

# USOS PRODUCTIVOS DEL MATERIAL DRAGADO

JOSE SIERRA ANTIÑOLO (\*)

**RESUMEN.** En el presente artículo se describen algunos de los usos a que pueden estar sometidos los materiales procedentes del dragado de los fondos portuarios, estén contaminados o no. Los sedimentos portuarios utilizados como áridos tienen aplicación en áreas tan diversas como las obras públicas, el medio ambiente o la industria. Con esta nueva tendencia se pretende, por una parte, dar salida a un material tradicionalmente indeseable y por otra, generar unos beneficios económicos o un bienestar social.

**ABSTRACT.** *In the present paper some of the probable uses of the materials proceeding from the port bottoms, either contaminated or not, are here described. The port sediments, used like aggregates have applications in such a different fields as the public works, the environment or the industry. From this new trend we seek, on one hand to find an outlet for a traditionally undesirable material and on the other hand generate economic benefits or a social welfare.*

## 1. INTRODUCCION

Tradicionalmente no se ha concedido prácticamente ninguna atención al vertido de los materiales dragados. Únicamente se fijaban unas premisas mínimas para determinar la zona de vertido, en base a las siguientes consideraciones (dragado de mantenimiento):

- Vertido realizado en la plataforma continental, mediante gánguiles o dragas provistas de cántara.
- La zona de vertido no debe entorpecer el tráfico marítimo ni perjudicar las instalaciones submarinas existentes.
- La ubicación de la zona de vertido es la más cercana a la bocana del puerto, teniendo en cuenta el transporte sólido litoral, de tal forma que los materiales vertidos no sean nuevamente depositados en la bocana y canal de acceso del puerto.

La creciente industrialización (→ contaminación) de las zonas portuarias, la falta de espacio, así como una mayor concienciación por los problemas ambientales, han inducido al estudio de los posibles impactos negativos sobre el medio ambiente, y consecuentemente al desarrollo de nuevas técnicas y zonas de vertido.

En la década de los 70 se programaron una serie de estudios encaminados al conocimiento del comportamiento de los materiales dragados, y sus posibles efectos negativos sobre el medio ambiente a medio y largo plazo. Fruto de estas investigaciones se empieza a elaborar una incipiente normativa.

En la actualidad el London Dumping Convention\* (LDC), ratificado por España en 1975, legisla el vertido del material dragado al mar. Dicho convenio es constantemente puesto al día mediante las «Consultative Meetings», en las cuales se discute el estado actual de conocimientos, con vistas a incluir en el anexo III del LDC las modificaciones y/o ampliaciones pertinentes. A finales de octubre de 1989 se celebrará la 12.ª Reunión Consultiva.

Paralelamente a los estudios e informes científicos que dan lugar a esta normativa u otras de carácter más restringido, existen una serie de trabajos cuyo fin es encontrar soluciones remuneradas (económica o socialmente) al problema de la disposición final del material dragado, esté contaminado o no. Obviamente estas soluciones van ligadas a la normativa vigente, y de algún modo ayudan a tomar decisiones más racionales sobre el destino final de los fangos, por tanto no cabe considerar a éstos como desechos o residuos inútiles, sino más bien como un material aprovechable por las obras públicas, el medio ambiente o la industria.

De forma general cabe decir a este respecto que las razones de las actuales reutilizaciones, entendiéndose como tales la utilización de materiales de «segunda clase», son variadas y complejas, ya que según los diferentes autores, habría que buscarlas: bien en la crisis energética; bien en la enorme cantidad de residuos que se generan anualmente; o bien en los problemas ambientales que crean, y por supuesto en el ingenio humano.

Básicamente los mecanismos que dan lugar a la utilización de residuos son de tipo económico y medio am-

(\*) licenciado en Ciencias Químicas. Centro de Estudios de Puertos y Costas del CEDEX (MOPU).

\* Un resumen del mismo puede encontrarse en el número 68 de esta revista.

biental. En efecto, los residuos no son problemáticos hasta que alcanzan un determinado volumen que podríamos denominar «crítico», el cual dependerá de la naturaleza y peligrosidad de cada residuo. Antes de alcanzar ese «volumen crítico» los residuos se eliminan sin problemas por dilución o confinamiento. Cuando se sobrepasa dicho volumen puede ocurrir que, o bien el medio no es capaz de asimilar tal cantidad de residuos sin sufrir deterioros (dilución), o bien que no existe suficiente superficie para contenerlos (confinamiento).

A partir de este punto es necesario tratarlos, bien para que el medio acepte más cantidad de residuos menos «corrosivos», o bien para disminuir su volumen. Otra posible solución consiste en habilitar nuevas zonas de vertido, las cuales estarán cada vez más alejadas del lugar de producción. En ambos casos se incrementan notoriamente los gastos. A medida que los costes aumentan van surgiendo paulatinamente actividades de reciclado o reutilización, las cuales generalmente suponen un beneficio económico o bienestar social. Estos beneficios se traducen directa o indirectamente en una disminución de los costes ocasionados por la disposición final de materiales tradicionalmente desechados.

En lo que respecta al material de dragado son ya numerosas las publicaciones y las actuaciones en este sentido, aunque si bien hay que señalar que las reutilizaciones esporádicas de tales residuos se vienen utilizando de tiempo atrás, bien sea en forma de regeneración eventual de playas o en la construcción de muelles o diques.

Actualmente los usos productivos a que puede estar sometido un material procedente del dragado son:

- Regeneración de playas.
- Creación de zonas húmedas (wetlands).
- Creación de tierras emergentes sobre aguas someras.

El vertido en tierra firme mediante relleno hidráulico puede considerarse como uso beneficioso cuando, además de utilizar una parcela de tierra como vertedero, se persigue el objetivo de lograr una superficie de tierra apta para un uso determinado, cuando antes del relleno no lo era (v. gr. mejora del sustrato, nivelación de terrenos, etc.).

La técnica de la creación de tierras emergentes, bien sea en forma de islas, bien en forma de península, o simplemente sea la ampliación de la línea de costa, es similar a la del vertido en tierra firme, es decir, se realiza mediante relleno hidráulico. En este caso los terrenos ganados al mar pueden tener un uso industrial, comercial, de desarrollo urbano o de creación de hábitats para la vida animal.

## 2. REGENERACION DE PLAYAS

La utilización del material dragado en la regeneración de playas es una técnica bastante extendida; sin embargo, para llevarla a efecto, deben reunirse una serie de factores, entre los cuales cabe destacar:

- Proximidad entre la zona de dragado y la playa a regenerar.
- Necesidad de verter el material dragado cerca de la línea de costa, por lo que serán necesarias dragas de succión provistas de emisario flotante, o bien que los gánguiles puedan verter las arenas en circunstancias tales que el transporte sólido off-shore → on shore sea efectivo.
- Coincidencia entre los programas de dragado portuario y los programas de alimentación de playas.
- La textura y el volumen del material a dragar deben ser compatibles con el material y superficie de la playa.

Aunque para la regeneración efectiva de una playa es necesario un estudio previo de dinámica litoral, ubicación de la zona de vertido, tamaño de grano, volumen necesario, pérdida de finos, etc., se incluyen, a título de ejemplo, las siguientes indicaciones de «23rd. International Navigation Congress»:

- La arena de alimentación deberá tener un  $D_{50}$  (tamaño medio de grano) de 1 1/2 a 2 veces el existente naturalmente en la playa. Un alto contenido de finos, debe evitarse, ya que produce una inestabilidad inicial por rápida pérdida de los mismos.
- Alrededor del 20 o 30 % del material añadido se pierde durante los trabajos.
- Durante los procesos iniciales de distribución, la pendiente de la playa deberá mantenerse entre 1:15 y 1:25 para evitar la formación de una berma inestable.
- En algunos casos puede ser necesario la construcción de defensas para prevenir la rápida erosión de la nueva playa por efecto de las corrientes litorales.

No obstante hay que señalar que estas indicaciones simplistas distan mucho de ser las normalmente empleadas para la regeneración de una playa, existiendo cálculos como los de JAMES y los del CERC mucho más elaborados y positivos.

## 3. CREACION DE ZONAS HUMEDAS PARA PRODUCCION DE BIOMASA

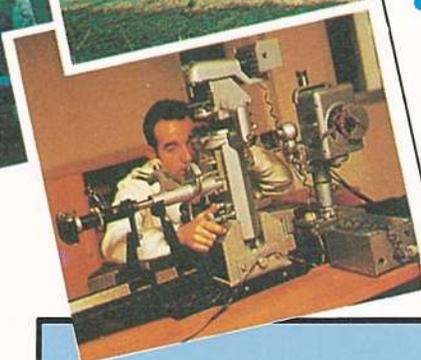
El material de dragado poco contaminado puede utilizarse para la creación o mejora de zonas húmedas en estuarios, zonas intermareales, bajíos, etc. Dichas actuaciones están aún en desarrollo, y nacen como consecuencia de la escasez de zonas de vertido cercanas al lugar de dragado, dado que el vertido sobre tierra firme de materiales no contaminados es costoso, debido a los precios de los terrenos costeros, los cuales tienen una utilidad más inmediata y productiva como terrenos urbanizables o agrícolas.

