

CAPÍTULO 5

CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DEL AFLUENTE EN LA PRIMERA FASE EXPERIMENTAL

En este capítulo se estudia la composición físico-química del ARU utilizada en la primera fase experimental. Esta fase incorporó algunas modificaciones a la instalación utilizada previamente por Escaler (1997): la agitación continua del ARU en los depósitos previos al reactor biológico y la eliminación de la aireación en el depósito de reserva. Estas dos modificaciones se realizaron con el fin de aumentar el contenido de sólidos y la DQOFB del afluente del RBS.

Con el objetivo de realizar un estudio comparativo de los cambios producidos en la composición del agua residual por las mencionadas modificaciones de la instalación, se realizó un muestreo del efluente del depósito de alimentación en las mismas condiciones utilizadas por Escaler (1997). Estos datos se recogen y analizan en este capítulo y se comparan con los obtenidos en el trabajo de Escaler y con los obtenidos en las instalaciones modificadas durante la primera fase experimental.

5.1. CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DEL ARU SOMETIDA A DECANTACIÓN PRIMARIA (estudio preliminar)

5.1.1. Características generales

La caracterización general del ARU se ha realizado mediante los parámetros identificados como básicos para describir la calidad de un afluente: MES, DQO, NT, PT, pH y Alc. Este estudio se ha llevado a cabo haciendo uso de algunas de las herramientas de la estadística descriptiva. Con esta descripción básica se ha obtenido un marco de referencia sobre el cual analizar las características específicas (componentes) de cada parámetro.

La Tabla 5.1 muestra las medias aritméticas, las desviaciones típicas (s) y el intervalo de variación de cada uno de los parámetros de calidad básicos. El análisis cubre los meses de febrero a junio de 1998. La Tabla 5.2 presenta los valores típicos de algunos de los constituyentes de las ARU referenciados en Metcalf y Eddy (1991). De acuerdo con estos autores, el agua residual puede clasificarse como fuerte, media o débil, dependiendo de las concentraciones de sus constituyentes. Sin embargo, es conveniente recordar que la Tabla 5.2 sólo sirve como una guía de referencia general, 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.

Comenzaremos por analizar la MES del afluente, que osciló entre 30 y 99 mg/l con un valor medio de 59 mg/l. Los valores observados de la MES del afluente decantado pueden considerarse muy inferiores a los presentados por Metcalf y Eddy (1991), que oscilan entre 100 y 350 mg/l (Tabla 5.2).

La distribución de frecuencias de los valores de MES (Figura 5.1), muestra que más del 60 % de las muestras del afluente decantado se encuentra entre 40 y 70 mg/l. El proceso de decantación primaria sufrido por el afluente es el principal responsable de estos valores tan bajos. En las condiciones adoptadas, los sólidos del afluente tenían la oportunidad de decantar en tres ocasiones: en el depósito receptor, en el de reserva y en el de alimentación.

Tabla 5.1. Parámetros básicos de calidad del afluente decantado, muestras de febrero a junio de 1998.

Parámetro	n	media mg/l	s mg/l	cv	intervalo mg/l
MES	24	59	19	0,32	30 – 99
DQO	24	273	81	0,30	154 – 517
NT	24	37	11	0,31	10 – 67
PT	24	8,4	2,0	0,24	5,2 – 13
pH	24	7,9	0,3	0,04	7,3 - 8,3
Alc	24	375	45	0,12	228 – 452

Tabla 5.2. Composición típica de un agua residual urbana según Metcalf y Eddy (1991).

Parámetro	Concentración (mg/l)		
	Fuerte	Media	Débil
MES	350	220	100
DQO	1000	500	250
NT	85	40	20
PT	15	8	4
Alc	200	100	50

Un razonamiento similar se puede aplicar para discutir el contenido de materia orgánica, medida como DQO. La DQO varió entre 154 y 517 mg/l, con un valor medio de 273 mg/l. La desviación típica de este parámetro es 81 mg/l, mucho mayor que el valor correspondiente a la MES (19 mg/l). Sin embargo, si se observa el coeficiente de variación (cv) de ambos parámetros vemos que la variabilidad de la MES y la DQO es la misma, es decir, de 0,32 y 0,30 respectivamente. Como se puede observar en el histograma de frecuencias de la Figura 5.1, un 20,8 % de las muestras se encuentra por debajo de 220 mg/l, un poco más del 65 % se encuentra entre 220 y 370 mg DQO/l, y apenas el 12,5 % restante se encuentra por encima de 370 mg/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. Hay que recordar que la MES de un ARU llega a contribuir con más del 60 % de su DBO (Metcalf y Eddy, 1995).

El NT varió entre 10 y 67 mg N/l, con una media de 37 mg N/l y un cv de 0,31 que es prácticamente igual al de los otros dos parámetros discutidos anteriormente. Durante todo el estudio del ARU decantada, el 50% de los valores se registraron entre 34 y 46 mg N/l, y más de 70 % de ellos entre 20 y 40 mg N/l aproximadamente. La mayor parte

del NT de un ARU lo constituye el NKT que proviene de las heces humanas (urea y aminoácidos). Tanto el promedio para el NT como el registrado para la DQO muestran valores muy próximos a los indicados por Metcalf y Eddy (1991) para un ARU de concentración débil. La relación DQO/NKT en este ARU fue en promedio 7,4 mg/mg, menor incluso que la presentada por Escaler (8,7 mg/mg). El valor observado en el ARU del presente estudio es a su vez inferior al recomendado en la bibliografía (Abu-gharah y Randall, 1991) para una correcta eliminación de nutrientes (12 mg/mg).

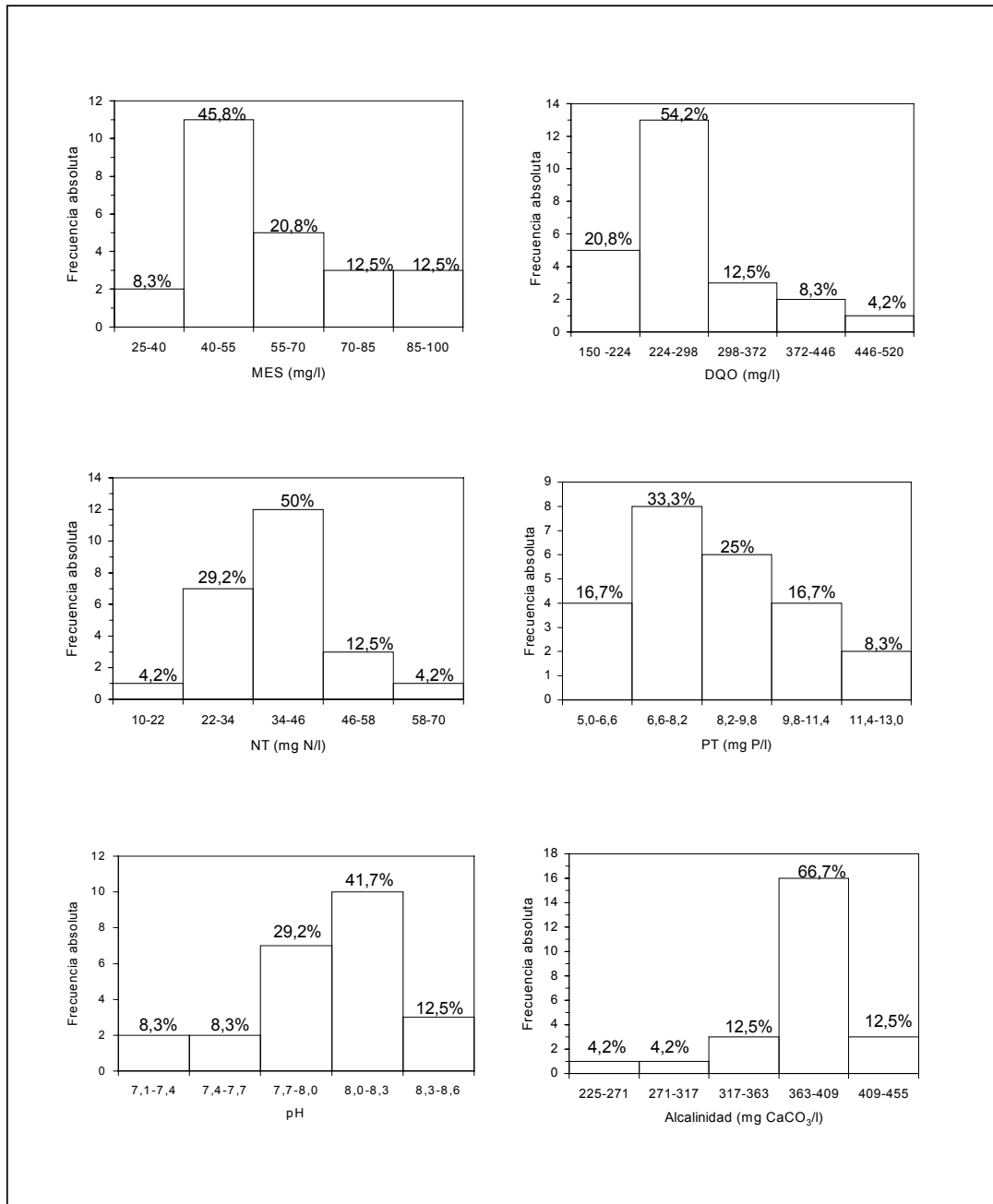


Figura 5.1. Diagrama de frecuencias de algunos de los parámetros medidos en el afluente decantado.

El PT varió entre 5,2 y 12,8 mg P/l, con una media de 8,4 mg P/l. De manera similar al NT, las actividades humanas causan un gran incremento en la concentración de fósforo. Como vemos, el PT es el primer parámetro que encontramos en

correspondencia con el valor indicado para un ARU de concentración media (8,0 mg P/l) según Metcalf y Eddy (1991). La desviación típica es de 2,0 mg P/l y el cv de 0,24, ambos menores que los parámetros anteriormente analizados. La distribución de frecuencias del PT nos indica que el 75 % de los datos se encuentran entre 6,6 y 11 mg P/l. Finalmente, el promedio de la relación DQO/PT (33 mg/mg), resulta muy inferior al valor recomendado en la bibliografía (77 mg /mg) para una óptima eliminación simultánea de nutrientes (Danesh y Oleszkiewicz *et al.*, 1996).

El pH presentó un intervalo de 7,3 a 8,3, lo que está de acuerdo con el intervalo óptimo de crecimiento para los microorganismos (6,5 a 8,5). Como se muestra en la Figura 5.1, el 70% de las muestras se encuentra dentro del intervalo de pH de 7,7 a 8,3. Estos valores de pH próximos a 8,0 pueden ser explicados si recordamos que las aguas de abastecimiento de Barcelona provienen en gran parte de terrenos calcáreos como el del Llobregat, por lo que el agua suele tener considerables concentraciones de bicarbonato en disolución. Por otro lado, este parámetro es el que menos variación registra respecto a su media (7,9) con una desviación típica de 0,3 y un cv de 0,04. Los limitados cambios de pH así como la naturaleza alcalina del agua residual pueden explicarse mejor observando los valores de la alcalinidad resumidos en la Tabla 5.1. A lo largo de todo el estudio se registraron altas concentraciones de alcalinidad, las cuales variaron dentro del intervalo de 228 a 452 mg CaCO₃/l, con una media de 375 mg CaCO₃/l. Asimismo, más del 60 % de los valores se encuentran entre 360 y 410 mgCaCO₃/l (Figura 5.1). La media de este parámetro está muy por encima del intervalo de variación típico presentado por Metcalf y Eddy (1991) para las aguas residuales domésticas (50-200 mg CaCO₃).

