



Geoquímica sedimentaria en áreas de pesca de arrastre y no arrastre de fondo en la costa de Sinaloa-Sonora, Golfo de California

Alberto Sánchez^{1,*}, Sergio Aguñiga^{1,2}, Daniel Lluch-Belda¹, Jaime Camalich-Carpizo¹, Pablo Del Monte-Luna¹, Germán Ponce-Díaz¹, Francisco Arreguín-Sánchez¹

¹Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional, Baja California Sur, México. Apartado Postal # 592, La Paz, Baja California Sur, México.

² Becario COFAA-IPN.

(*) Autor correspondiente:

Email: alsanchezg@ipn.mx; alsanchezg13@gmail.com

Resumen

Los estudios geoquímicos y sedimentológicos realizados para evaluar el efecto de la pesca de arrastre de fondo en México, son prácticamente inexistentes. En el presente trabajo se contrastan sitios de arrastre y no arrastre de la pesca del camarón en la costa de Sinaloa-Sonora. El análisis del tamaño de grano medio indicó diferencias estadísticamente significativas entre sitios de arrastre y no arrastre. Sorprendentemente, las variables geoquímicas (carbonato de calcio, carbono y nitrógeno orgánico, la razón C/N y los isótopos estables de carbono y nitrógeno) en ambas áreas (prístinas e impactadas), no fueron estadísticamente diferentes. Nuestros datos sugieren que el transporte de materiales y energía regularían, de manera similar en ambas zonas, los procesos biogeoquímicos que determinan los intervalos de estas variables y que no las hace estadísticamente diferentes. Aparentemente el ecosistema bajo el efecto de la pesca de arrastre de fondo en la costa de Sinaloa-Sonora, Golfo de California es capaz de absorber este impacto.

Palabras clave: Pesca de arrastre, Geoquímica, Razón C/N, Isótopos estables C y N, Golfo de California.

Abstract

The geochemical and sedimentological studies conducted to assess the impact of bottom trawling in Mexico, are virtually absent. In this research are contrasted trawling and not-trawling sites of shrimp fishing in the coast of Sinaloa-Sonora. The analysis of grain-size indicated statistically significant differences between trawling and not-trawling sites. Unexpectedly, the geochemical variables (calcium carbonate, carbon and organic nitrogen, the ratio C/N and the stables isotopes of carbon and nitrogen) in both areas (pristine and impacted) were not statistically different. Our data suggest that the transport of materials and energy regulated, in both areas, biogeochemical processes that determine the ranges of these variables and that make them not statistically different. In fact, the ecosystem under the effect of bottom trawling in the coast of Sinaloa-Sonora is able to absorb this impact.

Keywords: Bottom trawling, Geochemistry, C/N ratio, stables isotopes of C and N, Gulf of California.

1. Introducción

La pesca de arrastre de fondo puede ser, después de la agricultura, de las artes más perjudiciales derivadas de las actividades antropogénicas (Watling y Norse, 1998). Los arrastres de fondo marino con una zona de perturbación de 120-150 cm

de ancho y una profundidad de 5 cm, ocasionan un detrimento de la biota marina (Jones, 1992; Engel y Kvitek, 1998; Hall, 1999) afectando directamente la abundancia e indirectamente las estructuras y organismos que sirven de hábitat y alimentación, respectivamente (Sainsbury, 1988; Hall, 1999). A pesar de estas preocupaciones, la intensidad y eficacia de la pesca

de arrastre de fondo han aumentado en todo el mundo (Hall, 1999). Los estudios realizados sobre el impacto de la pesca de arrastre en los diversos componentes del ecosistema marino, han encontrado resultados mixtos y con ello se demuestra que los efectos de la pesca de arrastre sobre el bentos no es una tarea fácil de investigar por razones diversas. Los daños causados en el ecosistema marino varían en función del sistema de pesca de arrastre, las artes (tipo, configuración y peso), el tipo de sedimento y biota, y las perturbaciones naturales (Jones, 1992; Kaiser y Spencer, 1996).