La creación de zonas húmedas productivas tiene una rentabilidad y repercusión social positivas, por lo que su puesta en práctica no tiene tantos inconvenientes como el mero vertido en tierra de materiales poco o nada contaminantes, tal como pueden ser los materiales areno-

**GEOLOGIA, GEOTECNIA, CONTROL DE OBRA,  
CONTROL MEDIO AMBIENTAL Y LABORATORIOS.**

**FABRICACION DE: ADITIVOS PARA MOLIENDA DE  
CEMENTO Y PARA HORMIGON, CEMENTO ROMPEDOR  
DE ALTA SEGURIDAD** (silencioso, no explosivo).

**PROYECTOS, ESTUDIOS, ANALISIS Y ENSAYOS**



- Localización y estudios de yacimientos.
- Sondeos y ensayos de campo
- Ensayos de identificación
- Ensayos mecánicos
- Ensayos de control y caracterización
- Descripción geológica
- Características Geotécnicas
- Análisis y caracterización de minerales y concentrados.
- Análisis de carbones.

**CIDE**

**Compañía Internacional de Investigación y Ensayos, S.A.**

Carretera Madrid-Toledo, Km. 50 (desvío de Cabañas de la Sagra). 45520 Villaluenga de la Sagra (Toledo).  
Tels. (925) 53 03 00 - 53 06 12 - 53 03 09. Fax. (925) 53 11 36 • Azorín, 2. 13170 Miguelturra (Ciudad Real). Tel. (926) 22 98 36

LABORATORIO ACREDITADO POR EL MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA PARA LOS ENSAYOS DE YESOS, CEMENTOS Y SUS PREFABRICADOS • LABORATORIO HOMOLOGADO POR EL MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS Y URBANISMO EN LAS CLASES A (HORMIGONES) y C (SUELOS) • LABORATORIO ACREDITADO POR LA RED ESPAÑOLA DE LABORATORIOS DE ENSAYO • EMPRESA COLABORADORA DE LA ADMINISTRACION (ECA) EN MATERIA DE MEDIO AMBIENTE.



Pilotes prefabricados

Pilotes "in situ"

De pequeño y gran diámetro

Pantallas continuas

Vibroflotación

Jet Grouting

Técnicas especiales

Sondeos  
geotécnicos

OFICINAS CENTRALES

Alcalá, 65 - 4º Dcha. • 28014 Madrid

Teléfonos: 593 16 87- 593 06 70

Telex: 22038 GROUT E • Telefax: 276 88 58



so-s de las bocanas y primer tramo de los canales de acceso de los puertos.

Dentro de este tipo de actuaciones se pueden distinguir claramente dos proyectos: la mejora de zonas húmedas o la creación de recintos para acuicultura.

### 3.1. MEJORA DE ZONAS HUMEDAS

A los efectos de este apartado el término «zonas húmedas» incluye todas aquellas extensiones de terreno cubiertas por aguas someras de forma intermitente, es decir, las zonas intermareales, ya sea en estuarios, rías, marismas, esteros o bajíos.

El objeto de esta actuación es, por una parte, recuperar las zonas húmedas y, por otra, aumentar la productividad de organismos de pesca en dichas zonas, por medio de la creación de hábitats vegetales.

La mayor parte de las actuales investigaciones sobre hábitats se ha enfocado sobre la vegetación de los sedimentos, tales como las praderas submarinas o la vegetación intermareal. Estas áreas vegetales son el hábitat idóneo de muchas especies juveniles, ya que les proporciona alimento y protección contra los depredadores. Sin embargo y a pesar de la importancia de estas zonas, no hay que olvidar que tanto las aguas abiertas profundas como las someras, forman el ecosistema marino, existiendo una fuerte interrelación entre los distintos hábitats, ya que las fases larvarias, juveniles y adultas de numerosas especies se desarrollan en distintos hábitats.

Dada la importancia de las zonas de estuario para la economía de la región es necesario preguntarse una serie de cuestiones antes de transformarlo:

- A. ¿Es crítico, para los organismos de pesca, desplazar un hábitat de aguas abiertas hacia un estuario?
- B. ¿Existe una relación de algas bénticas aptas para estuarios, y hay variación con el tipo de organismo de pesca o localización geográfica?
- C. ¿Las zonas húmedas tales como esteros o marismas son críticas para las especies de pesca propias, o pueden cambiarse sus funciones por otros hábitats?
- D. ¿Podrán crearse marismas artificiales con rendimientos similares a los de las naturales?

Las respuestas a estas cuestiones requieren información acerca del valor relativo de estos hábitats, proporcionando así los requerimientos indispensables de las especies de pesca.

El «National Marine Fisheries Service» (NMFS) junto con los responsables del dragado en USA (CE) han elaborado un programa conjunto, denominado MOA, en el cual se investiga sobre la manipulación experimental de la vegetación de los estuarios y su incidencia sobre la población de infauna y epifauna béntica.

Las experiencias sobre la interacción entre la vegetación y las especies de pesca se han llevado a cabo en terrenos pantanosos salinos de la costa de Texas. Las especies animales y vegetales utilizadas han sido las típicas de esa región (camarón pardo, camarón blanco y spartina alterniflora), aunque según los autores (THO-

MAS, MINELLO, ZIMMERMAN, EDWARD), pueden extrapolarse a otras regiones con otras poblaciones típicas.

Una de las dificultades con las que ha tropezado este estudio ha sido la ineficacia de los sistemas tradicionales de muestreo de especies animales bajo estas condiciones, por lo que se ha desarrollado un largo cilindro «Drop-sampler» (ZIMMERMAN et al., 1984). Con el empleo de este muestreador ha demostrado que organismos juveniles de especies tales como el camarón pardo, el cangrejo azul y la trucha jaspeada seleccionan zonas con spartina alterniflora, frente a otras desprovistas de vegetación. En otras marismas dominadas por otras especies vegetales tales como el Scirpus maritimus o el Juneus roemerianus, se ha observado la misma predilección.

Otras especies animales, v. gr. camarón blanco, no sienten especial predilección por las zonas con vegetación. Las diferencias entre las dos especies de camarón estudiadas estriban en la diferente adaptación al medio frente a los depredadores.

Las experiencias señalan como conclusión que el camarón pardo requiere zonas pantanosas provistas de vegetación para su supervivencia (requerimiento crítico).

Una vez comprobada la incidencia positiva que ejerce la vegetación estuaril sobre las diversas especies animales comerciales, el NMFS ha dirigido sus investigaciones hacia la plantación de especies vegetales (Spartina alterniflora) sobre material dragado, dispuesto en aguas someras.

La tecnología para el trasplante de Spartina alterniflora, no presenta inconvenientes. Las marismas trasplantadas en Stedman Islan en la bahía de Redfish, en la bahía de East Matagorda y en la Bahía Chocolate cerca de Galveston, ha dado rendimientos superiores a los de las marismas naturales adyacentes (fig. 1). La Spartina alterniflora aparece en estas zonas densa, robusta y muy entallada.

Con este gráfico se muestrea el número de tallos (plantones) en marismas naturales y «artificiales» y la cantidad de biomasa por cada grupo de tallos. Sin embargo, hay que señalar que, además de la presencia de vegetación, existen otros factores, que inciden directamente en el grado de colonización, por especies animales, de las zonas pantanosas artificiales. Aparentemente los materiales dragados ligeramente contaminados por materia orgánica, favorecen el desarrollo de las especies vegetales tal como se muestra en la figura 1, debido al contenido en nutrientes (N y P) sin embargo la presencia de estos nutrientes favorece también la producción primaria (fitoplancton), la cual es frecuentemente responsable de la eutrofización. Como consecuencia de la eutrofización los niveles de oxígeno disminuyen (en Stedman Islan el oxígeno disuelto durante la noche es menos de 2 ppm), resultando que bajo estas condiciones hipóxicas se limita la utilización de estas zonas, como hábitats de especies animales comerciales. Se ha comprobado también que en estas marismas artificiales

