

## CAPÍTULO 5

### CARACTERIZACIÓN DEL ARU PARA LA EBN

#### 5.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se analizan las características físico-químicas del agua residual afluyente al reactor durante el primer período de estudio. También se estudia la evolución temporal de los parámetros de calidad orgánica y de sus componentes, así como la relación existente entre los diferentes parámetros de calidad.

El decantador primario se modificó a lo largo del primer período de estudio, a fin de modificar las características del ARU antes de ser introducida en el reactor biológico. La Figura 5.1 muestra un diagrama de las modificaciones realizadas. Durante la Fase 1.1, el ARU se almacenaba en el decantador primario desde la mañana hasta su agotamiento 24 horas después, permaneciendo en reposo durante este período. Durante la Fase 1.2, el ARU almacenada se airó, a fin de evitar que alcanzase condiciones anaerobias durante su estancia en el depósito (ver sección 4.2.1). Posteriormente, en la Fase 1.3 se eliminó la aireación y en su lugar se aplicó agitación continua del agua en todos los depósitos previos al reactor biológico. Esta modificación se realizó con el fin evitar una segunda sedimentación de la MES y así incrementar la concentración de la DQOFB del afluyente al reactor.

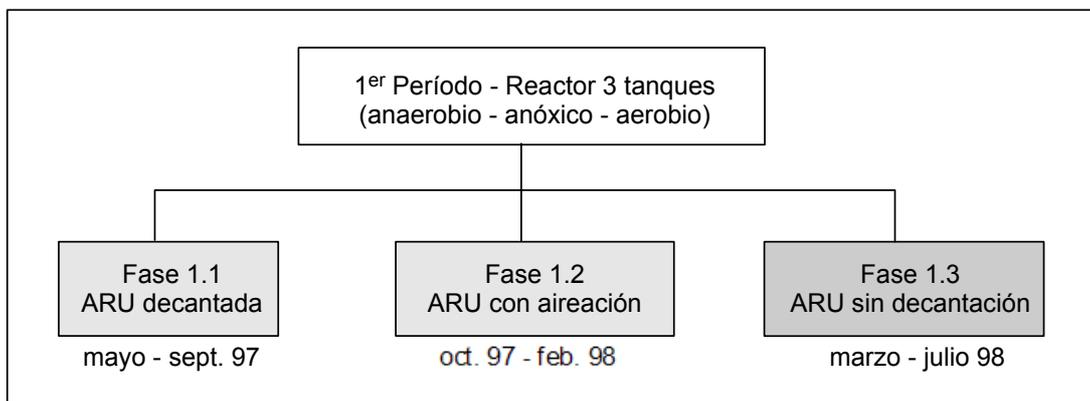


Figura 5.1 Esquema de las modificaciones aplicadas al ARU dentro del decantador primario durante el primer período de estudio (marzo 1997-julio 1998).

La caracterización general del ARU se realizó mediante los parámetros más básicos utilizados para describir la calidad de un afluyente: MES, DQO, NT, PT, pH y alcalinidad. Se aplicaron métodos básicos de estadística descriptiva para valorar e interpretar los valores de estos parámetros, así como para analizar las características específicas de los componentes de cada parámetro.

## 5.2 CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DEL AGUA RESIDUAL AFLUENTE

### 5.2.1 Características generales

El agua residual urbana utilizada en este estudio proviene de la red de alcantarillado de Barcelona, específicamente de una zona residencial donde se agrupan diversos centros docentes. Tal como se especificó en el Capítulo 4, la electrobomba sumergida en el pozo de bombeo actúa como un tamiz que impide el paso de sólidos gruesos, mientras que las arenas y una parte de la materia orgánica del agua residual cruda son retenidas en el depósito auxiliar previo al decantador primario. Asimismo, tanto el decantador primario como el depósito de alimentación favorecen la sedimentación de la materia orgánica en suspensión, que se deposita en el fondo de los depósitos. Todos estos procesos de pretratamiento del agua residual contribuyeron a modificar la composición del agua afluente antes de ser introducida en el reactor biológico.

Uno de los aspectos diferenciales entre el agua residual cruda y el agua afluente (término genérico utilizado en esta memoria para referirse al ARU que entra al reactor biológico) es la concentración de oxígeno disuelto (OD). La Tabla 5.1 resume la concentración de oxígeno disuelto medida durante el primer período, tanto en el ARU que llegaba al depósito auxiliar como en el agua contenida en el depósito de alimentación, que había sido bombeada 24 horas antes.

Tabla 5.1. Media aritmética e intervalo de variación de la concentración de oxígeno disuelto (OD) del ARU cruda y del afluente al reactor a lo largo del primer período de estudio (marzo 1997-julio 1998). *n* indica el número de datos.

Agua residual	<i>n</i>	media (mg O <sub>2</sub> /L)	Intervalo (mg O <sub>2</sub> /L)
Cruda	64	2,66	0,05 - 6,90
Afluente	83	0,16	0,02 - 0,85

Los resultados de la Tabla 5.1 indican claramente que la concentración de OD del afluente fue muy inferior a la del ARU bombeada. La concentración media de oxígeno disuelto del ARU cruda fue 2,66 mg O<sub>2</sub>/L, con un 80% de los valores por encima de 2,00 mg O<sub>2</sub>/L, a pesar de que el rango de valores es muy amplio. El valor medio en el agua residual afluente fue 0,16 mg O<sub>2</sub>/L, con un intervalo de valores más reducido que el anterior. Para el afluente no se incluyen los valores superiores a 1,00 mg O<sub>2</sub>/L, por coincidir con los días en que se hacían pruebas para introducir oxígeno en exceso al ARU almacenada o cuando se probaban los motores para agitación del agua (29 y 30 diciembre 1997, 5 y 7 de enero y 9 de febrero 1998).

Diversos estudios realizados del afluente, previos a esta investigación, permitieron registrar unas concentraciones medias de 67 mg/L de MES, de 270 mg O<sub>2</sub>/L de DQO, de 40 mg N/L de NT y de 7,3 mg P/L de PT (García, 1996; Escaler, 1997). Estas concentraciones de N y de P se encuentran dentro del rango característico de un agua residual urbana, de manera que la decantación previa no los afecta significativamente (García, 1996). Sin embargo, los valores de la MES son bajos, debido a las sucesivas decantaciones que experimentaba el agua cruda desde su recogida hasta su llegada al reactor; esta situación también afectaba a la concentración de DQO, que se encuentra en un intervalo bajo (Metcalf y Eddy, 1995).

### 5.2.2 Fase 1.1 - Agua residual sometida a decantación primaria

La Tabla 5.2 resume la media aritmética, la desviación estándar y el intervalo de variación de cada uno de los parámetros de calidad básicos. El análisis incluye los meses de mayo a septiembre de 1997 correspondientes a la Fase 1.1. La distribución de frecuencias se indica en la Figura 5.2.

Tabla 5.2. Parámetros de calidad del agua residual afluente al reactor correspondientes a la Fase 1.1. *n* indica el número de datos y CV el coeficiente de variación.

Parámetro	<i>n</i>	media	Desviación estándar	CV (%)	Intervalo
pH	15	7,9	0,23	3,0	7,2 - 8,2
Alcalinidad, mg CaCO <sub>3</sub> /L	15	355	44	12	233 - 426
MES, mg/L	16	48	22	46	18 - 110
DQO, mg O <sub>2</sub> /L	15	227	84	37	123 - 447
NT, mg N/L	15	28	10,7	38	10 - 54
PT, mg P/L	15	6,9	1,4	21	4,7 - 9,4

Los valores del pH fueron siempre básicos, con un intervalo entre 7,2 y 8,2, y dentro del rango óptimo de crecimiento para los microorganismos presentes en un tratamiento biológico de eliminación de nutrientes y materia orgánica (6,5 - 8,5). La Figura 5.2 muestra la distribución de frecuencias de los valores del pH. El rango de variación del pH ha sido bajo, no excediendo de la unidad. Asimismo, este parámetro es el que menos variación registra respecto a su media (7,9) con una desviación estándar de 0,23 y un CV de tan sólo el 3%. El pH medio es ligeramente superior al del agua de abastecimiento de la zona (pH=7,3) (García, 1996) que discurre por terrenos calcáreos como el del Llobregat. Por otro lado, durante todo el primer período de estudio se registraron elevadas concentraciones de alcalinidad, variando dentro del intervalo de 233 a 448 mg CaCO<sub>3</sub>/L, con una media de 355 mg CaCO<sub>3</sub>/L. Asimismo, la variación de la alcalinidad durante la Fase 1.1 fue moderada, con cerca del 80% de los datos entre 310 y 380 mg CaCO<sub>3</sub>/L.

La concentración de la materia en suspensión (MES) registrada durante la Fase 1.1 osciló entre 18 y 110 mg/L con un valor medio de 48 mg/L. La amplitud del intervalo de variación fue muy elevado, con un coeficiente de variación del 46% y una desviación estándar de 22 mg/L. La distribución de frecuencias de los valores de la MES representada en la Figura 5.2 evidencia que el 50% de las muestras de afluente decantado se encuentra entre 30 y 70 mg/L. Las sucesivas decantaciones que experimentaba el agua residual cruda (depósito auxiliar, depósito de almacenamiento y depósito de alimentación) son las responsables de estos valores tan bajos, al facilitar la sedimentación de los sólidos del afluente.

El comportamiento del contenido de materia orgánica, medido como DQO, puede interpretarse mediante un razonamiento similar al de la MES. La DQO varió entre 123 y 447 mg O<sub>2</sub>/L, con una media de 227 mg O<sub>2</sub>/L. La desviación estándar de este parámetro fue de 84 mg/L, tres veces superior a la de la MES (28 mg/L). Como se puede observar en el histograma de frecuencias de la Figura 5.2, el 60% de las muestras se encuentran entre 100 y 220 mg O<sub>2</sub>/L, con un poco menos del 35% de los datos situados entre 220 y 330 mg O<sub>2</sub>/L y apenas el 7% restante mayores que 400 mg O<sub>2</sub>/L. Estos valores tan bajos de DQO se deben a que gran parte del material orgánico del afluente es eliminado

durante la decantación de los sólidos en suspensión. De acuerdo con Metcalf y Eddy (1995), la MES del ARU contribuye con más del 60% de su DBO.

