

#### 4.2.4 Análisis de componentes principales

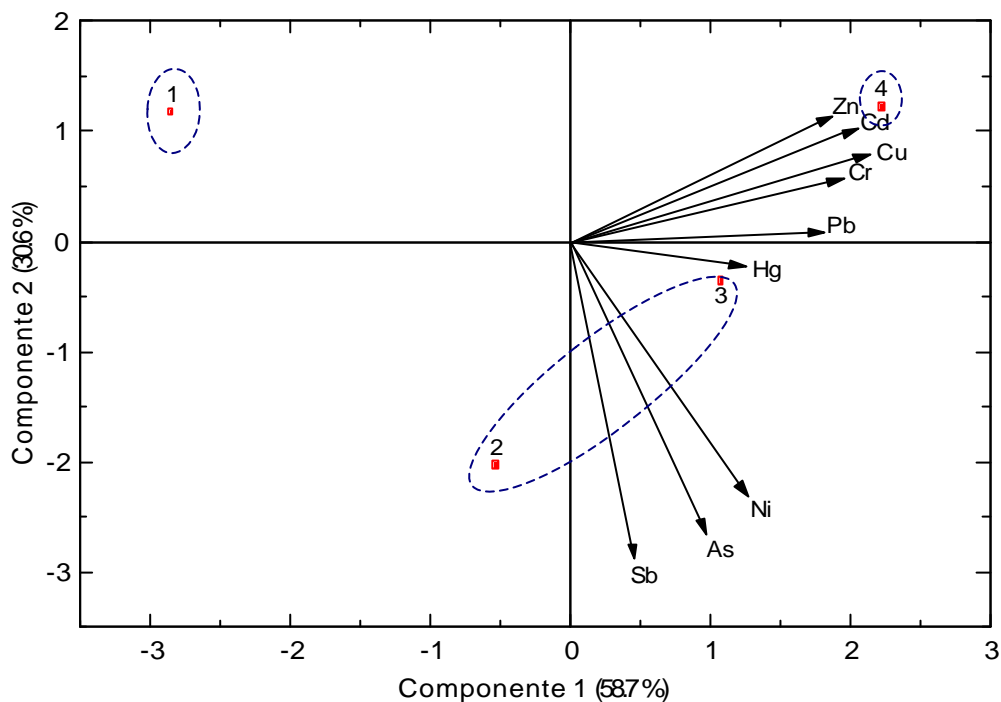
##### Río Cardener

Los resultados obtenidos del análisis de componentes principales para el río Cardener se representan en la **figura 31**. En ella puede observarse que a partir de este estudio obtenemos una explicación media con una varianza total de 89.3%, a través de dos componentes principales. Aquellos componentes que explican el 10.7% de la varianza se han desechado, asimismo es importante recordar que las varianzas totales con un porcentaje igual o superior al 90% se consideran aceptables para que sean definidas como componentes principales. En nuestro caso, es de 89.3% muy próximo a lo recomendado, por tanto, la selección realizada de los componentes es correcta (Johnson y Wichern, 1992; Polo, 2000).

El primer componente principal, está definido por seis metales Cd, Cu, Cr, Pb, Zn con similar importancia (las abscisas son parecidas) y el Hg en menor cuantía, con una varianza de 58.7%, ya que éstos elementos poseen factores de carga más elevados. Al segundo componente principal lo definen el Sb, As y el Ni, con una varianza de 30.6%, además los vectores para éstos metales toman claramente otra dirección, respecto al resto de los elementos (**figura 31**). Según Tsai *et al.*, (1998) cuando los metales están agrupados, indican también que tienen la misma fuente de contaminación.

Por otra parte, en la **figura 31** también se recoge el mapa de posición de los puntos de muestreo, lo cual nos permite analizar la relación que existe entre ellos, respecto al par de componentes principales CP1-CP2. Por tanto, a partir de este estudio los puntos de muestreo se pueden clasificar en tres grupos:

- 1º. Esta constituido por el sedimento perteneciente a la cabecera del río (Olius). Las muestras de ésta zona, en general, presentan concentraciones mínimas de los metales que se estudian en este trabajo.
- 2º. Este grupo está formado por los puntos de muestreo 2 y 3 (Aigua d'Ora y Súria), este tramo del río se caracteriza por las concentraciones de metales relativamente moderadas respecto al último punto de este río (Castellgalí).



