7.4 MEJORAMIENTO DEL DRAGADO

7.4.1 Referencia para la Deposición del "Fluff" en Boca Grande

7.4.1 Referencia para la Deposición del "Fluff" en Boca Grande

1. Generalidades

La gran cantidad de deposición de sedimentos en 78 km del canal de navegación exterior en Boca Grande causa muchos problemas para que haya una navegación eficaz y segura. El volumen de dragado de mantenimiento es 10 millones m^3/año en el canal exterior, el cual es una porción sustancial del volumen total dragado de 18 millones m^3/año en el canal de navegación Río Grande según el informe de INC. En Boca Grande, el sedimento se deposita tanto en forma de arena como de "fluff". Por consiguiente, el estudio de las características del "fluff" es de gran importancia para entender la sedimentación en esta área. Referente a esto, se describen las características del "fluff", la definición de profundidad náutica, los instrumentos actualmente en uso para las mediciones de densidad, el estudio preliminar de la deposición del "fluff" en Boca Grande en estudios anteriores.

2. Características del "Fluff"

2.1 Mecanismo

El "fluff" (barro) se define como una mezcla de agua y tierra fina. Sus principales elementos son cieno y arcilla como caolinita, montmorilonita, ilita, vermiculita, clorita, etc., con un rango granulométrico entre arcilla (< 5 μm) y cieno (< 50 μm).

La característica principal que hace que el "fluff" difiera de la arena es la cohesión entre las partículas. Cuando partículas finas se mantienen en suspensión en el agua, existe una interacción entre las partículas con carga eléctrica en su superficie (catión y anión) con los iones en el agua o agua salina. Si el peso de las partículas es menor que las fuerzas entre las partículas, ocurre la formación de flocs o la llamada floculación. Floculación influye mucho en la velocidad de caída y sedimentación de las partículas, sobre todo en las suspensiones en donde se encuentra una alta concentración de arrastre y agua salina.

(1) Características del "Fluff"

Debido a la floculación, las características del "fluff" dependen bastante en su concentración y en la condición del agua, tal como en la viscosidad, densidad, salinidad y flujo.

En una baja concentración de aproximadamente 100 g/m^3 con partícula de un tamaño menor de 2 μm, el "fluff" no tiene mucha influencia en la mecánica de fluidos como densidad o viscosidad, no ocurre mucha formación de flocs y el "fluff" se encuentra bien mezclado con el agua. La caída del flocs es muy lenta. En una concentración entre 100 g/m^3 y 10 kg/m^3, la velocidad de caída del "fluff" depende principalmente de la concentración y salinidad. A una concentración alta de aproximadamente 5 a 10

kg/m^3, los flocs empiezan a influir unos a otros y la velocidad de caída se vuelve lenta de nuevo. La formación de flocs es alta y se separan claramente del agua.

La salinidad influye directamente en la densidad y viscosidad del agua y en la tasa de formación de flocs, pero indirectamente en la velocidad de caída y tiempo.

(2) Sedimentación del "Fluff"

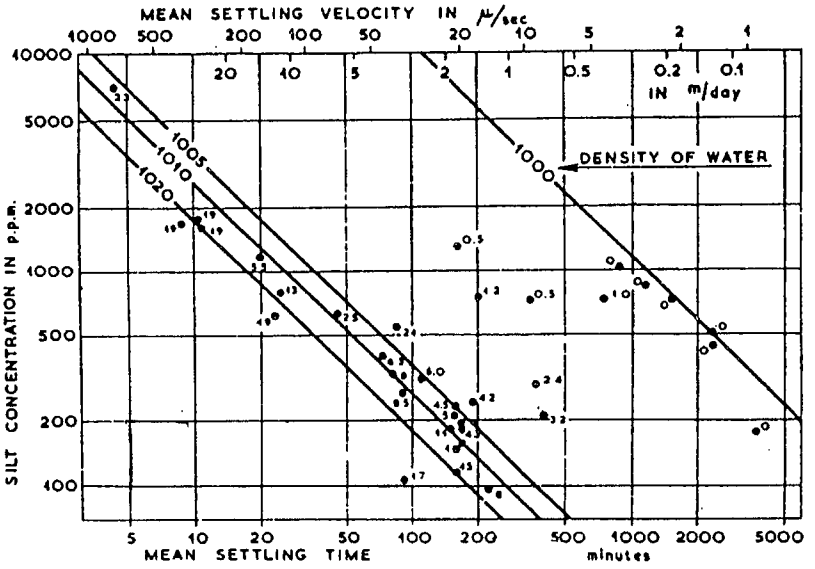


Fig. 7.4.1 Variación de la Velocidad Media de Caída y Tiempo con Concentración de Cieno

En general, el "fluff" será arrastrado en el flujo cuando la tensión de corte en el flujo excede la tensión crítica de corte del "fluff". La tensión crítica de corte también depende de su densidad, entre más alta la densidad del "fluff" será más alta la tensión crítica de corte. La velocidad crítica del lecho de "fluff" observada en el análisis de laboratorio fue de 0.5 m/s como se muestra en la Fig.7-4-1.