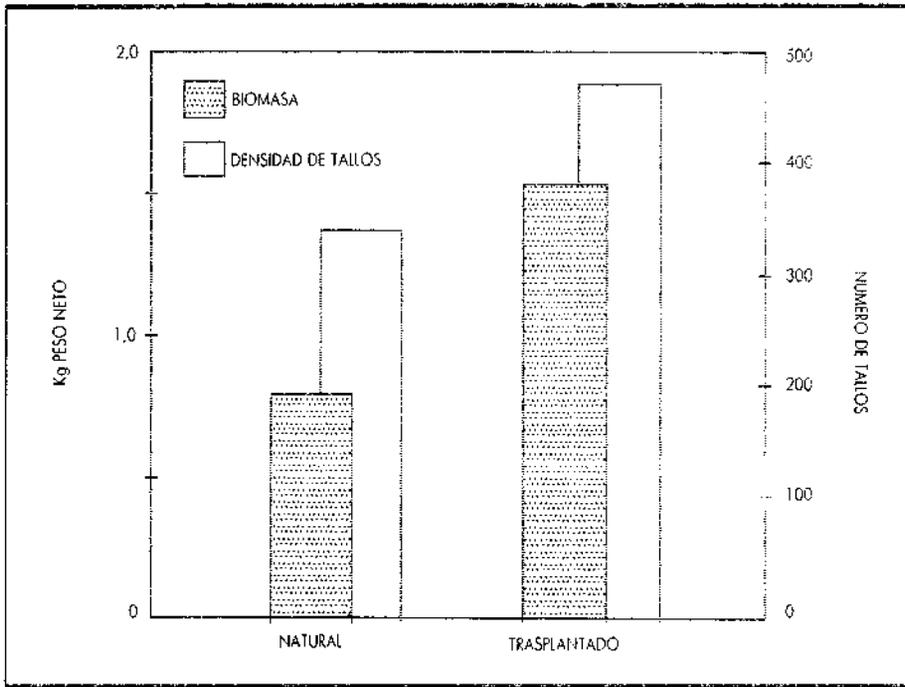


FIGURA 1.

existen zonas estériles localizadas a lo largo del borde elevado de la algua. SENECA y otros (1980) han sugerido que la existencia de tales zonas se debe al «stress» salino y otros factores relacionados con el ciclo de mareas, y la poca capacidad de drenaje del suelo en el interior de la laguna.

En definitiva, la densidad de especies animales comerciales en las marismas «artificiales» de la costa de Texas es claramente inferior a las de las marismas naturales adyacentes, a excepción de las formas juveniles del cangrejo azul (fig. 2). A la vista de los resultados se deduce que la presencia de vegetación no es, por sí mis-

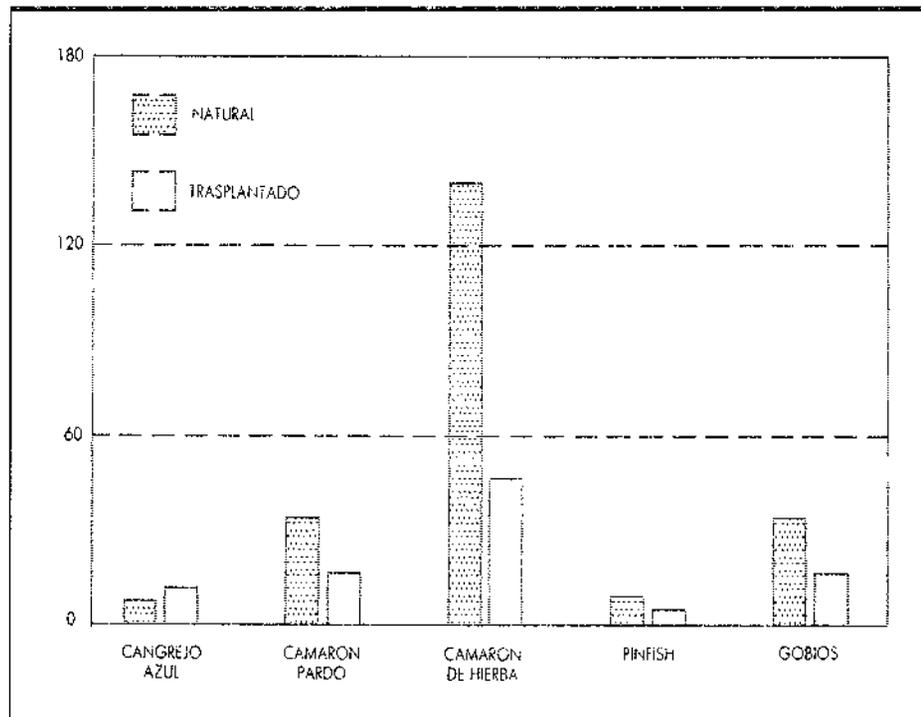


FIGURA 2.

ma, la causante de una alta productividad en las marismas, y que el trasplante de especies vegetales a pantanos artificiales sólo debe realizarse sobre pequeñas porciones de éstos, y que deben tenerse en cuenta otros factores en el diseño de tales marismas. La experiencia adquirida en el estudio de marismas naturales altamente productivas (v. gr. las del noroeste del golfo de Méjico), señala que la existencia de canales de comunicación entre las lagunas, el gran número de éstos y su extensión, inciden positivamente en la productividad.

Actualmente se están ensayando por el NMFS los modelos de mejora de hábitats con material dragado, teniendo en cuenta las experiencias anteriores. En la bahía de Galveston (Texas) las investigaciones van dirigidas hacia la creación de marismas muy reticuladas. Los factores de diseño implican por una parte, que una gran porción de la superficie de dichas marismas se encuentre por debajo de la pleamar y, por otra, que la intercomunicación entre lagunas se realice por medio de canales en forma de U, de tal suerte que se incrementa notablemente la existencia de bordes, dentro de una superficie dada (marisma).

En la costa de Carolina del Norte los experimentos van dirigidos hacia la accesibilidad de las marismas artificiales por parte de los organismos marinos. El diseño de estas zonas se ha ampliado a áreas afectadas de diferentes maneras por los ciclos de marea, ya que parte de la zona húmeda diseñada se encuentra permanentemente cubierta por las aguas y conteniendo, además, un denso hábitat de algas.

### 3.2. CREACION DE RECINTOS PARA ACUICULTURA

La disposición de materiales en tierra generalmente lleva asociada la construcción de un recinto, dentro del cual se producen los fenómenos de: sedimentación, desagüe, secado y consolidación del material dragado. Los recintos tienen una vida media que depende de las dimensiones de diseño y de la cantidad y periodicidad con que se vierte el material dragado. Una vez finalizado el relleno hidráulico y producidos los fenómenos anteriormente citados, los terrenos creados pueden utilizarse para urbanizarlos o para actividades agrícolas, aunque dentro del término «otros usos comerciales» pueden incluirse la caza o el pastoreo.

El lapso de tiempo acaecido entre la construcción del recinto y la finalización de sus funciones como vertedero (lo cual implica el inicio de actividades productivas sobre él), puede aprovecharse la producción de biomasa animal.

Para llevar a cabo esta práctica se deben tener en cuenta dos factores determinantes:

- Toxicidad del material dragado sobre la vida animal.
- Coordinación entre las actividades de dragado y las de acuicultura.

El primer factor es decisivo para la viabilidad de esta alternativa. Se sugiere (TATUM, 1983) que las concen-

traciones de contaminantes en los tejidos de las especies cultivadas deben ser similares a las que contienen las mismas especies en su hábitat natural. Se hace pues necesario un estudio de toxicidad y bioacumulación del material dragado, sobre la especie a explotar.

La coordinación entre las dos actividades es posible cuando se sobredimensionan los recintos en función del volumen de dragado que reciben anualmente (o períodos de tiempo suficientemente largos como para que los organismos cultivados puedan ser recolectados).

Si el recinto, con las adecuadas dimensiones, es compartido, mediante la construcción de malecones secundarios interiores, las operaciones de acuicultura pueden ser continuas (LUNZ et al., 1984).

El CE está realizando un proyecto de estas características en Brownsville Ship Channel cerca de Brownsville, Texas.

En este estudio se cría un camarón blanco, el *Penaeus vannamei*, en dos recintos de algo más de 50 hectáreas (125 acres).

En 1987 se podrán obtener dos cosechas en uno de los recintos, para lo cual uno de los recintos se utilizará en 1988 habiendo recibido los materiales dragados en 1987.

La zona donde se ubica el proyecto es una llanura, de suelo poco permeable, constituido por arcillas calcáreas salinas y lomas (dunas) de arcilla.

Algunas porciones de la llanura han sido inundadas esporádicamente por aguas hipersalinas procedentes del desbordamiento de la laguna Madre; la vegetación consiste en roales de algas verdeazuladas y plantas halofitas dispersas.

El agua necesaria para la acuicultura procede del Ship Channel, la cual tiene unas buenas características en cuanto a salinidad, oxígeno disuelto y temperatura. Antes del llenado del recinto el agua se filtra a través de una malla de 250 micras para eliminar a los depredadores y otros organismos que compitan con la especie cultivada.

En un principio se dispondrán cuatro millones de camarones (*P. vannamei*) en estado postlarvario, dentro de un estanque fertilizado de 5 acres. Después de 20 o 30 días se transferirán a los recintos adyacentes (50 ha aproximadamente) en los cuales serán alimentados con piensos comerciales con un 30 % de material proteico, durante un período de 88 días, al cabo de los cuales serán recolectados.

