



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA**

**FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS**

**ALGUNAS EVIDENCIAS SEDIMENTOLÓGICAS DEL EFECTO  
DEL REPRESAMIENTO DEL RÍO COLORADO EN LA  
SEDIMENTACIÓN DEL ALTO GOLFO DE CALIFORNIA**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE**

**O C E A N Ó L O G A**

**PRESENTA:**

**JIMENA MALAGAMBA ROSSHANDLER**

**ENSENADA, B.C. OCTUBRE DE 2004**

## Resumen

Se realizaron análisis de tamaño de grano, carbono orgánico (CO) y fósforo total (PT) en 3 núcleos de sedimento colectados sobre la ruta de dispersión del material sedimentario a lo largo de la plataforma continental de Baja California y sobre la vertiente oriental de Cuenca Wagner en el Alto Golfo de California (AGC). El objetivo fue establecer si la variación en los aportes del flujo de agua y sedimento provenientes del Río Colorado han tenido alguna influencia en el patrón de sedimentación reciente en el AGC. Se determinó que la falta de aportes de agua y sedimento del Río Colorado en épocas recientes afectaron principalmente la dinámica sedimentaria en la zona adyacente a la costa de Baja California. La falta de aporte de sedimento del Río Colorado al AGC afecta aparentemente en menor grado a la región oriental de Cuenca Wagner, donde otras fuentes de sedimento parecen tener mayor importancia. En el núcleo J01A localizado cercano a la costa de Baja California, la concentración de arcillas disminuye abruptamente desde los 15 cm hasta la superficie, con una abundancia ~ 16 % menor a la parte inferior del núcleo. Los análisis de CO indican que poca materia orgánica se ha acumulado en los sedimentos del NGC. En los núcleos PM16, J01A y CW02 la mayor concentración de CO (0.1 - 1.0 %) en los sedimentos más recientes, puede deberse a la presencia de materia orgánica menos diagenetizada, debido a su reciente depositación. El aumento en la concentración de P a niveles entre 500-1000  $\mu\text{g g}^{-1}$  en los sedimentos recientes del AGC (probablemente principalmente inorgánico) coincide con los cambios sedimentológicos estudiados (principalmente en el núcleo J01A), probablemente debido a una mayor influencia de la erosión de fuentes terrígenas ricas en apatita (costa de Sonora) y su transporte a través de aerosoles, aunado a una menor dilución por parte de los sedimentos provenientes del Río Colorado tras su represamiento. El aumento de P hacia niveles superiores en los núcleos, al igual que los cambios sedimentológicos, pudieran estar relacionados con una sedimentación posterior al represamiento del Río Colorado.

**ALGUNAS EVIDENCIAS SEDIMENTOLÓGICAS DEL EFECTO DEL  
REPRESAMIENTO DEL RÍO COLORADO EN LA SEDIMENTACIÓN DEL  
ALTO GOLFO DE CALIFORNIA**

**T E S I S**  
**QUE PRESENTA:**  
**JIMENA MALAGAMBA ROSSHANDLER**

**Aprobada por:**



**Presidente del Jurado**

**Dr. Luis Walter Daesslé Heuser**



**Sinodal Propietario**

**Dr. José Domingo Carriquiry**



**Sinodal Propietario**

**Dr. Luis Gustavo Álvarez**

## AGRADECIMIENTOS

A mis padres, mi hermano y mi familia.

A mis amigos.

A mi director de Tesis Dr. Walter Daesslé Heuser por el apoyo y conocimiento que me ha brindado.

Al Dr. José Domingo Carriquiry y Dr. Luis Gustavo Álvarez Sánchez por su participación como sinodales.

Al UC MEXUS-CONACYT-CICESE, por el financiamiento de la colecta de datos.

Al Capitán del barco camaronero por su apoyo durante la colecta de muestras, a Arturo Siqueiros por su ayuda en el Laboratorio.

A la UABC por el apoyo prestado a través del proyecto "Las fluctuaciones históricas del Río Colorado: en busca de trazadores geoquímicos en el Golfo de California de la 6ta. Convocatoria Interna a Proyectos de Investigación.

A la Facultad de Ciencias Marinas y al Dr. Roberto Millán Nuñez.

Al mar y sus océanos.....

## CONTENIDO

|                                                                     |           |
|---------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>                                         | <b>1</b>  |
| 1.1 Objetivos.....                                                  | 7         |
| <b>2. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>                                 | <b>8</b>  |
| 2.1 Área de estudio.....                                            | 8         |
| 2.1.1 Patrones de dispersión conocidos en el AGC.....               | 9         |
| 2.2. Metodología.....                                               | 13        |
| 2.2.1 Colecta y preparación de las muestras.....                    | 13        |
| 2.2.2 Análisis de distribución de tamaño de partículas.....         | 14        |
| 2.2.3 Análisis de Carbono.....                                      | 15        |
| 2.2.4 Análisis de fósforo.....                                      | 16        |
| 2.2.5 Precisión Analítica.....                                      | 17        |
| <b>3. RESULTADOS.....</b>                                           | <b>18</b> |
| 3.1 Núcleo PM16                                                     |           |
| 3.1.1 Características del núcleo PM16 y descripción litológica..... | 18        |
| 3.1.2 Carbono orgánico (CO) e inorgánico (CI).....                  | 22        |
| 3.1.3 Fósforo total.....                                            | 23        |
| 3.2 Núcleo J01A                                                     |           |
| 3.2.1 Características del núcleo J01A y descripción litológica..... | 26        |
| 3.2.2 Carbono orgánico (CO) e inorgánico (CI).....                  | 28        |
| 3.2.3 Fósforo total.....                                            | 30        |
| 3.3 Núcleo CW02                                                     |           |
| 3.3.1 Características del núcleo CW02 y descripción litológica..... | 32        |
| 3.3.2 Carbono orgánico (CO) e inorgánico (CI).....                  | 34        |
| <b>4. DISCUSIÓN.....</b>                                            | <b>36</b> |

|                                                  |           |
|--------------------------------------------------|-----------|
| 4.1 Cambios en la sedimentación en el AGC.....   | 36        |
| 4.2 Acumulación de CO en el AGC.....             | 41        |
| 4.3. Relación entre el tamaño de grano y CO..... | 43        |
| 4.4 La geoquímica del P en el AGC.....           | 45        |
| <b>5. CONCLUSIONES.....</b>                      | <b>48</b> |
| <b>6. REFERENCIAS.....</b>                       | <b>50</b> |

## LISTA DE FIGURAS

| Figura | Título                                                                                                                                                                                                                              | Página |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| 1      | Área de estudio y localización de los núcleos de sedimento en el AGC del presente estudio (●), (□) aquellos estudiados por Camacho et al. (2002), (Δ) Shumilin et al. (2002) y (◇) muestras superficiales de Daesslé et al. (2002). | 12     |
| 2      | Distribución de la concentración de arcillas, limos y arenas ( $\mu\text{m}$ ) en el núcleo PM16 colectado en el AGC.                                                                                                               | 21     |
| 3      | Distribución de la concentración de carbono total, orgánico e inorgánico (%) en el núcleo PM16 colectado en el AGC.                                                                                                                 | 24     |
| 4      | Distribución de la concentración de fósforo total ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) en el núcleo PM16 colectado en el AGC.                                                                                                                   | 25     |
| 5      | Distribución de la concentración de arcillas, limos y arenas ( $\mu\text{m}$ ) en el núcleo J01A colectado en el AGC.                                                                                                               | 27     |
| 6      | Distribución de la concentración de carbono total, orgánico e inorgánico (%) en el núcleo J01A colectado en el AGC.                                                                                                                 | 29     |
| 7      | Distribución de la concentración de fósforo total ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) en el núcleo J01A colectado en el AGC.                                                                                                                   | 31     |
| 8      | Distribución de la concentración de arcillas, limos y arenas ( $\mu\text{m}$ ) en el núcleo CW02 colectado en el AGC.                                                                                                               | 33     |
| 9      | Distribución de la concentración de carbono total, orgánico e inorgánico (%) en el núcleo CW02 colectado en el AGC.                                                                                                                 | 35     |
| 10     | Flujos de agua del Río Colorado a través de la Frontera                                                                                                                                                                             | 37     |

México-USA, Datos de 1904-1949 (Lavin y Sánchez, 1999).

- 11 Correlación entre el % de Carbono orgánico y el % de 44  
lodos en los núcleos PM16, J01A y CW02.

## ANEXOS

| <b>ANEXO I</b>   | <b>Título</b>                                                                                            | <b>1</b>  |
|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Tablas</b>    |                                                                                                          |           |
| I                | Distribución parámetros texturales en núcleos de sedimento del AGC (Núcleo PM16).                        | 1         |
| II               | Concentración en % de Carbón total, orgánico e inorgánico en núcleos de sedimento del AGC (Núcleo PM16). | 3         |
| III              | Concentración de Fósforo total en $\mu\text{g g}^{-1}$ en núcleos de sedimento del AGC (Núcleo PM16).    | 5         |
| <b>ANEXO II</b>  | <b>Título</b>                                                                                            | <b>6</b>  |
| <b>Tablas</b>    |                                                                                                          |           |
| IV               | Distribución parámetros texturales en núcleos de sedimento del AGC (Núcleo J01A).                        | 6         |
| V                | Concentración en % de Carbón total, orgánico e inorgánico en núcleos de sedimento del AGC (Núcleo J01A). | 9         |
| VI               | Concentración de Fósforo total en $\mu\text{g g}^{-1}$ en núcleos de sedimento del AGC (Núcleo J01A).    | 10        |
| <b>ANEXO III</b> | <b>Título</b>                                                                                            | <b>11</b> |
| <b>Tablas</b>    |                                                                                                          |           |
| VII              | Distribución de parámetros texturales en núcleos de sedimento del AGC (Núcleo CW02).                     | 11        |
| VIII             | Concentración en % de Carbón total, orgánico e inorgánico en núcleos de sedimento del AGC (Núcleo CW02). | 12        |
| <b>ANEXO IV</b>  | <b>Título</b>                                                                                            |           |
| <b>Tablas</b>    |                                                                                                          |           |
| IX               | Estándares de precisión para los análisis de Carbono en los núcleos del AGC.                             | 13        |
| X                | Estándares de precisión para los análisis de Fósforo en los núcleos del AGC.                             | 13        |

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA**

**FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS**

**ALGUNAS EVIDENCIAS SEDIMENTOLÓGICAS DEL EFECTO DEL  
REPRESAMIENTO DEL RÍO COLORADO EN LA SEDIMENTACIÓN DEL  
ALTO GOLFO DE CALIFORNIA.**

**T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
O C E A N Ó L O G A  
PRESENTA:  
JIMENA MALAGAMBA ROSSHANDLER**

**Ensenada, Baja California, OCTUBRE 2004**

## 1. INTRODUCCIÓN

El Río Colorado es uno de los sistemas fluviales más importantes de Norteamérica. Abastece de agua a más de 20 millones de personas siendo destinada a usos industriales, domésticos y para la irrigación de extensas áreas de cultivo en los estados del Sudoeste de Estados Unidos y en el Noroeste de México (Andrews, 1991; Vaux, 1992).

Las primeras intervenciones humanas aplicadas al cauce del río para su uso económico intensivo, comenzaron a principios del siglo veinte. Entre los años 1930 y 1950 una serie de presas fueron construidas a lo largo de su cauce para regular su distribución. La construcción de las presas Hoover (1934) y Glen Canyon (1952), trajeron como consecuencia la disminución en la media anual de la descarga del Río Colorado que durante los años 1910 y 1920 era de  $21.37 \times 10^9 \text{ m}^3$  disminuyendo a  $0.85 \times 10^9 \text{ m}^3$  para 1960 (Baba et al., 1991a).

Para 1970, esta reducción en la descarga del Río Colorado junto con las altas tasas de evaporación, provocaron cambios drásticos en la hidrología e hidrografía de la región del delta del Río Colorado. De este modo, lo que originalmente era un sistema estuarino, fué transformado en un estuario inverso, hipersalino y de carácter erosivo (Vandeviere y Vorster, 1984; Lavín et al., 1998). Estos estuarios denominados como negativos o inversos se presentan generalmente en regiones áridas y consisten en un cuerpo de agua hipersalina

en donde las altas tasas de evaporación y la poca precipitación exceden la entrada de agua dulce (Reid y Word, 1976). En este tipo de estuarios, las mayores salinidades se presentan hacia la cabeza y las menores hacia el océano (Lavín et al., 1999). El Golfo Pérsico, el Mar Rojo, el Mar Árabe, los Golfos Sur Australianos y el Golfo de California son ejemplos de estuarios negativos a gran escala (Bowers, 1989; Nunez Vaz et al., 1990).

Antes de que las presas Hoover y Glen Canyon fueran construidas, la principal fuente de sedimentos hacia el Norte Golfo de California (NGC) era el Río Colorado; con una descarga media anual de  $160 \times 10^6$  toneladas métricas de sedimento (Van Andel, 1964). Actualmente solo el  $\sim 0.5$  % de la descarga original de sedimentos del río alcanzan el delta del Río Colorado (Milliman y Meade, 1983) y otras fuentes de sedimento se han vuelto importantes a escala local, tales como los ríos Concepción-Sonoita y la erosión de los acantilados y plataformas someras (Van Andel, 1964).

Las condiciones ambientales de la región del Alto Golfo de California (AGC) han provocado que el sedimento proveniente de la cuenca estuarina comience a erosionarse, dispersarse y redepositarse a lo largo del AGC y NGC (Carriquiry y Sánchez, 1999; Carriquiry et al., 2001). Este sedimento está compuesto en un 50 % por material arcilloso ( $<4 \mu\text{m}$ ) y es transportado hacia el Sur a lo largo de la costa de Baja California (Daesslé et al., 2002).

Casi un siglo ha pasado a partir del embalsamiento del Río Colorado, y en consecuencia, una disminución en el flujo de agua y sedimento hacia el Golfo de California. Actualmente la descarga de agua dulce y material suspendido hacia el Golfo de California provenientes del Río Colorado es muy baja y de carácter esporádico, ocurriendo únicamente como resultado de fuertes temporales de lluvia (Cohen et al., 2001; Vandeviere y Vorster, 1984).

La materia orgánica que se encuentra en los sedimentos marinos, proviene de fuentes terrígenas, marinas y antropogénicas, y es depositada en el océano mediante diversos agentes de transporte (Chester, 1990). Puede estar compuesta por una amplia gama de compuestos provenientes de plantas terrestres, fitoplancton, microalgas bentónicas y de macro y microheterótrofos (Quemeneur y Marty, 1992). La carga fluvial de los ríos es el principal medio por el cual el material terrígeno es depositado en el océano. Mucha de la materia orgánica que se acumula en sedimentos costeros y estuarinos, se deriva del continente y tiende a ser más refractaria que la materia orgánica de origen marino (Chester, 1990).

Durante el siglo pasado la construcción de las presas a lo largo del cauce del Río Colorado, provocaron severas modificaciones en el régimen sedimentario natural del NGC. La reducción en los aportes de material terrígeno derivado del Río Colorado probablemente ha modificado también la composición

del CO en los sedimentos superficiales del NGC, ya que las fuerzas hidrodinámicas en la zona pudieran estar resuspendiendo materia orgánica de origen terrestre depositada en tiempos pasados por el Río Colorado (Camacho et al., 2003).

El fósforo es un nutriente esencial en el océano, y los ríos son la fuente principal de fósforo hacia el mar (Middelburg et al., 1988). Cualquier alteración en el flujo de un río puede modificar el aporte de nutrientes por esta vía hacia el océano. Incluso puede afectar la depositación de carbono orgánico (e.g., Raymo, 1994), mientras que los cambios en la disponibilidad de nutrientes en la columna de agua pueden afectar la productividad primaria y la diversidad de especies en el ambiente marino (e.g., Hallock, 1987; Martin, 1996). Los cambios inducidos por el hombre en el flujo del Río Colorado hacia el NGC, así como la falta de aportes de agua pudieran disminuir los aportes de nutrientes y modificar los procesos químicos, biológicos y geoquímicos en el AGC y NGC.

La importancia del AGC en el desarrollo de los estadios larvales para muchas especies marinas motivó en gran medida al Gobierno Mexicano para declararlo como reserva de la Biosfera (Calderón-Aguilera et al., 2003). En 1993, se declaró en el Diario Oficial de la Federación como reserva de la Biosfera la región del delta del Río Colorado y el Alto Golfo de California. Dicha reserva forma parte también del Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas y

comprende un ecosistema costero altamente productivo y de gran diversidad biológica.

El conocimiento acerca de las tasas de sedimentación, las características texturales y composicionales de los sedimentos son de gran utilidad para comprender los procesos sedimentarios de las cuencas de drenaje y las condiciones hidrográficas de las cuencas receptoras (e.g. Stanley, 1998; Palanques et al., 1990; Kuelh et al., 1990; Stanley et al., 1998). La literatura acerca de este tema es escasa, y es de suma importancia conocer la influencia de la intervención humana a corto plazo que es producida en sistemas de aporte de ríos a océanos como el caso del Río Colorado.

Actualmente se realizan estudios relacionados con el impacto ecológico del hábitat en cuanto al manejo, conservación e impacto biológico en el área (Glenn et al., 2001; Calderón-Aguilera et al., 2003; Álvarez y Jones, 2002). Hoy en día existe un gran interés de científicos, administradores de recursos naturales, organizaciones no gubernamentales y grupos ambientales de ambos países (México y USA) por conocer el impacto antropogénico en la región producido a causa de la administración del flujo del río y poder proporcionar información con un enfoque de restauración ambiental en la zona.

