

CAPÍTULO 13

Dispersión de sedimento por efecto de redes de arrastre en la zona marina frente a “El Choyudo”, Municipio de Hermosillo, Sonora, México.

Gustavo Padilla-Arredondo¹, María Sara Burrola-Sánchez*, David Urias-Laborín, Sergio Pedrín-Avliés y María del Refugio López-Tapia.

RESUMEN

El efecto de la pesca de arrastre sobre fondos blandos es un tópico que aún está en proceso de evaluación. El indicador más adecuado de la perturbación del fondo marino es el estudio de la estructura poblacional del bentos y de la composición del sedimento. El objetivo del presente capítulo es evaluar la dispersión de sedimento en una zona sin arrastre y otra con arrastre.

Palabras clave:
Sedimento
Arrastre
Perturbación
Fondos blandos

En éstas zonas se efectuaron mediciones de sedimento, calidad del agua y corrientes marinas en los años 2004 y 2005. Cada muestreo se desarrolló en tres etapas: Una de control o previa al arrastre, donde se determinaron las características generales del área, otra durante el arrastre para evaluar la resuspensión del sedimento utilizando trampas de sedimento, y una final posterior al arrastre en la cual se repite el muestreo inicial para determinar la diferencia de condiciones ambientales. Se alimentó el modelo STFATE (Short Term Fate Model) para describir la dispersión de una nube de sedimento en el fondo marino. Se determinó que la perturbación en el fondo existe. Con los campos de velocidad y dirección de la corriente, la nube de sedimento en la celda de arrastre de 80 por 40

¹Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR) Campus Guaymas. Km. 2.35 Camino al Tular, Estero de Bacochibampo. CP. 85465. Guaymas, Sonora, México.

*Autor de correspondencia; E-mail: sburrola04@cibnor.mx

pies afectará una superficie aproximada de 1.8 Ha (196,400 pies²) para los primeros 500 pies de longitud de arrastre, y 21.6 Ha para todo el recorrido. La precipitación de los sedimentos se da en forma vertical para la fracción arenosa con un tiempo de precipitación de 1 hora, y en forma longitudinal para la fracción limo-arcillosa que será arrastrada por las corrientes paralelas a la costa, con un tiempo estimado de precipitación de 24 a 48 horas.

INTRODUCCIÓN

El disturbio producido por las redes de arrastre en la biodiversidad del fondo marino ha sido un tema poco documentado, pero que actualmente se mantiene en debate, sobre todo, referente a la magnitud de daño que produce la actividad pesquera y la capacidad de recuperación de los organismos asociados al sustrato marino. Watling y Norse (2000) señalaron que este impacto al fondo marino es equiparable con la tala de bosques, aunque la extrapolación sobre la magnitud del daño aún no ha sido validado (Fish Net USA 1999).

El uso de redes de arrastre de pesca móviles altera a los organismos marinos y reduce la diversidad estructural en el sustrato. La recuperación después de la perturbación es lenta para aquellas especies que desarrollan estructuras en el sedimento, su crecimiento y madurez toma años, décadas o más. La pesca con redes de arrastre es especialmente problemática, porque el intervalo del retorno es más corto que la recuperación de la estructura original del ecosistema. Sus efectos en la biodiversidad son más severos donde la perturbación natural es poco usual, particularmente en la plataforma continental donde el daño producido por tormentas es despreciable, y donde el crecimiento de las comunidades biológicas del sustrato tiende a ser más lento (Watling y Norse 2000).

Las redes de arrastre dañan la estructura bentónica y con ello perjudican a otras especies asociadas, incluyendo peces de interés comercial, aunque algunas especies pueden persistir donde las estructuras del lecho marino han sido alteradas (Norse 1999).

El indicador más adecuado del daño que ocasionan las redes de arrastre es sin duda el estudio de la estructura poblacional del bentos, el estudio detallado del sedimento por sí mismo vierte información incompleta, aunque es bien conocido que el arrastre produce alteraciones a la composición del sedimento. En resultados

preliminares Zenetos *et al.* (1995) encontraron un incremento de la materia orgánica (incremento de fitoplancton en respuesta a posible liberación de nutrientes) y un decremento de carbón orgánico, todo ello atribuible a la alteración mecánica de la capa superficial del sedimento y a la exposición de las capas inferiores. En resultados adicionales reportan que las especies asociadas al sustrato decrecen en número, el 33% de las especies de poliquetos y 50% de equinodermos fueron eliminados.

Cuantificar los efectos del arrastre en el sedimento requiere determinar la masa de sedimentos puestos en suspensión por unidad de longitud arrastrada, la altura de la pluma de sedimento generada por el arrastre y el tiempo requerido para que estos se sedimenten. Se ha sugerido que estas propiedades pueden ser determinadas midiendo la concentración de sedimento a lo largo de un segmento de la pluma durante lapsos de tiempo después del arrastre. Las medidas requieren combinar muestreo de agua y muestreo óptico-acústico de la concentración del sedimento (Churchill 1989).

En el presente estudio se describen los resultados obtenidos respecto a las propiedades granulométricas de los sedimentos, dentro de una zona considerada sin disturbio (muestreo previo al arrastre), así como los resultados de un muestreo en las mismas estaciones después del arrastre (muestreo posterior al arrastre). Para medir el cambio en la granulometría de esos sedimentos, un muestreo adicional fue desarrollado en una zona que tradicionalmente ha sido alterada por los arrastres anuales (zona II). También se describen los resultados de una simulación numérica del rango de dispersión de las nubes de sedimento debido a la difusión turbulenta en el sentido vertical y horizontal. Los resultados del modelo no son concluyentes, sin embargo, son aproximaciones que deben ser corroboradas con mediciones directas como las descritas anteriormente.

MATERIAL Y MÉTODOS

Área de estudio

Con base en Maluf (1983), el área se encuentra en la región central del Golfo de California, caracterizada por cuencas profundas, amplitudes de marea pequeñas, corrientes superficiales con dirección sureste en invierno y noroeste en verano. En función del patrón estacional de vientos, la temperatura del agua presenta

marcada variación estacional y la salinidad variación mínima. El área de estudio se ubica en la plataforma continental de la localidad Cerro Colorado en los $28^{\circ}17' N$ y $111^{\circ}25' O$ (fig. 1).