**Figura 31:** Análisis de componentes principales en sedimentos del río Cardener (CP-I 58.7% y CP-II 30.6% de varianza)

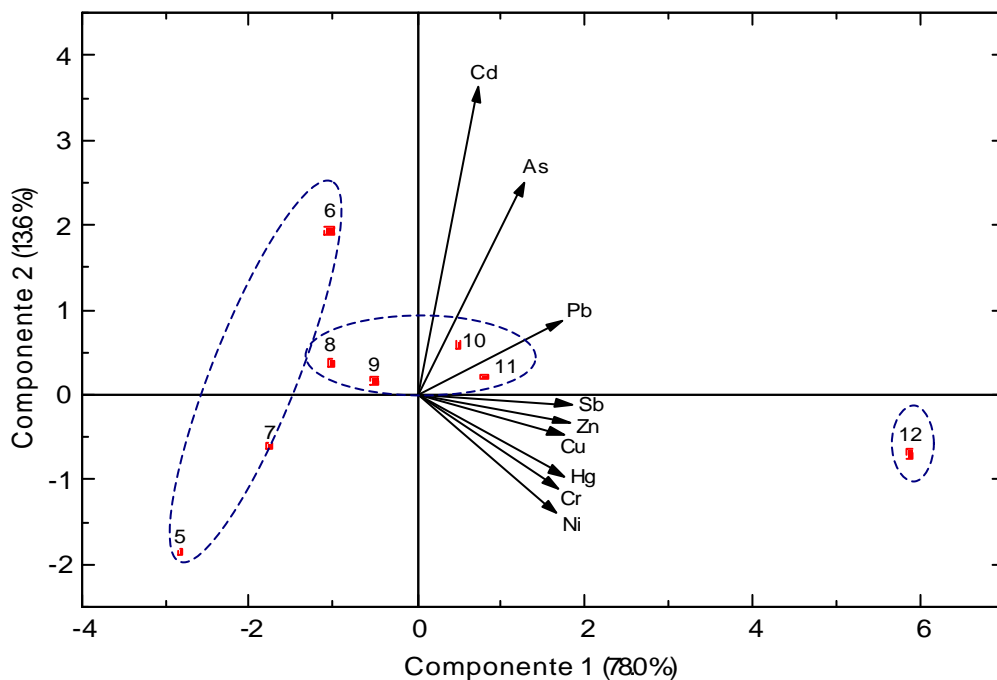
3°. Finalmente, el último grupo está compuesto por el punto 4 (Castellgalí). En los sedimentos de esta zona de estudio, se hallan los valores máximos de metales pesados de origen antropogénico especialmente el zinc.

### Río Llobregat

En la **figura 32** se recoge el análisis de componentes principales para el río Llobregat. Este río está definido a través de dos componentes, con una varianza total de 91.6%. Al componente principal 1, lo definen siete metales pesados que son el Sb, Cu, Cr, Hg, Ni, Pb y el Zn, con una varianza de 78.0%. Cabe resaltar que los elementos que conforman al primer componente están positivamente correlacionados ( $p < 0.01$ ). Por su parte el segundo componente principal está definido por el As y el Cd, con una varianza de 13.6%. Los vectores de éstos dos metales se desplazan en otra dirección respecto a los que definen al primer componente.

Con el análisis factorial de los componentes principales también se ha evaluado la relación que guardan los puntos de muestreo a lo largo del río respecto a los dos componentes. A partir del mapa de posición se realiza la siguiente interpretación:

- 1°. El primer grupo está formado por los sedimentos tomados en Guardiola de Berguedà, Balsareny y Pont de Vilomara. Estas muestras son las que presentan las concentraciones más bajas de metales respecto al resto de los puntos de muestreo situados aguas abajo de éstas tres zonas.
- 2°. A este grupo lo definen los puntos 8, 9, 10 y 11 (Castellbell i el Vilar, Martorell-L, Sant Andreu de la Barca y Molins de Rei). Los sedimentos de éste tramo se caracterizan por niveles intermedios de metales pesados.
- 3°. El tercero está compuesto por el último punto (Sant Joan Despí). Sin duda, los sedimentos de ésta zona presentan concentraciones de metales pesados más elevadas de toda la cuenca del Llobregat. De hecho este punto tiene una posición alejada del resto de los puntos de muestreo (**figura 32**).