Cuando las partículas son arrastradas en el flujo, una partícula de arcilla fina con un diámetro de aproximadamente 1 μm tiene una velocidad de caída de aproximadamente 1 μm/s. Sin embargo, debido a la floculación, la velocidad de caída del floc puede ser mucho más alta que la de las partículas individuales, a veces en el orden de 10,000 veces. La relación entre la velocidad promedio de caída y la densidad de agua se muestra en la Fig.7-4-2.

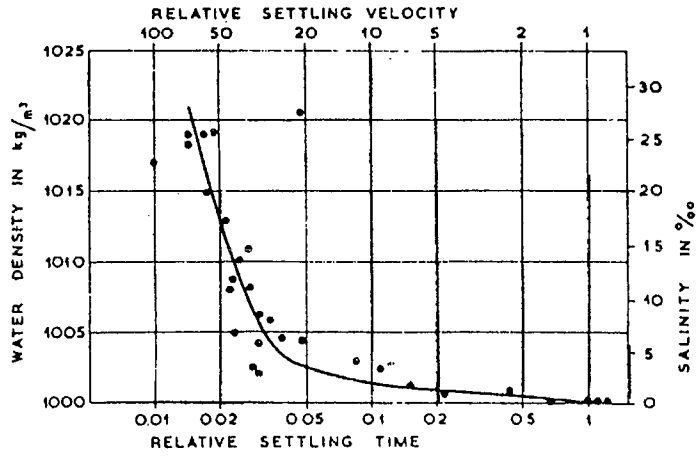


Fig.7-4-2 Relación entre Velocidad de Caída y Densidad de Agua

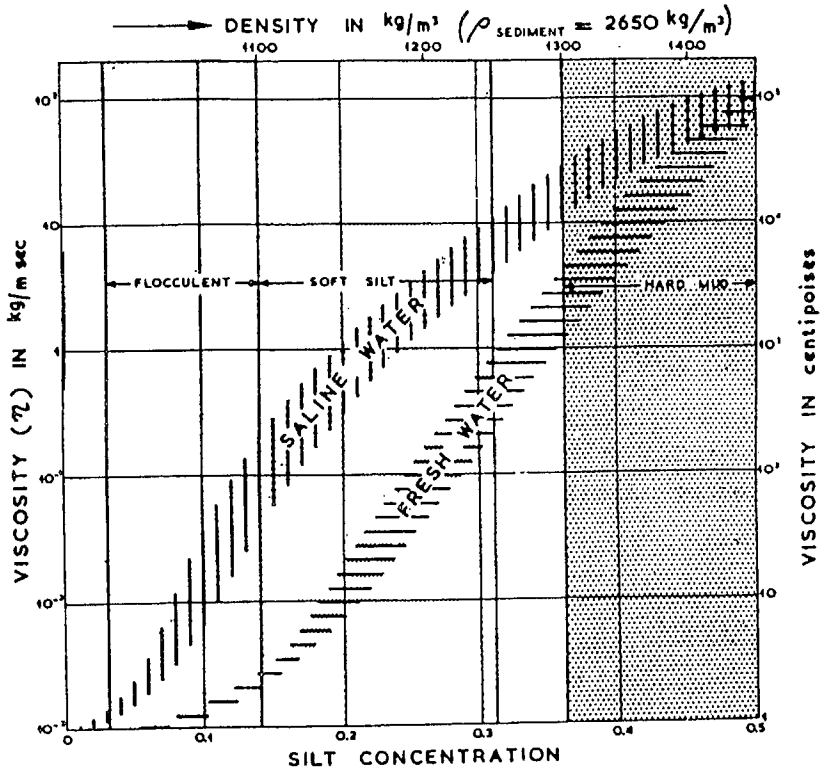


Fig. 7-4-3 Relación entre Viscosidad Aparente y Sedimento

La concentración de sedimento aparentemente influye en la viscosidad del fluido, sobre todo en agua salina como se muestra en la Fig. 7-4-3. La influencia también se atribuye a la interacción de iones en sólidos y agua.

Cuando las partículas de arcilla fina o flocs son arrastradas en el flujo, la caída de estas partículas al lecho no sólo depende de la velocidad de caída sino también de la condición del flujo, sobre todo en el régimen turbulento. Después de establecerse, la deposición ocurrirá si la tensión de corte del flujo en el lecho es menor que la tensión de corte crítica. La baja proporción de la deposición causa la formación de lechos rígidos o consolidados, por otro lado, la alta proporción de la deposición causa una capa suave en el lecho o un "fluff" fluido.

(3) Consolidación

La consolidación es el fenómeno en el que el "fluff" se deposita gradualmente en el lecho y se transforma en una capa dura de arcilla, capa por capa. El peso de las capas superiores causa la compresión en las inferiores. Como resultado, la consolidación depende principalmente del tiempo de consolidación y el espesor de las capas del lecho. También se observa que algunos materiales orgánicos influyen en la consolidación debido al gas que generan. Este gas ocasiona que el lecho consolidado sea menos denso y produce un cambio en la densidad del volumen de lecho.