Con base en la clasificación climática de Köpen, modificada por García (1968), el área de estudio pertenece a la clave BWh la cual caracteriza al clima muy seco y semi-cálido. El promedio total anual de precipitación para la costa norte de Sonora es menor a 200 mm (INEGI 1981), presenta un régimen mixto de lluvia con un máximo en el verano (agosto-septiembre), y un segundo periodo menos acentuado en invierno (diciembre-enero) que corresponde al 25% del total anual. La precipitación media anual es ocasionalmente influenciada por el arribo de ciclones y tormentas tropicales que ocurren durante el verano en el océano Pacífico mexicano, donde el mayor porcentaje de ciclones tropicales que llegan hasta las costas del Golfo de California se presentan en el mes de septiembre.

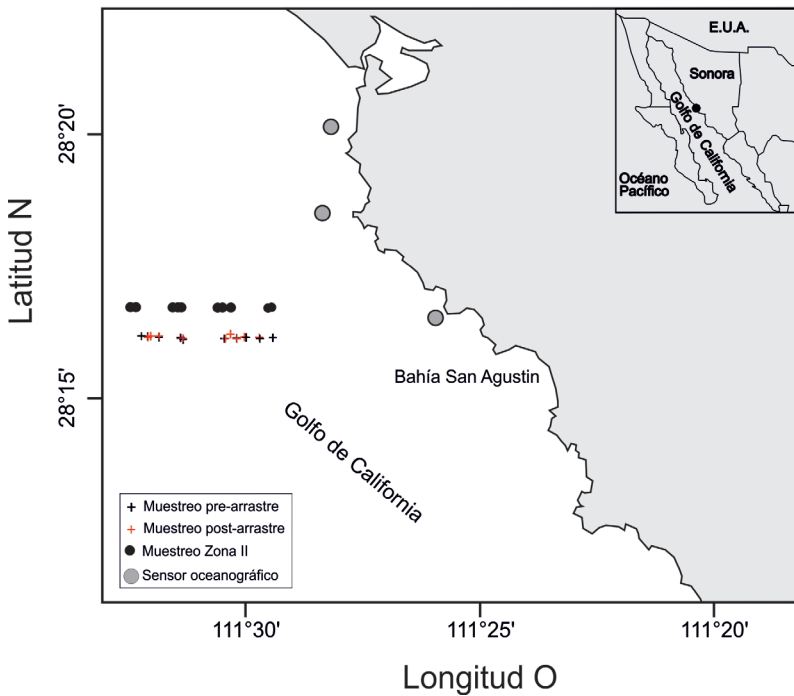


Figura 1. Mapa de localización de las estaciones de muestreo previo al arrastre, posterior al arrastre, zona II y ubicación de estaciones de boya oceanográfica.

Muestreos en campo

Los muestreos se efectuaron en dos campañas: agosto 2004 y agosto 2005. En cada incursión se muestreó a lo largo de dos transectos perpendiculares a la línea de costa en una área no impactada por arrastres, la longitud de los transectos fue de 2.8 millas aproximadamente (4.5 km). Los parámetros ambientales considerados fueron: sedimento, calidad del agua y corrientes marinas.

Cada muestreo se desarrolló en tres etapas: Una de control o previa al arrastre donde se determinaron las características generales del área, otra durante el arrastre para evaluar la resuspensión del sedimento utilizando trampas de sedimento y una final posterior al arrastre en la cual se repite el muestreo inicial para determinar la diferencia de condiciones ambientales.

Sedimentos

En la etapa previa al arrastre se colectaron 10 muestras de sedimento con una draga Van Veen de 15 kg de capacidad. En cada estación se tomaron las coordenadas y la profundidad a la que fue efectuado el muestreo, la muestra extraída fue fraccionada en tres porciones: una para análisis granulométrico, otra para análisis del contenido porcentual de materia orgánica, y el resto para la separación de fauna bentónica.

Durante la etapa de arrastre se lanzaron 4 trampas detrás de la red para colectar el sedimento resuspendido, cuyas propiedades granulométricas fueron empleadas para analizarlas en un modelo de dispersión de sedimentos, y calcular la extensión probable de la nube en función de la velocidad de la corriente. Las trampas fueron lanzadas a intervalos de 15 minutos de arrastre y se colocaron a una profundidad aproximada de 2 m desde el fondo marino durante 1 hora.

Durante el muestreo posterior al arrastre se efectuó una réplica del muestreo previo al arrastre para evaluar el nivel de alteración física que las redes de arrastre producen al fondo marino. Adicionalmente, se efectuó un muestreo como referencia en un área que tradicionalmente es arrastrada durante la temporada de pesca del camarón.

Análisis de muestras e Información

Las muestras obtenidas de ambos cruceros con draga mecánica fueron analizadas por técnicas granulométricas estándar de tamizado, mediante tubos de sedimentación o pipeta descritas en Folk y Ward (1956), así como en Royse (1970) se calcularon los estadísticos tamaño medio, grado de clasificación y asimetría. Para su interpretación se elaboraron gráficas binarias correlacionando el tamaño medio con los máximos y mínimos, así mismo se elaboraron gráficas ternarias para agrupar poblaciones de sedimentos utilizando los momentos estadísticos indicados anteriormente.

Calidad de agua

Para determinar parámetros de calidad del agua durante el muestreo del 2005 se colectaron cinco muestras de calidad de agua antes del arrastre, y tres muestras después del arrastre. Los procedimientos analíticos utilizados fueron: Nitritos $\text{NO}_2\text{-N}$: Spotte (1979a, b) y Strickland y Parsons (1972); Nitratos $\text{NO}_3\text{-N}$: Spotte (1979a, b); Ortofosfato $\text{PO}_4\text{-P}$: Spotte (1972a, b), Murphy y Riley (1962) y Martin (1972), Clorofila "a" y seston: Strickland y Parsons (1972).

