ESTUDIO INTEGRAL HIDROLÓGICO-HIDRODINÁMICO SISTEMA DAULE-BABAHOYO-GUAYAS

MEMORIA EJECUTIVA

ANEXO No 1

APLICACIÓN PRÁCTICA DEL MODELO DELFT3D-FM: CASO ISLOTE EL PALMAR.

27 de octubre de 2016

Ing. Pedro Barrera Crespo, M. Sc.
Ing. Oswaldo Torres Vázquez, M. Sc.

ÍNDICE

1.- ANTECEDENTES Y OBJETO 2

2.- SITUACIÓN ACTUAL DEL DRAGADO 4

3.- FRECUENCIA CON LA QUE SE NECECITA DRAGAR EN AREA EL PALMAR 7

4.- ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS 9

4.1.- DRAGADO 9

4.2.- ESPIGONES 10

4.2.1.- Localización 10

4.2.2.- Efectos 12

5.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 15

FIGURAS

Figura 1. Morfología en la confluencia de los ríos Daule y Babahoyo (izquierda), evolución del islote El Palmar (derecha). 2

Figura 2. Balance anual de sedimentos gruesos en el estuario del río Guayas (izquierda), área prevista para el dragado del islote El Palmar y batimetría del año 2009 en la zona de confluencia de los ríos Daule y Babahoyo identificada como Macro celda 6 (derecha). 4

Figura 3. Evolución del volumen de sedimento depositado en el área definida para el dragado del islote El Palmar. 5

Figura 4. Espigones (Líneas rojas) colocados al margen derecho del río Daule. 11

1.- ANTECEDENTES Y OBJETO

El islote El Palmar, se localiza en la confluencia de los ríos Daule y Babahoyo, es considerado como la mayor evidencia de la sedimentación del río Guayas. Sin embargo, su aparición no es necesariamente un signo de la sedimentación global del estuario del río Guayas. Es un efecto local causado por el repentino ensanchamiento del río Daule cerca de la confluencia.

El islote ocupa el canal del río Daule, el mismo que se ha subdividido en dos ramales. La evolución del islote, entre los años de 1982 y 2001, se puede observar en la Figura 1 a través de los levantamientos batimétricos realizados por el Instituto Oceanográfico de la Armada (INOCAR). El crecimiento es predominantemente hacia el sur. En la situación actual el islote ha adoptado una forma triangular que abarca una superficie de aproximadamente 16 ha.

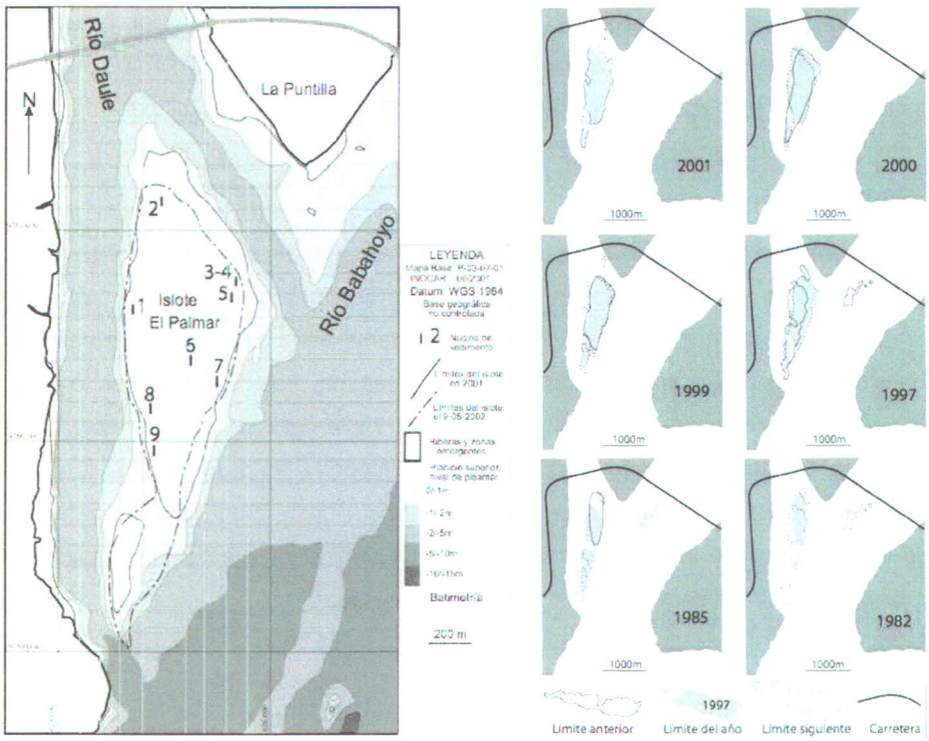

Figura 1. Morfología en la confluencia de los ríos Daule y Babahoyo (izquierda), evolución del islote El Palmar (derecha).