### 4. CREACION DE TIERRAS EMERGENTES

En el apartado anterior ya se ha mencionado el relleno hidráulico como un uso productivo (producción de biomasa); en el presente se discuten los aspectos técnicos y medioambientales de dicha práctica, así como los usos a que pueden estar sometidos los terrenos, una vez finalizadas todas las operaciones.

El relleno hidráulico puede definirse como la elevación del nivel del suelo con materiales de relleno procedentes de las operaciones de dragado. Cuando esta ope-

ración tiene como fin el ganar tierras al mar se denomina, en lengua inglesa, «Reclamation». Las razones por las cuales se hace necesaria la reclamación de estos materiales se expresan a continuación:

1. Es menos costoso alojar el material dragado en una zona de reclamación, que verterlo bajo el mar.
2. Es más aceptable ecológicamente reclamarlo, que verterlo bajo el mar.
3. La reclamación se hace necesaria para el desarrollo portuario, industrial, agrícola o recreacional.

Cuando las operaciones de dragado se realizan offshore, es obvio que verterlo bajo el mar es más económico; sin embargo cuando la distancia entre el punto de dragado y el de vertido es superior a 10 km, compensa económicamente verterlo en tierra. Dietze ha elaborado un gráfico (fig. 3) en el cual se comparan los costes de las diferentes alternativas de vertido, en función de la distancia, y de la capacidad del material para ser bombeado. Las alternativas de Dietze son:

- M* = Vertido en mar.
- T* = Bombeo directo a tierra.
- MT* = Vertido en una zona de almacenamiento y posterior bombeo a tierra.

Las distancias de *M*, *T* y *MT* están expresadas en kilómetros.

Así por ejemplo, si se supone una distancia al lugar de vertido en mar de 40 km (*M* = 40 km), y el material a bombear es una arena fina de fácil bombeo, ya sea directamente (*T*), o bien indirectamente (*MT*), se podrán bombear a tierra si la distancia *T* o *MT* es inferior a 20 km, mientras que si *T* o *MT* es superior a 20 km el vertido será más ventajoso (económicamente) en el mar.

Nagel en su «Reclamation of Spoil with Hopper Suction Dredgers» establece, de forma similar a Dietze, una línea fácilmente definible, la cual separa la reclamación en tierra del vertido en mar, desde el punto de vista económico.

Según HUBBARD y MERBICH (1977) la distribución de las reclamaciones en función de su uso, sobre un total de 140 casos estudiados, fue la siguiente:

	(%)
Comercial e industrial .....	46
Recreacional .....	16
Hábitat para aves .....	10
Agrícola .....	6
Control hidráulico .....	6
Transporte .....	5
Usos futuros e investigación .....	5
Otros, v. gr. militar, residencial, etc. ....	6

Los motivos del dragado, del cual resultaron las reclamaciones fueron los siguientes:

	(%)
Dragado de mantenimiento .....	39
Mejora de puertos o canales .....	24
Creación de puertos o canales .....	20
Minería .....	9
Mejora de la calidad del agua .....	6
Otros .....	2

Muchos de los trabajos arriba expuestos se han iniciado en los últimos 20 años. En general se aprecia un considerable esfuerzo para reutilizar el material dragado por razones económicas o medio ambientales.

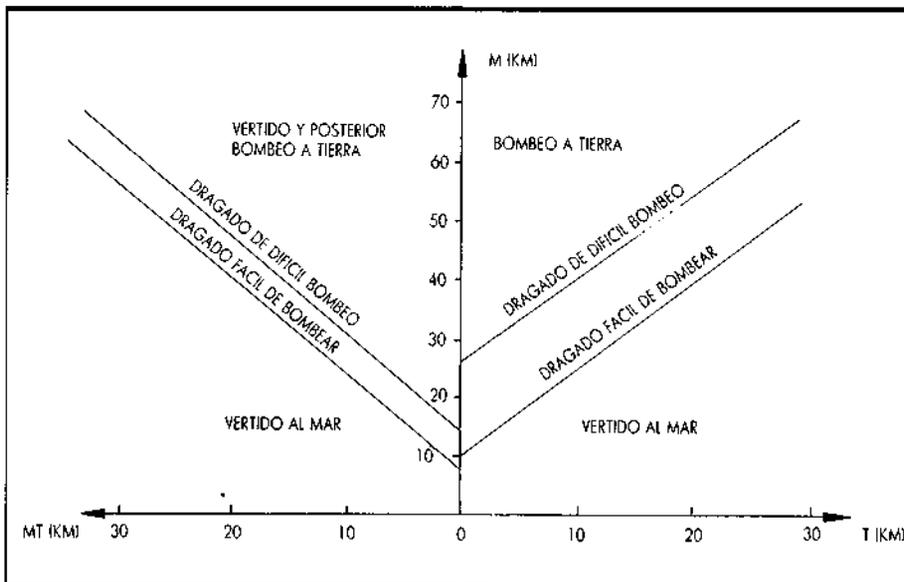


FIGURA 3. Costes comparativos de las alternativas de vertido, según Dietze.

#### 4.1. VIABILIDAD DE UNA RECLAMACION

Entre los numerosos factores que afectan a la viabilidad y posibilidad técnica de cualquier esquema de reclamación se describen los siguientes: Posesión de tierra; El efecto de la reclamación en el régimen hidráulico; La estabilidad de la tierra en la que el relleno va a ser depositado; Características del material de relleno y último valor económico; El grado de idoneidad del material para la construcción de los diques.

El esquema económico de la reclamación está muy influido por:

- El tipo de planta de dragado requerida para llevar a cabo el trabajo.
- La idoneidad del material dragado para la reclamación.
- El valor monetario final de la tierra reclamada.
- El costo del vertido del material dragado en otra parte y llevar el relleno desde otra fuente.

##### 4.1.1. Posesión de la tierra

La creación de una nueva línea de costa, bien sea adyacente a la costa anterior o bien sea en forma de isla, crea una situación de orden jurídico que es necesario dilucidar.

Esta nueva tierra pertenecerá a la Administración (central o autonómica) y deberán establecerse los cauces necesarios para que exista un concesionario que explote realmente sus posibilidades.

##### 4.1.2. Efectos de la reclamación sobre el régimen hidráulico

Tanto la ganancia de tierras al mar, como el dragado de fondos marinos, pueden afectar al régimen hidráulico de la zona. Se hace pues necesario el estudio de la dinámica de la zona, ya sea por medio de métodos físicos o modelos matemáticos. En algunos casos las alteraciones durante la formación y alineación del área de reclamación pueden afectar significativamente a las áreas cercanas en forma de aumento de turbidez o aterramiento, por lo que el costo de la reclamación se vería incrementado por el futuro mantenimiento, el cual tendría por objeto el evitar tales efectos negativos.

##### 4.1.3. Estabilidad de la tierra subyacente

Además del régimen hidráulico de la zona es necesario conocer el tipo y las características de los estratos subyacentes, ya que la colocación de una sobrecarga sobre dichos estratos puede inducir a movimientos de tierras, deslizamiento de arcillas (margas) poco consolidadas o inestabilidad del área reclamada.

En la construcción del «Butter worth wharves» en Malasia, se colocó una capa de arena sobre los sedimentos existentes, compuestos de fangos y arcillas. En el proyecto se predijo que era necesaria una conveniente comprensión de los sedimentos, antes de ubicar el relleno, por lo que se hicieron montículos de aproximadamente dos metros de altura, durante un período de veintinueve semanas.

En general deberán llevarse a cabo una serie de investigaciones «in situ», las cuales incluyen las perforaciones (profundidad) hasta el material duro, o en el caso de materiales muy blandos, hasta profundidades de 30 o 40 metros.

Paul Leimdorfer ha desarrollado un método matemático para el cálculo de la altura permisible del material de vertido y del grado de seguridad sobre cualquier tipo de suelo (Quick assessment of the bearing capacity of soils).

##### 4.1.4. Viabilidad del material para la construcción de recintos

En general es preciso contener el relleno hidráulico en unos recintos, dentro de los cuales se producirán los fenómenos de: sedimentación, desagüe, desecación y consolidación. El tipo de material extraído en las operaciones de dragado puede que no sea el idóneo para la construcción de los diques que conforman el recinto, por lo que habrá que buscar en otro lugar unos materiales más idóneos. Esto conlleva unos gastos adicionales de excavación o dragado complementario y transporte. Dichos gastos pueden suponer un porcentaje elevado del coste total del proyecto, afectando de manera directa la viabilidad de la reclamación.

#### 4.2. CARACTERISTICAS TECNICAS DEL MATERIAL DE RELLENO

El material de relleno reclamado deberá examinarse en función de los siguientes puntos:

- Capacidad de carga, recién colocado.
- Capacidad de Carga Ultima, después de las actuaciones necesarias y permitidas para la consolidación del material.
- Tiempo y métodos empleados para ejecutar la Capacidad de Carga Ultima.
- Sedimentación del sólido durante el proceso de afirmamiento (consolidación).