2.2 Fondo Náutico

La floculación y la decantación del sedimento en suspensión primeramente forman una capa con material fino mezclado con agua y materia orgánica. Una navegación segura es indudablemente posible a través de cieno que no se haya consolidado dentro de ciertos límites. Para el razonamiento del dragado de mantenimiento, es necesario, por consiguiente, definir el fondo del canal en términos de un "fondo náutico". Definiendo la profundidad navegable en cauces con barro es particularmente crítico en la presencia de una capa de varios centímetros hasta varios metros de barro fluido y espeso en el fondo, dependiendo del sitio, condiciones de tiempo y en las principales operaciones de dragado. El fondo náutico se define básicamente como el límite sobre el que sea segura la navegación de buques.

En varios puertos europeos, el límite que representa la densidad de 1,200 kg/m^3 es considerado como el fondo náutico (por ejemplo, Canal de Rotterdam-Países Bajos, canal de acercamiento al puerto de Zeebrugge-Bélgica).

En Boca Grande, el fondo náutico se interpreta tomando en cuenta los resultados del estudio ecosonoro de 24kHz. Según los resultados del estudio anterior, aunque el límite interpretado por INC en la mayoría de los tramos corresponde al límite mostrado por la ecosonda de 24 kHz, en algunos tramos se encuentra por encima o por debajo de la línea sonora.

2.3 Mediciones e Instrumentos

Actualmente, se utilizan dos métodos para la medición del fondo náutico: el método acústico y el método isótopo.

- Método Acústico

Usando el ecosondeo con varias frecuencias, se puede determinar la profundidad del canal con respecto a estas frecuencias. La profundidad de penetración es mayor para las frecuencias bajas. Sin embargo, si el barro no es uniforme, es difícil establecer la capa correspondiente a la frecuencia proporcionada debido a la complejidad interpretando los registros sonoros.

Como se mencionó anteriormente, en Boca Grande se usan frecuencias de 200 kHz y 24 kHz para determinar la profundidad del canal de navegación y el espesor del "fluff". Se muestran varios patrones de los resultados sonoros obtenidos en la sección del "Estudio del Fluff en Boca Grande".

- Método Isótopo para la medición de densidad

La definición de la profundidad náutica por medio de la densidad de la mezcla de agua y cieno fue un resultado de la disponibilidad de las mediciones de las sondas de densidad.

Las mediciones de densidad pueden llevarse a cabo usando sondas de densidad, ya sea por medio de sondas de punto fijo o sondas de remolque. Los sistemas de puntos fijos para las mediciones en sitio existen de varias formas usando fuentes activas de radio o ondas ultrasónicas. Todos los medidores radioactivos se basan en alguno de los dos métodos básicos, el de radiación directa o método de transmisión y el método de dispersión posterior (backscatter). El medidor de transmisión es un instrumento en forma de H con la fuente radiactiva de un lado y el detector de otro. La forma H del instrumento es una desventaja porque el instrumento tiene que hundirse en el cieno bajo su propio peso. Estos sistemas fueron los primeros en ser usados para las medidas de densidad y todavía se usan en Gran Bretaña y Alemania. Al contrario del método de transmisión, el método de dispersión posterior no utiliza radiación directa. El detector que se encuentra cubierto de la fuente, recibe sólo una parte de la radiación primaria esparcida en todas las direcciones a través del medio. La fuente y el detector están juntos en un tubo en forma de lápiz y entran en el cieno más fácilmente que el medidor de transmisión.

Aunque las sondas de punto fijo son completamente operacionales, varias desventajas son inherentes a ellas. La habilidad de mediciones solamente en cierto punto, limitación del ángulo de penetración que hace difícil la operación en corrientes mayores de un (1) nudo, además de un mayor consumo de tiempo debido a cada medición, la cual también tiene que llevarse a cabo durante el periodo actual de marea baja.

Las sondas de remolque permiten mediciones continuas y se encuentran disponibles actualmente sin presentar las limitaciones mencionadas con anterioridad en referente a los medidores fijos. Sin embargo, existen limitaciones en cuanto a los valores de densidad máximos para cada tipo de instrumento.

3. Estudios Previos en la Deposición del "Fluff" en Boca Grande

Hasta ahora se han llevado a cabo ciertos estudios para comprender las características del "fluff" y su comportamiento. Los datos requeridos son escasos para un análisis detallado del mecanismo del transporte de sedimento.

Según los datos en el Informe de INCOSTAS publicado en 1996, la Fig. 7-4-4, 7-4-5 y 7-4-6 ilustran la elevación del lecho y el espesor del "fluff" a lo largo del canal exterior en 1993, 1994 y 1995. Básicamente, el espesor del "fluff" entre la Milla 0 hasta la Milla 10 y más allá de la Milla 27 no es tanta al compararla con la obtenida entre la Milla 10 y 27.

En 1999, la Fundación del Laboratorio Nacional de Hidráulica, en Caracas, Venezuela desarrolló un modelo bidimensional para determinar el patrón del flujo y su variación en tiempo y espacio en el Delta del Orinoco, específicamente en el canal de navegación. El modelo se ha establecido desde la Milla 0 a la Milla 42 tomando en consideración la influencia de la descarga fluvial, la marea y el efecto de las olas locales también generadas por la acción del viento. Sin embargo, debido a la información escasa o inexistente relacionada al estrato en el área, no se incluyeron ni el efecto de salinidad ni el estrato. Según las conclusiones del análisis, existen velocidades bajas menores de 0.2m/s desde la Milla 27 a la Milla 40 que cubre un período de aproximadamente 50% del tiempo tomado por un ciclo de marea que podría estar produciendo el sedimento en el sector. De la misma manera, hay suficiente velocidad para causar erosión de la Milla 3 a la Milla 8. El análisis de sedimentación ha mostrado que el transporte del sedimento se debe principalmente a la corriente de Guayana que se acerca perpendicularmente al canal de navegación.

