ANEXO I- PARTE 1

AUDITORIA AMBIENTAL

DRAGADO DE CANAL EN BRAZO DERECHO DEL PASO LAS HERMANAS

INDICE

1. INTRODUCCIÓN 3

2. OBJETIVO Y ALCANCE 3

3. ESTUDIOS ANTECEDENTES 5

3.1 SOBRE LA MORFODINÁMICA DEL RÍO PARANÁ Y LOS AJUSTES DE LA VIA NAVEGABLE TRONCAL 5

3.1.1 Descripción general de la morfodinámica fluvial 5

3.1.2 Teoría de las Mutaciones Periódicas 6

3.1.3 Evaluación del ajuste de la Teoría de las Mutaciones Periódicas en el río Paraná 8

3.1.4 Evolución del cauce del río Paraná en el área Las Hermanas 14

3.2 SOBRE EL DRAGADO DE LA VIA NAVEGABLE TRONCAL 16

4. DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES DE DRAGADO EN LA ZONA DE LAS HERMANAS 21

5. MODELACIÓN MATEMÁTICA DE LA ZONA LAS HERMANAS 28

5.1 DESCRIPCIÓN DE LA MODELACIÓN HIDRODINÁMICA 28

5.2 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LA MODELACIÓN HIDRODINÁMICA 31

6. ANÁLISIS DE OLEAJE GENERADO POR PASO DE EMBARCACIONES Y SU ACTUACIÓN SOBRE LAS MÁRGENES 32

6.1 OBJETIVO 32

6.2 DESCRIPCIÓN Y CUANTIFICACIÓN DEL FENÓMENO 32

6.3 ESCENARIOS CONSIDERADOS 33

6.4 RESULTADOS OBTENIDOS 34

6.5 ANÁLISIS DE OLEAJE GENERADO POR VIENTOS 37

6.6 ANÁLISIS DE RESULTADOS 40

7. USOS NÁUTICOS DEL RÍO 42

8. ÁREAS DE DISPOSICIÓN Y ZONAS DE VEDA 56

9. SENSIBILIDAD DEL AMBIENTE 59

9.1 BIODIVERSIDAD 64

9.2 ÁREAS SENSIBLES Y PROTEGIDAS 66

10. CARACTERIZACIÓN DE SEDIMENTOS Y CALIDAD DE AGUA 70

10.1 Referencias Normativas 70

10.2 Calidad de Sedimentos 70

10.3 Calidad de Aguas 72

10.4 CAMPAÑA DE Muestreo diciembre 2021 73

10.4.1 Sedimentos 75

10.4.2 Agua 78

11. IMPACTOS AMBIENTALES 84

11.1 RESUMEN DE LOS ESTUDIOS 84

11.2 EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS 85

11.3 CONCLUSIONES 96

12. MEDIDAS DE MITIGACIÓN 96

13. PLAN DE MONITOREO ACTUAL Y FUTURO 98

13.1 MONITOREO DE COSTAS 99

13.2 MONITOREO DE CALIDAD DE SEDIMENTOS Y AGUAS 99

1. INTRODUCCIÓN

El presente Informe de Auditoría Ambiental se realiza con motivo del dragado de profundización ejecutado para el ajuste de traza del canal de navegación de la Vía Navegable Troncal (VNT) hacia el brazo derecho del río Paraná frente a Ramallo, como alternativa en el paso actual por el brazo izquierdo (abarcando el Paso Las Hermanas y el Paso Abajo Las Hermanas).

2. OBJETIVO Y ALCANCE

Esta Auditoría Ambiental solicitada por la Administración General de Puertos SE tiene la finalidad de generar un documento de análisis de situación que permita una estimación de los potenciales impactos ambientales asociados a causa y consecuencia de la obra de ajuste de traza de la VNT en este tramo frente a la ciudad de Ramallo.

En ese marco se realiza un análisis hidrosedimentológico y del entorno en general, a fin de determinar los aspectos del proyecto que resulten de mayor significación con respecto a estos potenciales impactos ambientales.

Para esto, se detallan las características del medio ambiente natural y antrópico que definen el área de estudio y sus vinculaciones, relacionándolos con los aspectos más relevantes del proyecto que puedan derivar en afectaciones, considerando el marco regulatorio que las afecta.

En la sección 3 se presenta una selección de los antecedentes disponibles sobre la morfodinámica del río Paraná en el tramo bajo estudio, y sobre aspectos relativos al dragado de la vía navegable y en particular sobre la alternancia de brazos principales para la navegación. Estos antecedentes se presentan con mayor detalle en los Anexos 2 a 6.

En la sección 4 se describen las obras de dragado específicamente realizadas para que el canal principal de navegación pase por el brazo derecho del río en la zona.

En la sección 5 se presenta la modelización matemática realizada para estimar los impactos hidrodinámicos de las obras, es decir, sobre las velocidades de la corriente y los niveles de agua, incluyendo un análisis de las consecuencias que sobre la morfología del río se pueden estimar a partir de los resultados obtenidos. En el Anexo 1 se presenta con mayor detalle la modelización hidrodinámica realizada.

La sección 6 presenta un análisis del oleaje generado por el paso de los buques que utilizan la VNT y también las embarcaciones deportivas o de uso recreativo. La finalidad fue evaluar los efectos que genera ese oleaje en las diferentes zonas costeras de manera de obtener datos concretos sobre potenciales impactos erosivos.

La sección 7 describe por un lado los usos náuticos que posee el río Paraná en este tramo de la VNT. Por un lado la caracterización de las actividades recreativas y turísticas de la zona, que la comunidad de Ramallo valora y procura proteger. Por otro lado se realiza una descripción de la actividad de tránsito fluvial de buques y embarcaciones de gran porte que utilizan el Sistema de Navegación Troncal del río Paraná-Océano.

La sección 8 presenta las áreas de disposición y veda habilitadas por el órgano de control de la VNT.

La sección 9 describe cual es la sensibilidad ambiental del área de estudio considerando la evolución natural del río, los factores antrópicos de las últimas décadas, la actividad de mantenimiento de la VNT y las zonas sensibles bajo criterios de valoración y protección legal.

La sección 10 presenta un análisis de los resultados de calidad de sedimentos y agua superficial, asociados al dragado del brazo derecho, en comparación con los límites establecidos por la normativa aplicable o de referencia para las obras de dragado.

Las secciones 11, 12 y 13 presentan los impactos ambientales, las medidas de mitigación el plan de monitoreo ambiental asociado al dragado del brazo derecho de la VNT, con el fin de comunicar cuales son los principales efectos, las medidas de acción para su control y el seguimiento de la actividad asociados al ajuste de traza, en comparación con la actividad de dragado del brazo izquierdo precedente.

3. ESTUDIOS ANTECEDENTES

3.1 SOBRE LA MORFODINÁMICA DEL RÍO PARANÁ Y LOS AJUSTES DE LA VIA NAVEGABLE TRONCAL

3.1.1 Descripción general de la morfodinámica fluvial

El Río Paraná es un río aluvial ya que se abre camino entre sus propios sedimentos a lo largo de una falla deprimida (llanura aluvial) que él mismo excava en sus migraciones hacia derecha e izquierda. Puede, por lo tanto, ajustar sus propiedades geométricas en lugar de permanecer sin cambios, como sería el caso de un río encerrado por un lecho rocoso. Estos ajustes pueden conducir a un estado de equilibrio cuando el cauce tiene la capacidad de transporte de sedimentos que le permite llevar exactamente la cantidad que le entrega su cuenca. El estado de desequilibrio significa que el río transporta más material que la cantidad aportada desgastando el lecho del río, o que la capacidad de transporte es menor que la necesaria depositando el excedente en el cauce del río. Una característica muy importante es su tendencia a formar meandros, que desde el punto de vista morfológico, es tan importante como su tendencia a desarrollar bancos.

La geometría, forma y dimensiones promedio de un cauce aluvial están gobernadas, en principio las características del sedimento que transporta en contacto con el fondo (y el que ha almacenado en el valle aluvial), por su pendiente de energía, y por alguna medida representativa de las magnitudes contenidas en su hidrograma (serie de caudales).

En lo referente a los aspectos texturales de los sedimentos que componen el cauce principal del río Paraná y su llanura aluvial, cabe mencionar la excepcional homogeneidad granulométrica y mineralógica de las arenas del cauce principal. Además, es posible en lo referente a la planicie aluvial, diferenciar dos tipos de secuencias litológicas en subsuperficie, que coinciden con las áreas modeladas directamente por el cauce principal en tiempos históricos, y con aquellas donde la dinámica predominante ha sido la de inundación, en las áreas insulares o marginales del cauce dentro del valle aluvial. En las primeras los sondeos han atravesado sedimentos arenosos con características sedimentológicas idénticas a las referidas para el material del lecho, mientras que, en las segundas, los sedimentos granulares yacen debajo de un manto limo-arcilloso, por lo común de 4 a 10 m de espesor (Paoli, C. Schreider, M., 2000)[1].

El río recibe un gran aporte de sedimentos finos provenientes de la cuenca del Río Bermejo, Paraguay, Alto Paraná y otros afluentes. Longitudinalmente transporta dos tipos distintos de material sólido: sedimento fino (limo y arcilla) en suspensión, proveniente de la alta cuenca, que es transportado prácticamente sin deposición, salvo en zonas de aguas algo estancadas (ensenadas, accesos a puertos), y sedimento grueso (arenas), que constituye el lecho y se moviliza fácilmente como carga de fondo (por rodamiento o saltación) y como carga en suspensión (por la acción de la turbulencia). Estos procesos de transporte se desarrollan con una dinámica prácticamente de equilibrio local.

Los procesos de evolución morfológica del río (variaciones generales en la configuración en planta) pueden producir cambios más significativos que los derivados de los transitorios desbalances de la capacidad de transporte a lo largo del mismo, que se producen durante la ocurrencia de crecidas y estiajes. Sin embargo, las crecidas extraordinarias, al poseer una elevada capacidad erosiva de las márgenes y provocar desbalances de transporte más intensos entre los tramos de cauce único y de dos cauces, son el principal motor de los cambios morfológicos de importancia en el cauce principal.

[1] Paoli, C. Schreider, M. (2000). El río Paraná en su tramo medio. Centro de Publicaciones Universidad Nacional del Litoral.

Una vista en planta del río Paraná puede describirse como una sucesión de tramos ensanchados separados por otros más estrechos y cortos que, además, son más profundos. Los elementos geomorfológicos característicos de los sectores anchos son las islas y los bancos de arena, estos últimos libres de vegetación y, en su gran mayoría, sumergidos para los niveles de aguas medias. Tradicionalmente en los antecedentes (Drago, 1988)[2] se ha considerado que el río con sus bancos e islas conforman un patrón de cauce entrelazado.

Sin embargo, a diferencia de un río entrelazado típico, en el que la diversificación del flujo entre (y sobre) los bancos delinean un escurrimiento variable a través de canales efímeros, de similar jerarquía, el Paraná posee un thalweg bien definido en cualquiera de sus secciones transversales, donde llega a concentrarse más del 50 % del caudal líquido circulante. El thalweg más que una línea es una faja de máximas profundidades y normalmente está ubicada entre 4 y 10 m por debajo de las profundidades más frecuentes en los ensanchamientos, y a más de 15 m en los estrechamientos. Dicha faja del thalweg puede concebirse como un escurrimiento concentrado, fluyendo dentro de los límites de otro más amplio, correspondiente al cauce principal mismo.

Finalmente, la sinuosidad del thalweg visto en planta, su modo de deriva lateral continua, y sus rectificaciones, sirvieron de base para que distintos autores propongan el patrón entrelazado de thalweg meandriforme como el patrón que mejor describe la morfología real y la suma de procesos de erosión/sedimentación medidos en el río (Paoli, C. Schreider, M., 2000).

En el tramo bajo estudio, el Río Paraná no es totalmente un río aluvial libre, sino que está gobernado por la barranca de la margen occidental que presenta una ribera resistente a la erosión. Además, presenta un cauce ancho y relativamente poco profundo, que se caracteriza por la presencia de islotes.

Esta barranca formada por material poco erosionable, de acuerdo con estudios de la antigua Dirección de Construcciones Portuarias y Vías Navegables (D.N.C.P. y V.N.) publicados por Parody y Estruco (1975),[3] actúa como pantalla reflectante modificando en cierto grado las leyes clásicas conocidas de la mecánica fluvial en ríos de fondo móvil. Dichos autores a través de numerosas observaciones en diversos tramos del río Paraná, enunciaron la teoría de las Mutaciones Periódicas, y explicaron, en el caso particular del río Paraná inferior, el origen de los canales, de las zonas de profundidades permanentes y críticas, así como la formación de bancos, sacos, etc.

Dado que el tramo de estudio se haya localizado en el área de aplicación de esta teoría, resulta de interés conocer sus fundamentos, principalmente porque aun cuando puedan no ser precisos, reflejan una característica típica del funcionamiento morfológico del tramo, que se repiten en el tiempo forzando la realización de modificaciones de la Vía Navegable Troncal. La teoría se basa fundamentalmente en las consideraciones que se enuncian a continuación.

3.1.2 Teoría de las Mutaciones Periódicas

El río se define por un doble curso caracterizado por dos brazos importantes, uno sobre la barranca o derecho y el otro sobre la margen aluvial o izquierdo, que se alejan y se acercan entre sí hasta confundirse en uno solo en forma repetida y según un ritmo determinado. De ambos brazos uno siempre es principal y otro secundario. Pero esta condición es temporal y alternada, por cuanto este fenómeno es cíclico, ya que al máximo desarrollo de un brazo corresponde la atrofia del otro como canal navegable. Cuando se produce la atrofia, el brazo adquiere una forma característica llamada "saco" que se manifiesta como una zona alargada relativamente profunda y cerrada hacia aguas arriba.

[2] Drago, E.C. y Amsler, M.L. (1988). “Suspended sediment at a cross section of the Middle Paraná River: concentration, granulometry and influence of the main tributaries”, Sediment Budgets, IAHS Publ. No. 174, pp. 381-396.

[3] Parody y Estruco (1975) “Racionalización del Dragado del Río Paraná – Teoría de las mutaciones periódicas”, IV Reunión General de la Asociación Latinoamericana de Dragado, Rosario.

Un brazo principal izquierdo se genera por la traslación del que fuera brazo principal derecho, correspondiente al mismo tramo; éste va ampliando gradualmente su trayectoria con radios cada vez más pequeños, hasta que se produce su atrofia como canal navegable. La dirección de estos desplazamientos es normal al brazo costero de origen. Cuando se produce la atrofia de éste, aparece la tendencia del brazo derecho a crecer, lo cual se produce en el nacimiento de este último y en dirección hacia el nodo inferior. En la Figura 1 se presenta un esquema con la variación típica de la morfología de los brazos del río en la zona.

Simultáneamente con el desarrollo de un brazo izquierdo la zona de embancamiento central presenta un crecimiento en el extremo aguas abajo y en una etapa posterior afloran como verdaderas islas. La zona de los nodos puede considerarse estable presentando en forma permanente buenas profundidades.

Cuando en un tramo el brazo principal es el derecho, en el tramo inferior suele ser el izquierdo; la ruta de navegación pasa así alternativamente de uno a otro de manera que en general en dos tramos consecutivos no se establece por dos brazos del lado oriental (planicie) o por dos brazos del lado occidental (adyacentes a la costa firme). La mayor sección y menor velocidad del brazo oriental se compensan con la menor sección y mayor velocidad del brazo costero de manera que los caudales se mantienen.

En un brazo derecho que evoluciona de su condición secundaria a principal se desarrollan velocidades cada vez mayores que se traducen en fuerzas también en paulatino aumento, orientadas directamente hacia el nodo inferior, donde se encuentran con la barranca, la cual actuando como una pantalla, las proyecta según un determinado ángulo de reflexión que es el origen del brazo izquierdo del tramo inferior.

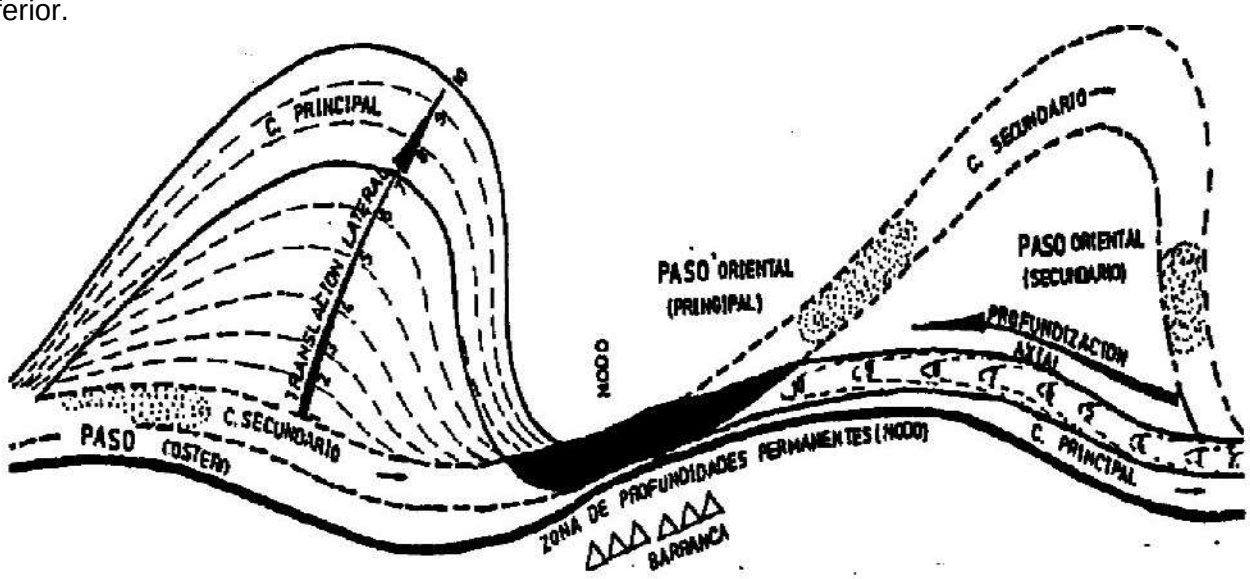


Figura 1 Esquema de la variación típica de la morfología de los brazos del río en la zona.

Como se ha mencionado anteriormente, en los tramos donde existen bifurcaciones del cauce principal se aprecia la presencia de procesos de erosión de las márgenes de la planicie aluvial, que acompañan al avance hacia aguas abajo, crecimiento y fijación de las islas intermedias, así como una alternancia periódica de las profundidades máximas presentes en ambos brazos del río.

Figura 2. Cabecera Isla Las Hermanas.

Figura 3. Procesos erosivos en costa Isla Las Hermanas.

Esta Teoría se presenta con mayor detalle en el Anexo 2.

3.1.3 Evaluación del ajuste de la Teoría de las Mutaciones Periódicas en el río Paraná

En la Figura 4, se puede observar la evolución de los brazos del Paraná en la zona de Paso Borghi ubicada aguas arriba de la ciudad de Rosario de acuerdo con estimaciones del caudal pasante realizadas utilizando el método del Predictor de Engelund (Engelund, F., 1967)[4]. El último punto del gráfico (año 1993) no se estimó sino que surge del aforo ejecutado mediante el procesamiento de corridas de flotadores por Serman & Asociados S.A., en el marco de los estudios realizados para la Concesión del Dragado y Balizamiento de la Vía Navegable Troncal (Serman & asociados, 1993)[5].

Claramente se advierte la tendencia al cegamiento del cauce izquierdo y la apertura del derecho. No obstante, la aparente aceleración del fenómeno que se observa en el gráfico para el período 89-93 puede deberse únicamente a una diferencia en la metodología de estimación del caudal en cada brazo.

[4] Engelund, F. (1967). Closure to “Hydraulic Resistance of Alluvial Streams”. Journal of the Hydraulics Division. ASCE, Vol. 93, No. HY4. Pp. 287-296.

[5] Serman & Asociados S.A. (1993): Estudios Técnicos Hidrosedimentológicos y Diseño de la Vía Navegable, Informe Final, Licitación Pública Nacional e Internacional por el Régimen de Concesión de Obra Pública por Peaje, para la Modernización, Ampliación, Operación y Mantenimiento del Sistema de Señalización y Tareas de Redragado y Mantenimiento de la Vía Navegable Troncal, comprendida entre el kilómetro 584 del Río Paraná, Tramo Exterior de Acceso al Puerto de Santa Fe y la Zona de Aguas Profundas Naturales en el Río de la Plata Exterior hasta la altura del kilómetro 205,3 del Canal Punta Indio, por el Canal Emilio Mitre, 1993, DYOPSA – PENTAMAR –GLASA.”

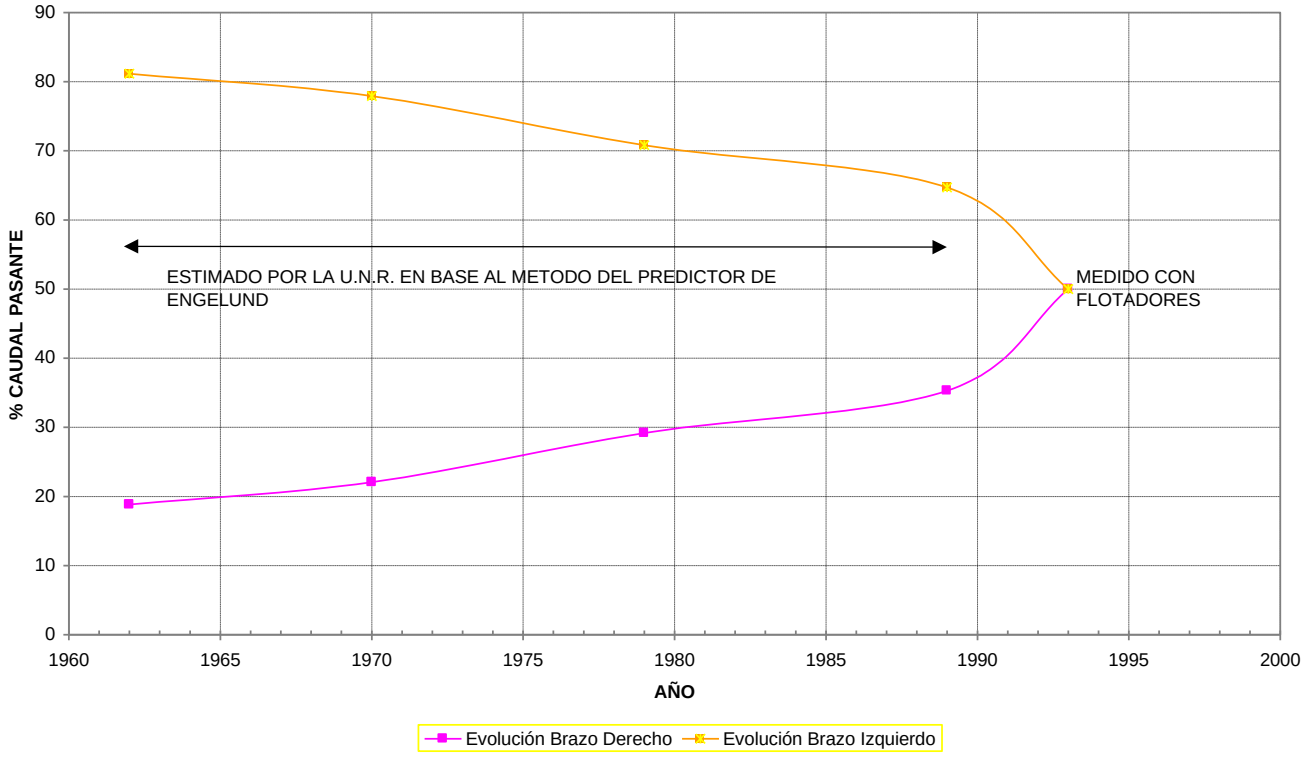


Figura 4 Evolución temporal de los brazos del Río Paraná en la zona de Paso Borghi. Distribución de caudales en cada brazo aguas arriba de la traza de la conexión vial

En el Estudio de la Distribución de las Luces de los Puentes en la Planicie Inundable – Conexión Física Rosario Victoria, realizado por Serman & Asociados S.A. para Puentes del Litoral S.A[6]. se determinó que finalmente en 1999 el Brazo principal era definitivamente el Brazo derecho, por lo cual, previo a la determinación de la posición del puente principal, la D.N.C.P. y V.N. decidió el dragado del canal de navegación por este brazo, donde se mantiene desde entonces. En este estudio se pudo comprobar que la teoría desarrollada por Parody y Estruco logra una buena aproximación con respecto al comportamiento del río.

La Figura 5 ilustra la evolución de los anchos de cauce para los Brazos Derecho e Izquierdo, desde principios del siglo pasado cuando únicamente existía un cauce hasta el desarrollo y posterior involución del Brazo Izquierdo.

[6] Serman & Asociados S.A. (1998): Conexión Física Rosario-Victoria- Convenio Gobierno Nacional – Provincias de Santa Fe y Entre Rios- Ministerio de Economía y Obras y Servicios Públicos de La Nación -Puentes Del Litoral S.A.: Estudio del Régimen Hidráulico del Río Paraná entre Diamante y Villa Constitución: Modelacion Hidrodinamica Unidimensional de Redes. G-G-ME-211

Serman & Asociados S.A. (1999) Estudio de la Distribucion y las Luces de los Puentes en la Planicie Inundable – Conexión Física Rosario Victoria. GG-ME-212

Serman & Asociados S.A. (2000) Estudio hidraulico del puente Principal y viaducto Este: modelacion matematica bidimensional. G-G-ME-201

Serman & Asociados S.A. (1998): Conexión Física Rosario-Victoria- Convenio Gobierno Nacional – Provincias de Santa Fe y Entre Rios- Ministerio de Economía y Obras y Servicios Públicos de la Nación -Puentes Del Litoral S.A.: Análisis de Condiciones Sedimentológicas en el entorno de la Conexión Vial

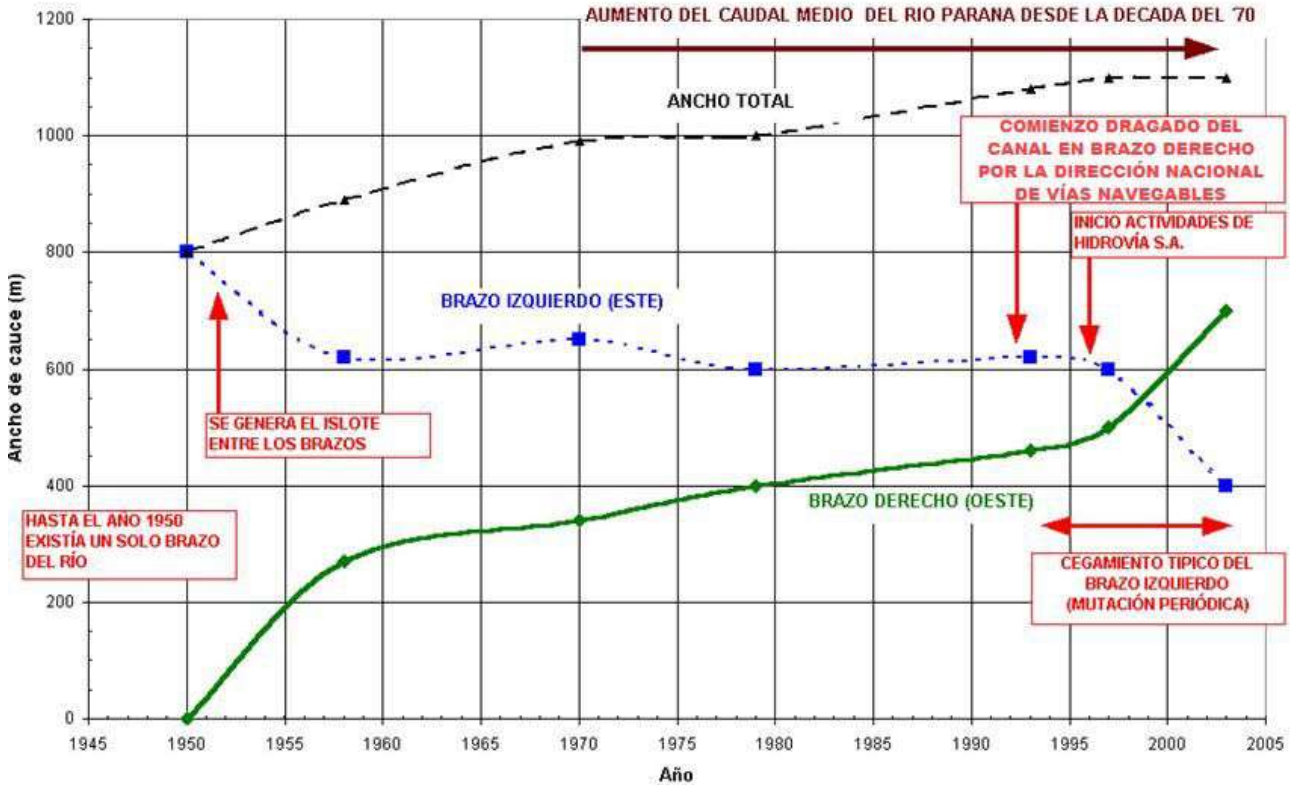


Figura 5 Brazos del río Paraná alrededor del islote La Carlota (aguas arriba de isla de La Invernada). Evolución del ancho de cauce entre líneas de 5 m de profundidad al cero local

En el Anexo 3 se presenta una descripción de la morfología del río Paraná (Universidad Nacional de Rosario,1988)[7] caracterizándolo como un río trenzado.

En el Anexo 4 se presenta un detallado análisis histórico del tramo entre los km 410 y 440 del río incluyendo el Paso Borghi y la zona del Canal de los Muelles frente a la ciudad de Rosario, elaborado también por la Universidad de Rosario, el cual muestra las profundas variaciones de la morfología en planta ocurridas a partir de 1899 durante prácticamente un siglo, en un tramo ubicado aguas arriba del que nos ocupa.

En el Anexo 5 se presentan las conclusiones del “Informe de Diagnóstico sobre Navegación en la Ruta Rosario – Océano”, elaborado por el Instituto Nacional de Ciencia y Técnica Hídricas, Laboratorio de Hidráulica Aplicada, Informe LHA 114-01-91, mayo 1991.

Como podrá apreciarse de su lectura, en todos los pasos críticos se producen los mismos fenómenos de evolución de los brazos del río, que caracterizan la evolución del tramo bajo estudio. Una excepción es el Paso Alvear, donde el cauce no se bifurca en dos brazos definidos sino que se divide en tres “cauces” separados por bancos de menor importancia, alternándose el canal navegable entre cada uno de ellos.

[7] Universidad Nacional de Rosario (1988). Departamento de Hidráulica e Ingeniería Sanitaria de la Facultad de Ciencias Exactas e Ingeniería. Estudio del tramo Km 410-440 de la ruta de navegación del Río Paraná. Informe de Avance Nº 4.

Cabe destacar lo indicado para el Paso Las Hermanas km 323-320: *"**A principios de siglo la navegación se efectuaba tanto por el brazo izquierdo como por el derecho, puesto que ambos presentaban profundidades similares. A partir de 1922 la ruta se estableció por el brazo izquierdo. En 1950 se cambió al brazo derecho, situación que se mantuvo hasta 1989. Los volúmenes crecientes que se necesitaban dragar para mantener la ruta sobre el brazo derecho motivaron un estudio, contratado por la D.N.C.P. y V.N. al I.N.C.Y.T.H. (1988[8]). Los resultados de este estudio y de análisis efectuados por la D.N.C.P. y V.N. revelaron la conveniencia de trasladar nuevamente la ruta hacia el brazo izquierdo...".***

Otro ejemplo de evolución de un paso crítico con alternancias naturales obligadas de la ruta de navegación es el del Paso Bella Vista, para el cual fue evaluada la posibilidad de modificar la traza desde el brazo izquierdo al derecho (Serman & asociados, 2008)[9]. Los detalles de la evaluación se presentan en el Anexo 6, donde se ilustra que a partir de 1955, la línea de costa oriental tiene retrocesos paulatinos a consecuencia del desarrollo del brazo del río que erosiona y desaloja el relleno aluvial, depositándolo en la zona interna del desarrollo del arco, aumentando la importancia del banco formado producto de este proceso.

La Figura 6 que presenta la evolución histórica de las Rutas de Navegación, manifiesta la existencia de dos ciclos: el primero utilizando como ejes principales el brazo izquierdo en la zona de bifurcación y el segundo con la consolidación del brazo derecho como eje principal en la zona de bifurcación. También se evidencia el desarrollo que tiene el arco hacia el brazo izquierdo y la formación cada vez más prolongada del brazo oriental (izquierdo), describiendo trayectorias cada vez más largas. Simultáneamente se verifica el desplazamiento de la orilla izquierda permitiendo el ensanchamiento del río en la zona.

[8] I.N.C.Y.T.H. – Laboratorio de Hidráulica Aplicada (1988): "Estudio del Paso Las Hermanas", Informe Final.

[9] Serman & Asociados S.A. - HIDROVIA S.A. (2008). Estudio del Paso Bella Vista.

