

EROSION EN ZONA DE CONFLUENCIAS

Juan Carlos Minetti y María Eugenia Werlen

Evaluación de Recursos S.A. (EVARSA)

N. Avellaneda 3180 – (S3000GMD) Santa Fe, Argentina. TE: 0342-4560895.

E-mail: jminetti@evarsa.com.ar mewerlen@evarsa.com.ar - Web: <http://www.evarsa.com.ar>

RESUMEN

Cuando dos ríos o dos brazos de un mismo río se encuentran en una confluencia se crea un flujo helicoidal, responsable de erosionar el lecho y realizar localmente, inmediatamente aguas abajo de la confluencia, un profundo canal. Distintas áreas tales como sedimentología, geomorfología e hidráulica fluvial han enfatizado su atención en estudios relacionados con la dinámica del flujo y la morfología que presentan las zonas ubicadas en las confluencias. Existen ecuaciones donde fundamentalmente se debe cumplir que la relación entre el caudal mayor y el menor no sea mayor de 2.2. Cuando esta hipótesis no se cumple, no se obtienen resultados satisfactorios y deben emplearse otras herramientas para la predicción de procesos erosión o sedimentación del lecho. El presente trabajo es un estudio preliminar y pretende mostrar los efectos erosivos y las características hidráulicas y sedimentológicas, así como los cambios morfológicos producidos en el lecho del Río Paraná en un sector ubicado aguas abajo de la Isla Guáscara en la Provincia de Corrientes, donde confluyen dos corrientes provenientes de ambos lados de la misma y la relación de caudales es superior a 2.2.

ABSTRACT

When two rivers or two flows of a same river join, a helical flow is created at downstream area, responsible to erode the bed and to make, downstream the confluence, a deep channel. Different areas such as sedimentology, geomorfology and river hydraulics have emphasized their attention in studies related to the dynamics of the flow and the morphology that have the zones located in the confluences. The equations used fundamentally must fulfill that the relation between the greater flow and the minor is not greater of 2.2. When this hypothesis is not fulfilled, satisfactory results are not obtained and must be used other tools for the prediction of processes erosion or sedimentation of the bed. The present work is a preliminary study and tries to show to the erosive effects and the hydraulic and sediment characteristics, as well as the morphologic changes produced in the bed of the Parana River, in a located sector downstream the Guascara Island in the Province of Corrientes, where two originating currents of both sides of the island and the relationship of flows is greater than 2.2.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo es un estudio preliminar y esta basado sobre tres campañas de mediciones realizadas en el Km 1220 del Río Paraná Superior, donde se encuentra la Isla Guáscara en cuyo extremo de aguas abajo se encuentra emplazada una torre de alta tensión. El efecto de la confluencia de los brazos Principal y Guáscara han producido una marcada erosión que afecta a la estructura y puede comprometer la estabilidad de la misma.

Cuando dos ríos o un brazo de un mismo río se encuentran en una confluencia se crea un flujo helicoidal. Dicho flujo es responsable de la erosión del lecho y de la presencia aguas abajo de la confluencia de un canal, similar a las hoyas profundas que se encuentran en las zonas externas de la curvas.

La dinámica de flujo convergentes y divergentes, así como la morfología de las regiones de convergencia de un canal ha sido estudiada a lo largo de las últimas décadas por varios

investigadores.

Las áreas tales como sedimentología, geomorfología e hidráulica fluvial han enfatizado su atención en estudios relacionados con la dinámica del flujo y la morfología que presentan las zonas ubicadas en las confluencias de dos brazos de un mismo o distintos ríos.

Cuando los canales convergen en un sistema entrelazado, se producen cambios rápidos en la velocidad y la distribución de sedimentos que resulta en modificaciones de la geometría del lecho del río.

La morfología de la zona de confluencia (geometría de las desembocaduras, profundidad de erosión) está controlada por el ángulo de confluencia y la relación existente entre las descargas.

Best encontró que un incremento en el ángulo de confluencia o la relación de descarga producen erosiones mayores en la confluencia y la disminución de sedimentos en la zona próxima al sector donde se incrementa la turbulencia.

Los modelos del comportamiento de confluencia han tradicionalmente asumido que en la convergencia los brazos poseen igual profundidad (Best 1987) una condición que raramente se encuentra en los sistemas naturales.

Best y Roy (1991) sugirieron que la diferencia en la profundidad en dos brazos que convergen tiene un efecto significativo en la mecánica del flujo de tres dimensiones y sobre la mezcla de flujos agua abajo de la misma. Ellos además sugirieron que el proceso de diferencia de profundidad puede ser explicado por el desarrollo del flujo helicoidal.

En experimentos de laboratorio y en observaciones de campo (Mosley 1976) se observó que tanto el ángulo como la erosión en la confluencia en una unión particular varía de manera consistente con la relación de descarga y la carga de sedimento.

OBJETIVO

Para determinar erosiones en zona de confluencias, existen ecuaciones donde fundamentalmente se debe cumplir que la relación entre el caudal mayor y el menor no sea mayor de 2.2.

Cuando esta hipótesis no se cumple, no se obtienen resultados satisfactorios y deben emplearse otras herramientas para la predicción de procesos erosión o sedimentación del lecho.