La resuspensión del sedimento inducida por los arrastres tiene implicaciones en el decaimiento y la remineralización de la materia orgánica con un fuerte impacto en el balance de nutrientes. Mayer *et al.* (1991) indicaron que el enterramiento de materia orgánica lábil en horizontes subsuperficiales puede cambiar una población de eucariontes aeróbicos hacia un metabolismo dominado por procariontes anaeróbicos y la situación inversa ocurre al exponer sedimentos subsuperficiales anaeróbicos a condiciones aeróbicas cuando se induce a la mezcla de sedimento durante el proceso de arrastre.

El grado en que los sedimentos aeróbicos y anaeróbicos son afectados por el arrastre de fondo dependerá de la profundidad y espesor de la capa de oxido-reducción del sedimento. Por ejemplo, el flujo de nitrógeno sedimentario incrementa substancialmente como aumenta la tasa de bioturbación y durante los arrastres de fondo, especies oportunistas de poliquetos (organismos bioturbadores) colaboran con el flujo de nitrógeno sedimentario (Aller, 1988). La resuspensión derivada de los arrastres introduciría amonio regenerado y el nitrato (nitrificación) en una columna bien oxigenada; por lo tanto, estas especies nitrogenadas estarán disponibles para el ecosistema aeróbico (Seitzinger, 1988). La resuspensión de 1 mm de sedimento es suficiente para duplicar o triplicar el flujo de nutrientes hacia la zona fótica. Estos flujos pueden llevar al cambio de la comunidad picoplanctónica (e.g., cocolitoforidos) a diatomeas, resultando en un incremento significativo en la productividad primaria y la tasa de carbono orgánico exportado (Chavez, 1996; Sánchez y Carriquiry, 2007). De esta forma, el cambio neto en la regeneración de nutrientes por decaimiento y remineralización de la materia orgánica producto del arrastre pueden conducir a un impacto deseable o indeseable.

Aunque se han realizado estudios sobre el impacto de la pesca de arrastre sobre el fondo marino, estas investigaciones se han enfocado en evaluar específicamente los cambios y/o sucesiones que ocurren en las comunidades bentónicas antes, durante y después del arrastre de fondo. Sin embargo, los aspectos geoquímicos sedimentarios de las zonas de pesca del camarón no han sido evaluados y contrastados para áreas de arrastre intensivo (zonas perturbadas y sedimentos no consolidados) y de no arrastre (zonas prístinas, definidas como "pegazones" caracterizadas por rocas, gravas, cantos rodados o barcos hundidos). Los pocos estudios se han enfocado en comparar algunas propiedades del sedimento (tamaño de grano: arenas vs limos y arcillas) y el contenido de materia orgánica para áreas de arrastre (Pilskaln *et al.*, 1998; Schwinghamer *et al.*, 1998; Dernier *et al.*, 2003).

La presente investigación tiene como objetivo determinar y contrastar las características sedimentarias y geoquímicas del material de fondo entre sitios que son de continuo arrastre derivado de la pesquería del camarón y áreas de no arrastre, consideradas como zonas de nulo impacto, en las costas Sinaloa-Sonora.

2. Métodos

Las muestras de sedimento superficial se colectaron con una draga Smith-Grad en el intervalo de profundidad de 8 a 47 m. Solo se colectaron los primeros 2 cm de espesor del sedimento. Un total de 38 estaciones fueron colectadas que corresponden a 10 en zonas de no arrastre y 28 en zonas de arrastre (Figura 1). El período de muestreo fue del 26 al 28 de mayo de 2007, fin de la temporada de la pesquería del camarón.

El análisis del tamaño de grano de los sedimentos colectados se realizó en el laboratorio de Geología del CICIMAR-IPN. Para ello se utilizó un analizador de partículas de la marca Beckman-Coulter.