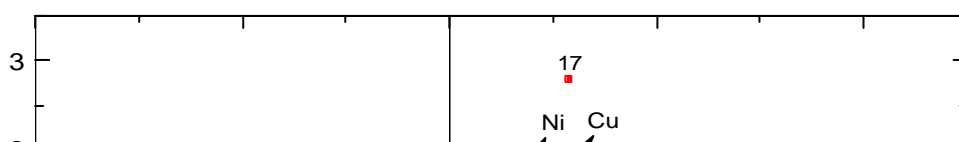
**Figura 32:** Análisis de componentes principales en sedimentos del río Llobregat (CP-I 78.0% y CP-II 13.6% de varianza)

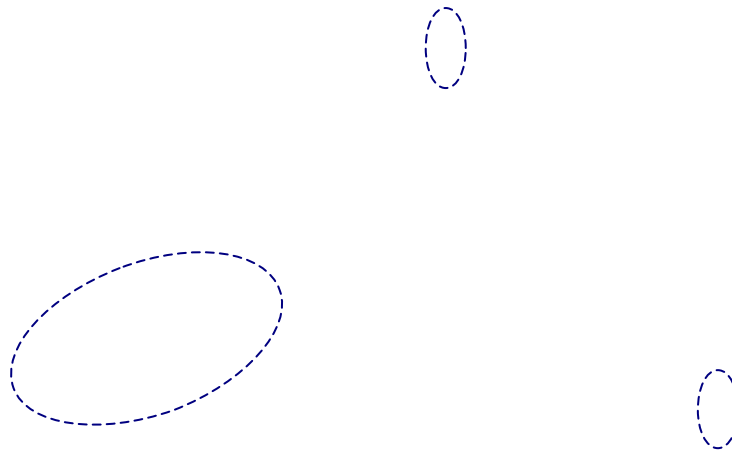
### Río Anoia

Los resultados del análisis de componentes principales del río Anoia quedan reflejados en la **figura 33**. Estos tienen una explicación media con una varianza total de 89.5%, a través de dos componentes. Los metales que definen el primer componente principal, son aquellos elementos que presentan factores de carga más significativos estos son el Sb, Cd, Cu, Cr, Hg, Pb y el Zn, con una varianza de 69.6%. El segundo componente principal está formado por los elementos As y Ni, con una varianza de 19.9%.

Por otra parte, en la misma **figura 33** se recoge el análisis de la posición de los puntos de muestreo con respecto al primero y segundo componente principal. De este mapa de posición se establece la siguiente explicación:

- 1°. El primer grupo está formado por los puntos situados en Jorba, Capellades y Sant Sadurní d'Anoia (13, 15 y 16), zonas que corresponden al curso alto y medio del río, que se caracterizan por las concentraciones de metales pesados más bajas del río Anoia.
- 2°. Está formado por el punto 14 ubicado en Vilanova del Camí. Esta zona de estudio se destaca por presentar concentraciones muy elevadas en metales pesados, especialmente el Sb y el Cr. Dichos valores podrían ser atribuidos a las numerosas industrias de textiles y curtido de pieles de la ciudad de Igualada.
- 3°. Finalmente, el último grupo está definido por el punto 17 (Martorell-A), zona situada aproximadamente a 500 m antes de su confluencia con el río Llobregat y se caracteriza por los niveles en metales relativamente elevados. Algunos de los elementos son inferiores y otros superiores a los obtenidos en los puntos de muestreo que conforman al primer grupo de este análisis.





