

ASISTENCIA TÉCNICA EN EL SEGUIMIENTO DE LAS MEDIDAS CORRECTORAS DE LOS IMPACTOS DE LOS GASODUCTOS EN CRUCE CON LOS CURSOS HÍDRICOS.

PLAN DE VIGILANCIA AMBIENTAL

Enero 2002



Elaborado por:

Cimera Estudios Aplicados S.L.
Av. Felicidad 36, Local 2.
28041 Madrid



Para:

Instituto Geológico y Minero de
España
Ríos Rosas 23.
28003 Madrid

INDICE

1	INTRODUCCIÓN.....	1
2	DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS PUNTOS DE MUESTREO	2
3	MÉTODOS	5
3.1	ANÁLISIS QUÍMICOS DEL CONTENIDO EN FÓSFORO TOTAL Y ORTOFOSFATO EN EL AGUA.	5
3.2	REALIZACIÓN DE MEDIDAS DE PROFUNDIDAD-VELOCIDAD DE LA CORRIENTE EN TRANSECTOS TRANSVERSALES. CÁLCULO DE CAUDALES.....	6
3.3	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL SEDIMENTO DEL RÍO.	6
4	RESULTADOS	8
4.1	ANÁLISIS QUÍMICOS DEL CONTENIDO EN FÓSFORO TOTAL Y ORTOFOSFATO EN EL AGUA.	8
4.2	REALIZACIÓN DE TRANSECTOS TRANSVERSALES DE PROFUNDIDAD-VELOCIDAD DE LA CORRIENTE Y CÁLCULO DE CAUDALES.	8
4.3	MEDICIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE LA GRANULOMETRÍA DEL SEDIMENTO.	14
4.4	ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS.	17
5	DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.	19

1 INTRODUCCIÓN

Con el fin de poder realizar el *Plan de Seguimiento de los Efectos de los Cruces de Gasoductos con Ríos Vadeables*, y de acuerdo con el CONVENIO DE COLABORACIÓN ENTRE LA DIRECCIÓN GENERAL DE CALIDAD Y EVALUACIÓN AMBIENTAL Y EL INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA (IGME), el IGME estima la necesidad de disponer de los servicios de CIMERA ESTUDIOS APLICADOS para la realización de la CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA Y GRANULOMÉTRICA DEL RÍO CIGÜELA.

Con fecha de 2 de octubre de 2001, el Director General del IGME aprueba la propuesta de adjudicación "ASISTENCIA TÉCNICA EN EL SEGUIMIENTO DE LAS MEDIDAS CORRECTORAS DE LOS IMPACTOS DE LOS GASODUCTOS EN CRUCE CON LOS CURSOS HÍDRICOS" a CIMERA ESTUDIOS APLICADOS S.L.

El objeto de esta colaboración es la realización de la caracterización hidrológica y granulométrica de un tramo del río Cigüela, con el fin de conocer el efecto de las diferentes etapas de la obra de construcción de un gasoducto (Gasoducto Tarancón-Cuenca-Fuentes) en su cruce con este río.

El ámbito de este trabajo se extiende a un tramo de una longitud aproximada de 500 m en el río Cigüela, a la altura de la localidad de Horcajada de la Torre (Cuenca).

Con los datos obtenidos en las dos campañas de muestreo (5/10/01, PREVAINA; 15/10/01; POSTVAINA) se ha realizado el presente Informe. En sus diferentes apartados se detalla la metodología utilizada en los trabajos de campo y laboratorio.

2 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS PUNTOS DE MUESTREO

La localización de los puntos de muestreo fue coordinada por un equipo del IGME y el equipo de CIMERA ESTUDIOS APLICADOS, definiendo el protocolo de muestreo en cada uno de ellos a lo largo de un gradiente generado por la actividad de la obra (ver Figura 1). Las fechas de muestreo se ajustaron al calendario de las actuaciones realizadas en la obra, en este caso la colocación de la vaina longitudinal.