Las muestras de sedimento superficial para sus análisis de carbono y nitrógeno orgánico (Corg y Norg) fueron pretratadas con ácido clorhídrico para remover el carbono inorgánico. Las muestras fueron secadas en un horno a 50°C y encapsuladas para el análisis elemental (C y N) y de isótopos estables (C y N) (e.g., Goñi *et al.*, 1998; Goñi *et al.*, 2003). Los análisis fueron realizados en un espectrómetro de masas de razones isotópicas acoplado a un analizador elemental de la Universidad del California en Davis. La precisión analítica de las mediciones elementales e isotópicas fue 2.2 y 2.6 µg para Corg y Norg, respectivamente, y de 0.30 y 0.10 ‰ para δ¹⁵N y δ¹³C, respectivamente. El carbonato de calcio (CaCO₃) fue cuantificado en un Coulómetro de la Universidad del Sur California y la precisión analítica del CaCO₃ fue <0.5%.

3. Resultados y discusión

3.1 Tamaño de grano y tipo de sedimento

El tamaño de grano medio fue 4 ± 2 (φ) para todas las muestras. El tipo de sedimento estuvo caracterizado principalmente por lodos y arenas lodosas con pocas estaciones con sedimentos arenosos. En cuanto a las zonas de arrastre estas estuvieron caracterizadas por un tamaño de grano medio de 4 ± 2.0 (φ) y las estaciones de no arrastre por un tamaño de grano medio de 6 ± 3 (φ) (Tabla 1).

3.2 Contenido de carbono y nitrógeno orgánico, la razón C/N y CaCO₃

Los contenidos totales de Corg y Norg fueron 226 ± 182 mg y 31 ± 23 mg, respectivamente. Las zonas de arrastre tuvieron un contenido de Corg y Norg de 236 ± 196 mg y 33 ± 25 mg, respectivamente. Las zonas de no arrastre tuvieron un contenido de Corg y Norg de 195 ± 133 mg y 28 ± 16 mg, respectivamente. La razón general C/N tuvo un promedio de 8

± 1 . Mientras que, en la zona de arrastre tuvo un valor de 7 ± 1 y la zona de no arrastre de 6 ± 1 . El contenido total de CaCO_3 fue $5 \pm 7\%$. Las zonas de arrastre tuvieron un contenido de CaCO_3 de 4 ± 5 . Las zonas de no arrastre tuvieron un contenido de CaCO_3 de 8 ± 11 (Tabla 1).

3.3 Isótopos estables de carbono y nitrógeno

Los valores generales del $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ fueron $9 \pm 2\%$ y $-21 \pm 1\%$, respectivamente. En la zona de arrastre, los valores para el $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ fueron $8 \pm 1\%$ y $-21 \pm 1\%$, respectivamente. Para la zona de no arrastre, los valores del $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ fueron $9 \pm 3\%$ y $-20 \pm 1\%$, respectivamente (Tabla 1).

3.4 Pruebas estadísticas

Con la finalidad de determinar si existen diferencias entre las variables sedimentológicas y geoquímicas del material sedimentario de las zonas de arrastre y no arrastre se realizó un análisis de varianza. El análisis de varianza indicó que solo el tamaño de grano medio resultó ser significativamente diferente entre áreas de arrastre y no arrastre (Tabla 2). Las áreas de arrastre tuvieron un tamaño de grano medio 4ϕ (sedimentos arenosos finos) y las zonas de no arrastre tuvieron un tamaño de grano medio de 6ϕ (sedimentos limosos o lodosos). Las diferencias en el tamaño de grano están controladas principalmente por las condiciones hidrodinámicas del ambiente (oleaje, corrientes y mareas) o bien por la batimetría (Carriquiry y Sánchez, 1999), ya que el material sedimentario tiende a hacerse más fino conforme incrementa la profundidad o las condiciones hidrodinámicas son menos intensas (Carriquiry *et al.*, 2001).

En efecto, la resuspensión del sedimento derivada de los arrastres facilita que el material fino (limos y arcillas) sea llevado hacia otras zonas por las corrientes marinas y el material grueso (arenas) con una mayor velocidad de asentamiento sea preferencialmente depositado en las zonas de arrastre (Sparks-McConkey y Les Watling, 2001). Sin embargo, los resultados del presente estudio contrastan con los encontrados por Schwinghamer *et al.* (1998) quienes hallaron que antes y

después de los arrastres no se tuvieron efectos detectables en el tamaño de grano medio. Pero esta diferencia en resultados puede ser debida a que estos autores no contrastaron entre zonas de arrastre y no arrastre.