El continuo crecimiento del islote bloquea el flujo del río, causando un efecto de remanso que incrementa el riesgo potencial de inundaciones en las zonas aledañas, especialmente en la parte Norte de la ciudad de Guayaquil. Los levantamientos batimétricos además revelan que, debido al

islote, hay una tendencia del río a socavar la margen derecha, lo que significa una amenaza para la estabilidad de estructuras cercanas.

Con el propósito de recuperar la capacidad hidráulica de los ríos en la confluencia y así mitigar los efectos causados por la aparición del islote, en el 2011 el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOP) contrató los servicios de consultoría para realizar el dragado del islote El Palmar. Según los estudios el proyecto de dragado consiste en dos fases. La primera fase, ya concluida, considera dragar el canal situado entre el islote y la Puntilla. Parte del material dragado se depositaría en el islote y sería confinado con geotubos dispuestos perimetralmente sobre el mismo. La segunda fase consiste en dragar la barra Sureste de la Puntilla y la barra Sur del islote. El material dragado sería usado como relleno hidráulico para la Ciudadela El Dorado y Finca La Delia en el cantón Durán.

El proyecto de dragado se deriva a partir de la situación emergente de sedimentación del río Guayas. Esta medida se implementa para resolver de manera local y temporal los efectos de la sedimentación; sin embargo, para el adecuado manejo y control de sedimentos es necesario considerar la situación de manera integral. Es decir, considerar medidas de mitigación alternativas, así como los posibles efectos en el largo plazo que se generarían en las zonas aguas arriba y aguas abajo de las intervenciones.

El presente estudio analiza el dragado de la zona de El Palmar y otras medidas alternativas para controlar la sedimentación especialmente en la zona de la confluencia del Daule y Babahoyo. El enfoque tiene un contexto integral en el que se analiza el tema de la sedimentación y la evolución morfológica del río Guayas en escalas espaciales y temporales mayores. El análisis se lo realiza con la ayuda del modelo morfodinámico Delft3D-FM que fue implementado para el estuario del río Guayas. Aunque este modelo fue usado para analizar el comportamiento del sistema a gran escala puede ser adaptado para estudiar problemas de carácter local. Modificaciones de la malla computacional en las zonas de interés, permiten estudiar a detalle los efectos que provocarían las medidas de mitigación contra la sedimentación a ser implementadas.

2.- SITUACIÓN ACTUAL DEL DRAGADO

De la modelación morfológica del río Guayas se estableció que aunque el estuario del río Guayas presenta una tendencia natural a la sedimentación, los efectos de la regulación de los caudales del río por la presa Daule-Peripa, el Fenómeno El Niño, la reducción de las áreas intermareales y la consecuente deforestación del bosque de manglar han agravado la situación. En el gráfico izquierdo de la Figura 2 se muestra el balance anual de sedimentos gruesos a lo largo del estuario del río Guayas. El balance de sedimentos en la zona de la confluencia de los ríos Daule y Babahoyo (definida como la macro celda 6) revela que el volumen neto de los mismos se incrementa a una tasa aproximada de 46 702 m^3/año. Esto confirma la situación emergente que la zona actualmente experimenta ante la sedimentación.