La hipótesis de la que parte el presente trabajo es que los sedimentos del NGC contienen información sobre las fluctuaciones históricas del Río Colorado y las condiciones ambientales prevalecientes, antes y después del represamiento del Río. El objetivo es proporcionar información acerca del efecto del represamiento del Río Colorado en la sedimentación del AGC mediante la identificación y evaluación de registros sedimentarios en el AGC. Dichos registros son analizados en busca de trazadores geoquímicos y sedimentológicos en 3 núcleos de sedimento colectados sobre la ruta de dispersión del material sedimentario (producto de la erosión del delta) a lo largo de la franja costera de Baja California y adicionalmente sobre la vertiente oriental de la Cuenca Wagner.

### **1.1. Objetivos**

- 1) Asociar los cambios texturales del sedimento con la interrupción del flujo del Río Colorado durante el último siglo.
  
- 2) Identificar las fluctuaciones en la acumulación de Carbono orgánico y P total en los sedimentos en respuesta a los cambios en la sedimentación en el AGC.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 Área de estudio

El AGC se encuentra ubicado en la parte más al Norte del Golfo de California. Es una zona triangular dentro del NGC en donde los desiertos de Sonora y Baja California intersectan en un ángulo de  $60^\circ$ . Sus coordenadas son  $31^\circ 30'$  hasta  $31^\circ$  N y  $114^\circ 54'$  hasta  $113^\circ 54'$  W (Figura 1).

El AGC es una zona árida, con una tasa de precipitación anual entre los 5-7 cm, la mayor parte de la cual precipita durante los monzones a finales del verano (Thompson, 1979). La velocidad promedio de los vientos se considera moderada; con valores máximos en junio ( $11 \text{ m s}^{-1}$ ) y mínimos en agosto ( $3.7 \text{ m s}^{-1}$ ). La dirección del viento varía a lo largo del año: de octubre a abril los vientos provienen del Noroeste y en primavera provienen de dirección contraria (Sureste) (Garcia-Ballesteros y Larroque, 1974).

Las tasas de evaporación en el NGC son aproximadamente de  $100 \text{ cm a}^{-1}$  (Lavin y Organista, 1988; Castro et al., 1994), pero alcanzan  $250 \text{ cm a}^{-1}$  en el delta del Río Colorado (Thompson, 1979). En la parte Norte del Golfo las mareas son mixtas (Thompson, 1979) con un rango promedio de 6 m que aumenta en la boca del Río Colorado a 7-12 metros (Meckel, 1975; Cupul, 1994). El régimen semidiurno de marea produce fuertes corrientes de marea, con velocidades

máximas de  $300 \text{ cm s}^{-1}$  dentro de la cuenca estuarina del Río Colorado y  $150 \text{ cm s}^{-1}$  en la plataforma somera adyacente al delta (Thompson, 1968; Cupul, 1994)

El AGC es una plataforma somera con una profundidad menor de 40 m y una topografía irregular. Se comporta como un estuario inverso (Lavin et al., 1988), con una salinidad que aumenta desde la boca ( $\sim 35.4 \text{ ‰}$ ) hasta la cabeza  $39.0 \text{ ‰}$  en verano y  $37.0 \text{ ‰}$  en invierno. Debido a lo somero del estuario, las fuertes corrientes de marea, así como corrientes de gravedad que resuspenden el sedimento existe un transporte efectivo sedimentario que moviliza el material a lo largo del delta, del AGC y NGC (Carriquiry et al., 2001; Álvarez y Jones, 2002a).

### **2.1.1 Patrones de dispersión conocidos en el AGC.**

Son pocas las investigaciones que se han llevado a cabo en el área del AGC. Existen estudios referentes a los efectos de la intervención humana en la cuenca hidrológica del Río Colorado, esto con el fin de evaluar el impacto en la sedimentación en el delta y AGC. Lavin (1999) menciona que la construcción de las presas Hoover y Glen Canyon generaron el mayor impacto en cuanto a la cantidad y el alcance de agua dulce a la región del AGC. Carriquiry et al. (2001) y Carriquiry y Sánchez (1999), mencionan que a consecuencia de la interrupción del Río Colorado, se nulificó el aporte de sedimentos al delta del Río Colorado y que en la actualidad algunas de las fuentes principales de sedimento hacia el

NGC son la erosión, el retrabajamiento y la resuspensión del material sedimentario del mismo delta. Daesslé et al. (2002) realizaron un estudio referente a la distribución de arcillas y la geoquímica de Mn en el AGC y NGC y encontraron que los limos y arcillas ( $<62.5 \mu\text{m}$ ) son abundantes y que forman cerca del 81 % del sedimento dispersado en las zonas adyacentes de la costa de Sonora y Baja California. Existen también trabajos referentes a los cambios hidrológicos en el estuario por Álvarez y Jones (2002 a, b), quienes mencionan que la pérdida de sedimento en suspensión hacia las aguas más profundas es controlada por las corrientes de gravedad (las cuales son típicas de la circulación cercana al fondo en estuarios inversos). Los mismos autores realizaron un estudio acerca de los factores que intervienen en el flujo de material suspendido y encontraron que la concentración del material particulado en suspensión decrece a medida que aumenta la altura sobre el fondo y que la fuente de este material suspendido es el producto de la resuspensión provocada por las corrientes de marea, existiendo un transporte neto de sedimentos finos hacia el sur del AGC. Otros trabajos hacen referencia a la distribución, transporte y destino de contaminantes en la región del delta y el AGC (e.g., García-Hernández et al., 2001). En cuanto a la distribución espacial y vertical de elementos químicos en los sedimentos del delta del Río Colorado y el AGC Shumilin et al. (2002) sugieren que la presencia de CO en los sedimentos superficiales está asociada predominantemente al material fino de origen fluvial, acumulado en un depocentro localizado al sureste del área del AGC. El estudio

sobre la distribución regional de Fe y Mn por Daesslé et al. (2002) sugiere que la distribución de metales como el Fe y Mn en el NGC es controlada por la distribución de partículas finas como las arcillas, cuya fuente principal es la resuspensión y redepósito de sedimentos estuarinos del delta. Un estudio más reciente (Camacho et al., 2003) discute la geoquímica orgánica de los sedimentos del NGC y sugiere que a partir de que el Río Colorado dejó de aportar materia orgánica terrígena, la erosión del depósito sedimentario del delta del Río Colorado se convirtió en la principal fuente contemporánea de materia orgánica de origen terrígeno. Finalmente, Daesslé et al. (2004) discuten los principales componentes geoquímicos del sedimento en el AGC y NGC, encontrando arcillas enriquecidas en metales traza a lo largo de la costa de Baja California, así como enriquecimientos de fosfatos, carbonatos de calcio y barita adyacentes a la costa de Sonora, y de fosfatos y barita en la región de las Grandes Islas.

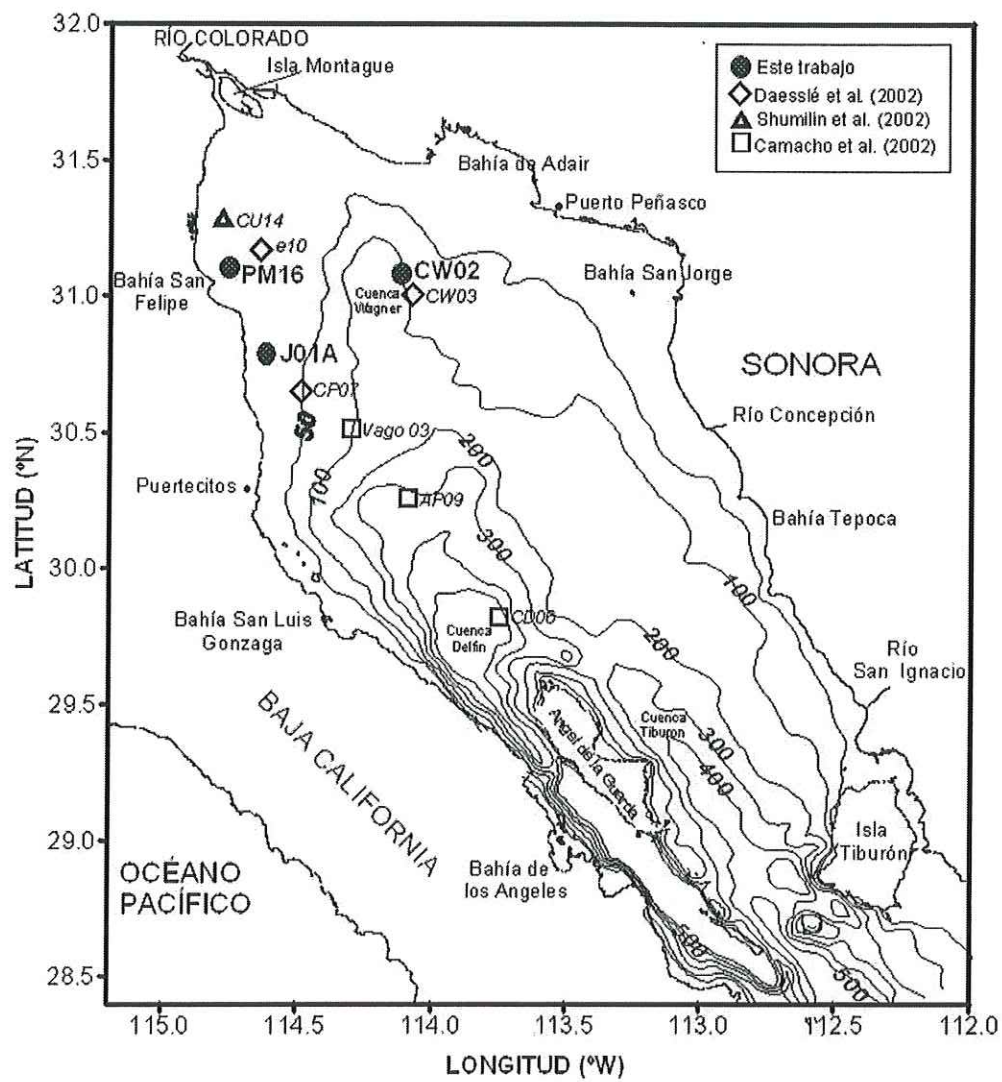


Figura 1.- Área de estudio y localización de los núcleos de sedimento en el AGC del (●) presente estudio, (□) aquellos estudiados por Camacho et al. (2003), (△) Shumilin et al. (2002) y (◊) algunas muestras superficiales de Daesslé et al. (2002).

## **2.2 Metodología**

### **2.2.1 Colecta y preparación de las muestras.**

Se colectaron 2 núcleos de gravedad en dos zonas adyacentes a la costa de Baja California, frente y al Sur a las localidades de San Felipe (Figura 1). El núcleo PM16 con coordenadas  $31^{\circ}08.590'$  N y  $114^{\circ}99.770'$  W fue colectado a una profundidad de 11 m y el núcleo J01A con las coordenadas  $30^{\circ}43.740'$  N y  $114^{\circ}37.180'$  W, a 27 m de profundidad; ambos colectados a bordo del B/O Francisco Ulloa, en Junio 2002. El núcleo PM16 se localiza en la región más próxima al delta del Río Colorado ( $\sim 75$  km) y el J01A en la región más distal ( $\sim 120$  km). Un tercer núcleo de gravedad fue colectado en la localidad de la Cuenca Wagner, CW02 a una profundidad de 145 m, con coordenadas  $31^{\circ}06.886'$  N y  $114^{\circ}10.050'$  W a bordo de un barco camaronero en Mayo 2002. Adicionalmente, durante el muestreo con núcleos de gravedad se colectaron núcleos de caja en las áreas de muestreo de los núcleos PM16, J01A y CW02 para su análisis sedimentológico y con ello tener un mejor control sobre la preservación de la porción superficial de los núcleos de gravedad, misma que puede ser erosionada.

Los núcleos fueron seccionados horizontalmente para elaborar la descripción litológica y la toma de muestras para análisis químicos y sedimentológicos. Los submuestreos se hicieron en intervalos de  $\sim 1$  cm para los análisis sedimentológicos. Para el análisis de P total y C los submuestreos

fueron: primero cada 2 cm hasta los primeros 30 cm del núcleo y subsiguientemente cada 5 cm. Las submuestras fueron congeladas hasta su análisis.

### **2.2.2 Análisis de distribución de tamaño de partículas.**

El análisis de la distribución del tamaño de grano se realizó por duplicado mediante un analizador láser de partículas Horiba LA-910. A una submuestra húmeda se agregó hexametáfosfato de sodio 0.03 M como agente dispersante y se colocó en agitación para homogenizar y evitar la sedimentación de las partículas gruesas de la muestra. A continuación se tomó una alícuota con un gotero y se colocó en el recipiente de flujo del analizador. La muestra se encuentra en constante circulación en una mezcla de agua y dispersante que es bombeada por el aparato. Posteriormente la muestra es disgregada con el fin de eliminar agregados mediante un sistema de ultrasonido. El equipo, controlado por computadora analiza la información y reporta los resultados de distribución de tamaño de grano para cada muestra, en forma de diagramas de frecuencia, histogramas, y datos estadísticos tales como media, moda y desviación estándar. El control de calidad se lleva a cabo mediante estándares de arenas y esferas de polietileno certificadas.

### 2.2.3 Análisis de Carbono.

El análisis para la determinación del contenido de carbono se realizó mediante un Analizador Elemental LECO CHNS 932. El análisis de C total (CT) se lleva a cabo analizando directamente 2 mg de muestra de sedimento previamente macerada (para su homogenización) en el analizador elemental. El tratamiento para la determinación de carbono orgánico (CO) de las muestras se llevó a cabo según el método de Chang et al (1991) el cual consiste en remover el carbono inorgánico y liberar el  $\text{CO}_2$ , al decarbonatar el sedimento añadiendo 20 ml de HCl 0.5 M a 2 g de sedimento. La muestra de sedimento se combustiona por espacio de una hora a  $105^\circ \text{C}$  de temperatura. Se pesa una submuestra de  $\sim 2$  mg de sedimento seco (tras enjuagar con  $\text{H}_2\text{O}$  desionizada y homogenizar con mortero). El análisis es igual que para el carbono total. El C inorgánico (CI) se calcula restando el CO del CT total.

El sedimento seco y molido se colocó cuidadosamente en navecillas de estaño que fueron previamente pesadas, y el peso exacto se registró en el equipo, para el cálculo de contenido de carbono expresado en %. Como control del error estándar analítico se utilizó sedimento marino de referencia MAG-1 del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) con una concentración de carbono de 2.15% ( $n=2$ ), logrando porcentajes de recuperación de 90-110%.

#### 2.2.4 Análisis de Fósforo total.

El tratamiento de las muestras se llevó a cabo según el método de Aspila et al (1976), el cual consiste en la extracción de fósforo total de los sedimentos con HCl 1 N después de su combustión a altas temperaturas 550°C. En crisoles de porcelana previamente lavados y pesados, se coloca ~ 1g de sedimento seco (molido), se agrega 1 ml de  $Mg(NO_3)_2$  al 50 % (p/v) como agente oxidante. Las muestras se colocan en una mufla a temperatura constante de 550°C durante 5 hrs.

La muestra acidificada se agita 16 hrs con 50 ml de HCl 1N. La solución resultante se pasa a través de un filtro de celulosa Whatman de 0.45  $\mu m$  a fin de evitar que los sedimentos contaminen y modifiquen la calidad de la lectura en el aparato y se afora a 50 ml. El método de Aspila (1976) sugiere que las mediciones de los extractos se realicen mediante un método colorimétrico. Sin embargo, una vez concluidos los pasos de la extracción del fósforo total de las muestras, el análisis para la determinación del contenido de fósforo total se realizó (en un análisis multielemental) mediante un espectrómetro de emisión atómica de plasma inductivamente acoplado (ICP-AES) Termo Jarrell Ash Iris/Ap simultáneo. Como control del error estándar analítico para las concentraciones de P, se empleó el material de referencia de sedimento marino MAG-1 (USGS), con porcentajes de recuperación de 90-115%.

### 2.2.5 Precisión analítica.

Un método eficiente y práctico para estimar la precisión de un método analítico en un grupo de muestras, es hacer un duplicado del análisis de algunas muestras seleccionadas al azar. Por ejemplo, en un grupo de 90 muestras de sedimento analizadas para C y P, dos de las muestras fueron seleccionadas al azar, preparadas al duplicado y analizadas anónima e independientemente. Para el caso de los análisis de C orgánico y total, se obtuvo mediante el uso de duplicados una precisión del método de  $\leq 5.4 \%$ . En el núcleo PM16 el error estándar fue  $2.2 \pm 0.07$  ( $1\sigma$ ), para el núcleo J01A de  $2.16 \pm 0.012$  ( $1\sigma$ ) y para CW02  $0.93 \pm 0.08$  ( $1\sigma$ ). En el caso de los análisis de P, el error estándar del método fue  $383.3 \pm 7.84$  ( $1\sigma$ ).

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Núcleo PM16 (colectado a 11m de profundidad).

##### 3.1.1 Características del núcleo PM16 y descripción litológica.

Los limos ( $4-62.5 \mu\text{m}$ ) y arcillas ( $<4 \mu\text{m}$ ) son los componentes más abundantes en el sedimento del núcleo PM16 (Figura 2 A y B). El sedimento superficial (sedimento depositado en tiempos recientes) de los 0-30 cm es un limo arcilloso de color café grisáceo con abundante pedacería de conchas. A partir de los 30 cm el material se torna en un limo arcilloso de color café rojizo.

En la superficie del núcleo se observa un incremento en el contenido de arcillas de 0 cm hasta los 15 cm, de 40.6 % hasta 49.8 % (Figuras 2 A y B). A este incremento, le sigue un valle con un valor promedio de 42.4 %, y de los 25 a 37 cm de profundidad la abundancia de arcillas incrementa en porcentajes de 46.2 % hasta 48.1 %, con una concentración promedio para esta sección de 46.85 %. A partir de los 40 cm las arcillas disminuyen en su abundancia hasta los 80 cm del núcleo, con una concentración promedio 38.9 %.