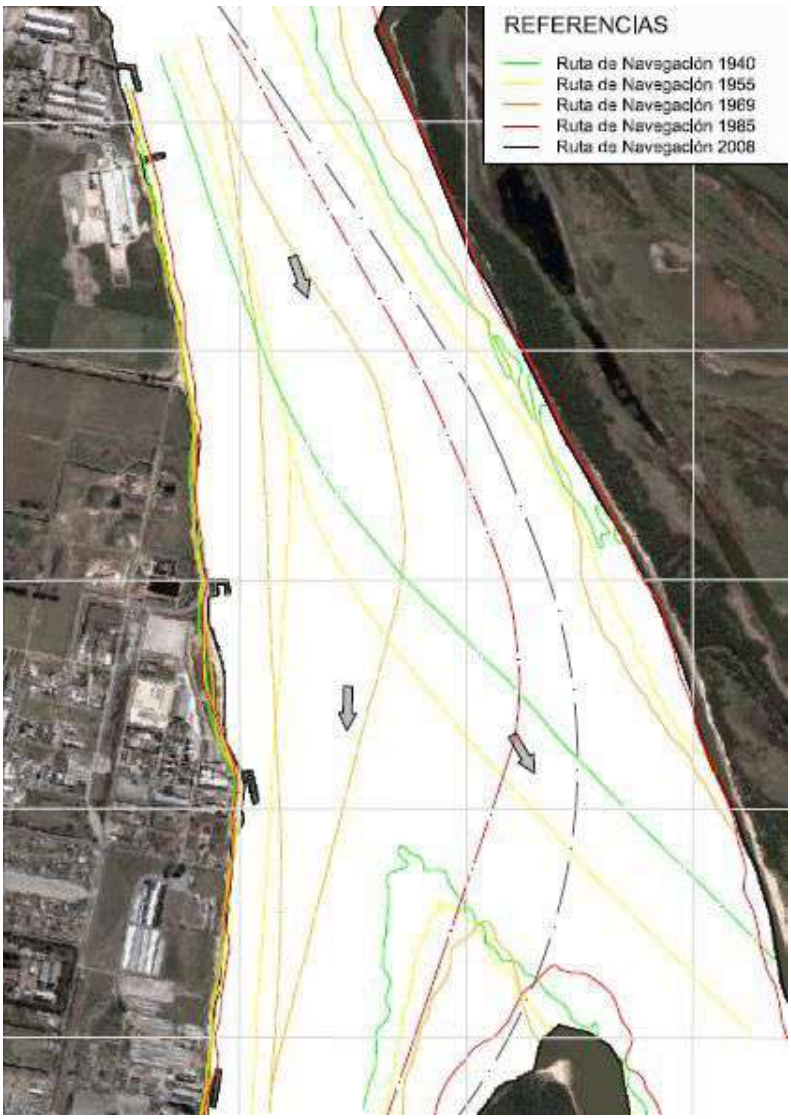


Figura 6 Evolución de las rutas de Navegación durante el periodo 1940-2008.

Otro estudio de interés es el realizado en la zona de empalme entre el río Paraná y el río Coronda (Serman & Asociados, 2008)[10]. En esta zona, el río Coronda ha "capturado" al río Paraná, y las conclusiones del estudio han sido las siguientes:

De acuerdo con los análisis realizados, se puede concluir que la sección del brazo derecho del río Paraná (en realidad el antiguo cauce del río Coronda) en la zona de estudio, ha ido evolucionando en las últimas 4 décadas con un incremento continuo del área de conducción, que se traduce en un notorio aumento de las profundidades medias (en un orden de magnitud típico de 5 a 7 metros según el sector).

Esta evolución en profundidad se ha compensado en parte en la sección frente a la Central Termoeléctrica, con una suave tendencia al ensanchamiento del brazo, que en ese lugar (correspondiente al paso crítico para la navegación), posee el mayor ancho de todo el tramo.

[10] Serman & Asociados S.A. (2008): "Estudio Morfológico, de Erosión y Sedimentación, Termoeléctrica José de San Martín".

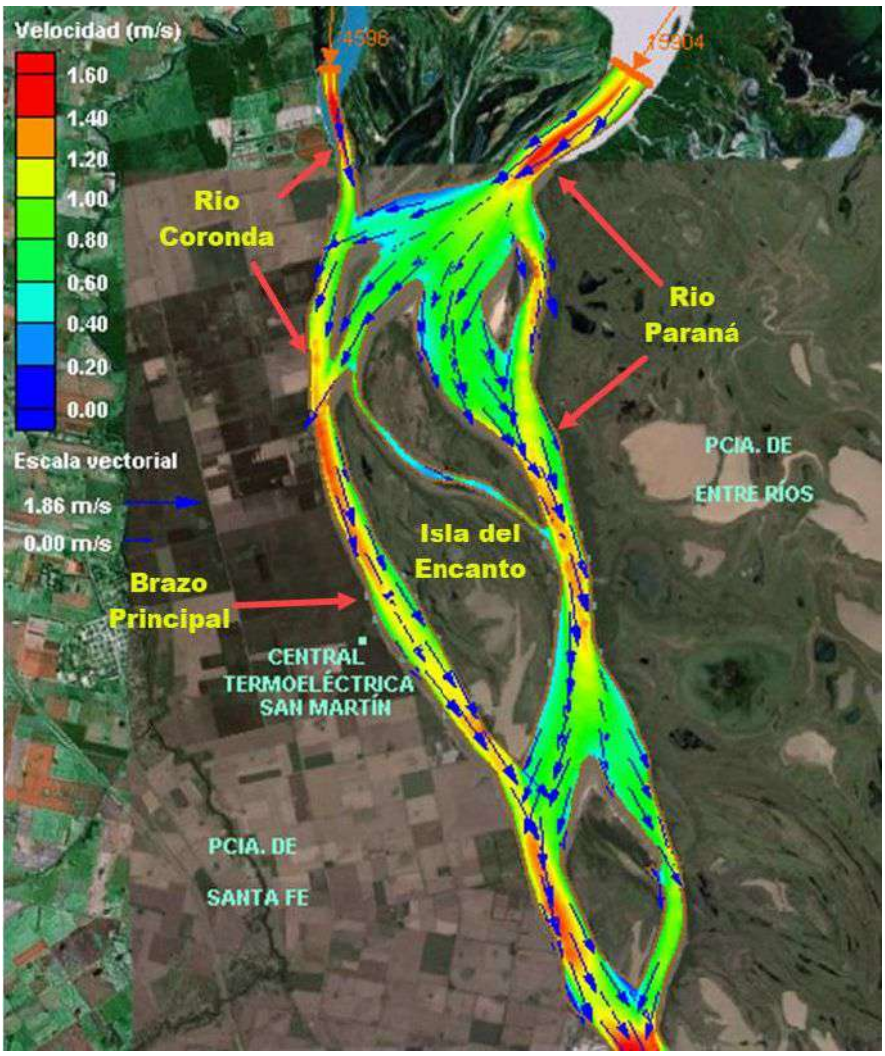


Figura 7 Modelación hidrodinámica del área donde el río Paraná ingresa en el río Coronda.

La evolución futura de la sección será muy dependiente de la partición del ingreso del flujo del cauce principal del Río Paraná que se produce aguas arriba de la Isla del Encanto, zona que ha venido sufriendo cambios en su morfología en las últimas décadas, aunque los mismos no han sido tan significativos como ocurre en otros tramos del mismo río, estimándose que no sufriría modificaciones drásticas a mediano plazo.

No obstante, se puede considerar que si se mantuviera la tendencia de incremento de captación de caudal por parte del brazo derecho, típica del proceso de “Mutaciones Periódicas”, su sección continuaría profundizándose y ensanchándose, manteniendo en principio sus características de uniformidad. Ello ocurrirá hasta que un típico proceso de inestabilidad de la sección comience a generar un banco en el seno de esta, provocando cambios morfológicos más acentuados como migraciones del thalweg o generación de una isla central.

3.1.4 Evolución del cauce del río Paraná en el área Las Hermanas

En el Estudio para la Optimización del Dragado en los pasos críticos del Río Paraná. Paso Las Hermanas – Informe Final (Serman & asociados, 1999; HIDROVIA S.A. 2000)[11][12], se realizó un análisis de la evolución de la línea de margen en Paso Las Hermanas utilizando fotografías aéreas de 4 períodos diferentes. Las fotografías aéreas utilizadas pertenecen a las fechas año 1956 en escala 1:45.000 (I.G.M.), 21 de octubre de 1968 en escala 1:20.000 (S.H.N.), 23 de mayo de 1991 en escala 1:40.000 (S.H.N.) y mayo de 1998 en escala 1:100.000 (F.A.). Para realizar el análisis comparativo de las fotografías se tuvieron en cuenta además las condiciones hidrológicas de las fechas respectivas en que se sacaron las fotografías.

En la Figura 8 se muestra la foto de 1956 como base y las líneas de margen de las fotografías aéreas de las fechas mencionadas anteriormente en diferentes colores para de esa manera poder comprobar la evolución de las márgenes en el tiempo. Se puede apreciar que las márgenes del río e islas en el paso no han sufrido una evolución importante desde el año 1956 a la fecha, con excepción de la isla denominada Martín García II, cuyo extremo aguas arriba ha sufrido un retroceso notorio. El resto de la morfología en planta del área se mantiene sin grandes cambios, presentándose algunas traslaciones leves hacia aguas abajo de la isla de Las Hermanas y una aparente fluctuación de su margen hacia el brazo derecho.

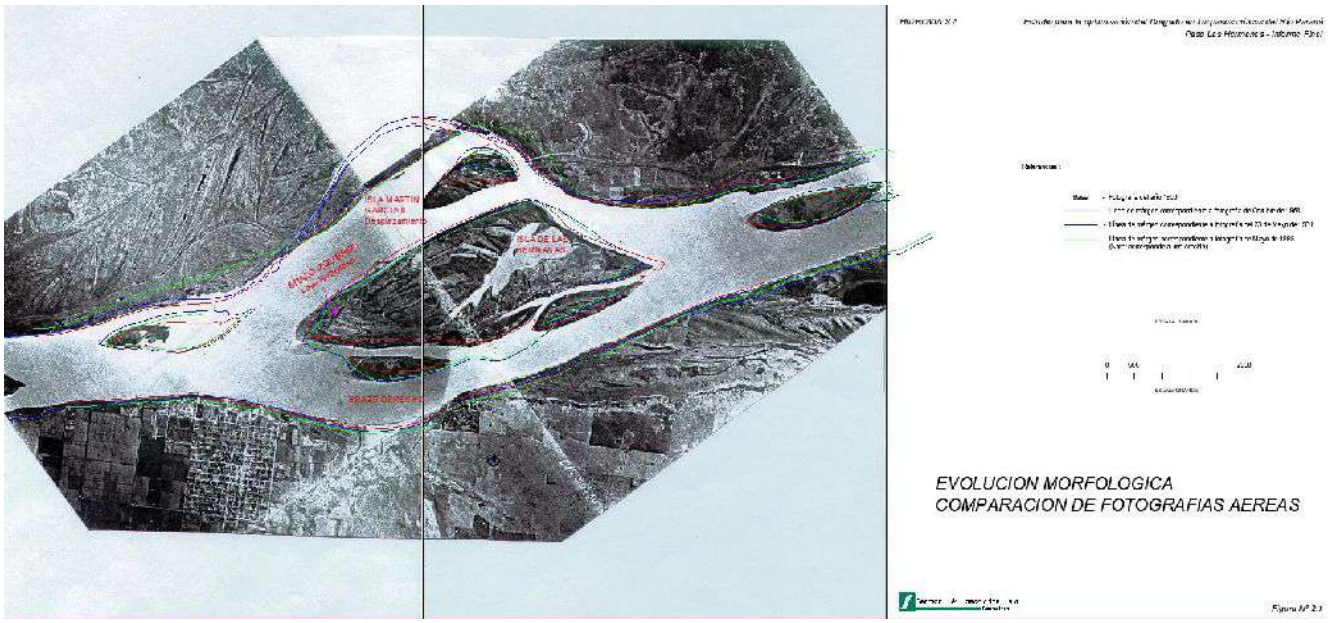


Figura 8 Evolución de la zona Las Hermanas entre 1956 y 1998.

La zona profunda existente entre la isla Martín García II y la planicie se mantiene aproximadamente estable, existiendo algunas fluctuaciones aparentes de la margen en la imagen de 1998 que pueden deberse a que el nivel de agua era más elevado.

Se concluyó que en líneas generales la morfología en planta del área resulta poco variable en el tiempo, por lo que los procesos sedimentológicos en el cauce no han logrado alterarla significativamente.

[11] Serman & Asociados S.A - HIDROVIA S.A (1997, 1999): Estudio para la Optimización del Dragado en los Pasos Críticos del Río Paraná.

[12] Estudio Sedimentológico en la vía navegable SFO pasos críticos del río Paraná, Abajo Diamante y las Hermanas. Hidrovía SA. 2000

Modelación Hidrodinámica y sedimentológica en la vía navegable SFO. Parte 1 Pasos críticos del Río Paraná, Abajo Diamante y las Hermanas. Hidrovía SA. 2000.

Mediante modelación matemática se determinó que los tramos de aguas arriba de los canales alternativos por el brazo izquierdo y derecho se sedimentan principalmente por la expansión del flujo y decrecimiento de la velocidad de la corriente debido a la bifurcación generada por la Isla Las Hermanas. La sedimentación en estos tramos de ambos brazos era comparable en el momento de realización del estudio (año 1999).

Los tramos de aguas abajo se sedimentan principalmente por la expansión y oblicuidad del flujo respecto de la traza del canal. En el caso de la Alternativa analizada por el brazo derecho, este hecho se agrava por la existencia de un banco adyacente a la costa firme, que en parte es atravesado por el canal, antes de curvarse para seguir por el cauce profundo que existe luego de la confluencia de ambos brazos. Además, la expansión del flujo y la pérdida de capacidad de transporte entre la zona media del brazo (cuya sección está muy contraída y posee altas velocidades) y el tramo inferior del paso es muy abrupta, por lo cual se produce un pico de sedimentación en este sector.

Posteriormente, se realizó una actualización de la evolución entre los años 1968 y 2005 (Serman & Asociados – HIDROVIA S.A., 2005)[13],[14], la cual se ilustra en la Figura 9. Se puede apreciar el desplazamiento de las líneas a costa especialmente en la zona de la Isla Martín García II, la cual aumenta la curvatura del flujo.

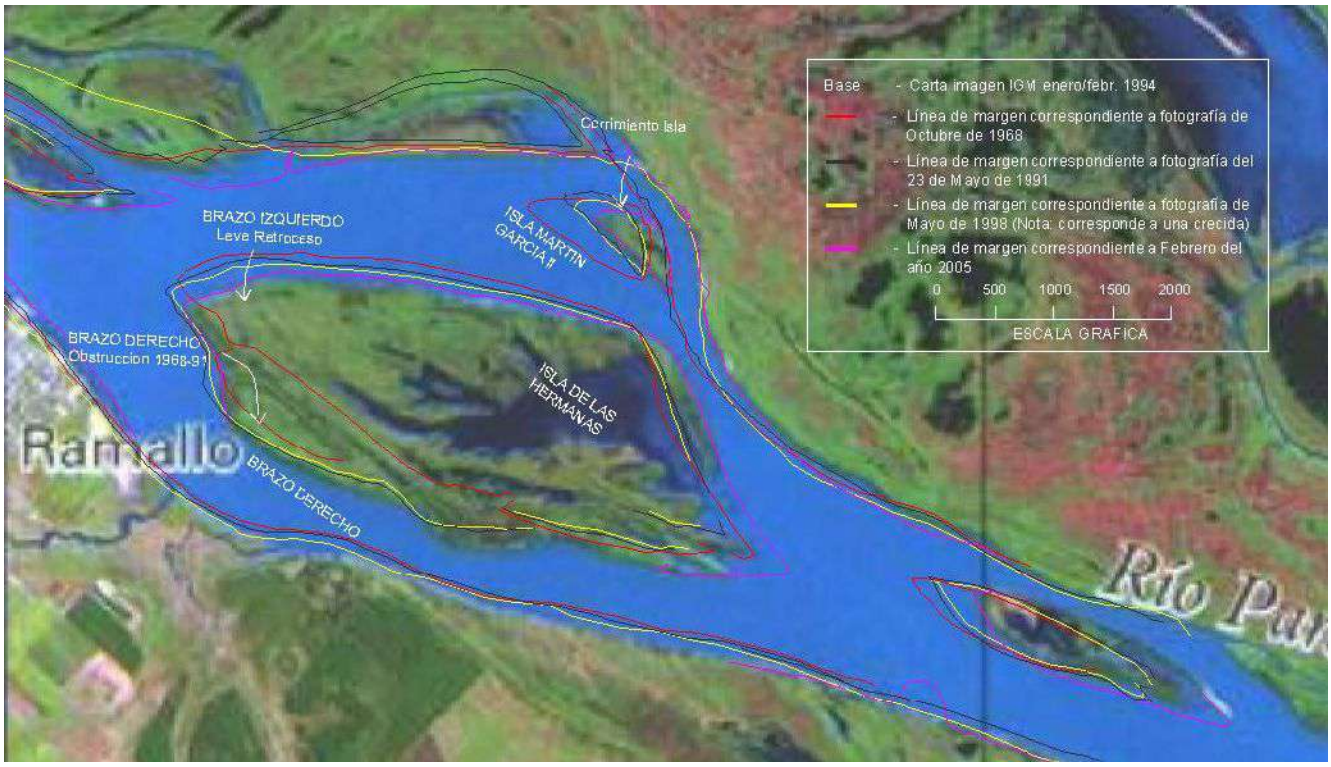


Figura 9 Evolución de la zona Las Hermanas entre 1968 y 2005.

[13] Serman & Asociados S.A.-HIDROVIA S.A. (2005): “Estudio de sedimentación de pasos críticos en los ríos Paraná Medio y Paraná Inferior”.

[14] Estudios sedimentación de pasos críticos en los ríos Paraná medio y Paraná inferior. Texto Principal y Anexos 1 a 6. Hidrovía SA. 2005.

3.2 SOBRE EL DRAGADO DE LA VIA NAVEGABLE TRONCAL

El dragado de mantenimiento de la Vía Navegable Troncal para garantizar que las embarcaciones puedan navegar con el calado de diseño permitido es una actividad esencial que permite realizar el transporte de mercaderías en forma eficiente y segura.

El calado navegable de la Vía Navegable Troncal se ha ido incrementando paulatinamente, permitiendo un mayor aprovechamiento de bodega, lo cual reduce la cantidad de viajes de buques necesario para transportar el mismo volumen de producto, disminuyendo el impacto ambiental que los mismos causan, y además reduce los costos por unidad de mercadería transportada. Cada incremento de calado implicó que los canales de navegación debieron ser dragados inicialmente y luego mantenidos a una mayor profundidad con respecto a un nivel denominado “plano de referencia”, definido en cada tramo.

En el río Paraná estos dragados se realizan únicamente en los sitios donde la profundidad natural es menor a la de diseño, denominados “Pasos Críticos para la Navegación”. Estos sitios en general se encuentran en zonas con ensanchamientos del cauce, bifurcaciones generando brazos alrededor de islas, o sectores en los cuales la zona naturalmente más profunda (el thalweg) se cruza de un lado a otro del cauce.

El dragado que se realiza en el río Paraná consiste en la movilización de sedimentos arenosos, trasladándolos de un sitio con bajas profundidades a otro donde la profundidad es mayor que la necesaria para la navegación, desde donde el flujo de agua lo moviliza reintroduciéndolos en el transporte fluvial. Por lo tanto el dragado no altera el balance sedimentológico global del río, al no extraer los sedimentos fuera del sistema, aunque genera una perturbación local del lecho, tanto en el canal que se draga como en el sector de depósito, que el río tiende a compensar en un lapso de meses, colmatando el canal con sedimentos, y erosionando el depósito efectuado.

Este comportamiento tiene varias consecuencias:

- Implica la necesidad de efectuar dragados periódicos de recuperación de profundidades en el canal (mantenimiento).
- Permite seguir reutilizando sin mayores restricciones las áreas de depósito del material, puesto que si están bien elegidas en zonas profundas con altas velocidades, no pierden su profundidad en forma permanente.
- Se minimiza el impacto ambiental dado que el sedimento se mantiene dentro del sistema fluvial.

El dragado de mantenimiento necesario suele ser muy variable según las condiciones hidrológicas del río (el caudal de agua), normalmente se reduce durante los estiajes (al disminuir la velocidad baja la capacidad de transporte de sedimentos) y se incrementa luego de las crecidas, ya que cuando el nivel de agua empieza a descender, se deben recuperar las profundidades náuticas en un lapso muy corto en todo el tramo navegable.

Sin embargo, dentro de esa variabilidad se puede reconocer una relación de proporcionalidad entre el volumen de dragado de mantenimiento necesario y la profundidad náutica a mantener.

Por otro lado, para una dada profundidad náutica de diseño, el dragado en cada paso crítico depende de la morfología del cauce por donde pasa el canal. En general, en las expansiones fuertes del ancho del cauce y en las zonas donde las velocidades de la corriente cruzan el canal con un ángulo importante se producen las mayores tasas de sedimentación. Pero también es habitual que la evolución morfológica del cauce genere bancos con bajas velocidades adyacentes al canal, que presionan sobre el mismo generando una intensa sedimentación lateral, con lo cual el volumen a dragar se incrementa.

Las condiciones del Contrato de dragado de mantenimiento especifican para esas situaciones el dragador debe ajustar la traza del canal desplazándola de forma tal que se aleje de la zona conflictiva, siempre que la curvatura de la Vía Navegable siga las reglas del arte que permitan una navegación segura. De esta manera, se logra reducir la necesidad de dragado, y por lo tanto, cualquier impacto ambiental que el dragado pueda causar se minimiza, siendo en consecuencia esta práctica una adecuada medida de mitigación.

Como se ha demostrado en la sección sobre morfología fluvial, en el tramo del río Paraná Inferior desde su conexión con el río Coronda, que incluye la zona de Las Hermanas, existe un mecanismo morfológico totalmente natural, que hace ya medio siglo ha sido caracterizado por la ex D.N.C.P.yV.N. como “Mutaciones Periódicas”, que hace que el brazo principal del río, en el cual se encuentran las mayores profundidades, vaya cambiando de un lado a otro, y que incluso en algunos sectores el brazo más oriental (izquierdo) llega a desaparecer, para luego volver a generarse una bifurcación a partir del crecimiento de una isla en el brazo más occidental (derecho).

Este mecanismo resulta menos evidente cuando se observa la evolución en planta de las márgenes de la zona donde se encuentra el Paso Las Hermanas, dado que su modificación es más lenta que en otros tramos del río. Por tal motivo, un observador no adecuadamente informado, puede creer que el cauce del río es prácticamente estático. Sin embargo, el mecanismo de alternancia del brazo principal existe también en la zona de Las Hermanas, pero se manifiesta más a nivel de las profundidades del lecho, las cuales no se pueden percibir a menos que se realice un relevamiento “batimétrico” con ecosonda que permita determinarlas.

En general, en todas las bifurcaciones importantes del río, se define un canal principal, que es el que se mantiene, y un canal secundario, el cual en general no se mantiene por lo cual sus profundidades son las naturales, y es utilizado por las barcazas y los buques de menor calado, en caso de que su alineación sea más favorable que la del canal principal. Esto ocurre en la zona de Las Hermanas, donde el canal secundario por el brazo occidental (derecho) estaba habilitado por la Prefectura Naval Argentina, señalizado mediante boyas, y era utilizado por esas embarcaciones, tal como se menciona en el punto donde se presenta la densidad de tráfico.

Una vez que el río Paraná en su evolución natural establece que el brazo principal (con mayores profundidades naturales) comienza a modificarse según la alternancia antes mencionada, es poco lo que se puede realizar para modificar esa situación. La consecuencia suele ser un incremento en las necesidades de dragado de mantenimiento en el brazo que comienza a perder profundidad, en especial durante las crecidas, y en muchos casos mayores dificultades para la navegación, debido al aumento de la curvatura del canal y/o la presencia de bancos de baja profundidad muy cerca de éste, los cuales generan un mayor riesgo de varaduras.

Normalmente, se llega un punto en el cual resulta conveniente que el ajuste de traza del canal para reducir la necesidad de dragado no sea solamente realizar un desplazamiento lateral de ésta dentro del brazo principal que está siendo afectado por el proceso, sino que se requiere refuncionalizar el otro brazo profundizando la traza del canal secundario. Con ello, a pesar de que se requiere normalmente realizar el dragado de un volumen significativo en primer lugar, luego ello se compensa por la disminución de los volúmenes de dragado de mantenimiento posteriores, de tal forma que normalmente en pocos años se “amortiza” el dragado inicial, con lo cual a partir de ese momento se logra una disminución neta de los volúmenes de sedimento movilizados, con su correlato de menores impactos de la actividad.

Es así como de acuerdo con los estudios del Laboratorio de Hidráulica Aplicada (LHA) del ex INCYTH (actualmente denominado Instituto Nacional del Agua – INA) citados en la sección de morfología fluvial, históricamente se han producido los siguientes cambios de la ruta de navegación en el tramo:

- Hasta 1922 la navegación se efectuaba tanto por el brazo izquierdo como por el derecho.
- Desde 1922 a 1949 la ruta principal se estableció por el brazo izquierdo (27 años).
- Desde 1950 a 1988 la ruta principal se estableció por el brazo derecho (39 años).
- Desde 1989 hasta 2021 la ruta principal se estableció por el brazo izquierdo (33 años).

Cabe mencionar que los estudios realizados en el año 2000 (Serman & asociados, 2000) indicaron que el brazo derecho aún no estaba "maduro" para que el canal que pasa por el mismo fuese el principal, estimando que faltarían de 5 a 10 años para ello, mientras que los estudios realizados en el año 2010 (HIDROVIA S.A., 2010)[15] ya indicaron la conveniencia de adoptar ese brazo como el principal, dado que si bien su tasa de sedimentación era similar a la del Paso Las Hermanas en el brazo izquierdo, se eliminaba el Paso Abajo Las Hermanas, con una disminución global estimada en 700.000 m^3 anuales. Si se hubiese actuado en ese momento de acuerdo esa conclusión, el último período correspondiente al brazo izquierdo hubiese durado poco más de 20 años.

Para poner en contexto los volúmenes de arena que se requiere movilizar para mantener la vía navegable en este sector, se cuenta con los siguientes datos:

Dragados históricos hasta 1991 para un calado de 28 pies (8,55 m) por tipo de draga, D = Dustpan (draga tipo "barredora" que se dejó de usar al iniciarse la concesión, y cuyos volúmenes de dragado estimados deberían reducirse en un 50% para considerar valores "in situ" del lecho), S = Succión por arrastre con cántara (draga utilizada para mantenimientos), C = Succión con cortador (para dragados de profundización, en este caso empleada para el canal en el brazo izquierdo).

Lugar	Km	Tipo	80	81	82	83*	84	85	86	87	88	89	90	91
Abajo Las Hermanas	315-319	D	1036	555			323			696	1166			
Las Hermanas (Brazo Derecho)	323-234	D	274	650	456		712	41	291	582	1680			
		S						315			680			
Brazo Derecho	Total	-	1310	1205	456		1035	356	291	1278	3526			
Las Hermanas (Brazo Izquierdo)	322-326	D										1201		708
		C									1097	129		

*: Crecida extraordinaria con altos niveles de agua

Volúmenes dragados (miles m^3) en ambos brazos del río Paraná en las Hermanas entre 1980 y 1991

Durante la concesión de la VNT y hasta la actualidad, la profundización y mantenimiento de la vía navegable en el Paraná Inferior, aguas abajo del km 460,0 (tramo exterior de acceso al puerto de San Martín) se desarrolló en las siguientes etapas:

La Etapa 1, con una duración de seis (6) meses consecutivos a partir de la firma del acta de inicio de la concesión, finalizando el 31/12/1995, comprendió el dragado para un calado de 28 pies (8,55 m)

Etapa 2, con una duración de veinticuatro (24) meses consecutivos a partir de la finalización de la Etapa anterior, comprendió el dragado a 32 pies de calado (9,75 m), hasta el 31/12/1997.

La Etapa 3 comprendió inicialmente las tareas de mantenimiento de las profundidades alcanzadas en la Etapa 2, durante un período de 8 años y 8 meses, hasta agosto de 2005.

Luego se profundizó la vía navegable para 34 pies de calado (10,37 m) entre setiembre de 2005 y mayo de 2006, por lo que a partir de junio de 2006 el mantenimiento corresponde a esa profundidad.

[15] Modelo hidro sedimentológico del secundario del Paso Las Hermanas. Jan de Nul Group. 2010.

El volumen promedio anual de mantenimiento a 32 pies hasta mediados de 2005 fue de 970 mil de m^3 para el Paso Las Hermanas y 60 mil m^3/año para el Paso Abajo Las Hermanas, totalizando poco más de 1 millón de m^3.

El volumen de mantenimiento anual a 34 pies de ambos pasos en los años 2007 a 2009 luego de la profundización fue de 1,6 millones de m^3, valor que saltó a casi 4 millones de m^3 en 2010 luego de la crecida iniciada a fines del año 2009, a partir de lo cual el promedio en el periodo 2010-2019 alcanzó 2,7 millones de m^3 (2,1 millones de m^3 en Paso Las Hermanas y 0,6 millones de m^3 en Paso Abajo las Hermanas). La secuencia de volúmenes para esta etapa se presenta en la Figura 10.

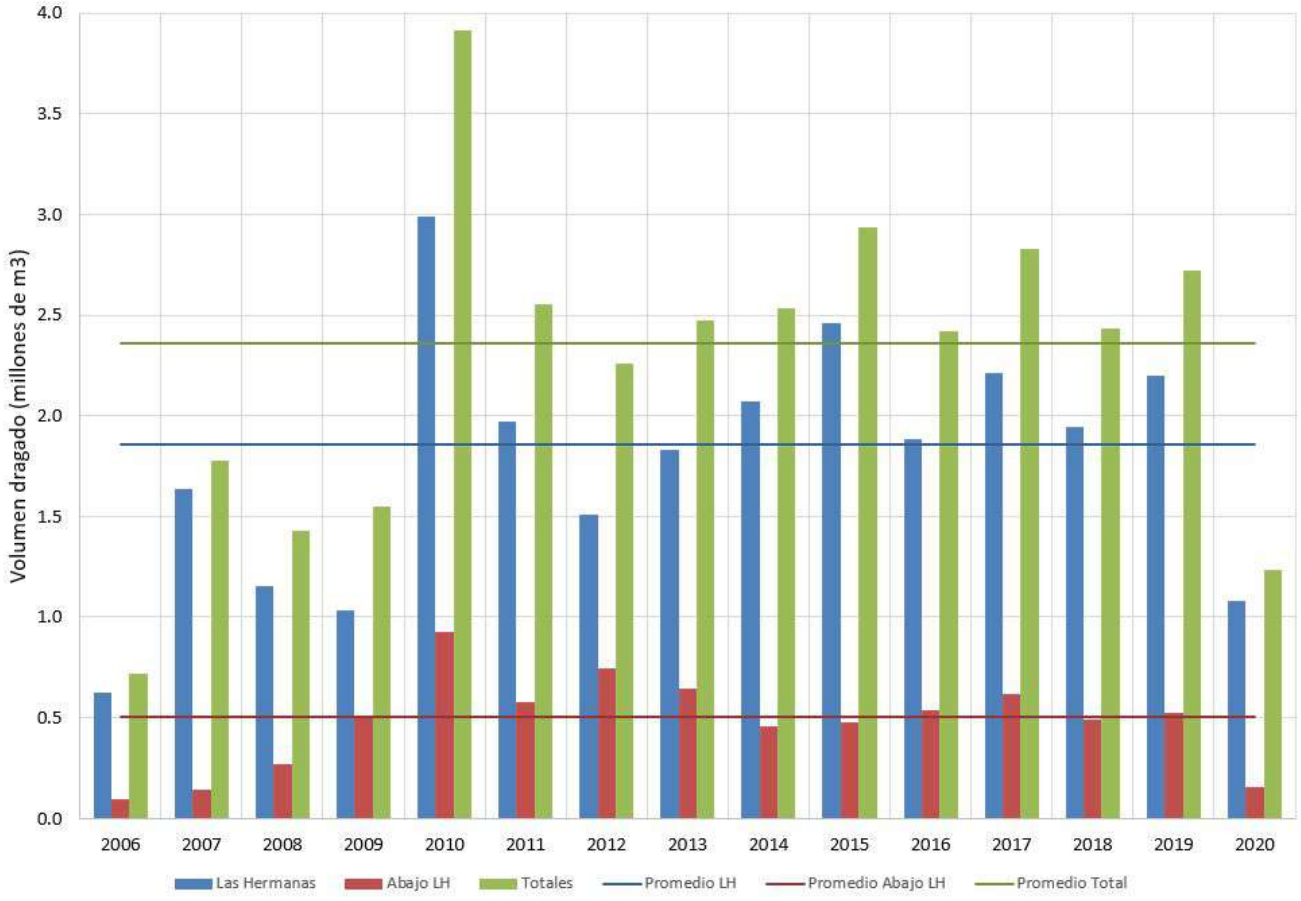


Figura 10 Volúmenes anuales dragados en Etapa 3 de Mantenimiento a 34 pies. Zona Las Hermanas.

La razón del incremento del volumen a dragar en el año 2010 se debe a que cuando ocurre una crecida de magnitud significativa, la tasa de sedimentación en el canal se incrementa, reduciéndose la profundidad con respecto al Plano de Referencia para la navegación (PR), pero a su vez se dispone de una profundidad mayor hasta el pelo de agua, lo cual puede compensar transitoriamente el efecto de la sedimentación, mientras dura la crecida. Dado que las tasas de sedimentación se ven aumentadas, no resulta conveniente, ni necesario en principio, efectuar dragados de mantenimiento mientras que está ocurriendo la crecida, dado que no son necesarios para cumplir con la profundidad determinante (que se mide respecto al nivel de superficie del agua), y porque rápidamente se perdería el efecto del dragado al depositarse sedimentos en el canal.

El problema se presenta cuando la crecida empieza a ceder, y es especialmente crítico cuando el descenso del caudal es rápido, dado que se debe resolver prácticamente en forma simultánea la situación de un gran número de pasos críticos, para no incumplir la profundidad necesaria para la navegación requerida contractualmente cuando el nivel de agua haya descendido. Este procedimiento se ilustra en la Figura 11.

