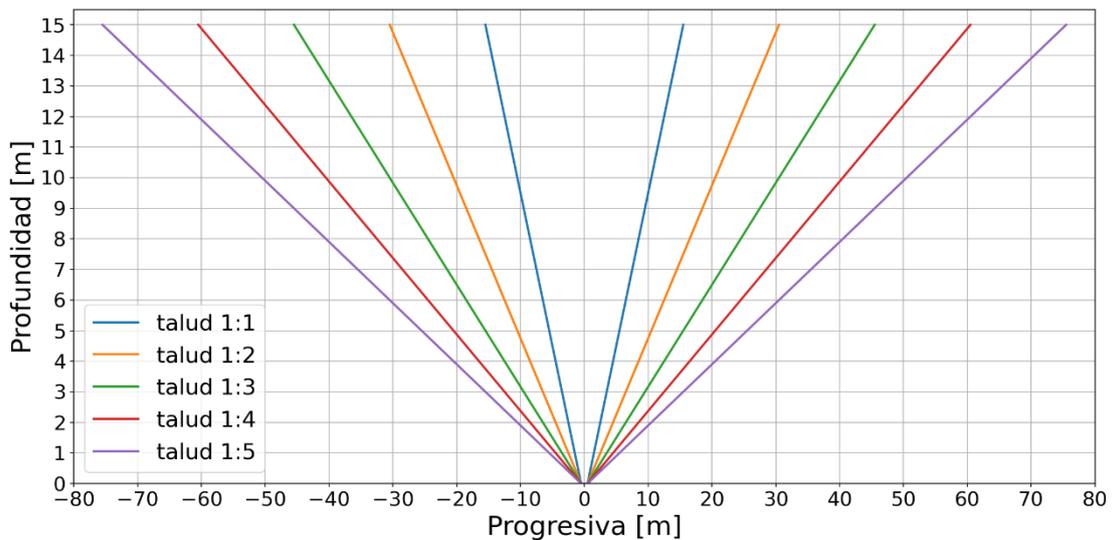


Figura 21: Sección resultante para la opción de mayor profundidad (15m).

Cabe destacar que esta geometría transversal de la zanja sería la correspondiente en condiciones de no flujo de agua. En la realidad, la solera de la zanja debería ser levemente más ancha y profunda previendo que durante el tiempo de exposición de la zanja construida y hasta que se coloque la cañería el transporte de sedimentos de la corriente la iría tapando, disminuyendo su profundidad y ancho. Este diseño final de detalle deberá incluirse en la Etapa 2.

A continuación, se muestran las figuras con los volúmenes totales de obras correspondientes a todas las variantes antes consignadas, para longitudes posibles finales del conducto de 1500m, 2000m y 2500m.

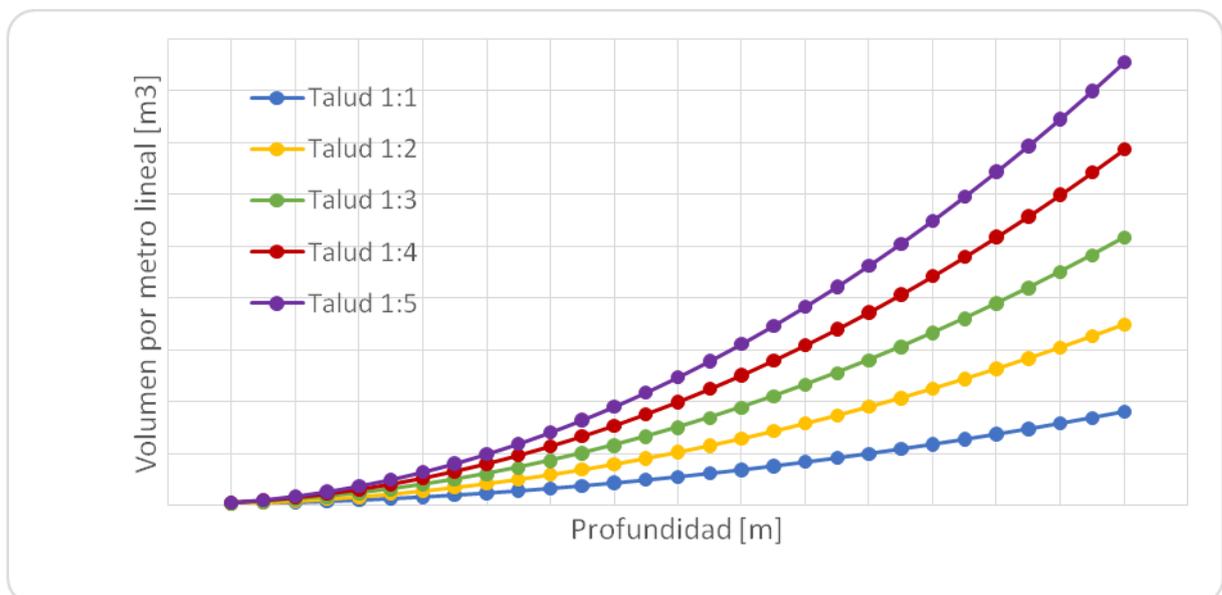


Figura 22: Variación de volúmenes totales en profundidades evaluadas para una longitud final de 1500m de dragado.

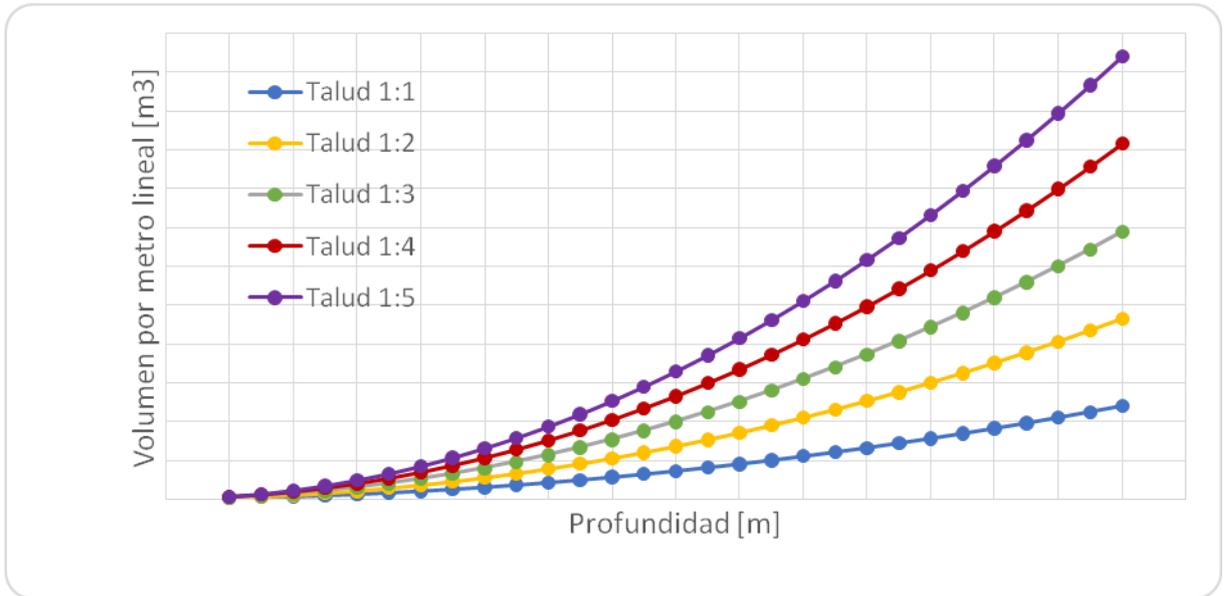


Figura 23: Variación de volúmenes totales en profundidades evaluadas para una longitud final de 2000m de dragado.

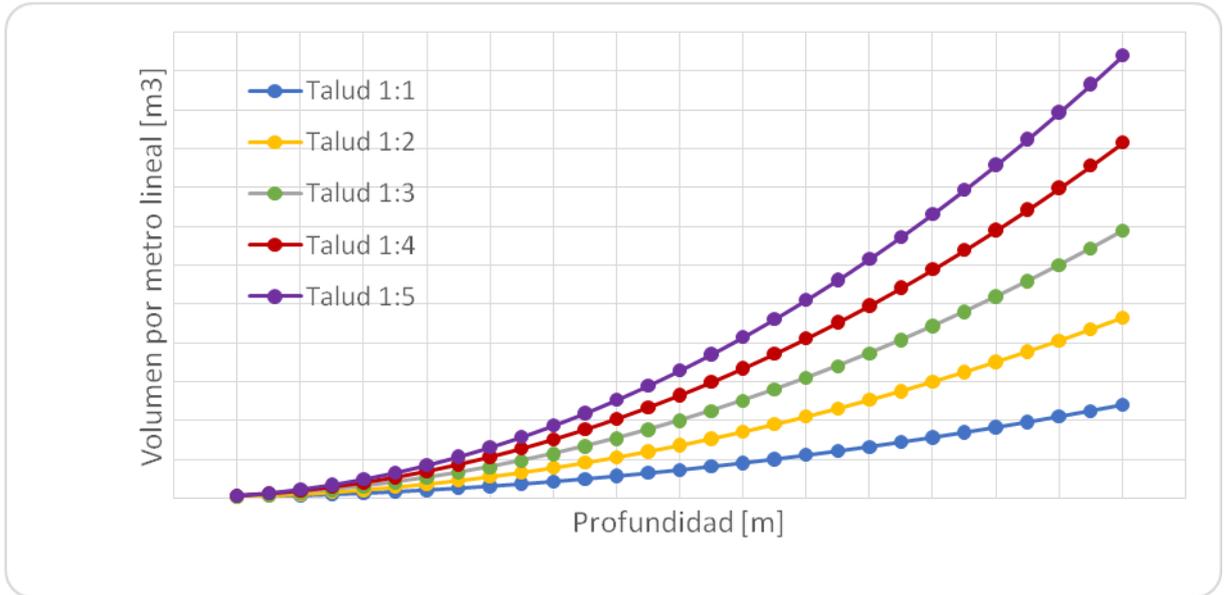


Figura 24: Variación de volúmenes en profundidades evaluadas para una longitud final de 2500m de dragado.

Cómputo preliminar de volúmenes

Si bien para esta etapa es prematuro realizar un cómputo detallado, se realizó un cálculo de volúmenes preliminares aproximados para los distintos ítems que componen la opción constructiva B2, con la finalidad de obtener posteriormente costos estimativos totales de la alternativa. Para ello se estima una longitud total del cruce de 2500 m. La excavación de la zanja somera (1900 m de longitud) se adopta de 2 m de profundidad, con un ancho de base de 1m y taludes 1:3 y para la parte profunda (600 m de longitud) se contempla una profundidad de corte de 8 m con base de 1m de ancho y taludes de 1:3. La protección con manta se adoptó en 15 m de ancho por toda la longitud, aunque se dividió en dos ítems, uno para colocado en la zona de zanja somera y otro para colocado en la zona profunda.

Como consecuencia de estos cálculos se obtuvieron (para el informe de avance, 15 de Febrero 2021) los siguientes cómputos preliminares:

Excavación y Relleno

Tarea	Longitud m	Área m ²	Volumen m ³
Excavación para col. Cañería c/Excavadora	1900	14	26600
Dragado con cortadora	600	200	120000
Tapado de zanja con draga cortadora	2500	14	35000

Colocación de Protección

Tarea	Longitud m	Ancho m	Área m ²
Protección Geo. c dado de H 15 cm	1900	15	28500
Protección Geo. c dado de H 15 cm a 8 m	600	15	9000

Equipos necesarios

Se describen a continuación los equipos necesarios para esta opción constructiva:

Draga de succión con cortador con bomba centrífuga de 400 HP.

Retroexcavadora grande con brazo largo de 200 HP

Pontón flotante con pilones de sujeción.

Remolcadores para draga y pontón, y demás embarcaciones de apoyo.

1.8 Planteo final de opciones constructivas para analizar en Etapa 2

En base al proceso de análisis realizado, en este documento detallado, sobre diferentes alternativas geográficas de cruces de la Laguna Setúbal; y a considerandos de reuniones finales internas de equipos de UNL, más posteriormente una reunión final con equipos técnicos de UNL y ENERFE, como conclusión de ETAPA 1 se propone **la traza geográfica CHACO CHICO, ZONA CENTRO, VARIANTE 2.**

Para este único cruce geográfico, se proponen las siguientes 4 Opciones constructivas a analizar en Etapa 2; y que se materializan esquemáticamente todas superpuestas en el perfil topobatimétrico de cruce (ver figura 25).

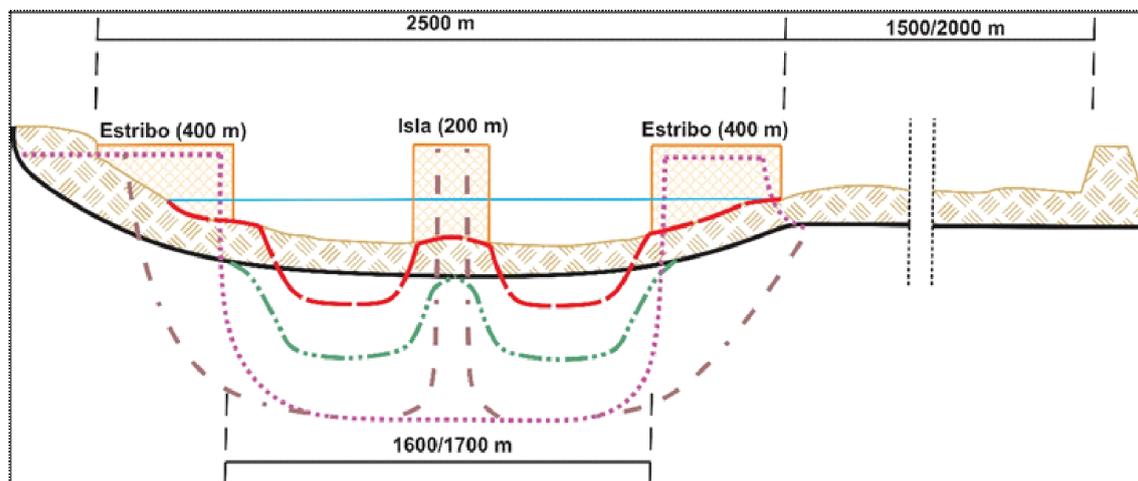


Figura 25: Opciones de metodologías constructivas propuestas para Etapa 2.

1) Cruce tradicional con soterramiento somero en todo el cruce (Opción C).

La misma consiste en realizar el cruce del caño de manera subfluvial con profundidades de soterramiento somero (1.5/2 m) en todo el cruce, es decir

copiando el perfil topobatimétrico actual. La zanja se construye mediante retroexcavadora de brazo largo montada sobre pontón flotante. Luego de colocado el caño, se procede al relleno de la zanja con arenas refuladas bajo agua mediante cañería de impulsión desde una draga de cortador (CSD). Luego de tapada la zanja se procede a la colocación de una protección a la erosión fluvial (manta flexible de bloques de hormigón adheridos a geotextil tejido). En la Figura 25 se indica esta opción con línea negra continua.

2) Cruce tradicional con soterramiento somero en zonas de no cauces y con soterramiento profundo en zonas de futuros cauces colectores (Opción B2).

Es lo mismo que 1), pero en las zonas previstas de futuros cauces colectores se reemplaza por soterramiento profundo, ejecutando la zanja mediante una draga de cortador (CSD) de dimensiones mayores. La profundidad a la cual colocar el gasoducto, la ubicación y anchos de cada cauce colector serán determinadas en Etapa 2. Luego de colocado el caño, se procede al relleno de la zanja con arenas refuladas bajo agua mediante cañería de impulsión desde la misma draga de cortador (CSD) que construyó la zanja. Luego de tapada la zanja hasta cota 2 m por encima del lomo del conducto, se procede a la colocación de una protección a la erosión fluvial (manta flexible de bloques de hormigón adheridos a geotextil tejido). En la Figura 25 se indica esta opción con línea de color verde, en trazos y doble puntos. En línea roja de trazos se esquematiza la colocación de la protección flexible para esta opción constructiva.

3) Cruce mediante Perforación Horizontal Dirigida (PHD), con terraplenes de ingreso a modo de estribos en ambas márgenes (Opción A2).

Consiste en aproximar el gasoducto desde tierra firme hasta la punta de los espigones/estribos en ambas márgenes, y luego efectuar una PHD por suelos profundos, por debajo de las máximas profundidades estimadas para los dos cauces colectores futuros. En la Figura 25 se indica esta opción con línea de puntos. En subtramos de espigones/estribos el gasoducto se construye con metodología convencional en seco.

4) Cruce mediante Perforación Horizontal Dirigida (PHD), con Isla en el medio (Opción A1).

Consiste en generar una Isla Artificial en la zona media del cruce de la laguna, para efectuar dos subtramos de cruces subfluviales profundos mediante PHD. Uno de ellos desde la margen derecha hasta la isla, y el otro desde la margen izquierda hasta la misma isla, donde luego se unirían ambos subtramos de PHD. La isla se construye mediante refulado con cañería impulsado desde una draga de succión con cortador (CSD). En la Figura 25 se indica esta opción con línea de trazos. Para esta opción, la conexión de ambos subtramos (isla) podría reubicarse un poco más hacia aguas arriba de la traza, buscando sobreelevar la isla donde ya la misma esté en proceso natural de formación como parte del delta del sistema. Esta ubicación del punto de inserción de la columna (hacia ambos subtramos - Este y Oeste) permitiría adecuar el terreno natural sobreelevado del entorno para facilitar el armado e inserción de ambas columnas en seco. En el subtramo de la isla sobreelevada el gasoducto se construye con metodología convencional en seco. Con la longitud de este subtramo en isla se podría regular la longitud máxima de cada subtramo de PHD, condicionada en función de los suelos presentes en el estrato de perforación más conveniente.

Cómputo y presupuesto final de las obras, para Etapa 1

Para las 4 opciones constructivas más arriba descritas se procedió a estimar un cómputo y presupuesto preliminar de las obras. El mismo no incluye la provisión de caños ni el armado de columna. Este cómputo y presupuesto corresponde a estimaciones globales preliminares, y es solo a los fines de poder hacer una comparación económica de las diferentes Opciones constructivas de cruce propuestas para analizar detalladamente en Etapa 2. Para el mismo se han ajustado mejor las longitudes de cada subtramo de cruce, profundidades de dragado y anchos de las protecciones a la erosión fluvial.

1) Opción Soterramiento somero (C)

Esta alternativa tiene en cuenta la construcción de una zanja somera (de aprox. 2 m de excavación) con retroexcavadora sobre pontón flotante; posteriormente la colocación de la cañería, para luego rellenar la zanja con una draga de cortador y

finalmente colocar una protección a la erosión fluvial compuesta por una manta flexible de geotextil con dados de Hormigón adheridos de 0.15 m de espesor.

Surge el siguiente cómputo de volúmenes:

Tarea	Unidad	longitud (m)	Ancho (m)	Área (m ²)	Cómputo
Excavación para cañería (retro)	m ³	2500		14	35000
Relleno c/ draga y refulado	m ³	2500		14	35000
Protección	m ²	2500	10		25000

Con un presupuesto preliminar estimativo de:

Item	Tarea	Unidad	Cantidad	Costo u. U\$S	Costo U\$S
1	Excavación	m ³	35000	11	385000
2	Relleno c/ draga y refulado	m ³	35000	15	525000
3	Protección	m ²	25000	130	3250000
4	Colocación cañería	Gl			700000
					4860000

2) Opción Soterramiento somero y profundo en cauces (B2):

Esta opción constructiva contempla dos tramos: uno similar a la primera opción con una longitud de 1700 m y el otro de 800 m (en 2 tramos) con excavación y colocación de la cañería a una mayor profundidad (10 m) para prever la formación de probables cauces futuros.

Tarea	Unidad	longitud (m)	Ancho (m)	Área (m ²)	Computo
Excavación para cañería (retro)	m ³	1700		14	23800
Dragado con draga cortadora	m ³	800		305	244000
Relleno c/ draga y refulado	m ³	1700		14	23800
Relleno c/ draga y refulado	m ³	800		14	11200
Protección	m ²	2500	10		25000

Ítem		Unidad	Cantidad	costo u. U\$S	Costo U\$S
1	Excavación para cañería (retro)	m3	23800	11	261800
2	Excavación c/Draga	m3	244000	15	3660000
3	Relleno c/ draga y refulado	m3	34200	15	513000
4	Protección	m2	25000	130	3250000
5	Colocación cañería	Gl			700000
					8384800

3) Opción Perforación Horizontal Dirigida (PHD) con terraplenes/estribos (A2):

Esta alternativa corresponde a la colocación de la cañería con una Perforación Horizontal Dirigida, pero debido a la gran longitud del cruce (2500 m), se realizan dos terraplenes de avance en las márgenes de 500 m cada uno (estribos Este y Oeste) por lo que la longitud de la PHD se reduce a 1500 m.

Tarea	Unidad	longitud (m)	Ancho (m)	Área (m2)	Computo
Construcción de terraplenes	m3	1000	15	350	350000
Perforación Horizontal Dirigida	m	1500			1500

Ítem		Unidad	Cantidad	costo u. U\$S	Costo U\$S
1	Construcción de terraplenes	m3	350000	20	7000000
2	Perforación Horizontal Dirigida	m	1500	1400	2100000
					9100000

4) Opción Perforación Horizontal Dirigida (PHD) con Isla (A1).

Esta opción tiene en cuenta la construcción de una Isla para acortar longitud de la PHD. La Isla tiene en planta una dimensión de una hectárea (100 m x100 m). Se construye primero la Isla con refulado desde una draga, posteriormente desde una margen se realiza una PHD hasta la Isla y luego desde la otra margen también mediante PHD hasta la misma isla, donde se unen ambos subtramos.

Tarea	Unidad	longitud (m)	Ancho (m)	Área (m ²)	Computo
Volumen relleno Isla	m ³	100	100	10000	136150
Perforación Horizontal Dirigida	m	2400			2400

Ítem		Unidad	Cantidad	costo u. U\$S	Costo U\$S
1	Volumen relleno Isla		136150	15	2042250
2	Perforación Horizontal Dirigida	m	2400	1400	3360000
					5402250

Resumiendo, y aclarando que este presupuesto corresponde a estimaciones globales preliminares se tiene:

Opciones constructivas propuestas para Etapa 2	Costo Aprox. (Mill U\$D)
Opción soterramiento somero	4,86
Opción soterramiento somero y profundo en cauces	8,38
Opción perforación horizontal dirigida (PHD) con terraplenes	9,10
Opción perforación horizontal dirigida (PHD) con Isla	5,54

1.9 Conclusiones de la Etapa 1

El presente informe contiene el resultado de los primeros 3 meses de trabajo (Etapa 1) del equipo multidisciplinario de la FICH, interactuando en contacto directo y estrecho con equipos técnicos de ENERFE y asesores involucrados.

Se han recopilado y analizado antecedentes, extractando de ellos los principales aspectos a aplicar para el análisis de diferentes alternativas de trazas geográficas y/o metodologías constructivas.

En este informe se ha dejado plasmado el proceso de avance del análisis, partiendo de supuestos puntos preliminares de contacto del gasoducto en ambas márgenes de la laguna, condicionados por el trazado terrestre del gasoducto en las zonas de aproximación hacia las márgenes de la laguna. Estos puntos iniciales luego fueron cambiando, y con ello las posiciones más precisas de las trazas.

Se considera que estos puntos de cruce en ambas márgenes (condicionados a las trazas de aproximación en tierra firme y que dan sus orígenes), son elementos claves para definir la traza del cruce de la Laguna, que implique la menor longitud de cañería.

Luego de un análisis detallado de las 3 alternativas de trazas geográficas iniciales analizadas (Norte, Centro y Sur) y de las numerosas opciones metodológicas constructivas contempladas; todas ellas también analizadas desde los diferentes enfoques disciplinares (ver capítulos adjuntos), se decide proponer a ENERFE la traza considerada más conveniente con 4 posibles opciones constructivas, como a continuación se detalla:

A la fecha de cierre de este informe (31 Marzo de 2021), la traza geográfica más conveniente es la denominada como CENTRO (en Chaco Chico), Variante 2; y las opciones constructivas de cruces propuestas para analizar en detalles durante la Etapa 2 son las C, B2, A2 y A1; de las inicialmente planteadas.

En los capítulos correspondientes a cada una de las áreas temáticas de: Geomorfología Fluvial, Geotecnia, Hidrología/Hidráulica, y Medio Socio Ambiental, se presentan los aportes de cada disciplina al análisis integrado y multidisciplinario que permiten arribar como conclusión a esta traza con sus 4 opciones constructivas.

Es así como se propone seleccionar para los estudios de prefactibilidad técnica, económica y ambiental, a desarrollar en la Etapa 2: una única traza geográfica, con 4 opciones constructivas, a saber:

TRAZA CENTRO (Chaco Chico) Variante 2, con las siguientes opciones constructivas:

- *Opción soterramiento somero.
- *Opción soterramiento somero y profundo en cauces.
- *Opción perforación horizontal dirigida (PHD) con isla.
- *Opción perforación horizontal dirigida (PHD) con estribos.

Sugerencia de adelantar estudios de suelos para Etapa 2

Durante esta Etapa 1, también se ha decidido dónde ubicar las 4 perforaciones sugeridas por FICH-UNL: 2 de 15 m de profundidad en las márgenes del cruce, y 2 de 50 m de profundidad en la zona central de la laguna, donde se espera la conformación futura de cauces colectores. La siguiente figura muestra estas ubicaciones, ya detalladamente posicionadas sobre la Traza Centro, Variante 2 (Frente a Chaco Chico). Las coordenadas geográficas de las mismas han sido entregadas a ENERFE, para que se las indique a la empresa contratada que las va a ejecutar.



Ubicación de perforaciones para estudios geotécnico en traza Centro-v2.

CAPITULO 2. HIDROLOGÍA - HIDRÁULICA

2.1 Introducción

El presente informe contiene el estudio del comportamiento hidrológico e hidráulico del sistema Leyes- Setúbal, el análisis de los caudales en el Arroyo Leyes en Ruta Provincial N°1 (RP 1), en el Arroyo Santa Rita en RP 1, en el Arroyo Potrero en RP 1 y en la Laguna Setúbal. Además, se muestra el comportamiento de los Arroyos Saladillo Dulce y Saladillo Amargo, como integrantes del sistema hídrico que forma parte del área por donde se realizará el cruce del Gasoducto Metropolitano.

Por otra parte, se presenta la curva de permanencia de alturas en el Puerto de Santa Fe y el análisis de frecuencia para diferentes períodos de retorno.

También se presenta la curva altura-caudal en la sección de la Laguna Setúbal y la relación entre las alturas del Puerto de Santa Fe y los caudales en la Laguna. Todo el análisis se realizó con información existente en diversas instituciones nacionales y regionales y en base a estudios antecedentes.

Los resultados permiten establecer conclusiones que se deberán tener en cuenta en la etapa constructiva del cruce del Gasoducto Metropolitano.

2.2. Comportamiento hidráulico del Sistema Leyes-Setúbal analizado en base a estudios existentes.

Generalidades

El área en estudio pertenece al Sistema Paraná-Leyes-Setúbal, que, a su vez, está integrado por los siguientes Subsistemas:

- Subsistema Colastiné-Paraná: está comprendido de oeste a este entre la RP 1 y la costa entrerriana, lindando al sur con la ruta nacional N° 168 (RN 168). Los aportes y salidas son fundamentalmente a través del río Paraná, río Colastiné y en menor grado los aliviadores sobre la RN 168. Presenta transfluencias laterales hacia el subsistema Leyes-Setúbal en margen derecha.

- Subsistema Leyes-Setúbal: tiene por límite la RP I al este, RN 168 al sur y ciudad de Santa Fe al oeste. Es alimentado por los arroyos Saladillos desde el norte y Leyes, Potrero y Santa Rita que lo vinculan con el subsistema Colastiné. En situación de grandes crecidas esta vinculación se produce adicionalmente a través de cortes y desbordes producidos en la RP I. La salida se produce por la sección del puente Colgante y los aliviadores de la RN 168.
- Subsistema Ruta Nacional 168-Alto Verde: ubicado aguas abajo de la RN 168 y comprendido entre la margen de Santa Fe y el Río Colastiné. Es el receptor de las salidas del subsistema Leyes-Setúbal y de los desbordes del subsistema Colastiné-Paraná.
- Complejo lagunar Capón-Leyes-Setúbal: se encuentra ubicado en la parte oeste del sistema, separado del valle de inundación del río Paraná, por el denominado albardón costero, con una dirección aproximada norte-sur. Sus aportes provienen del Arroyo Leyes y, de menor importancia, de los arroyos Saladillo y Aguiar.
- El agua que circula por el canal principal de la Laguna Setúbal desemboca en el Canal de Derivación Norte del Puerto de Santa Fe.

La Figura 1 ilustra los Subsistemas que pertenecen al Sistema Paraná-Leyes-Setúbal.

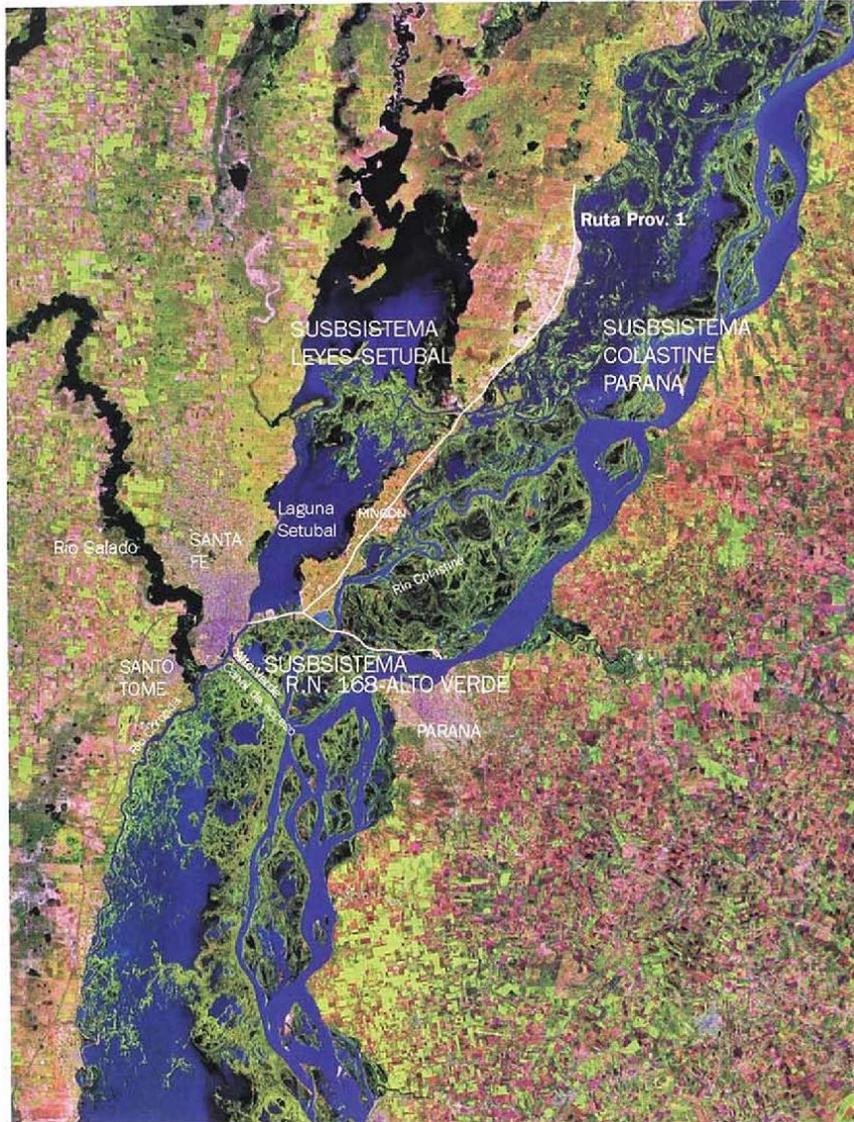


Figura 1: Sistema Paraná-Leyes-Setúbal Fuente: El Río Paraná en su tramo medio (Tomo II, Prácticas ingenieriles en un gran río de llanura).

En particular, el área de estudio pertenece al Subsistema Leyes-Setúbal, que tiene por límite la RP 1 al este, la RN 168 al sur y la ciudad de Santa Fe al oeste. El sistema está compuesto por los arroyos Saladillos desde el norte y Leyes, Potrero y Santa Rita que lo vinculan con el subsistema Colastiné. En situación de grandes crecidas esta vinculación se produce adicionalmente a través de cortes y

desbordes producidos en la RP 1. La salida se produce por la sección del puente Colgante y los aliviadores de la RN 168.

El arroyo Leyes, con una longitud aproximada de 10 km, es de gran importancia en el funcionamiento del sistema general. Su dinámica ha generado serios problemas en los puentes sobre la RP 1. El arroyo atraviesa la ruta a través de tres brazos: el Leyes propiamente dicho, el arroyo Potrero o Colorado al sur del anterior y el arroyo Santa Rita al norte del Leyes. Este componente vincula el subsistema Colastiné-Paraná desembocando a través de un delta en el complejo lagunar que constituye el subsistema Leyes-Setúbal.

Por su parte, el Complejo lagunar Capón - Leyes - Setúbal, se encuentra ubicado en la parte oeste del sistema, separado del valle de inundación del río Paraná por el denominado albardón costero, con una dirección aproximada norte - sur. Sus aportes provienen del arroyo Leyes, y con menor importancia, de los arroyos Saladillo y Aguiar.

El agua que circula por el canal principal de la laguna Setúbal desemboca en el Canal de Derivación Norte del puerto de Santa Fe. El flujo que pasa por los aliviadores confluye al valle de inundación situado aguas abajo de la RN 168, donde se encuentra el riacho Santa Fe con dirección este - oeste, el que lo recoge parcialmente y el resto continúa aguas abajo superando transversalmente el Canal de Acceso al puerto a través de la zona de Alto Verde.

Finalmente, el Canal de Derivación Sur recibe la mayor parte del caudal que proviene de la Setúbal y lo transmite al río Coronda, que es el elemento de conducción de la margen derecha del río Paraná aguas abajo de la ciudad de Santa Fe. El Coronda recibe además, los aportes del río Salado, que desemboca en él.

Comportamiento del sistema ante diferentes crecidas

Caudales en Arroyos Leyes, Potrero y Santa Rita}

Se considera de gran interés describir el comportamiento de las crecidas de 1982/83, 1992 y 1998, ya que se dispone de excepcionales registros de las mismas, sin los cuales hubiera sido imposible avanzar en el conocimiento y simulación del sistema. Los principales registros fueron realizados por el Área Hidrología de la Empresa AyEE a cargo de la mayoría de los aforos durante

1982-83 y 1992, transformada luego en la Empresa EVARSA que continuó operando por cuenta de la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación. También el Centro Regional Litoral del ex -INCYTH, actualmente INA, que midió sobrelevaciones y realizó batimetrías y aforos complementarios, así como la DPOH que también realizó mediciones complementarias.

Los ingresos al subsistema Leyes-Setúbal por los arroyos Leyes, Potrero y Santa Rita en la RP 1 en las diferentes crecidas, se sintetizan en los aforos que se presentan en las siguientes Tablas. Fuente: El Río Paraná en su tramo medio (Tomo II, Prácticas ingenieriles en un gran río de llanura).

Tabla 1: Caudales de Ingreso al subsistema Leyes-Setúbal en los puentes de la RP1 en la crecida de 1983

Fecha	Altura Puerto Sta. Fe (m)	Caudal (m ³ /s)	Caudal (m ³ /s)	Caudal (m ³ /s)	Caudal (m ³ /s)
		A° Leyes	A° Potrero	A° Santa Rita	Caudal Total
08/06/83	7,11	6563	2252	880	9695
06/07/83	7,33	7210	2722	928	10860
29/07/83	7,20	7104	2502	1057	10663

Durante la crecida de 1983, cedieron las defensas de la RP 1, con una estimación 2400 m³/s que ingresaron por los cortes, estimándose un caudal total de ingreso de aproximadamente 13300 m³/s.

Tabla 2: Caudales de Ingreso al subsistema Leyes-Setúbal en los puentes de la RP1 en la crecida de 1992

Fecha	Altura Puerto Sta Fe (m)	Caudal (m3/s)	Caudal (m3/s)	Caudal (m3/s)	Caudal (m3/s)
		A° Leyes	A° Potrero	A° Santa Rita	Caudal Total
15/06/92	6,85	6 650	1 496	477	8 623
19/06/92	7,32	9 464	2 158	735	12 357
30/06/92	7,10	6 290	1 674	413	8 377

Dado que las defensas de la RP 1 resistieron el embate de la crecida, la transferencia de caudales en los sectores bajos fue prácticamente despreciable y todo el paso de agua se concentró en los puentes. Se observa que, en momentos del pico de la crecida de 1992, por los puentes de los arroyos Leyes, Potrero y Santa Rita, pasó un caudal un 14 % mayor que en la crecida de 1983. Sin embargo, a nivel de caudal máximo ingresado total, el de 1983 es un 8 % mayor que el de 1992.

Tabla 3: Caudales de Ingreso al subsistema Leyes-Setúbal en los puentes de la RP1 en la crecida de 1998.

