



INFLUENCIA MORFOLÓGICA DE LA DISPOSICIÓN DE SEDIMENTOS DRAGADOS EN LA VÍA NAVEGABLE TRONCAL. SECCIÓN SANTA FE - CONFLUENCIA

Cardini Julio y Noelia Legal

Gerente de Estudios Especiales y Especialista en Modelación Matemática
Serman & asociados S.A. Blanco Encalada 2387 P. 17E CABA (1428)
E-mail: cardini@serman.com.ar - Web: <http://www.serman.com.ar/>

RESUMEN

Se presentan estudios realizados a los efectos de la identificación y evaluación de los impactos ambientales físicos en la morfología fluvial, causados por el dragado de sedimentos y la deposición de productos de dragado. Los mismos fueron realizados en el marco del Estudio de Impacto Ambiental de la Vía Navegable Troncal, Sección Santa Fe – Confluencia, por parte de HIDROVIA S.A.

Los procesos analizados se originan en el dragado y la descarga de sedimentos en “Zonas de Vaciado” habilitadas, efectuada mediante la apertura de las compuertas de los compartimientos que se encuentran en el fondo del casco de la draga.

El análisis se realizó considerando estudios antecedentes de importancia y a través de la modelización matemática del proceso de descarga por el fondo de la draga, abarcando tanto el campo cercano donde los efectos dinámicos prevalecen, como el campo lejano donde la sedimentación y dispersión son preponderantes.

Los resultados que se presentan en el presente trabajo están relacionados en particular con la modelación matemática realizada para la evaluación de los impactos hidrodinámicos de las obras sobre el medio fluvial.

ABSTRACT

The studies presented had been developed with the purpose of identification and evaluation of physical environmental impacts in river morphology, caused by channel dredging and the deposition of dredged materials. These were made under the Environmental Impact Study of the Principal Waterway, Section Santa Fe – Confluencia, by HIDROVIA SA.

The processes analyzed are caused by the dredging and the discharge of sediment into authorized "disposal zones", conducted by opening the doors of the compartments in the bottom of the hull of the dredge.

The analysis was performed considering relevant background studies and through mathematical modeling of the discharge process through the bottom of the dredge, covering both the near field where the dynamic effects prevail, as the far field where sedimentation and dispersion are dominant.

The results presented in this paper are related in particular to the mathematical modeling done for the evaluation of hydrodynamic impacts of works on the river environment.

INTRODUCCIÓN

El objetivo del estudio fue realizar una evaluación de impactos físicos de la descarga a fin de elaborar recomendaciones operativas. Los resultados obtenidos son la distribución y proporción de sedimentos depositados en el lecho de la zona de vaciado así como la extensión y concentración de sedimentos en suspensión en la pluma remanente, considerando diferentes granulometrías del material dragado y distintas condiciones hidrológicas típicas.

En el presente trabajo se evalúan las modificaciones en las corrientes fluviales estimando su magnitud y extensión areal, a partir de lo cual se deducen conclusiones sobre el destino a largo plazo de los sedimentos depositados, y sobre la posible influencia del depósito en la morfología del cauce.

ANTECEDENTES RELEVANTES

La problemática del impacto del vaciado fue abordada previamente en estudios de la Vía Navegable Troncal realizados por Serman & asociados s.a. (S&A) para HIDROVIA S.A. y para otros proyectos de dragado, realizando modelizaciones matemáticas de pasos de navegación del tramo del río Paraná aguas abajo de Santa Fe, las cuales permitieron comprender los procesos sedimentológicos en juego y estimarlos cuantitativamente.

Algunos estudios antecedentes de la Facultad de ingeniería y Ciencias Hídricas (FICH) de la Universidad Nacional del Litoral, se destacan por su relevancia para este análisis, tales como los realizados en la zona de la Isla de la Invernada (FICH, 2004 y 2006), desarrollados ambos para la Subsecretaría de Puertos y Vías Navegables.

La FICH realizó mediciones intensivas en la zona de vaciado estudiando la distribución del sedimento inmediatamente después del volcado y su posterior transporte hacia aguas abajo a lo largo del tiempo, así como evaluando la influencia que la acumulación temporaria de materiales podría tener sobre las velocidades en la costa y en los procesos erosivos.

Se determinó que, como la draga se posiciona en diferentes lugares para descargar y el vaciado se realiza con la draga en marcha, el resultado es una distribución areal relativamente uniforme del material: *“... en el fondo se incorpora una cierta cantidad de material, distribuido de manera tal que el nuevo nivel del lecho prácticamente copia las formas de fondo previamente existentes.”*

El 70%/80% del volumen informado como descargado se deposita en una zona muy localizada y próxima a la posición en la que las dragas descargaron, y del vaciado efectuado en 6 meses, el 50% quedaba aún en el lecho al final del período, dado que el río se encontraba en aguas bajas. Durante las crecientes anuales ordinarias la capacidad de transporte del río aumenta, concluyendo la FICH que para la zona de estudio probablemente todo el material sería transportado, fundamentalmente en suspensión y relativamente pronto, hacia aguas abajo. Cabe destacar que esta conclusión sólo es válida para zonas de descarga similares, con altas profundidades relativas e intensas velocidades de la corriente, de acuerdo a lo verificado en diversos estudios realizados por S&A.

A través de mediciones se evaluó la distribución del flujo en la zona de vaciado. *“Las mismas prácticamente no evidencian modificaciones del caudal en las zonas cercanas a las márgenes, pero sí algunas variaciones leves en la zona de vaciado”*. Se interpretó que las modificaciones del lecho no generan redistribuciones o derivaciones de caudales, sino que sólo producen un leve incremento localizado de las velocidades medias en la zona de vaciado,

sin afectar la zona de la margen.