Las variables geoquímicas carbono y nitrógeno orgánico, la razón C/N y los isótopos de carbono y nitrógeno, así como el contenido de CaCO_3 no mostraron diferencias estadísticamente significativas entre los sitios de arrastre y los de no arrastre (Tabla 2). Estas variables no han sido evaluadas en estudios previos y su contribución es importante en el entendimiento de los procesos de decaimiento y remineralización de la materia orgánica que pueden derivar en cambios netos en la regeneración de nutrientes y, por lo tanto, conducir a un impacto deseable o indeseable en estos ecosistemas.

Como se menciona anteriormente, la resuspensión del sedimento por el arrastre de fondo puede liberar más rápidamente a la columna de agua grandes pulsos de nutrientes hacia la zona fótica resultando en un incremento significativo de la productividad primaria y la tasa de carbono orgánico exportado (Chávez, 1996; Sánchez y Carriquiry, 2007). Sin embargo, los contenidos de Corg y Norg en sedimentos superficiales de zonas de arrastre y no arrastre no mostraron diferencias estadísticamente significativas, indicando con ello que los aportes de materia orgánica, derivados de la fauna de acompañamiento y la resuspensión de material sedimentario y su exposición no tienen un efecto significativo en la tasa de la productividad exportada. Schwinghamer *et al.* (1998) mencionan una reducción en el contenido de materia orgánica durante los arrastres de fondo, lo cual indica una importante remineralización de la materia orgánica. Por otra parte, la razón C/N y el $\delta^{13}\text{C}$ indican que la materia orgánica es predominantemente de origen marino (e.g., Goñi *et al.*, 1998; Goñi *et al.*, 2003; Sánchez y Carriquiry, 2007). Al respecto, Niggemann *et al.* (2007) sugieren que una razón C/N entre 5-7 corresponde a una materia orgánica rica en proteína, la cual está asociada a una producción nueva (exceso de nitratos). Aller (1988) sugiere que la resuspensión del sedimento derivado del arrastre puede contribuir significativamente a la liberación de nitratos y favorecer a la productividad primaria.

Los isótopos de nitrógeno son usados como indicadores de nitrificación y desnitrificación sedimentaria deriva de ambientes sedimentarios anóxicos u óxicos (Seitzinger, 1988). El enterramiento de materia orgánica lábil en horizontes sub-superficiales cambia las condiciones hacia un metabolismo

Tabla 1. Parámetros estadísticos de los sedimentos superficiales de la costa de Sinaloa-Sonora.

	Tamaño de grano (phi)	CaCO_3 %	Corg mg	Norg mg	C/N	$\delta^{15}\text{N}$ ‰	$\delta^{13}\text{C}$ ‰
Todas las estaciones (38 estaciones)							
Promedio	4	5	226	32	7	9	-21
DS	2	7	182	23	1	2	1
Zonas de arrastre (28 estaciones)							
Promedio	4	8	195	28	6	8	-21
DS	2	11	133	15	1	1	1
Zonas de no arrastre (10 estaciones)							
Promedio	6	4	236	33	7	9	-20
DS	3	5	196	24	1	3	1

Tabla 2. Análisis de varianza para zonas de arrastre y no arrastre ($\alpha = 0.05$).