Fecha	Altura Puerto Sta Fe (m)	Caudal (m3/s)	Caudal (m3/s)	Caudal (m3/s)	Caudal (m3/s)
		A° Leyes	A° Potrero	A° Santa Rita	Caudal Total
16/05/98	7,15	6188	2441	541	9170
19/05/98	7,05	7185	2312	484	9981

Durante esta crecida tampoco hubo transfluencia por cortes de la RP 1, y todo el ingreso se produjo por los puentes.

Caudales en el Puente Oroño

Tabla 4: Caudales en el Puente Oroño en la crecida de 1983.

Fecha	Altura escala (m)	Área (m ²)	Profundidad media (m)	Caudal (m ³ /s)	Velocidad máxima (m/s)	Velocidad media (m/s)	Sección
21/12/82	6,61	3896	11,20	3 505	1,48	0,93	Aerosilla
23/12/82	6,77	3758	11,30	3969	1,41	1,05	Aerosilla
28/12/82	6,95	3877	12,00	4975	1,66	1,28	Aerosilla
09/03/83	6,77	3972	20,00	4385	2,08	1,22	C. Maipú
18/04/83	6,44	4396	20,80	5489	2,05	1,25	C. Maipú
26/04/83	6,87	4257	17,80	3525	1,19	0,83	C. Maipú
27/05/83	6,88	4749	19,50	6103	1,95	1,29	C. Maipú
31/05/83	6,96	4741	19,90	5857	1,97	1,24	C. Maipú
08/06/83	7,11	4773	19,00	6947	2,08	1,46	C. Maipú
23/06/83	6,88	5170	20,50	6539	1,97	1,27	C. Maipú
30/06/83	7,19	5338	23,06	8436	2,43	1,58	C. Maipú
06/07/83	7,33	5212	27,30	9722	2,78	1,87	C. Maipú
29/07/83	7,20	5892	25,00	9151	2,08	1,55	C. Maipú
10/10/83	5,09	4103	22,80	1878	0,63	0,46	C. Maipú

Los valores de caudales aforados durante la crecida varían de 3.600 m³/s al inicio hasta 9.700 m³/s en el pico. Las profundidades máximas y el área de la sección transversal muestran claramente la erosión que se produjo. Es muy interesante comparar los valores del aforo del 6 de julio con el realizado el 29 del mismo mes, ya que existe una importante diferencia en las áreas. Así se tiene que, con poca diferencia de escala y caudales algo menores, las mediciones del día 29 muestran un incremento del área en aproximadamente 800 m². El aumento de la sección de paso produjo una importante caída en las velocidades tanto máxima como media. En el aforo del 10 de octubre, realizado

posteriormente a la finalización de la crecida, puede notarse que no se produjo sedimentación luego de los procesos erosivos. Si se comparan los valores de este aforo con los del inicio de la crecida se encuentra que para alturas de la escala de Santa Fe superiores a los 6 m el área era de unos 3.800 m², mientras que, en éste, para una altura de escala de 5,09 m, superó los 4.000 m². Esta situación se ha mantenido prácticamente inalterada hasta la fecha, lo que constituye una indudable ventaja, ya que se ha producido un aumento de la capacidad de evacuación de la sección sin que se llegue a velocidades erosivas.

Tabla 5. Caudales en el Puente Oroño en la crecida de 1992.

Fecha	Altura escala (m)	Área (m ²)	Profundidad media (m)	Caudal (m ³ /s)	Velocidad máxima (m/s)	Velocidad media (m/s)	Sección
14/05/92	5,60	4179	19,80	3137	1,01	0,75	C.Maipú
02/06/92	6,22	4548	21,20	4199	1,22	0,92	C.Maipú
11/06/92	6,44	4957	22,90	4884	1,39	0,98	C.Maipú
16/06/92	6,98	5085	22,90	5939	1,59	1,17	C.Maipú
23/06/92	7,42	5429	23,50	7711	1,87	1,42	C.Maipú
01/07/92	7,04	5308	22,04	7320	1,81	1,38	C.Maipú
17/07/92	6,03	4731	21,00	5029	1,36	1,06	C.Maipú

Como puede observarse en la Tabla, el área de la sección transversal ha permanecido prácticamente constante, no produciéndose nuevas erosiones. Es razonable suponer que el caudal máximo de esta crecida fue el adoptado para que evacúe esta sección. De producirse mayores escurrimientos por el sistema, los incrementos deberían ser conducidos a través de los aliviadores.

Tabla 6. Caudales en el Puente Oroño en la crecida de 1998.

Fecha	Altura escala (m)	Área (m ²)	Profundidad media (m)	Caudal (m ³ /s)	Velocidad máxima (m/s)	Velocidad media (m/s)	Sección
15/05/98	7,16	5218	24,10	8494	2,13	1,62	C.Maipú
15/05/98	7,14	5218	24,10	8494	2,13	1,62	C.Maipú
15/05/98	6,99	4731	21,00	8339	1,36	1,06	C.Maipú

Los caudales evacuados por la sección de salida de la laguna Setúbal durante 1998 fueron muy importantes, y superiores a los de la crecida 1992 al sumarse los aportes de lluvia provenientes de los arroyos Saladillos.

Más recientemente, entre diciembre de 2015 y mayo de 2016 se presentó una crecida, considerada la de mayor magnitud, luego de la de 1998. En esta oportunidad, se observaron dos picos, uno de 38757 m³/s (6/01/2016) y otro de 34705 m³/s (13/04/2016). Para primer pico, el valor de altura en el Puerto de Santa Fe fue de 6,60 m, uno de los más importantes aforados. Esta crecida se observa entre las 6 más grandes, desde 1905.

2.3 Análisis de caudales en los principales componentes del sistema

Datos disponibles

La Tabla 7 presenta los datos recopilados, que serán analizados para conocer los estadísticos de niveles y caudales, así como la curva de permanencia de alturas. En este informe preliminar, se analizarán las alturas en el puerto de Santa Fe.

Tabla 7. Datos disponibles en las diferentes secciones del área de estudio.

Código	Lugar	Variable	Período	Fuente	Observaciones
3225	A° Leyes - RP1	QMD	01/09/77- 02/09/2018	SSRH	
3320	A° Potrero - RP1	QMD	01/09/77- 02/09/2018	SSRH	
3339	Santa Fe - La Guardia	QMD	01/01/1905- 02/09/2018	SSRH	En Puerto de Palos
3334	Santa Rita - RP1	QMD	01/09/77- 02/09/2017	SSRH	
3222	Cierre Leyes	QMD	01/09/77- 30/12/2000	SSRH	Inactiva
3339	Santa Fe - La Guardia	H diaria	1992 - 31/10/2020	SSRH	
	Puerto Santa Fe	H diaria	01/01/1925 - 02/2021	SSRH	
3339	Sistema Setúbal-La Guardia	Aforos	16/01/2015 - 03/11/2020	SSRH	
3200	A° Saladillo Amargo Vera Mujica	QMD	01/01/53- 01/09/2018	SSRH	
3218	A° Saladillo Dulce La Noria	QMD	01/01/53- 01/09/2018	SSRH	

Donde QMD es el Caudal Medio Diario y SSRH es la Sub Secretaría Recursos Hídricos.

Análisis de caudales en Arroyo Leyes, Arroyo Santa Rita y Arroyo Potrero

La Figura 2 ilustra los Caudales Medios Diarios en la sección de RP 1 del Arroyo Leyes. La serie comprende valores desde 1977 al 2000. Los valores máximos encontrados corresponden a las inundaciones del año 1983, con un valor de 13 907 (m^3/s) el 5/07/83, le sigue el valor de 13421 el 21/06/92 y finalmente el 14/5/98 con un valor de 13339 m^3/s . El valor medio de la serie es de 1810 m^3/s y el mínimo observado es de 312 m^3/s .

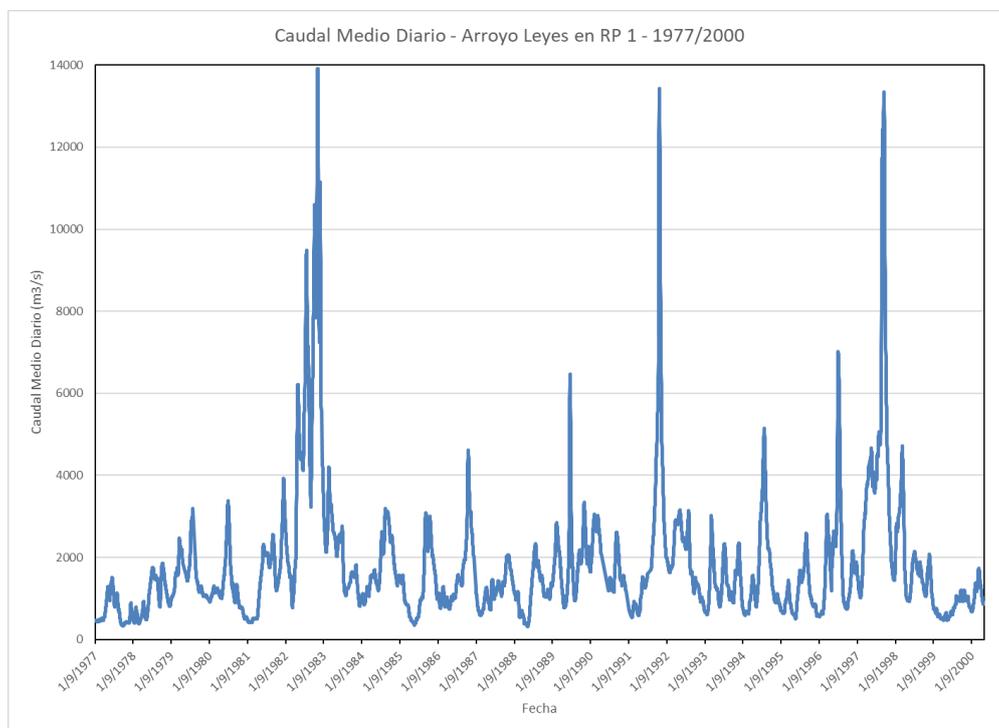


Figura 2: Caudal Medio Diario, Arroyo Leyes en RP 1, serie 1977/2000.

La Figura 3 ilustra los Caudales Medios Diarios del Arroyo Santa Rita en RP 1, para la serie 1977 al 2017. El valor máximo de la serie corresponde al 21/06/92 y fue de 824 m³/s, seguido del valor del 13/05/98, con 817 m³/s. El promedio de la serie es de 38 m³/s.

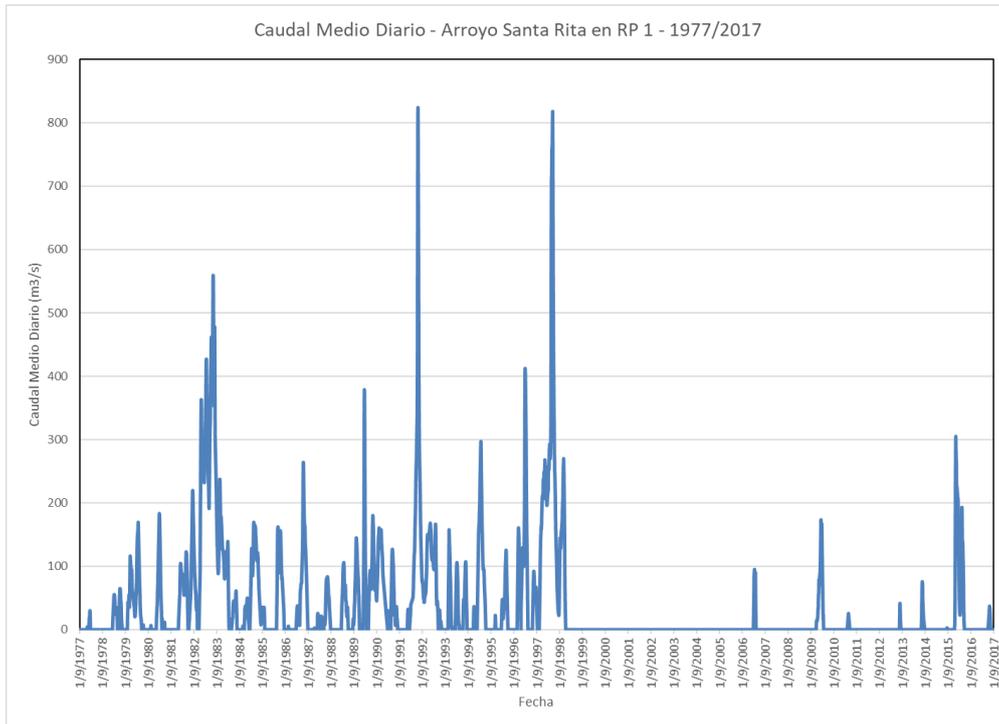


Figura 3: Caudal Medio Diario, Arroyo Santa Rita en RP 1, serie 1977/2017.

Por su parte, la Figura 4 muestra la serie de Caudales Medios Diarios del Arroyo Potrero en RP 1, para la serie comprendida entre 1977 al 2018. En este caso los valores máximos registrados corresponden al año 1992, con 2313 m³/s y al año 1998 con un valor de 2284 m³/s. El valor promedio de la serie es de 403 m³/s.

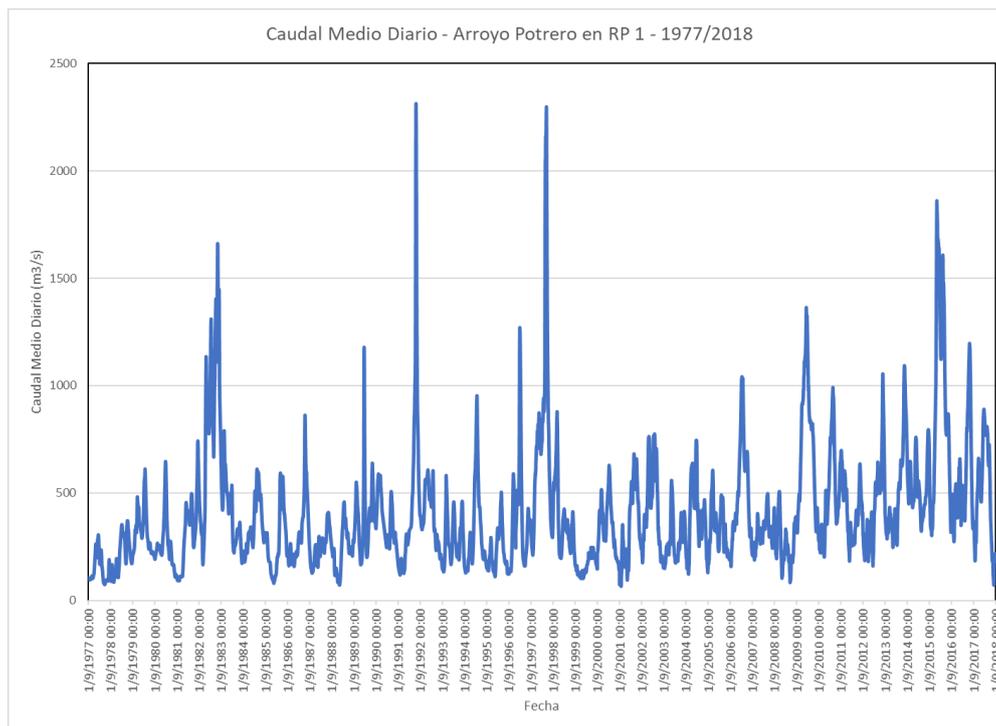


Figura 4: Caudal Medio Diario, Arroyo Potrero en RP 1, serie 1977/2018.

Se puede observar que el sistema Leyes-Potrero-Santa Rita presenta crecidas con picos de caudal de gran magnitud respecto de los valores medios y de corta duración.

Análisis de caudales en los Arroyos Saladillo Dulce y Saladillo Amargo

Las Figuras 5 y 6 presentan los valores de los aportes de los Arroyos Saladillo Dulce en La Noria y Saladillo Amargo en Vera Mujica, para la serie desde 1953 a 2017, respectivamente. Los valores máximos observados corresponden al año 2016 para el Arroyo Dulce (847 m³/s) y al año 1993 para el Arroyo Amargo (300 m³/s).

Por su parte, el promedio de los valores es de similar orden de magnitud, 14 m³/s para el Dulce y 17 m³/s para el Amargo.

No se dispone de datos del Arroyo Aguiar.

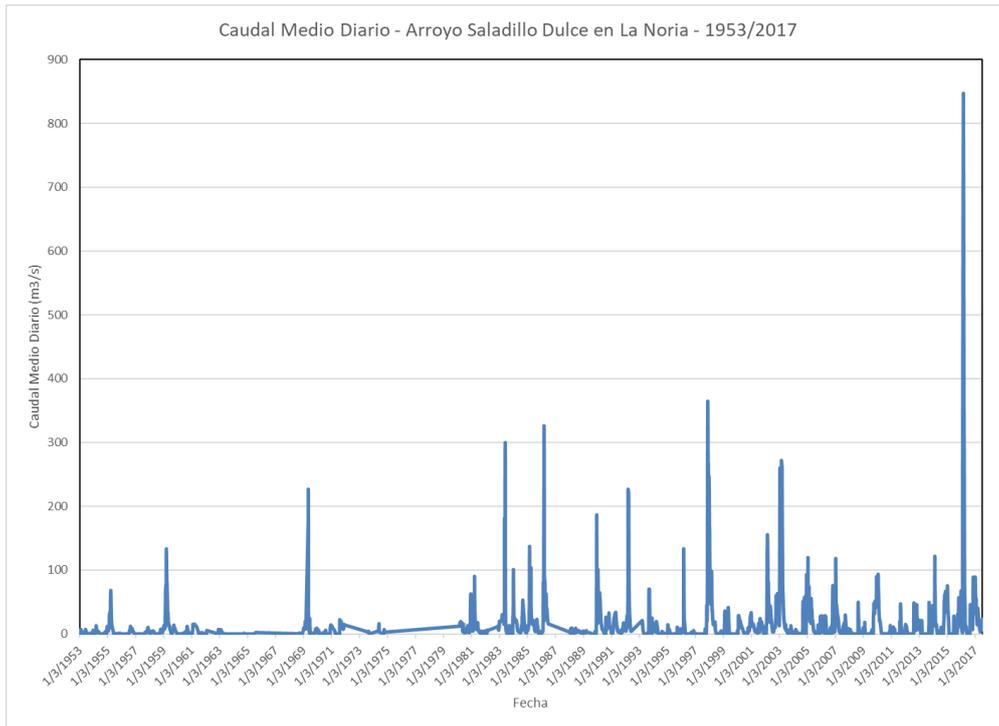


Figura 5: Caudal Medio Diario, Arroyo Saladillo Dulce en La Noria, serie 1953/2017.

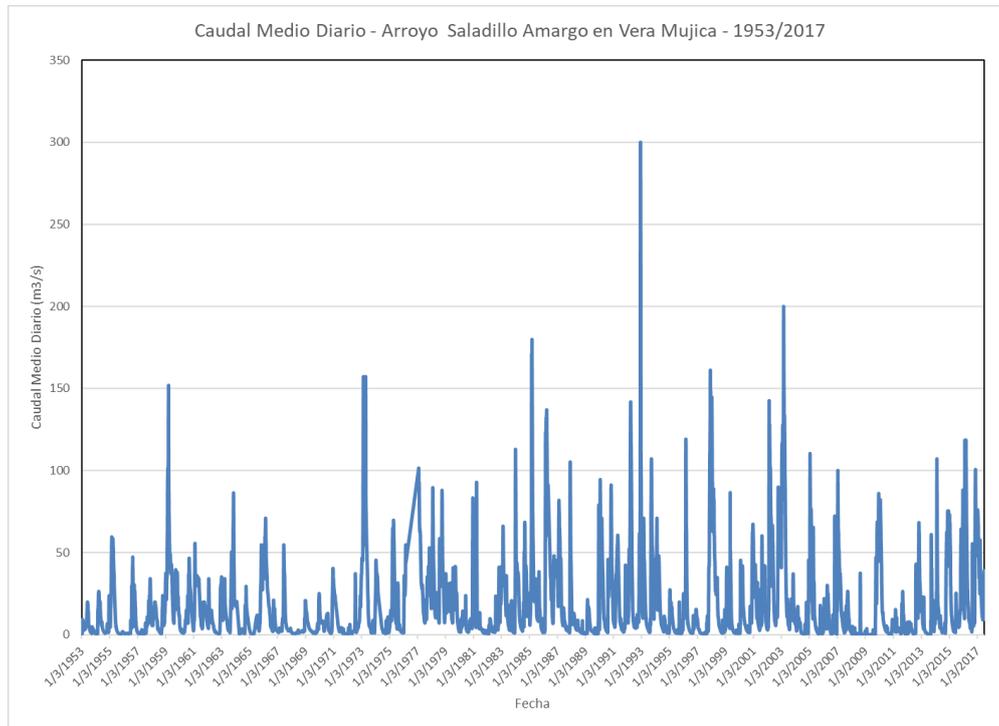


Figura 6: Caudal Medio Diario, Arroyo Saladillo Amargo en Vera Mujica, serie 1953/2017.

Análisis de caudales en la Laguna Setúbal

La Figura 7 presenta los valores de Caudal Medio Mensual para la Laguna Setúbal, correspondientes a la serie 1905/2018. Los valores máximos observados corresponden al 1/7/83 con 12105 m³/s y el 1/5/98 con un valor de 9777 m³/s.

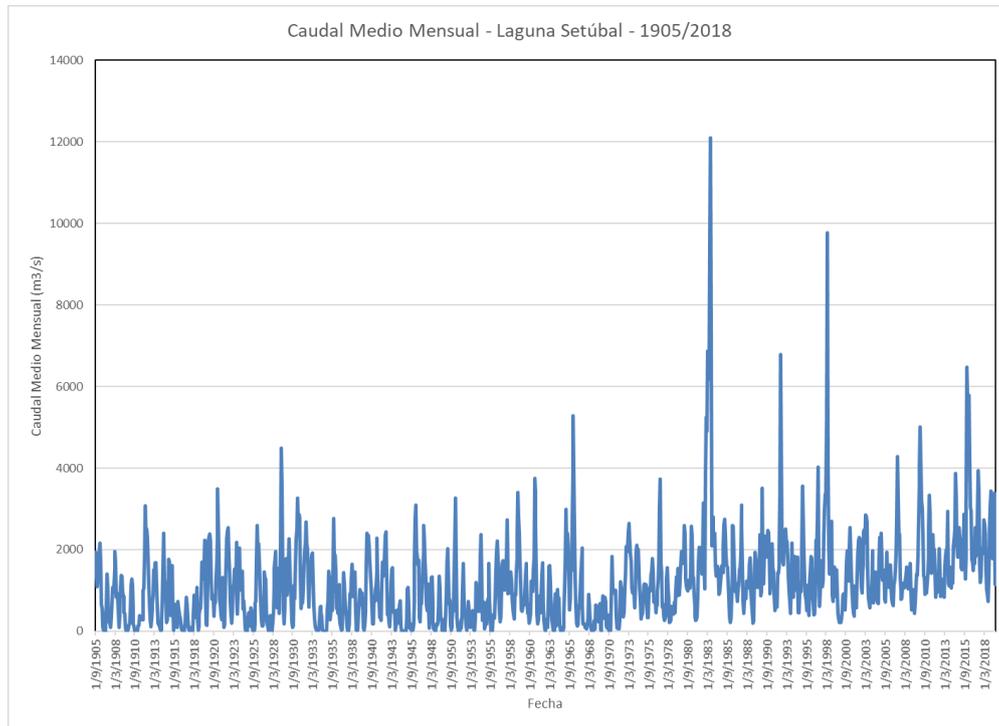


Figura 7: Caudal Medio Mensual, Laguna Setúbal, serie 1905/2018.

2.4 Análisis de alturas en el Puerto de Santa Fe

Análisis estadísticos de datos de alturas

Para realizar el análisis estadístico de alturas en el Puerto de Santa Fe, se consideraron dos series: el período comprendido entre setiembre de 1970 y agosto de 2018 y el período comprendido entre enero de 1970 y febrero de 2021. La Tabla 8 presenta los estadísticos de ambas series. Al analizar hasta agosto de 2018 se deja afuera la bajante extraordinaria del 2019/2020.

Tabla 8: Estadísticos de las series de alturas (m) en Puerto de Santa Fe.
Fuente: elaboración propia

Período	Media	Desvío	Coef. Asimetría	Coef. Variación	Coef. As/C.Varia	Coef. Kurtosis
01-09/1970 - 08/2018	3,74	1,09	0,37	0,29	1,27	3,24
01-01/1970 - 02/2021	3,66	1,14	0,21	0,31	0,67	3,23

Las Figuras 8 y 9 presenta las series de alturas de ambas series, con el valor medio. La media de los datos es 3,74 m para la serie 1970/2018 y 3,66 m para la serie 1970/2021.

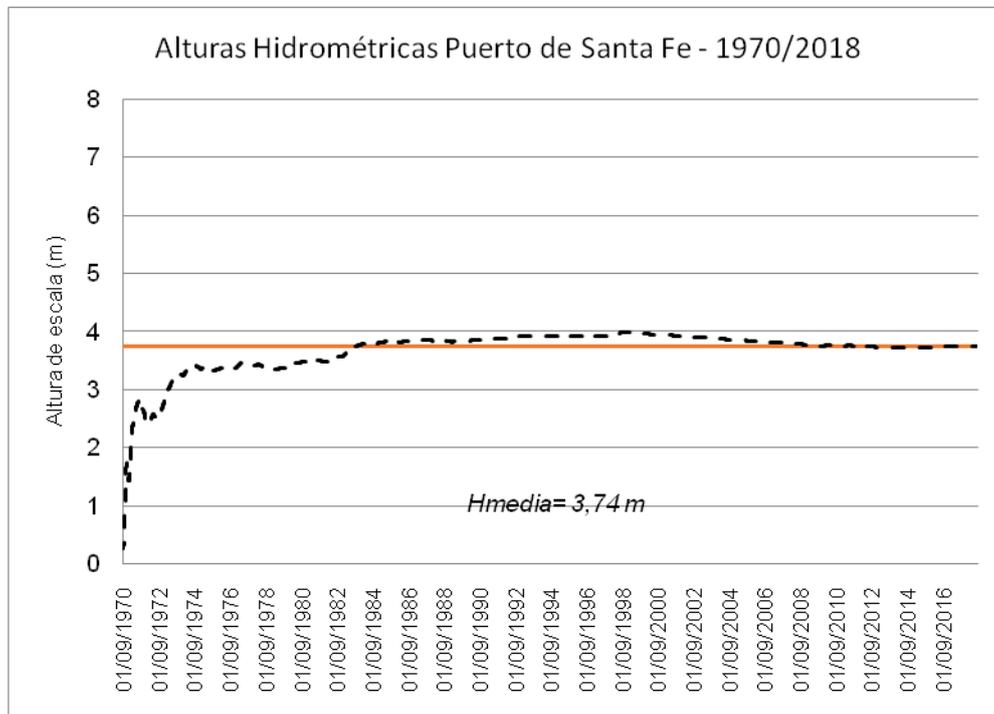


Figura 8: Alturas hidrométricas Puerto de Santa Fe, serie 1970/2018.

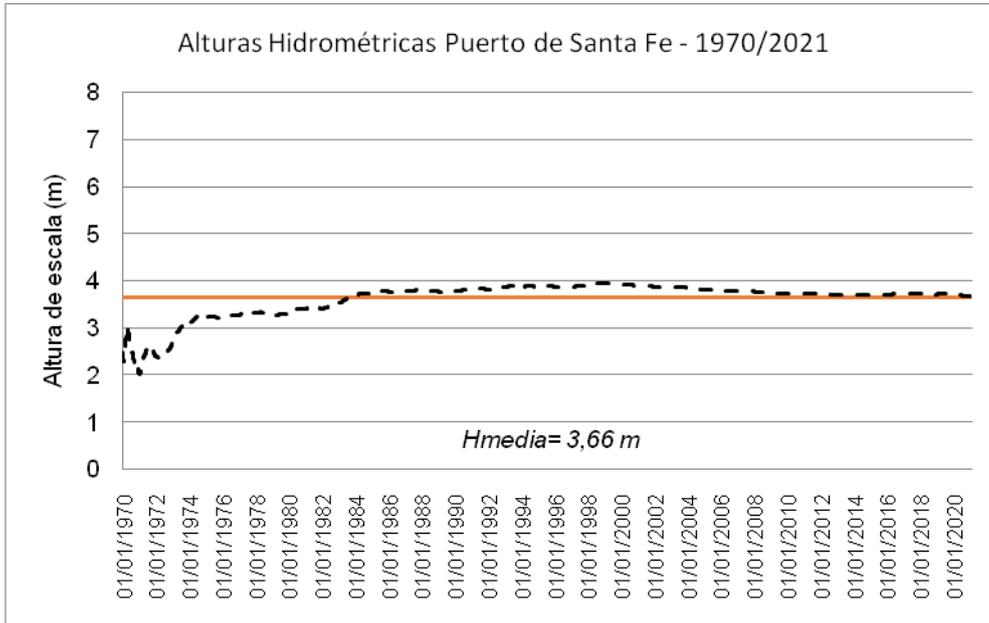


Figura 9: Alturas hidrométricas Puerto de Santa Fe, serie 1970/2021.

Curva de permanencia de alturas

La Figura 10 ilustra la curva de permanencia de las alturas en el Puerto Santa Fe, para la serie 1970/2018.

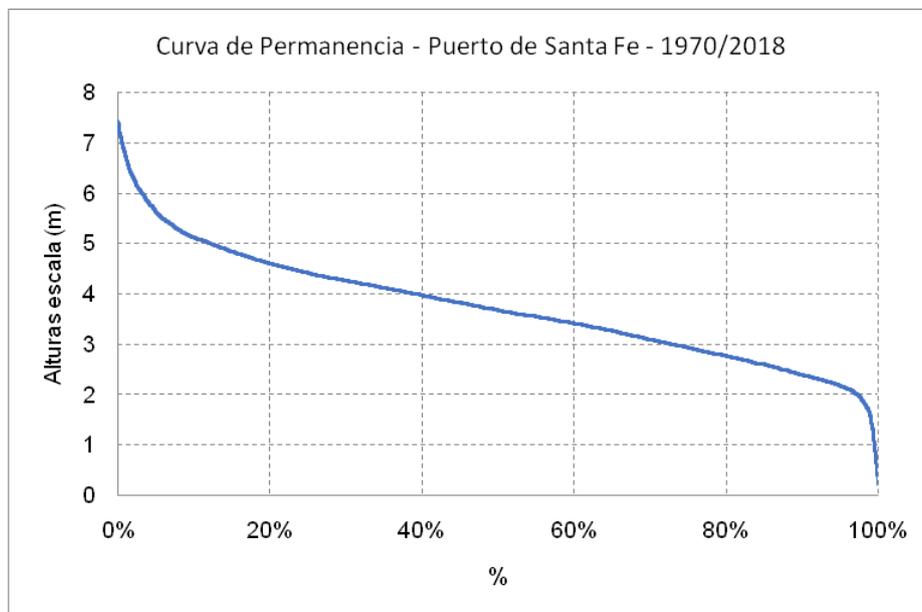


Figura 10. Curva de permanencia de alturas Puerto de Santa Fe, serie 1970/2018.

Se consideraron dos series para el cálculo de la curva de permanencia de altura, desde setiembre de 1970 hasta agosto de 2018 y desde setiembre de 1970 hasta agosto de 2020, con la finalidad de considerar la influencia que tendría la crecida extraordinaria de 2019/2020. La Tabla 9 presenta los valores de la curva de permanencia.

Tabla 9: Curva de permanencia de alturas (m) Puerto de Santa Fe, ambas series.
Fuente: elaboración propia

PERCENTIL	0,95	0,9	0,85	0,8	0,75	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15	0,1	0,05
% EXCEDIDO	5%	10%	15%	20%	25%	30%	40%	50%	60%	70%	75%	80%	85%	90%	95%
Serie															
09/1970 - 08/2018	5,64	5,12	4,84	4,60	4,41	4,26	3,97	3,68	3,41	3,09	2,93	2,77	2,60	2,39	2,18
09/1970 - 08/2020	5,59	5,10	4,82	4,59	4,40	4,25	3,94	3,65	3,38	3,05	2,88	2,71	2,53	2,33	2,10

Del análisis de las curvas de permanencia de caudales, se observa que la altura correspondiente al 50% del tiempo es de 3,68 m para la serie 1970/2018 y 3,65 m para la serie 1970/2020. Por su parte, el valor correspondiente al 95% fue de 2,18 m y 2,10 m, respectivamente. El valor menor para la serie más moderna se debe a la importante sequía que se observó en el sistema.

Análisis de frecuencias de alturas

Para realizar el análisis de frecuencia de las alturas en el Puerto de Santa Fe, se utilizó el Software wxAFMulti, basado en el AFMULTI (FICH, 2014). Se usó el año hidrológico comprendido entre setiembre a agosto. Con este criterio se obtuvieron series de valores máximos para los años 1970/71 al 2018/19. Se analizaron las duraciones de 1, 30, 60 y 90 días. La Tabla 10 presenta los estadísticos de la serie.

Tabla 10: Estadísticos de alturas máximas (m) para diferentes duraciones, Puerto de Santa Fe, serie 1970/71 al 2018/19.

Fuente: elaboración propia

Duración (días)	Promedio	Desvío	CS	CV	CS/CV	Curtosis
1	5,26	0,96	0,37	0,1817	2,01	2,52
30	4,81	0,89	0,28	0,1846	1,54	2,69
60	4,36	0,88	0,30	0,2021	1,50	2,94
90	4,08	0,87	0,29	0,2127	1,35	3,31

Se aplicaron las distribuciones de LogGauss, Gumbel, GEV, Pearson, LorPearson y Exponencial. Las Figuras 11 a 14 ilustran los resultados de los ajustes junto con los valores de frecuencia experimental. Los valores de alturas se encuentran expresados en cm para favorecer su visualización.

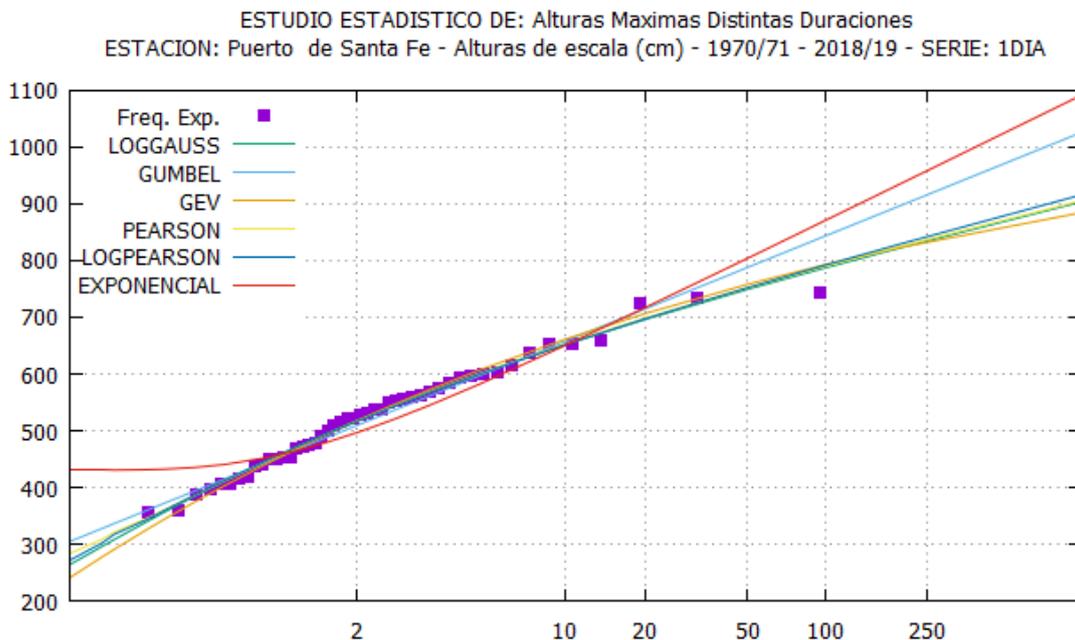


Figura 11: Análisis de frecuencia, alturas máximas para 1 día de duración.

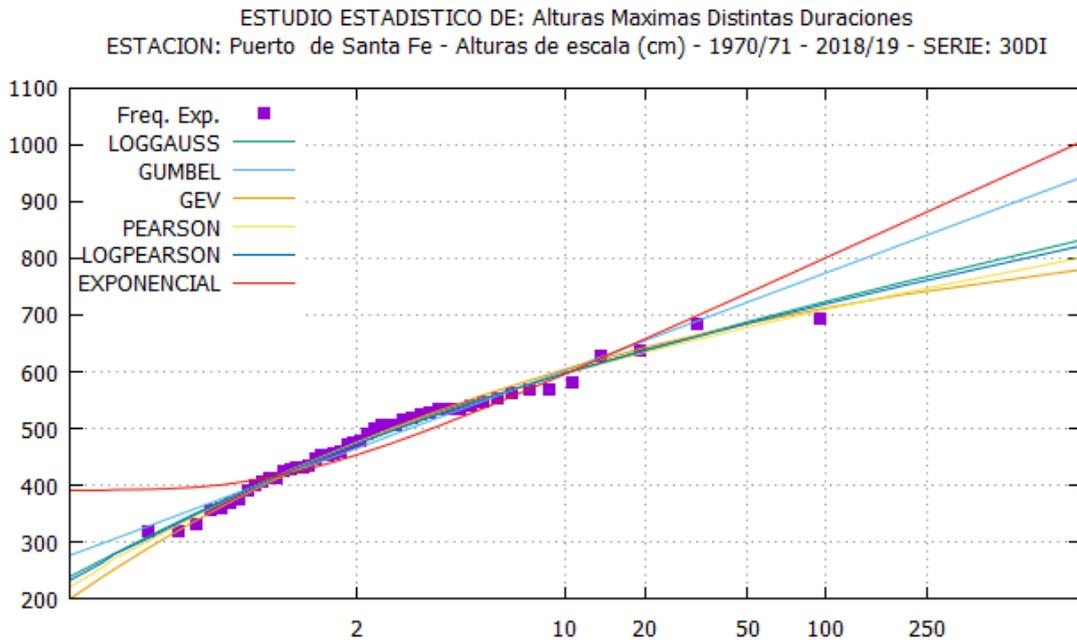


Figura 12: Análisis de frecuencia, alturas máximas para 30 días de duración.