METODOLOGÍA

El análisis del tramo entre Santa Fe y Confluencia se realizó efectuando una modelización matemática de un sector representativo. Algunos de los pasos más importantes son Las Cañas, Caraguatay y Los Chanchos. Considerando que los dos primeros se encuentran cercanos entre sí y en una zona muy compleja de patrón anastomosado donde el río se bifurca 7 veces creando alternativamente 8 brazos, por lo que en algunas secciones transversales coexisten hasta 5 vías de escurrimiento simultáneas, se ha seleccionado este sector para realizar una modelación conjunta de ambos pasos.

Los resultados obtenidos para estos pasos son representativos de los impactos más relevantes que podrían ocurrir, dado que en la casi totalidad de los pasos restantes el volumen a dragar es del orden del 10% a 20%, del correspondiente a cada uno de los pasos estudiados en detalle (Las Cañas y Caraguatay), por lo que su influencia sobre el río también será proporcionalmente muy inferior.

El ancho de canal a dragar en los pasos varía entre 104 m y 136 m según sea la curvatura del canal en cada sector, más 5 m a cada lado y taludes 1:5.

Las áreas de descarga definidas para el material extraído en estos pasos se encuentran en zonas cercanas relativamente profundas. El área de descarga del Paso Las Cañas se ha ubicado aguas arriba del mismo, con una longitud de 1,1 km y un ancho de unos 210 m, resultando una superficie aproximada de 23 ha. El área de descarga correspondiente al paso Caraguatay se encuentra ubicada aguas abajo del mismo, centrada en el canal, con una longitud de 1,2 km y un ancho variable del orden de 130 m, resultando un área algo menor a las 16 ha.

Se realizaron simulaciones sobre la distribución y espesor de los montículos depositados empleando el modelo STFATE (Short Term Fate of Dredged Material Disposed in Open Water for Predicting Deposition and Water Quality Effects, 1995), perteneciente al sistema ADDAMS (Automated Dredging and Disposal Alternatives Management System), desarrollado por el USACE. Considerando que los volúmenes a dragar en cada paso son inferiores a 150.000 m³, si los mismos son dispuestos homogéneamente, la altura del depósito sobre el lecho natural no alcanzaría el metro, por lo que a fin de obtener un resultado conservativo se modeló el impacto de una sobreelevación del lecho de un metro de altura, como condición inicial post-dragado.

Al seleccionar las condiciones de simulación, se consideró que difícilmente las operaciones de dragado para la condición de proyecto se realizarán en forma simultánea con crecidas importantes, dado que en esos momentos la profundidad de agua suele ser más que suficiente y cualquier modificación del lecho por dragado sería más rápidamente anulada por efecto de los procesos de sedimentación y erosión que se acentúan fuertemente en creciente.

Por consiguiente, se seleccionaron dos condiciones hidrológicas típicas de cálculo, una correspondiente a una situación de aguas bajas, representada por el nivel de agua superado del 92,5% del tiempo, que es el correspondiente al diseño del canal, y otra correspondiente a una situación de aguas altas, correspondiente al nivel superado el 20% del tiempo, que podría corresponder por ejemplo con el inicio de las operaciones de dragado en la rama descendente del hidrograma luego de ocurrida una crecida, cuando se debería volver a dragar prácticamente la totalidad de la sección del canal.

De esa manera se contempla una variedad amplia de situaciones, dado que en aguas bajas la influencia del dragado puede ser localmente superior, pero los procesos morfológicos se encuentran muy atenuados debido a las bajas velocidades de la corriente, mientras que en aguas altas la influencia del canal dragado puede ser normalmente inferior, pero los procesos morfológicos son más intensos.

La modelación hidrodinámica bidimensional se realizó con el programa RMA2, mientras que la modelación sedimentológica del campo lejano se realizó con el programa SED2D, ampliamente empleados en el río Paraná por ejemplo en los siguientes estudios (Serman & asociados, 1999, 2000, 2005, 2007, 2008) y (FICH, 2006).

La zona de estudio fue modelada siguiendo el procedimiento que se detalla a continuación: Se implementó una malla de cálculo utilizando 23510 elementos cuadrados y triangulares de 8 y 6 nodos respectivamente, con una discretización variable a lo largo del tramo modelado. La grilla desarrollada se extiende en sentido longitudinal entre las progresivas km 947 en su extremo Norte y km 922 en el Sur. Como condiciones de borde se impusieron los caudales totales del río Paraná aguas arriba, calculados en base a leyes altura-caudal y el nivel de agua en la frontera de aguas abajo, estimado por pendiente en función de los datos estadísticos. Como en la zona existen dos brazos del río, se distribuyó el caudal aguas arriba en función de la conductividad hidráulica relativa estimada para cada uno de ellos, correspondiendo un 85% para el principal (brazo izquierdo) y un 15% para el secundario. Si bien esta hipótesis condiciona los caudales erogados en todo el sistema, ha sido considerada aceptable dado que de el presente análisis busca establecer los impactos relativos comparando la situación con y sin obras, más que determinar con precisión cuál es la situación natural del tramo bajo análisis, lo cual requeriría la ejecución de mediciones de velocidad y aforos para calibrar tanto la distribución de caudales ingresante como los coeficientes de rugosidad de Manning.