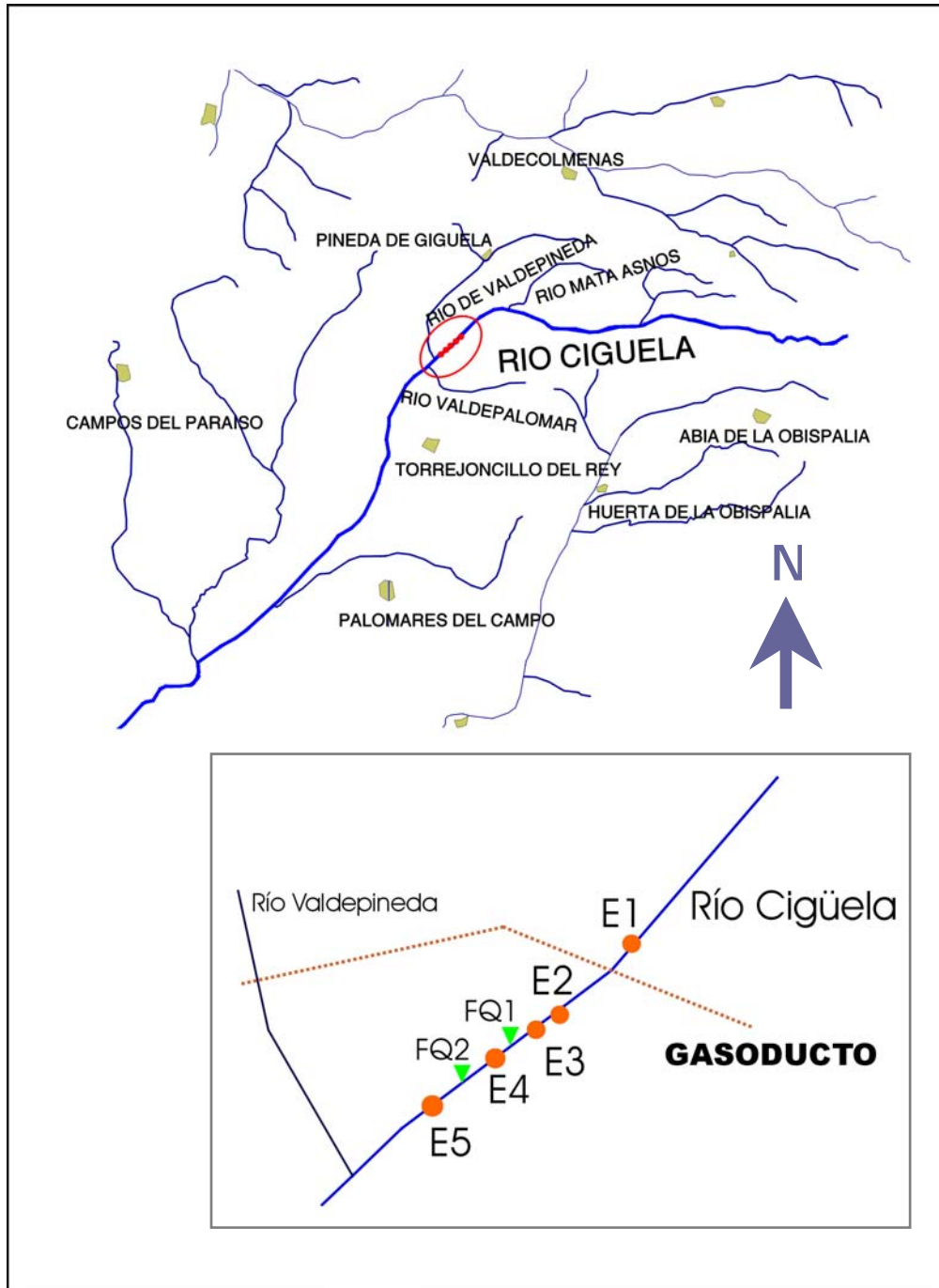


Figura 1.- Localización esquemática de las estaciones de muestreo

E5

UTM: 30T4432653 536703

ANCHURA (m): 4,15 – 4,3

TIPO DE SUBSTRATO: Limos y arcillas.

COBERTURA VEGETAL EN CAUCE: Abierto.

% MATERIA ORGÁNICA: Muy abundante.

INCLUSIÓN DE PIEDRAS, CANTOS, GRAVAS: No procede (substrato de limos y arcillas).

TIPO DE HÁBITAT: Tabla.

OTRAS OBSERVACIONES: Todo el lecho del río tapizado de macrófitos (*Chara* sp.).

E4

UTM: 30T4432752 536829

ANCHURA (m): 3,8 – 4,02

TIPO DE SUBSTRATO: Limos y arcillas.

COBERTURA VEGETAL EN CAUCE: Abierto.

% MATERIA ORGÁNICA: Abundante.

INCLUSIÓN DE PIEDRAS, CANTOS, GRAVAS: Medianamente fijadas por sedimentos finos (> 60 %).

TIPO DE HÁBITAT: Tabla.

OTRAS OBSERVACIONES: Abundantes macrófitos.

E3

UTM: 30T4432913 536920

ANCHURA (m): 2,6 – 2,43

TIPO DE SUBSTRATO: Cantos.

COBERTURA VEGETAL EN CAUCE: Abierto.

% MATERIA ORGÁNICA: Poco abundante.

INCLUSIÓN DE PIEDRAS, CANTOS, GRAVAS: Medianamente fijadas por sedimentos finos (> 60 %).

TIPO DE HÁBITAT: Rápido.

OTRAS OBSERVACIONES: La abundancia de macrófitos en este punto disminuye considerablemente respecto a los puntos anteriores.