La capacidad de carga de suelos no cohesivos puede evaluarse a partir del grado de compenetración, el cual está relacionado con la densidad relativa  $D_r$ , siendo:

$$D_r = \frac{E_o - E}{E_o - E_m}$$

donde:

- $E_o$  = Radio de huecos del sólido cuando está en estado de laxitud, en el laboratorio.
- $E$  = Radio de los huecos del sólido en el campo.
- $E_m$  = Radio de los huecos del sólido, cuando se compacta en el laboratorio.

Una medida más práctica de  $D_r$  utiliza las diferentes densidades del sólido según el grado de laxitud o compactación:

$$D_r = \frac{\gamma_m (\gamma - \gamma_o)}{\gamma (\gamma_m - \gamma_o)}$$

donde:

- $\gamma_o$  = Densidad mínima del sólido en el laboratorio.  
 $\gamma$  = Densidad del sólido en el terreno.  
 $\gamma_m$  = Densidad máxima del sólido una vez compactado en el laboratorio.

La  $m$  debe medirse después de una compactación por vibración, pero nunca por amasamiento, ya que en este caso podrían obtenerse valores altos.

La  $Dr$  puede variar, obviamente, de 0 a 1 o del 0 al 100 % si se expresa como porcentaje.  $Dr = 0$  representa el sólido en estado libre (total laxitud) y  $Dr = 1$  cuando el grado de compactación del sólido es máximo. La densidad relativa de cualquier sólido puede afectar al ángulo de fricción interna, siendo comunes variaciones entre 27,5° y 48°.

La medida de la  $Dr$  en el campo resulta dificultosa, por lo que se ha relacionado ésta con el  $N$  —valor dado por «test estándar de penetración» SPT y la resistencia a la penetración obtenida con el cono «penetrómetro»—. Sin embargo, aunque es posible demostrar alguna correlación entre ambos parámetros, este valor es cuestionable.

Por otra parte, la capacidad local de carga de los sólidos cohesivos depende, en gran medida, del grado de consolidación del sólido, el cual se caracteriza por la cantidad de agua contenida en sus poros. Esta medida puede realizarse «in situ» con el piezómetro, el cual mide la presión del agua contenida en los poros del sólido.

#### 4.2.1. Rellenos derivados de arenas limpias

Los rellenos derivados de arenas claras y limpias (15 % de finos) son generalmente válidos para desarrollar terrenos industriales y comerciales, ya que el material puede colocarse por medios naturales, alcanzando una  $Dr$  media. Estos rellenos pueden compactarse por medios mecánicos sin embargo si el relleno se realiza con cierto cuidado se alcanza de forma espontánea una  $Dr$  comprendida entre un 45 y un 55 %, pudiendo soportar el suelo unas presiones de cimentación comprendidas entre 25 y 150  $\text{KNm}^2$ , dependiendo de la sensibilidad de las estructuras futuras a la sedimentación diferencial; cuando tales estructuras son muy sensibles a tal sedimentación es necesario excavar cimientos y rellenar con material compactado. La profundidad de la cimentación depende del tipo de compactador utilizado, alcanzándose  $Dr$  del orden del 80 %.

Estos rellenos son muy sensibles a la licuefacción, ocasionada por terremotos. El potencial de licuefacción de un suelo depende del tamaño de partícula, clasificación de la misma y  $Dr$  o razón de huecos.

En general, sea zona sísmica o no deberá evaluarse el potencial de licuefacción de este tipo de rellenos.

Las especificaciones para rellenos de arena son:

1. Tamaño del grano y gradación. Esto da una idea del grado de compactación que puede sufrir el suelo, para obtener  $Dr$  aceptable.

2. Tamaño mínimo de partícula y proporción del mismo en el relleno. El conocimiento de este dato es importante para controlar la sedimentación diferencial.
3. Contenido en materia orgánica. Existe un contenido máximo aceptable, por encima del cual se afecta negativamente la sedimentación y la fuerza del suelo (capacidad de carga).

#### 4.2.2. Rellenos derivados de sólidos cenagosos

Los rellenos derivados de arenas cenagosas o arcillosas ( $D_{50} = 0,06$  mm), pueden utilizarse tal cual, o pueden clasificarse en sólidos de distintas granulometrías, con lo que se obtiene un relleno de mejor calidad (desechando los finos).

Para tal clasificación existen métodos de dragado que reducen el contenido en finos. Los hidrociclones también pueden utilizarse con este fin, siempre y cuando el slurry no contenga demasiada concentración de sólidos. La capacidad demostrada del hidrociclón para recoger tamaños medios de arena procedentes de slurrys con alto contenido en finos, es excelente.

Si tal separación no se lleva a cabo, es necesario que los finos estén bien distribuidos. Los rellenos con este tipo de material resultan muy heterogéneos, pudiendo variar la  $Dr$  del 45 al 85 %. Las estructuras sensibles a la sedimentación diferencial deberán pilotarse. La capacidad de licuefacción de estos suelos es alta, por lo que se hace necesaria una evaluación cuando se utilicen en zonas sísmicas.

#### 4.2.3. Rellenos derivados de suelos cohesivos duros

Los materiales de este tipo han sido dragados mediante dragas de succión tipo «cutter» o dragas mecánicas excavadoras o de cuchara. Cualquiera de las dragas utilizadas proporciona un relleno consistente en terrones de arcilla mezclados con materiales finos, la proporción de los cuales determina el grado de consolidación. Sin la utilización de técnicas especiales de secado o consolidación es evidente que los terrenos resultantes del relleno pueden soportar grandes cargas.

#### 4.2.4. Rellenos derivados de suelos cohesivos blandos

Los materiales de dragado de este tipo de sedimentos presentan las típicas características del «slurry». El drenaje es lento ya que son poco permeables. El secado depende en gran medida de los métodos de colocación, prensado y la disposición laminar durante la deposición.

La viabilidad de estos rellenos para una utilización ingenieril depende de la fuerza de cizalladura y obviamente del grado de consolidación.

Después de 10 años se ha observado que la tensión de cizalladura, en un relleno tipo, es de sólo 2-3  $\text{KNm}^2$ ; sin embargo cuando el slurry se deposita sobre un lecho de arena, el drenaje aumenta considerablemente, obteniéndose valores aceptables en un período de 6 o 7 años de consolidación.

**4.3. PROBLEMAS AMBIENTALES  
RELACIONADOS CON LOS RECINTOS**

En la mayoría de los casos cuando se decide confinar a los sedimentos dentro de unos recintos, ya sea en tierra firme o en aguas someras, es debido a que están contaminados por sustancias tóxicas poco o nada degradables, por tanto hay que tener en cuenta los posibles impactos negativos que se generan durante las operaciones de vertido, fundamentalmente debidos a los fenómenos de resuspensión de los sólidos.

En primer lugar hay que distinguir el vertido en tierra del vertido en aguas someras.

**4.3.1. Impactos ambientales relacionados con el vertido en tierra**

El vertido en tierra puede llevar asociado una serie de impactos entre los cuales cabe destacar:

- Calidad del agua procedente de los fenómenos de sedimentación y desaguado.
- Calidad de lixiviado.
- Calidad de las aguas de escorrentía.

**4.3.1.1. Agua procedente del desaguado**

Generalmente el confinamiento de materiales contaminados se realiza a través de un dragado hidráulico, por lo que el PCH será alto (del orden del 75-85 %). Bajo estas condiciones el «Slurry» extraído sedimenta en los recintos destinados a tal fin, obteniéndose un efluente líquido con alto contenido en sólidos en suspensión y ciertos contaminantes disueltos (prioritariamente nitrógeno bajo la forma de amonio  $NH_4^+$ ).

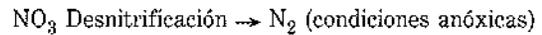
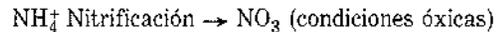
El principal riesgo que presentan estos efluentes son los sólidos en suspensión, ya que además de la turbidez y la contaminación estética que producen estos sólidos en suspensión (arcillas, materia floculada, etc.) es donde se encuentran asociados el mayor número de contaminantes.

Generalmente se obtienen unas concentraciones de sólidos en suspensión del orden de 50-150 mg/l con un tiempo de detención de 3 días.

A veces es necesario reducir estas concentraciones de sólidos en suspensión, por lo que será necesario recu-

rrir a tratamientos físicos o físico-químicos del efluente. En la tabla 1 se dan los porcentajes de reducción de sólidos en suspensión en función del tratamiento empleado, así como los costes del sistema (se ha tomado como valor unitario el correspondiente al micro cribado) y el contenido en sólidos del efluente resultante.