**Figura 33:** Análisis de componentes principales en sedimentos del río Anoaia (CP-I 69.6% y CP-II 19.9% de varianza)

#### **4.2.5 Componentes mayoritarios en los sedimentos**

El análisis de los componentes mayoritarios en los sedimentos, se ha llevado a cabo con el objetivo de realizar una caracterización litogénica de estos materiales a nivel del agua. Para este fin, se han analizado tres parámetros: los carbonatos, los silicatos y la materia orgánica. Asimismo, cabe resaltar que los componentes mayoritarios y los metales pesados en los sedimentos del río Anoaia, se han determinado por primera vez, ya que no se dispone de ninguna bibliografía que haga referencia a otros trabajos anteriores en éste ámbito.

##### **4.2.5.1 Carbonatos**

###### **Río Cardener**

Los resultados obtenidos de carbonatos en los sedimentos del río Cardener se muestran en la **figura 34**, en ella se observa que los valores de éste parámetro descienden a medida que nos acercamos a la desembocadura del río. Esto es atribuible a la variación de la geología superficial de la cuenca del río, de rocas calcáreas (curso alto del río) a materiales de tipo gravas, arenas, arcillas, limos, etc. (cauce bajo del río). Cabe remarcar

que cuando el porcentaje de los carbonatos es abundante en los sedimentos, se presenta un importante sumidero de metales, particularmente para el Zn y Cd (Adriano, 1986; Span y Gaillard, 1986; Prusty *et al.*, 1994). La concentración de carbonatos en los sedimentos pasa de 32.5% en Olius a 25.0% en Castellgalí. Es importante destacar que la concentración de carbonatos en Aigua d'Ora es más baja (21.5%) que en el resto de los puntos de muestreo, mientras que los silicatos se presentan los más elevados (**figura 34**). Ello se atribuye al dominio de areniscas, conglomerados y lutitas en ésta zona de estudio (apartado 2.2.1, figura 6). En este sentido los carbonatos y los silicatos están correlacionados de forma inversa a lo largo del río ( $r=-0.920$ ,  $p<0.01$ ). Los resultados de carbonatos de esta tesis son coherentes con los obtenidos en un trabajo anterior realizado por Casas (1989), evidenciando que las concentraciones de este parámetro no varían temporalmente al tratarse de materiales estables. Asimismo, cabe indicar que no se observan variaciones significativas de los valores de carbonatos de una campaña a otra. La concentración media es de 25.8% y oscila entre 23.8-28.8%, con una significación de  $p<0.05$ .

### **Río Llobregat**

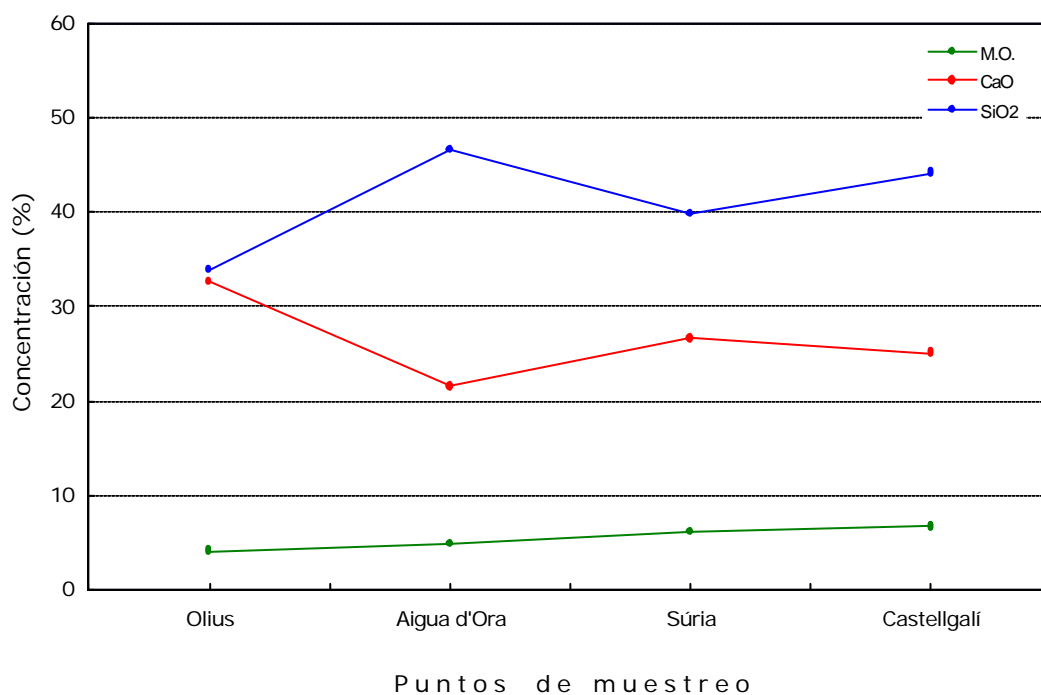
En la **figura 35** se representan los carbonatos en el río Llobregat. En esta se observa que los valores de carbonatos van disminuyendo a medida que baja el río, excepto en Castellbell i el Vilar donde se halla la concentración más alta de todo el río. Los valores de carbonatos pasan de un 22.8% en Guardiola de Berguedà a un 15.3% en Sant Joan Despí, lo que significa una disminución de un 70% respecto a la cabecera del río. Este hecho se debe a la variación de los materiales (rocas) por donde atraviesa el río. El porcentaje de los carbonatos está significativamente correlacionado con el valor del pH ( $r=0.511$ ,  $p<0.01$ ). En general los carbonatos no sufren variaciones de una campaña a otra, ello posiblemente es atribuido que gran parte de su concentración es de origen litogénico. El porcentaje medio es de 20.3% y fluctúa entre 18.9%-21.8%, con un nivel de significación de  $p<0.05$ .

