

EXPERIENCIA EN RELLENO HIDRÁULICO EN EL ECUADOR Y PROPUESTA PARA DISMINUIR EL IMPACTO EN LA EXCAVACIÓN DE LOS CAUCES.

PRACTICAL EXPERIENCES ABOUT HYDRAULIC LAND FILL IN ECUADOR AND PROPOSAL TO REDUCE THE IMPACT ON THE EXCAVATION OF THE CAUCES.

Manuel Gómez De La Torre ¹, Patricia Villa-R ¹ David Stay¹

Universidad de Guayaquil, Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas
Email: manuel.gomezdelatorre@ug.edu.ec angela.villar@ug.edu.ec david stay@ug.edu.ec

RESUMEN

El Relleno Hidráulico en el Ecuador tiene una gran importancia social porque eleva el nivel de vida de los sectores más vulnerables ubicados en zonas bajas densamente pobladas y de escasos recursos, en los cuales, se presentan muchas enfermedades y dificultades para el desempeño de las actividades cotidianas como educación, trabajo, deterioro o destrucción de las viviendas y pérdidas materiales.

Esta investigación responde a la necesidad de difundir y evaluar las experiencias de Relleno Hidráulico en zonas bajas inundables para beneficio social realizadas en el Ecuador por el Servicio de Dragas de la Armada, y cuyos proyectos más importantes se han ubicado en la Cuenca Baja del Río Guayas.

Sin embargo del impacto social positivo, por ser una obra de Ingeniería, se requiere una buena planificación para la viabilidad de las mismas, en esta investigación se ha planteado la necesidad de determinar los tipos de afectación que por el dragado se podrían presentar en los cauces fluviales que sirven como cantera del material a ser utilizado para relleno hidráulico. En la última parte, se ha evaluado una propuesta de los estudios mínimos requeridos para la ejecución de rellenos hidráulicos para no afectar el cauce fluvial por el material excavado mediante el dragado.

Palabras claves: dragado, relleno hidráulico.

ABSTRACT

The Hydraulic Landfill in Ecuador has a great social importance because it raises the standard of living of the most vulnerable sectors located in low densely populated areas and of scarce resources, in which, there are many diseases and difficulties for the performance of daily activities as education, work, deterioration or destruction of housing and material losses.

This research responds to the need to disseminate and evaluate the experiences of Hydraulic Landfill in low-flood areas for social benefit made in Ecuador by the Navy Dredging Service, and whose most important projects have been located in the Lower Guayas River Basin.

However, the positive social impact; Land Fill is a type of engineering work so requires good planning for the viability, in this research has raised the need to determine the types of damage that due to dredging work could be caused in the river channels that serve as a quarry for the material to be used for hydraulic fill. In last part, have been evaluated a proposal of minimum studies required for the execution of hydraulic fillings so as do not to affect the fluvial channel by the excavated material by dredging.

Keywords: dredging, hydraulic land fill.

INTRODUCCIÓN

Dentro de las políticas que plantea la administración pública, está la política de generar obras de infraestructura para mejorar la condición de vida de los ciudadanos especialmente la de los sectores de los grupos vulnerables, Plan Nacional de Desarrollo Toda una vida 2017-2021, Eje 1, Objetivo 1, Política 1.8. (Constitución de la República, 2008). La falta de recursos para las construcciones en zonas rurales y el crecimiento acelerado de las ciudades principales del país obliga a la población a asentarse en la periferia de las ciudades generando grandes cinturones de pobreza. Dicha población se asienta generalmente en terrenos, en los cuales no han existido previamente estudios de riesgos, a pesar de las desventajas que representa este tipo de asentamientos.

Estos asentamientos suelen darse por ejemplo en zonas de manglar, en terrenos inestables, en terrenos bajos sujetos a inundaciones, en áreas de drenaje impidiendo el drenaje eficiente de aguas lluvias y servidas.

Los sectores de Guasmo, Bastión Popular, el Suburbio e Isla Trinitaria son ejemplos de este tipo de asentamientos en la ciudad de Guayaquil. Según el informe “Estrategias de Adaptación al Cambio Climático en la Cuenca Baja del Río Guayas y Golfo Interior de Guayaquil” realizado por el Ministerio de Medio Ambiente indica que no es viable un reasentamiento poblacional y se propone como una posible medida de solución realizar un relleno hidráulico con material de dragado. (Armijos & Montolío, 2008)

Algunos organismos Internacionales como el Cuerpo de Ingenieros de Estados Unidos o el Instituto HR Wallingford de Inglaterra han normado la utilización del relleno

hidráulico y se ha considerado como una alternativa en la construcción para rellenar zonas bajas amplias. (Guidelines for the beneficial use of dredged material & T N Burt, 1996), (United States ARMY, 1983b). Según la experiencia local, el relleno hidráulico para rellenar zonas bajas amplias y pobladas se considera como el medio más económico en relación al costo de reubicar las viviendas, considerando la gran demanda que existe para realizar obras de interés social en las ubicaciones donde la población ya se encuentra asentada.

Una obra de dragado se define como el conjunto de operaciones necesarias para la extracción, el transporte y el vertido de materiales situados bajo el agua, ya sea en el medio marino, fluvial o lacustre. (US ARMY, 1983b)

En diversos tipos de obra se requieren rellenos con tierra, como puede ser en proyectos urbanísticos de interés social, bases de carreteras, aeropuertos, o bien la sustitución de terrenos de mala calidad, para mejorar las condiciones geotécnicas en cimentaciones de muelles o de cualquier otro tipo de estructura. (US ARMY, 1983b).

En los últimos años han tomado también gran importancia los dragados asociados a la regeneración y conservación de las playas mediante aportaciones artificiales de arena y en obras en las que se pretende generar grandes superficies útiles en el mar, a menudo asociadas al transporte de mercancías y pasajeros, como por ejemplo la isla artificial construida en Hong-Kong para albergar un aeropuerto (Figura 1). (US ARMY, 1983b).



Figura 1. Construcción de la isla artificial ChekLapKok en Hong-Kong. (www.bnd.nl)
Figure 1. Construction of artificial island ChekLapKok in Hong Kong. (www.bnd.nl)

En el Ecuador las obras de aprovechamiento de material dragado se han asociado a obras de relleno hidráulico de sectores poblados marginales que se han asentado en zonas bajas inundables. El relleno hidráulico se puede definir como el tipo de relleno en el cual el material dragado es depositado en el sitio a rellenar por un sistema de bombeo, donde el material mezclado con agua es transportado por tuberías. Posteriormente el agua es desalojada haciendo uso de un sistema de drenaje. El equipo idóneo para bombear el material desde el lecho de un río o desde el mar cercano a la playa es una draga.