La Tabla 5.3 muestra un estudio comparativo de los valores obtenidos para el ARU decantada y analizada en el presente estudio y en el de Escaler (1997). Con excepción de la MES y la alcalinidad, los parámetros estudiados en ambos afluentes muestran medias y desviaciones típicas bastante parecidas.

Tabla 5.3. Comparación entre el ARU sometida a decantación primaria en el presente estudio y el ARU estudiada por Escaler (1997).

Parámetro	n		media (mg/l)		s (mg/l)		cv		intervalo (mg/l)	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
MES	24	23	59	80	19	58	0,32	0,72	30 - 99	16 - 224
DQO	24	23	273	263	81	100	0,30	0,38	154 - 517	70 - 480
NT	24	22	37	30	11	9,7	0,31	0,32	10 - 67	5,7 - 45
P-PO ₄	24	23	6,3	6,8	1,0	2,0	0,24	0,29	3,9 - 8,4	1,8 - 11
pH	24	21	7,9	8,0	0,3	0,2	0,04	0,02	7,3 - 8,3	7,3 - 8,3
Alc	24	16	375	348	45	74	0,12	0,21	228 - 452	128 - 414

A) ARU sometida a decantación primaria en el presente estudio.

B) ARU sometida a decantación primaria en el estudio de Escaler (1997)

Cabe señalar que el PT no fue determinado en el trabajo de Escaler (1997), por lo que el parámetro de comparación para el fósforo es, en este caso, el ortofosfato. Los valores de ortofosfato obtenidos en el presente estudio variaron entre 3,9 y 8,4 mg P/l,

con una media de 6,3 mg P/l y una desviación típica de 1 mg P/l. A pesar de que la amplitud del intervalo de variación observada para este componente por Escaler fue superior al obtenido en el presente trabajo (9,2 frente a 4,5 mg P/l), los promedios en ambos estudios parecen ser prácticamente iguales. Estas observaciones pueden confirmarse estadísticamente por medio de pruebas paramétricas.

A partir de los resultados obtenidos en cada una de las pruebas F realizadas para un nivel de significación de 0,05 (es decir, $\alpha=0,05$), se utilizó el estadístico t para aceptar o rechazar la hipótesis nula que asume la igualdad entre las medias de ambas poblaciones con un nivel de significación de 0,05. El procedimiento de estas pruebas de hipótesis se describe en el Anexo 1.

La hipótesis nula fue rechazada para los sólidos en suspensión con lo cual se acepta la hipótesis alternativa de que la MES del ARU estudiada en la presente tesis tiene una varianza diferente a la del ARU caracterizada por Escaler. Este resultado no es de sorprender si se observan los intervalos de variación para este parámetro en ambos casos (Tabla 5.3). En Escaler, la amplitud del intervalo de variación de la MES fue mucho mayor (208 mg /l) que el obtenido en este estudio (69 mg MES/l). Asimismo, el promedio de las desviaciones típicas de las muestras es considerablemente mayor en Escaler (58 mg/l) que en el presente estudio (19 mg/l). Por lo tanto, el afluente del estudio de Escaler, presenta mayor variabilidad respecto a la MES. Sin embargo, no se puede afirmar que las medias poblacionales de este parámetro sean estadísticamente diferentes.

La respuesta del ortofosfato y la alcalinidad respecto a los estadísticos F y t fue la misma que la mostrada por la MES. Es decir, ambos parámetros también tienen varianzas diferentes y medias poblacionales iguales, siendo el afluente de Escaler (1997) el que más variabilidad presenta en los valores de estos parámetros. Por lo tanto, se puede afirmar que a pesar de las diferencias en la variabilidad de las muestras, el ARU en los dos estudios no es estadísticamente diferente en cuanto a concentración de MES, ortofosfato y alcalinidad.

El resultado de la prueba F aplicada a la DQO, el NT y el pH muestra que los afluentes de ambos estudios tienen varianzas iguales para cada uno de estos parámetros. De la misma manera, se acepta la hipótesis nula de que las medias poblacionales de la DQO y el pH son iguales; sin embargo, el NT resultó tener una media poblacional diferente en ambos estudios.

En conclusión podemos decir que, a excepción del NT, los afluentes de ambos estudios son estadísticamente iguales. Esto se explica porque el ARU proviene de la misma zona urbana y es sometida al mismo pretratamiento. Además, las temporadas de muestreo coinciden en su mayor parte: el estudio de Escaler fue llevado a cabo de diciembre de 1996 a julio de 1997, mientras que el estudio de caracterización de este mismo tipo de afluente se realizó de febrero a junio de 1998.

5.1.2. Caracterización de los componentes de los parámetros básicos de calidad

La Tabla 5.4 muestra las medias aritméticas, las desviaciones típicas y el intervalo de variación de cada uno de los componentes físico-químicos caracterizados en este trabajo.

Tabla 5.4. Componentes físico-químicos del afluente del presente estudio.

Parámetro mg/l	n	media mg/l	desviación mg/l	intervalo mg/l
DQOs	24	135	36	69 – 220
NKT	24	37	11	10 – 67
N-NH ₄ ⁺	24	30	8,7	7,6 – 53
N-org	24	7,2	4,6	1-19
N _{ox} (a)	24	0,05	0,1	0,0 – 0,6
PRS	24	6,3	1,0	3,9 – 8,4
P-org (b)	24	2,2	1,4	0,3 – 5,7

a) N_{ox} se refiere a la suma de N-NO₃⁻ y N-NO₂⁻

b) P-org se refiere a la suma de fósforo orgánico disuelto y fósforo orgánico particulado.

DQOs

La DQO soluble del afluente osciló entre 69 y 220 mg/l, con una media de 135 mg/l. La DQOs representó del 42 al 56 % de la DQO total, con una media de 50%. Por otro lado, la DQOs presentó una desviación típica de 35,9 mg/l y un coeficiente de variación de 0,27, menor que el porcentaje de variación de la DQO total (0,30). Es decir, la DQO soluble presentó mayor estabilidad a lo largo del estudio que la DQO total. La Figura 5.2 muestra la correlación existente entre la DQOs y la DQO del afluente. La DQOs tiende a incrementarse con el aumento de la DQO total, con un coeficiente de determinación de 0,86. La relación DQOs/DQO tuvo un intervalo de variación pequeño, con 14 unidades de diferencia entre el valor mínimo y el máximo.

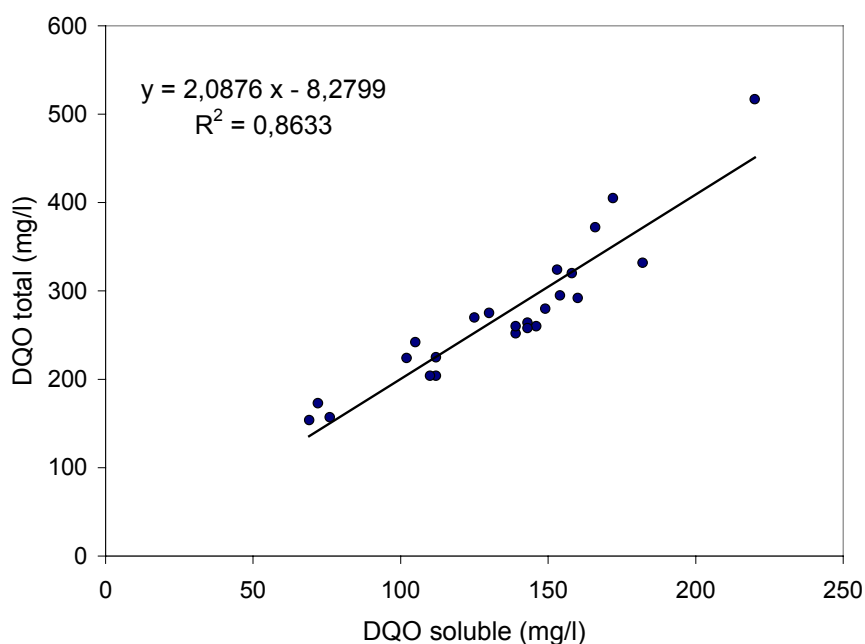


Figura 5.2. Correlación entre la DQOs y la DQO del afluente sometido a decantación primaria.

Componentes del N

La concentración de N oxidado (suma de las concentraciones de N-NO_3^- y de N-NO_2^-) es casi inapreciable en las ARU, debido a que la nitrificación del amoníaco no puede tener lugar en ausencia de oxígeno. Por otro lado, la aireación realizada en el tanque de reserva no permitió la activación de este proceso, debido a que las condiciones ambientales en este depósito no eran adecuadas para el desarrollo biológico de los nitrificantes. Por lo tanto, esta discusión se centrará sobre todo en las otras formas del N.

La concentración del N-NH_4^+ siempre fue mayor a la concentración de N-org, oscilando entre 7,6 y 53 mg N/l, con una media de 30 mg N/l. El N-org osciló entre 1,0 y 19 mg N/l, con una media de 7,3 mg N/l. Por su parte el NKT osciló entre 10 y 67 mg N/l, con una media de 36,9 mg N/l. El N-NH_4^+ representó del 62 al 97 % del NKT, con una media del 81%. Asimismo, el N-org tuvo una contribución relativa en el NKT que osciló entre 0 y 38%, con una media de 19%. La descomposición bacteriana de material vegetal y animal proteínico conlleva un proceso de amonificación que es el principal responsable del mayor contenido de amonio en el ARU. La correlación existente entre el NKT y el N-NH_4^+ se muestra en la Figura 5.3. A excepción de 3 puntos alejados de la recta, los demás valores guardan una buena correlación lineal.