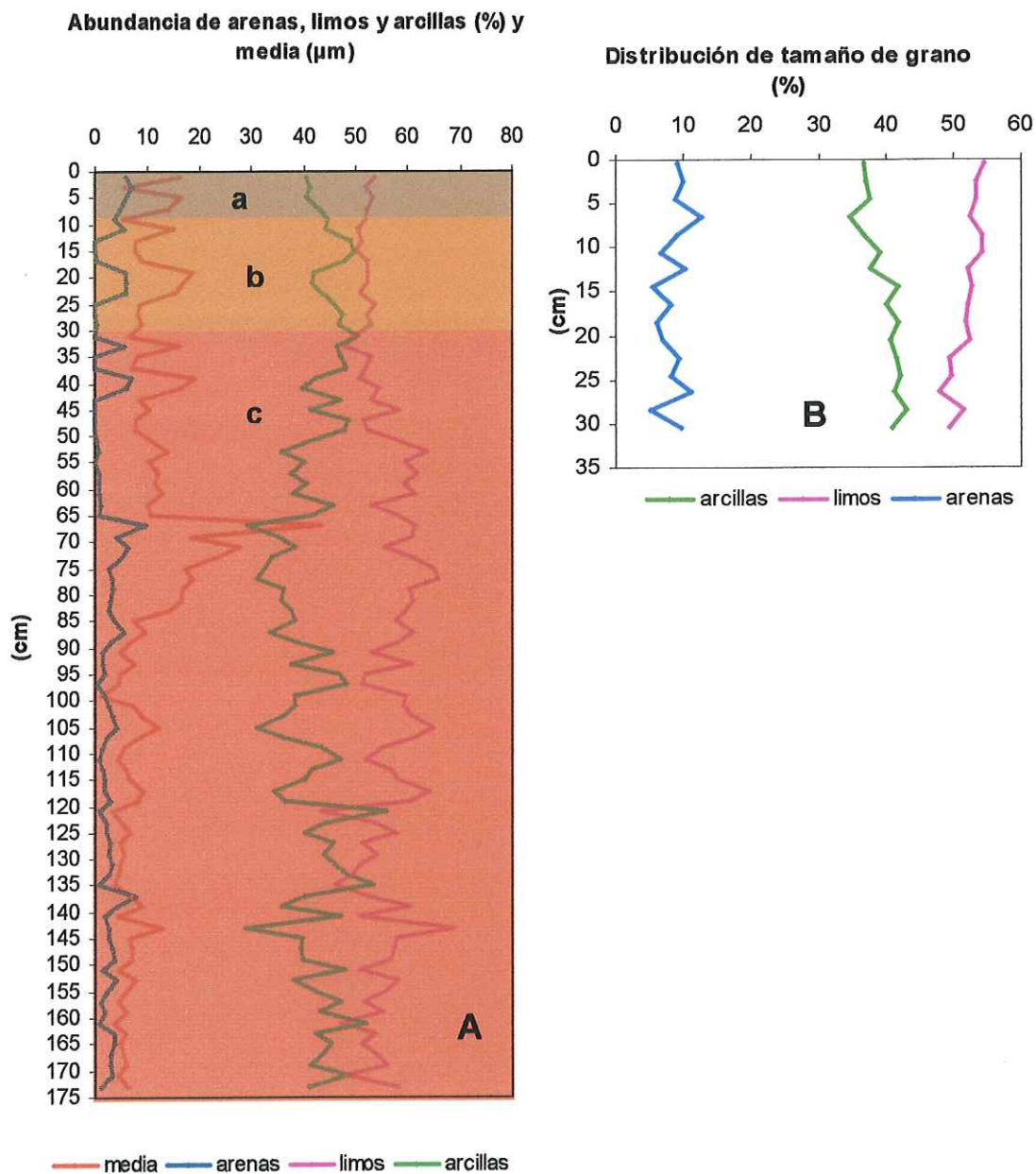
De los 80 a 145 cm del núcleo el porcentaje de arcillas aumenta nuevamente a 41.07 % y se presenta un máximo de 55.8 % a los 121 cm de profundidad y otro pico de 53.3 % a los 135 cm. A partir de esta profundidad el porcentaje de arcillas disminuye hasta los 155 cm con un valor promedio de 39.7

%. Por último, aumentan en la base del núcleo en un valor promedio de 44.8 % (Figura 2A, Tabla A1-I).

A lo largo del núcleo, los limos son el tamaño de grano más abundante. En los 28 cm superiores, los limos se comportan de manera constante teniendo un valor promedio de 52.41 %. A partir de los 50 cm de profundidad, la abundancia de limos aumenta significativamente por encima de las arcillas, comportándose ambos tamaños de grano especularmente hasta la base del núcleo (e.g., El aumento de limos se refleja en una disminución de arcillas y viceversa). A los 120 cm (60.6 %) desciende ligeramente el contenido de limos hasta llegar a los 137 cm de profundidad con 52.1 % de limos. Es en esta sección del núcleo donde se registra un mínimo a los 121 cm de profundidad con 43.6 %.

De los 140 cm con 50.9 % hasta los 175 cm con 58 % se incrementa ligeramente la abundancia de los limos y se registra un máximo de 68.5 % a los 143 cm. Destaca la relación negativa entre el % de arenas y el % de arcillas en los primeros 30 cm, independientemente de los limos. Esto se observa únicamente en la parte alta y no en el resto del núcleo (Figura 2 A y B, Tabla A1-I).

En el núcleo PM16 las arenas ( $>62\ \mu\text{m}$ ), que son en general la fracción de sedimentos menos abundante, se presentan en la superficie hasta los primeros 11 cm con una concentración promedio de 5.8 %. Los principales picos de arenas se registran entre los 20-25 cm con 5.8 %, a los 33 cm con 5.6 % y a los 39-41 cm con 6.45 %. En el núcleo de caja (Figura 2B) la distribución de arenas es constante con una abundancia del 9%. De los 41 a 66 cm de profundidad se describe un valle con los menores porcentajes de arenas en el núcleo (de 0 a 0.6 %). De los 66 cm hasta la base del núcleo destacan algunos incrementos en el % de arenas, con un máximo de 9.4 % a los 67 cm, otro pico a los 137 cm con 7.8 %. A partir de los 66 cm el valor promedio en el porcentaje de arenas es de 2.59 % hasta la base del núcleo (Figura 2A, Tabla A1-I).



**Figura 2.- A)** Distribución de la abundancia de arenas, limos y arcillas y tamaño medio de grano ( $\mu\text{m}$ ) en el núcleo PM16 colectado en el AGC, a) corresponde a un limo arcilloso de color gris con abundantes restos calcáreos, b) limo arcilloso de color café con ligera presencia de restos calcáreos c) limo arcilloso de color café rojizo sin restos calcáreos. **B)** Distribución del tamaño de grano en el núcleo de caja PM16.

### 3.1.2 Carbono orgánico (CO) e inorgánico (CI).

Desde la superficie del núcleo hasta los 40 cm la concentración de CO disminuye de 1.15 % a 0.28 %. De los 40 cm hasta la base del núcleo el contenido de CO se mantiene constante, excepto por un pico a los 44 cm de 0.5 % CO, un mínimo a los 66 cm de 0.13 % y un máximo a los 120 cm de profundidad con una concentración de 0.83 % CO.

En cuanto a la relación entre CI y el carbono total (CT), se presentan las mayores concentraciones de los 0 a 32 cm superficiales del núcleo. Destacan una serie de picos en la concentración de CI que disminuyen gradualmente con concentraciones máximas de 2.98 %, 2.94 % y 2.43 % de CI en los 4, 14, y 20 cm de profundidad respectivamente. Lo anterior ocasiona fluctuaciones similares en el contenido de CT en las mismas profundidades, con 3.44 %, 3.4 % y 2.8 % CI respectivamente. Otros picos se presentan a los 22, 26 y 30 cm en CI de 1.71 %, 1.85 % y 1.72 % respectivamente, así como para CT de 2.00 %, 2.20 % y 2.00 %.

A partir de los 30 cm hasta la base del núcleo las concentraciones de carbono inorgánico y total se mantienen constantes a excepción de tres picos que destacan a lo largo del núcleo con 1.96 %, 2.90 % y 3.52 % para CT y 1.64 %, 2.65 % y 3.26 % para CI en los centímetros 56, 82 y 166 de profundidad (Figura 3, Tabla A1-II).

### 3.1.3 Fósforo total

En los primeros 35 cm del núcleo PM16 se registra la mayor variación en las concentraciones de fósforo total (PT) (Figura 4). La concentración aumenta de 616 a 666  $\mu\text{g g}^{-1}$  a los 15 cm del núcleo y a los 24 cm se registra el mayor incremento en la concentración de PT de 617 a 764  $\mu\text{g g}^{-1}$ . La concentración desciende hasta 546  $\mu\text{g g}^{-1}$  a los 28 cm y aumenta ligeramente a 643  $\mu\text{g g}^{-1}$  hasta los primeros 35 cm del núcleo. A partir de esta profundidad hasta los 120 cm de profundidad, la distribución de la concentración de PT se hace constante con un valor promedio de 587  $\mu\text{g g}^{-1}$ . Cercano a la base del núcleo, a los 125 cm se incrementa la concentración hasta 659  $\mu\text{g g}^{-1}$ , la cual desciende a los 155 cm hasta 574  $\mu\text{g g}^{-1}$  hasta la base del núcleo (Figura 4, Tabla A1-III).

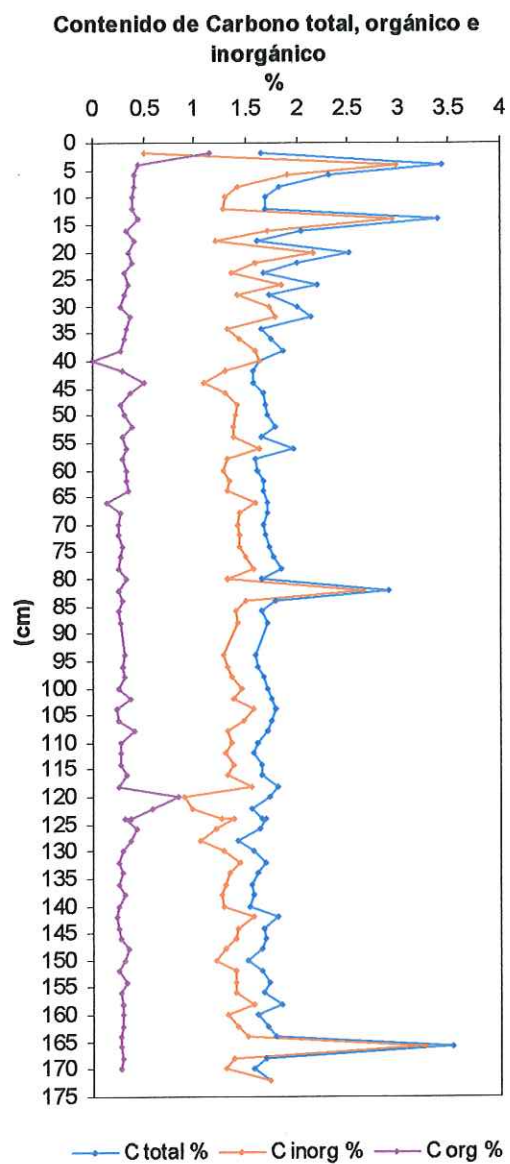


Figura 3.- Distribución de la concentración de Carbono total, orgánico e inorgánico (%) en el núcleo PM16 colectado en el AGC.

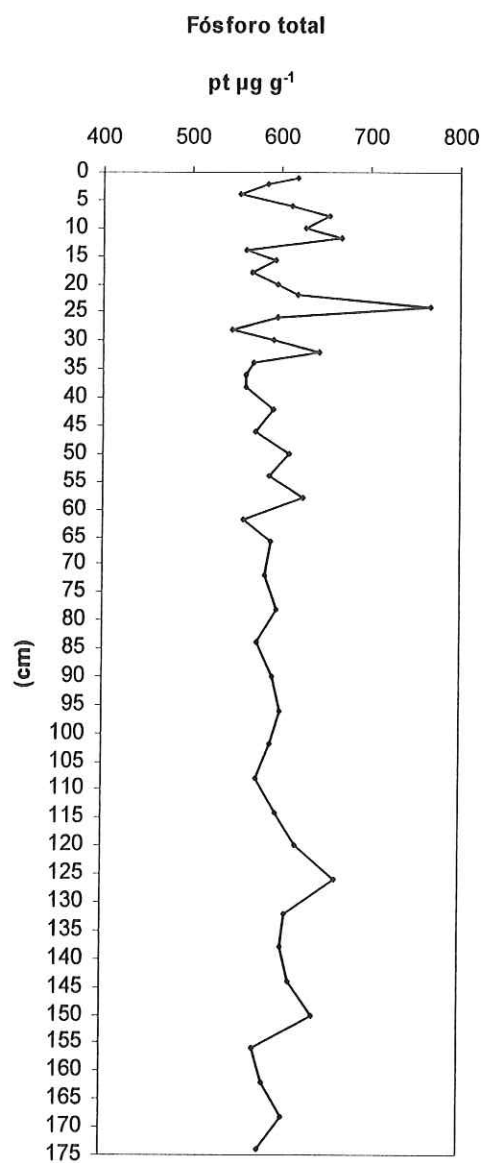


Figura 4.- Distribución de la concentración de Fósforo total en  $\mu\text{g g}^{-1}$  en el núcleo PM16 colectado en el AGC.

### **3.2 Núcleo J01A (colectado a 27 m de profundidad).**

#### **3.2.1 Características del núcleo J01A y descripción litológica.**

En el núcleo J01A el cual fue colectado a 45 km al sur del núcleo PM16 (Figura 5 A y B) se observa un cambio evidente en la litología del sedimento a partir de los primeros 15 cm de profundidad; en los cuales, se distinguen los mayores porcentajes de arenas ~ 8 % y limos ~ 55 %, además de un contenido menor de arcillas ~ 39 % respecto al resto del núcleo. El sedimento superficial de los 0-15 cm esta caracterizado por un limo arcilloso de color café grisáceo, cambiando a material arcillo limoso de color café rojizo por debajo de esta profundidad hasta la base. Este patrón se observa también en la distribución de los sedimentos del núcleo de caja (Figura 5B). Entre los 15-102 cm de profundidad el porcentaje de limos describe un patrón constante que varia entre los 40 y 44 %. Por otra parte, se observa un aumento en el porcentaje de arcillas de 39 % a 55 % aproximadamente a los 15 cm. A partir de dicha profundidad, el contenido de arcillas persiste entre los 50 y 56 % aproximadamente hasta los 102 cm de profundidad; con excepción de los centímetros 32, 52 y 67 en los cuales decrece ligeramente el contenido de éstas (Figura 5 A y B, Tabla A2- IV). De los 15 cm en adelante se describe un comportamiento prácticamente constante en cuanto al contenido de arenas ya que se presentan en menor porcentaje ~ 0-3 % a excepción de pequeños picos en los centímetros 25, 32, 36 y 51 en los que se registran pequeños incrementos en los porcentajes de arenas.

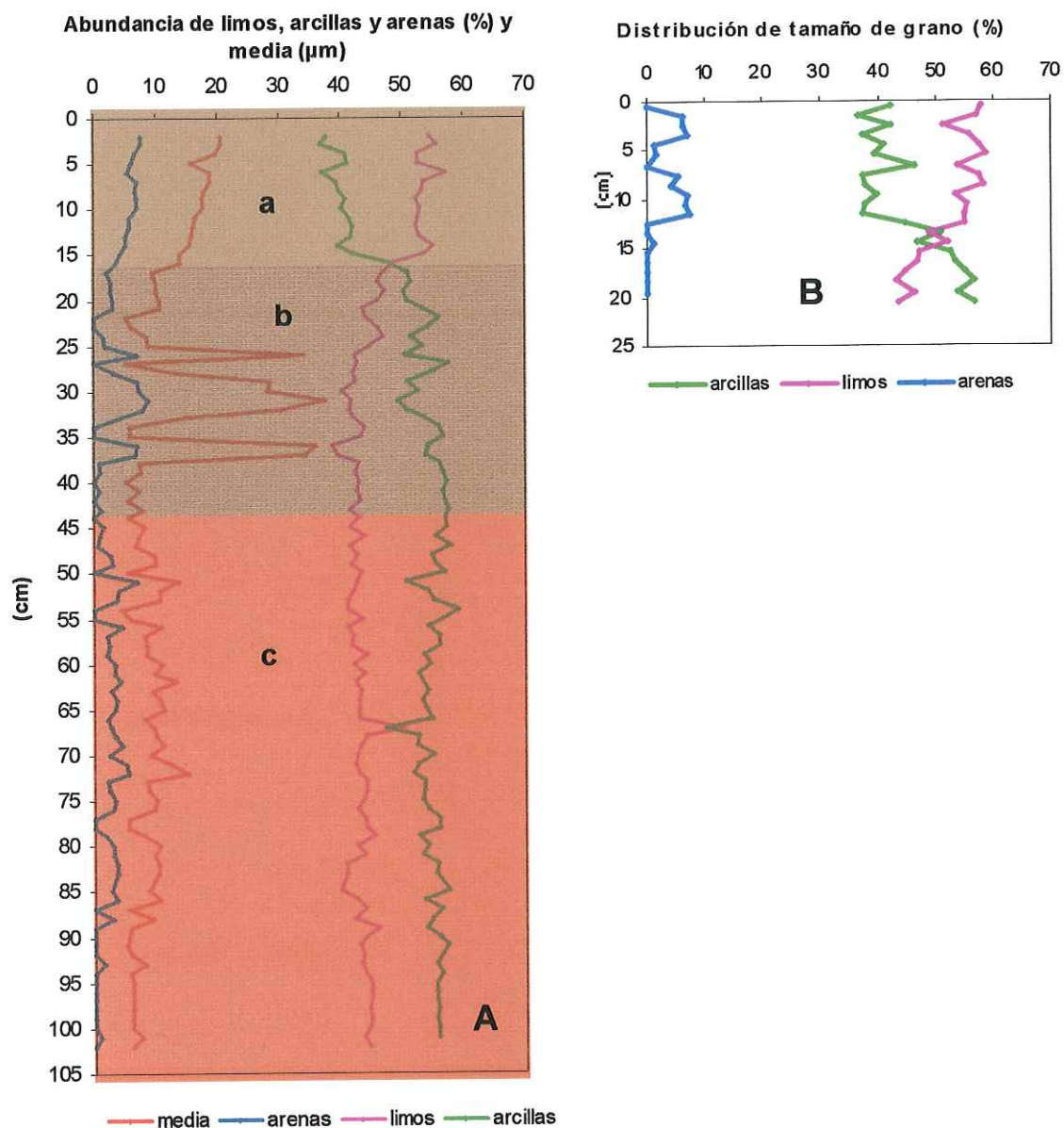


Figura 5.- A) Distribución de la abundancia de arenas, limos y arcillas y tamaño medio de grano ( $\mu\text{m}$ ) en el núcleo J01A colectado en el AGC, a) corresponde a un limo arcilloso de color café grisáceo sin restos calcáreos, b) arcilla limosa de color café y ligera presencia de restos calcáreos c) arcilla limosa de color café rojizo. B) Distribución del tamaño de grano en el núcleo de caja J01A.