El presente trabajo es un estudio preliminar y pretende mostrar los efectos erosivos y las características hidráulicas y sedimentológicas, así como los cambios morfológicos producidos en el lecho del Río Paraná en un sector ubicado aguas abajo de una isla, donde confluyen dos corrientes provenientes de ambos lados de la misma y la relación de caudales es superior a 2.2.

ZONA DE ESTUDIO, EQUIPOS Y MÉTODOS

Zona de Estudio

La zona de estudio se encuentra ubicada en el Km 1220 del Río Paraná Superior, 14 km aguas abajo de la desembocadura del Río Paraguay frente a la ciudad de Paso de la Patria, Provincia de Corrientes.

Allí se encuentra ubicada la Isla Guáscara la cual divide al Río Paraná en dos brazos, uno denominado Brazo Principal ubicado contra la margen correntina y el otro llamado Brazo Guáscara ubicado contra la margen chaqueña.

Se realizaron tres campañas de mediciones con el objetivo de controlar la evolución de la erosión ya que en el extremo de aguas abajo de la isla se encuentra emplazada una torre de alta tensión. La primer campaña se realizó en Enero del año 2003, la segunda en Junio del año 2004 y la tercera en Agosto de 2005.

Tomando como referencia la ubicación de la torre, el área de estudio se localizó entre 1000 metros aguas arriba y 1000 metros aguas debajo de la misma, cubriendo una superficie de aproximadamente 300 has. Todas las campañas se realizaron para una condición de aguas medias a aguas medias bajas del Río Paraná.

Equipos

El equipo utilizado en este trabajo para la medición de profundidad, velocidad y caudal, fue un perfilador de corriente ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler), Marca RDI Modelo Workhorse de 600 Khz de frecuencia, montado a un costado de la embarcación.

El principio de funcionamiento de los equipos ADCP, es transmitir un pulso de energía al agua, ésta es reflejada por las partículas que se encuentran en suspensión –las cuales se mueven a la misma velocidad que la corriente- y parte de ella retorna al equipo, en donde se mide el cambio de frecuencia. A partir de esto se computa la velocidad del agua relativa al equipo. Este proceso se realiza dividiendo la columna líquida en un número de celdas de profundidad de igual tamaño, determinándose en cada una de ellas las componentes de la velocidad en las tres direcciones (ejes X,Y,Z o Norte, Este y Vertical). Además, mediante el uso de otros pulsos de energía y un sistema de compás magnético, se determinan la velocidad y dirección de desplazamiento del equipo y la geometría del lecho (profundidades).

Esta información es conjugada con la proveniente de un receptor GPS para obtener coordenadas de los puntos relevados. La frecuencia de recolección de información es de una medición cada 3 segundos, lo que combinado a la velocidad de traslación del bote, del orden de 1.5 m/s, permitió obtener un punto de medición cada 5 metros, aproximadamente. Es decir, que al recorrer una trayectoria de por ejemplo 1000 metros de longitud, se obtienen aproximadamente 200 puntos de medición, con información de valores de velocidad en toda la vertical o profundidad, cada 50 o 100 cm, de acuerdo al tamaño de la celda elegida.

Métodos

En el brazo Principal se realizaron perfiles de medición transversales a la corriente cada 100 metros y en el brazo Guáscara cada 50 metros. Mediante perfiles longitudinales, se relevó la zona de aguas abajo cercana a la isla, zona de encuentro de ambos brazos, a los efectos de obtener información más detallada. Las posiciones de los perfiles fueron las mismas en las tres campañas, esto permitió realizar una mejor comparación de los resultados obtenidos.

En la Figura 1 se muestra una imagen satelital de la zona de trabajo y con un círculo se destaca el área relevada. También se muestran las trayectorias realizadas con la embarcación durante el relevamiento de los perfiles de la campaña del año 2004.

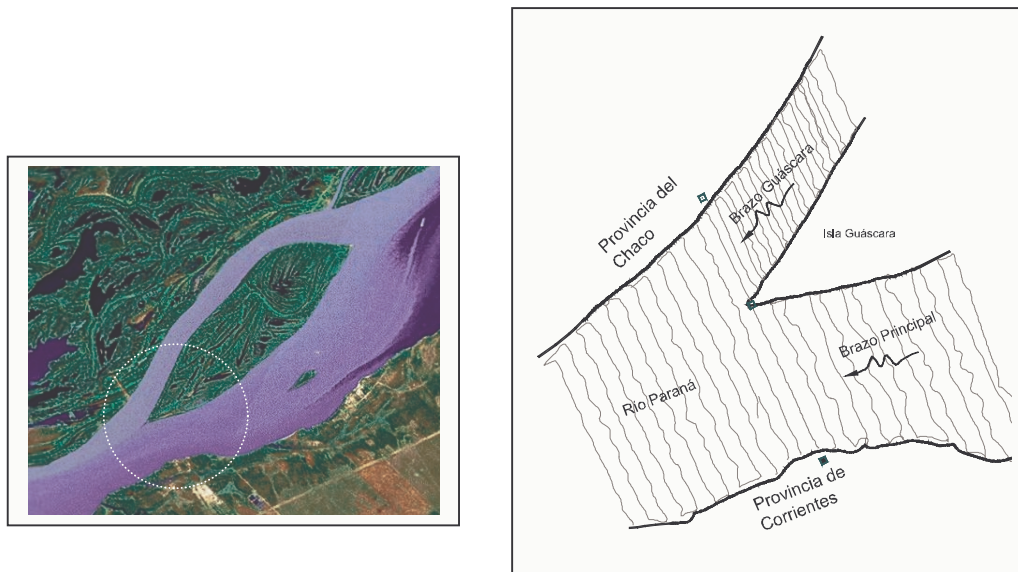


Figura1.- Ubicación del área de estudio y trayectorias de la embarcación.