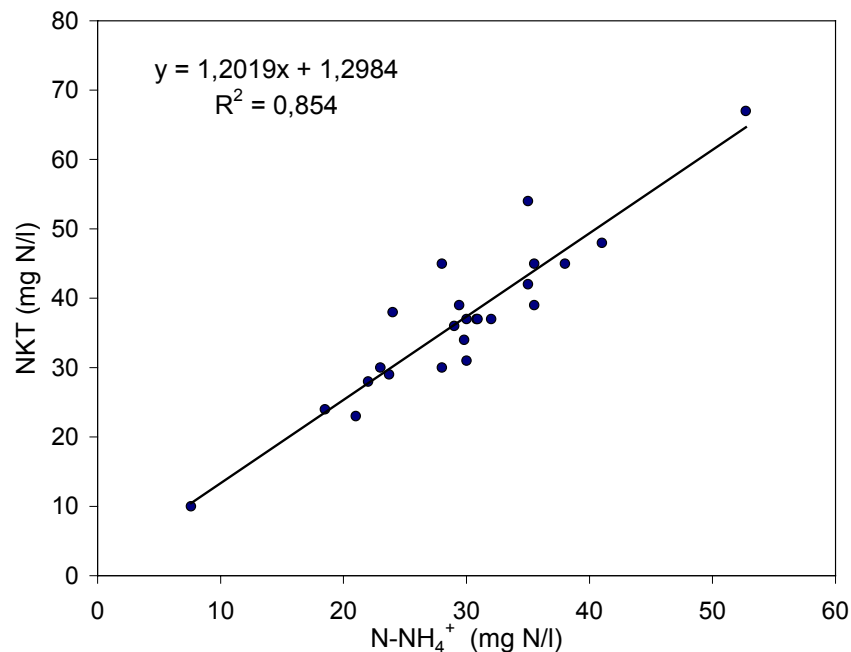


Figura 5.3. Correlación entre el NKT y el N-NH_4^+ del afluente sometido a decantación primaria.

Comparación de los componentes de N obtenidos en el presente estudio y los obtenidos en Escaler (1997)

A continuación se comparan los componentes de N obtenidos en este estudio, con los obtenidos por Escaler (Tabla 5.5).

Tabla 5.5. Comparación de los componentes de N del ARU analizada en el presente trabajo y en el de Escaler (1997).

Parámetro	n		media (mg/l)		s (mg/l)		cv		intervalo (mg/l)	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
NKT	24	22	37	30	11	9,7	0,3	0,3	10 - 67	5,6 - 44
N-NH ₄ ⁺	24	23	30	29	8,7	7,9	0,3	0,3	7,6 - 53	4,5 - 37
N-org	24	22	7,3	5,2	4,6	4,7	0,6	0,9	1 - 19	0 - 14

A) ARU sometida a decantación primaria en el presente estudio.

B) ARU sometida a decantación primaria en el estudio de Escaler (1997)

Las concentraciones de NKT en el estudio de Escaler tuvieron un promedio de 30 mg N/l, muy similar al obtenido en el agua residual analizada en el presente trabajo. Cabe destacar que el NKT fue prácticamente igual al NT, ya que la presencia de N-NO₃⁻ y N-NO₂⁻ fue despreciable en ambos afluentes. Por otra parte, el NKT del presente estudio tiene mayor desviación típica que en el de Escaler (1997), 11 mg N/l frente a 9,7 mg N/l respectivamente. Sin embargo, esta desviación representa una misma variación relativa en ambos estudios (0,3). El nitrógeno amoniacal tuvo un promedio de 29 mg N/l en el trabajo de Escaler. Este valor es prácticamente el mismo que el obtenido en el presente trabajo (30 mg N/l). En Escaler, el N-NH₄⁺ varió entre 4,5 y 37 mg N/l, mientras que en el presente trabajo varió de 7,6 a 53 mg N/l.

La concentración media de N-org en el agua residual caracterizada por Escaler fue de 5,2 mg N/l, inferior a la obtenida en el afluente de este estudio preliminar (7,3 mg N/l). Por otro lado, los promedios de las desviaciones típicas de este componente fueron prácticamente iguales en ambas ARU.

La comparación estadística de ambos estudios no muestra una diferencia significativa entre las varianzas del N-NH₄⁺ y del N-org. Asimismo, se acepta la hipótesis nula de igualdad entre las medias. Por todo lo anterior se puede afirmar que no hay diferencia significativa entre los afluentes de ambos estudios en cuanto al contenido de N-NH₄⁺ y del N-org.

Componentes del P

El PRS del afluente decantado en el presente estudio osciló entre 3,9 y 8,4 mg P/l, con una media de 6,3 mg P/l. El contenido de PRS siempre fue mayor que el de P-org, el cual varió entre 0,3 y 5,7 mg P/l, con una media de 2,2 mg P/l. El PRS representó del 56 al 95 % del PT, con una media de 76%, mientras que el P-org mostró una contribución relativa del 5 al 44 %, con una media del 26 %. El valor de la relación DQO/P-soluble (43 mg/mg) fue prácticamente igual al valor obtenido por Escaler (39 mg/mg). Ambos valores son inferiores a los recomendados en la bibliografía para el óptimo desarrollo del proceso de EBIF, que oscilan entre 50 y 59 mg/mg Ekama y Marais (1984).

Los detergentes son la principal fuente del contenido de ortofosfatos del ARU. El PT de un ARU puede ser dividido de forma básica en P soluble y P insoluble, donde el P soluble es en su mayor parte PRS. La Figura 5.4 muestra la relación entre el PT y el PRS. La dispersión de los puntos respecto a la recta permite afirmar que existe una

gran variabilidad en la relación de ambos parámetros y, por lo tanto, la correlación no queda del todo clara. Las medias aritméticas, las desviaciones típicas y los intervalos de variación de los componentes del P-org, se muestran en la Tabla 5.6.

Tabla 5.6. Componentes del P-org en el ARU analizada en el presente estudio.

Parámetro mg/l	n	media mg P/l	desviación mg P/l	intervalo mg P/l
POD (a)	24	0,54	0,5	0,01 - 1,9
POP (b)	24	1,6	1,1	0,1 - 4,2

a) Fósforo orgánico disuelto
b) Fósforo orgánico particulado

El POD varió entre 0,01 y 1,9 mg P/l, con una media de 0,54 mg P/l, mientras que el POP fluctuó entre 0,13 y 4,2 mg P/l, con una media de 1,62 mg P/l. La relación media del POD respecto al P-org fue del 25 % mientras que el POP significó un 75% del P-org.

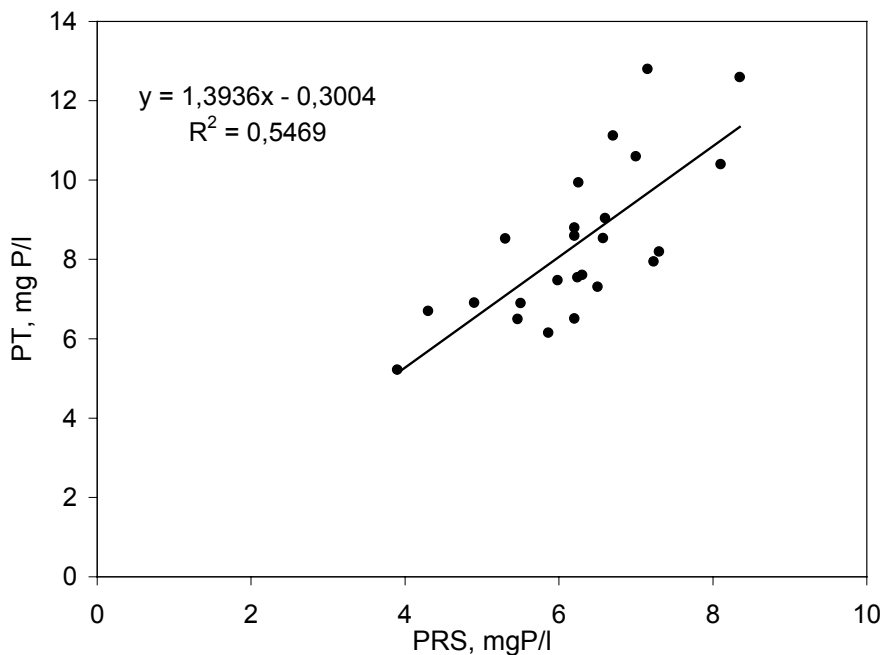


Figura 5.4. Correlación entre el PRS y el PT en el ARU sometida a decantación primaria en este estudio.

La Figura 5.5 presenta la relación entre el P-org y el POP y muestra la excelente correlación lineal entre ambos elementos. La pendiente de la recta de regresión es cercana a la unidad, mientras que la ordenada al origen se aproxima a cero. Estos resultados evidencian que las variaciones en el contenido de P-org dependieron casi exclusivamente de las variaciones del fósforo orgánico particulado.

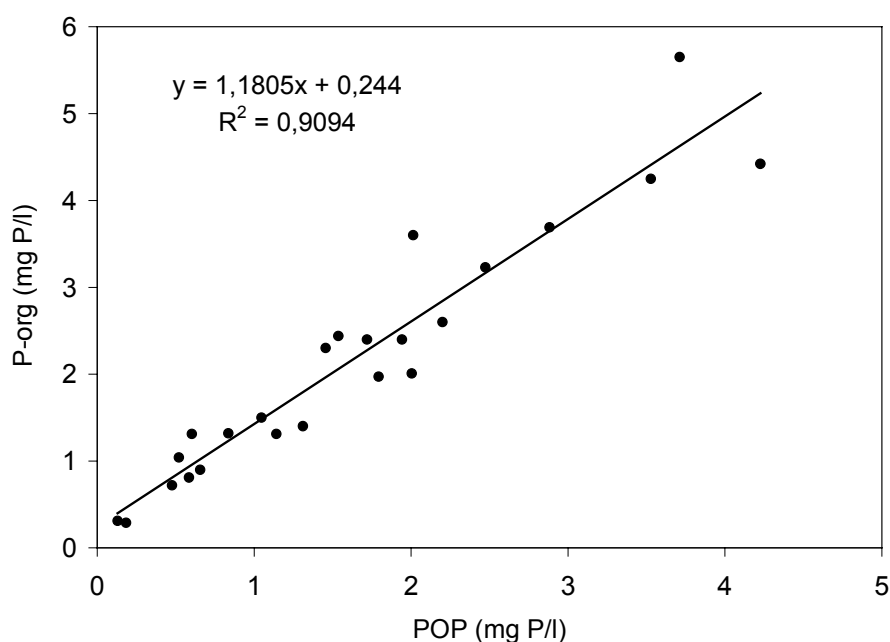


Figura 5.5. Correlación entre el P-org y el POP en el ARU sometida a decantación primaria en este estudio.

5.2 CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DEL ARU SIN DECANTACIÓN PRIMARIA (primera fase experimental)

5.2.1 Características generales

Para la descripción del afluente utilizado durante la primera fase experimental, seguiremos una secuencia similar a la realizada en el apartado anterior. Asimismo, se compararán los datos obtenidos en esta primera fase con los obtenidos por el afluente sometido a decantación primaria y aireación.

La Tabla 5.7 muestra la media aritmética, la desviación típica y el intervalo de variación de cada uno de los parámetros de calidad básicos registrados en el período de abril de 1999 a los primeros días del mes de octubre de 1999. Asimismo, la Figura 5.6 presenta diagramas de caja para la MES, la DQO, el NT y el PT. Estos diagramas de caja se realizaron con el objetivo de ilustrar gráficamente las diferencias descritas en el texto entre el afluente analizado en la fase de estudio preliminar (afluente decantado) y el afluente de la primera fase experimental (afluente sin decantar).