A pesar de estos tratamientos el efluente sigue teniendo cantidades apreciables de amonio. En teoría las concentraciones de amonio en dicho efluente pueden ser superiores a 60 mg/l, lo cual incide negativamente sobre el medio receptor. Un tratamiento biológico bien concebido puede disminuir el contenido en nitrógeno del efluente, según la siguiente secuencia de reacciones:



Sin embargo hay que señalar que los costos de este proceso son muy altos, en comparación con las reducciones de nitrógeno obtenidas (aprox. 60 %).

**4.3.1.2. Calidad del lixiviado**

Las aguas de drenado procedentes de la disposición de los fangos dragados en tierra pueden afectar a los acuíferos existentes. El material de dragado finalmente dividido absorbe muchas sustancias potencialmente contaminantes, aunque sólo la fracción soluble puede presentarse en el lixiviado. El impacto potencial más elevado se presenta cuando se disponen sedimentos pastosos procedentes de entornos marinos sobre tierra firme, en cuya cercanía existen acuíferos no salinizados. La naturaleza superficial del terreno donde van a ser depositados los sedimentos es el factor determinante de los posibles impactos (CHEN et al., 1978).

A este respecto cabe señalar, a modo de ejemplo, los problemas (y soluciones) acaecidos durante la disposición de material dragado, mediante relleno hidráulico, en una zona de marismas situada en el sureste de Carolina del Norte (USA), a unos 16 km de costa. El material de relleno es un «slurry» procedente de una draga hidráulica, con un contenido en cloruros de 6,9 mg/l. El recinto, de 162 ha de extensión, tiene una capacidad de  $13,15 \times 10^6$  m<sup>3</sup> y una duración prevista de 8,6 años. En otoño de 1972 se depositaron los primeros materiales, en total unos 2 millones de m<sup>3</sup>. La segunda operación de dragado y posterior vertido se realizó entre el verano de 1974 y invierno de 1975, por espacio de siete meses. Durante los períodos de reposo de los recintos la Agencia de Higiene Ambiental de la Armada de USA (USAEHA), puso en práctica un programa de vigilancia de la contaminación por cloruros de los acuíferos y aguas superficiales de la zona. Los análisis efectuados después del primer vertido (1972-1973) no detectaron salinización de los pozos, observando un ligero aumento de los cloruros en sólo una de las numerosas lagunas (+ 100 mg/l). En 1976, después del segundo ciclo de dragados, se comprobó que las concentraciones de cloruros habían incrementado de forma alarmante, tanto

	PORCENTAJE DE REDUCCION	CONCENTRACION DE S.S. REMANENTE	INDICE DE COSTOS
Sedimentación	60 %	10-30	0,5
Filtración	60 %	10-30	0,8
Microcribado	50-80	5-20	1
Filtración rápida	70-90	2-15	1-1,5
Floculación química	60-90	2-30	2-5
Filtración por carbón activo	70-90	2-15	6-10
Filtración por membrana (ultra o hiperfiltración)	100	0	10-20

TABLA 1.

en los pozos (de 1.700 a 5.500 mg/l), como en las lagunas y esteros (de 2.900 a 4.900 mg/l). El análisis de numerosas estaciones de muestreo demostró que la contaminación por cloruros avanzaba, en forma de pluma, hacia el noroeste. Como solución al problema se proyectó la construcción de un dique, realizado con «slurry» y revestido por su cara posterior con una mezcla de bentonita, cemento y agua, con el objeto de hacerlo impermeable e impedir el avance lateral de los cloruros hacia las aguas superficiales (lagunas y esteros) situadas en dirección noroeste. La protección de los acuíferos se realizaría mediante la excavación de dos o más pozos profundos, repartidos en la periferia del recinto, y posterior bombeo del agua contaminada hacia el río Cape Fear situado en las inmediaciones. Sin embargo estas soluciones no se llevaron a la práctica ya que suponían multiplicar por cinco los costes iniciales de proyecto. La solución adoptada ha sido crear dos nuevos recintos en base a las anteriores investigaciones, sin embargo la capacidad de ambos recintos estaría superada en un período breve (1 o 2 años) por lo que se estudia la posibilidad de verterlo en el océano Atlántico.

Aunque en este ejemplo se pone de manifiesto la importancia de los cloruros cuando el relleno se realiza en tierra, hay que reseñar que lo expuesto puede extrapolarse a otras sustancias, indeseables o tóxicas, contenidas en el lixiviado.

Para paliar los posibles impactos negativos de los lixiviados es conveniente utilizar alguna de las siguientes alternativas:

- A. Adición de productos químicos que prevengan o retarden la lixiviación.
- B. Cubrir el fondo del recinto con materiales que prevengan la lixiviación y la infiltración (geotextiles).
- C. Impermeabilizar o recubrir la superficie del recinto.
- D. Plantación de especies vegetales que drenen y sequen rápidamente el terreno e incluso establezcan contaminantes.
- E. Tratamiento o reciclado de las aguas procedentes del lixiviado.

En Holanda se están llevando a cabo investigaciones sobre el tema en base a la Ley de Protección Holandesa en la que incluyen los criterios IOM (Isolate Control Monitoring), los cuales afectan a los materiales dragados. Dentro del programa MKO (Minimización de costos del dragado de mantenimiento) los estudios se han enfocado en la prevención de la contaminación de los acuíferos, provocada por la disposición de los materiales dragados en tierra. La técnica aplicada en este caso se encuadra dentro del grupo B enunciado anteriormente.

Las experiencias se han llevado a cabo con diversas sustancias contaminantes (metales pesados, arsénico y compuestos organohalogenados) sobre lechos constituidos por materiales de bajo costo (arcillas, turba, fango, etc.).

La efectividad de la capacidad de absorción de las sustancias contaminantes sobre las diferentes capas de

«tierras» o «lechos» utilizadas, se determina mediante el **Coefficiente de adsorción  $K_d$** . En general el  $K_d$  será efectivo para las sustancias orgánicas cuando éstas se infiltren sobre lechos de naturaleza orgánica (turba, carbón activo, etc.), asimismo el  $K_d$  tendrá valores altos para los metales pesados cuando el lecho está formado por arcillas o sustancias similares.

Suponiendo, como se ha hecho, que el contenido en carbono orgánico determina el comportamiento de la adsorción de contaminantes orgánicos, el  $K_d$  del lecho orgánico utilizado puede expresarse como:

$$K_d = f_{oc} \times K_{oc}$$

siendo:

- $K_d$  = Coeficiente de adsorción del suelo (dm/Kg).  
 $f_{oc}$  = Fracción de carbono orgánico del suelo (Kg/kg).  
 $K_{oc}$  = Coeficiente de participación del contaminante sobre el carbono orgánico de la fase sólida y de la fase líquida.

#### 4.3.1.3. Calidad de las aguas de escorrentía

Una vez que ha sido depositado todo el fango en su confinamiento y convenientemente desaguado, pueden darse fenómenos de movilidad de contaminantes inducidos por la lluvia, la cual por escorrentía puede provocar un efluente que afecte al medio ambiente. La calidad de este agua es muy variable según los procesos físico-químicos que pudiesen ocurrir durante el secado y el tipo de contaminantes presentes en el material dragado.

El programa FVP (LEE y SKORGERBOE, 1988) ha desarrollado un test de protocolo (preliminar) utilizando un simulador de aguaceros. Este test tiene en cuenta los procesos físico-químicos que puedan tener lugar, para lo cual se utiliza una muestra de sedimento y se deposita en un recipiente con un lisímetro sobre el cual, y durante el proceso de secado, se aplica a intervalos agua de lluvia, recogiendo el agua superficial sobrenadante (escorrentía) para el posterior análisis de los parámetros seleccionados. A partir de estos resultados pueden formularse los tratamientos a que deberá someterse el agua de escorrentía antes de ser evacuada al entorno, minimizando así los posibles impactos medioambientales.

Si el agua de escorrentía está muy contaminada y/o los tratamientos que debe sufrir antes de ser evacuada son muy costosos, es conveniente recurrir a otras actuaciones tales como limitar las dimensiones de la superficie para prevenir la acidificación, y por tanto reducir la posible disolución de metales, o recubrir la superficie con geomembranas y/o colocar encima una capa de material no contaminado.

#### 4.3.2. Impactos ambientales relacionados con el vertido en aguas someras

Cuando el relleno hidráulico se realiza con el fin de obtener una isla artificial o una ampliación de la línea de

CADAGUA.  
TENEMOS LA FORMULA.