Los trabajos se referenciaron a un mojón ubicado en la margen izquierda de la zona de estudio de cota IGM conocida y al hidrómetro del Puerto de la ciudad de Corrientes. Los niveles del Paraná existentes durante la realización de los trabajos para las tres campañas se pueden apreciar en la Tabla 1.

Tabla 1.- Niveles del Río Paraná

Fecha	Cota Nivel promedio del río Paraná zona Isla Guáscara (m IGM)	Altura río Paraná Puerto de Corrientes (m)
Enero 2003	44.94	3.10 – 3.30
Junio 2004	45.70	4.35 – 4.50
Agosto 2005	43.86	1.96 – 1.94

La campaña del año 2004 se realizó con un nivel 0.76 m más alto que la del año 2003. La campaña del año 2005 se realizó con un nivel 1.84 m más bajo que la del año 2004.

Para caracterizar sedimentológicamente la zona de estudio, se extrajeron en las campañas de los años 2004 y 2005 muestras del material que compone el lecho, mediante el empleo de un cono de arrastre. Posteriormente en Laboratorio se obtuvieron para cada una de las muestras la curva de distribución granulométrica a partir de ensayos de tamizado para el material arenoso y el método del hidrómetro para material limo-arcilloso, que presentaron las muestras extraídas del brazo Guáscara cercanas a la isla.

EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS

Caracterización hidráulica

El ancho promedio del Brazo Guáscara es de 500 metros, el del Brazo Principal es de 950 metros y 1400 metros el del Paraná aguas abajo de la isla.

En la Tabla 2 se muestran los caudales medidos en las campañas y la relación de caudales existente entre los dos brazos.

Tabla 2. - Caudales medidos y relación de caudales

Fecha	Brazo Principal (m ³ /s)	Brazo Guáscara (m ³ /s)	Caudal Total (m ³ /s)	Relación de caudales BP/BG
Enero 2003	13.750	2.250	16.000	6
Junio 2004	17.300	3.400	20.700	5
Agosto 2005	11.906	1.282	13.188	9

La relación de caudales entre el Brazo Principal y el Brazo Guáscara es muy superior a 2.2 alcanzando un valor de 9 en el año 2005 para el nivel más bajo del Paraná. Por lo tanto, no pueden aplicarse las ecuaciones existentes para el cálculo de la profundidad de erosión y es necesario encontrar otra metodología para determinar si existen procesos de erosión, sedimentación o simplemente transporte.

En las Figuras 2, 3 y 4 se muestran los valores de velocidades media (m/s) y profundidades (m) medidas en las tres campañas. Coincidente con los puntos de las progresivas 0, 200, 400, 600, 800 y 1000 metros se realizaron las extracciones de muestras de fondo en las campañas de los años 2004 y 2005.

En el Brazo Guáscara, las profundidades disminuyen desde aguas arriba hacia aguas abajo a medida que aumenta el ancho. En el Brazo Principal se distingue un canal con las mayores profundidades ubicado sobre la margen correntina. La diferencia de profundidades entre ambos brazos es importante, en promedio las profundidades del Brazo Principal duplican a las del Brazo Guáscara.

Esta diferencia de profundidades se continúa observando aguas abajo del extremo de la Isla, luego de que ambos brazos se unen. Es destacable la evolución que ha tenido el lecho en esta zona de confluencia, en la cual las profundidades aumentaron considerablemente entre las campañas realizadas en los años 2003 y 2004. En el año 2005 no se observaron grandes diferencias respecto al año 2004, en general las profundidades disminuyeron levemente.



Figura 2.- Velocidades medias y Profundidades. Año 2003



Figura 3.- Velocidades medias y Profundidades. Año 2004



Figura 4.- Velocidades medias y Profundidades. Año 2005

En la Tabla 3 se muestran las velocidades medias para cada uno de los brazos del Paraná y para cada una de las campañas.

Tabla 3. – Velocidades Medias

Fecha	Brazo Principal (m/s)	Brazo Guáscara (m/s)	Paraná aguas abajo isla (m/s)
Enero 2003	1.10	0.85	1.00
Junio 2004	1.32	1.06	1.20
Agosto 2005	1.01	0.61	0.80

Se observa que las velocidades medias están en concordancia con los valores presentados en la Tabla 2. En la campaña del año 2004 se obtuvieron los mayores valores de nivel, velocidad y caudal en tanto que en la campaña del año 2005, los valores menores.

Cuando el Río Paraná se encuentra en niveles de aguas medias, como en las campañas de los años 2003 y 2004, la relación entre las velocidades medias de los Brazos Principal y Guáscara con el Paraná aguas abajo de la isla es de 1.1 y 0.9 respectivamente. Sin embargo, para la condición de aguas bajas dada en la campaña del año 2005, la relación de velocidades aumenta en el Brazo Principal a 1.3 y disminuye en el Brazo Guáscara a 0.8.

Análisis sedimentológico – Caracterización del lecho

Los procesos de erosión, transporte y sedimentación, debido a la acción del agua no solo dependen de las características del flujo hídrico, representadas sustancialmente por la tensión de corte sobre el fondo, sino que dependen también de las propiedades del mismo sedimento.