Corrientes marinas

Se realizaron dos campañas de investigación en el frente costero de la localidad de El Choyudo, Municipio de Hermosillo, Sonora, representativas de condiciones de otoño-invierno 2004 y primavera-verano 2005. Las series de tiempo de corrientes se obtuvieron a partir del registro continuo de un sensor oceanográfico de la marca InterOcean modelo S4ADW.

En la condición otoño-invierno 2004 se realizó una medición de corrientes entre las localidades de Cerro Colorado y Bahía Kino a bordo de una embarcación menor el día 11 de noviembre de 2004. Los registros se llevaron a cabo en dos puntos durante 24 horas con programación continua a cada segundo. Mientras que en primavera-verano los registros de corriente se efectuaron el día 2 de abril de 2005, en un punto frente a la localidad del Choyudo antes de la zona de bajos (fig. 1). Los registros fueron de forma continua con programación a intervalos de un dato por segundo.

Evaluación de la dispersión de sedimentos

STFATE es un modulo del sistema de modelos ADDAMS (Automated

Dredging and Disposal Alternatives Modeling System) desarrollado por Schroeder y Palermo (1995). para describir la dispersión de una nube de sedimento en el fondo marino. El modelo fue diseñado originalmente para simular la forma en que los sedimentos se dispersan durante una descarga instantánea de material de dragado a través de una barcaza (EPA y USACE 1995). El modelo asume que el material es separado en tres fases: descenso convectivo, durante el cual, la nube de sedimento cae bajo la influencia de la gravedad; colapso dinámico que ocurre cuando la nube impacta el fondo o alcanza un nivel de flotabilidad neutral; y transporte-dispersión pasivo donde el sedimento es transportado y dispersado bajo la influencia de las corrientes y la turbulencia.

Para el caso de simular los efectos de la red de arrastre solo se utilizó la última etapa; forzando al modelo a que generara nubes de sedimento con la densidad de volumen del material suspendido similar al calculado con las trampas de sedimento.

El dominio del modelo para simulación de la nube de sedimento, consistió en una malla de 32 por 32 puntos nodales equiespaciados a 15 pies (4.5 m) de izquierda a derecha dirección "X" y a 190 pies (58 m) de arriba hacia abajo o dirección "Z". Esta distribución de puntos se calculó en función del ancho de la red y la distancia recorrida por el barco durante el arrastre. La profundidad seleccionada para la descarga de sedimentos fue de 80 pies (24 m) similar a la profundidad del sitio de muestreo.

El perfil de velocidad de corriente se midió en campo con un sensor oceanográfico modelo Interocean S4ADW. Se obtuvo la variación de la corriente en una columna de agua de 12 m en tres capas: superficie, media agua y fondo. Para propósito de la simulación se seleccionaron dos puntos a profundidades de 40 y 16 pies con velocidades de 0.34 y 0.54 pies/s (10 a 16 cm s⁻¹) respectivamente.

Las características granulométricas del material suspendido por la red de arrastre fueron separadas en tres componentes, donde cada una constituye una capa independiente de cálculo que utiliza el modelo para generar nubes de sedimento. Las tres fracciones están constituidas por arena muy fina (0.0625 mm), limos gruesos (0.032 mm) y arcillas (0.004 mm). La gravedad específica fue de 2.65 para las tres fracciones.

El área inicial de afectación del arrastre para la simulación fue

establecida para una celda de 80 por 40 pies (320 pies²). Mientras que, el volumen de sedimento empleado al arranque de la simulación fue calibrado, para que una nube resultante de 6 m de altura en un área barrida de 320 pies² tuviera una masa cercana a los 30,000 pies³, similar a los resultados obtenidos utilizando trampas. La altura de la nube levantada por la red fue establecida con base en estudios realizados por Zenetos *et al.* (2004).

RESULTADOS

Sedimento

Las muestras analizadas por tamiz y pipeta de la campaña inicial fueron graficadas en un diagrama ternario donde cada vértice del triángulo indica el 100% de cada campo (arena, limo y arcilla).

Las muestras de sedimento colectadas en la zona II que corresponde al área impactada o sitio de referencia son netamente arenosos, y el porcentaje de limo no superó el 10%, mientras que los sedimentos previos al arrastre y posteriores al arrastre se ubicaron en la región del tipo areno limoso, donde el porcentaje de limo no excede el 32% (fig. 2).

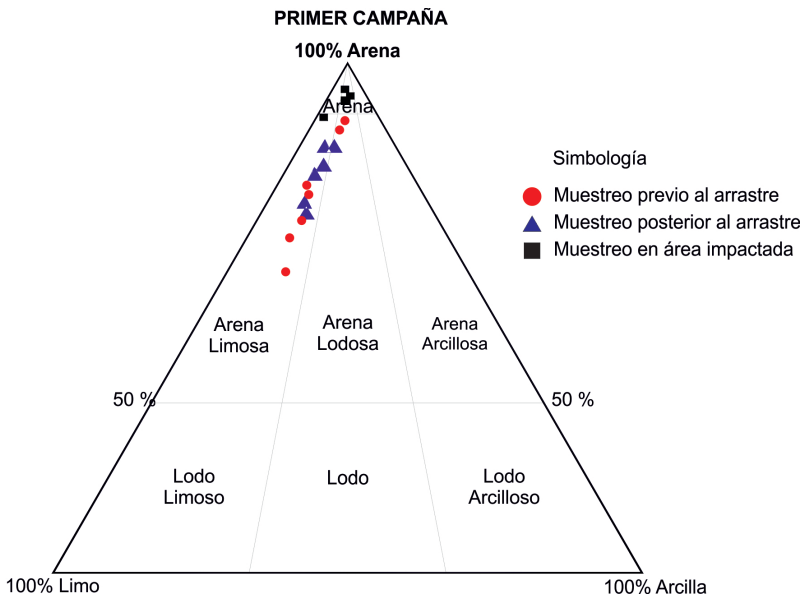


Figura 2. Diagrama ternario de la composición global de los sedimentos en el área de arrastre y de referencia. Las muestras del área impactada presentan mayor porcentaje de arena y el resto caen en el campo de materiales areno-limoso.