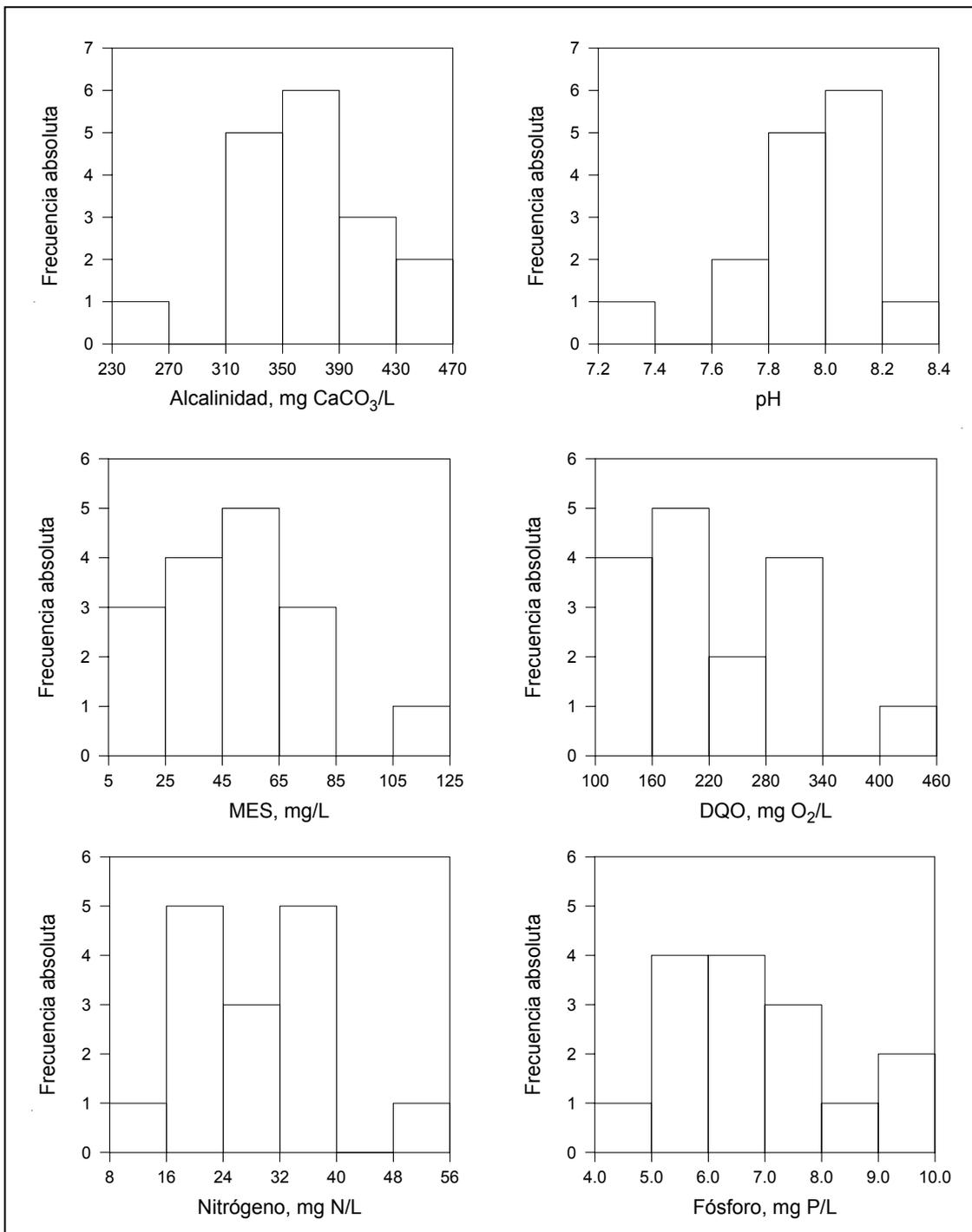


Figura 5.2 Diagramas de frecuencias de los parámetros básicos medidos del afluente decantado (Fase 1.1).

La concentración media del nitrógeno total (NT) fue de 28 mg N/L, con un intervalo de variación entre 10 y 54 mg N/L. La distribución de frecuencias de este parámetro indica que el 80% de los valores oscilaron entre 20 y 40 mg N/L, siendo más frecuente la obtención de concentraciones entre 30 y 35 mg N/L. El valor de 54 mg N/L corresponde al pico de concentración de DQO. La mayor parte del NT del ARU lo constituye el nitrógeno Kjeldahl (NKT) y el amoniacal provenientes de las heces humanas (urea y aminoácidos).

Los valores de fósforo total (PT) fueron muy variables durante todo el estudio. La distribución de frecuencias de los valores de PT para la Fase 1.1 muestra que aproximadamente el 80% de los valores se encuentran entre 5 y 8 mg P/L. La concentración media de este parámetro fue de 6,9 mg P/L, con una desviación estándar de 1,4 mg P/L y un coeficiente de variación de 21%, todos ellos menores que los correspondientes a los parámetros anteriores.

La Tabla 5.3 presenta los valores típicos de la MES, la DQO, el N, el P y la alcalinidad de las aguas residuales indicados en Metcalf y Eddy (1991). Como se observa, el agua residual puede clasificarse como fuerte, media o débil, dependiendo de las concentraciones de sus constituyentes. Sin embargo, es conveniente recordar que dado que la composición de un afluente varía de acuerdo con la hora del día, el día de la semana y la época del año, entre otros factores, estos valores sólo pueden servir de guía de referencia para establecer una comparación con nuestros datos.

Tabla 5.3. Composición típica de un agua residual urbana de los EEUU (Metcalf y Eddy, 1991).

Parámetro	Fuerte	Media	Débil
MES, mg/L	350	220	100
DQO, mg O <sub>2</sub> /L	1000	500	250
NT, mg N/L	85	40	20
PT, mg P/L	15	8	4
Alcalinidad, mg CaCO <sub>3</sub> /L	200	100	50

La concentración media de MES en el agua afluente fue muy inferior a los valores indicados en la Tabla 5.3, o los observados en aguas muy diluidas (< 120 mg/L) por Henze *et al.* (1987). Los valores de la materia orgánica medidos como DQO confirman el carácter débil del agua residual, cuyos valores típicos se sitúan entre 250 y 500 mg O<sub>2</sub>/L. Asimismo, la concentración media del NT (27 mg N/L) resultó ser muy próxima a los valores indicados para las aguas residuales débiles. Por otro lado, el valor medio del PT (6,9 mg P/L) parece estar más próximo a los típicos para aguas de tipo medio.

La relación media DQO/NKT de este agua (9,5 mg/mg) resultó ser inferior al valor recomendado por Abu-ghararah y Randall (1991) para una buena eliminación de nutrientes (12 mg/mg). Asimismo, el promedio de la relación DQO/P (34 mg/mg) fue muy inferior al valor recomendado en la bibliografía (77 mg/mg) para una óptima eliminación simultánea de nutrientes (Danesh y Oleszkiewicz, 1997).

### 5.2.3 Fase 1.2 - Agua residual sometida a aireación durante la decantación primaria

La Tabla 5.4 resume la media aritmética, la desviación estándar y el intervalo de variación de cada uno de los parámetros de calidad básicos. El análisis incluye los meses de octubre de 1997 a febrero de 1998 correspondientes a la Fase 1.2. La distribución de frecuencias se indica en la Figura 5.3.

Tabla 5.4. Parámetros de calidad del agua residual afluente al reactor correspondientes a la Fase 1.2. *n* indica el número de datos y CV el coeficiente de variación.

Parámetro	<i>n</i>	media	Desviación estándar	CV (%)	Intervalo
pH	13	8,1	0,14	1,7	7,8 - 8,3
Alcalinidad, mg CaCO <sub>3</sub> /L	13	376	52	14	295 - 448
MES, mg/L	12	55	37	69	16 - 127
DQO, mg O <sub>2</sub> /L	13	201	57	28	105 - 258
NT, mg N/L	13	36	7,9	27	21 - 45
PT, mg P/L	13	7,2	1,3	17	5,3 - 9,3

Al igual que en la Fase 1.1, los valores del pH fueron siempre básicos, con un intervalo entre 7,8 y 8,3 y un valor promedio de 8,1. El rango de variación del pH fue bajo y ligeramente inferior al de la Fase 1.1. Este parámetro es el que menos variación registró respecto a su media (8,1) con una desviación estándar de tan sólo 0,14 y un CV de 1,7%. La Figura 5.3 muestra la distribución de frecuencias de los valores del pH, donde se aprecia que aproximadamente el 75% de los valores estuvieron entre 7,8 y 8,2.

La concentración media de la alcalinidad durante esta fase fue un poco mayor que en la fase anterior, 376 y 335 mg CaCO<sub>3</sub>/L, respectivamente. Asimismo, la variación de la concentración de alcalinidad durante la Fase 1.2 fue moderada, con cerca del 80% de los datos entre 310 y 380 mg CaCO<sub>3</sub>/L.

Los valores de la MES observados durante la Fase 1.2 oscilaron entre 16 y 127 mg/L con un valor medio de 55 mg/L. La amplitud del intervalo de variación fue muy elevado, con un coeficiente de variación del 69% y una desviación estándar de 37 mg/L. La distribución de frecuencias de los valores de la MES evidencia que más del 60% de las muestras de afluente aireado tienen valores inferiores a 50 mg/L y tan solo un 17% tienen entre 50 y 70 mg/L.

La DQO varió entre 105 y 258 mg O<sub>2</sub>/L, con una media de 201 mg O<sub>2</sub>/L. La desviación estándar de este parámetro fue 57 mg O<sub>2</sub>/L, casi un 60% superior a la de la MES (33 mg/L). Como se puede observar en el histograma de frecuencias de la Figura 5.3, el 60% de las muestras se encuentran entre 210 y 260 mg O<sub>2</sub>/L, y un poco más del 30% de los datos oscilaron entre 100 y 180 mg O<sub>2</sub>/L.

La concentración media de nitrógeno total (NT) fue de 36 mg N/L, un 33% mayor que en la fase anterior, con un intervalo de variación entre 21 y 45 mg N/L. La distribución de frecuencias de este parámetro muestra una tendencia bimodal con aproximadamente un 50% de los valores situados en los intervalos entre 25 y 30 mg N/L y 40 y 45 mg N/L, y un 33% entre 30 y 40 mg N/L.

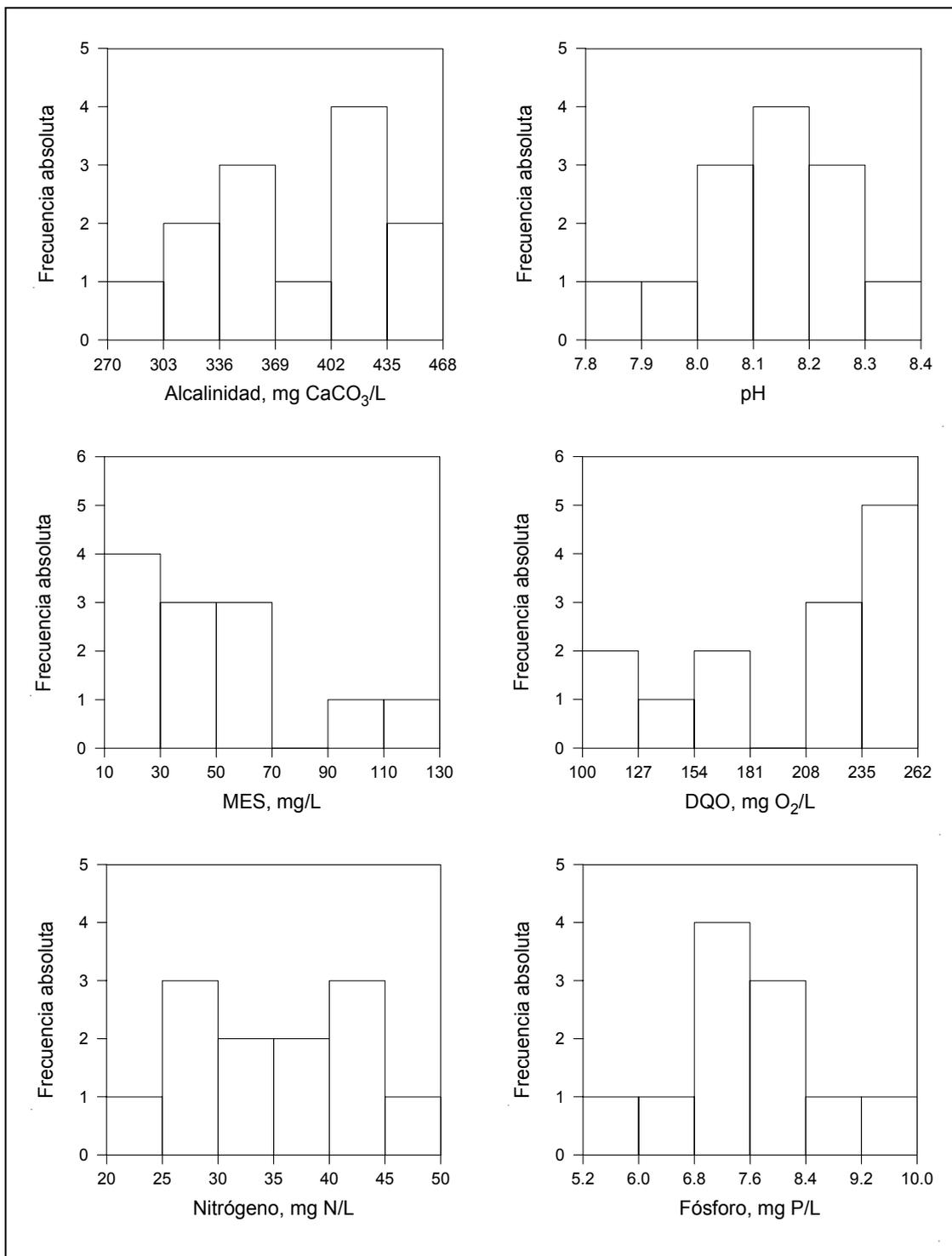


Figura 5.3 Diagramas de frecuencias de los parámetros básicos medidos del afluente decantado sometido a aireación (Fase 1.2).