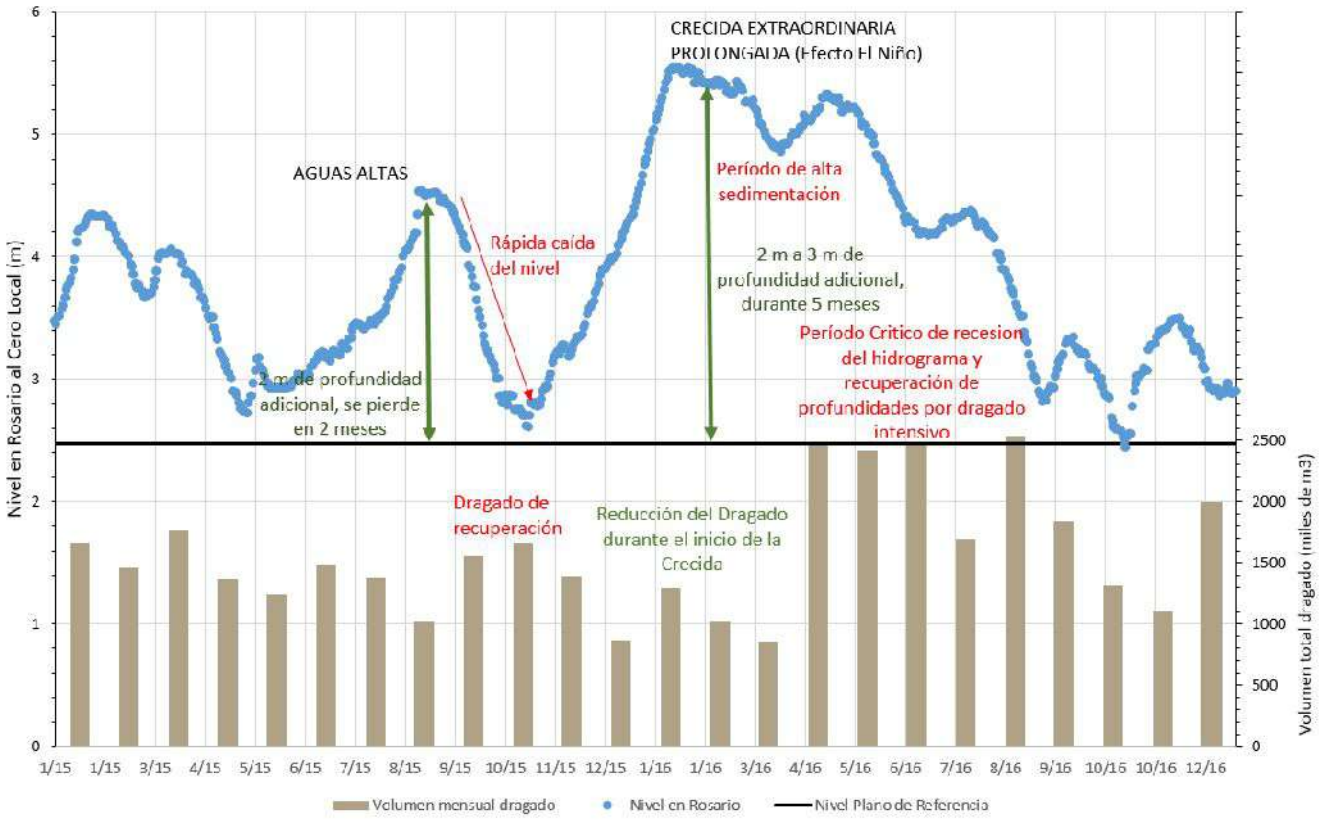


Figura 11 Esquema de decisiones operativas de dragado en el río Paraná Medio e Inferior ejemplificado para el período 2015 – 2016.

Sin embargo, este procedimiento sólo explica el volumen extraordinario del año 2010, pero no explica el brusco incremento de sedimentación promedio anual que se dio a partir de ese año.

La explicación más plausible, es que la crecida de fines del año 2009 debe haber acelerado la evolución morfológica del lecho del río, de tal manera que se incrementó la necesidad de dragado de mantenimiento del canal en el brazo izquierdo, y comenzó a ser más conveniente para reducir el volumen a ser movilizado, que el brazo donde el canal sea mantenido a la profundidad náutica necesaria sea el derecho, tal como se concluyó en el estudio presentado por HIDROVIA S.A. en el año 2010.

Un indicador adicional del notable incremento de volúmenes de mantenimiento en la zona se encuentra en el contraste entre las estimaciones previas que se hicieron para la etapa de 34 pies, a partir de las tasas de sedimentación deducidas de los dragados de mantenimiento para 32 pies, y la realidad posterior (HIDROVIA S.A, 2014)[16]. Para el Paso Las Hermanas la estimación fue de 1,08 millones de m^3 anuales, y para el Paso Abajo Las Hermanas fue de 0,07 millones de m^3, mientras que en realidad como se indicó previamente, se debieron dragar 2,1 millones de m^3 anuales en Paso Las Hermanas (casi el doble) y 0,6 millones de m^3 en Paso Abajo las Hermanas (casi 10 veces más).

[16] HIDROVIA S.A. Actualización del volumen de dragado de mantenimiento para la profundización de la Vía Navegable Santa Fe-Océano (2014).

4. DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES DE DRAGADO EN LA ZONA DE LAS HERMANAS

La bajante histórica del río Paraná alcanzó su pico máximo en septiembre – octubre del año 2021, situación que se ha repetido en el inicio del año 2022, y condujo a una situación compleja en la administración de la VNT.

El notorio descenso del nivel del río durante esta emergencia hídrica declarada produce una mayor exposición a la ocurrencia de accidentes durante la navegación, por lo que de acuerdo con lo manifestado por la AGP S.E., fue necesario analizar e implementar medidas excepcionales en salvaguarda de la VNT y las economías regionales, que fueran compatibles con una gestión ambiental adecuada y sostenible.

Los caudales normales del río Paraná en Corrientes luego de la confluencia con el río Paraguay oscilan entre 15.000 y 20.000 m^3/s, mientras que en la emergencia hídrica cayeron a un orden de 10.000 m^3/s, alterando significativamente la navegabilidad particularmente en la cuenca media e inferior.

La situación hídrica y las proyecciones vigentes se puede apreciar en la Declaración del Instituto Argentino de Recursos Hídricos (IARH) sobre la bajante del río Paraná, de setiembre 2021[17], donde en sus considerandos se indica:

- *la situación de bajantes extremas en los ríos Paraná, Paraguay e Iguazú y, particularmente, la magnitud de los caudales presentes en el río Paraná, comparables con los caudales registrados en el año 1969, situación que podría agravarse hasta incluso las condiciones más críticas del siglo pasado como la ocurrida en 1944, originadas por las escasísimas precipitaciones en toda la región;*
- *el informe del 8 de septiembre de 2021 del Instituto Nacional del Agua (INA), que señala que la bajante del río Paraná es de características extraordinarias y que la perspectiva al 30 de noviembre de 2021 es desfavorable, con probabilidad de extenderse en los subsiguientes meses;*
- *los resultados de los Centros Mundiales de Pronóstico Climático, que prevén condiciones levemente desfavorables para los próximos 3 meses, pronosticando lluvias deficitarias en la región Litoral, normales a deficitarias en la cuenca del río Uruguay y condiciones normales en las cuencas de los ríos Paraguay y Paraná;*

La actualización de la Declaración del 7 de enero de 2020[18], indica también en sus considerandos:

- *el informe del 27 de diciembre de 2021 del Instituto Nacional del Agua (INA), que presenta tres escenarios posibles sobre la bajante de los ríos Paraná, Paraguay e Iguazú, estimando caudales en Rosario del orden de 7.000 a 8000 m^3/s para el escenario de mínima, e indicando que éstos irán siendo actualizados en un contexto de incertidumbre, de característica multicausal, que predomina actualmente acerca del comportamiento del río;*
- *que en la actualización climática del 26 de diciembre de 2021 y en el informe de pronóstico del 29 de diciembre el INA indica que prevalecerá próximamente una condición general de disminución de los caudales entrantes al tramo argentino del río Paraná, por lo que los niveles fluviales continuarán en la franja de aguas bajas con tendencia decreciente, y que la tendencia climática hasta fines de febrero de 2022 es aún desfavorable;*
- *que el mantenimiento de los caudales efluentes desde Itaipú en el último cuatrimestre de 2021 se ha obtenido realizando un estrecho seguimiento de la situación mediante reuniones entre las autoridades argentinas y brasileñas con frecuencia aproximadamente quincenal, buscando lograr acuerdos para que el caudal no descienda significativamente de los 7.000 m^3/s como suma de los aportes del río Paraná en Brasil, del río Iguazú y del río Paraguay. Ello se logra a costa de reducir el almacenamiento en los reservorios brasileños, dado que según el Operador Nacional del Sistema*

[17] https://iarh.org.ar/IARH-Declaracion_Bajante_Rio_Parana-septiembre2021.pdf

[18] https://iarh.org.ar/IARH%20DeclaracionBajanterioParana7deEnero2022.pdf

Eléctrico Integrado brasileño los caudales naturales estimados en Corrientes (si no existieran los reservorios) hubieran descendido a valores inferiores a 4.000 m^3/s a fines de setiembre, inferiores incluso a los valores ocurridos durante el estiaje extraordinario del año 1944, y se encontraban a mediados de diciembre pasado entorno a los 6.000-5.000 m^3/s, con un repunte a fin de año como se ilustra en la figura siguiente:

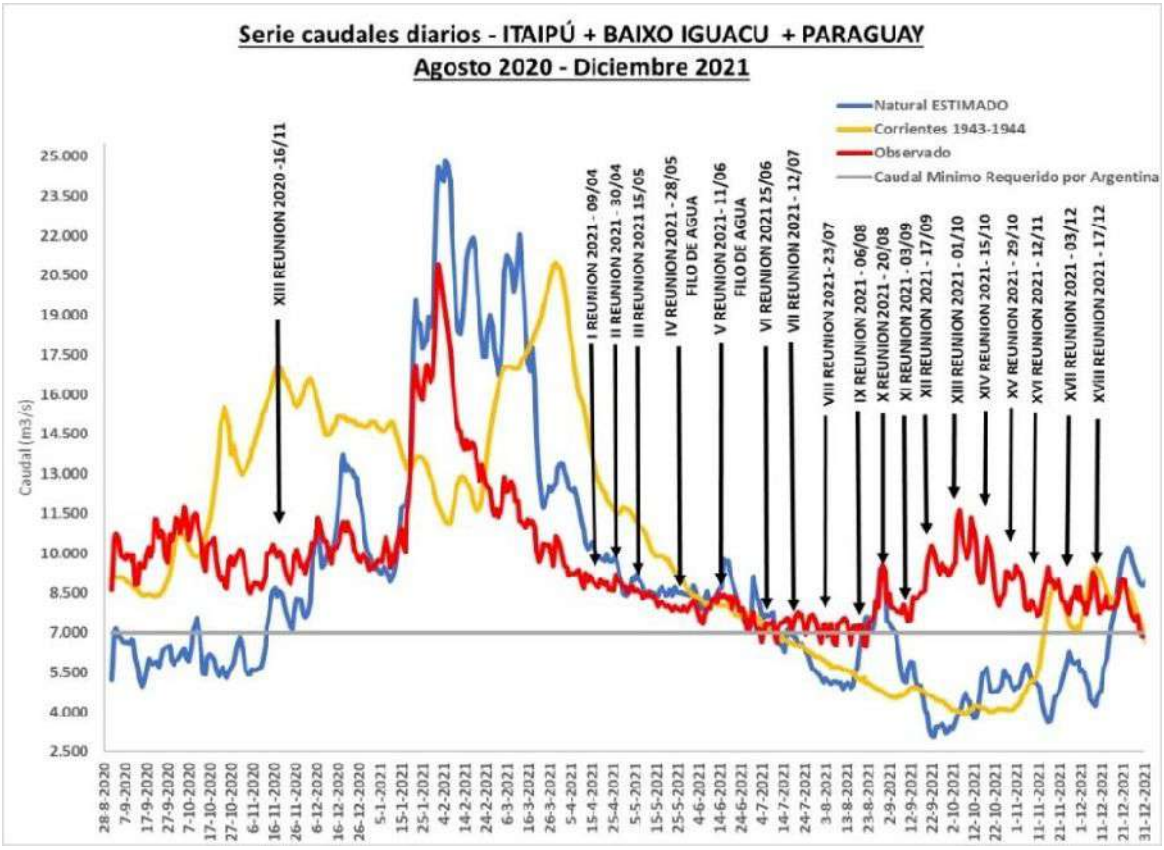


Figura 12 Serie de caudales diarios en último trimestre de 2021.

Fuente: Información de caudales naturales Operador Nacional del Sistema Eléctrico. Brasil (www.ONS.org.br). Red Hidrológica Nacional. Secretaría de Infraestructura y Política Hídrica. Ministerio de Obras Públicas. Argentina.

Como se ha mostrado en la sección donde se presenta el análisis de antecedentes, la dinámica de transporte de sedimentos por parte del río, con la alternancia de condiciones de crecidas y estiajes, genera cambios en el lecho fluvial por efecto de la sedimentación y erosión de los sedimentos arrastrados, y además modificaciones en la morfología de sus costas e islas, variables a lo largo del río.

Las bifurcaciones del cauce en el Paraná Inferior constituyen sectores complejos, que en los “Pasos Críticos” para la navegación donde especialmente en condiciones de estiaje se presentan más frecuentemente denuncias de “bajo fondos” que causan varamientos temporarios. Por esta razón y por la evolución continua del lecho del río se requiere realizar ajustes de la traza del canal de navegación, teniendo en cuenta como indicador de riesgo los eventos denunciados por los prácticos ante la Prefectura Naval Argentina.

En particular, en la zona del Paso Las Hermanas, se cuenta con el siguiente registro de denuncias de bajo fondo y varaduras acaecidos desde mayo del año 2021:

- 24/04 Maersk Bermuda. Bajo fondo km 316 margen izquierda (m/i);
- 01/05 Vita Harmony km 316 eje canal;

- 11/5 Uni Sunshine (Granelero). Varadura km 319,5 m/i;
- 18/5 Sheng Heng Hai (Carga General). Varadura km 316 m/i;
- 21/6 Las Chesnais (Granelero). Varadura km 316,3 m/i;
- 24/07 Trammo Independent. Bajo fondo km 324 eje canal;
- 26/11 Nemrut Bay (Buque taque). Varadura km 313 m/i;
- 28/11 Sea Light. Bajo fondo.

Esta situación se viene produciendo desde el año 2020, ameritando la emisión por parte de la Prefectura Naval Argentina de diversas recomendaciones a los prácticos de buques de gran porte con respecto a la seguridad de la navegación en estas condiciones de bajante pronunciada (PNA, 4/8/2020[19]; 15/01/2021[20]).

En las recomendaciones emitidas a mediados del año pasado (30/06/2021[21]) se indica lo siguiente:

"Debido a la bajante pronunciada y sostenida que experimenta el río Paraná, próximo a alcanzar niveles mínimos históricos, la navegación de los buques de porte que transitan por esa vía navegable, incluyendo los tramos de los ríos Paraná Bravo, Paraná Guazú, Paraná de las Palmas y Pasaje Talavera, presenta dificultades por los efectos adversos que su desplazamiento puede llegar a producir sobre las costas, donde se emplazan instalaciones fijas, como es el caso de terminales e infraestructuras portuarias, amarraderos de barcazas, zonas habilitadas para esparcimiento, edificaciones isleñas o embarcaciones amarradas, maniobrando o en operaciones de alijo en las proximidades de los muelles.

Ante tal situación, la PREFECTURA NAVAL ARGENTINA alerta a los capitanes de buques y prácticos sobre los potenciales riesgos que representa el fenómeno de estiaje del río para la seguridad de la navegación, la protección ambiental, la eficacia del tráfico de buques e integridad operativa de la vía de navegación, motivo por el cual recomienda extremar la observancia de los parámetros de seguridad fijados en la Ordenanza N° 04/18 (DPSN) "Normas particulares de seguridad de la navegación para las áreas fluviales y marítimas de jurisdicción nacional", que en su Agregado N° 2 prevé medidas especiales donde "Los buques navegarán con precaución, reduciendo la velocidad a la mínima de maniobra compatible con su buen gobierno, siempre que haya otros buques o embarcaciones amarradas, maniobrando o en operaciones de alijo, en las proximidades de los muelles, terminales portuarias o tramos del río que así lo requieran".

Asimismo, se recuerda que Régimen de la Navegación Marítima, Fluvial y Lacustre (REGINAVE), establece la prohibición a todo buque navegar a velocidades tales que puedan producir situaciones peligrosas, sea a los buques, artefactos navales o embarcaciones que naveguen en las proximidades, que se hallen amarrados o fondeados, o que superen las máximas velocidades fijadas por esta Autoridad Marítima."

Teniendo en cuenta los riesgos que conlleva la situación de estiaje al utilizar la ruta del brazo izquierdo y considerando que los estudios de modelización matemática efectuados en los años 2005 y 2010 (antes descriptos) indicaron que la evolución natural del río favorecía el empleo del brazo derecho, con una traza más recta y con menores necesidades de dragado de mantenimiento, volviendo a la situación

[19] https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/2021/01/02-20_recomendaciones_para_los_capitanes_de_buques_de_porteque_transitan_la_via_navegable_troncal_santa_fe_-_oceano.pdf

[20] https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/2021/01/01-21_recomendaciones_para_operar_en_puertos_debido_a_la_bajante.pdf

[21] https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/02-2021-recomendaciones_para_el_transito_seguro_de_buques_de_porte_por_el_rio_parana.pdf

vigente entre los años 1950 a 1988, cuando por éste pasaba el canal principal de navegación, mientras que el brazo izquierdo albergaba el canal secundario.

De acuerdo con la información brindada por la AGP S.E., el dragado del brazo derecho se desarrolló utilizando dragas de succión por arrastre con cántara desde el día 6 de noviembre de 2021 hasta el día 14 de enero de 2022, con una duración de 69 días corridos.

El análisis de la actividad de dragado se realizó en función de la información recibida del relevamiento de pre-dragado efectuado durante los días 5 y 6 de noviembre de 2021 ("LHI IN 05 y 0611.xyz") y del relevamiento de post-dragado ("Las Hermanas LHI OUT 14012022.xyz"), y las trazas del canal de navegación en ambos brazos se extrajeron del archivo recibido "Las Hermanas Brazo Derecho e Izquierdo.dwg".

En la Figura 13 se muestran las profundidades dragadas que se derivan de la diferencia entre los relevamientos batimétricos. El "granulado" que se advierte, se debe a la diferente posición de las dunas del lecho en cada relevamiento, lo cual genera un patrón de aparente erosión / sedimentación que no es producto del dragado sino una "foto" transitoria de la evolución de las formas de fondo, que se desplazan hacia aguas abajo, y que por lo tanto no se encuentran en el mismo sitio en cada fecha. Para mayor claridad el gráfico parte de una profundidad de 0,5 m (diferencia entre relevamientos -0,5 m) dado el "ruido" que generan las formas de fondo.

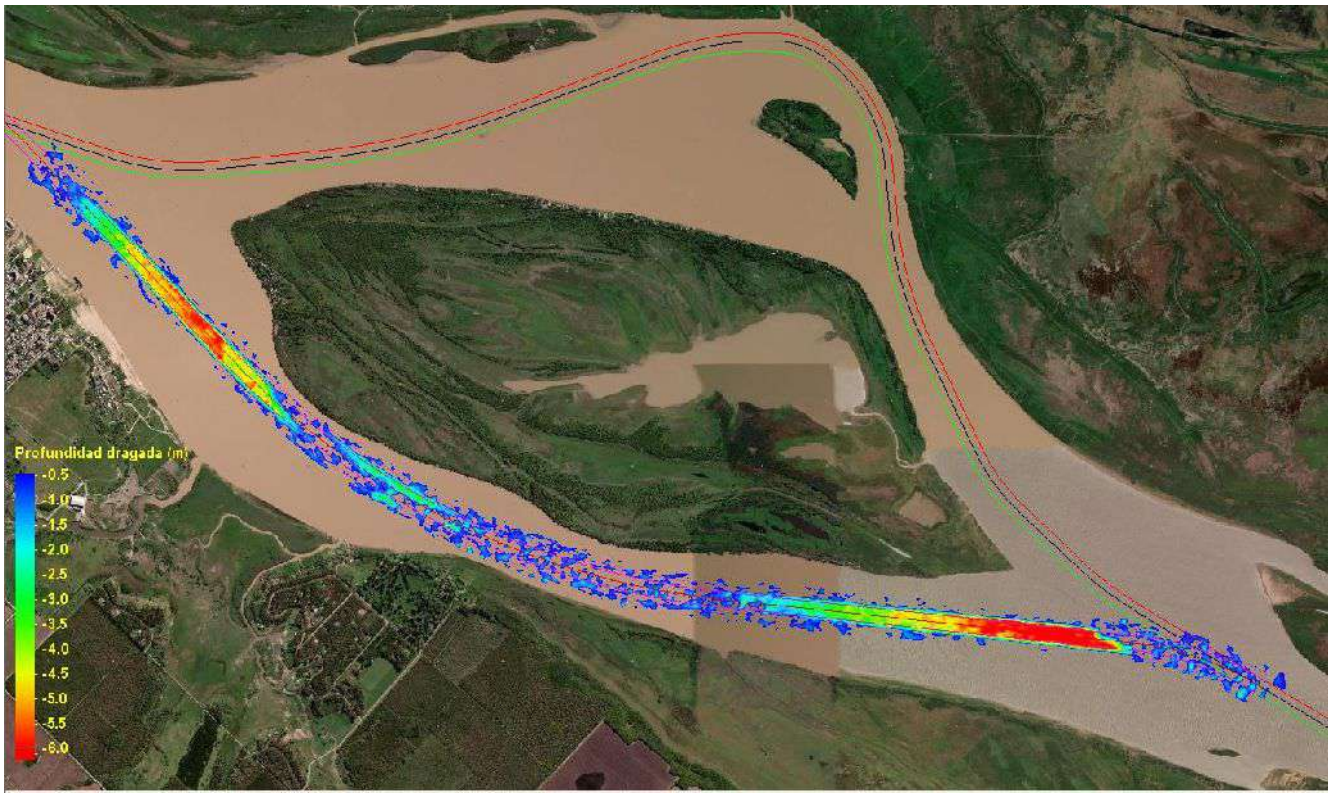


Figura 13 Profundidad dragada en el canal del brazo derecho del río.

Se puede apreciar que el dragado se ha realizado principalmente en las dos expansiones del flujo, ubicadas en la entrada y salida del brazo, más un sector central donde se ha trabajado en los veriles laterales del canal.

Los volúmenes dragados en cada sector se estiman en aproximadamente 1,5 millones de m^3 en el tramo ubicado más aguas arriba (km 322 a 324), 0,15 millones de m^3 en el tramo central (km 320,5 a 321,5) y 1,95 millones de m^3 en el tramo más aguas abajo (km 315 a 318), totalizando unos 3,6 millones de m^3. En este último sector se debió realizar la mayor profundización, alcanzando 6 metros en 1 km. Cabe mencionar que los kilometrajes de canal indicados no coinciden exactamente con los de boyado, lo cual ocurre debido a que las modificaciones de traza van alterando las distancias a lo largo de la traza. En particular, el km 315 indicado se corresponde con la boya del km 316.

Para poner en contexto la afectación que el dragado del canal en el brazo derecho provoca sobre las condiciones del brazo, se puede considerar que el volumen total del brazo, comprendido entre el lecho y la superficie del agua para un nivel de estiaje extraordinario (0 m respecto del hidrómetro local), calculado de costa a costa en la totalidad del tramo dragado, es de unos 50 millones de metros cúbicos.

El volumen que debe ser dragado para llegar a la sección de diseño que luego se debe mantener es de unos 3,3 millones de m^3, lo cual representa un 6,5% del volumen total del brazo. Si se consideran condiciones de aguas medias y de aguas altas extraordinarias, con niveles de agua típicos de 2,6 m y 5,7 m respecto al cero, el volumen de flujo en el brazo asciende a 71 y a 99 millones de m^3, con lo cual el volumen dragado representa un 4,6% y un 3,3% de este valor, respectivamente. Por esta razón, a medida que se eleva el caudal del río y el nivel de agua asociado, la influencia del dragado disminuye, como se puede apreciar en los resultados presentados en el Anexo 1.

Dado que el dragado de la sección debe considerar una profundización para absorber la sedimentación futura hasta el próximo dragado de mantenimiento, el volumen real de dragado es mayor, habiéndose estimado por comparación de relevamientos pre y post dragado en el orden de 3,6 millones de m^3 (un 10% de incremento respecto al valor para la sección de diseño). En promedio el incremento de la sección de escurrimiento del río durante el período de mantenimiento se encuentra en un punto intermedio entre el volumen inicial de diseño y el volumen real inicialmente dragado, pudiéndose estimar en un factor del 5%.

Por lo tanto, si se aplica este factor al volumen inicial resultan unos 3,47 millones de m^3, lo cual representa un 7,0% del volumen total del brazo en aguas bajas, 4,9% en aguas medias y 3,4% en la crecida extraordinaria modelada. Estas proporciones son relativamente moderadas, y sus impactos hidrodinámicos han sido evaluados mediante modelización matemática, según se describe en la sección siguiente.

En cuanto al efecto a largo plazo en el volumen de dragado de mantenimiento del área se cuenta en primer lugar con los estudios realizados por HIDROVIA S.A. (2010), el cual muestra que los sectores que han sido dragados son los que presentan mayores acumulaciones de sedimentos (ver Figura 14). Si bien la morfología del lecho ha cambiado en estos más de 10 años, conforme a la evolución típica de estos pasos antes descripta, es probable que la sedimentación promedio anual en el canal por el brazo derecho resulte actualmente menor que la estimada en el estudio antecedentes.

En dicho informe se menciona la sedimentación diaria promedio calculada en un período de 144 días de simulación, en un canal cuya traza se acercaba más a la costa que el que se ha dragado recientemente, indicando que la mayor sedimentación se espera en las “cajas” de 500 metros de longitud S_1 a S_6 y de S_14 a S_19 (identificadas según su número en la figura).

La sedimentación diaria predicha es de 17,627 m^3. La sedimentación real encontrada para el mismo período según los relevamientos realizados en el brazo Izquierdo del Paso Las Hermanas (canal actual) fue de 17,250 m^3, con lo cual se concluyó que la tasa es prácticamente la misma, dado que la diferencia de un 2% entre ambos valores no es relevante.

Cabe destacar que esta estimación no es extrapolable a un año (resultarían más de 6 millones de m^3), ya que representa situaciones medias y altas en el período modelado. Las épocas de estiaje no fueron representadas porque en esos períodos la sedimentación es mínima.

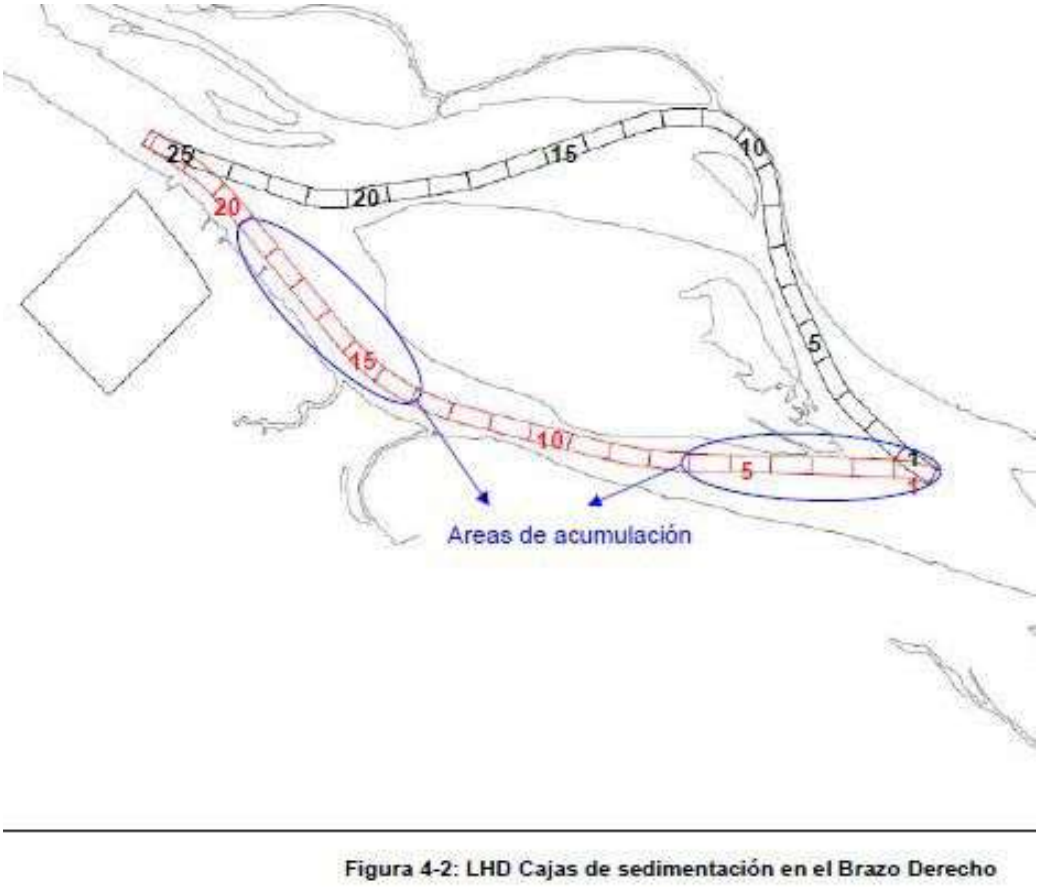


Figura 4-2: LHD Cajas de sedimentación en el Brazo Derecho

Figura 14 Cajas de acumulación de sedimentos (HIDROVIA S.A., 2010).

Si la sedimentación media anual en el canal del brazo derecho fuese similar a la del Paso Las Hermanas en el brazo izquierdo, como surge del estudio antecedente de HIDROVIA, sería del orden de 2,1 millones de m^3. Si se divide este valor por el volumen de dragado inicial efectuado para conformar el canal, estimado en 3,6 millones de m^3, la relación "volumen de mantenimiento"/"volumen inicial" resulta ser igual al 58%.

Si bien en cada Paso Crítico la relación entre el volumen inicial y el de mantenimiento es una variable que depende de las condiciones locales, es de interés conocer los promedios en todo el Paraná Inferior como referencia. La Etapa 1 para alcanzar 28 pies y la Etapa 2 para llevarlo de 28 a 32 pies de calado navegable, requirieron un dragado de 11,8 millones de m^3. El posterior mantenimiento a 32 pies involucró un volumen igual a 4,5 millones de m^3 anuales. La posterior profundización a 34 pies requirió dragar casi 7 millones de m^3, luego de lo cual, el mantenimiento medio anual en los 13 años posteriores se incrementó hasta 11,5 millones de m^3 anuales.

La relación entre el volumen total dragado para profundizar el canal para alcanzar 34 pies de calado navegable (18,8 millones de m^3) y el volumen de mantenimiento anual promedio posterior es igual al 61%, muy similar a la relación previamente indicada entre el posible dragado de mantenimiento anual del canal en el brazo derecho de 2,1 millones de m^3 y el volumen inicialmente dragado.

Por lo tanto, se concluye que si el volumen de mantenimiento del canal en el brazo derecho es razonablemente similar al del Paso Las Hermanas en el brazo izquierdo, la operación de refuncionalización del brazo derecho implica una reducción anual promedio del volumen dragado del orden de 600 mil m^3, que es el valor correspondiente al Paso Abajo Las Hermanas.

En consecuencia, una vez transcurridos unos 6 años, esa reducción compensará el volumen dragado inicialmente de unos 3,6 millones de m^3, y a partir de ese momento, el volumen a dragar anualmente en la Vía Navegable se reducirá por la desaparición del Paso Abajo Las Hermanas. Por consiguiente, a mediano plazo la traza del canal por el brazo derecho conllevará una reducción en los volúmenes dragados y por lo tanto en los impactos que esta actividad pueda producir.

5. MODELACIÓN MATEMÁTICA DE LA ZONA LAS HERMANAS

5.1 DESCRIPCIÓN DE LA MODELACIÓN HIDRODINÁMICA

Se ha recurrido a la simulación numérica como herramienta para la caracterización hidrodinámica de la zona de interés.

En primer lugar se implementó el modelo matemático utilizando el software bidimensional hidrodinámico RMA2 (U.S. Army Corps of Engineers-USACE), el cual permite simular flujos a superficie libre, con movimiento esencialmente horizontal, calcular las velocidades medias de la corriente y los niveles de agua mediante el método de elementos finitos.

La razón de emplear este modelo es que el mismo ha sido utilizado por la Consultora en los estudios de este mismo tramo realizados en los años 1999 y 2005, los cuales tuvieron por objetivo conocer el comportamiento hidrosedimentológico del área, evaluar las tasas de sedimentación probables ante una profundización del canal, y analizar la conveniencia de realizar un ajuste de la traza desde el brazo izquierdo al brazo derecho. Por lo tanto, el modelo ha sido calibrado en esos estudios mediante comparación de las velocidades registradas y modeladas, debiéndose únicamente modificar la geometría de la malla para actualizarla.

Luego se transformó la malla actualizada el modelo para su uso en el software Mike 21FM desarrollado por DHI Group, el cual tiene capacidad de utilizar unidades gráficas de procesamiento (GPU) para realizar los cálculos, así como también su capacidad de paralelización, incrementando significativamente la celeridad de cómputo. Se especificó la rugosidad del lecho de tal manera de reproducir el mismo patrón de corrientes y distribución de caudales que el obtenido con el RMA2.

La actualización del modelo se realizó reemplazando las profundidades antecedentes por los datos relevados recientemente a fines del año 2021, configurando un modelo para el Escenario Inicial, antes de la profundización del canal en el brazo derecho.

Luego se reemplazaron las profundidades en la zona del canal de este brazo, por las correspondientes al relevamiento de post-dragado, configurando un modelo para el Escenario con canal en el brazo derecho.

Finalmente, a los efectos de tener una idea del impacto que tendría en el futuro el hecho de no continuar con el mantenimiento del canal en el brazo izquierdo, se realizó un tercer modelo en el cual se llevaron las cotas del lecho en la zona que se draga a una cota del orden de la natural en los bordes del canal, entre -7 y -8 metros al cero. Claramente esta situación hipotética es solamente un ejercicio dado que la real evolución de ese brazo dependerá de la secuencia aleatoria de crecidas y estiajes que se sucedan en el tiempo, siendo por lo tanto un proceso no predecible, pero resulta útil para una aproximación conceptual a la influencia de la evolución morfológica futura de la zona.

A continuación se presentan las batimetrías modeladas y se resumen los principales resultados obtenidos.