El grado de disturbio en la composición granulométrica causado por la red de arrastre fue notorio en la campaña del 2004, los sedimentos antes del arrastre fueron más finos (3.34 phi) y se volvieron ligeramente más arenosos después del arrastre (3.18 phi). Sin embargo, en el muestreo del 2005 no se observó diferencia significativa (fig. 3).

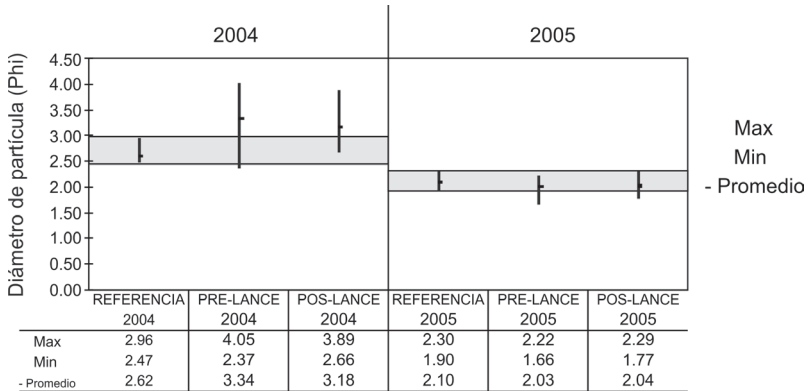


Figura 3. Relación del tamaño de partículas de sedimento. Se muestra el disturbio producido al sedimento por la red de arrastre en dos campañas de muestreo. A mayor diámetro Phi, menor tamaño de partícula. La franja a color es el campo de variación del sitio de referencia.

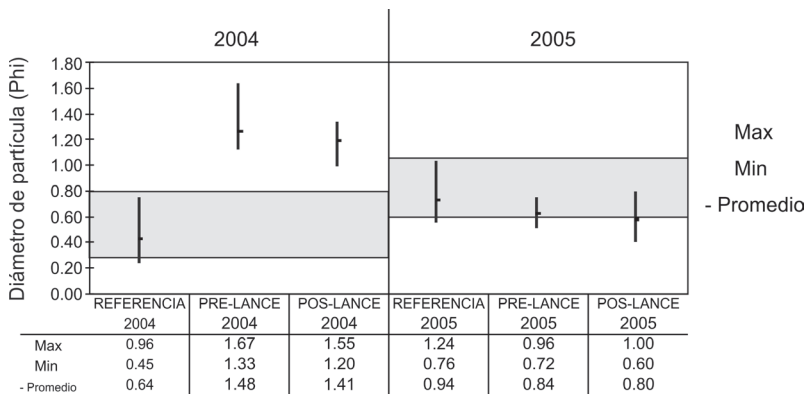


Figura 4. Contenido porcentual de materia orgánica en sedimentos durante muestreos pre-arrastre y post-arrastre en las campañas del 2004 y 2005. La franja a color es el campo de variación del sitio de referencia.

El contenido de materia orgánica en el sedimento tuvo un comportamiento similar al disturbio en la granulometría, con tendencia a disminuir el porcentaje después del arrastre. La zona

de referencia mostró un contenido de materia orgánica menor (0.64%) debido a su consistencia arenosa. En el muestreo del 2005, el contenido de materia orgánica no mostró variación significativa entre las etapas previas al arrastre y posteriores al arrastre, y fue similar al sitio de referencia (fig. 4).

Los sedimentos muestreados con trampas, corresponden a partículas predominantemente de un tamaño menor a 0.032 mm (49%), que correspondieron al tipo granulométrico denominado limo medio. La arcilla fue el segundo grupo más importante con un valor de 32% y tamaño menor a 0.004 mm, mientras que el grupo de las arenas representaron solo el 19% y su tamaño fue de 0.0625 mm correspondiente a arenas muy finas (fig. 5).

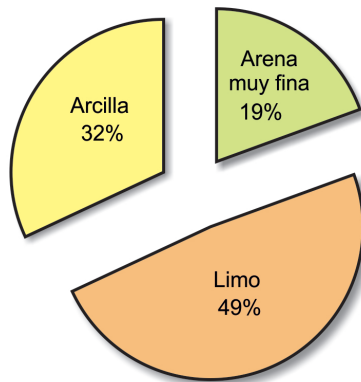


Figura 5. Componentes granulométricos del material suspendido por la red de arrastre colectado con trampas de sedimentos.

Tabla 1. Calidad de agua en muestreos realizados antes y después del arrastre.

Condición	Estación	Seston (mg/l)		Clorofila a	Nitratos	Fosfatos
		orgánico	inorgánico	µg/l	mg/l	mg/l
Antes de Arrastre	1	23	119	0.000	0.039	0.164
	2	26	114	0.000	0.044	0.183
	3	14	117	0.221	0.049	0.189
	4	24	116	0.080	0.043	0.164
	5	26	116	0.083	0.037	0.161
Después de Arrastre	1	24	120	0.205	0.020	0.136
	2	26	105	0.145	0.021	0.155
	3	26	105	0.175	0.025	0.155

Los parámetros fisicoquímicos determinados para los muestreos antes y después del arrastre se muestran en la Tabla 1.

La calidad de agua no mostró diferencia relevante entre el muestreo previo al arrastre y el posterior al arrastre. La concentración de nitratos y fosfatos es levemente mayor en el muestreo previo al arrastre, sin embargo, la diferencia no es significativa. El contenido de seston (materia orgánica microparticulada) no presentó variación entre los muestreos.

Determinación de la velocidad de asentamiento

Las propiedades granulométricas del diámetro medio, densidad y velocidad de asentamiento de las tres fracciones del sedimento fueron utilizadas en el modelo para la generación de nubes individuales de material en suspensión, para determinar su masa, posición espacial diámetro y velocidad de asentamiento.