### 3.2.2 Carbono orgánico e inorgánico.

En la superficie del núcleo de los 0 a 15 cm (Figura 6) se distingue el mayor contenido de carbono orgánico con un valor de  $\sim 0.46\%$ , que desciende hasta  $\sim 0.27\%$  a los 30 centímetros de profundidad. A partir de los 30 cm el CO se comporta de manera constante hasta la base del núcleo, con un valor promedio  $0.36\%$ .

En el caso de CI se observa un aumento en el contenido de CI de  $0.94\%$  en la superficie del núcleo hasta  $1.17\%$ . La concentración promedio de CI en esta sección es de  $1.07\%$ . De los 30 cm hasta los 60 cm de profundidad el contenido de carbono inorgánico decrece hasta  $0.99\%$ , presentándose un mínimo de  $0.89\%$  a los 36 cm. De los 60 cm hasta la base del núcleo a los 102 cm, aumenta ligeramente la concentración de CI de  $0.99\%$  a  $1.02\%$ . La concentración promedio de esta sección es de  $1.02\%$ , con un pico a los 62 cm con un valor de  $1.13\%$ .

Al igual que en el núcleo PM16, el comportamiento del carbono total en el núcleo obedece a un patrón muy similar al del carbono inorgánico, con un máximo a los 15 cm de  $1.59\%$  y otro a los 30 cm de  $1.44\%$ . Desde los 30 hasta los 60 cm el contenido de CT desciende de forma constante, y se registra un mínimo de  $1.20\%$  CT a los 36 cm. Otro pico se presenta a los 62 cm de  $1.45\%$  y a partir de esta profundidad se registra un ligero aumento en el contenido de

CT con un valor promedio de 1.37 % hasta la base del núcleo (Figura 6, Tabla A2-V).

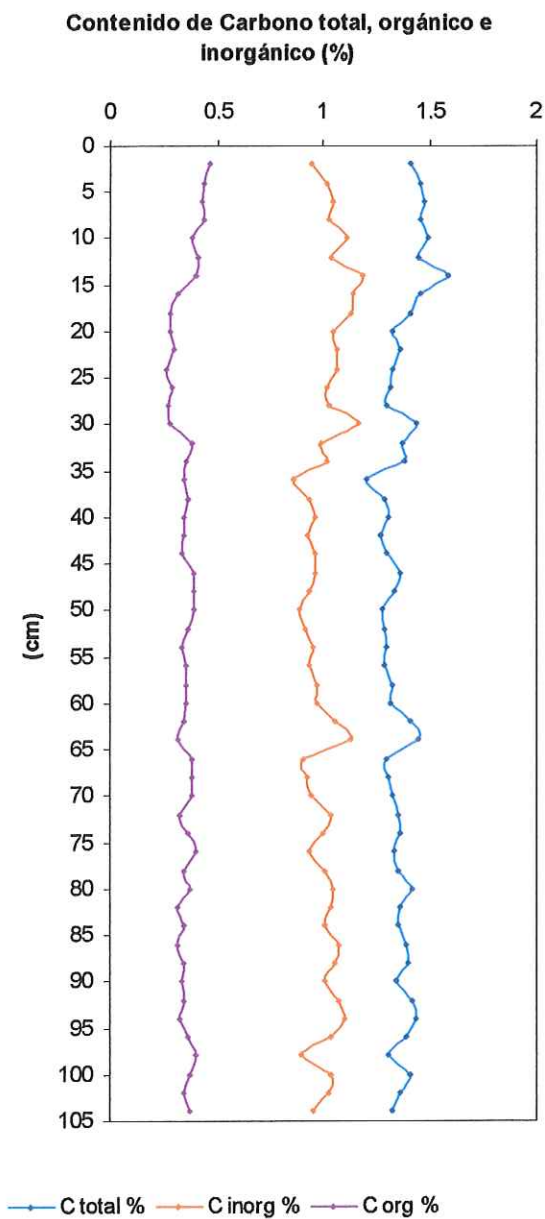


Figura 6.- Distribución de la concentración de Carbono total, orgánico e inorgánico (%) en el núcleo J01A colectado en el AGC.

### 3.2.3 Fósforo total

A lo largo de los 35 cm superficiales del núcleo (Figura 7) las variaciones en la concentración de PT van de los  $621 \mu\text{g g}^{-1}$  en los primeros centímetros de la superficie de núcleo, hasta  $1002 \mu\text{g g}^{-1}$  a los 22 cm; posteriormente la concentración desciende hasta  $525 \mu\text{g g}^{-1}$  a los 35 cm de profundidad. A los 42 cm vuelve a incrementarse la concentración de PT hasta  $734 \mu\text{g g}^{-1}$  que posteriormente desciende a  $527 \mu\text{g g}^{-1}$  a los 54 cm de profundidad. Otros picos significativos en la concentración de PT se registran a los 58 cm de  $674$  a  $513 \mu\text{g g}^{-1}$  y a los 70 cm de  $517$  a  $732 \mu\text{g g}^{-1}$  hasta la base del núcleo (Figura 7, Tabla A2-VI).

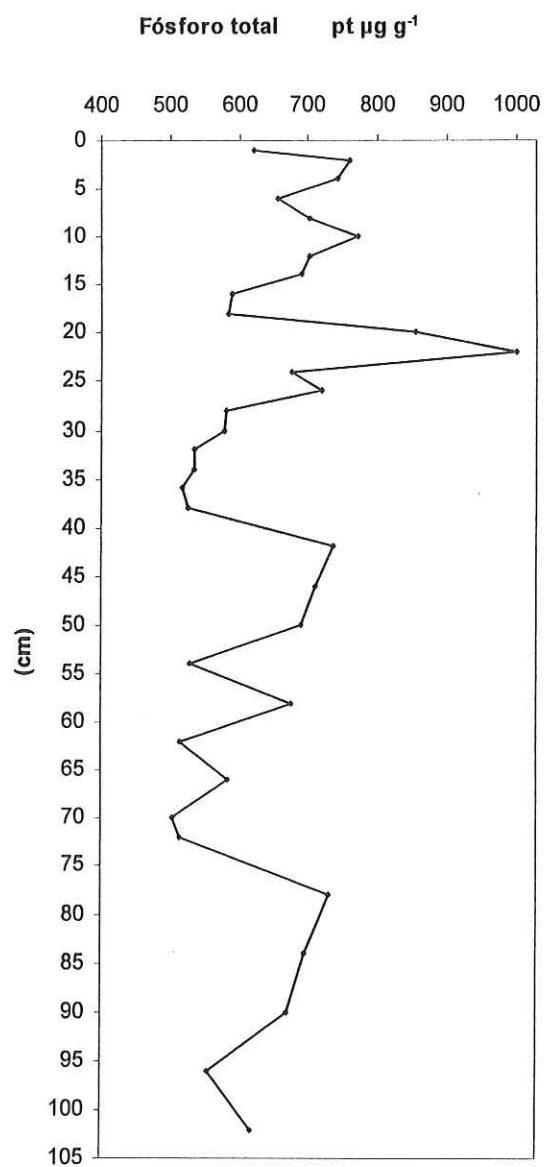


Figura 7.- Distribución de la concentración de Fósforo total en  $\mu\text{g g}^{-1}$  en el núcleo J01A colectado en el AGC.

### **3.3 Núcleo CW02 (colectado a 145 m de profundidad).**

#### **3.3.1 Características del núcleo CW02 y descripción litológica.**

A lo largo del núcleo CW02 los limos son el tamaño de grano más abundante con un valor promedio de 69.97 %, le siguen en abundancia las arenas con 17.33 % y por último las arcillas con 12.68 % (Figura 8 A y B). Los tres tamaños de grano se distribuyen en todo el núcleo de forma constante, caracterizado por un material limo arenoso de color gris verdoso. La abundancia de limos es constante a lo largo de todo el núcleo, únicamente destacan dos pequeños incrementos a los 55 y 100 cm de 68.5 % a 72.8 % y de 69.3 % a 73.1% respectivamente.

La abundancia de arenas en la superficie de núcleo CW02 de los 0-15 cm aumenta de 19 a 23 % de arenas. De los 15-70 cm la abundancia promedio de las arenas en el núcleo es de 17 % y con un comportamiento constante a lo largo del núcleo hasta los 70 cm. A partir de los 70 cm las arenas se comportan especularmente a las arcillas con ligeros cambios, en donde un descenso de 18 % a 6 % en el contenido de arenas a los 70 cm se refleja en un aumento de 12 % a 24.7 % de arcillas. Y a los 120-125 cm de profundidad el incremento en el contenido de arenas de 14 % a 22 %, se refleja a su vez, en un descenso de 15 % a 11 % de arcillas hasta la base del núcleo (Figura 8A , Tabla A3-VII).

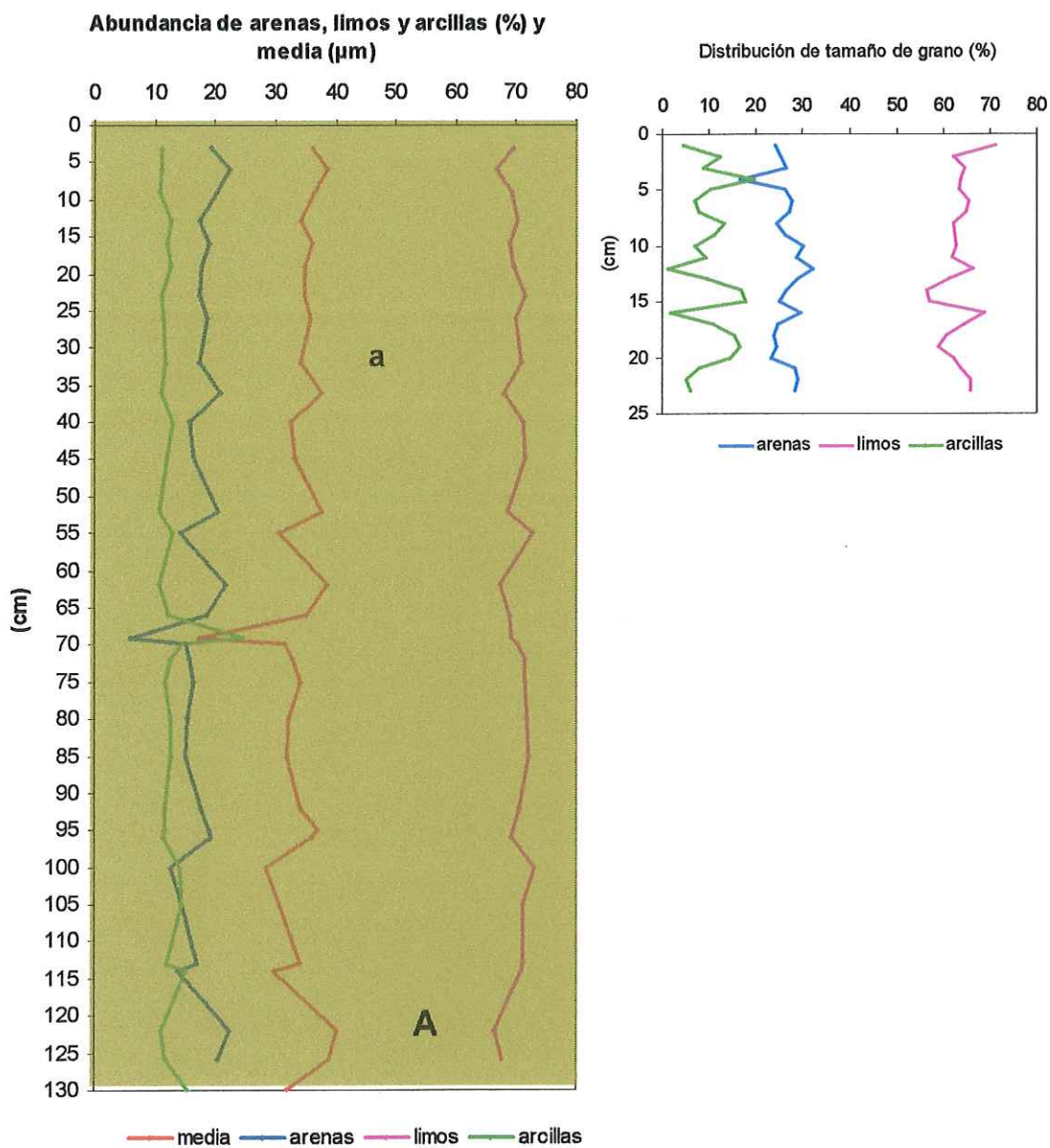


Figura 8.- **A)** Distribución de la abundancia de arenas, limos y arcillas y tamaño medio de grano ( $\mu\text{m}$ ) en el núcleo CW02 colectado en el AGC, **a)** corresponde a un limo arenoso de color gris verdoso sin presencia de restos calcáreos a lo largo del núcleo. **B)** Distribución del tamaño de grano en el núcleo de caja CW02.

### 3.3.2 Carbono orgánico e inorgánico.

En el núcleo CW02, se observa la mayor concentración de CO en el sedimento superficial entre 0-5 cm de profundidad con 1.1 %. Le sigue un valle entre los 5-12 cm con una concentración promedio de 0.70 % de CO, que aumenta de los 12-20 cm a 0.92 % CO. A partir de los 20 cm hasta la base del núcleo el comportamiento del CO es prácticamente constante con una concentración promedio para esta sección de 0.76 % (Figura 9, Tabla VIII).

Al igual que en el núcleo PM16 el aumento de CO se refleja en una disminución de CI y viceversa. En los centímetros superficiales del núcleo (0-12 cm) se registra un marcado aumento en la concentración de CI con un máximo de 1.66 % a los 5 cm. La concentración promedio para esta sección del núcleo es de 1.55 % de CI. De los 12 a 20 cm la concentración de CI desciende a 1.41 % y permanece constante de los 20 cm hasta la base del núcleo con una concentración promedio de 1.52 % de CI (Figura 9, Tabla VIII).

El comportamiento de CT en el núcleo obedece a un patrón similar al del CI, con un valle en la sección superficial de los 5-20 cm con una concentración promedio de 2.34 % de CT para esta sección. De los 20 cm hasta la base del núcleo el CT no presenta cambios significativos y permanece constante a lo

largo de esta sección del núcleo con una concentración promedio de 2.3 %  
(Figura 9, Tabla VIII).

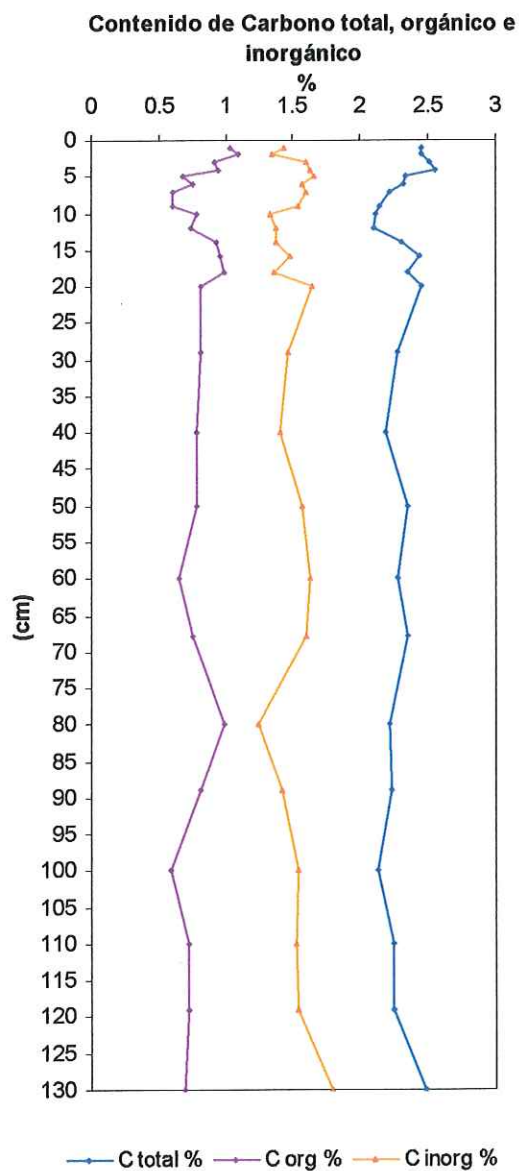


Figura 9.- Distribución de la concentración de Carbono total, orgánico e inorgánico (%) en el núcleo CW02 colectado en el AGC.