La MES del afluente sin decantar varió entre 152 y 468 mg/l, con una media de 282 mg/l. La amplitud del intervalo de variación sufrió un incremento considerable respecto al ARU sometida a decantación primaria. La amplitud del intervalo de variación del ARU de la primera fase fue de 316 mg/l, mientras que la amplitud obtenida en el afluente decantado fue de 69 mg/l, lo que representa un incremento de 3,5 veces. El diagrama correspondiente de la Figura 5.6, muestra la marcada diferencia entre la dispersión de los datos de ambos afluentes. Asimismo, la desviación típica de la MES en el afluente de la primera fase fue superior al presentado por este mismo parámetro en el afluente decantado, 87 mg/l frente a 19 mg/l, respectivamente.

Tabla 5.7. Parámetros básicos de calidad del afluente en la primera fase experimental.

Parámetro	n	media mg/l	s mg/l	cv	intervalo mg/l
MES	30	280	87	0,30	152 – 468
DQO	30	472	126	0,27	188 – 738
NT	30	39	8,1	0,21	22 – 59
PT	30	12	4,3	0,36	5,9 – 25
pH	27	8,08	0,13	0,02	7,87 – 8,40
Alc	25	367	62,7	0,17	226 – 460

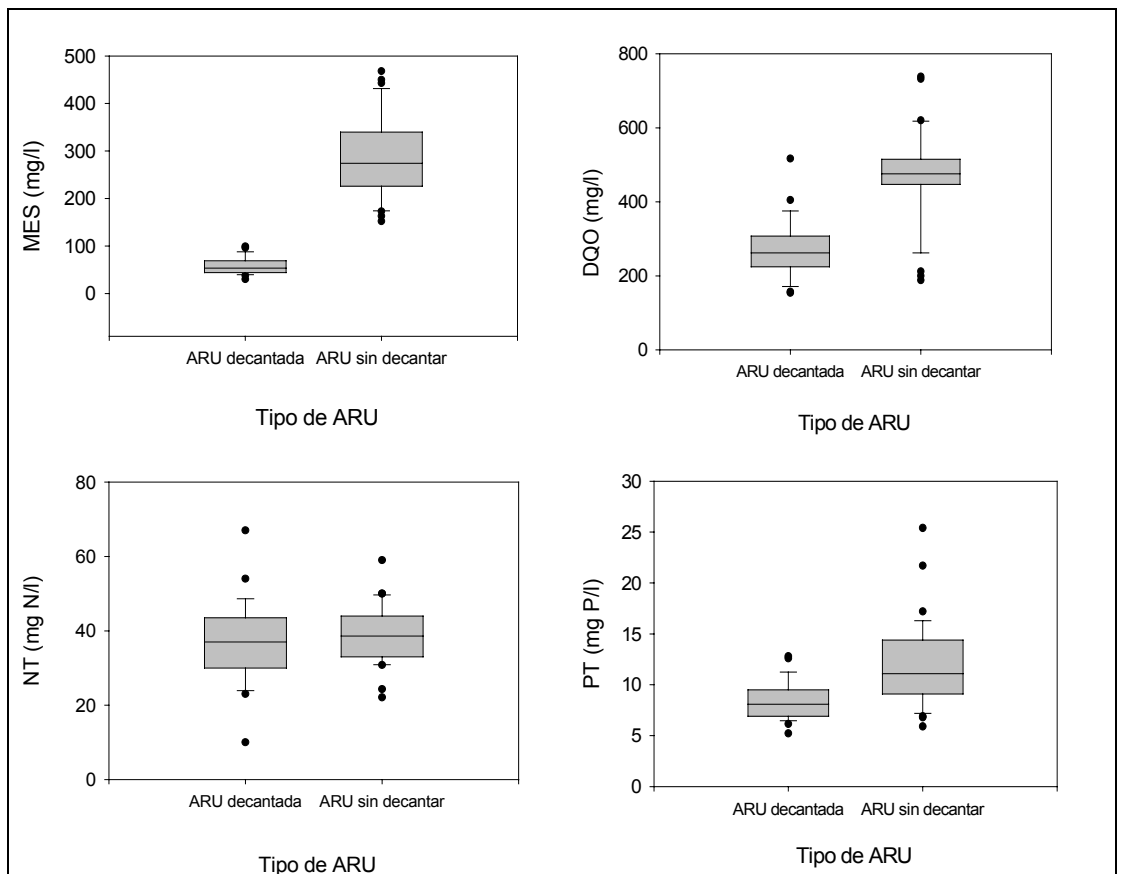


Figura 5.6. Diagramas de caja para comparar la MES, la DQO, el NT y el PT en ambos tipos de afluentes decantado y sin decantar.

La media de la MES en la primera fase experimental fue de 282 mg/l, más alta que el promedio de MES obtenido en el ARU decantada. Por todo ello, el afluente estudiado durante la primera fase experimental se puede considerar como un afluente de concentración media-fuerte según la Tabla 5.2 de Metcalf y Eddy (1991). Los histogramas de la Figura 5.7 muestran la distribución de los valores obtenidos para

cada parámetro. Como se puede observar, más del 50 % de los datos se encuentran entre 214 y 342 mg/l de MES.

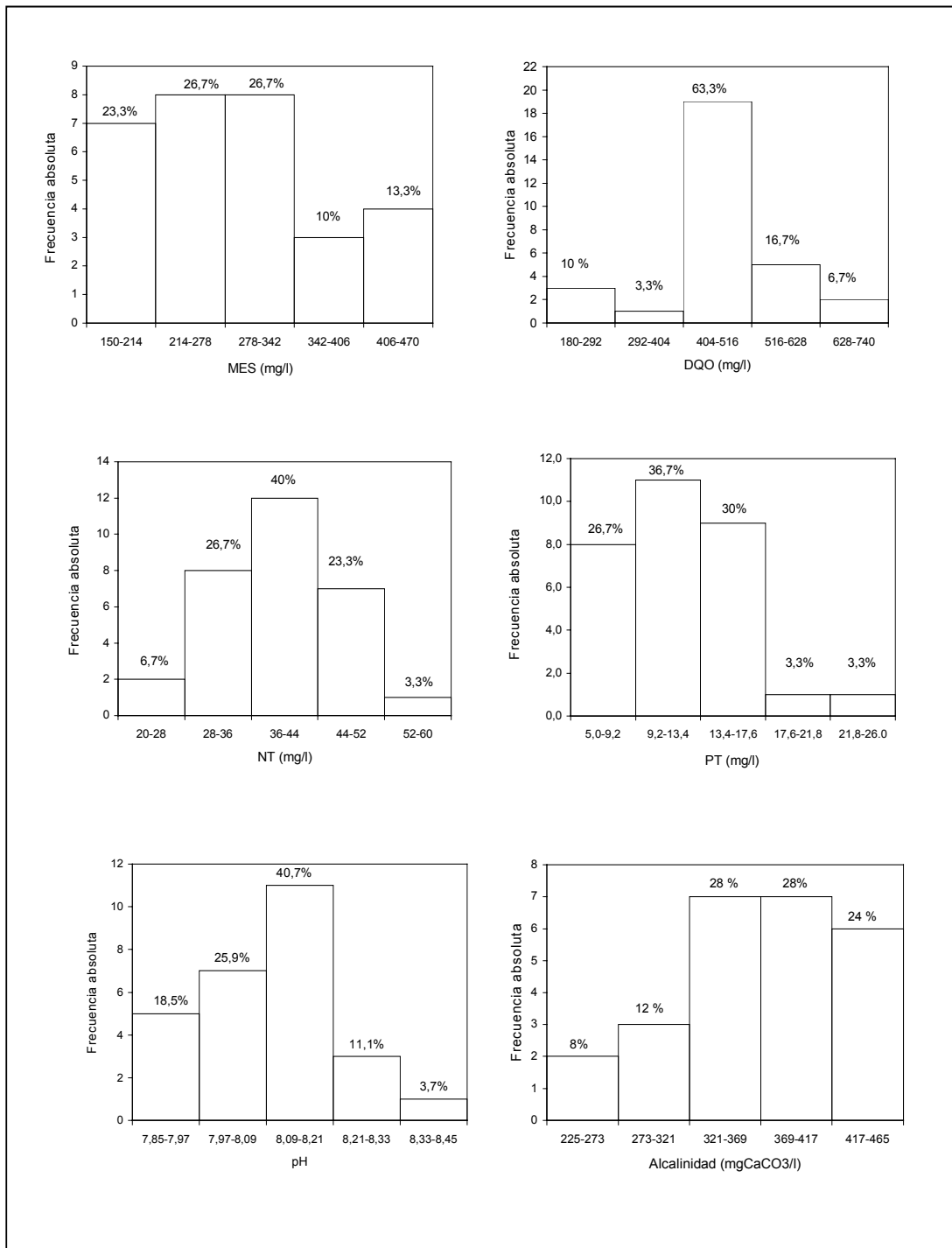


Figura 5.7. Diagramas de frecuencia de los parámetros básicos medidos en el afluente de la primerafase experimental.

En conclusión, los cambios realizados durante la primera fase experimental en las instalaciones previas al reactor (depósito receptor, depósito de reserva y depósito de

alimentación) favorecieron considerablemente el aumento de la MES del afluente, lográndose un incremento del 378%. Asimismo, los valores del afluente sin decantar registraron una mayor variabilidad que los del afluente decantado.

La DQO del afluente en la primera fase experimental varió entre 188 y 738 mg/l, con una media de 472 mg/l. El promedio de DQO es 199 mg/l superior al promedio obtenido en el afluente decantado (142-256 mg/l más alto, con un intervalo de confianza del 95%), con lo cual el incremento conseguido fue del 73%.

Como se puede apreciar en la Figura 5.7, más del 60 % de los valores de la DQO se encuentran entre 400 y 600 mg/l y muestran una clara tendencia central hacia la media. A pesar de que el promedio de la desviación típica fue superior al obtenido en el ARU decantada, 126 frente a 81 mg/l respectivamente, la Figura 5.6 muestra que el intervalo de confianza del 95% es menor en el afluente sin decantar que en el afluente decantado. En conclusión, las modificaciones realizadas en el pretratamiento del ARU favorecieron el incremento de la DQO en el afluente de la primera fase experimental e hicieron disminuir su variabilidad.

El NT varió entre 22 y 59 mg N/l, con una media de 39 mg N/l. El histograma de frecuencias de este parámetro muestra que el 90 % de sus valores se encontraron en el intervalo de 28 a 52 mg N/l. La media de este parámetro fue muy similar a la obtenida en el afluente decantado; la prueba t confirma la igualdad entre las medias del NT en ambos tipos de afluente. Sin embargo, la relación DQO/NKT experimentó un incremento notable en el afluente de la primera fase, con un valor promedio de esta relación de 12,8 mg/mg. Este valor promedio es 4,6 mg/mg superior al valor obtenido en el afluente decantado.

La Figura 5.8, presenta dos diagramas de caja que indican claramente el comportamiento de la relación DQO/NKT en cada tipo de agua.