La concentración de PT varió entre 5,3 y 9,3 mg P/L, con una media de 7,2 mg P/L. La distribución de frecuencias de los valores de PT para la Fase 1.2 muestra que aproximadamente el 85% de los valores osciló entre 5,3 y 8,5 mg P/L. La desviación estándar fue de 1,3 mg P/L y el coeficiente de variación de 17%.

### 5.2.4 Fase 1.3 - Agua residual urbana sometida a agitación (sin decantación primaria)

La Tabla 5.5 resume la media aritmética, la desviación estándar y el intervalo de variación de cada uno de los parámetros de calidad básicos para el ARU sin decantación primaria. El análisis cubre los meses de marzo a julio de 1998 correspondientes a la Fase 1.3. La distribución de frecuencias se indica en la Figura 5.4.

Tabla 5.5. Parámetros de calidad del agua residual afluente al reactor correspondientes a la Fase 1.3. *n* indica el número de datos y CV el coeficiente de variación.

Parámetro	<i>n</i>	media	Desviación estándar	CV (%)	Intervalo
pH	15	8,0	0,32	4,0	7,3 - 8,3
Alcalinidad, mg CaCO <sub>3</sub> /L	15	359	49	14	258 - 411
MES, mg/L	15	142	24	17	102 - 186
DQO, mg O <sub>2</sub> /L	15	308	79	29	200 - 517
NT, mg N/L	15	36	9,5	26	19 - 54
PT, mg P/L	15	9,3	1,9	21	6,8 - 12,8

Los valores del pH oscilaron entre 7,3 y 8,3, con un valor promedio de 8,0, al igual que en las fases anteriores. Sin embargo, el CV de esta fase fue elevado. La Figura 5.4 muestra la distribución de frecuencias de los valores del pH, donde se aprecia que más del 93% de los valores estuvieron entre 7,6 y 8,4.

La concentración media de la alcalinidad durante la Fase 1.3 fue ligeramente inferior a la de las fases anteriores. Asimismo, la variación de la concentración de alcalinidad durante esta fase no fue importante, con un 55% de los datos entre 370 y 400 mg CaCO<sub>3</sub>/L. Su distribución de frecuencias se muestra en la Figura 5.4.

Los valores de la MES observados durante la Fase 1.3 oscilaron entre 102 y 186 mg/L con un valor medio de 142 mg/L. La amplitud del intervalo de variación fue moderado, con un coeficiente de variación del 17% y una desviación estándar de 24 mg/L. La distribución de frecuencias de los valores de la MES evidencia que el 66% de las muestras de afluente sin decantación tienen valores entre 130 y 175 mg/L, mientras que menos del 13% de las muestras tienen valores por arriba o por debajo de este intervalo.

La DQO varió entre 200 y 517 mg O<sub>2</sub>/L, con una media de 308 mg O<sub>2</sub>/L. La desviación estándar de este parámetro fue de 79 mg O<sub>2</sub>/L y su CV de 29%. Como se puede observar en el histograma de frecuencias de la Figura 5.4, el 93% de las muestras se encuentran entre 190 y 410 mg O<sub>2</sub>/L, y más del 45% de los datos oscilaron entre 245 y 300 mg O<sub>2</sub>/L.

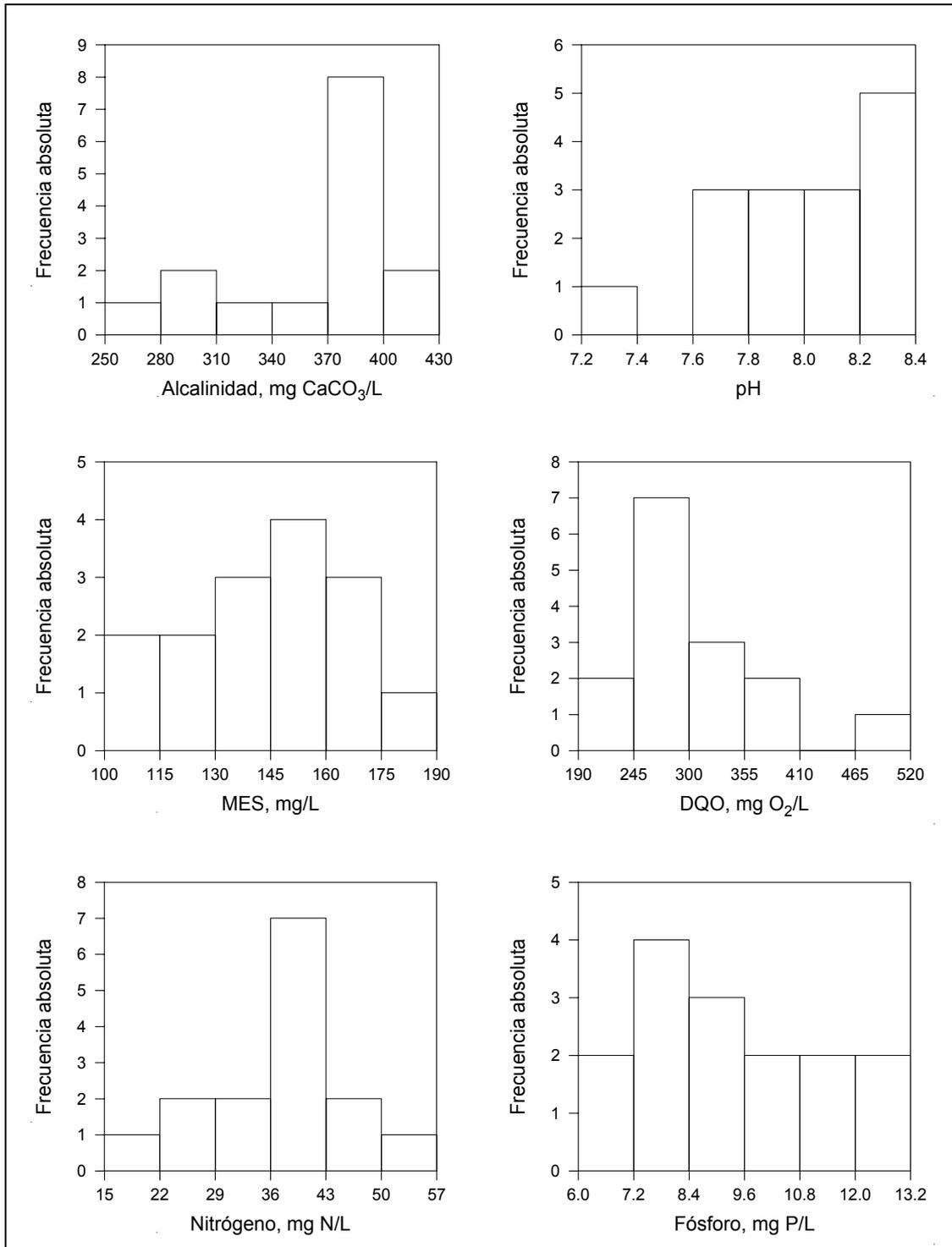


Figura 5.4 Diagramas de frecuencias de los parámetros básicos medidos del afluente decantado (Fase 1.3).

La concentración media de NT fue de 34 mg N/L, con un intervalo de variación entre 19 y 48 mg N/L. El CV y la desviación estándar fueron prácticamente iguales a los de la Fase 1.2. La distribución de frecuencias indica que aproximadamente el 46% de los valores oscilaron entre 35 y 45 mg N/L.

Las concentraciones de PT durante la Fase 1.3 oscilaron entre 6,8 y 12,8 mg P/L, con una media de 9,6 mg P/L. Las concentraciones de PT durante esta fase fueron aproximadamente un 35% superiores a las obtenidas en las fases anteriores. La distribución de frecuencias de la concentración de PT muestra que aproximadamente el 45% de los valores oscilaron entre 7,2 y 9,6 mg P/L, con una desviación estándar de 1,9 mg P/L y un coeficiente de variación de 21%.

### 5.3 EVOLUCIÓN TEMPORAL DE LOS PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

La evolución temporal de las variables más importantes a lo largo del primer período de estudio, desde el arranque del sistema hasta agosto de 1998, se presenta a continuación. El estudio de la variabilidad temporal ha sido realizado con todos los datos diarios disponibles; sin embargo, la evaluación de las variables químicas y de los parámetros biológicos se ha restringido al período de seguimiento biológico (22 de mayo de 1997 a 28 de julio de 1998).

#### Temperatura

La Figura 5.5 muestra la evolución temporal de la temperatura ambiente del laboratorio donde estuvo ubicado el reactor, así como de la temperatura del ARU cruda y del afluente durante el primer período de estudio. La Tabla 5.6 indica los valores medios obtenidos durante cada fase experimental.

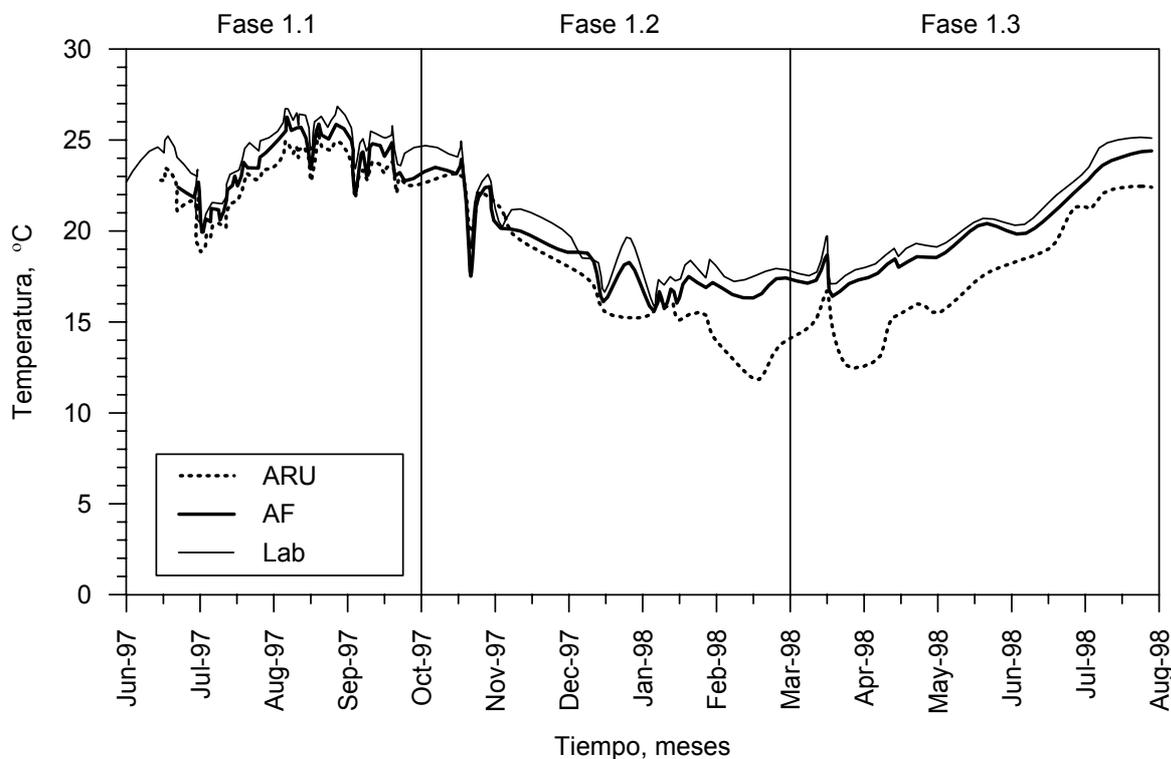


Figura 5.5 Evolución de la temperatura del laboratorio, del ARU cruda y del afluente al reactor. Primer período de estudio (marzo 1997-julio 1998).