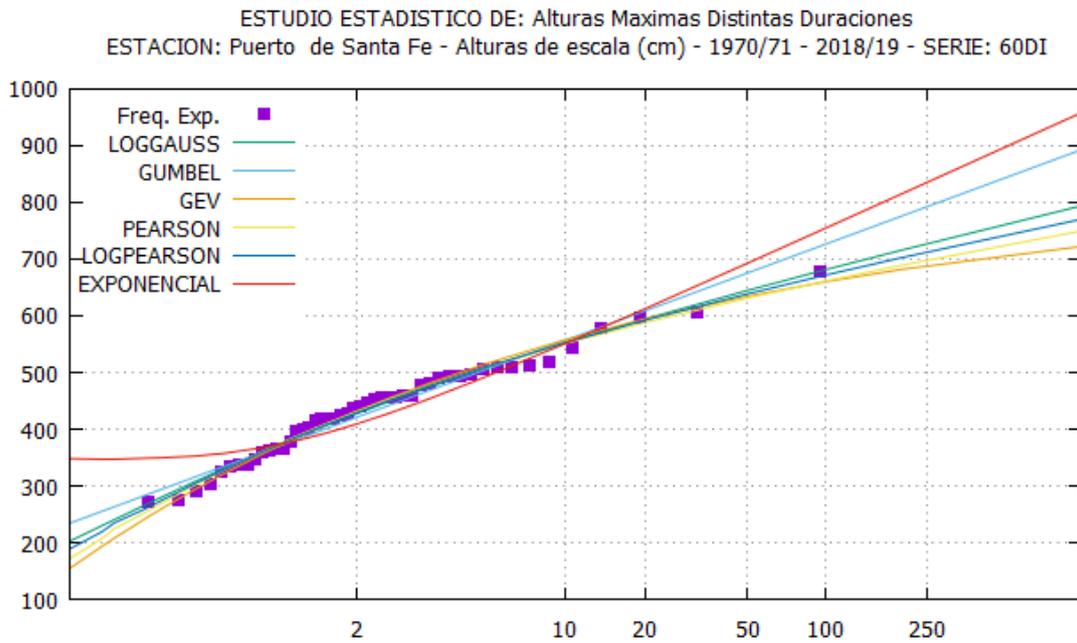


Figura 13: Análisis de frecuencia, alturas máximas para 60 días de duración.

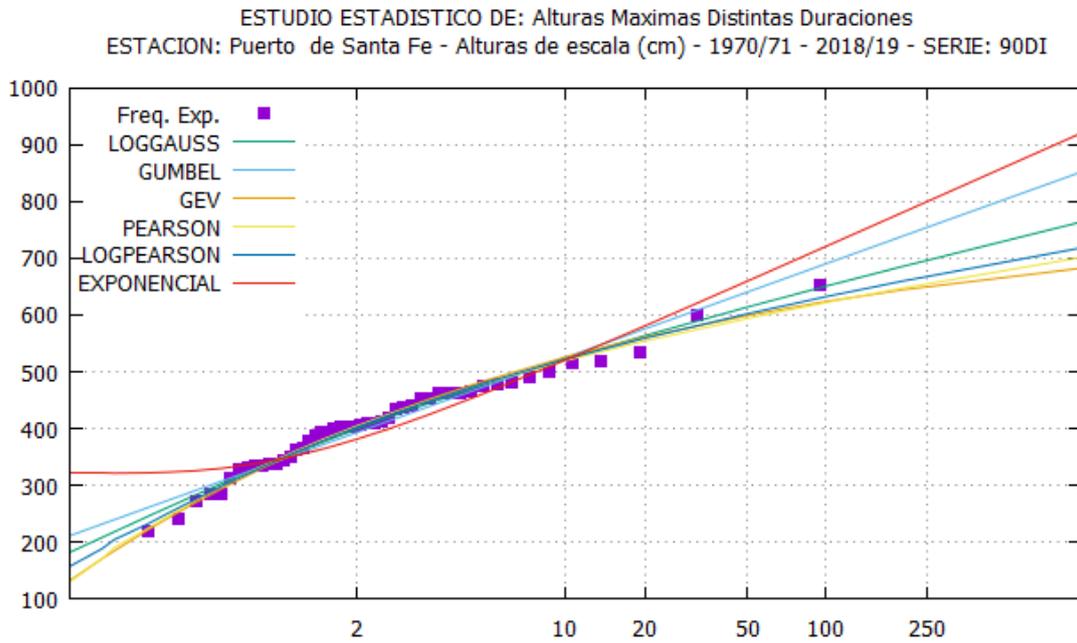


Figura 14: Análisis de frecuencia, alturas máximas para 90 días de duración.

Por su parte, a Figura 15 presenta la curva de alturas máximas de permanencia para 1, 30, 60 y 90 días en función del período de retorno.

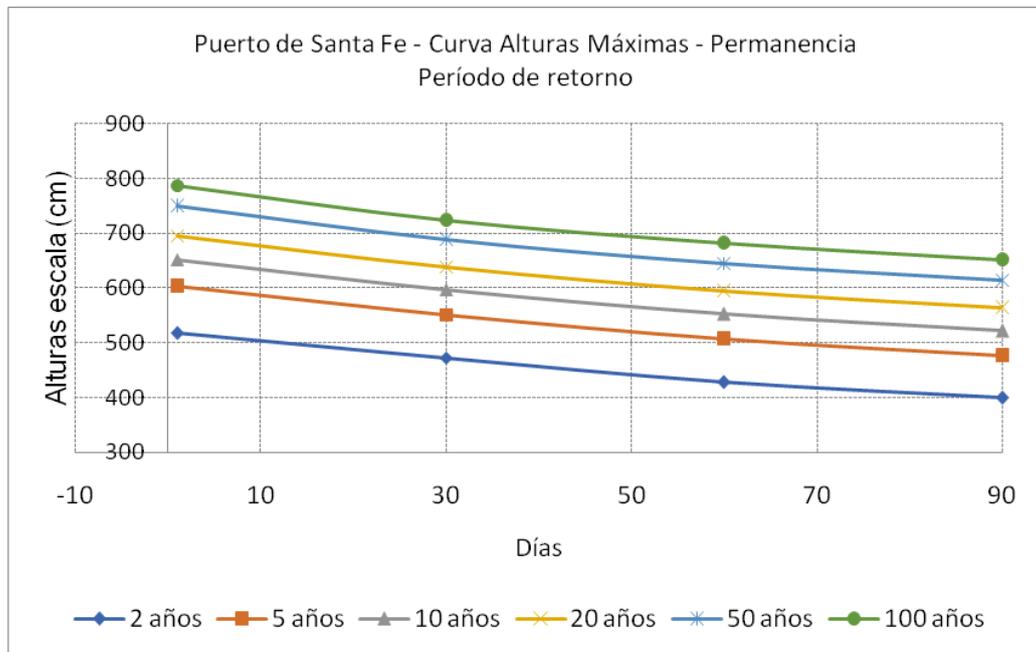


Figura 15: Curva de permanencia de alturas en función del período de retorno.

La Tabla 11 presenta los valores de alturas máximas en función de los diferentes períodos de retorno.

Tabla 11: Valores de altura de escala (cm) para diferentes Períodos de retorno y para las diferentes duraciones.

Fuente: elaboración propia

Duración (días)	Período de Retorno (año)					
	2	5	10	20	50	100
1	518	602	652	696	749	787
30	473	551	597	639	688	723
60	428	506	553	594	645	681
90	399	476	522	564	614	650

Para un período de retorno de 10 años, la altura de escala máxima de 1 día de duración es de 652 cm, para una recurrencia de 20 años, la altura de escala máxima de 90 días de duración es de 564 cm.

2.5 Curva H-Q Laguna Setúbal

Se presentan en la Tabla 12 los aforos realizados entre el 16/1/2015 y el 3/11/2020 en la sección de la Laguna Setúbal. Por su parte, la Figura 16 muestra los pares de valores H-Q y el ajuste mediante una expresión cuadrática. Los aforos fueron realizados con Doppler.

Tabla 12. Relaciones Altura-Caudal en Laguna Setúbal

Fecha	Escala (m)	Caudal (m ³ /s)
16/1/2015	4,5	2544,8
18/2/2015	3,8	2060,5
17/3/2015	4,0	2221,5
27/4/2015	2,9	1213,4
19/5/2015	3,1	1399,4
11/6/2015	3,4	1585,2
17/7/2015	3,6	1958,5
24/8/2015	4,7	3100,4
15/9/2015	3,3	1790,7
25/11/2015	3,8	2096,4

5/1/2016	6,9	6135,7
2/2/2016	6,6	6668,5
30/3/2016	6,0	5577,9
25/4/2016	6,3	6174,9
30/5/2016	4,6	3127,7
24/6/2016	4,6	3092,1
21/7/2016	4,4	2948,6
23/8/2016	2,8	1302,3
21/9/2016	3,2	1746,7
25/11/2016	3,3	1896,0
18/1/2017	4,3	2619,6
8/2/2017	3,1	1568,4
27/3/2017	3,5	1873,3
11/4/2017	3,1	1588,5
5/5/2017	4,1	2462,8
9/6/2017	5,0	3526,6
5/7/2017	5,4	4003,4
2/8/2017	3,8	2141,5
20/9/2017	2,5	948,0
20/10/2017	3,1	1457,0
10/11/2017	3,6	2027,4
8/1/2018	3,3	1817,3
16/2/2018	4,5	2967,2
22/3/2018	4,2	2703,2
24/4/2018	4,3	2593,7
29/5/2018	3,9	2022,2
18/6/2018	2,8	1149,1
23/7/2018	2,2	832,8
3/8/2018	2,0	676,9
3/9/2018	2,2	863,0
20/11/2018	4,4	2937,5
21/1/2019	4,9	3352,0
25/2/2019	4,0	2421,3
15/3/2019	3,2	1692,1
16/4/2019	3,6	1884,6
10/5/2019	4,2	2541,5
19/6/2019	4,9	3287,3
15/7/2019	3,9	2338,3
8/8/2019	3,1	1582,2
6/9/2019	2,0	648,4

5/11/2019	1,7	496,5
24/1/2020	2,4	957,9
7/2/2020	2,4	938,8
20/3/2020	2,1	763,2
18/4/2020	1,0	199,5
7/5/2020	0,8	146,0
4/6/2020	1,5	385,4
17/7/2020	1,5	389,6
19/8/2020	1,1	237,3
25/9/2020	1,1	225,7
3/11/2020	0,7	127,9

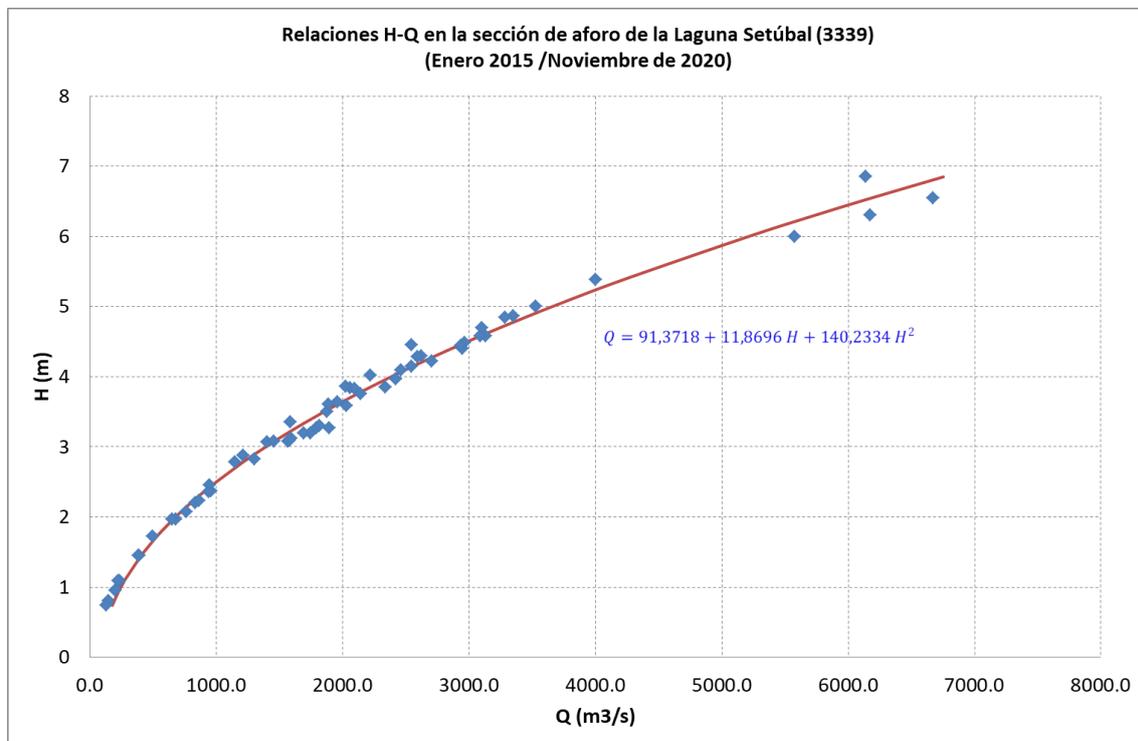


Figura 16: Ajuste de valores H-Q, Laguna Setúbal.

Los valores de altura aforados en ese período oscilan entre 0,7 m y 6,9 m y los caudales entre 128 m³/s y 6790 m³/s.

2.6 Relación Caudal Laguna Setúbal y Alturas Puerto de Santa Fe

La relación entre los caudales de la Laguna Setúbal y las alturas del Puerto de Santa Fe se observa en la Figura 17. Para ello se consideró la serie comprendida entre 1970 y 2018, para ambas estaciones. El valor máximo de altura aforada corresponde a 7,43 m (22/06/1992) y el máximo valor de caudal aforado corresponde a 13824 m³/s (5/07/1983).

El valor de caudal en la Laguna para el máximo valor de altura en el Puerto (7,43 m) fue de 9725 m³/s, mientras que el valor de altura en el Puerto para el máximo valor de caudal en la Laguna (13824 m³/s) fue de 7,35 m, como se observa en la Figura 18.

Es posible observar que, para alturas del Puerto de Santa Fe cercanas a los 4,50 m, los caudales varían entre 0 y 2000 m³/s y se puede encontrar una relación biunívoca entre caudal y altura. Para alturas superiores, se presenta un “histéresis”, donde no existe una relación “uno a uno”, ya que, para una misma altura, se pueden encontrar varios caudales y para un mismo caudal, se presentan varias alturas.

Esto ocurre para valores de alturas superiores a los 4,50 m. En el rango de alturas superiores a ese valor, los caudales en la Laguna oscilan entre 2000 y 14000 m³/s, aproximadamente.

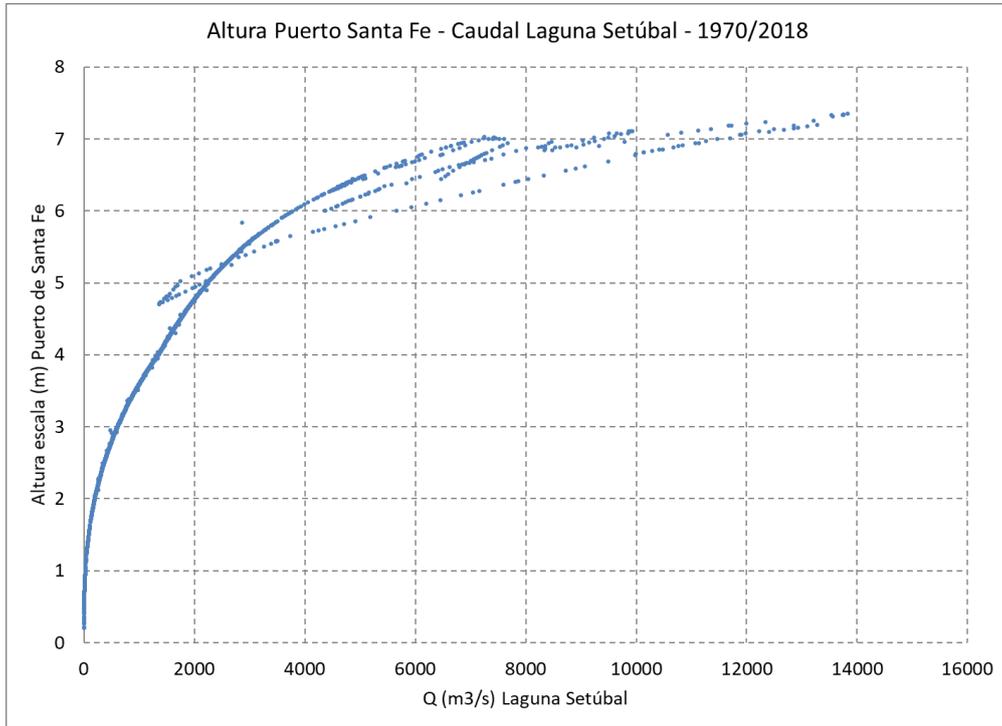


Figura 17. Relación Altura Puerto de Santa Fe y Caudal Laguna Setúbal, serie 1970/2018.

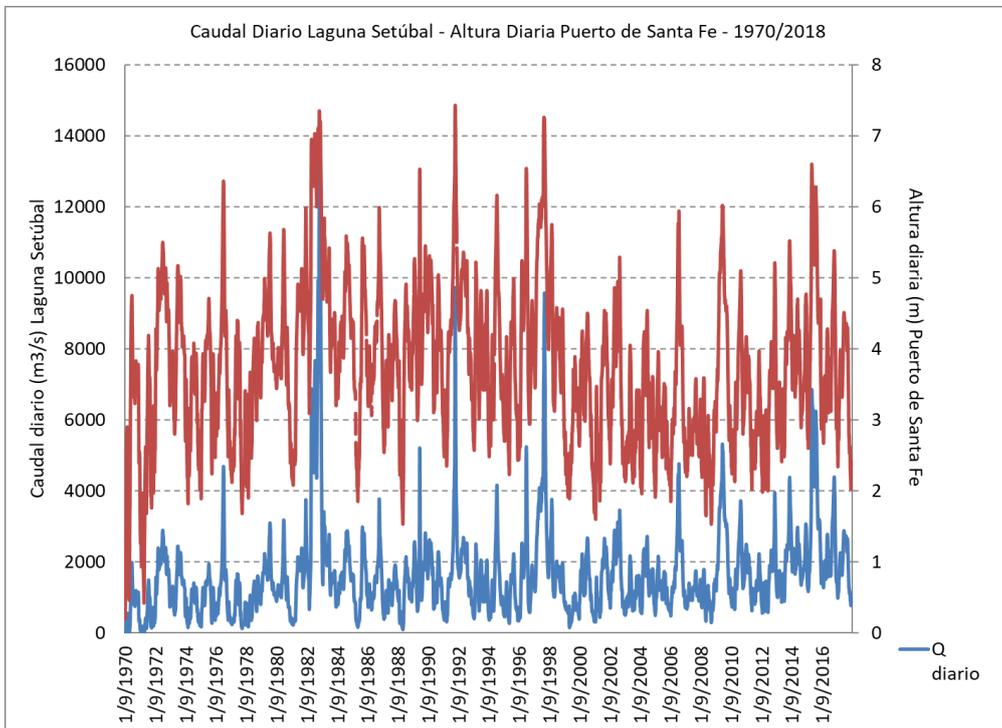


Figura 18. Relación Altura Puerto de Santa Fe y Caudal Laguna Setúbal en el tiempo, serie 1970/2018.

2.7 Conclusiones y Recomendaciones

El presente informe presenta el análisis del sistema Paraná-Leyes-Setúbal en el marco del Estudio para el “*Desarrollo conceptual del Proyecto de cruce de la Laguna Setúbal, con planteo amplio de alternativas*”. El análisis se realizó en base a estudios antecedentes y a información existente.

Durante las inundaciones de 1982/83, 1992 y 1998, los ingresos al subsistema Leyes-Setúbal por los arroyos Leyes, Potrero y Santa Rita en la RP 1 fueron importantes en valores de caudal y de niveles, valores que fueron aforados por diferentes instituciones de la región. A modo de ejemplo, en la inundación del 1983 se aforaron 12105 m³/s en el Arroyo Leyes en RP 1.

Del análisis de las curvas de permanencia de caudales, se deduce que la altura correspondiente al 50% del tiempo es 3,65 m y para el 95% 2,10 m la serie 1970/2020.

Se obtuvieron las curvas de permanencia de alturas para duraciones de 1, 30, 60 y 90 días y para períodos de retorno entre 2 a 100 años de recurrencia.

Los aforos realizados entre 2015 y 2020 en la Laguna Setúbal permitieron el ajuste de una curva para caudales entre 128 m³/s y 6790 m³/s.

No es posible encontrar una única relación entre las alturas del Puerto de Santa Fe y los caudales de la Laguna Setúbal para valores superiores a los 4,50 m.

Es necesario indicar que, en la zona donde se están analizando las trazas para el cruce del Gasoducto Metropolitano, no existe información de alturas ni de caudales, razón por la cual se recomienda implementar estaciones de medición de las variables hidrométricas en el área de la traza que quede seleccionada.

Futuros estudios, mediante modelación matemática hidrodinámica, permitirán evaluar el comportamiento hidráulico del sistema en el área de las obras.

Referencias

wxAFMulti es un programa (interface) que posibilita el análisis de frecuencia de variables hidrológicas extremas, en base al modelo AFMULTI (FICH, 1992; 1998). Autores: Paoli, Cacik, Hammerly, Novara.

Libro “El Río Paraná en su tramo medio (Tomo II, Prácticas ingenieriles en un gran río de llanura)”, edición 2020.

CAPÍTULO 3. GEOMORFOLOGÍA Y GEOLOGÍA.

3.1 Introducción

El presente informe desarrolla temas de geología, geomorfología y morfodinámica concernientes al “Desarrollo conceptual del Proyecto de cruce de la Laguna Setúbal, con planteo amplio de alternativas” del Gasoducto Metropolitano.

El mismo se ha estructurado cubriendo seis ítems, a saber:

- Listado de antecedentes.
- Geomorfología.
- Geología.
- Breve prognosis sobre tendencias evolutivas del ambiente lagunar.
- Primer análisis de alternativas de cruce; planteo amplio.
- Reconsideración de análisis de alternativas para el Cruce Centro.

3.2. Listado de antecedentes temáticos

A continuación se indican los antecedentes temáticos para la zona de interés, que en su mayoría fueron considerados en la caracterización geológica y geomorfológica del ámbito lagunar y su entorno por Ramonell (2005), y en el estudio geomorfológico y morfodinámico del río Paraná en su tramo medio por Ramonell (2021).

De ese último se tuvieron en cuenta las referencias vinculadas con los deltas fluvio-lagunares del tramo, así como con las caracterizaciones de superficie y subsuelo somero de las unidades geomorfológicas conexas, en el área de interés.

El listado se presenta desglosado en tres sub-ítems: el primero reúne los textos de índole predominantemente geológica, mientras que el segundo agrupa los que enfatizan en aspectos geomorfológicos y/o morfo- o hidro-dinámicos; el tercero, finalmente, incluye los antecedentes “mixtos”, que consideran dos o más de esos tópicos a la vez, con cierta paridad en su tratamiento o desarrollo.

Antecedentes sobre Geología

Aceñolaza, F. G. (1976). "Consideraciones bioestratigráficas sobre el terciario marino de Paraná y alrededores". Acta Geol. Lilloana, XIII, 2: 91-108. Tucumán.

Aceñolaza, F. G. (2000). "La Formación Paraná (Mioceno medio): estratigrafía, distribución regional y unidades equivalentes". En: 'El Neógeno de Argentina' (F. G. Aceñolaza y R. Herbst, eds.), INSUGEO, Serie Correlac. Geol., 14: 9-27. Tucumán.

Aceñolaza, F. G. (2007). Geología y recursos geológicos de la Mesopotamia argentina. INSUGEO, Serie Correlac. Geol. 22.

Bojanich Marcovich, E., y A. H. Risiga (1975). "Contribución al conocimiento de la geohidrología de la provincia de Santa Fe". II Cong. Iberoamer. de Geol. Económica, T. 5: 37-58. Buenos Aires.

CAAAS (Convenio Argentino - Alemán de Aguas Subterráneas) (1973). "Llanura Pampeana (Provincias de Córdoba y Santa Fe). Hidrogeología". En: 'Recursos de agua subterránea y su aprovechamiento en la llanura Pampeana y en el valle del Conlara (Provincias de Córdoba, Santa Fe, San Luis; República Argentina)', Tomo 2, Partes 1-4. Servicio Geológico de Alemania.

Cebli, G. A., M. E. Mozetic, E. A. Rosello y M. Bühler (1999). "Cuencas sedimentarias de la llanura Chacopampeana". En: 'Geología Argentina' (R. Caminos, ed.), SEGEMAR, An. 29: 627-644. Buenos Aires.

Filí, M. F., y O. C. Tujchneider (1977). "Características geohidrológicas regionales del subsuelo de la provincia de Santa Fe (Argentina)". Rev. Asoc. Cs. Nat. del Litoral, N° 8: 105-113.

Frenguelli, J. (1922). "Estructura e historia geológica del subsuelo santafesino". Diario El Litoral, Número Extraordinario; reimpresso en: Rev. Asoc. Cs. Nat. del Litoral, N° 4 (1972): 39-47.

Frenguelli, J. (1936). "Apuntes estratigráficos acerca del yacimiento de 'Glossotherium' de la Laguna Guadalupe". An. Soc. Cient. Arg., T. CXXII (VI): 335-339.

Frenguelli, J. (1954). "La margen derecha del Río Paraná a la altura del pueblo de Cayastá, Santa Fe". Notas del Museo, T. XVII, Geología, N° 65: 377-387. Buenos Aires.

Gentili, C. A. y H. V. Rimoldi (1979). "Mesopotamia". Segundo Simp. de Geol.Reg. Arg., Vol I: 185-223. Córdoba.

Herbst, R. (2000). "La Formación Ituzaingó (Plioceno). Estratigrafía y distribución". En: 'El Neógeno de Argentina' (F. G. Aceñolaza y R. Herbst, eds.), INSUGEO, Serie Correlac. Geol., 14: 181-190. Tucumán.

INA – SPAR (Instituto Nacional del Agua – Servicio Prov. de Agua Rural) (2002). "Recopilación de información hidrogeológica de la Provincia de Santa Fe". Convenio Centro Reg. Litoral INA – Dir. Prov. de Obras Hidráulicas – SPAR. Santa Fe.

Iriondo, M. (1981a). "Antigüedad del último cambio climático en el Litoral". Ecología, 6: 5-8.

Iriondo, M. (1991). "El Holoceno en el Litoral". Com. Mus. Prov. Cs. Nat. "F. Ameghino" (N.S.), V. 3, N° 1: 5-38. Santa Fe.

Iriondo, M. (1993). "El Litoral". En: 'El Holoceno en la Argentina' (M. Iriondo, ed.), Vol. 2: 1 – 21. CADINQUA – CONICET.

Iriondo, M. (1999). "Cuaternario del Chaco y el Litoral". En: 'Geología Argentina' (R. Caminos, ed.), SEGEMAR, An. 29: 696-699. Buenos Aires.

Iriondo, M. H. (2010). Geología del Cuaternario en Argentina. Museo Provincial de Cs. Naturales "Florentino Ameghino", Santa Fe.

Iriondo, M., y C. Manavella (1990). "Facies sedimentarias de la Formación Tezanos Pinto en la región central de Santa Fe". Simp. Internac. sobre Loess, Res. Exp.: 74-77. Mar del Plata.

Iriondo, M., y D. Kröhling, (1995). "El sistema eólico pampeano". Com. Mus. Prov. Cs. Nat. "F. Ameghino" (N.S.), V. 5, N° 1: 5-68. Santa Fe.

Iriondo, M., y D. Kröhling (1996). "Los sedimentos eólicos del noreste de la llanura pampeana (Cuaternario superior)". XIII Cong. Geol. Arg., Actas IV: 27-48. Buenos Aires.

Kröhling, D., e M. Iriondo (1998). "Pampa Norte (Cuenca del Carcarañá)". Internat. Joint Field Meet. "Loess in Argentina: Temperate and Tropical", Guía de Campo N° 1: 1-58. Paraná.

Kröhling, D., y O. Orfeo (2002). "Sedimentología de unidades loésicas (Pleistoceno tardío – Holoceno del centro-sur de Santa Fe)". AAS Revista, Vol. 9, N° 2: 135-154.

Krohling D. y E. Brunetto (2013). "Los materiales superficiales de la cuenca del arroyo Cululu, provincia de Santa Fe". En: "Bases Conceptuales y Metodológicas para el Ordenamiento Territorial en el Medio Rural – Región Centro, Argentina" (O. Giayetto, J. Plevich, V. Lallana y M. Pilatti, eds.), 513-543, Secretaria de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de la Nación, UNC, UNRC, UNL, UNR, UNER. Córdoba.

Marengo, H.G. 2008. Nuevas Evidencias de neotectónica en la llanura central santafesina. 17° Congreso Geológico Argentino, Actas: 1232-1233, San Salvador de Jujuy.

Marengo, H. G., V. Baunmann, F. Pereyra (2002). Hoja Geológica Escala 1:250.000 Santa Fe 3160-III, Provincias de Santa Fe y Entre Ríos. Boletín N° 337, Inst. de Geol. y Rec. Min., SEGEMAR. Buenos Aires.

Padula, E. (1972). "Subsuelo de la Mesopotamia y regiones adyacentes". En: 'Geología Regional Argentina' (A. F. Leanza, ed.): 213-235. Acad. Nac. de Ciencias. Córdoba.

Pocoví, A. (1952). "Sedimentos superficiales de Santa Fe. Departamentos La Capital y Garay". Direcc. Gral. de Invest. y Fomento Agrícola Ganadero, Publ. Téc. 61: 11-37. Santa Fe.

Russo, A., R. Ferrello y G. Chebli (1979). "Llanura Chaco-Pampeana". Segundo Simp. de Geol. Reg. Arg., Vol I: 139-183. Córdoba.

Antecedentes sobre Geomorfología y Morfodinámica

Alberdi, R., y C. G. Ramonell (2013). "Evaluación de cambios morfométricos reciente en cauces menores del Río Paraná Medio". Sexto Simp. Reg. sobre Hidráulica de Ríos, Memorias (CD), 15 pág. Santa Fe.

Bonetto, A. A. (1976). "Calidad de las aguas del río Paraná, introducción a su estudio ecológico". Convenio: DNCPyVN – INCYTH – PNUD – UNESCO. CECOAL. Corrientes, Argentina.

Bonetto, A. A., y O. Orfeo (1984). "Caracteres sedimentológicos de la carga en suspensión del río Paraná entre Confluencia y Esquina (Provincia de Corrientes, R.A.)". Rev. Asoc. Arg. de Min., Petrol. y Sedimentol., T. 15, 3-4: 51-61.

Bosisio, A., y C. G. Ramonell (2014). "Análisis por teledetección de la distribución espacial de la carga de lavado en un tramo del Río Paraná Medio (Argentina)". 2do. Congr. Internac. de Hidrología de Llanuras, Artículos Completos (CD), 10 pág. Santa Fe.

Cabral, S. A. (1967). "La creciente anual 1965-66. Interpretación de sus efectos". Informe de la Dir. Nac. de Construcciones Portuarias y Vías Navegables, Dpto. Paraná Medio. Paraná.

Ceirano, E., C. Paoli y M. Schreider (2000). "Las inundaciones en el área de Santa Fe. Interpretación de sus efectos y simulación de los subsistemas Leyes-Setúbal y Ruta Nacional 168-Alto Verde". En: 'El Río Paraná en su tramo medio. Una contribución al

conocimiento y prácticas ingenieriles en un gran río de llanura' (C. Paoli y M. Schreider, eds.), Tomo 2: 239-297. Centro de Publicaciones de la Univ. Nac. del Litoral. Santa Fe.

Drago, E. (1973). "Caracterización de la llanura aluvial del Paraná Medio y de sus cuerpos de agua". Bol. Paranaense de Geociencias, N° 31: 31-44.

FICH (Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas) (1993). "Proyecto reconstrucción Av. 7 Jefes. Estudios básicos, hidráulica e ingeniería fluvial". Comitente: Min. de Obras, Serv. Públ. y Vivienda de la Pcia. de Santa Fe. Informe Final, Univ. Nac. del Litoral. Santa Fe.

FICH (Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas) (2003a). "Estudios morfológicos, de erosión y estabilidad de márgenes en sitios de emplazamiento de puentes y obras de protección ubicados en los arroyos Leyes y Potrero y en los ríos Salado y San Javier". Comitente: Dirección Prov. de Vialidad de Santa Fe. Informe Final, Univ. Nac. del Litoral. Santa Fe.

FICH (Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas) (2003b). "Estudio hidráulico y sedimentológico de obras de dragado en el riacho Colastinecito y refulado en la boca del Colastiné". Comitente: Ministerio de Obras, Servicios Públicos y Vivienda de la Pcia. de Santa Fe. Informe Final, Univ. Nac. del Litoral. Santa Fe.

FICH - INCyTH (Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas - Instituto Nacional de Ciencia y Tecnología Hídricas) (1994). "Estudio de prefactibilidad subsistema hídrico Leyes-Setúbal". Comitente: C.F.I. - Min. de Obras, Serv. Públ. y Vivienda de la Pcia. de Santa Fe. Informe Final, Univ. Nac. del Litoral. Santa Fe.

Giacosa, R., C. Paoli, y P. Cacik (2000). "Conocimiento del régimen hidrológico". En: 'El río Paraná en su tramo medio. Contribución al conocimiento y prácticas ingenieriles en un gran río de llanura', Paoli, C., Schreider, M.I. (Eds.). Tomo 1: 69-103. Centro de Publicaciones, Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe, Argentina.

INCyTH (Instituto Nacional de Ciencia y Tecnología Hídricas) (1991). "Estudio de delimitación de áreas de riesgo hídrico en Santa Fe". Comitente: C.F.I. Informe Final, Centro Regional Litoral. Santa Fe.

Iriondo, M. (1972). Mapa geomorfológico de la llanura aluvial del Río Paraná desde Helvecia hasta San Nicolás, República Argentina. Rev. Asoc. Geol. Argentina, T. XXVII, No. 2, pp. 155-160.

Iriondo, M. (1979). "Origen y evolución del Río Paraná". Segundas Jorn. del Paraná Medio, Trab. Presentados: d₁ - d₅. Santa Fe.

LH (Laboratorio de Hidráulica) (1974). "Estudio del sistema fluvial Paraná - Santa Fe". Convenio SERNAH - INCYTH - PNUD - UNESCO, Vol. I y II. Buenos Aires.

Manzi, R., y I. O. Maciel (1962). Contribución al conocimiento limnológico de la Laguna Guadalupe. Aspectos geográficos y geológicos. An. Museo Pcial. de Cs. Nat. F.

Ameghino, T. I, N° 3: 5-13. Santa Fe.

Marchetti, Z. Y., A. R. Giraud, C. G. Ramonell e I. M. Barberis (2013). Humedales del río Paraná con grandes lagunas. En: 'Inventario de los humedales de Argentina. Sistemas de Paisajes de Humedales del Corredor Fluvial Paraná-Paraguay' (L. Benzaquén y otros, eds.): 187-204. Secr. de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación. Buenos Aires.

Marchetti, Z. Y., A. B. Villalba, C. G. Ramonell, F. Brumnich y M. S. Pereira (2020). Biogeomorphic succession in a fluvial-lacustrine delta of the Middle Paraná River (Argentina): Feedbacks between vegetation and morphodynamics. Science of the Total Environment <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139799>.

Paoli, C. U. (2010). Cambios en la serie de caudales máximos en Ríos de la Región Litoral y su incidencia en parámetros de diseño. En: Paoli, C. U & Malinow, G. V. (eds.): Criterios para la determinación de crecidas de diseño en sistemas climáticos cambiantes: 103-113. Ediciones UNL. Santa Fe, Argentina.

Paoli, C., y Cacik, P. (2000). Régimen de crecidas y análisis de caudales máximos. En Paoli, C. y Schreider, M. (eds.) El Río Paraná en su tramo medio. Una contribución al conocimiento y prácticas ingenieriles en un gran río de llanura. Centro de Publicaciones de la Univ. Nac. del Litoral 1: 105-171

Pereira, M. S. (2016). "El Río Paraná: geomorfología y morfodinámica de barras e islas en un gran río anabranching". Tesis Doctoral, Fac. de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata. La Plata.

