

## ANÁLISIS DEL TRATAMIENTO DE LODOS EN LA ETAP “RIO IREGUA” DE LOGROÑO

Rafael Álvarez

*Sección de Proyectos y Obras. Ayuntamiento de Logroño*

Marina Corral

Eliseo Pablo Vergara

*Universidad de La Rioja*

### **Abstract**

In a Drinking Water Plant the first step in purifying water is remove the suspended solids and other organic or inorganic compounds (silts, clays and very fine particles). The separation is based on settling processes encouraged by coagulation and sand filtration.

The product generated in the process is sent to sludge line. In this line, the sludge is flocculated, decanted and thickened. The water obtained is recirculated to first-stage treatment and the concentrated sludge is dehydrated for later use.

The sludge contains a large amount of flocculants so it seems that with sludge recirculation would be possible to reduce the dosages of the chemical polymer streamlining the process of dehydration.

This study shows the inefficiency of the sludge recirculation, and proposes sludge removing for future designs and sludge lines projects.

**Keywords:** *Drinking water plant; sludge line; recirculation*

### **Resumen**

En la producción de agua para el consumo humano el agua se potabiliza a partir de la separación de los sólidos en suspensión y otros componentes orgánicos e inorgánicos, como los limos, arcillas y demás partículas finas. La separación se fundamenta en los procesos de decantación animados por medio de coagulantes químicos y filtración a través de lechos de arena.

El subproducto generado por el proceso de potabilización se envía a la línea de línea de lodos. En esta línea, el lodo se floccula, decanta y espesa obteniendo de nuevo un agua apta para recircular a la cabecera de la ETAP y un lodo concentrado que se somete a deshidratación para posteriores usos.

El lodo contiene una cantidad de floculante elevada de tal forma que a priori parece evidente que recirculándolo sería posible reducir las dosificaciones del producto químico polimérico haciendo más eficiente el proceso de deshidratación.

Este trabajo demuestra la ineficiencia del proceso de recirculación y se propone para los futuros diseños y proyectos de líneas de lodos la supresión de la recirculación de los lodos por el nulo rendimiento en deshidratación o mejora en la clarificación.

**Palabras clave:** *ETAP; línea de lodos; recirculación*

## 1. Introducción

En el tratamiento del agua destinada al consumo humano coexisten sustancias en suspensión y algunas otras disueltas, además de los residuos de los coagulantes y otros reactivos químicos empleados en el proceso de potabilización. Tras el tratamiento del agua y de forma genérica en todas las estaciones de tratamiento de agua potable (ETAP) queda un residuo compuesto por los siguientes componentes:

- Arcilla, limo y arena de reducida granulometría.
- Residuos de la coagulación y/o floculación generados principalmente en el proceso de decantación y filtrado.
- Residuos de posibles procesos de ablandamiento y desinfección.
- Residuos de la eliminación de hierro, manganeso y del empleo de permanganato potásico.
- Residuos de carbón activo (sí se emplea carbón en polvo en el proceso de potabilización).

La variedad o diferentes características de los fangos depende esencialmente de la calidad del agua bruta y del tratamiento aplicado.

Los lodos retenidos en los decantadores de la ETAP están formados principalmente por los óxidos hidratados de aluminio, o de hierro, junto con materias de naturaleza orgánica e inorgánica, arrastradas por el agua, siendo en la mayoría de los casos estables y no putrescibles. Estos lodos primarios se extraen periódica e intermitentemente del fondo de los decantadores mediante diversos mecanismos y técnicas según sea el tipo de decantación adoptada (succión por sifón, vacío, electrobombeo, barrido de fondo, entre otros).

La mayor parte de las materias arrastradas por las aguas superficiales son inorgánicas, tales como arcillas, arenas finas y limos.

En cuanto a los residuos procedentes del lavado de filtros, son similares a los anteriormente descritos, con la fundamental diferencia de su baja concentración, por ello se les pueden denominar lodos secundarios.

