

# Caracterización, distribución y flujo de carbono orgánico total en los sedimentos marinos superficiales frente a **Tumbes**

Un estudio sobre la captura de carbono  
en el mar

## Autores

Fernando José Zúñiga y Rivero, Doctor en Geología, Director del Proyecto.  
Jaziel Blanco Obregón, Biólogo, Coordinador del Proyecto.  
Carlos Arroyo Zúñiga, Ing. Pesquero, Coordinador de campo.  
Andrea Collantes Biggio, Biólogo, Estimaciones de Carbono.

**Fundación Zúñiga y Rivero**



## Antecedentes

La materia orgánica en los sedimentos superficiales es de origen predominantemente marino (Chester 2000), generada por la fijación fotosintética del carbono inorgánico a partir del CO<sub>2</sub> atmosférico por el fitoplancton mediante la llamada bomba biológica.

Sólo una pequeña cantidad del carbono orgánico (1.5% de la producción primaria (PP) en mar abierto y >17% en el talud) se deposita en el sedimento superficial y está disponible para el bentos, donde la mayor parte es oxidado (Seiter *al.*, 2004). Estudios sugieren que se secuestra entre el 0.5% al 3% de la PP sobre la plataforma y el talud continental y 0.014% en el mar abierto (Wollast 1998). Los márgenes continentales acumulan el 80% de la materia orgánica que es depositada en estos sitios, constituyendo el depósito principal de carbono en el océano (Naijar et al. 1992, Seiter *et al.*, 2004).

El flujo de CO disminuye rápidamente conforme aumenta la profundidad en la columna de agua ya que éste es remineralizado (Suess 1980) en las capas más superficiales. En la escala de las grandes cuencas oceánicas, la acumulación de la materia orgánica, en términos de carbono orgánico total (COT), básicamente refleja los patrones de distribución de la PP.

Estudios sobre la distribución del COT en sedimentos muestran concentraciones de valores de COT >0.5% a lo largo de los márgenes continentales y <0.5% en las grandes cuencas. El 80% de las localidades se localiza en la plataforma y talud continental, en contraste las grandes cuencas oceánicas se encuentran pobremente documentadas. Las costas ubicadas al oeste de los continentes poseen una media de COT mayor que el promedio global, debido a la productividad media aproximada de >200 gC m<sup>-2</sup> año<sup>-1</sup>. (Suess 1980).

Estudios de la distribución y preservación del carbono orgánico (COT) en sedimentos del margen y pendiente continental son importantes porque los patrones de depositación y enterramiento de estos componentes del ciclo del carbono están vinculados a la regulación del CO<sub>2</sub> atmosférico (Archer, 2006). Por lo tanto, es necesario entonces conocer y cuantificar el contenido de este elemento en sedimentos superficiales de los márgenes continentales.

**Distribución de las características sedimentológicas y geoquímicas de los sedimentos superficiales en el margen continental peruano**

Los sedimentos en la plataforma y talud superior en el margen continental peruano, de acuerdo a lo estudiado por Delgado et al (1987), mantienen las mismas características en todo el sector sur de nuestra costa, corresponden principalmente a arcillas limosas diatoméicas, ligeramente silíceas (hasta 20% de SiO<sub>2</sub> amorfa), altos contenidos de carbono orgánico que alcanzan hasta 20% color verde oscuro a negro, en estos sedimentos el suministro de material terrígeno es bajo, debido a la escasa presencia de ríos que transportan este tipo de material.

En la zona norte, entre los 03 ° S y los 08 ° S, los sedimentos predominantes en la plataforma y parte del talud superior son limo arcilloso, los cuales cubren casi la totalidad del área. En los sedimentos finos el contenido de materia orgánica es alto, con emanaciones de ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S) y potenciales Redox negativos (-20 a -210 mv), se desarrollan bacterias filamentosas como *Thioploca sp* reductoras del sulfato, lo que evidencia la ocurrencia de procesos biogeoquímicos de sulfato-reducción en los sedimentos.