Pertovt, L. E. (2004). "Caracterización física y evolución del delta del A° Leyes en el complejo lagunar Setúbal - El Capón". Beca de Iniciación a la Investigación del Programa homónimo de la Univ. Nac. del Litoral, Informe Final. Santa Fe.

Popolizio (2003). El Paraná, un río y su historia geomorfológica. Tesis doctoral, Facultad de Filosofía, Historia y Letras, Universidad del Salvador, Tomos I y II. Buenos Aires.

Ramonell, C. G., M. L. Amsler y H. Toniolo (2000). "Geomorfología del cauce principal". En: 'El Río Paraná en su tramo medio. Una contribución al conocimiento y prácticas ingenieriles en un gran río de llanura' (C. Paoli y M. Schreider, eds.), Tomo 1: 173-232. Centro de Publicaciones de la Univ. Nac. del Litoral. Santa Fe.

Ramonell, C. G., e I. Cristina (2014). Geomorfología y propagación de crecidas en el tramo medio del Río Paraná, Argentina. 2do. Congr. Internac. de Hidrología de Llanuras, Artículos Completos (CD), 10 pág. Santa Fe.

Ramonell, C. G., L. Domínguez Ruben, D. Jornet, F. Latosinski y M. Gallego (2017). Geometría Hidráulica del sistema fluvial del río Paraná en el área de Santa Fe – Paraná: una evaluación exploratoria. VIII Simp. Reg. sobre Hidráulica de Ríos, Ríos 2017, Memorias (PD), 13 pág.

Ramonell, C. G., E. M. Latrubesse y M. S. Pereira (2011b). “Procesos y ritmos de construcción actuales de la planicie aluvial del río Paraná Medio, geformas resultantes”. XVIII Cong. Geol. Argentino, Actas (CD): 1247-1248. Neuquén.

Ramonell, C. G., Z. Y. Marchetti, I. M. Barberis y A. R. Giraudó (2013). Humedales del Bajo de los Saladillos. En: ‘Inventario de los humedales de Argentina. Sistemas de Paisajes de Humedales del Corredor Fluvial Paraná-Paraguay’ (L. Benzaquén y otros, eds.): 177-185. Secr. de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación. Buenos Aires.

Ramonell, C.G., Z. Y. Marchetti y M. S. Pereira (2012b). “Albardones de intracauce: geformas conspicuas de la planicie aluvial del río Paraná”. V Congr. Arg. de Cuaternario y Geomorfología, Acta de Resúm.: 126-127. Río Cuarto.

Ramonell, C. G., y L. E. Pertovt (2002). “Tasas y modos de avance del delta del Arroyo Leyes (Río Paraná Medio, Santa Fe, Argentina)”. XIX Congr. Nac. del Agua, CD de Trabajos. Córdoba.

Ramonell, C.G., R.N. Szupiany, E.M. Latrubesse, M. García, M.S. Pereira, M.G. Gallego, Z.Y. Marchetti, E.D. Cafaro, A.R. Paira, F. Latosinski, A.C. Bosisio y G. Torres (2011a). “Procesos de formación del río Paraná Medio. Nuevos paradigmas para su estudio”. Quinto Simp. Reg. sobre Hidráulica de Ríos, Memorias (CD) 14 pp. Santiago del Estero.

Villalba, A. (2015). Cambios de la vegetación asociados a la morfo-dinámica del delta del Arroyo Leyes. Tesina de Grado de Licenciatura en Biodiversidad, Facultad de Humanidades y Ciencias, Univ. Nac. del Litoral.

Antecedentes mixtos sobre Geología y Geomorfología

Iriondo, M. (1987). “Geomorfología y cuaternario de la provincia de Santa Fe (Argentina)”. D’Orbignyana, N° 4: 1 – 54. Corrientes.

Krohling D. y E. Brunetto (2013). “Marco Geológico y Geomorfología de la cuenca del Arroyo Cululú, provincia de Santa Fe”. En: “Bases Conceptuales y Metodológicas para el Ordenamiento Territorial en el Medio Rural – Región Centro, Argentina” (O. Giayetto, J. Plevich, V. Lallana y M. Pilatti, eds.), 483-512, Secretaria de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de la Nación, UNC, UNRC, UNL, UNR, UNER. Córdoba.

Passeggi, E. (1996). "Variaciones mineralógicas de los sedimentos de lecho en cauces secundarios de la llanura aluvial del Río Paraná". Rev. Asoc. Geol. Arg., T. 51, 2: 156-164.

Ramonell, C.G. (2005). Geología y geomorfología de la laguna Setúbal y su entorno (Santa Fe, Argentina). Trabajo Final de Licenciatura en Cs. Geológicas, Tomos 1 y 2. Universidad Nacional de San Luis.

Ramonell, C. G. (2021). Geomorfología y morfodinámica de la planicie aluvial del río Paraná en su tramo medio. Tesis Doctoral (aceptada para su defensa), Fac. de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata. La Plata.

3.3. Geomorfología de los ambientes atravesados por el gasoducto

Ramonell (2005) realizó una amplia descripción temática para el área delimitada en Figura 1.a, donde diferenció las siguientes unidades geomorfológicas para el área lagunar y su entorno inmediato (Figura 1.b):

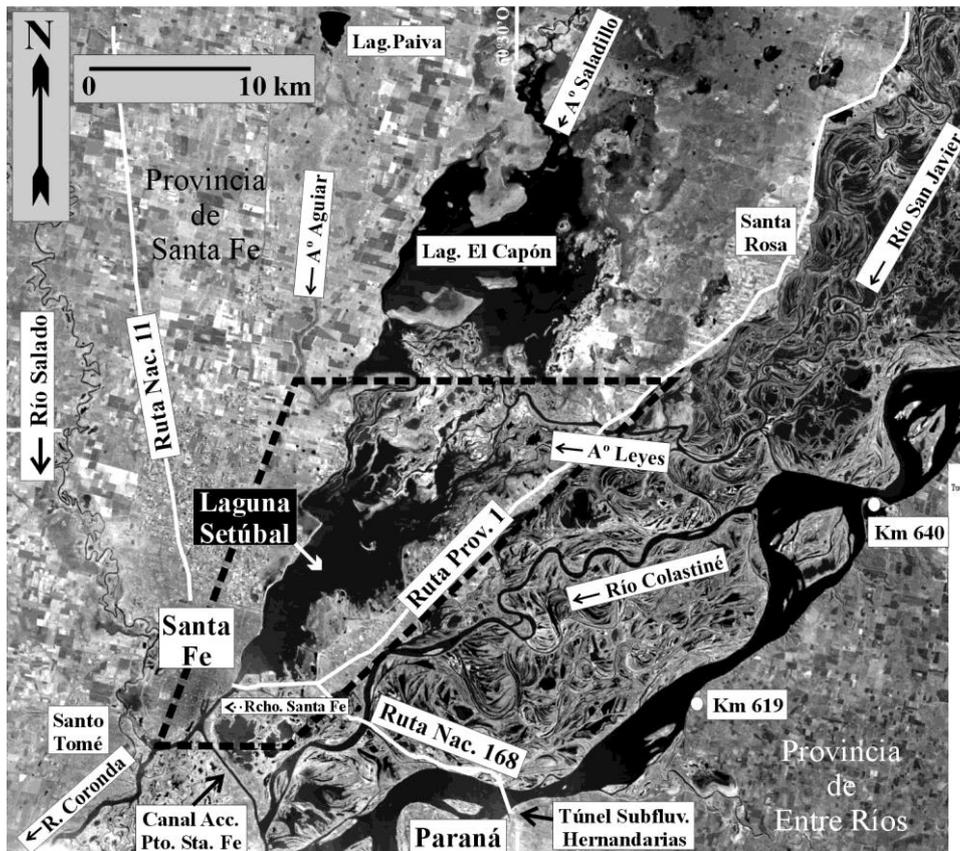


Figura 1.a: Área considerada en la caracterización geomorfológica y geológica.

1. Valles e interfluvios de A° Aguiar - Monte Vera, que se corresponde con los terrenos de la margen Oeste del ámbito lagunar.
2. Campo de dunas longitudinales de Rincón - Santa Rosa, que constituyen las áreas que delimitan por el Este a las depresiones que alojan a las lagunas Setúbal y El Capón.
3. Planicie de albardones y derrames del Rcho. Santa Fe, que delimita por el Sur a la laguna Setúbal.
4. Depresión lagunar Setúbal - El Capón.
5. Complejo deltaico del A° Leyes, de carácter transgresivo sobre la depresión lagunar, que constituye el límite más cambiante de la Setúbal, en su extremo Norte.

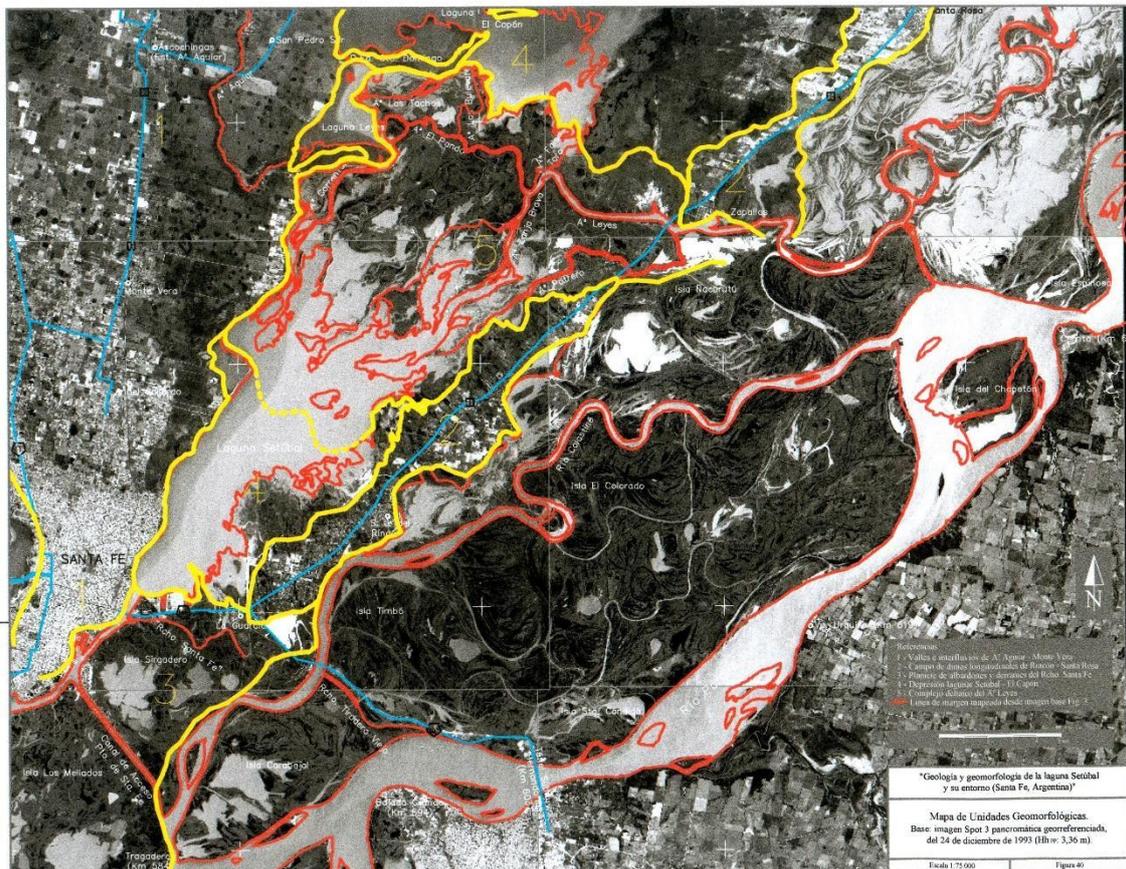


Figura 1.b: Límites de las unidades geomorfológicas del ámbito lagunar y su entorno (Ramonell, 2005).

En lo que sigue se caracteriza el paisaje de cada uno de estos terrenos según la extensión en que se los presenta en Figura 1, luego de lo cual se consignan los principales procesos geomorfológicos que los transforman en la actualidad.

Terrenos de la Margen Lagunar Oeste (Unidad Geomorfológica Valles e interfluvios de A° Aguiar - Monte Vera).

Propiedades extensivas

Esta unidad se ubica al oeste de la laguna Setúbal extendiéndose hacia el oeste cuanto menos hasta el valle y planicie aluvial del río Salado. Hacia el sur termina donde confluyen las planicies aluviales de los ríos Salado y Paraná, al sur de la ciudad de Santa Fe, en la que se encuentra marcadamente modificada por obras de ingeniería y otros efectos antrópicos.

Su límite este es de tipo erosivo en toda su longitud. Para los tramos en que se pone en contacto con la unidad 'Depresión lagunar Setúbal - El Capón', ese borde erosivo se manifiesta mediante una costa acantilada de hasta 2 - 3 m de desnivel, en cuya base se extiende una plataforma de abrasión por oleaje, ya en el ámbito lagunar, que conforma parte de su lecho.

Hacia el sur, en la zona urbana de Santa Fe, la actividad erosiva del borde está contenida por un sinnúmero de obras de defensa, tanto públicas como privadas, de tipo variado: tablestacas, geotextiles, etc.

Desde la latitud de Monte Vera y hasta la de Ea. Santo Domingo, en cambio, el acantilado se ha suavizado y transformado en margen pasiva, gracias a la protección contra el oleaje que le proporciona el frente deltaico del A° Leyes, al reducir (o anular, incluso) el fetch a los vientos.

Los elementos geomorfológicos característicos de estos terrenos son los amplios valles e interfluvios de orientación meridiana en los que se encuentran el cauce del A° Aguiar, y las localidades de Laguna Paiva, Ascochingas, Monte Vera y Santa Fe.

Las cuatro localidades están situadas sobre el mismo dorso topográfico, flanqueado al oeste por la Cañada de Naré - Los Leones, que intercepta al valle del río Salado al norte de la ciudad de Santa Fe.

En los aproximadamente 250 km² de superficie que la unidad posee en Figura 1.b, se destaca la inexistencia de cauces naturales, siquiera de orden 1, con la única excepción del propio A° Aguiar, subajustado a las dimensiones del amplio valle que ocupa.

El A° Aguiar está encajado casi unos 2 m respecto del fondo de tal valle en el sitio del cruce de la ruta 82-S, característica que se atenúa hasta desaparecer aguas arriba. Sus márgenes constituyen, prácticamente, los relieves internos con mayor pendiente de la unidad geomorfológica: la vinculación entre las partes altas y bajas del paisaje mayor ocurre por medio de pendientes de 1,5 % de inclinación o menores.

Toda la unidad presenta depresiones subcirculares o circulares someras diseminadas por doquier, en variable densidad. Estas hoyas poseen diámetros característicos de entre 50 y ca. 300 m, y desniveles respecto de los terrenos circundantes de pocos decímetros.

Las cubetas circulares poseen declives centrípetos de menos que 0,5 % y sólo se vuelven muy evidentes en el campo por sus diferencias en contenido de humedad respecto del terreno circundante, o por alojar pequeños humedales (incluso lagunas) de origen pluvial o freático.

Procesos Morfogénéticos Actuales

Fuera de la actividad de retroceso del acantilado y de modificación del litoral oeste de la laguna Setúbal (ver en subítem Procesos Morfogénéticos....del ítem Depresión Lagunar Setúbal – El Capón), los procesos de morfogénesis natural en la unidad geomorfológica están completamente subordinados a los pedogénicos.

Entre esos últimos, la actividad biológica de remoción/mezcla de los materiales de distintos horizontes edáficos que realizan las hormigas sobresale por su carácter más perceptible, como comparada a los procesos de hidromorfismo u otros más sutiles que operan en los suelos de la zona.

De hecho, una vista común de la superficie de estos terrenos, cuando no cultivados, es de una sucesión de hormigueros de baja altura (entre 20 y 40 cm), cuya densidad areal puede ser tan alta como 0,5 por m².

Fuera de lo anterior, diversas manifestaciones de actividad antrópica, tales como canalizaciones, alteos puntuales y lineales de terreno, préstamos de tierras, nivelaciones por loteos, etc., constituyen el factor con más influencia en la modificación de los terrenos que delimitan por el oeste a la laguna Setúbal en la actualidad.

La frecuencia de esas intervenciones es baja a nivel general, con impactos mucho más amplios sobre la dinámica hídrica de partes de la llanura que en la extensión de las remociones de tierras en sí.

Terrenos de la Margen Lagunar Este (Campo de dunas longitudinales de Rincón - Santa Rosa)

Propiedades Extensivas

Como unidad geomorfológica coincide con la mayor parte de las áreas que flanquean la traza de la Ruta Provincial 1, extendiéndose en la región como una faja delgada de rumbo NE-SO.

En la terminología popular estos terrenos se conocen también como los de la “Costa”, directamente, o del “Albardón Costero” más antiguamente.

El ancho de la unidad es inferior a los 5 km, discontinuándose en la zona apical del ‘Complejo deltaico del A° Leyes’, que la corta. De esa manera, ocupa una superficie de unos 45 km² en el área de San José del Rincón, y de 28 km² más entre Los Zapallos y Santa Rosa de Calchines.

La Laguna Setúbal también le impone un límite transgresivo (o erosivo) por el oeste, ya que la fluctuación de niveles hidrométricos y acción del oleaje, más la del escurrimiento lagunar, ha ido disipando su topografía más característica hasta convertirla en playa subhorizontal lacustre, con un pequeño escalón a modo de acantilado de unos 10 a 50 cm de altura que marca el límite geomorfológico real entre ambas unidades geomorfológicas.

Los elementos geomorfológicos distintivos de la unidad son las lomadas elongadas y bajíos dispuestos en dirección SSE-NNO, reconocidas por Ramonell (2005) como paleodunas longitudinales (de origen eólico) y espacios de interduna, respectivamente.

Esas geoformas se reconocen mejor sobre fotos aéreas o imágenes satelitales obtenidas luego de varias lluvias importantes, que provocan anegamientos generalizados en las zonas de interduna (e.j., lluvias de los otoños de 2007 y 2016).

La longitud de onda entre crestas sucesivas (transformadas en lomas convexas, en la actualidad) es variable, en el orden de los 200 m a 400 m como más característico.

De cualquier manera, el relieve eólico original está algo desdibujado hacia el presente, en el que los desniveles relativos entre las zonas de dunas e interduna son de 1 m, como máximo frecuente.

Al igual que en la unidad 'Valles e interfluvios...', se destaca en ésta la falta de una red de avenamiento natural, en parte como consecuencia de la elevada permeabilidad del terreno y del patrón longitudinal (y paralelo) del modelado eólico.

Los excedentes de agua vinculados a lluvias intensas o al ascenso del nivel freático durante las inundaciones fluviales quedan retenidos en depresiones menores de las zonas de interduna, que existen debido a procesos de disipación que han modificado la topografía de las dunas longitudinales originales, una vez que dejaron de ser activas.

De esta manera, charcas transitorias y bañados de escasa profundidad son los ambientes de humedal típicos de la unidad geomorfológica.

Procesos Morfogenéticos Actuales

Como en la unidad geomorfológica de 'Valles e interfluvios...', la morfogénesis natural actual en el 'Campo de dunas...' es irrelevante frente a los procesos de transformación edáficos, tanto químicos como físicos.

Sin embargo, para esta temática merecen destacarse las modificaciones introducidas por el hombre al ocupar estos terrenos, a raíz de las grandes tasas de radicación demográfica de iniciativa privada registradas en las últimas décadas.

La morfogénesis antrópica en la zona ha ocurrido (y ocurre) a dos niveles de intervención: estatal o público, y privada. Con la primera se hace referencia a la construcción de defensas contra inundación fluvial, a la sobre-elevación de la

Ruta Provincial 1 y al diseño de canalizaciones con el propósito de mejorar el drenaje.

Las grandes obras de defensa alcanzan hasta 5-6 m de desnivel respecto de las cotas naturales linderas. Concluidas a mediados de los '90, han impedido la inundación de los terrenos de la "Costa" en los últimos eventos de importancia, i.e., los de 1998 y 2016. Ello, a diferencia de lo que ocurriera en los años 1977, 1983 y 1992, por referir las mayores crecidas en cada una de las últimas tres décadas.

En lo que hace a intervenciones de tipo privada, la práctica de ocupación de una parcela para edificación de viviendas familiares u otras similares, suele implicar normalmente el alteo del terreno donde estará la casa (en otras ocasiones, del lote completo) en cerca de 1 m como valor casi corriente.

Esta práctica se extendió a nivelaciones y alteos de loteos de barrios completos en las últimas décadas.

Debido al origen como dunas de arena eólica de estos terrenos, presentan parches donde la compactación natural es baja; allí son comunes los cambios en la topografía local en condiciones de saturación y debido al paso de vehículos de cierto porte (o por la frecuencia del tránsito vehicular), que en cuestión de semanas llega a generar pozos de dimensiones equivalentes al ancho de una calle, con relieves relativos de hasta un par de metros de desnivel respecto de la condición previa.

Se comprende fácilmente que fenómenos antrópicos semejantes en una zona de drenaje obliterado por su origen eólico y escasísimo relieve, con una dinámica hídrica condicionada también por el drenaje y almacenamiento subterráneo (no muy tenido en cuenta en las simulaciones hidrológicas del escurrimiento superficial), unido a la compactación diferencial activa de sus suelos, puede provocar cambios en la frecuencia de los anegamientos por lluvia en terrenos periféricos, o incluso generarlos donde antes no ocurrían.

Terrenos del Extremo Sur de la laguna (Planicie de albardones y derrames del Riacho Santa Fe).

Propiedades Extensivas

Esta unidad geomorfológica se extiende al sur de la 'Depresión lagunar Setúbal – El Capón', y comparte con ella la propiedad de pertenecer a la planicie de inundación ordinaria actual del sistema del río Paraná.

Sus elementos geomorfológicos característicos se reconocen desde el extremo S de la laguna Setúbal (eje delineado por las pilas del FFCC Francés – Parque Tecnológico Litoral Centro – B° El Pozo) hacia el sur, traspasando incluso el canal de acceso al Pto. de Santa Fe en igual dirección.

Esos elementos son riachos sinuosos, estrechos, con albardones laterales que limitan pantanos y lagunas de contorno subcircular o festoneado en planta; buena parte de estos cursos son inactivos como tales, ya que tienen sus bocas (sino gran parte de sus trazas) cegadas.

Al NE del canal de acceso, la superficie de la 'Planicie de albardones y derrames...' es de unos 40 km², con un ancho medio de 5,5 km según un rumbo NO-SE. En esta zona, Iriondo y Drago (1972) evaluaron estadísticamente la cantidad, densidad areal y áreas cubiertas por distintos cuerpos de agua, entre otros parámetros hidrográficos, obteniendo las cifras que se reproducen en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Evaluación de cuerpos de agua transitorios y permanentes en la zona de Isla Sirgadero. Fuente: Iriondo y Drago (1972).

	Cauces temporarios	Lagunas	Bañados y pantanos
Número	82	86	121
Número por km ²	2,41	2,53	3,55
Área cubierta (%)	6,04	17,40	16,60

Entre los valores proporcionados por esos autores se destaca el de la densidad de avenamiento de la unidad geomorfológica en la zona, de 2,17 km/km². Ello marca de manera indirecta la importancia de los cursos (tanto temporarios como inactivos) y de los albardones asociados como geofomas dominantes.

La topografía de la unidad en la isla Sirgadero es bien conocida gracias al levantamiento realizado en la traza de la línea de 500 Kw. Según tal información, la cota más frecuente del terreno es de 12 m, con los albardones sobresaliendo hasta 1 m por encima de tal nivel; la profundidad de los cauces interiores y lagunas es, respectivamente, de hasta 4,5 m y 1 m respecto de igual plano de referencia.

De acuerdo a los desniveles indicados, el área quedaría completamente anegada para alturas hidrométricas en el Puerto de Paraná (H_{hPP}) en el entorno de los 4 m, sobre los cuales sólo emerge la vegetación y algunas estructuras hechas por el hombre.

En cuanto al Rcho. Santa Fe, su conversión hidrográfica de 'río' en 'riacho' siguió a la desactivación natural del curso en cuestión debido a la obstrucción de su embocadura por la migración del río Colastiné y formación de un banco semilunar (de meandro) hacia la década del '60.

En realidad, el proceso de mengua en las dimensiones del cauce tuvo que iniciarse con anterioridad al siglo XX. En efecto, en un plano efectuado en 1811 por el Ing. Giannini y Bentallol, se advierte que el Rcho. Santa Fe es alimentado directamente por el cauce principal del Paraná, que luego debió trasladarse al sur dando origen a la parte norte de la actual isla Carabajal (margen derecha del cauce principal aguas abajo del brazo Tiradero Viejo, al S de la Ruta Nac. 168).

La importancia de la información que aporta el plano citado radica no sólo en sus detalles de índole cartográfica, sino también en parte de los escritos internos. Así, el más relevante de todos es el que refiere a las dimensiones y calidad de las aguas de la laguna Setúbal, a la que describe con 30 a 40 km de largo, unos 12 km de anchura, y de agua salobre.

Condiciones semejantes involucrarían la inexistencia hacia 1811 del 'Complejo deltaico del A° Leyes', tanto como cuerpo morfológico-sedimentario, como del arroyo en sí mismo, en su calidad de tributario de cierta importancia para las aguas de la laguna.

Ramonell (2005) comparó la traza del Rcho. Santa Fe en el plano de 1811 con una más actual, previa al cegamiento de su embocadura. El autor advirtió sobre los pocos cambios de la configuración en planta que experimentara este cauce al cabo de 200 años.

Esa baja tasa de movilidad está vinculada no sólo al empequeñecimiento progresivo del curso, mediante la merma de su caudal formativo a lo largo de dos siglos, sino también a la naturaleza cohesiva y geológicamente antigua de los materiales que componen sus márgenes (limos arcillosos con concreciones calcáreas y ferruginosas de más de 20.000 años de antigüedad; Ramonell, 2021).

Procesos Morfogenéticos Actuales

Esta unidad geomorfológica es donde la actividad antrópica ha producido los mayores cambios del paisaje por unidad de superficie, en forma directa, respecto de toda el área insular considerada en Figura 1.b.

Los cambios más evidentes son: los alteos de terrenos vinculados a la Ciudad Universitaria, el Barrio El Pozo y el complejo comercial Wal Mart, frente a aquél último, además de los canales y terraplenes asociados a la construcción del puerto local y a la Ruta Nac. 168.

Las sobreelevaciones y remociones artificiales de tierras de la superficie isleña, se continúan en la actualidad, con más asentamientos particulares o grupales estimulados desde órbitas públicas o privadas.

En ese contexto, el sistema *natural* presenta una serie de transformaciones al presente, que es preciso justipreciar en términos de cambios a mediano y largo plazo. A continuación se identifican las dos más relevantes.

La primera y por mucho (físicamente) más impactante, se relaciona al agrandamiento que ha experimentado el río Santa Fe a partir de la crecida de 1982/83, desde la desembocadura de la laguna Setúbal en las pilas del FFCC Francés hasta su unión con el río Coronda.

De acuerdo a FICH (1993), el notable agrandamiento de esa sección aún los efectos locales del estrechamiento lagunar con el gran caudal erogado: durante la crecida, se midió un caudal instantáneo de 9700 m³/s a la altura del puente de Ruta Nac. 168 (Pte. Oroño).

La incapacidad de recuperación de las dimensiones originales en las secciones transversales del río Santa Fe en ese sitio, fue vinculada en aquél informe a la falta de aporte sedimentario desde aguas arriba, ya que las arenas suministradas por el A° Leyes se depositan en el frente deltaico, sin llegar a atravesar el ámbito lagunar.

Vale destacar que no existen antecedentes históricos de eventos hidrológicos que hayan generado una sección con las dimensiones como la generada por la crecida 1982/83.

No sólo ese sector en particular, sino el propio río Santa Fe en toda su longitud fue agrandado en el evento de 1982/83, sin restituirse luego.

Algunos datos para evaluar la cuantía del cambio se brindan en el Cuadro 2.

En síntesis, el río Santa Fe ha incrementado su capacidad de conducción en estado encauzado en cerca de un 75 % y, dada la falta de suministro de sedimentos desde aguas arriba, se encuentra al momento en una etapa de desequilibrio morfológico-sedimentario.

Cuadro 2: Cambios en la capacidad de conducción del río Santa Fe, década del '70 vs. situación actual (tomado de FICH, 2005).

Año	Hh _{SFe} ⁽¹⁾ (m)	Caudal (m ³ /s)	Base del dato
1974	4,19	1.500	Curva de descarga ajustada con aforos realizados entre el 21/12/70 y el 8/03/73.
2005	4,19	2.620	Aforo del 14/12/04.

⁽¹⁾ Altura hidrométrica escala del Pto. de Santa Fe; equivale aproximadamente a Hh_{pp}: 3,70 m.

De esta manera, se constituye en una eficaz “llamada” para los caudales que el sistema fluvial del río Paraná le otorga mediante los arroyos Leyes y Potrero: unos 1500 m³/s, en términos medios, y el grueso de los casi 10.000 m³/s que se aforaron en la crecida de 1982-83. Esa llamada retroalimenta, a su vez, el agrandamiento experimentado por ambos cursos que alimentan a la laguna desde el siglo pasado.

La segunda transformación tiene que ver con la etapa final de la desactivación del Rcho. Santa Fe. Esta ha continuado a pesar de la reapertura artificial de su boca en el 2014, que en pocos años volvió a cerrarse por las sedimentaciones

vinculadas tanto a su ubicación en la convexidad del meandro del río Colastiné en el que nace, como a las inducidas por el desarrollo de vegetación hidrófita enraizada en su tramo superior, y el consecuente atrape de finos en la forma que ha sido evaluada, en otros sectores del río, por Marchetti y Ramonell (2014) y Ramonell (2021).

Depresión lagunar Setúbal - El Capón

Propiedades Extensivas

Los límites de la parte sur de esta unidad geomorfológica, que corresponde a la laguna Setúbal específicamente, se sintetizan en el Cuadro 3, que contiene datos sobre la condición morfodinámica de aquellos.

En condición de aguas bajas y principios del presente siglo la laguna tenía una superficie de 55 km², con un perímetro de unos 45 km de longitud.

Ambas dimensiones podían incrementarse en más del doble en condiciones de crecida, debido a la forma gruesamente digitada del frente deltaico del A° Leyes, las bajas pendientes y cotas de sus bancos e islas, así como la geometría dentada de las dunas e interdunas disipadas de los terrenos de la margen Este.

En los últimos 20 años y por el avance del delta la laguna ha reducido su superficie a poco más que 30 km².

El fondo de la laguna es subhorizontal o ampliamente curvo en sección transversal, con desniveles internos apenas perceptibles, decimétricos. Las cotas de fondo están en torno a los 9 y 10 m más frecuentemente. Es una laguna somera, con tirantes de poco menos que 2 m en aguas bajas ordinarias (i.e., $H_{hPP} = 2$ a 2,5 m).

En el sector norte de la laguna hay una influencia determinante de la pendiente hidráulica del sistema deltaico, regulada por las magnitudes, tanto en desnivel topográfico como de contribuciones líquidas, del A° Leyes principalmente, y el A° Potrero en segundo término. La capacidad de conducir caudales de estos cursos ha aumentado en las últimas décadas, sobre todo luego de la crecida de 1982/83, a partir de la cual aportan a la laguna unos 1500 m³/s, como suma de sus caudales medios anuales.

Cuadro 3: Límites geomorfológicos naturales de la laguna Setúbal.

Zona	Unidad Geomorfológica limítrofe	Tipo de Límite ⁽¹⁾	Geoforma de contacto
NO	Valles e interfluvios de A° Aguiar - Monte Vera	erosivo	acantilado y plataf. abrasión
SE	Campo de dunas longitud. de Rincón - Sta. Rosa	transgresivo	playa lacustre
S	Planicie de albardones y derrames del Rcho. Sta. Fe	pasivo	surcos/derrames deltaicos
NE	Complejo deltaico del A° Leyes	regresivo	bancos de desembocadura y albardones

⁽¹⁾ de la laguna con relación a la unidad limítrofe.

El contacto del ámbito lagunar con la unidad 'Complejo deltaico del A° Leyes' es uno de transición gradual por aquellas razones, pero más aún debido a las elevadas tasas de avance del frente del delta (Figura 2).

Justamente, el paso del ambiente deltaico al lagunar está marcado geomorfológicamente por la ausencia de formas fluviales (bancos de desembocadura de formas en V cuando son de reciente formación, con los brazos de la "v" dirigidos hacia aguas abajo), por un lado, y sedimentológicamente por la falta de sedimentos arenosos, que están precisamente asociados a tales formas en V.

Arenas de distinto calibre, incluyendo unas muy gruesas y hasta guijosas (gravas muy finas) dominan en el cuerpo que delinea las "v" de los nuevos bancos de desembocadura, mientras que entre ambos brazos se dan condiciones que propician la sedimentación de fangos con mayor o menor contenido de materia orgánica, como se muestra con más detalles en el ítem siguiente (Complejo Deltaico del A° Leyes).

Los sedimentos propios del fondo lagunar son limos y limos-arcillosos de depositación reciente, aunque no todo el lecho lagunar está cubierto uniformemente por los mismos: como se mencionara al describir los terrenos del oeste de la laguna, hacia es margen hay una plataforma de abrasión por oleaje que, en un ancho variable de decenas a un par de cientos de metros de anchura, expone en superficie sedimentos geológicamente antiguos (arenas muy finas limosas con cementación incipiente, débil y concreciones cálcareas en partes).

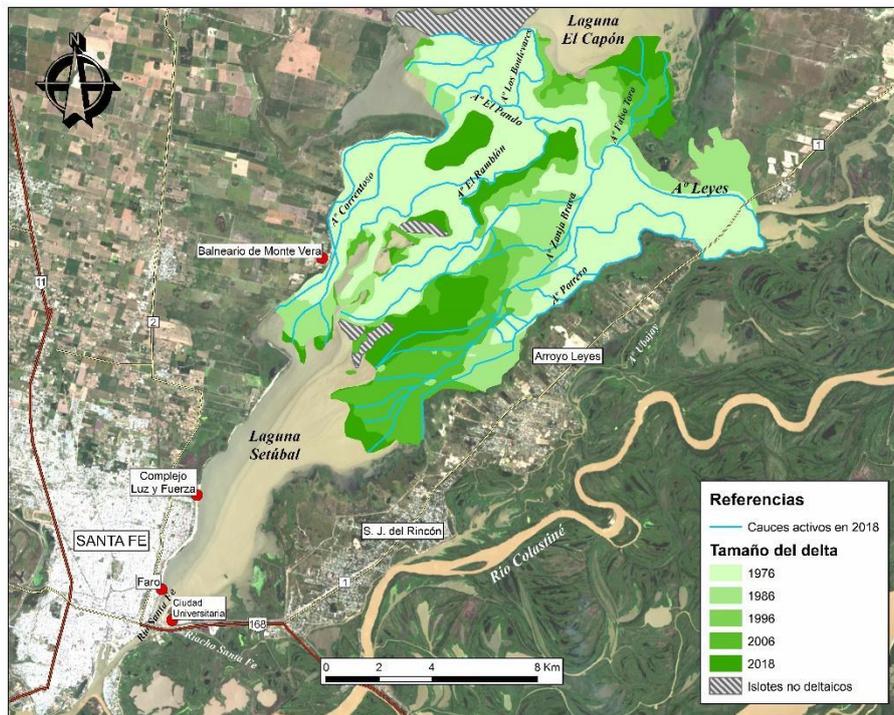


Figura 2: Crecimiento del delta del A° Leyes entre 1976 y 2018, basada en el mapeo del delta desde imágenes satélite en niveles hidrométricos similares en torno a aguas bajas a medias (Hh_{PP} cercanas a 2,7 m; para condiciones de aguas más bajas, como las registradas en diferentes momentos del 2020, las morfologías sedimentarias propias del delta se visualizaban a la latitud de la inscripción “Laguna Setúbal” de la figura).

Materiales análogos se encontraron en el extremo sur del lecho lagunar durante la bajante en curso en 2020 (e.g., fondo lagunar emergido al N de las pilas del FFCC Francés y del B° El Pozo), donde sedimentos consistentes de edad pleistocena están en superficie o apenas cubiertos por algunos centímetros y hasta unos aprox. 3 m de limos y arcillas blandas actuales.

Por su parte, hacia la margen este de la laguna hay playas subhorizontales arenosas y areno-limosas, producto del retrabajo hídrico local de los sedimentos que componen las antiguas dunas eólicas de la zona de la “Costa”.

Procesos Morfogenéticos Actuales

En la actualidad se produce sedimentación de finos en el fondo de la laguna y al caminarlo, lo habitual es enterrarse unos 0,2 a 0,3 m en los fangos saturados del lecho, a cada paso.

La existencia del proceso de sedimentación se conoce también por otro tipo de evidencias, tanto semidirectas como indirectas, como ser: los desbalances en las mediciones de sedimentos suspendidos a la entrada y salida del sistema, o el incremento porcentual de limos y arcillas en muestras de fondo, siguiendo la dirección del escurrimiento desde el frente del delta hacia aguas abajo (Ramonell, 2021: Anexo E).

En ese contexto, no se han realizado hasta el momento mediciones directas sobre tasas de sedimentación de limos y arcillas en el fondo lagunar por lo que tal valoración es materia de estudio.