Si bien, como los filtros pueden favorecer el desarrollo biológico, el agua de lavado puede contener mayor cantidad de materia orgánica, que la procedente de las purgas de decantadores. Es una práctica muy corriente, que el agua de lavado de filtros se recicle o recupere, enviándola a cabecera de tratamiento, o bien se evacue hacia el desagüe general, y de aquí a las corrientes naturales de aguas más cercanas, pero también se puede enviar a una planta aneja, donde se concentren los sólidos y junto con los procedentes de las purgas de decantadores, se sometan a un tratamiento específico, para extracción final del residuo sólido, con un determinado grado de humedad, caso típico en las líneas de aguas consuntivas o de lodos.

Hasta hace muy pocos años en las ETAP sólo interesaba la gestión de la producción de agua para el consumo humano, no prestando mucha atención a los lodos que se producían ni a las aguas que los conducían, tanto en los decantadores como en el lavado de los filtros, considerando que en definitiva, estos lodos estaban formados por las sustancias, que ya llevaban las aguas naturales o aguas brutas, generalmente inorgánicas, como arcillas, arenas finas o limos y cuyas afecciones ambientales no estaban reguladas legal ni técnicamente.

Pero hoy en día sabemos que las aguas naturales se han ido degradando por diversas circunstancias y a la vez hay una mayor concienciación y presión medioambiental y legislativa, provocando que los gestores de los abastecimientos construyan plantas de

tratamiento para estos lodos, al objeto de extraer la materia sólida y obtener unos efluentes sin lodos. Estos efluentes se pueden verter al dominio público hidráulico, se pueden reciclar, reenviando el agua a cabecera del tratamiento de la ETAP, o bien usar el agua para riego de los parques y jardines de la ciudad.

## 2. Proceso y problemática

Las plantas de tratamiento de fangos del agua potable o línea de aguas consuntivas, en adelante LAC, no son excesivamente complejas en su proceso.

En síntesis y de forma general, en una primera fase el agua consuntiva se almacena en una tanque de homogeneización, balsa de laminación o simplemente estanque, para permitir el funcionamiento de los restantes equipos de forma continuada, a caudal de agua consuntiva controlado. Posteriormente, el agua pasa al floculador-espesador y vertido de agua consuntiva clarificada. El espesador se encarga de concentrar los lodos y por medio un sistema de electrobombas o bien por gravedad se envían éstos fangos concentrados hasta los equipos de deshidratación, donde el lodo se deseca mediante diferentes técnicas. Estas técnicas son similares a las ya probadas en las estaciones de tratamiento de aguas residuales (EDAR), entre otras, centrifugas, filtros prensa, filtros banda o eras de secado.

Las razones por las que la LAC o la línea de fangos de la ETAP de Logroño se construye se basan en principios ambientales, económicos y a requerimiento del órgano administrativo de la cuenca hidrográfica.

De los datos de caudal integrado tomados en la ETAP de Logroño durante los años 1997 a 2001 y a partir de sistema de toma de datos ininterrumpido<sup>1</sup> se obtiene la siguiente cuantificación:

**Tabla 1: Datos de entrada y salida de agua de la ETAP de Logroño**

Año	Agua bruta m <sup>3</sup>	Agua potabilizada m <sup>3</sup>	Agua consuntiva m <sup>3</sup>	Agua purgada en decantadores m <sup>3</sup>	Agua lavado de filtros m <sup>3</sup>
1997	16.217.190	14.246.520	1.970.670	1.313.885	656.785
1998	17.648.490	15.618.480	2.030.010	1.235.028	794.982
1999	18.096.490	15.772.830	2.323.660	1.716.843	606.817
2000	18.086.810	15.873.470	2.213.340	1.544.631	668.709
2001	20.432.830	18.212.908	2.219.922	1.427.608	792.314
<b>TOTAL</b>	<b>90.481.810</b>	<b>79.724.208</b>	<b>10.757.602</b>	<b>7.237.995</b>	<b>3.519.607</b>

De la tabla se deduce que en los 4 años el volumen de agua que entró en la ETAP fue 90,48 Hm<sup>3</sup> de los que 10,76 Hm<sup>3</sup> se vertieron o evacuaron a la acequia existente en los alrededores de la ETAP río Iregua y que posteriormente acabaron en el pantano de La Grajera con fines

<sup>1</sup> Software para el control y adquisición de datos de la firma OMRON.

agropecuarios. La diferencia, es decir, 79,72 Hm<sup>3</sup> de agua potable salieron de la ETAP de Logroño con destino a la ciudad y los municipios del periurbano (Lardero, Villamediana y Alberite), para el consumo humano, la industria y usos públicos diversos (instituciones, baldeos y limpiezas de calles y riegos de parques públicos entre otros).