4. Deposición del "Fluff" en Boca Grande

Los factores básicos influenciados en la hidrodinámica del Delta del Orinoco son la descarga del río, los vientos, el oleaje y las corrientes de densidad producidas por la diferencia de la cantidad de sal en el mar y en la descarga del río. La sedimentación en el canal de navegación de 78km de longitud en Boca Grande es principalmente debido a dos fuentes, la descarga del río y el transporte litoral a lo largo de la costa. Los parámetros sedimentológicos como la erosión, deposición y consolidación cambian con relación al tiempo y espacio con respecto a la intensidad de la marea, factores meteorológicos, flujo de agua y operación de dragado.

Es evidente que la deposición del sedimento es muy significativa en dos tramos del área costera, uno es el cercano a la desembocadura del río donde la baja velocidad del flujo de descarga causa sedimentación y el otro, es debido a las corrientes litorales que son de dirección SE a NW en el área costera de Boca Grande. Hasta ahora el ecosondeo se lleva a cabo con frecuencias de 200 kHz y 24 kHz para medir la profundidad del canal de navegación en el tramo de Boca Grande. Los registros representativos del ecosondeo para el post-dragado en agosto de 1998 y en el pre-dragado en marzo de 1999 se anexan en las secciones 7.4.2 y 7.4.3 de este informe. Cuatro modelos distintos se encuentran disponibles como se muestra en la Fig.7-4-7 indicando las áreas en donde el "fluff" puede o no depositarse fácilmente o estar en suspensión. La Fig. 7-4-8 muestra la elevación del lecho del canal para el post-dragado (agosto de 1998) y pre-dragado (marzo de 1999) mientras que el espesor del "fluff" se muestra en la Fig.7-4-9.

Los resultados siguientes se pueden deducir de los diagramas anteriores.

- El modelo de distribución del "fluff" varía de tramo a tramo ilustrando deposición del "fluff" a lo largo de la profundidad de agua o como una capa delgada en el fondo, etc.

- El espesor del "fluff" es bastante grande, aproximadamente 8m, desde la Milla 8 hasta la Milla 23 antes del dragado de marzo de 1999, indicando que este tramo es bastante susceptible a la deposición del "fluff".

- De la Milla 0 a la Milla 8, la deposición del "fluff" es baja, aproximadamente 1-2m. Podría ser debido a la erosión causada por la corriente litoral. La razón exacta puede ser determinada por pruebas de sitio como variación temporal de la medida de densidad, deposición del "fluff" y características del flujo.

- Específicamente en el tramo medio del canal exterior, la profundidad es poca y no es suficiente para una navegación segura según la línea del estudio ecosonoro de 24 kHz.