	SS	MS	F	p
Tamaño de grano medio	38.4	38.4	8.0	0.008
Carbonato de calcio	97.0	97.0	2.0	0.168
Carbono orgánico	10404.8	10404.8	0.3	0.584
Nitrógeno orgánico	125.5	125.5	0.2	0.627
C/N	0.8	0.8	0.4	0.535
$\delta^{15}\text{N}$	2.3	2.3	0.4	0.524
$\delta^{13}\text{C}$	2.3	2.3	5.8	0.052

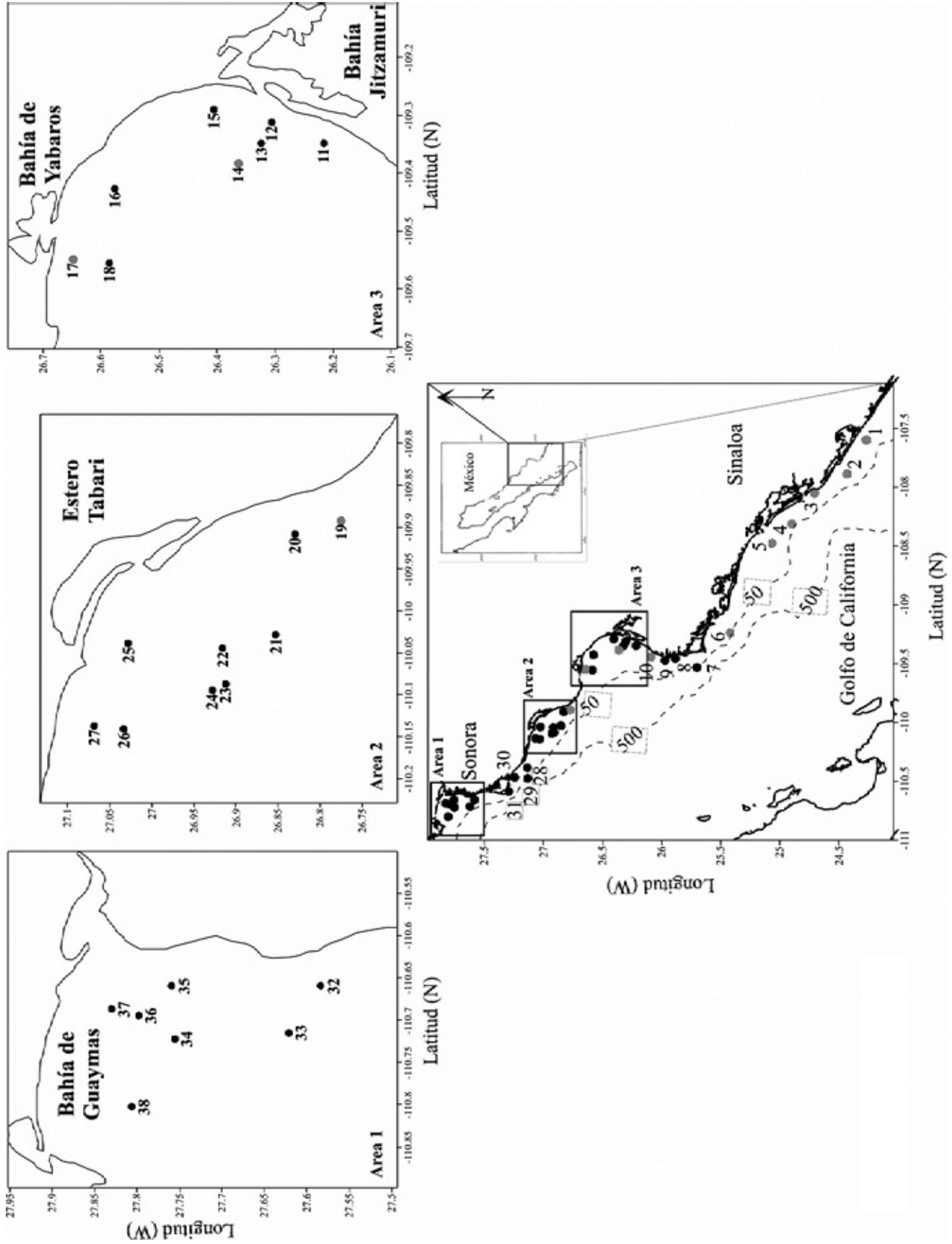


Figura 1. Estaciones de muestreo de sedimentos superficiales en la costa de Sinaloa-Sonora. Los círculos negros corresponden a las estaciones de arrastre y los círculos grises corresponden a las estaciones de no arrastre.