El modelo se corrió hasta obtener una solución estable de forma que la diferencia de nivel de la superficie libre entre iteraciones de cálculo sucesivas en todos los nodos de la malla fuese inferior a 0,001 m. En esta situación se considera que la solución fue convergente.

Para poder deducir la influencia de las obras en los niveles y velocidades de agua, se deben efectuar simulaciones hidrodinámicas con idénticas condiciones de contorno, modificando el lecho del río para incluir las modificaciones debidas al dragado y descarga de sedimentos. Se ha efectuado esta modificación considerando, a los efectos de las simulaciones, que en el escenario con obras, los canales en ambos pasos se encuentran dragados y las áreas de depósito sobreelevadas, de tal manera que los efectos que se observan son los derivados de todas las obras en conjunto realizadas en el tramo.

EVALUACIÓN DE RESULTADOS

El área modelada, las zonas a dragar y las zonas de descarga, se presentan en la Figura 1 donde se puede apreciar que en el Paso Las Cañas se deben dragar dos sectores disjuntos, correspondiendo el de más aguas abajo (o sector Sur) a la embocadura de un pequeño brazo que transfiere caudal desde el brazo izquierdo al derecho del río, en una zona de bifurcación del flujo. Por consiguiente y a priori, al no configurar el sector Sur un paso en travesía, al ser dragado será proclive a actuar como encauzador del flujo incrementando levemente la transferencia de caudal por el mismo.

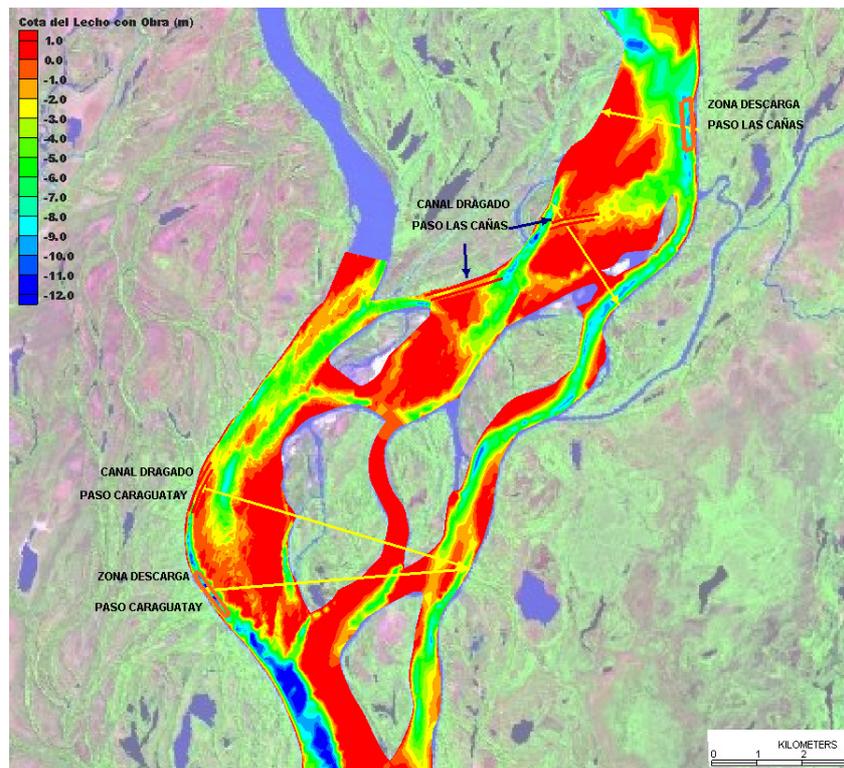


Figura 1.- Cotras del lecho con Obras y ubicación de tramos con dragado y de zonas de descarga para los pasos Caraguatay y Las Cañas

En cada paso se determinó la velocidad en aguas bajas con y sin obras, para aguas bajas y aguas altas, tal como se ilustra en las Figuras 2 y 3. Las velocidades en las áreas de canal a dragar son del orden de 0,8 a 1,0 m/s en el paso Caraguatay y en el paso Las Cañas Norte (donde además tienen un cierto sesgo con el canal al cual cortan transversalmente), mientras que en el paso Las Cañas Sur se encuentran entre 1,2 y 1,4 m/s. En las áreas de descarga, las mismas oscilan para el paso Caraguatay entre 1,0 y 1,5 m/s en aguas bajas, y entre 1,4 y 1,8 m/s en aguas altas, mientras que para el paso Las Cañas, varían entre 0,6 y 1,1 m/s en aguas bajas y entre 0,8 y 1,3 m/s en aguas altas, aproximadamente.

Las diferencias entre los campos de velocidades para los escenarios con y sin obra son prácticamente imperceptibles en relación con el orden de magnitud de la velocidad. No obstante, existen ciertas diferencias y para poder apreciarlas con mayor detalle se las ha destacado efectuando la diferencia en los niveles de agua (Figuras 4 y 5) y en la intensidad de las velocidades para ambos escenarios (Figura 6 a 7).

Cabe mencionar que a los efectos de una mejor identificación de los sectores intervenidos, se han representado en forma destacada las áreas dragadas y de depósito, tanto en los gráficos con obras como sin obras. Asimismo, se indican con flechas amarillas la ubicación de perfiles típicos que fueron empleados para el análisis de las variaciones transversales del lecho y velocidades de la corriente.