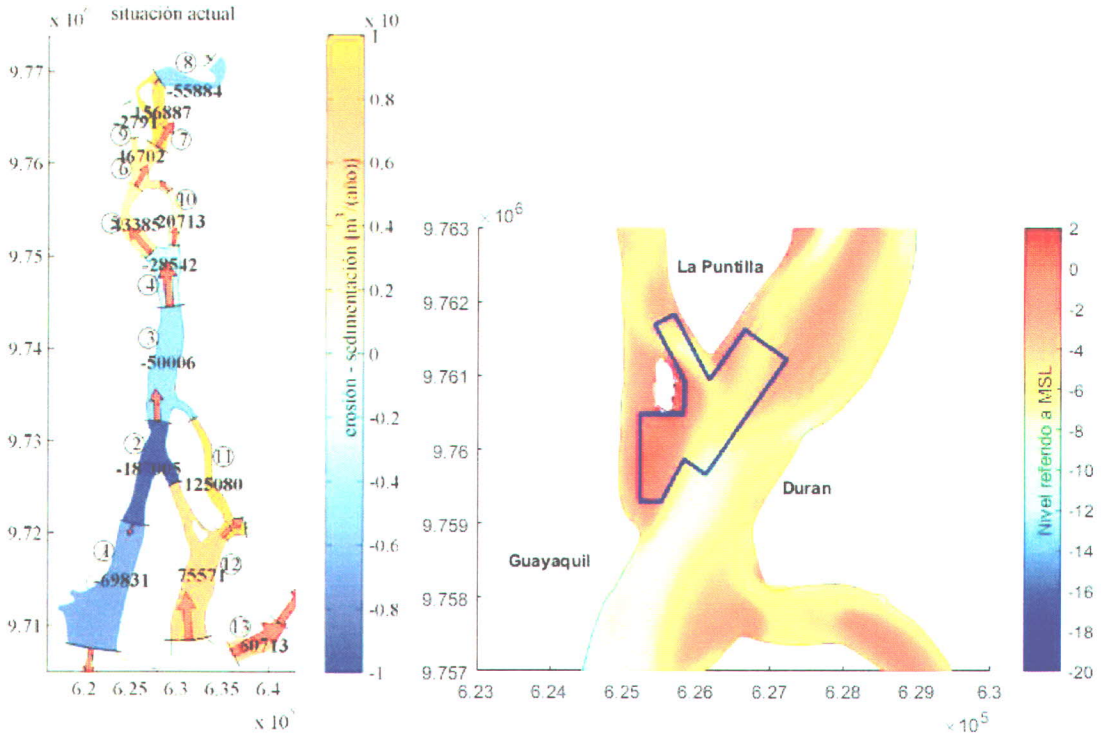

Figura 2. Balance anual de sedimentos gruesos en el estuario del río Guayas (izquierda), área prevista para el dragado del islote El Palmar y batimetría del año 2009 en la zona de confluencia de los ríos Daule y Babahoyo identificada como macro celda 6 (derecha).

El gráfico derecho de la Figura 2 presenta la batimetría, correspondiente al año 2009, de la zona de la confluencia de los ríos Daule y Babahoyo. El objetivo de la Fase 2 del proyecto de dragado del islote El Palmar, es alcanzar como mínimo una profundidad de 2,5 m referido al Nivel Medio de Bajamares de Sicigia MLWS (ó 4,5 m referidos al Nivel Medio del Mar MSL) dentro del área delimitada para el dragado. Esto se traduce en un volumen de sedimentos a dragar de 3 500 000 m^3, tomando como base para el cálculo la batimetría del 2009.

Debido a que no se cuenta con información batimétrica de la situación actual (2015), se realizó una estimación preliminar de las cantidades de sedimento a dragar mediante la implementación del modelo morfodinámico Delft3D-FM. Para esto, se configuró el modelo enfocado a reproducir 6 años de evolución morfológica, partiendo de la situación en el 2009. Así se puede calcular la evolución del volumen de sedimento depositado en el área del dragado a lo largo de los 6 años mencionados. Los resultados se muestran en la Figura 3. Se estima de esta manera un volumen aproximado a dragar en el 2015 de 4 200 000 m^3.

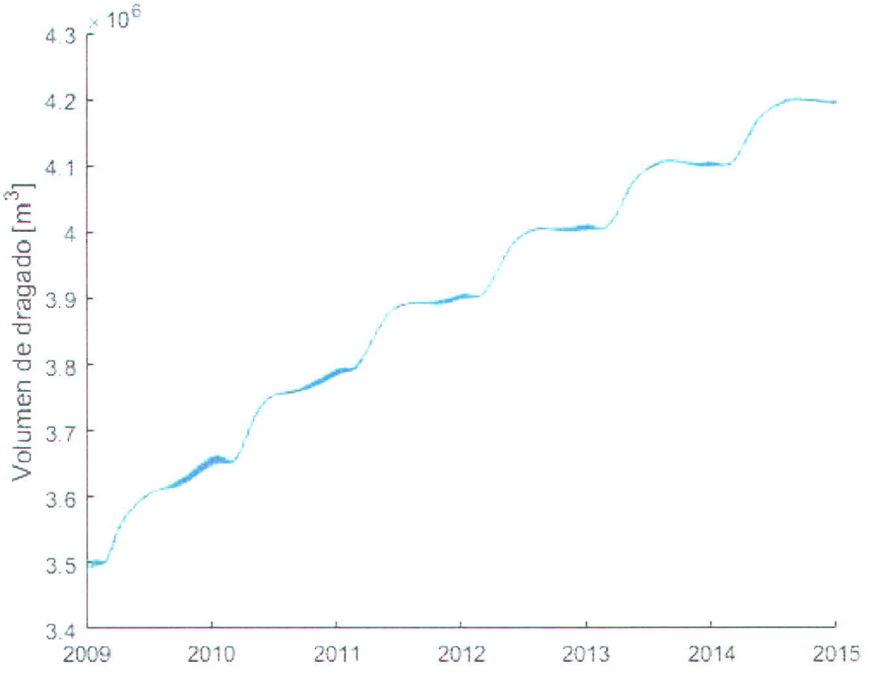

Figura 3. Evolución del volumen de sedimento depositado en el área definida para el dragado del islote El Palmar.