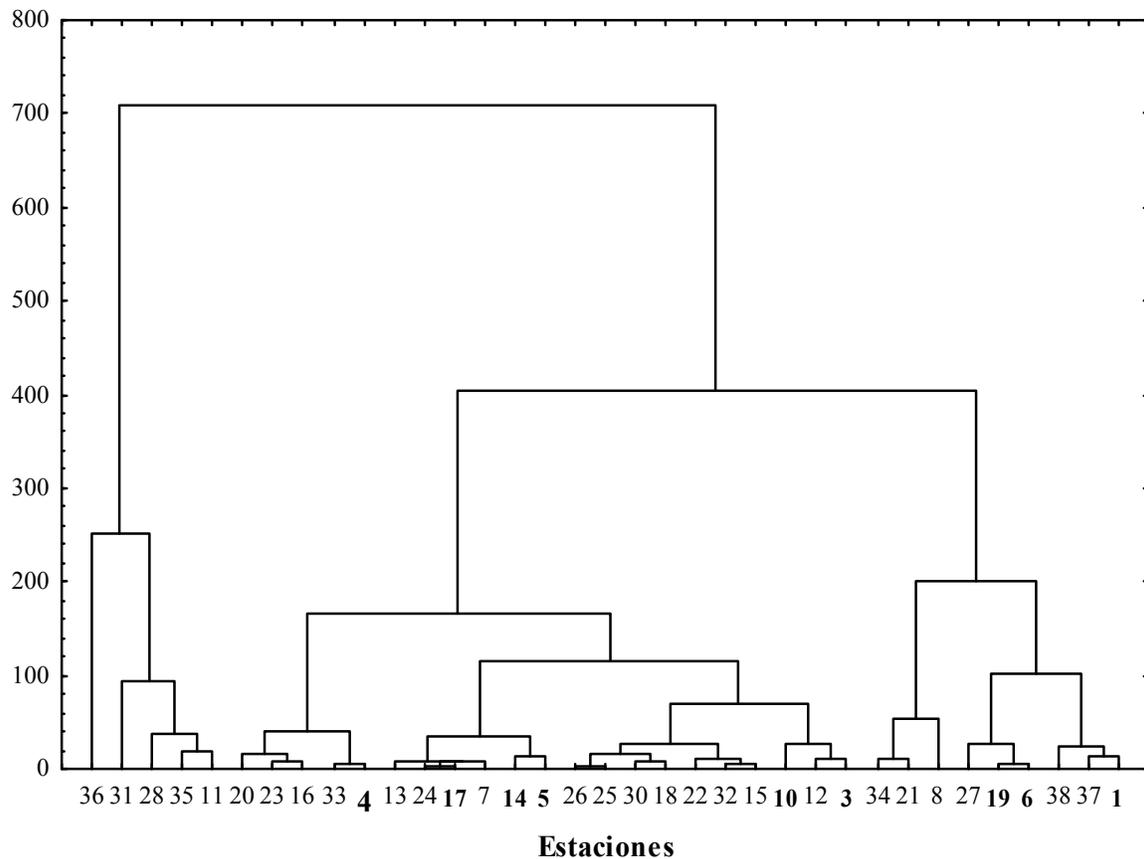


Figura 2. Análisis estadístico multivariado en modo Q (estaciones) para sedimentos superficiales de arrastre y no arrastre en la costa de Sinaloa-Sonora, Golfo de California. Las estaciones en zonas de no arrastre están representadas con letras en negrita y las estaciones en zonas de arrastre están representadas con letras normales.

dominado por procariontes anaeróbicos (i.e., condiciones con bajo contenido de oxígeno; Mayer *et al.*, 1991). Las bacterias responsables de la desnitrificación requieren de bajas concentraciones de oxígeno en el sedimento (Seitzinger, 1988). Por otra parte, la resuspensión derivada de los arrastres introduciría amonio regenerado y el nitrato (nitrificación) en una columna bien oxigenada; por lo tanto, está disponible para el ecosistema aeróbico y ello conduciría hacia valores del $\delta^{15}\text{N}$ típicos de una producción nueva. Sin embargo, los valores del $\delta^{15}\text{N}$ sugiere que el sistema sedimentario mantiene sus condiciones aeróbicas bajo ambos escenarios de arrastre y no arrastre; aunque estos resultados no son concluyentes. Sobre todo porque los valores del $\delta^{15}\text{N}$ no fueron significativamente diferentes entre estas zonas.