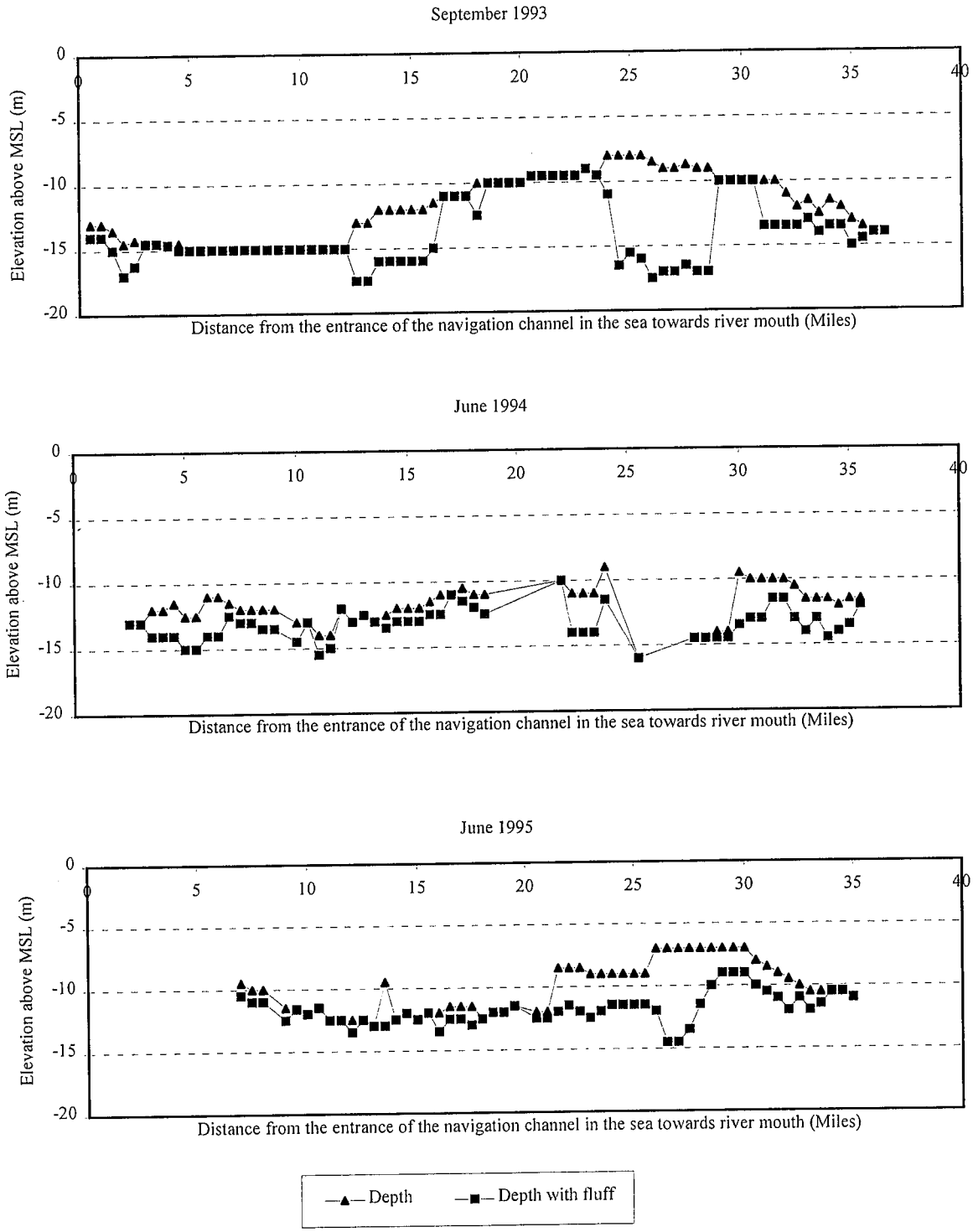


Fig. 7-4-4 Elevaciones del Canal de Navegación en Boca