Para caracterizar granulométricamente la conformación del lecho se extrajeron en las campañas 2004 y 2005 60 muestras de fondo. Las mismas se localizaron dentro de los cauces de cada uno de los Brazos Guáscara y Principal y en el Río Paraná aguas abajo de la isla. La metodología empleada para el análisis granulométrico fue por medio de tamizado vía seca.

El diámetro D_{50} , definido como la mediana de la distribución granulométrica, se utilizó en este trabajo para caracteriza la zona de estudio y para realizar los cálculos de tensión de corte, se utilizó el diámetro D_{90} .

En la campaña realizada en el año 2004, el Brazo Principal y su continuación aguas abajo de la isla, se caracterizó con un diámetro D_{50} entre 0.25 mm y 0.55 mm. Según la definición dada por la escala de Udden-Wentworth, el 95 % de las muestras de fondo se caracteriza por tener arenas medianas y el resto arenas gruesas. En el Brazo Guáscara y su continuación, el diámetro D_{50} varía entre 0.11 mm y 0.18 mm. De acuerdo a la escala Udden – Wentworht corresponde a arenas finas.

La Figura 3 muestra la distribución granulométrica de algunas de las 60 muestras analizadas. Tres corresponden al Brazo Guáscara y cuatro, al Brazo Principal. En ordenada se representa la fracción acumulada o porcentaje acumulado en peso de material más fino y en abscisa el diámetro de partícula en escala logarítmica.

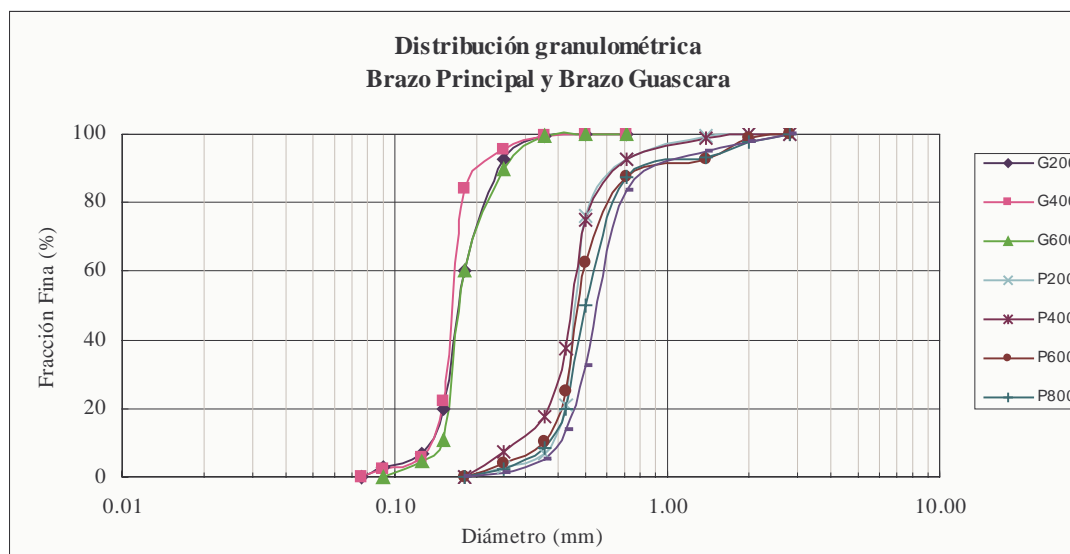


Figura 3 – Distribución Granulométricas – Año 2004

La distribución granulométrica muestra curvas típicas S correspondientes a un material de lecho arenoso, característico del río Paraná. Gráficamente se observa que los Brazos, Guáscara y Principal, presentan partículas de tamaño diferente por lo que existen dos tipo de granulometrías que caracterizan la zona.

La Figura 4 muestra los valores de diámetro D_{50} de cada muestra. La línea azul divide la zona de arenas medianas de la de arenas finas. Existe una variabilidad espacial de las características sedimentológicas propia de los lechos arenosos en los Brazos Guáscara y Principal y dicha tendencia continua aguas abajo de la isla. Además de la variabilidad espacial en sentido del longitudinal o del escurrimiento también existe una variabilidad en sentido transversal con valores de diámetro D_{50} entre 0.11 y 0.50 mm.

Se observó que los sedimentos finos en el rango de limos y arcillas son prácticamente inexistentes en el lecho.