#### 4. DISCUSIÓN

##### 4.1 Cambios en la sedimentación en el AGC.

Antes de que las presas Hoover y Glen Canyon fueran construidas, la principal fuente de sedimentos hacia el NGC era el Río Colorado con una descarga media anual de  $160 \times 10^6$  toneladas métricas (Van Andel, 1964). Recientemente solo 0.5 % de la descarga original de los sedimentos del río alcanzan el delta del Río Colorado (Baba et al., 1991a, b). Como consecuencia, actualmente algunas de las fuentes principales de sedimento hacia el NGC son la erosión, el retrabajamiento y la resuspensión del material sedimentario del mismo delta del Río Colorado (Carriquiry y Sánchez, 1999; Carriquiry et al., 2001).

De acuerdo a Daesslé et al. (2002), los limos y arcillas ( $<62.5 \mu\text{m}$ ) son abundantes en el NGC y forman el 81 % del sedimento dispersado en las zonas adyacentes de la costa de Sonora y Baja California. El material arcilloso ( $<4 \mu\text{m}$ ) constituye más del 50 % del sedimento en el NGC y es abundante al Sur del delta, adyacente a la costa de Baja California y Puertecitos. Estos autores reportaron resultados para muestras de sedimentos superficiales en diversos puntos del NGC; algunos de ellos cercanos a los sitios de muestreo del presente trabajo (Figura 1). La muestra superficial e-10 ( $31^{\circ}09.84' \text{ N}$ ,  $114^{\circ}39.77' \text{ W}$ ) colectada cerca del núcleo PM16 ( $31^{\circ}08.59' \text{ N}$ ,  $114^{\circ}39.77' \text{ W}$ ), esta compuesta

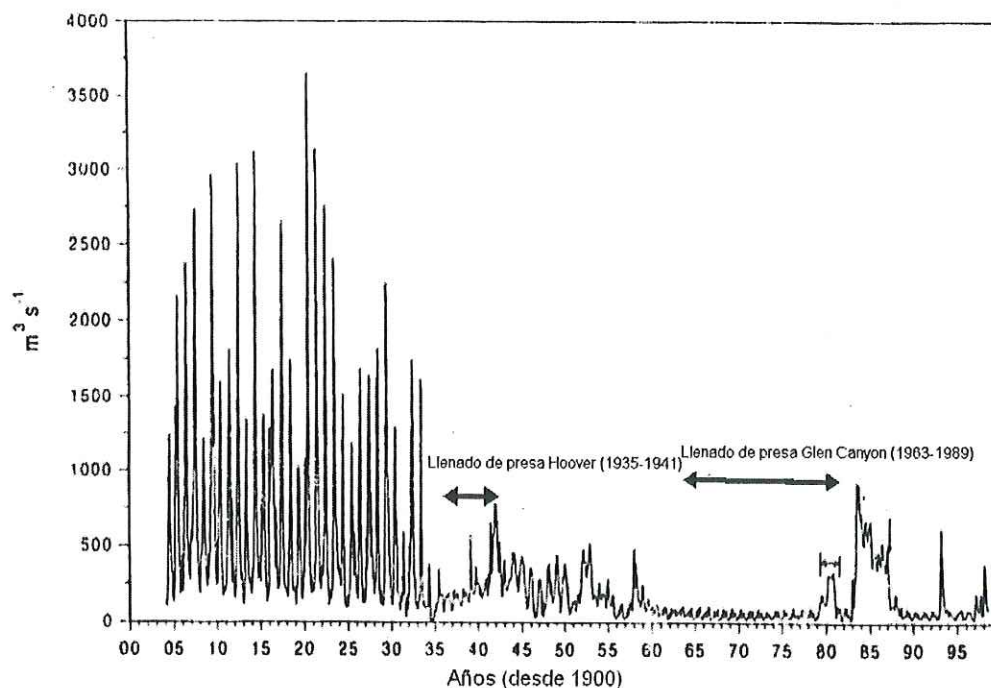


Figura 10.- Flujos de agua del Río Colorado a través de la Frontera México-USA (Lavin y Sánchez, 1999).

por 47 % limos y 37 % de arcillas, porcentajes similares a los que se detectaron en la superficie del núcleo PM16, con un 53 % limos 40 % de arcillas. Así mismo, la muestra superficial CP-07 (30°35.09' N, 114°30.07' W) con un 50 % limos y 50 % arcillas es similar al núcleo J01A (30°43.74' N, 114°37.18' W) el cual tiene en su superficie 54 % limos y 37 % arcillas. La granulometría superficial en los núcleos J01A y PM16 indica que, la abundancia de arcillas es solo ligeramente menor en el núcleo localizado hacia el sur.

El núcleo de Cuenca Wagner CW02 (31°06.88' N, 114° 10.05' W), se encuentra en una zona intermedia entre Sonora y Baja California. A diferencia de los núcleos PM16 y J01A, los limos son predominantes a lo largo de todo el núcleo, conformando cerca del ~ 80 % del sedimento. Daesslé et al., 2002, reportan la abundante presencia de limos (alrededor de 81 % del sedimento) y una mínima presencia de arcillas en sedimentos superficiales adyacentes a la costa de Sonora. Abundancias similares se encontraron en la muestra CW-03 (30°59.97 N, 114°10.38 W) estudiada por los mismos autores en donde el 70 % esta compuesto por limos y 28 % por arcillas, coincidiendo con el núcleo CW02 compuesto por un 70 % de limos a 12 % de arcillas. Ésto indica que la sedimentación es distinta en Cuenca Wagner y el oriente del AGC y el NGC comparada con la costa de Baja California. La dispersión a lo largo de la costa de Baja California no parece influir significativamente hacia el Este, donde se localiza Cuenca Wagner. Carriquiry y Sánchez (1999) mencionan que los sedimentos del Gran Desierto de Sonora han comenzado a invadir áreas someras del AGC que en el pasado eran dominadas por los sedimentos de Río Colorado.

La alta energía en la región del delta del Río Colorado promueve el transporte activo de material sedimentario, en su mayoría arcillas, ya que debido a su tamaño ( $<4 \mu\text{m}$ ) tienen velocidades de asentamiento muy lentas y pueden viajar largas distancias hasta su asentamiento final. En las secciones profundas

del núcleo J01A (abajo de los 15 cm), colectado en una zona distal del delta, se observa una mayor abundancia de arcillas que (en la porción profunda) del núcleo PM16 colectado al Norte del J01A. Lo anterior probablemente indica que en el pasado en las regiones distales al delta se favoreció la depositación de arcillas (Carriquiry y Sánchez, 1999). Esto tal vez debido a la topografía somera del área y las fuertes corrientes de marea que alcanzan hasta  $150 \text{ cm s}^{-1}$  en la plataforma adyacente al delta (Carriquiry y Sánchez, 1999; Cupul, 1994). Sin embargo, en las secciones superficiales del núcleo J01A (arriba de 15 cm), la abundancia de arcillas disminuye abruptamente, lo cual pudiera indicar una disminución en el aporte de arcillas desde el río y de su sedimentación en el sitio del núcleo J01A.

De la base del núcleo hasta los 15 cm superiores del núcleo J01A, la distribución de arcillas limosas de color café rojizo es constante, sin mayores cambios y una mínima presencia de arenas. Este sedimento pudiera ser semejante al sedimento caracterizado por los aportes del Río Colorado cuando este fluía libremente, caracterizado por material fino y por poseer un color café rojizo. Al interrumpir el aporte, se interrumpe la principal fuente de arcillas, por lo que éstas disminuyen drásticamente en épocas recientes y los limos se convierten en el material dominante, dando como resultado el cambio de arcillas limosas a un limo arcilloso de color café grisáceo. Se observa también que el porcentaje de arenas aumenta en la parte reciente del núcleo, lo cual

probablemente responde a una cada vez mayor influencia del aporte por aerosoles y la disminución del aporte de arcillas desde el río.

Probablemente debido a que el núcleo PM16 se encuentra a una menor profundidad (11 m) y por su cercanía a la costa, está sometido a procesos de mezcla más intensos que los otros sitios estudiados. De esta manera, los sedimentos son suspendidos, dispersados y redepositados continuamente por las corrientes de marea y fuerzas hidrodinámicas del lugar; como lo sugiere la mayor abundancia de pedacería de conchas en los primeros 20 cm del núcleo y los incrementos en concentraciones de CI en su sección superior.

A diferencia de los núcleos J01A y PM16, en el núcleo CW02, el patrón sedimentario permanece constante. La abundancia de arenas, es mayor que en los otros núcleos antes mencionados, probablemente debido a su mayor cercanía a las costas de Sonora y menos dilución por arcillas deltaicas. Según Inman y Filloux (1960) y Thompson (1968) el viento es un agente importante de transporte sedimentario que pudiera ser responsable de dispersar los sedimentos en el NGC. Además la acción del oleaje a lo largo de la costa de Sonora retrabaja el sedimento a través de la zona intermareal, transportando los sedimentos finos y dejando detrás los sedimentos mas gruesos y mejor clasificados como las arenas (Thompson, 1979). El núcleo CW02, no presenta

evidencias sedimentológicas claras que pudieran relacionarse con la interrupción del flujo del Río Colorado.

#### **4.2 Acumulación de CO en el AGC.**

A pesar de que la falta de aportes fluviales ha producido cambios hidrológicos y biológicos a escala local (Álvarez-Borrego, 2001), la concentración de nutrientes en el NGC permanece alta a escala regional (Santamaría-del-Ángel et al., 1994). Reportes establecen valores altos de productividad que exceden  $300 \text{ g m}^{-2} \text{ a}^{-1}$  y concentraciones de clorofilas "a", que exceden  $5 \text{ mg m}^{-3}$  durante primavera. A pesar de la alta productividad primaria en la columna de agua del NGC, la concentración de CO en los sedimentos finos es baja (Camacho-Ibar et al., 2003; Aguiñiga, 1999). Dichos autores reportan concentraciones de CO para la región  $< 2\%$ .

La mayoría de los estudios geoquímicos orgánicos que han sido realizados en el Golfo de California se han enfocado en la cuenca de Guaymas. Excepto por los trabajos de Camacho-Ibar et al. (2003), Aguiñiga (1999), Paez-Osuna (1991) y Shumillin et al. (2002), los sedimentos del NGC no habían sido descritos en términos de su composición orgánica. Camacho-Ibar et al. (2003) analizaron la composición de ácidos grasos de los núcleos de sedimento VAGO-03, AP-09 y CD-06 (Figura 1) colectados en Cuenca Delfín (al Sur de los núcleos PM16 y J01A) y concluyen que la concentración de CO en los

sedimentos del NGC es relativamente baja comparada con otros sistemas marinos altamente productivos. Estos autores sugieren que a partir de que el Río Colorado dejó de aportar materia orgánica terrígena, la erosión del depósito sedimentario del delta del Río Colorado se convirtió en la principal fuente contemporánea de materia orgánica de origen terrígeno. Esta sin embargo, contiene CO refractario y antiguo (Camacho-Ibar et al., 2003).

Si describimos los núcleos PM16, J01A y CW02 de su base hacia la superficie (antiguo a reciente), se observa que hay un ligero aumento en la concentración de CO en la región superficial de los núcleos con respecto a la concentración de la sección más profunda de éstos (Figuras 3, 6 y 9). Este comportamiento, es consistente con el perfil de CO total del núcleo de caja VAGO-03 colectado por Camacho-Ibar et al. (2003) en cuenca Delfín y con los núcleos AP-09 y CD-06 localizados frente a la Bahía San Luis Gonzaga. Los autores mencionan que estos perfiles son similares a los observados en otros sistemas acuáticos. Donde en general la concentración de CO tiende a disminuir con la profundidad. El núcleo VAGO-03 alcanza hasta  $12 \mu\text{g mg}^{-1}$  (1.2 %) de CO en la porción más superficial (0-15 cm) del núcleo, y  $4 \mu\text{g mg}^{-1}$  (0.4 %) entre 15-25 cm, similar a las concentraciones de CO en los núcleos estudiados. Posiblemente este aumento en la concentración de materia orgánica en tiempos recientes en los núcleos se deba a la presencia de materia orgánica no

completamente diagenetizada dada su reciente depositación (Camacho-Ibar et al., 2003). En el caso del núcleo CW02, la disminución sub-superficial de CO coincide con el incremento de CI, indicando un probable efecto de dilución de CO debido a la mayor abundancia de carbonatos de calcio (Figura 9).

#### **4.3 Relación entre el tamaño de grano y CO.**

Comúnmente, los factores que controlan el comportamiento del CO total en el sedimento son el tamaño de grano, las condiciones ambientales en la columna de agua, la productividad primaria, la profundidad del agua, la temperatura, el contenido de oxígeno y las tasas de sedimentación (Meyers et al., 1980; Louchouart et al., 1997; Sun et al., 1997; Tyson, 2001). Shumilin et al. (2002) analizaron la distribución vertical de diferentes elementos químicos, incluyendo la concentración de CO en un núcleo de sedimento CU-14 (31°15.92' N, 114°46.86' W) colectado en el AGC (Figura 1), al Norte del núcleo PM16. Los autores sugieren que la presencia de CO en los sedimentos superficiales está asociada predominantemente al material fino de origen fluvial, acumulado en un depocentro localizado al sureste del área del AGC. Sin embargo los núcleos J01A, PM16 y, en menor medida CW02 del presente estudio, están formados por sedimentos finos (limos-arcillas) y en ellos no existe una correlación entre el tamaño de grano y el contenido de CO (Figura 11). Según Camacho-Ibar et al. (2003), los tres núcleos colectados en la región de Cuenca Delfín en el NGC, están caracterizados por una granulometría limosa,

sin embargo el tamaño de grano tampoco tiene una correlación con el tamaño de grano.

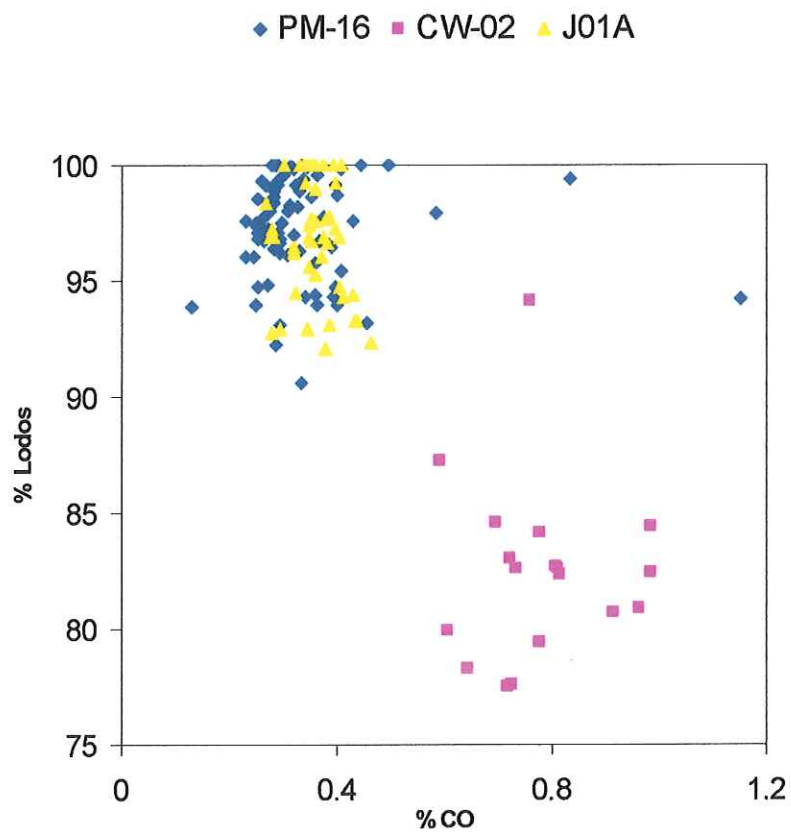


Figura 11.- Diagrama bivariado de % CO y % de Lodos en los núcleos PM16, J01A y CW02, colectados en el AGC; mostrando que no existe una correlación entre el % CO con el tamaño de grano (% lodos).

#### 4.4 La geoquímica del P en el AGC.

La principal fuente de P hacia el océano es la erosión de las rocas continentales. Los ríos son la principal vía de transporte de este elemento al océano (Delaney, 1998). El P transportado por los ríos hacia los cuerpos de agua se encuentra tanto en fase disuelta como particulada. Disuelto, en forma de fosfatos inorgánicos como  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  y en compuestos orgánicos (POD). En la fase particulada se encuentra principalmente como mineral (apatita) y como P adsorbido a superficies minerales en oxihidróxidos de Fe, las cuales se presentan comúnmente en la forma de suspensiones y agregados coloidales recubriendo la superficie de partículas de arcilla o partículas carbonatadas (Froelich, 1982). El P en los sedimentos marinos se presenta ya sea en asociación de P con el carbonato de calcio  $\text{CaCO}_3$  (apatita detrítica), la asociación de P orgánico con C orgánico y como apatita autigénica (Froelich et al., 1982). El P inorgánico sepultado en las fases autigénicas y detríticas, es mayormente refractario, en contraste con el fósforo inorgánico sepultado adsorbido en hidróxidos de Fe y Mn, ya que debido a la sensibilidad de estos compuestos a los cambios en los potenciales redox, manifiestan una movilidad post depositacional. Por otra parte el P orgánico sepultado en la mayoría de los casos es lábil y propenso a ser removilizado diagenéticamente (Froelich et al., 1982; Ingall y Van Cappellen, 1990; Berner et al., 1993).