El efecto de leve encauzamiento del flujo que se genera por el dragado del tramo de canal correspondiente al paso Las Cañas Sur, produce un incremento del nivel de agua en el brazo izquierdo (donde se halla el Paso Caraguatay), variable entre 3 y 4 mm para aguas bajas y entre 2 y 3 mm en aguas altas, el cual desaparece luego al volver a unirse los distintos brazos.

En cambio, en la zona aguas arriba del canal de Paso Las Cañas y su área de descarga, se genera una leve sobreelevación con un valor medio entre 7 y 9 mm en aguas bajas y entre 6 y 8 mm en aguas altas, superándose el centímetro sólo en puntos muy localizados. Estos efectos

diferenciales entre brazos se originan cuando la canalización favorece una leve redistribución de caudales entre los diferentes brazos.

Las velocidades de la corriente son afectadas sólo localmente, en el sector del río donde se ubican el canal dragado y el área de descarga. En el sector del canal se contraponen los efectos de reducción de velocidad por continuidad del flujo que ocurren cuando las líneas de corriente cortan al canal en forma sesgada, el efecto incremental que se genera por encauzamiento del flujo en el canal, más profundo que el entorno natural, el cual tiende a aumentar ligeramente las velocidades dentro del mismo, y reducirlas también ligeramente en su entorno.

Las velocidades del flujo resultan modificadas en un rango de unos 5 a 10 cm/s (puntualmente) en las inmediaciones del canal, y en menos de 5 cm/s en el resto de una sección transversal típica modificada por el dragado.

En las zonas de descarga se verifican incrementos generales de velocidad sobre el depósito de 2 a 4 cm/s en aguas bajas y de 2 a 3 cm/s en aguas altas, con un incremento asociado en la parte más cercana de la sección transversal remanente del orden de 1 a 2 cm/s.

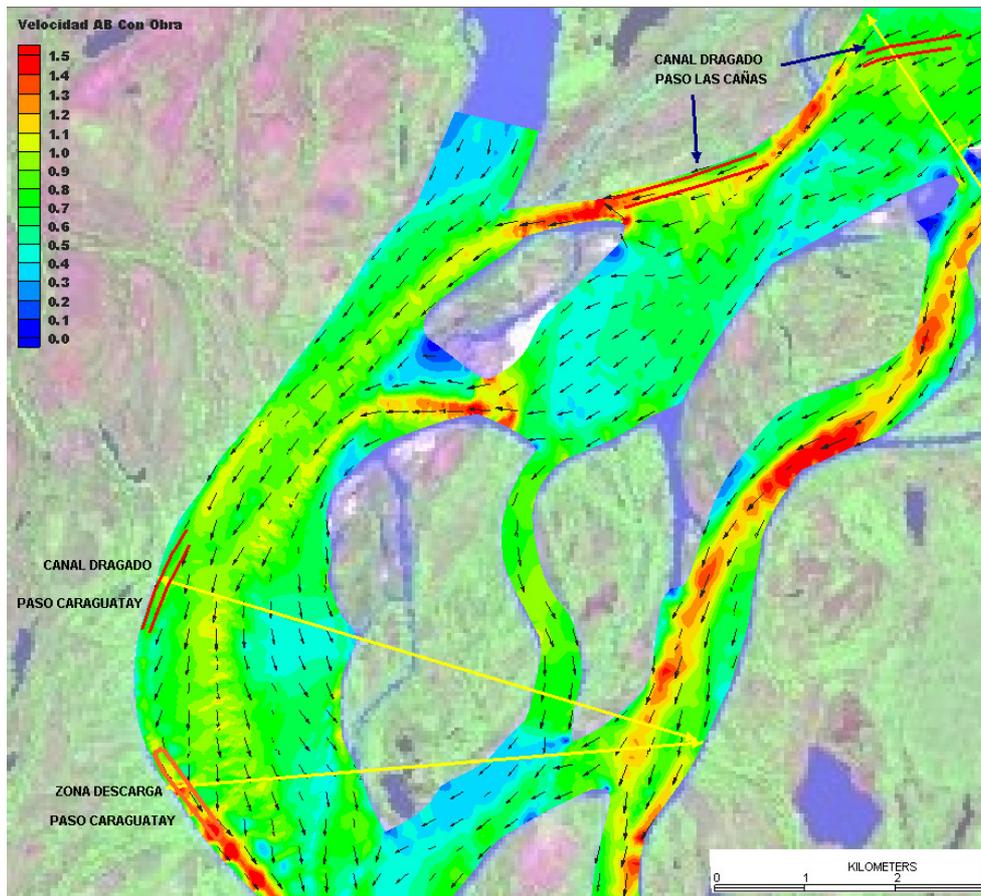


Figura 2.- Ejemplo de velocidades en aguas Bajas con Obras. Pasos Caraguatay y Las Cañas