Cabe destacar que los resultados presentados son una aproximación de la realidad, ya que las ecuaciones de transporte de sedimentos del modelo morfodinámico no han sido aún calibradas localmente para este propósito. La intención de éste análisis es únicamente obtener órdenes de magnitud indicativos de las cantidades actuales de sedimento a dragar.

3.- FRECUENCIA CON LA QUE SE NECECITA DRAGAR EN EL ÁREA EL PALMAR

El dragado de la zona de El Palmar, implica un aumento del área en las secciones transversales del río. Esto a su vez se traduce en una disminución de la velocidad del flujo del agua, que finalmente resulta en una disminución de la capacidad de transporte de sedimentos en esa zona. El gradiente de transporte de sedimentos que se produce entre la zona de dragado y las áreas adyacentes a causa de la repentina disminución en la capacidad de transporte, da lugar a la sedimentación en dicha zona hasta que los gradientes disminuyan. En un principio la sedimentación ocurre a una tasa acelerada que va decreciendo en el transcurso del tiempo. Como consecuencia, para mantener los niveles deseados en el lecho, el dragado es una operación que se tiene que realizar con cierta frecuencia, dependiendo de las condiciones locales del río.

En base a lo anterior surge la pregunta: ¿Con qué frecuencia es necesario realizar el dragado de la zona en cuestión? Para dar una respuesta acertada y precisa a esta pregunta, se necesita profundizar el estudio morfológico. Con este fin, en una primera instancia, las ecuaciones de transporte de sedimentos deben ser debidamente calibradas localmente. Se puede adoptar entonces la recomendación de monitorear la evolución de una zanja dragada en el lecho del río. Así, se puede medir indirectamente la velocidad y cantidad de transporte de sedimentos de fondo. Un enfoque similar se obtiene al reproducir la evolución de la batimetría del fondo en un intervalo de tiempo definido, en el cual las condiciones hidrodinámicas del río sean bien monitoreadas.

Aunque una estimación precisa de la frecuencia de dragado está fuera del alcance de este estudio, con el objeto de obtener una primera aproximación, se configura el modelo adoptando valores típicos para los parámetros de las ecuaciones de transporte de sedimento encontrados en la literatura. En base a esta suposición, se reproducen 30 años de evolución morfológica que tiene como punto de partida la situación inmediatamente después de haber finalizado el dragado; es decir, una vez que se ha alcanzado como mínimo una profundidad de 4,5 m referida a MSL en toda la zona delineada para el dragado. Se calcula entonces la evolución del volumen de sedimentos depositados en el área. En la Figura 4, se muestran las batimetrías inmediatamente después del dragado, luego de 9 y de 15 años. Además, se muestra la curva de evolución del volumen de sedimentos depositados en el sector del dragado. En base a este último gráfico, se puede determinar que la situación luego de 9 años de haber realizado el dragado, es comparable a la situación del año 2009 (Figura 2), en la que no se realizó ninguna intervención. En otras palabras, luego de 9 años se depositan 3 500 000 m^3 de sedimento. Por otro lado, la situación luego de 15 años del dragado, es comparable con la situación actual (2015) en la que el volumen de sedimentos a dragar se calcula en 4 200 000 m^3.