Tabla 5.6. Media aritmética y rango de variación de la temperatura registrada en el laboratorio, en el ARU cruda y en el afluente al reactor durante cada fase experimental del primer período de estudio.

Fase	Zona	n	media (°C)	Intervalo (°C)
Fase 1.1	Laboratorio	65	24,3	20,2 - 26,9
	ARU cruda	60	22,6	18,8 - 25,5
	Afluente	59	23,6	19,8 - 26,4
Fase 1.2	Laboratorio	29	19,5	15,8 - 24,9
	ARU cruda	20	17,3	11,8 - 23,1
	Afluente	29	18,7	15,6 - 23,9
Fase 1.3	Laboratorio	17	20,3	17,0 - 25,1
	ARU cruda	17	17,2	12,5 - 22,4
	Afluente	17	19,6	16,4 - 24,4

La temperatura del afluente durante este período varió de 15,6 a 26,4°C con un valor promedio de 21,6°C y un desviación estándar de 3,1°C. Las condiciones propias del laboratorio favorecen un cierto control de la temperatura, permitiendo que el agua residual afluente al reactor registre valores ligeramente inferiores a los registrados en el laboratorio, a lo largo de todo el primer período de estudio, tal como se observa en la Figura 5.5.

La Fase 1.1 es la que registró temperaturas del afluente más altas, con un valor promedio de 23,6°C y un coeficiente de variación de 7,1%, y grandes oscilaciones. Durante esta fase se registraron las máximas más acentuadas. Durante los meses de julio y agosto se produjo un aumento gradual de la temperatura hasta alcanzar un valor medio máximo de 25,3°C. Durante el mes de septiembre comenzaron a descender las temperaturas hasta alcanzar un valor mínimo de 22,9°C. La tendencia de la temperatura del agua residual afluente a lo largo de esta fase es similar a la del ARU, cuyo valor medio fue de 22,6°C y su coeficiente de variación de 7%.

La Fase 1.2 comprende los meses más fríos del período (otoño-invierno), alcanzándose temperaturas mínimas del orden de 12°C en el ARU y de 15,6°C en el afluente al reactor. A partir del mes de diciembre, la temperatura del ARU y la del afluente comenzaron a tener tendencias diferentes; mientras la temperatura del ARU descendió hasta valores inferiores a 12°C, la temperatura del afluente mantuvo entre 15,5 y 16,5°C, valores muy parecidos a los de la temperatura del laboratorio (15 y 18,5°C).

La Fase 1.3 abarca los meses de marzo a agosto de 1998. Conforme avanzaban los meses de esta etapa, las temperaturas fueron aumentando progresivamente y acercándose a valores muy parecidos a los registrados durante la Fase 1.1. El rango de temperatura del afluente fue de 16,4 a 24,4°C, mientras que del ARU el intervalo se situó entre 12,5 y 22,4°C, con un coeficiente de variación de 18%. Tal como se observa en la Figura 5.5, la diferencia de temperatura entre las aguas residuales urbana y afluente fue aproximadamente de 3°C durante los meses de primavera (marzo, abril y mayo) y de 1,5°C durante los meses de verano (junio y julio).

### Materia en suspensión

La Figura 5.6 muestra la evolución temporal de la MES del afluente durante el primer período de estudio. La Tabla 5.7 indica los valores medios obtenidos durante cada fase experimental.

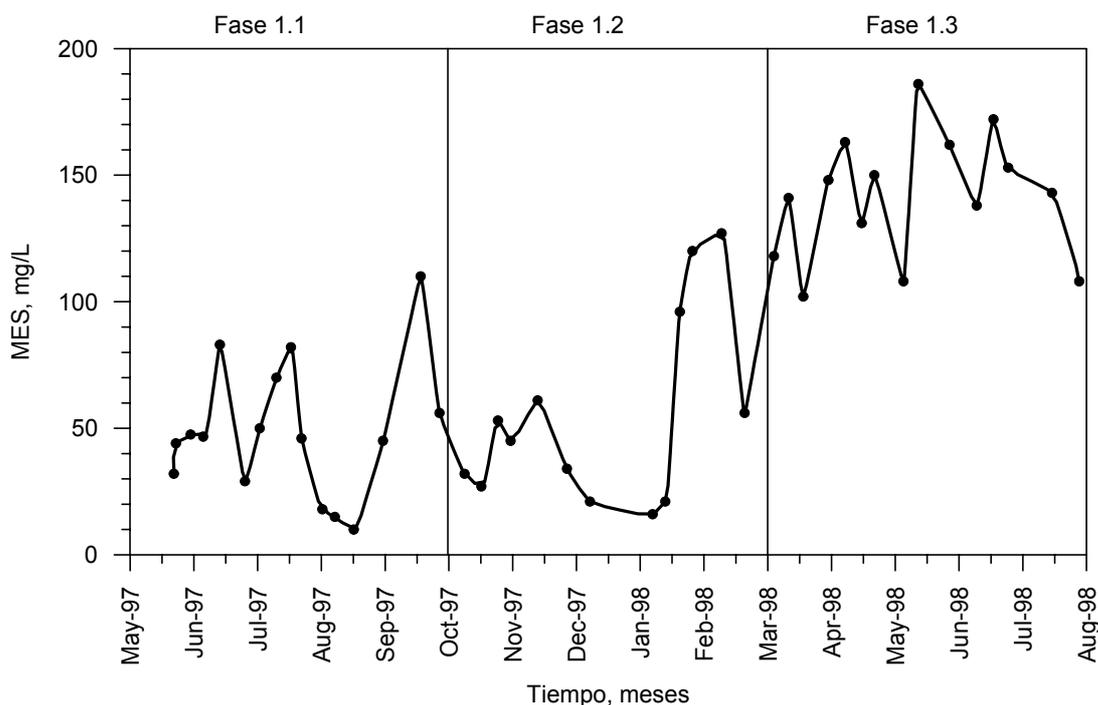


Figura 5.6 Evolución de la MES del afluente al reactor durante el primer período de estudio (marzo 1997-julio 1998).

La primera y la segunda fase se caracterizaron por tener bajas concentraciones de MES. Dentro de estas fases coinciden mayoritariamente los períodos vacacionales (verano y navidad), donde se da la máxima desocupación de las viviendas y los colegios de la zona tributaria de la red de alcantarillado. Durante el mes de septiembre y enero se alcanzaron picos de concentración de MES que coinciden con el inicio de actividades en la zona. En el mes de marzo de 1998 se registró un aumento considerable de las concentraciones, favorecido mayoritariamente por la agitación aplicada al afluente en el decantador primario.

Tabla 5.7. Concentración media e intervalo de variación de la MES del afluente en cada fase experimental del primer período de estudio.

Fase	<i>n</i>	media (mg/L)	Intervalo (mg/L)
Fase 1.1	16	48	9,5 - 110
Fase 1.2	13	55	16 - 127
Fase 1.3	15	142	102 - 186

La Tabla 5.7 indica que la primera y la segunda fase presentaron concentraciones medias de MES muy similares (48 y 55 mg/L, respectivamente), mientras que la concentración media en la Fase 1.3 se elevó a 142 mg/L. La amplitud del intervalo de variación fue prácticamente el mismo durante la primera y la segunda fase (110 mg/L), mientras que en la Fase 1.3 fue algo más bajo (84 mg/L).

La Figura 5.7 muestra el diagrama de caja para la MES, que resume de forma gráfica la información de la distribución de frecuencias. La dispersión (longitud de la caja) de los datos de las tres fases fue aproximadamente igual. También se observa que la mediana coincide con la media en la Fase 1.1, mientras que en las siguientes fases la distribución (líneas o bigotes) es ligeramente asimétrica. En el caso de las Fases 1.1 y 1.3, la variabilidad de los datos (posición de la caja respecto a las líneas) se registra en torno al centro de la distribución, mientras que en la Fase 1.2 la variabilidad se produce alrededor de un extremo de la distribución. Los puntos fuera del diagrama de caja y de los bigotes representan valores extremos (*outliers*) que tienen un peso muy negativo al calcular la media.

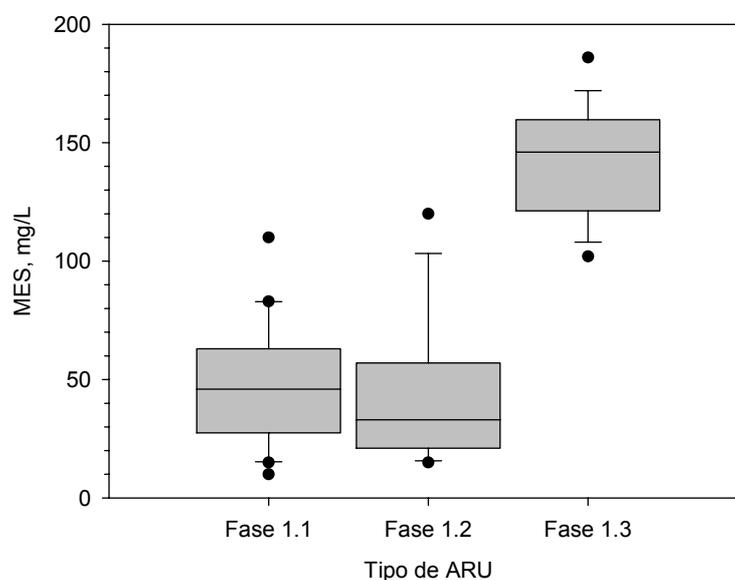


Figura 5.7 Diagramas de caja comparativos de la MES del afluente en las tres fases experimentales del primer período de estudio (marzo 1997-julio 1998).

En conclusión, el afluente al reactor durante este primer período de estudio tuvo una concentración débil de MES con tendencia a los valores medios de la Tabla 5.3 de Metcalf y Eddy (1991). Por otra parte, la instalación de un mecanismo de agitación del agua afluente favoreció considerablemente el aumento de su concentración de MES, lográndose un incremento de aproximadamente el 200%. Por último, el mecanismo de aireación no generó por sí solo un incremento de las concentraciones de MES y además causó una mayor variabilidad de los datos durante esta fase (Fase 1.2).

### **Demanda Química de Oxígeno**

La Figura 5.8 muestra la evolución temporal de la DQO del afluente durante el primer período de estudio. La Tabla 5.8 indica los valores medios obtenidos durante cada fase experimental.