### **Río Anoia**

Los valores de carbonatos para el río Anoia se exponen en la **figura 36**. En esta encontramos que las concentraciones más elevadas de los carbonatos se hallan en Jorba

(28.1%), por el contrario las mínimas se encuentran en Martorell-A (20.2%). Como se ha descrito en el apartado 2.2, en los tres ríos en estudio, la zona alta del río está emplazada sobre formaciones geológicas fundamentalmente con un dominio de rocas calcáreas, mientras el curso bajo esta constituida por materiales de carácter silicico formado por gravas, arenas, arcillas, limos y areniscas (Catalán L. *et al.*, 1971; Gallart, 1991). Por tanto, es coherente obtener concentraciones altas de carbonatos en los sedimentos que corresponden al curso alto e inferiores al final del río. El porcentaje de los carbonatos se correlaciona de forma inversa con un coeficiente significativo, con los silicatos ( $r=-0.807$ ,  $p<0.01$ ). La concentración media es de 23.9% y oscila entre 22.2-25.6%, con un nivel de significación de  $p<0.05$ .

A partir de los resultados obtenidos del análisis de la varianza se deduce que el río Cardener tiene una concentración de carbonatos significativamente superior a los ríos Llobregat y Anoia ( $p<0.05$ ). Ello podría ser atribuido a que la mayor parte de las zonas de muestreo en el río Cardener están situados sobre formaciones geológicas de rocas calcáreas especialmente Olius donde se halla el valor más significativo de toda la cuenca del Llobregat que se sitúa en torno al 34% (**figura 34**).



**Figura 34:** Análisis de carbonatos, silicatos y materia orgánica en los sedimentos del río Cardener

#### 4.2.5.2 Silicatos

##### Río Cardener

Los resultados de silicatos en los sedimentos del río Cardener se representan en la **figura 34**, en ella se observa una evolución inversa a los valores de carbonatos, es decir, conforme baja el río, aumentan los silicatos. Como se ha indicado anteriormente, la variación de los componentes mayoritarios en los sedimentos, en general, se debe al cambio de los tipos de materiales de un tramo a otro por donde atraviesa el río, ya que el silicio es un elemento que no está afectado por la contaminación ambiental. El cauce bajo del río Cardener es de una litología formada por areniscas, gravas, arenas, arcillas, margas, etc. materiales eminentemente de tipo silicico. Los valores de silicatos pasan de 33.8% en Olius a 44.1% en Castellgalí, lo que representa un incremento del 30% respecto a la cabecera del río. Los porcentajes de silicatos obtenidos en este trabajo concuerdan con los hallados en el estudio realizado por Casas (1989). Asimismo cabe indicar, que este parámetro está significativamente correlacionado con el Sb ( $r=0.702$ ,  $p<0.01$ ) y, con el Ni ( $r=0.528$ ,  $p<0.05$ ). Según Prieto (1998) ambos elementos (Sb y Ni), generalmente, están asociados a los minerales de arcilla, lo cual justificaría las correlaciones citadas. La concentración media es de 41.6% y fluctúa entre 38.4-44.7%, con un nivel de significación de  $p<0.05$ .