Otra conclusión que puede obtenerse de la tabla es que el volumen de agua consuntiva necesaria para clarificar y lavar los filtros ascendió en el mencionado periodo a 10,76 Hm<sup>3</sup>. De los que 7,24 Hm<sup>3</sup> de agua pertenecen al proceso de tratamiento en la fase de decantación para extraer lodos precipitados y el resto, 3,50 Hm<sup>3</sup> se usaron para el lavado de los filtros e igualmente acabaron las aguas en el pantano de La Grajera y red de acequias en los aledaños de las instalaciones.

La estadística planteaba un uso ambientalmente corregible con la implantación de una sencilla recirculación a cabecera de la ETAP de forma que el canon de concesión por captación de aguas en el río Iregua se vería mermado con la igualmente reducción de costes en la explotación de la ETAP.

### 2.1 La línea de agua del proceso de lodos

La LAC de Logroño consta de un almacenamiento de aguas para la regulación de caudal en tratamiento, un decantador que clarifica el fango y de una serie de electrobombes que envían el agua tratada a cabecera de la ETAP o bien se trasvasa a una conducción para el riego de los parques y jardines de la ciudad.

Para conseguir la máxima eficiencia parte de los fangos espesados se recirculan por medio de dos electrobombas de tomillo excéntrico y caudal variable manualmente.

Este trabajo demuestra que el resultado de aumento de la eficiencia por la recirculación de fangos es nula.

### 2.2 La línea de lodos

Los equipos de proceso en esta línea son el espesador, la deshidratación, la recirculación de los lodos, el transporte del lodo por electrobombeo y la tolva de almacenamiento.

La línea de lodos o fangos de la LAC tiene por objeto extraer y secar los lodos generados en decantación y filtración para reducir los costes de transporte a vertedero controlado y evitar la ocupación de volúmenes extraordinarios que dificultan el almacenamiento en la ETAP aún de forma temporal.

Durante los meses de julio a diciembre, ambos incluidos, del año 2002 se han realizado el control de masas en la línea de fangos de la LAC obteniendo los siguientes datos:

**Tabla 2: Balance de masas en la LAC para el año 2002**

Agua bruta	Agua purgada en decantadores	Agua lavado de filtros	Volumen de lodos deshidratados	Volumen de agua restituida	Volumen de agua en deshidratación
m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
11.093.750	858.572	393.860	1.042	1.246.175	5.215

**Figura 1: Tanque de homogeneización en la ETAP de Logroño**



**Figura 2: Centrifugadoras para la deshidratación de los fangos**



Del volumen de lodos generados se obtienen las siguientes consideraciones. En primer lugar se trata de datos tomados en la puesta en marcha de la instalación, es evidente que la experiencia y pericia proporcionarán sensibles mejoras en el rendimiento general de deshidratación. En segundo lugar, durante el periodo de limpieza de decantadores la línea de fangos quedó fuera de servicio, lo que significa que en el periodo de funcionamiento, julio-diciembre 2002, 12 días permaneció en parada total. Por último, los domingos del mencionado periodo no han sido hábiles.

De los datos se concluye que el rendimiento en recuperación de aguas para su puesta al servicio del abastecimiento de consumo humano o para el riego en jardines de la ciudad ha sido próximo al 100%. Asimismo, el estado de sequedad de los lodos supera el 20% de acuerdo al diseño de la LAC proyectado.

### **3. Datos del proceso**

Uno de los objetivos del presente estudio es la demostración de la influencia de la recirculación de lodos en el espesador con relación a cualquiera de las restantes variables físico – químicas adoptadas.

En principio podríamos pensar que por tratarse de un lodo enriquecido en polímeros aniónicos a través de la recirculación mejoraríamos la sequedad del fango, la clarificación de las aguas tratadas o la reducción del consumo de polielectrolito en deshidratación o en la floculación a la entrada de decantación o por que no, la reducción del aluminio en aguas drenadas a las centrífugas o en el efluente de la LAC. Evidentemente, la recirculación cobraría una importancia crucial debido a la reducción de costes en la explotación de la LAC. De un lado tendríamos que dosificar menor cantidad de polielectrolito aniónico en floculación y también menor cantidad de polielectrolito catiónico en deshidratación. Por otro lado, las aguas de drenaje las podríamos enviar a cabecera para su reutilización en la ETAP por su reducida concentración en aluminio.