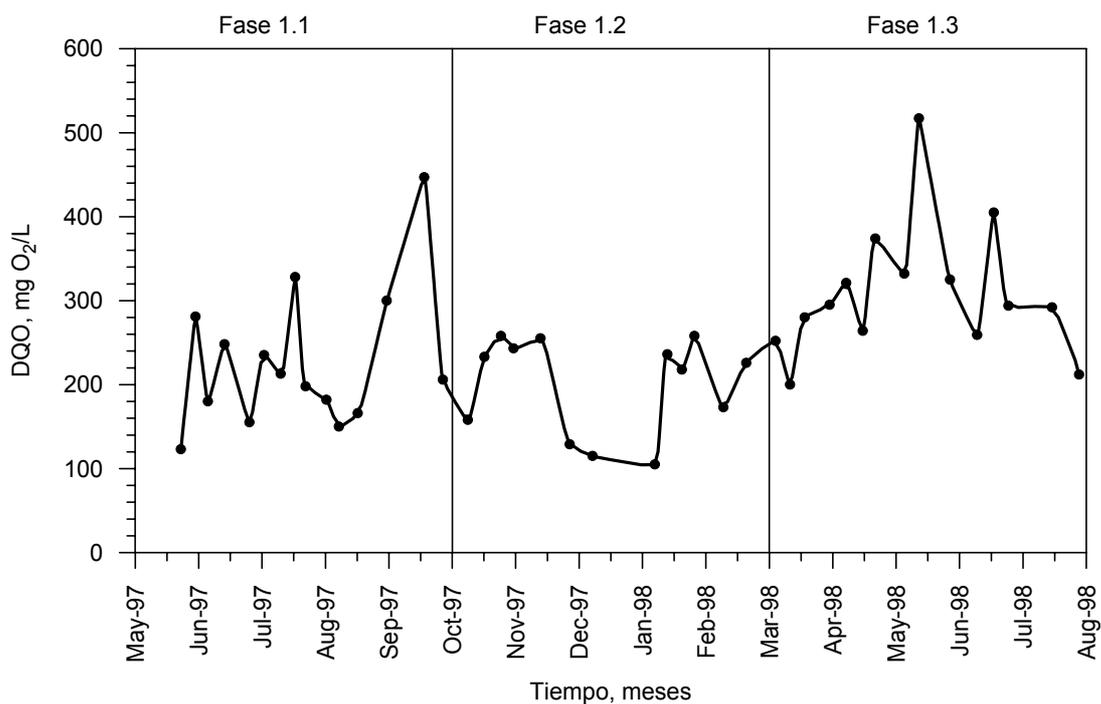


Figura 5.8 Evolución de la DQO del afluente al reactor durante el primer período de estudio (marzo 1997-julio 1998).

La evolución temporal de este parámetro ha sido semejante a la de la MES, registrándose los valores mínimos en las dos primeras fases. Un primer análisis de la evolución de la DQO con el tiempo indica que, a excepción de un máximo registrado el 15 de septiembre, la DQO osciló de forma moderada durante las Fases 1.1 y 1.2. El comportamiento de la DQO en este tiempo no mostró ninguna tendencia clara. Por otro lado, y al igual que en el caso de la MES, la Fase 1.3 es la que registró un aumento gradual de la concentración.

Tabla 5.8. Concentración media e intervalo de variación de la DQO del afluente en cada fase experimental del primer período de estudio.

Fase	<i>n</i>	media (mg/L)	Intervalo (mg/L)
Fase 1.1	15	227	123 - 447
Fase 1.2	13	201	105 - 258
Fase 1.3	15	308	200 - 517

Tal como se observa en la Tabla 5.8, la primera y la segunda fases presentan concentraciones medias muy similares (227 y 201 mg O<sub>2</sub>/L, respectivamente), mientras que la concentración media en la Fase 1.3 se eleva a 308 mg O<sub>2</sub>/L. La amplitud del intervalo de variación fue prácticamente el mismo para la primera y la tercera fase (320 mg O<sub>2</sub>/L), mientras que en la Fase 1.2 fue algo más bajo (153 mg O<sub>2</sub>/L).

La Figura 5.9 muestra el diagrama de caja de la DQO. La dispersión de las Fases 1.1 y 1.2 parecen aproximadamente iguales, mientras que la dispersión de la Fase 1.3 es

menor. También se observa que la mediana coincide con la media en la Fase 1.3, mientras que la distribución es ligeramente asimétrica en las otras fases, especialmente en la Fase 1.2. La variabilidad de los datos en las Fases 1.1 y 1.2, se produce alrededor de un extremo de la distribución, mientras que la variabilidad de la Fase 1.3 se registra en torno al centro de la distribución. Tanto la Fase 1.1 como la Fase 1.3 registran dos puntos fuera del diagrama de caja y de los bigotes, lo que tiene un peso muy negativo al calcular la media.

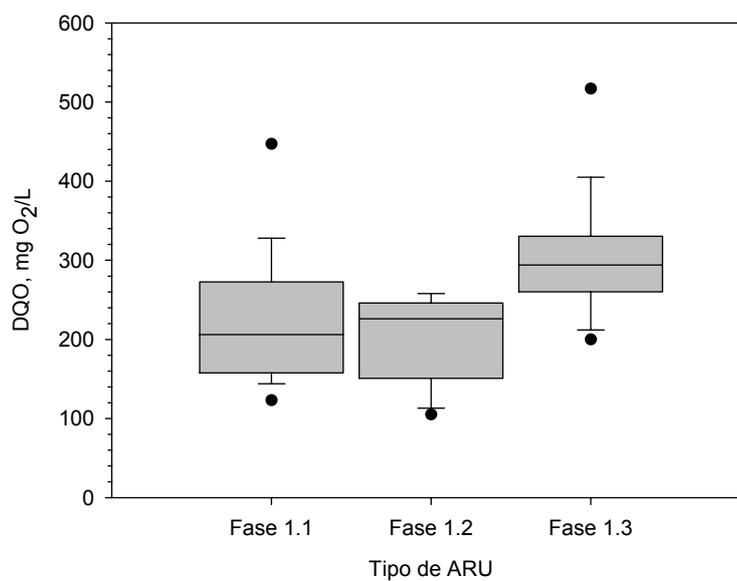


Figura 5.9 Diagramas de caja comparativos de la DQO del afluente en las tres fases experimentales del primer período de estudio (marzo 1997-julio 1998).

Nuevamente se puede decir que el afluente al reactor durante este primer período de estudio tuvo una concentración débil de DQO con tendencia a los valores medios de la Tabla 5.3 de Metcalf y Eddy (1991). Asimismo, el aumento de la concentración de MES del afluente trajo consigo un aumento del contenido orgánico, reflejado en las concentraciones de DQO observadas durante la Fase 1.3. El incremento de la DQO fue de aproximadamente un 45%.

## Nitrógeno

La Figura 5.10 muestra la evolución temporal del NT del afluente durante el primer período de estudio. La Tabla 5.9 indica los valores medios obtenidos durante cada fase experimental.

El nitrógeno mostró un comportamiento variable sin ninguna tendencia clara en el tiempo. Durante la Fase 1.1 se alcanzó una concentración media de 28 mg N/L, registrándose las concentraciones más bajas del período, con excepción de un pico de 54 mg N/L registrado el 16 de septiembre, que coincidió con el pico de DQO observado. La segunda y la tercera fase tuvieron concentraciones muy similares, con medias de 35 mg N/L. Durante la segunda mitad del mes de junio de 1997 se apreció una caída brusca de la concentración de nitrógeno que coincidió con episodios de lluvia (24, 27 y 28 de junio y 1, 2 y 3 de julio de 1997). Del mismo modo, durante el mes de diciembre se registró una

caída de la concentración de NT que coincidió con días de lluvia (19 y 29 de diciembre de 1997), mientras que la primera semana de enero de 1998 el ARU llegó muy diluida, al coincidir con días de lluvia y ser período de vacaciones. El comportamiento del NT fue muy similar al observado en el análisis cualitativo de la MES y la DQO.

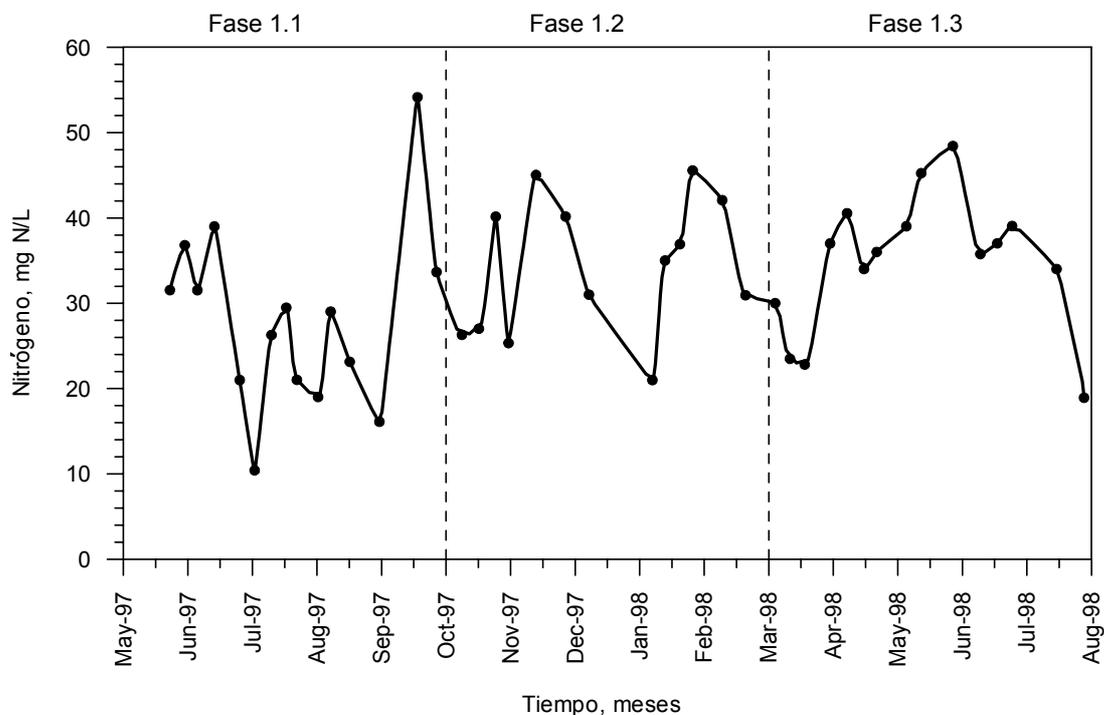


Figura 5.10 Evolución del NT del afluente al reactor durante el primer período de estudio (marzo 1997-julio 1998).

Tabla 5.9. Concentración media e intervalo de variación del NT del afluente en cada fase experimental del primer período de estudio.

Fase	<i>n</i>	media (mg/L)	Intervalo (mg/L)
Fase 1.1	15	28	10 - 54
Fase 1.2	13	36	21 - 45
Fase 1.3	15	35	19 - 48

La Figura 5.11 muestra el diagrama de caja del NT. La dispersión de las Fases 1.1 y 1.2 es mayor que la dispersión de la Fase 1.3. La mediana de las Fases 1.2 y 1.3 coinciden en torno a 37 mg N/L, mientras que en la Fase 1.1 es inferior (29 mg N/L), siendo en todos los casos semejante a la media. La variabilidad del NT durante las tres fases se registra en torno al centro de la distribución de los datos. Todas las fases y especialmente la Fase 1.1, registraron puntos extremos (picos de concentración) que tienen un peso muy negativo al calcular la media, al igual que ocurre con las caídas bruscas de concentración en las distintas fases.