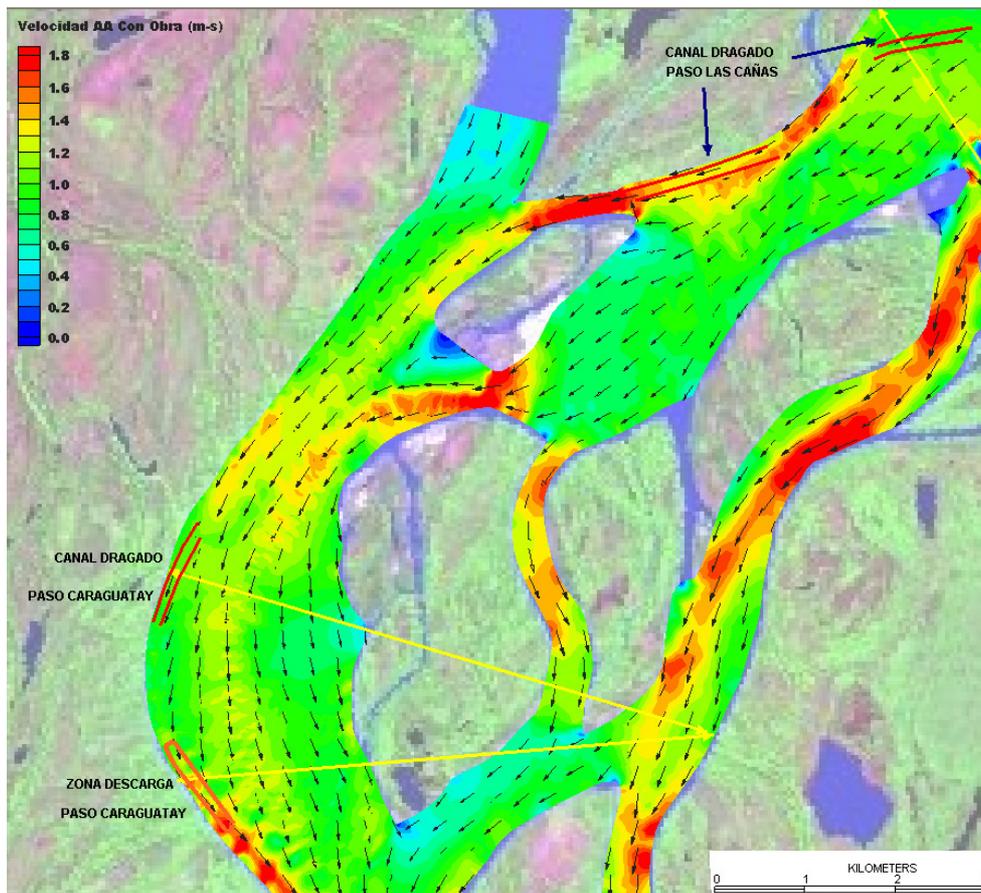


Figura 3.- Ejemplo de velocidades en aguas Altas con Obras. Pasos Caraguatay y Las Cañas

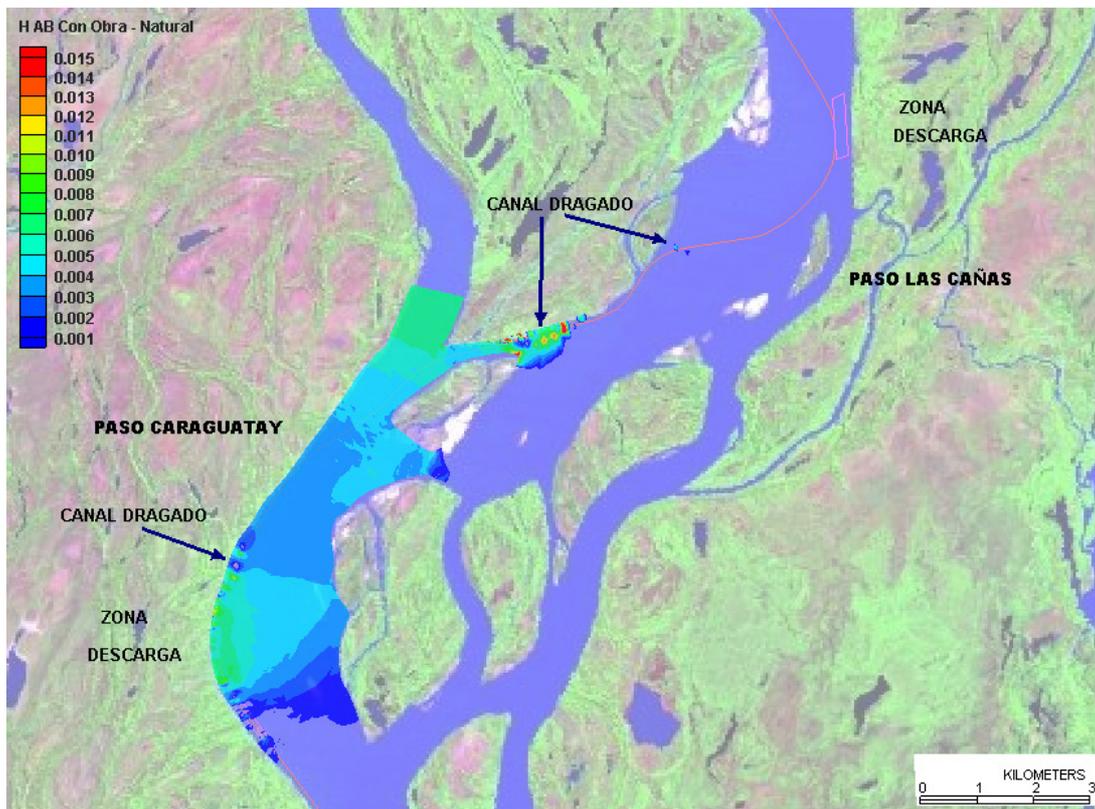


Figura 4.- Incremento de niveles en aguas Bajas debido a las Obras. Pasos Caraguatay y Las Cañas