En las zonas donde hay mayor presencia de oxígeno a mayor profundidad y mayor distancia de la costa y lejos de la zona de afloramiento los sedimentos de arcilla limosa presentan potenciales redox positivos y menores contenidos de SiO<sub>2</sub> amorfa (< a 12%) y bajos contenidos de carbono orgánico (<3%).

### **Distribución del carbono orgánico en los sedimentos superficiales del margen continental peruano**

La diferente acumulación de carbono orgánico a lo largo del margen continental peruano a los patrones de producción primaria, como al efecto que tiene la variabilidad de las concentraciones de oxígeno disuelto en fondo. Se observan dos máximos de carbono orgánico alrededor de los 11 y 14° S (> 10%); hacia el norte de los 11° S un mínimo en el contenido de carbono orgánico es observado en el centro del eje de la plataforma, mientras que altos contenidos son observados en el talud inferior entre los 8 y 14° S (Reimers y Suess, 1983).

Se plantea la hipótesis que el porcentaje de carbono orgánico en los sedimentos superficiales frente al margen continental peruano está altamente correlacionado con el área superficial de las partículas minerales, es decir sedimentos más finos como arcillas, presentarán una mayor asociación con el material orgánico preservándose mejor la materia orgánica, esta hipótesis junto con el efecto de las concentraciones de oxígeno disuelto disponible en la Zona Mínima de Oxígeno (ZMO) explicarían las diferencias en composición como en preservación del material orgánico

observado en el margen continental peruano, por lo tanto hacia el norte de los 10° S se presenta materia orgánica menos preservada como resultado de la presencia de sedimentos arenosos, mientras que hacia el sur, donde predominan las arcillas, se favorezca más la preservación.

### **Área de estudio**

El área de estudio se encuentra comprendida entre la localidad de Máncora (4°02'22" S) límite con el departamento de Piura y Puerto Pizarro, frente a la desembocadura del río Tumbes y ecosistema de manglares (3°02'21" S) en el departamento de Tumbes, en el área marina comprendida entre la línea de costa y las 5m para el límite sur y 8m aproximadamente en el límite norte.

### **Metodología**

Fueron muestreadas 91 estaciones usando una draga Van Veen a profundidades que variaron entre 8m y 61m. Se tomaron aproximadamente 500gramos de muestras de sedimento superficial para COT y 300 gramos para análisis granulométricos. El método de laboratorio empleado el análisis granulométrico fue *NTP 339.128:1999. Suelos. Método de Ensayo para el análisis granulométrico – modificado* y para la determinación del porcentaje de COT en las muestras fue *ISO 14235:1998. Soil quality - Determination of organic carbon by sulfochromic oxidation.*

### **Resultados**

Las concentraciones de COT(%) variaron de acuerdo a la profundidad, entre las isobatas de 8m a 12m se encuentran valores entre 0,13 % en las estaciones E79 y E73 y el máximo valor 0,65% en la estación E28. Dentro de las isobatas de 14m a 17m el mínimo valor se encuentra en E84 con 0,22% COT y el mayor valor en E2 con 0,36% (Figura 1). Para las isobatas entre 19m y 22m el mínimo valor se encuentra en E23 con 0,06% COT y el mayor valor en E19 con 0,82%. Para las isobatas entre 23m y 26m el mínimo valor se encuentra en E86 con 0,12% COT y el mayor valor en E3 con 0,63%. Las isobatas entre 28m y 30m presentan valores mínimos en E90 con 0,12% COT y el mayor valor en E61 con 0,90%. Las isobatas entre 31m y 40m presentan valores mínimos en E20 con 0,39% COT y valores máximos en E4 con 1,22%. Las isobatas entre 41m y 50m presentan valores mínimos en E91 con 0,13% COT y valores máximos en E5 con 1,26%.

Finalmente para las isobatas más profundas entre 51m y 61m se presentan valores mínimos en E10 con 0,31% COT y valores máximos en E34 con 1,71%.