Sin embargo, es muy probable que parte del sedimento fino depositado sea resuspendido y evacuado del ámbito lagunar en determinadas condiciones hídricas, lo que explicaría la falta de tales sedimentos en el extremo sur de la laguna, donde materiales del Pleistoceno (más de 10.000 años de antigüedad) están en superficie o apenas cubiertos por fangos modernos, como se explicara en el subítem precedente.

En la zona de la playa lacustre al E de la laguna, por su parte, los procesos de modelado resultan de una combinación entre sedimentación de finos y disipación de las arenas eólicas por esorrentía y oleaje. La eficacia de este último en el sector parece ser menor, debido a la falta de vientos que soplen en la dirección adecuada.

Por el contrario, la margen noroeste de la laguna está bajo la influencia del oleaje producido por los vientos del NE y SE, que son los más frecuentes en la región. Otros dos vientos con capacidad morfogenética en esa costa, por intensidad y fetch, respectivamente, son los del SO y E; con el primero de ellos se alcanzan a formar olas de casi 1 m de altura en la laguna.

Ese borde lagunar estaría potencialmente sometido a la acción del oleaje más del 95 % de los días del año, en promedio. Pero para que tal situación sea geomorfológicamente efectiva deben coincidir vientos intensos con niveles hidrométricos medios o altos, que alcancen la parte acantilada, erosiva, del talud.

En base a un comparativo de posiciones en planta del borde lagunar a la latitud de Ángel Gallardo, Ramonell (2005) valoró tasas de corrimiento promedio para el último cuarto de siglo de menos de 2 m/año, en toda la costa.

De hecho, y según lo que se ha podido observar en campaña, la mayoría de los inmuebles del borde del acantilado en esa zona tienen construidas defensas en la actualidad.

En la plataforma de abrasión, las concreciones calcáreas liberadas por erosión de sedimentos antiguos suelen reunirse ocasionalmente en reducidos manchones de gravas, y servir como elementos abrasivos del modelado de la superficie.

La arena y limos gruesos que son soltados de las unidades geológicas de la margen suele derivar hacia el norte, en la forma de dunas litorales (de origen hídrico, por oleaje). Este mecanismo de migración de esos tamaños de grano, junto al retrabajo eólico de los sedimentos, ha contribuido a formar el cordón o berma de playa sobre la plataforma de abrasión al norte de Chaco Chico y a ambos lados (norte y sur) de Monte Zapatero, dejando entre los terrenos pampeanos de la margen oeste y los de laguna un ambiente de bañados que es de fácil anegamiento en crecidas ordinarias del Paraná.

El extremo S de la laguna está interrumpido por profundas hoyas de dragado (cotas de 0 a 6 m IGN) hechas para obras de refulado desde los '70, cuyos contornos la bajante extrema de 2020 llegó a exponer en superficie parcialmente.

Las mayores profundidades de la laguna se han registrado en su extremo sur, cercanas a las pilas del FFCC Francés, donde las cotas puntuales de fondo son de -10 m IGN.

Al momento se desconocen aspectos vinculados a la evolución morfológica de estas zonas profundas luego del paso de grandes crecientes (e.g., 2016 o mayores). Como un ejemplo de incógnita actual, se desconoce si han ocurrido fenómenos de ampliación de algunas partes profundas por erosión retrocedente, particularmente de aquellos sitios hondos alineados según la dirección del escurrimiento.

Complejo deltaico del A° Leyes

Propiedades Extensivas

El 'Complejo deltaico del A° Leyes' se extiende en una superficie de unos 155 km² al este de la Ruta Prov. 1, formado por los cauces de los arroyos Leyes y Potrero.

De su perímetro total menos de la mitad corresponden a su frente activo, ya que el contorno restante está en contacto directo con zonas más altas de las unidades geomorfológicas vecinas.

Parte de aquél frente limita con la laguna Setúbal, con las restantes que dan a las lagunas El Capón y Leyes.

Como se mencionara previamente, el cauce alimentador de mayor orden es, precisamente, el A° Leyes. Este arroyo formó un delta de tipo digitado, primariamente, con lóbulos y salientes en "pata de ave" construidos por un sistema distributivo de pocos canales principales: Potrero, Zanja Brava, Correntoso, Falso Toro, Los Bulevares, Los Tachos y El Pando. La ubicación de la mayoría de estos puede verse en la Figura 2.

Respecto de la traza en planta del curso generador, el delta es asimétrico, con un desarrollo mayor en sentido N-S respecto del que tiene S-N, y una longitud E-O cercana a los 15 km.

Tal despliegue refleja la influencia de la pendiente norte - sur general de la región, y la local en sentido este - oeste, de hasta 2 órdenes de magnitud mayor que la primera.

Los canales distributivos que se nombraron son los activos actualmente: se advierten, entre los arroyos Zanja Brava y Correntoso por ejemplo, un par de cauces de similar orientación y largo pero con sus bocas cegadas (los Ramblones), no funcionales como sistemas tractivos desde hace un par de décadas hasta la crecida de 2016, que reactivó un segmento importante de uno de ellos.

Los canales de la unidad son en general rectos a meandriformes (de baja sinuosidad), de thalweg único, y flanqueados por albardones bien desarrollados en ambas márgenes. La mayoría de estos albardones han sido remodelados a partir de derrames (crevasse splays) y surcos de desborde en sucesivas crecientes.

Los surcos de desborde son ubicuos sobre la planicie y el frente del delta, y están también flanqueados por albardones. Éstos forman una malla irregular en la planicie deltaica, que encierra lagunas, pantanos y bañados, debido a la coalescencia de esas geoformas.

Desde una perspectiva topográfica, exclusivamente, el paisaje y sus desniveles son muy semejantes a los descritos para la isla Sirgadero, en el ítem Terrenos del Extremo Sur de la Laguna.

Los albardones sustentan la vegetación de mayor porte en la unidad del delta, la cual queda completamente inundada en las crecidas fluviales.

Entre los elementos geomorfológicos se destacan, sobre la margen derecha del A° Leyes y aguas abajo del cruce de Ruta Prov. 1, los depósitos de derrame que formaron las crecidas extraordinarias de 1982/83 y 1992, que aparecen con una tonalidad más clara, blanquecina, en la imagen (a) de la Figura 3 y marca el límite de la unidad geomorfológica en ese sector.

En el evento hidrológico de 1982/83 que dio origen a ese derrame, la depositación afectó un área de 5,5 km² con una altura de relleno de alrededor de 1,5 m.

En el interior de la unidad geomorfológica, en general, los depósitos de arena “limpia” (sin finos) ocurren principalmente como bancos semilunares en las partes convexas de las curvas fluviales, sin llegar a ser tan relevantes como el comentado en párrafos previos.

Cuando se recorren los canales interiores del delta, lo normal es ver las márgenes compuestas por sedimentos del tipo que integran el albardón (i.e., arenas finas-muy finas limosas, y limos arenosos), o la barranca erosiva (limos y limos arcillosos).

Esos últimos depósitos se originaron en los ambientes de laguna asociado a la progradación deltaica, y aparecen formando las márgenes de los cauces luego que estos se jerarquizaran (ensanchándose), o divagaran lateralmente.

Por otro lado, en el frente del delta se encuentran sedimentos arenosos nuevamente, en las desembocaduras de distributarios importantes, como bancos de desembocadura.

Esos bancos van evolucionando a islas (vegetadas) al ir creciendo en altura, un proceso que combina el establecimiento de vegetación hidrófita enraizada en sus superficies con el atrape de sedimentos limo-arcillosos.

En tal sentido, la Figura 4 muestra un detalle de la evolución de un sector de islas del lóbulo deltaico que está siendo formado por el A° Zanja Brava.

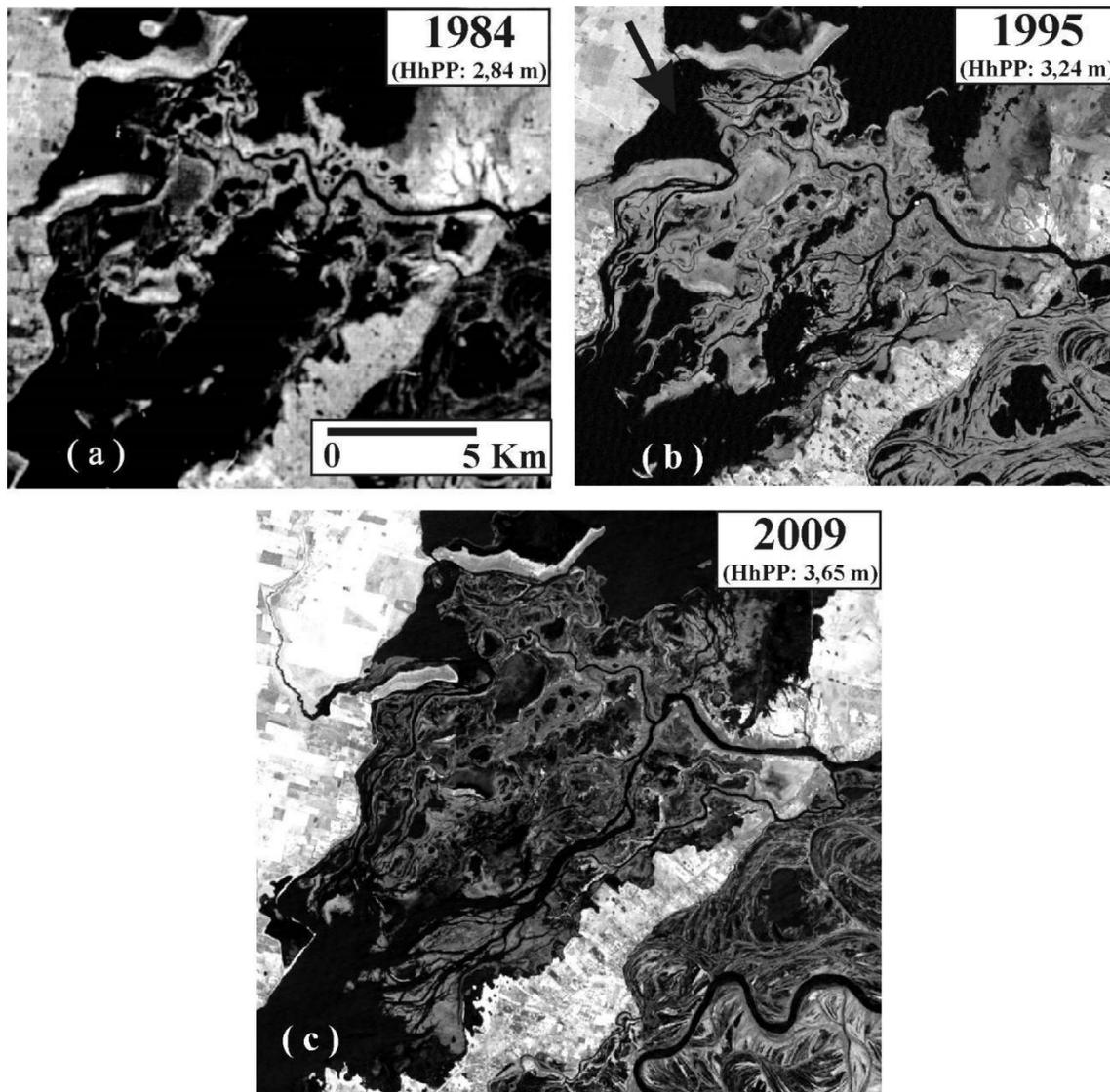


Figura 3: Expansión del delta del A° Leyes entre 1984 y 2009 (Ramonell et al., 2011).

Nótese, en Figura 4, que el desarrollo del complejo de islas encerradas por el polígono rojo condujo a la formación de una bifurcación mayor de las aguas del

A° Zanja Brava: por un lado, las que continúan por el este de ese grupo de islas confinadas en una serie de cursos que se irradian o dividen y vuelven a unir a otro que alcanza el frente del delta por el este, que aquí se denomina “A° Zanja Brava Este”.

Este cauce (y brazos adventicios) ya estaba medianamente configurado hacia 2004 y, sobre todo, 2009, al menos en las condiciones de aguas bajas presentadas en la figura.

Por su parte, la bifurcación que se da hacia el oeste del grupo insular, denominada en adelante “A° Zanja Brava Oeste” no corresponde a un cauce ya bien conformado en la Figura 4 sino a uno en proceso de formación en esos tiempos.

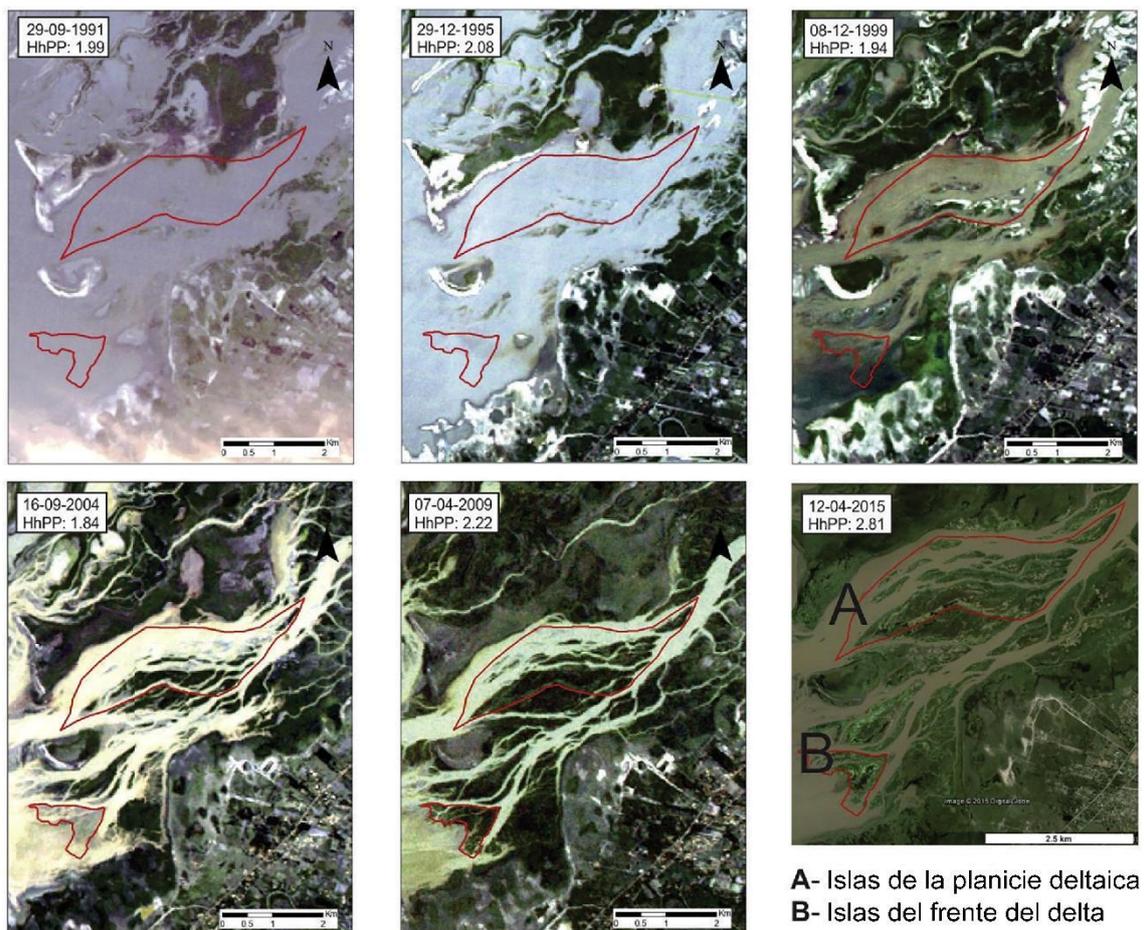


Figura 4: Evolución 1991-2015 de las islas del delta del A° Leyes en el lóbulo deltaico del A° Zanja Brava (Marchetti et al., 2020).

El fenómeno de transformación de vía de flujo de agua a cauce verdadero allí se da por el crecimiento de islas elongadas pequeñas que, al aumentar en número, van coalesciendo y conectándose entre sí confinando cada vez más el escurrimiento.

En tal sentido, el proceso de constitución del “A° Zanja Brava Oeste” como cauce verdadero está en progreso en la actualidad, con un incremento significativo del confinamiento promovido por la generación de numerosos bancos e islotes alargados durante el fenómeno prolongado de bajante que se inició en Agosto de 2019 y se extendió a lo largo de todo el 2020.

Con todo, el “A° Zanja Brava Oeste” hacia el presente no posee el mismo grado de identidad morfológica y funcional como cauce, como el que posee el “A° Zanja Brava Este” desde hace unos años a esta parte.

Con relación al lecho de los cauces de todo el delta, en general, la mayor parte de ellos es arenoso en condiciones de aguas medias o mayores.

Sin embargo, en el cuerpo del delta también asoman sedimentos del Pleistoceno en superficie (ver “islotes no deltaicos” en la Figura 2), que suelen controlar la posición del fondo en algunos de los cursos deltaicos, como es el caso del tramo medio del A° Zanja Brava y de parte de los pequeños cauces distributarios que llegan a él desde el A° Potrero.

Como una síntesis gráfica y más precisa de lo enunciado hasta aquí, la Figura 5 muestra diferentes tipos de islas del delta, tanto en proceso o sitio de formación como en antigüedad transcurrida desde su aparición, ilustrando sobre sus arreglos sedimentológicos en sentido vertical como horizontal, así como también sobre las comunidades de vegetación que las habitan.

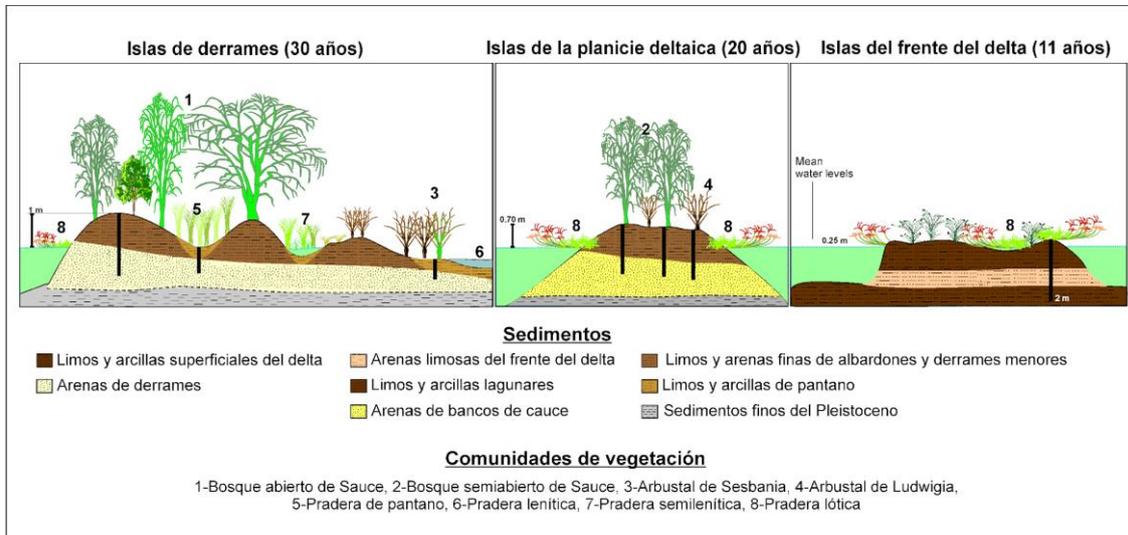


Figura 5: Perfiles sedimentarios y comunidades de vegetación en diferentes partes del delta del A° Leyes (Marchetti et al., 2020).

Una consideración extra merece todavía el A° Zanja Brava, que es bastante singular en cuanto a la configuración morfológica de su fondo: su tramo superior posee profundidades análogas a las del A° Leyes aguas arriba de su embocadura, esto es, del orden de los 10 m aproximadamente; en su parte media se pasa abruptamente a tirantes del orden de los 2 m, que progresivamente van disminuyendo hacia el frente deltaico hasta alcanzar las cotas del lecho lagunar, que está algunos decímetros por encima que las de los fondos de los cauces distributarios.

Debido a la configuración groseramente triangular, en planta, de la laguna Setúbal, que desde la posición actual del frente deltaico va estrechándose hacia el sur (Figura 2), es de destacar que los canales distributarios del delta que la alcanzan van convergiendo, hoy día, hacia tramos más angostos de la misma.

Por tal razón, hacia estos tiempos se está dando un fenómeno que no tenía registros previos en la evolución del delta: la convergencia del sistema de canales distributarios, para formar un sistema hidrográfico opuesto, es decir, de cursos tributarios.

De este modo, el A° Zanja Brava Oeste confluye actualmente con el A° Correntoso, que recorre el extremo oeste del delta desde la laguna Leyes hasta la Setúbal (Figura 2). Por su parte, el A° Zanja Brava Este se divide en múltiples canales deltaicos pequeños al N de la latitud de Chaco Chico, que hoy día están

volviendo a converger a la altura de esa localidad, debido al menor ancho y geometría de las márgenes lagunares en tal sector.

Procesos Morfogenéticos Actuales

En las descripciones previas se mencionaron geoformas, sedimentos, y procesos morfo-sedimentarios que tienen que ver con la dinámica actual de esta unidad geomorfológica, y que dan cuenta de los diversos rasgos de su superficie.

En ese marco, en lo que sigue se brindará una síntesis acerca de tasas de cambio registradas en el 'Complejo deltaico...', tanto como sistema sedimentario, o bien en lo que respecta a la evolución morfológica de parte de los cauces que lo integran.

Las primeras mediciones sobre avances del frente del delta fueron publicadas por Ramonell y Pertovt (2002), quienes determinaron tasas medias de avance puntual que alcanzaron los 690 m/año para el período 1997 - 2000, y 84 m/año en el lapso 1974-1997.

El incremento en longitud promedio de gran parte del delta fue de 12 m/año y 2 m/año para cada período, con aumentos de área emergida a razón de 1,2 km²/año y 0,2 km²/año en iguales tiempos.

Pertovt (2004) amplió la base de mediciones referida, incluyendo, además, fechas posteriores. Ese autor determinó que en los sectores con más cambios, el promedio de avance fue de 170 m/año, con "pulsos" de corrimiento máximo medio del orden de los 750 m/año.

Como se podía suponer, las cifras máximas se registraron en períodos con crecidas de importancia. Sin embargo, para el lapso 2000 - 2003 (libre de inundaciones fluviales, siquiera ordinarias), Pertovt determinó un avance promedio de 500 m/año en el lóbulo deltaico del A° Falso Toro.

Este cauce reprodujo el proceso de cambio que experimentara el A° Zanja Brava, originado a fines de los '60 a partir de la rotura natural del albardón del A° Leyes. La jerarquización del A° Zanja Brava estuvo influida por la crecida de 1982/83.

Dado que la traza del Zanja Brava posee una pendiente hidráulica mayor que la del A° Leyes luego de su embocadura, su cauce se ha convertido, desde

entonces, en el de mayor progradación dentro del ambiente lagunar de la Setúbal.

La cuantía de la pendiente explicaría el rápido crecimiento del A° Falso Toro. Cerca de su desembocadura se muestrearon incluso arenas gruesas guijosas (con guijas finas, menores a los 8 mm), habiéndose medido, en situación de aguas medias-ascendentes (con H_{hpp} : 3,3 m), velocidades de corriente de 2 m/s.

Un rasgo común en los dos cauces distributarios que se tratan, es la presencia de una hoya profunda en el lecho, próxima a cada embocadura.

Mediciones aisladas de tirante realizadas en aguas bajas, resultaron en valores de 6 m en el A° Falso Toro, y unos 10 m en el A° Zanja Brava.

En el primero, se pudo constatar la existencia de material cohesivo formando puntualmente el lecho, lo que da un indicio que la hoya tiene origen erosivo.

Del pozo más grande del Zanja Brava Pertovt (2004) extrajo arenas gruesas con concreciones ferruginosas de pequeño diámetro (1 a 3 mm, con formas de tubitos huecos de hasta 2 cm de largo), similares en aspecto y fragilidad a las más grandes observadas en la superficie de un banco de cauce.

En su informe el autor sugirió un origen local para las gravas de referencia, cuya fuente serían depósitos sedimentarios del subsuelo del delta, aflorantes en la hoya. Tal propuesta tiene varios avales, a saber: a) el carácter lábil de esas concreciones, que no les permitiría ser transportadas por distancias considerables como carga de fondo; b) la inexistencia de sedimentos de esos calibres en el A° Leyes, aguas arriba del puente de Ruta Prov. 1; y c) la presencia de depósitos arenosos antiguos yaciendo a ese nivel, que se corresponden con las arenas de elevada resistencia a la penetración, detectadas en el subsuelo de la unidad, a las que Ramonell (2021) dató en ca. 100.000 años de antigüedad.

Debe destacarse que todas las transformaciones a las que se ha hecho referencia en este apartado tienen su correlato en la jerarquización experimentada por el A° Leyes, fundamentalmente a partir de la creciente extraordinaria de 1982/83 que triplicó su sección transversal respecto de la que tenía a principios de los '70.

Las consecuencias más inmediatas del agrandamiento del Leyes, en una sección transversal en inmediaciones del puente de Ruta Prov. 1, no sólo fueron las de su

ensanchamiento sino también la de la profundización (o ex hondación) del propio lecho.

Incluida en ese contexto, la profundización del lecho del A° Zanja Brava se ha transmitido hacia aguas abajo, hasta su parte media donde se encuentra el escalón donde continúan menores tirantes, siguiendo la dirección del escurrimiento.

3.4 Geología

En este apartado se describen los materiales geológicos que forman las síntesis estratigráficas representativas de cada ambiente o unidad geomorfológica presentada previamente. Cada síntesis enseña diferentes Unidades Litoestratigráficas, con sus correspondientes espesores y caracterización granulométrica, a partir del trabajo de Ramonell (2005) fundamentalmente, y en consideración de los estudios de Marengo et al. (2002) y Ramonell (2021).

De esa manera, las descripciones que abajo se detallan se construyeron mediante la asociación de las columnas sedimentarias disponibles entre los antecedentes geológicos, más los resultados de sondeos llevados a cabo en el terreno por el primer autor referido.

Cabe adelantar que los materiales geológicos que constituyen la superficie y subsuelo más somero de cada unidad geomorfológica son diferentes entre sí y característicos de cada una de ellas, sea en sedimentología como en arreglo estratigráfico.

Donde hay más semejanzas sobre lo anterior es entre las áreas del delta del A° Leyes, la laguna Setúbal y los terrenos insulares que se extienden al sur de ella.

Las diferencias mayores se dan entre la sedimentología superficial de las unidades geomorfológicas del oeste y este de la laguna, y de ambas con las arriba nombradas.

No obstante ello en todos los casos las columnas litológicas se homogenizan a unos cuantos metros bajo la superficie de cada ambiente, por lo común desde unos 4 a 7 m de profundidad.

Terrenos de la Margen Lagunar Oeste

La columna litoestratigráfica general de estos terrenos, desde arriba (superficie) hacia abajo, es la siguiente:

- 0,5 m de limo gris, comúnmente de elevada consistencia (resistente o rígido), de estructura masiva, que puede faltar en partes locales del paisaje (extensión discontinua). Es portador de alfarería indígena. Se corresponde con la Fm. San Guillermo. Yace en discordancia sobre lo que sigue.
- 1 m a 4,5 m, al menos, de limo pardo claro a anaranjado, en partes arenoso (arena muy fina). Es friable, de estructura masiva, y posee carbonato de calcio pulverulento o formando concreciones de pequeño tamaño (centimétricas); las concreciones aparecen hacia la base de la unidad. Donde se cuenta con estudios geotécnicos, se lo ha clasificado en la categoría de suelos CL, CL-ML y ML. Este depósito se ha reconocido en toda la extensión de la Unidad Geomorfológica. Su techo está marcado por un paleohorizonte Bt con pedones bien estructurados en prismas, de color pardo oscuro a negro; tal horizonte puede faltar en partes locales del paisaje. De la unidad se extrajo megafauna fósil del Pleistoceno superior – Holoceno inferior. Se corresponde con el loess o ‘cuerpo principal’ de la Fm. Tezanos Pinto. En las partes deprimidas del paisaje mayor apoya en concordancia sobre la litología infrayacente; en las zonas más altas, no se ha visualizado su relación de contacto.
- 0,5 m a 3,5 m (sin ver base = s.v.b. en ambos casos) de arena fina a muy fina limosa, parda muy clara, con tinciones ocráceas en zonas. En el sitio con mayor espesor se le reconocieron varias características adicionales: concreciones de óxidos de manganeso y, en las partes superiores, calcáreas y de yeso, zonas de coloración negruzca (a modo de tinciones), y estructuras de licuefacción y/o fluidización.
- 35 m de arenas amarillas y grises claras, bien a moderadamente seleccionadas, con niveles de gravas o arenas gravosas en la mitad inferior (a partir de cota 0 m IGN, aproximadamente), además de restos vegetales. Las gravas son de cuarzo y de arcillitas. Estas últimas provendrían de la Fm. Paraná, sobre la que apoya en discordancia. Así, este cuerpo sedimentario equivale al comúnmente designado como “Fm. Puelches” o Fm. Ituzaingó.
- Fm. Paraná: arcillas verde azuladas con fósiles de invertebrados marinos.

Terrenos de la Margen Lagunar Este

Para el sector de la unidad ubicado al este de la laguna Setúbal, el ordenamiento litoestratigráfico es el siguiente, desde la superficie del terreno hacia abajo:

- 5 m, por lo común, de arenas finas limosas (SM, según la clasificación SUCS), de colores naranjas y pardos, sueltas a friables. Su base se ubica próxima a la cota de 10 m. En su techo la unidad está organizada en estratos de espesor decimétrico (y también en láminas muy gruesas), en las que se intercalan sedimentos pelíticos de tonos más oscuros. Geomorfológicamente, la unidad se corresponde con un campo de dunas longitudinales disipado.
- 1 a 5 m de arcillas y limos de baja plasticidad (suelos tipo CL y ML), de color gris, verde y/o rojizo; posee concreciones calcáreas. El techo del depósito se ubica entre cotas 12,5 m y 8 m, y su base, entre los 9 m y cerca de los 5 m IGN. Esta distribución de posiciones podría indicar que la unidad es discontinua lateralmente (¿cuerpos aislados de geometría lenticular?).
- hasta 14 m s.v.b. de arenas amarillas y pardo-claras, bien seleccionadas (en el techo al menos, suelos tipo SP y SP-SM). Un par de descripciones más profundas coinciden en señalar que el tamaño máximo de grano aumenta debajo de cotas 4 - 2 m IGN.

Terrenos del Extremo Sur de la Laguna

El análisis que sigue tiene como base casi exclusivamente los datos contenidos en sondeos ejecutados en el lecho del río Santa Fe, además de otros realizados en la isla Sirgadero.

La columna litoestratigráfica es, desde la superficie hacia abajo:

- Hasta 14 m de arcillas y limos blandos, de plasticidad variada (baja y alta, en forma dominante y secundaria, respectivamente), de colores gris y pardo con tonos verdosos, y con intercalaciones de arenas tipo SM de baja densidad (o compactación), grises o amarillas. Ambientalmente, esos tamaños de grano corresponden a sedimentación en ambientes lagunares y en canales fluviales menores, como los que caracterizan a la unidad geomorfológica. La unidad apoya sobre la infrayacente en aparente discordancia erosiva, de acuerdo a la diferencia de niveles que se registra en tal contacto.

- Hasta unos 20 m de arenas amarillas a grises, con niveles de arenas gravosas, y ocasionales lentes de arcillas y limos de poco espesor (1 o 2 m). La unidad yace entre cotas de 0 m (± 3 o 4 m) y -16 m (base identificada en un solo sitio). Es portadora de restos fósiles de Edad Lujanense. Donde se alcanzó su base, apoya en discordancia sobre la Fm. Paraná.
- Fm. Paraná: 40 m s.v.b. de arcillas verde oscuras y arenas de tonalidades verdosas con fósiles de invertebrados marinos.

Terrenos de la Laguna Setúbal.

La sucesión sedimentaria atravesada en las perforaciones de la laguna Setúbal tiene gran similitud con la de los pozos vecinos, y se reconoce una columna litoestratigráfica similar a la propuesta para la unidad geomorfológica que se encuentra al sur, con las siguientes particularidades, desde el fondo lacustre hacia abajo:

- Fangos blandos de color pardo, con espesores variables de hasta 4 m.
- Entre 3 y 5 m de sedimentos arcillo-limosos, de colores gris y gris verdoso, que yacen sobre 1 o 2 m de arenas finas, gris-amarillentas. Desde un enfoque geotécnico, los tipos de suelo y capacidad portante de esos materiales son idénticos a la unidad geológica superficial del ambiente del sur, esto es, suelos CL, ML y CH por un lado, y SM o SM-SP, por otro, con $N \leq 15$. La base de este conjunto se ubica a cota 3 - 4 m IGN.
- Hasta 18 m s.v.b. de arenas gris amarillentas, "con algo de gravilla" en los dos tercios inferiores. La selección del sedimento es buena a moderada, y ha sido evaluado en el tipo SP, con $N > 30$ hasta cota 0 m, y $N \geq 50$ desde ese nivel hacia abajo. A los -5 m IGN se rescató, por dragado, una placa del caparazón de un ejemplar de *Glyptodon* sp. (parte de la fauna pleistocénica lujanense).

Terrenos del Complejo deltaico del A° Leyes.

Desde la superficie del terreno hacia abajo:

- 0,5 m a alrededor de 3 m de limos pardos y arenas amarillas, con tinciones ocráceas y tonos naranja, respectivamente. Estos sedimentos son sueltos o friables; están organizados en capas de espesor decimétrico, interestratificados, o en estratos finos limo-arcillosos, libres de arena. Se corresponden con depósitos de albardón y derrames por inundaciones, y también con los sedimentos lagunares, actuales, con dispar contenido de materia orgánica (descompuesta o como detritus vegetales).
- 2 m, aproximadamente, de limos arenosos grises, gris verdosos y/o verdes, principalmente, con concreciones esferoidales negras de compuestos de manganeso y hierro, de diámetros milimétricos y en baja cantidad; sus características de color y diagénesis indican hidromorfismo avanzado, en ambiente reductor. El sedimento no ofrece resistencia a la penetración. Bajo estos materiales, en una oportunidad, se observaron limos pardos con concreciones calcáreas, yaciendo sobre arenas finas de coloración similar, indicativos de condiciones de formación diferentes (ambiente oxidante).
- 20 m s.v.b. de arenas grises y amarillas, muy resistentes a la penetración (densas y muy densas). Su techo se encuentra a cotas aproximadas de 10 a 5 m IGN, por lo que el contacto con la unidad suprayacente sería de tipo discordante.

3.5. Breve Prognosis de Evolución de la Laguna Setúbal

Para este ambiente, y específicamente para el área de la depresión lagunar, el pronóstico más simple a largo plazo (e.g., cercano a la centuria) sería su transformación en un paisaje similar al del delta del A° Leyes, de acuerdo a su expansión mostrada en Figura 2.

Según lo que se desprende del avance deltaico mostrado en esa figura, y de las mediciones compiladas por Ramonell (2005, 2021), en 100 años o menos el actual espejo lacustre de la Setúbal puede transformarse en un mosaico de pantanos, bañados y lagunas aisladas semejantes a los de la isla Sirgadero actual, o a las del propio delta en su parte central.

Ello, de mantenerse una hidrología como la registrada desde los años '80 a esta parte.

Con esa consideración, ese escenario se completa con un brazo de río que evacuaría los caudales ingresantes a la laguna, de mayor jerarquía que el A° Leyes actual (tipo río Colastiné, como para dar una idea cualitativa y cuantitativa simple e inmediata).

Este río que estaría bien configurado como cauce único en el extremo sur de la laguna, es el que se referirá más abajo, y en lo que sigue, como "río Setúbal".

En el extremo norte, ese futuro curso resultará de la unión de dos brazos donde confluirán los mayores canales deltaicos que alcanzan la laguna: el "río Setúbal Oeste", formado por la convergencia de los arroyos Correntoso, nuevo Ramblón y Zanja Brava Oeste, principalmente, y el "río Setúbal Este", alimentado por los caudales de los arroyos Zanja Brava Este y Potrero.

De acuerdo a las distribuciones de caudales instantáneos aforados en la última década, el mayor caudal que ingresa a la laguna lo hace por el oeste, a partir de la suma de aportes de los arroyos Correntoso y Zanja Brava Oeste. Esto, por sobre los caudales del A° Zanja Brava Este y la suma de sus cortos distributarios de su frente deltaico.

Sin embargo, lo anterior no significa que vaya a mantenerse al formarse los brazos "Setúbal Oeste" y "Setúbal Este" en el futuro, cuya jerarquía en caudales es materia pendiente para un estudio de mayor detalle, fuera de los de esta etapa.

La confluencia de ambos cauces potenciales para formar el río Setúbal principal podría darse en una amplia zona que va desde la latitud de Monte Zapatero hasta inmediaciones de calle French, en la ciudad de Santa Fe.

En un horizonte temporal que actualmente es ignorado (y de formarse efectivamente, lo cual dependerá de la evolución hidrológica a futuro del sistema fluvial, como fue mencionado antes) el río Setúbal podría concebirse como uno de entre 200 y 300 m de ancho, i.e., similar al del A° Leyes frente a la estancia Los Cuervos (aguas arriba de la bifurcación del arroyo Colorado, al este de la Ruta Prov. 1).