E2

UTM: 30T4432940 536956

ANCHURA (m): 2,8 – 1,83

TIPO DE SUBSTRATO: Cantos.

COBERTURA VEGETAL EN CAUCE: Abierto.

% MATERIA ORGÁNICA: Poco abundante.

INCLUSIÓN DE PIEDRAS, CANTOS, GRAVAS: Poco fijadas por sedimentos finos (30-60 %).

TIPO DE HÁBITAT: Rápido.

OTRAS OBSERVACIONES:

E1 (CONTROL)

UTM: 30T4433023 537093

ANCHURA (m): ---

TIPO DE SUBSTRATO: Limos.

COBERTURA VEGETAL EN CAUCE: Cerrado.

% MATERIA ORGÁNICA: Muy abundante.

INCLUSIÓN DE PIEDRAS, CANTOS, GRAVAS: No procede (substrato de limos y arcillas).

TIPO DE HÁBITAT: Tabla.

OTRAS OBSERVACIONES: Todo el cauce del río está invadido por carrizo. El lecho realmente se encuentra formado por las raíces del carrizo

3 MÉTODOS

Los parámetros medidos por parte de la asistencia técnica de CIMERA ESTUDIOS APLICADOS son los siguientes:

3.1 Análisis químicos del contenido en fósforo total y ortofosfato en el agua.

Equipos e instrumental de campo utilizado:

- Envases esterilizados de 100 ml.
- Equipo portátil de filtración SWINNES
- Filtros Watman GF/C
- Nevera portátil

Metodología:

En cada punto de muestreo y fecha indicados, se han tomado 100 ml. de muestra para cada parámetro de estudio.

<i>Analito</i>	<i>Método de muestreo</i>
Fósforo total P_t	Muestra simple tomada en zona de caudal máximo
Fósforo reactivo soluble PRS (ortofosfato)	Muestra filtrada tomada en zona de caudal máximo

<i>Analito</i>	<i>Fósforo total P_t</i>	<i>Fósforo reactivo soluble PRS (ortofosfato)</i>
Método de análisis	PhosVer3 Method *	PHOSVER3 WITH ACID PERSULFATE DIGESTION METHOD**
Rango	0,01 · 1,60 mg/l P	0,06 · 1,10 mg/l P
Precisión	0,01 mg/l PO_4^{3-}	0,06 mg/l PO_4^{3-}
Aplicabilidad	Aguas dulces y saladas	Aguas dulces y saladas

* Método registrado por Hach n° 8048 equivalente al método EPA 365.2 y al Standard Method 4500-P E.

** Método registrado por Hach n° 8190 aceptado por la US EPA para análisis de aguas residuales.

3.2 Realización de medidas de profundidad-velocidad de la corriente en transectos transversales. Cálculo de caudales.

Equipo e instrumental utilizado en campo:

- Cinta métrica.
- Corrientímetro digital FLOW PROBE.

Metodología:

Se realizaron como mínimo 8 medidas de profundidad y velocidad de la corriente en cada transecto, vadeándose el río y tomando la distancia a la orilla con la ayuda de la cinta métrica.

Trabajo de gabinete:

Basándose en la ecuación:

$$\text{CAUDAL } Q = \text{VELOCIDAD} \times \text{SECCIÓN}$$

Se integran las diferentes medidas obtenidas en campo creando subsecciones. El sumatorio de los caudales obtenidos en cada subsección da como resultado el caudal total en l/s para cada transecto.

3.3 Análisis granulométrico del sedimento del río.

Equipo e instrumental utilizado en campo:

- Cilindro toma-muestras de metacrilato de 6 cm de diámetro.
- Duquesas de 500 ml de capacidad

Equipo e instrumental utilizado en laboratorio:

- Tamices calibrados de 50, 250, 500 y 1000 μm
- Estufa de secado universal de rango 40 a 250 $^{\circ}\text{C}$.
- Balanza analítica de cuatro decimales precisión 0,0001 gr.
- Crisoles cerámicos.

Metodología:

Para la extracción del sedimento, el cilindro toma-muestras se clava en el lecho del río extrayendo los 5 primeros cm de sedimento (ver Figura 2). Se deposita la muestra en una duquesa convenientemente identificada. Este procedimiento, se repite 3 veces en cada punto de muestreo, obteniéndose 3 réplicas.