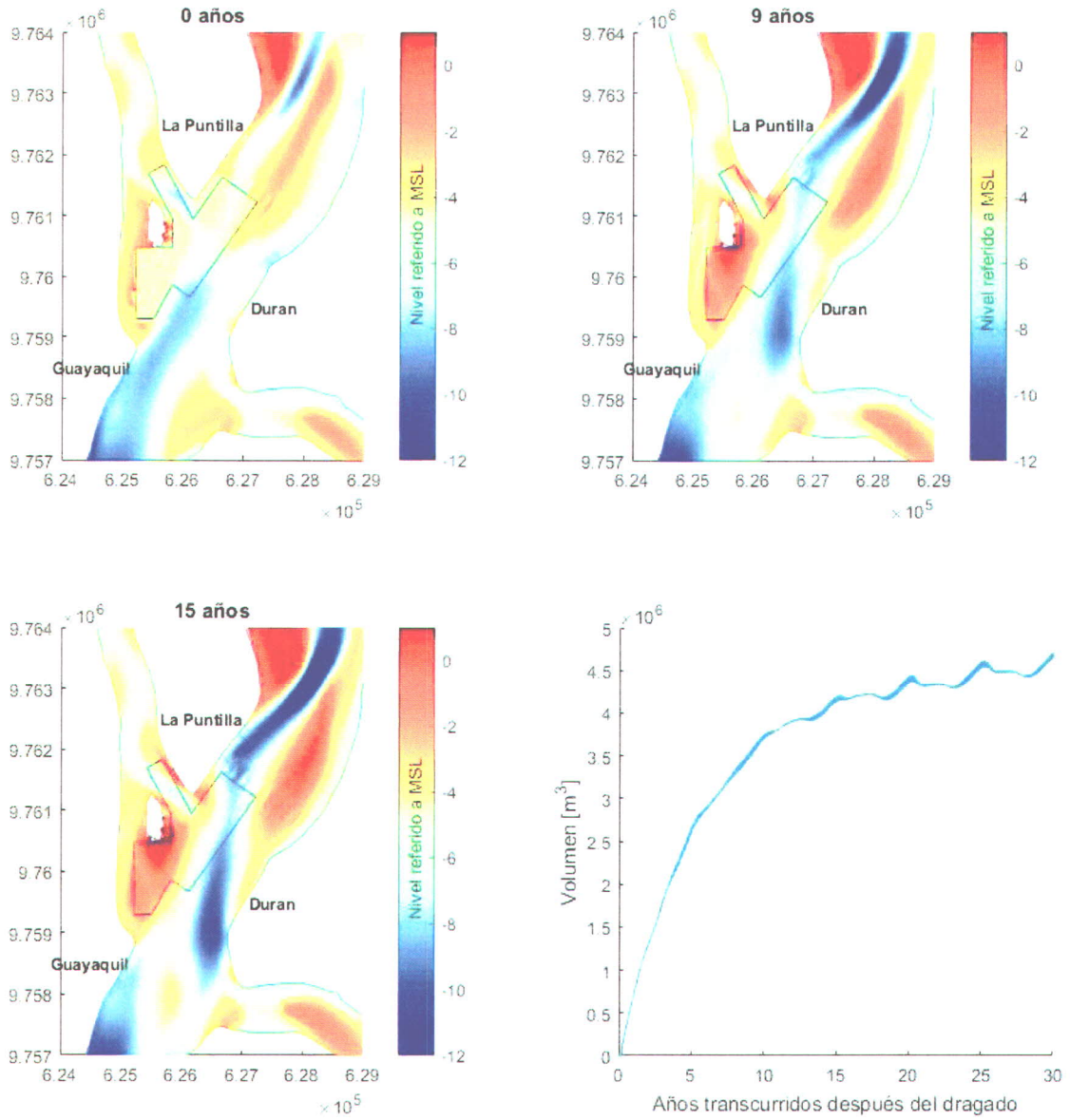

Figura 4: Evolución morfológica de la zona de El Palmar luego del dragado de sedimentos

4.- ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

Las medidas de mitigación deben ser dirigidas a reducir el efecto de distorsión de la onda de la marea e incrementar el efecto de las corrientes residuales. Por lo que se han planteado las siguientes alternativas:

1. Gestionar la operación de la represa Daule-Peripa, incrementando el caudal suministrado de una manera controlada, con el objetivo de reducir la sedimentación aguas abajo del río Daule.
2. Recuperación de algunas áreas intermareales, con la finalidad de disminuir el efecto de distorsión de la onda de marea.
3. Colocación de estructuras de contención de mareas, reduciendo la amplitud de la marea aguas arriba del estuario.
4. Dragados en las zonas problemáticas.

A más de estas soluciones propuestas, en el presente estudio se analiza como una solución la implantación de espigones en el área del islote El Palmar, con el propósito de estudiar su efecto en la zona comprendida entre el islote y la Puntilla. Un análisis más detallado en el que se estudie de mejor manera la disposición y distribución de los espigones, así como su diseño, efectos aguas arriba o aguas abajo de la cuenca, y viabilidad técnica, económica y ambiental frente a la repetitividad del dragado o las otras alternativas propuestas puede ser realizado posteriormente.

4.1.- DRAGADO

El dragado se ha propuesto como una medida factible en la situación en la que se encuentra actualmente el nivel de sedimentos en la zona comprendida entre el islote El Palmar y la Puntilla. Se ha desatado una alarma social ante un posible asentamiento poblacional en el lugar mencionado, el riesgo de invasiones en la Puntilla.