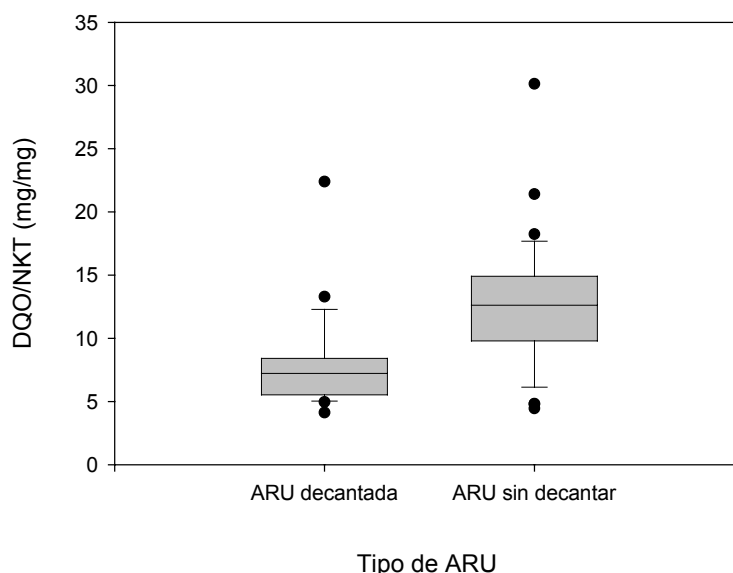


Figura 5.8. Diagramas de caja comparativos de la relación DQO/NKT en ambos tipos de afluentes decantado y sin decantar.

En la Figura se muestra que el ARU sin decantar registró una mayor dispersión del cociente. Finalmente, se puede afirmar que el cociente DQO/NKT del ARU no decantada concuerda con el recomendado en la bibliografía para conseguir una buena eliminación de N por desnitrificación (Abu-ghararah y Randall, 1991; Danesh y Oleszkiewicz, 1997).

En conclusión, aunque el incremento de sólidos no parece haber producido alteraciones en la media del NT en el afluente de la primera fase, sí que originó una menor variabilidad de este parámetro y un valor mayor de la relación DQO/NKT. El valor registrado por esta relación es justamente el recomendado en la bibliografía para una óptima eliminación de nutrientes.

El PT varió entre 5,9 y 25 mg P/l, con una media de 12 mg P/l. En este caso se observó una clara diferencia en la amplitud del intervalo de variación y en la media de este parámetro respecto al estudio del ARU con decantación primaria. Mientras que la amplitud del intervalo de variación en la primera fase fue de 19,5 mg P/l, en el afluente decantado fue de sólo 7,6 mg P/l; estos datos concuerdan con los respectivos coeficientes de variación, 0,36 respecto a 0,24. El PT del afluente sin decantación primaria fue en promedio 3,6 mg P/l más alto que el promedio de PT en el afluente decantado.

La distribución de frecuencias del PT en la primera fase muestra que más del 65 % de los valores se encuentran entre 9 y 18 mg P/l. La relación DQO/PT registró un valor promedio de 41,5 mg/mg, que es 8,5 mg/mg superior al obtenido en el afluente decantado. Toda esta información se resume en la Figura 5.9, donde se presentan diagramas de caja comparativos de las relaciones de DQO/PT obtenidas en cada tipo de agua. Como se puede observar, el incremento de la relación puede considerarse pequeño, y la forma estrecha de ambos diagramas indica un patrón de dispersión similar. Los puntos extremos escapan del intervalo de confianza del 95%.

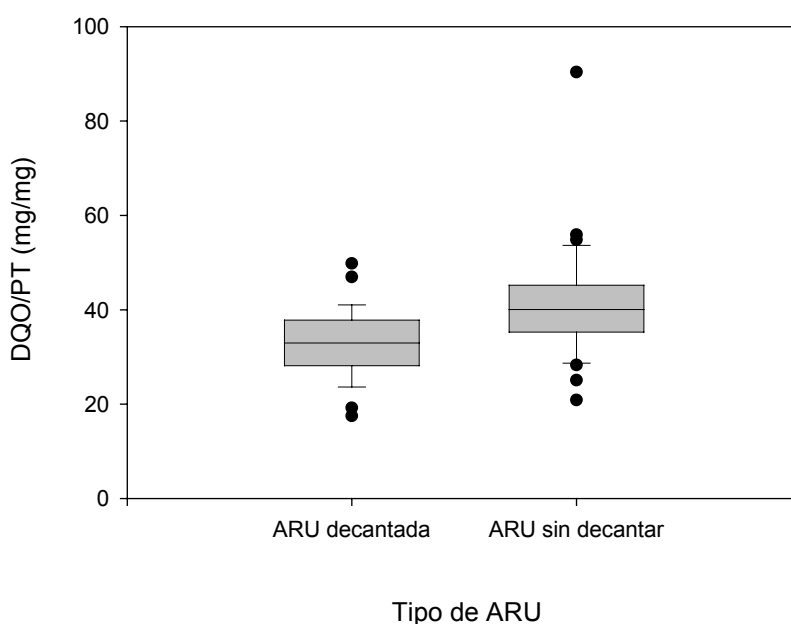


Figura 5.9. Diagramas de caja comparativos de la relación DQO/PT en ambos afluentes decantado y sin decantar.

En conclusión, las modificaciones realizadas en las instalaciones previas al reactor incrementaron el PT en el afluente de la primera fase experimental. Por otro lado, a pesar del incremento de la relación DQO/PT, no se logró alcanzar el valor recomendado en la bibliografía para una EBIF eficiente (superior a 50 mg/mg) (Abu-ghararah y Randall, 1991; Carlsson *et al.*, 1996).

El estudio de la primera fase experimental reveló una variación del pH entre 7,9 y 8,4, con una media de 8,1. Los valores del pH fueron ligeramente más alcalinos en el ARU sin decantar que en la decantada. Las pruebas F y t realizadas para comparar la varianza y la media del pH en ambos tipos de afluente muestran diferencias significativas entre ambos.

La alcalinidad del afluente de la primera fase varió de 226 a 460 mg CaCO₃/l, con una media de 367 mg CaCO₃/l. No se aprecia ninguna diferencia significativa entre estos valores y los obtenidos en el afluente decantado. Asimismo, tampoco existe diferencia significativa entre las varianzas y entre las medias de ambos afluentes, según los estadísticos F y t respectivamente. La distribución de frecuencias de la alcalinidad del afluente sin decantar muestra que más del 80 % de sus valores se encuentran entre 320 y 465 mg CaCO₃/l. Por todo lo anterior, las modificaciones introducidas en el almacenamiento del afluente y el incremento de MES conseguido en el afluente de la primera fase experimental no parecen haber influido en su alcalinidad.

5.2.2 Evolución temporal de los parámetros físico-químicos

Temperatura

La Figura 5.10 muestra la evolución temporal de la temperatura del afluente de la primera fase experimental. La temperatura del ARU de la primera fase varió de 9,3 a 13,3 °C, con una media de 17,7 °C. Aplicando un análisis estadístico de conglomerados, se obtienen 3 grupos de temperaturas, que sólo para este caso resultan sucesivos en el tiempo. El primer grupo cubre los meses de abril a mayo y contiene las temperaturas más bajas registradas en todo el estudio; el intervalo de variación en esta etapa fue de 9,2 a 18,5 °C, con una media de 14,5 °C. Durante todo el mes de abril la temperatura parece sufrir un incremento constante hasta llegar al mes de mayo, en que la temperatura vuelve a descender.

El segundo grupo cubre los meses enteros de junio a agosto y parte de la primera quincena de septiembre. Este grupo varió entre 18,1 y 24,2 °C, con una media de 21,0 °C, y como puede observarse en la gráfica registró las temperaturas más altas y estables de todo el estudio.

En el tercer grupo es la etapa más corta y cubre sólo la segunda quincena del mes de septiembre y los primeros días del mes de octubre de 1999. Conforme avanzaban los meses en este grupo, las temperaturas iban disminuyendo y acercándose a valores muy parecidos a los registrados en el grupo 1. El intervalo de variación del grupo 3 fue de 12,3 a 18,3 °C, con una media de 15,7 °C. El grupo 1 coincidió en su totalidad con la primavera, el grupo 2 coincidió en su mayor parte con el verano y el grupo 3 con el otoño.

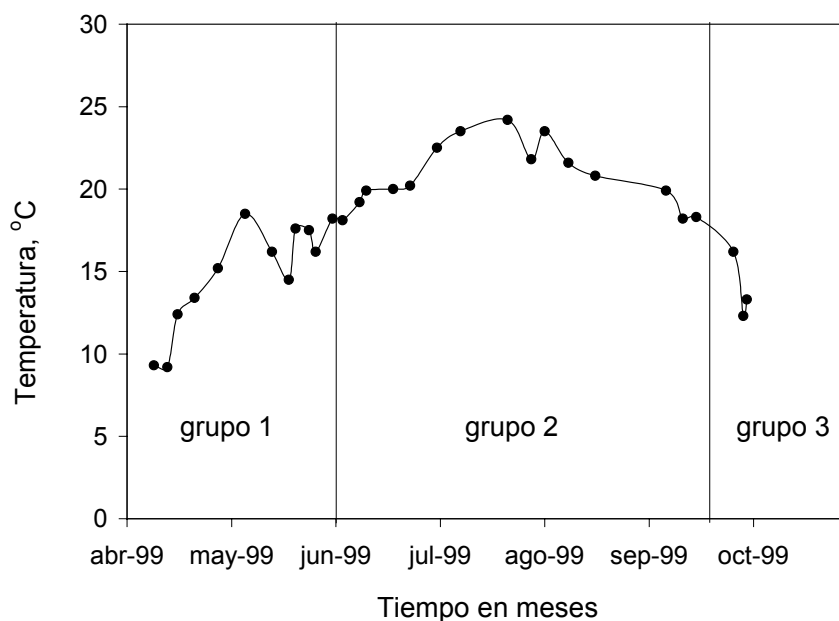


Figura 5.10. Evolución de la temperatura a lo largo de la primera fase experimental del estudio.

MES

La Figura 5.11 muestra la evolución temporal de la MES en la primera fase experimental. La Tabla 5.8 muestra los tres grupos resultantes del análisis de conglomerados realizado.

Tabla 5.8. Grupos definidos en el análisis de los valores de la MES en la primera fase experimental.

Grupo	media, mg/l	intervalo mg/l
1	195	155-245
2	300	255-350
3	445	420-470

En esta ocasión, como en las restantes, los grupos resultantes no muestran una distribución sucesiva en el tiempo. Un primer análisis cualitativo de la gráfica de evolución temporal de la MES indica que las concentraciones de este parámetro oscilaron notablemente con el tiempo, siendo las tendencias más claras las registradas en los meses de julio y agosto. La MES tiende a incrementarse gradualmente durante la primera quincena de julio después de pasar por un mínimo puntual registrado el 24 de junio, día festivo. A partir del 23 de julio, la concentración de MES disminuye bruscamente desde 443 mg/l hasta estabilizarse en una media de

177 mg/l durante todo el mes de agosto. Para el resto del año, las oscilaciones no son tan bruscas, pero no se aprecia ninguna tendencia clara.