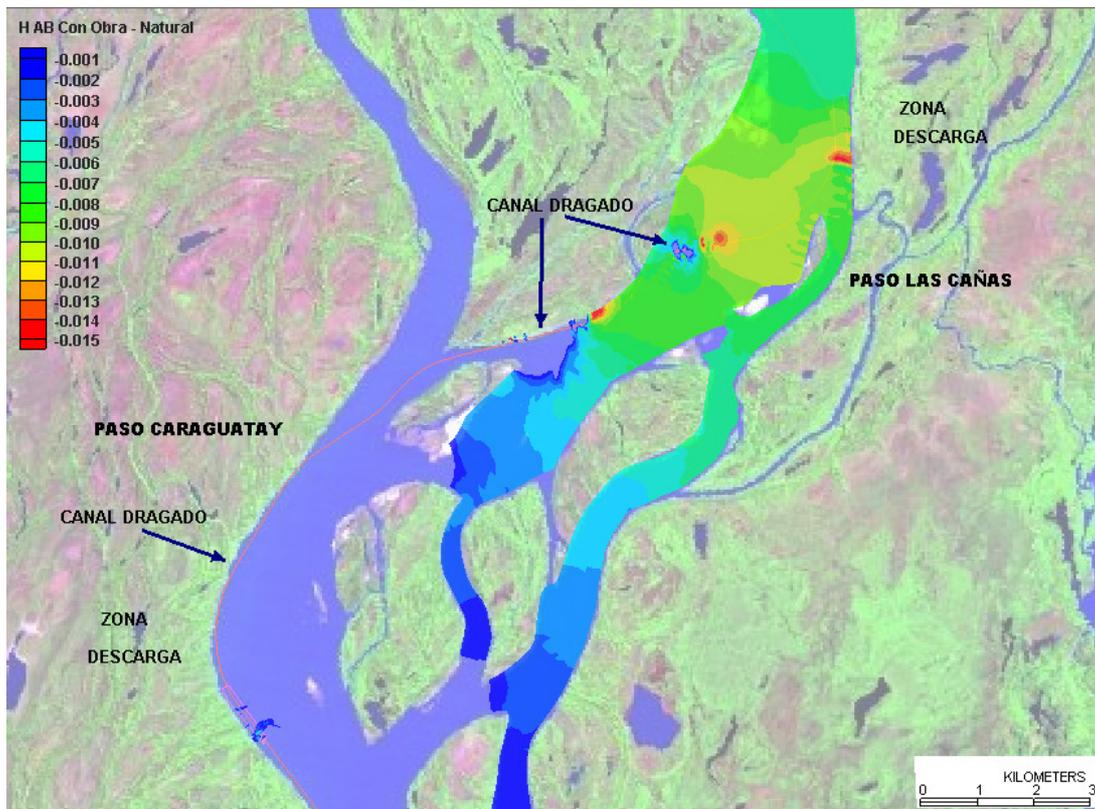


Figura 5.- Reducción de niveles en aguas Bajas debido a las Obras. Pasos Caraguatay y Las Cañas

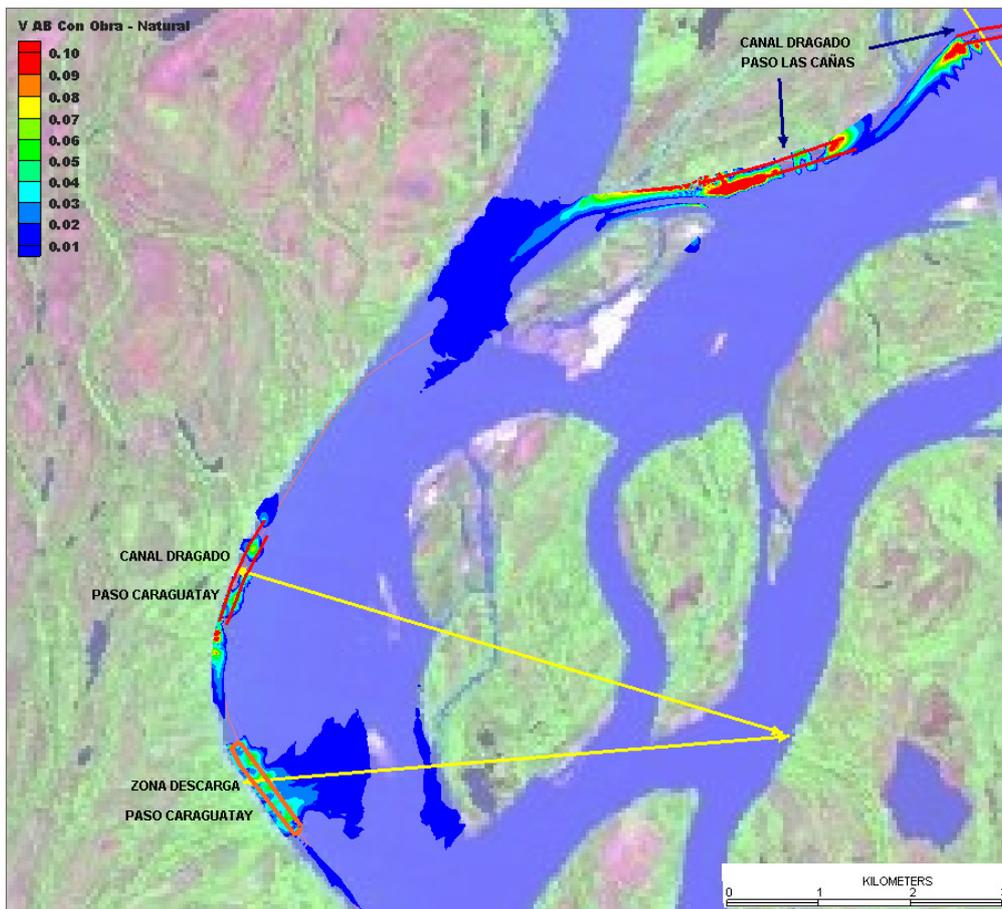


Figura 6.- Incremento de velocidades debido a las Obras en aguas Bajas. Sector Sur modelado.

