

PRESENTACIÓN: ESTUDIO DE SEDIMENTACIÓN Y EVALUACIÓN AMBIENTAL DEL CANAL DE NAVEGACIÓN DEL PUERTO DE LA UNIÓN, EL SALVADOR.

La presentación realizada por el Ing. Vladimir Caballero, de la empresa GAMMA, fue dividida en tres partes:

A. PRIMERA PARTE. Aspectos generales sobre la planificación y sobre la ejecución del proyecto:

- Junio 2015: primera visita de especialista del CITMA a CEPA, como apoyo del MARN para atender el tema de la evaluación del sitio 5 como sitio de disposición final.
- Octubre 2016: firma de Memorando de Entendimiento CEPA-CITMA.
- Entre los objetivos perseguidos, se destacaron los siguientes:
 - Evaluación de propuesta de ingeniería, a fin de mantener un calado adecuado;
 - Definición de la idoneidad del sitio 5 como zonas de disposición,
 - Evaluación de factibilidad ambiental del proyecto.
- Estudios de respaldo revisados:
 - Estudios de factibilidad del proyecto Puerto de La Unión realizados entre los años 2000-2002
 - Estudios de la evaluación de la sedimentación realizados por JICA entre 2009 – 2014.
- Plan de ejecución: 2 etapas de campo: Seca (marzo – abril 2017); lluviosa (sept- oct 2017).
- Instituciones participantes:
UES (ICMARES, LABTOX, UES-OTE), MAG (CENDEPESCA), FUERZA ARMADA (Fuerza Naval), laboratorios de: Universidad Centroamericana Jose Simeón Cañas (UCA), Universidad Salvadoreña Alberto Masferrer (USAM), Fundación Salvadoreña de Desarrollo económico y Social (FUSADES).
- Inicio del proyecto: 11 de marzo de 2017. Las actividades en cada etapa fueron:
Etapas:
 - Etapa seca: Caracterización de comunidades de peces y fauna asociada al fondo marino.
Muestreo y Evaluación de calidad de agua y sedimentos (física, química y bacteriológica)
Mediciones de corrientes
Modelación de la circulación de agua y de sedimentos
 - Etapa lluviosa: Levantamiento batimétrico
Medición de corrientes marina y modelación de la circulación de sedimentos
Evaluación de calidad de aguas mediante indicadores

B. SEGUNDA PARTE: resultados de los trabajos realizados en el muestreo y de las modelaciones:

- **Sobre la caracterización oceanográfica de la Bahía La Unión:**
 - Patrón de marea semidiurna regular, con retardo de onda de 33 a 35 min entre el suroeste y el noroeste de bahía. Dato coincide registrados revisados.
 - Claras diferencias en salinidad. En periodo seco: valores máximos al noroeste y mínimos al sureste; en periodo lluvioso: distribución se invierte.
 - Corriente máxima en canal: entre Punta Chiquirín y Isla Zacatillo, en capa de fondo: En lluvias 3,5 m/s (6,8 kn); En seca 2 m/s (4 kn). **Para el expositor, datos altos, indican zona con fuerte arrastre de sedimento.**
 - Entre Punta Remolinos y Punta Estufa (al norte de isla Zacatillo) se aumenta tendencia a acumulación: velocidades de la corriente menores a 1,1 m/s (2,14 kn).
 - El Patrón de circulación de la bahía es el siguiente:
 - En época lluviosa: invertido, mayor flujo de agua saliendo por capa de fondo y un flujo menor entrando por capas de superficie e intermedia.
 - En época seca: circulación normal: agua tiende a circular hacia la salida tanto en superficie como en fondo, con velocidades menores a 50% que periodo lluvioso.

- **Sobre la caracterización de los sedimentos**

Caracterización Física: Arcillas Limosas o Limos Arcillosos orgánicos (OH, CH), de alta plasticidad y alto contenido de materia orgánica (Sistema Unificado SUCS). Sedimentos no son aptos para rellenos estructurales

Caracterización Química: Se clasifican como **no peligroso**, según Directrices para la caracterización del material dragado). Categoría A: material puede ser depositados sin restricciones en cualquier parte (mar y tierra), factible su reubicación en aguas del dominio público marítimo-terrestre (CIEM, 2015)

Caracterización Biológico: Sedimentos con alto % de materia orgánica de origen antrópico, debido a la influencia de la Ciudad.