Grande, (Informe INCOSTAS)

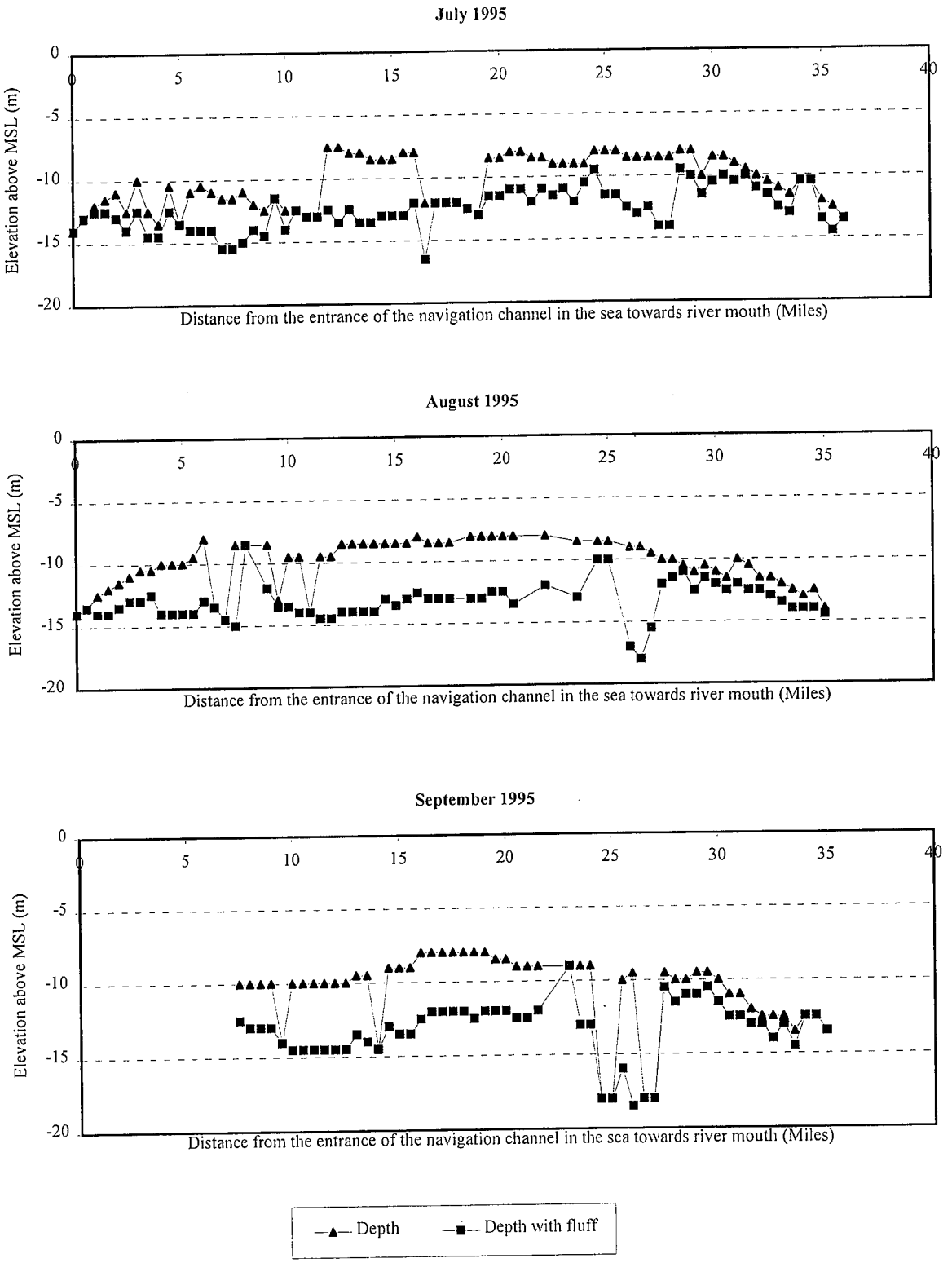
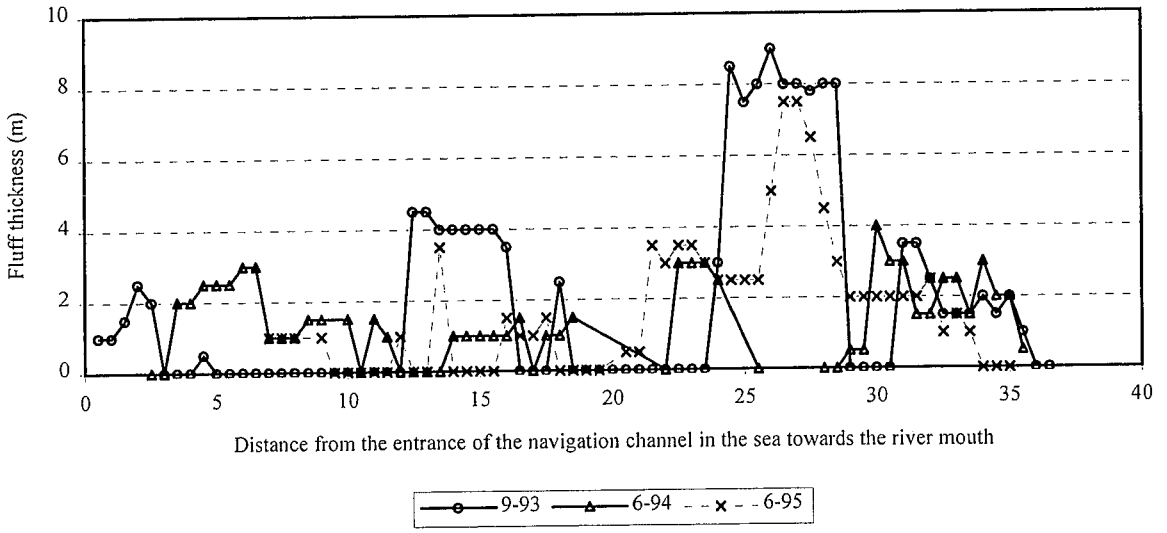