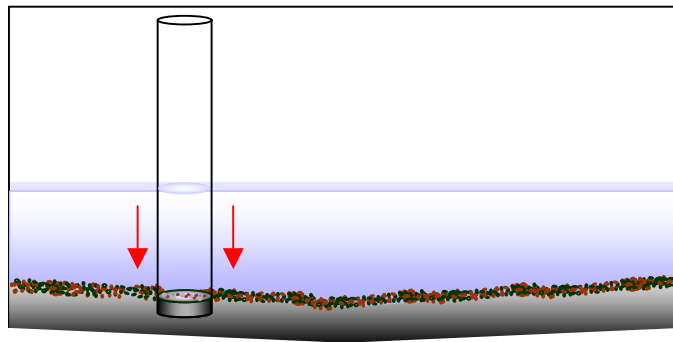


Figura 2. Técnica para la extracción del sedimento.

Las muestras de sedimento se depositan en los tamices y se separan lavándolas abundantemente, en las siguientes fracciones: 1000-500 μm , 500-250 μm , 250-50 μm . A continuación se depositan en crisoles previamente tarados. Se secan en la estufa a 105 $^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas y se pesan en una balanza analítica.

4 RESULTADOS

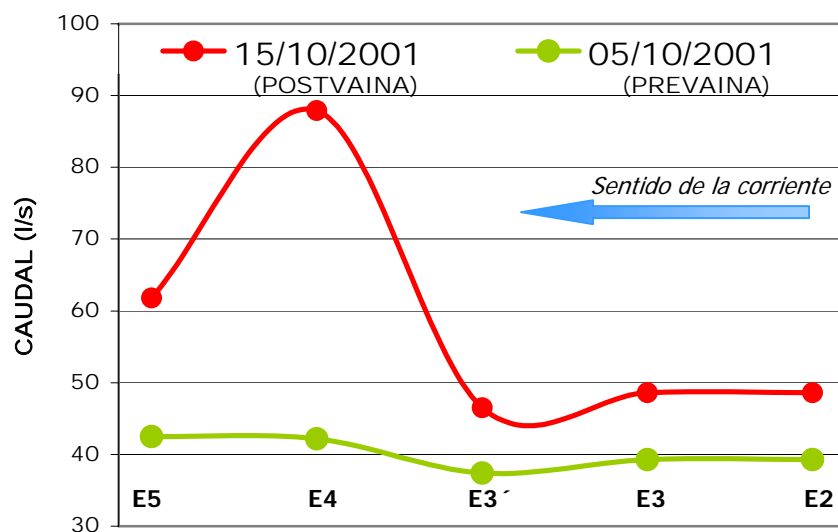
4.1 Análisis químicos del contenido en fósforo total y ortofosfato en el agua.

Muestra	Fecha	Fósforo total Pt (mgP/l)	Fósforo reactivo soluble PRS (ortofosfato) (mgP/l)
FQ1	5/10/2001	0,1	0,07
FQ2	5/10/2001	0,16	0,13
FQ1	15/10/2001	0,06	< 0,06
FQ2	15/10/2001	0,1	< 0,06

4.2 Realización de transectos transversales de profundidad-velocidad de la corriente y cálculo de caudales.

Tabla resumen de caudales (l/s)

PUNTO	5/10/01	15/10/01
E5	42,5	61,8
E4	42,2	87,9
E3'	37,4	46,5
E3	39,3	48,6
E2	33,8	35,1



PUNTO: E5
FECHA: 5/10/01
CAUDAL: 42,5 l/s

	Prof (m)	Velocidad (m/s)	Distancia (m)
T1	0	0	0,7
T2	0,17	0,05	0,4
T3	0,23	0,05	0,4
T4	0,215	0,077	0,1
T5	0,245	0,157	0,1
T6	0,27	0,209	0,1
T7	0,255	0,205	0,2
T8	0,265	0,043	0,2
T9	0,225	0,05	0,6
T10	0,235	0,05	0,6
T11	0,15	0	0,5
T12	0,09	0	0,25
	TOTAL		4,15

PUNTO: E4
FECHA: 5/10/01
CAUDAL: 42,2 l/s

	Prof. (m)	Velocidad (m/s)	Distancia (m)
T1	0	0	0,3
T2	0,295	0	0,4
T3	0,315	0,05	0,3
T4	0,285	0,15	0,2
T5	0,23	0,15	0,2
T6	0,24	0,15	0,3
T7	0,21	0,15	0,2
T8	0,17	0,05	0,3
T9	0,21	0	0,4
T10	0,35	0	0,5
T11	0,215	0	0,7
	TOTAL		3,8

PUNTO: E3 (SITUADO ENTRE E4 Y E3)

FECHA:5/10/01

CAUDAL: 37,4 l/s

	Prof (m)	Velocidad (m/s)	Distancia (m)
T1	0	0	0,2
T2	0,09	0,1	0,3
T3	0,13	0,2	0,4
T4	0,13	0,28	0,1
T5	0,12	0,23	0,3
T6	0,13	0,21	0,2
T7	0,085	0,11	0,2
T8	0,085	0,11	0,3
T9	0,08	0,07	0,2
T10	0,07	0	0,15
	TOTAL		2,35