- **Estado Ambiental de la Bahía de La Unión.**

- Ecosistema Moderadamente impactado (NW de la bahía de La Unión).
- Existen especies nocivas en fitoplancton que son indicadores de estrés y desequilibrio, asociado al deterioro del ambiente por la actividad antrópica en el golfo.

- **Sobre el transporte de sedimentos**

- Gobernado por influencia de corrientes de marea y por los cambios de salinidad producidos principalmente en estación lluviosa; En canal externo se suma la influencia del oleaje.
- Sedimentación producida por dos vías:
 - Suspensión de sedimentos por turbulencia generada por oleaje y las corrientes, aportes y deposición al debilitarse las corrientes
 - Corrientes de densidad, en la capa de lodo fluido por el efecto de la gravedad
Según lo evidenciado (factibilidad y diseño del PLU), el diseñador no tuvo en cuenta el segundo aspecto, lo que podría ser el origen de las tasas de sedimentación (MUY POR DEBAJO DE LOS REALES).
- A partir de las modelaciones, presentò graficas PROFUNDIDAD vrs KILOMETRAJE, adjuntando datos de asolvamiento al 1er año en el canal interno, para profundidades de 10, 12 y 14 metros.
De acuerdo con expositor, los altos valores requieren buscar soluciones efectivas y económica, que tomen en cuenta el aporte de los ríos, el sedimento en suspensión y la existencia de capas de lodos fluidos.

- **Sobre los aspectos considerados en el diseño del PLU**

Expositor externó conclusiones sobre las estimaciones de diseñadores del PLU (años 2002), Destacó

Sobre la estimación de la sedimentación, se refirió a dos estudios claves:

- “Sediment Transport Study, La Unión Port, Republic of El Salvador. HR Wallingford. Report EX 4544. March 2002”. Los autores declaran que no se contabilizó el azolvamiento potencial por lodos fluidos y reconocen la posibilidad que ocurra un rápido azolvamiento por esta causa, sobre todo en canal externo, **recomendando un estudio más profundo.**
- “Diseño de detalle para la reactivación portuaria en el departamento de La Unión, República de El Salvador. Reporte Final. JICA. NIPPON KOEI CO., LTD. Octubre de 2002”, donde llama su atención lo expresado por diseñador en el tema del canal de acceso: “..se requiere de un significativo trabajo de dragados de mantenimiento, existiendo aún falta de información sobre el nivel de la potencial sedimentación.” “... los estimados de relleno se basan en la data disponible y el uso de programas de alta tecnología, pero se debe notar que la predicción del transporte de sedimentos está sujeto a amplias variaciones. Por tanto, las tasas de relleno deben ser consideradas como un aproximado y monitoreos frecuentes del canal dragado debe ser un prerequisite.” Pero

Sobre la Ubicación del sitio del Proyecto puerto de La Unión

- “Estudio de reactivación portuaria en el departamento de La Unión de la República de El Salvador. Informe Final. JICA, CEPA. The Overseas Coastal Area Development Institute of Japan (OCDI). Nippon Koei CO. LTD. (NK). Noviembre de 1998”. El expositor destacó:
 - Se identificaron 3 sitios de posible ubicación con 4 propuestas de proyecto.
 - Después de realizar la evaluación general se recomendó como mejor alternativa B-3. De lo contrario recomendó considerar C-3 (sitio actual).
 - Entre los dos sitios del proyecto, se consideró preferible el C-3, por aspectos de costo y disponibilidad del área existente del Puerto de Cutuco (CEPA).

Expositor considera que de haberse usado sitio B, hoy se tendrían 2 km menos de canal, mayor profundidad del canal interno y por lo tanto, menor volumen de sedimentación.

Sobre el Frente de atraque de pasajeros y carga rodada:

Expositor expresó que, en base a su experiencia, la posición de plataforma interrumpe el transporte litoral y favorece el asolvamiento. En esta zona determinó profundidades inferiores a 5 m (muy inferior a la de diseño).

- **Zonas con necesidad de dragados hasta la profundidad de 10 m**

El expositor mostró las zonas que necesitan dragado, considerando una profundidad de 10 metros. Al respecto, Consultor expresó que datos manejados por CEPA en el Plan de Dragado 2014, se consideran aceptables.