En el Ecuador 7 instituciones públicas como: Instituto Nacional de Pesca, Instituto Oceanográfico de la Armada, Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, Programa de Manejo de Recursos Costeros y Ministerios de Agricultura y Ganadería han considerado al relleno hidráulico de zonas bajas pobladas como una de las medidas de adaptación al cambio climático ante un posible incremento en el nivel medio del mar. (Hinojosa, 2014)

El relleno hidráulico ha servido en el Ecuador para elevar el nivel del terreno de barrios densamente poblados con el fin de prevenir que estas áreas durante la estación lluviosa se llenen de agua y que por consiguiente las instalaciones sanitarias y de drenaje colapsen. Como consecuencia se presentan diferentes enfermedades,

dificultades para el desempeño de las actividades cotidianas como: educación, trabajo, deterioro y/o destrucción de las viviendas y pérdidas materiales.

En el Ecuador se ha llevado a cabo proyectos de relleno hidráulico en barrios marginales densamente poblados de escasos recursos.

El Servicio de Dragas es un reparto de auto gestión de la Armada del Ecuador que depende de la Dirección General de Intereses Marítimos y que es el encargado de efectuar las labores de dragado y relleno hidráulico a nivel nacional.

Las obras de dragado y relleno hidráulico realizadas en nuestro país han sido desarrolladas con interés social. A nivel internacional se han revisado experiencias de obras de relleno hidráulico de gran envergadura y de interés económico. En la tabla 1 se listan los lugares que se han considerado como referencia a nivel internacional y nacional en los cuales se han realizado obras importantes de relleno hidráulico; en la tabla se puede observar que los trabajos a nivel internacional son de mayor volumen y espesor en relación a los datos de las dos obras principales a nivel nacional en los últimos años.

Para las obras a nivel internacional se han realizado estudios e investigaciones científicas y técnicas, sin escatimar el valor económico que ellas demandan, sin

embargo, en Ecuador por ser obras de interés social, no han tenido gran difusión técnica ni científica y no se han desarrollado

estudios integrales considerando toda la complejidad para este tipo de obras.

Tabla 1: Obras importantes de relleno hidráulico consideradas como referencia a nivel internacional y nacional.

Table N. 1: Important hydraulic filling works considered as reference at international and national level

Sitios	Volumen Millones (m3)	Espesor (m)
Aeropuerto de Hong Kong	350	10-20
Isla de la Palma Dubai	90	13
Isla del Mundo Dubai	326	
Relleno hidráulico Guayaquil (Trinitaria-Guasmo)	10	1-3
Relleno hidráulico Babahoyo (Relleno Multianual)	8.5	1-3

El área de estudio está determinada por la cuenca del río Guayas y principalmente la ciudad de Guayaquil. En el presente trabajo se considerará el análisis de la experiencia en los proyectos de rellenos hidráulicos ejecutados en el área de estudio, detallando los más importantes como son el relleno hidráulico de la Trinitaria y el Guasmo en el año 1990, el relleno hidráulico de Babahoyo en el año 1990, 2010-2016 y el futuro relleno hidráulico en la ciudad de Durán.

El objetivo principal de esta publicación es difundir y dar a conocer las obras de relleno hidráulico, que por ser muy especializadas, son poco conocidas por los técnicos a nivel local; esta investigación permitirá identificar procesos de planificación, control y ejecución de este tipo de obras a nivel nacional los mismos que deben ser observados por los organismos responsables como: Autoridades Seccionales, Secretaría de Riesgos, Secretaría Nacional del Agua, Ministerio de Transporte y Obras Públicas, Colegios Profesionales y demás instituciones involucrados en este tipo de actividades a nivel nacional.

Mediante esta investigación se pretende evaluar los casos reales de obras de relleno hidráulico en el área de influencia que corresponde a la cuenca del río Guayas, para poder determinar los tipos de afectación que

por el dragado se podrían presentar en los cauces fluviales.

Finalmente se plantea una propuesta con los procesos de estudios mínimos requeridos para la ejecución de rellenos hidráulicos con la finalidad de no afectar el cauce fluvial por el material excavado (dragado) que se extraería para ser colocado en el relleno hidráulico en obras de interés social.

MATERIALES Y MÉTODOS

Con la finalidad de realizar un análisis de los documentos e informes técnicos existentes de los trabajos de dragado y relleno hidráulico en las inmediaciones del río Guayas y Babahoyo, se ha determinado el siguiente diagrama de flujo mediante el cual nos permitirá identificar las diferentes fases a seguir, para realizar el análisis de los trabajos de relleno hidráulicos, en Ecuador; hasta obtener una propuesta de procesos de estudios mínimos para no afectar el cauce fluvial en obras de relleno hidráulico, que pueden ser implementados para los futuros trabajos de dragado y relleno hidráulico en el país.

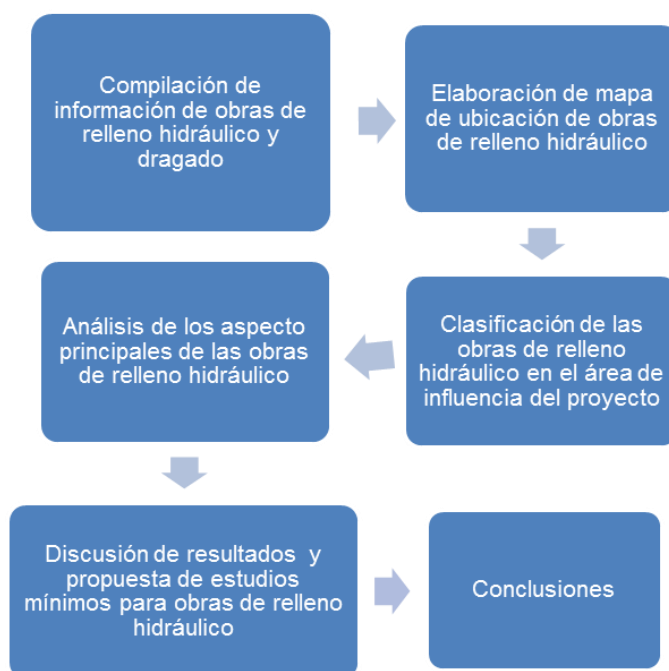


Diagrama 1: Metodología para el análisis de los trabajos de relleno hidráulico en el Ecuador y generación de una propuesta para disminuir el impacto en la excavación de los cauces.

Diagram 1: Methodology for the analysis of hydraulic filling works in Ecuador and generation of a proposal to reduce the impact on the excavation of the channels.