PUNTO: E3

FECHA:5/10/01

CAUDAL: 39,3 l/s

	Prof (m)	Velocidad (m/s)	Distancia (m)
T1	0	0	0,24
T2	0,08	0	0,16
T3	0,095	0,05	0,1
T4	0,12	0,15	0,1
T5	0,115	0,05	0,2
T6	0,1	0	0,3
T7	0,105	0,05	0,2
T8	0,135	0,24	0,2
T9	0,16	0,4	0,1
T10	0,205	0,4	0,1
T11	0,16	0,43	0,1
T12	0,195	0,2	0,1
T13	0,165	0,01	0,2
T14	0,185	0	0,2
T15	0,12	0	0,3
	TOTAL		2,6

PUNTO: E2
FECHA: 5/10/01
CAUDAL: 33,8 l/s

	Prof (m)	Velocidad (m/s)	Distancia (m)
T1	0	0	0,28
T2	0,04	0	0,1
T3	0,07	0,05	0,2
T4	0,08	0,2	0,2
T5	0,1	0,14	0,2
T6	0,085	0,23	0,2
T7	0,135	0,23	0,2
T8	0,14	0,44	0,1
T9	0,15	0,16	0,2
T10	0,08	0,12	0,1
T11	0,125	0,15	0,2
T12	0,07	0,05	0,2
	TOTAL		2,18

PUNTO: E5
FECHA: 15/10/01
CAUDAL: 61,8 l/s

	Prof (m)	Velocidad (m/s)	Distancia (m)
T1	0	0	0,1
T2	0,07	0	0,2
T3	0,125	0,05	0,3
T4	0,13	0,02	0,3
T5	0,205	0,05	0,3
T6	0,26	0,05	0,3
T7	0,34	0,12	0,3
T8	0,38	0,18	0,3
T9	0,35	0,1	0,3
T10	0,365	0,05	0,3
T11	0,31	0,05	0,3
T12	0,33	0	0,3
T13	0,335	0	0,3
T14	0,25	0	0,3
T15	0,27	0	0,4
	TOTAL		4,3

PUNTO: E4
FECHA:15/10/01
CAUDAL: 87,9 l/s

	Prof (m)	Velocidad (m/s)	Distancia (m)
T1	0	0	0,32
T2	0,245	0	0,5
T3	0,365	0,05	0,3
T4	0,32	0,2	0,2
T5	0,355	0,21	0,2
T6	0,39	0,17	0,2
T7	0,3	0,15	0,2
T8	0,33	0,19	0,2
T9	0,33	0,17	0,2
T10	0,31	0	0,3
T11	0,31	0	0,5
T12	0,23	0	0,4
T13	0,15	0	0,5
	TOTAL		4,02

PUNTO: E3 (SITUADO ENTRE E4 Y E3)
FECHA:15/10/01
CAUDAL: 46,5 l/s

	Prof (m)	Velocidad (m/s)	Distancia (m)
T1	0	0	0,2
T2	0,09	0	0,2
T3	0,125	0	0,2
T4	0,17	0	0,1
T5	0,16	0,1	0,2
T6	0,165	0,35	0,1
T7	0,185	0,4	0,1
T8	0,2	0,43	0,1
T9	0,2	0,34	0,1
T10	0,205	0,3	0,1
T11	0,14	0,28	0,1
T12	0,11	0,1	0,2
T13	0,09	0,05	0,3
T14	0,11	0	0,2
T15	0,08	0	0,3
	TOTAL		2,5

PUNTO: E3
FECHA:15/10/01
CAUDAL: 48,6 l/s

	Prof (m)	Velocidad (m/s)	Distancia (m)
T1	0	0	0,16
T2	0,07	0,05	0,2
T3	0,105	0,15	0,2
T4	0,145	0,24	0,2
T5	0,12	0,24	0,2
T6	0,17	0,38	0,2
T7	0,11	0,22	0,2
T8	0,1	0,31	0,2
T9	0,08	0,23	0,2
T10	0,08	0,15	0,2
T11	0,09	0,19	0,2
T12	0,04	0,05	0,27
	TOTAL		2,43

PUNTO: E2
FECHA:15/10/01
CAUDAL: 35,1 l/s

	Prof (m)	Velocidad (m/s)	Distancia (m)
T1	0	0	0,13
T2	0,08	0,11	0,2
T3	0,125	0,19	0,2
T4	0,155	0,23	0,2
T5	0,11	0,23	0,2
T6	0,095	0,21	0,1
T7	0,09	0,2	0,1
T8	0,09	0,15	0,1
T9	0,095	0,24	0,1
T10	0,095	0,22	0,2
T11	0,135	0,16	0,1
T12	0,1	0,23	0,2
	TOTAL		1,83