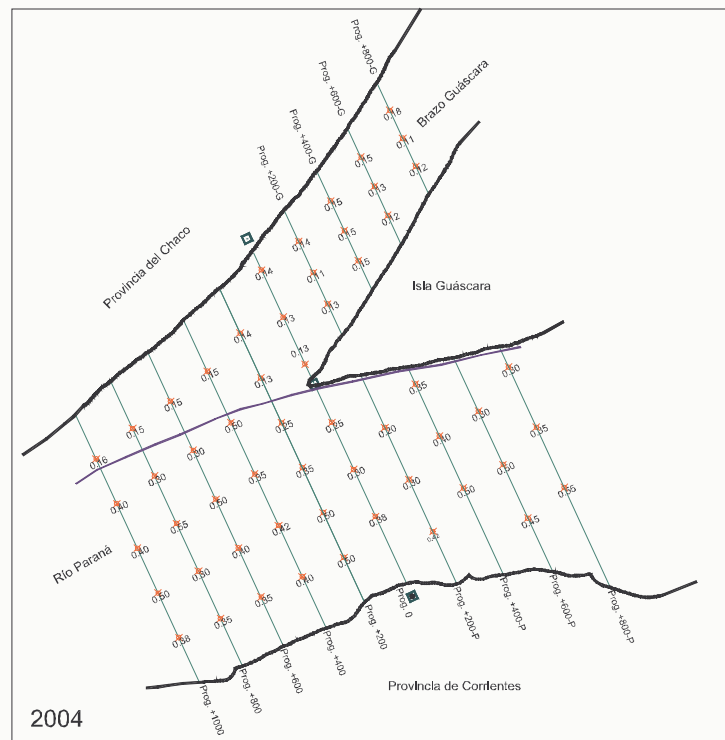


Figura 4 - Diámetro medio D_{50} :

Las muestras extraídas cercanas a las costas de la isla no se tuvieron en cuenta para el análisis ya que se consideró que este tipo de material formaba parte de la estructura geomorfológica de la isla y no era material propio del cauce.

En el año 2005, en el Brazo Principal se encontró cerca de la isla un diámetro D_{50} entre 0.20 y 0.22 mm, mientras que el resto del brazo el diámetro D_{50} varía entre 0.30 y 0.40 mm. Esta zona se caracteriza por tener arenas medias.

En el tramo del Brazo Guáscara el diámetro D_{50} varía entre 0.10 y 0.13 mm, esta granulometría corresponde a arenas muy finas. En estas muestras se encontró entre un 3 % a un 10 % de material fino (limos y arcillas).

Aguas abajo de la isla, en la continuación del Brazo Guáscara, el diámetro D_{50} es de 0.10 mm. En la zona de la confluencia de ambos brazos el diámetro D_{50} varía entre 0.18 mm y 0.32 mm.

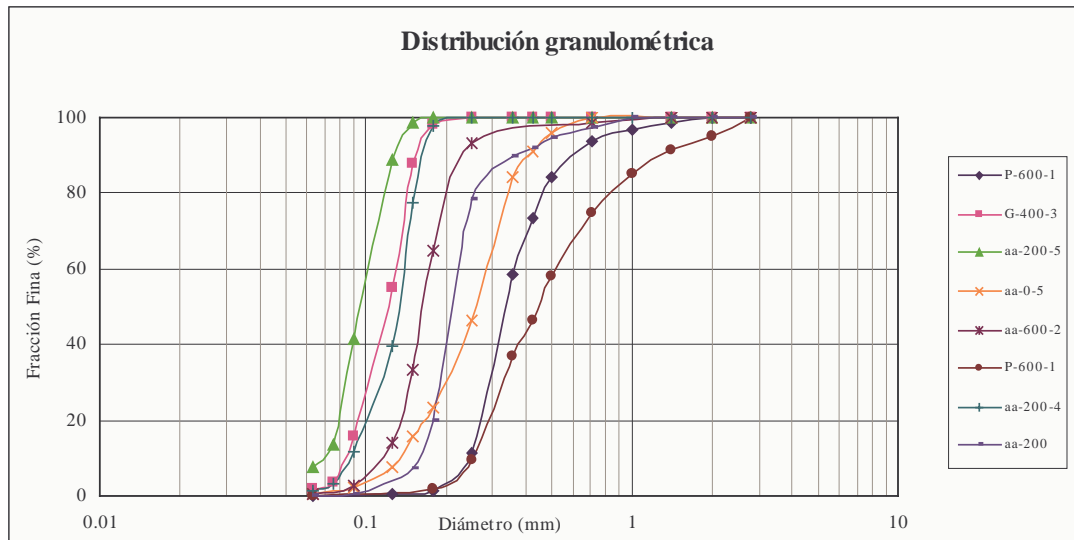


Figura 5 – Distribución Granulométricas – Año 2005

En la Figura 5 se puede ver que la distribución granulométrica varía en todo el área de estudio y no se distinguen dos agrupaciones como en la campaña del 2004.

La Figura 6 muestra los valores de diámetro D_{50} de cada muestra.