Sin embargo, se tiene que considerar que esta no es una medida que soluciona el problema de la sedimentación de forma permanente. Al alterar las condiciones del río, éste vuelve a sedimentarse al inicio con una tasa mayor a la que se encontraba en su estado natural, que decrece con el tiempo, tratando de volver a sus condiciones de equilibrio. Por ello se recomienda estudiar a profundidad las medidas ya mencionadas, o una estructura de control puntual en la zona de conflicto, misma que se explica en el siguiente punto.

4.2.- ESPIGONES

4.2.1.- Localización y Enfoque

Los espigones se posicionan en la desembocadura del río Daule a lo largo de la margen derecha, tal como se muestra en la Figura 5, en la cual se muestra también la malla computacional usada en el modelo Delft3D-FM y la zona prevista para el dragado.

Para poder determinar el efecto de los espigones, se comparan dos escenarios: la situación actual sin espigones versus la opción de colocar espigones en la margen derecha del río

1. Escenario de referencia: Como base de este estudio se analiza la evolución morfológica de situación actual.

2. Escenario con espigones: Se analiza la evolución morfológica considerando la disposición de los espigones mostrados en la Figura 5.

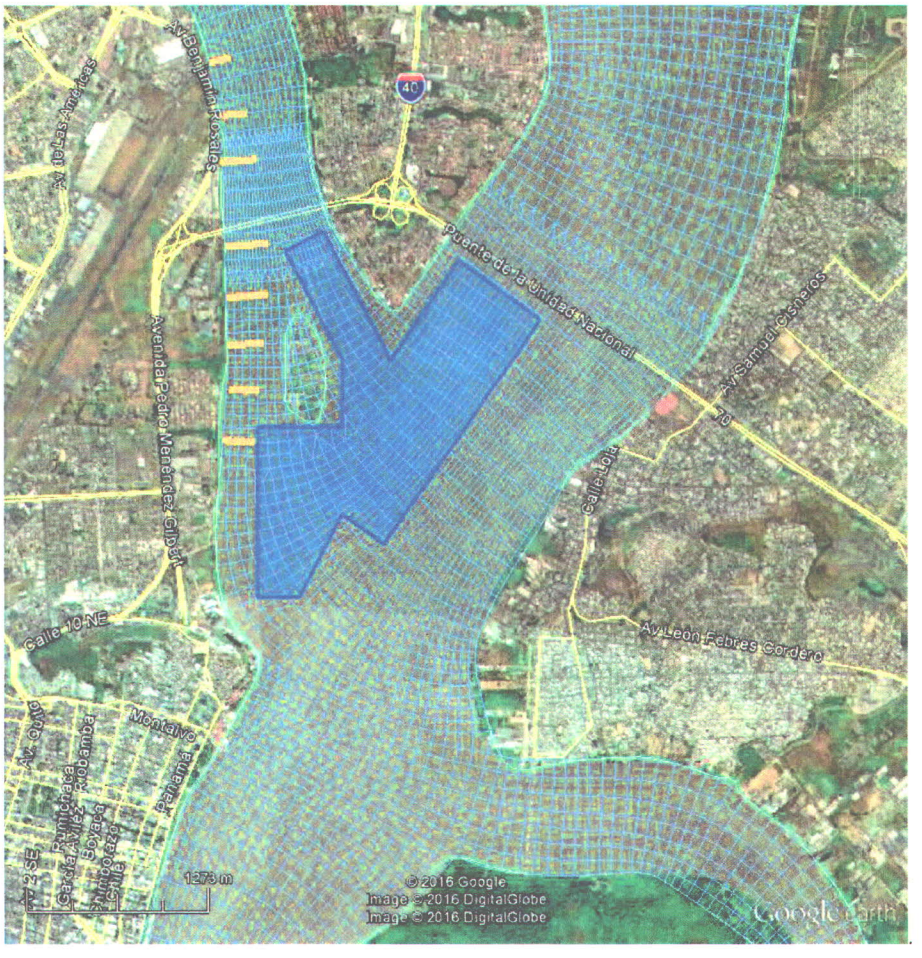

Figura 5. Espigones (Líneas tomate) colocados en la margen derecha del río Daule.

4.2.2.- Efectos

El objetivo de la implantación de espigones en esta zona es el de redirigir el flujo. La idea es tratar de conseguir un canal principal más profundo en el que se incremente la capacidad de transporte de sedimentos debido a una mejor distribución de velocidades en el flujo.

La batimetría obtenida en la zona de la confluencia de los ríos Daule y Babahoyo luego de una simulación de 6 años denota que, a causa de los espigones, que redirigen el flujo, se remarca el canal principal en el río Daule.