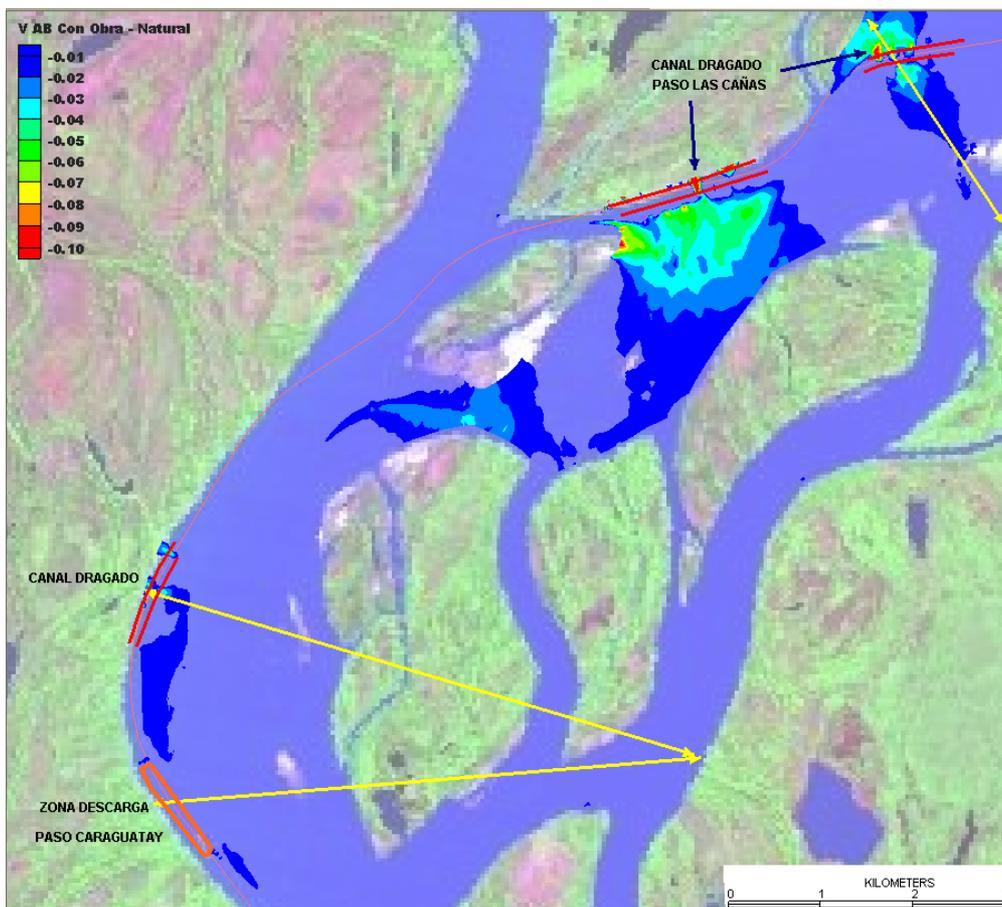


Figura 7.- Reducción de velocidades debido a las Obras en aguas Bajas. Sector Sur modelado.