PUNTO: E1 (CONTROL)
FECHA:15/10/01
PROFUNDIDAD: 0,17 m. **VELOCIDAD:** 0,13 m/s

4.3 Medición y Cuantificación de la granulometría del sedimento.

Se presentan aquí los resultados de los análisis granulométricos del sedimento en cada punto de muestreo. Se diferencian las dos fases en las que se realizaron los muestreos:

- FASE 1: PREVAINA (5/10/01)
- FASE 2: POSTVAINA (15/10/01)

En la siguiente tabla se presentan los datos obtenidos en la **fase 1**, expresados en gr/cm² (3 réplicas para cada punto):

Muestra	Fracción 50-250 μm	Fracción 250-500 μm	Fracción 500-1000 μm
E5.1	0,47	0,11	0,06
E5.2	0,39	0,15	0,04
E5.3	0,32	0,21	0,05
E4.1	0,57	0,36	0,21
E4.2	0,52	0,37	0,21
E4.3	0,93	0,71	0,49
E3.1	0,06	0,03	0,30
E3.2	0,12	0,06	0,27
E3.3	0,17	0,22	0,60
E2.1	0,37	0,23	0,38
E2.2	1,23	0,49	0,43
E2.3	0,46	0,27	0,35
E1.1	0,25	0,02	0,01
E1.2	0,22	0,15	0,02
E1.3	0,23	0,08	0,02

En la siguiente tabla se presentan los datos obtenidos en la **fase 2**, expresados en gr/cm^2 (3 réplicas para cada punto):

	Fracción 50-250 μm	Fracción 250-500 μm	Fracción 500-1000 μm
E5.1	1,23	0,22	0,09
E5.2	0,68	0,31	0,35
E5.3	0,48	0,10	0,09
E4.1	0,42	0,42	0,23
E4.2	0,16	0,07	0,08
E4.3	0,59	0,51	0,43
E3.1	0,57	0,25	0,42
E3.2	0,11	0,13	0,27
E3.3	0,15	0,16	0,37
E2.1	0,33	0,50	0,71
E2.2	1,17	0,84	0,34
E2.3	0,39	0,42	0,48
E1.1	0,59	0	0,04
E1.2	0,60	0,03	0,04
E1.3	0,38	0,08	0,06

Estos mismos resultados se presentan de forma gráfica en la página siguiente (figura 3).