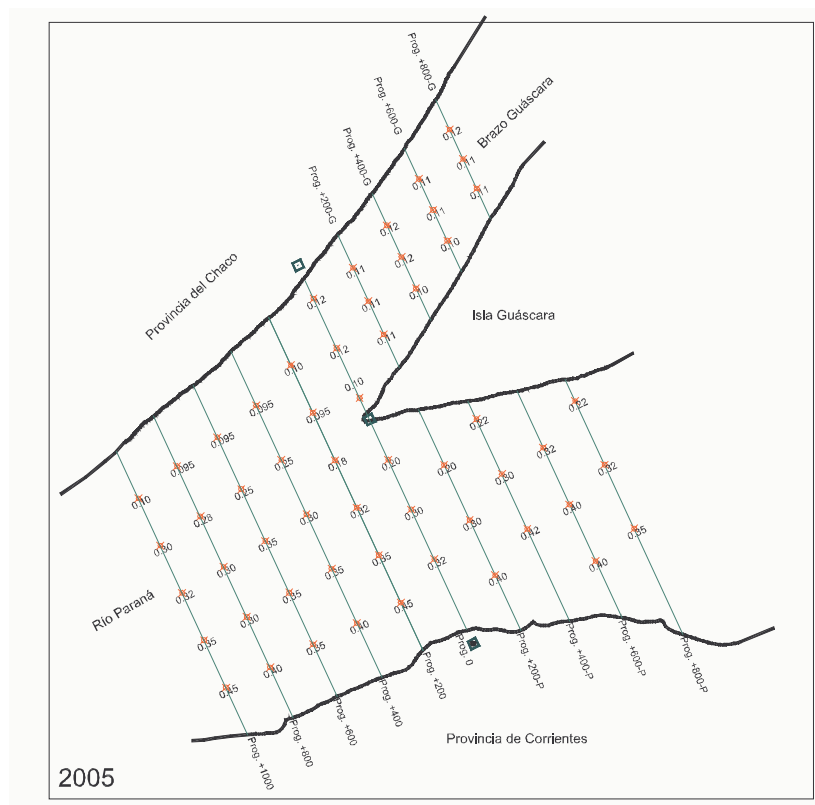


Figura 6 - Diámetro medio D_{50} : - Año 2005

En general el material del lecho presentó una granulometría más fina. El Brazo Guáscara que en el año 2004 se caracterizaba por arenas finas ahora presenta arenas muy finas. El Brazo Principal cambió de arenas medias a gruesa a arenas medias.

Cálculo de velocidades de corte y tensiones- Aplicación del diagrama de Hujlstrom

Con el deseo de evaluar el estado en el cual se encuentra la zona de estudio, a partir de los perfiles de velocidad obtenidos con el ADCP se calcularon las velocidades medias y posteriormente las velocidades de corte teniendo en cuenta la velocidad media, la profundidad y un k_s igual a tres veces el diámetro D_{90} .

Se calcularon las tensiones de corte considerando solo al grano y no la forma de fondo que puede presentar el área.

Para el cálculo de la velocidad de corte u_* en cada uno de los puntos donde se extrajeron las muestras de fondo, se aplicaron las ecuaciones [1] y [2] dependiendo del comportamiento hidráulico que presentaba el lecho en ese punto determinado por el Re^* (Reynolds de corte).

Para $Re > 70$: Contorno hidráulicamente rugoso

$$\frac{U}{u_*} = 5.75 \log \left(\frac{11h}{k_s} \right) \quad (1)$$

Para $5 > Re > 70$ Transición

$$\frac{U}{u_*} = 5.75 \log \left(\frac{u_* h}{0.3v + 0.09 u_* k_s} \right) \quad (2)$$

Con los valores de las velocidades de corte obtenidos y empleando la ecuación [3], se calcularon las tensiones de corte.

$$\tau_* = \rho_w \times u_*^2 \quad (3)$$

De esta manera se obtuvo una distribución de las tensiones para toda la zona de estudio, que permite analizar y distinguir sectores con posibilidades de erosión, deposición o transporte.

Este análisis se realizó para las campañas de los años 2004 y 2005, ya que en el año 2003 no se extrajeron muestras de fondo.

En las Figuras 7 y 8 se muestran coincidentemente con los puntos donde se sacaron las muestras de fondo, los valores de los Re^* y de tensiones de corte.



Figura 7 - Valores de Re^* y de Tensiones de corte: - Año 2004



Figura 8 - Valores de Re^* y de Tensiones de corte: - Año 2005

La línea azul que se muestra en la Figura 7 permite distinguir en la campaña del año 2004, dos zonas de acuerdo a los valores de Re^* ; una correspondiente al Brazo Guáscara y su continuación con valores entre 13 y 20 y la otra correspondiente al Brazo Principal y su

continuación, con valores entre 71 y 102. Por lo tanto se infiere que el Brazo Guáscara está en un régimen de transición y el Brazo Principal en un régimen hidráulicamente rugoso. Teniendo en cuenta esta consideración, las tensiones de corte obtenidas para el Brazo Guáscara se encuentran entre 1 y 1.3 N/m² y para el Brazo Principal entre 1.6 y 3.3 N/m².

Los valores obtenidos en la campaña del año 2005, los valores de Re* superiores a 70 se encuentran en una franja contra la margen correntina hasta aproximadamente la mitad de la sección del Brazo Principal, alcanzando valores entre 70 y 123. Las tensiones, respecto al año 2004, disminuyeron aproximadamente en un 50%.

Para analizar si la condición existente en la zona de estudio corresponde a un proceso de erosión, sedimentación o transporte, se graficaron los puntos velocidad media y diámetro D₅₀ en el diagrama de Hjulstrom.

En la Figura 9 se pueden observar los resultados.