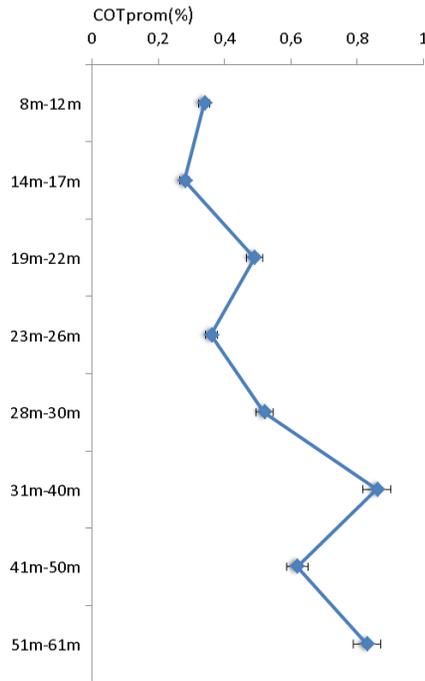


Figura 1. Variación de los valores promedio de COT (%) en el sedimento superficial en las diferentes profundidades

La distribución espacial de COT promedio (%) en las localidades muestreadas dentro del área de estudio se muestra en la tabla 3, donde se observa que el promedio de mayor valor se observó frente a la Zorritos con una media de 0,77% COT y la zona que presentó el menor valor fue Punta Sal con 0,19% COT. (Figura 2)

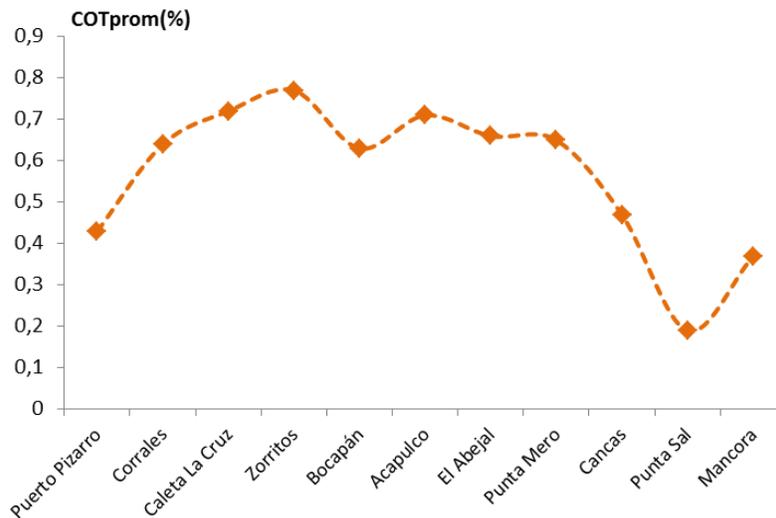


Figura 2. Concentraciones de COT (%) promedio para las localidades muestreadas dentro del área de estudio

La distribución promedio de COT en el sedimento superficial muestra los valores más bajos asociados a la zona frente a Puerto Pizarro y manglares así como a las localidades más al sur como Cancas, Punta Sal y Máncora, y los más elevados frente a Caleta La Cruz y Zorritos. Los valores de COT (%) presentan una distribución heterogénea en el plano geográfico (figura 3).