I. Compilación de información de obras de relleno hidráulico y dragado

Para esta investigación inicialmente se ha procedido a buscar y recopilar información existente de las experiencias de relleno hidráulico y obras de dragado a nivel nacional, se seleccionó los proyectos más importantes.

En el país existe poca información documentada de los proyectos de relleno hidráulico, el Servicio de Dragas de la Armada del Ecuador ha sido el ente ejecutor de estos trabajos. Las experiencias de los trabajos de dragado y relleno hidráulico se encuentran en informes, memorias técnicas donde se detallan la siguiente información:

- Documentación administrativa que permiten el inicio de los trabajos.
- Términos de referencia técnicos para el trabajo de dragado y relleno hidráulico

- Informes técnicos de planificación de los trabajos a realizar previa la determinación área del trabajo
- Informes técnicos resultantes de los trabajos de campo
- Memorias técnicas donde se encuentran los resultantes de los trabajos efectuados y el cierre del proyecto
- Información estadística se encuentra en la base de datos de SEDRA

II. Elaboración de mapa de ubicación de obras de relleno hidráulico

Desde su inicio el Servicio de Dragas, ha orientado el relleno hidráulico al ámbito netamente social para zonas sujetas a inundaciones, de los cuales podemos citar a las obras más grandes del relleno hidráulico; El relleno hidráulico de Babahoyo y Barreiro en la provincia de Los Ríos las que cubrieron las dos terceras partes de los barrios suburbanos de la ciudad de Babahoyo y de Barreiro, el relleno de los barrios suburbanos de la ciudad de Machala

en la provincia del Oro; merece especial atención el relleno hidráulico realizado en los suburbios de la ciudad de Guayaquil, en la Isla Trinitaria, Barrios de las Malvinas y Fertisa. Estos proyectos fueron trabajados con un volumen superior a 10 millones de metros cúbicos y finalmente se podría citar el proyecto más reciente que está en etapa de ejecución que corresponde al relleno hidráulico en zonas de desarrollo urbano social del cantón Durán con material proveniente del Río Guayas en el sector Adyacente al Islote El Palmar (CMAE, 2013). Con el uso de cartografía base del mapa de las cuencas hidrográficas nacionales publicado por el INAMHI en el

año 2012, se procedió a ubicar geográficamente las principales obras de Relleno Hidráulico ejecutadas en el Ecuador mediante el uso de Arc-Gis con la herramienta de ploteo de puntos y mediante la simbolización se procedió a representar los puntos de Intervención, en el mismo, donde el tamaño del símbolo varía en función del volumen establecidos en la tabla N.2

Para la generación del mapa de ubicación de puntos de dragado nacional que se muestra en la figura 2, se han seleccionado las principales obras de relleno hidráulico descritas en la tabla 2 que corresponden al área de estudio.

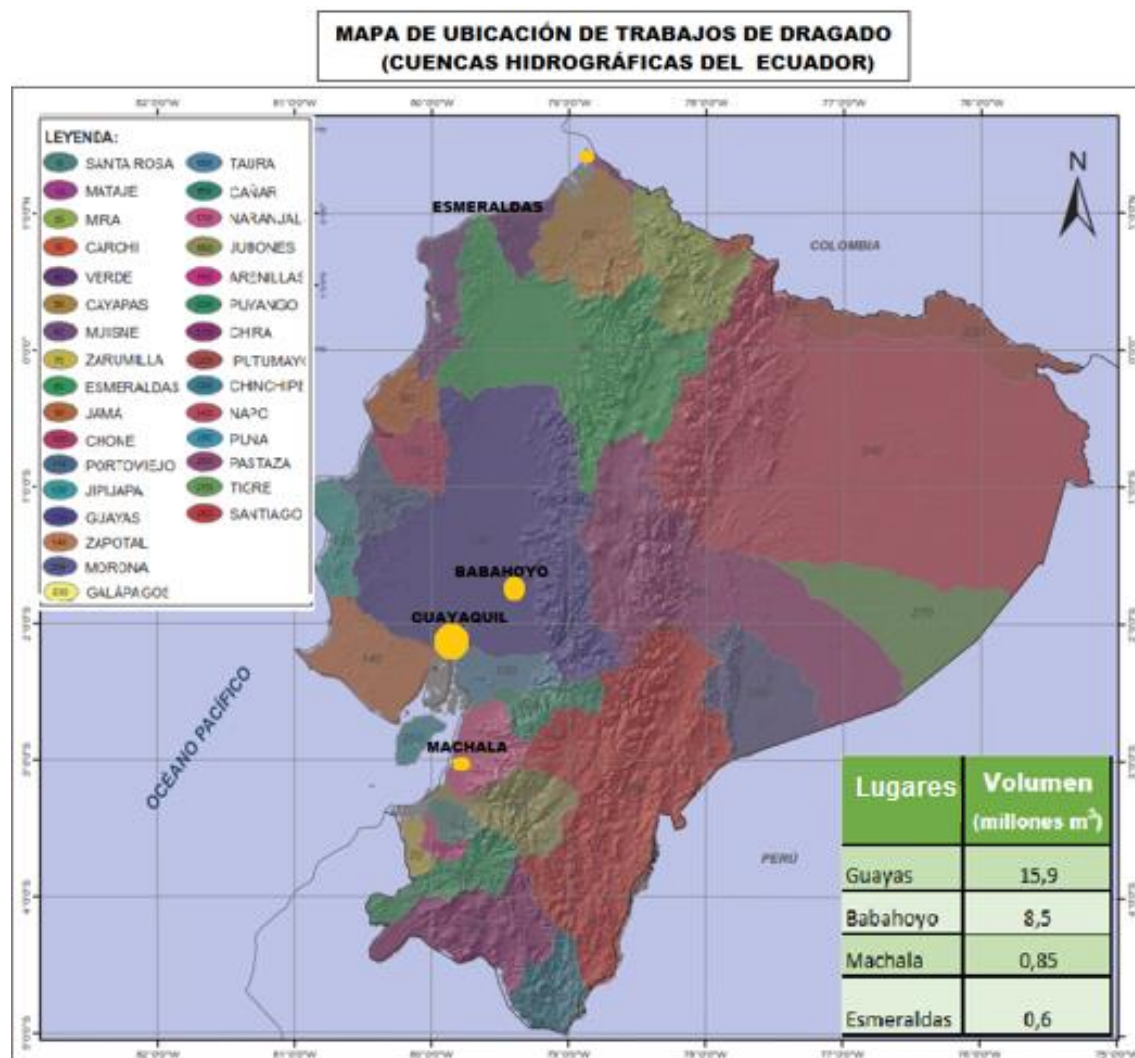


Figura 2. Mapa de ubicación de obras de relleno hidráulico en Ecuador (Mayores a 0.5 millones de metros cúbicos). (Base cartográfica: Cuencas Hidráulicas del Ecuador INAMHI, 2012)