La velocidad de asentamiento de cada grupo granulométrico, solicitada como parámetro en el modelo fue estimada utilizando la ley de Stokes (fig. 6). De acuerdo a la ecuación 1, alimentada con los valores listados en la tabla 2.

Tabla 2. Valores utilizados en el cálculo de la velocidad de asentamiento de las partículas.

<i>Variable</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidad</i>	<i>Observaciones</i>
ds= densidad del sedimento	2.65	g/cm ³	(~2.6 para cuarzo)
df= densidad del fluido	1.027	g/cm ³	(~1.02 para agua de mar)
g= fuerza gravitacional	9.81	cm/s ²	
v=viscosidad	0.01	g/cm*s	(0.01 para agua)
V= velocidad de asentamiento	-	cm/s	Ver Figura 6
C= coeficiente de arrastre	0.5	-	Variable adimensional
D= diámetro de la partícula	-	cm	Ver figura 6

$$V = CD^2 \quad (1)$$

$$\text{Donde: } C = \frac{(ds - df)}{g} .18v \text{ y } D \text{ es el diámetro del sedimento} \quad (2)$$

Corrientes marinas

En el periodo otoño-invierno del 2004, las corrientes litorales a 12 m de profundidad frente a Cerro Colorado (P1) fueron del orden

de 0.005 m/s, con una dispersión de vectores de mayor velocidad alineado al contorno de la línea de playa (fig. 7a). Asimismo, en el punto 2 (P2) al norte de la localidad de El Choyudo; las corrientes litorales tuvieron velocidad promedio de 0.001 m/s, con vectores máximos de 0.005 m/s alineados a la línea de costa (fig. 7b).

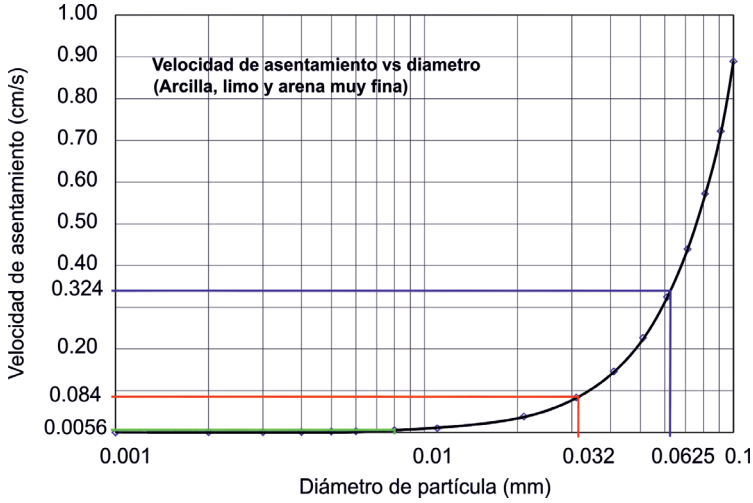


Figura 6. Velocidad de asentamiento de partículas correspondientes a los diámetros medios de los grupos arena muy fina, limo medio y arcillas suspendidos por la red de arrastre.

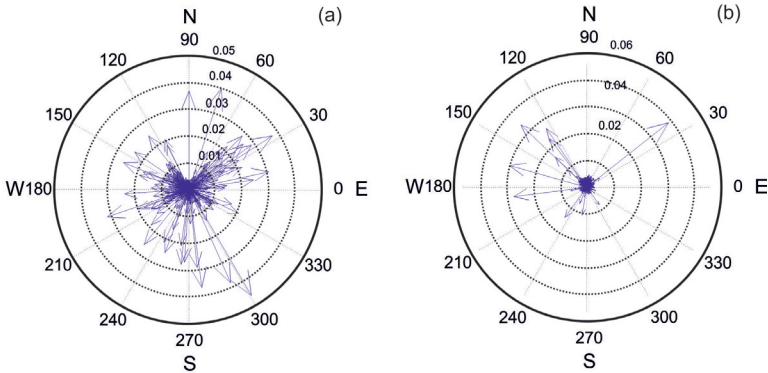


Figura 7. Corrientes litorales: (a) frente a Cerro Colorado el 11 de septiembre de 2004 (P1); (b) frente al sur de la localidad de El Choyudo el 12 de septiembre de 2004 (P2).

En el periodo primavera-verano de 2005, las corrientes se alinearon al eje norte, con mayor significancia hacia el norte en asociación a la fase de flujo de marea. Durante el periodo de medición se observaron magnitudes de hasta 0.25 m/s y promedio de 0.1 m/s (fig. 8).

Simulación de la dispersión

La fase de transporte–dispersión descrita por el modelo está basada en la generación de nubes de sedimento, que son levantadas cuando finaliza la fase de colapso, este material fino puesto en suspensión se mantiene en la columna de agua y son almacenados en pequeñas nubes, que se caracterizan por tener una distribución gaussiana, al final de cada intervalo de tiempo utilizado por el modelo, la nube es dispersada horizontalmente por el campo de velocidad de la corriente como resultado de la difusión turbulenta, la nube de sedimento crece horizontal y verticalmente, entonces un nuevo centroide es determinado.

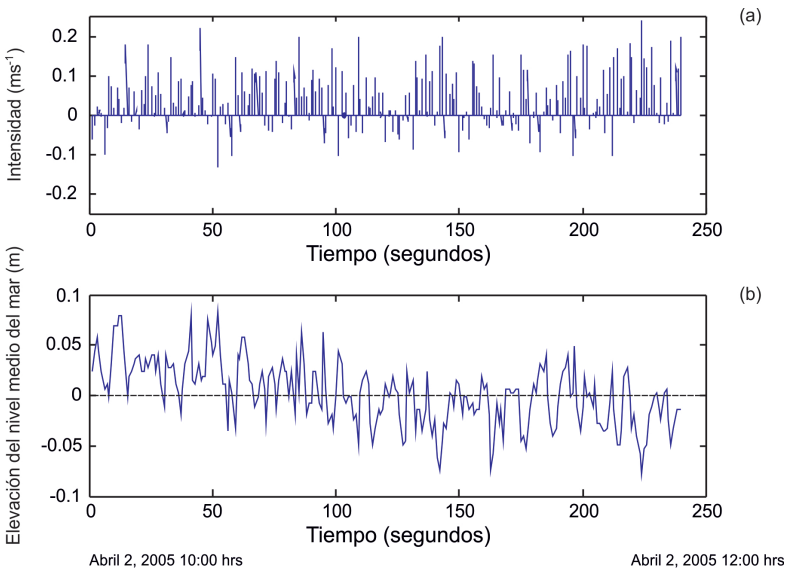


Figura 8. Campaña de medición primavera-verano en El Choyudo: (a) corrientes, (b) marea.