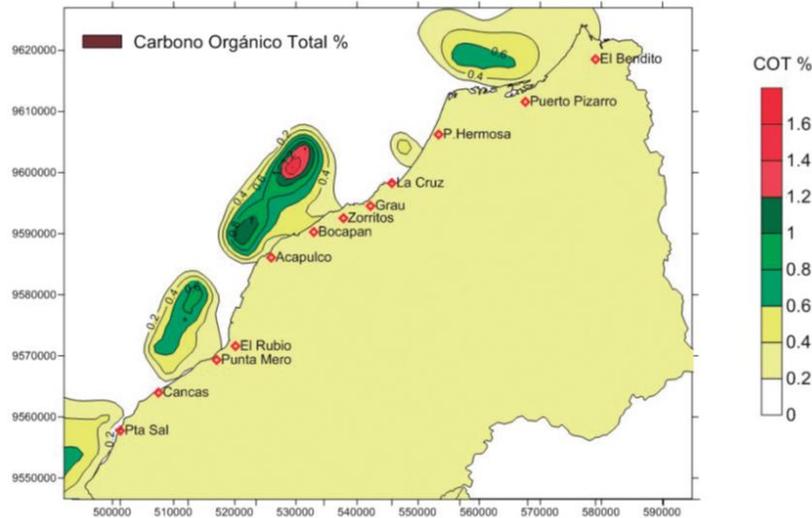


Figura3. Distribución de carbono orgánico total (%) en la región Tumbes

En la composición granulométrica se encuentra que existe una predominancia de porcentajes mayores de Limo en el sedimento para el total de las estaciones muestreadas, seguido de arena fina y arcilla como componentes predominantes. La grava, arena muy gruesa y arena gruesa, no representan porcentajes significativos, a excepción de la estación E23 frente a Puerto Pizarro donde el porcentaje de arena gruesa es de 11,25%. El mayor % de Limo se encuentra en la estación E37 frente a Zorritos con 72%. El mayor % de arcilla se encuentra frente a Puerto Pizarro E24 con 38%. El mayor porcentaje de arena fina se encuentra en la estación E11 frente a Puerto Pizarro con 74,22%.

Si tomamos en cuenta la hipótesis planteada donde el porcentaje de carbono orgánico en los sedimentos superficiales frente al margen continental peruano así como las mayores tasas de acumulación de materia orgánica se hallan asociadas a sedimentos principalmente de grano fino (arcilla y limo) (Velazco, 2007 y 1999), estos patrones presentarán una mayor asociación con el material orgánico preservándose mejor la materia orgánica, a diferencia de menor preservación con patrones texturales de arena y grava entonces se puede explicar que las mayores concentraciones de COT(%) que se encontraron frente a las localidades de Caleta La Cruz ,

Zorritos y Acapulco predominó el limo en composición, donde se preserva mejor la materia orgánica.

Por el contrario, las localidades de Puerto Pizarro, Punta Sal y Máncora, donde se presentan parches significativos de arenas finas y muy finas, el valor de COT (%) resultó bajo por lo tanto se espera poca preservación.

La correlación del tipo de partículas minerales y del patrón textural encontrado así como el efecto de las concentraciones de oxígeno disuelto como factores principales, explicarían las diferencias en composición, preservación y distribución del material orgánico en la zona de estudio.}

### **Discusión**

Los valores de COT obtenidos en el sedimento dentro del área de estudio no pueden ser directamente comparados dado que no existe un intervalo esperado para dicha área en la literatura para esta zona. Sin embargo, los valores caen en el límite bajo (0.06 a 1.71%) con respecto a sedimentos superficiales de otros márgenes continentales (Arthur *et al.* 1998, Hartnett *et al.* 1998, Hedges *et al.* 1999, Keil *et al.* 1994). Por lo tanto, la distribución de COT en el área de estudio es heterogénea. Se observan localidades con un mayor flujo de COT como Zorritos y La Cruz, pero no representan valores significantes con respecto a las demás localidades.

Los mecanismos que determinan la conservación y preservación de COT en los sedimentos marinos no son claros ya que aparentemente son diversos factores los que la afectan en forma indirecta o en forma conjunta como la productividad primaria (PP), el flujo de COT a través de la columna de agua, la velocidad de sedimentación, la velocidad de degradación del COT y la concentración de oxígeno en la columna de agua (Canfield 1994, Hartnett *et al.* 1998, Hedges *et al.* 1999, Keil y Cowie 1999, Hartnett *et al.* 1998) o son de difícil interpretación en virtud del transporte lateral del sedimento superficial (Kiel *et al.* 2004).

Así mismo, un factor importante a considerar es el tiempo de exposición al oxígeno disuelto de la materia orgánica en el hundimiento y enterramiento puede ejercer un control directo sobre la preservación del COT sedimentario y en las concentraciones de oxígeno atmosférico (Hartnett *et al.*, 1998).