Figure 2. Location map of hydraulic filling works in Ecuador (Greater than 0.5 million cubic meters). (Cartographic base: hydrology Basin map INAMHI, 2012)

Tabla 2: Principales obras de relleno hidráulico y de dragado a nivel nacional
Table .2: Main hydraulic and dredging works at the national level

PROYECTO/LUGAR	VOLUMEN	PERIODO	RÍO-ARENA
Plan Piloto Guayaquil, Isla Trinitaria y los Guasmos, Malvinas	10 millones	1992-1993	1. Estero salado/sector cuarentena 2. Río Guayas frente a Santay.
Durán	1.4 Millones	1982-1983	Río Guayas
Durán	4.5 Millones	Contratado /2018	Río Guayas Confluencia: Daule y Babahoyo
Machala	0.85 Millones	1992-1998	
Babahoyo etapas I a IV y Barreiro	4 Millones	1986-1995	Río Babahoyo
Babahoyo/Zona 6	0.5 Millones	2007-2008	Río Catarama /Río San Pablo
Babahoyo/Integral	4 Millones	2008-2013	Río Catarama/Río Babahoyo
Relleno Zona Norte de Esmeraldas para poblaciones fronterizas	0.6 Millones	Propuesto en 2008/ no ejecutado	Esteros y Zonas Costeras

III. Clasificación de la información de las obras de relleno hidráulico en el área de influencia del proyecto

Para el análisis de esta investigación se ha compilado informes, datos y estadísticas de las 3 obras más importantes del país del área de estudio como son:

- El relleno del Suburbio y Trinitaria de la ciudad de Guayaquil en el año 1990.
- El relleno hidráulico integral de la ciudad de Babahoyo del año 1990, 2010 – 2016.
- El relleno hidráulico que está en fase de ejecución de Durán mediante el dragado del río Guayas frente a la ciudad de Guayaquil año 2018.

IV. Análisis de obras de relleno hidráulico en el área de influencia del proyecto

Metodología de Análisis

Para el análisis de las obras de relleno hidráulico de esta investigación se han considerado el efecto del dragado para cada

uno de los tres casos de estudio (2 en el río Guayas y 1 en el río Babahoyo), se evalúa la afectación de estabilidad de los taludes desde el punto de vista geológico, hidráulico y geotécnico.

Para el caso del río Babahoyo en el análisis se evalúa el comportamiento hidráulico en función del dragado con información de estudios de carácter geotécnico e hidráulico. En el caso del río Guayas de forma similar que el río Babahoyo se evaluó el comportamiento geotécnico e hidráulico con información general de tipo cualitativo, ya que por ser un río de rivera ancho no presenta afectaciones importantes en el talud, por tanto, no se requería de un análisis de estabilidad considerando la distancia del dragado en relación a la línea de la orilla del río.

Se realizó un diagnóstico desde el punto de vista geotécnico y geológico de cada río en estudio. El diagnóstico se basó en el movimiento de material desde el fondo producto de los trabajos de la draga, que una vez succionado el material lo descargo en las orillas realizando el relleno hidráulico.

1. Análisis del relleno hidráulico en el Suburbio de Guayaquil y de la isla Trinitaria.

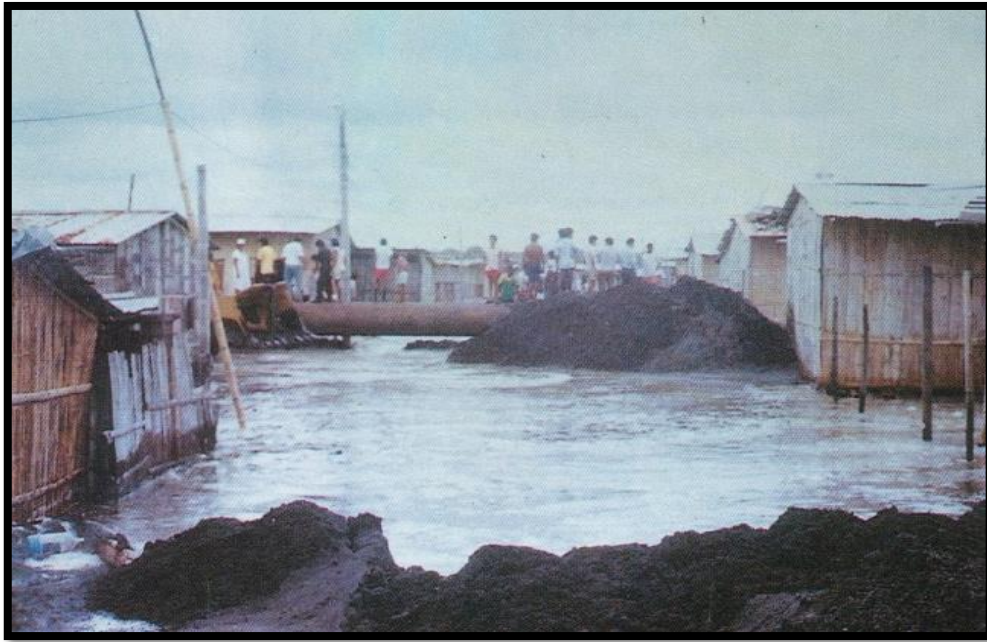


Figura 3. Fotografía del sector sur de la ciudad de Guayaquil antes del relleno hidráulico. Fuente SEDRA
Figure 3. Photograph of the southern sector of the city of Guayaquil before the hydraulic filling. SEDRA Source

Los trabajos de dragado del río Guayas frente a Guayaquil en el sector sur de la ciudad (Figura 3), se presume que la sección de dragado no tuvo ningún efecto en los taludes debido al ancho del cauce del río; sin embargo, pudieron existir afectaciones por erosiones de tipo local, que se realizan por el cambio de morfología en el cauce ocasionado por el dragado y el patrón de circulación de las corrientes.

Para la etapa de planeación de este proyecto de dragados que se realizó en el año 1992, no se tiene registros de un estudio hidráulico y de aportes de sedimentos de este sistema fluvial ni tampoco se tienen registros de monitoreo de los cambios morfológico del cauce posterior a la ejecución del dragado, probablemente debido a que la dimensión de la excavación por el dragado fue de poco impacto considerando las grandes dimensiones del sistema estuarino en esta sección del río.