Un análisis de los valores de MES por agrupamiento estadístico permite definir 3 grupos:

- 1) El grupo 1 corresponde a concentraciones de MES débiles, tiene un intervalo de variación de 155 a 245 mg/l y una media de 195 mg/l. Este grupo se registró en más del 80 % de los casos durante los meses de junio, julio y agosto, coincidiendo la mayoría de las veces con días no lectivos.
- 2) El grupo 2 corresponde a concentraciones medias de MES, tiene un intervalo de 255 a 350 mg/l y una media de 300 mg/l. Este grupo apareció principalmente en los meses de abril, mayo, septiembre y octubre.
- 3) El grupo 3 corresponde a concentraciones elevadas de MES, tiene un intervalo de variación de 420 a 470 mg/l y una media de 445 mg/l. Este grupo sólo aparece puntualmente, en forma de máximos, a lo largo del estudio.

En conclusión, podemos decir que durante los meses de junio, julio y agosto el grupo de mayor incidencia fue el 1, mientras que durante los otros meses la MES fluctuó en el intervalo correspondiente al grupo 2.

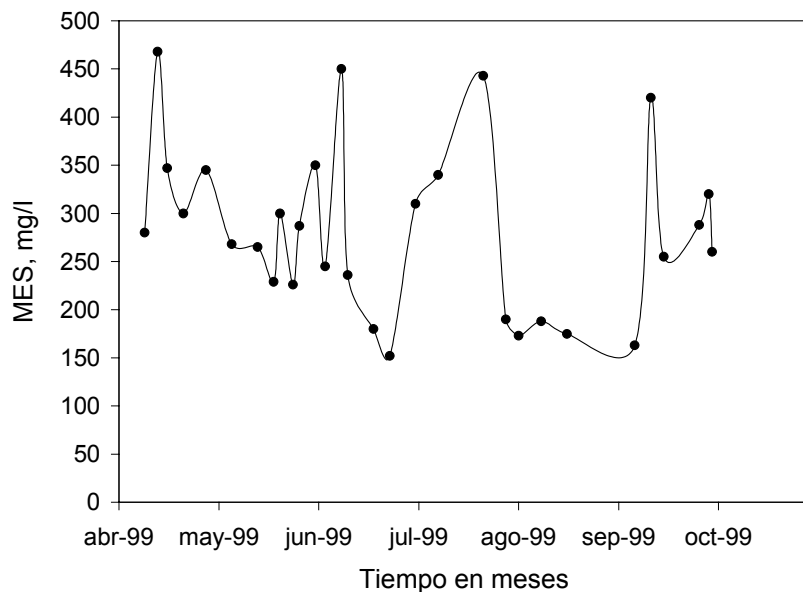


Figura 5.11. Evolución de MES a lo largo de la primera fase experimental del estudio.

DQO

La Figura 5.12 muestra la evolución temporal de la DQO en el afluente de la primera fase; asimismo, la Tabla 5.9 muestra los tres grupos resultantes del análisis de agrupamiento realizado.

- 1) El grupo 1 corresponde a concentraciones de DQO débiles, tiene un intervalo de variación de 188 a 312 mg/l y una media de 230 mg/l. Los valores de este grupo se registraron principalmente durante fechas festivas como el 24 de junio y el mes de agosto.
- 2) El grupo 2 corresponde a concentraciones medias de DQO, tiene un intervalo de variación de 410 a 570 mg/l y una media de 480 mg/l. Este grupo fue el de mayor incidencia a lo largo de todo el estudio, apareciendo en más del 80 % de los casos en los meses de abril, mayo, junio, julio y septiembre.
- 3) El grupo 3 contiene las concentraciones más elevadas de DQO, tiene un intervalo de variación de 616 a 738 y una media de 680 mg/l. Al igual que el grupo 3 de la MES, este grupo sólo aparece puntualmente, en forma de máximos, a lo largo de todo el estudio.

En conclusión, podemos decir que durante la temporada baja por vacaciones y días festivos, el grupo 1 de la DQO fue el de mayor presencia. El grupo 2 fue el de mayor incidencia durante el resto de los meses de muestreo.

NT

La Figura 5.13 muestra la evolución temporal del NT en el afluente de la primera fase; asimismo, la Tabla 5.10 muestra los tres grupos resultantes del análisis de conglomerados realizado.

El NT mostró una disminución gradual durante los meses de junio, julio y agosto aunque con leves oscilaciones. Las concentraciones volvieron a incrementarse al terminar esta etapa. El NT osciló con mayor fuerza durante el resto de los meses sin mostrar ninguna tendencia en particular. Este comportamiento del NT fue muy similar al observado en el análisis cualitativo de los gráficos de la MES y la DQO.

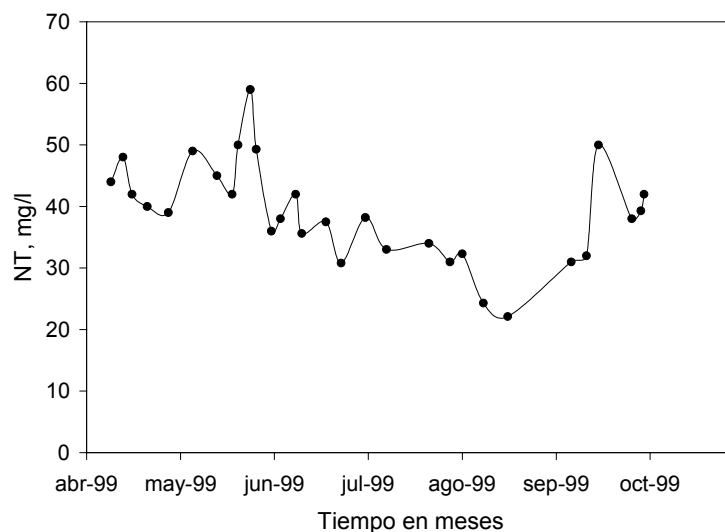


Figura 5.13. Evolución temporal del NT en el afluente de la primera fase experimental del estudio.

Los valores de NT se pueden clasificar también en 3 grupos diferentes:

1. El grupo 1 corresponde a concentraciones de NT débiles, tiene un intervalo de variación de 22 a 33 mg N/l y una media de 30 mg N/l. Los valores de este grupo se presentaron con mayor incidencia durante fechas festivas, a partir del 24 de junio y hasta principios de septiembre.
2. El grupo 2 corresponde a concentraciones medias de NT, tiene un intervalo de variación de 34 a 45 mg N/l y una media de 40 mg N/l. Este grupo fue el de mayor incidencia a lo largo de todo el estudio, concentrándose principalmente en los meses de abril, junio y septiembre.
3. El grupo 3 contiene a las concentraciones más elevadas de NT, tiene un intervalo de variación de 48 a 59 mg N/l y una media de 51 mg N/l. Aunque este grupo aparece de forma puntual durante la mayor parte del estudio, tuvo una fuerte incidencia durante la segunda quincena del mes de mayo.

En conclusión, las concentraciones medias de NT vuelven a estar presentes durante la mayor parte del estudio del afluente de la primera fase experimental, mientras que las concentraciones más débiles aparecieron sobre todo en los meses de verano.

Tabla 5.10. Grupos definidos en el análisis de los valores del NT afluente en la primera fase experimental.

Grupo	media, mg N/l	intervalo de datos, mg N/l
1	30	22 – 33
2	40	34 – 45
3	51	48 – 59

PT

La Figura 5.14 muestra la evolución temporal del PT en el afluente de la primera fase; asimismo, la Tabla 5.11 muestra los tres grupos resultantes del análisis de conglomerados realizado.

El PT se mantuvo estable la mayor parte del tiempo fluctuando moderadamente entre 8 y 15 mg P/l. Se presentaron únicamente dos máximos con concentraciones mayores a 20 mg P/l. Uno de ellos a finales de mayo y el otro hacia el final del estudio. Estas concentraciones tan elevadas de fósforo son poco usuales en las ARU. El PT muestra las concentraciones más bajas de todo el estudio durante el mes de agosto

El análisis de los valores de PT por conglomerados permite obtener los 3 grupos siguientes:

1. El grupo 1 corresponde a concentraciones de PT débiles, tiene un intervalo de variación de 5,9 a 7,5 mg P/l y una media de 6,8 mg P/l. Los valores de este grupo se presentaron puntualmente el 24 de junio y de forma continua durante todo el mes de agosto.
2. El grupo 2 corresponde a concentraciones medias de PT, tiene un intervalo de variación de 8,0 a 15 mg P/l y una media de 11 mg P/l. Este grupo fue el de

mayor incidencia a lo largo de todo el estudio, con más del 70 % de los valores de PT contenidos en él.

3. El grupo 3 contiene las concentraciones más elevadas de PT, tiene un intervalo de variación de 15 a 25 y una media de 51 mg P/l. Este grupo fue el de menor incidencia durante el estudio, pero cuando se presentó (meses de mayo y octubre) lo hizo de manera reiterada.

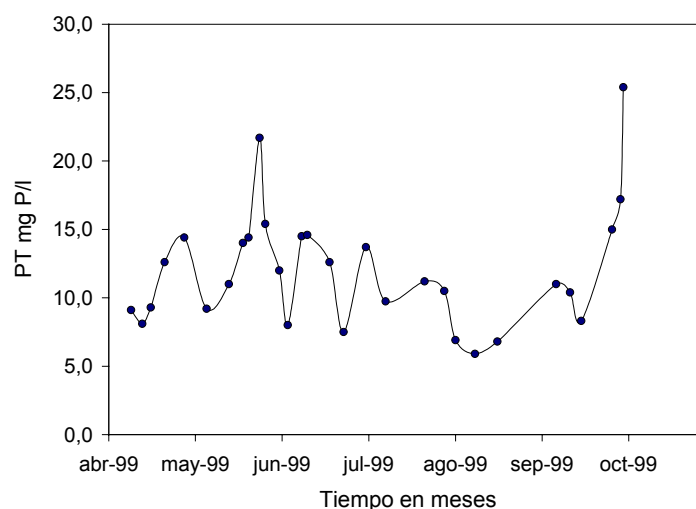


Figura 5.14. Evolución temporal del PT en el afluente de la primera fase experimental del estudio.

Tabla 5.11. Grupos definidos en el análisis del PT afluente durante la primera fase experimental.

Grupo	media, mg P/l	intervalo de datos, mg P/l
1	6,8	5,9 – 7,5
2	11	8,0 – 15
3	19	15 - 25

En conclusión, el PT fluctuó moderadamente, manteniéndose la mayor parte del tiempo en concentraciones medias y mostrando las concentraciones más bajas en los días de menor carga orgánica.

5.2.3. Caracterización de los componentes de los parámetros básicos de calidad

La Tabla 5.12 muestra las medias aritméticas, las desviaciones típicas y los intervalos de variación de cada uno de los componentes de la DQO, el N y el P obtenidos en el estudio del ARU sin decantar.

Tabla 5.12. Componentes de la DQO, el N y el P en el afluente de la primera fase experimental.