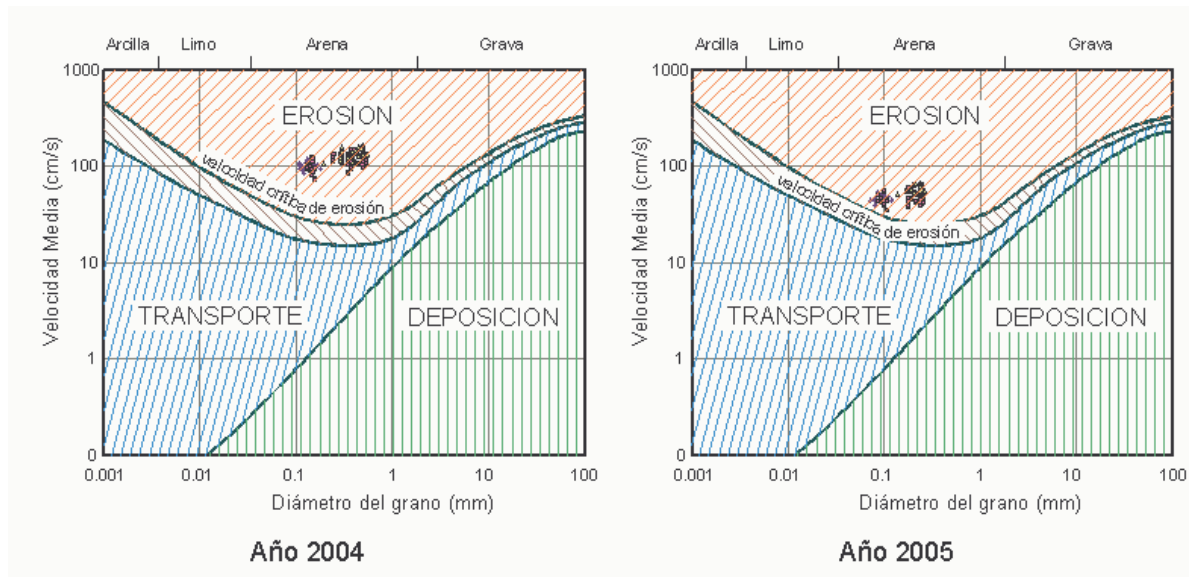


Figura 9 – Diagrama de Hjulstrom

De acuerdo a este diagrama el proceso presente en el momento de las campañas de los años 2004 y 2005 es el de erosión, más cerca de la condición de equilibrio en la última.

Análisis de perfiles

Con la información de las profundidades se trazaron los perfiles transversales obtenidos en todas las campañas con el fin de identificar la existencia de cambios importantes en la morfología del lecho.

En la Figura 10 se pueden observar perfiles correspondientes al Paraná ubicados en la los distintos brazos y aguas abajo de la isla.

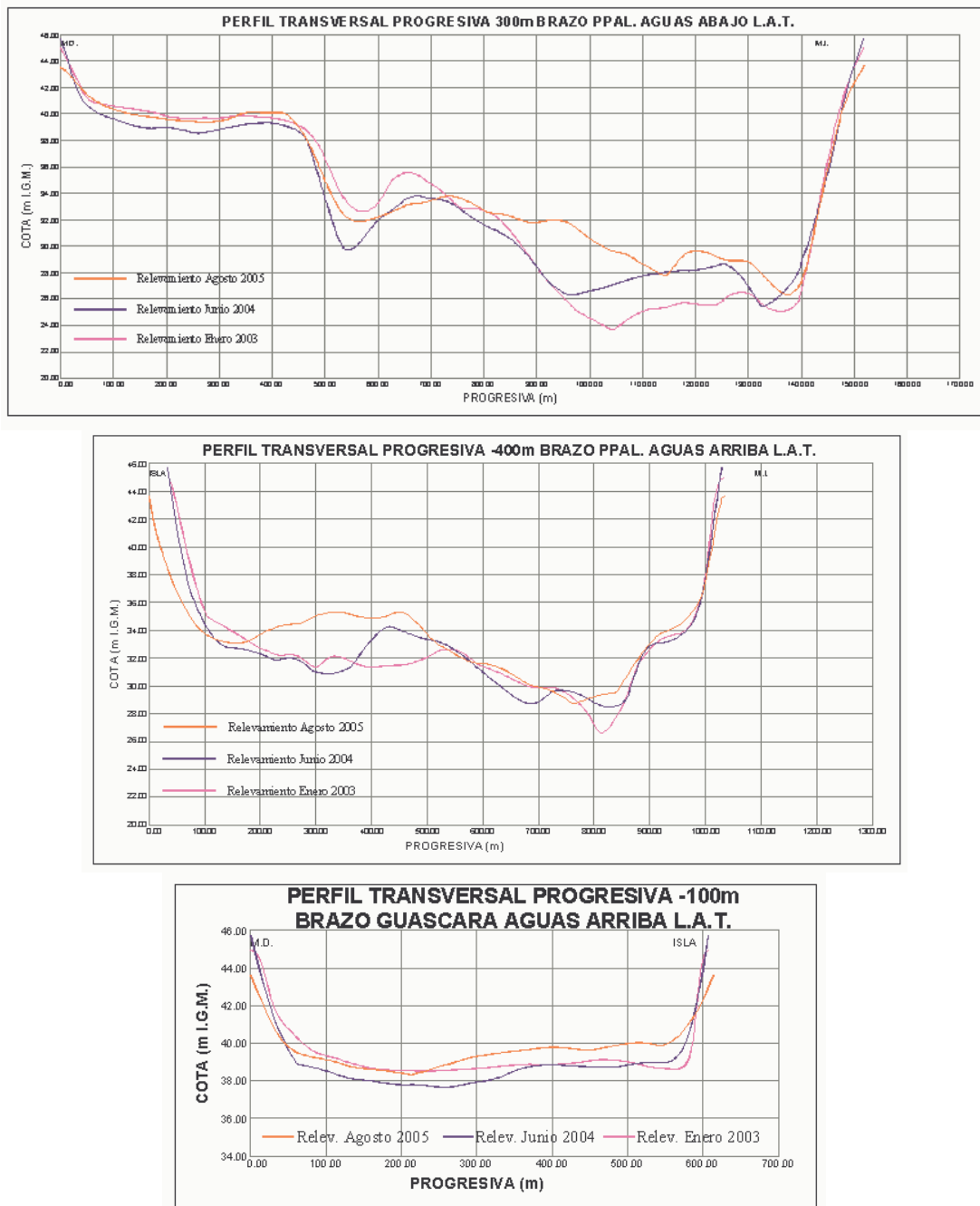


Figura 10 - Comparación de Perfiles.