Las profundidades locales de ese curso estarían en el orden de los 10 a 15 m, con posibilidad de ser puntualmente mayores por condiciones particulares de erosión del sustrato y del flujo en curvas.

En tal aspecto, el patrón morfológico del río Setúbal sería el de una sucesión de segmentos rectos con curvas de meandro intercaladas, lo que se presume a partir de las semejanzas de las variables de control fluvial de este ambiente, con las de los cauces ya formados en esta parte del sistema fluvial (i.e., cauces actuales del complejo deltaico del A° Leyes y río Coronda), evaluada por Ramonell (2021).

Para finalizar esta prognosis preliminar, vale consignar que los mecanismos de profundización en los cauces que podrían formarse a futuro son conocidos sólo parcialmente en la actualidad.

En ese sentido, debe reiterarse que en el futuro inmediato los distintos cauces que existen en el delta entrarán en una etapa de formación de redes *tributarias* de drenaje (a diferencia de la organización de *drenaje distributivo* que mantuvo hasta ahora), condicionada por el estrechamiento del ambiente lagunar desde Chacho Chico hacia aguas abajo.

Ello podría originar los conocidos pozos de confluencia, cuya interrelación con las partes profundas ya existentes en la terminación sur del ámbito lagunar y con los cauces actuales del delta amerita ser analizada con detalle en una futura etapa de este proyecto.

3.6. Primer Análisis de Alternativas de Cruce del Gasoducto; planteo amplio

El desarrollo que se expone en este ítem fue anterior a que el Comitente decidiera el sitio de cruce definitivo que, del planteo amplio de alternativas que se trata a continuación, corresponde a una traza similar a la del original Cruce Centro (origen y recorrido de la traza del Gasoducto a la latitud de la villa ribereña de Chaco Chico).

Debido a lo recién mencionado, un análisis ulterior fue replanteado con una base similar a la que se presenta, y cuyos resultados se exponen en el ítem “Reconsideración de análisis de alternativas para el Cruce Centro”, que es el último de este informe centrado en la geomorfología, morfodinámica y geología

de superficie y subsuelo somero del área, que son los únicos ejes disciplinares considerados para las evaluaciones de esta sección.

En lo que sigue se analizan cada uno de los cruces propuestos al principio del estudio en sus diferentes alternativas constructivas, puntuándose principalmente aspectos negativos, o de cuidado, observados en cada uno de ellos.

Cruce Sur (origen y recorrido a la latitud del paraje Monte Zapatero).

Alternativa A1 – PHD con isla artificial

- Implica la construcción de una isla similar a las del frente deltaico pero no delineada aún, con su implicancia negativa desde un enfoque ambiental.
- Involucra un mayor volumen de isla a formar respecto de la que se construiría con la alternativa A1 Cruce Centro.
- Debe guardarse la isla a construir por fenómenos de erosión por oleaje, además del escurrimiento fluvial de los cauces laterales que se conformen.
- Existe incertidumbre sobre profundidad de materiales geológicos adecuados para la PHD (i.e., arcillas de la Fm. Paraná), a partir de las perforaciones de geotecnia profundas que no se han concretado a la fecha de este informe final.
- La traza envuelve problemas devenidos de la proximidad de la confluencia aguas abajo del cruce, que implicarían potenciales deslizamientos en taludes de la isla a construir (a raíz de la profundización por una eventual hoyo de confluencia), y la jerarquización por exhondación y ensanchamiento de los dos cauces a formarse (i.e., los ríos “Setúbal Este” y “Setúbal Oeste”) más la afectación erosiva de sus márgenes, donde el gasoducto esté próximo a la superficie (incluyendo la de la isla a construir).
- Debe observarse la posible meandrificación a futuro de uno de los dos cauces que se formen, con las implicancias señaladas en el término anterior.

Alternativa A2 – PHD con terraplenes de aproximación

- Incluye incertidumbre sobre profundidad de materiales geológicos adecuados para la PHD.
- Debe guardarse de erosión potencial del terraplén por escurrimiento durante crecidas y por oleaje.

Alternativa B1 – Dragado de zanja con cauce único

- Se acelera artificialmente la formación de un cauce único en el ámbito lagunar. Su desarrollo morfológico, así como el de las enfilaciones del flujo hacia aguas abajo en crecidas podrían ser nocivas para las defensas de margen ya existentes en la ciudad de Santa Fe.
- Si el cauce único estuviera sesgado, en su desarrollo, hacia el lado este (por el mayor caudal que sumarían los arroyos Zanja Brava Este y Potrero, de cerrarse naturalmente el A° Zanja Brava Oeste) se propiciaría la formación de un área de mayor sedimentación de finos en la mitad oeste de la laguna, respecto de las tasas históricas de depositación de tales materiales que ingresan estacionalmente a la laguna.

Alternativa B2 – Dragado de zanja con dos cauces

- Implica problemas potenciales devenidos de la proximidad de la confluencia aguas abajo del cruce: deslizamientos en zonas de zanjeo somero, jerarquización por profundización y ensanchamiento de uno de los dos cauces que se formarían y afectación erosiva de sus márgenes donde el gasoducto esté próximo a la superficie.
- Los volúmenes de dragado en anchos de cauce serán mayores que en B1, ya que uno de los dos cauces puede transformarse en un cauce más profundo por evolución hacia aguas arriba de la hoya de confluencia prevista.
- La meandrificación a futuro de uno de los dos cauces que se formen podría darse, aunque probablemente quedaría fuera del tiempo de vida útil de la obra.

Alternativa C – Zanjeo somero del lecho lagunar (más manta protectora)

- Se debería prever la ejecución de monitoreos periódicos cada un período dado de años, a fin de evaluar la ubicación de las zonas con mayores profundidades que se formen; ello, con el objeto de un eventual diseño de extensión de mantas protectoras acorde a la profundización del fondo próxima a una o ambas márgenes del cruce.
- Potencial generación de pozos de confluencia locales aguas arriba de la traza, por convergencia del drenaje provocado por el estrechamiento de la laguna hacia la latitud del cruce.

Cruce Centro (origen y recorrido a la latitud de la villa ribereña de Chaco Chico)

Alternativa A1 – PHD con isla artificial

- El alteo de área de bancos y transformación en isla de una cota definida por necesidades del Proyecto, es mayor a las naturales que ocurren en el frente deltaico a corto y mediano plazo (e.g., a 10 y 30 años, respectivamente).
- El volumen de la isla a construir es menor respecto de la alternativa A1 Cruce Sur.
- Potencial erosión de isla a construir por escurrimiento fluvial de cauces laterales que se conformen (especialmente el del “río Setúbal Este” y la configuración de la curva hacia el oeste que presentará en el sitio de cruce), más fenómenos de oleaje (que son subordinados respecto de los de A1 Cruce Sur).
- Incertidumbre sobre profundidad de materiales geológicos adecuados para la PHD.
- Problemas de erosión local en cauce a conformarse por el este (“río Setúbal Este”) por reunión o confluencias de canales distributarios del actual A° Zanja Brava Este.

Esta alternativa, comparada con la misma del Cruce Sur, resulta más beneficiosa y, si fuera factible un PHD de gran longitud, la A1 Cruce Sur es más ventajosa que la A1 Cruce Centro.

Alternativa A2 – PHD con terraplenes de aproximación

No corresponde al Cruce Centro.

Alternativa B1 – Dragado de zanja con cauce único

No corresponde al Cruce Centro.

Alternativa B2 – Dragado de zanja con dos cauces

- Problemas potenciales devenidos de la proximidad de la confluencia aguas abajo del cruce: deslizamientos en zonas de zanjeo somero, más jerarquización por profundización y ensanchamiento de uno de los dos cauces y afectación erosiva de sus márgenes dónde el gasoducto está próximo a la superficie.
- La meandrificación a futuro de uno de los dos cauces que se formen (“río Setúbal Este”) quedaría dentro del tiempo de vida útil de la obra, al igual que el desarrollo de la hoya de meandro sobre la margen cóncava de dicho cauce.

Comparativamente es preferible la alternativa B2 Cruce Sur a ésta, debido a que la divagación lateral por meandrificación es menos probable, y las profundidades máximas a alcanzar serían similares en ambos casos.

Sin embargo, la alternativa B2 Cruce Sur no es superior a las alternativas A1 Cruce Sur y A1 Cruce Centro, en ese orden (y siempre y cuando la geología del subsuelo permitiera la concreción de la PHD en ambos casos).

Alternativa C – Zanjeo somero del lecho lagunar (más manta protectora)

Equivale a la alternativa B2 Cruce Centro arriba analizada.

La alternativa C Cruce Sur está al nivel de las alternativas A1 Cruce Sur y A1 Cruce Centro, en ese orden, si se pudieran pronosticar profundidades y anchos de cauce confiables en la Etapa 2 del Proyecto.

Cruce Norte (origen desde la villa ribereña de Chaco Chico y recorrido hacia el noreste a través de islas del delta)

Alternativa A1 – PHD con isla artificial

- El volumen para el alteo de área de islas de cota definida por las necesidades del Proyecto es mayor a las de la A1 Cruce Centro, dada la longitud del cruce por zona de islas.
- Al menos 2/3 de la longitud del cruce por isla se da en terrenos blandos (ver Figura 5), y hasta con suelos orgánicos (tipo OL y OH).
- Potencial erosión de un sector de la parte central de la isla por migración hacia el sur de una curva que describirá el A° Zanja Brava Oeste.
- Incertidumbre sobre profundidad de materiales geológicos adecuados para la PHD.

Esta alternativa, comparada con las mismas del Cruce Sur y Cruce Centro, resulta menos conveniente por las características de cotas, suelos y longitud del cruce por isla; el único beneficio que se visualiza es la mayor estabilidad morfológica (y menores dimensiones, de ancho básicamente) que posee el arroyo Zanja Brava Este dónde se lo cruzaría con PHD (siempre y cuando se contara con materiales aptos para ello).

Alternativa A2 – PHD con terraplenes de aproximación

No corresponde al Cruce Norte.

Alternativa B1 – Dragado de zanja con cauce único

No corresponde al Cruce Norte.

Alternativa B2 – Dragado de zanja con dos cauces

- Al menos 2/3 de la longitud del cruce por isla se da en terrenos blandos y hasta con suelos orgánicos (tipo OL y OH), de acuerdo a lo presentado en Figura 5.
- Potencial erosión de una parte central de la isla por migración de curva del A° Zanja Brava Oeste, de establecerse y permanecer en el tiempo.
- Problemas devenidos de la jerarquización por profundización y ensanchamiento del cauce que sumará los aportes de los arroyos Correntoso y Zanja Brava Oeste (“río Setúbal Oeste”).

Comparativamente, es preferible respecto de las alternativas B2 Cruce Sur y B2 Cruce Centro sólo por la estabilidad morfológica del A° Zanja Brava Este, aunque el zanjeo de la zona de islas es muy extenso, inundable y de suelos blandos, lo que desaconsejaría tal alternativa.

Alternativa C – Zanjeo somero del lecho lagunar (más manta protectora)

No corresponde al Cruce Norte.

Evaluación Comparativa de las Alternativas Preliminares

De acuerdo a la evaluación precedente, se listan más abajo las alternativas de mayor a menor factibilidad en cuanto a riesgos para el Gasoducto.

Para ello se ha considerado que en los cruces Sur y Centro se darían condiciones para que en el futuro exista un cauce con profundidades puntuales del orden de los 15 m, lo que plantea una limitación constructiva para las alternativas de zanjeo dado el largo del brazo de la draga, aunque el tiempo en que ocurrirían tales profundidades podría ser mayor en la alternativa Centro que en la Sur. Esto, dada la proximidad a la potencial hoyo de confluencia que tiene el último sector.

Si bien el Cruce Centro está lejos de la hoya potencial indicada, el estado del conocimiento actual no permite descartar la formación de pozos locales por la convergencia de cauces deltaicos que ha empezado a ocurrir en ambos bordes de la laguna entre los cruces Norte y Centro.

Por esas razones, las alternativas con PHD se consideran superiores a las restantes, aunque esto descansa en la presencia de un sustrato geológico apto para la ejecución de la PHD.

Por lo anterior, de contarse con un sustrato adecuado para la PHD, se listan las alternativas expuestas, en orden de mayor a menor conveniencia:

1. A1 Cruce Sur o C Cruce Sur
2. A1 Cruce Centro o C Cruce Sur
3. B2 Cruce Sur
4. B2 Cruce centro
5. B1 Cruce Sur
6. A1 Cruce Norte
7. B2 Cruce Norte

En igual orden de conveniencia, y de no contarse con un sustrato adecuado para la PHD, tal listado es:

1. C Cruce Sur
2. C Cruce Norte
3. B2 Cruce Sur
4. B2 Cruce Centro
5. B1 Cruce Sur
6. B2 Cruce Norte

3.7. Reconsideración de Análisis de Alternativas para el Cruce Centro (Traza definida por el Comitente)

En base a la definición por parte del Comitente sobre el sitio de cruce de la laguna, que coincide aproximadamente con la alternativa de Cruce Centro con algunas variantes mínimas de recorrido, se reconsideraron las alternativas propuestas para este único sector de cruce.

A partir de los mismos elementos de juicio que se consideraron en el ítem precedente relativo al Cruce Centro, a continuación se listan las alternativas de mayor a menor factibilidad para la supervivencia del gasoducto, en términos de evolución geomorfológica y morfodinámica:

1. A1 – PHD con isla artificial.
2. B2 – Dragado de zanja con dos cauces.
3. C – Zanjeo somero del lecho lagunar (más manta protectora).
4. A2 – PHD con terraplenes de aproximación.

Cabe consignar, respecto del orden expuesto, que las alternativas (3) y (4) resultan bien inferiores a las (1) y (2), en consideración de aspectos constructivos o por impactos ambientales. En este caso especialmente la (4), puesto que el desarrollo de terraplenes, sobreelevados a modo de estribos, es completamente ajeno a las características geomorfológicas y topográficas naturales del sitio. Por su parte la (3) implicaría un escalón de fondo fijo en las zonas donde se formarían cauces más profundos, y este tipo de control artificial podría condicionar la evolución natural del área deltaica, agregando incertidumbre sobre la supervivencia de la obra de cruce.

CAPÍTULO 4. PERFIL GEOTÉCNICO DE SUELOS

4.1 Introducción

Se elaboró un perfil geotécnico tomando como referencia el **Trabajo Final de Licenciatura en Ciencias Geológicas**, presentado por el geólogo Carlos Ramonell, cuyo tema es la **Geología y Geomorfología de la Laguna Setúbal y su entorno**.

Perforaciones empleadas

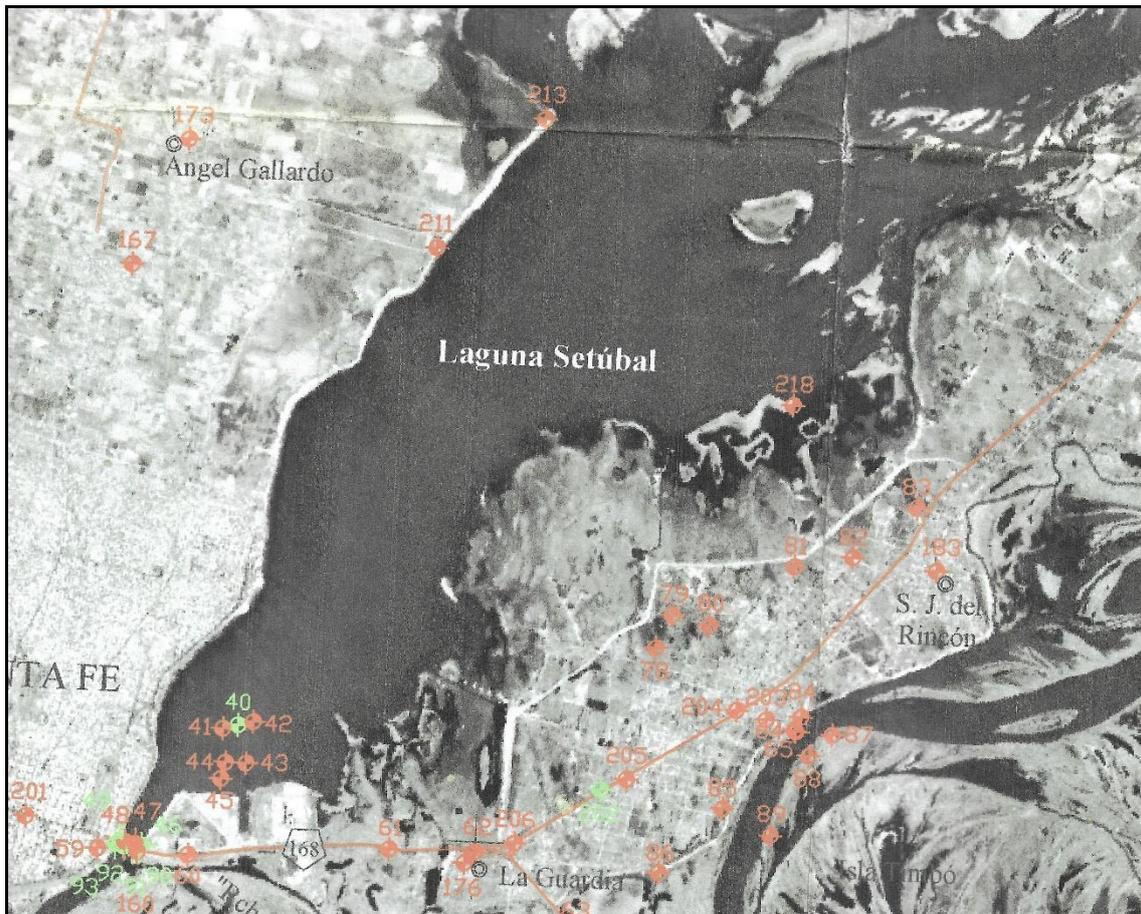
Para la construcción del perfil se tuvo en cuenta la ubicación de las coordenadas de referencia de los puntos de cruce del Gasoducto Metropolitano en las márgenes de la Laguna Setúbal provistas por ENERFE.



En función de los puntos de cruce especificados para el gasoducto, se trazó una línea imaginaria en la cual se encuentran próximos los siguientes sondeos, empleados para la descripción del perfil:

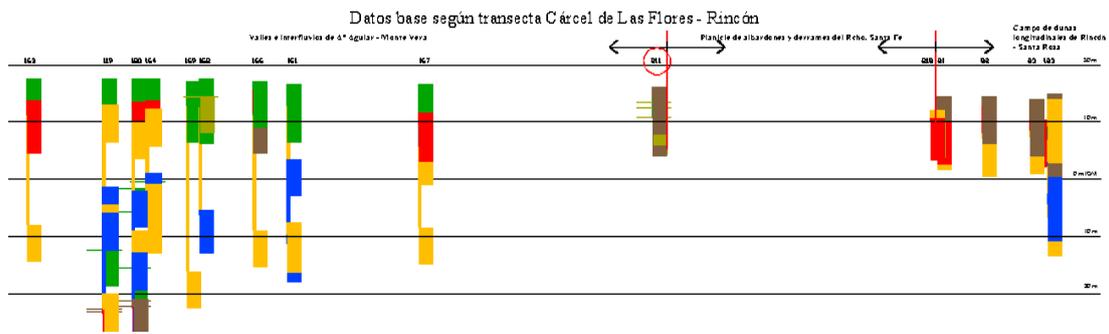
Ubicación	Perforaciones
Margen oeste	211
Cauce	41,42,43,44,45
Margen este	78,79,80,81,204,64,65

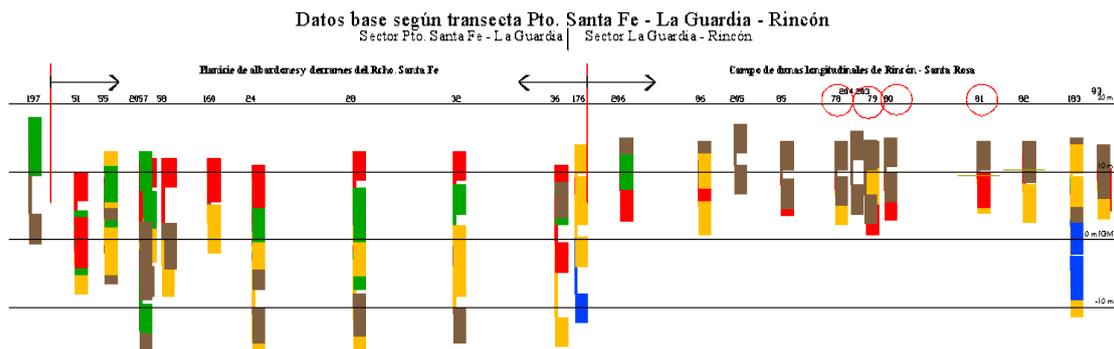
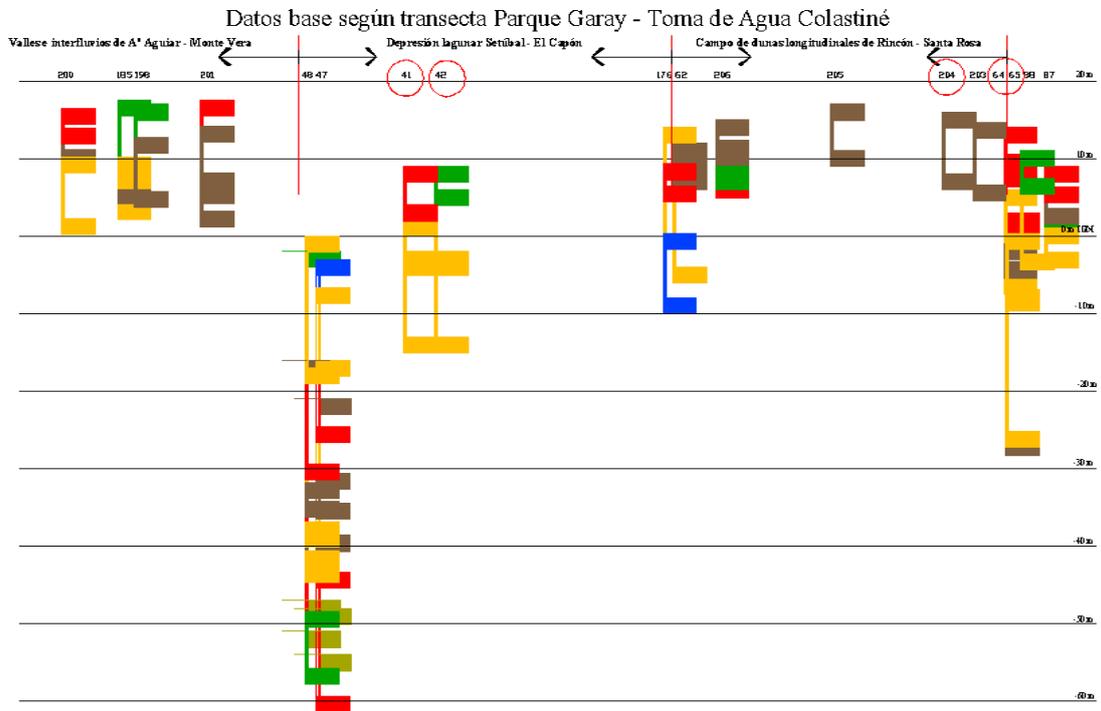
Cuya ubicación se aprecia en el siguiente croquis.

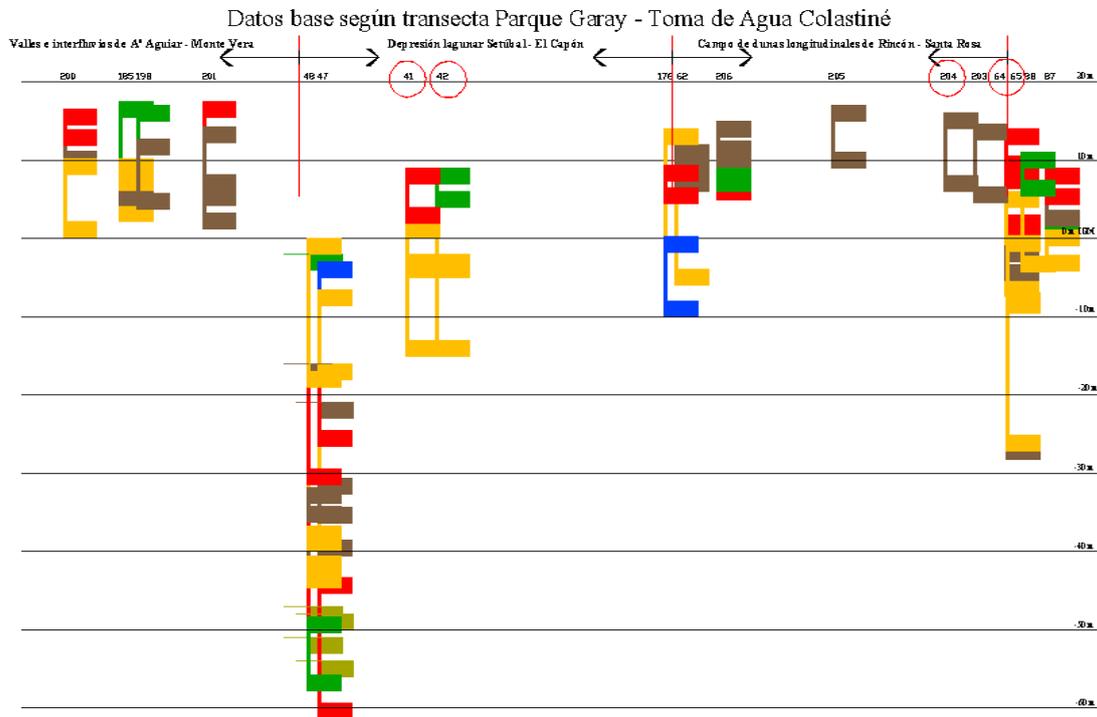


Si bien las perforaciones que se ubican en el cauce de la Laguna no son atravesadas por la línea imaginaria determinada por las coordenadas de referencia de los puntos de cruce del gasoducto, podemos considerar para esta primera etapa la información disponible en los antecedentes, hasta efectuar el estudio de suelos correspondiente.

Las perforaciones empleadas fueron utilizadas en las siguientes transectas, determinadas en el Trabajo final de referencia, que se han identificado con un círculo rojo:







Propiedades empleadas

Para la descripción del perfil se emplearon datos de Ensayos de Penetración Normalizada (SPT) y parámetros de físicos de identificación, en donde la clasificación de los suelos empleada es la del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).

4.2. Descripción del perfil geotécnico del suelo

De acuerdo a la información analizada, se distinguen claramente tres perfiles de suelo bien definidos, en relación a su ubicación general, con lo cual se analizarán los perfiles geotécnicos por separado.

Profundidad (m)	211 - CB = 16 m			41 - CB = 9,80 m			42 - CB = 9,66 m			44 - CB = 9,96 m			45 - CB = 11,16 m			43 - CB = 9,99 m			79 - CB = 14,5 m			78 - CB = 14,5 m			80 - CB = 15 m			81 - CB = 14,5 m			204 - CB = 15,8 m			84 - CB = 14,0 m			85 - CB = 13,91 m		
	Nº	SUCS	P	Nº	SUCS	P	Nº	SUCS	P	Nº	SUCS	P	Nº	SUCS	P	Nº	SUCS	P	Nº	SUCS	P	Nº	SUCS	P	Nº	SUCS	P	Nº	SUCS	P	Nº	SUCS	P						
0,50 - 1,00	1	SM																																					
1,50 - 2,00	2	SM																																					
2,50 - 3,00	3	ML																																					
3,50 - 4,00	4	ML																																					
4,50 - 5,00	5	ML																																					
5,50 - 6,00	6	SM																																					
6,50 - 7,00	7																																						
7,50 - 8,00	8																																						
8,50 - 9,00	9																																						
9,50 - 10,00	10																																						
10,50 - 11,00	11																																						
11,50 - 12,00	12																																						
12,50 - 13,00	13																																						
13,50 - 14,00	14																																						
14,50 - 15,00	15																																						
15,50 - 16,00	16																																						
16,50 - 17,00	17																																						
17,50 - 18,00	18																																						
18,50 - 19,00	19																																						
19,50 - 20,00	20																																						
20,50 - 21,00	21																																						
21,50 - 22,00	22																																						
22,50 - 23,00	23																																						
23,50 - 24,00	24																																						
24,50 - 25,00	25																																						
25,50 - 26,00	26																																						
26,50 - 27,00	27																																						
27,50 - 28,00	28																																						
28,50 - 29,00	29																																						
29,50 - 30,00	30																																						
30,50 - 31,00	31																																						
31,50 - 32,00	32																																						
32,50 - 33,00	33																																						
33,50 - 34,00	34																																						
34,50 - 35,00	35																																						
35,50 - 36,00	36																																						
36,50 - 37,00	37																																						
37,50 - 38,00	38																																						
F.P.																																							

Margen Oeste - Sondeo 211

- En el estrato superior, de 1,80[m], cota 14,2[m], se detectaron arenas finas limosas SM, de color castaño claro. La plasticidad es nula (NP) y la densificación es muy suelta (N entre 1 y 3 golpes).
- Entre el límite anterior y 5,00[m], cota 11[m], se hallaron limos de baja plasticidad ML, de color castaño claro y castaño rojizo. La plasticidad es nula (NP) y la consistencia es blanda (N entre 1 y 3 golpes).
- Por debajo y hasta el final de los sondeos, se encontraron arenas limosas, de color castaño claro. La plasticidad es nula (NP) y la densificación es media (N entre 4 y 10 golpes).

Cauce de la Laguna - Sondeos 41, 42, 43, 44, 45

- En el estrato superior, hasta cota 7,00[m], se detectaron arcillas de baja plasticidad CL, arcillas limosas CL-ML, arcillas de alta plasticidad CH y limos de baja plasticidad ML, de color castaño grisáceo, gris oscuro, restos orgánicos. La plasticidad es alta a nula (IP entre 30% y NP). La consistencia es algo errática, blanda a muy compacta (N entre 1 y 16 golpes).
- Entre el límite anterior y cota 3,00[m], se ubica un estrato de transición, con arcillas de baja plasticidad, limos de baja plasticidad, arenas limosas SM, arenas pobremente graduadas limosas SP-SM y arenas pobremente graduadas SP, de color gris verdoso y gris amarillento, con algo de gravas. La plasticidad es media a nula (IP entre 26% y NP). La consistencia es blanda a muy compacta (N entre 1 y 15 golpes) para arcillas y limos, y la densificación es media a muy densa (N entre 15 y +50 golpes) para las arenas.
- Por debajo y hasta el final de los sondeos, se encontraron arenas limosas, arenas pobremente graduadas limosas y arenas pobremente graduadas, de color gris amarillento y amarillento claro, con algo de gravas. La densificación es media a muy densa (N entre 27 y > 50 golpes para h < 30 cm).

Margen Este - Sondeos 78, 79, 80, 81, 204, 64, 65

- En el estrato superior, hasta cota 9,00[m], se detectaron arenas limosas SM, arenas arcillosas SC, arenas limo-arcillosas SM-SC, arenas pobremente graduadas limosas SP-SM, arcillas de baja plasticidad CL y limos de baja plasticidad ML, de color castaño oscuro, castaño, castaño verdoso, verde grisáceo, rojizo y gris verdoso. La plasticidad es baja a nula (IP entre 17% y NP). La consistencia es blanda a media (N entre 2 y 7

golpes) para arcillas y limos, y la densificación es suelta a media (N entre 2 y 11 golpes) para las arenas.

- Entre el límite anterior y cota 2,00[m], se ubica el estrato de transición, con intercalaciones de arcillas de baja plasticidad, arcillas de alta plasticidad CH, arenas arcillosas SC, arenas limosas y arenas pobremente graduadas limosas, de color castaño claro, gris verdoso, rojizo claro y amarillento. La plasticidad es media a nula. La consistencia es media a muy compacta (N entre 5 y 21 golpes) para las arcillas, y la densificación es algo errática, suelta a densa (N entre 2 y 46 golpes).
- Por debajo y hasta el final de los sondeos, se encontraron arenas limosas, arenas pobremente graduadas limosas y arenas pobremente graduadas SP, de color amarillento y verde grisáceo. La densificación es media a muy densa (N entre 11 y > 50 golpes para $h < 30$ cm).

Conclusión

La información analizada es a nivel preliminar, se elaboró con recopilación y estudio de antecedentes, y será ratificada o rectificada una vez completado el estudio de suelos de la siguiente etapa.

Entonces para la elaboración del proyecto ejecutivo, se recomienda efectuar los estudios geotécnicos correspondientes, para definir con mayor precisión el posicionamiento y calidad de los estratos, así como también (en caso de encontrarse) la ubicación de las arcillas marinas, por debajo de las arenas del último estrato descrito en el presente informe geotécnico preliminar.

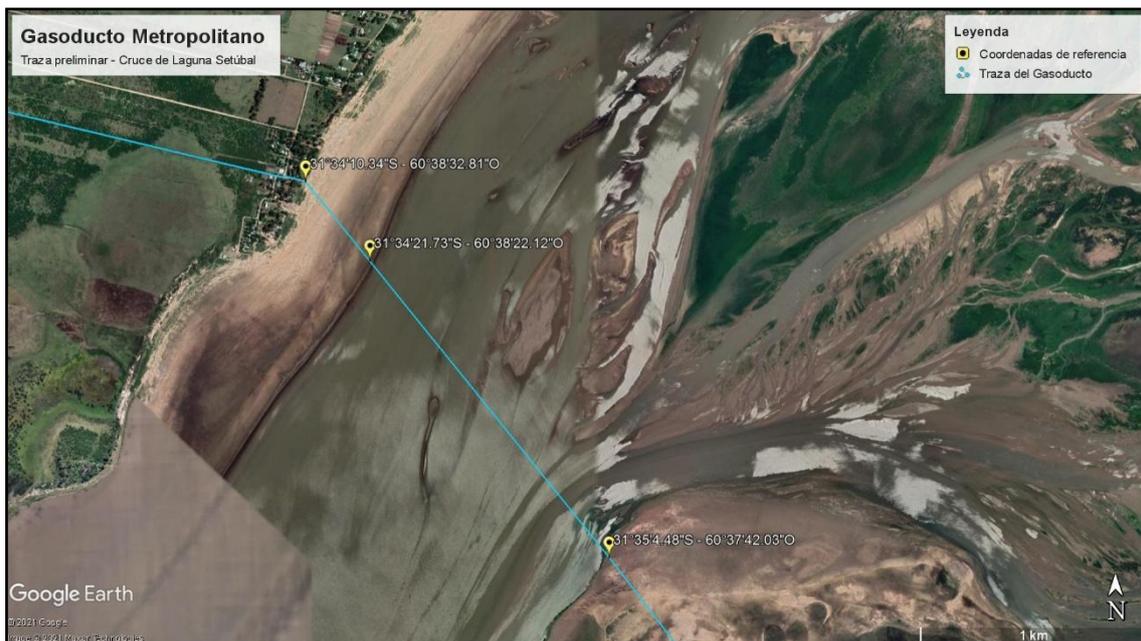
4.3. Análisis de alternativas finales contempladas para el Informe Final

Ubicación geográfica de la traza

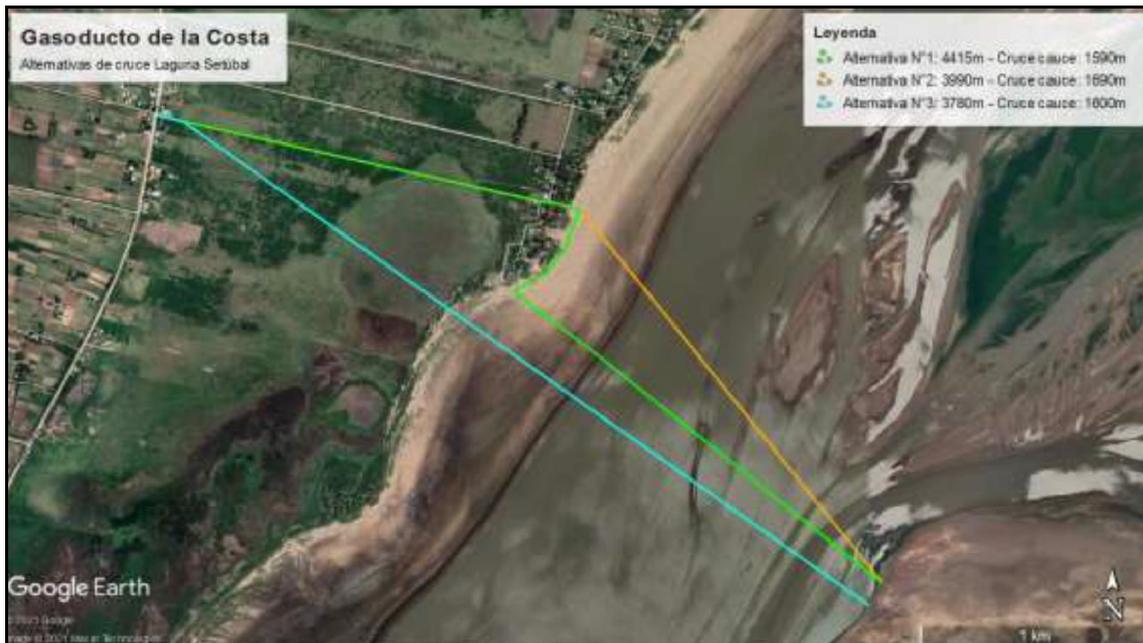
A partir de la ubicación de las coordenadas de referencia de los nuevos puntos de cruce del Gasoducto Metropolitano en las márgenes de la Laguna Setúbal provistas por ENERFE.