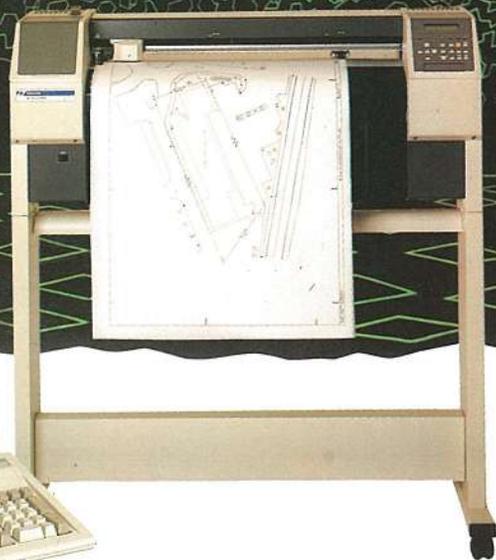
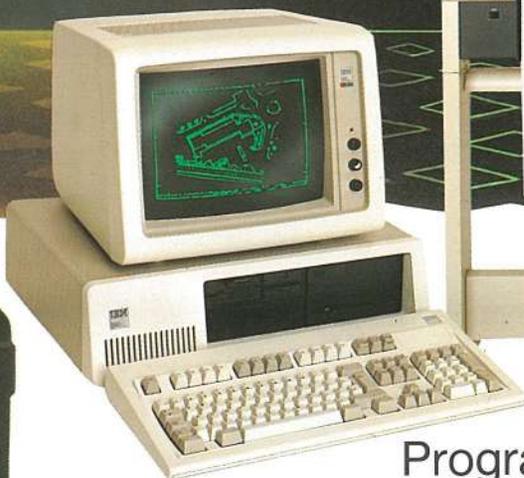
Depuradora de Almozara (Zaragoza).

H<sub>2</sub>O

Agua sana, clara. Limpia. Para cualquier necesidad que tenga: agua para abastecimiento, agua para procesos industriales, depuración de aguas residuales, desalación de aguas salobres o de mar, sea cual sea su problema, Cadagua tiene la fórmula: H<sub>2</sub>O, el agua.

 **cadagua, s.a.**

# Líderes en un mundo de cambio...



Programa Topográfico

## SOKKISHA

# **SDR-VARIN**

Distribuidor en exclusiva  
para España:

**Isidoro Sánchez, S. A.**

RONDA DE ATOCHA, 16 - 28012 MADRID - Teléfono 467 53 63 (6 líneas)

costa, el impacto más pronunciado afecta a lo señalado en el punto 4.1.2, es decir, afecta al régimen hidráulico. No obstante los problemas asociados al desaguado, expuestos en el punto 4.3.1.1 también tendrán incidencia, aunque menor que en el caso del vertido en tierra por ser la dilución mayor en función de la masa de agua circundante.

**4.3.3. Otros impactos**

Cabe señalar por último una serie de impactos comunes a ambas zonas de vertido, entre los cuales hay que destacar los siguientes:

- Colonización por plantas.
- Colonización por animales.
- Otros impactos.

**4.3.3.1. Colonización por plantas**

Una vez que el material de dragado ha sido depositado en tierra, ya sea sobre tierra firme, zonas húmedas o en la franja de tierra que queda al descubierto entre los ciclos de marea, las plantas colonizan, tarde o temprano, el lugar.

Para evaluar la posible fitotoxicidad de estos sedimentos el programa LEDO ha desarrollado dos tests preliminares. Uno de ellos está basado en los resultados de la DMRF y está siendo verificado en campo por la FVF. Este test consiste en utilizar una planta indicadora sembrada en el material de dragado, el cual a su vez ha sido depositado en dos entornos diferentes: zona húmeda y tierra firme. La planta indicadora es *Cyperus esculentus*. El crecimiento, la fitotoxicidad y la bioacumulación de contaminantes son chequeados durante el desarrollo de la planta.

El otro test desarrollado por este programa consiste en utilizar un extracto orgánico del material dragado para predecir el efecto de metales pesados tales como zinc, cadmio, níquel, cromo, plomo y cobre sobre las plantas. El test intenta simular la capacidad de adsorción de extractos de metales por las raíces.

Cuando los test preliminares indiquen riesgo de contaminación, ya sea de plantas o animales, es conveniente disminuir en grado máximo el tratamiento con agentes químicos (señalados en el apartado anterior) y recubrir la superficie del recinto con una capa de material no contaminado. El espesor y las características de esta capa de tierra irán en función del tipo de vegetación que, bien natural o artificial, colonicen el recinto.

**4.3.3.2. Colonización animal**

Los animales colonizan las zonas de vertido de materiales dragados. En algunos casos se han establecido prolíficos hábitats de aves.

Igual que en los apartados anteriores se han desarrollado métodos para predecir la contaminación que se pudiese producir a lo largo de las cadenas tróficas asociadas al entorno.

El test preliminar utiliza la lombriz de tierra como indicador, la cual es colocada en sedimentos mojados, húmedos y secos.

Parámetros tales como la toxicidad y bioacumulación se chequean a lo largo de un período de 21 días por individuo.

**4.3.3.3 OTROS IMPACTOS**

La producción por fermentación de la materia orgánica de gases inflamables o nocivos, así como cualquier otro efecto negativo sobre la salud pública, deberá preverse en función del tipo de substancia que contengan el material dragado.

La erosión eólica de superficies contaminadas es otro impacto a tener en cuenta, el cual puede ser combatido con técnicas ya experimentadas en otros sectores (control de transporte eólico por medios físicos, químicos o biológicos → pantallas de vegetación).

**4.4. CONSTRUCCION DE LOS RECINTOS**

El material de relleno puede verterse dentro de un recinto de forma hidráulica o mecánica, dependiendo del tipo de draga utilizada y tipo de material dragado. Las arenas y fangos blandos, etc., pueden verterse en forma de slurry, mientras que los sedimentos cohesivos duros deben extenderse en capas de un metro de espesor aproximadamente, para que drenen bien y luego depositarlos en la zona elegida.

Los recintos deben construirse para un período de utilización dado, y su diseño va en función de la densidad y grado de humedad del material vertido.

La forma más simple (figura 4) de un recinto, consiste en un área delimitada por cuatro diques, dentro de los cuales se produce la sedimentación de los sólidos. A este área llega un influente con alto contenido en sólidos. De la diferenciación de sólidos en el efluente e influente, depende la efectividad del recinto.

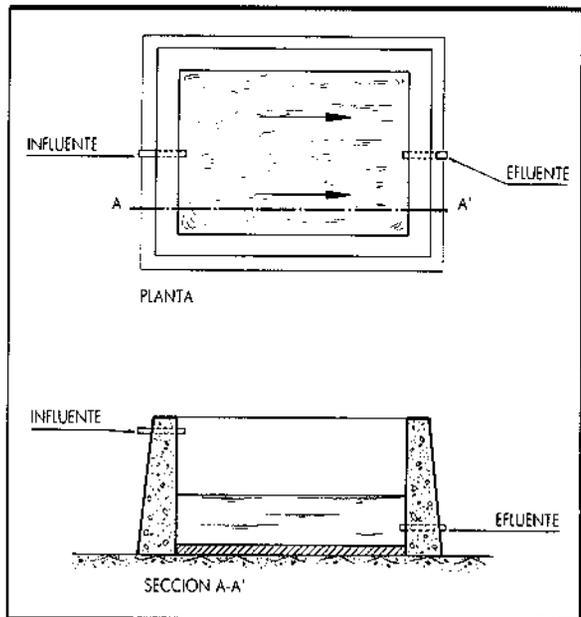


FIGURA 4.

La salida del efluente se puede realizar mediante unas compuertas variables en altura o mediante sumideros. Las compuertas móviles deben ajustarse de acuerdo con el tipo de relleno, capacidad de bombeo y el área del recinto.

Dependiendo del área disponible, tiempos de detención, calidad del efluente y tipo de relleno, el diseño del recinto puede variar considerablemente. En la figura 5 se muestran varios diseños de recintos.

Una vez que el relleno hidráulico ha sido realizado es necesario que se produzcan los fenómenos de compactación y consolidación:

- Compactación es el proceso mediante el cual las partículas del suelo son comprimidas por apisonadoras u otros medios con objeto de incrementar la densidad del suelo.
- Consolidación es el proceso mediante el cual las partículas del suelo son comprimidas fuertemente mediante la aplicación de una presión continuada por un espacio determinado de tiempo.

Ambos procesos reducen la sedimentación del suelo que podría ocurrir bajo presiones externas futuras (terrenos industriales, comerciales, etc.).

Los métodos utilizados para la compactación y/o consolidación, dependen del material de relleno. Así por ejemplo, para compactar rellenos hidráulicos a base de arena, se aplica la vibración, bien sea superficial (cilindro vibrador) o subsuperficial (vibroflotación). Los rellenos hidráulicos con material arcilloso o cenagoso son menos susceptibles que las arenas para ser compactados por vibración. Debido a su baja permeabilidad, los procesos de consolidación son los adecuados para incre-

mentar las propiedades técnicas de estos suelos. Aparte de la consolidación natural producida por la pérdida de agua (drenaje, evaporación, etc.) puede potenciarse ésta mediante la sobreconsolidación (preloading). La sobreconsolidación trata de aumentar la capacidad del relleno para perder agua. El drenaje puede acelerarse por medio de tuberías perforadas, verticales u horizontales; capas de arena intercaladas entre las capas de fango, etc.