Fig. 7-4-5 Elevaciones del Canal de Navegación en Boca Grande. (Informe INCOSTAS)



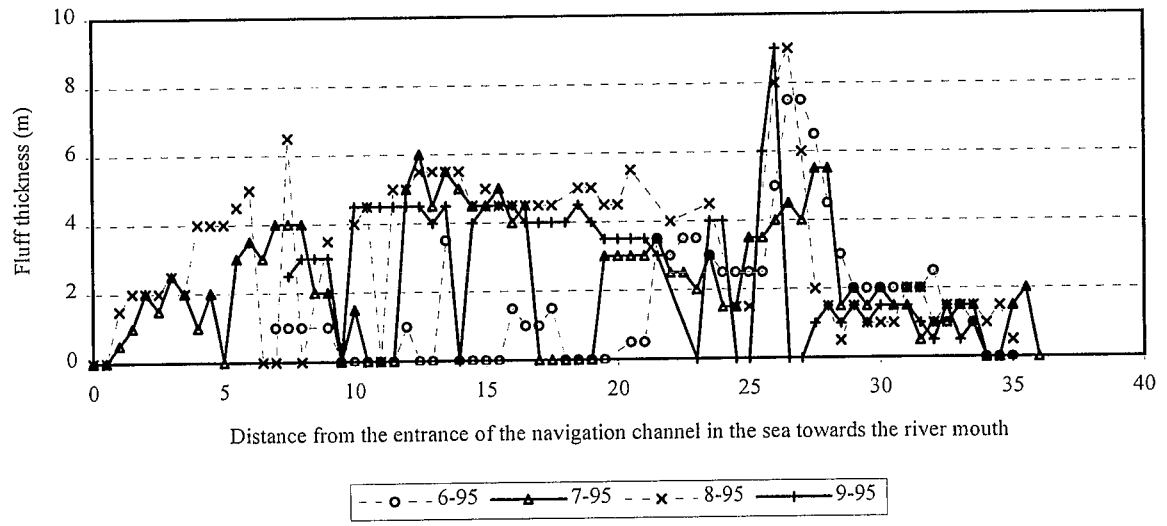
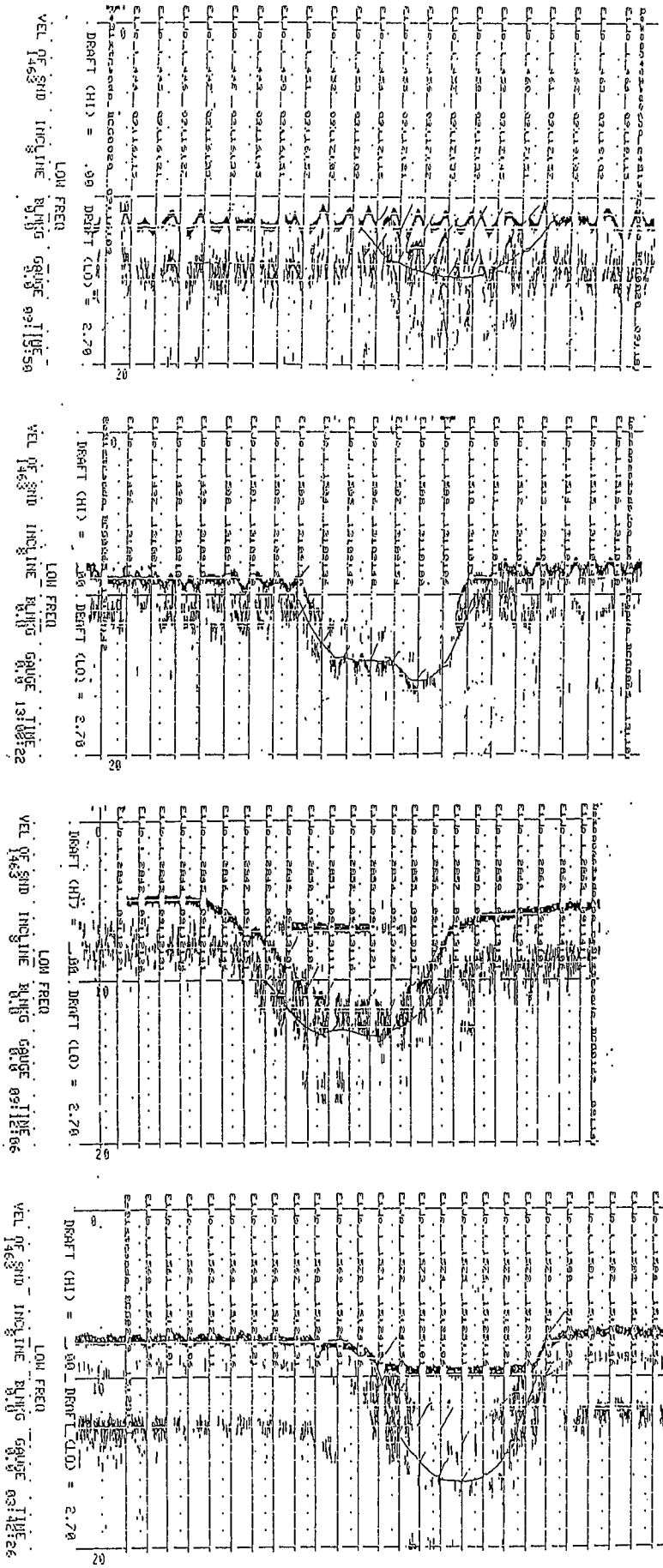


Fig. 7-4-6 Espesor del "Fluff" en el Canal de Navegación en Boca Grande



Mile 2.0

Mile 6.5

Mile 16.9

Mile 25.9

Fig. 7-4-7 Patrón Típico de la Distribución del "Fluff" en el Canal de Navegación en Boca Grande (Marzo 1999)