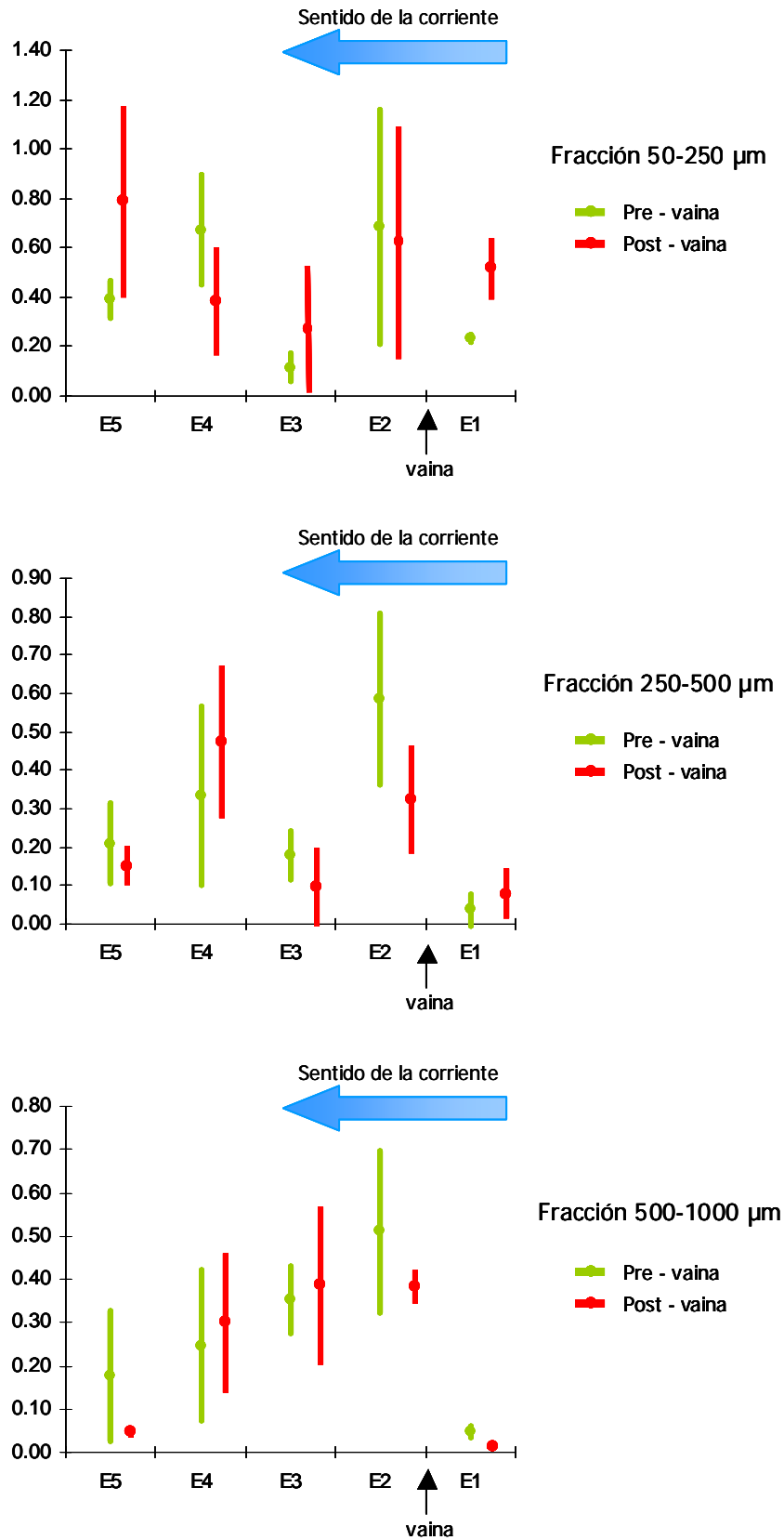


Figura 3. Evolución de las distintas fracciones granulométricas del sedimento antes y después de la instalación de la vaina. Las barras indican la media y la desviación estándar (n=3). Eje "y" en gr/cm².

4.4 Análisis estadístico de los resultados.

Se presenta en la siguiente tabla los resultados obtenidos en el análisis estadístico (comparación de medias mediante la prueba t) de la variación de la cantidad de las diferentes fracciones granulométricas del sedimento en función de la ejecución de la obra (colocación de la vaina).

PUNTOS y FRACCIONES		t CALCULADO	CV (%) Prevaina	CV (%) Postvaina
E5	50 – 250 μm	- 0,689	19,08	48,75
	250 - 500 μm	- 0,270	32,13	50,17
	500 – 1000 μm	- 1,066	20	84,97
E4	50 – 250 μm	0,388	33,22	55,53
	250 - 500 μm	0,271	41,51	69,74
	500 – 1000 μm	0,157	53,29	71,19
E3	50 – 250 μm	- 0,749	47,21	92,10
	250 - 500 μm	- 0,472	98,85	34,69
	500 – 1000 μm	0,081	46,79	21,62
E2	50 – 250 μm	0,065	68,84	74,38
	250 - 500 μm	- 0,552	42,42	38,01
	500 – 1000 μm	-0,262	10,45	36,63
E1	50 – 250 μm	- 0,818	6,55	23,74
	250 - 500 μm	0,458	78,08	110,22
	500 – 1000 μm	- 1,019	34,64	24,74

- CV: Coeficiente de variación.
- $t_{0,05(2),4} = 2,776$
- H_0 se rechaza si el COCIENTE es mayor que t crítico.

$$H_0 = \bar{X}_1 = \bar{X}_2$$

$$H_1 = \bar{X}_1 \neq \bar{X}_2$$

Se comparan de este modo los valores obtenidos en la fase 1 (PREVAINA) con los obtenidos en la fase 2 (POSTVAINA). Este análisis todos los casos existen diferencias significativas (nivel de significación 95 %) entre las muestras tomadas antes de la colocación de la vaina y las tomadas posteriormente.

La elección de llevar a cabo la comparación de las muestras mediante este estadístico, ha sido llevada a cabo porque resulta ser bastante robusto a las violaciones de los supuestos estadísticos que requiere (normalidad de los datos y homocedasticidad de los mismos). En los ANEJOS de este documento se presenta más información sobre el test utilizado.

5 DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.

En este punto se desarrollan brevemente algunas de las observaciones obtenidas en este primer trabajo de aproximación al impacto de la construcción de gasoductos en el cruce con ríos vadeables. En particular se pretende con ello destacar algunas observaciones realizadas en la medición de la granulometría del sedimento y en el análisis de los datos obtenidos:

- La puesta a punto de una metodología eficaz y económica, tanto en tiempo invertido en campo como en el laboratorio y en el coste del material utilizado, es fundamental para el diseño de directrices y protocolos a la hora de tomar medidas de vigilancia ambiental en este tipo de obras.
- La medición de las distintas fracciones granulométricas del sedimento antes y después de cualquier tipo de obra en un río o arroyo permite evaluar el arrastre y la deposición del sedimento del lecho removido como consecuencia de las actuaciones llevadas a cabo.
- La sedimentación de sólidos en el lecho de ríos y arroyos afecta de manera diferente a los distintos componentes de su biota. Hay organismos más resistentes normalmente debido a su capacidad de movimiento (peces) y otros afectados de forma negativa o positiva (macroinvertebrados).
- Con esta metodología es posible medir este hecho en los sedimentos transportados en suspensión o por deslizamiento/saltación (*carga de fondo*). La sedimentación de materiales que forman esta *carga de fondo* es más lento que los transportados en suspensión. Se requiere por tanto un diseño experimental en sucesivas fases después del impacto para comprobar la importancia de este tipo de transporte.
- Es fundamental la caracterización del tramo del río a evaluar antes de llevar a cabo los trabajos de campo. Al menos se debería diferenciar tramos erosionales ("rápidos") de los deposicionales ("pozas") al iniciar el diseño experimental.
- De la misma forma, habrá que evaluar las fracciones de la granulometría del sedimento que se deben analizar dependiendo del tipo original de sedimento que tenga el río o arroyo.

- El análisis estadístico (comparación de medias mediante la prueba t) de la variación de la cantidad de las distintas fracciones de sedimento en función de la ejecución de la obra (vaina), muestra que en todos los casos existen diferencias significativas (nivel de significación 95 %) entre las muestras tomadas antes de la colocación de la vaina y las tomadas posteriormente.
- La elección de llevar a cabo la comparación de las muestras mediante este estadístico, ha sido llevada a cabo porque resulta ser bastante robusto a las violaciones de los supuestos estadísticos que requiere (normalidad de los datos y homocedasticidad de los mismos). Hay que tener en cuenta que la microtopografía del cauce influye notablemente en la granulometría que existe en el lecho del río, y por lo tanto que exista una variabilidad grande entre las réplicas de las muestras tomadas, como se puede ver en los altos coeficientes de variación (Tabla de resultados de los análisis estadísticos; pag.17).
- No obstante, la robustez del análisis y la fuerte tendencia mostrada por los resultados derivados del mismo, hace que esta técnica sea efectiva para mostrar los efectos derivados por la construcción de infraestructuras lineales transversales a los cauces fluviales. Sin embargo cabe apreciar que la precisión de esta metodología mejoraría incrementando el número de réplicas por punto de muestreo, intentando que éstas sean tomadas aleatoriamente en lugares homogéneamente parecidos.

ANEJOS

Testando las diferencias entre medias de dos poblaciones

(Zar, J.H. (1996) **Biostatistical analysis**. 2nd edition, Prentice – Hall, New jersey, USA, 662 pp. + Appendix.)

Para comparar las medias de dos poblaciones se usa el test de t . Es un test bastante robusto a las violaciones de sus asunciones:

- Requiere independencia de las muestras (que las muestras sean tomadas aleatoriamente), un número elevado de muestras ($n > 30$), normalidad de los datos e igualdad de las varianzas de las dos poblaciones.
- Si lo que queremos comprobar es si existen diferencias entre las medias, entonces tendremos que elegir una hipótesis nula incluida en nivel de significación de dos colas.

Se parte de la hipótesis nula que sostiene que las dos medias a comparar son iguales:

$$H_0 = \bar{X}_1 = \bar{X}_2$$

$$H_1 = \bar{X}_1 \neq \bar{X}_2$$

Si de antemano se sabe en qué sentido pueden existir diferencias entonces se usaría una hipótesis determinada por una cola.

$$H_0 = \bar{X}_1 = \bar{X}_2$$

$$H_1 = \bar{X}_1 \geq \bar{X}_2$$

Una vez elegida la hipótesis nula se calcula el estadístico de t y se compara con el t crítico medido en las tablas estadísticas.

En el caso de la hipótesis de las dos colas:

$$H_0 = \bar{X}_1 = \bar{X}_2$$

$$H_1 = \bar{X}_1 \neq \bar{X}_2$$

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{S_{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}}$$

donde $S_{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}$ es el error estándar de la diferencia de las medias, o:

$$S_{\bar{X}_1 - \bar{X}_2} = \sqrt{\frac{S_p^2}{n_1} + \frac{S_p^2}{n_2}} = \sqrt{\frac{2S_p^2}{n}}$$

y donde S_p es la varianza global de la población (recordad que tienen que ser iguales), y para una muestra se puede calcular como la suma de cuadrados dividida entre los grados de libertad ($\nu = n - 1$):

$$S_p^2 = \frac{SS_1 + SS_2}{\nu_1 + \nu_2},$$

$$\text{siendo } SS = \sum (x_i - \bar{x})^2 = \sum x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{n}$$

El t crítico se ha de mirar en las tablas, para 2 colas toma la forma:

$$t_{\alpha(2),(\nu_1 + \nu_2)}, \text{ siendo los grados de libertad: } \nu = n_1 + n_2 - 2$$

H_0 se rechaza si $|t| \geq t_{\alpha(2),\nu}$