Geológicamente se trata de un ambiente netamente estuarino deltaico por la descarga del río Guayas en el Golfo de Guayaquil y el efecto de las mareas en la descarga del

sistema fluvial Guayas, predominan procesos acumulativos que forman bancos arenosos, limos arcillosos, múltiples islotes y canales propios de las geoformas deltaicas.

2. Análisis del relleno hidráulico de Babahoyo

En la figura 4 se visualiza los puntos de dragado para el relleno hidráulico de Babahoyo. La obra se ubica en la parte central de la región costa donde predominan depósitos aluviales de la plataforma Babahoyo en el sector de la confluencia del río Catarama y San Pablo que son tributarios al río Babahoyo que descarga en el Golfo de Guayaquil a través del río Guayas. Localmente los ríos presentan condiciones mendriformes con zonas erosivas en los meandros y zonas deposicionales en las zonas inter-meándricas.

Por ser una zona de transición entre sierra y costa, el cauce no es tan amplio, por lo que en la planeación de este proyecto si se requirió estudiar el efecto del dragado en la estabilidad de los taludes.

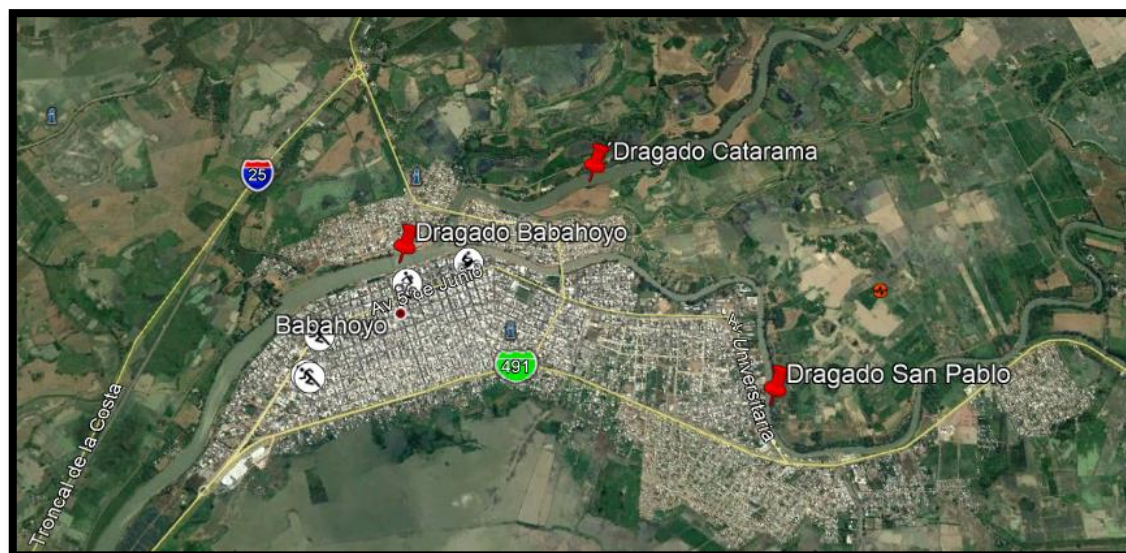


Figura 4. Ubicación de áreas de dragado para el Relleno de Babahoyo.
Figure 4. Location of dredging areas for the Babahoyo Landfill. Own source

De acuerdo a la experiencia del dragado realizado por el SERDRA, se evidenció que el efecto del dragado en la hidráulica de la pendiente del río fue sólo de tipo puntual, ya que a pesar de ser una excavación del lecho, la longitud de dicha excavación fue limitada por lo que el aumento de profundidad produjo un aumento de la pendiente del río localmente en la sección donde inicia la excavación y poca distancia aguas arriba, este fenómeno si se pudo evidenciar durante el control batimétrico de este proyecto, pero fue muy leve y de poca duración, por lo que no se estableció ninguna afectación importante en las orillas por el dragado; sin embargo que se evidenció durante los años de ejecución del dragado ciertos efectos de socavación de tipo local, estos fueron atribuidas a las fuertes condiciones de la estación lluviosa, sin desmerecer que pudo tener cierta influencia el dragado.

De forma contraria, en el sector aguas abajo de la excavación del dragado, se presentó una especie de trampa de sedimentos, lo que permitió que la sección se vuelva a sedimentar rápidamente, debido a la capacidad de transporte de sedimentos del río en este sector. Por lo que el aumento de

la profundidad fue sólo momentáneo, donde se observaba que la sección recuperaba su condición inicial en el periodo de 1 año en que se volvió a monitorear el área de dragado; debido a la gran carga de sedimento que llevan los ríos Babahoyo y Catarama; o sea que cualquier efecto positivo o negativo, de la excavación en dichos ríos es de corta duración, por la capacidad de regeneración del fondo.

En este caso los ríos Babahoyo y Catarama por ser ríos con mucha capacidad de regeneración del fondo, las variaciones hidráulicas fueron de tipo leve y se estima que sólo un dragado muy significativo y de corta duración de la sección del río podría producir efectos importantes. De forma contraria el río San Pablo presenta una sección estrecha y con muy poca capacidad de recuperación de fondo, que se presume se debería a la probable retención de los sedimentos, en una obra de control aguas arriba de la zona de estudio (Figura 5); por tal motivo, el río San Pablo fue muy sensible a las afectaciones por el dragado, por lo que la mayor parte del dragado se concentró en los ríos Catarama y Babahoyo.



Figura 5. Compuertas para controlar el flujo de agua en verano del río las Juntas,
Figure 5. Gates to control the water flow in summer of Las Juntas River, own source

2.1 Análisis del río Babahoyo y Catarama en Babahoyo

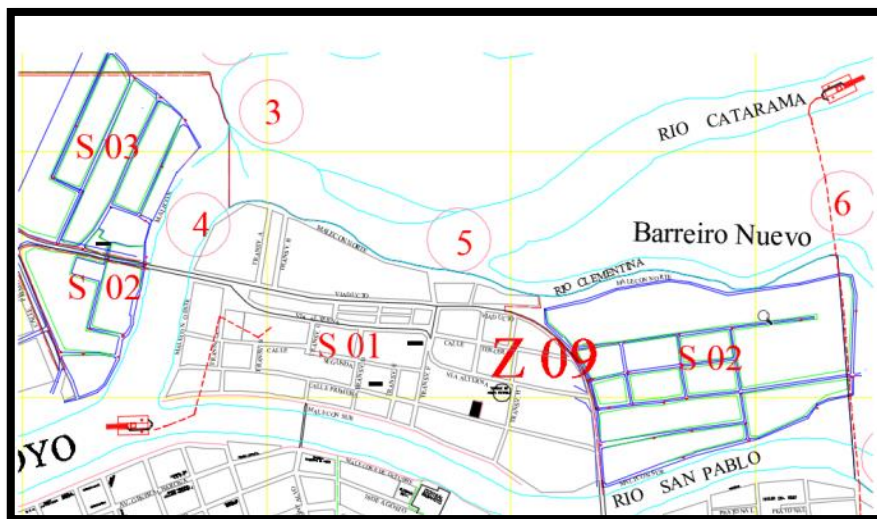


Figura 6. Ubicación de la draga en el río Babahoyo y río Catarama.
Figure 6. Location of the dredge on the Babahoyo river and Catarama river.