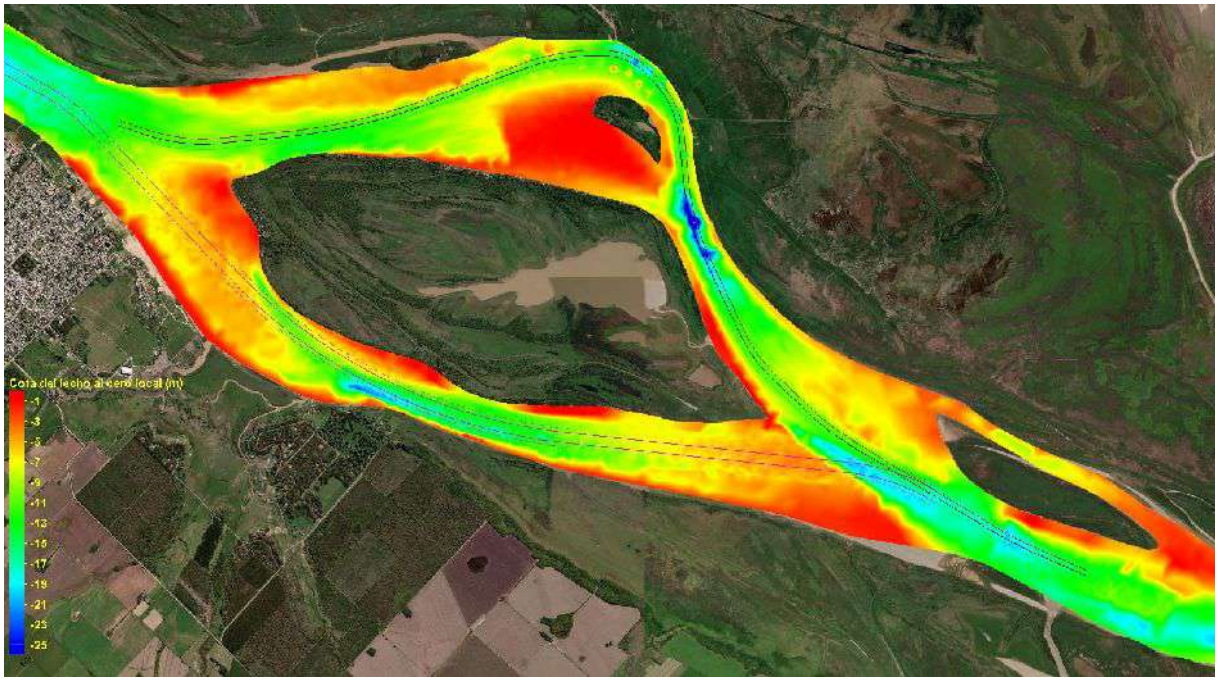


Figura 15 Modelo Digital del lecho correspondiente al Escenario Inicial (Canal por Brazo izquierdo).

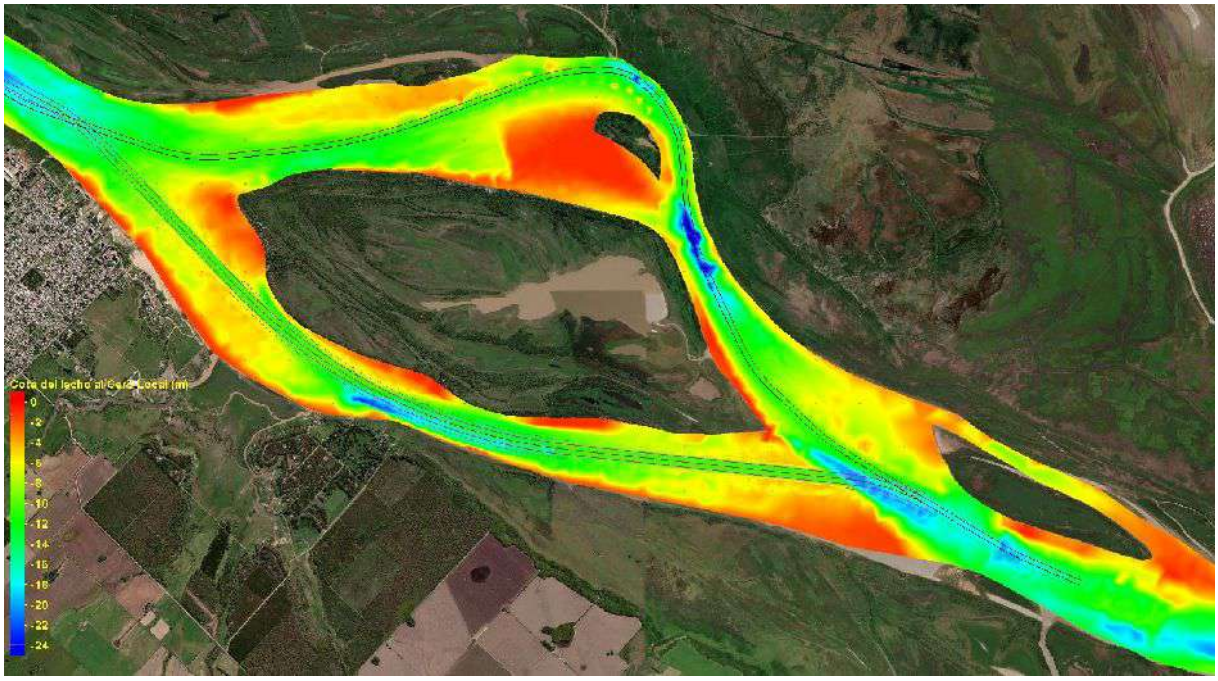


Figura 16 Modelo Digital del lecho correspondiente al Escenario Actual (Canal por Brazo derecho y Canal Antecedente por Brazo izquierdo).

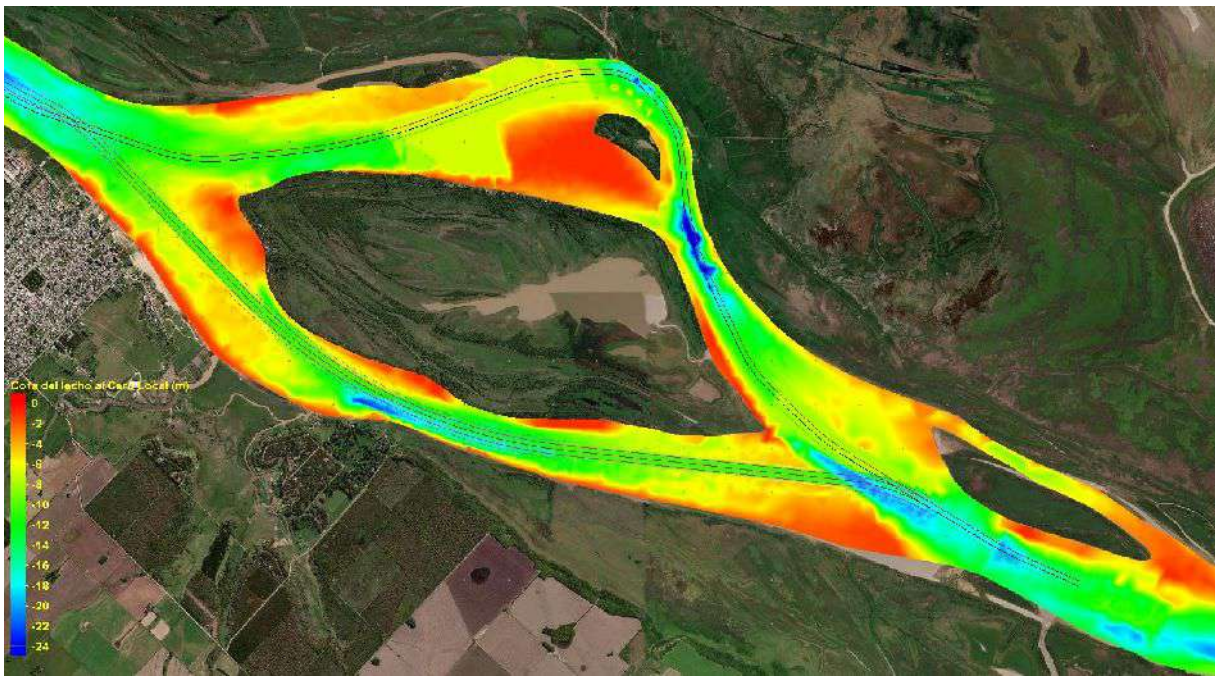


Figura 17 Modelo Digital del lecho correspondiente a un Escenario Futuro hipotético (Canal por Brazo derecho únicamente).

Se modelaron las corrientes fluviales para tres condiciones hidrológicas, una de aguas bajas (correspondiente a un estiaje extraordinario como el que ocurre actualmente con nivel cero en el hidrómetro local), una de aguas medias, y otra para aguas altas (una crecida extraordinaria como la ocurrida en el año 1983).

Los resultados obtenidos a partir de las simulaciones indican que la profundización del área del canal por el brazo derecho genera un incremento en la captación de caudal por parte de ese brazo, que es del orden del 4% para aguas bajas, del 2% para aguas medias y del 1% para aguas altas. En el escenario hipotético futuro planteado, al irse perdiendo profundidad en el brazo izquierdo, el incremento de captación del caudal por el brazo derecho es del orden del 6% para aguas bajas, del 3% para aguas medias y del 2% para aguas altas.

Las velocidades de la corriente en el brazo derecho se encauzan en el canal en todas las condiciones hidrológicas y en ambos escenarios que consideran su existencia, de forma tal que a pesar de la mayor captación de caudal por parte el brazo derecho, frente al ejido urbano y la playa existente aguas abajo (Playa Barlovento o Playa Blanca), se producen disminuciones de la velocidad de la corriente, cuyas magnitudes se resumen a continuación.

Condición	**Parámetro**	**Escenario Inicial**	**Escenario Actual**	**Escenario Futuro hipotético**
Caudal de Aguas:	**Velocidad frente a la playa (cm/s)**	**Canal por brazo izquierdo**	**Canal por brazo derecho y canal antecedente por brazo izquierdo**	**Canal por brazo derecho únicamente**
Bajas	Velocidad	30 a 40	27 a 36	28 a 37
	Reducción	-	3 a 4	2 a 3
Medias	Velocidad	60 a 80	54 a 71	55 a 72
	Reducción	-	6 a 9	5 a 8
Altas	Velocidad	65 a 80	59 a 72	60 a 73
	Reducción	-	6 a 8	5 a 7

En general para aguas medias y bajas los niveles de agua descienden por efecto de la canalización del brazo derecho, unos 2 cm frente a Ramallo en el Escenario Actual y 1 a 1,5 cm en el Escenario Futuro hipotético, y 1 cm a lo largo del brazo derecho aguas debajo de la localidad. Para aguas altas el efecto es menor, del orden de 1 cm en Ramallo.

A pesar de que la diferencia es muy pequeña, dado que el río tiende a recuperar su pendiente a largo plazo, se puede esperar que en el futuro al no mantenerse el canal en el brazo izquierdo, éste reduzca un poco más su capacidad de conducción que lo que se representó en el modelo, hasta que el nivel en Ramallo vuelva a su valor original.

5.2 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LA MODELACIÓN HIDRODINÁMICA

En primer lugar, resulta destacable el hecho de que el incremento de caudal en el brazo derecho se concentra en el sector profundizado del cauce (canal de navegación), de forma tal que las velocidades de la corriente en la zona de la playa se reducen en un orden de magnitud del 10% con respecto a las condiciones iniciales antes del dragado del canal.

Dado que el transporte de sedimentos es proporcional a la velocidad de la corriente, por la tensión de corte que ejerce en el fondo y que moviliza las partículas de arena, una reducción de esa velocidad implica una tendencia a la sedimentación en el largo plazo, por lo cual se puede concluir que la zona de playa no se verá afectada negativamente por la derivación del flujo inducido por la obra de dragado en el brazo derecho del río.

En segundo lugar, si bien el dragado del canal en el brazo derecho genera una reducción del nivel de agua, la misma es mínima, del orden de 1 a 2 cm según el escenario y el caudal del río (reduciéndose para mayores caudales y niveles asociados). Este descenso de nivel queda comprendido dentro del amplio rango de variabilidad de los niveles del río, desde valores iguales o algo inferiores al cero hidrométrico en estiajes severos, hasta valores cercanos a 6 metros en crecidas extraordinarias.

Por otro lado, se prevé que esta leve reducción de niveles tenderá a desaparecer a medida que el brazo izquierdo vaya llegando a una nueva situación de equilibrio dinámico, al no continuar los dragados de mantenimiento del canal en ese brazo.

Estos hechos, que a la luz del conocimiento ingenieril antecedente sobre la hidráulica del río Paraná resultan evidentes, implican que las obras de dragado no tienen la magnitud necesaria para alterar la dinámica de los humedales adyacentes al río, ni siquiera en condiciones de estiajes extraordinarios como el que actualmente padece la cuenca.

6. ANÁLISIS DE OLEAJE GENERADO POR PASO DE EMBARCACIONES Y SU ACTUACIÓN SOBRE LAS MÁRGENES

6.1 OBJETIVO

El presente capítulo tiene como objetivo identificar y cuantificar el fenómeno del oleaje generado por el paso de las embarcaciones, el cual es característico de operaciones náuticas en vías navegables fluviales.

A partir de la cuantificación del fenómeno se evalúan recomendaciones acerca de las consecuencias que se puedan producir sobre las márgenes en áreas costeras de la Vía Navegable Troncal, como es el caso de la localidad de Ramallo.

6.2 DESCRIPCIÓN Y CUANTIFICACIÓN DEL FENÓMENO

Se trata de un fenómeno hidrodinámico producto de la interacción entre el buque en navegación y el cuerpo de agua que lo circunda, lo que genera diferencias de presiones y niveles que se traducen en la generación de olas que se propagan alcanzando las costas de la vía navegable.

Este tipo de oleaje tiene actuación directa sobre las áreas costeras y, también sobre las instalaciones y/o infraestructuras portuarias que puedan existir sobre las mismas.

El oleaje generado por el paso de embarcaciones se cuantifica a partir de la altura de ola generada, la cual depende fundamentalmente de las siguientes variables:

- Velocidad de la embarcación.
- Distancia de la embarcación respecto de la margen sobre la que se evalúa el fenómeno.
- Profundidad de agua.
- Características de la embarcación.

La cuantificación del oleaje generado por el paso de embarcaciones se lleva adelante considerando las siguientes referencias bibliográficas de aplicación usual reconocida:

- PIANC – 1987, Supplement to Bulletin N° 57[22]

$$H = \alpha \cdot F^4 \cdot d \cdot \left(\frac{y}{d}\right)^{-0.33}$$

$$F = \frac{Vs}{\sqrt{g \cdot d}} \text{ <0.85}$$

- D. Kriebel, W. Seelig, C. Judge (Froude Modificado)[23]

$$H = \frac{Vs^2}{g} \cdot \beta \cdot (\text{Fmodificado-0.1})^2 \cdot \left(\frac{y}{L}\right)^{\frac{1}{3}}$$

[22] World Association for Waterborne Transport Infrastructure (PIANC, 1987). Guidelines for the design and construction of flexible revetments incorporating geotextiles for inland waterways.

[23] The Prediction of Wake Wash in the Towing Tank, Mohamad P.A. Ghani, M.N. Abdul Rahim (2008).

$$Fmodificado = Fl \cdot e^{\alpha \cdot \frac{R}{d}}$$

$$Fl = \frac{Vs}{\sqrt{g \cdot L}}$$

$$\propto = 2{,}35 \cdot (1\text{-}Cb)$$

$$\beta = 1 + 8 \cdot tanH^3\ (0{,}45 \cdot (\frac{L}{Le} - 2)$$

Siendo:

H: altura de ola máx. generada por paso de embarcaciones (m)

F: número de Froude evaluado según profundidad (-)

Vs: velocidad de la embarcación (m/s)

d: profundidad de agua en la zona de generación (pasaje del buque) (m)

y: distancia del eje de navegación al punto de interés (m)

g: aceleración de la gravedad (m/s)

L: eslora de la embarcación (m)

Le: longitud de amura de la embarcación (m)

R: calado de la embarcación (m)

Cb: coeficiente de bloque

$F_{modificado}$: número de Froude evaluado según profundidad modificada (-)

Fl: número de Froude evaluado según eslora del buque (-)

α: coeficiente de ajuste relacionado con la forma del casco del buque

β: coeficiente de ajuste relacionado con la forma del casco del buque

6.3 ESCENARIOS CONSIDERADOS

Para la cuantificación del oleaje generado por embarcaciones y su posterior análisis de afectación sobre la zona costera de la localidad de Ramallo, se consideran cuatro buques representativos que navegan la zona del Rio Paraná Interior, con velocidades de navegación adoptadas entre 8 y 16 nudos, estos son, de menor a mayor tamaño, buque Handysize, Handymax, Panamax y Post Panamax, cuyas características principales se ilustran a continuación.

Tabla 1. Dimensiones características de los buques representativos considerados en el análisis.

BUQUES	HANDYSIZE	HANDYMAX	PANAMAX	POST PANAMAX
Eslora (longitud) [m]	160	180	230	245
Manga (ancho) [m]	26	24	32	38
Calado [pies]	32,2	34,7	34	40
Calado [m]	9,8	10,6	10,4	12,2
Cb (Coeficiente de Bloque o de Forma)	0,76	0,79	0,8	0,81

La distancia entre el eje del canal de navegación y la playa varía entre 500 y 630 metros (el eje de aleja de la costa hacia aguas abajo). No obstante, la embarcación puede navegar por una ruta más cercana a la costa dentro del ancho del canal, para lo cual se recomienda restar 1/3 del ancho del canal a la distancia (unos 40 metros en este caso). Para los cálculos se adoptó una distancia mínima de 450 metros, teniendo en cuenta en forma conservativa este desplazamiento lateral.

En menor escala de tamaño se deben considerar las embarcaciones recreativas a motor que son representativas de la zona en estudio.

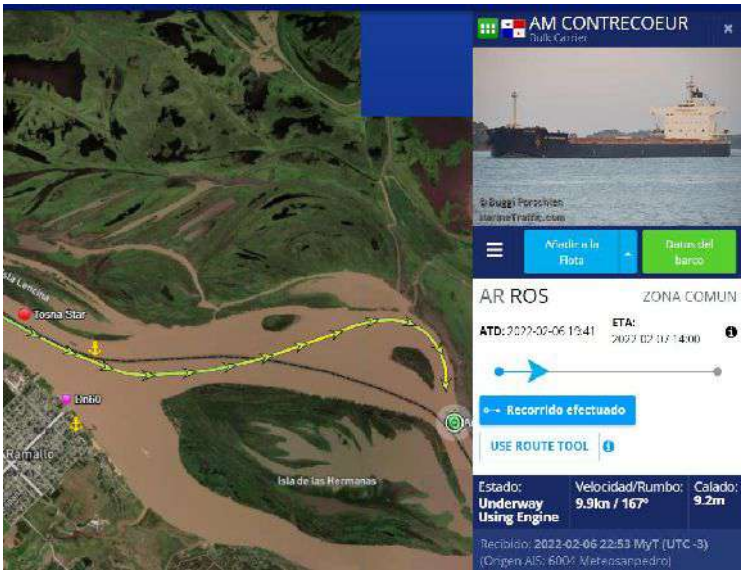
6.4 RESULTADOS OBTENIDOS

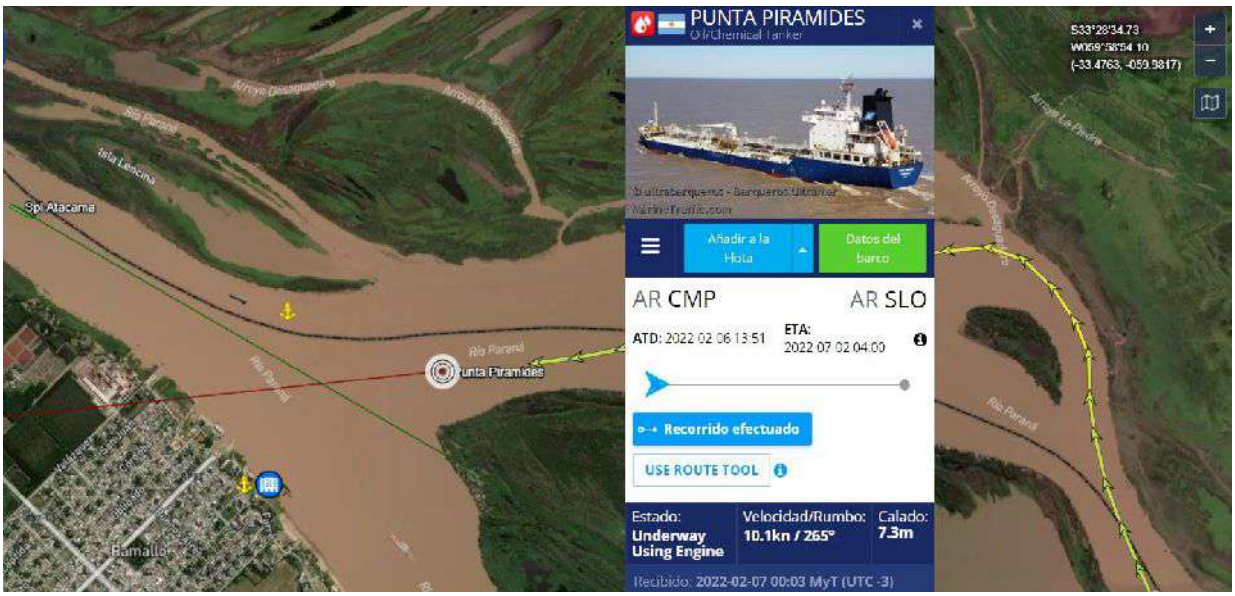
Se presenta una tabla de cálculo para cada buque considerado, y a continuación, una tabla con resumen de resultados representativos. Los cálculos se realizan para la profundidad del canal considerando una condición de estiaje con nivel de agua nulo, siendo aproximadamente 10 metros, y para una profundidad mayor, considerando un nivel de agua normal, igual a 13 metros, para ilustrar el hecho de que la menor profundidad es más conservativa. En caso de estiaje, el calado del buque se limita a 9,40 m considerando el margen bajo quilla requerido de 0,60 m.

En cuanto a las velocidades de las embarcaciones, la Prefectura Naval Argentina regula las mismas a través de la Ordenanza Nº 4-18 (DPSN). Tomo 3. “Régimen Operativo del Buque”. Agregado N° 2, Título I. Normas Particulares de Seguridad de la Navegación para los Tramos “Río Paraná – Rió Paraná Guazú – Río Paraná Bravo – Pasaje Talavera”, Apartado 3.2. Medidas especiales en ciertos tramos: “*Los buques navegarán con precaución, reduciendo la velocidad a la mínima de maniobra compatible con su buen gobierno, siempre que haya otros buques o embarcaciones amarradas, maniobrando o en operaciones de alijo, en las proximidades de los muelles, terminales portuarias o tramos del río que así lo requieran.”*

Se han considerado tres velocidades entre 8 nudos (aunque podrían ser menores manteniendo el buen gobierno del buque) y 12 nudos, que es una velocidad normal admisible en tramos sin zonas sensibles cercanas.

El seguimiento de buques navegando por el brazo izquierdo en la zona efectuado mediante Marine Traffic, muestra que las velocidades utilizadas suelen ser del orden de 10 nudos, como se puede apreciar en las figuras siguientes:





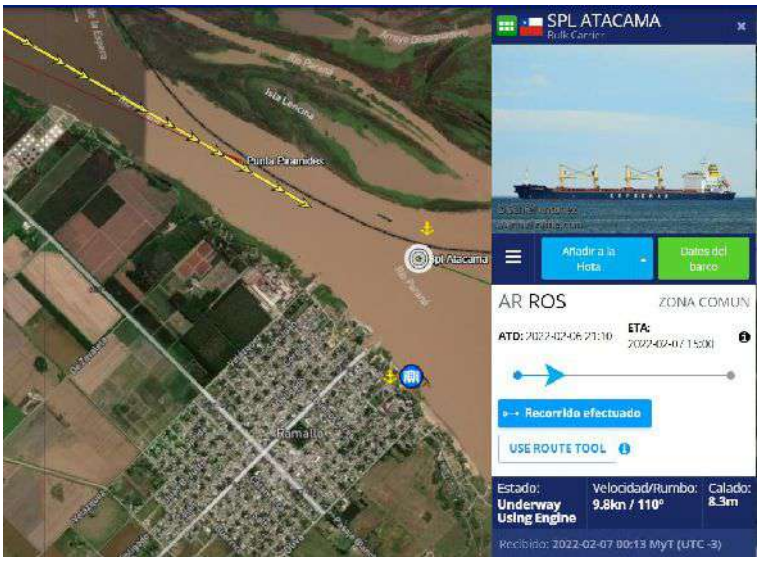


Figura 18 Ejemplos de trayectorias y velocidades de buques en zona Ramallo. Fuente: Marine Traffic

La siguiente tabla muestra los resultados obtenidos para los diferentes tipos de buque. En función de su geometría los Handysize, que ya navegaban en ocasiones por el brazo derecho, son los que generan mayores alturas de ola.

Tabla 2. Cálculo altura de ola máxima por paso de buque de ultramar en Brazo Derecho del Paso Las Hermanas, para una distancia mínima desde el eje de navegación a la costa de 450 metros.

			BUQUE DE DISEÑO: HANDYSIZE			***HANDYMAX***			***PANAMAX***			***POSPANAMAX***		
Vbuque [nudos]	Vb [m/s]	Profund. d [m]	FL [-]	Fmodificado [-]	**Holeaje [m]**	FL [-]	Fmodificado [-]	**Holeaje [m]**	FL [-]	Fmodificado [-]	**Holeaje [m]**	FL [-]	Fmodificado [-]	**Holeaje [m]**
8	4,1	10	0,104	0,176	**0,05**	0,098	0,156	**0,03**	0,087	0,135	**0,01**	0,084	0,128	**0,01**
		13		0,159	**0,03**		0,146	**0,02**		0,126	**0,01**		0,128	**0,01**
10	5,1	10	0,130	0,221	**0,18**	0,122	0,195	**0,11**	0,108	0,168	**0,06**	0,105	0,160	**0,05**
		13		0,199	**0,12**		0,183	**0,09**		0,158	**0,05**		0,159	**0,05**
12	6,2	10	0,156	0,265	**0,47**	0,147	0,234	**0,32**	0,130	0,202	**0,21**	0,126	0,192	**0,17**
		13		0,239	**0,33**		0,219	**0,26**		0,189	**0,16**		0,191	**0,17**

Se puede apreciar la gran influencia que la velocidad del buque tiene sobre el oleaje generado por su navegación. Por otro lado, la siguiente figura ilustra que la distancia a la costa tiene también una influencia significativa para velocidades altas (12 nudos), pero se atenúa mucho para velocidades bajas (8 nudos).

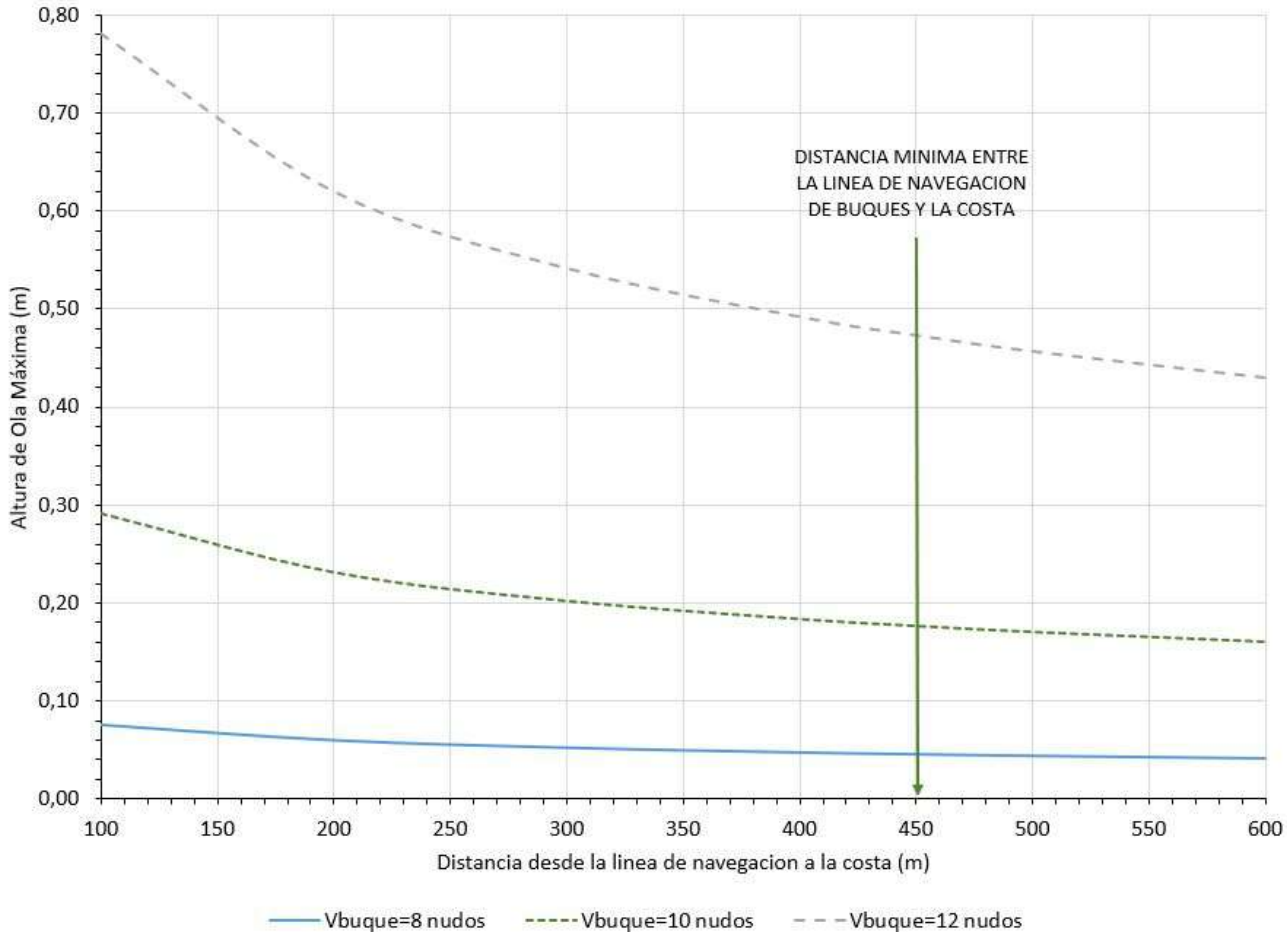


Figura 19 Altura de ola generada por el pasaje de buques en función de la distancia a la costa y la velocidad de navegación.

En el caso de embarcaciones rápidas como lanchas deportivas y de recreo a motor, las mismas pueden superar con la potencia instalada velocidades que den lugar a números de Froude mayores de 0,85, contrario a lo que sucede con los buques de ultramar (Fr<0,85), por ello no es de aplicabilidad la herramienta utilizada para el caso de embarcaciones mayores.

La cuestión sobre la influencia relativa del pasaje frecuente de pequeñas embarcaciones en cercanías de la costa frente al pasaje más eventual de buques de carga ha sido una cuestión planteada frecuentemente, pero para cuya cuantificación no se cuenta con elementos precisos.

La comparación entre el oleaje generado por un buque de carga y una pequeña embarcación de placer (denominada Cruiser, cuyo significado es: “un yate o lancha con alojamiento para pasajeros, diseñado para uso recreativo), efectuada mediante modelo físico a escala (Das y Johnson, 1970)[24], mostró claramente que la embarcación pequeña navegando a 7 nudos crea el mismo pico de densidad de energía de ola a 45 metros de distancia que un buque carguero navegando a 13 nudos a 150 metros.

Otra comparación presentada en las conclusiones de la mencionada publicación indica que a 90 metros de la línea de navegación la embarcación pequeña navegando a 7 nudos crea la misma energía de oleaje que el buque navegando a algo más de 12 nudos. La siguiente figura ilustra los resultados de la comparación.

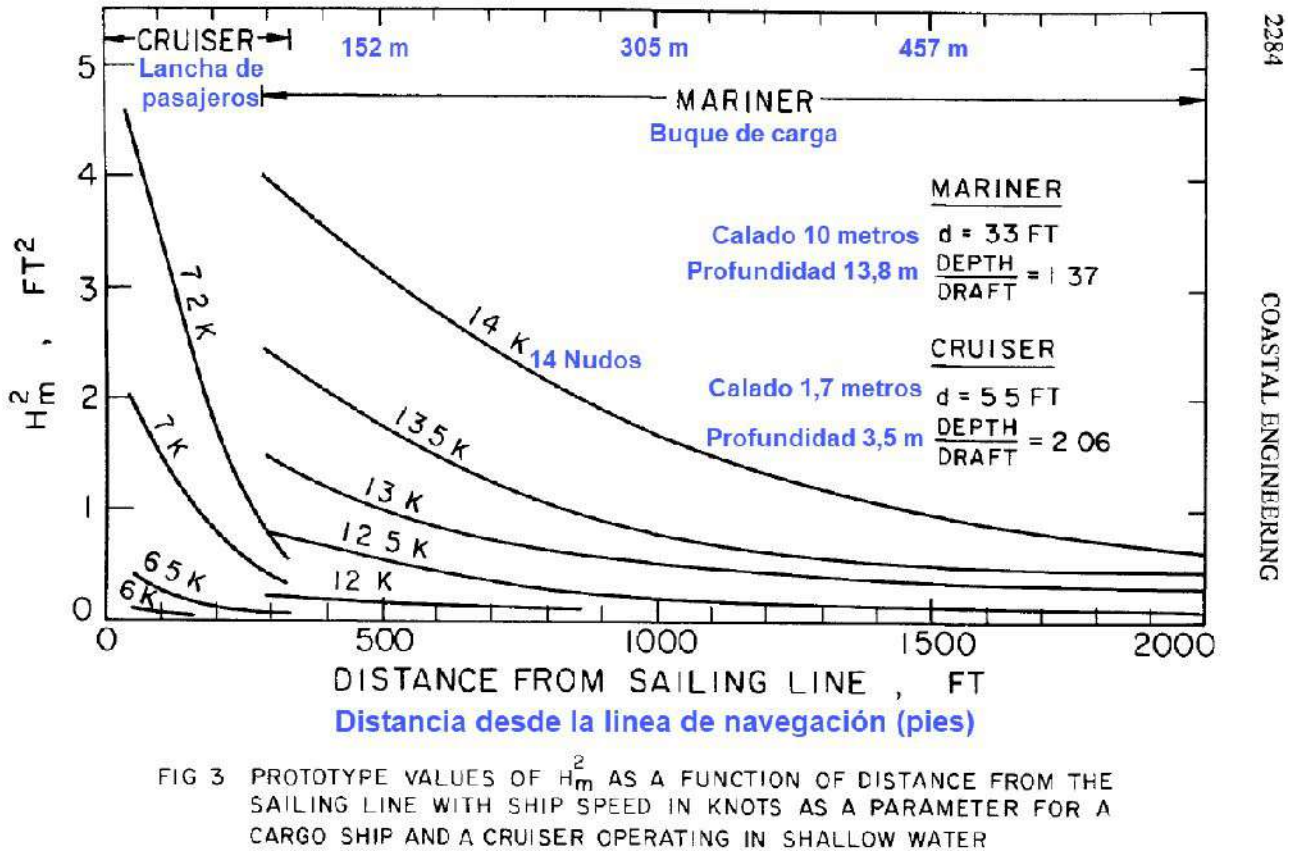


FIG 3 PROTOTYPE VALUES OF H_m^2 AS A FUNCTION OF DISTANCE FROM THE SAILING LINE WITH SHIP SPEED IN KNOTS AS A PARAMETER FOR A CARGO SHIP AND A CRUISER OPERATING IN SHALLOW WATER

Figura 20 Valores de energía de oleaje (Hm^2) en pies^2 (un pie = 0,305 m) como función de la distancia entre la línea de navegación con velocidades de las embarcaciones en nudos (1 nudo = 0,514 m/s) como parámetro, para un buque de carga y una lancha de pasajeros operando en aguas poco profundas.