##### Río Llobregat

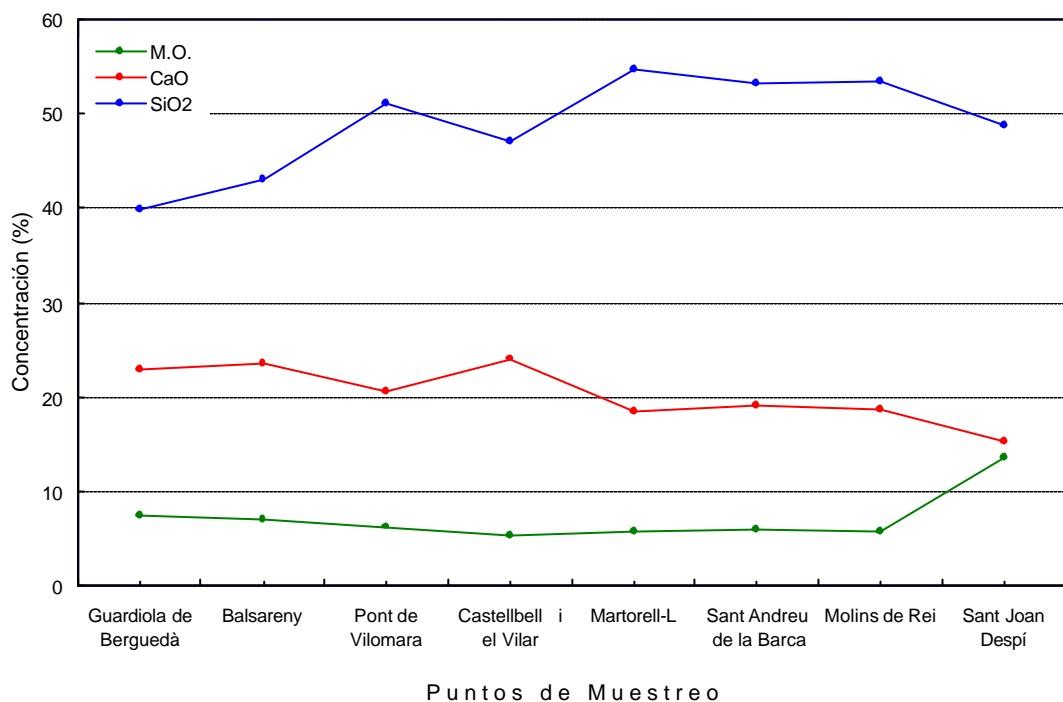
En la **figura 35** se recogen las concentraciones de silicatos para el río Llobregat. El contenido del mismo presenta variaciones irregulares a lo largo del río, con una tendencia ligeramente progresiva conforme se acerca al último punto (Sant Joan Despí). La variación de estos valores es coherente con la geología superficial del río. Merece comentar el punto de muestreo situado en Castellbell i el Vilar, ya que los silicatos experimentan un ligero descenso, el mismo se correlaciona con el incremento de carbonatos (**figura 35**). Tras su paso por ésta zona, la concentración de silicatos en el sedimento aumenta y se mantienen casi constantes hasta Molins de Rei, mientras que en Sant Joan Despí sufren una ligera disminución. Este fenómeno posiblemente es atribuido al aumento significativo de la materia orgánica en los sedimentos (13.6%), ya



que las características geológicas son similares desde Martorell-L hasta la desembocadura del río en el mar Mediterráneo. Las concentraciones mínimas de silicatos en el río Llobregat se dan en Guardiola de Berguedà (39.9%), mientras las máximas en Martorell-L (54.7%). Los valores de los silicatos están inversamente correlacionados con los carbonatos ( $r=-0.498$ ,  $p<0.01$ ), lo que demuestra que éstos dos parámetros a lo largo del río tienen tendencias opuestas. El porcentaje medio es de 48.9% y oscila entre 46.6-51.2%, con un nivel de significación de  $p<0.05$ .