La comparación de los escenarios mencionados, luego del transcurso de 6 años de evolución morfológica, se presenta en la Figura 6 . El puente de la Unidad Nacional sobre los ríos Daule y Babahoyo se muestra como una línea punteada. El efecto de los espigones es claro, en la margen izquierda del río Daule a la altura del puente, se observa una clara disminución del nivel del lecho del río al comparar los dos escenarios. Es decir, en la zona comprendida entre el islote y la Puntilla, existe mayor erosión debido a los espigones. Además, existe una ligera reducción en la sedimentación del área Sur del islote El Palmar. El gráfico de la Figura 7 , confirma lo anterior. Se puede observar la funcionalidad de los espigones en el tiempo. Al final de la modelación, el escenario con espigones presenta una reducción en el volumen de material sedimentado en el área de dragado de aproximadamente 200 000 m^3 en relación al escenario de referencia.

Es importante recalcar que, en el caso particular del escenario con espigones, no se observan efectos de agradación o degradación aguas arriba o aguas abajo de las estructuras de control. Sin embargo, es un factor importante a ser tomado en cuenta al momento de hacer un estudio mucho más detallado, en el que se deben considerar escalas de tiempo mayores.

En la figura 8 se muestra la curva de evolución del volumen de sedimento depositado para un periodo de 6 años, para los dos casos, con espigones y sin ellos.