Nuevamente se puede decir que el afluente al reactor durante este primer período de estudio tuvo una concentración débil de NT con respecto a los valores medios de la

Tabla 5.3 de Metcalf y Eddy (1991). Las relaciones entre los valores representativos de la concentración de materia orgánica (DQO o DBO) y el NT resultaron relativamente bajas en las distintas fases. La fracción DQO/NT de las Fase 1.1 y 1.3 (9,4 y 9,0 mg/mg, respectivamente) se encuentra en el rango de aguas urbanas típicas según Henze *et al.* (1987) (8 - 12 mg/mg), mientras que el valor medio de la Fase 1.2 fue de 5,8 mg/mg, inferior incluso a los valores más bajos observados por estos autores en aguas domésticas (6 - 8 mg/mg). Una fracción DQO/NT elevada (12 - 16 mg/mg) favorece una buena eliminación de N por desnitrificación (Abu-ghararah y Randall, 1991; Henze *et al.* 1987).

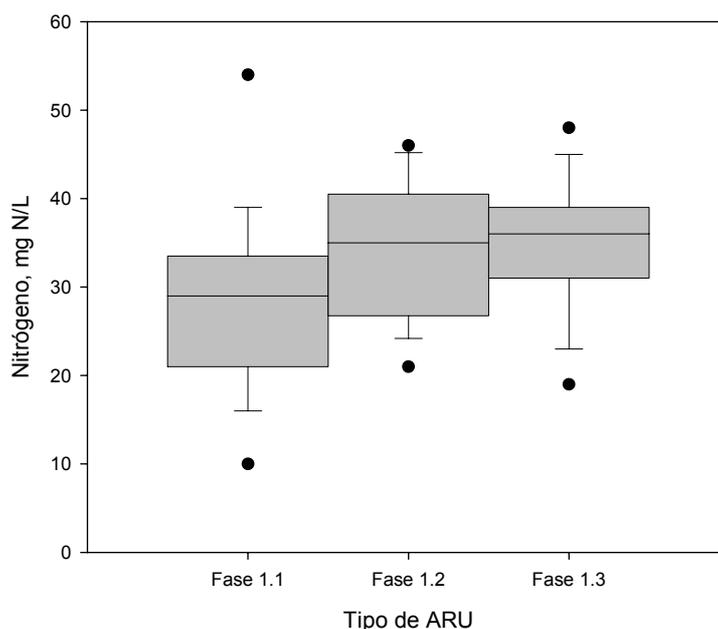


Figura 5.11 Diagramas de caja comparativos del NT del afluente en las tres fases experimentales del primer período de estudio (marzo 1997-julio 1998).

### Fósforo

La Tabla 5.10 resume los valores medios de fósforo obtenidos en cada fase experimental. La Figura 5.12 muestra la evolución temporal del PT del afluente durante el primer período de estudio.

Tabla 5.10. Concentración media e intervalo de variación del PT del afluente en cada fase experimental del primer período de estudio.

Fase	n	media (mg/L)	Intervalo (mg/L)
Fase 1.1	15	6,9	4,7 - 9,4
Fase 1.2	13	7,2	5,3 - 9,3
Fase 1.3	15	9,3	6,8 - 12,8

La Figura 5.12 indica que las concentraciones medias de fósforo fueron aumentado con el paso del tiempo. El valor medio en la Fase 1.1 fue 6,9 mg P/L con CV de 21%, en la Fase 1.2 fue de 7,2 mg P/L, con un CV de 17% y en la Fase 1.3 aumentó a 9,3 mg P/L, con un CV de 21%. Por otro lado, la Figura 5.13 muestra que la distribución de datos de las Fases 1.1 y 1.2 son prácticamente iguales, con una mediana de aproximadamente 7 mg P/L y un intervalo de variación próximo a 4,5 mg P/L, así como una baja dispersión. Por otra parte, la Fase 1.3 tuvo una mediana de 8,5 mg P/L, con un intervalo de variación de 6,0 mg P/L. La variabilidad de los datos de las Fases 1.2 y 1.3 se registra en torno al centro de la distribución, mientras que en el caso de la Fase 1.2 esta variabilidad se produce alrededor del extremo inferior de la distribución. La Fase 1.3 presentó la mayor dispersión y una distribución asimétrica, con los datos concentrados en torno a los valores bajos. Los puntos extremos (*outliers*) que aparecen en el diagrama de caja están muy cercanos a los límites de la distribución, por lo que no afectan excesivamente al cálculo de la media.

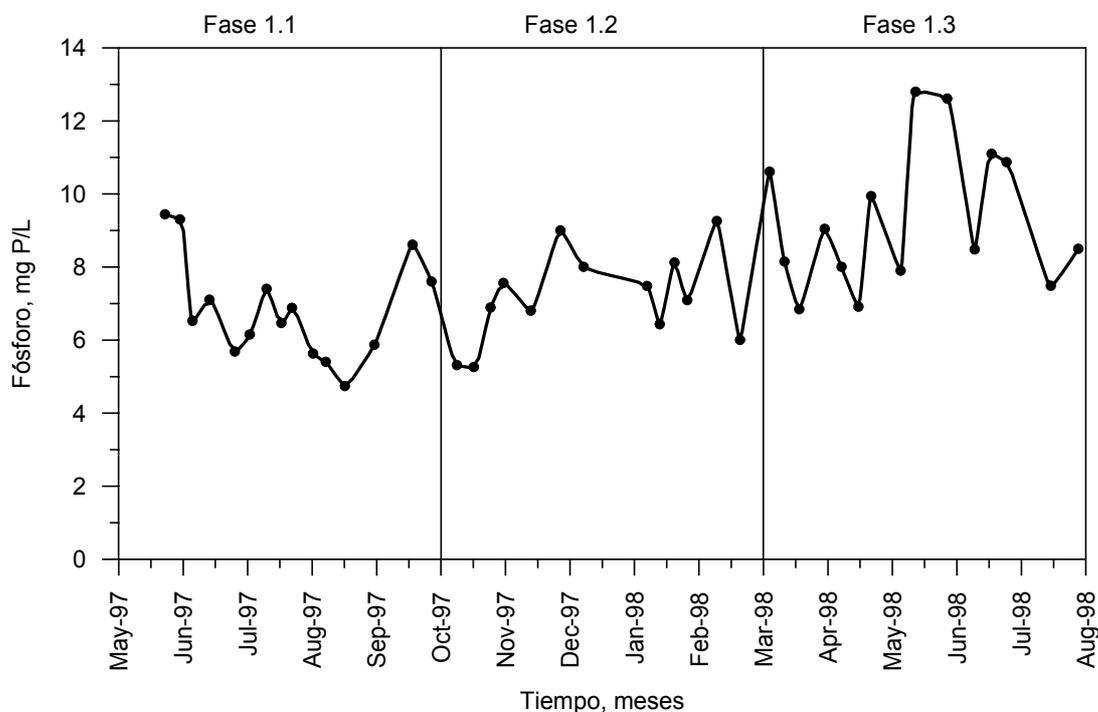


Figura 5.12 Evolución del PT del afluente al reactor durante el primer período de estudio (marzo 1997-julio 1998).

El comportamiento del PT fue muy similar al observado en el análisis cualitativo de la MES. La fracción entre las variables representativas del contenido de materia orgánica (DQO o DBO) y el PT resultaron relativamente bajas en las tres fases. El valor promedio de la fracción DQO/PT para las Fase 1.1 y 1.3 resultó ser de 34 mg/mg, mientras que el valor medio de la Fase 1.2 fue de 29 mg/mg, que se asemejan al rango bajo característico de las aguas urbanas típicas según Henze *et al.* (1987) (20 - 35 mg/mg). La Figura 5.13 permite apreciar mejor las diferencias entre las fases. La mediana de las tres fases se ubica en torno a 32 mg/mg. La Fase 1.1 es la que presenta menor dispersión de los datos, aunque el 50% de éstos se ubican alrededor de los valores más bajos; asimismo, registra un valor extremo muy bajo que escapa del intervalo de confianza del 95%. La Fase 1.2 es la que registra la mayor dispersión de los valores de la fracción, lo

que hace que la variabilidad de los valores esté en torno al centro de la distribución. La dispersión de los datos en la Fase 1.3 también es importante, aunque en menor grado que en la fase anterior, y su variabilidad está centrada respecto a la distribución.

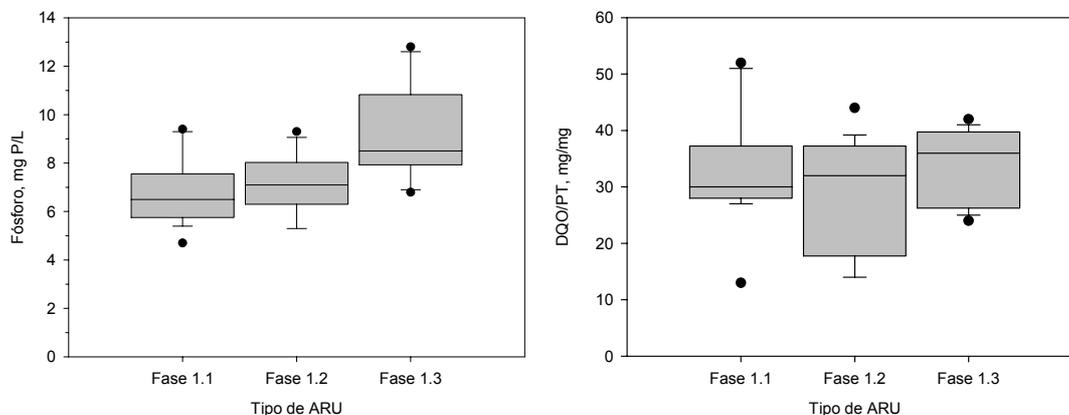


Figura 5.13 Diagramas de caja comparativos del PT y de la fracción DQO/PT del afluente de las distintas fases experimentales del primer período de estudio (marzo 1997-julio 1998).

En resumen, el contenido de PT del afluente al reactor durante este primer período de estudio fue característico de un ARU de tipo medio, de acuerdo con la Tabla 5.3 de Metcalf y Eddy (1991), aunque se puede considerar más bien como agua residual diluida con concentraciones menores a 10 mg P/L según la clasificación de Henze *et al.* (1987).

#### 5.4 CARACTERIZACIÓN DE LA CALIDAD ORGÁNICA

La Tabla 5.11 resume las medias aritméticas, la desviación estándar y los intervalos de variación de cada uno de los componentes de la DQO, del nitrógeno y del fósforo obtenidos en el estudio del ARU durante todo el primer período de estudio.

Tabla 5.11. Componentes de la DQO, del N y del P del afluente del primer período de estudio.

Parámetro	<i>n</i>	media	Desviación estándar	Intervalo
DQOs, mg O <sub>2</sub> /L	43	150	46	52 - 258
DQOp, mg O <sub>2</sub> /L	43	97	66	21 - 331
N-org, mg N/L	43	6,3	4,6	0,10 - 29
NKT, mg N/L	43	32	9,4	10 - 54
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , mg N/L	43	26	7,9	6,0 - 41
N <sub>ox</sub> , mg N/L	43	0,04	0,09	0,00 - 0,57
PRS, mg P/L	43	5,8	1,2	3,7 - 8,4
P-org, mg P/L	43	2,0	1,2	0.54 - 5,7

### Demanda Química de Oxígeno

Los análisis realizados permiten diferenciar dos fracciones de la DQO: la causada por sustancias disueltas que atraviesan un filtro (DQOs) y la asociada a las partículas que quedan retenidas en un filtro (DQOp). La fracción disuelta ha significado del 36 al 86% del total, con una media de 63%, mientras que la fracción particulada representó en promedio un 37% del total. Sin embargo, la Figura 5.14 permite apreciar que mientras la DQOs se mantiene más o menos alrededor de la media (150 mg O<sub>2</sub>/L), la DQOp registra un apreciable aumento en la Fase 1.3. Esto nos hace pensar que la decantación primaria sufrida por el agua residual en las dos primeras fases fue la responsable del menor contenido de DQOp; la agitación aplicada al decantador primario durante la Fase 1.3 evitó que se perdiera parte de esta fracción, aumentando su concentración, incluso en ocasiones por encima de la fracción disuelta.