Los centroides de las nubes se desplazan en el intervalo de 1 hora para cada componente entre 220 m y 350 m; mientras que, las nubes de dispersión alcanzaron un diámetro promedio de 245 m con espesor de 8 m. Por efecto de la difusión turbulenta y el depósito de partículas la masa decae abruptamente en cada fracción de sedimento (Tabla 3). La relación entre el depósito y la suspensión de partículas en cada fracción de sedimento se muestra en las figura 9.

Los resultados del modelo indicaron que en el transcurso de una hora, el 92.5% (225 m³) de la fracción de arena fina alcanza a depositarse, mientras que el 8.5% restante es transportado fuera del

área límite del modelo. La fracción de limo solo se depositó en un 38% (104 m³), y la fracción de arcilla se depositó en un 30.5% (79 m³). La representación del espesor generado por la depositación en el espacio tridimensional se muestra en la gráfica de isopacas, que involucra la suma de las tres fracciones de sedimento transcurridos en 3600 segundos (fig. 10).

Tabla 3. Ubicación espacial de centroides de nubes de sedimento y su masa en los últimos 45 minutos de la simulación.

<i>Tiempo (s)</i>	<i>Posición en Z</i>	<i>Posición en X</i>	<i>Masa (pies³)</i>	<i>Diámetro (pies)</i>	<i>Profundidad (pies)</i>	<i>Espesor de nube (pies)</i>	<i>Desplazamiento del centroide (pies)</i>
<i>Arena fina</i>							
900	753.8	250	5603	848.6	60.0	20.0	920.0
3600	1672	250	71.33	763.3	40.7	39.3	(280m)
<i>Limo</i>							
900	753.2	250	7986	848.6	60.2	19.8	722.8
3600	1476	250	233.3	762.3	59.4	20.6	(220m)
<i>Arcilla</i>							
900	753.5	250	7373	848.6	60.1	19.9	1167.5
3600	1921	250	354.1	762.3	38.6	41.4	(356m)

Con los campos de velocidad y dirección de la corriente, la nube de sedimento en la celda de arrastre de 80 por 40 pies afectaría una superficie aproximada de 1.8 Ha (196,400 pies²) para los primeros 500 pies de longitud de arrastre, y 21.6 Ha para todo el recorrido (fig. 11). El espesor de la lámina que generaría el sedimento afuera de la superficie utilizada en la simulación no sobrepasaría los 6 mm de espesor.

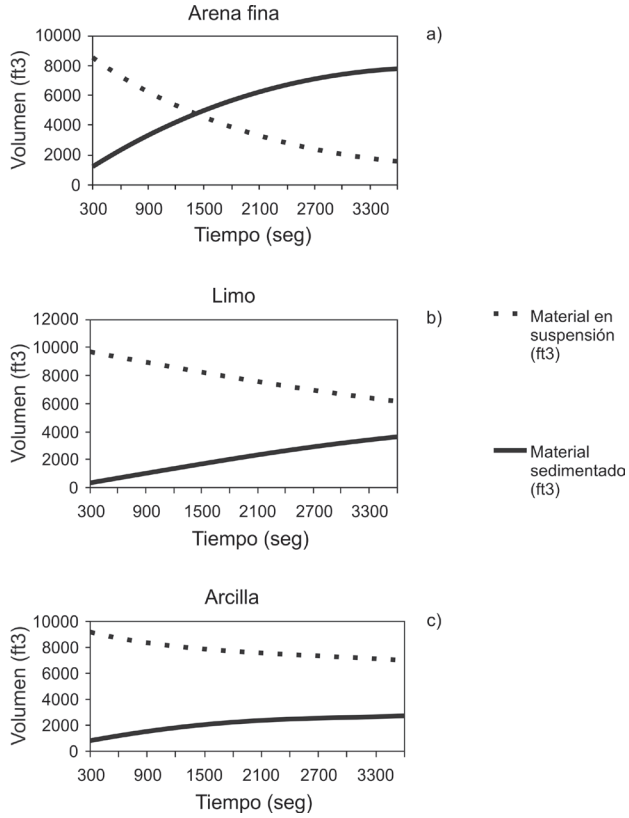


Figura 9. Evolución de las fases de sedimentación y depósito de la nube de sedimento en el lapso de una hora por cada fracción de sedimento.

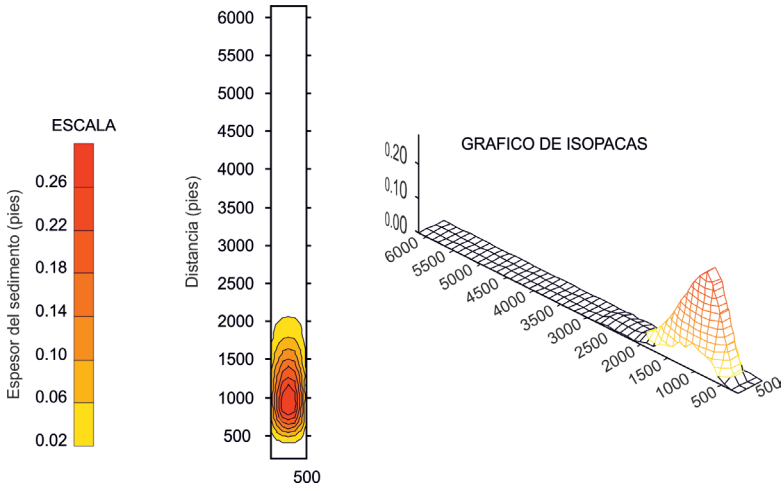


Figura 10. Espesor total depositado en el límite espacial de modelo en pies cúbicos. El espesor mínimo es de 6.1 mm (0.02 pies) y el máximo es de 8.5 cm (0.28 pies).