Dado que durante el último siglo los aportes del Río Colorado hacia el NGC han sido drásticamente reducidos, la principal fuente de P disuelto hacia el delta del Río Colorado ha sido prácticamente interrumpida. Muy pocos estudios han sido realizados en relación a la geoquímica y los procesos relacionados con el fósforo en el área del NGC. Algunos autores como Daesslé et al. (2004) realizaron estudios de partición de P en sedimentos superficiales en el área del NGC y reportan la mayor concentración de P total al Sur del Río Concepción cerca de la costa Este del NGC, con una concentración de  $5771 \mu\text{g g}^{-1}$  discuten que este enriquecimiento en P se debe a la erosión de depósitos ricos en apatita en tierra y/o la formación autigénica de este mineral. Páez-Osuna et al. (1991) reportan que esta zona es la más rica en P en todo el Golfo de California con concentraciones de  $2000\text{-}10\,000 \mu\text{g g}^{-1}$  (5 a 10 veces más bajas que en este estudio) y mencionan también que el P en la región del NGC es principalmente inorgánico.

El sedimento superficial de los núcleos colectados en el AGC (PM16, J01A) muestra un enriquecimiento en el contenido de P total en los primeros 35 cm de profundidad. Tomando en cuenta los antecedentes de Páez-Osuna et al. (1991) y Daesslé et al. (2004), es probable que éste aumento en la concentración de P total en la sección superficial de los núcleos se debe a que el P acumulado en los sedimentos es principalmente inorgánico y asociado a minerales de apatita.

Vaithyanathan et al. (1993) reporta intervalos de concentración de P total para sedimentos en un estuario en la India que van de 250-500  $\mu\text{g g}^{-1}$ . Stiller y Nissenbaum (1999) encontraron intervalos de 300-500  $\mu\text{g g}^{-1}$  en los sedimentos del Mar Muerto y Huanxin et al. (2003) reportan una media de P total para los sedimentos en estuarios del Golfo de México de 350  $\mu\text{g g}^{-1}$ . Por lo anterior, el P total encontrado en los sedimentos de núcleos del AGC presenta concentraciones superiores (500-1000  $\mu\text{g g}^{-1}$ ) a las encontradas en otras zonas costeras. Las menores concentraciones de P total se reportaron en la zona cercana a la costa de Baja California sobre la ruta de transporte y dispersión de sedimentos deltaicos (núcleo PM16) con 600  $\mu\text{g g}^{-1}$  promedio. De manera similar, Daesslé et al. (2004) reportaron la menor concentración de P total en sedimentos superficiales de la zona adyacente al delta. En esta zona, el 73 % del P está asociado geoquímicamente a la fracción de apatita detrítica. El aumento de P total en la superficie de los núcleos PM16, J01A pudiera deberse al aporte eólico de partículas fosfatadas provenientes de las costas y planicies del desierto de Sonora, probablemente como partículas de apatita terrígena. Es probable que estos aerosoles al depositarse en el fondo marino a diferencia de épocas pasadas (pre-presas) sean diluidos en menor escala por parte del sedimento deltaico, reflejándose en las mayores concentraciones de P en los sedimentos depositados en tiempos recientes.

## 5. CONCLUSIONES

La falta de aportes de agua y sedimento provenientes del Río Colorado en épocas recientes, afectaron principalmente la dinámica sedimentaria en la zona cercana a la costa de Baja California, donde los resultados del análisis granulométrico y observaciones litológicas principalmente en el núcleo J01A, indican cambios en los sedimentos superficiales de estos núcleos. Por el contrario, la distribución de propiedades texturales del núcleo de CW02 es constante a lo largo de todo el núcleo lo cual no permite relacionarlo con los métodos utilizados al evento del represamiento.

Los análisis de CO indican que poca materia orgánica se acumula en los sedimentos del NGC. En los núcleos PM16, J01A y CW02 (ceranos a la superficie) la mayor concentración de CO en los sedimentos más recientes, puede deberse a la presencia de materia orgánica menos diagenetizada, debido a su reciente depositación.

El aumento en la concentración de P total en los sedimentos recientes del AGC (principalmente inorgánico), se debe probablemente a una menor dilución de los sedimentos depositados a partir de fuentes terrígenas ricas en apatita desde las planicies y costa del desierto de Sonora tras el represamiento del Río Colorado y la disminución del aporte de sedimentos del Río Colorado. El

aumento de P total en la superficie, al igual que los cambios sedimentológicos, pudieran estar relacionados con la sedimentación posterior al represamiento del Río Colorado. Sin embargo, esta conclusión solo podrá ser validada mediante el fechado de los núcleos de sedimento.

## 6. REFERENCIAS

Aguñiga, S. 1999. Geoquímica de la cuenca estuarina del Río Colorado:  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$  y biomarcadores lipídicos en sedimentos superficiales. Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, México. pp 155.

Álvarez-Borrego, S. 2001. The Colorado River Estuary and Upper Gulf of California, Baja, México. En: Camacho-Ibar, V.F., Aveytua-Alcázar, L., Carriquiry, J.D. 2003. Fatty acid reactivities in sediment cores from the northern Gulf of California. *Organic Geochemistry*. 34: 425-439.

Álvarez, L.G., Jones, S.E. 2002a. Factors influencing suspended sediment flux in the upper Gulf of California. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 54:747-759.

Álvarez, L.G., Jones, S.E. 2002b. Short-term observations of suspended particulate matter in a macro-tidal inverse estuary: the Upper Gulf of California. *Journal of Coastal Research* (in press).

Andrews, E.D. 1991. Sediment transport in the CR Basin. En: Colorado River Ecology and Dam Management, Proceedings of a Symposium. National Academic Press, Washington, DC. pp. 57-74.

- Baba, J., Peterson, C.D., Schrader, H.J. 1991a. Fine-grained terrigenous sediment supply and dispersal in the Gulf of California during the last century. En: Dauphin, J.P., Simoneit, B.R.T. (Eds.), The Gulf and Peninsular Providence of Californias. AAPG Memoir 47: 589-602.
- Baba, J., Peterson, C.D., Schrader, H.J. 1991b. Modern fine-grained sediments in the Gulf of California during the last century. En: Dauphin, J.P., Simoneit, B.R.T. (Eds.), The Gulf and Peninsular Providence of Californias. AAPG Memoir 47: 569-587.
- Benitez-Nelson, C.R. 2000. The biogeochemical cycling of phosphorus in marine systems. *Earth Science Reviews*. 51:109-135.
- Berner, R.A., Ruttenberg, K.C., Ingall, E.D., Rao, J.L. 1993. The nature of phosphorus burial in modern marine sediment. En: Benitez-Nelson, C.R. 2000. The biogeochemical cycling of phosphorus in marine systems. *Earth Science Reviews*. 51:109-135.
- Bowers, D.G. 1989. Models of density current outflows from inverse estuaries: With application to Spencer Gulf, South Australia. En: Focus on Modeling Marine Systems, vol.2 (Davis, A.M., ed.). CRC State-of-the-art series on Numerical Modeling of Marine Systems.

- Calderón-Aguilera, L.E., Marinone, S.G., Aragón-Noriega, E.A. 2003. Influence of oceanographic processes on the early life stages of the blue shrimp (*Litopenaeus stylirostris*) in the upper Gulf of California. *Journal of Marine Systems*. 39:117-128.
- Camacho-Ibar, V.F., Aveytua-Alcázar, L., Carriquiry, J.D. 2003. Fatty acid reactivities in sediment cores from the northern Gulf of California. *Organic Geochemistry*. 34: 425-439.
- 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 a cessation of the Colorado River discharge. *Sedimentary Geology*. 144: 37-62.
- Castro, R., Lavín, M.F., Ripa, P. 1994. Seasonal heat balance in the Gulf of California. *Journal of Geophysical Research*. 90: 3249-3261.
- Chang, F.Y., Kao, S.J. and Liu, K.K. 1996. Analysis of organic and carbonate carbon in sediments (en chino). *Acta Oceanography Taiwanica*. 27:140-150.

En: L.S. Leong and P.A. Tanner. 1999. Comparison of methods for determination of organic carbon in marine sediment. *Marine Pollution Bulletin* Vol.38:875-879.

Chester, R. 1990. *Marine Geochemistry*. Chapman & Hall. Department of Earth Science, University of Liverpool. pp 698.

Cohen, M.J., Henges-Jeck, C., Castillo-Moreno, G. 2001. A preliminary water balance of the Colorado River delta, 199-1998. *Journal of Arid Environments*. 49:35-48.

Cupul, M. A. L. 1994. Flujos de sedimentos en suspensión y nutrientes en la cuenca estuarina del Río Colorado, Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Marinas. Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada, BC., México.

Daessle, L.W., Ramos, S.E., Carriquiry, J.D., Camacho-Ibar, V.F. 2002. Clay dispersal and the geochemistry of manganese in the Northern Gulf of California. *Continental Shelf Research*. 22:1331-1323.

Daesslé, L.W., Camacho-Ibar, V.F., Carriquiry, J.D., Ortiz-Hernandez, M.C. 2004. The Geochemistry and sources of metals and phosphorus in the recent

sediments from the Northern Gulf of California. *Continental Shelf Research*, en prensa.

Delaney, M.L. 1998. Phosphorus accumulation in marine sediments and the oceanic phosphorus cycle. *Global Biogeochemical Cycles*. 12:563-572.

Elliot, T. 1978 en Capítulo 6: Reading, H.G. 1978. *Sedimentary environments and Facies*. Department of Geology and Mineralogy, University of Oxford. pp 96-162.

Froelich, P.N., Bender, M.I., Luedtke, N.A., Heath, G.R., Devries, T. 1982. The marine phosphorus cycle. *American Journal of Science*. 282:474-511.

García-Ballesteros, M.G., Larroque, M. 1974. Elementos sobre la distribución de turbidez en el Alto Golfo de California. *Ciencias Marinas*. 1: 1-30.

García-Hernández, J., King, K.A., Velasco, L., Shumilin, E., Mora, M.A., Glenn, E.P. 2001. Selenium, selected inorganic elements, and organochlorine pesticides in bottom material and biota from the Colorado River Delta. *Journal of Arid Environments*. 49:65-89.

Glenn, E.P., Zamora-Arroyo, F., Nagler, P.L., Briggs, M., Shaw, W., Flessa, K. 2001. Ecology and conservation biology of the Colorado River delta, Mexico. *Journal of Arid Environments*. 49:5-15.

Graf, W.F. 1985. The Colorado River, instability and basin management. *Resource Publications in Geography*. Association of American Geographers. Washington, DC. Pp.86.

Hallock, P. A. 1987. Fluctuations in the trophic resource continuum: A factor in global diversity cycles?. *Paleoceanography*. 2:467-471.

Hernandez-Ayon, J.M., Galindo-Bect, M.S., Baez-Flores, P.B., Álvarez-Borrego, S. 1993. Nutrient concentrations are high on the turbid waters of the Colorado River delta. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 37:593-602.

Huaxin, W., Presley, B.J., Armstrong, A. 1992. Distribution of sedimentary phosphorus in Gulf of Mexico estuaries. *Marine Environmental Research*. 37:375-392.

Ingall, E.D., Van Cappellen.1990. Relation between sedimentation rate and burial of organic phosphorus and organic carbon in marine sediments. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 54: 373-386.

- Inman, D.I., Filloux, J. 1960. Beach cycles related to tide and local wind wave regime. *Journal of Geology*. 68:225-231.
- Kuelh, S.A., Haur, T.A., Moore, W.S. 1990. Shelf sedimentation off the Ganges-Brahmaputra river system: evidence for sediment bypassing to the Bengal fan. *Geology*. 17: 1132-1145.
- Lavin, M.F., Godinez, V.M., Alvarez, L.G. 1998. Inverse-estuarine features of the Upper Gulf of California. *Estuarine Coastal and Shelf Science*. 47: 769-795.
- Lavin, M.F., Organista, S. 1988. Surface heat flux in the Northern Gulf of California. *Journal of Geophysical Research*. 93:14033-14038.
- Lavin, M.F., Sanchez, S. 1999. On how the Colorado River affected the hydrography of the upper Gulf of California. *Continental Shelf Research*. 19: 1545-1560.
- Louchouart, P., Lucotte, M., Canuel, R., Gagné, J.P., Richard, L.F. 1997. Sources and early diagenesis of lignin and bulk organic matter in the sediments of the Lower St. Lawrence Estuary and Saguenay Fjord. *Marine Chemistry*. 58:3-26.

- Lucotte, M., Mucci, A., Hillaire-Marcel, C. Tran, S. 1994. Early diagenetic processes in deep Labrador Sea sediments: reactive and non reactive iron and phosphorus. *Journal of Earth Science*. 31:14-27.
- Manual Horiba LA-910. 1995. Horiba instruments incorporated. Segunda Edición, pp. 30.
- Martin, R.E. 1996. Secular increase in nutrient levels through the Phanerozoic: Implications for productivity, biomass, and diversity of the marine biosphere. *Palaios*. 11:209-219.
- Meckel, L.D. 1975. Holocene sand bodies in the Colorado delta area, northern Gulf of California. En: Broussard, M.C. (Ed.), *Deltas, Models for Exploration*. Houston Geological Society. TX, pp. 239-265.
- Meyers, P.A., Bourbonniere, R.A., Takeuchi, N. 1980. Hydrocarbons and fatty acids in two cores of Lake Huron sediments. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 44: 1215-1221.

- Middleburg, J.J., Van der Weijden, C.H., Woittiez, J.R. 1988. Chemical processes affecting the mobility of major, minor and trace elements during weathering of granitic rocks. *Chemical Geology*. 68:253-273.
- Milliman, J.K., Mead, R.H. 1983. World-wide delivery of river sediment to the oceans. *Geology*. 21:1-21.
- Morrison, J.I., Postel, S., Gleick, P.H. 1996. The sustainable use of water in the Lower Colorado River Basin. Pacific Institute for Studies in Development. Environment and Security. Oakland. CA. USA. Pp.77.
- Nunez Vaz, R.A., Lennon, G.W., Bowers, D.G. 1990. Physical behavior of a large, negative or inverse estuary. *Continental Shelf Research*. 10 (3): 277-304.
- O'Brien, G.W., Milnes, A.R., Veeh, H.H., Heggie, D.T., Riggs, S.R., Cullen, D.J., Marshall, J.F., Cook, O.J. 1990. Sedimentation dynamics and redox iron cycling: controlling factors for the apatite-glaucinite association on the east Australian continental margin. In: A.J.G. Notholt and I. Jarvis (Ed). *Phosphorite Research and Development*. Geological Society Spec Publishers. 76:97-109.

- Paez-Osuna, F., Bojorquez-Leyva, H., Osuna-López, J.I. 1991. Accumulation and distribution of phosphorus in sediments of the Gulf of California. *Marine Mining*. 10:285-301.
- Palanques, A., Plana, F., Maldonado, A. 1990. Recent influence of man on the Ebro margin sedimentation system, northwestern Mediterranean Sea. *Marine Geology*. 95:247-263.
- Raymo, M.E. 1994. The Himalayas: organic carbon burial, and climate in the Miocene, *Paleoceanography*. 9:399-404.
- Reid G.K., Word, R. D. 1976. Ecology of inland waters and estuaries. Second Edition. D. Van Nostrand Company. Pp. 485.
- Santamaría-del-Angel, E.M., S. Álvarez-Borrego., F. E. Muller-Karger. 1994. Gulf of California biogeographic regions based on coastal zone color scanner imagery. *Journal of Geophysical Research*. 99:7411-7421.
- Santamaría-del-Angel, E.M., Millán-Núñez., De la Peña-Nettel G. 1996. Efecto de la turbidez en la productividad primaria en dos estaciones en el área del delta del Río Colorado. *Ciencias Marinas*. 22 (4): 483-393.

- Shumilin, E.N., Carriquiry, J.D., Camacho-Ibar, V.F., Sapozhnikov, D., Kalmykov, S., Sanchez, A., Aguiñiga-Garcia, S., Sapozhnikov, Y.A. 2002. Spatial and vertical distributions of elements in sediments of the Colorado River Delta and Upper Gulf of California. *Marine Chemistry*. 79:113-131.
- Stanley, D.J. 1989. Sediment transport on the coast and shelf between the Nile delta and Israeli margin as determined by heavy-minerals. *Journal of Coastal Research*. 5:813-828.
- Stanley, D.J., Nir, Y., Galili, E. 1998. Clay mineral distribution to interpret Nile cell provenance and dispersal: III. Offshore margin between Nile Delta and northern Israel. *Journal of Coastal Research*. 14: 196-217.
- Stiller, M., Nissenbaum, A. 1999. Geochemical investigation of phosphorus and nitrogen in the hypersaline Dead Sea. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. (63): 3467-3475.
- Sun Ming Yi, S. G., Wakeham y C. Lee. 1997. Rates and mechanisms of fatty acid degradation in oxic and anoxic coastal marine sediments of Long Island Sound, NY, USA. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 61(2): 341-255.

Sykes, G. 1937. The Colorado River Delta. Publication # 460. Washington, DC. Carnegie Institution. Pp.193.

Thompson, R.W. 1968. Tidal flat sedimentation on the Colorado River delta, northwestern Gulf of California. Geological Society of American Bulletin. Memoir 107, 133.

Thompson, R.W. 1979. Tidal-flat sediments on the Colorado River delta, northwestern Gulf of California. En: Ginsburg, R.N. (Ed.), Tidal Deposits. Springer, New York, pp. 57-65.

Tyson, R.V. 2001. Sedimentation rate, dilution, preservation and total organic carbon: some results of a modeling study. Organic Geochemistry. 32:333-339.

Van Andel, T.H. 1964. Recent marine sediments of the Gulf of California. En: Van Andel, T.H. and Shor, G.G. (Eds.), Marine Geology of the Gulf of California: A symposium. AAPG Memoir 3: 216-310.

Vaithyanathan, P., Jha, P.K., Subramanian, V. 1993. Phosphorus in the sediments of the Hoogly (Ganges) Estuary, India. Estuarine Coastal and Shelf Science. (37):603-614.