La presencia de valores bajos de COT y una mayor proporción de materia orgánica degradada en la zona de estudio estaría ligada a una Zona de Mínimo Oxígeno (ZMO) menos intensa que hacia el sur, por el efecto de la corriente ecuatorial subsuperficial, que se dirige hacia el este entre los 5° N y 5° S, que profundiza el borde superior de la ZMO debido a los altos valores de oxígeno que caracterizan a sus aguas (Helly y Levin, 2004) y por la presencia de mezclas de masas de agua como las Aguas Tropicales Superficiales (ATS) y Aguas Ecuatoriales Superficiales (AES) de temperatura elevada y muy oxigenadas.

Se observa que a pesar que existe en el área de muestreo aporte fluvial del continente hacia la plataforma marina ejercida por el río Tumbes y quebradas tributarias adyacentes así como el ecosistema de manglares se podría esperar una mayor concentración de COT en los sedimentos superficiales, sin embargo en contraste con los resultados no se observa esto, posiblemente debido al factor oxigenación que permite que la materia orgánica sea rápidamente degradada y remineralizada en las capas más superficiales de la columna de agua.

Si bien es cierto que el flujo de CO disminuye conforme aumenta la profundidad en la columna de agua ya que es remineralizado (Suess 1980). Se observa que una parte de la materia orgánica escapa del proceso de remineralización y es depositada en los sedimentos a profundidades mayores a 30m casi por debajo de la capa eufótica, por debajo de esta, la remineralización es lenta o nula.

Por lo tanto, el factor fundamental y predominante que podría determinar la preservación del carbono orgánico y de la materia orgánica en los sedimentos del margen continental peruano así como influenciar en su flujo es la oxigenación de fondo, junto a otros factores importantes como el origen de la materia orgánica (Hedges *et al.* 1988), el flujo de la PP exportada (Calver y Petersen 1992), la profundidad de la columna de agua (Suess 1980), los niveles de oxigenación de la columna de agua (Canfield 1994, Hartnett *et al.* 1998), la tasa de sedimentación (Toth y Lerman 1977, Berner 1980, Aller y Mackin 1984), el tiempo de exposición a la masa oxigenada (Hartnett *et al.* 1998, Hedges *et al.* 1999, Keil *et al.* 2004), la geopolimerización (Berner 1980), la dinámica microbiana (Lee 1994), y la adsorción a superficies minerales (Mayer 1994a, b).

## Conclusiones

La distribución y preservación de COT en sedimentos superficiales se encuentran dentro de la de la ZMO para el margen continental frente a las costas de Tumbes y decrece hacia la costa, las concentraciones promedio de COT son bajas, a pesar del aporte fluvial y materia orgánica proporcionada por el delta del río Tumbes y ecosistemas de manglares, por lo tanto el factor fundamental que estaría determinando la distribución y preservación del COT en los sedimentos superficiales así como la degradación y remineralización de la materia orgánica en las capas superficiales de la columna de agua, es la oxigenación de fondo debido a las corrientes y masas de agua con alto tenores de oxígeno disuelto que discurren presentes en el área de estudio.