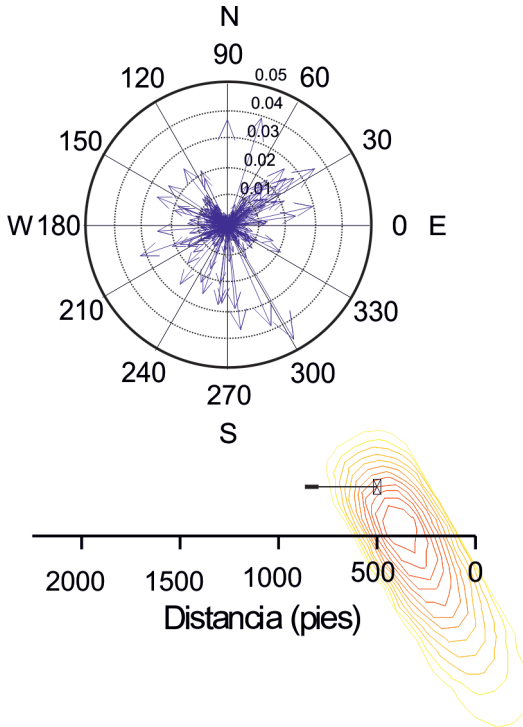


Figura 11. Dirección preferencial de la nube generada en una porción de 500 m lineales de arrastre.

DISCUSIÓN

Los sedimentos muestreados en ambas campañas corresponden a un material areno-limoso con predominancia de arenas finas, mientras que el material resuspendido colectado con trampas de sedimento fue predominantemente limo medio. Estos sedimentos son típicos para la plataforma continental del occidente de Sonora.

Desde el punto de vista granulométrico hubo una diferencia sutil entre los muestreos previos al arrastre y posteriores al arrastre en la campaña del 2004. Esta se manifestó con un corrimiento de los puntos del muestreo posterior al arrastre hacia la fracción de sedimentos más gruesos o de menor diámetro phi (fig. 3). Esto indicó que la red de arrastre removió partículas finas del lecho marino. La zona II o de referencia que es un área tradicionalmente arrastrada cada año, sugiere que los sedimentos arrastrados sucesivamente se tornan más arenosos (fig. 3). La distancia y profundidad que separa ambos transectos previos y posteriores al arrastre con la zona II

fueron similares, por lo tanto, la diferencia granulométrica no obedece a algún cambio de profundidad en el fondo marino. En el año 2005 los muestreos previos y posteriores al arrastre no tuvieron diferencias significativas, y el tamaño de partícula estuvo dentro del intervalo de la zona II de referencia. La razón de esta similitud es que los análisis granulométricos fueron efectuados con el método de tamizado y no se obtuvo la resolución adecuada (fig. 3).

En un estudio similar De Biasi (2004), reportó poca diferencia en la distribución granulométrica entre los muestreos previos y posteriores al arrastre, concluyó que estas diferencias no parecen tener ningún efecto para detectar el impacto de la pesca y sugieren otro tipo de aproximaciones metodológicas, pero al menos, los cambios ligeros de la composición textural fueron atribuidos a la resuspensión por arrastre y a redeposición por efecto de la corriente.

La acción de la red de arrastre modificó el porcentaje de materia orgánica, como lo demostró la diferencia comparativa entre 2004 y 2005 en la zona II, que presentó una mayor alteración por arrastres anuales. El impacto medido *in situ* en la zona previa y posterior al arrastre también mostró este efecto, a pesar de que los datos en el 2005 no fueron consistentes.

La alteración de la concentración de nutrientes por efecto del arrastre no fue detectado en este estudio, aunque en experimentos en laboratorio con sedimentos de la plataforma continental de Venezuela, se ha comprobado que la resuspensión inducida durante 30 minutos incrementa los niveles de sílica, fósforo inorgánico, nitrógeno orgánico y materia orgánica (Gillian 2003).

Las corrientes marinas coincidieron con datos reportados para épocas de verano-invierno. Las velocidades de corrientes a más de 20 brazas de profundidad corresponden a condiciones de aguas profundas, y están sujetas al cambio del patrón estacional del régimen de corrientes del Golfo de California, descrito por Marinone y Lavín (1997), así como Lavín *et al.* (1997) y Beier (1997).

La circulación en el golfo es de tipo ciclónica en los meses de primavera-verano y anticiclónica en otoño-invierno. En el primer caso, el flujo de entrada es desde las costas de Sonora y Sinaloa con velocidades que no exceden los 0.05 m/s y que se incrementan a partir de la cota de los 70 m, donde por efectos de la topografía submarina y procesos de interacción océano-atmósfera se genera una separación de dos capas de agua. En la franja costera con

profundidades menores a 70 m, tanto las corrientes marinas como la elevación son constantes (Lavín *et al.* 1997, Beier 1997). La velocidad de corrientes es de 0.04 m/s y la dirección está en función de la variabilidad de la onda de marea (fig. 9). Las corrientes litorales son paralelas a la línea de costa debido a que responden a la acción combinada de viento, oleaje y marea (Beier 1997). Las magnitudes están en función de la profundidad y en el caso de la franja costera entre Cerro Colorado y El Choyudo son menores a 0.01 m/s.

CONCLUSIONES

La alteración en el fondo marino existe. La acción de los arrastres eliminó las partículas más finas, y la materia orgánica del sedimento del fondo marino, tornándose más arenosa. Los cambios en la estructura sedimentaria fueron detectados en composición textural, atribuidos a la resuspensión por arrastre combinado con la redepositación por efecto de la corriente.