Vandeviere, W.B., Vorster, P. 1984. Hydrology analysis of the Colorado River floods of 1983. *Geology Journal*. 9:343-350.

Vaux, P.D. 1992. Manejo de los embalses del Río Colorado. *Ing. Hidráulica México*. 7: 122-131.



# ANEXO 1: RESULTADOS PARA EL NÚCLEO PM16 G

Tabla I.- Propiedades texturales en el núcleo de sedimento PM16 G.

| PROF (cm) | Media (μm) | %Arenas | % Limos | % Arcillas | Moda (μm) |
|-----------|------------|---------|---------|------------|-----------|
| 1         | 16.122     | 5.8     | 53.6    | 40.6       | 2.428     |
| 3         | 5.601      | 6.8     | 52      | 41.2       | 6.28      |
| 5         | 16.424     | 6       | 53.4    | 40.6       | 2.12      |
| 7         | 13.972     | 4.6     | 52.2    | 43.2       | 2.12      |
| 9         | 4.98       | 3.5     | 51.9    | 44.6       | 1.854     |
| 11        | 15.027     | 5.3     | 50.4    | 44.3       | 1.853     |
| 13        | 7.571      | 0       | 51.2    | 48.8       | 2.119     |
| 15        | 7.503      | 0       | 50.2    | 49.8       | 1.854     |
| 17        | 8.715      | 0.2     | 52.1    | 47.7       | 1.854     |
| 19        | 18.716     | 5.7     | 52.4    | 41.9       | 2.119     |
| 21        | 16.778     | 6       | 52.2    | 41.8       | 2.119     |
| 23        | 15.307     | 5.7     | 50.8    | 43.5       | 1.852     |
| 25        | 8.572      | 0.1     | 53.7    | 46.2       | 2.119     |
| 27        | 8.206      | 0.1     | 52.4    | 47.5       | 2.121     |
| 29        | 8.851      | 0.2     | 53      | 46.8       | 2.12      |
| 31        | 6.714      | 0       | 49.7    | 50.3       | 2.119     |
| 33        | 16.05      | 5.6     | 47.9    | 46.5       | 2.118     |
| 35        | 7.995      | 0       | 52.8    | 47.2       | 2.12      |
| 37        | 7.027      | 0.1     | 51.8    | 48.1       | 2.12      |
| 39        | 19.032     | 6.9     | 50.9    | 42.2       | 1.853     |
| 41        | 16.495     | 6       | 54.3    | 39.7       | 1.851     |
| 43        | 8.232      | 0       | 53      | 47         | 1.853     |
| 45        | 10.175     | 0.1     | 58.5    | 41.4       | 16.244    |
| 47        | 7.734      | 0       | 51.5    | 48.5       | 1.853     |
| 49        | 7.736      | 0       | 52.3    | 47.7       | 2.117     |
| 51        | 10.979     | 0.4     | 58.7    | 40.9       | 18.573    |
| 53        | 13.864     | 0.9     | 63.4    | 35.7       | 21.263    |
| 55        | 10.261     | 0.1     | 59.7    | 40.2       | 16.267    |
| 57        | 12.216     | 0.9     | 61.6    | 37.5       | 18.569    |
| 59        | 11.236     | 0.6     | 59      | 40.4       | 18.564    |
| 61        | 12.893     | 0.9     | 61.2    | 37.9       | 18.582    |
| 63        | 9.822      | 1.1     | 53.1    | 45.8       | 1.852     |
| 65        | 10.505     | 0.6     | 57.9    | 41.5       | 16.211    |
| 67        | 43.569     | 9.4     | 61.5    | 29.1       | 24.319    |
| 69        | 18.267     | 4.2     | 60.5    | 35.3       | 21.284    |
| 71        | 27.846     | 6.1     | 55.7    | 38.2       | 16.231    |
| 73        | 23.493     | 5.2     | 60.7    | 34.1       | 21.285    |
| 75        | 17.147     | 2.5     | 65.1    | 32.4       | 21.321    |
| 77        | 18.592     | 3.2     | 65.6    | 31.2       | 24.388    |
| 79        | 16.888     | 3.4     | 60.3    | 36.3       | 21.303    |
| 81        | 16.572     | 3       | 61.1    | 35.9       | 21.337    |
| 83        | 14.091     | 2.7     | 59.5    | 37.8       | 18.569    |

Continuación Tabla I

| PROF (cm) | Media (µm) | % Arenas | % Limos | % Arcillas | Moda (µm) |
|-----------|------------|----------|---------|------------|-----------|
| 85        | 7.188      | 3.7      | 57.8    | 38.5       | 18.605    |
| 87        | 9.448      | 5.3      | 61      | 33.7       | 21.273    |
| 89        | 6.748      | 2.9      | 58.2    | 38.9       | 16.221    |
| 91        | 4.792      | 1.5      | 52.9    | 45.6       | 1.85      |
| 93        | 7.2        | 1.6      | 60.6    | 37.8       | 16.239    |
| 95        | 4.582      | 1.7      | 51.7    | 46.6       | 1.85      |
| 97        | 4.266      | 0.4      | 51.3    | 48.3       | 1.85      |
| 99        | 1.173      | 2        | 59.7    | 38.3       | 18.592    |
| 101       | 7.291      | 2.5      | 59.3    | 38.2       | 21.264    |
| 103       | 8.733      | 3.2      | 60.7    | 36.1       | 24.398    |
| 105       | 11.924     | 4        | 64.8    | 31.2       | 27.872    |
| 107       | 8.349      | 2.3      | 61.4    | 36.3       | 21.304    |
| 109       | 5.392      | 1.3      | 55.1    | 43.6       | 1.849     |
| 111       | 4.49       | 0.9      | 51.9    | 47.2       | 1.85      |
| 113       | 5.885      | 1.4      | 56.8    | 41.8       | 14.181    |
| 115       | 6.543      | 1.8      | 58.1    | 40.1       | 18.595    |
| 117       | 9.297      | 1.8      | 64      | 34.2       | 21.313    |
| 119       | 8.098      | 2.9      | 60.6    | 36.5       | 21.32     |
| 121       | 3.236      | 0.6      | 43.6    | 55.8       | 1.85      |
| 123       | 5.291      | 2.1      | 53.7    | 44.2       | 1.848     |
| 125       | 6.635      | 2.2      | 57.6    | 40.2       | 18.593    |
| 127       | 4.881      | 3        | 51.3    | 45.7       | 1.849     |
| 129       | 5.401      | 2.4      | 53.9    | 43.7       | 1.848     |
| 131       | 4.818      | 3.3      | 50.7    | 46         | 1.849     |
| 133       | 4.3        | 2.5      | 49.3    | 48.2       | 1.851     |
| 135       | 3.531      | 0.7      | 46      | 53.3       | 1.85      |
| 137       | 6.823      | 7.8      | 52.1    | 40.1       | 1.619     |
| 139       | 8.747      | 4        | 60.2    | 35.8       | 24.435    |
| 141       | 4.481      | 1.8      | 50.9    | 47.3       | 1.85      |
| 143       | 12.734     | 2.6      | 68.5    | 28.9       | 24.32     |
| 145       | 6.75       | 2.4      | 57.8    | 39.8       | 18.595    |
| 147       | 6.897      | 3.3      | 57.2    | 39.5       | 18.573    |
| 149       | 6.79       | 3.6      | 56.6    | 39.8       | 16.245    |
| 151       | 4.347      | 1.4      | 50.6    | 48         | 1.849     |
| 153       | 7.661      | 3.9      | 58      | 38.1       | 21.315    |
| 155       | 5.834      | 2.2      | 55.4    | 42.4       | 16.236    |
| 157       | 4.529      | 1.1      | 51.6    | 47.3       | 1.618     |
| 159       | 5.673      | 2        | 55      | 43         | 14.182    |
| 161       | 3.723      | 0.9      | 47.1    | 52         | 1.85      |
| 163       | 5.75       | 3.8      | 53.8    | 42.4       | 1.848     |
| 165       | 4.894      | 3.8      | 51      | 45.2       | 1.851     |
| 167       | 5.45       | 2.8      | 53.9    | 43.3       | 1.849     |
| 169       | 6.01       | 2.9      | 55.8    | 41.3       | 14.169    |
| 171       | 4.222      | 3.2      | 48.1    | 48.7       | 1.849     |
| 173       | 6.171      | 1        | 58      | 41         | 14.173    |

Tabla II.- Concentración en porciento de Carbono total, orgánico e inorgánico en el núcleo de sedimento PM16 G.

| PROF (cm) | % C total | % C org | % C inorg |
|-----------|-----------|---------|-----------|
| 2         | 1.656     | 1.15    | 0.506     |
| 4         | 3.437     | 0.454   | 2.983     |
| 6         | 2.313     | 0.4     | 1.913     |
| 8         | 1.841     | 0.407   | 1.434     |
| 10        | 1.705     | 0.389   | 1.316     |
| 12        | 1.689     | 0.398   | 1.291     |
| 14        | 3.392     | 0.446   | 2.946     |
| 16        | 2.053     | 0.337   | 1.716     |
| 18        | 1.611     | 0.409   | 1.202     |
| 20        | 2.793     | 0.363   | 2.43      |
| 22        | 2.002     | 0.394   | 1.608     |
| 24        | 1.671     | 0.314   | 1.357     |
| 26        | 2.201     | 0.346   | 1.855     |
| 28        | 1.738     | 0.317   | 1.421     |
| 30        | 2.003     | 0.276   | 1.727     |
| 32        | 2.148     | 0.361   | 1.787     |
| 34        | 1.653     | 0.332   | 1.321     |
| 36        | 1.755     | 0.312   | 1.443     |
| 38        | 1.882     | 0.294   | 1.588     |
| 40        | 1.648     | 0.287   | 1.361     |
| 42        | 1.59      | 0.29    | 1.3       |
| 44        | 1.585     | 0.498   | 1.087     |
| 46        | 1.675     | 0.362   | 1.313     |
| 48        | 1.702     | 0.281   | 1.421     |
| 50        | 1.709     | 0.31    | 1.399     |
| 52        | 1.787     | 0.395   | 1.392     |
| 54        | 1.667     | 0.291   | 1.376     |
| 56        | 1.961     | 0.323   | 1.638     |
| 58        | 1.607     | 0.283   | 1.324     |
| 60        | 1.625     | 0.338   | 1.287     |
| 62        | 1.685     | 0.333   | 1.352     |
| 64        | 1.687     | 0.358   | 1.329     |
| 66        | 1.723     | 0.129   | 1.594     |
| 68        | 1.709     | 0.272   | 1.437     |
| 70        | 1.675     | 0.252   | 1.423     |
| 72        | 1.703     | 0.252   | 1.451     |
| 74        | 1.742     | 0.291   | 1.451     |
| 76        | 1.77      | 0.273   | 1.497     |
| 78        | 1.85      | 0.261   | 1.589     |
| 80        | 1.665     | 0.331   | 1.334     |
| 82        | 2.904     | 0.25    | 2.654     |
| 84        | 1.79      | 0.29    | 1.5       |

Continuación Tabla I.

| PROF (cm) | C total % | C org % | C inorg % |
|-----------|-----------|---------|-----------|
| 86        | 1.66      | 0.253   | 1.407     |
| 88        | 1.708     | 0.28    | 1.428     |
| 94        | 1.594     | 0.311   | 1.283     |
| 96        | 1.627     | 0.3     | 1.327     |
| 98        | 1.675     | 0.306   | 1.369     |
| 100       | 1.718     | 0.248   | 1.47      |
| 102       | 1.759     | 0.373   | 1.386     |
| 104       | 1.802     | 0.231   | 1.571     |
| 106       | 1.748     | 0.26    | 1.488     |
| 108       | 1.726     | 0.4     | 1.326     |
| 110       | 1.628     | 0.266   | 1.362     |
| 112       | 1.586     | 0.28    | 1.306     |
| 114       | 1.655     | 0.271   | 1.384     |
| 116       | 1.66      | 0.326   | 1.334     |
| 118       | 1.816     | 0.252   | 1.564     |
| 120       | 1.732     | 0.834   | 0.898     |
| 122       | 1.569     | 0.585   | 0.984     |
| 124       | 1.651     | 0.374   | 1.277     |
| 126       | 1.644     | 0.429   | 1.215     |
| 128       | 1.422     | 0.365   | 1.057     |
| 130       | 1.584     | 0.295   | 1.289     |
| 132       | 1.7       | 0.258   | 1.442     |
| 134       | 1.625     | 0.284   | 1.341     |
| 136       | 1.553     | 0.244   | 1.309     |
| 138       | 1.586     | 0.312   | 1.274     |
| 140       | 1.543     | 0.247   | 1.296     |
| 142       | 1.812     | 0.23    | 1.582     |
| 144       | 1.681     | 0.263   | 1.418     |
| 146       | 1.693     | 0.281   | 1.412     |
| 148       | 1.667     | 0.352   | 1.315     |
| 150       | 1.526     | 0.307   | 1.219     |
| 152       | 1.661     | 0.263   | 1.398     |
| 154       | 1.737     | 0.328   | 1.409     |
| 156       | 1.669     | 0.273   | 1.396     |
| 158       | 1.862     | 0.289   | 1.573     |
| 160       | 1.618     | 0.294   | 1.324     |
| 162       | 1.721     | 0.294   | 1.427     |
| 164       | 1.802     | 0.272   | 1.53      |
| 166       | 3.525     | 0.264   | 3.261     |
| 168       | 1.688     | 0.294   | 1.394     |
| 170       | 1.59      | 0.278   | 1.312     |
| 172       | 1.732     |         | 1.732     |

Tabla III.- Concentración de Fósforo total en  $\mu\text{g g}^{-1}$  en el núcleo de sedimento  
PM16 G.

| PROF (cm) | P total $\mu\text{g g}^{-1}$ | PROF (cm) | P total $\mu\text{g g}^{-1}$ |
|-----------|------------------------------|-----------|------------------------------|
| 1         | 617                          | 58        | 627                          |
| 2         | 627                          | 62        | 560                          |
| 8         | 653                          | 66        | 587                          |
| 10        | 626                          | 72        | 585                          |
| 12        | 666                          | 78        | 597                          |
| 14        | 557                          | 84        | 577                          |
| 16        | 593                          | 90        | 591                          |
| 18        | 568                          | 96        | 599                          |
| 20        | 599                          | 102       | 589                          |
| 22        | 617                          | 108       | 576                          |
| 24        | 764                          | 114       | 597                          |
| 26        | 595                          | 120       | 617                          |
| 28        | 546                          | 126       | 659                          |
| 30        | 592                          | 132       | 605                          |
| 32        | 643                          | 138       | 605                          |
| 34        | 566                          | 144       | 612                          |
| 36        | 563                          | 150       | 639                          |
| 38        | 560                          | 156       | 574                          |
| 42        | 589                          | 162       | 586                          |
| 46        | 572                          | 168       | 606                          |
| 50        | 606                          | 174       | 580                          |
| 54        | 587                          |           |                              |

## ANEXO 2: RESULTADOS PARA EL NÚCLEO J01A-G

Tabla IV.-Propiedades texturales en el núcleo de sedimento J01A G.

| PROF (cm) | Media ( $\mu\text{m}$ ) | % Arenas | % Limos | % Arcillas | Moda ( $\mu\text{m}$ ) |
|-----------|-------------------------|----------|---------|------------|------------------------|
| 2         | 20.822                  | 7.7      | 54.5    | 37.8       | 8.24                   |
| 3         | 20.843                  | 7.7      | 55.6    | 36.7       | 8.236                  |
| 4         | 19.68                   | 6.7      | 52.6    | 40.7       | 8.226                  |
| 5         | 15.841                  | 6        | 52.8    | 41.2       | 7.196                  |
| 6         | 18.798                  | 5.6      | 57.3    | 37.1       | 8.233                  |
| 7         | 18.738                  | 7        | 53.7    | 39.3       | 8.241                  |
| 8         | 17.849                  | 6.7      | 53.4    | 39.9       | 7.198                  |
| 9         | 17.624                  | 7.1      | 52.2    | 40.7       | 7.196                  |
| 10        | 17.794                  | 6.9      | 52.9    | 40.2       | 7.2                    |
| 11        | 16.535                  | 5.9      | 52.6    | 41.5       | 7.196                  |
| 12        | 16.017                  | 5.7      | 52.4    | 41.9       | 8.229                  |
| 13        | 15.7                    | 5.2      | 53.1    | 41.7       | 8.231                  |
| 14        | 15.486                  | 5.3      | 55.1    | 39.6       | 8.238                  |
| 15        | 13.983                  | 4.2      | 53.8    | 42         | 8.233                  |
| 16        | 13.883                  | 3.7      | 48.6    | 47.7       | 2.118                  |
| 17        | 9.559                   | 2.1      | 47      | 50.9       | 2.118                  |
| 18        | 9.973                   | 2.8      | 45.9    | 51.3       | 1.854                  |
| 19        | 9.994                   | 2.7      | 47.1    | 50.2       | 1.854                  |
| 20        | 10.669                  | 3.1      | 46      | 50.9       | 2.118                  |
| 21        | 10.711                  | 3.1      | 43.6    | 53.3       | 1.852                  |
| 22        | 5.316                   | 0        | 44.1    | 55.9       | 2.118                  |
| 23        | 6.081                   | 0        | 45.9    | 54.1       | 1.853                  |
| 24        | 8.654                   | 1.6      | 46.9    | 51.5       | 1.854                  |
| 25        | 8.852                   | 1.9      | 44.7    | 53.4       | 1.853                  |
| 26        | 34.015                  | 7.1      | 42.4    | 50.5       | 1.853                  |
| 27        | 5.317                   | 0        | 42.6    | 57.4       | 1.853                  |
| 28        | 12.557                  | 3.1      | 42.1    | 54.8       | 1.852                  |
| 29        | 28.542                  | 6.9      | 42.4    | 50.7       | 1.853                  |
| 30        | 28.35                   | 7.2      | 40.2    | 52.6       | 1.852                  |
| 31        | 37.572                  | 8.9      | 41.8    | 49.3       | 1.853                  |
| 32        | 30.483                  | 7.9      | 41.3    | 50.8       | 1.852                  |
| 33        | 14.691                  | 4.3      | 42.1    | 53.6       | 1.851                  |
| 34        | 5.719                   | 0        | 43.9    | 56.1       | 1.853                  |
| 35        | 5.761                   | 0        | 43.3    | 56.7       | 1.852                  |
| 36        | 35.854                  | 7.1      | 38.6    | 54.3       | 1.85                   |
| 37        | 34.508                  | 6.6      | 39.6    | 53.8       | 1.85                   |
| 38        | 7.295                   | 1        | 42.9    | 56.1       | 1.85                   |