## Referencias bibliográficas

- ✓ Aller RC, Mackin JE. 1984. Preservation of organic matter in marine sediments. *Earth Planet. Sci. Lett.* 70: 260–266.
- ✓ Archer, D., 1996. An atlas of the distribution of calcium carbonate in sediments of the deep sea: Global Biogeochemical Cycles, 10, 159-174.
- ✓ Arthur MA, Dean WE, Laarkamp K. 1998. Organic carbon accumulation and preservation in surface sediments on the Peru margin. *Chem. Geol.* 152: 273–286.
- ✓ Berner RA. 1980. *Early Diagenesis: A Theoretical Approach*. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, 241 pp.
- ✓ Calvert SE, Petersen TF. 1992. Organic carbon accumulation and preservation in marine sediments: How important is anoxia? En: Whelan J, Farrington JW (eds.), *Organic Matter*, University Press, New York. Pp. 231–263.
- ✓ Canfield DE. 1994. Factors influencing organic carbon preservation in marine sediments. *Chem. Geol.* 114: 315–329.
- ✓ Chester R. 2000. *Marine Geochemistry*. Blackwell Science, Londres. Pp. 341–441.
- ✓ Delgado C, R Gomero, H. Salzwedel, I. Flores y G. Carbajal 1987 Distribución de los sedimentos en el margen continental peruano mapa textural. Bol. Inst. Mar Perú. Vol. 11(5).
- ✓ Hartnett HE, Keil RG, Hedges JI, Devol AH. 1998. Influence of oxygen exposure time on organic carbon preservation in continental margin sediments. *Nature* 391: 572–574.
- ✓ Hedges JI, Clark WA, Cowie GL. 1988. Organic matter sources to the water column and surficial sediments of marine bay. *Limnol. Oceanog.* 33: 1116-1136.
- ✓ Hedges JI, Hu FS, Devol AH, Hartnett HE, Tsamakis E, Keil RG. 1999. Sedimentary organic matter preservation: A test for selective degradation under oxic conditions. *Am. J. Sci.* 299: 529-555.
- ✓ Helly, J. y Levin, L. Global distribution of naturally occurring marine hypoxia on continental margins. *Deep Sea Research I*. 2004, vol. 51, p. 1159 – 1168.
- ✓ Keil RG, Cowie GL. 1999. Organic matter preservation through the oxygen-deficient zone of the NE Arabian Sea as discerned by organic carbon:mineral surface area ratios. *Mar. Geol.* 161: 13–22.
- ✓ Keil RG, Tsamakis E, Fuh CB, Giddings JC, Hedges JI. 1994. Mineralogical and textural controls on the organic composition of coastal marine sediments: Hydrodynamic separation using SPLITT fractionation. *Geochim. Cosmochim. Acta* 58: 879–893.
- ✓ Lee C. 1994. Controls on carbon preservation - New perspectives. *Chem. Geol.* 114: 285–288. Toth DJ, Lerman A. 1977. Organic matter reactivity and sedimentation in the world ocean. *Am. J. Sci.* 277: 265–285.
- ✓ Mayer LM. 1994a. Surface area control of organic carbon accumulation in continental shelf sediments. *Geochim. Cosmochim Acta* 58: 1271–1284.

- ✓ Mayer LM. 1994b. Relationships between mineral surfaces and organic carbon concentrations in soils and sediments. *Chem. Geol.* 114: 347–363.
- ✓ Najjar RG, Sarmiento JL, Toggweiler JR. 1992. Downward transport and fate of organic matter in the ocean: Simulations with a general circulation model. *Global Biogeochem. Cycles* 6: 45–76.
- ✓ Reimers, C. and Suess, E. Spatial and Temporal patterns of Organic Matter accumulation on the Peru Continental Margin. En: SUESS, E. and THIEDE, J. (edit.). *Coastal Upwelling: Its Sediment Record Part B: Sedimentary Records of Ancient Coastal Upwelling*. New York: Plenum Press, 1983, p.311 - 346.
- ✓ Seiter K, Hensen C, Schröter J, Zabel M. 2004. Organic carbon in surface sediments defining regional provinces. *Deep-Sea Res.* 51: 2001–2026.
- ✓ Suess E. 1980. Particulate organic carbon flux in the oceans—surface productivity and oxygen utilization. *Nature* 288: 260–263.
- ✓ Velazco, F.; Solis, J.; Delgado, C.; Gomero, R. “Características sedimentológicas del margen continental peruano entre los 3° 30’S a los 15° 30’S”. En: Primer Congreso de Ciencias del Mar del Perú (CONCIMAR). Lambayeque, Perú, Noviembre 2007. Libro de Resúmenes, p. 128 – 129.
- ✓ Velazco, Federico. “Geología Marina y Ambiental del área entre la Bahía del Callao y Ventanilla”. Tesis Título Profesional. UNI, Lima, 1999.
- ✓ Wollast R. 1998. Evaluation and comparison of the global carbon cycle in the coastal zone and in the open ocean. En: Brink KH, Robinson AR (eds.), *The Sea*. University of Brussels. Pp. 213–252.



Muestreo de sedimentos superficiales a diferentes profundidades utilizando una Draga Van Veen



Toma de muestras en la localidad de Puerto Pizarro frente a los manglares en aguas de mezcla, se observa un fango verde oliváceo claro sin olor sulfuroso por debajo de un fango marrón claro más superficial, con presencia de restos vegetales