### **Río Anoia**

Las concentraciones de silicatos en los sedimentos del río Anoia quedan reflejadas en la **figura 36**. En éste río al igual que en el Cardener y el Llobregat, los silicatos aumentan gradualmente a medida que nos acercamos a la desembocadura del río. Sin embargo, en Vilanova del Camí se produce un ligero descenso, esto podría ser atribuido al elevado porcentaje de materia orgánica que se encuentra en ésta zona, que puede tener su origen en el vertido de las numerosas industriales del curtido de pieles de Igualada. De hecho estos dos parámetros (silicatos y materia orgánica) están negativamente correlacionados ( $r=-0.640$ ,  $p<0.01$ ). Los valores de silicatos pasan del 38.2% en Jorba al 49.5% en Martorell-L, siendo estos valores del curso bajo del río, influenciados por el transporte de materiales finos como arcillas, limos, etc. La concentración media de silicatos en el río Anoia es de 42.5% y oscila entre 49.6-45.4%, con una significación de  $p<0.05$ .



**Figura 35:** Análisis de carbonatos, silicatos y materia orgánica en los sedimentos del río Llobregat

Con el análisis de la varianza se deduce (**tabla 4.9**) que para los ríos Cardener-Llobregat y Llobregat-Anoia se han hallado diferencias significativas ( $p < 0.05$ ). Esto podría ser debido a que el río Llobregat a partir de Pont de Vilomara atraviesa sobre aluviones del cuaternario, de gravas, arenas, arcillas, limos, etc. materiales fundamentalmente de carácter silícico.

#### 4.2.5.3 Materia orgánica

##### Río Cardener

Los resultados obtenidos de la materia orgánica en los sedimentos del río Cardener se recogen en la **figura 34**. Las concentraciones mínimas de este parámetro se hallan en Olius (4.1%) y las máximas en Castellgalí (6.7%), lo que representa un incremento en un 40% respecto a la cabecera del río. Este aumento de la materia orgánica se justifica por los vertidos que se producen procedentes de las industrias y aguas residuales de núcleos importantes sin depurar. Cabe remarcar que los valores más bajos de la materia

orgánica se han obtenido en la tercera campaña (otoño), cuando el caudal circulante presentaba su máximo nivel, pudiendo ser éste la causa del descenso de este parámetro. Por su parte las concentraciones máximas de la materia orgánica en los sedimentos se obtienen en la cuarta campaña (invierno), ello podría ser atribuido a la baja temperatura del agua, ya que este parámetro juega un papel importante en la biodegradación de la materia orgánica (Marín, 1996; Seoánez, 1999). La materia orgánica en los sedimentos se correlaciona con el cobre ( $r=0.594$ ,  $p<0.05$ ), evidenciando la capacidad de adsorción de este material por el cobre. Esta correlación concuerda con los resultados obtenidos en otros trabajos (Rovira, 1993; Gaiero *et al.*, 1997). La presencia de la materia orgánica en los sedimentos favorece los fenómenos de adsorción de metales y formación de complejos solubles o insolubles (Craig, 1986; Calmano *et al.*, 1993; Förstner, 1993; Usero *et al.*, 1994; Grousset *et al.*, 1999). Por otro lado, la importancia de este material en los sedimentos reside en la liberación de metales traza de las partículas en suspensión debido a las reacciones de intercambio de catión por su fuerte afinidad por los iones metálicos (Jones y Jarvis, 1981; Van de Meent *et al.*, 1985; Salomons y Förstner, 1984; Moalla *et al.*, 1998). La concentración media de la materia orgánica es de 5.4% y fluctúa entre 4.4-6.3% ( $p<0.05$ ).