Por lo tanto, el presente trabajo determina, por medio del estudio estadístico multivariante de las variables fisicoquímicas del proceso, la influencia de la recirculación en el proceso de fangos inertes.

Para ello además de tomar las variables físico químicas se ha trazado un plan de toma de datos con una consigna semanal de recirculación y para periodos de 5 a 7 días laborales en la LAC. Los diferentes porcentajes de recirculación de los lodos espesados y recirculados o enviados de nuevo al decantador se indican en la tabla adjunta. El valor porcentual de recirculación se entiende como el caudal de lodos en tanto por ciento que se reenvían al decantador sobre el total de fangos que se envían a las dos centrífugas existentes en deshidratación de lodos.

Además, de cada hora se recirculan una serie de minutos que se indican asimismo en la tabla siguiente.

**Tabla 3: Planificación y criterio en recirculación de la toma de datos en la LAC.**

<i>Consigna</i>	<i>Periodo de prueba</i>	<i>Tiempo de recirculación</i> <i>% Recirculación</i>	<i>Consigna</i>	<i>Periodo de prueba</i>	<i>Tiempo de recirculación</i> <i>% Recirculación</i>
1	17/10 a 19/10/2005	5 - s/60	19	02/05 a 12/05/2006	25 - s/60
	25/10 a 28/10/2005	5		05/02 a 06/02/2007	5
	31/10 /2005	5 - s/60		15/05 a 19/05/2006	25 - s/60
2	15/03 a 19/03/2007	10	20	07/02 a 09/02/2007	10
	07/11/2005	5 - s/60		22/05 a 26/05/2006	25 - s/60
3	14/11 a 18/11/2005	15	21	12/02 a 13/02/2007	15
	21/11 a 30/11/2005	5 - s/60		29/05 a 02/06/2006	25 - s/60
4	01/12 a 09/12/2005	20	22	15/02 a 23/02/2007	20
	12/12 a 16/11/2005	10 - s/60		08/06/2006	5 - s/60
5	21/11 a 22/11/2006	5	23	26/02 a 02/03/2007	7
	19/12 a 20/12/2005	10 - s/60		13/06 a 16/06/2006	5 - s/60
6	27/11 a 29/11/2006	10	24	06/03/2007	12
	03/01 a 13/01/2006	10 - s/60		21/06 a 26/06/2006	5 - s/60
7	01/12/2006	15	25	08/03/2007	17
	16/01 a 20/01/2006	10 - s/60		27/06 a 30/06/2006	5 - s/60
8	04/12 a 05/12/2006	20	26	03/07/2006	22
	23/01 a 03/02/2006	10 - s/60		04/07 a 07/07/2006	15 - s/60
9	04/01 a 12/01/2007	25	27	02/04 a 09/04/2007	7
	07/02 a 13/02/2006	15 - s/60		10/07 a 28/07/2006	15 - s/60
10	21 a 24/02/2006	15 - s/60	28	02/08 a 10/08/2006	12
	7/12 a 12/12/2006	10		16/08 a 18/08/2006	15 - s/60
11	06/03 a 10/03/2006	15 - s/60	29	10/04 a 13/04/2007	17
	14/03 a 15/03/2006	15 - s/60		22/08 a 31/08/2006	15 - s/60
12	14/12 a 18/12/2006	20	30	21/11 a 22/11/2006	22
	23/03 a 27/03/2006	20 - s/60		18/04/2007	25 - s/60
13	28/03 a 31/03/2006	20 - s/60	31	25/04/2007	12
	23/01 a 24/01/2007	10		29/05/2007	25 - s/60
14	03/04 a 07/04/2006	20 - s/60	32	14/06/2007	22
	25/01/2007	15		15/06/2007	35 - s/60
15	11/04 a 18/04/2006	20 - s/60	33	22/06/2007	12
	30/01 a 02/02/2007	20		02/07/2007	25 - s/60
16	19/04 a 28/04/2006	20 - s/60	34	06/07/2007	27
	15/01 a 22/01/2007	25		16/07/2007	10 - s/60
17			35	20/07/2007	40

Con este criterio de fijación del porcentaje en recirculación y del tiempo de cada hora en la que se realiza la misma, se han tomado los valores de las diferentes variables físico-químicas y durante los años 2005 a 2007 ambos inclusive y para recirculaciones de 5, 10, 15, 17, 20, 22, 25, 27 y 40% realizando un barrido absoluto de posibilidades fundada por la experiencia en este tipos de tratamientos de lodos.