De acuerdo con expositor, los materiales pueden ser dispuestos en zonas autorizadas por MARN (a 28 y a 32 km), pero podrían manejarse a menor distancia si se siguen recomendaciones para el uso del sitio 5.

- **Sobre la Evaluación del Sitio 5.**

Consultor hizo referencia a equipos utilizados en proyectos de dragado y las implicaciones que estos presentan, mostrando resultados de modelaciones de dispersión de sedimentos a diferentes periodos de tiempo (4 y 16 h). Al respecto destacó:

- Existe posibilidad que parte del sedimento en suspensión se incorpore a la dinámica natural, afectando temporalmente, los pedreros Los Negritos, Punta Chiquirín y las costas de Conchagüita.
- Coincide con los criterios del MARN al denegar el uso de este sitio, ya que:
 - El fenómeno acelera las tasas de sedimentación en el canal interno y las dársenas.
 - Se producirían afectaciones a la biota residente en la bahía por el deterioro temporal de la calidad del agua y por azolvamiento temporal de arrecifes rocosos colindantes (Los Negritos, Punta Chiquirín, Isla Conchagüita y Punta Estufa)
 - La liberación de nutrientes en la columna de agua favorecería el florecimiento de especies del fitoplancton, posibilidad de proliferación de especies tóxicas y la intoxicación de otras especies al alimentarse de estas, afectando su ciclo de vida.
- Sin embargo, basado en su experiencia y en comportamiento de sedimentos, RECOMIENDA:
 - **Evitar disposición del material empleando método de descarga directa desde tolva, en el Sitio 5.**
 - **Usar este sitio tomando las medidas para una disposición controlada directamente sobre el fondo, con lo que se evita el aumento excesivo de la turbidez de agua.**

C. TERCERA PARTE: Propuestas de Ingeniería para reducir sedimentos.

- **Construcción de training dike (dique de encausamiento)**
- **Disposición controlada del material de dragado en el Sitio 5**
- **Construcción de isla artificial**
- **Creación de zonas de reclamo**

○ **Mantenimiento con el uso de dragas de inyección de agua.**

Sobre el Training Dike. Se presentaron resultados de modelación de sedimentación para diferentes profundidades dragadas, comparando **con y sin este tipo de estructura**. Se destacó lo siguiente:

- El Training Dike incrementa la velocidad de las corrientes marinas; se produce una mejor área de arrastre, que se traduce en una disminución del asolvamiento. Se destacó lo siguiente:
 - Con un dragado a 14 m, se reduce sedimentación en 0,07 m/mes (39% inferior a tasa actual).
 - Con un dragado a 12 m, se reduce sedimentación en 0,12 m/mes (70% inferior a tasa actual).
 - Con un dragado a 10 m, se reduce sedimentación en 0,23 m/mes (88% inferior a tasa actual).
- Consultor afirmar: Training Dike logra reducción importante en volúmenes de dragado de mantenimiento.
- Consultor es de la opinión:
 - A pesar de alto costo, constituye solución más efectiva para enfrentar problemas de azolvamiento.
 - Es necesaria más modelaciones físicas y numéricas para buscar diseño más efectivo.

Sobre la Disposición Controlada. Colocación del material directamente en el fondo usando las tuberías de succión de la draga. Es un proceso inverso que sigue metodología similar a la creación de un recinto de disposición acuática confinada (DAC). Consultor destaca lo siguiente:

- El Sitio 5 puede utilizarse como sitio de disposición acuática confinada (DAC), ya que:
 - Por su morfología, cumple con características de un recinto de disposición acuática.
 - El material depositado a una profundidad > a 30m, sale como una mezcla sedimentos-agua, dentro del rango de densidades de lodos fluidos (1030 a 1270 Kg/m³).
 - Las fuertes corrientes generadas en la zona, impiden la permanencia de este material por un tiempo prolongado, no cumpliéndose totalmente con su confinamiento.
 - Por el régimen de corrientes de esta zona, es de esperar que la mayor cantidad de este sedimento se mueva hacia el exterior del golfo.
- El Consultor recomienda asimismo tomar en cuenta los aspectos siguientes:
 - **Esta forma de disposición no es la solución definitiva para disminuir las tasas de sedimentación.**
 - Temporalmente habrá aumento de sedimentación en canal externo al aumentarse aporte de sedimentos; sin embargo, una vez concluidos, regresará régimen natural; fondo tenderá nuevamente a su equilibrio.
- Para la ejecución de obras de dragado, recomienda entre otros aspectos:
 - Mantener vigilancia de la densidad del material en la draga y ubicación de la descarga.
 - Comenzar con el dragado del canal interno, después pasar al externo utilizando como zona de disposición los vaciaderos ya aprobados por el MARN.
 - Mantener un plan de control y monitoreo ambiental, a fin de controlar los impactos.
 - Concluida la obra, conveniente evaluar los resultados a fin de valorar la profundización adicional.
- El Consultor opina que esta solución reduce en un 30% el costo del dragado, respecto a la disposición en los sitios ya aprobados por el MARN.