La definición de la ubicación de la traza preliminar del gasoducto cruzando la Laguna Setúbal.



Se ha definido una traza geográfica (línea verde, variante 1) por parte del Comitente, de las cuales surgen dos alternativas por parte de la UNL - FICH que apuntan a una disminución del recorrido del caño de distribución de gas.



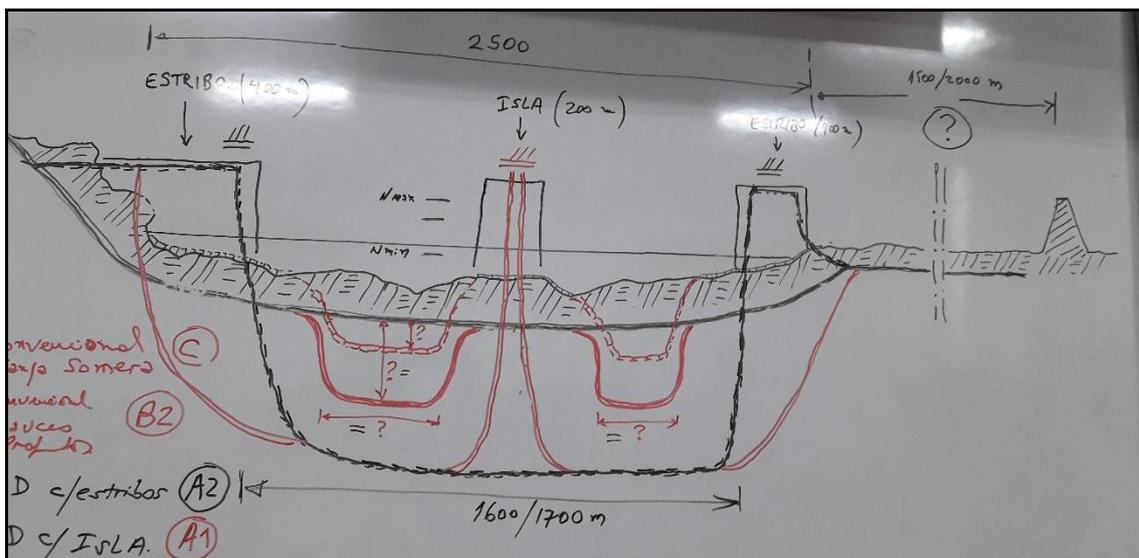
En un análisis más detallado se concluyó que no resulta conveniente el empleo de la variante 3 (línea celeste), dado que atraviesa la ubicación de predios particulares y zonas de biodiversidad, con los inconvenientes que esto ocasionaría, por la necesidad de permisos para realizar las excavaciones y la afectación de la flora y fauna del sector durante los trabajos inherentes a la ejecución del gasoducto.

Resulta de mayor viabilidad la variante 2 (línea naranja) porque plantea casi la misma traza que la propuesta por el Comitente, sin la necesidad de bordear la costa, de forma más directa, con lo cual a los fines prácticos, y desde el punto de vista de las excavaciones necesarias para enterrar el caño de distribución de gas, resultaría en una ventaja no interferir con el hábitat de la costa. Por otra parte, el incremento de la longitud del caño de distribución sería menor,

comparativamente con, por ejemplo, la afectación de sitios arqueológicos de la zona, con los consecuentes problemas jurídicos y principalmente ambientales.

Metodologías constructivas

Para el presente informe se analizan cuatro metodologías constructivas, resultantes de una pre-selección de la totalidad de alternativas planteadas por UNL - FICH en el informe de avance, a partir de un análisis de ventajas y desventajas de cada una. Posteriormente, a nivel anteproyecto en la Etapa 2, se tendrá una definición de las que resulten más adecuadas, en función de los resultados del estudio geotécnico.



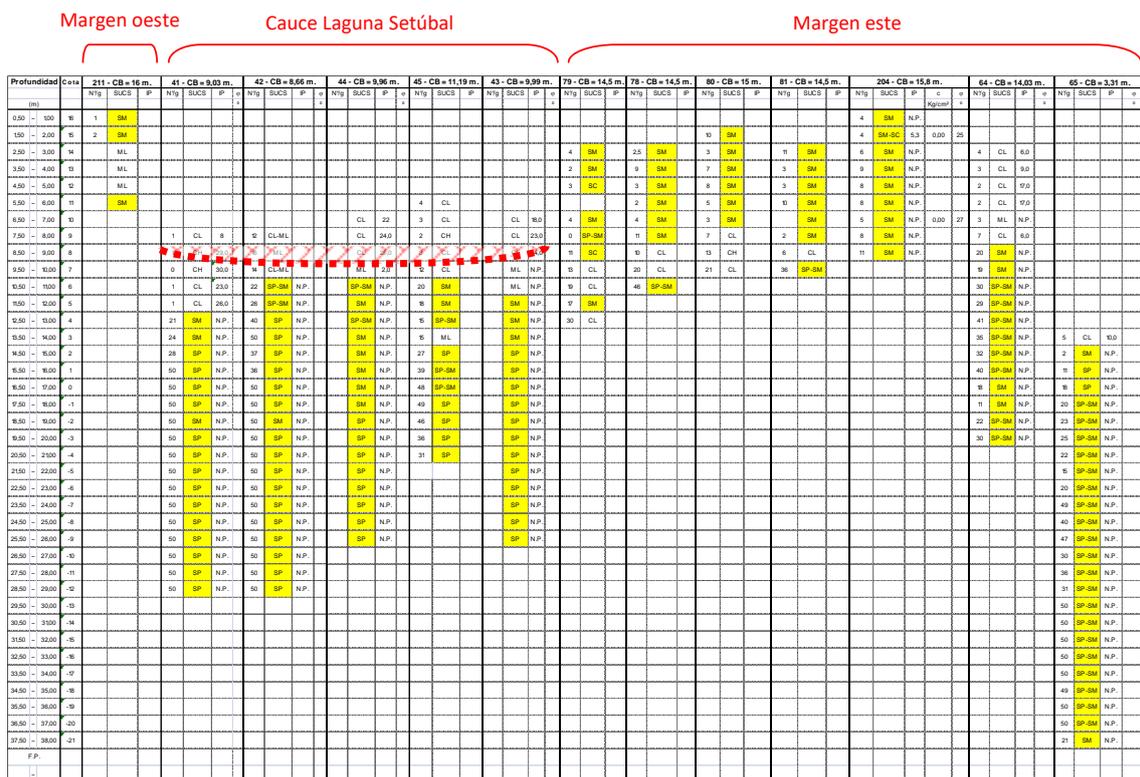
Alternativa 1 - zanja convencional somera (C)

Esta alternativa estará fuertemente condicionada por la dinámica hidráulica de la Laguna Setúbal, es decir, por los ciclos de crecientes y bajantes de la misma.

La ventaja principal de esta alternativa sería que la excavación resulta relativamente superficial, entre 1 y 2 m a partir del lecho de la laguna, con lo cual operativamente reduce los movimientos del material constitutivo del cauce, que

de acuerdo al informe geotécnico preliminar se trata de suelos cohesivos: arcillas de baja plasticidad CL, arcillas limosas CL-ML, arcillas de alta plasticidad CH y limos de baja plasticidad ML, de baja consistencia; los cuales no plantean mayores dificultades operativas

Para esta opción se analizarán minuciosamente las condiciones de confinamiento del caño de distribución de gas, en donde interviene la altura de socavación del lecho, dado que habría que asegurar que el material depositado posteriormente, la capa o montículo de suelo, no sea erosionado dejando expuesto el caño de conducción de gas.



Para subsanar dicho inconveniente se plantea la colocación de una cobertura, que constituye una protección contra la erosión, mediante una manta geotextil con bloques de hormigón adheridos, que a su vez actuaría como una especie de

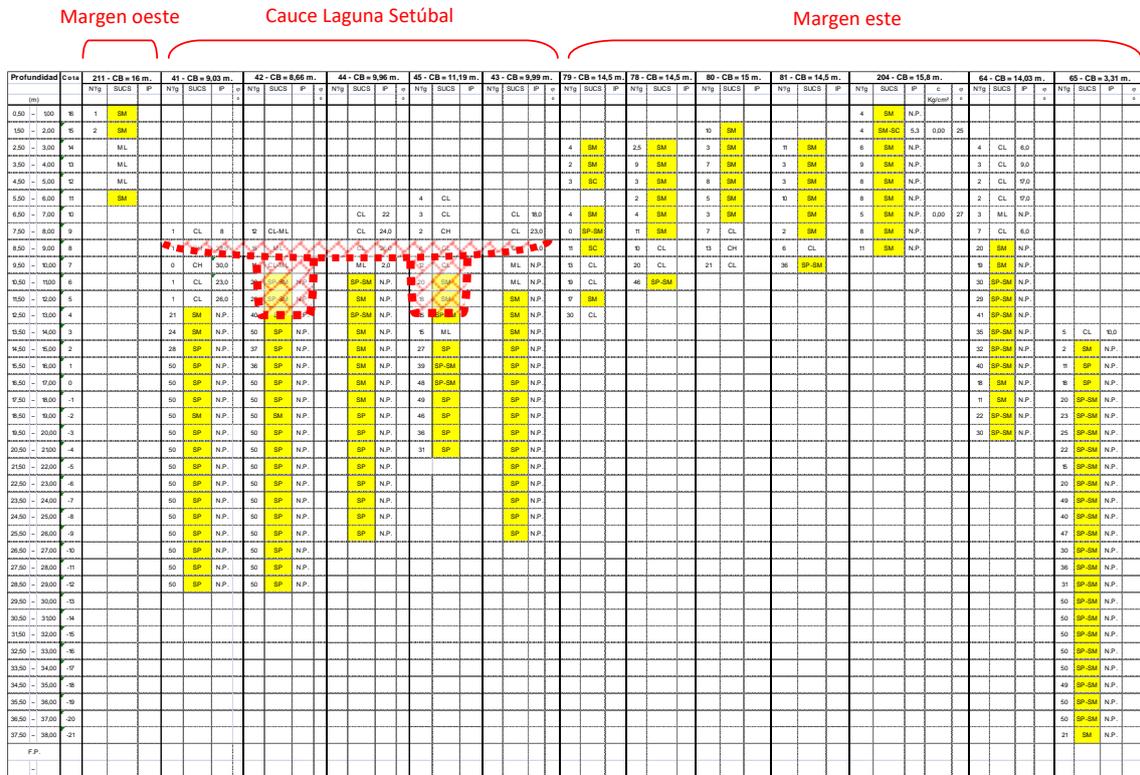
anclaje que evitaría la erosión del montículo de suelo que constituye la tapada del caño.

El conjunto constituiría un montículo importante donde cabe un estudio hidrodinámico de su incidencia en el flujo y escurrimiento del agua, y el comportamiento de la manta de protección ante el avance de la erosión.

Alternativa 2 – zanja convencional con cauces profundos (B2)

A partir de un pronóstico de la evolución morfológica de la Laguna Setúbal, se destaca la formación de dos cauces colectores, con la posibilidad de que las cotas de fondo de los mismos resulten bastante profundas.

Esta alternativa presenta grandes desventajas, desde el punto de vista de las excavaciones, dadas las características de los suelos a esa profundidad, los cuales en gran parte serían arenosos, desmoronables, con poca estabilidad para el trabajo bajo el agua, lo que requeriría del empleo de una draga de cortador para la generación de taludes con pendientes estables, con directa incidencia en la superficie de trabajo y en el desplazamiento de los suelos. Otro inconveniente lo plantean los grandes volúmenes de excavación, con importantes movimientos de suelos y las profundidades previstas, de alrededor de 10 a 12 m. aproximadamente.

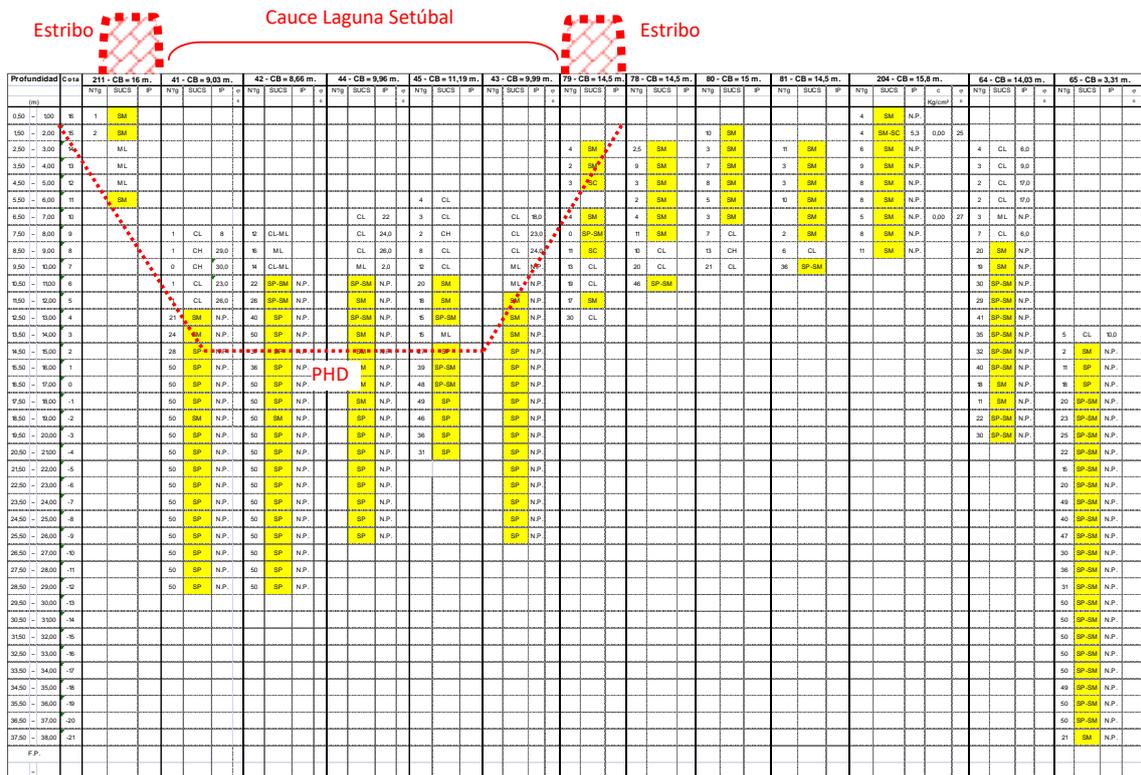


Para la adopción de las alternativas 3 ó 4, la decisión final está fuertemente condicionada por las limitaciones operativas de la perforación horizontal dirigida PHD, dado que depende de las condiciones geotécnicas resultantes y las posibilidades de la longitud final del caño de conducción de gas.

Alternativa 3 – perforación horizontal dirigida con estribos (A2)

Se trata de la ejecución de dos estribos laterales sobre elevados, en ambas márgenes, de aproximadamente 400 m. Esta alternativa está condicionada fuertemente por la biodiversidad del sector, dado que se trata de la conformación de dos mini terraplenes en las márgenes de la Laguna Setúbal, lo que involucraría un importante movimiento de suelos para tal fin. Dichos terraplenes constituirían dos pseudo-defensas laterales que posiblemente encauzarían el escurrimiento de las crecidas, modificando así morfología natural de playa en el sector. Para la construcción de los estribos se debería contar con

un importante volumen de material cohesivo, para que al producirse las crecientes y posteriores bajantes de los niveles de la Laguna, el material constitutivo de los pseudo-terraplenes no sea erosionado y desplazado hacia el agua fácilmente. Dicho material cohesivo debería contar con características de aptitud para conformar los estribos, lo que posiblemente haga necesario recurrir a canteras de préstamo, con incidencia directa en los costos. Posteriormente al estudio y selección del material, la finalización de los trabajos estaría condicionada por el tiempo de consolidación de las capas constitutivas de los terraplenes.



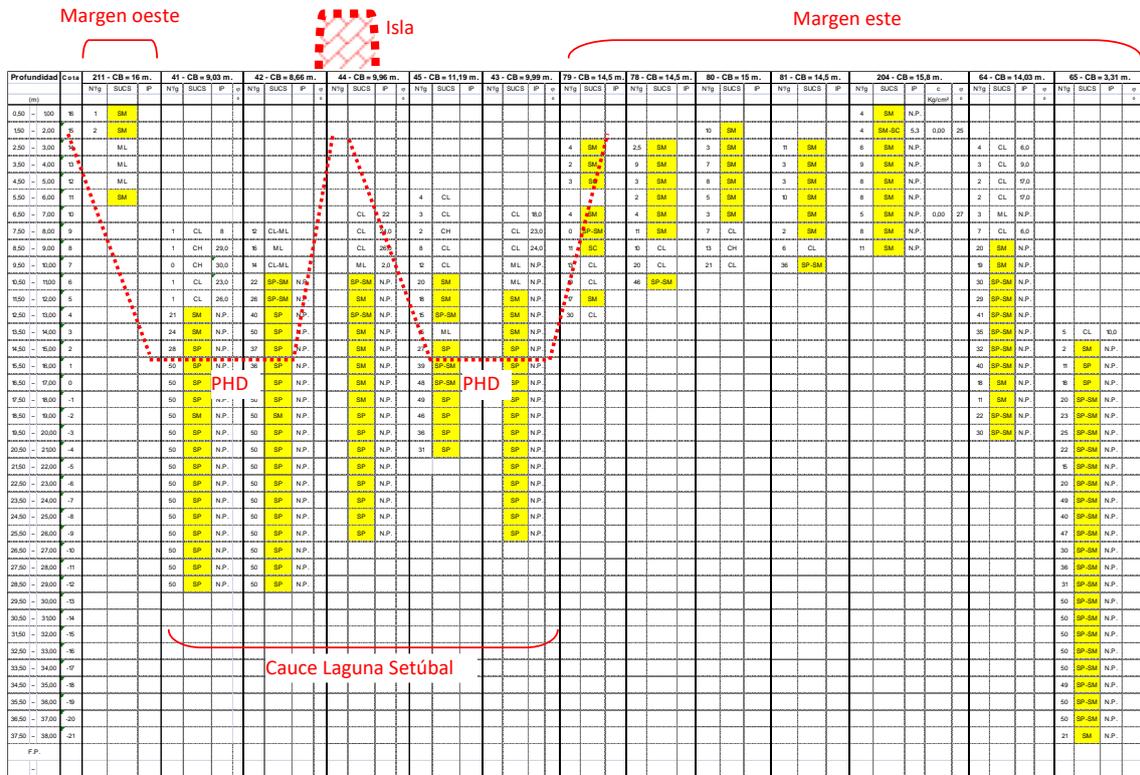
Alternativa 4 – perforación horizontal dirigida con isla (A1)

El empleo de esta alternativa tiene la ventaja de aprovechar el beneficio de la evolución morfológica del delta de la Laguna Setúbal, de la cual emergerá la formación de una isla que ofrece la posibilidad de acortar la longitud del caño de

conducción de gas de la perforación horizontal dirigida, dividiendo el mismo en dos tramos más cortos.

Desde el punto de vista del movimiento de suelos requerido para la conformación de la isla, ofrece una ventaja con respecto a la alternativa 3, dado que involucra el aprovechamiento de la formación natural de la isla, en lugar de la ejecución de estribos artificiales en ambas márgenes, sin el traslado de importantes volúmenes de suelo de canteras de préstamo y posterior movimiento de maquinaria para su ejecución, con un plus ambiental de ampliación de áreas naturales.

La gran desventaja de esta alternativa, sería la condicionante geotécnica, dado que el tipo de suelos que resultaría más óptimo de atravesar por la perforación horizontal dirigida PHD sería el cohesivo, para evitar el atascamiento de la máquina perforadora. En el informe geotécnico preliminar, en los niveles más profundos, solo se encontró suelos de tipo arenosos, lo cuales pueden imposibilitar el desarrollo de la tareas de perforación por la inestabilidad del túnel perforado.



Conclusión

La información analizada es a nivel preliminar, se elaboró con la recopilación y estudio de antecedentes disponibles, y será ratificada o rectificada una vez completado el estudio de suelos.

Para la definición de la alternativa constructiva más adecuada y la elaboración del proyecto ejecutivo, es indispensable conocer los resultados del estudio geotécnico correspondiente, para definir con mayor precisión el posicionamiento y calidad de los estratos, con la ubicación de los distintos tipos de suelos en los diferentes niveles.

CAPÍTULO 5. SOCIOAMBIENTAL.

5.1. Introducción

El Informe final del equipo socioambiental continúa con la línea de trabajo establecida en el Informe de Avance relacionado a los estudios del cruce de la laguna Setúbal del Proyecto Gasoducto Metropolitano.

En primer lugar, se retoman las consideraciones generales y los fundamentos de los criterios de análisis desde el punto de vista legal, ambiental y social establecidos en dicho Informe.

En segundo lugar se desarrollan los análisis cualitativos de las trazas geográficas y las variantes planteadas de la traza Centro y un análisis semi-cuantitativo de las metodologías de cruce. El informe se estructura de la siguiente manera:

- **Selección de la traza geográfica más conveniente desde el punto de vista socioambiental:** se realiza un análisis cualitativo de ventajas y desventajas de las mismas.
- **Análisis de las variantes de la traza Centro:** se presenta un análisis cualitativo de ventajas y desventajas de cada una de las variantes.
- **Análisis de las metodologías constructivas disponibles:** se incluye un análisis amplio a través de un listado de chequeo sobre las metodologías constructivas disponibles y recomendaciones desde el punto de vista legal y socioambiental.
- **Conclusiones finales:** se sintetizan las conclusiones del equipo socioambiental de la presente etapa.

Breve mención de las trazas geográficas y las variantes de la traza Centro

Este estudio contempla el análisis socioambiental de las tres trazas geográficas consideradas para el cruce de la Laguna y de las diferentes metodologías

constructivas disponibles para ello, las cuales se detallan en las secciones correspondientes.

Cabe señalar que el primero de Febrero ENERFE, en función del avance de los estudios respecto del diseño de la traza general del Gasoducto Metropolitano - que implica la conexión desde el gasoducto GNEA (Pk 239), las derivaciones hasta la laguna, el cruce de la misma y, en un futuro, la conexión a la diversas localidades de la zona costera de Santa Fe a través de ramales-, define un punto de acometida para el cruce de la Laguna Setúbal, próximo a la traza denominada como Centro.

Esta situación modifica el análisis inicial y, a partir de entonces, se definen tres variantes para dicha traza, que son analizadas en forma específica de manera preliminar.

5.2. Consideraciones generales

Antecedentes de estudios y propuestas de trabajo en el área

El área que se encuentra en estudio para la determinación de la traza más conveniente para el cruce de la Laguna del Gasoducto Metropolitano, es una zona que fue objeto de numerosos estudios a lo largo de los años. Los mismos se asocian con temas diversos, como ser:

- Contaminación del agua: descarga de efluentes cloacales-industriales-domésticos, presencia de residuos sólidos.
- Hallazgos de restos arqueológicos.
- Potencialidades de la zona.

Ya en el año 1994, el Museo Provincial de Ciencias Naturales Florentino Ameghino publicó un documento de Educación Ambiental (ISSN 0325-3856) donde se estudiaba el sistema de la laguna Setúbal y su entorno y se

identificaban los conflictos asociados a la misma, generados en el seno del comportamiento ciudadano y cuyo accionar influye en las comunidades existentes en el sistema natural. Para ello, se realizó un análisis perceptual y estructural que resultó en la identificación de las zonas de descargas de desagües, zonas recreativas, identificación de especies de fauna en los mencionados focos y fuera de ellos, etc.

En 2016 los investigadores Blettler, Ulla, Rabuffetti y Garello, en colaboración con ONGs locales y un grupo de voluntarios, recorrieron la laguna a bordo de kayaks y piraguas. Tomaron muestras y las analizaron con balanzas de alta precisión, microscopios y espectrofotómetros a fin de determinar la concentración de residuos plásticos en la zona³.

También corresponde mencionar dos estudios para evaluar la potencialidad de uso del espacio ferroviario y la recuperación de viejas estructuras ferroviarias en la zona. Si bien este área se encuentra alejada del espacio por donde potencialmente se realizará el cruce de la Laguna, es importante tener en cuenta estos aspectos a la hora de una análisis de la zona y su entorno.

En el primer caso, se realizaron los estudios ambientales en el área de la ciudad de Santa Fe y sus alrededores abarcando parte de la zona de la laguna Setúbal. Los mismos estuvieron a cargo de la Secretaría de Transporte -Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios, la consultora Halcrow y Consular y la empresa Iatasa Ingeniería (PRÉSTAMO CAF 3192 PROYECTO RECUPERACIÓN Y MEJORAMIENTO DEL FERROCARRIL GRAL. BELGRANO,). En el segundo caso, la información se recopiló en 2018 a partir de una convocatoria del Municipio de Santa Fe a la UNL para iniciar un proceso de análisis y consulta con expertos, docentes y estudiantes, en torno de los viejos pilares de la Laguna, que fueron la base de un cruce ferroviario y luego una

³Se puede consultar en los sitios: <https://santafe.conicet.gov.ar/contaminacion-de-rios> y https://www.ellitoral.com/index.php/id_um/162200-alarmanete-contaminacion-en-la-laguna-setubal-100-botellas-plasticas-por-kilometro-area-metropolitana.html

aerosilla, con vistas a evaluar posibles usos buscando potenciar el sector turístico, integrar el complejo de Ciudad Universitaria, Reserva Ecológica y el Parque Tecnológico del Litoral Centro con la ciudad y la posible conexión entre ambas costaneras. Esto se enmarcó en el debate “Los Pilares y la Laguna”, organizado por la UNL, la UCSF y la UTN junto a dicho Municipio, como un espacio de participación ciudadana, abierto, para reconstruir de manera colectiva las referencias históricas, compartir los estudios existentes y proyectar posibles usos a futuro, proponiendo como desafío el trabajo transversal sobre los temas paisaje, cultura, espacio público, resiliencia y planificación urbana⁴.

Muchos de los estudios se han visto potenciados y favorecidos por la bajante extraordinaria que se desarrolló en la zona durante 2020. Un grupo de investigadores de la FICH realizó el análisis de arenas que contienen restos fósiles de más de 100 mil años de antigüedad y realizó el estudio de las características del subsuelo lagunar y su entorno a través de miles de años⁵. A estos estudios se suman, entre otros, los realizados por Gabriel Cocco en relación al tema de la movilidad y uso de cazadores-recolectores en ambientes de ecotono antes mencionado⁶.

Por otra parte, corresponde mencionar como antecedentes las propuestas vinculadas con el Gasoducto de la Costa, que comenzó a plantearse como propuesta en el año 2012, tras un reclamo que los vecinos venían haciendo en forma reiterada luego de que la zona tuviera un amplio desarrollo (que se constata en la alta tasa de crecimiento poblacional), con la consolidación de diferentes barrios para la radicación de familias (y no solo de casas de fin de semana). Esta propuesta fue incluida en el Plan de Expansión de Gas Natural de la Provincia y en 2013 la empresa Litoral Gas realizó el proyecto técnico a pedido del Municipio de la ciudad de Santa Fe. Esta propuesta implicaba la

⁴ Se puede consultar en: web9.unl.edu.ar/noticias y www.revistavivienda.com.ar

⁵ https://www.ellitoral.com/index.php/id_um/242086-estudios-arqueologicos-en-la-setubal-en-busca-de-los-rastros-aborigenes-especialistas-del-museo-etnografico-area-metropolitana.html

⁶ http://www.cehsf.ceride.gov.ar/america_16/06-cocco_saladillos.html

extensión de la red de gas a través de la Ruta 1, previéndose su construcción en forma paralela a la autovía de dicha conexión vial, e implicaba una cobertura de gas natural a los habitantes del Distrito de la Costa de Santa Fe, con posibilidad de expansión a la ciudad de San José de Rincón. Si bien el proyecto se incluyó en el listado de obras a financiar por la Provincia con el pedido de endeudamiento solicitado por el Gobernador en el año 2016, nunca se concretó. En 2018, tras la creación de ENERFE, el gobierno provincial plantea otro proyecto con capacidad para extender dicho gasoducto hasta Santa Rosa de Calchines, pero que tampoco tuvo desarrollo.

En octubre de 2020, el nuevo gobierno provincial presenta de manera oficial la nueva propuesta, que implica dejar de lado el proyecto del Gasoducto de la Costa y transformarlo en el Proyecto de Gasoducto Metropolitano, cuya construcción prevé la cobertura del servicio para más de 90.000 habitantes de las ciudades de Santa Fe, Rincón, Arroyo Leyes, Monte Vera y Recreo.

Se trata de un tema sensible de alta relevancia e interés para la sociedad, tanto de la ciudad capital como del área metropolitana de Santa Fe. Es por eso que se realizó un relevamiento de la cobertura periodística y el debate registrado en los medios de comunicación sobre el tema, que muestra el inmediato impacto que la producción de noticias sobre el tema genera en los diferentes medios de la región. De acuerdo al relevamiento realizado los medios que publicaron y produjeron notas son UNO Santa Fe, El Litoral, Aire de Santa Fe, Cable y Diario, LT10, LT9, VEO TV, Noticias UNL, Noticias Provincia de Santa Fe, Telefé Santa Fe, Sin Mordaza, El Departamental, ABC Noticias, Mirador Provincial y medios regionales de Rafaela, Esperanza y zona, además de otros portales de noticias que replican los partes oficiales.

Al mirar las fechas en las que los medios de comunicación tomaron el tema - entre octubre de 2020 y marzo de 2021- se observa que el pulso de las publicaciones está determinado por el envío de materiales oficiales por parte del

Gobierno de la Provincia de Santa Fe, ENERFE y UNL. Esto implica que la información y los materiales de prensa que se difunden generan impacto inmediato, ya que los medios no sólo habilitan su cobertura sino que los periodistas demandan entrevistas con referentes o especialistas que brinden detalles sobre las obras y amplíen la información incluida en los partes de prensa oficiales.

Las primeras publicaciones datan de octubre de 2020 y refieren a la presentación oficial del proyecto. En los meses de noviembre y diciembre, con fluctuaciones en cuanto a presencia mediática, se realizaron publicaciones sobre los estudios a realizarse para evaluar el cruce de la Laguna y el pedido de informes desde la Cámara de Diputados, donde se solicita al Poder Ejecutivo que brinde detalles sobre el nuevo proyecto, en especial si cuenta con la autorización de ENARGAS para realizar la obra. Entre los últimos días de diciembre y la primera semana de enero de 2021 el proyecto vuelve a generar impacto a partir del envío de información de parte de la UNL; las semanas siguientes se retomó esa información y se amplió el abordaje a partir de noticias precedentes. En febrero las novedades estuvieron ancladas, esencialmente, a reuniones mantenidas por autoridades de ENERFE con autoridades de Esperanza. Las últimas noticias datan de marzo y están vinculadas con el inicio de los trabajos de perforación en la Laguna Setúbal; esta información continuó circulando a partir de entrevistas que se brindaron desde el organismo provincial.

Consideraciones sobre protección de bienes naturales y ambientales

La traza finalmente elegida, la selección del sistema constructivo y el escenario de obras debe respetar bienes colectivos que receptan valores ambientales y culturales que el proyecto debe considerar (artículo 41 Constitución Nacional y artículo 240 CCC), de manera de no afectar la sustentabilidad y el buen funcionamiento de los ecosistemas y sus componentes de modo de garantizar su

transmisión a las generaciones futuras. Esto exige a lo largo del proceso de decisión un ejercicio continuo de ponderación equilibrada entre los valores ambientales, culturales y el desarrollo social y económico.

El criterio que debe seguirse en la toma de decisiones es el de privilegiar la prevención y aplicar el principio de precaución (artículo 4 ley N° 25675) cuando exista una controversia científica o técnica y la recomposición en caso de tener que producir una afectación irremediable in natura⁷.

Los derechos ambientales instrumentales en particular, acceso a la información y participación en el campo ambiental, deben ser debidamente observados, de la manera más amplia y robusta y “desde etapas iniciales del proceso de toma de decisiones” (estándar, artículo 3.4 Acuerdo de Escazú).

Se contemplan, por lo tanto, aspectos procedimentales y aspectos sustanciales.

Aspectos procedimentales

En particular, es necesario que el proyecto final sea oportunamente sometido a un proceso de evaluación de impacto ambiental. Esa evaluación de impacto debe contar con una o más instancias de participación ciudadana robustas; para ello es también relevante tener presentes dos aspectos: que el proceso de evaluación sea instrumentado facilitando en la mayor medida posible el acceso previo a la información ambiental; y que se involucre en los procedimientos de participación a las comunidades, organizaciones y colectivos sociales vinculados con el uso y protección de la Laguna Setúbal.

Este proceso deberá satisfacer lo establecido en la regulación de las ciudades involucradas y la legislación provincial (Ley N° 11717 y Decreto N° 0101/2003) existente al respecto; así como la regulación nacional de presupuestos mínimos que se ocupa de la evaluación de impacto ambiental y acceso a la información ambiental (Ley N° 25675 y Ley N° 25831).

⁷ Conf. Corte Suprema de Justicia de la Nación: Mendoza, Beatriz Silvia y otros c/ Estado Nacional y otros s/ daños y perjuicios (daños derivados de la contaminación ambiental del Río Matanza – Riachuelo 20 de junio de 2006 considerando 6), entre otros precedentes.

Niveles de deferencia más elevados con el derecho a la participación ambiental podrían lograrse instrumentando un proceso de elaboración participativa de normas. Este tipo de procesos está regulado en Argentina (Decreto N° 1172/2003, Anexo V) y en la Provincia de Santa Fe (Decreto N° 4174/15), y se ha instrumentado en diversos sectores de obras públicas para recibir opiniones en relación a los derechos ambientales y también se ha receptado en el Acuerdo de Escazú (art. 7.7).

Aspectos sustanciales

Es muy relevante que se observe lo establecido respecto del acceso a la información y participación ciudadana en el Acuerdo de Escazú, que entrará en vigencia el 22 de abril de 2021; que se consideren los criterios fijados por la Corte Suprema de Justicia de la Nación en la jurisprudencia en materia de evaluación de impacto ambiental en diversos precedentes⁸.

Es necesario considerar al decidir la traza y el método constructivo, los siguientes aspectos:

- Existencia de bosques naturales protegidos (Ley 26331).
- Existencia de áreas naturales protegidas (Ley 12175).
- Existencia de yacimientos arqueológicos y paleontológicos (Ley 25743).
- Existencia de bienes naturales y culturales históricos (Ley 12665 y 27103).
- Existencia de especies protegidas y sus hábitats (Ley 22421).

Esta consideración debe hacerse aplicando el criterio de intangibilidad y de menor afectación posible según el caso y teniendo en cuenta:

- Las restricciones al dominio público y privado que se establecen en estas leyes y que afectan el derecho de realizar obras;

⁸ Salas Dino y otros c/ Provincia de Salta y Estado Nacional s/ amparo, 26-mar-2009; Martínez, Sergio Raúl c/ Agua Rica LLC Suco Argentina y su propietaria Yamana Gold Inc. y otros 5/ acción de amparo, 02 de marzo de 2016, entre otros.

- Las reglas que regulan los procedimientos y permisos para realizar obras en los territorios en los cuales se emplazan estos bienes en cada una de las leyes.

En Argentina el paisaje es un micro bien ambiental protegido que debe ser respetado, compatibilizando los demás derechos con su existencia (artículo 41 CN y 240 Código Civil y Comercial de la Nación). Esta protección ha sido reconocida por la jurisprudencia⁹ y debe ponderarse especialmente la existencia de estos bienes en la evaluación de las trazas. Idéntica consideración merece la flora autóctona del humedal (artículo 41 CN y artículo 240 CCC).

Una atención muy especial exige el respeto de los derechos de las comunidades de pueblos originarios que puedan ver eventualmente afectados sus derechos sobre sus tierras y territorios y a la participación en la toma de decisiones a través del método de la consulta previa (artículo 75 inc 17 y artículo 18 CCC). Al instrumentar las consultas previas, deben atenderse en particular los estándares fijados en la jurisprudencia de la Corte Suprema de Justicia de la Nación y la Corte Interamericana de Derechos Humanos.

La eventual restricción a la navegación, sea comercial o de esparcimiento debe ser especialmente valorada, de modo que estos derechos sean restringidos en la menor medida posible.

La incidencia sobre derechos existentes sobre el agua, su calidad o los usos del agua que pudieran verse afectados debe ser ponderada (Ley N° 13740 de la Provincia de Santa Fe).

Las trazas, métodos constructivos y obras deben ser deferentes con los derechos fundamentales de las comunidades de habitantes ribereños y de pescadores y sus derechos no solo a la vivienda digna, el ambiente y el trabajo, sino además a la participación en los procesos de evaluación de impacto ambiental.