**Tabla 4: Declaración de variables de la LAC objeto del trabajo**

Fase del proceso	Nombre de la variable	Código de la variable	Rango	Ud de medida
Entrada de agua bruta	Agua bruta	Vol_B	400 – 5.000	m3/día
	Turbidez	NTU_B	20 – 4.600	NTU
	Floculación	FLOC_B	5 – 25	Ppm
	Aluminio	AL_B	2.000 – 12.000	Ppb
	Sólidos sedimentables	SS_B	10 – 1000	Ppm
Tratamiento de lodos	Turbidez centrifugada	agua NTU_C	0,25 – 2,00	NTU
	Aluminio centrifugada	agua AL_C	200 – 20.000	Ppb
	Sequedad lodo	SeqF	10 – 25	%
	Agua centrifugada	VolSC	1 – 250	m3
	Recirculación	Recir	5 – 120	%
Salida de agua tratada	Turbidez salida	NTUSC	6,00 – 900,00	NTU
	Aluminio salida	ALSC	10 – 200	Ppb
Deshidratación de lodos	Caudal de poli rotámetro	Qrpolicentr	400 - 1000	l/h
	Caudal de fango	Qfango	0,5 – 1,5	l/s
	Concentración de poli	Cpoli	2,0 – 2,4	g/l
	Dosis de poli	Dpolicentrif	0,200 – 0,600	g/l



Las diferentes variables físicas y químicas adoptadas para el presente trabajo se han tomado por dos mecanismos diferenciados.

En primer lugar, a través de instrumentación electrónica de campo y con funcionamiento en continuo enviando la información a través de un protocolo de comunicaciones estándar para los autómatas programables de la LAC.

Asimismo, las mismas variables se han contrastado y corregido manualmente a través de equipos de medida en laboratorio normalizado de la LAC.

Los diferentes equipos para la medición de las variables comunes en el proceso de tratamiento de las aguas consuntivas son explicados a continuación.

### **3.1 Volumen de agua y lodo**

Para la medición del caudal y volúmenes de agua y lodo se cuenta en la instalación con caudalímetros electromagnéticos de la firma Endress + Hauser.

### **3.2 Sólidos en suspensión**

Para la medición de los sólidos en suspensión se usa un cono aforado Imhoff.

### **3.3 Turbidez**

La medición de la turbidez se realiza en laboratorio. Para ello se emplea un turbidímetro de la marca Hach. El método se basa en la comparación de la intensidad de luz dispersada por la muestra en condiciones definidas y la dispersada por una solución de referencia (formacina) en idénticas condiciones. Cuanto mayor es la intensidad de la luz dispersada, mayor es la turbidez.

### **3.4 Dosificación de floculante**

La dosificación de floculante se realiza por medio de electrobombas dosificadoras y el control del caudal dosificado se realiza en la nave de máquinas donde se encuentran los rotámetros.

### **3.5 Aluminio**

En la determinación de la concentración de aluminio en miligramos por litro se usan los equipos y materiales siguientes: Espectrofotómetro de Absorción Molecular Hitachi U-2000 cubetas de cuarzo, balanza analítica, matraces aforados de vidrio, pipetas de doble aforo, agitadores magnéticos, vasos de precipitados y una probeta.

### **3.6 Sequedad del fango**

Para la determinación de la sequedad del lodo una vez deshidratado se cuenta en el laboratorio con los siguientes materiales. Una balanza analítica, un desecador provisto de un desecante calorimétrico y una estufa de desecación a 103 – 110°C, 3 cápsulas de porcelana.

## **4. Resultados y conclusiones**

La técnica matemática e informática utilizada para el análisis de las 12 variables que describen el comportamiento de la LAC se lleva a cabo por medio de un análisis estadístico multivariante canónico discriminante y cuyo soporte de cálculo se desarrolla a través de la herramienta informática "R Project".