Sobre las Zonas de Reclamo. Identifica 2 zonas ubicadas en terrenos de CEPA. La zona No 2 perteneciente a la fase II del desarrollo portuario (situada al sur de Puerto CORSAIN) posee una capacidad estimada de 0.348 millones de m³. La zona No 1 posee una capacidad estimada de 1.74 millones de m³. Valoraciones:

- Ventajas: Se reducen distancias de navegación para la descarga de la draga
- Desventajas:
 - No cuentan con la capacidad necesaria para acoger todo el material dragado
 - Una vez agotada su capacidad, no cumplen ninguna función alternativa

- Como el material a dragar no es apto para rellenos estructurales, es un obstáculo para la construcción de futuras facilidades, aunque no impiden su construcción.
- Existen quebradas que funcionan como desagüe en momentos de grandes lluvias, provenientes de las laderas del volcán Conchagua.
- El Consultor presentó costos estimados de construcción:

Sobre la Isla Artificial. Ubicada al Nororiente del PLU, frente a las instalaciones portuarias; capacidad estima de 3.3248 millones de m³. Consultor hace las siguientes valoraciones:

- Ventajas:
 - No existen afectaciones a la zona costera
 - No constituye obstáculo para futuras ampliaciones, ni para las operaciones de buques
 - Capacidad para ser ampliada en futuros trabajos de dragado
 - Se inicia solución para disminuir tasas de sedimentación en dársena y canal interno.
 - A futuro, puede ser utilizada para instalaciones turísticas con materiales ecológicos, creación de hábitats, muelles para marina deportiva, etc.
- Desventajas: No factible si no es parte de estrategia de mayor envergadura, tal como construcción de Training Dike.
- Consultor presentó costos de construcción, los cuales son mucho mayores que los costos de los reclamos.

Sobre el Dragado con Inyección de agua. Presentó técnica de dragado hidrodinámico, usando dragas de inyección de agua (WID), en la que los sedimentos son puestos en suspensión en forma de lodos fluidos y transportados fuera de la zona de trabajo con el aprovechamiento de procesos dinámicos naturales. Considera una alternativa viable **para reducir costos de dragado de mantenimiento.** Valoraciones:

- Ventajas:
 - Si condiciones batimétricas e hidrodinámicas son adecuadas, se pueden tener producciones relativamente altas, a bajos costos.
 - Tripulación mínima y sin necesidad de equipos auxiliares.
 - Es una operación continua. No interrumpe operación para transportar material al sitio de descarga.
 - Sedimento permanece en ambiente natural: erosión, transporte y deposición; no es sacado del mismo.
- Desventajas
 - Es de uso más restringido que otras metodologías, por las condiciones específicas de lugar.
 - En zonas donde corrientes estén regidas por mareas con alternancia en la dirección, se necesitará en muchas ocasiones detener el dragado.

RECOMENDACIONES. El Consultor expresó las siguientes recomendaciones a CEPA.

1. De las propuestas presentadas, el training dike constituye la solución más efectiva para enfrentar los problemas de azolvamiento en el canal interno y disminuir a largo plazo los costos por dragados de mantenimiento, a pesar de tener como desventaja su alto costo inicial.
2. La disposición controlada del sedimento en el Sitio 5 se muestra como una alternativa de disposición del material dragado, viable, a fin de lograr rápidamente poner en operaciones a corto plazo el PLU, con un nivel de costos adecuado anualmente a las posibilidades actuales.
3. Es necesario presentar a corto plazo al MARN, los resultados del presente estudio, a fin de que sea validado, y ejecutar el proyecto de dragado con la variante seleccionada.

Relator

Marcos Vásquez, Ing. Civil.
Gerencia de Ingeniería – CEPA.