En la figura 6 se visualiza la ubicación de la draga en los ríos Babahoyo y Catarama. El perfil longitudinal del río Babahoyo nace de la unión del río San Pablo con el río Catarama y finaliza cerca del sector de Peña Colorada aguas abajo con una longitud aproximada de 4 mil metros. El ancho del cauce varía entre 150 y 190 metros. Se puede observar en los perfiles que el eje principal del canal (de mayor profundidad)

es muy inestable al pasar de un lado al otro o al centro del cauce. El trayecto del río es Poco sinuoso.

El perfil longitudinal del río Catarama se midió desde aproximadamente 2.5 Km aguas arriba de la confluencia con el río San Pablo. El ancho del cauce es muy variable desde 90 metros en su sección más angosta (aguas arriba en su posición más alejada) cambiando de forma errática alcanzando

valores máximos de 130 metros de ancho en las partes más amplias. Se pudo observar en los perfiles que el eje principal del canal (de mayor profundidad) es muy inestable al pasar de un lado al otro o al centro del cauce. El trayecto del río es moderadamente sinuoso y cambiante.

En la figura 7 donde se presentan las secciones transversales del río Catarama y de acuerdo a la experiencia del relleno hidráulico realizado en el año 2007, la mayor cantidad del material se extrajo del sector cerca de la desembocadura del río Catarama en el Babahoyo, realizándose

excavaciones mayores a 7 metros según se muestra en la figura con color azul el perfil luego del dragado. En la misma gráfica se puede apreciar el perfil un año después del dragado con color rojo donde se observa que el fondo había recuperado en un año, prácticamente, su profundidad natural; por lo que se evidencia el poco tiempo de recuperación que requiere la sección de este tipo de ríos para recuperar su profundidad natural después del dragado, lo que lo convierte en una cantera natural que viabiliza las obras de relleno hidráulico.

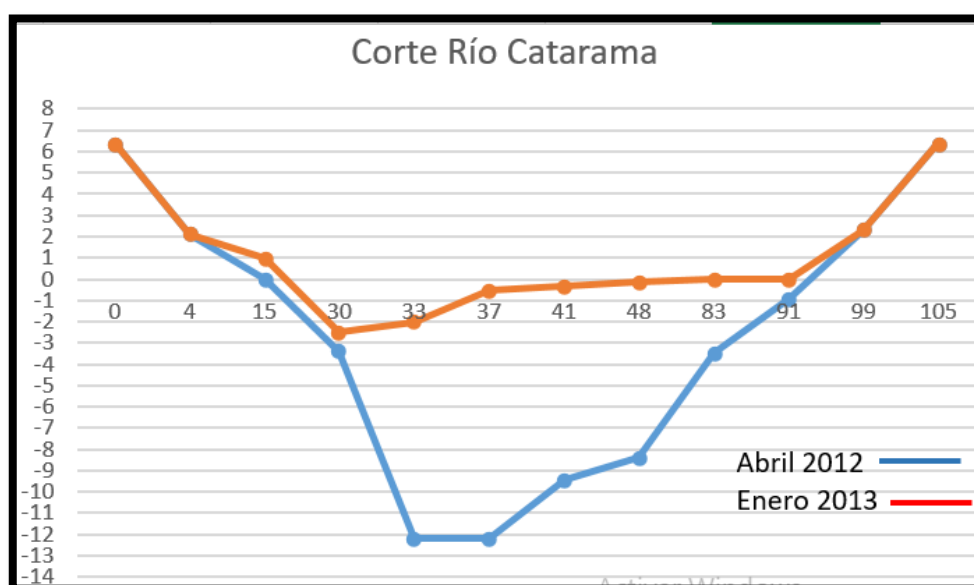


Figura 7. Secciones del río Catarama entre el 2012 y 2013 posterior al dragado. Fuente Dragas
Figure 7. Sections of the Catarama river between 2012 and 2013 after dredging. SERDRA source

2.2 Análisis del río San Pablo en Babahoyo

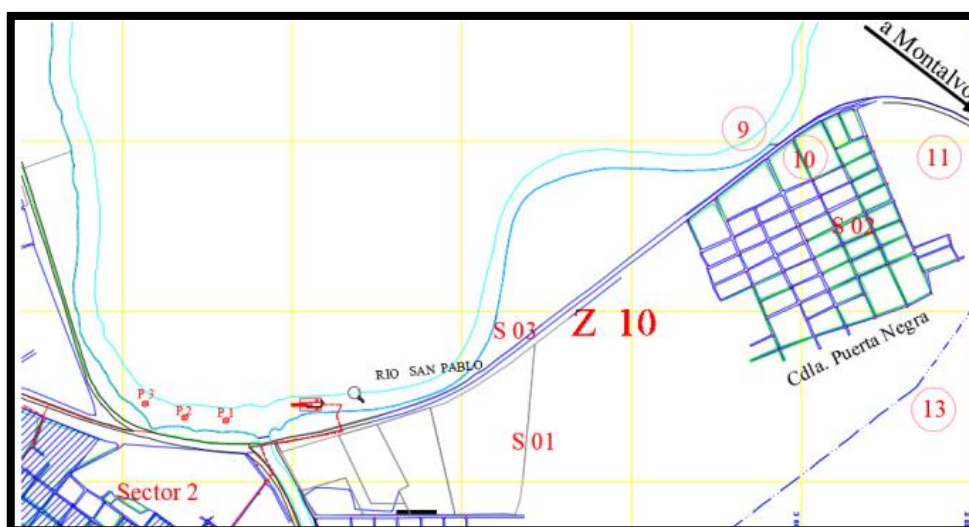


Figura 8. Plano de ubicación de la draga en el río San Pablo. Fuente Dragas
Figure 8. Map of the location of the dredge on the San Pablo River. SERDRA source

En la figura 8 se encuentra la ubicación de la draga en el río San Pablo. El perfil longitudinal del río San Pablo se midió desde la ciudadela de Puertas Negras hasta la confluencia del río San Pablo con el río Catarama aguas abajo; Este tramo tiene una longitud de aproximadamente 6.500 metros. El ancho del cauce de este río es de aproximadamente 80 metros en la mayor parte de su recorrido, siendo más angosto aguas arriba cerca de Puertas Negras donde su ancho es aproximadamente 60 metros. Se pudo observar en los perfiles que el eje principal del canal (de mayor profundidad) es muy inestable al pasar de un lado al otro o al centro del cauce.