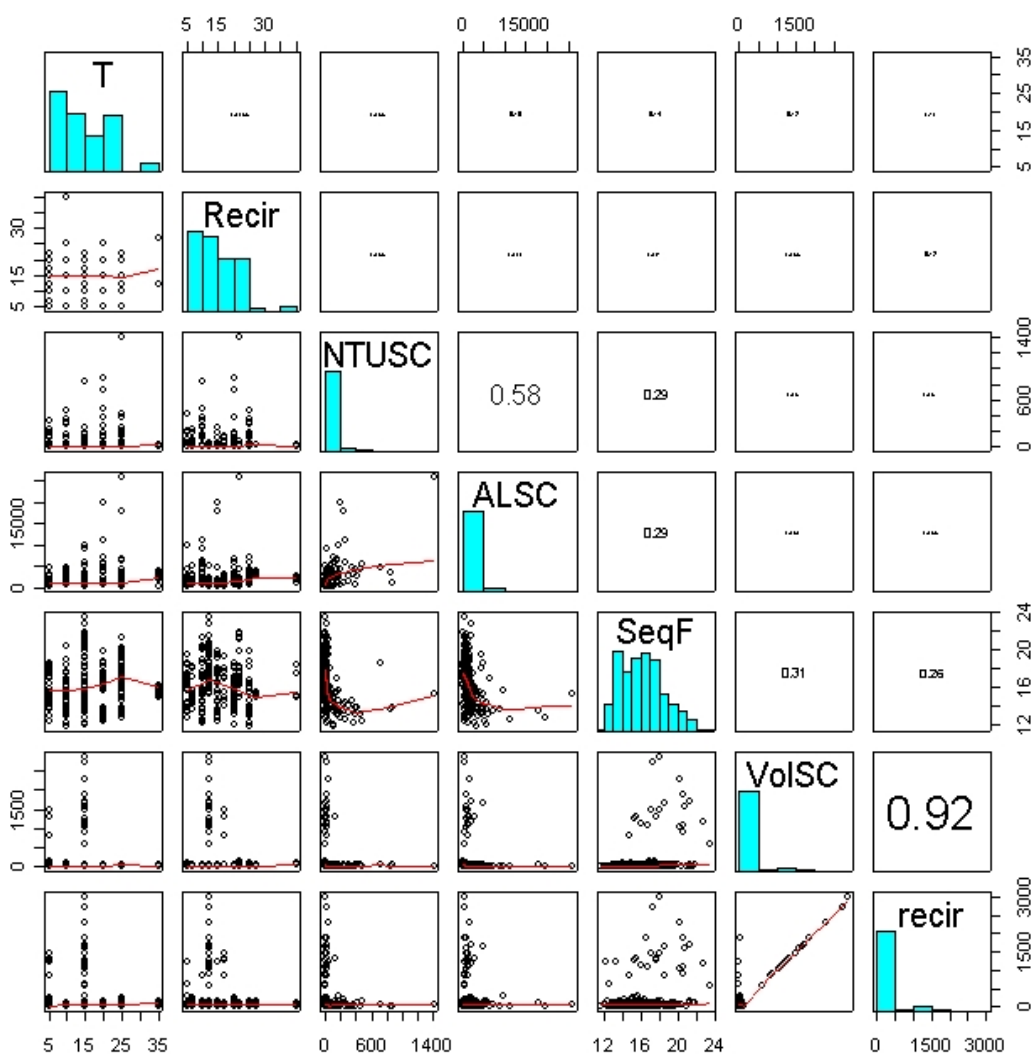
De la gráfica multivariante obtenida se deduce la inexistencia de relación estadística en las variables de sequedad de lodo y recirculación del mismo. Por lo tanto, dentro del espectro de consignas diferentes a que se ha sometido el proceso, tanto en recirculación como en duración de las mismas, ambas variables han permanecido invariables.