Continuación Tabla IV.

| PROF (cm) | Media ( $\mu\text{m}$ ) | % Arenas | % Limos | % Arcillas | Moda ( $\mu\text{m}$ ) |
|-----------|-------------------------|----------|---------|------------|------------------------|
| 39        | 7.481                   | 1        | 42.3    | 56.7       | 1.851                  |
| 40        | 5.32                    | 0        | 42.8    | 57.2       | 1.852                  |
| 41        | 7.188                   | 1        | 42.5    | 56.5       | 1.851                  |
| 42        | 5.529                   | 0        | 43.2    | 56.8       | 1.853                  |
| 43        | 7.846                   | 1.2      | 41.3    | 57.5       | 1.85                   |
| 44        | 5.525                   | 0        | 43      | 57         | 1.853                  |
| 45        | 8.272                   | 1.5      | 41.4    | 57.1       | 1.852                  |
| 46        | 7.306                   | 0.8      | 43.8    | 55.4       | 1.853                  |
| 47        | 6.774                   | 0.6      | 41.5    | 57.9       | 1.852                  |
| 48        | 9.605                   | 2.8      | 42.5    | 54.7       | 1.851                  |
| 49        | 10.132                  | 2.9      | 41.7    | 55.4       | 1.85                   |
| 50        | 5.625                   | 0        | 43.1    | 56.9       | 1.852                  |
| 51        | 13.683                  | 6.9      | 42.6    | 50.5       | 1.853                  |
| 52        | 10.539                  | 4        | 41.9    | 54.1       | 1.853                  |
| 53        | 10.502                  | 3.8      | 41.1    | 55.1       | 1.852                  |
| 54        | 4.711                   | 0        | 41.1    | 58.9       | 2.118                  |
| 55        | 5.687                   | 0        | 43.4    | 56.6       | 1.853                  |
| 56        | 11.062                  | 4.7      | 41.2    | 54.1       | 2.119                  |
| 57        | 8.071                   | 2        | 42.1    | 55.9       | 1.852                  |
| 58        | 8.635                   | 2.3      | 41.7    | 56         | 1.851                  |
| 59        | 8.465                   | 2.1      | 44.2    | 53.7       | 1.853                  |
| 60        | 10.984                  | 3.3      | 42.1    | 54.6       | 1.852                  |
| 61        | 9.839                   | 3.4      | 43.8    | 52.8       | 2.119                  |
| 62        | 13.517                  | 4.4      | 42.2    | 53.4       | 1.853                  |
| 63        | 9.398                   | 2.8      | 43.1    | 54.1       | 1.852                  |
| 64        | 10.688                  | 3.8      | 43      | 53.2       | 1.854                  |
| 65        | 11.256                  | 3.4      | 42.8    | 53.8       | 1.854                  |
| 66        | 8.357                   | 2.2      | 43      | 54.8       | 1.852                  |
| 67        | 9.795                   | 2.6      | 50.2    | 47.2       | 7.185                  |
| 68        | 10.041                  | 3.4      | 44      | 52.6       | 1.853                  |
| 69        | 11.388                  | 4.7      | 43.1    | 52.2       | 1.853                  |
| 70        | 9.182                   | 2.3      | 42.7    | 55         | 1.852                  |
| 71        | 12.351                  | 5.3      | 42.2    | 52.5       | 1.853                  |
| 72        | 15.073                  | 5.5      | 42.9    | 51.6       | 1.853                  |
| 73        | 8.603                   | 2.2      | 44.2    | 53.6       | 1.853                  |
| 74        | 8.756                   | 2.4      | 44.1    | 53.5       | 1.853                  |
| 75        | 9.973                   | 3.2      | 43.5    | 53.3       | 1.853                  |
| 76        | 9.846                   | 3.1      | 42.7    | 54.2       | 1.852                  |
| 77        | 5.509                   | 0        | 43.9    | 56.1       | 1.853                  |
| 78        | 5.559                   | 0        | 44      | 56         | 1.853                  |
| 79        | 8.228                   | 1.8      | 45.4    | 52.8       | 1.853                  |
| 80        | 10.602                  | 3.1      | 42.7    | 54.2       | 1.852                  |
| 81        | 9.871                   | 3        | 43.7    | 53.3       | 1.852                  |
| 82        | 10.291                  | 3.5      | 40.9    | 55.6       | 1.851                  |
| 83        | 10.425                  | 3.8      | 40.8    | 55.4       | 1.852                  |

Continuación Tabla IV.

| PROF (cm) | Media ( $\mu\text{m}$ ) | % Arenas | % Limos | % Arcillas | Moda ( $\mu\text{m}$ ) |
|-----------|-------------------------|----------|---------|------------|------------------------|
| 85        | 8.932                   | 2.6      | 39.9    | 57.5       | 1.851                  |
| 86        | 10.674                  | 3.8      | 42.7    | 53.5       | 1.852                  |
| 87        | 5.524                   | 0        | 43.8    | 56.2       | 1.853                  |
| 88        | 9.579                   | 3.1      | 42.1    | 54.8       | 1.851                  |
| 89        | 5.851                   | 0        | 46      | 54         | 1.854                  |
| 90        | 5.43                    | 0        | 43.9    | 56.1       | 1.854                  |
| 91        | 5.185                   | 0        | 42.9    | 57.1       | 2.118                  |
| 92        | 5.768                   | 0        | 43.6    | 56.4       | 1.853                  |
| 93        | 8.095                   | 1.6      | 43.1    | 55.3       | 1.853                  |
| 94        | 5.768                   | 0        | 43.8    | 56.2       | 1.853                  |
| 95        | 6.22                    | 0.1      | 44.6    | 55.3       | 1.853                  |
| 96        | 6.069                   | 0        | 44.7    | 55.3       | 1.854                  |
| 97        | 6.04                    | 0        | 44.7    | 55.3       | 1.853                  |
| 98        | 6.013                   | 0        | 44.3    | 55.7       | 1.853                  |
| 99        | 6.116                   | 0        | 44.7    | 55.3       | 1.853                  |
| 100       | 5.984                   | 0        | 44.3    | 55.7       | 1.852                  |
| 101       | 7.555                   | 0.8      | 43.5    | 55.7       | 1.852                  |
| 102       | 5.967                   | 0        | 44.3    | 55.7       | 1.852                  |

Tabla V.- Concentración en por ciento de Carbono total, orgánico e inorgánico en el núcleo de sedimento J01A G.

| PROF (cm) | % C total | % C org | % C inorg |
|-----------|-----------|---------|-----------|
| 2         | 1.409     | 0.463   | 0.946     |
| 4         | 1.455     | 0.438   | 1.017     |
| 6         | 1.477     | 0.431   | 1.046     |
| 8         | 1.46      | 0.435   | 1.025     |
| 10        | 1.498     | 0.384   | 1.114     |
| 12        | 1.446     | 0.412   | 1.034     |
| 14        | 1.591     | 0.403   | 1.188     |
| 16        | 1.457     | 0.32    | 1.137     |
| 18        | 1.409     | 0.279   | 1.13      |
| 20        | 1.326     | 0.28    | 1.046     |
| 22        | 1.365     | 0.299   | 1.066     |
| 24        | 1.329     | 0.266   | 1.063     |
| 26        | 1.316     | 0.294   | 1.022     |
| 28        | 1.301     | 0.273   | 1.028     |
| 30        | 1.443     | 0.276   | 1.167     |
| 32        | 1.372     | 0.379   | 0.993     |
| 34        | 1.379     | 0.356   | 1.023     |
| 36        | 1.202     | 0.346   | 0.856     |
| 38        | 1.292     | 0.36    | 0.932     |
| 40        | 1.308     | 0.344   | 0.964     |
| 42        | 1.275     | 0.35    | 0.925     |
| 44        | 1.296     | 0.337   | 0.959     |
| 46        | 1.36      | 0.395   | 0.965     |
| 48        | 1.332     | 0.396   | 0.936     |
| 50        | 1.279     | 0.393   | 0.886     |
| 52        | 1.289     | 0.369   | 0.92      |
| 54        | 1.297     | 0.34    | 0.957     |
| 56        | 1.294     | 0.359   | 0.935     |
| 58        | 1.327     | 0.353   | 0.974     |
| 60        | 1.32      | 0.352   | 0.968     |
| 62        | 1.407     | 0.348   | 1.059     |
| 64        | 1.45      | 0.318   | 1.132     |
| 66        | 1.296     | 0.386   | 0.91      |
| 68        | 1.311     | 0.382   | 0.929     |
| 70        | 1.323     | 0.379   | 0.944     |
| 72        | 1.359     | 0.324   | 1.035     |
| 74        | 1.364     | 0.361   | 1.003     |
| 76        | 1.338     | 0.404   | 0.934     |
| 78        | 1.355     | 0.342   | 1.013     |
| 80        | 1.422     | 0.373   | 1.049     |

## Continuación Tabla V.

| PROF (cm) | % C total | % C org | % C inorg |
|-----------|-----------|---------|-----------|
| 82        | 1.361     | 0.32    | 1.041     |
| 84        | 1.359     | 0.347   | 1.012     |
| 86        | 1.395     | 0.318   | 1.077     |
| 88        | 1.405     | 0.349   | 1.056     |
| 90        | 1.343     | 0.338   | 1.005     |
| 92        | 1.422     | 0.344   | 1.078     |
| 94        | 1.436     | 0.331   | 1.105     |
| 96        | 1.394     | 0.36    | 1.034     |
| 98        | 1.306     | 0.406   | 0.9       |
| 100       | 1.415     | 0.373   | 1.042     |
| 102       | 1.366     | 0.342   | 1.024     |
| 104       | 1.331     | 0.375   | 0.956     |

Tabla VI.- Concentración de Fósforo total en  $\mu\text{g g}^{-1}$  en el núcleo de sedimento

J01A G.

| PROF (cm) | P total $\mu\text{g g}^{-1}$ | PROF (cm) | P total $\mu\text{g g}^{-1}$ |
|-----------|------------------------------|-----------|------------------------------|
| 1         | 621                          | 36        | 521                          |
| 4         | 740                          | 38        | 525                          |
| 6         | 658                          | 42        | 734                          |
| 8         | 702                          | 46        | 707                          |
| 10        | 772                          | 50        | 688                          |
| 12        | 706                          | 54        | 527                          |
| 14        | 693                          | 58        | 674                          |
| 16        | 590                          | 62        | 513                          |
| 18        | 585                          | 66        | 582                          |
| 20        | 853                          | 70        | 502                          |
| 22        | 1002                         | 72        | 517                          |
| 24        | 675                          | 78        | 732                          |
| 26        | 720                          | 84        | 694                          |
| 28        | 582                          | 90        | 669                          |
| 30        | 575                          | 96        | 553                          |
| 32        | 535                          | 102       | 619                          |
| 34        | 535                          |           |                              |

### ANEXO 3: RESULTADOS PARA EL NÚCLEO CW02-G

Tabla VII.- Propiedades texturales en el núcleo de sedimento CW02 G.

| PROF (cm) | Media (µm) | % Arenas | % Limos | % Arcillas | Moda (µm) |
|-----------|------------|----------|---------|------------|-----------|
| 3         | 36.142     | 19.3     | 69.6    | 11.1       | 48.183    |
| 6         | 38.555     | 22.4     | 66.6    | 11         | 55.212    |
| 9         | 36.513     | 20.1     | 69.2    | 10.7       | 55.095    |
| 13        | 34.234     | 17.4     | 70.1    | 12.5       | 48.098    |
| 16        | 36.109     | 19.1     | 68.8    | 12.1       | 36.109    |
| 19        | 34.905     | 17.6     | 69.6    | 12.8       | 48.022    |
| 23        | 34.698     | 17.4     | 71.4    | 11.2       | 48.068    |
| 26        | 35.589     | 18.7     | 69.9    | 11.4       | 48.16     |
| 32        | 34.202     | 17.3     | 70.9    | 11.8       | 48.142    |
| 36        | 37.601     | 20.9     | 67.9    | 11.2       | 55.033    |
| 40        | 32.662     | 15.9     | 71.1    | 13         | 42.017    |
| 45        | 33.302     | 16.5     | 71.5    | 12         | 48.045    |
| 52        | 37.772     | 20.6     | 68.5    | 10.9       | 54.93     |
| 55        | 30.791     | 14.2     | 72.8    | 13         | 36.702    |
| 62        | 38.577     | 21.7     | 67.5    | 10.8       | 55.058    |
| 66        | 35.166     | 18.7     | 69      | 12.3       | 54.939    |
| 69        | 17.236     | 5.9      | 69.4    | 24.7       | 9.42      |
| 70        | 31.501     | 15.2     | 70.1    | 14.7       | 41.977    |
| 72        | 32.85      | 15.7     | 71.5    | 12.8       | 41.97     |
| 75        | 33.993     | 16.6     | 71.6    | 11.8       | 42.04     |
| 80        | 32.249     | 15.6     | 71.9    | 12.5       | 42.031    |
| 85        | 31.843     | 15.2     | 72.1    | 12.7       | 42.041    |
| 92        | 34.188     | 17.7     | 70.5    | 11.8       | 48.118    |
| 95        | 36.877     | 18.9     | 69.5    | 11.6       | 48.03     |
| 96        | 35.896     | 19.3     | 69.4    | 11.3       | 54.965    |
| 100       | 28.394     | 12.8     | 73.1    | 14.1       | 42.02     |
| 105       | 30.661     | 14.6     | 71      | 14.4       | 36.672    |
| 113       | 34.112     | 17       | 71.1    | 11.9       | 48.034    |
| 114       | 29.722     | 14       | 70.7    | 15.3       | 12.381    |
| 122       | 40.215     | 22.5     | 66.4    | 11.1       | 55.056    |
| 126       | 38.886     | 20.6     | 67.6    | 11.8       | 48.105    |
| 130       | 31.328     | 15.4     | 69      | 15.6       | 12.385    |

Tabla VIII.- Concentración en por ciento de Carbono total, orgánico e inorgánico en el núcleo de sedimento CW02 G.

| PROF (cm) | % C total | % C org | % C inorg |
|-----------|-----------|---------|-----------|
| 1         | 2.457     | 1.028   | 1.429     |
| 2         | 2.447     | 1.096   | 1.351     |
| 3         | 2.513     | 0.916   | 1.597     |
| 4         | 2.563     | 0.941   | 1.622     |
| 5         | 2.338     | 0.676   | 1.662     |
| 6         | 2.326     | 0.727   | 1.599     |
| 7         | 2.215     | 0.613   | 1.602     |
| 9         | 2.149     | 0.609   | 1.54      |
| 10        | 2.111     | 0.777   | 1.334     |
| 12        | 2.103     | 0.734   | 1.369     |
| 14        | 2.31      | 0.929   | 1.381     |
| 16        | 2.444     | 0.963   | 1.481     |
| 18        | 2.353     | 0.987   | 1.366     |
| 20        | 2.456     | 0.811   | 1.645     |
| 29        | 2.269     | 0.806   | 1.463     |
| 40        | 2.19      | 0.779   | 1.411     |
| 50        | 2.326     | 0.779   | 1.547     |
| 60        | 2.271     | 0.644   | 1.627     |
| 68        | 2.348     | 0.758   | 1.59      |
| 80        | 2.224     | 0.987   | 1.237     |
| 89        | 2.231     | 0.815   | 1.416     |
| 100       | 2.125     | 0.593   | 1.532     |
| 110       | 2.241     | 0.724   | 1.517     |
| 119       | 2.252     | 0.72    | 1.532     |
| 130       | 2.479     | 0.698   | 1.781     |

#### ANEXO 4: ESTÁNDARES DE PRECISIÓN.

Tabla IX.- Estándares de precisión para los análisis de Carbono en los núcleos del AGC.

| <b>PM16</b>                                | <b>J01A</b>           | <b>CW02</b>           |
|--------------------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| soil                                       | Mag 1                 | Mag 1                 |
| 1.032                                      | 2.158                 | 2.253                 |
| 0.898                                      | 2.146                 | 2.221                 |
| 0.941                                      | 2.17                  | 2.114                 |
| 0.834                                      |                       |                       |
| <b>Media</b>                               | <b>Media</b>          | <b>Media</b>          |
| 0.926                                      | 2.158                 | 2.196                 |
| <b>Desviación std</b>                      | <b>Desviación std</b> | <b>Desviación std</b> |
| 0.08                                       | 0.012                 | 0.07                  |
| <b>Precisión analítica del método 5.4%</b> |                       |                       |

Tabla IX.- Estándares de precisión para los análisis de Fósforo en los núcleos del AGC.

|                                               |
|-----------------------------------------------|
| <b>Mag1 (<math>\mu\text{g g}^{-1}</math>)</b> |
| 388.9                                         |
| 377.8                                         |
| <b>Media</b>                                  |
| 383.3                                         |
| <b>Desviación std</b>                         |
| 7.8                                           |