Consideraciones ambientales

Las trazas actualmente propuestas para el cruce de la laguna Setúbal se insertan en un mismo tipo de ecosistema predominantemente de humedales fluviales

⁹ Ver en particular: Juzg. Primera Instancia Civil, 5ª Nom. Catamarca, "Aroca, José Eduardo c. Estado Provincial y Correa Peralta, Ana Gabriela, titular de Gabiola Empresa Constructora s/ Amparo ambiental", 27/08/2020.

vinculados al río Paraná. A lo largo del límite oriental de la provincia, este curso genera este sistema de humedales formado por numerosos brazos, riachos, lagunas y bañados en donde los pulsos de inundación determinan la presencia de elevada biodiversidad y dinámicas hídricas propias. Como consecuencia de esta dinámica caracterizada por la alternancia de crecientes y bajantes sucesivas, la dinámica fluvial cambia constantemente el paisaje. De hecho, este proceso de cambio constante genera las islas, que generalmente se presentan a manera de cubetas rodeadas por albardones que rodean el centro de la formación, generalmente constituido por lagunas.

Dentro de este ambiente se destacan numerosos componentes del medio físico, biológico, paisajístico, social y cultural que es necesario tener en cuenta a la hora de evaluar tanto las trazas propuestas como las metodologías constructivas de cada una.

A fin de tener en cuenta los mismos y evaluar su potencial afectación por la realización del cruce del Gasoducto Metropolitano en el área de la laguna Setúbal, y contemplando el marco jurídico existente en la materia mencionada en el apartado anterior, se seleccionaron criterios ambientales más significativos a evaluar:

Así, se identificaron los relacionados con:

- la longitud total del cruce
- la metodología constructiva (aérea, excavación convencional o perforación horizontal dirigida PHD)
- la extensión de la traza sobre áreas con ecosistemas de humedal
- la presencia de bosques nativos
- la presencia de especies protegidas fauna
- la variabilidad del sitio (presencia de islas emergidas y/o cauces ya definidos)
- la afectación del paisaje natural

- la posibilidad de hallazgos arqueológicos
- la posesión de la tierra
- la presencia de infraestructura existente

Estos aspectos deberán ser considerados, debatidos y valorados en el marco de un proceso de evaluación de impacto ambiental en el cual exista un adecuado acceso a la información e instancias de participación.

Para la selección de estos aspectos, cuyo análisis y valoración se deberá profundizar en la segunda Etapa del Proyecto (en función de los futuros trabajos de campo, recopilación de información, definición final de la traza a ejecutar, etc.), se tuvo en cuenta una visión macro de la zona en estudio y las interferencias/afectaciones que en general pudieran ocurrir.

Consideraciones sociales

Desde el punto de vista social, en esta etapa, se contemplan dos criterios para analizar las ventajas y desventajas de las diferentes trazas previstas para el cruce de la laguna para la obra del Gasoducto Metropolitano:

- Usos del suelo/agua afectados por la obra: residenciales, recreativos, deportivos, productivos, turísticos o culturales.
- Potenciales actores sociales relacionados con la obra, según el tipo de vínculo con la misma: afectados directamente por la traza de la obra y su construcción, beneficiarios de los servicios que prestará la obra, e involucrados por su competencia, función, perfil o interés sobre el entorno ambiental en el que se concretará la obra en cuestión.

En relación con los actores sociales, se identifican potenciales instituciones, comunidades, organizaciones y colectivos movilizados tanto con la protección ambiental de la Laguna y el sistema de humedales, como con los usos existentes en la zona. Es posible diferenciar, entre los actores sociales:

- Afectados directamente por la traza de la obra y su construcción.
- Beneficiarios de los servicios que prestará la obra.

- Involucrados por su competencia, función, perfil o interés sobre el entorno ambiental en el que se concretará la obra en cuestión.

Este proceso de identificación de actores es necesario para poder contemplar los aspectos procedimentales y sustanciales vinculados a la protección de bienes ambientales y culturales y al derecho a la información pública y la participación ciudadana establecidos por la legislación vigente, en dos aspectos:

- **Procedimentales:** instancias de participación informadas, lo que implica acceso a información y difusión pública del proyecto (transparencia activa) y generación de instancias de consulta.
- **Sustanciales:** usos del suelo y valoraciones culturales e históricas de los actores involucrados, en forma directa e indirecta, sobre el ambiente afectado por la obra, con vistas a respetar los derechos de la comunidades que puedan verse afectadas y generar instancias de participación en la toma de decisiones.

En este sentido, es importante señalar que si bien es posible identificar actores específicamente vinculados con las trazas en estudio para el cruce de la Laguna y su impacto socioambiental, en una segunda etapa corresponde analizar aquellos que se ven afectados, beneficiados o involucrados por la traza completa de la obra del Gasoducto Metropolitano.

5.3. Análisis cualitativo de las trazas geográficas

Como se mencionó en la primera sección, en este apartado se realizará un análisis cualitativo de las tres posibles trazas geográficas para el gasoducto en el cruce de la laguna Setúbal. Para ello se listarán las ventajas y desventajas de cada una de las trazas en función de los aspectos legales, ambientales y sociales que se presentaron en el informe preliminar y se desarrollan a nivel macro a continuación:

Análisis de aspectos ambientales

Los aspectos ambientales más relevantes se sintetizan en la imagen que se presenta a continuación. En la misma se esquematizan los sectores de bosque

nativos y cuerpos de agua superficiales, pudiendo observarse la presencia de parches de bosques nativos de muy alto valor de concentración (de color rojo) y de mediano valor de conservación (de color amarillo) en la zona en estudio. Por otro lado se visualiza el cuerpo de agua superficial Laguna Setúbal y los numerosos arroyos y lagunas:

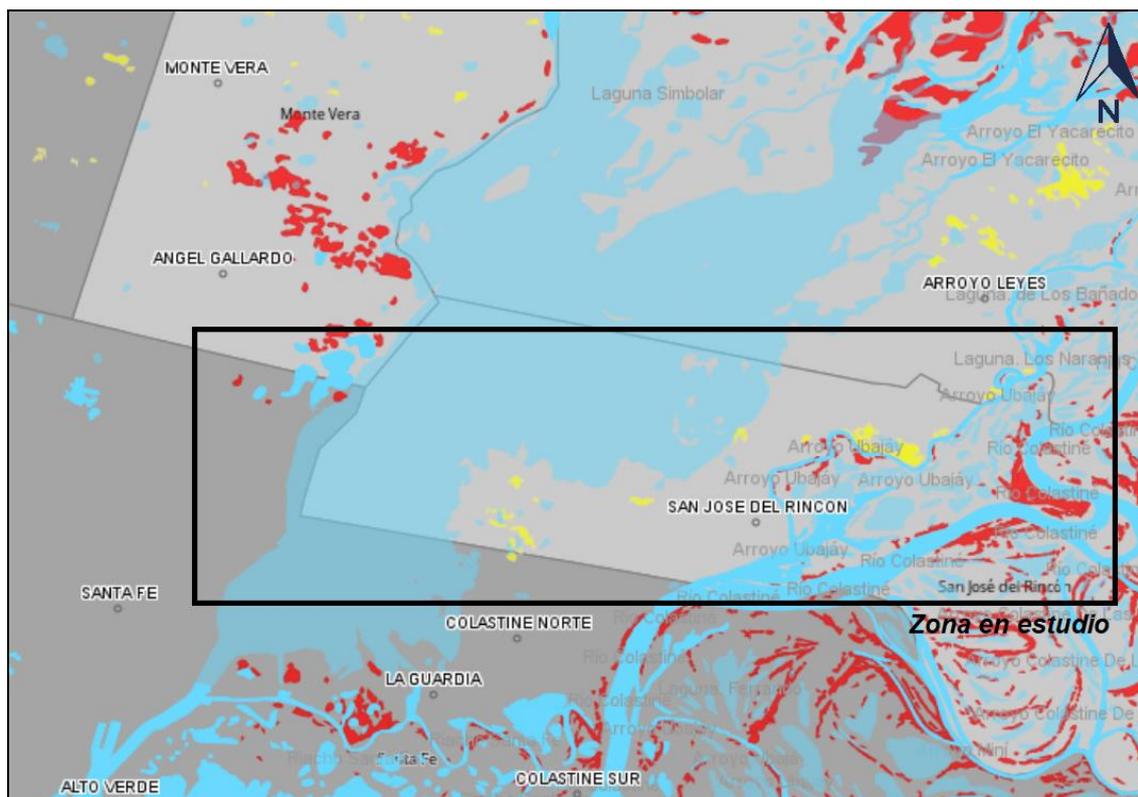
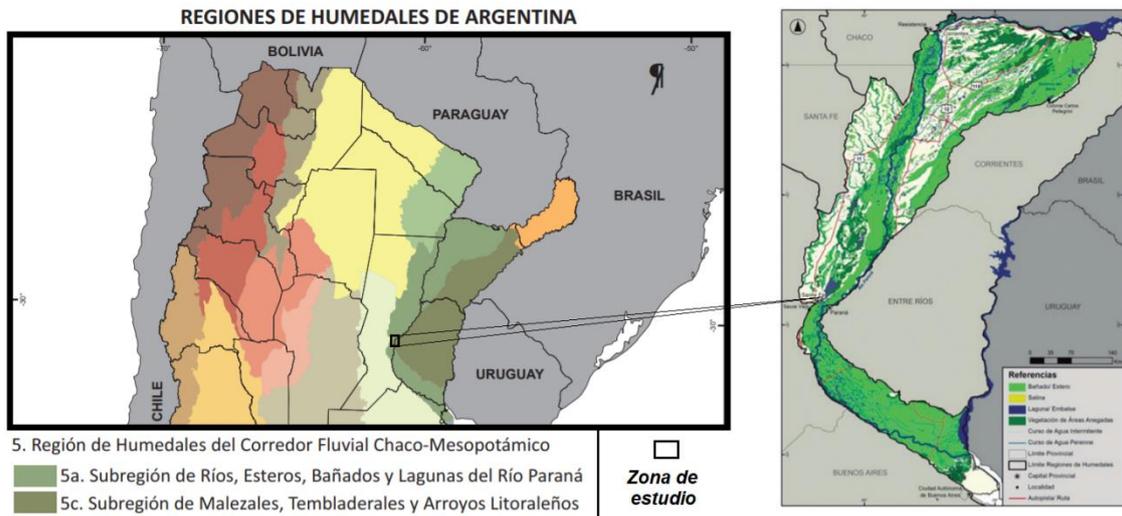


Ilustración 1. Zona de estudio: cuerpos de agua superficiales y zonificación de bosques nativos.

Por otro lado y como se mencionó en el informe preliminar, las tres trazas se localizan en zonas con gran cantidad de humedales. Los mismos son ecosistemas que permanecen en condiciones de inundación o con su suelo saturado con agua durante períodos de tiempo considerables. Estas condiciones determinan que los humedales presenten características particulares, tales como suelos hídricos o sustratos con señales de hidromorfismo y biota adaptada para tolerar la inundación o la alternancia de períodos de anegamiento y sequía.

En la zona de estudio los humedales se agrupan dentro de la región de humedales del corredor fluvial Chaco-Mesopotámico (Benzaquen et. al, 2016) y más precisamente en la subregión 5a: Ríos, esteros, bañados y lagunas del río Paraná:



Análisis de aspectos sociales

En este apartado se presenta el análisis social sobre usos del suelo/agua y potenciales actores involucrados. Este informe se realiza en base a antecedentes, estudios catastrales y relevamientos preliminares, los que deberán profundizarse en la Etapa 2 a los fines de contar con información completa y detallada de los usos y los actores involucrados en el Proyecto.



Ilustración 2. Imagen satelital ampliada y recorte para el análisis de las trazas del cruce de la Laguna Setúbal.

Las tres zonas previstas para el cruce no cuentan con usos residenciales en sus entornos, pero sí con usos recreativos, deportivos y productivos, a saber:

- Recreativos en zona de playa
- Deportivos: deportes náuticos como kitesurf, windsurf, remo, navegación a vela, canotaje, stand-up paddle (SUP), wakeboard y pesca deportiva.
- Productivos: usos rurales agropecuarios y pesca artesanal.
- Turísticos: guías de pesca deportiva, acceso a zona de playa y circuitos guiados con kayak.



Ilustración 3. Usos recreativos, deportivos, turísticos y productivos en la zona de análisis para el cruce de la Laguna Setúbal.

En relación con los actores sociales, se identifican potenciales instituciones, comunidades, organizaciones y colectivos movilizados tanto con la protección ambiental de la Laguna y el sistema de humedales, como con los usos existentes en la zona. Estos actores están involucrados en general en las tres trazas para el cruce de la Laguna, aunque en algún caso no en forma directa (por ejemplo, la traza Centro y Sur no impacta en forma directa en la comuna de Arroyo Leyes ni todos los clubes náuticos o agencias de turismo realizan actividades en la zona). Con los criterios señalados anteriormente, es posible enumerar los siguientes:

Afectados directamente por la traza de la obra y su construcción

- Municipales de Santa Fe y Rincón y las comunas de Montevera y Arroyo Leyes.
- Comunidades ribereñas o de pescadores residentes en la zona.
- Vecinales relacionadas: Guadalupe y Colastiné Norte (Santa Fe), Rincón Norte, Rincón Centro y Villa California (Rincón), Chaco Chico (Montevera), Arroyo Leyes (Arroyo Leyes).
- Clubes vinculados a deportes náuticos: Club Náutico Sur, Club Náutico El Quillá, Club Náutico Azopardo, Yacht Club y YC-sede Setúbal, Club Marinas, Club de Caza y Pesca, Club Regatas en Santa Fe, Kayvai Turismo Aventura, Kitesurf School y Club de Niños Manuel Belgrano-Sede Náutica, Predio UNL-ATE, Escuela Tupá de Remo y Triatlón(Santa Fe); Club Deportivo El Chaquito y Club de Pescadores (Montevera).
- Titulares de terrenos privados aledaños.
- Agencias de turismo receptivo: Equilibrio Turismo, Mirá Santa Fe, Lunasfe Turismo, Marcelo Giménez y Expertur.

Beneficiarios de los servicios que prestará la obra

- Habitantes de los municipios de Santa Fe, Recreo y Rincón; y de la comunas de Arroyo Leyes. La estimación de ENERFE es que la conexión beneficiará a más de 100.000 unidades residenciales y más de 1600 instituciones (SAMCos, escuelas, clubes, etcétera).
- Sector productivo: la estimación oficial anticipa la conexión de gas para más de 7000 industrias, comercios PyMES y prestadores de servicios. Como actores relevantes se destacan: Parque Industrial Los Polígonos, Mercado de Abastecedores de Frutas, Verduras y Hortalizas de Santa Fe, Bolsa de Comercio de Santa Fe y Centros comerciales locales.
- Cuentapropistas vinculados con la instalación y reparación del servicio

de gas natural: gasistas matriculados.

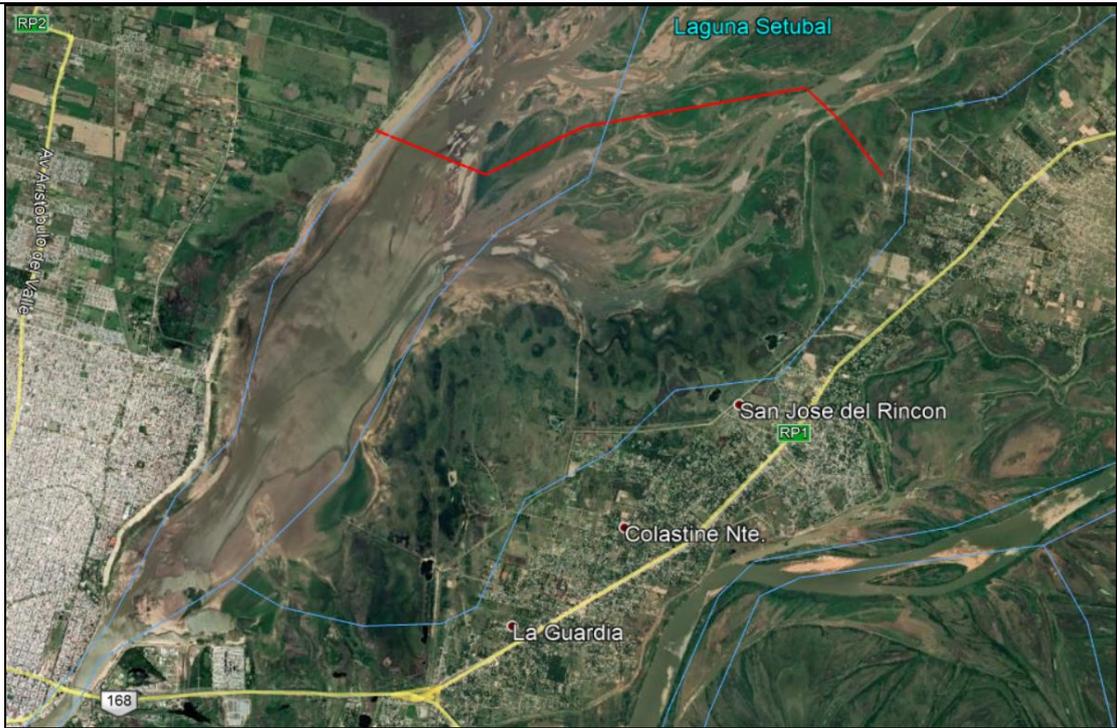
Involucrados por su competencia, función, perfil o interés sobre el entorno ambiental en el que se concretará la obra en cuestión

- ONGs vinculadas con el tema ambiental: Centro de Protección de la Naturaleza (CEPRONAT), Fundación Habitat&Desarrollo, Capibara, Coordinadora de la Costa.
- Colectivos movilizados por el tema Defensa de los Humedales: “El Paraná no se toca”, Red Nacional de Humedales.
- Universidades y Centros de Investigación: universidades locales con carreras afines (UNL, UCSF y UTN-Santa Fe); Programas y Proyectos relacionados (tanto de investigación como de extensión, licenciaturas y maestrías, grupos de investigación específicos); INALI.
- Organismos del Estado Provincial de diferentes Ministerios: en especial el Ministerio de Ambiente y Cambio climático, la Dirección de Protección Civil, entre otros.
- Organismos del Estado Nacional con competencia sobre cursos de agua.
- Partidos políticos, legisladores provinciales y concejales relacionados con la temática.
- Comisiones afines de Asociaciones Profesionales.
- Medios de comunicación en general (diarios, periódicos, radios, canales de TV y portales de noticias) y medios especializados (Turista flotante- blog de deporte y turismo náutico, Revista El Pato, Programas turísticos y de pesca de radio y TV).

Otras vecinales, instituciones y comunidades interesadas en la temática.

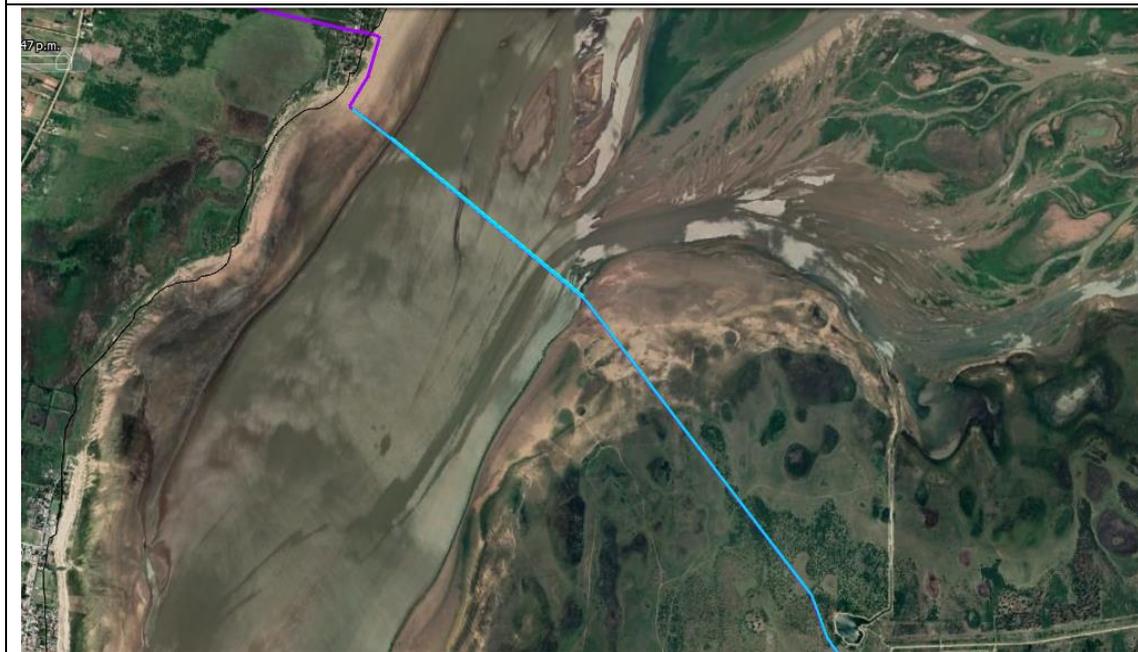
Ventajas y desventajas de las trazas

En primer lugar se presentan las ventajas y desventajas que, desde el punto de vista ambiental, posee cada alternativa de localización del cruce de la laguna. Este es un análisis principalmente cualitativo, que se basa en información de tipo secundaria recopilada por el equipo de trabajo:

TRAZA 1- NORTE	
	
Ventajas	Desventajas
<p>Conexión más directa con el gasoducto troncal.</p> <p>Menor afectación a propiedades privadas.</p> <p>En margen izquierda atraviesa ecosistemas que ya están alterados, principalmente en el punto de ingreso a la laguna, por lo tanto los impactos de la obra serán menores.</p> <p>Baja afectación al paisaje en caso de realizarse la construcción del</p>	<p>Es la traza de cruce de mayor longitud.</p> <p>Diseñada en un tramo en que el sistema se expande en una amplia planicie inundable que implica alteraciones de los ecosistemas de humedales, y asimismo plantea interferencias en la etapa de construcción, superiores a otras trazas.</p> <p>Mayor afectación a sectores de Bosques Nativos.</p> <p>Dada la variedad de suelos que podrían encontrarse en la zona, serían necesarios numerosos estudios de suelo, de diferentes</p>

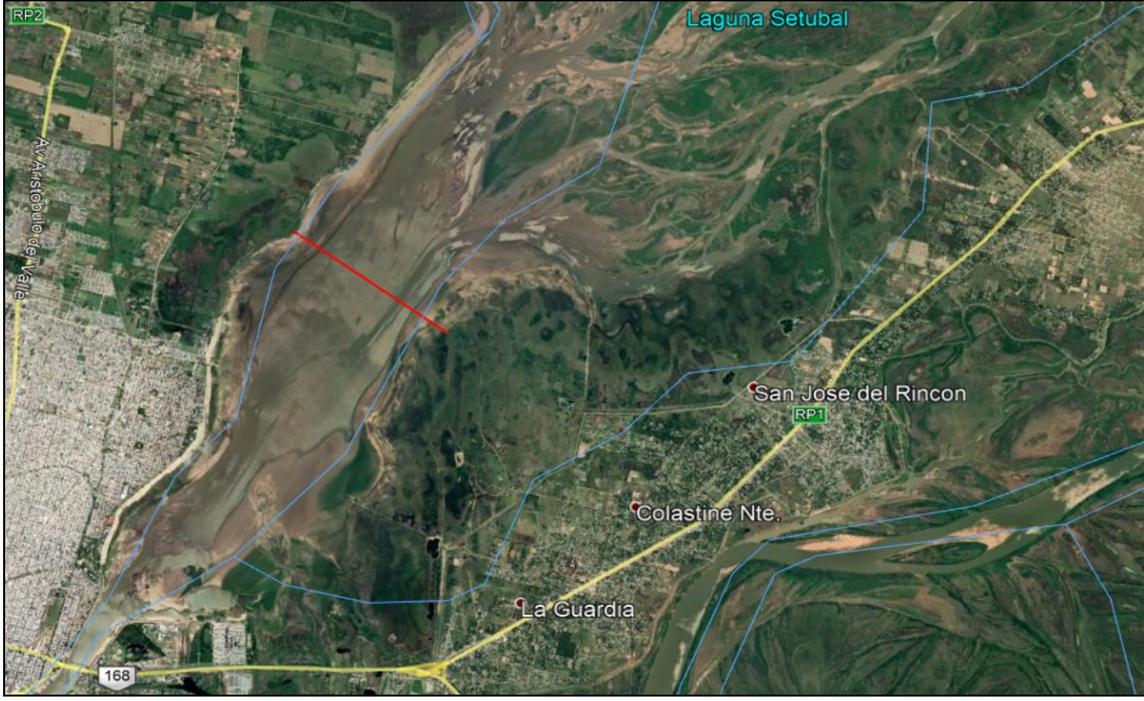
<p>gasoducto mediante cruce aéreo.</p>	<p>características, para evaluar la viabilidad de los mismos para la construcción del gasoducto.</p> <p>Puede implicar expropiación en zona rural.</p> <p>Los suelos, en principio, no son aptos para el movimiento de maquinarias de gran porte sobre ellos.</p> <p>Existe la probabilidad de realizar hallazgos arqueológicos.</p> <p>Implica mayor afectación de actividades turísticas, de pesca y de deportes náuticos durante la construcción de la obra.</p>
--	---

TRAZA 2- CENTRO



Ventajas	Desventajas
<p>Menor longitud de cruce frente a la traza Norte.</p> <p>Diseñada en un tramo en el que el sistema no plantea mayores posibilidades de expansión.</p> <p>Posibilidad de uso de geoformas</p>	<p>Posible intervención en sector de playa.</p> <p>Mayores afectaciones a propiedades privadas.</p> <p>Existen sitios de interés arqueológico en ambas márgenes y hay mayor posibilidad de nuevos hallazgos arqueológicos.</p>

<p>existentes con el objetivo de utilizar metodologías más eficientes en tiempo y características constructivas.</p>	<p>Implica afectación de actividades recreativas, turísticas, de deportes náuticos y de pesca durante la construcción de la obra.</p>
--	---

<p style="text-align: center;">TRAZA 3- SUR</p>	
	
<p style="text-align: center;">Ventajas</p>	<p style="text-align: center;">Desventajas</p>
<p>Menor longitud de cruce.</p> <p>Menor afectación a las poblaciones aledañas y su dinámica local: menor afectación de actividades recreativas, turísticas, de deportes náuticos y de pesca durante la construcción de la obra.</p> <p>A priori, los sustratos inferiores son aptos para diferentes alternativas constructivas</p> <p>La traza presenta estabilidad en la mayor parte de su recorrido. Se consideran secciones posibilidades de inestabilidad futura que podrían resolverse mediante la adición de</p>	<p>En su margen izquierda y derecha podría afectar ecosistemas que no se encuentran intervenidos.</p> <p>El lado derecho recorre cerca de 2.500 metros de zonas de humedales con bosques nativos asociados.</p> <p>Es la zona que, geomorfológicamente, se encuentra transitando mayores cambios.</p> <p>Este tramo presentaría la mayor afectación visual.</p> <p>Implica la afectación de actividades recreativas, turísticas, de deportes náuticos y de pesca durante la construcción de la obra.</p>

<p>contrapeso.</p> <p>La probabilidad de realizar hallazgos arqueológicos sería relativamente baja.</p>	
---	--

Conclusiones del análisis cualitativo de las trazas geográficas

De acuerdo a los aspectos analizados y presentados en las tablas anteriores, es posible observar que la traza que mayor desventajas posee es la traza Norte. En este marco, se presentan como elegibles las trazas Centro y Sur aunque esta última amplía varios metros el cruce y se desarrollaría sobre una zona que aún se encuentra evidenciando cambios de origen geomorfológico. Teniendo en cuenta estos aspectos, la traza Centro se perfila con mayor viabilidad para la concreción del cruce del gasoducto por la laguna Setúbal.

5.4. Análisis cualitativo de las variantes de la traza centro

Teniendo en cuenta los resultados del análisis realizado previamente y los aspectos evaluados por el resto de las disciplinas, la traza que mayormente se perfila para el cruce del gasoducto a través de la laguna Setúbal es la traza Centro. Estos aspectos y consideraciones estudiadas hasta el momento fueron compartidas con el COMITENTE, quien coincidió en que la misma reúne las mejores características debido fundamentalmente al punto de acometida de la cañería.

A partir de esta sugerencia el análisis de trazas se profundizó con tres variantes de esta traza, basándose en información de tipo secundaria y que se sustenta en los numerosos intercambios de información y opiniones que se han realizado hasta el momento por los profesionales que integran el equipo de FICH-UNL.

Además, se consideran las conclusiones y observaciones a las que se arribaron luego de que integrantes del equipo técnico de las tres partes realizaran una primera recorrida en campo. También se contemplan los intercambios de información y evaluaciones surgidas de los informes técnicos del equipo y los aportes del equipo técnico de ENERFE sobre el tema.



Ilustración 4: Variantes de la traza CENTRO

Sobre estas variantes se realizó un nuevo análisis cualitativo de ventajas y desventajas, con la misma metodología aplicada para la evaluación de las trazas geográficas consideradas.

Variante 1 <i>Color verde en Ilustración 4</i>	
Ventajas	Desventajas
<p>Se desarrolla en calles y terrenos públicos.</p>	<p>Es la traza de cruce más larga.</p> <p>Interfiere directamente en aproximadamente 500 metros de playa, afectando el uso recreativo y turístico actual de la zona.</p> <p>Podría llegar a precisar obras complementarias que garanticen la posibilidad de uso de tecnologías de cruce dirigido.</p> <p>Existen sitios de interés arqueológico en ambas márgenes y hay mayor posibilidad de nuevos hallazgos arqueológicos.</p> <p>Afecta usos deportivos (navegación para deportes náuticos) y usos recreativos durante la construcción de la obra.</p>

Variante 2 <i>Color naranja en Ilustración 4</i>	
Ventajas	Desventajas
<p>Menor afectación a terrenos privados.</p> <p>Posibilidad de utilizar las islas existentes para la aplicación de tecnología de PHD.</p> <p>No interfiere grandes secciones de playa de uso público.</p> <p>La probabilidad de realizar hallazgos arqueológicos sería relativamente baja.</p>	<p>Afecta usos deportivos (navegación para deportes náuticos) y usos recreativos durante la construcción de la obra.</p>

Variante 3 <i>Color celeste en Ilustración 4</i>	
Ventajas	Desventajas
<p>Conexión más directa con el gasoducto troncal.</p> <p>No afecta vías de circulación importantes.</p> <p>Baja afectación a terrenos públicos.</p>	<p>Afecta terrenos privados, lo que podría derivar en expropiaciones.</p> <p>Atraviesa zonas de bajos y con posible presencia de agua de forma permanente.</p> <p>Mayor afectación a sectores con bosque y vegetación nativa.</p> <p>Dificultad de operación con máquinas de gran porte debido a las propiedades del suelo.</p> <p>Mayor probabilidad de realizar hallazgos arqueológicos.</p> <p>Afecta usos deportivos (navegación para deportes náuticos) y recreativos durante la obra.</p>

5.5. Metodologías constructivas: análisis preliminar desde el punto de vista socioambiental

Las metodologías constructivas que se encuentran en discusión en esta primera etapa y que se profundizarán con estudios de detalle en las etapas que siguen son:

- Zanqueo somero del lecho lagunar más manta protectora.
- Cruce convencional mediante dragado de zanja con cauce único.
- Cruce convencional mediante dragado de zanja con dos cauces.
- Perforación Horizontal Dirigida (PHD) con isla artificial.
- Perforación Horizontal Dirigida (PHD) con terraplenes de aproximación

Estas metodologías constructivas, si bien se analizarán en profundidad en la segunda etapa, fueron presentadas en el capítulo correspondiente de geología y geomorfología por lo que en este apartado sólo se realiza una primera identificación de los aspectos más sensibles del ambiente o que tienen mayor probabilidad de sufrir alteraciones (positivas o negativas tomando como base la integración de criterios legales, ambientales y sociales). Dichos aspectos se listan a continuación y fueron seleccionados a partir del análisis inicial de la información secundaria disponible sobre la zona de estudio:

- Tiempo de ejecución del cruce.
- Existencia de bosques nativos.
- Existencia de áreas naturales protegidas.
- Existencia de yacimientos arqueológicos y paleontológicos.
- Existencia bienes culturales históricos.
- Longitud total de cruce.
- Extensión de áreas con ecosistemas de humedal.
- Variabilidad del sitio: presencia de islas emergidas y/o cauces ya definidos.
- Afectación del Paisaje natural.
- Posesión de la tierra: privada-pública.
- Presencia de infraestructura existente.
- Usos del suelo/agua afectados por la obra.
- Potenciales actores sociales relacionados con la obra.

A partir de ellos se elaboró una lista de chequeo o checklist de los mismos en formato pregunta y se analizó su interacción con cada una de las metodologías de cruce presentadas propuestas. Para ello se partió de los aspectos más relevantes del ambiente donde se inserta el proyecto y luego se elaboraron las preguntas asociadas a los mismos que conforman la lista de chequeo, se confeccionó la lista y se completó en función de las variantes constructivas propuestas, la cual se muestra a continuación:

Aspectos socioambientales considerados	Zanjeo somero	Dragado cauce único	Dragado dos cauces	PHD isla	PHD terraplenes
¿Las tareas constructivas demandan mucho tiempo?	SI	SI	SI	NO	NO
¿Podría afectar la calidad del agua de la laguna Setúbal?	SI	SI	SI	NO	NO
¿Podría el proyecto afectar la circulación normal de agua a través de la laguna Setúbal?	SI	SI	SI	NO	NO
¿Podrían verse alteradas propiedades del suelo como compactación, erosión, estructura del lecho de la laguna?	NO	SI	SI	SI	SI
¿Podrían alterarse los ecosistemas de bosques nativos y humedales?	NO	NO	NO	SI	SI
¿Podría alterarse la fauna acuática en la zona de cruce?	SI	SI	SI	NO	SI
¿Podría alterarse la fauna que habita el lecho de la zona de cruce (bentos, microbentos, etc.)?	NO	SI	SI	SI	SI
Podría verse afectado el paisaje en la zona de cruce de la laguna y en ambos extremos del mismo?	NO	NO	NO	SI	SI
¿Podrían afectarse hallazgos o zonas arqueológicas o paleontológicas?	SI	SI	SI	NO	SI
¿Podría verse afectado el uso recreativo de las playas del sector oeste?	NO	NO	NO	NO	SI
¿Podría verse afectado el uso deportivo vinculado a deportes náuticos en la zona?	NO	NO	NO	NO	SI
¿Podría verse afectada la navegación?	NO	NO	NO	SI	SI
¿Podría verse afectada la pesca deportiva o artesanal?	NO	NO	NO	NO	NO

Conclusiones sobre metodologías constructivas

Las alternativas de cruce hasta el momento propuesto poseen ventajas y desventajas que a priori, sin contar aun con estudios de detalle y teniendo en cuenta las posibilidades de contar con sustratos aptos para cruce con PHD, hacen suponer que esta tecnología disminuye sensiblemente los tiempos constructivos y por lo tanto las interferencias con los usos sociales del área.

Por otro lado, la PHD con terraplenes involucra impactos de tipo permanente en el paisaje y actividades asociadas a la navegación y usos recreativos, debido a que la posibilidad de construcción de islas para la concreción de la obra resultando necesario evaluar su impacto en los usos sociales actuales, tanto de navegación para deportes náuticos como para paseos turísticos y pesca artesanal.

De no contarse con sustratos aptos para PHD, las alternativas de dragado se presentan como menos impactantes dentro de las cuales, y a la luz de mayores estudios de detalle deberán compararse para estar en condiciones de posicionar una u otra.

5.6. Conclusiones finales

De acuerdo a los análisis realizados desde los aspectos legales, ambientales y sociales que involucran al proyecto, y teniendo en cuenta los comentarios y trabajos de campo realizados por las partes restantes que interactúan en el mismo, se estudiaron las alternativas geográficas de traza. De este primer análisis surgió como opción más prometedora para llevar adelante la traza Centro, sobre la cual se estudiaron tres posibles variantes. Para ello se reiteró el análisis de los aspectos legales, ambientales y sociales de cada una, siendo

favorecida en este caso la variante 2 principalmente por su menor afectación a terrenos públicos y la menor longitud de cruce frente a las otras dos.

Además es importante mencionar que en relación a la información pública, cabe señalar que la avidez de información generada por el interés que despierta la obra -por su trascendencia estratégica y complejidad de ejecución- permitirá contar con importante cobertura mediática cada vez que se resuelva enviar partes de prensa o bien otorgar entrevistas. Es importante, por tanto, aprovechar cada una de estas instancias para brindar información de calidad que ofrezcan detalles técnicos, den cuenta de la sensibilidad del proyecto y dejen claro los alcances específicos de los trabajos que realizan las partes. Para ello, se recomienda preparar materiales completos -texto, audio, fotografías y cobertura audiovisual- con información concisa, declaraciones de especialistas y coordinación de entrevistas posteriores, para lo cual se prevé en la Etapa 2 concretar una propuesta de organización de la información pública bajo el concepto de transparencia activa.

En relación con la participación informada de la población, además de precisar los actores involucrados y los usos sociales de la zona de intervención, se recomienda la realización de una investigación cualitativa sobre la percepción social existente sobre el ecosistema afectado por la obra, el análisis de metodologías participativas y la definición de procedimientos de participación ciudadana, tanto para dimensionar la valoración cultural, histórica y social del lugar como del cuidado del paisaje. De esta manera, es posible diseñar instancias de participación que permitan involucrar las opiniones de la comunidad y sus diferentes actores en la toma de decisiones sobre las características de la obra y las acciones necesarias para mitigar el impacto ambiental previsto, según las recomendaciones establecidas en la normativa vigente.