En cuanto al río San Pablo, la característica de este río, reportada por las personas que trabajan en el dragado y moradores del sector, es que la capacidad de sedimentación y por ende la carga de sedimentos es muy baja. No se encontró información de algún estudio del transporte de sedimentos de este río, sin embargo, de la investigación realizada se determinó que existe una obra de riego realizada por CEDEGE que incluye un embalse con compuertas para controlar el río las Juntas (Figura 5), entre las poblaciones de Babahoyo y Montalvo. Cabe resaltar que en dicha obra hidráulica se presenta el problema de la sedimentación del reservorio, por lo que se presume que el motivo para la baja carga de sedimentos cerca de la ciudad de Babahoyo es que gran cantidad de éstos se queda depositada en dicha estructura.

3. Resultado del análisis del efecto del proyecto de relleno hidráulico de Durán por el dragado del río Guayas en el sector del Islote El Palmar

El ambiente geológico corresponde a depósitos aluviales de la Cuenca de deposición Guayas, afectada estructuralmente por la falla Guayaquil-Babahoyo-Santo Domingo. Se trata de un estrecho paso de unos 2000 metros entre el cerro Santa Ana y el cerro las Cabras de

Durán que son cerros testigos formados por los materiales rocosos que constituyen las estribaciones orientales de la cordillera Chongón Colonche, este paso restringe el sistema fluvial del Río Guayas compuesto por la confluencia del río Daule y Babahoyo en el sector de la puntilla pero con predominio del río Babahoyo que tiene un ancho de cauce de aproximadamente 3 veces el ancho del río Daule, en este ambiente geomorfológico se ha formado un islote de unos 300 metros de ancho y 600 metros de longitud, ubicado hacia la margen derecha del río Guayas debido al predominio del tributario principal que es el río Babahoyo.

Desde el punto de vista del Relleno hidráulico, los ríos Babahoyo y Daule, en su confluencia, se constituyen en una fuente casi inagotable de sedimento gracias al aporte de sedimentos del sistema fluvial Babahoyo- Daule y al control hidráulico que representa el estrecho paso entre el cerro Santa Ana y el cerro las Cabras. En comparación a la alta tasa de sedimentación del río Babahoyo y Daule los volúmenes a extraer con dragado resultan de muy poco impacto en el comportamiento hidráulico e incluso se podría esperar una recuperación del fondo del cauce en muy poco tiempo.

Por ser una zona de deposición y de cauce amplio, la operación de dragado no tendría un impacto significativo en la estabilidad de las orillas, sin embargo si podría haber afectaciones por erosiones de tipo local, ocasionado por cambiar la morfología del cauce y por tanto el patrón de circulación de la corriente. Sería recomendable realizar un estudio recurrente de batimetrías con periodicidad trimestral, durante y posterior a la ejecución del proyecto de dragado para evaluar los resultados de los estudios realizados y estar prevenidos a los cambios en la morfología del cauce posterior a la ejecución del mismo.

V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Propuesta de procesos de estudios mínimos necesarios para no afectar el

cauce fluvial por el proceso de dragado en obras de relleno hidráulico.

i. Estudio para determinar la forma natural del cauce y los taludes:

Levantamiento topo batimétrico del cauce para establecer secciones o perfiles del río, al menos cada 50 metros para conocer la sección en estado natural antes de ser dragado.

ii. Estudio para determinar el perfil de corte transversal del proyecto de dragado a lo largo del cauce:

Determinar la sección mínima de dragado necesaria para cubrir el volumen de relleno hidráulico requerido en el proyecto; considerando que la fuente de material o cantera para poder suplir la necesidad de material del proyecto de relleno hidráulico sería el volumen excavado mediante el dragado del área a ser intervenida.

iii. Estudio de afectación de las secciones y taludes del área intervenida con el dragado para el caso de canales muy anchos.

Se considera el canal muy ancho para el caso que la sección de dragado pueda mantener un retiro de la orilla sin afectar directamente la estabilidad del talud de la margen.

Al evaluar la estabilidad del talud del dragado; para el caso de sección muy ancha, como lo analizado en el Río Guayas frente a Guayaquil, la sección a dragar no tendría efecto en los taludes por lo ancho del cauce; sin embargo, si podría haber afectaciones por erosiones de tipo local, ocasionado por el cambio de la morfología del cauce y por tanto el patrón de circulación de la corriente, para lo cual se requerirá realizar un estudio hidráulico y de aportes de sedimentos del sistema fluvial que podrían realizarse mediante un modelo o corrida de un software de modelación hidráulica y

morfológica en el cual se calibraría el modelo con las condiciones sin dragar durante el monitoreo del área de estudio en un periodo de al menos 6 meses y luego se evaluarían los cambios del cauce generados por el dragado y además considerando todas las condiciones de frontera como morfología del cauce, mareas, corrientes, tipos de sedimentos, etc.

Una alternativa sería el desarrollo de un modelo reducido para la estimación de la respuesta del sistema fluvial, en el caso de no tener los recursos suficientes para realizar el modelamiento hidráulico detallado previo a la ejecución del proyecto de dragado, luego se podría realizar un estudio recurrente de batimetrías con periodicidad trimestral posterior a la ejecución del dragado para evaluar el modelo reducido y estar prevenidos a los cambios en la morfología del cauce posterior a la ejecución del mismo.

iv. Estudio de afectación de las secciones y taludes del área intervenida con el dragado para el caso de canales poco anchos:

Canales poco anchos se considera para el caso en que la sección de dragado no pueda mantener un retiro de la orilla y pueda afectar de forma directa a la estabilidad del talud

- **Exploración de suelos:** para estabilidad de taludes de las orillas se propone contar con al menos un sondeo para cada tramo de 500 metros de orilla en uno de los márgenes del río, cuya perforación alcance una profundidad que sea al menos un 50% mayor que la profundidad de dragado, considerando que podría desarrollarse una falla de fondo del talud. Adicionalmente se propone considerar los siguientes estudios de laboratorio: Clasificación y caracterización geo-mecánica de resistencia de los materiales (Ensayo de corte directo). Finalmente se sugiere la exploración de suelos en el fondo del cauce, mediante

calicatas cada 500 metros para determinar el espesor del material, tamaño y tipo de material que transporta el río y que serviría como cantera para el relleno hidráulico.