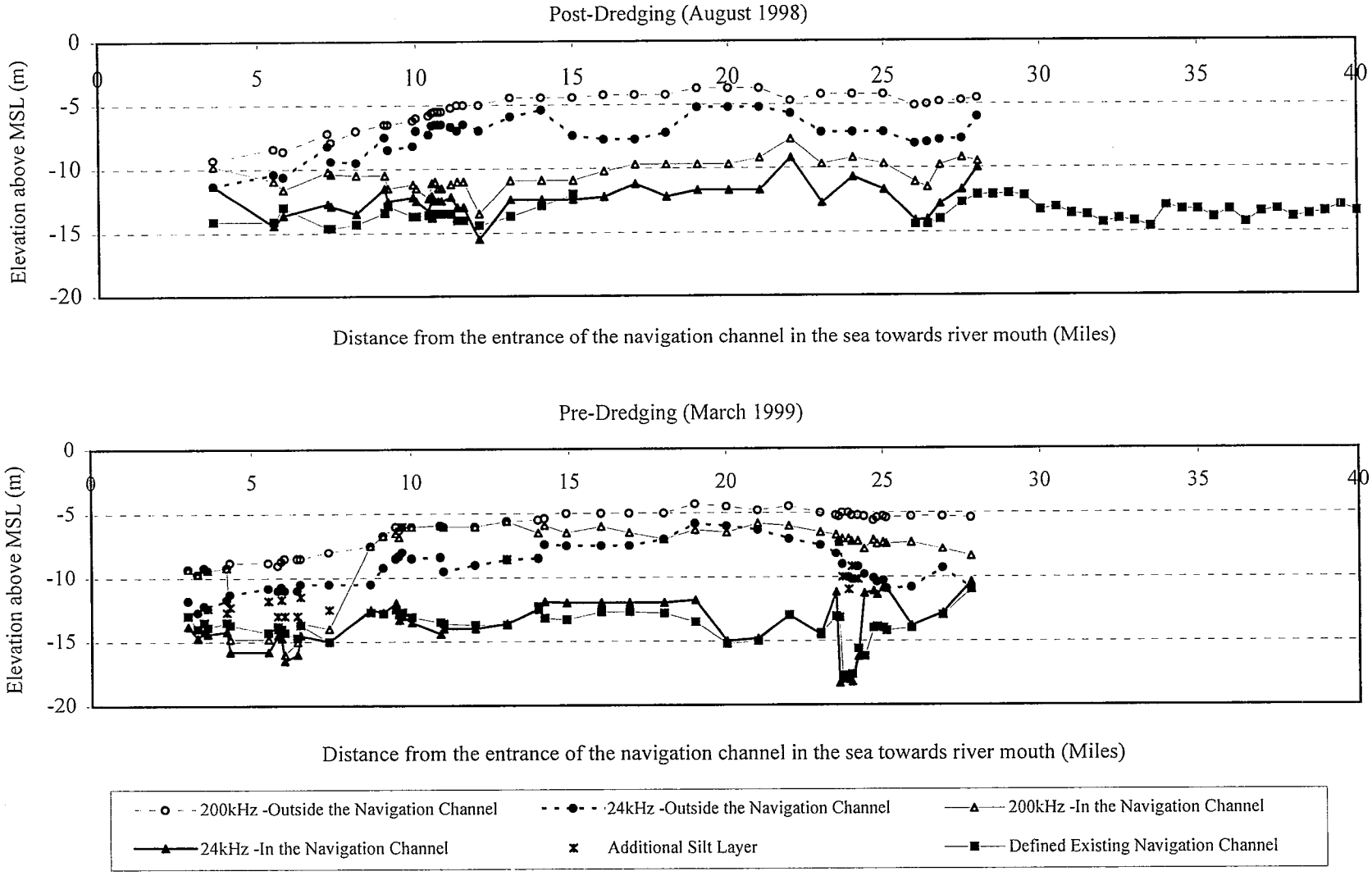


Fig. 7-4-8 Elevación del Canal de Navegación en Boca Grande

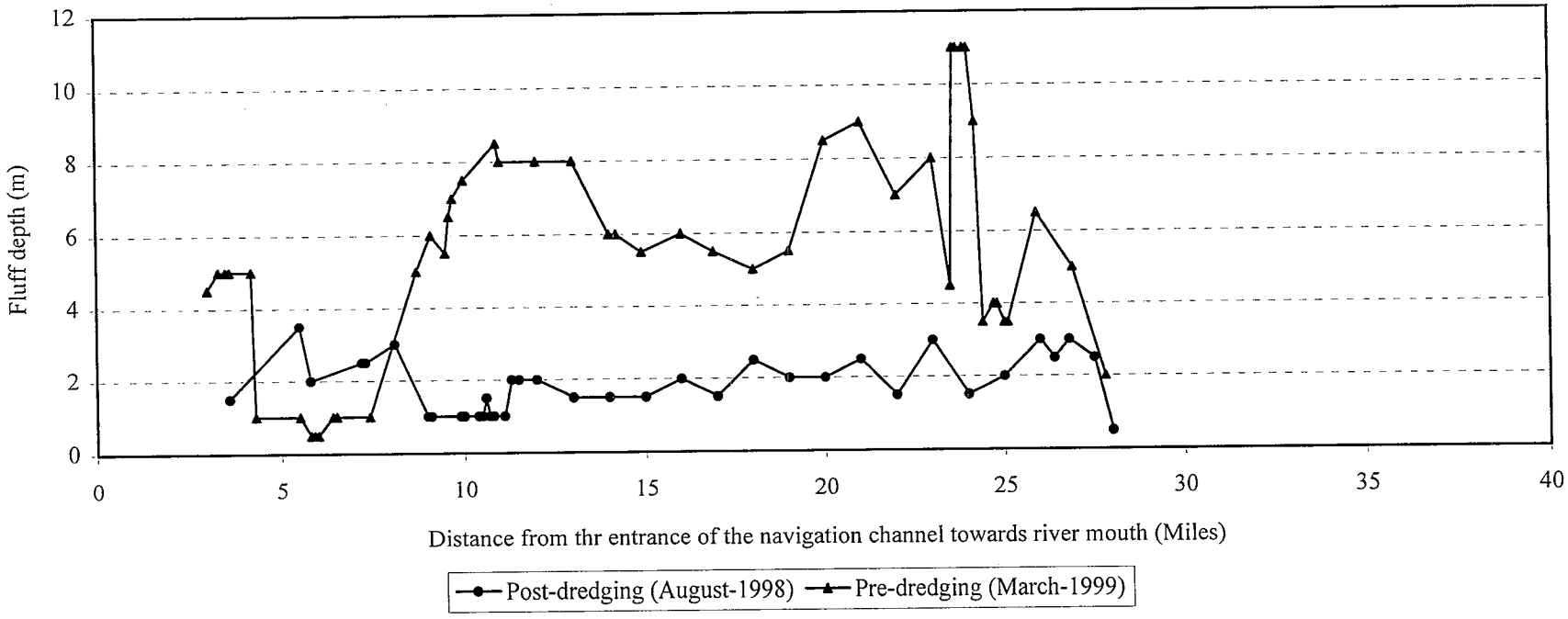


Fig. 7-4-9 Profundidad del "Fluff" en el Canal de Navegación en Boca Grande (Pre y Post-Dragado)