Las conclusiones presentadas sobre la comparación entre las embarcaciones usadas en el estudio indican que las lanchas pequeñas navegando cerca de la costa pueden inducir condiciones de oleaje más severas que un buque de gran porte en el canal de navegación.

6.5 ANÁLISIS DE OLEAJE GENERADO POR VIENTOS

[24] Waves generated by Large Ships and Small Boats, Das M.M. and Johnson J.W., University of California Berkeley. 12th International Conference on Coastal Engineering, Chapter 138. September 13-18, 1970. Washington, D.C., United States

Se pretende realizar una comparación realista entre el fenómeno de oleaje generado por la navegación de buques de ultramar, frente a la generación de oleaje por acción de vientos.

La información estadística de intensidad – dirección del viento en la zona se obtuvo procesando datos horarios del registro del Servicio Meteorológico Nacional en Rosario, para un periodo de 20 años. En la siguiente figura se ilustra la rosa de intensidades para 16 direcciones.

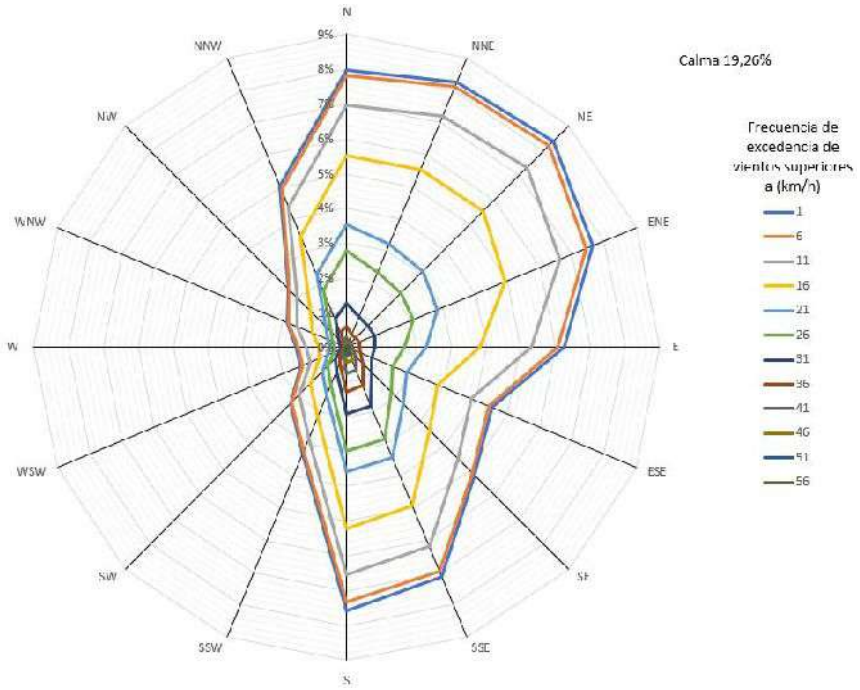


Figura 21 Estadística de vientos en la Estación Rosario del SMN, período 1971 – 1990.

La siguiente tabla muestra los porcentajes de superación de velocidades del viento por dirección correspondientes. Las direcciones de incidencia que pueden generar mayores alturas de ola en la zona costera de Ramallo son las comprendidas entre el NNE y el ENE.

Tabla 3. Diagrama de dispersión de intensidad – dirección del viento en Rosario.

V (km/h)>	1	6	11	16	21	26	31	36	41	46	51	56	61	66	71	76	81	86	91
N	7,964%	7,818%	6,969%	5,523%	3,544%	2,780%	1,273%	0,616%	0,293%	0,125%	0,046%	0,025%	0,004%	0,002%					
NNE	8,272%	8,131%	7,205%	5,522%	3,210%	2,314%	0,921%	0,390%	0,152%	0,050%	0,014%	0,009%	0,002%	0,002%	0,002%				
NE	8,384%	8,226%	7,330%	5,525%	3,104%	2,200%	0,882%	0,373%	0,130%	0,037%	0,011%	0,007%	0,002%	0,002%	0,002%				
ENE	7,649%	7,449%	6,636%	4,930%	2,819%	2,056%	0,879%	0,383%	0,154%	0,056%	0,021%	0,011%	0,001%	0,001%					
E	6,257%	6,068%	5,298%	3,841%	2,277%	1,663%	0,795%	0,356%	0,141%	0,065%	0,035%	0,017%	0,002%	0,002%					
ESE	4,521%	4,417%	3,869%	2,816%	1,856%	1,429%	0,780%	0,440%	0,210%	0,100%	0,053%	0,033%	0,005%	0,002%					
SE	5,201%	5,093%	4,515%	3,386%	2,274%	1,812%	1,026%	0,632%	0,329%	0,160%	0,080%	0,052%	0,017%	0,010%	0,004%	0,002%	0,001%	0,001%	
SSE	7,137%	6,962%	6,194%	4,917%	3,416%	2,855%	1,810%	1,192%	0,699%	0,387%	0,205%	0,134%	0,053%	0,037%	0,023%	0,008%	0,005%	0,004%	
S	7,560%	7,331%	6,528%	5,198%	3,581%	2,980%	1,904%	1,284%	0,753%	0,416%	0,241%	0,152%	0,048%	0,031%	0,021%	0,006%	0,004%	0,002%	
SSW	3,327%	3,226%	2,866%	2,204%	1,497%	1,211%	0,745%	0,488%	0,292%	0,155%	0,098%	0,063%	0,031%	0,014%	0,008%	0,003%	0,002%		
SW	2,309%	2,254%	1,947%	1,492%	0,988%	0,778%	0,473%	0,295%	0,175%	0,106%	0,066%	0,052%	0,027%	0,012%	0,007%	0,003%	0,003%	0,001%	0,001%
WSW	1,446%	1,375%	1,151%	0,859%	0,581%	0,432%	0,230%	0,136%	0,073%	0,044%	0,028%	0,021%	0,010%	0,010%	0,005%	0,004%	0,004%	0,004%	0,004%
W	1,457%	1,402%	1,169%	0,799%	0,499%	0,356%	0,181%	0,116%	0,050%	0,025%	0,019%	0,013%	0,004%	0,004%	0,004%	0,002%	0,002%	0,002%	0,002%
WNW	1,837%	1,806%	1,548%	1,084%	0,606%	0,450%	0,220%	0,108%	0,054%	0,019%	0,011%	0,011%	0,003%	0,003%	0,003%	0,002%	0,002%	0,002%	0,002%
NW	2,382%	2,343%	2,020%	1,483%	0,865%	0,648%	0,318%	0,157%	0,086%	0,041%	0,018%	0,015%	0,006%	0,005%	0,004%	0,002%	0,002%	0,002%	0,002%
NNW	5,034%	4,927%	4,361%	3,470%	2,289%	1,800%	0,895%	0,478%	0,237%	0,114%	0,044%	0,024%	0,008%	0,004%					
Total	80,74%	78,83%	69,61%	53,05%	33,41%	25,76%	13,33%	7,44%	3,83%	1,90%	0,99%	0,64%	0,22%	0,14%	0,08%	0,03%	0,02%	0,02%	0,01%

Se consideró para el cálculo una distancia de generación (fetch) igual a 2 km, correspondiente a vientos del cuadrante NE, y 5 metros de profundidad media en la zona final del fetch correspondientes a una situación de estiaje. Si bien menores profundidades implican menores alturas de ola generada debido a los fenómenos de rompiente, para las condiciones de cálculo prácticamente no existen limitaciones a la generación de olas incluso con profundidades muy bajas de 2 a 3 metros, donde la altura de ola rompiente alcanza valores del orden de 1,2 a 1,8 metros.

Las velocidades del viento consideradas en el cálculo son 21, 31, 41 y 51 km/h. A modo indicativo, las probabilidades de ser superadas y el número de horas anuales en las cuales ello podría suceder cuando sus direcciones de incidencia se encuentran entre el NNE y el ENE se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 4. Probabilidad de excedencia de velocidades del viento en el cuadrante del NNE al ENE.

Velocidad (km/h)	Probabilidad	Horas / año
21	9,134%	800
31	2,682%	235
41	0,436%	38
51	0,046%	4

La formulación empleada para la estimación de las alturas significativas y máximas y los períodos de ola generada por vientos es la SMB para aguas poco profundas, propuesta en el Shore Protection Manual del U.S. Army Corps of Engineers (1984), la cual se presenta a continuación.

$$\frac{g \cdot Hs}{U_A{}^2} = 0{,}283 \cdot tgh[\,0{,}53(g \cdot h/U_A{}^2)^{(3/4)}] \cdot tgh\{\frac{0{,}00565 \cdot (g \cdot F/U_A{}^2)^{(1/2)}}{tgh \cdot [0{,}53 \cdot (g \cdot h/U_A{}^2)^{(3/4)}]}\}$$

$$\frac{g \cdot Tp}{U_A} = 7{,}54\, tgh[\,0{,}833\left(g \cdot \frac{h}{U_A{}^2)^{(3/8)}}\right] \cdot tgh\left\{\frac{0{,}0379 \cdot (g \cdot F/U_A{}^2)^{(1/3)}}{tgh \cdot [0{,}833(g \cdot h/U_A{}^2)^{(3/8)}}\right\}$$

$$\frac{g \cdot t}{U_A} = 537(g \cdot Tp/U_A)^{(7/3)}$$

Donde:

Hs: Altura significativa de ola (promedio del tercio superior de las olas más altas) (m)

Tp: Periodo de pico del espectro de energía de las olas (segundos)

F = Fetch (distancia de generación) (m)

h = Profundidad de agua en la zona de generación (m)

UA = Coeficiente de arrastre o esfuerzo de corte de las olas (velocidad ajustada) = 0,71 U1,23

U = Velocidad del viento (m/s)

t = duración mínima del viento necesaria para generar la altura Hs (segundos)

La altura máxima correspondiente dentro del mismo evento de viento se puede estimar utilizando la distribución de probabilidades de Rayleigh, siendo aproximadamente igual a 1,8 Hs.

Los valores de altura significativa resultantes por acción de viento se presentan a continuación

Tabla 5. Altura significativa de ola por acción del viento. Cálculo Shore Protection Manual.

Velocidad del Viento		Fetch	Ua	Hs	Tp	Hmáx	duración mínima t	
km/h	m/s	m	m/s	m	s	m	s	min
21	5,83	2000	6,2	0,14	1,4	0,25	2042	34
31	8,61	2000	10,0	0,22	1,6	0,40	1591	27
41	11,39	2000	14,1	0,31	1,8	0,56	1319	22
51	14,17	2000	18,5	0,41	2,0	0,73	1137	19

Considerando que la duración del viento necesaria para generar estas alturas de ola es menor a una hora, se puede estimar que las alturas máximas calculadas se podrían verificar una cantidad de veces por año al menos del mismo orden que la cantidad de horas en que se superan las intensidades de viento correspondientes.

6.6 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Como primera conclusión, para el caso de buques de ultramar, y como medida de mitigación que podría aplicarse para reducir las afectaciones que dicho oleaje pueda causar sobre las márgenes costeras de la localidad, es la reducción de la velocidad de navegación actual (mayor a 12 nudos) a la mínima compatible con el buen gobierno del buque la cual se estima en 8 nudos, pero depende del diseño de cada embarcación.

Dicho criterio de limitación de la velocidad para el caso de buques pasantes también se expone en recomendaciones internacionales como las normas españolas ROM. En nuestro país el órgano de control, la Prefectura Naval Argentina, dispone en sus ordenanzas/normativas dicho criterio para diferentes zonas de la vía navegable troncal.

Se puede considerar en forma conservativa que los aproximadamente 4.500 buques que transitarán la VNT en la zona de Ramallo generarán olas con alturas máximas similares a las de los buques Handysize considerando una distancia de 450 metros entre la línea de navegación y la costa, las cuales serían del orden de 5 cm si la velocidad está limitada a 8 nudos y de 18 cm si la velocidad fuese mayor (10 nudos). Aun navegando a velocidades bajas (4 m/s), el lapso durante el cual los buques pasan frente a la zona de playa de Ramallo y las olas generadas alcanzarían la costa no excede de los 10 minutos por pasaje (estrictamente, cuanto mayor sea la duración del pasaje frente a la costa, menor es la velocidad de navegación correspondiente y por lo tanto, menor es la altura de ola generada). Con estas hipótesis indicativas, el período de tiempo anual durante el cual la costa se vería expuesta a estas olas máximas sería del orden de 750 horas.

Estos valores resultan comparables e incluso menores que las alturas de ola generadas por la acción de los vientos que soplan sobre la zona desde el cuadrante NE, que con sólo 21 km/h de intensidad, generan olas de 25 cm de altura máxima durante unas 800 horas anuales. Por otro lado, la costa se ve impactada por olas máximas de mayor altura, superior a 50 cm, con menor frecuencia cuando ocurren vientos con intensidades mayores a unos 40 km/h. Si bien la probabilidad de ocurrencia de estos eventos es relativamente más baja, el efecto de estos sobre la playa sería mayor. Según el análisis efectuado alturas de olas máximas comparables sólo serían generadas por buques navegando a más de 12 nudos de velocidad, lo cual no sería posible debido a las restricciones normativas considerando el pasaje frente a una zona urbana sensible que incluye un área portuaria donde puede haber buques amarrados.

Cabe mencionar que tanto para las olas generadas por buques como las de viento se tienen características de oleaje de periodo corto, entre 1 y 3 segundos.

Por último, en cuanto a las embarcaciones recreativas que navegan con mayor frecuencia las zonas cercanas a la costa, los antecedentes disponibles indican que el pasaje de estas embarcaciones puede generar condiciones de oleaje más severas que un buque de gran porte navegando en el canal de navegación.

7. USOS NÁUTICOS DEL RÍO

Jurisdicciones y Asentamientos Poblacionales Involucrados

El principal asentamiento frente a la traza del dragado es la ciudad de Ramallo que se encuentra dentro del partido homónimo, apostado en el extremo noreste de la provincia de Buenos Aires.

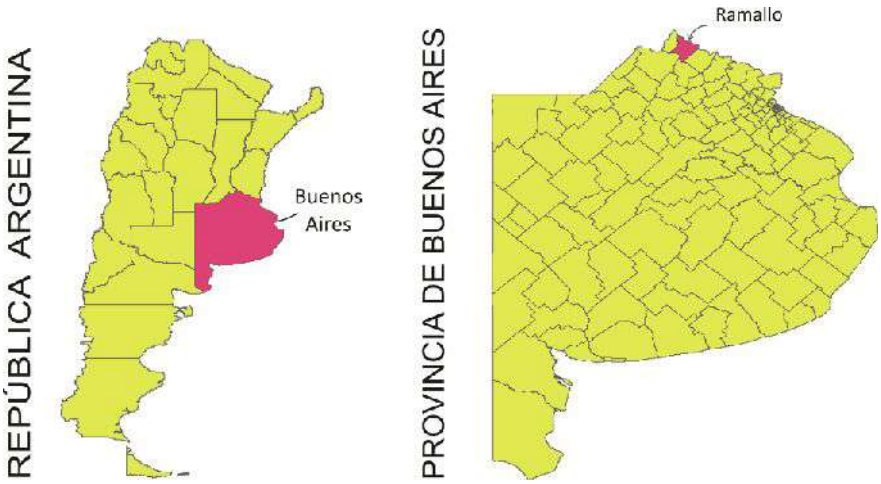


Figura 22. Jurisdicciones Involucradas.

Esta jurisdicción, que presenta como área de gobierno la forma de Municipio limita al norte con el partido de San Nicolás, al sur con Pergamino y Bartolomé Mitre y al este con San Pedro.

En cuanto a los asentamientos poblacionales, en esta jurisdicción se emplazan 5 localidades de diversos tamaños: la ciudad cabecera Ramallo, y luego, Villa Ramallo, El Paraíso, Pérez Millán y Villa General Savio.

Población

Según el Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas de 2001 el partido de Ramallo alberga a una población de 29.179 habitantes. La densidad del partido es baja (28,1 habitantes/km²) e inferior a la media provincial. El grado de urbanización alcanza al 86,4% de la población total.

En cuanto a la dinámica evolutiva, esta jurisdicción presenta una tasa de incremento de 7,9 (1991/2001), levemente inferior al valor de la provincia de Buenos Aires.

Tabla 6. Población, superficie, densidad, tasa de incremento y porcentaje de urbanización de Ramallo.

División Político-Administrativa	Población	Superficie en km ²	Densidad	Tasa de Incremento (o/oo) 1991/2001	% Urbanización
Provincia de Buenos Aires	**13.827.203**	**307.571**	**45,0**	**8,9**	**96,4**
Ramallo	29.179	1.040	28,1	7,9	86,1
Fuente: INDEC, 2001					

De acuerdo con las proyecciones provinciales de población al 1º de julio de 2021, y según se puede observar en la siguiente tabla, la tendencia de crecimiento se mantiene. Conforme lo estimado, en el partido de Ramallo en 2021 la población alcanza a un total 38.180 habitantes.

Por otra parte, al Sudoeste de Ramallo y a una distancia de unos 5 km se localiza Villa Ramallo. Este asentamiento es más pequeño que la ciudad cabecera y presenta un menor grado de consolidación, aunque resulta el más antiguo originado por la presencia de la estación del ferrocarril de la línea B. Mitre.

Turismo

En cuanto a los usos turísticos recreativos la costa de Ramallo cuenta con una amplia oferta de actividades ticas y recreativas. Al norte de Ramallo sobre la costa del río Paraná en su intersección con la Av. San Martín hay un sector denominado por la población local como “Costa Pobre”, que presenta algunas viviendas en estado de deterioro con signos de autoconstrucción predominantemente utilizadas de manera periódicas y algunos puestos comerciales (venta de comida y bebida, carnadas, etc.). Asimismo, se identifica un camping con espacios para la recreación (bancos, mesas, etc.).

Figura 23. Acceso al río en Costa Pobre.

Figura 24. Construcciones en Costa Pobre.

El sitio con mayor intensidad de usos recreativos y turísticos del partido de Ramallo se encuentra en la costanera de su cuidad cabecera (Paseo Viva El Río). Este sector es utilizado con mayor intensidad durante la temporada estival y se realizan actividades tales como pesca desde costa y embarcada (embarcaciones pequeñas a motor y remo), prácticas náuticas, y fundamentalmente explotación del producto sol y playa y contemplación del paisaje.

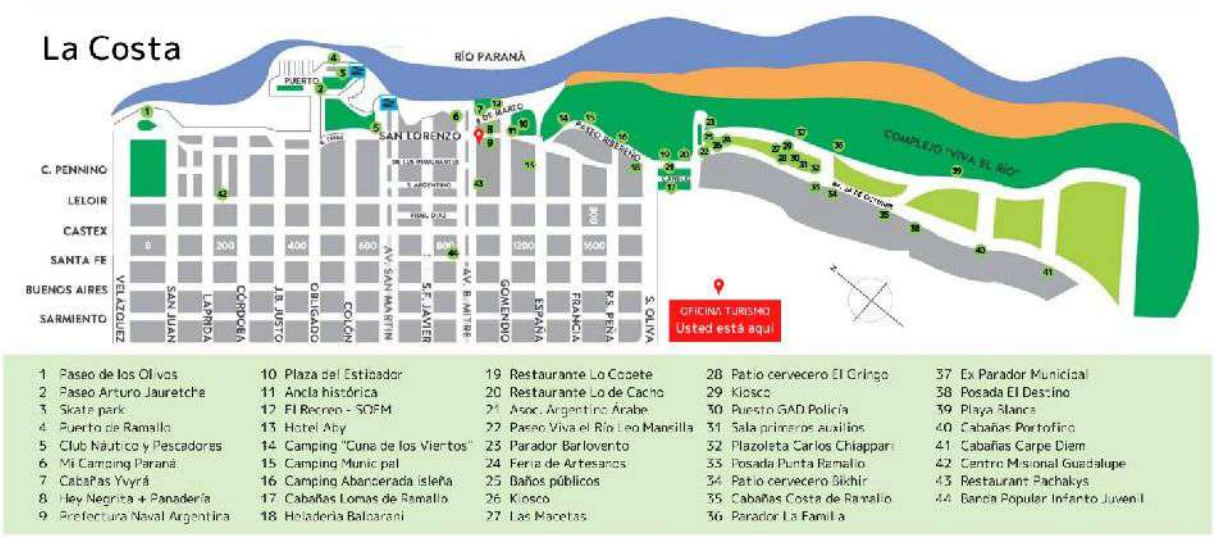


Figura 25. Guía sitios costeros en el entorno de Ramallo.

Figura 26. Acceso a zona de playa en bajada Canelo.

Figura 27. Playa Frente a Paso Las Hermanas.

Figura 28. Actividades recreativas playa Ramallo.

Apostados sobre la costa del río hay otros usos ligados a lo industrial representados principalmente por las empresas Bunge SA, Fiplasto SA y Xtorage Ramallo. A continuación se puede apreciar una imagen con los principales usos del suelo en el entorno de Ramallo y algunas fotografías tomadas desde el río Paraná.

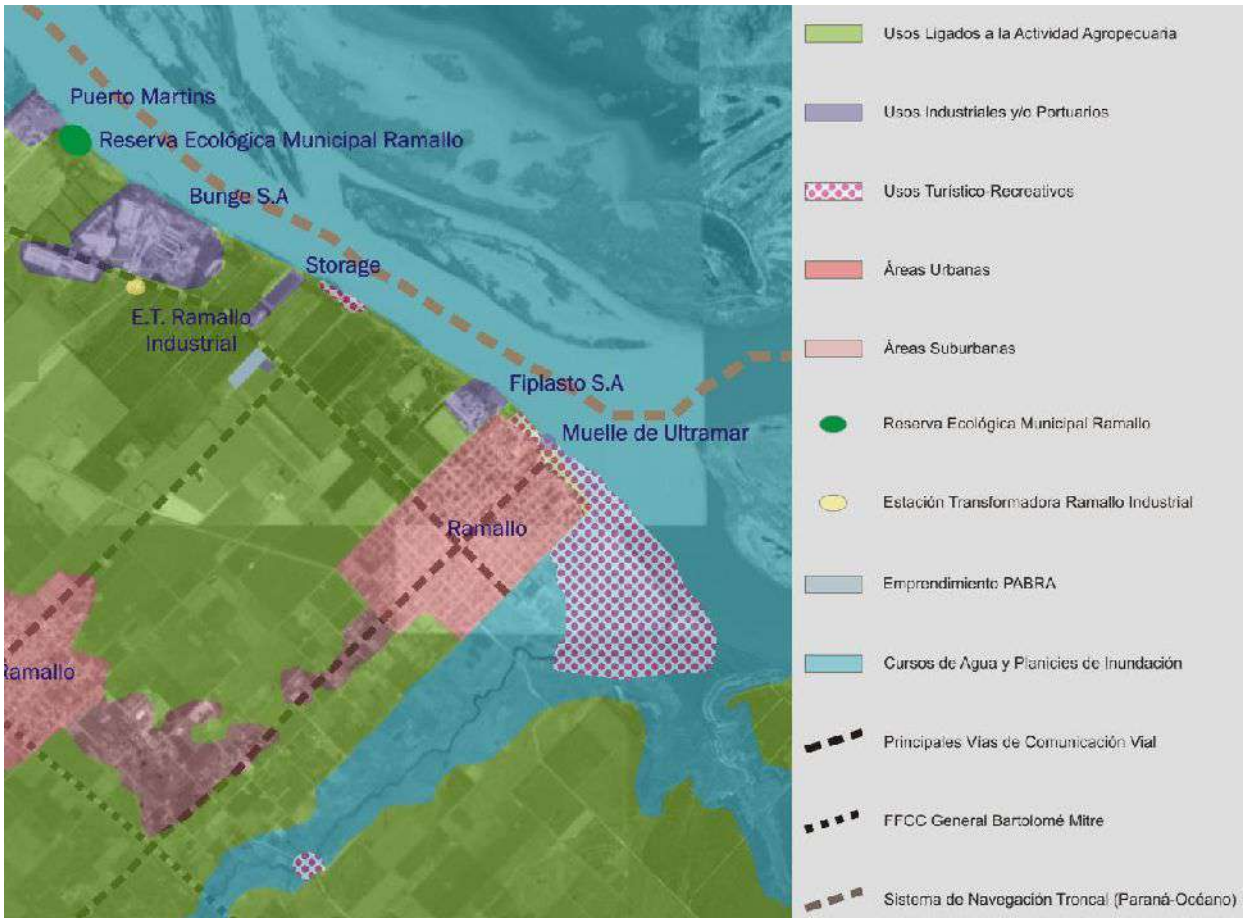


Figura 29. Usos del suelo en el entorno de Ramallo.

Figura 30. Bunge SA.

Figura 31. Fiplasto.

Figura 32. Zona de relleno aguas arriba de Ramallo.

Figura 33. Xtorage Ramallo.

Hacia el sur de Ramallo sobre el Arroyo Las Hermanas hay una importante guardería náutica llamada Guardería Náutica Ramallo. A continuación se presenta su ubicación y una fotografía.

Figura 34. Ubicación Guardería Náutica Ramallo.

Figura 35. Acceso de Guardería.

Figura 36. Guardería.

Sistema de Navegación Troncal del río Paraná-Océano.

El río Paraná inferior integra el último tramo de la red hidrográfica de la Cuenca del Plata, junto con los ríos Paraná de las Palmas, Paraná Guazú, y el Río de La Plata, constituyendo todos ellos la ruta troncal Santa Fe-Océano de la vía navegable del Paraná, también denominada Sistema de Navegación Troncal del río Paraná-Océano.

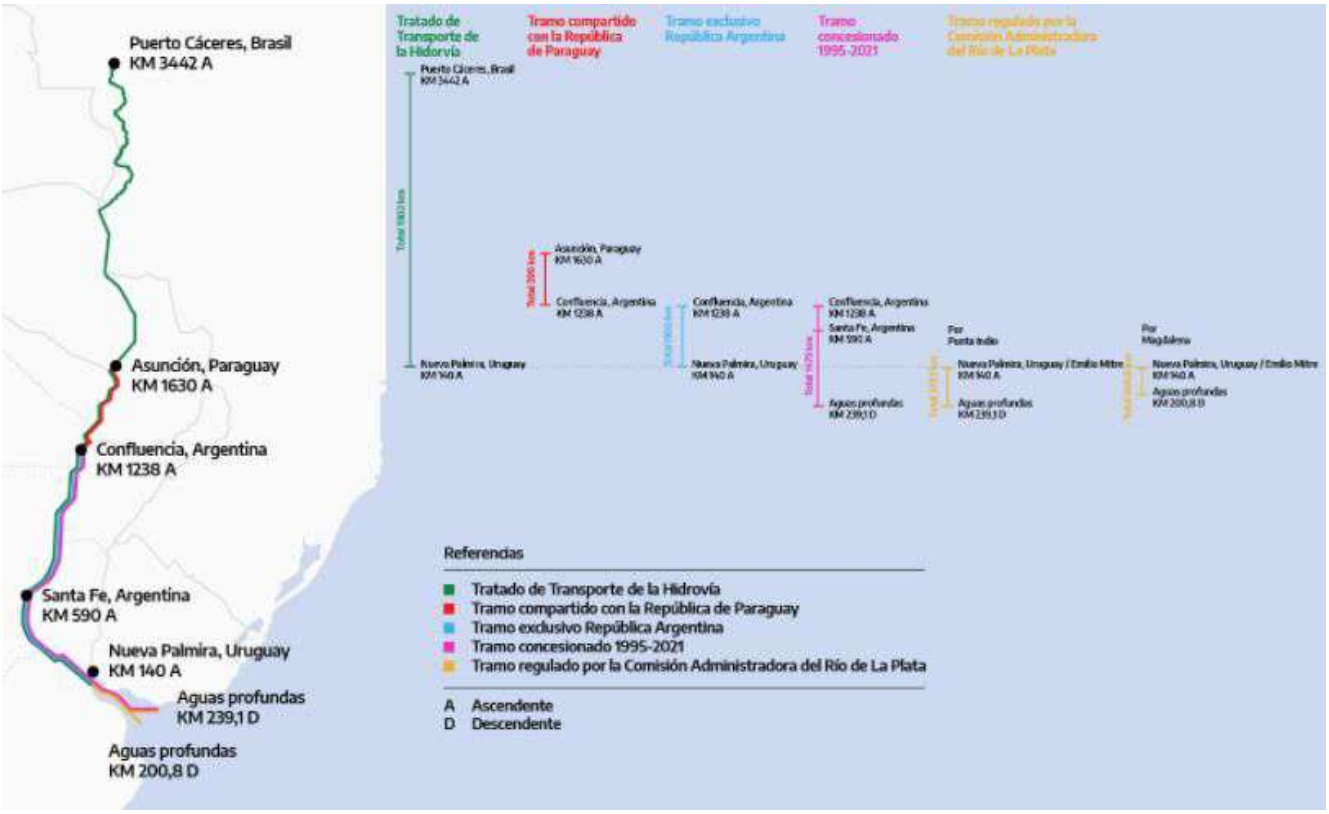


Figura 37. Sistema Navegable Integral.

Esta vía, que vincula grandes puertos y terminales fluviales, representa una de las principales rutas del comercio exterior de la Argentina, resultando hegemónico su utilización para las exportaciones de productos agrícolas (concentrando más del 80%), el sector más importante a nivel nacional.

A partir del 11 de septiembre de 2021, la Administración General de Puertos comenzó la gestión estatal encomendada por el presidente Alberto Fernández en el Decreto Nº 427/21, y por el contrato firmado con el Ministerio de Transporte el 2 de septiembre. AGP S.E. cobrará el peaje y se encargará del dragado, el balizamiento y el control hidrométrico hasta que el Ente de Control y Gestión adjudique la "licitación larga" donde quedará plasmado el nuevo modelo de desarrollo de la Vía Navegable Troncal.

Por el Sistema de Navegación Troncal, se mueven un promedio de 4500 buques al año, superando ampliamente el tráfico que había en el inicio de la concesión a mediados de los años 90, donde el estimativo era de 2000 buques al año, incremento que se debe en gran medida al desarrollo de los puertos privados instalados a lo largo de la VNT en el Paraná Inferior.

La participación relativa de cada flota en el total de ingresos confirma el protagonismo de las cuatro mencionadas como principales (Graneleros, Portacontenedores, Carga General y Tanque) con más del 90% de participación, manteniendo la tendencia observada desde 1996.

Los buques que mayor cantidad de ingresos realizan son los graneleros. Seguidos por los buques portacontenedores, luego por los buques tanque y los buques de carga general.

Esta ruta única de tránsito fluvial de y hacia los puertos del Alto Paraná y Paraguay, también funciona como un importante parque náutico deportivo y recreativo.

En el área de estudio se encuentra el Área Portuaria Ramallo. En la siguiente figura se pueden observar la localización de las terminales portuarias que la componen.

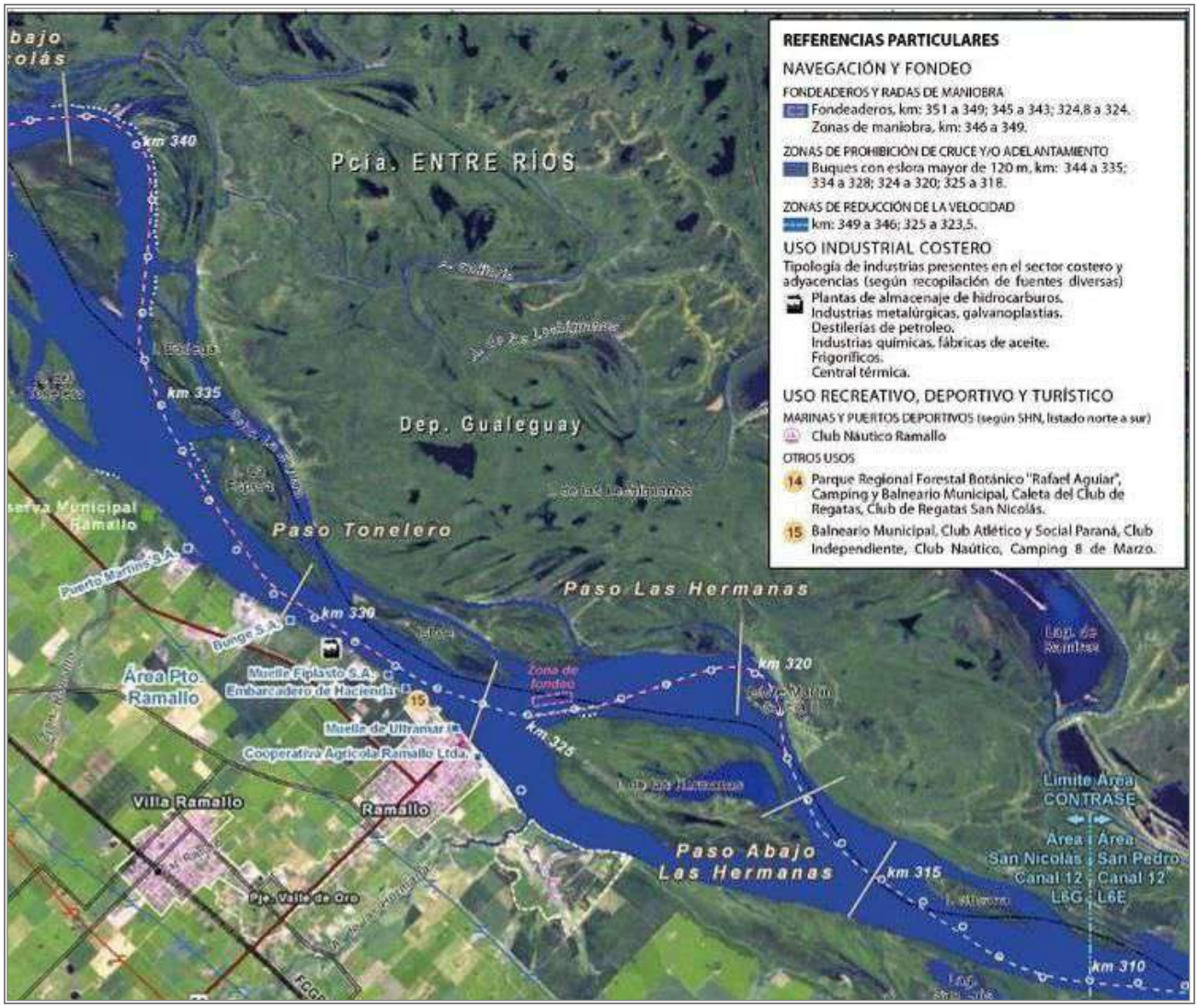


Figura 38. Infraestructura Fluvial. Fuente: SSPyVN, 2008.