El efecto en escala espacial es una nube de sedimento, dispersa en una superficie de 1.8 Ha para los primeros 500 pies de longitud de arrastre y 21.6 Ha para la totalidad del recorrido. La precipitación de los sedimentos sucedió en forma vertical para la fracción arenosa, con un tiempo de precipitación de 1 hora; y en forma longitudinal para la fracción limo-arcillosa que es arrastrada por las corrientes paralelas a la costa, con un tiempo estimado de precipitación de 24 a 48 horas.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue financiada por el proyecto SAGARPA-CONACYT 2003-02-089 y el proyecto EP1.1. Se agradece el apoyo de los Laboratorios de Manejo Costero, Calidad de Agua y el Laboratorio de Sedimentología de la unidad Guaymas del CIBNOR, así como a la tripulación del B/O BIP XII.

REFERENCIAS

- Beier, E. (1997). A numerical investigation of the annual variability in the Gulf of California. *J. Phys. Oceanogr.* 27: 615-632.
- Churchill, J. H. (1989). The effect of commercial trawling on sediment resuspension

- and transport over the Middle Atlantic Bight continental shelf. *Cont. Shelf Res.* 9: 841-864.
- Darlene, W. (2005). Total organic carbon in Maryland Coastal Bays sediments: Status of a regulator of chemical and biological processes. In: C. E. Wazniak, M. R. Hall (eds.), *Maryland's Coastal Bays: Ecosystem Health Assessment 2004*. Maryland Department of Natural Resources, Tidewater Ecosystem Assessment, Annapolis, MD.
- Norse, E. A. (1999). Impacts of Mobile Fishing Gear: The biodiversity perspective. *American Fisheries Society Symposium* 22:31-40, 1999. Darling Marine Center, University of Maine, Walpole, Maine 04573, USA.
- EPA, USACE. (1995). Evaluation of dredge material proposed for discharge in waters of The U.S. Testing Manual (Final, Workgroup Draft). Washington D.C.
- Fish Net. (1999). Number 6. USA. May 8. <http://www.fishingnj.org/netusa6.htm>
- Folk, R. L., Ward, W. C. (1956). Brazos River Bar: A study on the significance of grain size parameters. *J. Petrol.* 4: 65-67.
- García, E. (1968). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köpen. Primera edición, Instituto de Geografía, UNAM, México, D.F.
- Gillian, D. (2003). Physical disturbance and biological implications of sediment resuspension from commercial fishing gear in the Gulf of Maine. Submitted in partial fulfillment of the requirements for a Bachelor of Arts degree from Carleton College, Northfield, Minnesota.
- INEGI. (1981). Carta hidrológica de aguas superficiales 1:250,000 SIERRA LIBRE H12-11. Secretaría de Programación y Presupuesto, Coordinación General de los Servicios nacionales de Estadística, Geografía e Informática.
- Lavín, M. F., Beier, E., Badan, A. (1997). Estructura hidrográfica y circulación del Golfo de California: Escalas estacional e interanual. In: M. F. Lavín (ed.), *Contribuciones a la Oceanografía Física en México*, Monografía No. 3, Unión Geofísica Mexicana, pp. 141-171.
- Maluf, L. I. (1983). The physical oceanography. In: T.H. van Andel, G.G. Shor Jr. (eds.), *Marine geology of the Gulf of California, A Symposium*, The American Association of Petroleum Geologist, Tulsa, Mem. 3, pp. 30-58.
- Marinone, S. G., Lavín, M. F. (1997). Mareas y corrientes residuales en el Golfo de California. In: M. F. Lavín, (ed.), *Contribuciones a la oceanografía física en México*. Monografía No. 3, Unión Geofísica Mexicana. pp. 113-138
- Martin, D. M. (1972). *Marine chemistry*, Vol. I. Marcel-Decker, New York.
- Murphy, J., Riley, P. (1962). A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chem. Acta.* 27: 31-36.
- Palanques, A., Guillen, J., Puig, P. (2001) Impact of bottom trawling on water turbidity and muddy sediment of an unfished continental shelf: *Limnol. Oceanogr.* 46(5): 1100-1110.
- Royse, C. (1970). *Introduction to sediment analysis*. Arizona State University Publications. Schroeder, P. R., and Palermo, M. R. (1995). The automated dredging and disposal alternatives modeling system (ADDAMS), *Environmental Effects of Dredging Technical Notes EEDP-06-12*, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.

DISPERSIÓN DE SEDIMENTO POR ARRASTRE

- Schroeder, P. R., Palermo, M. R. (1995). The automated dredging and disposal alternatives modeling system (ADDAMS), Environmental Effects of Dredging Technical Notes EEDP-06-12, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.
- Spotte, S. (1979a). Fish and invertebrate culture: water management in closed systems. Wiley, New York, USA.
- Spotte, S. (1979b). Seawater aquariums: the captive environment. Wiley, New York.
- Strickland, D. H., Parsons, T. R. (1972). A practical handbook of seawater analysis. Bulletin 167. Fish. Res. Board Can.
- Watling L., Norse, E. A. (1998). Disturbance of the seabed by mobile fishing gear: A comparison with forest clear cutting. *Conserv. Biol.* 12(6): 1180-1197.
- Zenetos, A., Simboura, N., Pancucci-Papadopoulou, M. A., Lykoussis, V., Vassilopoulou, V., Thessalou-Legaki, M., Papaspyrou, S. (1995). Trawling impact on benthic ecosystems project N° 95/014.

CITA DE CAPÍTULO 13

Padilla-Arredondo, G., M. S. Burrola-Sánchez, D. Urias-Laborín, S. Pedrín-Avilés y M. R. López-Tapia. 2012. Dispersión de sedimento por efecto de redes de arrastre en la zona marina frente a “El Choyudo”, Municipio de Hermosillo, Sonora, México. En: López-Martínez J. y E. Morales-Bojórquez (Eds.). Efectos de la pesca de arrastre en el Golfo de California. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. y Fundación Produce Sonora, México, pp. 241-260.