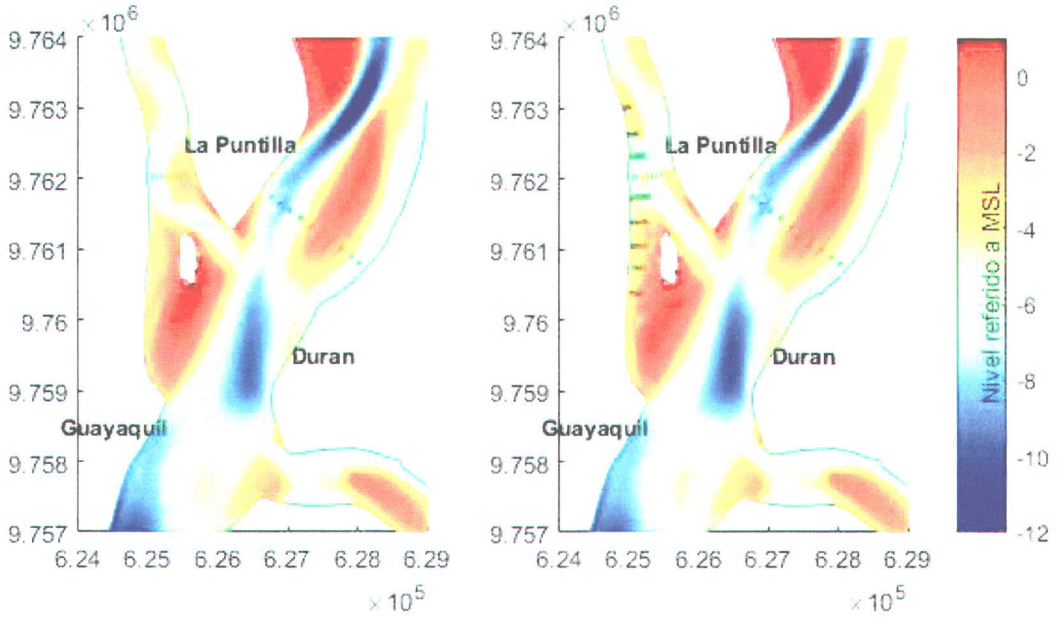

Figura 6

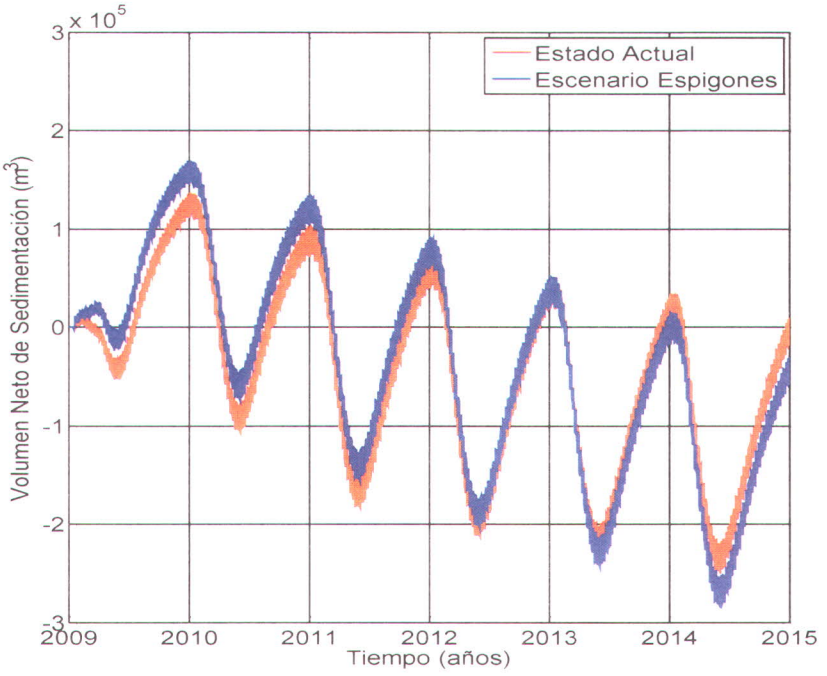

Figura 7

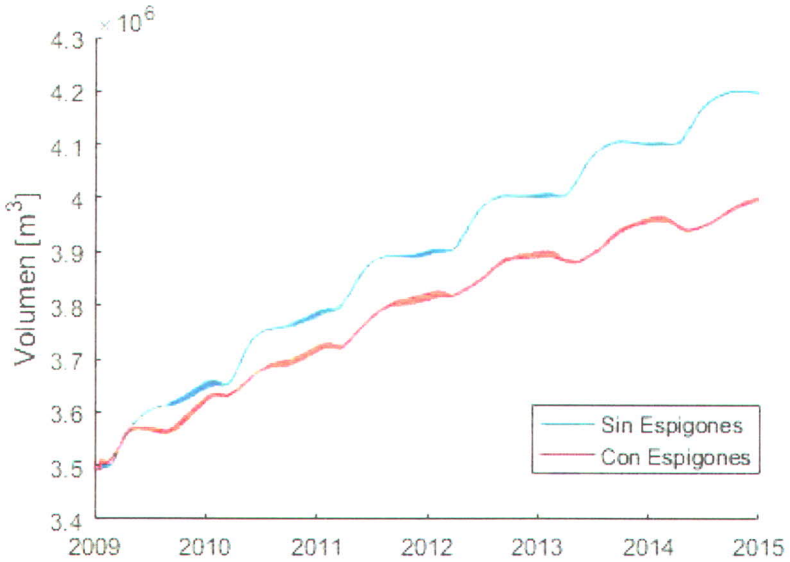

Figura 8 Comparación, luego de 6 años de evolución morfológica, de los escenarios con y sin espigones.

5.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El dragado en el sector entre el islote el Palmar y la Puntilla se lo considera necesario, en virtud del riesgo de erosión a que estaría sometida la margen derecha del río, en donde se ubican urbanizaciones y vías importantes.

Se debe tener presente que el dragado no es una solución definitiva al problema de sedimentación, por lo que en el presente Anexo se analizó, de manera preliminar, una posible medida para control y alargamiento del tiempo de resedimentación en la zona de conflicto:

La implementación de espigones al lado derecho del río Daule, a la altura del islote El Palmar, ha mostrado una mejora en la distribución de velocidades, la misma que genera un incremento de la erosión en la zona entre el islote y la Puntila. En resumen, el efecto que se logra con los espigones es el de fomentar la formación de un canal bien definido en el río Daule, en la zona mencionada, y reducir el total del material a sedimentarse en el área prevista para el dragado. Los resultados son claros; sin embargo, todavía no son concluyentes. Por lo tanto, se recomienda realizar un estudio más detallado de esta solución. El objetivo principal estaría dirigido a encontrar una disposición óptima de los espigones desde los puntos de vista técnico, económico y ambiental. Se deben considerar además los posibles efectos secundarios aguas arriba y aguas abajo de las intervenciones.

El modelo morfodinámico Delft3D-FM del estuario del río Guayas es una buena herramienta para evaluar los efectos en la morfología e hidrodinámica causados por las medidas de mitigación propuestas; no obstante, la implementación del modelo implica la calibración local de las ecuaciones de transporte de sedimentos, que todavía está pendiente. La calibración se la puede realizar en base al monitoreo de la evolución de elementos morfológicos bien definidos como una zanja dragada transversalmente en el río.

Finalmente recomendamos elaborar un diseño de la desembocadura del río Daule al río Guayas con el objetivo de llegar a una solución sostenible para el futuro. Para este diseño se deberían evaluar diversas alternativas con medidas como espigones y/o recuperación de tierras, que además pueden servir como almacenamiento de material dragado.