**Figura 8: Correlación multivariable de las variables del proceso general en relación a las diferentes consignas de tiempo y recirculación**



Asimismo, de forma independiente se ha realizado el estudio estadístico para todas las variables ante las diferentes consignas de recirculación de lodos y duración de las mismas, obteniendo por resultado una indiferencia total en la calidad del lodo, concretamente en su sequedad y por supuesto en las dosificaciones de polímeros en floculación y escurrimiento del agua en fango. A tal efecto, se han obtenido los diferentes gráficos de correlación para los diferentes recirculaciones. Se obtiene así una de las principales conclusiones al analizar el proceso, la recirculación de lodos espesados en la línea de aguas consuntivas es plenamente prescindible en el proceso.

**Figura 9: Correlación multivariable de las variables eb deshidratación para todo el tramo de datos obtenido en los años 2005 a 2007**



Por lo tanto la instalación de recirculación para los lodos en las LAC debe paralizarse de forma general si así está implantada y los diseños futuros deben contemplar el envío del lodo espesado a deshidratación directamente sin recirculación.

Pero la conclusión final se debe comparar y contrastar con otras mismas recirculaciones que se llevan a cabo en los diferentes tipos de tratamientos de aguas. La pregunta que nos debemos hacer es ¿porqué la recirculación en la LAC no da resultados y si que los da en los tratamientos de agua potable o en los sistemas de decantación o en las recirculaciones de los reactores biológicos de las aguas residuales urbanas? El fundamento radica en la concentración del lodo y en naturaleza biológica o no del mismo.

Otra de las conclusiones obtenidas es sobre la concentración del lodo para su recirculación eficiente. La concentración del lodo es el parámetro básico de su reutilización en recirculación. Éste debe contener una concentración no elevada, menor al 0,5% en general dada la experiencia, o bien atendiendo al tipo de limos y arcillas presentes en la mezcla, en definitiva a la caracterización geológica de la cuenca de donde se toman las aguas para su potabilización.

## 5. Bibliografía

- Ayuntamiento de Logroño. Estudios de sedimentabilidad y extracción de purgas en decantación en la ETAP río Iregua años 1996, 1998 y 1999. Convenios de colaboración entre el Ayuntamiento de Logroño y el INEM.
- Beatriz Pavón Silva, T. Pacheco Salazar, V.F. y Cárdenas Zuazo, L.M. (2008) Tratamiento de lodos de una planta potabilizadora para la recuperación de aluminio y hierro como coagulantes.
- DEGREMONT. (1979). Manual técnico del agua.
- Cornwell, David A. (2003). Gestión de residuos de las plantas de tratamiento de agua. Calidad y tratamiento de agua: 997 – 1048.
- Cerdeño del Castillo, F.J y Pérez Lorenzo, A. (2005). CONARQUITECTURA. Viabilidad técnica de uso de lodos de Estaciones de Tratamiento de Aguas Potables (ETAP) en la fabricación de materiales cerámicos para la construcción.
- DYTRAS, S.A. Proyecto de construcción de las instalaciones de tratamiento de las aguas consuntivas en la ETAP río Iregua (Logroño).
- DYTRAS, S.A. Manual de instrucciones generales de funcionamiento y mantenimiento de las instalaciones de tratamiento de aguas consuntivas de la ETAP río Iregua.
- Ender + Hauser. (1993). Aguas residuales. Medición y automatización. Reinach.
- Hernández Muñoz, A. (1990). Depuración de aguas residuales, Madrid.
- HUBER. Espesador de fangos. Catálogo Abril 2007. Empresa privada.
- LABORSUR, S.L. Campaña de muestreos y aforos en las instalaciones de la ETAP río Iregua para la caracterización de las aguas consuntivas
- Lothar Hess, M. (1995). Espesamiento de lodos: A gravedad y por flotación. Sao Paulo.
- Marín Galvín, R. (1995). Análisis de aguas y ensayos de tratamiento, Barcelona.
- Martinez Arias, R. (2000). El Análisis Multivariante en la Investigación Científica. Ed. La Muralla.
- Peña, D. (2002). Análisis de datos multivariantes, Madrid

### **Correspondencia** (Para más información contacte con):

Marina Corral Bobadilla

Área de Proyectos de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Mecánica.

Universidad de La Rioja

Edificio Departamental - C/ Luis de Ulloa, 20

26004 Logroño, La Rioja

Phone: + 34 941 299 274 / 651 56 9214

Fax: + 34 941 299 794

E-mail: marina.corral@unirioja.es

URL : <http://www.unirioja.es>