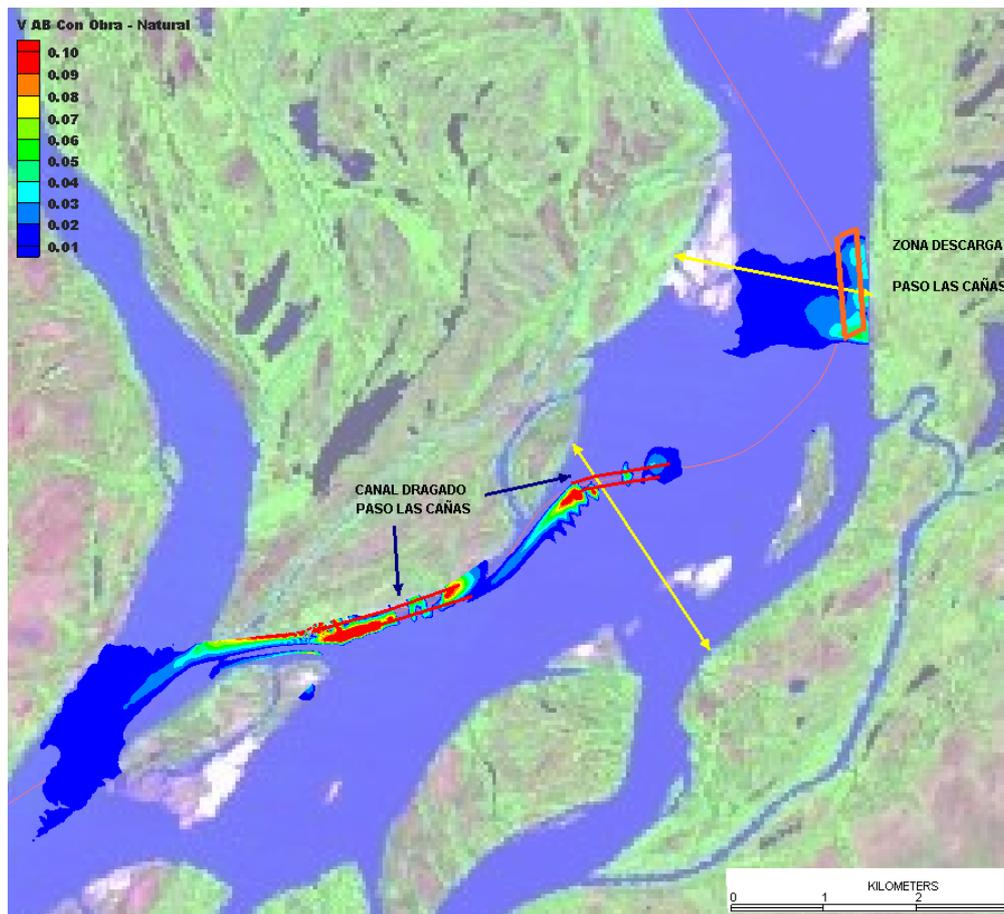


Figura 8.- Incremento de velocidades debido a las Obras en aguas Bajas. Paso Las Cañas. Sector Norte.

La redistribución de caudales entre brazos generada por la canalización que se induce en el paso Las Cañas y por la obstrucción que genera la zona de descarga (en su condición máxima con un metro de espesor de sedimento distribuido en las aproximadamente 20 ha que ocupa), medida en la sección transversal que pasa por el área de dragado del paso Caraguatay, donde existen 3 brazos (el canal pasa por el brazo principal derecho), es la siguiente:

- En aguas bajas, en condición natural el brazo derecho lleva aproximadamente el 56,86% del caudal, el central el 6,17% y el izquierdo el 36,96%. Con las obras en su condición de diseño, los porcentajes son 57,33%, 6,12% y 36,55%. Es decir, el brazo derecho incrementa su participación en un orden del 0,5% (por el encauzamiento), el brazo central la disminuye menos de un 0,1% y en el brazo izquierdo se reduce en un 0,4%.
- En aguas altas (nivel superado el 20% del tiempo), en condición natural el brazo derecho lleva aproximadamente el 56,43% del caudal, el central el 9,20% y el izquierdo el 34,37%. Con las obras en su condición de diseño, los porcentajes son 56,73%, 9,15% y 34,12%. Es decir, el brazo derecho incrementa su participación en un orden del 0,4%, el brazo central la disminuye menos de un 0,1% y en el brazo izquierdo se reduce en menos de un 0,3%.

CONCLUSIONES

Habiendo simulado una superposición de acciones muy desfavorable (simultaneidad de dragados en dos pasos contiguos y con sus respectivas zonas de descarga totalmente ocupadas por espesores de depósito elevados), las modificaciones de flujos resultaron muy pequeñas en relación con las capacidades de conducción naturales y se hallan dentro de los márgenes de variabilidad esperables por causa de las variaciones morfológicas naturales del cauce.

Los errores de los métodos de medición de caudales (aforos), aún empleando sistemas avanzados tales como equipos basados en efecto doppler (ADCP), normalmente son del orden del 5% del caudal conducido por el cauce, por lo que las variaciones debidas a la obra no serían medibles en la práctica dado que son un orden de magnitud más pequeñas que las incertidumbres normales de la medición del caudal.

Lo mismo sucede con los niveles de agua modificados por las obras, la variación obtenida es menor que la provocada por cambios morfológicos naturales del lecho y aún por efectos del viento, por lo que no sería detectable en rigor mediante mediciones locales y mucho menos serían advertibles las diferencias en los hidrómetros dado que prácticamente se anulan en el entorno del paso y entropaso de vaciado, especialmente una vez que los diferentes brazos se han reunido en un nodo, resultando las variaciones muy inferiores al milímetro fuera de estas zonas.

Siendo tan reducidas las variaciones hidráulicas, no se espera la generación de efectos morfológicos significativos a largo plazo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FICH - Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, UNL. (2004 y 2006): “Estudios Hidráulicos y Morfológicos – Zona Isla de la Invernada – Río Paraná”

Serman & asociados s.a. (S&A), HIDROVIA S.A. (1999). “Optimización del Dragado en Pasos Críticos “

Serman & asociados s.a., TGN S.A (2000a): “Estudio hidromorfológico río Paraná-Gasoducto Mesopotámico”.

Serman & asociados s.a Puentes del Litoral (2000b): “Proyecto Ejecutivo Conexión Vial Rosario – Victoria”

Serman & asociados s.a., HIDROVIA S.A. (2005) “Estudios Hidromorfológicos Dragado de Profundización de Pasos Críticos en la Hidrovía Paraná Medio e Inferior”.

Serman & asociados s.a. (2007): “Reconversión del Puerto de Santa Fe sobre la Hidrovía del Río Paraná”

Serman & asociados s.a. (2008): Conexión Vial Reconquista - Goya. Estudio morfodinámico.



Instituto de Recursos Hídricos



Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías



Universidad Nacional de Santiago del Estero



Instituto Nacional del Agua



Subsecretaría de Recursos Hídricos



Agencia Nacional de Promoción Cient. y Tec.



Gobierno Prov. de Santiago del Estero



Ministerio de la Producción



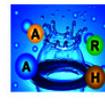
Secretaría del Agua



Secretaría de Desarrollo, Ciencia y Tecnología



Consejo Prof. de la Ingeniería y Arq.



Asociación Argentina de Recursos Hídricos



Asoc. Internacional de Investig. Hidroamb.



Comisión Regional del Río Bermejo



CORPORACION ARGENTINA TECNOLÓGICA S.A.
INGENIERIA CIVIL E HIDRAULICA