Comparando los perfiles de la campaña del año 2004 respecto a la del año 2003, se observa que en general existen mayores profundidades debido al proceso erosivo. Es de destacar el avance tanto en profundidad como en desplazamiento hacia la isla de la hoya o del canal formado en la confluencia de los brazos. Solo se detectó deposición de material en el sector cercano a la margen correntina, donde en el año 2003 se habían registrado las mayores profundidades.

Comparando los perfiles de la campaña del año 2005 respecto a la del año 2004, se observa que en este período la tendencia fue de deposición en toda la zona. La morfología de la hoya no presentó grandes variaciones ni en profundidad ni en desplazamiento. Se observó un gran

avance del Brazo Principal sobre la Isla, de aproximadamente 30 metros situación que no se había observado en la campaña del año 2004.

CONCLUSIONES

El encuentro de los brazos Principal y Guáscara crea un flujo helicoidal, responsable de erosionar el lecho y de la formación de la hoyo o canal profundo observado en la zona de confluencia. Esta erosión local alcanzó su mayor desarrollo en el año 2004 cuando se obtuvieron las mayores velocidades medias, tensiones de corte y diámetros D_{50} . La situación del río Paraná era de aguas medias y no ocurrieron caudales de crecida en el período que pudiesen acentuar la erosión.

Los resultados obtenidos de aplicar el Diagrama de Hjulstrom para el año 2004 confirman la existencia del proceso erosivo en toda el área de estudio. Para el año 2005 la capacidad de erosión se encontraba en valores próximos a los críticos o situación de equilibrio.

Si bien existen ecuaciones para la determinación de erosiones en zonas de confluencias de dos brazos o cursos de agua, las hipótesis de aplicación de las mismas tienen limitaciones y cuando ello ocurre se debe recurrir a otros elementos para predecir el comportamiento de la morfología del lecho.

Las herramientas utilizadas en este trabajo no permiten cuantificar la magnitud de la erosión, pero sí identifican sectores donde prevalece la tendencia a la erosión o a la sedimentación.

Cuando en un río se producen cambios en el aporte sólido y/o líquido como en el período de estudio de este trabajo, el nivel del lecho evoluciona tanto en el espacio como en el tiempo para adaptarse a las nuevas condiciones externas impuestas. Durante esta evolución morfológica se producen procesos de erosión y/o sedimentación del lecho.

La erosión de un lecho aluvial se origina como consecuencia de la perturbación del campo de flujo y del transporte de sedimento. El incremento de tensiones de corte, velocidad media y/o intensidad de turbulencia se produce en el lecho y aumenta la profundidad con el tiempo. La erosión continua hasta que la profundidad local se incrementa de manera tal que hace reducir la velocidad a un valor de equilibrio. Por lo tanto, el gradiente espacial se anula y el proceso erosivo se detiene. En la situación de equilibrio, el transporte de sedimentos presenta un valor constante.

Para describir la evolución de los procesos erosión y sedimentación es necesario resolver conjuntamente las ecuaciones de continuidad para la fase sólida y de cantidad de movimiento para la fase líquida.

Diferentes simplificaciones pueden ser introducidas en las ecuaciones que gobiernan el proceso físico tanto en función de las características hidro-morfo-sedimentológicas del sistema como así también del grado de resolución espacio-temporal que requiere el problema en estudio. (Di Silvio, 1992; De Vries 1993).

En general las condiciones críticas que se generaron en el flujo helicoidal se han mantenido con

distintos grados de intensidad de acuerdo al estado de carga hidráulica del tramo. Las ecuaciones utilizadas con las limitaciones impuestas por las diferencias existentes entre las condiciones teóricas y reales y por la variabilidad hidráulica antes mencionada dan resultados aceptables, manteniéndose en la zona de erosión o próxima al límite.

Es evidente que la condición de este proceso erosivo puede agravarse en el caso de producirse aumentos considerables de caudal. Esto refleja la importancia que tiene continuar con estudios de erosión que reflejen los cambios morfológicos tanto del lecho como de la isla que pueden alterar la condición de estabilidad de la torre ubicada en la isla.

Agradecemos la colaboración de la empresa TRANSENER S.A. por el aporte de información utilizada en este trabajo.

LISTA DE SÍMBOLOS

U:	velocidad media
h:	altura
μ_* :	velocidad de corte
v:	viscosidad cinemática
τ_* :	tensión de corte
k_s :	longitud característica

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Perillo, G. (2003): *Dinámica del transporte de sedimento*. Publicación especial N° 2 de la Asociación Argentina de Sedimentología.

Richardson, W. (1997): *Secondary flow and channel change in braided rivers* – Tesis University of Nottingham.

Van Rijn, L. (1993): *Principles of sediment transport in rivers, estuaries and coastal seas*. Aqua Publications