Con la finalidad de comprobar que las estaciones de muestreo tienen diferencias significativas en cuanto a sus variables geoquímicas y sedimentológicas se efectuó un análisis estadístico multivariado de grupo, en modo Q (contraste entre estaciones; Figura 2). La distribución espacial mostró que no existe una preferencial agrupación de estaciones de arrastre y no arrastre lo cual corrobora que no hay diferencias significativas entre estas zonas.

Las variables geoquímicas y sedimentológicas para zonas de arrastre y no arrastre sugieren que el transporte de materiales y energía regularían, de manera similar en ambas zo-

nas, los procesos biogeoquímicos que determinan los intervalos de estas variables y que no las hace estadísticamente diferentes. Aparentemente el ecosistema bajo el efecto de la pesca de arrastre de fondo en la costa de Sinaloa y Sonora es capaz de absorber este impacto. En efecto, Pilskaln *et al.* (1998), Schwinghamer *et al.* (1998) y Dernier *et al.* (2003) sugieren que las marcas ocasionadas por la pesca de arrastre de fondo son visibles hasta 10 semanas después e incluso pueden permanecer hasta un año, pero en términos generales los efectos son moderados y el ecosistema se recupera rápidamente. Finalmente, la tasa de recuperación física y biológica es mediada por la combinación de factores físicos, químicos y biológicos que difieren en su relativa importancia según el ambiente. Monitorear la tasa de relleno de los “parches” derivados del disturbio físico del sedimento tiene el potencial de convertirse en una herramienta útil que ayudaría en la predicción de la tasa de recuperación de las comunidades bentónicas, así como precisar el impacto de estas actividades antropogénicas en los ecosistemas bentónicos de ambientes continentales marginales.

4. Conclusiones

Otros estudios del impacto de la pesca de arrastre sobre el fondo marino se han enfocado en evaluar específicamente los

cambios y/o sucesiones en las comunidades bentónicas antes, durante y después del arrastre de fondo; donde los aspectos geoquímicos sedimentarios no han sido evaluados y contrastados para áreas de arrastre intensivo y de no arrastre. Con excepción del tamaño de grano medio, las variables geoquímicas del material sedimentario no mostraron diferencias significativas entre zonas de arrastre y no arrastre lo que sugiere que el transporte de materiales y energía regularían los procesos bio-geoquímicos. De esta forma, la tasa de recuperación del fondo marino es mediada por factores físicos, químicos y biológicos y aparentemente el ecosistema bajo el efecto de la pesca de arrastre de fondo en la costa de Sinaloa es capaz de absorber este impacto. Finalmente se sugiere hacer un monitoreo de la tasa de relleno de los “parches” derivados del disturbio ocasionado por el arrastre y de esta forma puede ser una herramienta útil que permitiría predecir la tasa de recuperación de las comunidades bentónicas, así como una mejor evaluación de estas actividades antropogénicas en los ecosistemas bentónicos de ambientes continentales marginales.

Agradecimientos

Nosotros damos las gracias a los revisores Dr. Jacobus Le Roux y Dra. Gladys Bernal por sus críticas y sugerencias al presente trabajo. Agradecemos el apoyo de la tripulación del B/O BIP XII y al Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. Al Dr. Oscar González Yajimovich por el análisis de carbonato de calcio. Este trabajo se realizó bajo el financiamiento del proyecto SAGARPA-Gobierno de Sonora.