En el puerto de Rotterdam el cieno es vertido en los recintos con un espesor de un metro aproximadamente. Transcurridos dos meses, el fango ha perdido suficiente agua como para que un vehículo especial (Amphirol) pueda excavar unas zanjas de drenaje de unos 10 cm de profundidad y 2 m de separación. Esta operación se repite dos o más veces, aumentando en cada ronda la profundidad de las zanjas y su separación. Cuando este relleno está suficientemente seco se repite la operación con otra capa de 1 m de relleno húmedo. De esta forma se pueden depositar siete capas (un espesor final de unos 4 m) en un período de 10 años.

### 3.2.5. Casos prácticos

En la actualidad existen muchos proyectos de construcción de áreas de reclamación, a partir del material dragado. Dado que sería muy extenso describirlos todos, incluso una mínima parte, sólo se hará mención de unos pocos, escogidos en función de la ubicación, importancia, objeto y destino del área reclamada.

**Corea del Sur.** El dragado de «Nakdong Estuary Barrage» supone alrededor de  $20 \times 10^6 \text{ m}^3$ . En esta operación se ha proyectado una área de reclamación de unas 300 ha. Dado que los materiales extraídos contienen un elevado porcentaje de finos, se han utilizado

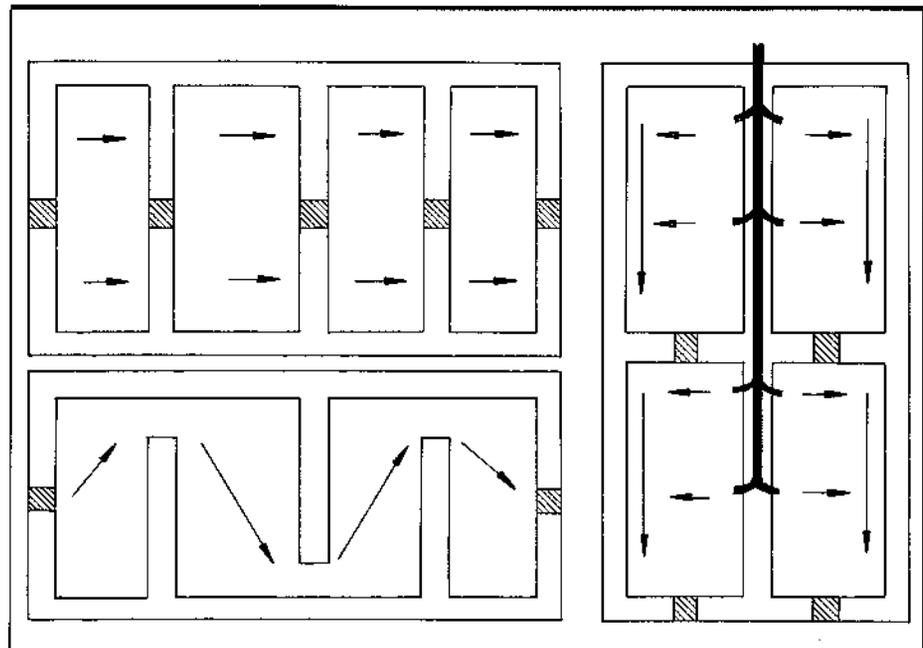


FIGURA 5.

hidrociclones para su clasificación. El vertido, rico en cieno, procedente de los hidrociclones, es depositado en unos recintos especialmente diseñados.

**USA.** Dentro del programa DMRP se ha llevado a cabo una utilización del material de dragado, consistente en cubrir un área ocupada por los desechos de una mina de pirita, a fin de evitar la erosión y la escorrentía ácida que provocaba la lluvia sobre tal superficie.

**USA.** En la bahía de Mobile, Alabama, se ha construido un recinto de 668 ha en forma de isla, el cual albergará el material de dragado de mantenimiento. La configuración del recinto es triangular, con aproximadamente 9,5 km de perímetro.

Los diques han sido construidos con unos  $24 \times 10^6 \text{ m}^3$  de material dragado mediante dragas de succión y de rosario. Aproximadamente la mitad del material utilizado en la construcción de los diques estaba compuesto por arena y fango, mientras que la otra mitad la componían arcillas (blandas y duras).

Las anchuras medias del perfil del dique son las siguientes:

	(m)
Base .....	385
Nivel medio del agua .....	180-183
Cresta .....	12

La altura media de los diques es de 5,2 m, de los cuales 2,5 m están por encima del nivel medio de agua y 2,7 m por debajo.

Los diques se asientan sobre un suelo extremadamente blando (poco cohesivo) con tensiones de cizalladura de 2,4 a 4,8  $\text{KN/m}^2$ . La construcción del dique comenzó a mediados de mayo de 1979, finalizando en agosto de 1981.

Después de dos años el asentamiento del dique fue de aproximadamente 20 cm.

Según los análisis geotécnicos se estima que serán necesarios 800 años para que la consolidación sea completa.

**Holanda.** Los materiales del dragado del puerto de Rotterdam contienen niveles altos de contaminación, debido a la influencia del río Rin. Bajo estas circunstancias es necesario disponer de una zona de vertido segura. Ante tal situación se examinaron varias zonas de vertido y se prepararon las evaluaciones del Impacto Ambiental (EIA) junto con los costes de cada alternativa. Para el cálculo del EIA se ha utilizado un modelo de convección y dispersión (TD), en el cual se incluyen los fenómenos de adsorción y precipitación. La utilización del modelo prevé el potencial de migración de los contaminantes a través del fondo marino o a través de los estratos.

En 1982 se publicó un «report» interino Slufterdam Project, en el cual se apuntaba la posibilidad de confinar el material contaminado en una isla en la costa de Maasvlakte. Después de un proceso de optimización la superficie final del recinto se fijó en 260 ha (sobre las

450 de proyecto), con una capacidad de  $150 \times 10^6 \text{ m}^3$ . Para la realización del proyecto fue necesario dragar el fondo de -5 m a -28 m. La arena extraída se utilizó en la construcción de los diques. Además fue necesario construir un canal de navegación, ya que Slufterdam cerraba el canal existente (Gut van de Hawk). El nuevo canal denominado Hindergat, fue construido con dragas de succión cortadoras (cutter) y los  $1,7 \times 10^6 \text{ m}^3$  de arena extraídos, fueron utilizados como capa de base del recinto.

#### BIBLIOGRAFIA

1. BRAY, R. N. (1979). Dredging: A Handbook for Engineers.
2. DIETZE, W., y otros (1977). Paper SII-5. 24th International Navigation Congress. PIANC. Leningrado.
3. ENGLER, R. M. Impacts Associated with the Discharge of Dredged Material; Management Approaches. USACE, WES. Vicksburg, USA.
4. FOWLER, J. (1986). Verification of Design and Construction Techniques Gaillard Dredged Material Disposal Island, Mobile Alabama. WES Vicksburg. XIth. World Dredging Congress. U.K.
5. LECHUGA ALVARO, A. (1987). Regeneración de playas y alimentación artificial. Curso de Ingeniería de Costas. Valencia.
6. LEIMDORFER, P. (1975). Quick Assesment of Bearing Capacity of Soils. The Dock and Harbour Authority, septiembre.
7. PALERMO, M. R. (1986). Evaluation of Dredged Material Disposal Alternatives: Test Protocols and Contaminant Control Measures. XIth. World Dredging Congress. U.K.
8. PALERMO, M. R. Long-Term. Effects of Dredging Operation Program. Interin Guidance for Predicting the quality of Effluent Discharged from Confined Dredged Material Disposal Areas. WES Report n.º WES/MP/D-86-1.
9. PAYONK, P. M. (1986). Enviromental Assessment of Chloride contamination of Surficial and Ground waters associated with Diked Upland Dredged Material Disposal. Sunny Point. N.C. XIth. World Dredging Congress. V.K.
10. SARGENT, J. H. (1987). PIANC and Dredging the Enviromental ISSUES. Bulletin, n.º 57.
11. SIMMERS, J. W. y otros (1986). Strip-Mine Reclamation using dredged material. Enviromental Effects Dredging, vol. D-86-5, noviembre.
12. USACE. Dredging is for the Birds. Water Resources Support Center, Dredging Division. WES.
13. VAN ORDER, R. G. J. (1986). Enviromental Impact Statement on a Peninsula Solution for the Disposal of Dredged Material XIth. World Dredging Congress, U.K.
14. VAN DUIN (1987). The Treatment of Dredged Soils in the Nakdong Estuary Barrage and Reclamation Project. Dredging and Port Constructions, vol. 14, n.º 2, febrero.
15. VAN ZETTEN, I. (1987). Slufterdam Disposal solution to Rotterdam's Contaminated Dredged Material Problem. Dredging and Port Constructions, vol. 14, n.º 3, marzo.
16. Varios (1984). Sediments and Water Interactions. Editado por Peter G. Sly.
17. WES (1987). Beneficial User of Dredged Material. Water Resources Centre. Dredging Division. Fort Belvoir.