- **Modelación:** En el caso de secciones de cauce estrecho, una vez que se establezca la sección de dragado, se deberá realizar una modelación con el método de estabilidad de taludes basado en el principio de equilibrio límite (Ejemplo software geoslope o similar) en el cual deberá considerarse un factor de seguridad de al menos 1.5.

v. Estudio para evaluar la capacidad natural del cauce a regenerarse después del dragado del mismo:

- El estudio para evaluar la capacidad de re-sedimentación del sector intervenido por el dragado deberá basarse en los siguientes criterios:
 - a) Determinar si existen obras de infraestructura u obstrucciones naturales que retengan el sedimento aguas arriba.
 - b) Evaluar la capacidad de re-sedimentación del área en base a su condición geológica y geomorfológica considerando si es un sector de deposición o de erosión y evaluando la magnitud y capacidad del cauce para transportar sedimentos, considerando la relación entre la pendiente del cauce y el diámetro del material transportado por el mismo. Este análisis determinará la recurrencia que se puede tener para realizar rellenos hidráulicos en el área de estudio.

vi. Estudio para evaluar el riesgo y vulnerabilidad de tipo local que podría generarse por el aumento de la pendiente local del cauce en la sección próxima aguas arriba del tramo del río intervenido por el dragado.

- Realizar una evaluación de la vulnerabilidad de las orilla y en el lecho del cauce que se establecería por la existencia de obras de arte como pilas de puente, malecones o asentamientos poblacionales cerca de la orilla en la zona aguas arribas próxima a la zona de dragado hasta unos 100 metros, que se afectaría por el aumento de la pendiente que genera el área de dragado.
- Prever para la fase de ejecución la realización de un monitoreo mediante batimetrías recurrentes de las zonas más vulnerables; para que mediante el monitoreo periódico de las secciones excavadas disminuir el riesgo ante la posibilidad excavación excesiva por dragado o por un proceso erosivo de tipo local.
- Se plantea que en la fase de ejecución del dragado se controle que la excavación se realice respetando la sección de diseño mediante un control eficiente en la operación de la draga y mediante el monitoreo periódicos de batimetrías en el tramo del área intervenida.
- Finalmente en el caso no deseado de detectar alguna afectación del talud en una zona vulnerable se recomienda considerar, en los presupuestos de ejecución de la obra, un rubro de contingencia que permita que se realicen trabajos de estabilización de forma oportuna.

CONCLUSIONES

Se ha presentado las principales obras de relleno hidráulico que se han realizado en el Ecuador, mediante un mapa geográfico de ubicación de obras de relleno hidráulico superiores a 0.5 millones de m³ en relación a las cuencas hidrográficas a nivel nacional, evidenciándose que las más importantes se encuentran en la Cuenca del río Guayas, específicamente en el río Babahoyo en la ciudad de Babahoyo con un volumen acumulado de 8.5 millones de m³ y en el río Guayas entre las ciudades de Guayaquil y Durán con un volumen acumulado de 11.5 millones de m³ más un proyecto que está en

ejecución por 4.5 millones de m³ en la inmediaciones del Islote El Palmar.

Se ha evaluado las experiencias de relleno hidráulico en la Cuenca del río Guayas, en función de lo cual se pretende enriquecer el criterio técnico en la identificación de los procesos de planificación, control y ejecución de este tipo de obras a nivel nacional por los organismos responsables.

Se ha propuesto, para la fase de planeación de proyectos de relleno hidráulico (dragado), ciertos estudios mínimos requeridos específicamente con la finalidad de no afectar el cauce fluvial por el material excavado.

Se ha caracterizado geológicamente el área de estudio donde se han evidenciado las diferencias de los 3 puntos analizados:

1. El río Babahoyo en Babahoyo se ubica en la parte central de la región costa donde predominan depósitos aluviales de la plataforma Babahoyo.
2. Aguas abajo en la confluencia del río Babahoyo con el Daule, el ambiente geológico corresponde a depósitos aluviales de la Cuenca de deposición Guayas, en el cual el cauce es controlado por un estrechamiento del cauce de unos 2000 metros entre el cerro Santa Ana y el cerro las Cabras de Durán.
3. Finalmente, aguas abajo del estrechamiento, frente al centro y sur de la ciudad de Guayaquil geológicamente se trata de un ambiente netamente estuarino deltaico por la descarga del río Guayas en el Golfo de Guayaquil y el efecto de las mareas en la descarga del sistema fluvial Guayas, predominan procesos acumulativos que forman bancos arenosos y limos arcillosos y múltiples islotes y canales propios de las geoformas deltaicas.

AGRADECIMIENTO

Los autores del presente artículo desean expresar sus sinceros agradecimientos al

Servicio de Dragas de la Armada quienes fueron los benefactores de los datos fuentes objeto de análisis de la investigación; así como a la Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas de la Universidad de Guayaquil quién permitió realizar el presente proyecto de investigación.

BIBLIOGRAFÍA

- Armijos, M., & Montolío, T. (2008). Ecosistema Guayas (Ecuador), Medio ambiente y Sostenibilidad. *Revista. Retrieved* from <http://learningobjects2006.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/131>
- CAMAE. (2013). Problemas que afectan la Navegabilidad en el río Guayas. Guayaquil. Retrieved from <http://www.camae.org/files/Informar/Año2013/Octubre/Articulo/Articulo.pdf>
- Constitución de la República. (2008). Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021 Ecuador - Resumen y objetivos Foros Ecuador 2018. Retrieved October 18, 2018, from <http://www.forosecuador.ec/forum/ecuador/educación-y-ciencia/130556-pdf-plan-nacional-de-desarrollo-2017-2021-ecuador-resumen-y-objetivos>
- Guidelines for the beneficial use of dredged material, & T N Burt. (1996). Guidelines for the beneficial use of dredged material T N Burt, *Report SR*, 122. Retrieved from <http://eprints.hrwallingford.co.uk/855/1/SR488.pdf>
- Hinojosa, J. T. (2014). Proyecto de dragado para la rehabilitación del canal navegable del río Guayas frente a la ciudad de Guayaquil en base a estudios multitemporales. Retrieved from <http://repositorio.ulvr.edu.ec/handle/44000/1519>
- US ARMY. (1983b). *Disposal Alternatives (CHAPTER 4). Report* (Vol. EM 1110-2-).