Tráfico fluvial sobre el brazo derecho

Si bien el tráfico fluvial sobre el brazo derecho en el tramo de Isla Las Hermanas no era intenso respecto al brazo izquierdo, durante el 2019 y 2020 el tráfico de buques y embarcaciones de calado bajo fue el siguiente:

- Buques de carga Handysize (los Handymax pasaron por el brazo izquierdo).
- Buques LPG (Propaneros) (la mayoría pasaron por el brazo izquierdo).
- Buques tanque Handysize (los Handymax y Panamax pasaron por el brazo izquierdo).

Además otras embarcaciones navegaron por el brazo derecho:

- Remolcadores y embarcaciones especiales.
- Embarcaciones de pasajeros (no usan el brazo izquierdo).
- Embarcaciones recreativas (principalmente).

A continuación se presenta imágenes obtenidas de Marine Traffic sobre el tráfico en ambos brazos del río durante los años 2019 y 2020. Nótese que sobre el brazo derecho ya se compartía el uso con embarcaciones recreativas.

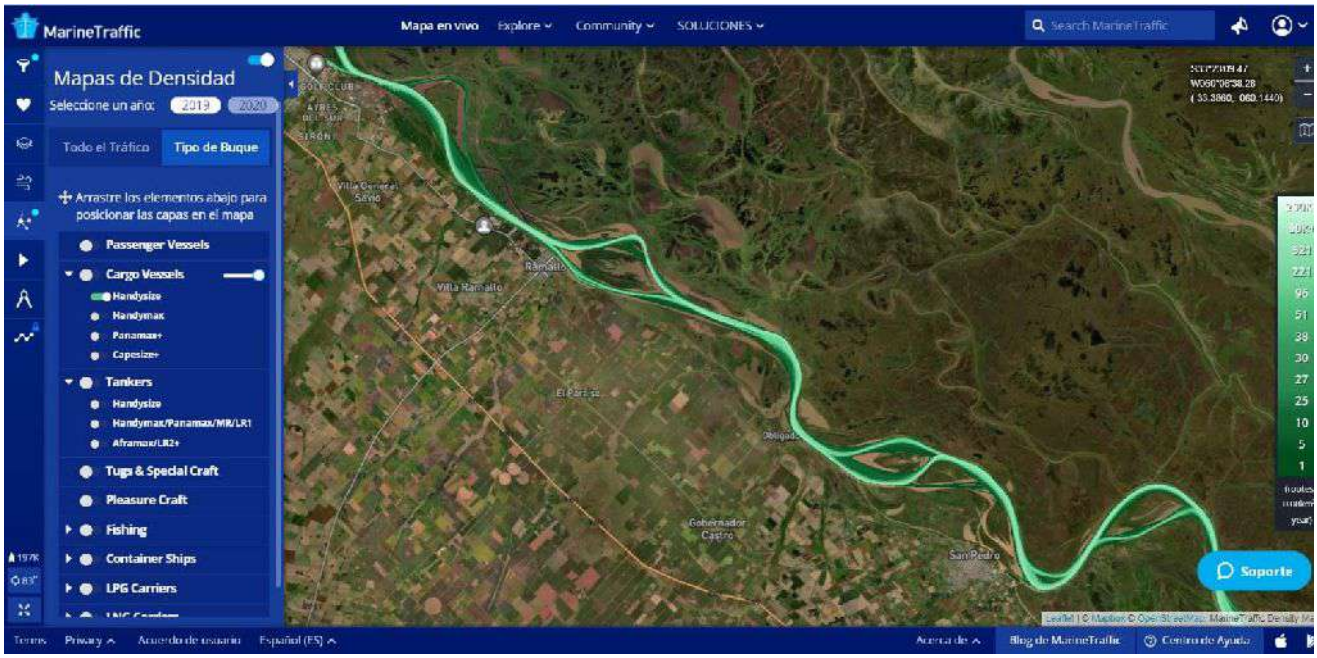


Figura 39. Buques de Carga Handysize-2019.

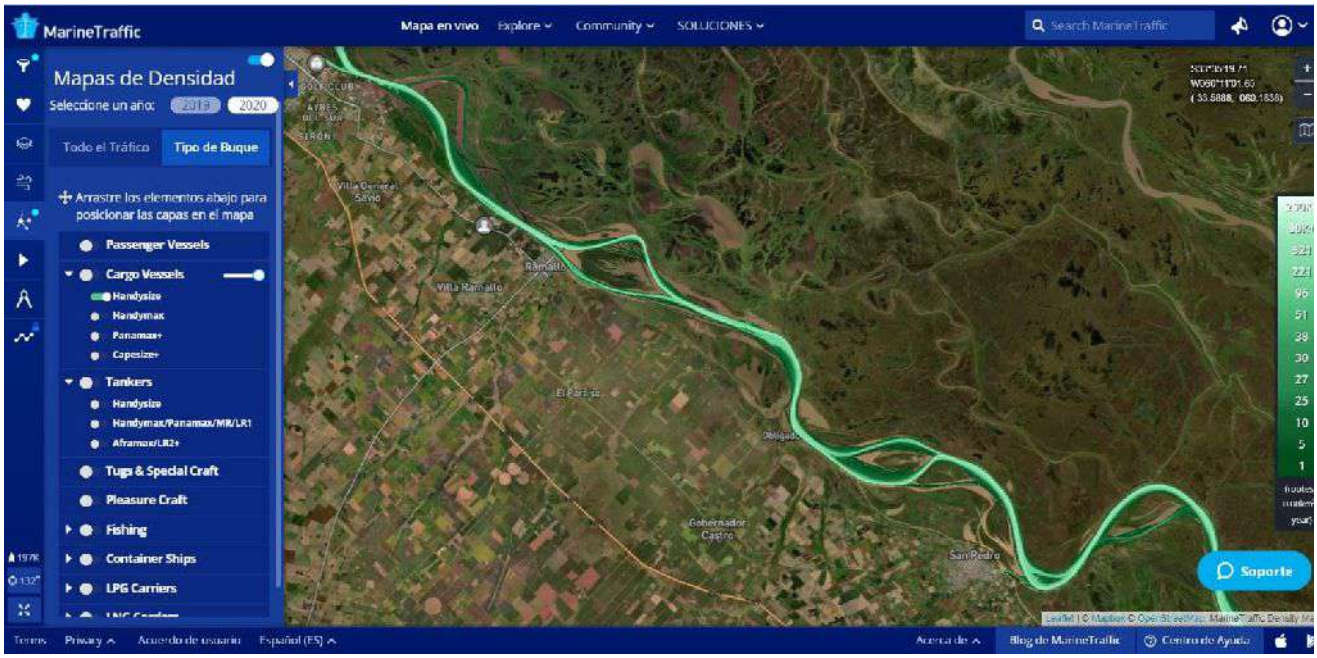


Figura 40. Buques de Carga Handysize-2020.

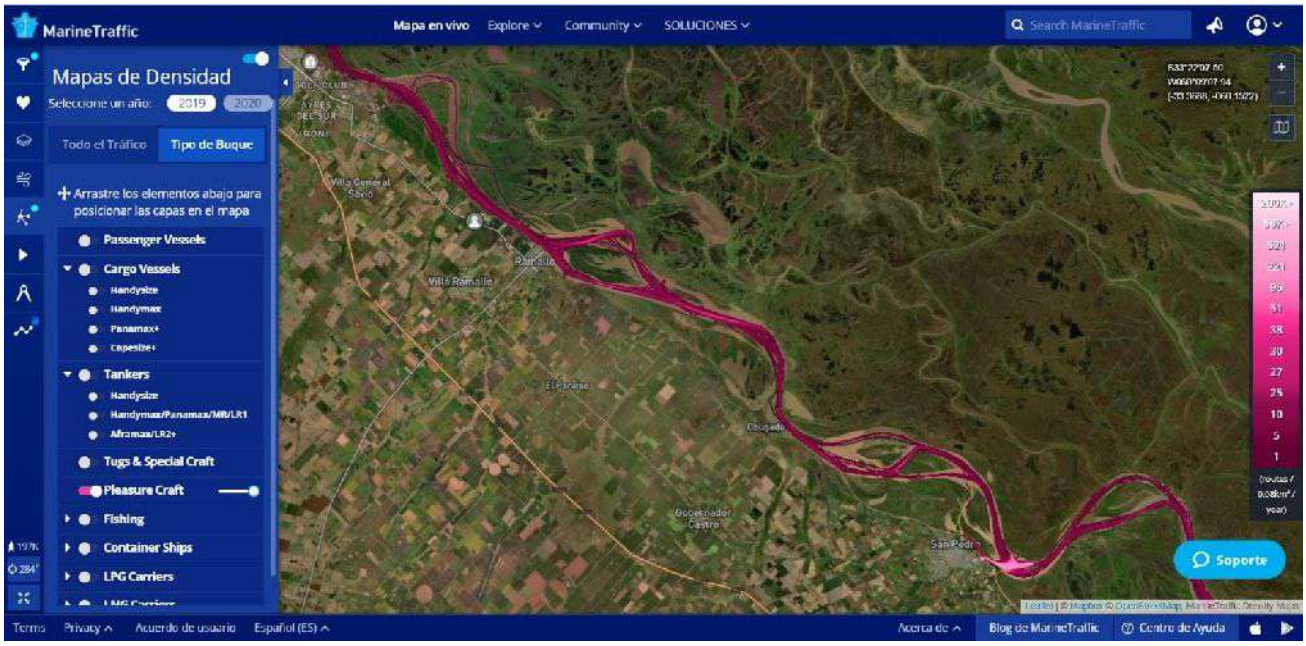


Figura 41. Embarcaciones recreativas 2019.

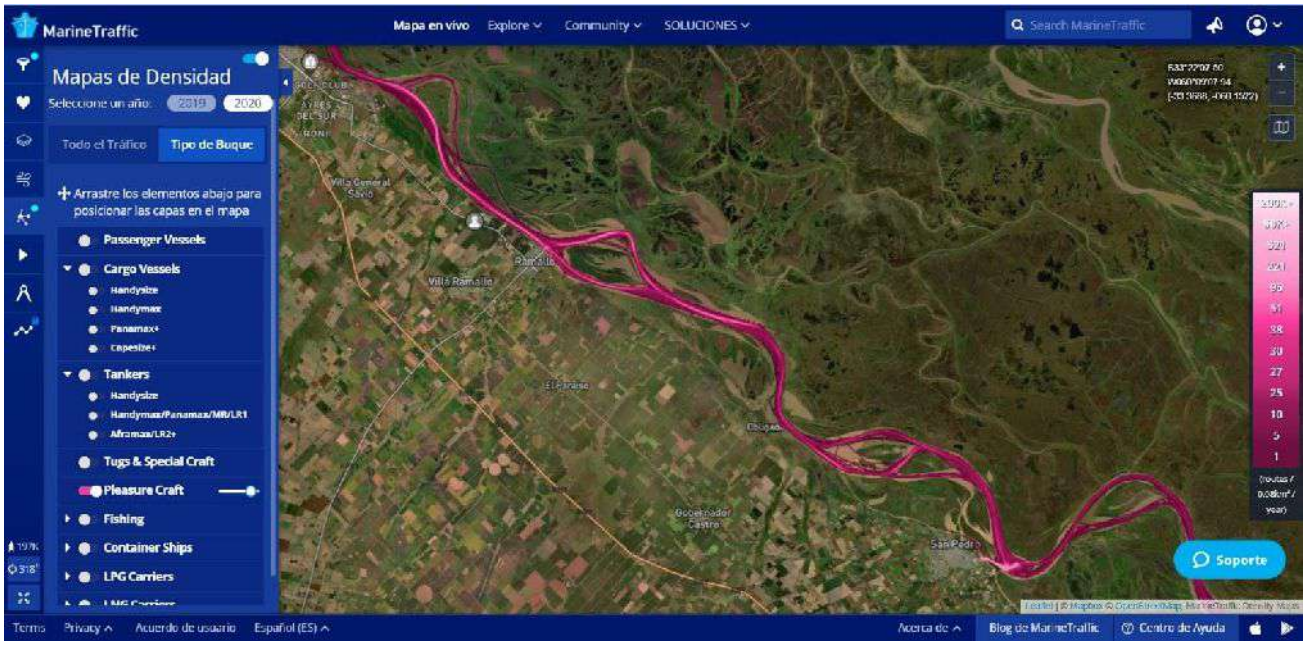


Figura 42. Embarcaciones recreativas 2020.

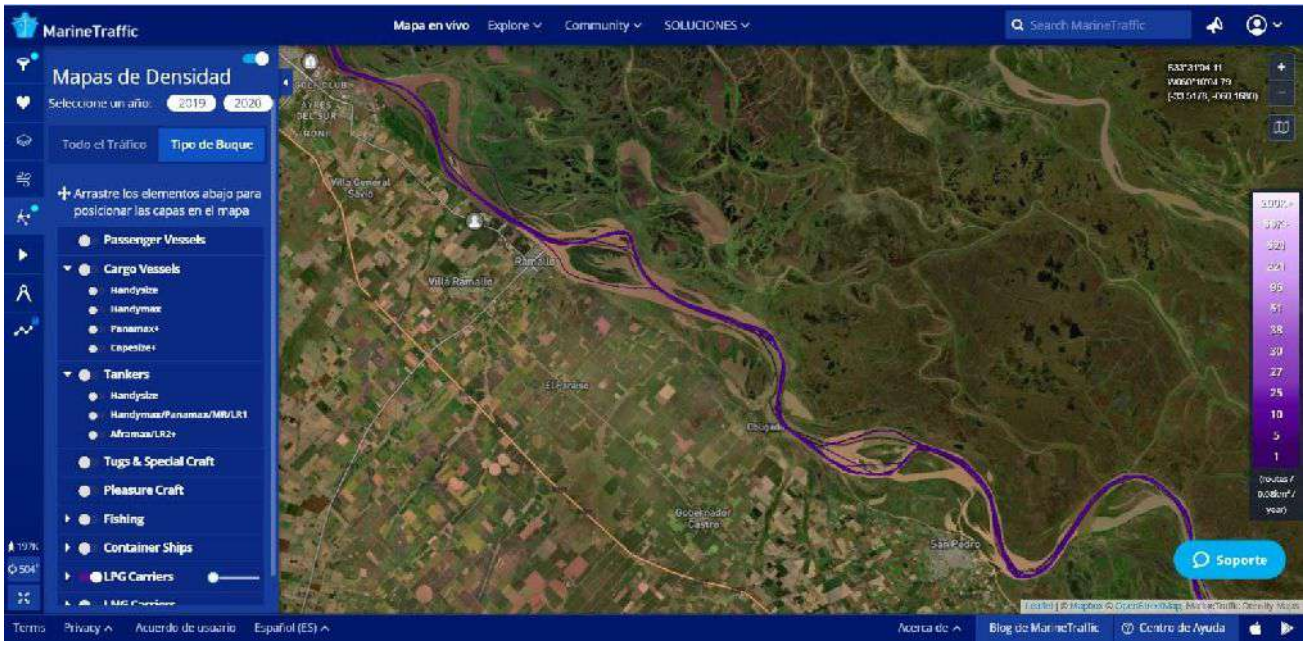


Figura 43. LPG 2019 - 2020.

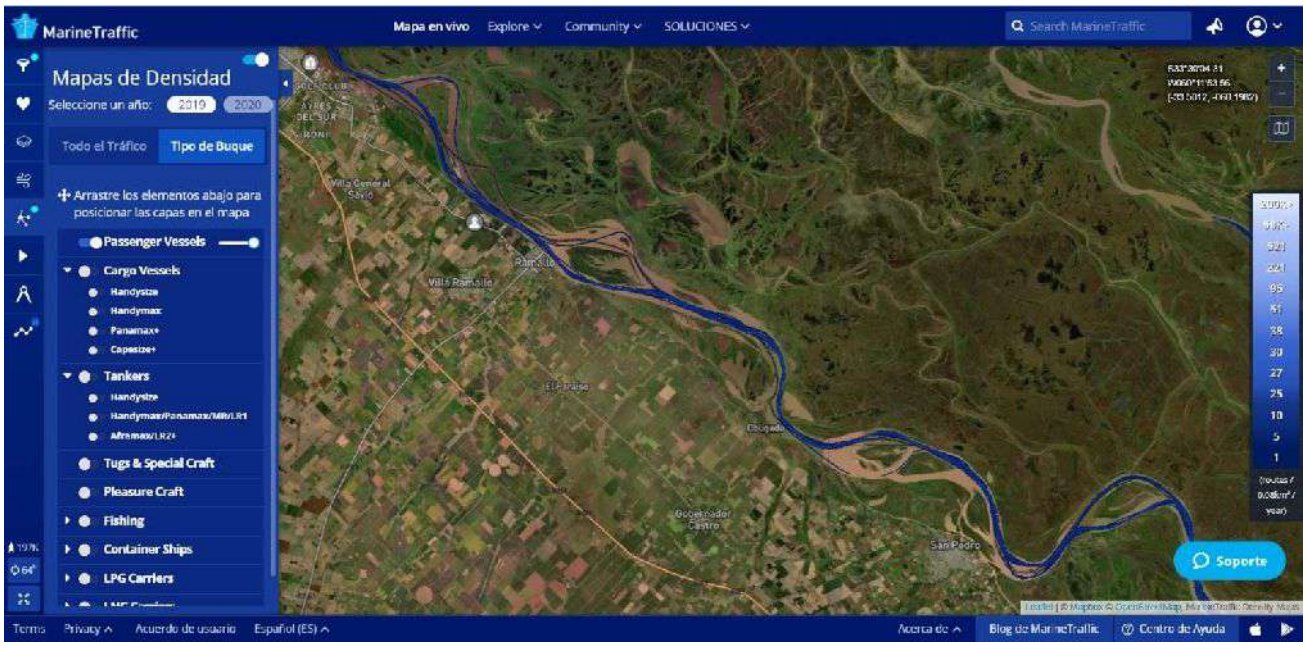


Figura 44. Pasajeros 2019.

Figura 45. Pasajeros 2020.

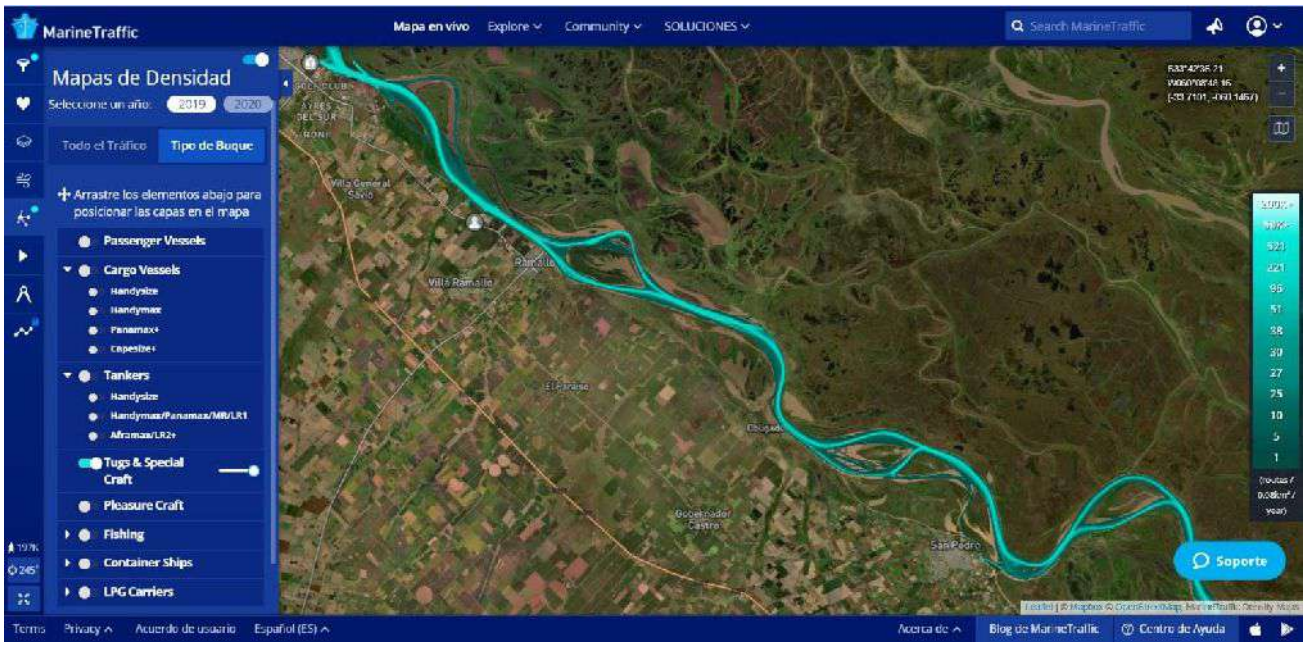


Figura 46. Remolcadores y embarcaciones especiales 2019.

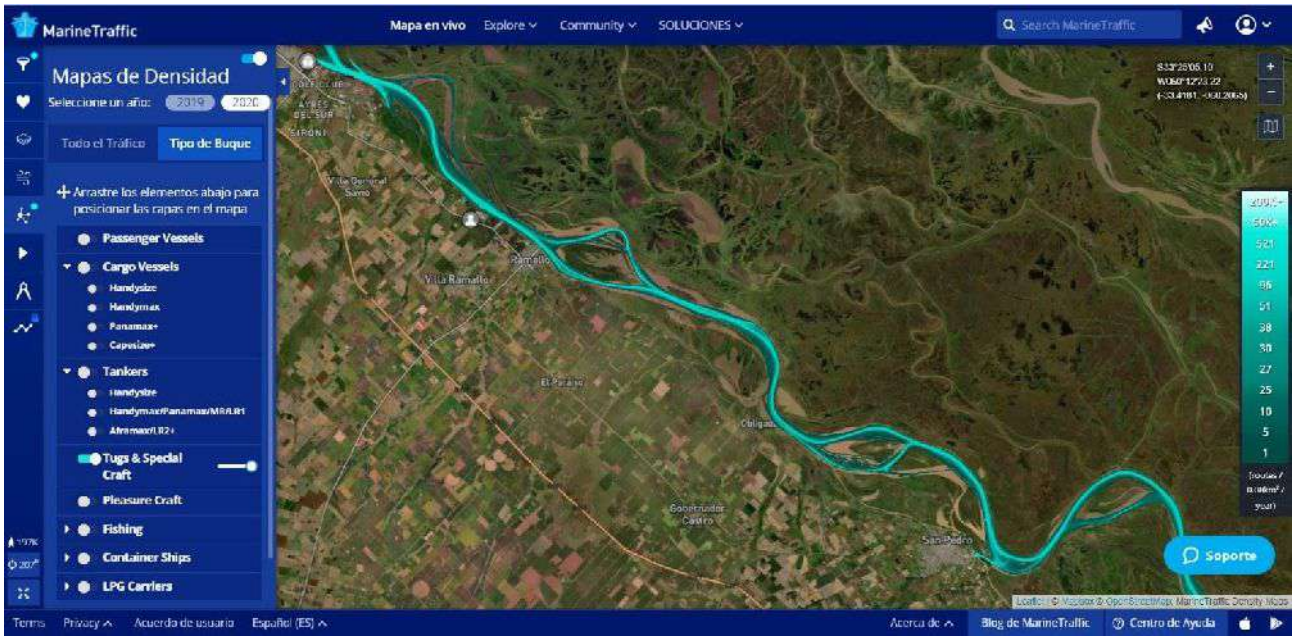


Figura 47. Remolcadores y embarcaciones especiales 2020.

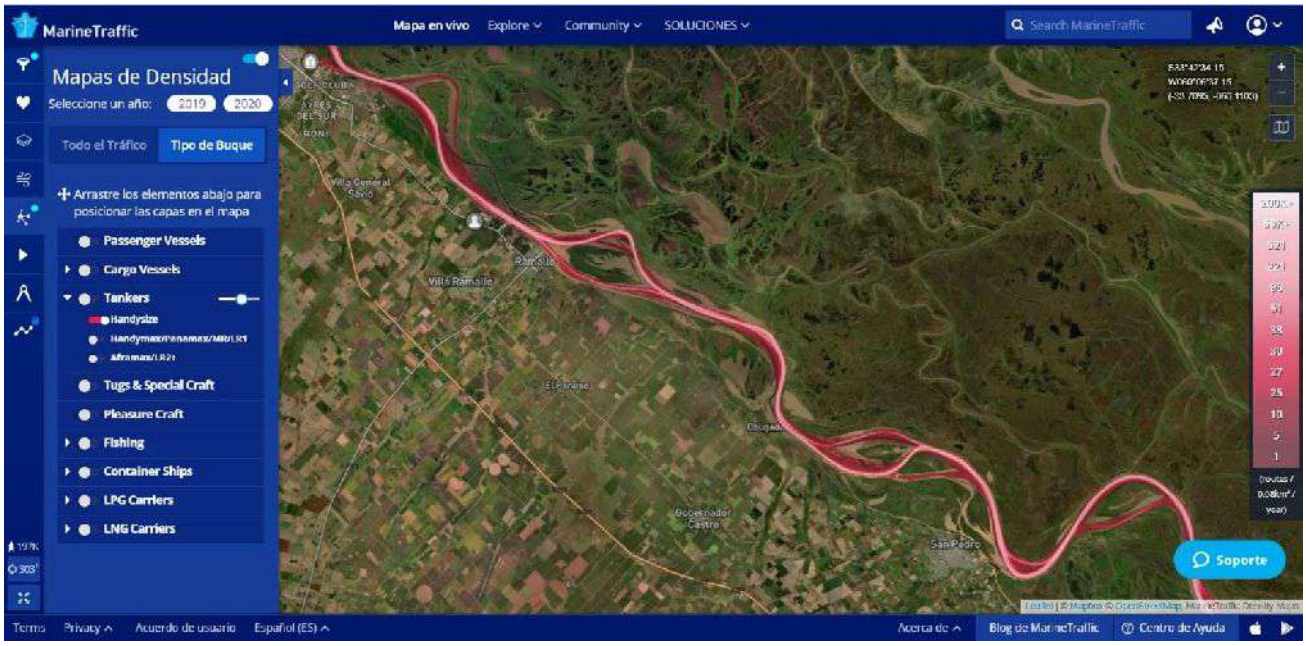


Figura 48. Tankeros-Handysize-2019.

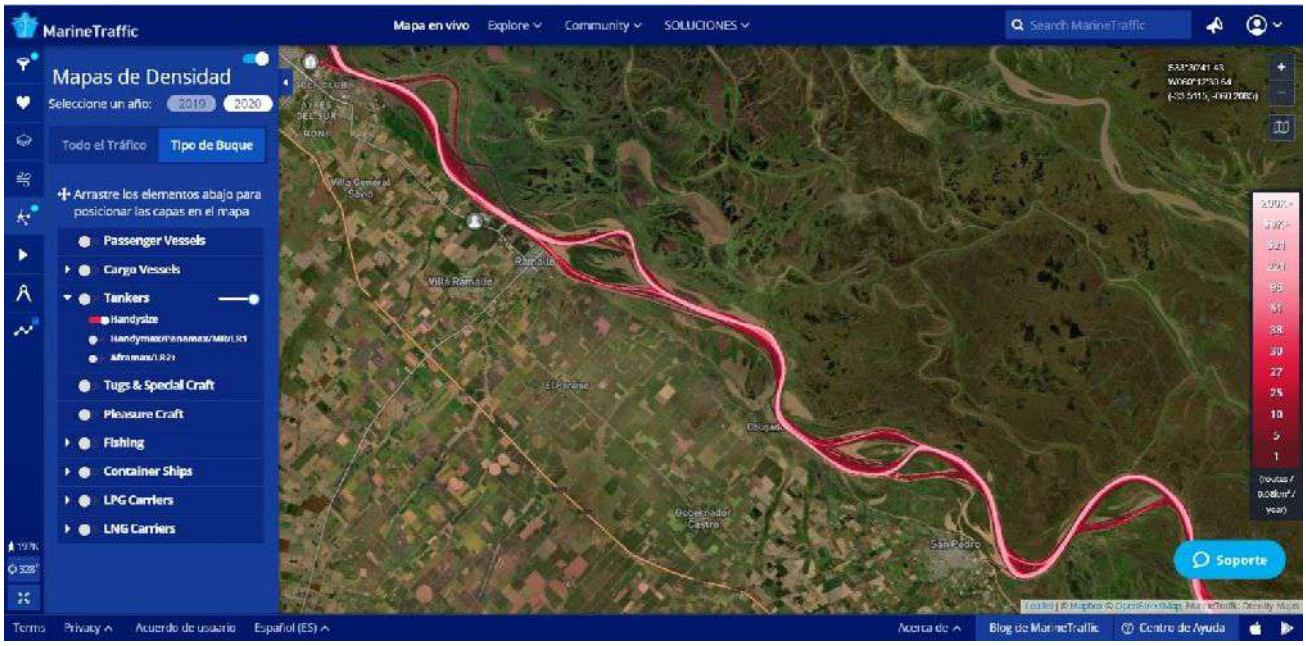


Figura 49. Tankeros-Handysize-2020.

A pesar de no poseer tráfico de calado alto sobre el brazo derecho en los últimos años, el mismo nunca dejó de ser ruta de navegación de ultramar secundaria. Por lo tanto su navegación implica el cumplimiento de ordenanzas de seguridad de la Prefectura Naval Argentina para todo tipo de embarcaciones, sean de transporte de carga, pasajeros o recreativas.

8. ÁREAS DE DISPOSICIÓN Y ZONAS DE VEDA

De acuerdo con lo informado por la AGP S.E. al Órgano de Control, durante las operaciones de dragado del brazo derecho del río se utilizaron las siguientes zonas de descarga de los materiales extraídos:

- Km de entrepaso 311,8-312,9
- Km 330,0- 331,1
- Km de entrepaso 317,0-320,2

Estos son los sectores habilitados de acuerdo con el Atlas Ambiental de la Sección Santa Fe – Océano (HDRV 186/2014)25, el cual se reproduce en la Figura 50, donde se ha efectuado una edición para representar el área de estudio en una sola imagen.

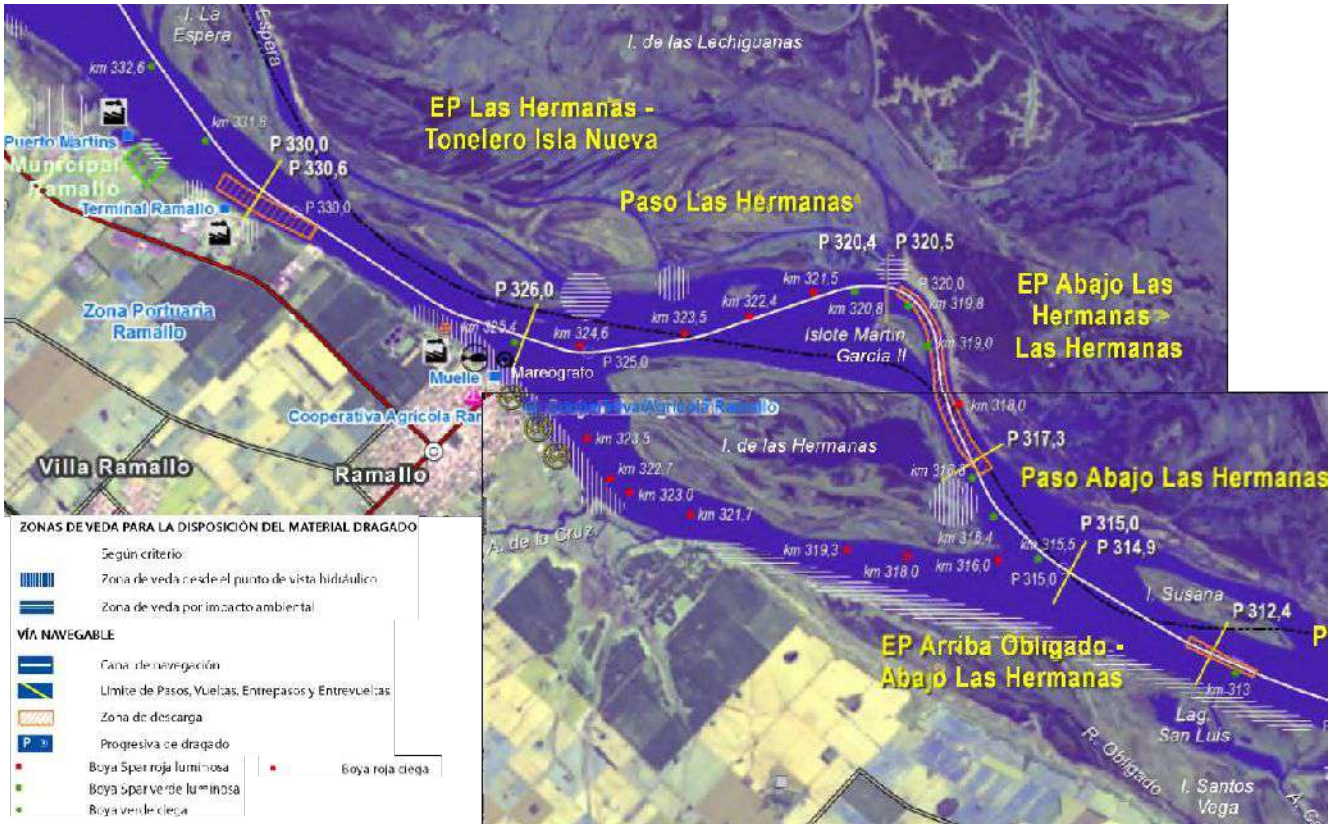


Figura 50 Atlas Ambiental Sección Santa Fe – Océano con indicación de zonas de descarga utilizadas.