Parámetro mg/l	n	media mg/l	s mg/l	intervalo mg/l
DQOs	18	143	54	62 – 246
NKT	30	39	8,3	22 - 59
N-NH ₄ ⁺	30	30	8,1	17 - 51
N-org	30	8,8	3,9	2.6 - 16
N _{ox}	26	0,2	0,5	0.0 - 1.9
PRS	30	7,0	2.3	3.3 - 13
P-org	30	5,0	2,3	1,9 - 12

DQOs

La DQOs varió de 62 a 246 mg/l, con una media de 143 mg/l. Comparando estos resultados con los obtenidos para la DQOs del afluente decantado, se puede afirmar que a pesar de que existe una diferencia significativa entre las varianzas de los datos, no se puede afirmar lo mismo para las medias según la prueba de hipótesis t realizada. Por lo tanto, la DQOs de ambos tipos de afluente es prácticamente la misma. Por otro lado, la DQOs representó un 31 % de la DQO afluente. Este porcentaje es menor que el conseguido en el afluente decantado (50 %), debido a que mientras la DQO total aumento en el afluente sin decantar, la DQOs continuó siendo prácticamente la misma.

Componentes del N.

La concentración de N_{ox} fue casi inapreciable en la mayoría de las muestras del afluente de la primera fase experimental. La oxidación bacteriana, que probablemente ocurría en los depósitos y conducciones previos al reactor, consumía el poco oxígeno disuelto que llevaba el agua residual cruda. En estas condiciones, la nitrificación no pudo tener lugar y por ello el afluente no contenía concentraciones apreciables de nitrógeno oxidado. Por ello, la influencia del N_{ox} en la concentración del NKT fue nula y por lo tanto el promedio de las concentraciones de este parámetro es prácticamente el mismo que el promedio del NT.

La concentración de N-NH₄⁺ siempre fue superior a la concentración de N-org y osciló entre 17 y 51 mg N/l, con una media de 30 mg N/l. Asimismo, el N-org osciló entre 2,6 y 16 mg N/l, con una media de 8,8 mg N/l. La Figura 5.15 muestra la correlación existente entre el N-NH₄⁺ y el NKT. Como se puede observar, hay una clara correlación entre el parámetro y su componente. A medida que el NKT aumenta, el N-NH₄⁺ también lo hace. La contribución relativa del N-NH₄⁺ en el NKT varió entre el 55 y el 93 % y tuvo una valor medio del 77 %. En comparación, el N-org representó del 7 al 45 % del NKT, con una media de 23 %.

La Figura 5.16 muestra la evolución temporal del N-NH₄⁺ y del N-org. Como se puede observar, el N-NH₄⁺ tuvo una evolución en el tiempo muy parecida a la mostrada por el NT. Es decir, este componente mostró oscilaciones moderadas durante los meses de junio, julio y agosto con una tendencia clara a disminuir de manera gradual.

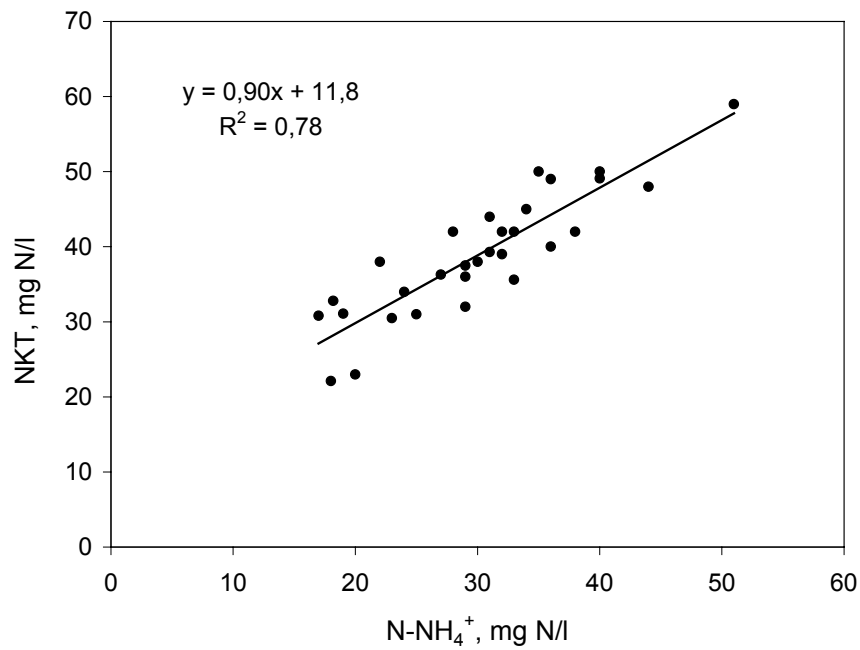


Figura 5.15. Correlación entre el $N-NH_4^+$ y el NKT del afluente de la primera fase experimental del estudio.

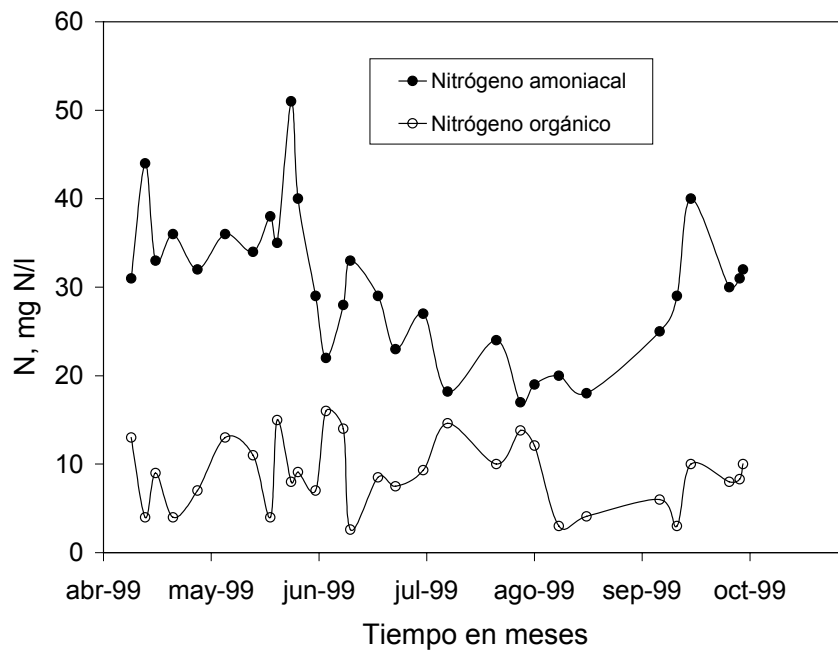


Figura 5.16. Evolución temporal del $N-NH_4^+$ y el N-org en el afluente de la primera fase experimental del estudio.

La concentración del N-NH_4^+ se recuperó nuevamente a partir de septiembre. En conclusión, el N-NH_4^+ presenta una tendencia clara a disminuir durante los meses en donde existe baja carga por días festivos o vacaciones; para el resto de los meses de estudio, excluyendo el máximo mostrado el día 25 de mayo, este componente fluctuó gradualmente en torno a una media de 34 mg N/l, sin mostrar tendencia alguna.

El N-org mostró un comportamiento variable en el tiempo; su evolución fue gradual y se mantuvo durante todo el tiempo oscilando levemente en el intervalo de 2,6 y 16 mg N/l. Finalmente, el N-org del afluente sin decantar presentó un incremento promedio del 21%. Sin embargo, este incremento no es significativo estadísticamente ya que las pruebas F y t, indican que tanto las varianzas como las medias de estos componentes son estadísticamente iguales en ambos estudios.

Componentes del P

La concentración de PRS de la primera fase experimental, osciló entre 3,3 y 13 mg P/l, con una media de 7,0 mg P/l. Asimismo, el P-org osciló entre 1,9 y 12 mg P/l, con una media de 5,0 mg P/l. La Figura 5.17 muestra la correlación existente entre el PT y el PRS; como se puede observar, hay una clara correlación entre el parámetro y su componente. A medida que el PRS aumenta el PT también lo hace. La contribución relativa del PRS al PT varió entre el 51 y el 76 % y tuvo un valor medio de 59%.

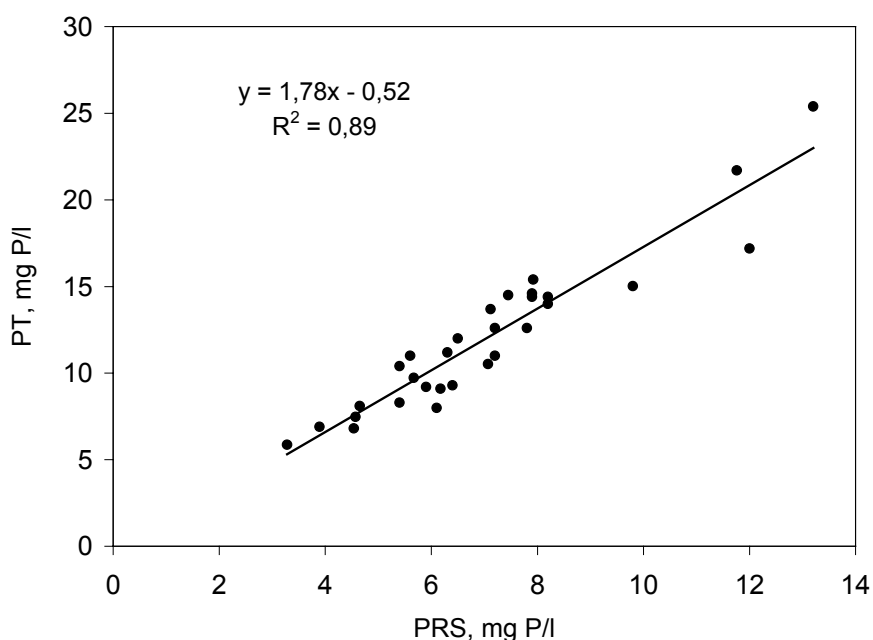


Figura 5.17. Correlación entre el PRS y el PT en el afluente de la primera fase experimental del estudio.

La Figura 5.18 muestra la correlación existente entre el P-org y el PT; como se puede observar, en este caso también existe una clara correlación entre ambos parámetros. El P-org representó del 24 al 49 % del PT, con una media del 40%. De esta manera, además de la influencia ejercida por el PRS en el PT, el P-org también tuvo una contribución importante.