Referencias bibliográficas

- Aller, R.C., 1988, Benthic fauna and biogeochemical processes in marine sediments: The role of burrow structures, in Blackburn, T. H. (ed.), Nitrogen Cycling in Coastal Marine Environments: Chichester, John Wiley & Sons., 301-338.
- Chavez, F. P., 1996, Forcing and biological impact of onset of the 1992 El Niño in central California: Geophysical Research Letters, 23, 265-268.
- Carriquiry, J. D., Sanchez, A., 1999, Sedimentation in the Colorado River delta and Upper Gulf of California after nearly a century of discharge loss: Marine Geology, 158, 125-145.
- Carriquiry, J. D., Sanchez, A., Camacho-Ibar V. F., 2001, Sedimentation in the Northern Gulf of California after the elimination of Colorado River discharge: Sedimentary Geology, 144, 37-62.
- Dernie, K. M., Kaiser, M. J., Richardson, E. A., Warwick, R. M., 2003, Recovery of soft sediment communities and habitats following physical disturbance: Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 285-286, 415-434.
- Engel, J., Kvitck, R., 1998, Effects of otter trawling on a benthic community in Monterey Bay National Marine Sanctuary: Conservation Biology, 12, 1204-1214.
- Goñi, M. A., Ruttenberg, K. C., Eglinton, T. I., 1998, A reassessment of the sources and importance of land-derived organic matter in surface sediments from the Gulf of Mexico: Geochimica et Cosmochimica, Acta, 62, 3055-3075.
- Goñi, M. A., Aceves, H. L., Thunell, R. C., Tappa, E., Black, D., Astor, Y., Varela, R., Muller-Karger, F., 2003, Biogenic fluxes in the Cariaco Basin: a combined study of sinking particulates and underlying sediments: Deep-Sea Research, I 50, 781-807.
- Hall, S. J., 1999, The Effects of Fishing on Marine Ecosystems and Communities: Blackwell Science, Oxford.
- Jones, J. B., 1992, Environmental impact of trawling on the seabed: a review. New Zealand: Journal of Marine and Freshwater Research, 26, 59-67.
- Kaiser, M. J., Spencer, B. E., 1996, The effects of beam-trawl disturbance on infaunal communities in different habitats: Journal of Animal Ecology, 65, 348-358.
- Niggemann, J., Feldelman, T., Lomstein, B., Kallmeyer, J., Schubert, C., 2007, How depositional conditions control input, composition, and degradation of organic matter in sediments from the Chilean coastal upwelling region: Geochimica et Cosmochimica, Acta, 71, 1513-1527.
- Pilskaln, C. H., Churchill, J. H., Mayer, L. M., 1998, Resuspension of sediment by bottom trawling in the Gulf of Maine and potential geochemical consequences: Conservation Biology, 12, 1223-1229
- Sainsbury, K. J., 1988, The ecological basis for multispecies fisheries, and management of a demersal fishery in tropical Australia, in Gulland J. A. (Ed), Fish Population Dynamics. John Wiley and Sons, Chichester, UK.
- Sánchez, A., Carriquiry, J., 2007, Acumulación de Corg, Norg, Porg y BSi en la Margen de Magdalena, B.C.S., México durante los últimos 26 ka: Ciencias Marinas, 33, 23-35.
- Schwinghamer, P., Gordon, Jr. D. C., Rowell, T. W., Prena, J., McKeown, D. L., Sonnichsen, G., Guigné, J. Y., 1998, Effects of experimental otter trawling on surficial sediment properties of a sandy-bottom ecosystem on the Grand Banks of Newfoundland: Conservation Biology, 12, 1215-1222.
- Seitzinger, S. P., 1988, Denitrification in freshwater and coastal marine ecosystems: ecological and geochemical significance: Limnology and Oceanography, 33, 702-724.
- Sparks-McConkey, P. J., Watling, L., 2001, Effects on the ecological integrity of a soft-bottom habitat from a trawling disturbance: Hydrobiologia, 456, 73-85.
- Watling, L., Norse, E. A., 1998, Disturbance of the seabed by mobile fishing gear: a comparison to forest clear cutting: Conservation Biology, 12, 1180-1197.

Manuscrito recibido: 23/06/2008

Manuscrito corregido recibido: 22/09/2008

Manuscrito aceptado: 08/10/2008