Las plumas de sedimentos descargados desde dragas con cántara presentan diversas fases durante su trayecto hasta el lecho, las cuales se presentan en la Figura 51.

Durante la primera fase llamada de descenso convectivo, si existe material fino éste puede abandonar la pluma debido a las corrientes y quedar en la parte superior de la columna de agua, donde se asume que se mueve como una nube. Lo mismo sucede con los sedimentos finos al impactar la pluma contra el fondo. En el presente caso, la proporción de sedimentos finos en el lecho es prácticamente despreciable.

25 Atlas Ambiental Santa Fe – Océano. Hidrovía SA. 2014

A medida que la pluma se aleja del punto de descarga, su velocidad se aproxima a la velocidad del fluido ambiental y deja de comportarse como un chorro.

En este punto, la estratificación ambiental domina el movimiento y la pluma tenderá a una dispersión horizontal y a colapsar verticalmente, buscando el equilibrio hidrostático.

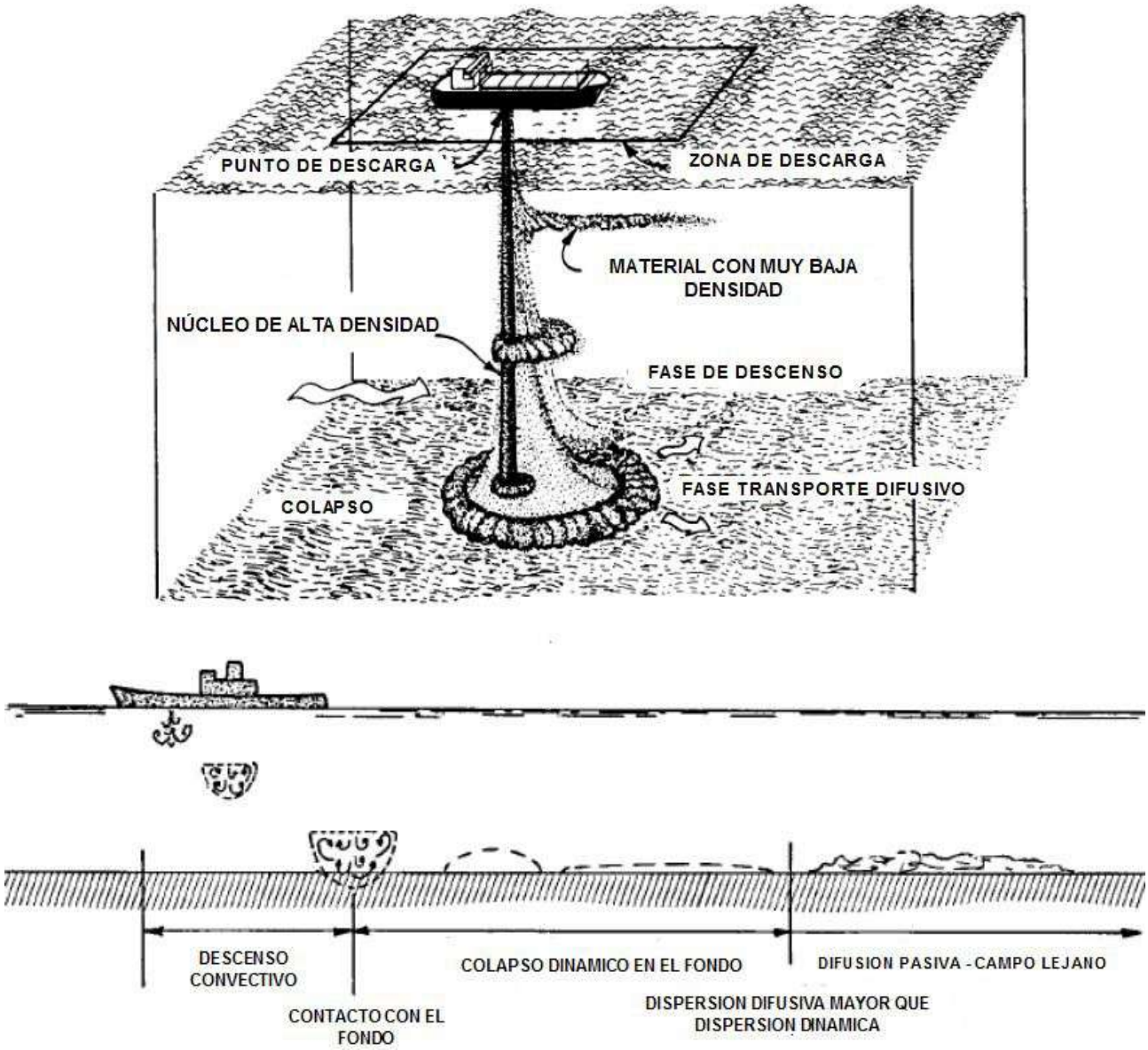


Figura 51 Esquematización de la descarga de sedimentos por parte de una draga de succión con cántara.

Se asume en general que la sección vertical de una pluma bidimensional inicia con un formato circular, colapsando en una forma elíptica. El mecanismo que gobierna el colapso de la pluma es un gradiente de densidad menor dentro de la pluma (resultado de la mezcla turbulenta) comparado con el gradiente de densidad ambiente. El cambio vertical de partículas entre la pluma y el medio externo se debe al balanceo relativo de densidad (de la pluma y del medio externo).

La velocidad de deposición del conjunto total de partículas de la pluma es controlada por las partículas que permanecen en la pluma y específicamente aquellas que presentan las mayores velocidades. Otra consideración para tomar en cuenta es que la distribución de partículas en la pluma no es uniforme y que sus mayores concentraciones están localizadas en el límite inferior de la pluma.

Cuando una nube de la pluma colapsa en el fondo su sección transversal se elonga en la dirección horizontal y se la define como un semi elipsoide. Luego del impacto el material continúa dispersándose radialmente hasta que pierda suficiente energía para que las partículas comiencen a depositarse. La fase de colapso finaliza cuando esta tasa de dispersión resulta menor que la tasa estimada debido a difusión turbulenta.

Estos procesos han sido estudiados detalladamente por parte de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas (FICH) de la Universidad del Litoral, presentándose en el Anexo 7 las conclusiones obtenidas.

Dichos estudios permitieron determinar que aproximadamente el 70%/80% del volumen descargado se deposita masivamente en una zona muy localizada y próxima a la posición en las dragas descargaron. Particularmente durante las crecientes anuales ordinarias la capacidad de transporte del río aumenta considerablemente, concluyéndose que probablemente todo el material depositado sería transportado, fundamentalmente en suspensión y relativamente pronto, hacia aguas abajo.

De acuerdo con la información brindada por la empresa dragadora[26], "*la pluma de sobreconcentración de sedimentos en suspensión calculada por ejemplo en la zona de vaciado prevista para descargar material, ubicada en el entrepaso Abajo Las Hermanas – Las Hermanas, sería de una extensión de 700 m de en el sentido de la corriente y 180 m en sentido transversal*."

La empresa ha indicado que "*a partir del estudio y experiencia adquirida sobre la evolución de estas plumas de sobreconcentración pasivas, ya desde el año 2007 se adecuaron todas las áreas de descarga para no interferir con otros usos del río[27]. Esta fue una medida de mitigación con carácter preventivo incorporada durante un estudio de proyecto de profundización de la VNT. De acuerdo con lo estudiado, en el caso de arenas puras, la pluma de sobreconcentración de sedimentos presenta un ancho teórico de 190 metros y un largo de 700 metros obtenidos para una sobreconcentración de 50/40 mg/l, con una duración de 10 minutos. En cuanto a las arenas limosas, la pluma de sobreconcentración de sedimentos presenta un aumento de dimensiones con respecto a la anterior, con un ancho teórico de 220 metros y un largo de 1.600 metros, con una duración de 20 minutos. Cabe recordar que, en el Paraná inferior el 95% de las muestras obtenidas está conformada por sedimentos de esas características y que, el área de intervención actual en Las Hermanas es de mayor energía que el sector previo, por lo cual es de esperar sedimentos de granulometría gruesa predominante*".

Según la empresa dragadora en función de los registros históricos se concluye que "*en la zona de descarga de Las Hermanas resultan pequeños los volúmenes descargados que se mantienen en las mismas, pero también se presentan comportamientos de sedimentación y erosión alternados. Por ejemplo, entre el 15-03-2002 y el 15-03-2006 se volcaron en esta área 3.993.000 m³ y sólo quedaron al final del periodo 289.474 m³ (7,25 %) del aporte de material descargado por dragado, pero, como se dijo anteriormente, alternando periodos de erosión y otros de sedimentación, lo que permiten inferir que la cantidad de material volcado que se mantiene en la zona es mínima y el perfil del río varía de un año a otro sin tener una tendencia o comportamiento definido. Se observa que la capacidad de descarga de la zona autorizada se mantiene, con pequeñas variaciones, independientemente del volumen de sedimentos volcado.*"

A la luz de los antecedentes disponibles de los estudios realizados por nuestra consultora y por la Universidad Nacional de Rosario, la información brindada por la empresa resulta razonable pues se adecua a la experiencia en cuanto a los dragados de sedimentos arenosos en el río Paraná. Por otro lado, la ubicación de las áreas de descarga resulta adecuada para no afectar las zonas costeras.

[26] Análisis Medioambiental, Paso las Hermanas. Ampliación de datos parciales de resultado de muestreo. Compañía Sudamericana de Dragados, 2021

[27] EsIA de la Profundización a 36/28 pies. HIDROVIA S.A., 2007

9. SENSIBILIDAD DEL AMBIENTE

El área de estudio se localiza en el límite entre la Ecorregión Delta e Islas del Paraná y la Ecorregión Pampa (Figura 52).

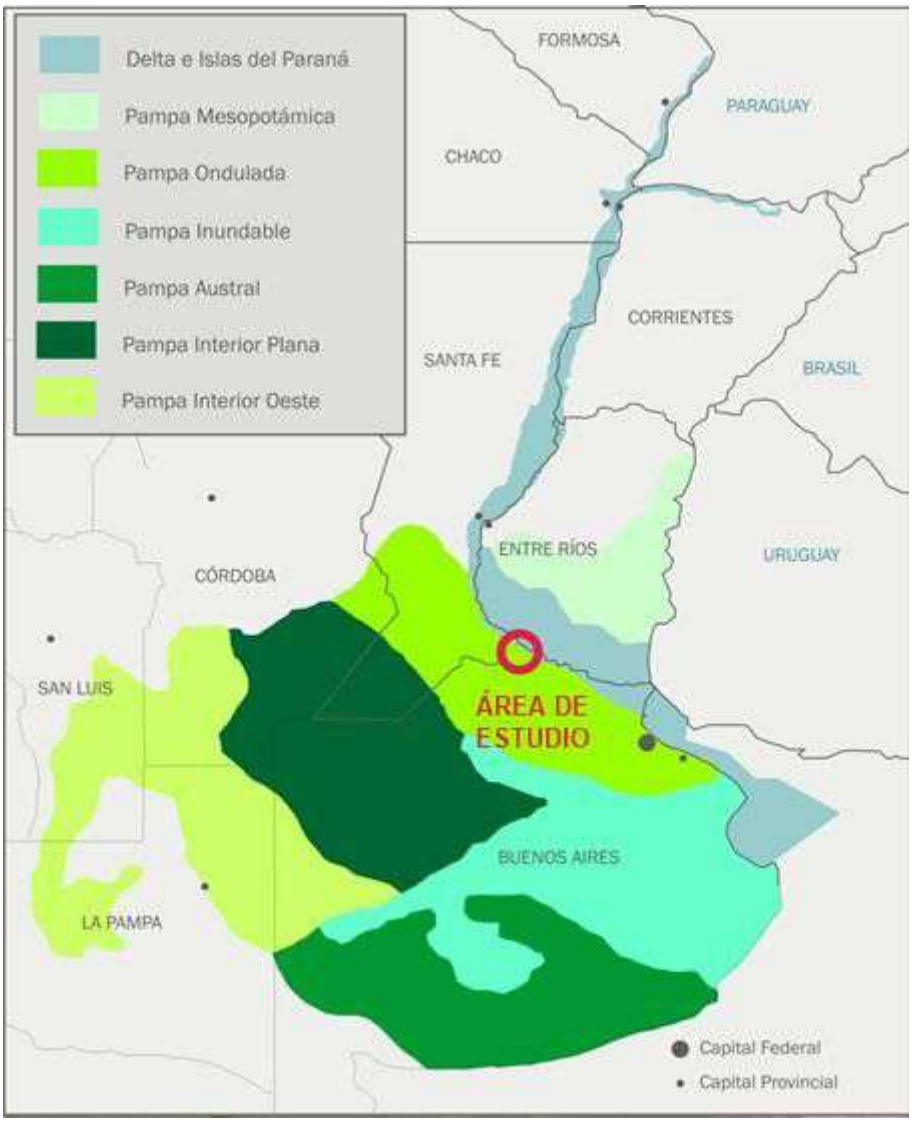


Figura 52. Ecorregiones.

La ecorregión Delta e Islas del Paraná se encuentra constituida por un conjunto de macrosistemas de humedales de origen fluvial que, encajonado en una gran falla geológica, se extiende en sentido norte-sur, a lo largo de la llanura chaco-pampeana, y cubre 4.825.000 ha (APN, 2001)[28].

El Delta incluye el corredor fluvial y las planicies aluviales del tramo inferior del río Paraguay, los tramos medio e inferior del río Paraná (es decir, el Paraná Medio y el Paraná Inferior o Delta del Paraná) y el cauce del Río de la Plata (Bó, 2005)[29].

[28] ADMINISTRACIÓN DE PARQUES NACIONALES - APN (2001), Banco de Datos en Áreas Protegidas de la Argentina, Administración de Parques Nacionales, Buenos Aires.

[29] BÓ, R. F. (2005). *Situación Ambiental en la Ecorregión Delta e Islas del Paraná.* En: La Situación Ambiental Argentina (A. Brown, U. Martinez Ortíz, M. Acerbi y L. Corchera; eds.) Fundación Vida Silvestre Argentina, Buenos Aires, 2006.

Se encuentra compuesto por una serie de macrosistemas complejos caracterizados por flujos de energía y materiales que ocurren como pulsos de inundación y sequía (Bó, 2005). Sumado a la diferencia estacional en los niveles de agua aportada desde la cuenca alta, estos macrosistemas se diferencian por ser ambientes acuáticos permanentes, temporarios o sectores de tierra firme, distribuidos en gradientes de humedad desde los canales principales hacia los extremos más alejados de sus llanuras aluviales.

Estos eventos periódicos de inundación junto con las diferencias geomorfológicas fijan el régimen hidrológico al que se encuentra expuesto el Delta del Paraná, el cual determina en gran medida la fauna y la flora presentes en la zona, siendo responsable de las elevadas productividad y diversidad biológica que caracterizan a esta ecorregión.

La ecorregión Pampa, representa el más extenso ecosistema de praderas de la Argentina sumando en total unos 540.000 km^2. Poseen un relieve relativamente plano, con una suave pendiente hacia el Océano Atlántico (Viglizzo et al, 2005)[30].

La Llanura Pampeana por su parte, es una extensa llanura ubicada al sudoeste del Río de la Plata. Su relieve es llano a ligeramente ondulado hacia el oeste, con una suave pendiente hacia el este-sudeste.

La región pampeana se divide en seis sub-regiones. La Pampa Ondulada, se caracteriza por ser la sub-región más antropizada, gran parte debido a su cercanía con los puertos y las excelentes condiciones edáficas y climáticas. La modificación de su fisonomía vegetal original es casi completa. De este modo, lo que algún día fue una gran extensión de pastizales con una gran diversidad de gramíneas y herbáceas, fueron reemplazados por cultivos mayoritariamente y, en menor medida, por montes de árboles exóticos, como paraíso, el álamo, el eucalipto, la acacia, el pino y el plátano.

En general su relieve es levemente ondulado producto de la erosión de los ríos tributarios del río Paraná y el Río de la Plata, que han excavado valles amplios y poco profundos por los que se deslizan describiendo meandros. La orilla este de la región está caracterizada por la presencia de una barranca casi continua, sólo disectada por los valles de los principales ríos, que se extiende sobre el Río de la Plata, desde la ciudad de Mar del Plata, y se continúa por el río Paraná, hasta la ciudad de Rosario.

Hidrología

El área de estudio se encuentra sobre la margen derecha del río Paraná Inferior, como se denomina el tramo que se extiende entre la localidad de Diamante y el Río de La Plata.

El río Paraná es un extenso río de llanura que recorre aproximadamente 4000 km en dirección norte-sur, definiendo una cuenca de 3.000.000 de km^2 que comprende parte del territorio de cuatro países: Brasil, Bolivia, Paraguay y Argentina.

Por sus características geomorfológicas e hidrológicas diferenciales, comúnmente es zonificado en cuatro grandes tramos: el Alto Paraná, el Paraná Superior, el Paraná Medio y el Paraná Inferior o Delta. El Paraná Medio se extiende desde su confluencia con el río Paraguay en Paso de la Patria (Corrientes) hasta la localidad de Diamante (Entre Ríos), donde se inicia el Delta (Bó, 2005). En este tramo la margen izquierda es una barranca continua y elevada, mientras que la margen derecha es baja (Bó, 2005). En el Paraná Inferior esta situación se invierte, siendo la margen derecha la más elevada. En este último tramo el cauce se ensancha determinando un amplio valle de inundación que, en su porción terminal, se divide en dos grandes brazos (Paraná de las Palmas y Paraná Guazú) para conformar un verdadero delta desde el punto de vista geomorfológico (Bó, 2005).

[30] VIGLIZZO, E. F., F. C. FRANK Y LORENA CARREÑO (2005). Situación Ambiental en las Ecorregiones Pampa y Campos y Malezales.

A grandes rasgos, puede dividirse en tres zonas: el Delta Superior, el Delta Medio y el Delta Inferior. Los dos primeros, con rasgos relativamente similares al Paraná Medio, constituyen la porción más ancha de la planicie de inundación que, a diferencia de lo que ocurre en este último, se extiende por su margen izquierda. En el Delta Inferior o Bajo Delta, se distinguen geoformas de origen marino (antiguos cordones arenosos, lagunas litorales y canales de marea) y típicas geoformas deltaicas. Esto es un importante conjunto de islas, surcado por numerosos cursos de agua y formado por el depósito de enormes cantidades de sedimentos transportados por el río Paraná.

Su régimen hidrológico es complejo y está determinado por inundaciones periódicas de distinto origen: crecientes de los ríos Paraná, Uruguay y Gualeguay y mareas y sudestadas del Río de la Plata. En ocasiones, las mismas pueden provocar graves problemas por la altura y/o la permanencia de las aguas.

Las características salientes de su régimen establecen una marcada estacionalidad siendo el flujo medio mensual alto en la primera mitad del año, con máximo en marzo, y bajo en la segunda mitad.

En tanto, los cursos fluviales menores en el área de estudio son hacia el noroeste se encuentra el zanjón Ramallo y más allá, el arroyo Ramallo. Hacia el sureste de Ramallo se localiza el arroyo Las Hermanas. Todos estos cursos fluviales nacen en una serie de pequeñas lagunas y cañadas alimentadas por manantiales producto del surgimiento de aguas subterráneas y desembocan en el río Paraná. Tiene un régimen subterráneopluvial, y registran crecidas luego de lluvias en sus cuencas de drenaje.

Flora

La Llanura Pampeana es una planicie originalmente cubierta por pastizales. La flora nativa comprende unas mil especies de plantas vasculares y sus praderas estuvieron originalmente dominadas por gramíneas, entre las que predominaron los géneros *Stipa, Poa, Piptochaetium* y *Aristida* (Viglizzo et al, 2005). Particularmente la Pampa Ondulada presenta como comunidad clímax la seudoestepa de flechillas (*Stipa spp*.), formada por gramíneas cespitosas (Viglizzo et al, 2005).

La vegetación natural ha sufrido importantes modificaciones y fue reemplazada por especies exóticas que se siembran como cultivos, pasturas, forestaciones o que crecen de manera espontánea (Viglizzo et al, 2005).

En algunos sectores las comunidades originales se encuentran menos modificadas. Sin embargo, los pastizales allí presentes se encuentran degradados, invadidos por especies exóticas. Algunas gramíneas presentes son *Bothriochloa laguroides*, paja colorada (*Schizachyrium microstachyum*), *Setaria spp*. y sufrútices de alrededor de 1 metro de altura, tales como carquejilla (*Baccharis notosergila*, *B. articulata*, y chilcas (*B. dracunculifolia*), mariposera (*Eupatorium inulaefolium*) (REMR)[31].

Las especies exóticas invasoras de preocupante avance son el ligustro (*Ligustrum lucidum*), la ligustrina (*Ligustrum sinense*) y *Crataegus oxyacantha* (REMR).

Los ambientes asociados a la llanura de inudación del río Paraná se encuentran fundamentalmente condicionados a la dinámica del agua, y por lo tanto a la topografía del terreno.

Entre las comunidades arbóreas típicas de los terrenos mejor drenados, se destacan el bosque fluvial mixto, constituido por especies arbóreas como el tala (*Celtis tala*), el sauce criollo (*Salix humboldtiana*), el aliso de río (*Tessaria integrifolia*), el ceibo (*Erythrina cristagalli*), el canelón (*Rapanea laetevirens*) y el laurel (*Nectandra falcifolia*) (Bó, 2005).

[31] Reserva Ecológica Municipal Ramallo - REMR. http://reservaramallo.org/index.asp

El sauzal se encuentra en zonas cuyo suelo es inundado sólo excepcionalmente, formando bosques más o menos densos, frecuentemente asociado al aliso de río. Ambas especies son típicas de las etapas iniciales de colonización de bancos de arena y limo, y de islas y presentan cobertura homogénea y altura uniforme, formando un solo estrato de hasta 13 metros (REMR).

En las riberas y en los ambientes de media loma aparecen comunidades capaces de soportar condiciones hidrológicas fluctuantes como sarandizales (*Cephalantus glabratus*), chilcales (*Baccharis spp.*), cardasales (*Eryngium spp.*) y pastizales de *Luziola peruviana* (Bó, 2005).

Los pajonales de juncos o juncal (*Schoenoplectus californicus*) se encuentran en el sector de playa, sobre terrenos arenosos con inundaciones frecuentes (REMR).

En los bajos, se encuentran comunidades herbáceas hidrófilas como los catayzales (*Polygonum punctatum*), los verdolagales (*Ludwigia peploides*), los canutillares (*Paspalum repens*). En tanto, los carrizales (*Panicum grumosum*) y las distintas comunidades acuáticas se distribuyen también a lo largo de todo el Delta (Bó, 2005).

En los ambientes inundados de manera semipermanente a permanente, se presentan praderas de herbáceas palustres, tales como totoras (*Typha latifolia*), juncos (*Schoenoplectus californicus*) y espadañas (*Zianopsis bonariensis*), con especies acompañantes tales como caraguatá (*Eryngium pandanifolium*) y otras especies palustres como el camalote (*Pontederia cordata*) y la saeta (*Sagittaria montevidensis*). Podemos encontrar también parches de pastizal salino de pelo de chancho (*Distichlis spicata*), constituyendo el pastizal salado (REMR).

Los únicos sectores en donde se observa vegetación relictual (la cual igualmente se encuentra entremezclada con especies exóticas) son los márgenes de los arroyos y en menor medida, los márgenes de los campos (zona de alambrados), pero fundamentalmente sobre la ribera del río Paraná.

En la zona de la barranca se observa la presencia de especies arbóreas (Figura 53), fundamentalmente sauces criollos (*Salix humboldtiana*) y alisos de río (*Tessaria integrifolia*). Estas especies nativas se encuentran mezcladas con especies exóticas propias del arbolado urbano.

Figura 53. Especies arbóreas en la costa del río Paraná.

Sobre las zonas bajas linderas al río se desarrollan comunidades herbáceas hidrófilas, conformadas mayormente por especies nativas (Figura 54).

Figura 54. Vegetación relictual sobre la margen derecha del río Paraná.

En tanto, sobre la margen opuesta del río, hacia donde se extiende la llanura de inundación del río Paraná, se observa la presencia de ambientes menos antropizados (Figura 55).

Figura 55. Vegetación nativa sobre la margen izquierda del río Paraná.

Fauna

En cuanto a la fauna silvestre característica del Delta del Paraná, se destacan el lobito de río (*Lutra longicaudis*), el ciervo de los pantanos (*Blastocerus dichotomus*) y la rata colorada (*Holochilus brasiliensis*). Los mismos conviven con cuises (*Cavia aperea*), coipos (*Myocastor coypus*) y carpinchos (*Hydrochaeris hydrochaeris*), junto con otras especies netamente pampeanas como la comadreja overa (*Didelphis albiventris*) y el gato montés común (*Oncifelis geoffroyi*) (Bó, 2005).

Las aves acuáticas más representativas de la zona son el cisne cuello negro (*Cygnus melanocorypha*), el coscoroba (*Coscoroba coscoroba*), el pato cabeza negra (*Heteronetta atricapilla*), el biguá (*Phalacrocórax olivaceus*), el hocó colorado (*Tigrisoma lineatum*), las garzas (*Egretta alba*, *Egretta thula*, Nycticorax nycticorax *y* Ardea cocoi), los martines pescador (*Megaceryle torquita*, *Chloroceryle*

amazona y *Chloroceryle americana*), entre otras (Bó, 1995; Haene y Di Giacomo, 2005[32]).

Además, de las especies ribereñas, merecen destacarse la pava de monte común (*Penelope obscura*) y el biguá víbora (*Anhinga anhinga*). Los mismos conviven con caraos (*Aramus guarauna*) y chajáes (*Chauna torquata*), y junto a otras especies netamente pampeanas como el federal (*Amblyramphus holocericeus*) y el cabecita negra (*Carduelis magellanica*) (Bó, 2005).

Entre los reptiles se destacan el lagarto overo (*Tupinambis merinae*), la yarará (*Bothrops alternatus*) y varios colúbridos y tortugas acuáticas. Con respecto a los anfibios, merecen mencionarse la rana criolla (*Leptodactylus ocellatus*), el sapo *Bufo fernandezae* y varias especies de ranitas de zarzal como *Hyla pulchella* (Bó, 2005).

Dentro de los peces se destacan varias especies de bagres (de los géneros *Pimelodus* y *Parapimelodus*), surubíes (*Pseudoplatystoma spp.*) y patíes (de los géneros *Pseudoplatystoma* y *Luciopimelodus*) y el dorado (*Salminus maxillosus*) (Bó, 2005).

En lo que respecta a la fauna netamente pampeana, el reemplazo de los pastizales por nuevos hábitats antropizados, trajo aparejado una profunda modificación de la composición original determinando el establecimiento y desarrollo de aquellas especies que pudieron adaptarse mejor a las nuevas condiciones en desmedro de aquellos grupos faunísticos más susceptibles al cambio. En este sentido, los sectores con vegetación relictual, como los márgenes de los ríos y arroyos que surcan esta planicie, cobran verdadera importancia para el desarrollo de las especies originarias de la zona.

9.1 BIODIVERSIDAD

Naturalmente esta zona del país se caracterizó por una alta diversidad. En la actualidad, la alta diversidad biológica, íntimamente asociada con la ocurrencia de pulsos de inundación, se encuentra claramente influida por la intervención humana. Las actividades productivas tradicionales son la ganadería extensiva, la caza y la pesca (comercial y de subsistencia) (Bó *et al*., 2002), la apicultura, la recolección de leña en la porción entrerriana, la forestación con salicáceas (sauces y álamos) y el turismo, actividades que son más desarrolladas en la porción bonaerense. Por otro lado, la zona de islas del Delta reconoce una historia de uso productivo y residencial relativamente antigua que tiende a intensificarse en la actualidad (Kandus y Malvárez, 2002; Quintana *et al*., 2002).

La mayoría de las actividades mencionadas, pese a la importante presión que ejercen sobre el medio natural, se consideran en la actualidad poco desarrolladas, debido al fenómeno de relocalización y despoblamiento que, desde hace varias décadas, viene produciéndose en el Delta, a causa de los bajos precios pagados por los productos locales, las modalidades de producción y, fundamentalmente, las inundaciones “extraordinarias”. En algunas oportunidades, estas últimas afectaron drásticamente los asentamientos humanos y varias especies de flora y fauna (Malvárez *et al.,* 1999; Bó y Malvárez, 1999). Cuestiones como las mencionadas tienen, simultáneamente, efectos positivos y negativos sobre la biodiversidad del área, ya que si bien el tipo e intensidad de ciertas actividades productivas permiten el mantenimiento y/o la recuperación de algunas condiciones del hábitat natural, la falta de oportunidades laborales determina también una mayor presión sobre ciertos componentes de las comunidades bióticas, y los mismos son, en muchos casos, la única fuente de recursos para el poblador local (Bó y Quintana, 1999).

[32] HAENE E. y A. DI GIACOMO (2005). *Reserva Natural Otamendi, Reserva Provincial Río Luján y alrededores.* En: Áreas importantes para la conservación de las aves de Buenos Aires. Sitios prioritarios para la conservación de la biodiversidad. Temas de Naturaleza y Conservación 5 (A. S. Di Giacomo, ed.), Aves Argentinas, Buenos Aires.

La ecorregión se encuentra sometida a un conjunto de problemas, presiones y amenazas íntimamente relacionados con la naturaleza de humedal de sus ambientes componentes y la particular historia de intervención que los mismos han tenido a lo largo del tiempo. Esta situación se potencia y agrava, en muchos casos, con la expansión y la presión de los mercados y con el creciente deterioro en la situación socio-económica que la mayoría de los habitantes del área ha venido experimentando en los últimos años.

En referencia a las actividades extractivas (caza, pesca y explotación del bosque nativo), ya se ha planteado que en todos los sectores la sobreexplotación de los recursos bióticos es y ha sido una realidad.

Las actividades agropecuarias tradicionales también han contribuido a la destrucción de la vegetación natural a lo largo de la cuenca, con el consiguiente deterioro y erosión de los suelos y la eliminación o la fragmentación de hábitat para las especies de tetrápodos más representativas de los humedales. Los bosques fluviales como el monte blanco han sufrido y sufren particularmente este problema, de modo que ven afectada su existencia y su función como corredores de biodiversidad (Bucher, 1999; Quintana *et al*., 2002), sobre todo para las especies subtropicales, ya que muchas de ellas son exclusivas o facultativas de estos bosques (Giraudo *et al*., 2004). El pastoreo y la agricultura realizados en tierras no aptas o con técnicas no adecuadas y el avance de la frontera agropecuaria están contribuyendo cada vez más a intensificar los problemas mencionados. A esto se suman las prácticas de manejo del agua asociadas (grandes endicamientos, canalizaciones y drenajes) que afectan la estructura y, sobre todo, el funcionamiento de los sistemas de humedal (Bó y Quintana, 1999).

Figura 56. Descarga cloacal Aº Las Hermanas.

Figura 57. Rellenos en zona costera.

En cuanto al tema fundamental del manejo del agua, si bien la misma es, a diferencia de otras ecorregiones, un recurso abundante, son varios los problemas asociados a ésta. En primer lugar, el comúnmente mencionado tema de las represas, que si bien se encuentran en alta concentración fuera de la ecorregión en el Alto Paraná y el Paraná Superior (por ejemplo, Yacyretá e Itaipú), sus efectos se perciben aguas abajo a lo largo de toda la cuenca. Se plantea que las mismas alteran el régimen hidrológico natural, y atenúan o incluso eliminan las inundaciones, esenciales para el mantenimiento del sistema. Esto genera cambios en las condiciones limnológicas y, por lo tanto, en la composición de la biota, y altera el funcionamiento de la cuenca como corredor, al obstruir el paso o eliminar grandes extensiones de la planicie aluvial, sin permitir que muchas especies migradoras activas y pasivas (como varios peces de interés comercial o varios ofidios que “viajan” en los camalotales y embalsados) puedan trasladarse y/o cubrir adecuadamente sus funciones vitales -alimentación, reproducción y cría- (Bonetto y Hurtado, 1999; Bucher y Chani, 1999; Giraudo y Arzamendia, 2004). Las mencionadas represas, entre las que se incluyen las construidas o proyectadas a pequeña escala, junto con otras obras de canalización, rectificación, conexión y transferencia, regulación del flujo, etc., contribuyen al

desacople del canal principal con sus afluentes y demás componentes de la planicie aluvial. De este modo permiten no sólo la eliminación y la fragmentación de hábitat, sino que también, y fundamentalmente, disminuyen la capacidad autoregulatoria del sistema, se suman a los mencionados problemas de deforestación y erosión masiva de las cuencas, y aumentan el riesgo de grandes inundaciones (Bonetto y Hurtado, 1999; Bucher y Chani, 1999).

9.2 ÁREAS SENSIBLES Y PROTEGIDAS

Las áreas naturales protegidas, las cuales involucran tanto Parques Nacionales y Provinciales, como Reservas Naturales, Ecológicas y de Usos Múltiples, entre otras, tienen el fin de salvaguardar el patrimonio natural y generalmente se escogen por ser una muestra representativa de una formación natural o por poseer características que las hacen únicas.

En el ecoregión del Delta, sólo existen dos áreas de conservación bajo la órbita de la Administración de Parques Nacionales: el Parque Nacional Predelta (Entre Ríos) y el Parque Nacional Ciervo de los Pantanos que incluye a la Reserva Natural Estricta Otamendi (Buenos Aires), ubicadas en el Delta y sus alrededores (Bó, 2005).

A nivel provincial y municipal, existen también varias áreas protegidas en la ecorregión correspondientes a distintas categorías de manejo, como Virá Pitá, Isla El Rico, Isla del Sol, Isla Botija, entre otras. A nivel internacional en dicha ecorregión se cuenta con cuatro sitios Ramsar y tres reservas de biosfera, aunque ninguna de ellas se encuentra en las cercanías del área de estudio (Bó, 2005).