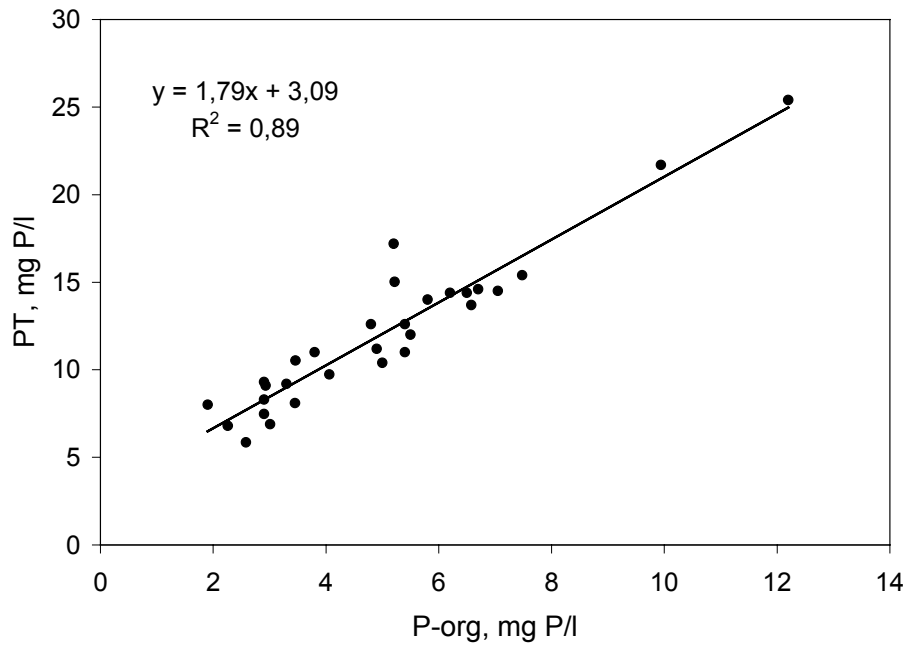


Figura 5.18. Correlación entre el P-org y el PT en el afluente de la primera fase experimental del estudio.

La Figura 5.19 muestra la evolución temporal del PRS y el P-org; como se puede observar, las concentraciones de P-org fueron la mayor parte del tiempo muy próximas a las del PRS, y ambas concentraciones oscilaron fuertemente en el tiempo sin mostrar ninguna tendencia clara.

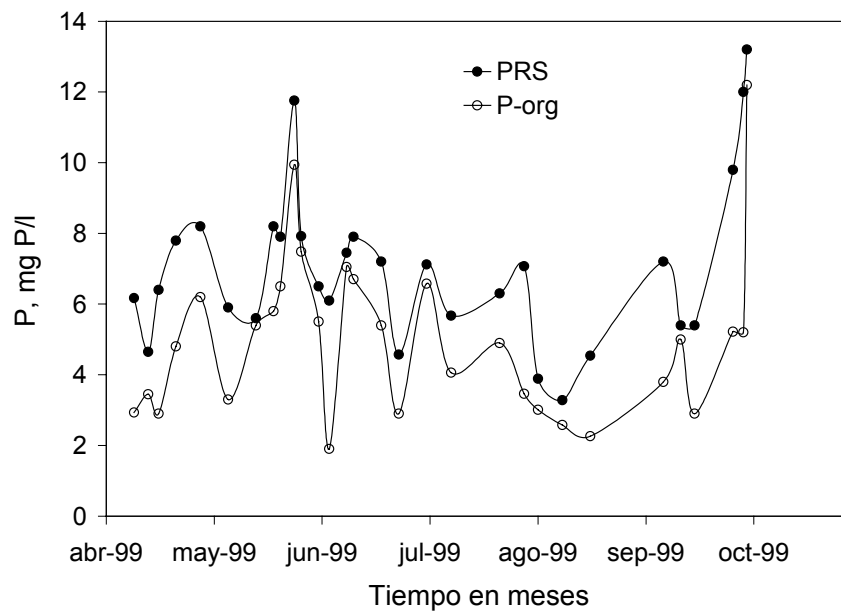


Figura 5.19. Evolución temporal del PRS y el P-org en la primera fase experimental del estudio.

Las concentraciones más bajas del PRS se registraron en el mes de agosto, mientras que las concentraciones se mantuvieron entre 4 y 8 mg P/l durante el resto del estudio, exceptuando los dos máximos registrados en los meses de mayo y octubre.

De la misma manera, las concentraciones más bajas de P-org se presentaron en días festivos y vacaciones. Este componente registra dos puntos considerablemente altos, de 9,9 y 12 mg P/l, en los meses de mayo y octubre respectivamente. Estos dos puntos coinciden con valores de la DQO y la MES también elevados.

La amplitud del intervalo de variación registrado por el PRS en el afluente sin decantar fue de 9,7 mg P/l, mientras que el del afluente decantado fue de 4,5 mg P/l. Los valores del PRS en el afluente sin decantar tienen un coeficiente de variación de 0,33 mientras que en el afluente decantado es de 0,16. La mayor variabilidad mostrada por el PRS en la primera fase está de acuerdo con el resultado obtenido en la prueba de hipótesis F, que indica varianzas diferentes. A pesar de ello, las medias poblacionales del PRS en ambos estudios no son significativamente diferentes.

Una comparación del P-org en el afluente de ambos estudios indica que este componente presenta una clara diferencia tanto en los intervalos de variación como en los promedios obtenidos. Es decir, la amplitud del intervalo de variación pasó de 5,4 mg P/l en el afluente decantado a 10 mg P/l en el afluente sin decantar. Asimismo, la media sufrió un incremento mayor del 100 % en la primera fase experimental. Existe una diferencia estadísticamente significativa entre las varianzas y las medias de este parámetro en ambos estudios.

Finalmente la Tabla 5.13 presenta las medias aritméticas, las desviaciones estándar y los intervalos de variación de los componentes de P-org. El POD varió de 0,04 a 3,2 mg P/l, mientras que el POP osciló de 0,1 a 10 mg P/l, media 3,9 mg P/l. En esta ocasión el POD representó el 20% del P-org, mientras que el POP representó un 79%. Los estadísticos F y t utilizados para analizar comparativamente las diferencias entre el POP del afluente decantado y el POP del afluente sin decantar muestran que tanto las varianzas como las medias poblacionales de ambas determinaciones son diferentes, con una significación del 5 %. Más aún, se puede afirmar que el POP del afluente sin decantar es 2,3 mg P/l superior al POP del afluente decantado (con un intervalo de confianza de 1,3 - 3,4 mg P/l y un nivel de significación de 0,05).

Tabla 5.13. Componentes del P-org en el ARU sin decantar.

Parámetro mg/l	n	media mg P/l	desviación mg P/l	intervalo mg P/l
POD (a)	30	1,0	0,8	0,04 – 3,2
POP (b)	30	3,9	2,5	0,10 – 10,2

a) Fósforo orgánico disuelto

b) Fósforo orgánico particulado

Las formas de fósforo solubles e inorgánicas presentes en el ARU en forma de H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} o PO_4^{3-} , no sufren alteración alguna con el incremento de MES y DQO en el ARU, debido posiblemente a que estos dos parámetros representan principalmente compuestos orgánicos de fósforo provenientes del plancton, el detritus, el POD excretado por organismos y el fósforo coloidal (azúcares, fosfolípidos y nucleótidos),

mientras que la concentración de derivados de los detergentes se mantiene más o menos constante. Por ello también se considera que, aunque existe una contribución de P-org por parte de las formas de fósforo inorgánico (fosfatos condensados no orgánicos, fósforo precipitado, fósforo amorfo etc.) esta es menor que la ejercida por las formas orgánicas del fósforo.

5.3. Conclusiones

- 1) En este capítulo se ha evaluado la influencia de las modificaciones realizadas sobre las instalaciones previas al reactor (depósito de captación, almacenamiento y alimentación) en la composición físico-química del agua residual afluente de la primera fase experimental de esta tesis. Este estudio ha sido realizado a partir del análisis comparativo de los valores del ARU sometida a decantación primaria y los obtenidos en el ARU procedente de las mismas instalaciones, pero en las que la decantación primaria y la aireación habían sido retiradas.
- 2) Las características físico-químicas del afluente sometido a una decantación primaria fueron estadísticamente iguales a las del agua residual afluente evaluada por Escaler (1997).
- 3) Los cambios realizados en la primera fase experimental sobre las instalaciones previas al reactor favorecieron considerablemente el aumento de la MES y la carga orgánica del agua residual afluente. Los incrementos de MES y de DQO conseguidos fueron de 378% y de 73%, respectivamente.
- 4) En general, las formas inorgánicas de la composición físico-química del ARU no se vieron afectadas por el incremento de la MES y el grado de anoxia del afluente, aunque no se puede afirmar lo mismo del contenido orgánico. Esto se debe a que la materia disuelta contiene principalmente material inorgánico, mientras que la MES es predominantemente orgánica. La MES puede llegar a constituir el 60% de la DBO de un ARU.
- 5) No existe diferencia estadísticamente significativa entre las concentración de DQOs de ambos tipos de afluentes comparados. La DQOs representó únicamente el 31% de la DQO del afluente sin decantar, mientras que alcanzó el 50 % de la DQO del afluente sometido a decantación de sólidos.
- 6) Aunque la concentración media de NT en el afluente de la primera fase no parece haber sufrido alteraciones con el incremento de sólidos, sí se registró un mayor valor de la relación DQO/NKT (4,6 mg/mg superior al valor obtenido con el ARU decantada). El valor conseguido para esta relación (12,8 mg/mg) concuerda con el recomendado en la bibliografía para una óptima eliminación de nutrientes (12 mg/mg).
- 7) La concentración de las formas oxidadas de N (N-NO_3^- y N-NO_2^-) fue prácticamente nula en ambos tipos de afluente. Asimismo, la presencia de MES en el afluente no modificó el contenido medio de N-NH_4^+ . Esta forma fue la mayoritaria del NT y significó en promedio un 79 % del NT. Por otro lado, también se puede afirmar que el contenido de N-org es estadísticamente el mismo en ambos tipos de agua residual afluente. El N-org representó en promedio un 21 % del NT.

- 8) La concentración media del PT del afluente sin decantación primaria fue 3,6 mg P/l más alto que el del PT del afluente decantado. A pesar de este incremento, la relación DQO/PT (42 mg/mg), no logró alcanzar el valor recomendado en la bibliografía para una EBIF eficiente (> 50 mg/mg).
- 9) El fósforo reactivo soluble fue el principal componente del PT en ambos tipos de agua residual afluente. El incremento de MES no modificó significativamente el contenido de este parámetro en el afluente. El PRS representó en promedio un 68 % del PT en ambos estudios. Por otro lado, el incremento de MES en el agua residual afluente modificó significativamente el contenido de P-org. Mientras que el P-org representa un 26 % del PT del ARU sometida a decantación, en el afluente sin decantación primaria alcanzó un 40 %. En este estudio se demuestra que las variaciones en el P-org dependieron principalmente del POP.
- 10) El incremento de MES y del grado de anoxia en el pretratamiento no influyó significativamente sobre los valores del pH y la alcalinidad. Los valores del pH se mantienen en ambos casos dentro del rango considerado como óptimo para la actividad biológica, y se encuentran alrededor de 8,0 la mayor parte del tiempo. La alcalinidad del agua residual afluente presentó un valor promedio elevado (371 mg CaCO₃/l) en ambos casos. Este valor superó el intervalo típico sugerido en la bibliografía.
- 11) La evolución temporal de los parámetros básicos indica que las concentraciones más bajas aparecían sobre todo en días festivos y vacaciones. Las concentraciones medias están presentes en la mayor parte del tiempo de la duración del estudio. Finalmente, las concentraciones elevadas o extremas son las que tienen menor grado de incidencia y sólo aparecen puntualmente.
- 12) A excepción de la DQO y del NT, el incremento de MES y de anoxia en el afluente provocó una mayor variabilidad de los parámetros de calidad físico-química así como de la relación DQO/NKT.