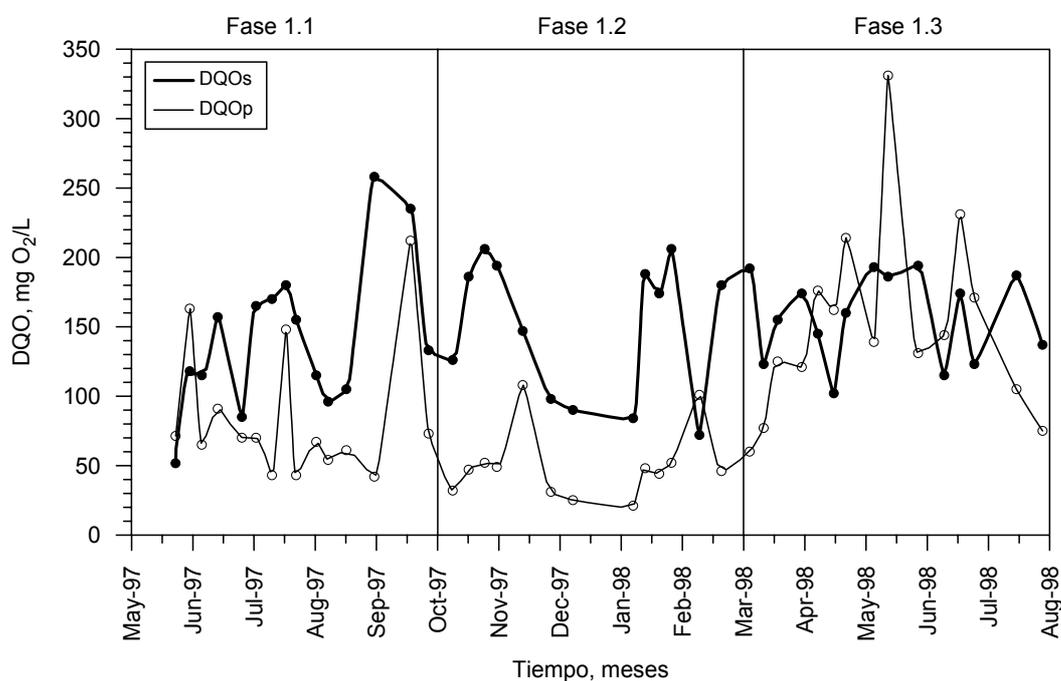


Figura 5.14 Evolución de las fracciones de la DQO del afluente al reactor durante el primer período de estudio (marzo 1997-julio 1998).

La Figura 5.15 presenta la correlación entre la DQO total y sus fracciones, disuelta (DQOs) y particulada (DQOp). El coeficiente de correlación global ( $R^2 = 0,45$ ) entre la DQO y la DQOs, indica una relación poco significativa entre estos dos parámetros. Sin embargo, si analizamos este coeficiente separadamente para cada fase del período, observamos que existe una buena correlación tanto en la Fase 1.1 como en la Fase 1.2 (0,70 y 0,87, respectivamente), mientras que la correlación se pierde en la Fase 1.3 ( $R^2 = 0,18$ ) afectando a la correlación global.

Por otro lado, la correlación entre la DQO y su fracción particulada resultó ser más significativa, con un coeficiente de correlación global de 0,75. En este caso, el coeficiente de correlación en las Fases 1.1 y 1.2 fue moderado ( $R^2 = 0,44$  y 0,59, respectivamente), mientras que la correlación en la Fase 1.3 fue muy buena ( $R^2 = 0,87$ ).

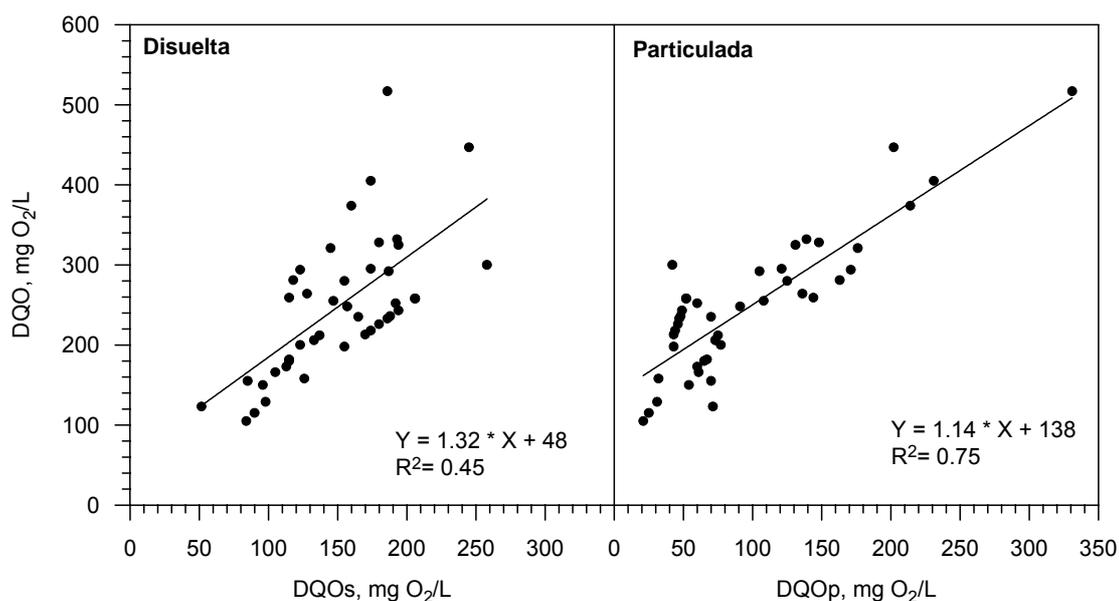


Figura 5.15 Relación entre la DQO total y su fracción soluble (DQOs) y particulada (DQOp) del afluente en el primer período de estudio (marzo 1997-julio 1998).

## Nitrógeno

La concentración de nitrógeno oxidado (nitritos y nitratos) fue casi inapreciable en la mayoría de las muestras de agua residual afluente al reactor biológico. La oxidación bacteriana de la materia orgánica que llega a los depósitos de almacenamiento y de alimentación consume el poco oxígeno disuelto que lleva el agua residual cruda. En estas condiciones, la nitrificación no puede tener lugar y el afluente no alcanza concentraciones apreciables de nitrógeno oxidado. Por otro lado, las aguas residuales urbanas no suelen contener concentraciones apreciables de nitrógeno oxidado. Por ello, la influencia del Nox en la concentración del NT fue insignificante y el promedio de las concentraciones del NKT fue prácticamente el mismo que el promedio del NT.

La concentración de amoníaco fue siempre superior a la concentración de nitrógeno orgánico. La Tabla 5.11 indica que el N amoniacal osciló entre 6,0 y 41 mg N/L, con una media de 26 mg N/L y con una contribución relativa del 46 al 99% del NT. En valor promedio, el N amoniacal representó prácticamente un 80% del NT mientras que el nitrógeno orgánico aportó el 20% restante. Asimismo, el N-org osciló entre 0,10 y 29 mg N/L, con una media de 6,3 mg N/L.

La Figura 5.16 muestra la evolución temporal del N amoniacal y del N orgánico. Como se puede apreciar, el N amoniacal tuvo una evolución temporal muy parecida a la mostrada por el NT, con un comportamiento variable sin ninguna tendencia clara en el tiempo. La concentración media de N amoniacal durante la Fase 1.1 fue de 22 mg N/L, registrándose las concentraciones más bajas del período. La segunda y la tercera fase tuvieron concentraciones muy similares, con medias de 28 mg N/L. Durante la segunda mitad del mes de junio de 1997 se apreció una caída brusca de la concentración de nitrógeno amoniacal que coincidió con episodios de lluvia (24, 27 y 28 de junio y 1, 2 y 3 de julio de 1997). Del mismo modo, durante el mes de diciembre se registró una caída de la concentración que coincidió con días de lluvia (19 y 29 de diciembre de 1997), mientras

que durante la primera semana de enero de 1998 el ARU llegó muy diluida, al coincidir los días de lluvia con el período de vacaciones escolares.

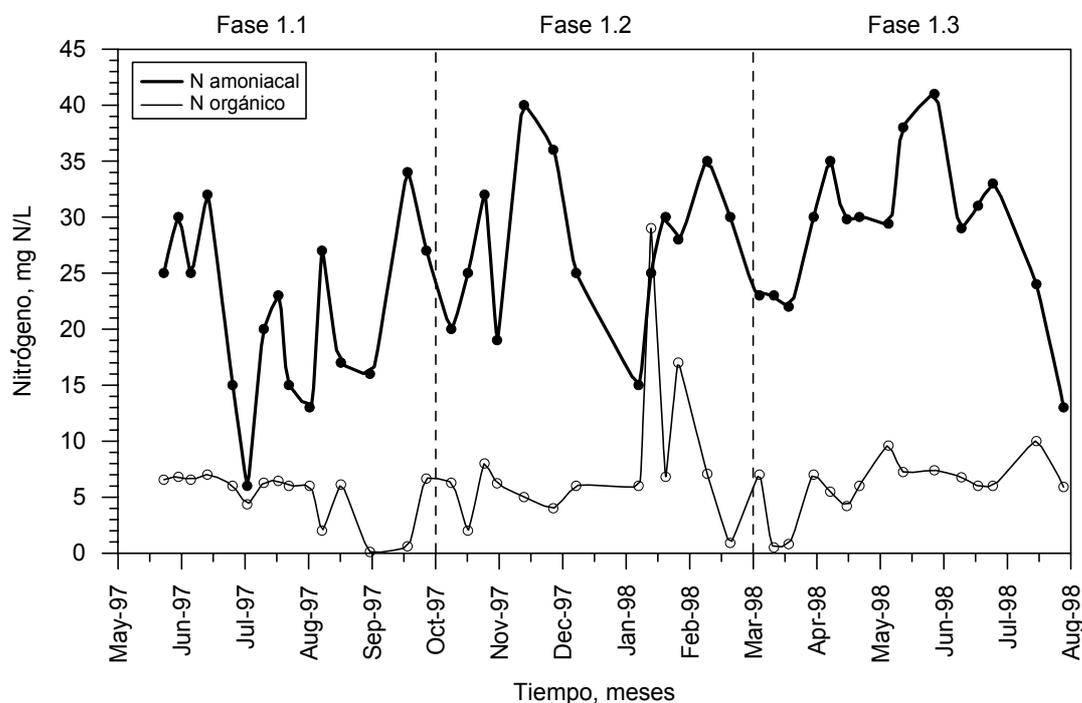


Figura 5.16 Evolución del N amoniacal y del N-org del afluente al reactor durante el primer período de estudio (marzo 1997-julio 1998).

La evolución del N-org fue gradual (excluyendo el máximo de los días 13 y 26 de enero), oscilando levemente en el intervalo de 0,10 y 10 mg N/L con una media de 6,0 mg N/L. Los días 13 y 26 de enero de 1998 se registraron picos de concentración muy elevados. No fue posible determinar las razones de las concentraciones tan elevadas registradas esos días.

La Figura 5.17 muestra la correlación entre el N amoniacal y el N total. Como se observa, existe una buena correlación entre ambos parámetros. La pendiente de la recta (1,04) indica que la mayor parte del N total se encuentra en forma de N amoniacal. La concentración de NKT osciló entre 10 y 54 mg N/L con una media de 32 mg N/L. La mayor parte del NKT se encuentra en forma de N amoniacal, con una proporción de 80% y una menor parte en forma de N-org, con una proporción de 20%.