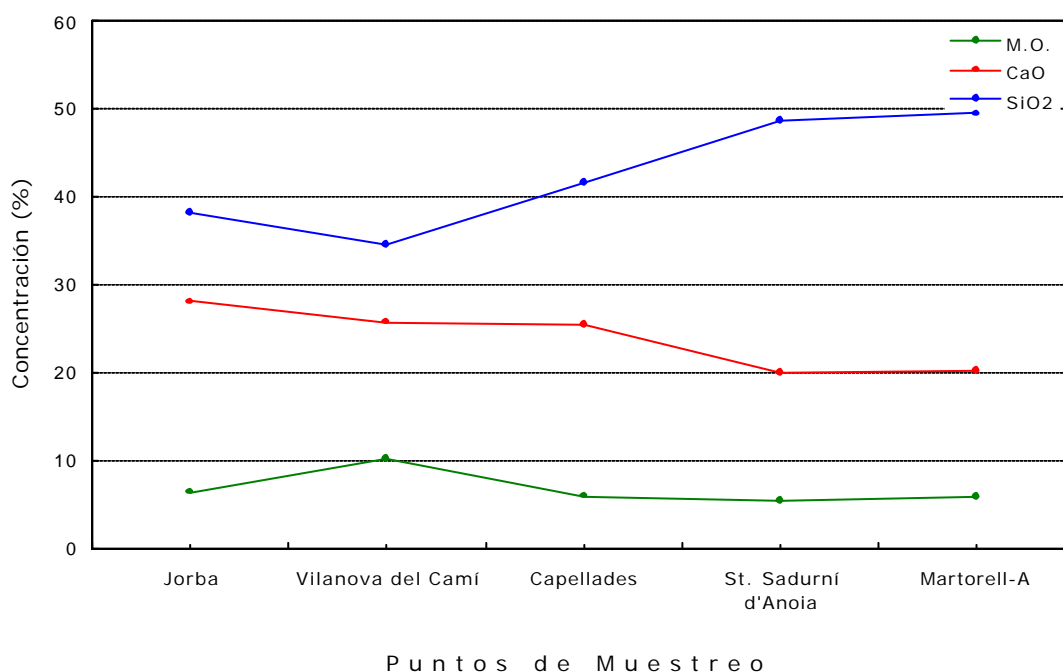
### **Río Llobregat**

Las concentraciones de la materia orgánica para el río Llobregat se muestran en la **figura 35**. En éste río los valores máximos de materia orgánica se observan en Guardiola de Berguedà (7.6%) y Sant Joan Despí (13.6%). En Guardiola de Berguedà podría ser debido a los efluentes de aguas residuales domésticas que vierten directamente al río sin depurar. Mientras que en Sant Joan Despí se atribuye a los efluentes de carácter orgánico de industrias y por otro lado, al efecto colector (apartado 3.2.4). La materia orgánica en los sedimentos de este río está significativamente correlacionada con los elementos Sb, Cu, Cr, Hg y Zn ( $p<0.01$ ) y con el As y el Ni ( $r=0.469$  y  $r=0.423$ ,  $p<0.05$ , respectivamente) pero que no llegan a indicar una dependencia lineal ( $r<0.5$ ). El valor medio es de 7.2% y fluctúa entre 5.7-8.7%, con un nivel de significación de  $p<0.05$ .

### **Río Anoia**

En la **figura 36** se recogen los valores de la materia orgánica para el río Anoia. En la mayoría de los puntos éstos son similares, a excepción de Vilanova del Camí donde se hallan concentraciones superiores al 10%. Esta zona se encuentra ubicada después de Igualada tras sufrir los vertidos industriales, entre ellos, resaltar las industrias del curtido de pieles con importantes cantidades de materia orgánica. Esta materia orgánica también puede venir de la reproducción de algas debida a las condiciones de eutrofización producidas por el exceso de nutrientes principalmente de N y P (Galvez-Cloutier y Dubé, 1998). La materia orgánica en los sedimentos está correlacionada con el Sb, Cr, Hg y el Zn, con coeficientes significativos ( $p < 0.01$ ) y por otro lado, también se correlaciona con el Cd y el Pb ( $r = 0.530$  y  $r = 0.532$ ,  $p < 0.05$  respectivamente). El valor medio es de 6.8% y oscila entre 5.6-7.9% ( $p < 0.05$ ).

Del análisis de la varianza de materia orgánica en los sedimentos se deduce que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los tres ríos.



**Figura 36:** Análisis de carbonatos, silicatos y materia orgánica en los sedimentos del río Anoia