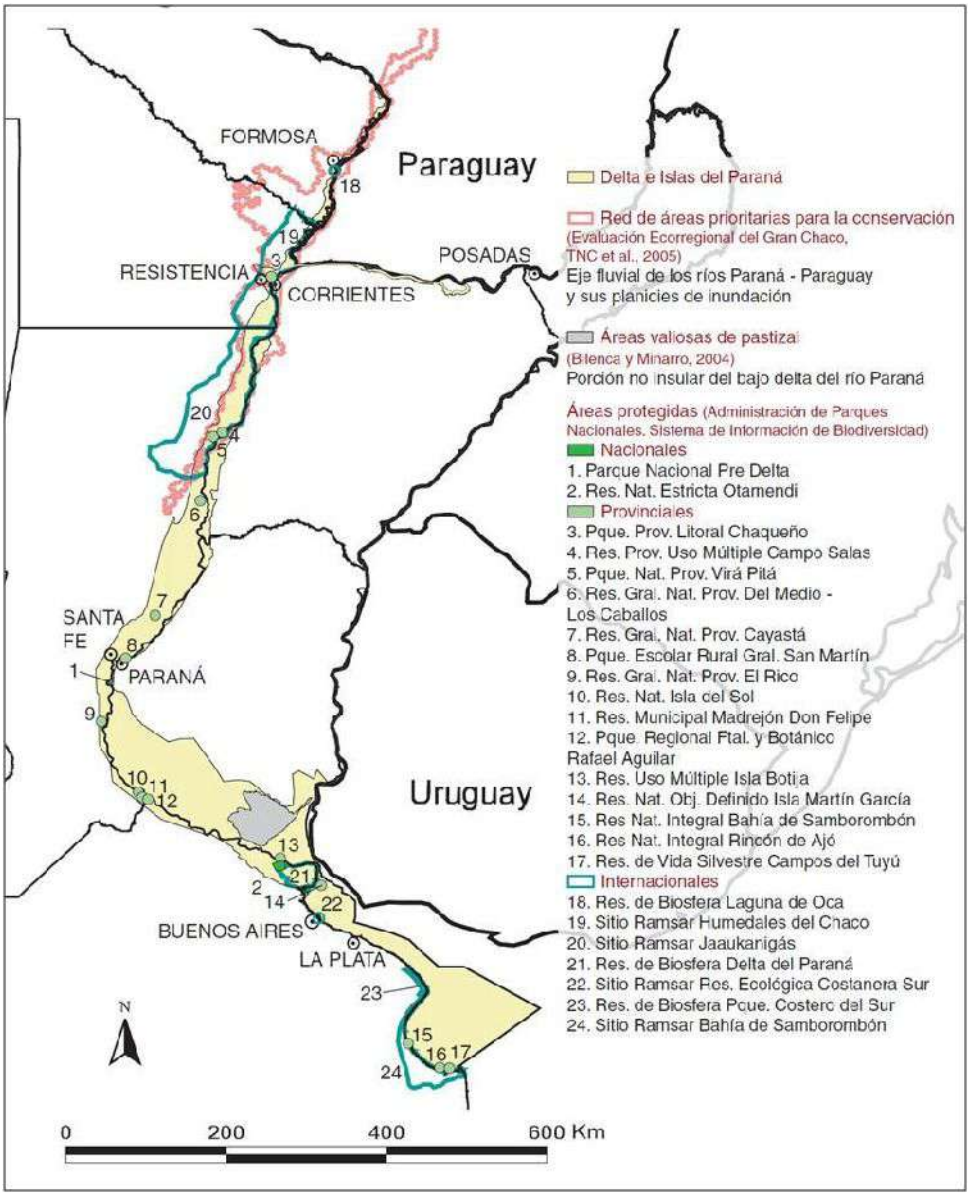


Figura 58. Áreas protegidas de la Región del Delta e Islas del Paraná. Fuente: Bó, 2005.

Áreas naturales protegidas

Si bien el área de dragado no se emplaza dentro de ningún Área Natural Protegida, según el Sistema Federal de Áreas Protegidas en las cercanías podemos encontrar la Reserva Municipal Ramallo.

Tabla 7. Áreas protegidas en las cercanías del área de estudio. Fuente: Sistema Federal de Áreas Protegidas.

Área Protegida	Provincia	Localidad más cercana	Distancia aproximada (km)	Categorización	Superficie total (ha)
Reserva Municipal Ramallo	Buenos Aires	Ramallo	13	Reserva Municipal	16
Rafael de Aguiar	Buenos Aires	San Nicolás	35	Parque regional, forestal y botánico	1500
Reserva Isla del Sol	Santa Fe	Villa Constitución	50	Reserva natural	200

La más cercana a la zona de dragado es la **Reserva Municipal Ramallo**, ubicada en el río Paraná, en la localidad de Ramallo (a unos 8 km de la ciudad) en la Provincia de Buenos Aires (a latitud sur 33°26' y longitud oeste 60°04'), la Reserva Municipal Ramallo tiene una superficie de 16 ha.

Figura 59. Reserva Ecológica Municipal Ramallo.

El objetivo general de la reserva es la restauración de zonas silvestres y la protección de características naturales específicas, mientras el objetivo específico es la recuperación de una isla del río Paraná que había sido convertida en un basurero de la Ciudad Villa Constitución.

El objetivo general de la reserva es preservar de manera integral las muestras representativas de los distintos ambientes de la región, para disfrute de los pobladores locales y turistas. Los objetivos especiales son:

- Ofrecer actividades de Educación e Interpretación Ambiental para la comunidad.
- Desarrollar actividades de Ecoturismo.
- Proporcionar espacios recreativos para la comunidad local.
- Conservar muestras de bosques de sauce criollo y aliso de río, como así también los pajonales ribereños típicos del Delta.
- Consolidarse como espacio de Investigación Científica aplicada a los recursos locales.

Área de importancia para la conservación de las aves

La provincia de Buenos Aires cuenta con 25 AICAs; el AICA más cercana al proyecto está al Sur de Ramallo, sobre la costa del río Paraná con una extensión de aprox. 19 km.

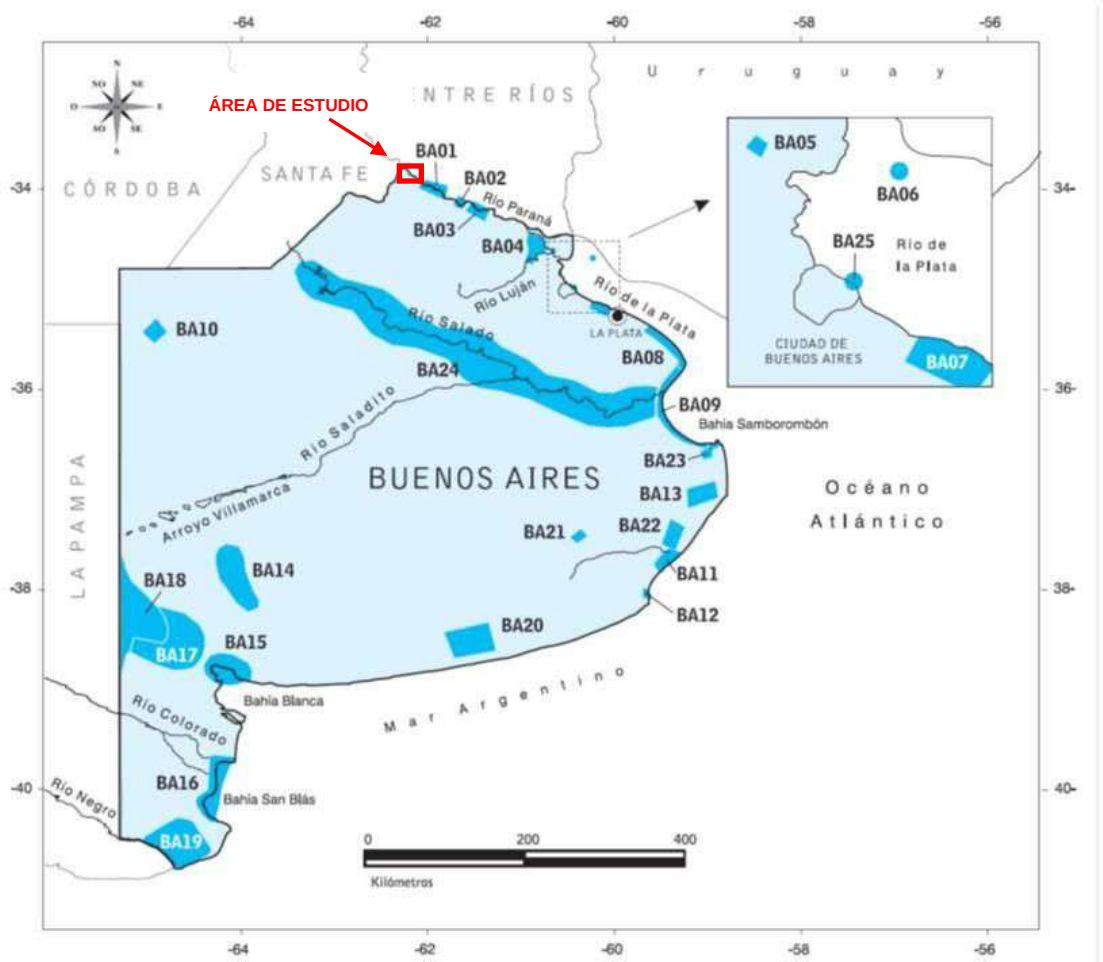


Figura 60. AICAs en la Provincia de Buenos Aires. Fuente: Aves Argentina, 2007.

Tiene una superficie de 4.700 ha, correspondientes en su mayoría a los humedales de bajos ribereños. El AICA se extiende por 3 km sin interrupción, presentando un reducido número de especies exóticas. Se trata, de hecho, de uno de los pocos bosques nativos con estas características en todas las barrancas del río Paraná.

Una especie globalmente amenazada, el flamenco austral (*Phoenicopterus chilensis*), es ocasional en el área. Al menos tres especies: el carpinterito de los cardones (*Melanerpes cactorum*), el suirirí boreal (*Tyrannus tyrannus*) y la lavandera (*Fluvicola leucocephala*), sólo han sido citadas para la avifauna bonaerense en este sitio. Además, confluyen en el área dos ensambles de especies endémicas de biomas (Aves Argentinas, 2007).

10. CARACTERIZACIÓN DE SEDIMENTOS Y CALIDAD DE AGUA

La caracterización de ambas matrices se efectúa en base a la metodología establecida y que ha sido implementada en los Programas de Evaluación de la Calidad del Agua y los Sedimentos que forman parte del Plan de Gestión Ambiental de la VNT.

En este sentido, se presentan las normas de referencias adoptadas en dichos programas y en base a las cuales posteriormente se presentan y analizan los resultados del muestreo realizado recientemente en el área de dragado y zonas de descargas.

10.1 REFERENCIAS NORMATIVAS

10.2 Calidad de Sedimentos

Se toman los criterios de la Environmental Protection Agency (EPA) de los Estados Unidos para la Disposición de Materiales de Dragado.

Estos establecen que las muestras con más del 95% del material grueso, siendo retenido por el tamiz 230 (0,063 mm), quedan exentas de análisis químicos e implican Libre Disposición del material al tener una menor composición de material fino y por lo tanto una reducida capacidad de adsorción de los potenciales contaminantes.

Al igual que la normativa de referencia, los parámetros a analizar en sedimentos también surgen del Programa de Evaluación de la Calidad de los Sedimentos y fueron establecidos oportunamente como sigue:

De acuerdo con los establecido por el Órgano de Control en campañas anteriores de monitoreo:

- pH
- Granulometría
- Densidad específica de sólidos
- Humedad relativa

Asimismo para todas las muestras cuya granulometría supera en más de un 5% la condición de arena (tamiz 230 = 0,063 mm) los parámetros químicos a determinar en laboratorio:

- Metales y metaloides: arsénico, cadmio, cobre, níquel, plomo, cromo, mercurio, zinc, hierro y manganeso.
- Hidrocarburos totales
- Grasas y aceites
- Carbono Orgánico Total
- Pesticidas
- Herbicidas: Glifosato, Atrazina, 2,4-D, Tritluralina
- Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos totales(PAHs)
- Bifenilos Policlorados
- Compuestos fenólicos

Por su parte la evaluación se realiza utilizando las normas establecidas por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas de Holanda en el año 1994 para la realización de dragados. Ésta es una guía que establece estándares diferentes según las distintas acciones a realizarse y en función de usos diversos. La clasificación propuesta incluye los siguientes valores:

- *Valor Meta u Objetivo.* Indica el nivel bajo el cual los riesgos al medio ambiente se consideran despreciables. Este valor de concentración insignificante es adoptado siempre y cuando el nivel de base natural no sea superior (en cuyo caso prevalece el nivel natural), y es una meta que Holanda se fijó para ser alcanzada en el año 2010.

- *Valor Límite.* Concentraciones en las cuales el sedimento es considerado relativamente limpio. El valor límite es un objetivo político holandés, que se consideró debería ser alcanzado en el corto plazo (2000). No existe una relación directa de este criterio de calidad con los niveles de riesgo descritos anteriormente, ya que se encuentra tan bajo como se haya considerado razonablemente posible, teniendo en cuenta los intereses ambientales, económicos y sociales y las posibilidades técnicas (siempre consideradas en el ámbito de los Países Bajos).

- *Valor de Referencia.* Es un nivel de referencia que indica que el dragado puede ser descargado en la superficie del agua en ciertas condiciones. Indica el máximo nivel sobre el cual los riesgos al ambiente no son aceptables sin estudios específicos.

- *Valor de Intervención.* Valor indicativo que señala la necesidad de remediar el área, o estudiar en detalle la forma de disposición para evitar impactos adversos.

- *Valor de Señal.* Valor indicativo para metales pesados, y determina la concentración para la cual es necesario su tratamiento.

Tabla 8. Valores en la Normativa Holandesa.

Parámetro	Unidad	Meta	Limite	Referencia	Intervención	Señal
HTP	mg/kg	50	100	3000	5000	-
PAHs totales	mg/kg	1	1	10	40	-
PCBs	µg/kg	-	-	200	1000	-
Arsénico	mg/kg	29	55	55	55	150
Cadmio	mg/kg	0,8	2	7,5	12	30
Cobre	mg/kg	35	35	90	190	400
Cromo total	mg/kg	100	380	380	380	1000
Mercurio	mg/kg	0,3	0,5	1,6	10	15
Níquel	mg/kg	35	35	45	210	200
Plomo	mg/kg	85	530	530	530	1000
Zinc	mg/kg	140	480	720	720	2500

Según esta normativa, de acuerdo con estos valores los sedimentos pueden clasificarse en diferentes clases. Cada clase determina consideraciones a tomar respecto a sitios de disposición del material.

Tabla 9. Clases según la Normativa Holandesa.

Clase	Condición	Sitio de disposición
0	< Valor Meta	Se puede disponer en aguas abiertas, sin restricciones.
1	entre Valor Meta y Valor Límite	Se puede disponer en aguas abiertas, sin restricciones.
2	entre Valor Límite y Valor de Referencia	Puede ser dispuesto en tierra o en agua pero bajo ciertas condiciones sobre la cantidad de masa descargada en un cierto tiempo.
3	entre Valor de Referencia y Valor de Intervención	Se deben tomar precauciones en el sitio de disposición para evitar impactos adversos.
4	> Valor de Intervención	El material debe estar debidamente contenido y aislado del medio receptor.

Clase	Condición	Sitio de disposición
5	> Valor de Señal	Sólo para metales pesados, se debería considerar la limpieza del material de origen

10.3 Calidad de Aguas

La calidad de las aguas se determina tomando como referencia los niveles guía que fija la CARU (Comisión Administradora del Río Uruguay). La Comisión Administradora del Río Uruguay (CARU) en su Digesto sobre los usos del río Uruguay explicita las normas aprobadas por el gobierno argentino y uruguayo para analizar la contaminación. El Uso 4 es el que se refiere como Básico y sus estándares deben ser cumplidos en todo el río Uruguay.

En su Capítulo 4: Clasificación de las Aguas y Estándares de Calidad de Agua, el Artículo 1 identifica los siguientes usos legítimos de las aguas del río:

a) Abastecimiento público para bebida y usos comunitarios
b) Recreación
c) Actividades Agropecuarias
d) Conservación y desarrollo de la vida acuática
e) Pesca
f) Abastecimiento industrial
g) Navegación
h) Generación de energía

Luego, la clasificación de las aguas del río de acuerdo con los usos es la siguiente:

Uso 1: Aguas crudas o brutas destinadas al abastecimiento público con tratamiento convencional
Uso 2: Aguas destinadas a actividades de recreación con contacto directo
Uso 3: Aguas destinadas a actividades agropecuarias
Uso 4: Aguas destinadas a la conservación y desarrollo de la vida acuática

Se consideran como estándares básicos de calidad de agua los establecidos para el Uso 4 y deben ser cumplidos en todo el rio.

Los Estándares de Calidad de las Aguas para Uso Básico son los siguientes:

a) Oxígeno disuelto: mínimo 5mg/l
b) pH: entre 6,5 y 9,0
c) BDO: máximo 10 mg/l
d) Temperatura: mantener condiciones naturales
e) Aceites y grasas: Ausente
f) Amoniaco no ionizable: máximo 0,025 mg/l de N
g) Sustancias tóxicas:

Tabla 10. Valores guía normativa adoptados para calidad de agua.

Parámetro	Valores máximos	
	mg/l	ug/l
Aceites y grasas extractables en n-hexano	Ausente	-
Arsénico	0,05	-
Cadmio	0,001	-
Cobre	0,02	-
Cromo total	0,05	-
Fenoles	0,001	-
Hierro	0,03	-
Mercurio	0,0002	-
Níquel	0,025	-
Plomo	0,03	-
Zinc	0,18	-
2,4 D	-	4
PCB	-	0,001
Organofosforados en paration	-	10

10.4 CAMPAÑA DE MUESTREO DICIEMBRE 2021

En el marco de la campaña Medioambiental Río Paraná Inferior Paso las Hermanas y Zonas de descarga se realizaron con fecha 4 de diciembre de 2021, los muestreos de agua superficial y sedimentos.

Las muestras fueron extraídas por personal técnico del Laboratorio de Análisis Industriales IDEAH, habilitado por el Organismo Provincial para el Desarrollo Sostenible (OPDS) de la Provincia de Buenos Aires bajo Registro N° 114, bajo protocolo y cadena de custodia según Resolución OPDS N° 41/14, de acuerdo con los requerimientos de envasado y conservación asociados al tipo de parámetro evaluado en cada matriz ambiental y la técnica analítica a ser empleada.

Los sitios de muestreo de sedimentos se indican en la siguiente tabla, donde LHD hace referencia al brazo derecho mientras que LHI al izquierdo:

Tabla 11. Ubicación puntos de muestreo de agua y sedimentos.

ZONA	ID	PROGRESIVA		Coordenadas
		Km	Offset	
Intersección LHI con LHD	LHD325.2	325,2	0	33° 28’ 08" S 59° 59’ 57" O
Las Hermanas brazo derecho	LHD322.7	322,7	0	33° 29’ 05" S 59° 59’ 51" O
	LHD320.7	320,7	0	33° 29’ 45" S 59° 57’ 49" O
	LHD318.7	318,7	0	33° 30’ 06" S 59° 56’ 37" O
	LHD316.7	316,7	0	33° 30’ 14" S 59° 55’ 21" O
Intersección LHD con LHI	LHD314.2	314,2	0	33° 30’ 26" S 59° 53’ 47" O
Zona de descarga zona ARO-ALH, usada por Afonso De Alburquerque	ZD AA312.6	312,6	240	33° 30’ 45" S 59° 52’ 51" O
Zona de descarga zona CIN, usada por Capitán Núñez	ZD AA330.7	330,700	279	33° 26‘ 39" S 60° 02‘ 23" O

Figura 61. Puntos de Muestreo de Aguas y Sedimentos.

10.4.1 Sedimentos

Para las tareas de extracción de sedimentos, el personal del Laboratorio de Análisis Industriales IDEAH tomó las muestras mediante la utilización de una Draga Van Veen fabricada en acero inoxidable AISI 316, con una capacidad aproximada es de 3,80 litros y pesa 16 kg. La draga Van Veen es un muestreador superficial, del tipo de cucharas opuestas, apto para obtener muestras de sedimentos superficiales. Durante el descenso, las dos cucharas se mantienen separadas. Al tocar el fondo se libera el mecanismo de bloqueo y cuando se tira de la línea principal para recuperar la draga, las cucharas se cierran permitiendo la recogida de la muestra. El instrumental se opera manualmente desde la cubierta de la embarcación. Las muestras de sedimento fueron almacenadas en recipientes de vidrio transparente y conservadas en frio.

Figura 62. Draga Van Veen empleada para extraer muestras de sedimento superficial.

A continuación, se listan los parámetros analizados y se exponen los métodos analíticos empleados para cuantificar cada uno de ellos, así como también el límite de detección de la técnica empleada.

Tabla 12. Parámetros, método analítico y respectivos límites - Sedimentos.

Parámetro	Método o Técnica Analítica	Límite de Detección del Método o Técnica
PESTICIDAS ORGANOFOSFORADOS TOTALES	EPA SW 846 8141	0.01 mg/kg
PESTICIDAS ORGANOCLORADOS TOTALES	EPA 8081/8270	0.1 µg/kg
2,4 D (ÁCIDO 2,4-DICLOROFENOXIACÉTICO)	EPA 8151A	0.1 mg/kg
GLIFOSATO	EPA 0547 (600/4-90-020)	0.1 mg/kg
ATRAZINA	EPA 8270D	0.01 mg/kg
TRIFLURALINA	EPA 3550 C/ 8270 D	0.06 mg/kg
HIDROCARBUROS AROMATICOS POLINUCLEADOS (PAH`S)	EPA 8100	1 µg/kg
HIDROCARBUROS TOTALES DEL PETROLEO	EPA SW 846 8015	1 mg/kg
PCB`S (COMPUESTOS BIFENILOS POLICLORADOS)	EPA 8082	0.1 µg/kg
FENOLES	SW 846 9065/9066 (COLORIMETRICO)	0.01 mg/kg
ACEITES Y GRASAS	EPA 3550-C / EPA 413.2	3 mg/kg
ARSENICO	EPA 7061	0.01 mg/kg
CADMIO	SM (Ed. 20) 3500-Cd D	0.01 mg/kg
COBRE TOTAL	EPA 7210 (SW 846 - CH 3.3)	0.1 mg/kg
CROMO TOTAL	EPA 3050 / 7000	0.05 mg/kg
MERCURIO TOTAL	EPA 7470 A	0.01 mg/kg
NIQUEL TOTAL	EPA 7520 (SW 846 - CH 3.3)	0.1 mg/kg
PLOMO	EPA 3050 B EPA 7420	0.1 mg/kg
ZINC TOTAL	EPA 3050B + EPA 7000B	0.1 mg/kg
HIERRO TOTAL	EPA 3050 / 7000	0.1 mg/kg
MANGANESO TOTAL	EPA 3050 / 7000	0.1 mg/kg
PH	EPA 9040 C (1995)	0.1 UpH
DENSIDAD (SSS - saturada superficialmente seca)	ASTM C 128	0.05 gr/cm^3
CARBONO ORGANICO TOTAL (TOC)	WALKLEY Y BLACK	0.1 % p/p

Asimismo se realizaron análisis granulométricos en cada una de las muestras, para la determinación de los valores de fracción gruesa y fina pasante, y la distribución granulométrico del sedimento de cada una de las muestras, se aplicó conjuntamente las técnicas de tamizado vía seca y pipeteo, tomando como referencias generales los lineamentos y pautas establecidas en las normas:

- ASTM D422-63 – Standard Test Method for particle-size analysis of soil.
- IRAM 1501 – PRATE I – Tamices de Ensayos – Definiciones.
- IRAM 1501 – PARTE II – Tamices de Ensayo. Telas de tejido.
- ASTM E11-IRAM 1501 – PARTE IV - Tamices de ensayo. Método de ensayo de tamizado. Directivas generales
- IRAM 1505 – Agregados – Análisis granulométricos.
- ISO 13317-1 – Determination of particle size distribution by gravitational liquid sedimentation methods – Part 1: General principles and guidelines
- ISO 13317-2 – Determination of particle size distribution by gravitational liquid sedimentation methods – Part 2: Fixed pipette method.

Tabla 13. Resultados análisis físicos muestras de Sedimento.

Parámetro	Unidad	LHD						ZD AA	
		318,7	325,2	322,7	320,7	316,7	314,2	312,6	330,7
Profundidad	m	13	16,3	10,7	10,1	8,7	15,6	14,8	7,5
% finos	%	9,27	0	0	0	0	0	0	0
Humedad	%	15,6	18,3	16,9	17,5	16,1	18,9	22,3	19,6
Densidad SSS	g/cm^3	2,12	2,32	2,51	2,34	2,45	2,39	2,56	2,38
pH	UpH	6,87	7,01	6,84	6,91	6,92	6,78	7,12	7,09

Como se explicó anteriormente aquellas muestras que resulten con un porcentaje de finos mayor al 5% deberá ser sometida a análisis químicos, para los parámetros anteriormente expuestos, siendo la muestra LHD318.7 la única del total de las 8 muestras que presentó está condición.

A continuación, se expresan los resultados de las determinaciones analíticas sobre la muestra de sedimento LHD318.7, cuando el resultado del análisis no es cuantitativo, se informa el valor del parámetro como Detectado No Cuantificado (DNC) o no detectado (exponiendo el límite de detección). Esto significa que Si el analito en estudio fue detectado por la técnica aplicada pero no pudo ser cuantificado, ya que se encontró por debajo del valor del límite de cuantificación (LC) se expresa como DNC (valor Detectado No Cuantificado). Cuando el analito en estudio no fue detectado por la técnica analítica aplicada, es decir, el valor observa por debajo del límite de detección (LD) se expresa como no detectado, exponiendo el límite de detección que corresponda (“<” LD).

Tabla 14. Resultados análisis químicos muestra LDH318.7 – Sedimento.

Parámetro	Unidad	LHD 318,7
COT	%	0,7
Sust Fenólicas	mg/kg	< 0,01
SSEE	mg/kg	15
HTP	mg/kg	9
PAHs totales	ug/kg	< 1
PCBs	ug/kg	< 0,1
Pesticidas organofosforados	mg/kg	< 0,01
Pesticidas organoclorados	ug/kg	< 0,1
2,4 - D	mg/kg	< 0,1
Glifosato	mg/kg	< 0,1
Atrazina	mg/kg	< 0,01
Trifluralina	mg/kg	< 0,06
Arsénico	mg/kg	DNC
Cadmio	mg/kg	< 0,005
Cobre	mg/kg	2,2
Cromo total	mg/kg	DNC
Hierro	mg/kg	2150
Manganeso	mg/kg	169,2
Mercurio	mg/kg	< 0,01
Níquel	mg/kg	3,5
Plomo	mg/kg	2,1
Zinc	mg/kg	19,4
DNC = Detectado No Cuantificado		

A continuación se analizan los resultados según la normativa, se sombrean en celeste aquellos parámetros que no fueron detectados y se toma como valor de evaluación el límite de detección. En gris, aquellos que fueron detectados pero no cuantificados, tomándose el límite de cuantificación como valor de evaluación.

Tabla 15. Compuestos Orgánicos evaluación según norma holandesa.

Parámetro	Un.	Valor de Laboratorio	Valor Normalizado	Meta	Limite	Referencia	Intervención	Señal
HTP	mg/kg	9	45	50	100	3000	5000	-
PAHs totales	mg/kg	0,001	0,005	1	1	10	40	-
PCBs	ug/kg	0,1	0,5	-	-	200	1000	-

Se observa de la tabla anterior que todas las concentraciones normalizadas al contenido de material orgánica individual de la muestra LDH318.7 se encuentran por debajo del valor Meta.

Tabla 16. Metales y As evaluación según norma Holandesa.

Parámetro	Un.	Valor de Laboratorio	Meta	Limite	Referencia	Intervención	Señal
Arsénico	mg/kg	0,01	29	55	55	55	150
Cadmio	mg/kg	0,005	0,8	2	7,5	12	30
Cobre	mg/kg	2,2	35	35	90	190	400
Cromo total	mg/kg	0,05	100	380	380	380	1000
Mercurio	mg/kg	0,01	0,3	0,5	1,6	10	15
Níquel	mg/kg	3,5	35	35	45	210	200
Plomo	mg/kg	2,1	85	530	530	530	1000
Zinc	mg/kg	19,4	140	480	720	720	2500

Para las concentraciones de metales y metaloides, se observa que todas las concentraciones obtenidas en laboratorio se encuentran por debajo de los respectivos valores Meta.

De manera que se clasifica como Clase 0, pudiéndose disponer en aguas abiertas.

10.4.2 Agua

El muestreo tuvo en cuenta la metodología establecida en el Método 1060 - *Standard Methods for the examination of water and wastewater*, promoviendo la recolección de las muestras de agua (superficiales) desde el estrato superficial mediante un recipiente de acero inoxidable de 5 litros previamente higienizado y enjuagado posteriormente con agua del recurso en cada sitio de medición.

Para las muestras extraídas en profundidad, se hace uso de una botella de Van Dorm, que permite la toma de muestras de agua a diferentes profundidades; el diseño horizontal de la botella facilita el flujo de agua en zonas de corrientes predominantes y mejora la exactitud del muestreo en aguas potencialmente estratificadas; consta de un tubo transparente con dos tapones en sus extremos conectados por una goma de látex, en la parte superior se sitúa el asa metálica con el disparador y dispone de un grifo para poder recuperar la muestra.

Dado que el cuerpo de agua estudiado no presenta tramos heterogéneos se extrae una muestra simple desde zonas donde existe buena circulación - perfecto mezclado - no en áreas estancadas, y sin recoger partículas grandes y no homogéneas.

Se colecta un volumen de agua suficiente para efectuar todas las determinaciones analíticas previstas, considerando además los requerimientos del control analítico de calidad del laboratorio (blancos, duplicados, etc.). Se utilizan botellas de vidrio color ámbar de diferentes capacidades y bidones de plástico.

Durante el evento de toma de muestras se realizan mediciones in situ de pH, conductividad, oxígeno disuelto y temperatura. La muestra extraída para estas determinaciones es descartada luego de la medición devolviéndola al curso dado que no se incorporan sustancias nocivas durante el procedimiento.

Figura 63. Medición de parámetros in situ.

Las muestras son protegidas de la exposición solar, se conservan refrigeradas en heladera provista por el laboratorio y se trasladan al Laboratorio para su procesamiento analítico en heladeras de campo a 4°C.

Tabla 17. Parámetros, método analítico y respectivos límites - Agua.

Parámetro	Método o Técnica Analítica	Límite de Detección del Método o Técnica
pH	SM 4500H B- 22th Edition	0.01 UpH
TEMPERATURA	SM 2550 B	0.1 °C
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	SM 2510 B (Ed.17)	0.1 uS/Cm
OXIGENO DISUELTO	SM 4500 O G - STANDARD METHODS 20TH ED.	0.2 mg/l
ARSENICO	SM 3500 As C - STANDARD METHODS 17th EDITION	0.005 mg/l
CADMIO	SM 3500 Cd D STANDARD METHODS 20TH ED	0.0005 mg/l
COBRE TOTAL	Std. Meth. Cu 3500 - D - 17 Th. Ed.	0.002 mg/l
CROMO TOTAL	SM 3500 Cr D	0.002 mg/l
MERCURIO TOTAL	EPA 7470 A	0.0001 mg/l
NIQUEL TOTAL	Std. Mt. 3500 Ni - D E	0.002 mg/l
PLOMO	SM 3500 Pb D 17 ed	0.001 mg/l
ZINC TOTAL	EPA 7950 (SW 846 - CH 3.3)	0.01 mg/l

Parámetro	Método o Técnica Analítica	Límite de Detección del Método o Técnica
PESTICIDAS ORGANOFOSFORADOS TOTALES	EPA 8270	0.02 ug/l
PESTICIDAS ORGANOCLORADOS TOTALES	EPA SW 846 8081 A	0.001 ug/l
ATRAZINA	EPA 8270D	0.01 ug/l
TRIFLURALINA	EPA 8270D	0.01 ug/l
2,4 D(ÁCIDO 2,4-DICLOROFENOXIACÉTICO)	EPA 8151A	0.01 ug/l
GLIFOSATO	EPA 0547 (600/4-90-020)	5 ug/l
PCB`S (COMPUESTOS BIFENILOS POLICLORADOS)	EPA 8082	0.1 ng/l
HIDROCARBUROS AROMATICOS POLINUCLEADOS (PAH`s)	EPA 8100 - SM 6440 22nd Edition	0.1 ug/l
HIDROCARBUROS TOTALES DEL PETROLEO	EPA 418.1	0.6 mg/l
SUSTANCIAS SOLUBLES EN ETER ETÍLICO (SSEE)	SM 5520 B	1 mg/l
FENOLES	SM 5530 C	0.001 mg/l
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	SM 2540	1 mg/l
TURBIEDAD	SM (Ed. 20) 2130 B	0.1 UNT
DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO	SM 5220 D - STANDARD METHODS 20TH ED.	5 mg/l
CARBONO ORGANICO TOTAL (TOC)	SM 5310 D - STANDARD METHODS 20TH ED.	0.1 mg/l
NITROGENO TOTAL	SM 4500 Norg B	0.6 mg/l
AMONIO	SM 4500 NH3 C	0.01 mg/l
FOSFORO TOTAL	SM 4500 P E STANDARD METHODS 22TH ED	0.02 mg/l

Además de los parámetros analizados en laboratorio, durante el muestreo se tomaron los parámetros in situ: profundidad total, pH, Temperatura, Conductividad, Oxígeno disuelto y Turbidez.

A continuación se expresan los resultados de las determinaciones analíticas sobre las muestras de agua, cuando el resultado del análisis no es cuantitativo, se informa el valor del parámetro como Detectado No Cuantificado (DNC) o no detectado (exponiendo el límite de detección). Esto significa que Si el analito en estudio fue detectado por la técnica aplicada pero no pudo ser cuantificado, ya que se encontró por debajo del valor del límite de cuantificación (LC) se expresa como DNC (valor Detectado No Cuantificado). Cuando el analito en estudio no fue detectado por la técnica analítica aplicada, es decir, el valor observa por debajo del límite de detección (LD) se expresa como no detectado, exponiendo el límite de detección que corresponda (“<” LD).

Se indica con una letra “S” las muestras superficiales y “P” aquellas en profundidad.

Signature Not Verified
Digitally signed by FABIAN ANDRES MAGGI
Date: 2022.07.04 19:09:41 ART