## Fósforo

La Tabla 5.11 muestra los valores de las medias aritméticas, la desviación estándar y el rango de variación de los componentes de fósforo analizados (PRS y P-org). La concentración de PRS osciló entre 3,7 y 9,2 mg P/L, con una media de 5,9 mg P/L. El PRS fue siempre claramente superior al P orgánico; el PRS representó del 58 al 92% del P total, y el P-org del 8 al 42%. En promedio, el PRS representó alrededor de un 76% mientras que el P-org un 24%. Las concentraciones medias de PRS y de P-org (5,9 y 1,9

mg P/L, respectivamente) son características de un agua residual urbana de tipo diluido (6,0 y 2,0 mg P/L, respectivamente) según la bibliografía (Henze *et al.* 1987).

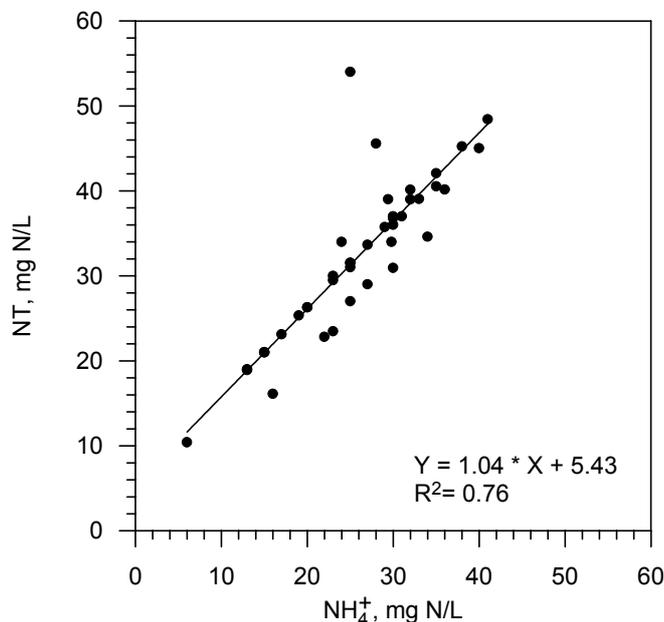


Figura 5.17 Relación entre NT y el N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> del afluente en el primer período de estudio (marzo 1997-julio 1998).

La Figura 5.18 ilustra la evolución temporal de los dos componentes del fósforo. Como se puede apreciar, el PRS tuvo una evolución en el tiempo muy parecida a la mostrada por el PT y por la MES. Las concentraciones medias de PRS fueron aumentando de fase en fase. Es decir, el valor medio en la Fase 1.1 fue 5,1mg P/L, con CV de 15%, en la Fase 1.2 fue de 5,8 mg P/L, con un CV de 22%, y en la Fase 1.3 aumentó a 6,8 mg P/L, con un CV de 18%.

Por otro lado, el P-org osciló alrededor de un valor medio de 1,9 mg P/L. La variabilidad de este componente fue mayor que en el caso del PRS, registrando un CV de 52% frente al 22% del PRS. La dispersión de los datos en las Fases 1.1 y 1.3 fue mayor que en la Fase 1.2, aunque centrada respecto a la distribución de los datos. Los datos de la Fase 1.2 oscilaron alrededor de concentraciones más bajas. La concentración media en la Fase 1.1 fue de 1,7 mg P/L, con CV de 54%, en la Fase 1.2 fue de 1,4 mg P/L, con un CV de 55%, y en la Fase 1.3 aumentó a 2,4 mg P/L, con un CV de 40%.

La Figura 5.19 muestra la correlación existente entre el PT y sus componentes (PRS y P-org). Existe una buena relación entre el PRS y el PT, en la que las variaciones del PT dependen claramente de las variaciones del PRS. La relación del P-org con el PT es moderada ( $R^2 = 0,56$ ), siendo su contribución al PT de tan solo un 24% en promedio.

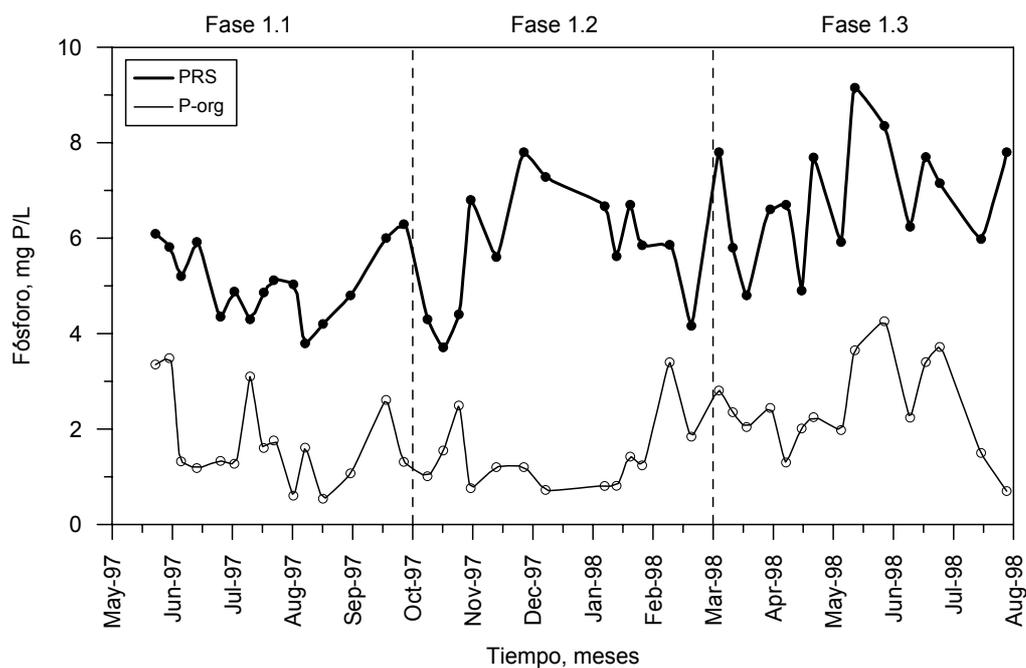


Figura 5.18 Evolución del PRS y del P-org del afluente al reactor durante el primer periodo de estudio (marzo 1997-julio 1998).

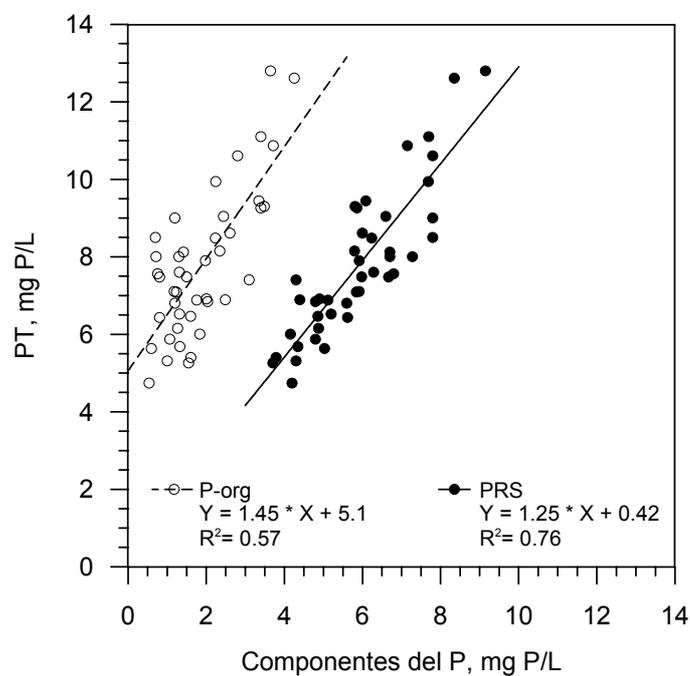


Figura 5.19 Relación entre PT y sus componentes (PRS y P-org) del afluente en el primer periodo de estudio (marzo 1997-julio 1998).

## 5.5 RESUMEN

El agua residual afluente al reactor biológico fue de concentración débil con tendencia a media. Las características físico-químicas del afluente fueron diferentes durante las distintas fases del estudio, debido a las modificaciones realizadas en los dispositivos de regulación del agua afluente al reactor (depósito auxiliar, decantador primario y depósito de alimentación).

Los tratamientos primarios a los que fue sometida el agua de forma incidental, antes de ser bombeada al reactor en las Fases 1.1 y 1.2 (decantación), eliminaron una parte importante de las partículas orgánicas del ARU, provocando una reducción significativa de su MES y su DQO. El mecanismo de aireación no fue suficiente para generar por sí solo un incremento de la concentración de MES, causando además una mayor variabilidad de los datos durante esta fase (Fase 1.2).

La agitación del agua durante su permanencia en el decantador primario (Fase 1.3) favoreció considerablemente el aumento de estos dos parámetros de calidad, con incrementos del 200% para la MES y del 45% para la DQO.

La DQOs no se vio afectada por las variaciones de la concentración de MES, manteniendo una concentración media de 150 mg/L a lo largo del primer período de estudio, con una contribución aproximada del 65% de la DQO total. Sin embargo, la DQOp varió de acuerdo con la variación de la MES. Durante las dos primeras fases se mantuvo relativamente constante, en torno a un valor medio de 60 mg/L, mientras que en la Fase 1.3 experimentó un aumento apreciable ( $\approx 120\%$ ), favorecido por el incremento de la MES. Esto se debió a que la materia disuelta estuvo integrada principalmente por material inorgánico, mientras que la MES fue predominantemente de carácter orgánico.

El N amoniacal fue la principal forma de nitrógeno presente en el agua residual afluente. La concentración de N amoniacal representó una media del 80% del NT y fue además 4 veces superior a la concentración de N-org. La concentración media de NT no experimentó una modificación significativa a medida que aumentó la MES, aunque la fracción DQO/NT sí disminuyó durante la aireación del ARU, debido a la disminución de la concentración de DQO durante esta fase.

Las concentraciones de los compuestos inorgánicos oxidados del N (nitritos y nitratos) fueron insignificantes a lo largo de todo este período. La aireación del agua residual durante la Fase 1.2 no modificó apreciablemente su concentración, alcanzando un valor medio de 0,10 mg N/L, frente a los 0,02 mg N/L de las Fases 1.1 y 1.3.

La concentración de PT aumentó paulatinamente a lo largo del estudio, hasta alcanzar sus valores más elevados durante la Fase 1.3 (agua residual sin decantación), lo que supuso un aumento del 35% con respecto a la concentración media de las fases anteriores. A pesar de este incremento, la fracción DQO/PT (34 mg/mg) no alcanzó el valor recomendado en la bibliografía para asegurar una EBN eficiente (superior a 50 mg/mg).

El PRS fue la principal especie química de P del agua residual afluente, con una media del 76% del PT, mientras que el P-org representó el 24% restante. No se pudo observar una relación clara entre el incremento de la MES y el aumento de los componentes del PT, debido a que el PT estuvo constituido mayoritariamente por sustancias disueltas.

La alcalinidad y el pH del líquido de mezcla registraron valores usuales para la actividad biológica, sin que se pudiera observar una influencia apreciable del incremento de la MES sobre los valores del pH o de la alcalinidad, que se mantuvieron en torno a 8,0 y 363 mg CaCO<sub>3</sub>/L, respectivamente.

Las concentraciones más bajas de los parámetros característicos del ARU se registraron sobre todo en días festivos o después de episodios de lluvia. También se registraron esporádicamente concentraciones extremas (altas o bajas) de estos parámetros. Para evitar una desviación excesiva de los valores medios de esos parámetros, se decidió no tenerlos en cuenta en algunos de los cálculos o valoraciones realizadas.